

**THESE POUR LE DIPLOME D'ETAT
DE DOCTEUR EN PHARMACIE**

**Soutenue publiquement le 19 septembre 2022
Par M. PONT Alexander**

**Sargasses en Guadeloupe : Bilan des
connaissances et enquête de perception**

Membres du jury :

Président, Directeur, conseiller de thèse :

Monsieur le Professeur Damien Cuny, Professeur des Universités en Sciences végétales et fongiques, Faculté de Pharmacie, Université de Lille.

Assesseurs :

Monsieur le Professeur Régis Courtecuisse, Professeur des Universités en Sciences végétales et fongiques, Faculté de Pharmacie, Université de Lille

Monsieur le Docteur Brice Voluer, Pharmacien titulaire, Pharmacie Voluer à Aulnoye-Aymeries

Faculté de Pharmacie de Lille
3 Rue du Professeur Laguesse – 59000 Lille
03 20 96 40 40
<https://pharmacie.univ-lille.fr>

Université de Lille

Président
 Premier Vice-président
 Vice-présidente Formation
 Vice-président Recherche
 Vice-présidente Réseaux internationaux et européens
 Vice-président Ressources humaines
 Directrice Générale des Services

Régis BORDET
 Etienne PEYRAT
 Christel BEAUCOURT
 Olivier COLOT
 Kathleen O'CONNOR
 Jérôme FONCEL
 Marie-Dominique SAVINA

UFR3S

Doyen
 Premier Vice-Doyen
 Vice-Doyen Recherche
 Vice-Doyen Finances et Patrimoine
 Vice-Doyen Coordination pluriprofessionnelle et Formations sanitaires
 Vice-Doyen RH, SI et Qualité
 Vice-Doyenne Formation tout au long de la vie
 Vice-Doyen Territoires-Partenariats
 Vice-Doyenne Vie de Campus
 Vice-Doyen International et Communication
 Vice-Doyen étudiant

Dominique LACROIX
 Guillaume PENEL
 Éric BOULANGER
 Damien CUNY
 Sébastien D'HARANCY
 Hervé HUBERT
 Caroline LANIER
 Thomas MORGENROTH
 Claire PINÇON
 Vincent SOBANSKI
 Dorian QUINZAIN

Faculté de Pharmacie

Doyen
 Premier Assesseur et Assesseur en charge des études
 Assesseur aux Ressources et Personnels
 Assesseur à la Santé et à l'Accompagnement
 Assesseur à la Vie de la Faculté
 Responsable des Services
 Représentant étudiant

Delphine ALLORGE
 Benjamin BERTIN
 Stéphanie DELBAERE
 Anne GARAT
 Emmanuelle LIPKA
 Cyrille PORTA
 Honoré GUISE

Professeurs des Universités - Praticiens Hospitaliers (PU-PH)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
Mme	ALLORGE	Delphine	Toxicologie et Santé publique	81
M.	BROUSSEAU	Thierry	Biochimie	82
M.	DÉCAUDIN	Bertrand	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	81

M.	DINE	Thierry	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	81
Mme	DUPONT-PRADO	Annabelle	Hématologie	82
Mme	GOFFARD	Anne	Bactériologie - Virologie	82
M.	GRESSIER	Bernard	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	81
M.	ODOU	Pascal	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	80
Mme	POULAIN	Stéphanie	Hématologie	82
M.	SIMON	Nicolas	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	81
M.	STAELS	Bart	Biologie cellulaire	82

Professeurs des Universités (PU)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
M.	ALIOUAT	El Moukhtar	Parasitologie - Biologie animale	87
Mme	AZAROUAL	Nathalie	Biophysique - RMN	85
M.	BLANCHEMAIN	Nicolas	Pharmacotechnie industrielle	85
M.	CARNOY	Christophe	Immunologie	87
M.	CAZIN	Jean-Louis	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	86
M.	CHAVATTE	Philippe	Institut de Chimie Pharmaceutique Albert Lespagnol	86
M.	COURTECUISSÉ	Régis	Sciences végétales et fongiques	87
M.	CUNY	Damien	Sciences végétales et fongiques	87
Mme	DELBAERE	Stéphanie	Biophysique - RMN	85
Mme	DEPREZ	Rebecca	Chimie thérapeutique	86
M.	DEPREZ	Benoît	Chimie bioinorganique	85
M.	DUPONT	Frédéric	Sciences végétales et fongiques	87
M.	DURIEZ	Patrick	Physiologie	86
M.	ELATI	Mohamed	Biomathématiques	27
M.	FOLIGNÉ	Benoît	Bactériologie - Virologie	87
Mme	FOULON	Catherine	Chimie analytique	85
M.	GARÇON	Guillaume	Toxicologie et Santé publique	86

M.	GOOSSENS	Jean-François	Chimie analytique	85
M.	HENNEBELLE	Thierry	Pharmacognosie	86
M.	LEBEGUE	Nicolas	Chimie thérapeutique	86
M.	LEMDANI	Mohamed	Biomathématiques	26
Mme	LESTAVEL	Sophie	Biologie cellulaire	87
Mme	LESTRELIN	Réjane	Biologie cellulaire	87
Mme	MELNYK	Patricia	Chimie physique	85
M.	MILLET	Régis	Institut de Chimie Pharmaceutique Albert Lespagnol	86
Mme	MUHR-TAILLEUX	Anne	Biochimie	87
Mme	PERROY	Anne-Catherine	Droit et Economie pharmaceutique	86
Mme	ROMOND	Marie-Bénédicte	Bactériologie - Virologie	87
Mme	SAHPAZ	Sevser	Pharmacognosie	86
M.	SERGHERAERT	Éric	Droit et Economie pharmaceutique	86
M.	SIEPMANN	Juergen	Pharmacotechnie industrielle	85
Mme	SIEPMANN	Florence	Pharmacotechnie industrielle	85
M.	WILLAND	Nicolas	Chimie organique	86

Maîtres de Conférences - Praticiens Hospitaliers (MCU-PH)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
M.	BLONDIAUX	Nicolas	Bactériologie - Virologie	82
Mme	DEMARET	Julie	Immunologie	82
Mme	GARAT	Anne	Toxicologie et Santé publique	81
Mme	GENAY	Stéphanie	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	81
M.	LANNOY	Damien	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	80
Mme	ODOU	Marie-Françoise	Bactériologie - Virologie	82

Maîtres de Conférences des Universités (MCU)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
M.	AGOURIDAS	Laurence	Chimie thérapeutique	85
Mme	ALIOUAT	Cécile-Marie	Parasitologie - Biologie animale	87

M.	ANTHÉRIEU	Sébastien	Toxicologie et Santé publique	86
Mme	AUMERCIER	Pierrette	Biochimie	87
M.	BANTUBUNGI-BLUM	Kadiombo	Biologie cellulaire	87
Mme	BARTHELEMY	Christine	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	85
Mme	BEHRA	Josette	Bactériologie - Virologie	87
M.	BELARBI	Karim-Ali	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	86
M.	BERTHET	Jérôme	Biophysique - RMN	85
M.	BERTIN	Benjamin	Immunologie	87
M.	BOCHU	Christophe	Biophysique - RMN	85
M.	BORDAGE	Simon	Pharmacognosie	86
M.	BOSC	Damien	Chimie thérapeutique	86
M.	BRIAND	Olivier	Biochimie	87
Mme	CARON-HOUDE	Sandrine	Biologie cellulaire	87
Mme	CARRIÉ	Hélène	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	86
Mme	CHABÉ	Magali	Parasitologie - Biologie animale	87
Mme	CHARTON	Julie	Chimie organique	86
M.	CHEVALIER	Dany	Toxicologie et Santé publique	86
Mme	DANEL	Cécile	Chimie analytique	85
Mme	DEMANCHE	Christine	Parasitologie - Biologie animale	87
Mme	DEMARQUILLY	Catherine	Biomathématiques	85
M.	DHIFLI	Wajdi	Biomathématiques	27
Mme	DUMONT	Julie	Biologie cellulaire	87
M.	EL BAKALI	Jamal	Chimie thérapeutique	86
M.	FARCE	Amaury	Institut de Chimie Pharmaceutique Albert Lespagnol	86
M.	FLIPO	Marion	Chimie organique	86
M.	FURMAN	Christophe	Institut de Chimie Pharmaceutique Albert Lespagnol	86
M.	GERVOIS	Philippe	Biochimie	87
Mme	GOOSSENS	Laurence	Institut de Chimie Pharmaceutique Albert Lespagnol	86

Mme	GRAVE	Béatrice	Toxicologie et Santé publique	86
Mme	GROSS	Barbara	Biochimie	87
M.	HAMONIER	Julien	Biomathématiques	26
Mme	HAMOUDI-BEN YELLES	Chérifa-Mounira	Pharmacotechnie industrielle	85
Mme	HANNOTHIAUX	Marie-Hélène	Toxicologie et Santé publique	86
Mme	HELLEBOID	Audrey	Physiologie	86
M.	HERMANN	Emmanuel	Immunologie	87
M.	KAMBIA KPAKPAGA	Nicolas	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	86
M.	KARROUT	Younes	Pharmacotechnie industrielle	85
Mme	LALLOYER	Fanny	Biochimie	87
Mme	LECOEUR	Marie	Chimie analytique	85
Mme	LEHMANN	Hélène	Droit et Economie pharmaceutique	86
Mme	LELEU	Natascha	Institut de Chimie Pharmaceutique Albert Lespagnol	86
Mme	LIPKA	Emmanuelle	Chimie analytique	85
Mme	LOINGEVILLE	Florence	Biomathématiques	26
Mme	MARTIN	Françoise	Physiologie	86
M.	MOREAU	Pierre-Arthur	Sciences végétales et fongiques	87
M.	MORGENROTH	Thomas	Droit et Economie pharmaceutique	86
Mme	MUSCHERT	Susanne	Pharmacotechnie industrielle	85
Mme	NIKASINOVIC	Lydia	Toxicologie et Santé publique	86
Mme	PINÇON	Claire	Biomathématiques	85
M.	PIVA	Frank	Biochimie	85
Mme	PLATEL	Anne	Toxicologie et Santé publique	86
M.	POURCET	Benoît	Biochimie	87
M.	RAVAUX	Pierre	Biomathématiques / Innovations pédagogiques	85
Mme	RAVEZ	Séverine	Chimie thérapeutique	86
Mme	RIVIÈRE	Céline	Pharmacognosie	86
M.	ROUMY	Vincent	Pharmacognosie	86

Mme	SEBTI	Yasmine	Biochimie	87
Mme	SINGER	Elisabeth	Bactériologie - Virologie	87
Mme	STANDAERT	Annie	Parasitologie - Biologie animale	87
M.	TAGZIRT	Madjid	Hématologie	87
M.	VILLEMAGNE	Baptiste	Chimie organique	86
M.	WELTI	Stéphane	Sciences végétales et fongiques	87
M.	YOUS	Saïd	Chimie thérapeutique	86
M.	ZITOUNI	Djamel	Biomathématiques	85

Professeurs certifiés

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement
Mme	FAUQUANT	Soline	Anglais
M.	HUGES	Dominique	Anglais
M.	OSTYN	Gaël	Anglais

Professeurs Associés

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
M.	DAO PHAN	Haï Pascal	Chimie thérapeutique	86
M.	DHANANI	Alban	Droit et Economie pharmaceutique	86

Maîtres de Conférences Associés

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
Mme	CUCCHI	Malgorzata	Biomathématiques	85
M.	DUFOSSEZ	François	Biomathématiques	85
M.	FRIMAT	Bruno	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	85
M.	GILLOT	François	Droit et Economie pharmaceutique	86
M.	MASCAUT	Daniel	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	86
M.	MITOUMBA	Fabrice	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	86
M.	PELLETIER	Franck	Droit et Economie pharmaceutique	86
M.	ZANETTI	Sébastien	Biomathématiques	85

Assistants Hospitalo-Universitaire (AHU)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
Mme	CUVELIER	Élodie	Pharmacologie, Pharmacocinétique et Pharmacie clinique	81
M.	GRZYCH	Guillaume	Biochimie	82
Mme	LENSKI	Marie	Toxicologie et Santé publique	81
Mme	HENRY	Héloïse	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	80
Mme	MASSE	Morgane	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière	81

Attachés Temporaires d'Enseignement et de Recherche (ATER)

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement	Section CNU
Mme	GEORGE	Fanny	Bactériologie - Virologie / Immunologie	87
Mme	N'GUESSAN	Cécilia	Parasitologie - Biologie animale	87
M.	RUEZ	Richard	Hématologie	87
M.	SAIED	Tarak	Biophysique - RMN	85
M.	SIEROCKI	Pierre	Chimie bioinorganique	85

Enseignant contractuel

Civ.	Nom	Prénom	Service d'enseignement
M.	MARTIN MENA	Anthony	Biopharmacie, Pharmacie galénique et hospitalière

Faculté de Pharmacie de Lille

3, rue du Professeur Laguesse - B.P. 83 - 59006 LILLE CEDEX
Tel. : 03.20.96.40.40 - Télécopie : 03.20.96.43.64
<http://pharmacie.univ-lille2.fr>

L'Université n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les thèses ; celles-ci sont propres à leurs auteurs.

Remerciements

À Monsieur le Professeur Damien Cuny, pour avoir accepté de diriger ce travail et pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury de cette thèse. Je vous remercie également d'avoir pris le temps de corriger ce travail et de m'avoir apporté de précieux conseils.

À Monsieur le Professeur Régis Courtecuisse, pour avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse, c'est un honneur pour moi de vous avoir parmi les membres du jury.

À Monsieur Brice Voluer, pour avoir accepté que je me forme au sein de ton équipe et en me faisant l'honneur de siéger dans ce jury.

À toute l'équipe de la pharmacie Voluer, pour m'avoir si bien accueillie. Je vous remercie pour toutes les connaissances et la bonne humeur que vous m'avez fait partager.

À mes parents, mon frère et le reste de ma famille, que je remercie pour avoir été présents tout au long de mes études et pour tout ce que vous avez fait pour moi.

À Clémence, pour m'avoir encouragée durant ce travail et pour ton aide précieuse à la réalisation de cette thèse

À mes amis de promo, Benjamin, Maxstane, Alexis, Lionel, Xavier, Geoffrey pour tous les souvenirs inoubliables.

À mes binômes de TP, Solène et Élise, même si on a rarement été rapide, on a toujours fini par s'en sortir.

Table des matières

Liste des Abréviations.....	12
Introduction	13
Partie I : Bilan des connaissances sur les sargasses à l'origine des échouages.....	15
A. Un peu d'histoire.....	15
B. Les premières hypothèses à propos des échouages	16
C. Les caractéristiques des sargasses	17
1. La position taxinomique	17
2. Les pigments présents dans les sargasses.....	18
3. Les caractéristiques de Sargassum fluitans et Sargassum natans	19
D. Localisations habituelles des sargasses avant 2011.....	21
E. Les origine(s) des sargasses invasives.....	23
1. Une origine en Atlantique Équatorial.....	23
2. Anomalie des courants aériens et marins en 2009-2010	24
3. Analyses numériques et suivis de bouées avec la possibilité d'une origine des sargasses plus lointaine.....	28
4. Prise de sargasses dans les filets.....	32
5. Synthèse des théories pour les déplacements de sargasses en Atlantique.....	33
F. Influences des saisons et éléments extérieurs.....	35
1. La zone de convergence inter-tropicale.....	35
2. L'impact de la brume de sable provenant du Sahara.....	36
3. Les variations de la température de l'eau.....	37
4. Les variations des rejets fluviaux et les charges en nutriments.....	39
5. Les variations des concentrations de nutriments en plein océan.....	40
6. Influence de la couche de mélange océanique (Mixed layer).....	42
G. Proportions des différentes sargasses en fonction de la localisation	43
Partie II : Composition chimique des sargasses et toxicité.....	46
A. La composition des sargasses.....	46
1. Les minéraux.....	46
2. Les métaux lourds.....	47
3. Les concentrations en glucides.....	49
4. Les protéines.....	51
5. Les lipides.....	51

6. Les polyphénols	51
B. L'impact des composés lors des échouages.....	51
1. Phénomène de décomposition et d'émissions gazeuses	51
2. Mesures des émissions gazeuses.....	52
3. Mesures de composés sur un site de dépôt de sargasses	56
C. Toxicologie des différents éléments	57
1. Composés impactant l'air.....	57
2. Composés impactant les sols et l'eau.....	59
Partie III : Conséquences des échouages de sargasse sur la vie des Guadeloupéens.....	62
A. Des répercussions dans de nombreux domaines.....	62
1. Les impacts sur la santé.....	62
2. Impacts sur les biens.....	63
3. Conséquences pour les professionnels ayant une activité en mer	63
4. Professionnels ayant une activité dans le tourisme et la restauration.....	64
5. Conséquences sur la scolarité.....	67
6. Conséquences pour l'environnement.....	67
B. Moyens mis en œuvre pour lutter contre les nuisances.....	70
1. Au niveau local.....	70
2. Au niveau national.....	70
3. Le ramassage des sargasses.....	71
C. La valorisation des sargasses.....	75
D. Questionnaire.....	76
Conclusion	98
Références bibliographiques	99
Annexes.....	108

Liste des Abréviations

MERIS : MEdium Resolution Imaging Spectrometer

MODIS : Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

NERR : North Equatorial Recirculation Region

NAO : North Atlantic Oscillation

CC : Canary Current – Courant des Canaries

NEC : North Equatorial Current – Courant Nord Équatorial

NBCR : North Brazil Current Retroflexion – Rétroflexion du Courant Nord-Brésilien

NECC : North Equatorial Counter Current – Contre-courant Nord Équatorial

SEC : South Equatorial Current – Courant Sud Équatorial

HYCOM : Hybrid Coordinate Ocean Model

ZCIT : Zone de Convergence Inter-Tropicale

CEVA : Centre d'étude et de Valorisation des Algues

MLD : Mixed Layer Depth

CSHPF : Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France

ARS : Agence Régionale de Santé

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

BASOL : Base de données de sites et sols pollués

INRS : Institut National de Recherche et de Sécurité

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

DL 50 : Dose létale médiane

CCIIG : Chambre de Commerce et d'Industrie des Îles de Guadeloupe

DEAL : Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

INSEE : Institut National de la Statistique et Études Économiques

Introduction

Été 2011, les Caraïbes subissent pour la première fois une invasion massive d'algues, elles sont de couleur or-brun et on les nomme sargasse. Une grande partie des îles des Antilles se retrouvent envahies par ces algues marines et les différents départements d'outre mer (à savoir les îles de Guadeloupe, de Martinique, de Saint-Martin et Saint-Barthélemy) dans cette zone ne sont pas épargnés.

Ce phénomène n'est pas sans rappeler les échouages d'algues vertes en Bretagne qui se manifestent depuis une quarantaine d'années. Cela a notamment été mis en avant dans l'actualité en 2009 avec un cavalier retrouvé inconscient et du décès de son cheval.

Étant donné que le phénomène était assez inédit à l'époque, les différents risques pour la santé et pour l'environnement avoisinant n'étaient pas réellement connus. De plus, ce phénomène va revenir de façon récurrente les années suivantes jusqu'à aujourd'hui encore, avec des saisons plus intenses que d'autres. Les populations touchées sont donc obligées de vivre avec ce phénomène naturel.

Les algues s'accumulent facilement sur le bord des plages et des littoraux, rendant ceux-ci peu praticables. Dans cette situation, elles peuvent produire des émanations gazeuses très odorantes gênant les habitants vivant à proximité de ces arrivages. Des inquiétudes sont donc rapidement apparues au sein de la population des Caraïbes. Et avec ce phénomène devenu cyclique d'autres questions se sont posées sur les propriétés toxiques des échouages de ces sargasses à long terme.

Différentes recherches ont été entreprises pour trouver l'origine de ces invasions d'algues. L'objectif étant de mieux comprendre d'où elles viennent et de savoir si c'est possible de prédire les intensités des échouages dans les mois ou années à venir.

