



HAL
open science

Massive stranding of pelagic sargassum seaweeds on the french Antilles coasts : Analysis of observed situations with Operational Mercator global ocean analysis and forecast system

Didier Bernard, Biabiany Emmanuel, Naoufal Sekkat, Romual Chery, Raphaël Cécé

► To cite this version:

Didier Bernard, Biabiany Emmanuel, Naoufal Sekkat, Romual Chery, Raphaël Cécé. Massive stranding of pelagic sargassum seaweeds on the french Antilles coasts : Analysis of observed situations with Operational Mercator global ocean analysis and forecast system. 24e Congrès Français de Mécanique Brest, Aug 2019, Brest, France. hal-03409769

HAL Id: hal-03409769

<https://hal.science/hal-03409769>

Submitted on 30 Oct 2021

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

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

Massive stranding of pelagic sargassum seaweeds on the french Antilles coasts : Analysis of observed situations with Operational Mercator global ocean analysis and forecast system

D. Bernard^a, E. Biabiany^a, N. Sekkat^a, R. Chery^a, R. Cécé^a

a. Laboratoire de Recherche en Géosciences et Energies (LaRGE)

didier.bernard@univ-antilles.fr, emmanuel.biabiany@univ-antilles.fr, mlysekkat@gmail.com,
romual.chery@univ-antilles.fr, raphael.cece@univ-antilles.fr.

Résumé :

En 2011 et de 2015 à 2018, l'afflux sans précédent d'algues sargasses qui a atteint les Antilles Françaises (AF), à plusieurs reprises, a constitué une menace majeure pour l'écologie, la santé et l'économie de ces îles. Ces deux régions de faibles surfaces font partie des territoires gravement touchés par le transport via les courants marins et l'échouage de ces dernières dans la caraïbe. Les volumes à ramasser et à ressuyer, à proximité des zones, habitées, ou à fort enjeux économiques ou environnementaux, pour les dépôts constatés suites aux échouages, ont été estimés en moyenne à 150 000 m³ lors d'invasions majeures. L'imprévisibilité des échouages est une difficulté récurrente souvent marquée par une augmentation de la durée et des volumes sur la période de l'année 2011 à 2018. Un effort de recherche devient donc nécessaire pour réduire ces incertitudes et ainsi mieux appréhender les cycles à venir et les possibles échouages afin de mieux réagir. Nous proposons dans ces travaux de trouver l'ensemble discret des régimes de circulation océanique amenant à ces échouages à partir d'une série de sorties quotidiennes, obtenues à la résolution spatiale de 0,08°, intitulées GLOBAL-ANALYSIS-FORECAST-PHY-001-024. Elles sont issues du service de surveillance de l'environnement Marin COPERNICUS. Ces régimes sont trouvés par clustering de données maillées, centrées sur la partie orientale des Antilles (55-66° W, 8-17° N). Nous examinerons également les possibles voies de transport en surface à l'aide de particules lâchées dans l'océan Atlantique proche des Antilles Françaises.

Abstract :

The unprecedented influx of Sargassum that reached the French Antilles on several occasions, especially during 2015 to 2018 constitutes a major threat to the ecology, health and economy of these islands. These small islands can each receive an average of 150 000 m³ of seaweed during major stranding episodes. The predictability of these has not been investigated and is likely related with thermodynamic conditions that cause a build-up and ocean transport that brings the problem to east-facing beaches and bays, mainly since 2011. The increased volume of seaweed has closed some tourism resorts and made some beaches uninhabitable. A research effort becomes necessary to reduce these uncertainties and thereby apprehend future episodes of seaweed stranding. We present here the results from a series of ocean models that examine surface transport, east of the Antilles, for several cases of massive stranding on the coasts

of Guadeloupe and Martinique. The Operational Mercator global ocean analysis and forecast system at 1/12 degree was used and includes daily mean files of temperature, salinity, currents, sea level, and mixed layer depth. The atmospheric fields forcing the ocean model are taken from the ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) Integrated Forecast System. We will explore the dynamical and statistical relationships between surface currents and Sargassum cover observed by satellites in the Atlantic near these islands and on reaching the coastal areas.

Mots clefs : Saeweed stranding, clustering, Lesser Antilles, global ocean analysis.

1 Introduction

Depuis 2011, deux macroalgues brunes flottantes, *Sargassum fluitans* et *Sargassum natans* s'échouent massivement sur l'ensemble des littoraux de la Région de la Caraïbe [1, 2]. Comme montré à la Figure 1, les sargasses prolifèrent dans l'Atlantique Nord équatorial, soit au large du Brésil, se rassemblent en des bancs de forte densité et de grandes surfaces qui atteignent fréquemment, par l'intermédiaire de courants et de vents favorables, les côtes des Caraïbes. Au début de la décennie, les échouages commençaient plutôt vers le mois de mars, mais depuis trois ans les côtes des Antilles Françaises (AF) sont touchées depuis le mois de Janvier [3], voire toute l'année (Fig. 1). Les années 2011, 2015 et 2018 sont les plus marquantes en termes de durée, de quantités reçues et d'impacts sur les littoraux.

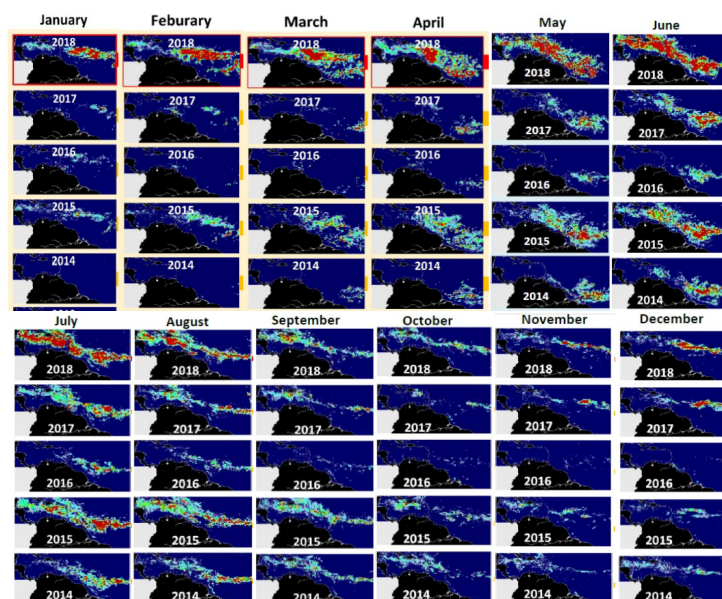


FIGURE 1 – Région caraïbe : Occurrence mensuelle des Sargasses (2014 à 2018) premier semestre (haut) et second semestre (bas) dans la région Caraïbe. Images : Sargassum Watch Saystem (SAWS), University of South Florida, <https://optics.marine.usf.edu/projects/SaWS.html>