D'autres études ont également cherché à savoir si leurs compositions peuvent être nocives ou à l'inverse savoir s'il est possible d'en tirer un avantage.

Cela fait maintenant 10 ans que ces algues font partie de façon irrégulière du quotidien de certaines populations ultramarines, impactant leur santé et leurs biens mais également en les perturbant dans leurs activités professionnelles ou de loisirs.

L'objectif de cette thèse est de faire dans un premier point, un bilan actuel des connaissances sur ces sargasses.

Nous présenterons les espèces impliquées, expliquerons d'où elles viennent et mettrons en avant les différentes hypothèses qui cherchent à expliquer leurs arrivées massives dans les Caraïbes. Nous détaillerons par la suite sur les différentes variables environnementales liées de près ou de loin par l'activité humaine qui pourraient impacter leur croissance.

Par la suite, nous analyserons la composition de ces algues mais également les composés relâchés lors de leur décomposition.

La présence de différents composés dans l'environnement (dans l'air ou sur terre) en Guadeloupe sera détaillée grâce aux résultats des différentes mesures faites par les autorités sur place.

Pour terminer, nous aborderons l'impact de ses algues dans la vie des habitants de Guadeloupe dans différents domaines tels que la santé, les biens matériels, les activités professionnelles et de loisirs, la scolarité et l'environnement. Pour illustrer cet impact sur la population Guadeloupéenne, un questionnaire a été réalisé et dont les différentes réponses montrant le ressenti de la population envers ces algues seront présentées.

Partie I : Bilan des connaissances sur les sargasses à l'origine des échouages

A. Un peu d'histoire

Depuis quelques années nous entendons vraiment parler de cette algue brune qui s'échoue massivement le long des plages des Caraïbes, du Mexique et du sud-est des états unis. Elle existe cependant depuis très longtemps dans le bassin atlantique. En effet, des traces de rencontre avec des algues dont les sargasses ont été retrouvées dans les recueils de Christophe Colomb lors de son premier voyage vers l'Amérique. Celui-ci en voyant ces amas d'algues pensait que c'était un signe annonciateur d'une terre à proximité. *« Ce jour-là, les marins commencèrent à voir de grands amas d'herbe verte. [...] En voyant de loin toutes ces herbes flottantes, ils avaient peur de rencontrer des rochers ou des terres recouvertes par la mer. »* (1)



Figure 1 : Carte du premier voyage de C. Colomb : Août 1492 / Mars 1493 (1)

La présence de sargasse en Atlantique n'est donc pas nouvelle. Elles sont même étudiées depuis les années 1830 et cela a, par la suite, abouti à nommer cette partie de l'océan Atlantique « Mer des Sargasses » qui vient du mot « Sargazo » voulant dire « Varech ».

De nombreuses rencontres entre ces algues et les marins naviguant dans ces eaux ont été reportées au XIX^{ème} siècle. Certains marins à cette époque supposaient même que la présence des sargasses à cet endroit était due au Gulf Stream ramenant les sargasses du golfe du Mexique.

Les sargasses ont été pour la première fois observées par images satellitaires entre 2004 et 2005 avec l'aide des systèmes MERIS (MEdium Resolution Imaging Spectrometer) et MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). Ces deux instruments peuvent détecter les bandes spectrales entre 670 et 750nm permettant notamment d'observer le red-edge de la chlorophylle qui est une caractéristique de la végétation marine et terrestre. (2). Ces algues sont également présentes depuis très longtemps dans le golfe du Mexique. Leurs déplacements et localisations sont connus et analysés depuis le début des années 2000 notamment grâce aux données fournies par satellite et le système MERIS. (3)

Ces analyses confirment les hypothèses des marins de l'époque en montrant un lien étroit entre le golfe du Mexique et la Mer des sargasses pour le développement et la vie des sargasses. Le nom de « système golfe du Mexique – Mer des Sargasses » est même utilisé. Des échouages massifs ont déjà été observés dans ce système avec des variations d'intensité en fonction des années. Suite à des études de Lapointe (1995) et Smetacek et Zingone (2013), ces variations seraient corrélées avec les apports en sels nutritifs du fleuve Mississippi. (4)

Mais alors pourquoi voyons nous seulement depuis peu des échouages aussi massifs dans les Caraïbes ?

B. Les premières hypothèses à propos des échouages

En 2011, lors des premiers échouages, plusieurs hypothèses ont vu le jour : La première étant une modification des courants marins menant les sargasses de la mer des Sargasses vers l'arc Antillais.

La seconde supposant l'impact des dispersants utilisés lors de l'explosion de la plateforme pétrolière Deepwater Horizon en 2010 qui auraient eu un rôle de fertilisant pour les sargasses.

La dernière montrant la présence d'une nouvelle région de développement de sargasses.

Par la suite, l'hypothèse mettant en cause les dispersants a été mise de côté puisque finalement le pétrole et le dispersant utilisé (Corexit 9500A) avaient un effet négatif sur les sargasses selon Powers et al. (2013).

L'hypothèse avançant que les algues responsables venaient directement de la « mer des Sargasses » a également été mise de côté. Selon Johnson et al. (2012), elles viendraient d'un endroit bien plus au sud, une « nouvelle mer des sargasses » localisée dans l'Atlantique Équatorial, la NERR (North Equatorial Recirculation Region) ; confortant ainsi la troisième hypothèse. Récemment une nouvelle étude (John et al. 2020), a mis en évidence que cette nouvelle mer n'était peut être pas totalement indépendante de la mer des sargasses.

Il serait intéressant de savoir pourquoi une augmentation de la quantité de sargasse dans cette zone est visible et pourquoi ces masses de sargasses sont variables avec des concentrations plus ou moins fortes en fonction des années ?

Il existe plusieurs hypothèses pour tenter de répondre à ces questions. Tout d'abord le rôle de la déforestation en Amazonie avec conjointement une augmentation de l'utilisation des engrais. Les deux phénomènes causant ainsi une augmentation des nutriments charriés par le fleuve Amazone. Mais aussi d'un apport augmenté de nutriments au niveau des rivières Congo et Orénoque. Ensuite le phénomène d'upwelling est également mis en cause, il ferait remonter des nutriments permettant le développement des sargasses. Enfin, une augmentation anormale de la température de l'eau en 2010 ou encore le sable du Sahara apportant en mer des concentrations en fer et phosphore permettraient aussi le développement de ces algues. (4)

C. Les caractéristiques des sargasses

1. La position taxinomique (5 - 10)

Les sargasses sont dans le groupe des algues brunes et possèdent comme les algues vertes et rouges un vrai noyau dans leurs cellules. Ce sont donc des eucaryotes contrairement aux algues bleues (Cyanobactéries) qui sont des procaryotes.

Selon l'ancienne nomenclature, elles faisaient partie des métaphytes, regroupant les organismes pluricellulaires. Elles sont retrouvées comme algues dans la catégorie des thallophytes qui regroupe également les champignons et les lichens. Elles n'ont ni racine, ni tige, ni feuille, il s'agit d'un appareil végétatif simple ou encore un thalle, donc sans différenciation de tissus et d'organes.

Selon la nomenclature la plus récente, il existe une lignée dite brune ou encore appelé règne des chromistes (compris dans le taxon des chromalveolata : chromiste + alvéolés), les algues vertes et rouges appartiennent quant à elles, au règne des Plantae. Dans cette lignée brune, les sargasses font partie de l'embranchement des Onchrophytes (algues brunes-dorée) et se trouvent dans la classe des Phaeophyceae ou algues brunes. Elles utilisent comme pigment collecteur de lumière de la chlorophylle A et C et des caroténoïdes. Elles font partie de l'ordre des fucales et de la famille des Sargassaceae. Cette dernière représente près de 92% des espèces connues au sein de cet ordre. Parmi les sargasses, deux espèces nous intéressent, *Sargassum fluitans* et *Sargassum natans*. Ce sont elles qui sont responsables des différents problèmes rencontrés ces 10 dernières années. Elles sont pélagiques (présentes en pleine mer) sur la totalité de leur cycle de vie contrairement à la majorité des autres sargasses qui sont dans les zones benthiques (présentes dans les fonds marins).

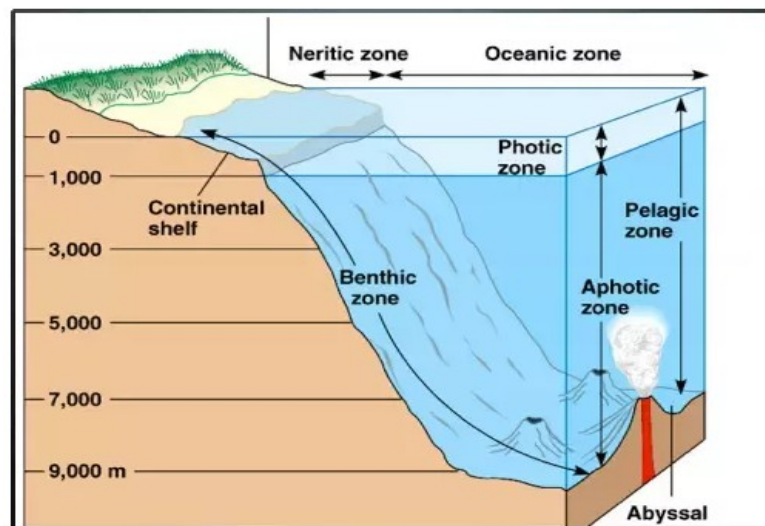


Figure 2 : Illustration des zones Pélagique et Benthique (11)

C'est donc une algue qui flotte librement grâce à ses aérocystes, guidée par le vent et les courants maritimes. Cette caractéristique est importante car en se multipliant en mer de façon importante, elles provoquent de véritables « marées brunes » sur les côtes.

Les sargasses se développent par reproduction végétative (de Széchy et al. 2012). Même si elles ont des structures permettant la reproduction sexuée (Moreira et Suárez 2002b), elles sont considérées comme stériles. La fragmentation mécanique donne des « boutures » de sargasses qui vont croître et se développer.(4)

2. Les pigments présents dans les sargasses

(12) (13)

Les sargasses sont des algues brunes, qui comme le nom l'indique, ont une couleur brune – dorées due aux différents pigments photosynthétiques présents. Elles possèdent de la chlorophylle A, responsable de la couleur verte ainsi que de la chlorophylle C (C1 et C2) donnant à ces algues cet aspect brun. Il y a également des caroténoïdes tels que les xanthophylles comme la fucoxanthine ou les carotènes comme le β -carotène.

Les différentes chlorophylles sont distinguables avec leur noyau porphyrine lié à un ion magnésium spécifique du monde végétal.

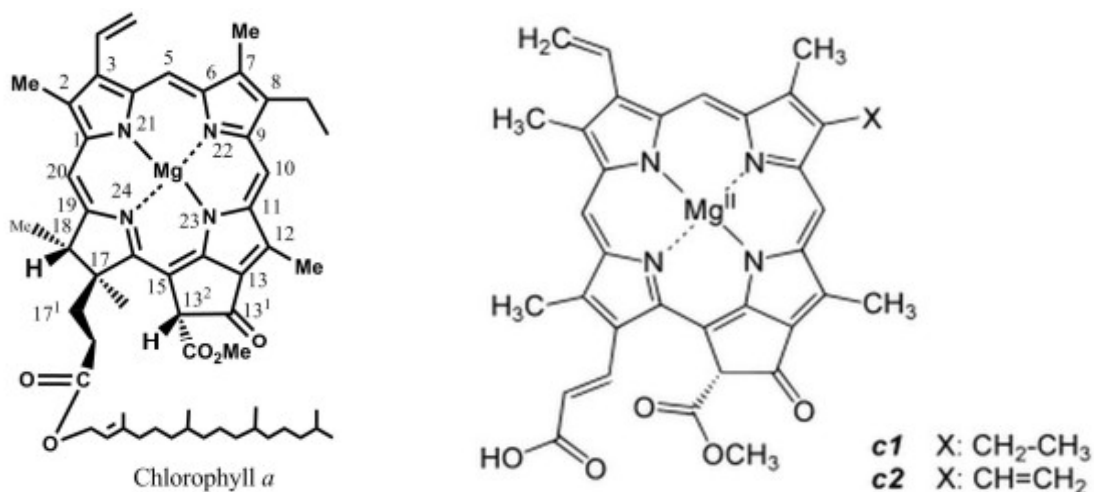


Figure 3 et 4 : Représentation de la chlorophylle a et c1 / c2 (14) (15)

Ci-dessous, les deux caroténoïdes principalement présents avec leurs charpentes moléculaires de 8 unités de terpène (tétraterpène).

La fucoxanthine qui est un xanthophylle caractérisé par la présence d'atome d'oxygène dans sa molécule. A l'inverse les carotènes comme le β -carotène n'en présentent pas.(16)

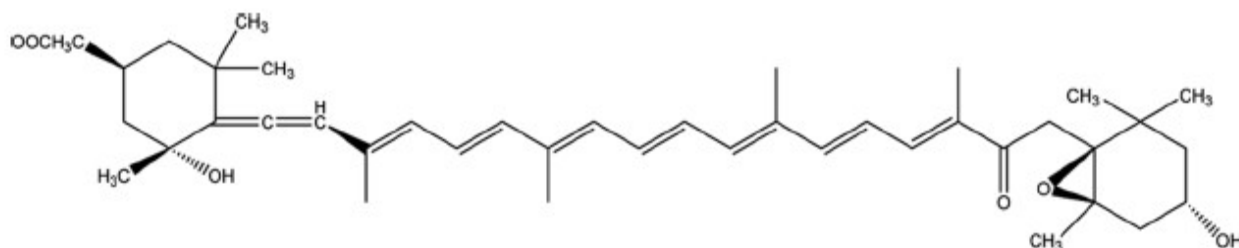


Figure 5 : Représentation de la fucoxanthine (13)

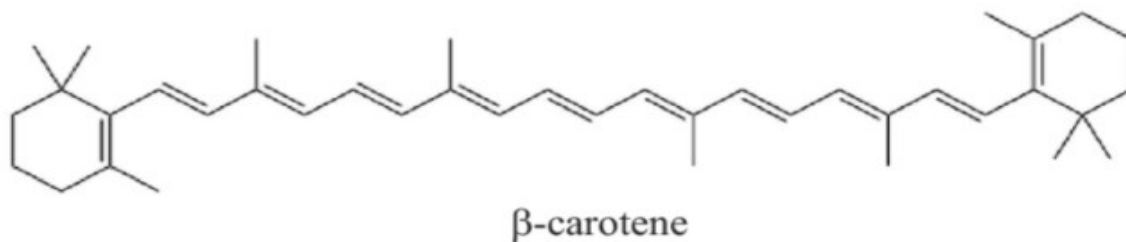


Figure 6 : Représentation du β -carotène (17)

Les spectres d'absorption des différents composés, présentent des pics pour tous les composés au niveau de 450-475nm et seule la chlorophylle A présente en plus un pic vers 660nm. Excepté cette dernière qui absorbe donc les longueurs d'ondes correspondantes aux couleurs bleu et rouge, les autres pigments absorbent donc tous le bleu uniquement, il en résulte donc une couleur brunes-dorée caractéristique de ces algues.

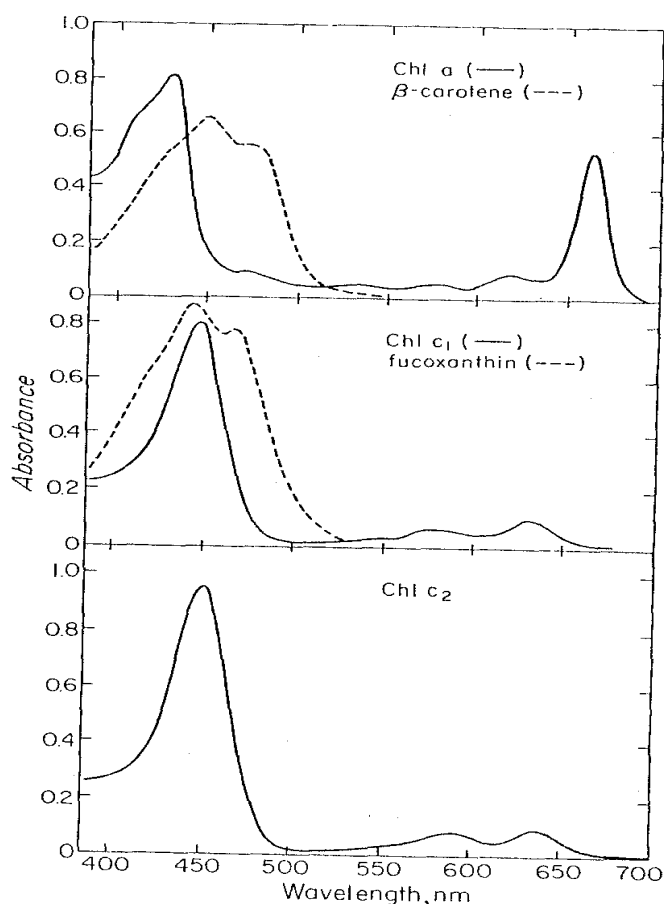


Figure 7 : Spectre d'absorption des différents pigments présents dans les sargasses
Données de Govindjee, Satoh (1986) et Jeffrey (1969) (12)

3. Les caractéristiques de *Sargassum fluitans* et *Sargassum natans* (4)(9)

Plusieurs critères de différenciation permettent de séparer *S. fluitans* de *S. natans* et leurs différentes formes. Cependant, certains de ces critères sont inconstants et varient créant une possible confusion pour les distinguer.

Parr (1939) a répertorié deux formes de *S. fluitans* (III et X) et quatre formes de *S. natans* (I, II, VIII, IX). Dans les caraïbes, ce sont principalement *S. fluitans* III, *S. natans* I et VIII qui sont retrouvées.

Une collecte de sargasses durant l'épisode de 2014/2015 a été réalisé et des observations ont été faites par Schell et al. (2015) afin d'illustrer les différences qui sont retrouvées sur les formes de sargasses. L'une de ces différences se situe au niveau du stipe (tige), *S. natans* en possède une qui est lisse alors qu'au niveau de *S. fluitans*, il y a des épines.

Illustrations de Schell et al. (18) :



Figure 8 : Stipes de *Sargassum natans*



Figure 9 : Stipes de *Sargassum fluitans*

S. natans I présente au bout de ses aérocystes (ou pneumatocytes), une épine, crochet ou encore une tige ressemblant à une feuille, alors que pour *S. fluitans* III ce n'est pas le cas. *S. natans* VIII peut présenter des épines mais c'est beaucoup plus rare que pour *S. natans* I.

Pour *Sargassum fluitans* III, ses aérocystes sont plus long que large alors que pour *S. natans* I et VIII, ils sont sphériques.

Illustrations de Schell et al. (18) :



Figure 10 : Aérocystes de *S. natans* I



Figure 11 : Aérocystes de *S. fluitans* III

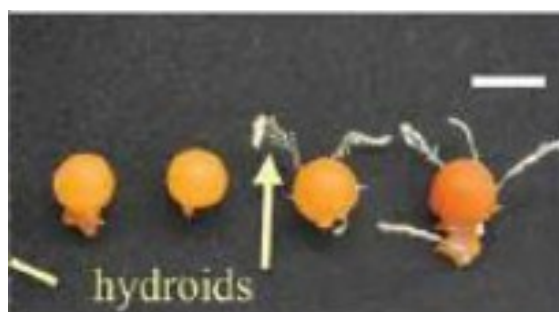


Figure 12 : Aérocystes de *S. natans* VIII

Au niveau des rameaux foliacés, ceux de *S. natans* I sont généralement longs (environ 29mm), de forme étroite (environ 2mm) et linéaire avec des petites dents pointues.

Pour *S. fluitans* III ces rameaux sont courts (environ 21,5mm) et plus larges (environ 4,6mm), asymétriques de forme lancéolée avec des dents beaucoup plus grandes.

Pour *S. natans* VIII, les rameaux sont longs (environ 32mm) et larges (environ 7,3mm), ce qui est pour cette dernière une caractéristique différente de *S. natans* I.



Figure 13 : Rameaux des différentes sargasses Illustrations de Schell et al.(18)

D. Localisations habituelles des sargasses avant 2011

Les déplacements de sargasses ont été étudié, notamment par satellite avec le système MERIS. Les sargasses étaient déjà présentes dans le golfe du Mexique et dans l'Atlantique au niveau de la mer des Sargasses.

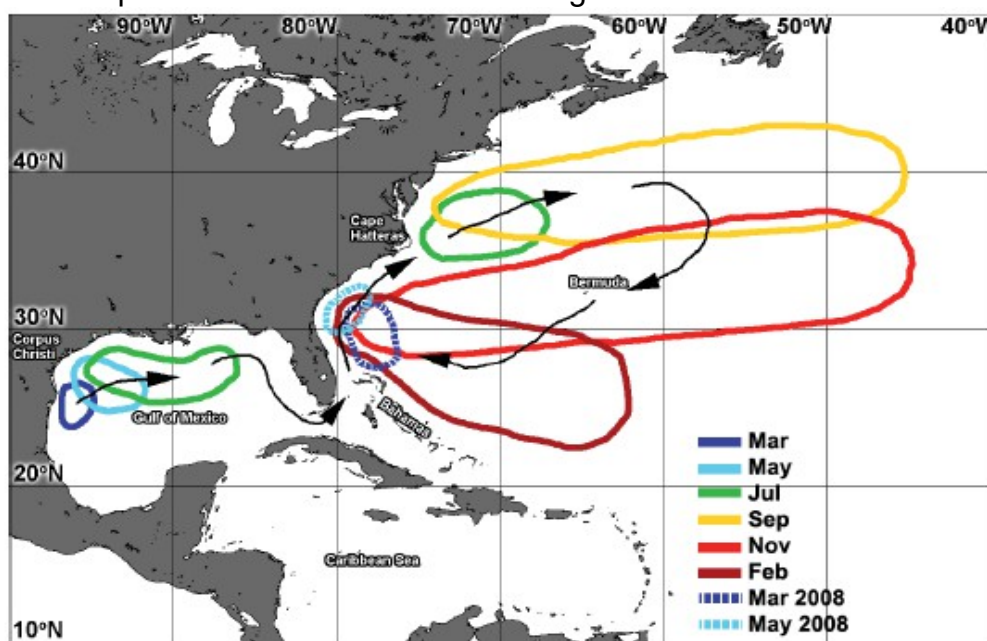


Figure 14 : Carte détaillant les déplacements et extensions des sargasses d'après les informations de MERIS (19)

Le déplacement des sargasses est assez identique chaque année. Il est expliqué par les différents courants et les vents dominants. Une forte croissance dans le golfe du Mexique est observée au début de chaque année vers le mois de Mars. Au fur et à mesure de l'année (vers Juillet – Août), elles se déplacent vers l'Est vers le détroit de Floride puis vers l'Atlantique grâce au Loop Current et le Gulf Stream. Vers le mois de Septembre et durant tout l'automne et l'hiver, les alizés déplacent les sargasses vers le sud et l'ouest. Très peu de ces algues ont été observées par la suite dans l'Atlantique pendant les mois de Mars / Avril / Mai de 2003 à 2007. Contrairement aux autres années, une quantité importante de ces algues a été retrouvée au Nord des Bahamas en 2008. (19)

Avec les données satellitaires, l'étude a interprété le fait que les sargasses naissaient donc chaque année dans le golfe du Mexique et mouraient généralement un an plus tard dans la zone située au Nord-Est des Bahamas.

A noter que cette étude se base uniquement sur des données satellitaires, les espèces de sargasse détectées ne sont donc pas distinguables. De plus, il n'est pas exclu que certaines informations soient manquantes à cause de la résolution spatiale, de la couverture nuageuse mais également à cause d'autres paramètres tels que le vent ou la distribution des sargasses sur l'océan.(19)

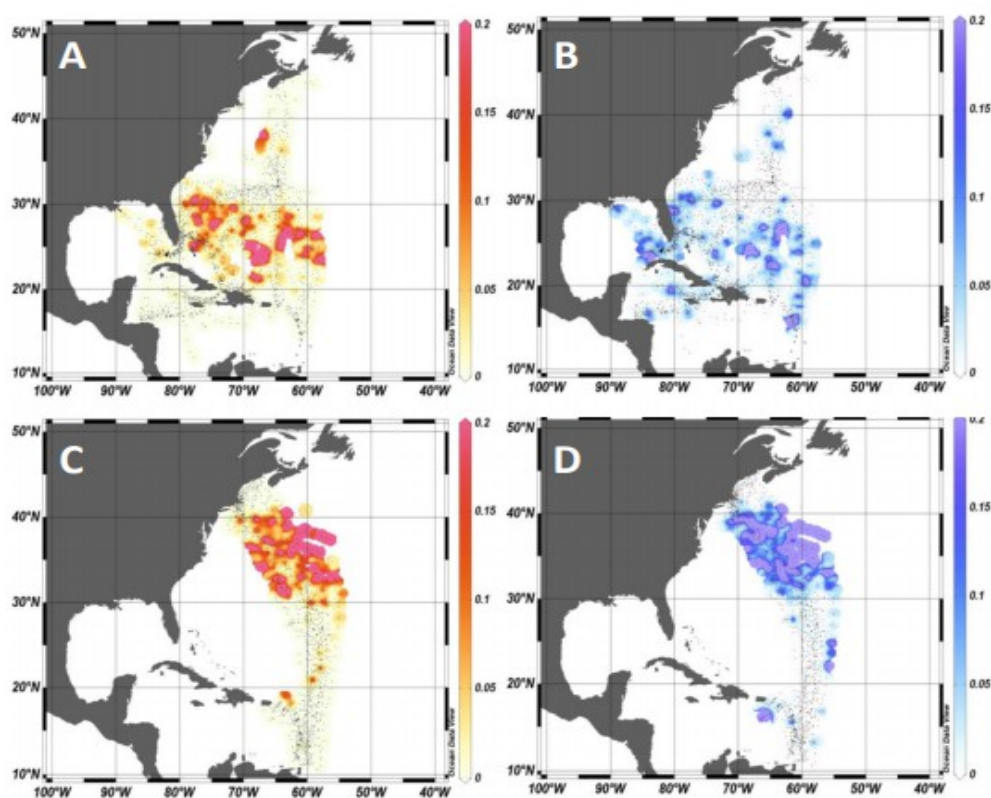


Figure 15 : Distribution des sargasses (g/m²) (1992-2013). En rouge : *S. natans* (A) printemps, (C) fin octobre – début novembre. En bleu : *S. fluitans* (B) avril – début juin, (D) automne. (Goodwin, Schell, & Siuda 2014). Les différentes formes de sargasse n'ont pas été spécifiquement identifiées durant la période de collecte. (9)

Les informations sur les ramassages des sargasses de Goodwin, Schell, & Siuda (2014), montrent que *S. natans* reste toute l'année dans la mer des sargasses alors que *S. fluitans* se retrouve également dans l'ouest Caraïbes et le golfe du Mexique (Figure 15 – B).

Une hypothèse suggère donc que contrairement à *S. natans* qui reste au niveau de la mer des sargasses, *S. fluitans* peut se retrouver dans les Caraïbes entre le printemps et l'été pour retourner dans le golfe du Mexique. Cela suggère que *S. fluitans* suit un cycle avec une repopulation dans le golfe par l'intermédiaire d'un retour des algues par l'ouest des Caraïbes. Une séparation spatiale constante entre les 2 espèces est observée avec *S. natans* toujours un peu plus au Nord.

E. Les origine(s) des sargasses invasives

(20)

Pour retrouver l'origine de ces sargasses, plusieurs analyses différentes ont été réalisées. L'étude de Putman et al. (2018) montre que les sargasses proviennent majoritairement de l'Atlantique Équatorial. Les travaux de Johns et al. (2020) regroupent plusieurs informations indépendantes telles que :

- des modèles de circulation numérique utilisant des particules numériquement créés ;
- l'analyse des données des vents et courants ;
- l'analyse de bouées avec ancre flottante ou non ;
- la collecte de sargasse dans les filets ;
- les observations satellitaires ;
- les observations hydrographiques.

Toutes ces analyses avaient pour but approfondir l'origine des sargasses mais également de comprendre les raisons de leur croissance dans l'Atlantique Équatorial.

Dans ces études, les différents modèles cherchant à montrer le déplacement des algues n'utilisaient pas seulement les courants marins, mais aussi les courants aériens. En effet, les sargasses dérivants à la surface de l'eau, une partie de l'algue est en contact avec l'air et il est donc possible que le vent influe sur sa trajectoire. Différentes études sur des bouées, bateaux, nappes de pétrole à la dérive (Hughes, 1956, Tomczak, 1964), ont analysé cette influence du vent et ont démontré que les objets tendaient à se déplacer dans le sens du vent avec une vitesse correspondant à 1 à 3% de celui-ci. Ce pourcentage varie en fonction de la caractéristique de l'objet flottant, la quantité submergée et l'amplitude du vent. Le terme utilisé pour cela dans les modèles est le « windage » ce qui signifie en français le fardage, qui peut se définir comme la prise au vent (20). Lumpkin et Paros (2007) ont montré que le « windage » était présent à hauteur de 1% du vent pour les bouées sans ancre flottante. Dans les études de Putman et al. (2018) et Johns et al. (2020), ils ont utilisé ce même pourcentage pour le vent considérant que les sargasses étaient impactées de la même façon que les bouées sans ancre flottante.

1. Une origine en Atlantique Équatorial

Après avoir réalisé une simulation pour retrouver l'origine des sargasses depuis des sites d'échouages en 2011, Putman et al. (2018) ont constaté que toutes les algues de leur modèle passaient par l'Atlantique Équatorial. De même, en simulant de façon inverse la trajectoire des algues en Atlantique Équatorial, ils ont montré une très forte probabilité de leur présence dans les Caraïbes. La modélisation montrait également les variations annuelles et saisonnières observables de ce phénomène.

Avec la prise en compte du vent, le modèle correspondait encore plus à la réalité pour les déplacements de l'Atlantique Ouest vers les Caraïbes. Cependant il y a toujours une part d'incertitude puisque cette utilisation du vent une fois en mer des Caraïbes n'était plus aussi cohérente avec les trajectoires des sargasses. Et ce notamment pour leurs déplacements vers l'ouest caribéen. Le modèle sans vent avait une meilleure prédiction que celui avec le vent.

Il manque donc des connaissances pour correctement prédire les mouvements des sargasses même si une des raisons évoquées pour cette situation est que les sargasses deviendraient moins flottantes en vieillissant.

A défaut de connaître l'impact de tous les facteurs influençant le déplacement des sargasses, cette étude montre la relation entre les sargasses présentes dans les Caraïbes et le système du courant Nord Brésilien. De plus cette étude montre que la quantité de sargasse présente dans cette zone, influencerait la quantité de sargasses dans les Caraïbes. (22)

Par la suite, en prenant en compte les courants aériens, Johns et al (2020) ont mis en avant un événement météorologique majeur qui pourrait être un élément déclencheur de ces invasions de sargasses.

2. Anomalie des courants aériens et marins en 2009-2010

(14)

Un événement météorologique inhabituel a eu lieu en 2010 au niveau de l'index d'oscillation de l'Atlantique Nord (NAO index). Cet index permet de caractériser la bascule de pression au niveau de l'océan Atlantique Nord. Un indice d'activité lui est associé qui peut être positif ou négatif en fonction des pressions de l'anticyclone des Açores et de la dépression d'Islande. Quand celui ci est positif, la pression dans l'anticyclone est très élevée, et celle dans la dépression, très basse. Il existe ainsi une grande variation de pression entre les deux systèmes, cela ayant pour conséquence des vents assez forts pour l'alizé et un déplacement vers le nord des vents dominants se dirigeant vers l'ouest (vent d'ouest- contre alizé et Jetstream) (Figure 16).

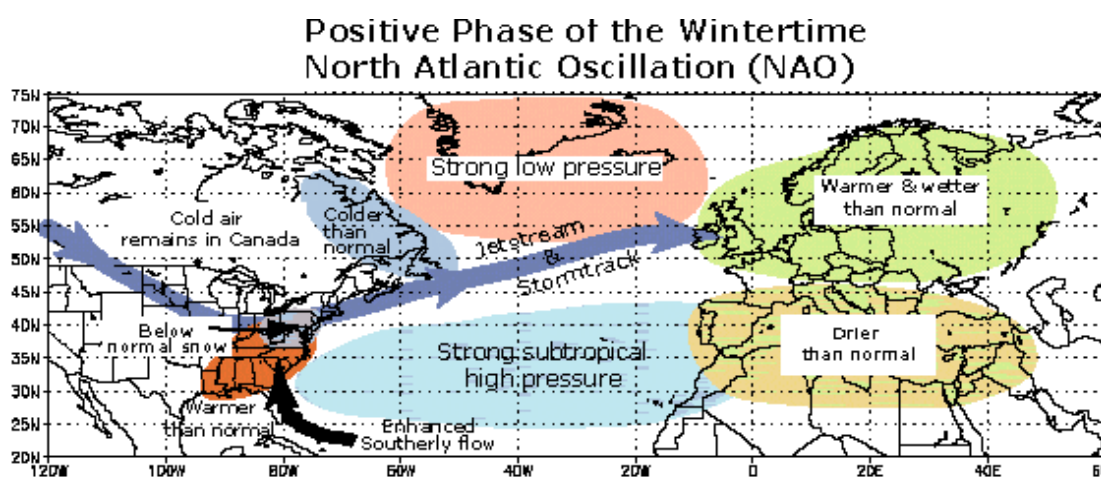


Figure 16 : Phase positive de la NAO (23)

A l'inverse, quand celui ci est négatif, la pression dans l'anticyclone est plus faible que sa valeur normale d'hiver. Pour la dépression islandaise, sa pression n'est pas très basse.

Une faible variation de pression entre les deux systèmes est observée ayant pour résultat un alizé faible avec un Jetstream moins stable et donc se déplaçant plus vers le sud et également un vent d'ouest lui aussi plus au sud (Figure 17).

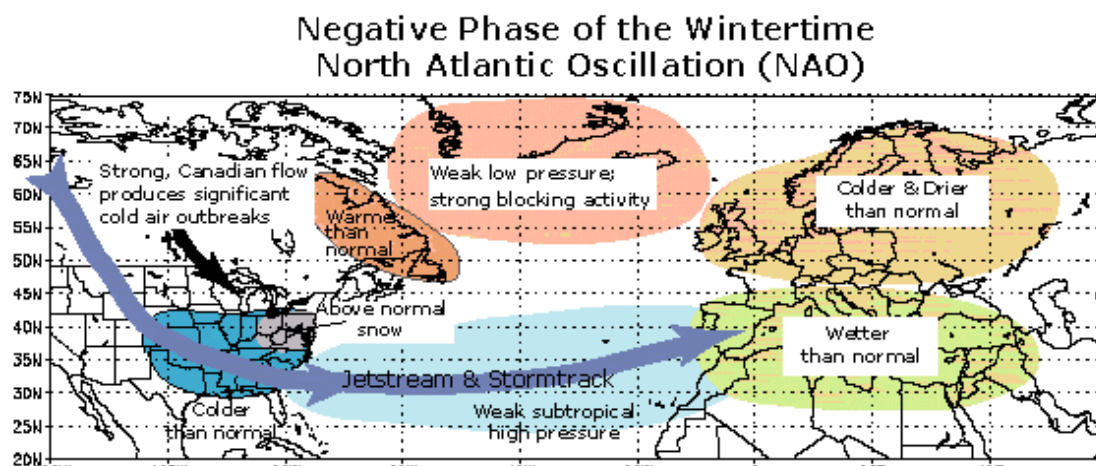


Figure 17 : Phase négative de la NAO (23)

Cette oscillation est périodique au cours d'une année, avec en moyenne des phases négatives plus fréquentes en hiver et des positives en été. Il existe aussi des alternances entre des années avec des phases globalement négatives et d'autres avec des phases positives.

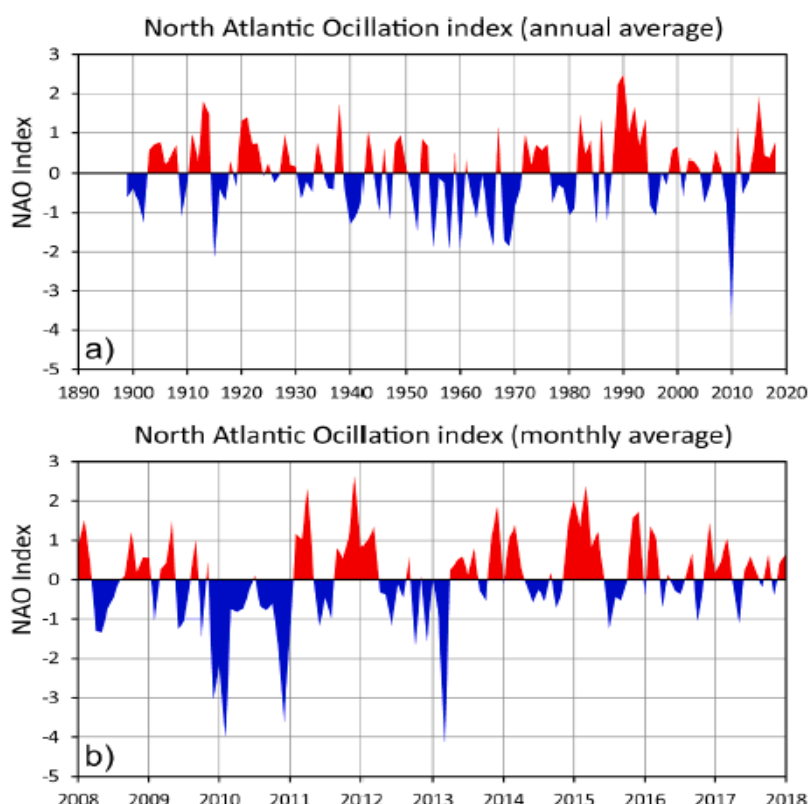


Figure 18 : Moyennes annuelles et mensuelles de l'index NAO issues du site climatedataguide.ucar.edu (Johns et al. 2020)

Parmi toutes les moyennes annuelles visibles sur la figure 18, l'année 2010 a été l'année avec la moyenne la plus négative jamais enregistrée. Avec plus précisément une période quasi exclusivement négative entre fin 2009 et fin 2010. Deux autres pics sont également observés, fin 2010/début 2011 et début 2013 montrant que cet épisode s'est répété par la suite presque aussi intensément qu'en 2010.