Le Tableau 1 montre qu'en 2018, l'événement a été sans précédent car des centaines de baies se sont remplies en une dizaine d'heures dans toute la région. Ces échouages aboutissent à des cumuls élevés de biomasse, laissant les autorités sans réponses immédiates avec des moyens sous dimensionnés face à l'ampleur des dégâts écologiques et socio-économiques provoqués [4]. La communauté scientifique internationale s'est aussi mobilisée, avec une large contribution portant sur l'identification, la caractérisation,

le dénombrement de l'ensemble des impacts et l'évaluation du potentiel d'échouage, tout en utilisant aussi bien les résultats d'observations in situ que la télédétection [1, 2, 3, 5, 6].

TABLE 1 – Nombre d'échouages pour les trimestres Janvier-Février-Mars (JFM), Avril-Mai-Juin (AMJ), Juillet-Août-Septembre(JAS) et Octobre-Novembre-Décembre (OND). Au premier trimestre 20017, Sans échouages (SE).

Années	JFM	AMJ	JAS	OND
2017	SE	12	16	3
2018	19	55	16	16
2019	17			

Du point de vue biologique, bien que les tapis dérivants constituent un habitat important pour la faune et la flore en pleine mer [7, 8, 9], ils deviennent après échouages des pièges souvent mortels pour les animaux. Les dépôts massifs en obstruant le littoral ont des impacts négatifs, sur les animaux [10, 11], sur la santé, odeur nocive des gaz émis lors de leur dégradation [12, 13] et sur toutes les activités socio-économiques.

Dans le processus d'évaluation des risques et la mise en place des alertes, la détection précoce de sargasses par des satellites a été l'une des réponses préventives apportées, permettant de se préparer aux possibles échouages massifs. Depuis 2011, le système intitulé Sargassum Watch System (SaWS) conçu par (<http://optics.marine.usf.edu/projects/SaWS.html>) utilise un produit d'analyse fondé sur des images satellites issues du radiomètre spectral pour imagerie de résolution moyenne (MODIS), ceux de MERIS et les capteurs du dispositif Landsat et VIIRS [14, 15, 16]. Récemment, quelques auteurs se sont préoccupés du contexte océanographique, en associant les observations par des satellites à des modèles numériques [3, 17, 18].

A grande échelle, Figure 2, la bibliographie consultée indique que les voies de transports et de circulation envisageables sont [19, 20, 21] :

- Le courant des Guyanes longeant le plateau continental est issu de la séparation du courant Nord Brésil (NBC),
- les anneaux de courant d'une centaine de kilomètres de diamètre engendrés par la réflexion du NBC,
- Le courant Nord Atlantique Equatorial (NC) issu de la gyre Atlantique.

Pour toutes ces raisons, ces considérations doivent être approfondies. L'idée proposée dans ce travail repose sur une représentation conceptuelle et synthétique de la courantologie de surface, permettant d'individualiser des situations types menant aux échouages, dans la région des Petites Antilles. Le concept est celui de l'existence de régime(s) de courant(s) qui se distinguent par l'apparition discernable et récurrente de circulations en surface. Ils n'ont pas la prétention de capturer toute la variabilité du continuum océanique mais ils peuvent être considérés comme des attracteurs du système de circulation et des courants des eaux marines dans la région considérée. Ils définissent ainsi un ensemble fini d'états quasi-stationnaire pour le champ physique utilisé [22, 23, 24]. Nous émettons l'hypothèse que la circulation océanique quotidienne dans cette région, bien que de nature complexe, peut se résumer à un ensemble discret de circulations, se produisant fréquemment à l'échelle régionale, appelées types de circulation océaniques.

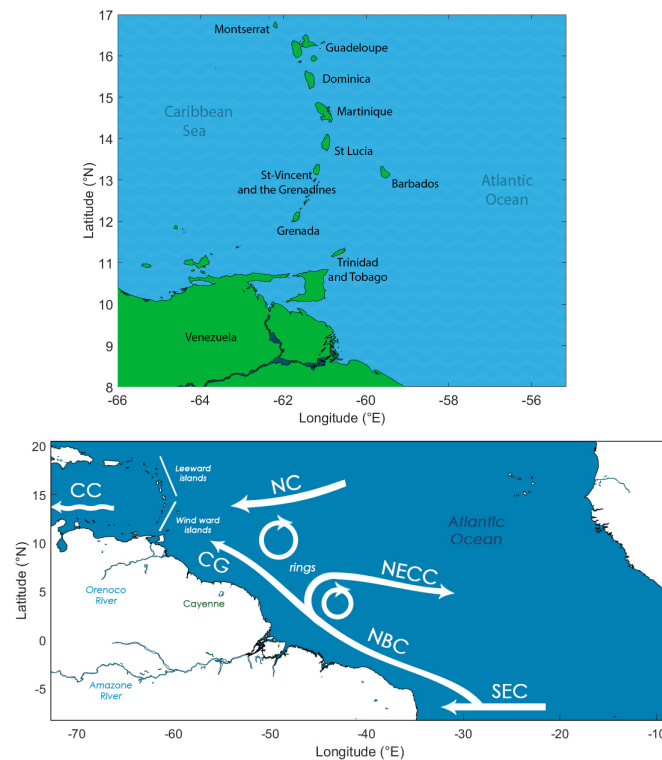


FIGURE 2 – En haut domaine étudié, en bas représentation schématique de la circulation dans l’océan Atlantique. Courant Atlantique sud Équatorial (SEC), courant Nord Brésil (NBC), Contre Courant Nord Equatorial (NECC), Courant Atlantique Nord Équatorial (NC), Courant des Guyanes (CG), Courant de la Caraïbe ou des Antilles (CC).