Il en résulte que les vents dominants durant la période de Janvier à Mars 2010 ont été différents, notamment dans la mer des sargasses (cercle noir) et plus globalement dans le carré noir (20-40°N, 80-10°W) où ils ont pris une direction principalement vers l'est. Alors que pour la période de 2008 à 2015, au même endroit, les vents se déplaçaient de façon circulaire avec les vents d'ouest / contre-alizé au nord et l'alizé (vers l'est) au sud. (Figure 19)

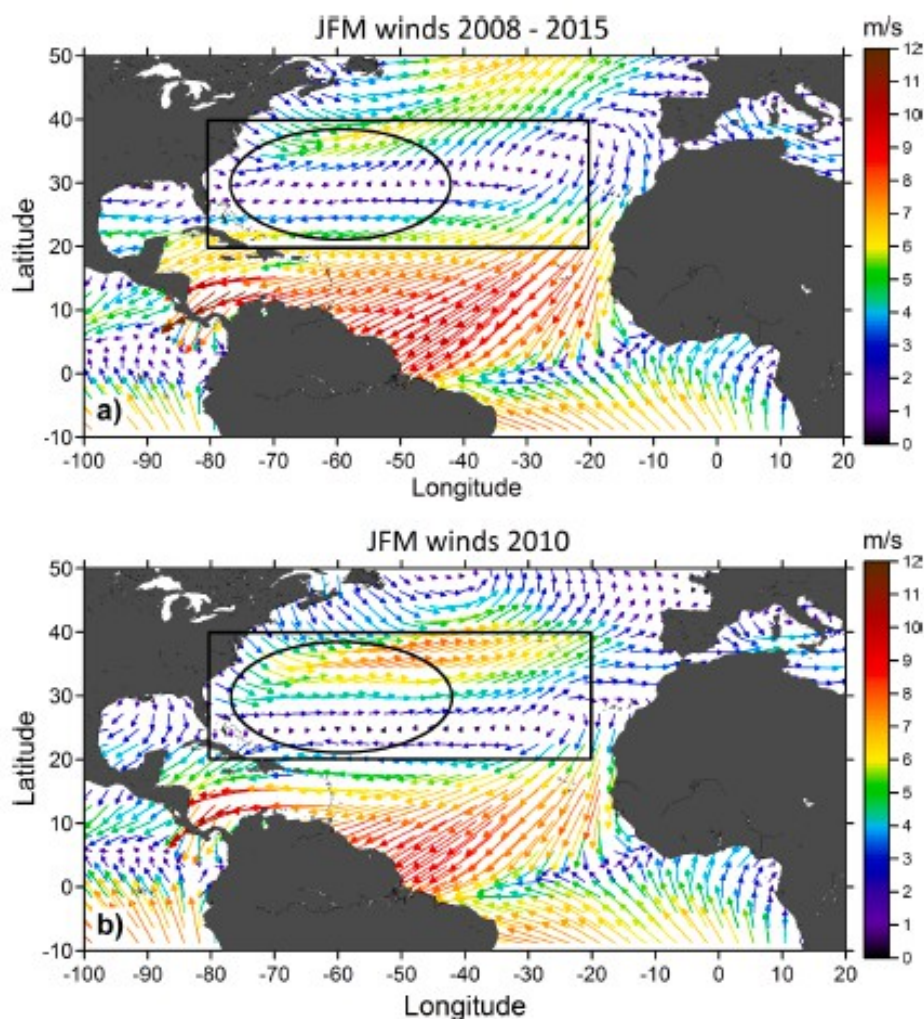


Figure 19 : Moyennes des vents dominants de Janvier à Mars de 2008 à 2015 (haut), uniquement en 2010 (bas) (Johns et al. 2020)

Pour les courants marins, le phénomène a été similaire avec notamment le gyre subtropical. Le gyre est un gigantesque tourbillon océanique résultant de la convergence de plusieurs courants marins (23). Ce gyre est donc caractérisé par des courants circulaires « emprisonnant » les masses d'eau. Des courants de faible vitesse sont donc observés au centre de ce système et pour l'océan Atlantique Nord, c'est à ce niveau que se trouve la mer des sargasses en temps normal.

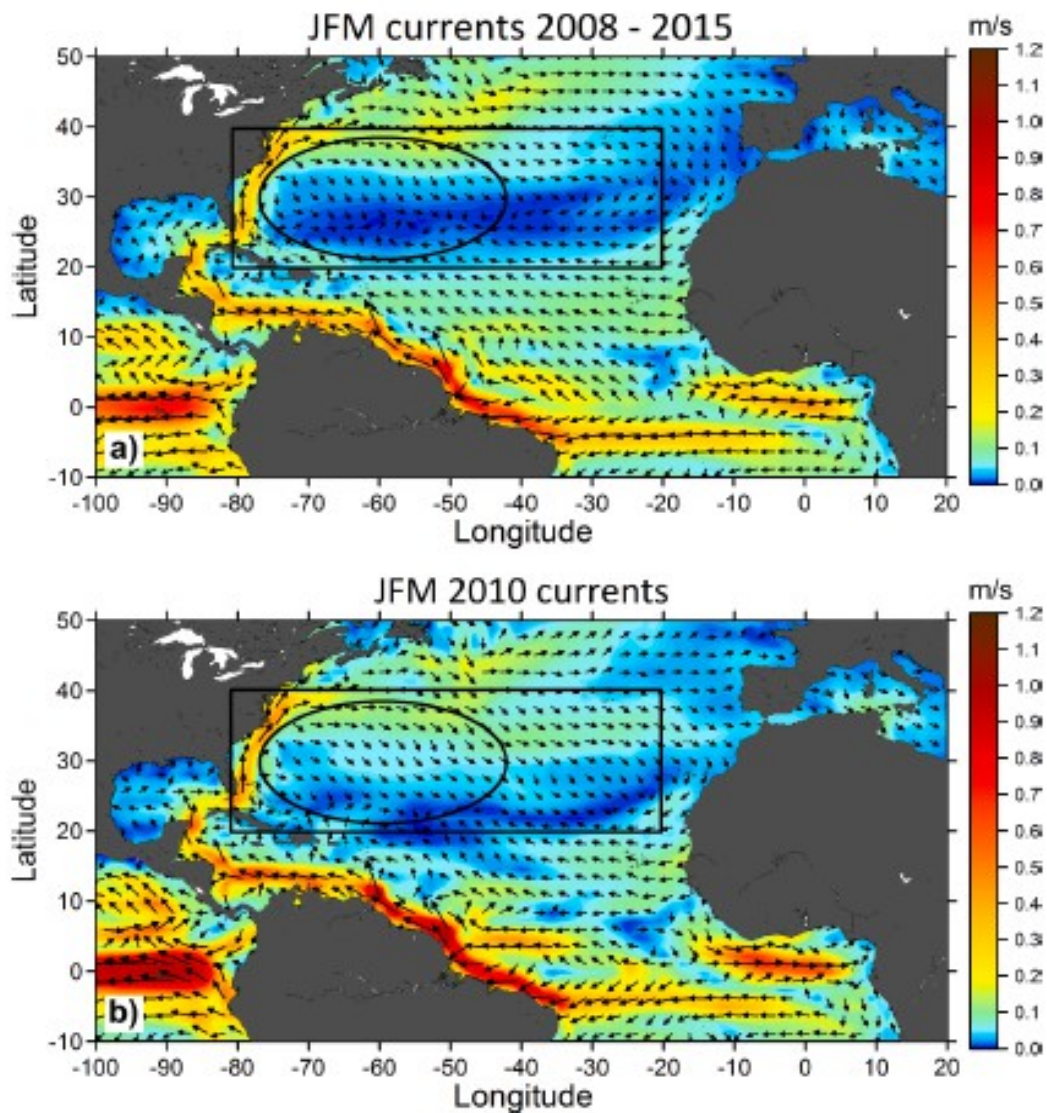


Figure 20 : Moyennes des courants marins de Janvier à Mars de 2008 à 2015 (haut), uniquement en 2010 (bas) (Johns et al. 2020)

Pour la période de Janvier à Mars 2010 la zone bleu foncé de faible vitesse correspondant au centre du gyre est beaucoup plus au sud et excentré vis à vis du centre de la mer des sargasses (cercle nord) (Figure 20). En additionnant les courants et 1% du vent, cette différence est encore plus marquée. En effet, les courants visibles en mer de sargasse en 2010 se dirigent jusque qu'au large des Canaries (Figure 21).

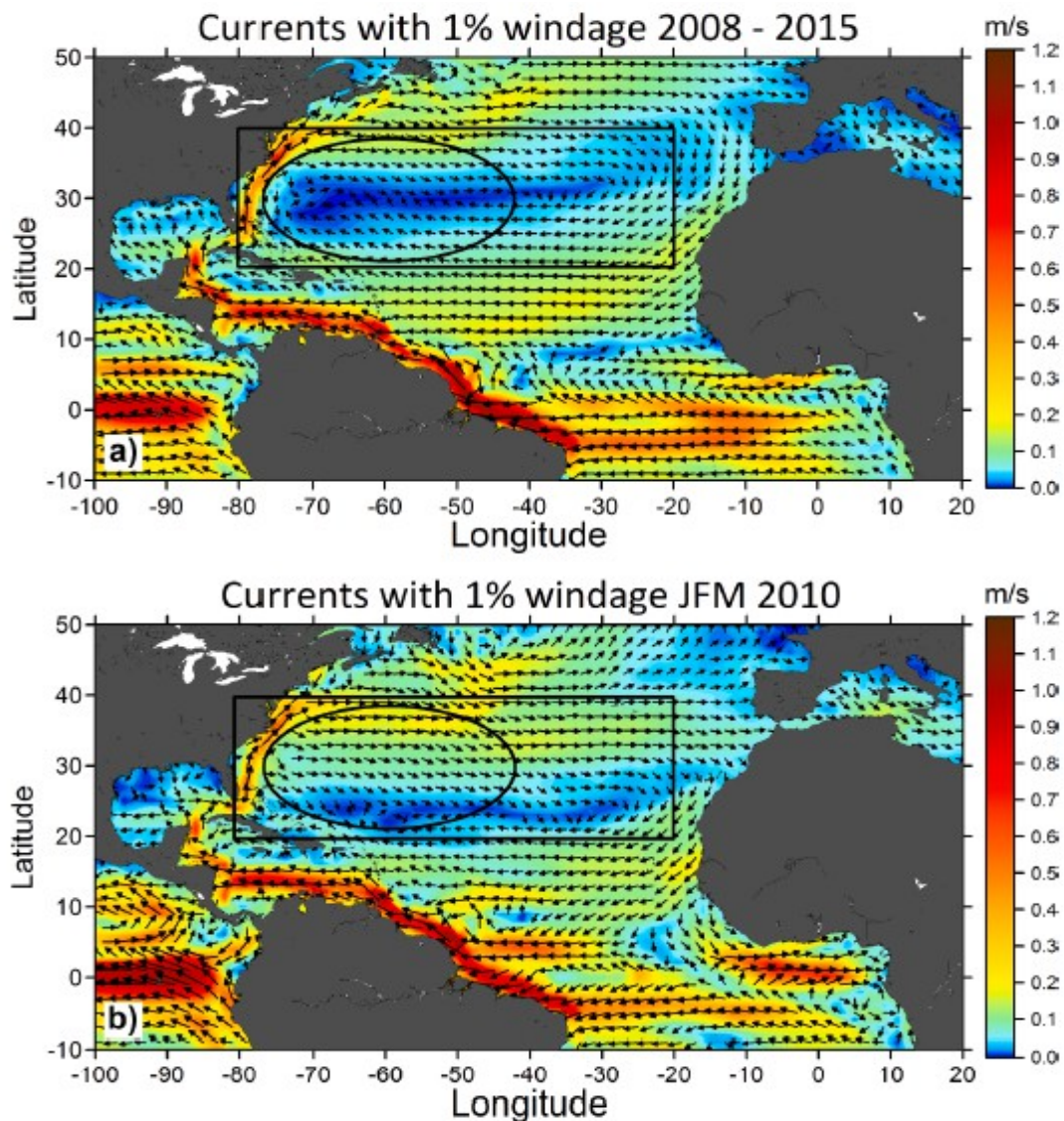


Figure 21 : Moyenne des courants marins avec 1% de « windage » de Janvier à Mars entre 2008 et 2015 (haut), uniquement en 2010 (bas) (Johns et al. 2020)

Les mouvements des courants marins et aériens au niveau de la mer des sargasses ont donc été perturbé pendant cette anomalie. En se déplaçant jusqu'aux Canaries, les courants créés en 2010 ont rejoint le courant des Canaries (CC). Ce déplacement d'eau se fait entre les Canaries et l'ouest du Sénégal, là où se situe le début du courant nord équatorial (NEC) allant jusqu'aux Caraïbes. Les recherches se sont donc portées sur la possibilité d'une migration des sargasses de la mer des sargasses vers l'atlantique équatoriale.

3. Analyses numériques et suivis de bouées avec la possibilité d'une origine des sargasses plus lointaine

L'étude de Johns et al (2020) a recherché les localisations antérieures de 30 000 particules numériquement créées et placées aléatoirement dans la mer des Caraïbes en utilisant le modèle HYCOM. Ces points ont été mis durant le printemps 2011 en prenant en compte les courants marins et 1% de windage pour calquer les conditions des sargasses lors des premiers échouages.

Ils ont trouvé à nouveau qu'il y avait une possibilité de connexion avec l'Atlantique Nord :

- 2,89% des particules se retrouvaient à ce niveau dans les 6 mois auparavant ;
- 7,28% 1 an auparavant ;
- 15,16% 2 ans auparavant.

A noter que les particules mettant 1 an provenaient principalement de l'Atlantique Nord-Ouest et touchaient majoritairement le Nord Est des Caraïbes et les grandes Antilles. Celles mettant 2 ans provenaient à l'inverse principalement de l'Atlantique Nord-Est et touchaient plus largement la Caraïbes et les petites Antilles. (visible sur la figure 22 b)

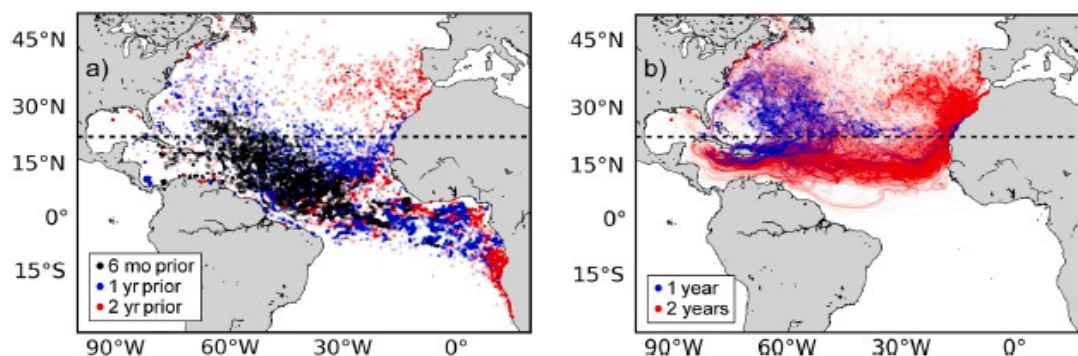


Figure 22 : Résultats des déplacements des particules numériquement créées.

Sur la figure ci-dessus, le trait en pointillé représente la limite Sud de l'Atlantique Nord (latitude 23°N)

L'encadré a), montre la localisation des différents points après 6 mois (noir), 1 an (bleu) et 2 ans (rouge)

L'encadré b), montre les trajectoires des particules ayant atteint l'Atlantique Nord en 1 an (bleu) et en 2 ans (rouge) (Johns et al. 2020)

Cette modélisation a également été faite pour chaque printemps entre 2003 et 2015 afin d'obtenir les différentes probabilités entre les années. Les auteurs de l'étude ont réalisé que l'année 2011, où les premiers échouages de sargasses ont eu lieu, coïncide avec l'année où la plus grosse probabilité des particules créées proviendraient de l'Atlantique Nord (244% plus élevée que pour la moyenne de 2003 à 2015)

Il existait des données montrant les différents déplacements des bouées ancrées ou non dans l'Atlantique donnant une information sur les différents courants. Pour mieux comprendre les déplacements, il était nécessaire d'avoir également une échelle de temps qui n'était pas disponible. Johns et al (2020) ont ainsi réalisé des simulations numériques montrant la position des différentes bouées ancrées ou non par période de 30 jours en utilisant les informations délivrées par celles-ci. Avec ces simulations pour les bouées ancrées, ils ont observé qu'à long terme une bonne partie de ces bouées provenaient de l'Est Atlantique avec une petite possibilité de provenir directement de la mer des sargasses. A noter que ces simulations ne prennent pas en compte le vent puisque les bouées ancrées ne sont pas influencées par le vent.

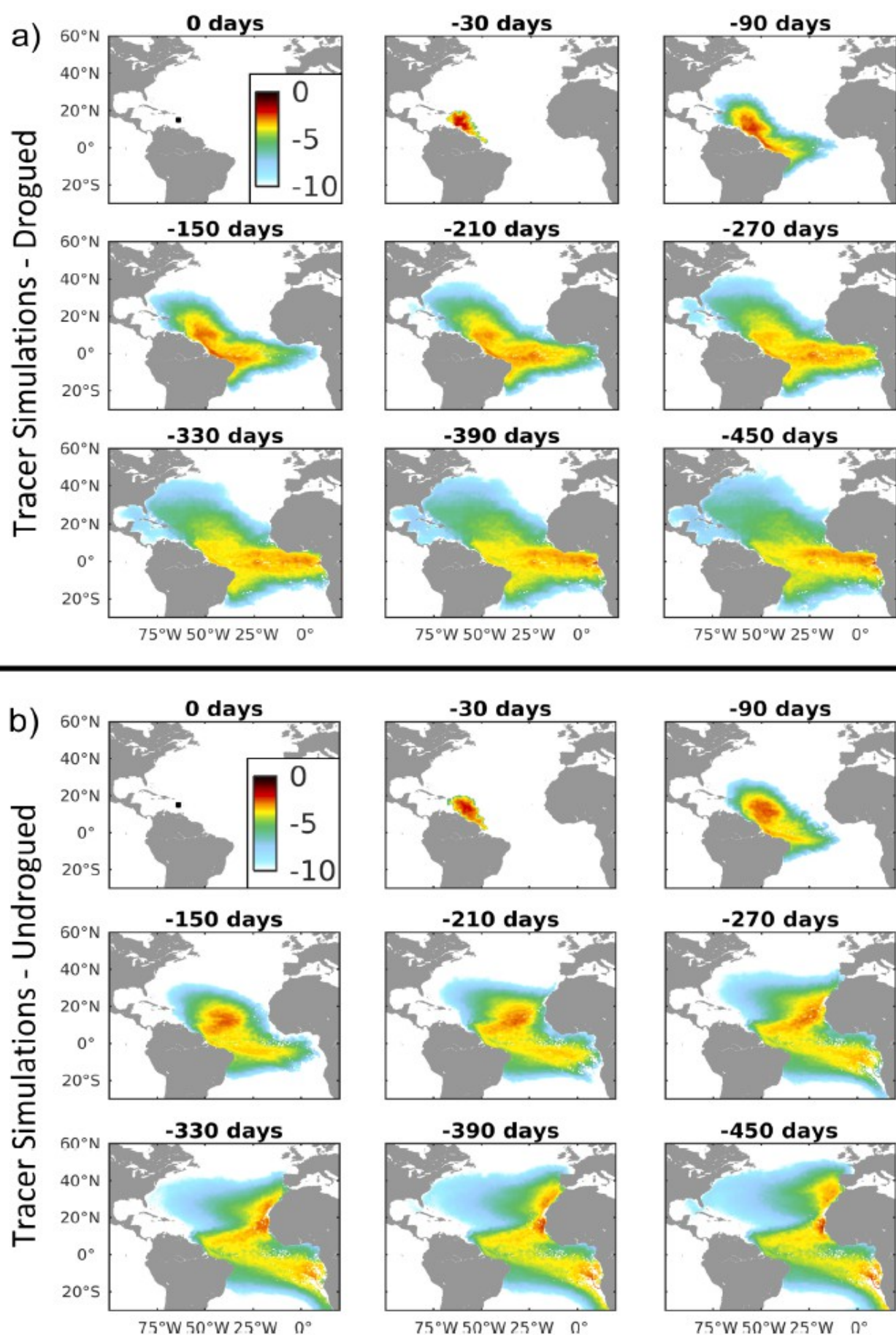


Figure 23 : Simulations numériques montrant la position de bouées ancrées (a) ou non (b) par période de 30 jours à partir d'un point situé dans l'est de la mer des Caraïbes (point noir) (Johns et al. 2020)

Avec les simulations pour les bouées non ancrées, à long terme (210 jours), ils ont observé qu'elles peuvent provenir soit de l'est Atlantique mais également de l'hémisphère sud au niveau de l'Atlantique Sud-Est. Pour l'hémisphère nord, au delà de 330 jours, les bouées peuvent se situer à l'est de l'Atlantique Sud mais il y a également une probabilité importantes que les bouées proviennent des eaux au large des Canaries (Figure 23). Ce modèle est supposé représenter d'une meilleure façon le déplacement des sargasses puisque les bouées non ancrées sont influencées par le vent.