Dans ces travaux, nous présenterons une méthode simple et rapide fondée sur du clustering pour mettre en évidence d’éventuels motifs récurrents. Ils peuvent être considérés comme des régions de circulation océaniques quasi stationnaires. Dans la section 2, nous décrivons l’ensemble des données issues des ré-analyses Mercator, les méthodes de classifications et de lâcher de particules utilisées. Dans la section 3, nous présentons les résultats de l’application de clustering aux données, puis dans la section 4, nous proposons une brève discussion avant de résumer nos conclusions.

2 Méthode

2.1 Les données modèles

Pour trouver les possibles clusters nous avons utilisé les sorties quotidiennes et mondiales de prévision océanique opérationnelle du système d’analyse PSY4V3R1 Mercator, à 1/12 de degré en 3D, qui intègre la version 3.1 du modèle océanique NEMO, avec réduction de certains biais [25, 26, 27]. Les données PSY4 comprennent l’assimilation des données provenant aussi bien des observations multi instruments in situ que d’observations issues de la télédétection par satellite. Les séries chronologiques utilisées débutent en mai 2017 et se terminent en mars 2019. Nous utiliserons les champs horaires moyens pour les courants soient les composantes U et V de ce dernier à 50 cm de profondeur. Les champs atmosphériques qui forcent le modèle océan sont tirés du système de prévision intégré du Centre européen de prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMET). Dans cette étude, nous nous concentrons sur la période 2017-2019 dans la bande de latitude entre 8 à 17°N et -66 à -55°E.

2.2 Méthodes de clusterisation

2.3 Méthodes de *Clustering*

Pour explorer la sensibilité des sorties quotidiennes donnant les vitesses de courant en surface et trouver des motifs récurrents nous utiliserons des méthodes d'apprentissage non supervisées : les algorithmes des K-moyennes (K-means) et de Classification Hiérarchique Ascendante (CAH). L'objectif est de regrouper en k clusters les champs spatio-temporels similaires en utilisant respectivement la distance euclidienne pour K-means et la méthode de Ward pour CAH. La matrice d'entrée du *Clustering* est constituée de 154 observations quotidiennes d'échouages (survenue entre le 29 mai 2017 et le 15 mars 2019, sur le littoral de la Guadeloupe) et 14 279 composantes ou mailles (correspondant à la zone géographique présentée en Figure 2, Haut) contenant l'intensité du courant océanique de surface. Ces observations correspondent à des jours d'échouages référencés par la Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de la Guadeloupe (<http://www.guadeloupe.developpement-durable.gouv.fr/actualitessargasses-r989.html>).

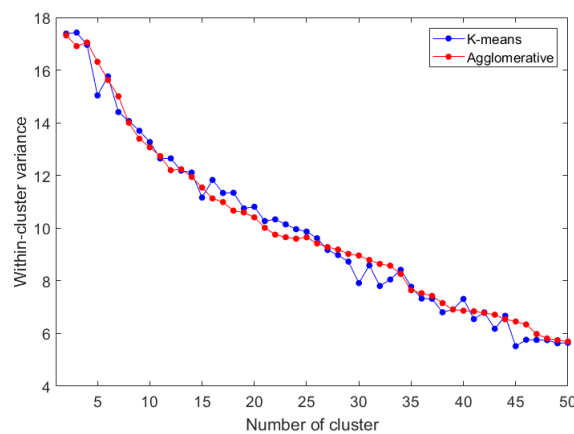


FIGURE 3 – Choix du nombre de cluster en fonction de la variance intraclasse pour les méthodes k-means (courbe bleue) et CAH (courbe rouge).

2.4 Lâcher de particules

Le jeu de données étant grand le choix du nombre k de cluster n'est pas intuitif. Pour éviter d'obtenir de clusters trop généralistes, (k petit), ou d'avoir un partitionnement trop fragmenté des données (k grand) nous tracerons la variance de la distance intraclasse au centroïdes correspondant à la division successive en k clusters. Ce tracé est représenté sur la Figure 3. Pour la méthode k-means, la courbe bleue, lue de gauche à droite le long de l'abscisse, montre que pour $k=5$ la variance diminue brutalement indiquant un premier minimum. La courbe rouge de la méthode CAH n'indique pas de minimum en particulier. Afin d'éviter les problèmes des optimums locaux, kmeans a été initialisé 100 fois avec des valeurs prises au hasard et un nombre maximal de 10 000 itérations maximales pour stabiliser le résultat obtenu. Le minimum trouvé et la stabilisation par itérations nous permettent de sélectionner, en première analyse, la valeur $k=5$ comme nombre de cluster utilisé pour représenter les types de circulation océanique en surface dans cette partie de la Caraïbe. Les clusters trouvés n'ont pas la prétention de capturer toute la variabilité du continuum océanique mais ils peuvent être considérés comme des attracteurs du système de la circulation envisagée.

A ces latitudes et longitudes, cinq mille particules ont été relâchées, pour simuler le transport à partir des couples trouvés. Dans ce cas d'étude, les particules sont des objets passifs, dont seuls les déplacements liés

aux composantes U (zonale) et V (méridionale) sont considérées. Elles évoluent par le biais des courants marins données par les sorties MERCATOR horaires, sans produire de résistance dans le milieu. Chaque particule dispose d'un rayon d'incidence noté r_i délimitant les nœuds des grilles des données U et V les plus proches. Les valeurs de ces nœuds seront intégrés (avec une pondération inversement proportionnelle à la distance), au calcul de la nouvelle position de la particule. L'algorithme est le suivant :

2.4.1 Algorithme

Fonction *deriveUV()* :

Paramètres :

- U [base de la composante \vec{u} du vent en $m.s^{-1}$], V [base de la composante \vec{v} du vent en $m.s^{-1}$],
- lon [grille de référence longitude], lat [grille de référence latitude],
- x [longitude de la particule], y [latitude de la particule],
- dt [pas de temps en seconde],
- ri [rayon d'incidence en km].

Sorties :

- x [longitude de la particule], y [latitude de la particule].

Traitement :

1. Remplacer les valeurs de terre par 0 et convertir le rayon d'incidence en degrés,
2. Récupérer les valeurs des nœuds proche de la particule et calculer la moyenne pondérées des nœuds,
3. Déterminer la distance parcourue en km pour le dt donné et appliquer le déplacement,
4. Renvoyer la nouvelle position.

3 Résultats

3.1 Les types de circulations océaniques

Les intensités quotidiennes des courants issues des cas d'échouages de sargasses sur le littoral de la Guadeloupe ont été regroupées en 5 clusters pour les deux méthodes utilisées, K-means et CAH. Les types de circulations obtenus sont représentés sur la Figure 4. C'est la situation réelle et quotidienne la plus proche du centroïde calculé qui est donnée.

La fréquence de chaque type de circulation ayant provoqué des échouages sur les côtes de l'archipel de la Guadeloupe est présentée dans le Tableau 2. Pour les deux méthodes, les deux types les plus fréquents obtenus sont les clusters 3 ($c=3$) et 5 ($c=5$). Ce dernier représente plus du tiers des occurrences.

TABLE 2 – Fréquence en pourcentage de chaque type de circulation océanique (haut) obtenus par K-means et CAH.

	c=1	c=2	c=3	c=4	c=5
K-means (%)	10	13	25	16	36
CAH (%)	3	18	22	17	40

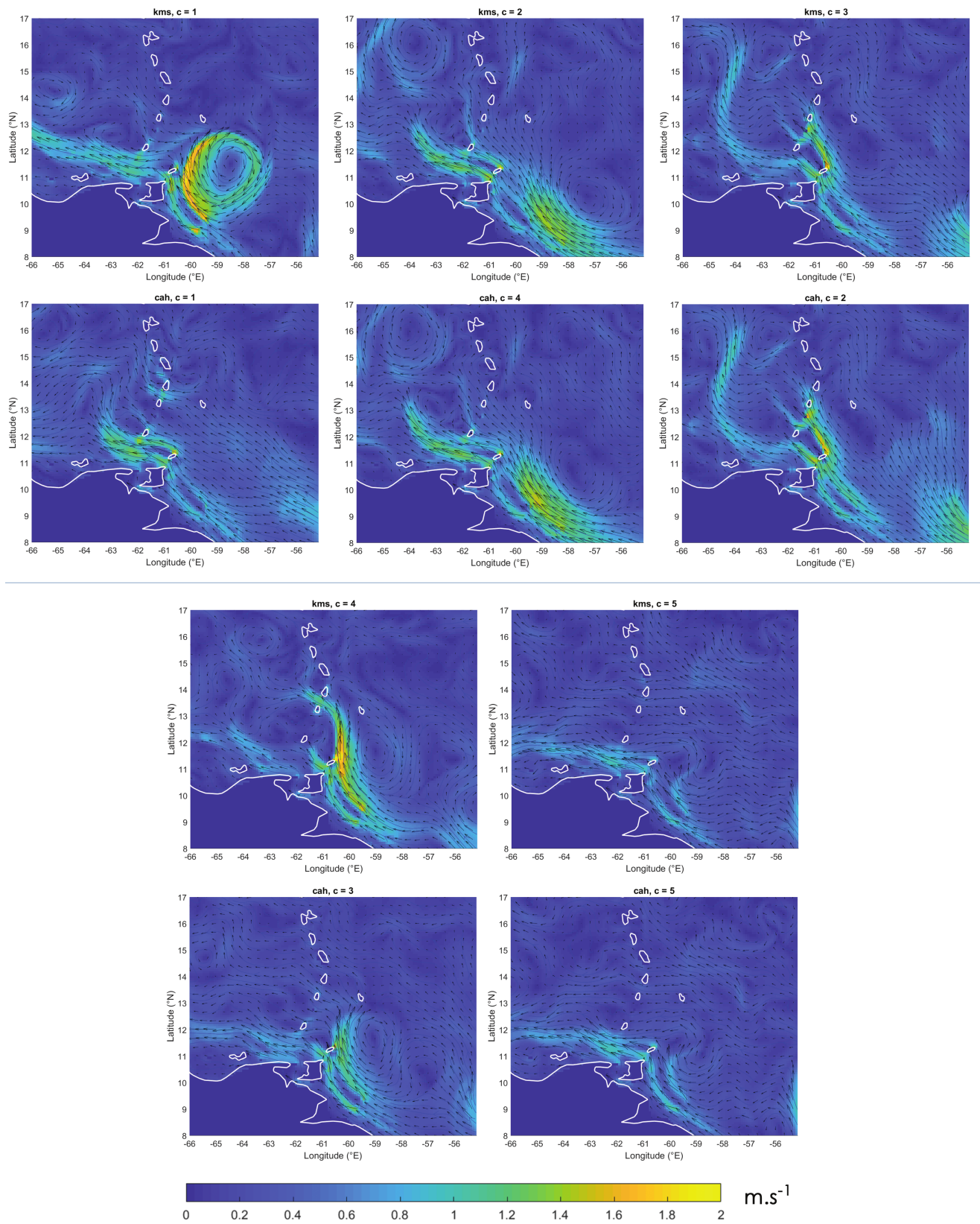


FIGURE 4 – Type de courant définis par clustérisation de la période allant de Février 2017 à Janvier 2019. la vitesse est en m.s^{-1}