La simulation basée sur le modèle HYCOM et celle des bouées non ancrées ont mis en évidence la possibilité d'une origine Nord Atlantique des sargasses.

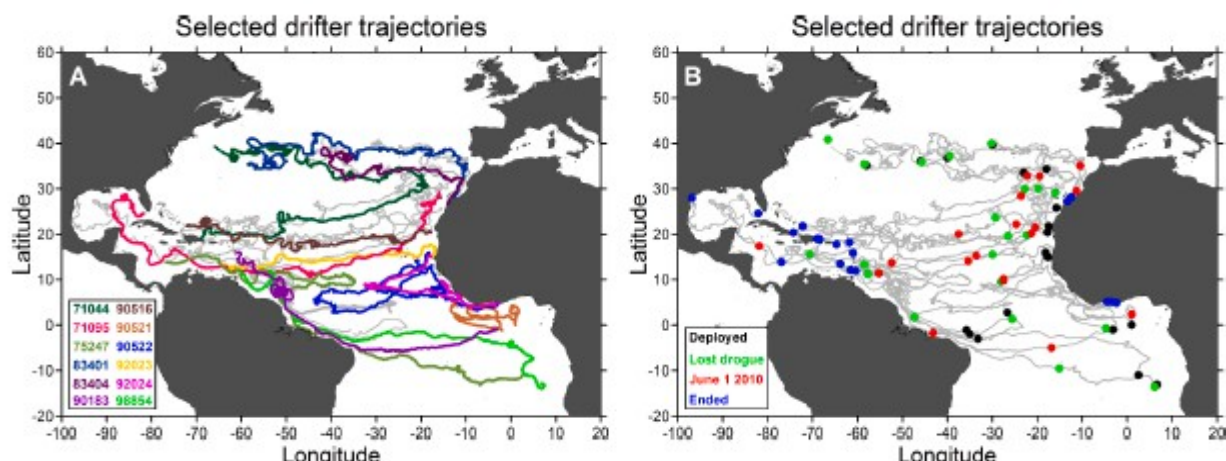


Figure 24 : Trajectoires de bouées de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). (Johns et al. 2020)

La carte de gauche représente chaque trajectoire de bouée avec une couleur différente.

La carte de droite représente le lieu du déploiement de bouée (point noir), lieu où elle a perdu son ancre (point vert), localisation au 1 juin 2010 (point rouge), lieu d'échouage (point bleu) (Johns et al. 2020).

La comparaison de ces résultats avec les trajectoires de réelles bouées présentes dans l'Atlantique pendant l'anomalie négative de la NAO procure des informations intéressantes concernant les déplacements d'objets flottants lors de cette période.

La trajectoire de couleur bleu foncé correspond à une bouée larguée en janvier 2009 et qui a perdu son ancre 3 jours après sa mise en place. Cette bouée est restée près de 1 an à serpenter dans la moitié nord de la mer des sargasses. Lors de l'anomalie de la NAO, elle s'est dirigée vers l'Est avec une vitesse et un cap cohérent avec le modèle prenant en compte 1% du vent. A la fin de l'anomalie, la bouée a brusquement pris un cap sud, s'échouant sur les côtes marocaines. Cette évolution de trajectoire a été la même pour de nombreuses bouées. Celles qui étaient le plus à l'ouest de la mer des sargasses (ex : vert foncé) au lieu d'aller s'échouer sur les côtes africaines ont par la suite pris un cap vers l'ouest notamment par l'intermédiaire de la NEC pour aller par la suite dans les Caraïbes.

Il est également intéressant d'observer la trajectoire de la bouée bleue où un aller-retour au milieu de l'atlantique est visible. Ce demi tour prenant une trajectoire vers l'est, correspond à la rétroflexion du courant nord brésilien (NBCR) et aussi Contre-

courant Nord-équatorial (NECC). Pour les trajectoires bleue et rose, un mouvement circulaire est observé au large de la Guinée / Guinée-Bissau correspondant au dôme de Guinée. Ces deux dernières ont par la suite continué leurs trajectoires vers le golfe de Guinée où elles se sont échouées sur les côtes ghanéennes. Cette fin de parcours est comparable avec les sargasses puisque des échouages ont également eu lieu sur ces côtes. Les trajectoires des bouées violette et vertes nous montre une connexion entre le golfe de Guinée et les eaux brésiliennes par l'intermédiaire du courant sud-équatorial (SEC).

La localisation des bouées provenant de la mer des Sargasses au 1 Juin 2010, soit un an approximativement avant les premiers échouages de sargasses dans les Caraïbes est concordant avec la simulation des bouées non ancrées. En effet, les points rouges représentant les bouées au large de l'Afrique se situent approximativement au même endroit que les points de la simulation numérique à 1an.

4. Prise de sargasses dans les filets

En 2020, Johns et al. en utilisant les observations faites par la Sea Education Association ont analysé la quantité de sargasse en fonction des différentes années dans les eaux de l'Atlantique et des Caraïbes (Figure 25). Les prises de sargasses avant 2011 étaient peu nombreuses dans la mer des Caraïbes et inexistantes dans l'océan atlantique tropical. Ensuite des pics en 2012 et 2015 ont été observés correspondant à des grosses années d'échouage. Il est intéressant de noter qu'en comparaison, le nombre de sargasse récoltées dans la mer des sargasses chute fortement les années précédant leurs présences dans les Caraïbes (2011 et 2014). De plus avant chaque baisse dans la mer des sargasses, une oscillation nord-atlantique très négative (2010-2011 et 2013) est observée et donc une présence de courants vers l'est anormalement élevés au niveau des latitudes de la mer des sargasses. Tous ces éléments suggèrent une possible migration des sargasses.

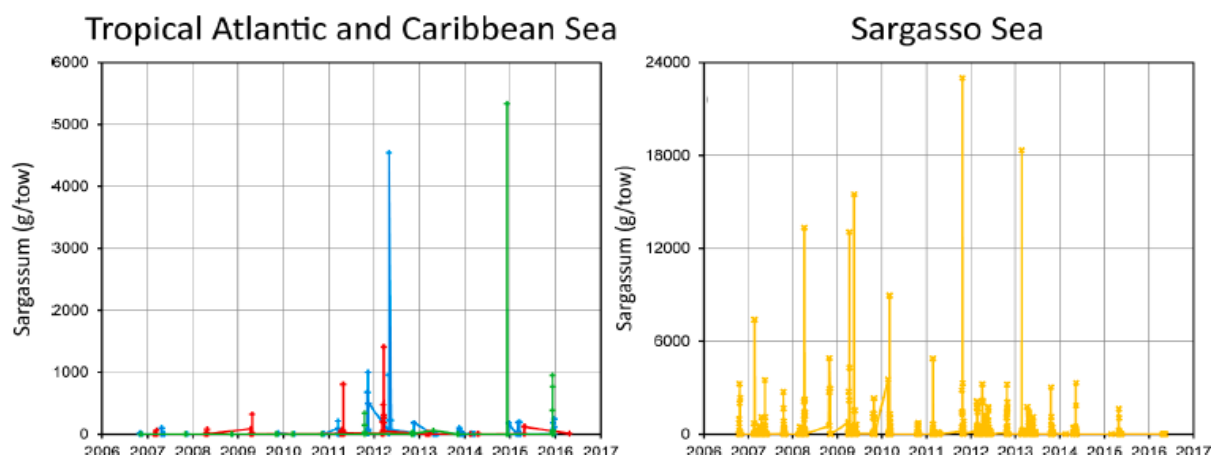


Figure 25 : Biomasse de sargasses récoltée dans l'est des caraïbes (bleu), l'ouest des Caraïbes (rouge), dans l'Atlantique tropical (vert) et la mer des sargasses (jaune) entre 2006 et 2016. (Johns et al. 2020)

Les unités des graphiques ci-dessus correspondent au nombre de gramme par kilomètre de remorquage. A noter que le bateau n'a ramassé que pendant des périodes limitées et n'a pas par exemple pas circulé dans la mer des Caraïbes en 2015. (Johns et al. 2020)

5. Synthèse des théories pour les déplacements de sargasses en Atlantique

La figure 26 présente la synthèse des hypothèses vues précédemment pour les déplacements des sargasses en Atlantique. Les trajectoires en pointillés au niveau de la mer de Sargasses correspondent aux trajectoires causées par l'oscillation nord-atlantique négative de 2010. Les autres pointillés correspondent au contre-courant nord-équatorial et nord-brésilien se produisant entre juin et septembre. Les zones de couleur dorée représentent la localisation des sargasses.

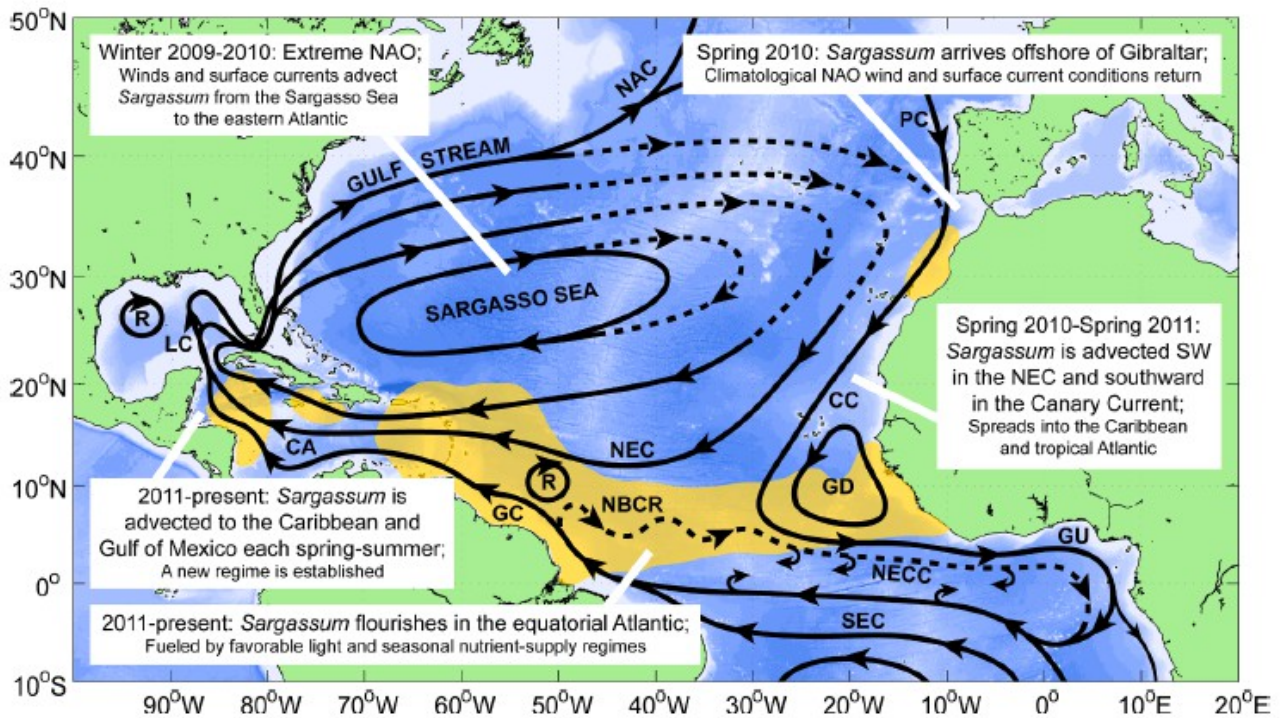


Figure 26 : Schéma regroupant l'ensemble des hypothèses de trajectoires des sargasses.

(Johns et al. 2020)

Après l'anomalie climatique de 2009-2010, les vents et courants ont transporté les sargasses vers l'Est de l'océan Atlantique. Par la suite ces algues ont continué leur route soit vers les Caraïbes par le courant Nord-Équatorial, soit vers le dôme de Guinée. Avec l'arrivée du contre-courant Nord-Équatorial (NECC), des mouvements du dôme de Guinée vers le golfe de Guinée sont observés pour ensuite retrouver la possibilité d'un déplacement vers l'ouest avec cette fois ci le courant Sud-Équatorial.

Actuellement, presque chaque année, un développement de sargasses du golfe du Mexique jusqu'aux côtes de l'Afrique de l'ouest est observable. Cette expansion est si grande qu'elle est appelée surnommée « Great Atlantic Sargassum Belt » soit la grande ceinture de sargasse. Grâce aux images satellitaires (MODIS), il est possible d'observer le développement cyclique des sargasses sur une année mais aussi la tendance à la hausse du développement de ces algues au fil des années même si celui-ci est très fluctuant (Figure 27) (24).

Ces fluctuations suggèrent l'influence de différents facteurs environnementaux sur le développement de ces algues dans l'océan Atlantique.

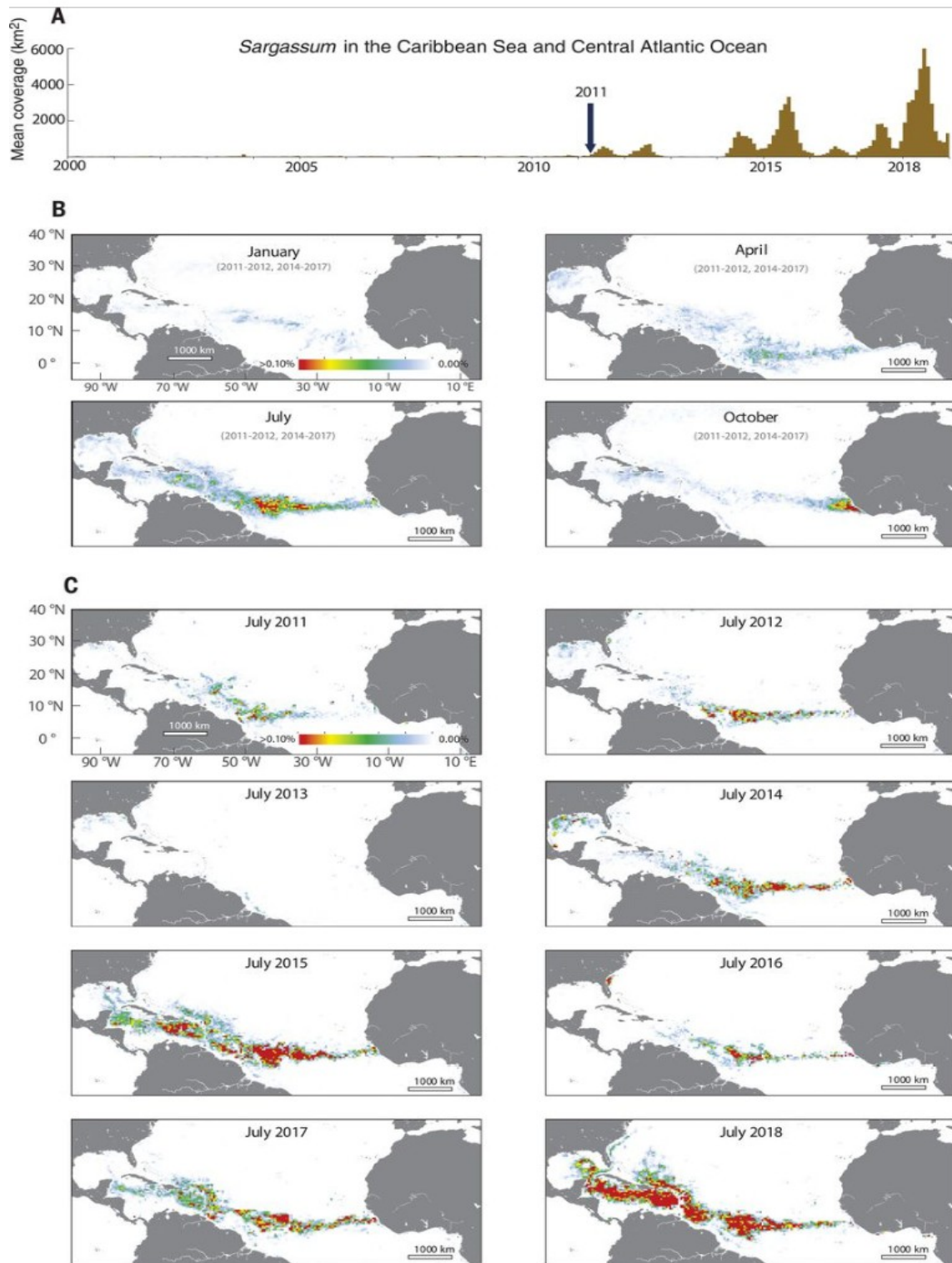


Figure 27 : Distribution des sargasses dans l'Atlantique, les Caraïbes et le Golfe du Mexique montrant la Great Atlantic Sargassum Belt. (Wang et al. 2019) (25)

A : couverture moyenne mensuelle des Sargasses en Atlantique et Caraïbes (avec un pic en Juin 2018 d'environ 6000km²)

B : Densité moyenne des sargasses en Janvier, Avril, Juin et Octobre de 2011 à 2017 avec l'exclusion de l'année 2013 (année sans prolifération de sargasses)

C : Densité moyenne des sargasses pour le mois de Juillet de 2011 à 2018

F. Influences des saisons et éléments extérieurs

1. La zone de convergence inter-tropicale

Johns et al. en 2020 ont utilisé les données satellitaires MODIS de l'étude de Wang et al. (2019) et les ont mis en relation avec le déplacement de la zone de convergence intertropicale mais également l'upwelling au milieu de l'océan (pompage d'ekman positif) et la croissance de phytoplancton. Les sargasses commencent à s'agréger dans les zones de convergence des alizées à partir de mars-avril. Cette accumulation continue et se développe par la suite vers l'est au moment où la NECC apparaît (entre Juin et Septembre). (Figure 28)

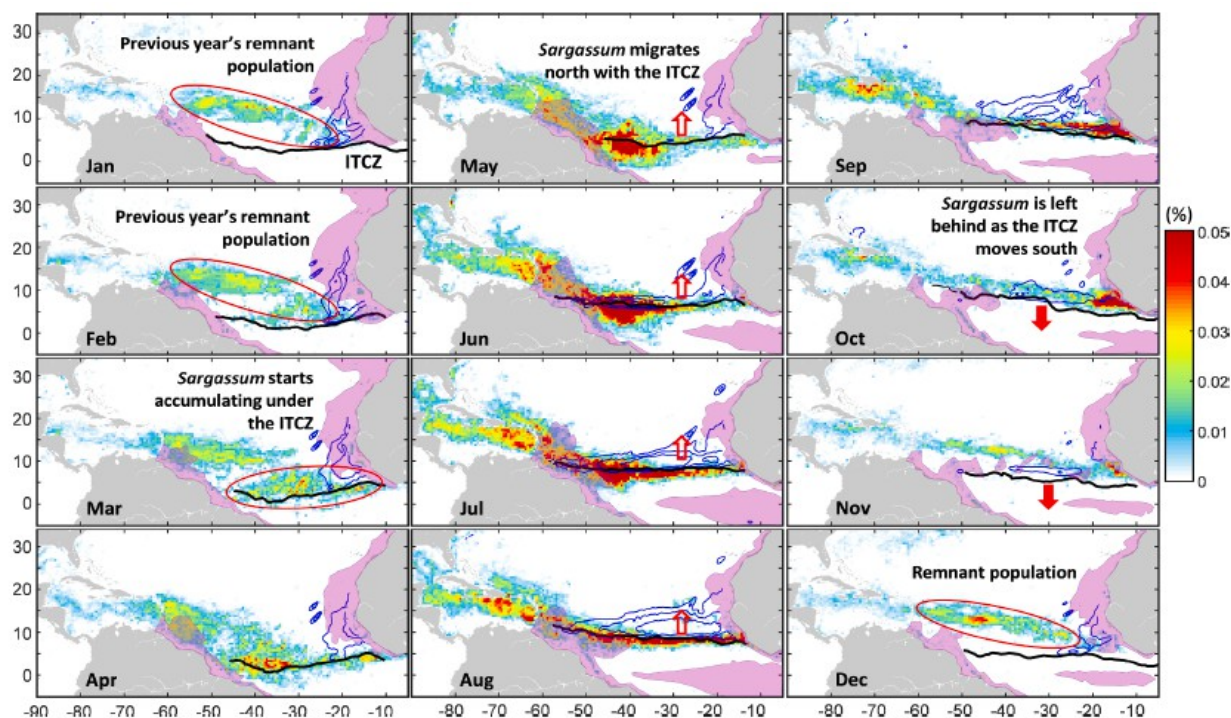


Figure 28 : Densité de sargasse dans l'océan entre 2010 et 2018 selon le mois de l'année, la zone de convergence intertropicale est en noir, la zone de upwelling en plein océan (pompage d'Ekman positif) en bleu, la croissance de phytoplancton en rose influencé par l'Amazonie, l'Orinoco et les panaches fluviaux des rivières africaines. (L'upwelling dans l'océan atlantique se fait entre juin et octobre). Les flèches rouges représentent les déplacements de la zone de convergence intertropicale. (Johns et al. 2020)

La zone de convergence intertropicale se déplace vers le Nord avec l'approche de l'été et l'augmentation de l'ensoleillement. Les masses de sargasses suivent cette remontée et donc entament un déplacement global de Mai à Août vers les eaux plus au nord. A partir d'octobre les vents convergents diminuent en intensité et la ZCIT redescend vers le Sud laissant les sargasses migrer avec le courant nord-atlantique vers l'ouest et prendre la direction des Caraïbes avec le courant Nord Brésilien. En se dirigeant vers les Caraïbes avec une localisation plus au Nord que celles au large du Brésil, elles passent au niveau des eaux riches en nutriments déversées par la rivière d'Orinoco au Venezuela.