L'analyse de la configuration spatiale pour les courants de surface nous permet de rassembler les clusters par couples. Les couples identifiés sont représentés sur la Figure 4. Trois motifs sont similaires. Il s'agit des couples C24 ($c=2,4$), C32 ($c=3,2$) et C55 ($c=5,5$). L'élément de gauche de chaque couple indique le numéro de la classe obtenue par la méthode k-means et à droite celui de la méthode CAH. Les couples trouvés se différencient par l'emplacement et l'extension des courants de surface, ainsi que par la présence ou l'absence des anneaux de rétroflexion dus au courant du nord Brésil. Ainsi, l'écoulement des eaux de surface provenant de l'Atlantique équatorial par le Sud-Est vers les Caraïbes, contient trois structures principales,

- celle qui décroche à l'est de l'Arc des Antilles et qui prend une direction nord, en restant dans l'Atlantique,
- les deux autres qui pénètrent dans la mer des Caraïbes par le sud, soit en :
 - restant collée au talus continental,
 - traversant au nord de l'île de Trinidad, pour s'incurver à l'intérieur du bassin des caraïbes.

Le premier type de circulation correspond au couple C55, Figure 4, panneau du bas. Il apparaît un courant quasiment plaqué sur le plateau continental gardant une composante ouest. Dans le reste du domaine, les eaux de surface traversent l'archipel presque perpendiculairement aux îles, transportées vers l'ouest par les courants de surface de la gyre Atlantique.

Le deuxième type correspond au couple C24. Le deux panneaux de la Figure 4 montrent qu'au nord de Trinidad, le flux se décolle du talus continental, s'infléchit et se divise en deux parties en prenant une orientation nord à nord ouest. La partie inférieure plus rapide passe au sud des îles de Tobago et de Grenade. La partie supérieure, plus large, transporte les eaux de surface marines en passant au nord, entre Saint-Vincent et les Grenadines pour atteindre les autres îles de Antilles. À l'ouest de la Guadeloupe et de la Dominique apparaissent des circulations fermées.

Le dernier type, couple C32, se différencie du cas précédent par l'arrivée d'eaux de surface marines provenant d'une zone géographique relativement large située entre -60 à $-55^\circ E$, dans le cadran inférieur droit de la Figure 4. Elles sont transportées par un courant ayant une forte composante méridionale qui se divise en trois vers $11^\circ N$. Les eaux de surface marines traversent les Antilles comme auparavant mais avec des intensités plus marquées, soit des vitesses supérieures à 1.2 m.s^{-1} . De part et d'autres de la branche centrale coexistent deux branches quasi parallèles et méridionales situées à l'Est et à l'Ouest des îles. La branche centrale rejoint celle de la mer des Caraïbes au niveau du $14^\circ N$.

Enfin, les anneaux dus à la rétroflexion du NBC apparaissent sur les clusters 1,2,4 pour k-means et 4,5 pour CAH. La méthode k-means attribue un centroïde pour le cluster $c=1$, identifiant clairement cette structure juste à l'est de Trinidad. Le cluster 1 de la méthode CAH montre la prédominance jusqu'à $13^\circ N$ du CG.

3.2 Fréquences et tendances

Au delà de leur répartition par classe donnée dans le Tableau 2, les types de circulation décrits dans la partie précédente varient annuellement. Nous avons donc fait la correspondance temporelle entre les clusters trouvés en identifiant les jours communs par cluster et par méthode. Les résultats sont regroupés dans les Tableaux 3 et 4.

En analysant le Tableau 3, nous trouvons que 22 cas (14.3%) d'échouages correspondent au couple ($c=2,4$), 20 cas (13%) pour le couple ($c=3,5$) et 56 cas (36%) pour le couple ($c=5,5$). Ce sont les éléments

TABLE 3 – Correspondance temporelle entre les clusters k-means et CAH avec k=5

		k-means				
		c=1	c=2	c=3	c=4	c=5
CAH	c=1			10		6
	c=2			20		
	c=3	4	6	2	26	
	c=4		22	2		
	c=5					56

du cluster 3 qui amènent le plus de variabilité car ces derniers se répartissent dans les autres clusters des deux méthodes appliquées. La correspondance temporelle indique également une forte proportion d'éléments cluster 4 du kmeans avec ceux du cluster 3 de CAH soit 17% des cas d'échouages. Cette répartition confirme l'existence des trois premiers régimes et met en évidence un nouveau type de circulation océanique.

TABLE 4 – Nombre d'occurrences trimestrielles des motifs spatio-temporels détectés par trimestre.(-) pas d'occurrences.

Couple	JFM	AMJ	JAS	OND
(2,4)	3	19	(-)	(-)
(3,2)	(-)	20	(-)	(-)
(4,3)	15	10	1	(-)
(5,5)	13	2	21	19
Total	31	51	22	19

Lorsqu'ils sont rassemblés par couple, les occurrences d'apparition des circulations par trimestre données dans le Tableau 4 montrent que celles-ci varient en fréquence au cours de l'année. Les éléments du motif C55 se distribuent toute l'année avec un minimum marqué à la période Avril-Mai-Juin (AMJ) et un maximum en Juillet-Août-Septembre (JAS). C'est le seul motif dont les éléments apparaissent uniquement en Octobre-Novembre-Décembre (OND). Par contre, les éléments du motif C32 n'apparaissent que pendant la période AMJ et dans une moindre mesure ceux du motif C24. Les éléments du motif C43 sont observés majoritairement au premier trimestre soit Janvier-Février-Mars (JFM).

3.3 Analyse locale

À l'aide des sorties modèles nous avons regroupé les multitudes de circulations océaniques de surface possibles en quatre grands types afin d'identifier les voies océanographiques utilisées par d'éventuels bancs de sargasses arrivant aux AF.

Dans cette partie nous analyserons le lien entre ces types avec les échouages.

Nous avons simulé un lâcher de Sargasses au plus à 150 km des côtes de la Guadeloupe au sud et à l'est des AF, respectivement entre -62 et $-60,9^\circ E$ et de 15 à $16,5^\circ N$. Nous avons utilisé les types C24, C43 et C55. Ils présentaient une forte récurrence sur une plage temporelle suffisante nous permettant de réaliser

un transport depuis les points sources énumérés auparavant. Les résultats obtenus sont donnés sur les Figures 5, 6, 7.