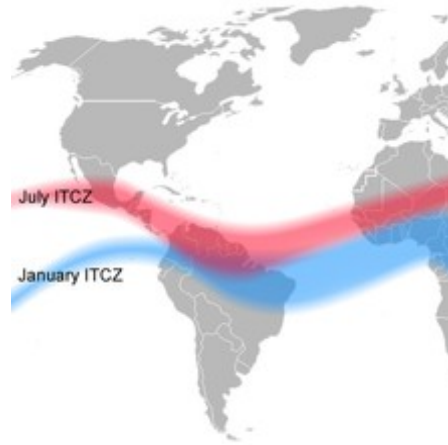


Figure 29 : localisation de la ZCIT en juillet (rouge) et janvier (bleu)

Source : Halldin M. ITCZ January-July | Wikimedia

Les sargasses qui ne migreront pas jusque dans les Caraïbes serviront pour le développement des sargasses les années suivantes. (visible en tant que « remnant population » sur la figure 28)

Selon l'étude il est peu probable que les nutriments de l'Amazonie entre mars et mai puissent aider au développement des sargasses puisque la localisation est trop au nord et à l'ouest de la zone où s'accumule ces algues. Mais à partir de l'été, le mouvement de retroflexion avec le NECC concerne également la rivière Amazone. Ses eaux riches en nutriments peuvent alors rentrer en contact avec ce courant, se déplacer également vers l'est et faire bénéficier aux sargasses de ces ressources pour se développer à partir de cette période.

Les zones riches en nutriments au large de l'Afrique de l'Ouest ne sont pas localisées à l'endroit où se trouve les sargasses excepté les nappes les plus à l'est autour du dôme de Guinée. Celles ci peuvent profiter de l'upwelling à ce niveau qui se produit entre juillet-septembre ou de décembre à février. Au milieu de l'océan, l'upwelling en lien avec le pompage d'Ekman positif se produit entre juin et octobre et il se trouve au nord de la zone de convergence intertropicale. Il se produit dans les zones de passage des sargasses pouvant donc apporter des nutriments au milieu de l'océan.

2. L'impact de la brume de sable provenant du Sahara

L'apport de nutriment du Sahara vers l'Amazonie est connu et il est même important pour la productivité de la forêt amazonienne. Il y a chaque année un dépôt de plusieurs millions de tonnes composé de phosphate et potassium apporté par la poussière du Sahara. Le phosphore compense notamment les pertes liées aux écoulements de pluie dans la région. (26) (27)

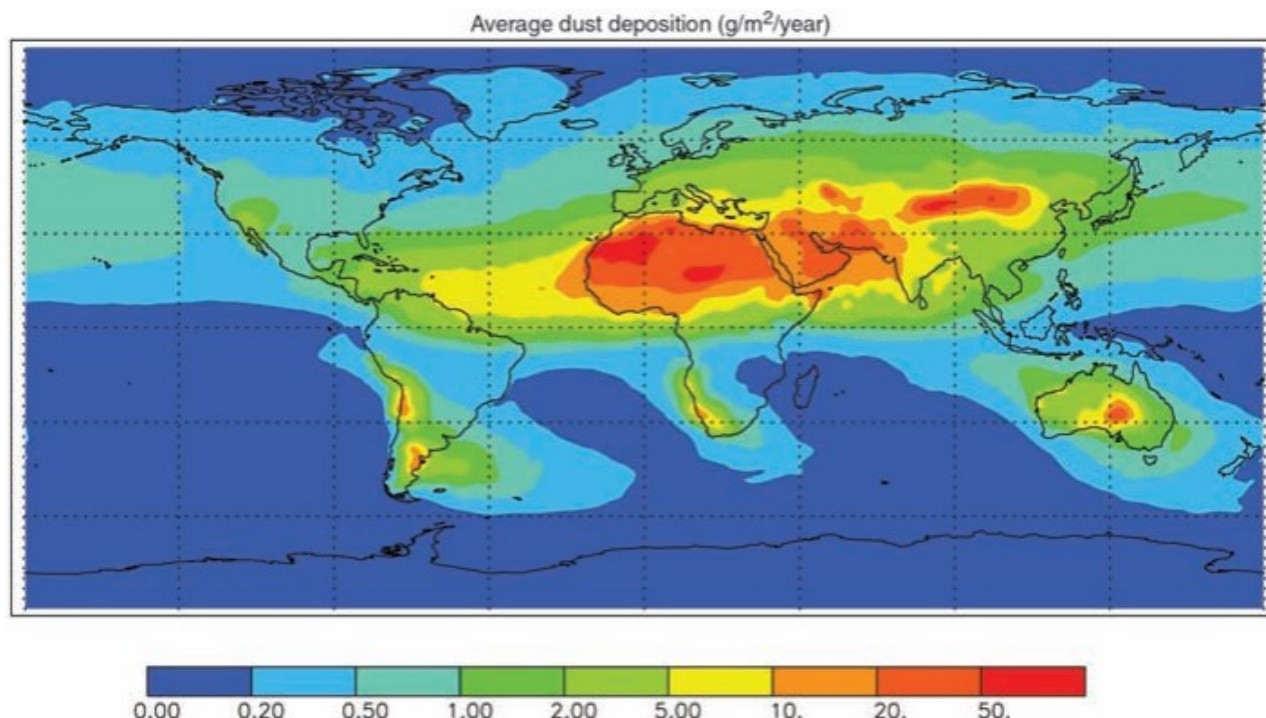


Figure 30 : Flux de poussières vers les océans du monde basés sur un croisement de trois modélisations. 43% des apports aux bassins océaniques sont dans l'Atlantique nord. (28)

Les poussières qui se déplacent du Sahara vers l'Amazonie survolent la NERR, zone où sont maintenant retrouvées les sargasses (Figure 30). Il est donc possible que cet endroit bénéficie de nutriments comme pour la forêt amazonienne. Ce facteur pourrait jouer sur le développement des sargasses en apportant les éléments tels que le phosphate, le potassium mais également du fer nécessaire pour leur prolifération (29)

L'étude de Djakouré et al (2017) s'est penché sur différents facteurs environnementaux qui aurait pu participer au déclenchement du phénomène des sargasses en Atlantique Équatorial. (30) A l'époque de cette étude, la brume de sable ne semblait déjà pas être un élément déclencheur de l'apparition des sargasses puisqu'il y avait une diminution des émissions de poussières depuis l'Afrique à la suite d'un pic atteint dans les années 80. Une baisse de 10% est en effet observée par décennie entre 1982 et 2008 (Ridley et al 2014). Pour expliquer la diminution de ce phénomène, une hypothèse suggère un lien avec l'augmentation des gaz à effet de serre et l'augmentation de la température de surface de la mer (Wang et al. 2012). Une eau plus chaude induirait des conditions plus humides sur le Sahel et donc une diminution de la concentration de poussière dans l'Atlantique Nord tropical.

3. Les variations de la température de l'eau

L'étude de Djakouré et al. (2017) (30) s'est penchée sur d'autres facteurs environnementaux qui pourraient être impliqués dans la croissance des sargasses. Ces facteurs sont notamment la température de surface de la mer. En effet, la température de l'eau a une influence sur le développement des sargasses (Gao and McKGao,1994).

Entre 2010 et 2011, la température de l'eau fut anormalement plus élevée que

d'habitude dans l'ensemble de l'océan atlantique et plus spécifiquement dans la partie nord de l'atlantique où le contraste fut encore plus important avec des valeurs plus élevées de 1,5°C par rapport à la moyenne. (Figure 31). Un pic d'anomalie de température est observé en 2011 juste avant le début des épisodes de sargasses (Figure 32). Ces températures élevées ont donc peut-être participé à leur croissance ; même si la température optimale pour le développement des sargasses n'est pour l'instant pas tout à fait connue. Cependant entre 2013 et 2015, les températures étaient en dessous de la moyenne et les sargasses se sont quand même largement développées.

Un autre facteur rentre en effet en compte avec la température, c'est la disponibilité en nutriments. Quand la température est plus élevée, il faut qu'il y ait des nutriments disponibles pour la croissance des algues (Endo et al, 2013). Des conclusions similaires montrent que le développement des algues est également influencé par la lumière et la disponibilité en nutriments (Talling, 2012). De nouvelles études génétiques et biologiques sur les sargasses sont donc nécessaires pour estimer les températures optimales en fonction des différentes conditions nutritives.

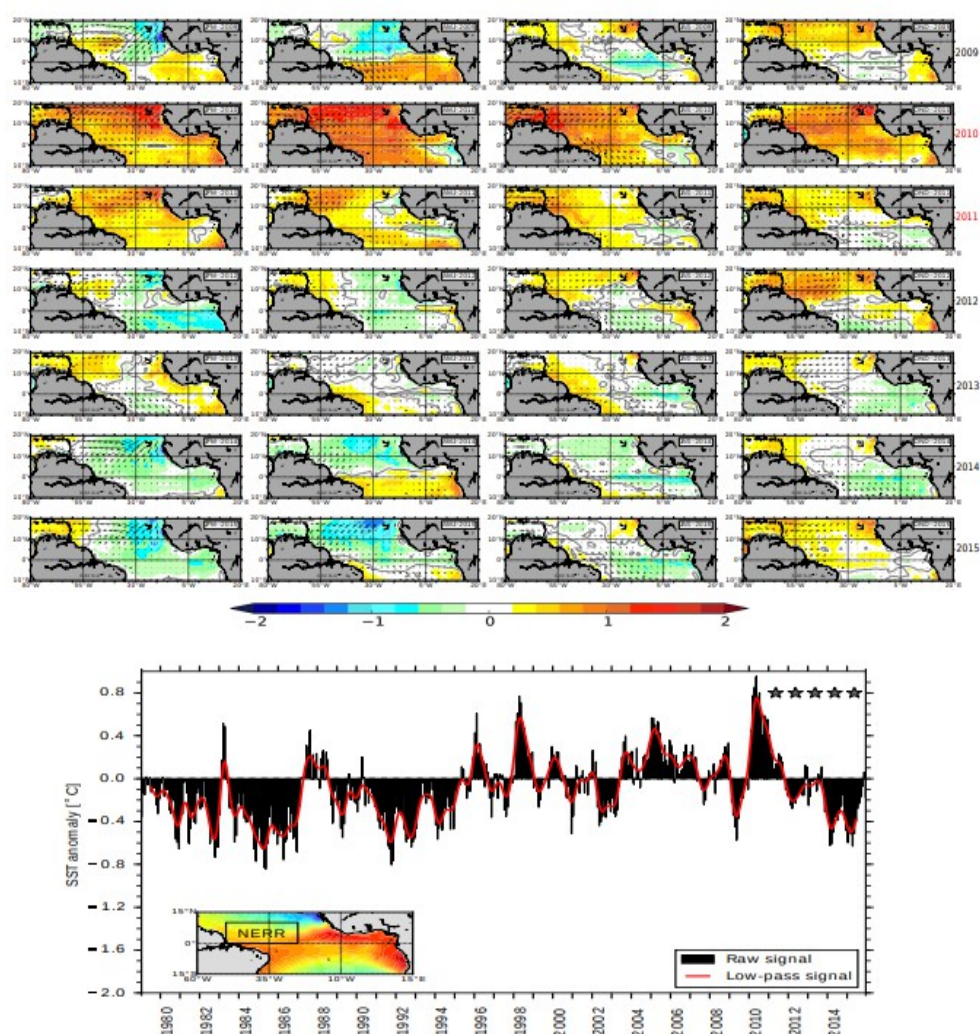


Figure supérieure (31) : répartition géographique des anomalies de la température de surface en mer et du sens du vent entre 2009 et 2015 par période de 3 mois.

Figure inférieure (32) : anomalies interannuelles de la température de surface en mer dans la zone du NERR entre 1993 et 2015. Les étoiles représentent les années d'apparition de sargasses Djakouré et al. (2017).

4. Les variations des rejets fluviaux et les charges en nutriments

De grands fleuves sont présents de part et d'autre de la partie tropicale de l'océan atlantique et qui sont susceptibles d'apporter des nutriments. Parmi eux, l'Amazonie et l'Orénoque en Amérique du Sud et le fleuve Congo en Afrique. L'étude de Djakouré et al. (2017) a analysé les différents rejets fluviaux de ces fleuves en fonction des années pour essayer de mieux comprendre les différents liens. Une des analyses porte sur les débits des fleuves, qui varient durant l'année et entre les années. Pour le fleuve Amazonie, qui est celui avec les débits les plus importants vis-à-vis des autres fleuves, les hauts débits se produisent pendant la période de février à août. Le développement et les échouages de sargasses se produisent principalement entre février et mai donc environ à la même saison. À l'inverse, à cette période le débit des fleuves Orénoque et Congo sont dans des phases de débit faible.

Fin 2010 et début 2011, période où le développement des sargasses a commencé, le fleuve Amazonie a connu l'année la plus faible en terme de débit entre 1979 et 2015. À l'inverse l'année la plus forte fut en 2006 et à cette époque il n'y avait pas de sargasse. De plus, il n'y a pas eu d'anomalie pour l'année 2015, alors que c'était l'année la plus forte en terme de prolifération de sargasses.

Le nitrate et le phosphate augmenteraient la production des algues et ces dernières seraient plus limitées en nitrate qu'en phosphate (Lapointe, 1995). L'étude s'est donc penchée sur les différentes concentrations de ces éléments dans les différents fleuves puisqu'ils sont d'importantes sources de nutriments. Entre 1974 et 2015, une tendance à la hausse est observée concernant la présence de phosphate et de nitrate pour le fleuve Amazonie. Cette tendance est aussi présente à moindre échelle pour le fleuve Congo. Entre 2011 et 2015, la quantité de nitrate dans le fleuve Amazonie atteint des valeurs sans précédents. Les valeurs pour le fleuve Congo durant cette période ne sont pas anormalement élevées en comparaison aux années précédentes (de 2006 à 2010). Il pourrait donc y avoir un lien entre l'augmentation des apports continentaux de l'Amazonie et le développement des sargasses.

L'urbanisation et l'agriculture ont un effet sur l'augmentation des nutriments présents dans les fleuves (Sissini et al, 2017). Et pour l'Amazonie, il y a probablement un lien avec la déforestation que connaît l'Amazonie au profit notamment de l'agriculture. De plus, le Brésil est actuellement le plus grand consommateur d'engrais et de pesticides dans le monde, ce qui est favorable à une pollution par des composés comme le nitrate et le phosphate.

La pollution des eaux souterraines et des rivières par le nitrate et le phosphate est un processus lent. Il faut plusieurs années pour ces éléments s'infiltrer dans les sols et se déplacent vers une rivière. L'effet de la déforestation sur la concentration de nitrate et de phosphate peut donc se voir seulement des années plus tard (Meyer-Reil et Köster, 2000).

Néanmoins, l'étude de Jouanno et al. (2021) (31) a réfuté un lien majeur entre les fleuves et le développement des sargasses. En effet, pour l'année 2017, l'étude a estimé que seulement 10% de la biomasse des sargasses rencontre l'eau de fleuves dans l'océan. Ainsi, lorsque le courant Nord Brésilien transporte l'eau douce de l'Amazonie vers l'est, la présence des sargasses est même réduite par rapport aux

mois précédents. La faible salinité de l'eau aurait pour effet de limiter la prolifération des sargasses. Des expériences décrites en 1987 par Hanisak et Samuel ont notamment montré qu'une diminution de quelques points de pourcentage de la salinité de l'eau pouvait réduire de quasi la moitié le développement des sargasses.

5. Les variations des concentrations de nutriments en plein océan

Les sargasses se trouvent dans la région de recirculation nord-équatorial (NERR), l'étude Djakouré et al. (2017) a alors observé avec l'aide des résultats du Copernicus-Marine Mercator Green (Programme européen d'observation et de surveillance de la Terre), les concentrations des différents composés dans cette zone. Elle s'est aussi penchée sur les concentrations dans la région équatoriale d'upwelling à l'est.

Les données montrent que les variabilités de phosphates et de nitrates sont assez similaires entre elles dans le temps. En 2011 dans la NERR, les concentrations en phosphates et en nitrates sont plus faibles que la moyenne mais à partir de la fin de l'année 2012, elles atteignent des valeurs sans précédent par rapport à l'ensemble des valeurs mesurées entre 1998 et 2015 (Figure 33). Dans la région équatoriale d'upwelling, des anomalies positives inédites sont également retrouvées pour ces deux composés entre 2011 et 2015 même si elles sont peut-être sur-évaluées à cause de biais d'analyses du Mercator Green. Ces valeurs anormalement élevées dans l'océan ont peut-être favorisé le développement des sargasses, d'autant plus que ces composés sont importants pour leurs croissances.

Certaines études supposaient que la brume de sable africaine apportait du fer dans l'océan participant à la croissance des algues (cf. supra). Cependant avec les données disponibles seules de légères anomalies positives entre 2011 et 2013 sont observables. Des valeurs plus élevées ont été rencontrées par le passé et de 2013 à 2015, les concentrations étaient même anormalement basses alors qu'il y avait de forte présence de sargasses.

Les anomalies de concentration en chlorophylle étaient généralement négatives avant 2011 et depuis elles sont positives correspondant aux invasions de sargasses.