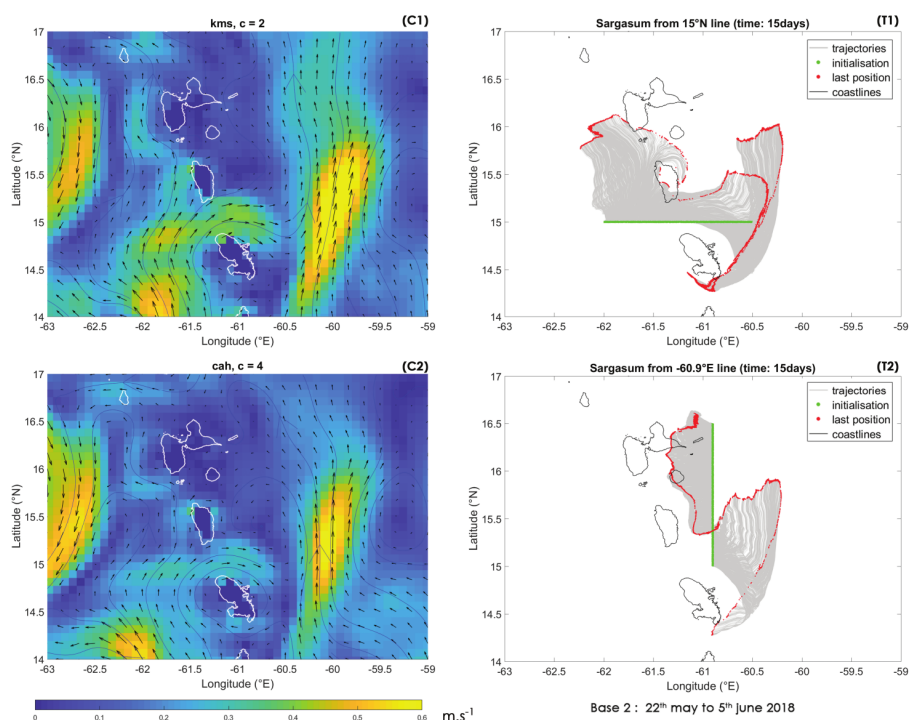


FIGURE 5 – Échouages du 22 mai au 05 juin 2018 pour le couple C24. A gauche, zoom sur les Antilles Françaises. À droite, trajectoires de 5000 particules atteignant le littoral.

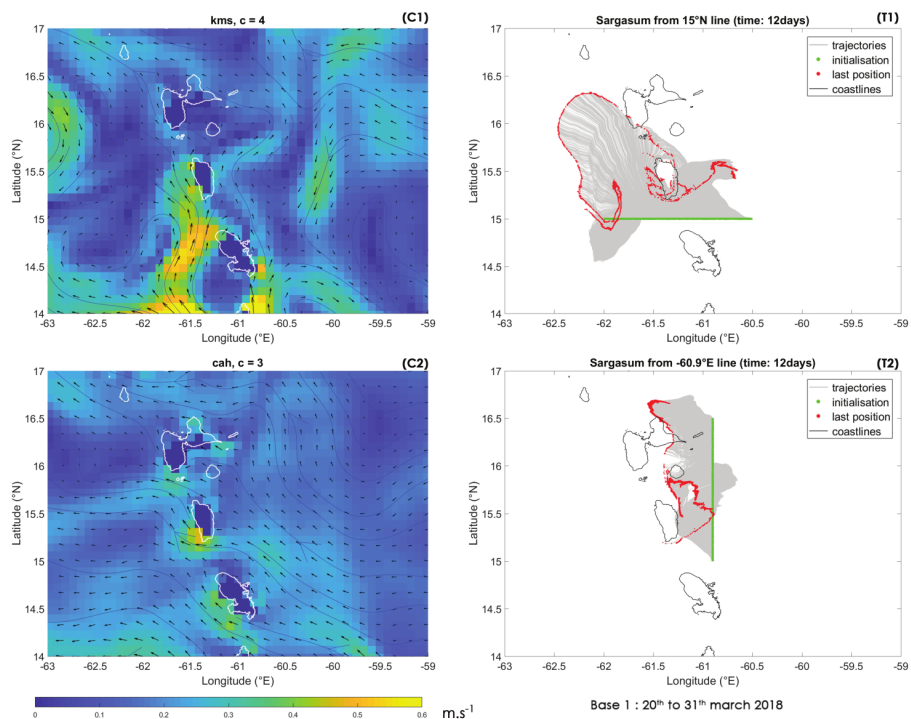


FIGURE 6 – Échouages du 20 au 31 mars 2019 pour le couple C43. A gauche, zoom sur les Antilles Françaises. À droite, trajectoires de 5000 particules atteignant le littoral.