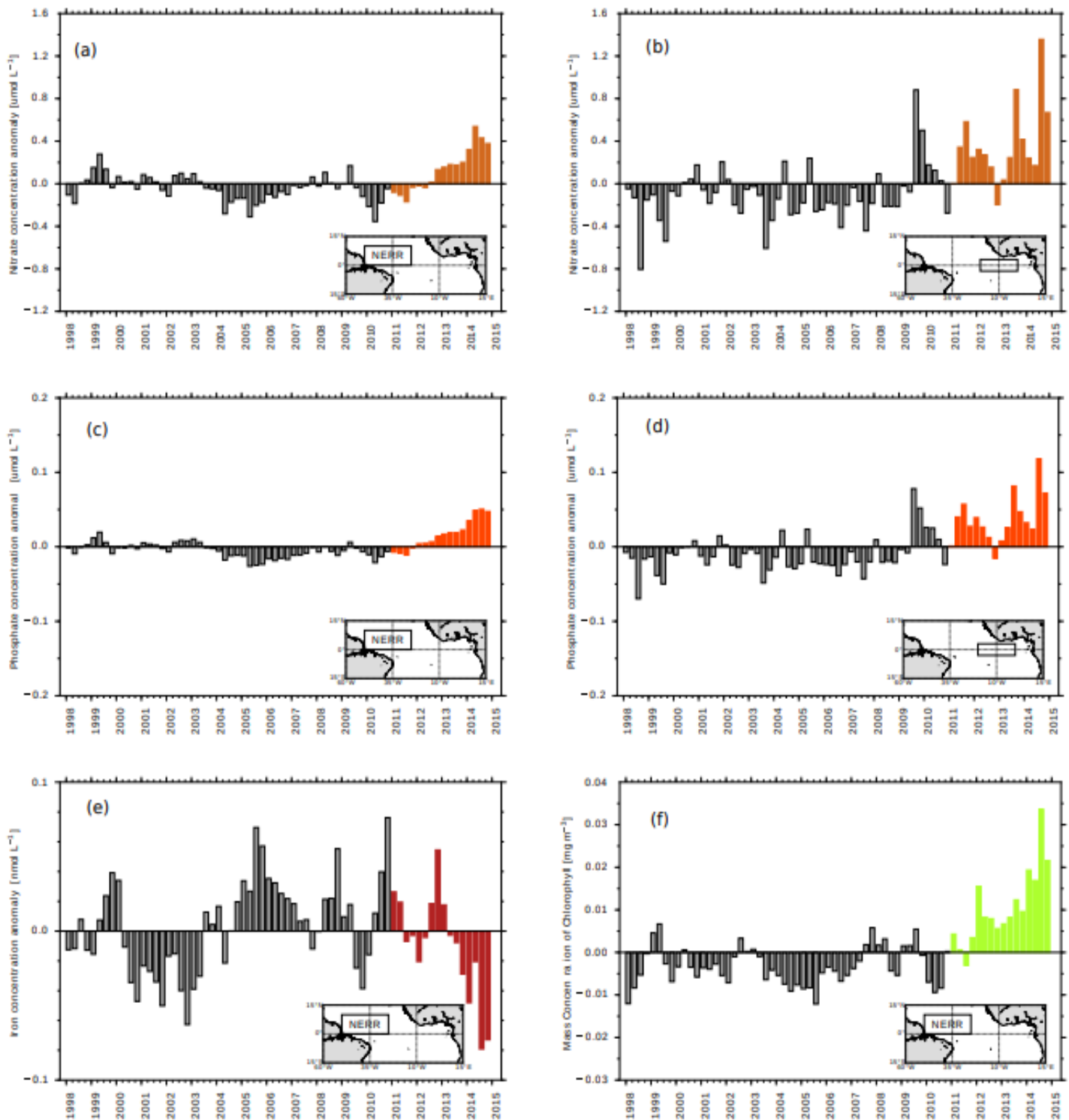


Figure 33 : Anomalies saisonnières entre 1998 et 2015 de concentration de nitrate [$\mu\text{mol l}^{-1}$] et phosphate [$\mu\text{mol l}^{-1}$] dans la NERR et la région équatoriale (a, b, c, d) Anomalies saisonnières entre 1998 et 2015 de concentration en fer [$\eta\text{mol l}^{-1}$] et en chlorophylle [mg m^{-3}] dans la NERR (e, f). Les parties colorées correspondent à la période de développement des sargasses. Djakouré et al. (2017)

6. Influence de la couche de mélange océanique (Mixed layer)

La couche de mélange océanique correspond à la couche d'eau en surface en contact avec l'air. Elle fait généralement quelques dizaines de mètres de profondeur, elle est homogène en terme de température, de salinité, de densité et normalement pauvre en nutriments. (32)

L'étude de John et al. (2020) a analysé cette couche de mélange océanique dans les zones de développement des sargasses. Dans l'Atlantique tropicale, il y a un lien entre la profondeur de cette couche et la force des vents présents au dessus.

La profondeur de la couche de mélange tend à augmenter au fil des années entre 2010 à 2018. (Figure 34)

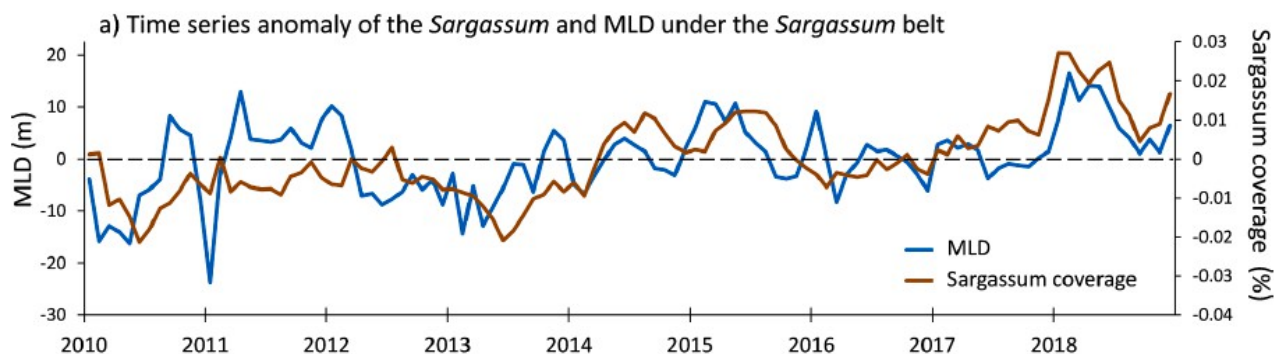


Figure 34 : Anomalies, en bleu de la profondeur de la couche de mélange et en marron de la couverture spatiale de sargasses. (Johns et al. 2020)

Il est intéressant de noter que les années avec d'importants développements de sargasses (2015 et 2018), correspondent aux années où cette couche de mélange océanique était plus profonde qu'habituellement. A l'inverse, en 2013 il n'y a quasi pas eu de sargasses et la couche était beaucoup moins profonde que les autres années.

Il y a eu une comparaison avec les concentrations de nitrates dans ces zones. Il en résulte que la profondeur de la couche de mélange est généralement plus profonde ou de même profondeur que la nutricline du nitrate (zone délimitant de forte variation). En étant assez profonde, cette couche de mélange permet donc de faire remonter les nitrates présents dans les profondeurs marines et être ainsi disponible pour les algues en surface.

Cet apport est finalement très important et en comparaison, il est même largement supérieur en quantité que l'apport de nutriment par le fleuve Amazone.

En plus de cela, il est même directement disponible puisque le phénomène se situe au même endroit que le développement des sargasses.

Différents facteurs environnementaux ont été analysés pour tenter d'expliquer l'apparition des sargasses et leur développement. Certains éléments ne semblent pas être des paramètres déterminants (brume de Sable du Sahara, température de l'eau, les débits fluviaux). Cependant il est difficile d'exclure totalement un de ces éléments puisque ceux-ci, même de façon mineur peuvent participer à ce phénomène de prolifération. Peu de sargasses rencontreraient l'eau des fleuves et

cette eau aurait même plutôt un effet néfaste sur la prolifération de ces algues comme l'a récemment montré l'étude de Jouanno et al. (2021). Néanmoins une augmentation sans précédent des nutriments charriés par l'Amazonie est tout de même à noter pouvant aboutir à un enrichissement de l'océan. La présence de nutriments (nitrates, phosphates) dans l'océan au niveau de la NERR et au large de l'Afrique est de plus anormalement élevés depuis quelques années.

Pendant les périodes où elle était plus profonde que d'habitude, la couche de mélange océanique a pu participer à l'augmentation de ces nutriments. Cette couche de mélange tend à être plus profonde lors de la présence de vent fort en surface.

En 2017, lors de la publication de l'étude Djakouré et al., l'hypothèse mettant en lien l'anomalie de 2010-2011 avec l'apparition du phénomène des sargasses en Atlantique équatorial n'était pas encore élaborée. Les oscillations positives de l'atlantique nord apportent de forts alizés facilitant les échanges verticaux en mer. Or le possible lien entre ces oscillations et le développement des sargasses n'avait pas été retenu dans l'étude de 2017 puisque des phénomènes d'oscillations positives, notamment entre 1989 et 1995 avaient eu lieu sans apparition de sargasses. Cependant il semblerait y avoir une corrélation si le développement des sargasses en Atlantique Équatorial est considéré comme possible que depuis 2011. Cet exemple montre que c'est un phénomène complexe et qu'un élément mis de côté par le passé peut être finalement important pour comprendre le phénomène.

Nous avons évoqué précédemment l'existence de 2 espèces de sargasses (*S. Natans* et *S. Fluitans*) dont 2 formes pour *S. Natans* (I et VIII) et une pour *S. Fluitans* (III). Or avec tous ces différents déplacements, il est intéressant d'analyser le pourcentage des différentes formes en fonction des localisations afin d'analyser les éventuelles différences entre la mer des Sargasses et celles présentes au niveau de l'Atlantique et des Caraïbes.

G. Proportions des différentes sargasses en fonction de la localisation

La publication de Schell et al. (2015) relate les résultats des observations faites par un navire qui a sillonné l'Atlantique et la mer des Sargasses dans le but d'analyser les formes de sargasses. L'échantillonnage a été réalisé de novembre 2014 à mai 2015 à bord du SSV Corwith Cramer.(31)

Il est intéressant de noter la très forte présence de *S. Natans* VIII dans les Caraïbes et dans l'océan Atlantique durant cette période. A l'inverse, dans le Sud de la mer des Sargasses, la forme *S. fluitans* était majoritaire durant cette période (Figure 35). Cette différence entre la mer des sargasses et la zone Caraïbes / Atlantique en terme de population dominante renforçait en 2015 l'hypothèse que les sargasses ne provenaient pas directement de la mer des Sargasses.

De plus, l'espèce de sargasse *S. Natans* VIII n'était que peu présente auparavant et n'était pas présente lors des 1ers échouages massifs en 2011. En effet, l'espèce majoritaire citée à l'époque était la *S. fluitans* (Impact Mer 2011, Moreira et Alfonso 2013). Il n'y a pour l'instant pas d'étude qui explique cette soudaine augmentation de ce type de sargasse.

Lors de la visite des zones impactées par les sargasses en Martinique en 2015, le CEVA a noté la présence des espèces *S. Fluitans* et *Natans*. (N. Rossi)

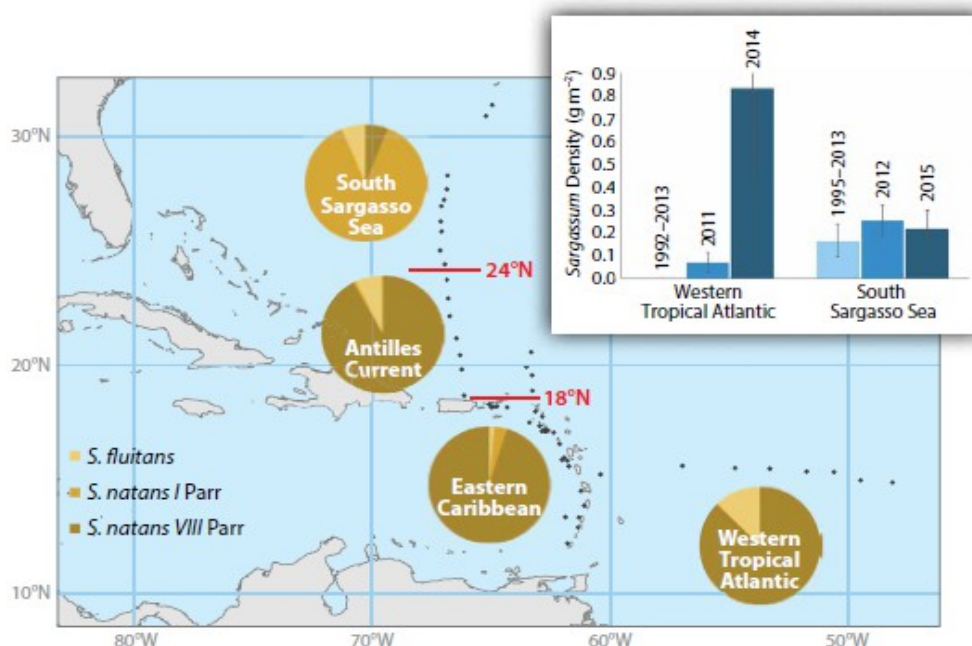


Figure 35 : Proportion de chaque formes de Sargasses observées lors des ramassages. (31)

S. Fluitans est plus souvent décrite comme l'espèce dominante même si ce n'est pas forcément toujours le cas, notamment selon les résultats de Schell et al. (2015).

Au final, il existe un mélange des deux espèces qui rend difficile d'associer le phénomène de prolifération à une potentielle dominance d'une de ces espèces.

Lors de l'analyse des espèces dans certaines études, un mélange de critère propres aux deux espèces est constaté; notamment différents morphotypes pour les deux espèces laissant un doute quant à leur identification.

Une utilisation des outils moléculaires pour faire des analyses plus approfondies de la taxinomie des sargasses serait donc utile pour améliorer à la fois les connaissances en terme de différenciation morphologique mais aussi la dynamique spatiale de ces espèces.(4)

Une thèse a analysé la répartition géographique des 3 espèces (Martin, 2016) dans trois zones : la mer des Sargasses, les Caraïbes et le golfe du Mexique. (34) La température moyenne de ces trois zones où les sargasses sont présentes ont également été prises en compte pour les résultats.

Le golfe du Mexique présentait une température moyenne la plus élevée (de 29,1°C +/- 2,2), suivi des Caraïbes (26,8°C +/- 0,2) et la mer des Sargasses (24,8°C +/- 2,0)

S. Natans VIII est rarement présente dans les eaux au delà de 22,5°N alors que *S. Natans* I est rarement présent en dessous de 25°N. *S. Fluitans* se retrouve aux mêmes latitudes que *S. Natans* VIII mais peut être observée plus au nord (Figure 36). Il est intéressant de noter une corrélation avec la température puisque celle ci décroît à partir de la latitude 25°N dans la mer des Sargasses. La température passe d'environ 26-27°C entre 20°N et 25°N à 22-23°C vers 30°N.

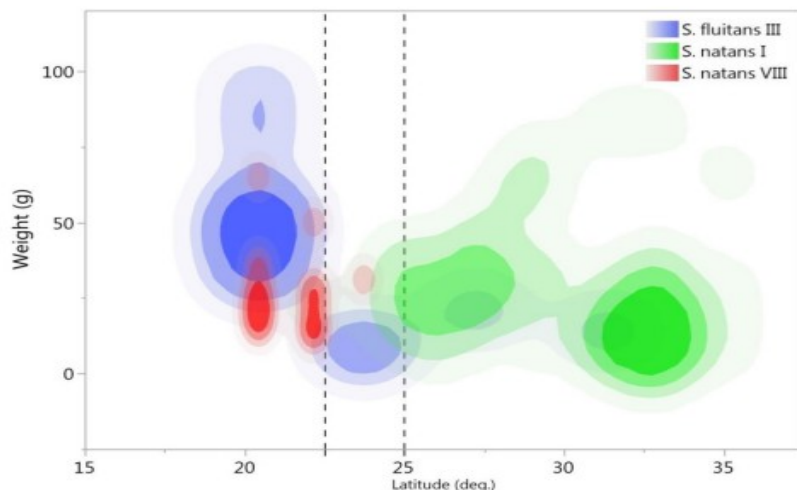


Figure 36 : Variation des espèces de Sargasses en fonction des latitudes dans la mer des sargasses. (9)

L'étude suggère que le développement de *S. Fluitans* III est lié à la température puisque cette algue migre vers le Sud de la mer des Sargasses entre l'automne et le printemps. Durant cette période il y a une diminution de la température en surface de la mer. A l'inverse *S. Natans* I est capable de se développer dans les eaux les plus au Nord de la mer des Sargasses mais que dans les autres eaux ce développement est beaucoup plus limité.

S. Natans VIII n'a été trouvé en nombre qu'en dessous de 22,5°N. De plus, quand elle est présente dans le golfe du Mexique et dans la mer des Sargasses, elle est bien moins diversifiée que dans les Caraïbes. L'étude suppose donc qu'elle est principalement adaptée aux Caraïbes bien qu'elle puisse survivre dans d'autres régions (golfe du Mexique ou au Sud de la mer des sargasses). Elle suggère également que c'est grâce aux forts courants marins que *S. Natans* VIII est retrouvée dans ces endroits.

Cependant l'origine de *S. Natans* VIII n'est pas connue avec cette analyse. De plus la région du NERR n'a pas fait partie de l'étude alors que, grâce aux images satellite, il a été établi que c'est un lieu propice au développement des sargasses. Tandis que *S. Natans* VIII n'était pas présent lors de l'épisode de 2011, en quelques années elle a rapidement augmenté en abondance pour devenir l'une des formes les plus communes avec *S. Fluitans* III dans les échouages de sargasses.

Partie II : Composition chimique des sargasses et toxicité

A. La composition des sargasses

Le rapport de l'ANSES (4) en 2017 sur « Les expositions aux émanations d'algues sargasses en décomposition aux Antilles et en Guyane » nous renseigne sur la composition type des sargasses. Cette composition concerne l'algue sèche, puisque comme la plupart des macro-algues, les sargasses ont une teneur en eau de l'ordre de 70 à 90% de leur poids.

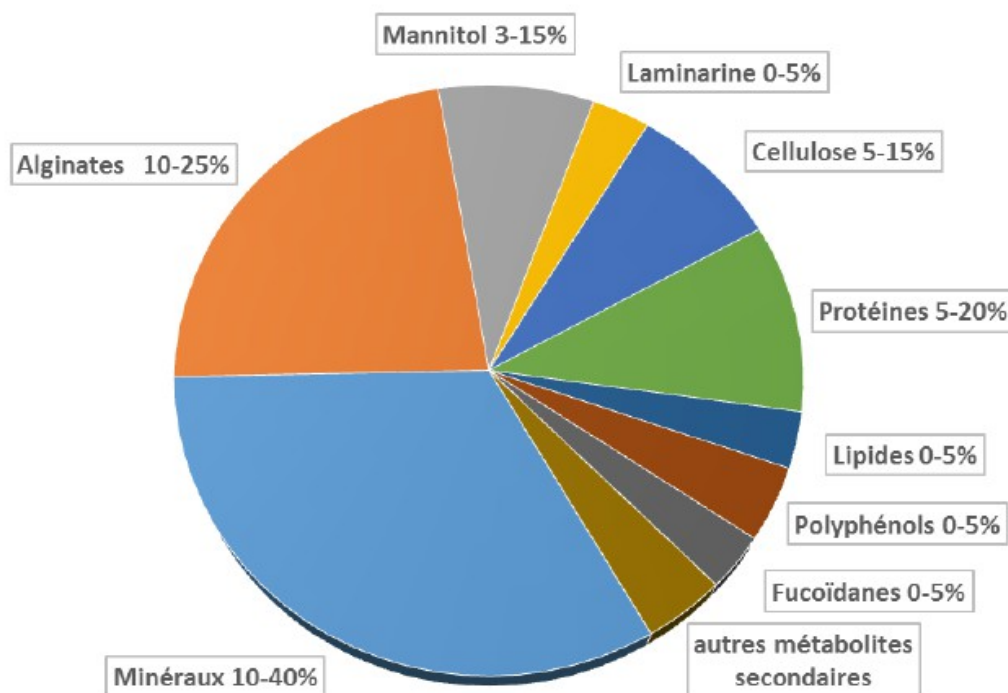


Figure 37 : Composition typique des sargasse (en % de poids sec) selon le centre de valorisation des algues (CEVA)

1. Les minéraux

Les algues ont une capacité à absorber et stocker les minéraux supérieure à celle des végétaux terrestres. L'environnement et les facteurs physiologiques autour des algues influencent le contenu en minéraux de celles ci. Parmi les différents facteurs on peut citer :

- Les propriétés physico-chimiques de l'eau de mer.
- L'immersion de l'algue (profondeur, fréquence, durée).
- L'exposition aux vagues, à l'éclairement et l'action des courants.
- La saison et le stade de développement des algues, la maturité sexuelle des algues.