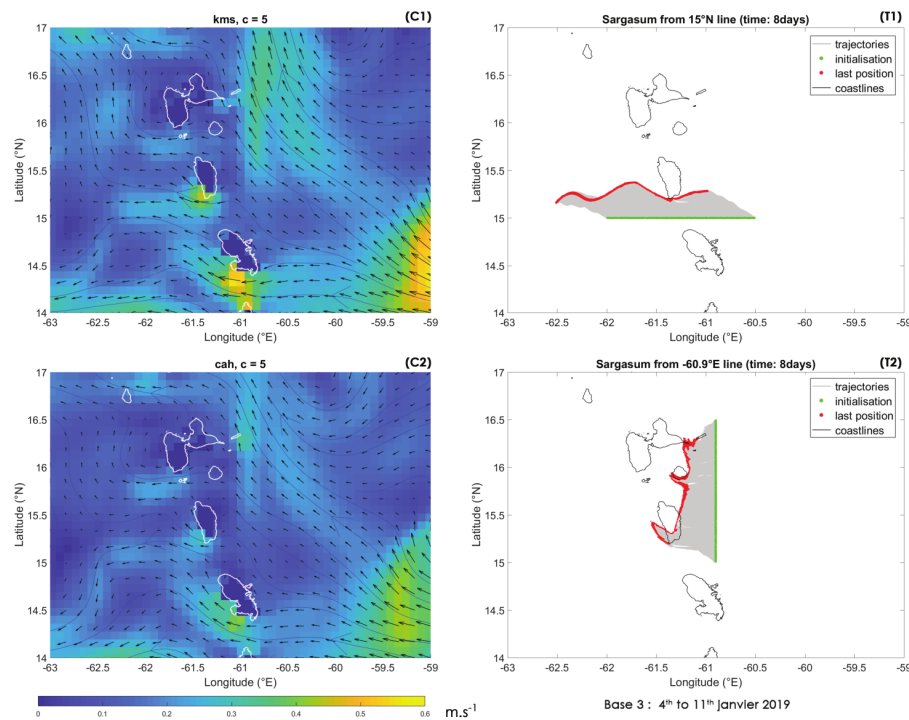


FIGURE 7 – Échouages 4 au 11 janvier 2019 pour le couple C55. A gauche, zoom sur les Antilles Françaises. À droite, trajectoires de 5000 particules atteignant le littoral.

À proximité de la Guadeloupe, nous retrouvons soit :

- des courants de surface, quasi-parallèles aux Antilles, proches des zones côtières et de faibles intensités, se dirigeant vers le nord, côté façade Atlantique. Ils traversent les AF sur toutes leurs largeurs, aussi bien sur les côtes au vent que sous le vent (Fig. 5 et 6). Par contre, dans la mer des Caraïbes, ces courants sont de sens opposé. Les configurations C24 et C43, indiquent des points d'impacts sur la façade est ainsi que de possible intrusions par la pointe sud-est de la Guadeloupe.
- un courant allant vers le Nord-Ouest traversant l'arc, (Fig. 7), sans changer de direction, dont les impacts sont plutôt liés à des bancs qui se situeraient au large, à l'Est de la Guadeloupe.

Les zones d'échouages fournies par ces cartes indiquent des points d'impacts privilégiés qui se localisent sur la face littorale est pour toutes les figures. Il y a de faibles intrusions sur la partie Sud-Ouest, et des possibilités de retournement (Fig. 6). Quant aux lâchers au sud, ils pénètrent en majorité dans la mer des Caraïbes.

4 Discussion et Conclusion

À partir du jeu d'observations de réanalyses Mercator, nous avons identifié par deux méthodes de clustering plusieurs configurations de circulations océaniques de surface, spatialement définies, récurrentes permettant de résumer les courants principaux favorisant le transport et l'échouage de Sargasses sur le littoral des Antilles Françaises. Quatre configurations trouvées sont quasi similaires tandis que deux autres sont différentes.

L'analyse détaillée des types trouvés nous apprend que plusieurs facteurs de variabilité entrent en jeu. Présent le long de la pente continentale américaine, le NBC peut être considéré comme le premier facteur de variabilité observé pour les types de circulation océanique de surface. Au printemps boréal, il circule vers le Nord Ouest en s'étendant sur zone plus ou moins étendue, au large du Venezuela et des Guyanes, alors que le reste de l'année il se sépare des côtes sud-américaines pour se rétrofléchir vers l'est. Ce résultat est confirmé par [19, 20, 28].

L'apparition spatio-temporelle des différentes branches issues du CG permet d'inférer qu'elles constituent le second facteur de variabilité des types de circulation trouvés. Ces branches assurent un transport méridien des eaux de surfaces vers le nord des Caraïbes entraînant les éventuels bancs présents à proximité.

Le troisième facteur s'explique par la circulation persistante et quasi-stationnaire des anneaux de NBC. D'une durée de vie de plusieurs mois, ils sont observés pour les quatre types de clusters "courant de surface" trouvés, mais sont localisés à des latitudes différentes. Ces différences en latitudes laissent suggérer que les Petites Antilles modifient la translation des anneaux NBC, orientée initialement vers le nord-ouest, vers un tracé plus au nord parallèle à l'arc insulaire. Ce constat a été fait par [28]. De plus, l'un des types de circulation trouvé dans nos travaux contient une branche située plus à l'est assurant conjointement un transport méridien supplémentaire des eaux de surface d'origine Sud-Atlantique. Ces deux voies croisent, aux latitudes des AF, la composante sud du flux géostrophique à grande échelle, qui est suffisamment différente pour être capable de favoriser la translation des bancs vers le littoral de ces îles.

Notre attente initiale était de retrouver les types de circulation de surface susceptibles d'être à l'origine des échouages observés sur le littoral des Antilles françaises. Le jeu des réanalyses Mercator qui fournit la description de la circulation quotidienne des couches océaniques de surface a été utilisé. La région située au sud-est des Antilles orientales a été choisie pour son rôle important dans le transport des eaux de surface du sud atlantique vers les Caraïbes. Ces eaux marines contiennent une grande partie des bancs de sargasses qui s'échouent sur les Antilles. La forte variabilité spatio-temporelle de cette région océanique a pu être résumée par un nombre fini de type de circulation océanique de surface. Nous avons établi les premiers liens entre ces types et les impacts comme les échouages sur le littoral. Par des algorithmes de clustering, nous avons donc suscité l'intérêt de développer et de tester des méthodes alternatives pour trouver des processus d'aide à la décision rapides. Les résultats présentés sont une première partie de notre travail qui pour objectif global de proposer des outils potentiels permettant d'indiquer les conditions favorables aux échouages voire de les anticiper.

Références

- [1] J. Gower, E. Young, S. King, Satellite images suggest a new Sargassum source region in 2011 *Remote Sensing Lett*, 4 (8) (2013) 764–773.
- [2] Hu, C. et al., 2016. Sargassum Watch warns of incoming seaweed. *EOS, Earth and Space Science News*, 15 (2016) 10–15.
- [3] J.-P. Marechal, C. Hellio, C. Hu, A simple, fast, and reliable method to predict Sargassum washing ashore in the Lesser Antilles, *Remote Sens. Appl. : Soc. Environ.*, 5 (2017) 54-63.
- [4] T. Florenne, F. Guerber, F. Colas-Belcour, Le phénomène d'échouage des sargasses dans les Antilles et en Guyane, Ministère de l'environnement de l'énergie et de la mer. n° 010345-01 (2016) 406 pages.
- [5] M. Wang, C. Hu, Mapping and quantifying Sargassum distribution and coverage in the Central West Atlantic using MODIS observations *Remote Sens. Environ.*, 183 (2016) 350–367.
- [6] M. Wang, C. Hu, Predicting Sargassum blooms in the Caribbean Sea from MODIS observations *Geophys. Res. Lett.*, 44 (7) (2017) 3265–3273.
- [7] Coston-Clements, L., Settle, L.R., Hoss, D.E., Cross, F.A., Utilization of the Sargassum habitat by marine invertebrates and vertebrates – a review. NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC-296, 1991.
- [8] B. Witherington, S. Hiram, R. Hardy Young sea turtles of the pelagic Sargassum-dominated drift community : habitat use, population density, and threats, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 463 (2012), pp. 1-22.
- [9] R.J.D. Wells, J.R. Rooker Spatial and temporal habitat use by fishes associated with Sargassum mats in the NW Gulf of Mexico, *Bull. Mar. Sci.* 74 (2004) 81–99.
- [10] A.S. Maurer, E. De Neef, S. Stapleton, Sargassum accumulation may spell trouble for nesting sea turtles, *Frontiers in Ecology and the Environment* 13 (7) (2015) 394-395.
- [11] B. Gavio, A. Santos-Martinez, Floating Sargassum in Serranilla Bank, Caribbean Colombia, may jeopardize the race to the ocean of baby sea turtles, *Acta Biologica Colombiana*, 23(3) (2018) 311–314.
- [12] Expositions aux émanations d'algues sargasses en décomposition aux Antilles et en Guyane, Rapport d'expertise collective, Agence nationale de sécurité sanitaire alimentation, environnement, travail (ANSES) (2017) 135 pages.
- [13] HCSP, Avis relatif à la définition de mesures de gestion concernant l'exposition des populations antillaises à de l'ammoniac (NH_3) et du sulfure d'hydrogène (H_2S) issus de la décomposition d'algues Sargasses Haut Conseil de la santé publique (2018) 22 pages.
- [14] J.F.R. Gower, S.A. Roi Distribution of floating Sargassum in the Gulf of Mexico and the Atlantic Ocean mapped using MERIS *Int. J. Remote Sens.*, 32 (2011) 1917-1929.
- [15] C. Hu A novel ocean color index to detect floating algae in the global oceans *Remote Sens. Environ.*, 113 (2009), 2118-2129.
- [16] C.Hu, L. Feng, R. F. Hardy, E. J. Hochberg Spectral and spatial requirements of remote measurements of pelagic Sargassum macro algae. *Remote Sens. Environ.* 167 (2015) 229–246.
- [17] N.F. Putman, G.J. Goni, L.J. Gramer, C. Hu, E. M. Johns, J. Trinanes, M. Wang, Simulating transport pathways of pelagic Sargassum from the Equatorial Atlantic into the Caribbean Sea, *Progress in Oceanography*, 165 (2018) 205–214.

- [18] J.S. Franks, D.R. Johnson, D.S. Ko, Pelagic Sargassum in the tropical North Atlantic Gulf Caribbean Res., 27 (2016), p. SC6-11.
- [19] D. M. Fratantoni, D. A. Glickson, North Brazil Current Ring Generation and Evolution Observed with SeaWiFS *Journal of Physical Oceanography* 3(32) (2002) 1058–1074
- [20] D. M. Fratantoni, P. L. Richardson, The Evolution and Demise of North Brazil Current Rings, *Journal of Physical Oceanography* 7 (36) (2006) 1241–1264.
- [21] J.-L. Mélice, S. Arnault Investigation of the Intra-Annual Variability of the North Equatorial Countercurrent/North Brazil Current Eddies and of the Instability Waves of the North Tropical Atlantic Ocean Using Satellite Altimetry and Empirical Mode Decomposition *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 10 (34) (2017) 2295–2310
- [22] P. Michelangeli, R. Vautard, B. Legras, Weather regime occurrence and quasi stationarity, *Nature* 333, (1988) 56–59.
- [23] C. Cassou, L. Terray, J.W. Hurrell, C. Deser, North Atlantic winter climate regimes : spatial asymmetry, stationarity with time and oceanic forcing, *J. Climate*, 17, (2004) 1055–1068.
- [24] J. Boé, L. Terray, Régimes de temps et désagrégation d'échelle, *La houille blanche*, 2 (2008) 45–51.
- [25] NEMO ocean engine, Note du pôle de modélisation de l'institut Pierre Simon Laplace, Janvier (2016) 396 pages.
- [26] Lellouche J.M., Greiner E., Le Galloudec O., Garric G., Regnier C., Drevillon M., Benkiran M., Testut C.E., Bourdalle-Badie R., Gasparin F., Hernandez O., Levier B., Drillet Y., Remy E., Le Traon P.Y. Dernières mises à jour sur la surveillance mondiale Marine Service Copernic de l'océan et la prévision en temps réel 1/12 système haute résolution, *Ocean Sci. Discuss.*, (2018) pp. 1-70.
- [27] F. Gasparin, E. Greiner, J.-M. Lellouche, O. Legalloudec, G. Garric, Y. Drillet, R. Bourdallé-Badie, P.-Y. Le Traon, E. Rémy, M. Drévillon, A large-scale view of oceanic variability from 2007 to 2015 in the global high resolution monitoring and forecasting system at Mercator Océan, *Journal of Marine Systems*, 187 (2018) 260–276,
- [28] K. Jochumsen, M. Rhein, S. Hüttl-Kabus, C. W. Böning, On the propagation and decay of North Brazil Current rings, *J. Geophys. Res.*, 115, (2010) C10004.