Sur l'ensemble des minéraux présents dans l'algue, la moitié correspond aux chlorures. L'autre moitié provient de sulfates, de carbonates ou de polysaccharides ioniques. Il y a entre autre une multitude de minéraux et d'oligo-éléments : du sodium (Na), potassium (K), calcium (Ca), magnésium (Mg), soufre (S), fer (Fe), Iode (I), cuivre (Cu), zinc (Zn), sélénium (Se).

2. Les métaux lourds

Les sargasses contiennent de nombreux métaux lourds. Cette présence est due à la capacité des sargasses à chélater et accumuler les cations.

Le rapport de l'ANSES cite par exemple l'arsenic retrouvé notamment dans les analyses du CEVA sur les sargasses originaires de Martinique et de Guadeloupe. Une concentration de 80 à 100 ppm d'arsenic total dont 40 à 70 ppm d'arsenic inorganique qui est la forme la plus toxique, a été mesurée. A titre d'exemple, la limite fixée en France (CSHPF 1990) pour l'arsenic inorganique est de 3 ppm pour l'utilisation d'algue en alimentation humaine et de 40ppm d'arsenic total en alimentation animale.

Autre métal cité dans le rapport, le cadmium, a été retrouvé avec des quantités de l'ordre de 1 à 2 ppm pour une limite fixée à 0,5 ppm en alimentation humaine. Il est donc difficile d'utiliser les sargasses dans l'alimentation humaine ou animale sans traitement au préalable.

Elements	SnI	SnVIII	Sf
Na	11,441.00 ± 237.24	14,436.18 ± 575.76	11,310.71 ± 406.27
Mg	8456.26 ± 300.36	6193.47 ± 146.48	8684.03 ± 292.54
Al	335.69 ± 18.70	187.70 ± 31.79	427.57 ± 54.94
K	28,701.30 ± 527.46	32,865.84 ± 1003.03	30,503.78 ± 1225.51
Ca	56,138.23 ± 1864.90	36,435.64 ± 690.72	57,726.79 ± 1813.97
V	2.37 ± 0.06	2.28 ± 0.18	4.21 ± 0.43
Cr	3.18 ± 0.99	1.50 ± 0.54	9.18 ± 0.37
Mn	39.62 ± 0.36	13.03 ± 0.48	22.92 ± 0.66
Fe	634.79 ± 18.18	237.07 ± 44.26	832.97 ± 101.84
Co	0.91 ± 0.07	0.47 ± 0.03	0.89 ± 0.06
Ni	4.21 ± 0.16	3.87 ± 0.10	3.52 ± 0.08
Cu	4.29 ± 0.16	2.78 ± 0.14	4.47 ± 0.20
Zn	14.71 ± 1.98	6.35 ± 0.62	7.2 ± 1.20
As	64.91 ± 0.61	60.30 ± 0.34	58.32 ± 2.29
Cd	0.77 ± 0.43	0.40 ± 0.02	0.57 ± 0.02
Ba	22.17 ± 0.67	19.21 ± 0.65	23.21 ± 0.42
Pb	2.47 ± 1.79	0.33 ± 0.13	1.11 ± 0.47
U	0.80 ± 0.08	0.79 ± 0.01	0.83 ± 0.04
Total	105,867.69 ± 2926.44	90,467.20 ± 2410.74	109,622.32 ± 3618.09

Figure 38 : Éléments contenus dans les sargasses collectées à Fort Rocky en Jamaïque. Ils sont exprimés en µg/g d'algue séchée (Davis et al. 2021) (35)

Ces composés ont également été observés par Davis et al. en 2021. Une quantité aux alentours de 60 ppm pour l'arsenic et entre 0,4 et 0,77 ppm de cadmium est observée (Figure 38). Il est à noter également la présence d'autres métaux comme le plomb (Pb).

La quantité des éléments dans les sargasses peut varier en fonction de la localisation géographique. Par exemple, lors d'une enquête sur la composition des sargasses au large du Ghana dans le but d'une potentielle utilisation pour l'alimentation ou la création d'engrais, des concentrations très élevées pour certains composés ont été relevées (35).

Parameter (ppm)	Zone 1 /onshore Half Assini	Zone 2 /onshore Egbazo	Zone 2 Assiama	Zone 2 /onshore Asunda	Zone 3 /onshore Atuabo	Zone 3 /onshore Miemia	Zone 3 /onshore Axim/Agyan	Zone 5 Africa Beach	Zone 6 /onshore Essipon	Acceptable limits (ppm)
Nitrogen (N)	0.67	0.87	0.84	0.95	0.87	1.04	0.62	N/A	0.62	1 to 6
Phosphate (PO_4) ₂	1.02	1.37	1.53	1.16	0.83	1.43	1.52	N/A	1.55	0.05 to 1
Amonia (NH_4) ₃	460.8	878.4	568	354.4	734.4	424.8	741	N/A	554.4	1 to 6
Nitrate (NO_3)	208.8	201.6	180	187.2	410	237.6	288	N/A	216	1 to 6
Potassium (K)	2.28	1.88	1.42	0.72	2.48	2.41	1.08	N/A	1.86	0.3 to 6

Figure 39 : Concentrations en nutriments (mg/kg) enregistrées dans les sargasses échouées sur différents sites au Ghana.

Comme l'indique l'histogramme (Figure 40), les concentrations en cuivre, fer, plomb, cadmium, mercure et d'arsenic sont au-dessus de la limite de toxicité. (Kabata-Pendias, 2001) (37). Le zinc est le seul élément inférieur au seuil. Sudharsan et al. (2012) (38) ont remarqué que le zinc était modérément absorbé par les algues et herbiers marins étudiés. Une des hypothèses pour ces taux élevés est que la région a longtemps été une plaque tournante de l'industrie aurifère. Le drainage des sites miniers s'évacue vers les zones côtières par l'intermédiaire des rivières, causant ainsi une augmentation de métaux lourds dans la mer. Actuellement la région connaît des activités d'exploration et de forage d'hydrocarbure pouvant être également une des raisons de ces taux élevés. Les métaux lourds étant non biodégradables, ils peuvent s'accumuler à différents niveaux de la chaîne alimentaire et causer des

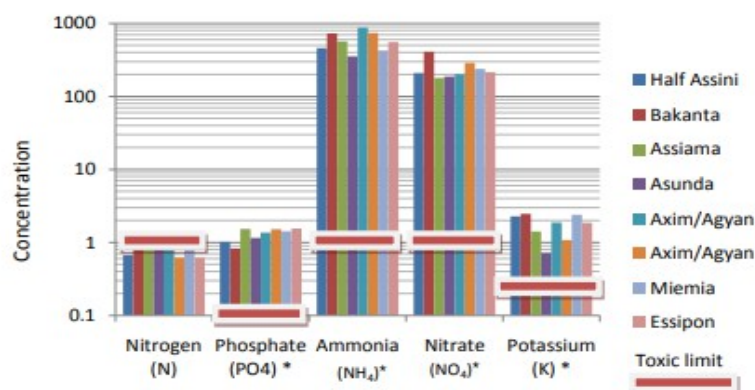
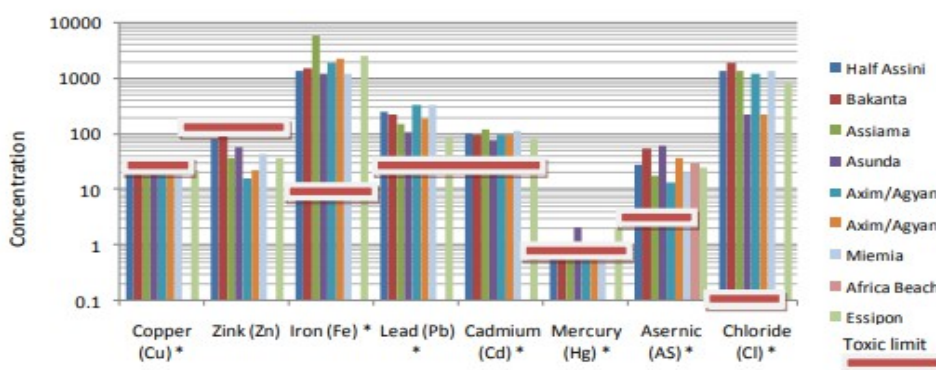


Figure 3. Histogram of the concentrations of nutrients (ppm) measured in the Sargassum samples analysed.



problèmes de santé.

Figure 40 : Histogramme des concentrations en nutriments et métaux lourds dans les échantillons de sargasses au Ghana.

3. Les concentrations en glucides

Les macro-algues comme les sargasses contiennent principalement des polysaccharides et ces derniers ont plusieurs rôles importants. Ils participent notamment à la structure pariétale, à la rétention de l'eau lors des phases où l'algue est hors de l'eau (exondation) ou encore à de très nombreuses activités biologiques...

Les différentes familles de polysaccharides que l'on trouve sont les alginates, les fucoïdanes, la laminarine, le mannitol ainsi que la cellulose.

- Les alginates :

La paroi cellulaire des algues brunes est composée en grande partie d'alginates. Communément, les teneurs sont de 10 à 40% du poids sec de l'algue dans cette catégorie d'algue. Pour les sargasses, cette teneur est plus faible, entre 10 et 25%. Les alginates sont utilisés pour la conception d'agents gélifiants ou texturants dans l'industrie. Le plus souvent ils sont extraits des laminaires qui sont faciles à extraire et d'une bonne qualité. Dans l'industrie pharmaceutique ce composé est présent par exemple dans le Coalgan®, mèches hémostatiques utilisées pour les saignements cutanés et muqueux. Il est réalisé à partir d'alginate de calcium extrait du tissu de soutien rigide des *Laminaria hyperborea*. Les alginates, sous forme d'alginate de sodium, sont présents dans le Gaviscon® qui permet de traiter les reflux gastro-œsophagien en rendant le liquide de l'estomac visqueux. (39)

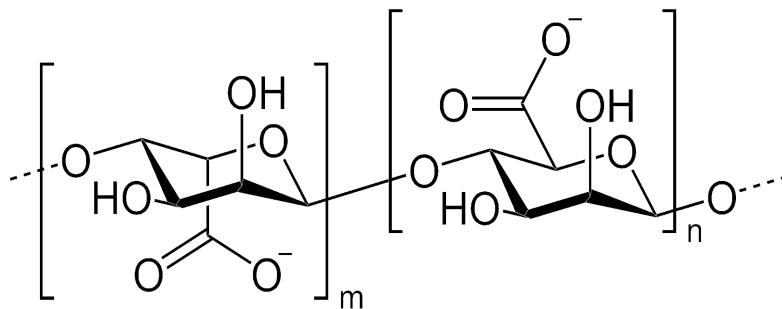
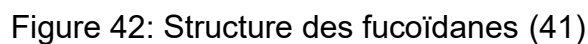


Figure 41 : L'alginate ou acide alginique est composé de 2 monomères, de l'acide D-mannuronique et de l'acide L-glucuronique.

C'est en partie grâce aux alginates que les algues ont une importante capacité à chélater les métaux lourds dans la nature. Cette caractéristique peut être utilisée comme traitement. En effet l'alginate de sodium permet d'éliminer les métaux lourds du corps lors d'une contamination ou d'un empoisonnement. (26)

- Les fucoïdanes :

Ils composent également la paroi cellulaire des sargasses. Ce sont des polysaccharides composés de fucoses sulfatés et reliés par des branchements à d'autres sucres tels que le glucose, le galactose, le mannose, le xylose ou l'acide glucuronique. Ils peuvent être substitués par des sulfates et acétates.



- anti-virales ;
- anti-cancéreuse ;
- anti-thrombotiques, c'est un inhibiteur de l'agrégation plaquettaire avec une activité qui se rapproche de celle des héparines ;
- anti-inflammatoires ;
- en cosmétique, il réduirait le vieillissement de la peau et favoriserait la croissance capillaire.

- La laminarine :

Chemical structure of a branched polysaccharide repeating unit. The main chain consists of glucose units in chair conformation, linked by α -1,4 glycosidic bonds. A side chain is attached via an α -1,6 glycosidic bond. The repeating unit is enclosed in brackets with a subscript n . Carbons are numbered 1 through 6, and the side chain carbons are numbered 1' through 6'.

Figure 43 : Structure de la laminarine (42)

50

- Le mannitol :

C'est un polyol dérivé du mannose qui a une fonction de réserve comme la laminarine.

Les analyses ont montré entre 3 et 15% de mannitol dans les sargasses.

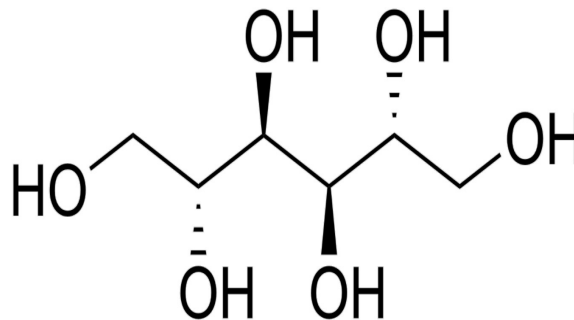


Figure 44 : Structure du mannitol (44)

4. Les protéines

La teneur dans les sargasses en protéines est relativement faible entre 5 à 12%. Il y a dans ces protéines des acides aminés soufrés de l'ordre de 2 à 3% de l'ensemble des acides aminés. Globalement le soufre représente environ 0,5% du poids des protéines.

5. Les lipides

Les sargasses contiennent des complexes elongase-desaturase qui permettent la synthèse d'acides gras polyinsaturés à chaînes longues (20-22 carbones) absents des végétaux terrestres. Elles possèdent très peu de triglycérides par rapport à d'autres produits comme les phospholipides ou glycolipides qui sont en plus grande quantité. Des stérols, des terpénoïdes, des tocophérols et des caroténoïdes sont aussi des lipides observés dans les sargasses.

6. Les polyphénols

Les sargasses présentent une teneur élevée en polyphénols, notamment en phlorotannins, oligomères et polymères de phloroglucinol. Cependant elle n'est pas si haute dans les espèces pélagiques comme *S. Natans* ou *Fluitans* qui contiennent moins d'1% de polyphénols.

B. L'impact des composés lors des échouages

1. Phénomène de décomposition et d'émissions gazeuses

En fonction de la disponibilité en oxygène, les micro-organismes vont soit dégrader la matière organique de façon aérobie, soit réaliser une fermentation anaérobie. Les glucides de stockage, la laminarine et le mannitol sont facilement accessibles pour la dégradation contrairement aux autres polysaccharides qui, au préalable, doivent être hydrolysés en monomères simples.

En présence d'oxygène, le carbone présent dans les algues en dégradation va être utilisé comme source d'énergie et va s'associer à l'oxygène pour former du CO₂. Lorsque l'oxygène n'est pas présent, il y a un autre processus qui se met en place avec d'autres micro-organismes. Plusieurs étapes successives qui sont retrouvées dans la fermentation, (hydrolyse, acidogénèse, acétogénèse) vont toucher de nombreux composés organiques notamment les composés azotés (réduits en acide organiques et ammoniac) et les composés soufrés (dégagement de H₂S).

Lors d'un échouage de sargasse, la 1^{ère} étape est généralement une dégradation aérobie, il n'y a pas d'odeur lors de cette étape ni de relâchement de composés potentiellement toxiques. Par la suite, une croûte séchée peut se former en surface limitant les échanges avec l'air extérieur. La matrice algale aura une disponibilité en oxygène qui va diminuer progressivement pour au final être nulle une fois que la dégradation aérobie aura consommé l'oxygène piégé sous la croûte. A ce moment là, le processus de fermentation anaérobie va prendre le relais et relâcher des composés indésirables. Cependant cette croûte est moins fréquente pour les sargasses que pour d'autres espèces d'algues qui s'échouent sur les côtes telles que les ulves (espèce d'algues responsable des échouages sur la côte Bretonne). L'une des raisons pour laquelle la fermentation anaérobie se fait avec les sargasses est en lien avec les volumes d'échouages qui sont très élevés. Il y a une accumulation sur une grande épaisseur entraînant ainsi un tassement et une diffusion réduite de l'oxygène.

Lors de leur approche sur le rivage, les algues vont être impactées par les vagues qui vont fractionner les thalles en petits morceaux. Cette altération physique dépendra de la composition de la zone d'échouage (sable ou roche) mais aussi de la force des vagues. En étant plus petite, la surface de contact avec les bactéries responsables de la dégradation est plus élevée. Il en découle une accélération de la dégradation et donc des nuisances.

2. Mesures des émissions gazeuses

(45 - 47)

En Guadeloupe, l'Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA) Gwad'air, a pour rôles de mesurer et surveiller les concentrations de plusieurs polluants atmosphériques réglementés. En plus des polluants réglementés, ils mesurent des polluants locaux liés aux émanations des sargasses à savoir l'hydrogène sulfuré (H₂S) et l'ammoniac (NH₃) qui sont les deux principaux gaz émis. Les émissions sont mesurées en continu grâce à un réseau de 24 micro-capteurs localisés dans des zones urbanisées proche des échouages. Ces installations sont récentes puisqu'elles ont été inaugurées le 28 septembre 2018.

En juin 2018, le Haut Conseil de Santé Public a défini plusieurs seuils sanitaires pour l'hydrogène sulfuré et l'ammoniac sur une durée de 24h :

Concentrations en H ₂ S et en NH ₃ sur 24 heures	Messages d'information et de recommandation
[H ₂ S] < 0,07 ppm et [NH ₃] < 8,3 ppm	Sans effet sanitaire sur la période observée.
[H ₂ S] : 0,07 à 1 ppm et [NH ₃] < 8,3 ppm	Se tenir informé de l'évolution du phénomène, particulièrement pour les personnes vulnérables*. Il est recommandé aux personnes vulnérables* de se tenir éloignées des zones de présence des algues en décomposition dès la perception des odeurs et d'éviter d'être sous le vent des émissions de gaz.
[H ₂ S] : 1 à 5 ppm et [NH ₃] < 8,3 ppm	Pour la <u>population générale</u> , il est recommandé de se tenir éloigné des zones affectées par les échouages d'algues en décomposition. En cas de symptômes (yeux ou gorge qui piquent, larmoiements, maux de tête, difficulté respiratoire, toux, démangeaisons, vomissements, vertiges), s'adresser à son médecin ou pharmacien. Pour les <u>personnes vulnérables*</u> , il est recommandé de ne pas séjourner sous le vent des émissions des gaz et d'éviter l'exposition aux autres substances irritantes et/ou allergisantes (fumées de tabac...). En cas de symptômes (yeux ou gorge qui piquent, larmoiements, maux de tête, difficulté respiratoire, toux, démangeaisons, vomissements, vertiges), s'adresser à son médecin ou pharmacien.
[H ₂ S] > 5 ppm ou [NH ₃] > 8,3 ppm	Il est fortement recommandé à l'ensemble de la population d'éviter l'accès aux zones à risque et de ne pas se placer sous le vent des émissions de gaz. En cas de symptômes (yeux ou gorge qui piquent, larmoiements, maux de tête, difficulté respiratoire, toux, démangeaisons, vomissements, vertiges), s'adresser à son médecin ou pharmacien.

Figure 45 : Messages d'information et de recommandation en fonction des concentrations de H₂S et en NH₄ sur 24 heures.

La partie en bleu correspond à une situation normale, celle en vert à « information générale », l'orange à « recommandation générale » ou phase de pré-alerte et la rouge à dépassement des seuils ou phase d'alerte.

Chaque année Gwad'air réalise un bilan pour l'ensemble de la Guadeloupe.

En 2019, il y a eu :

- 7 dépassements de seuils, ils ont eu lieu à la Désirade, à Terre-de-Bas et à Bananier dans la commune de Capesterre-Belle-Eau
- 73 recommandations générales
- 595 informations générales
- 5881 situations normales

En 2020, il y a eu :

- 0 dépassement de seuil
- 56 recommandations générales
- 320 informations générales
- 5653 situations normales

Les phases de « pré-alerte » se situaient principalement sur les sites de Beauséjour à la Désirade (31 phases), au Lagon de St-François (9 phases), à Moudong Baie-Mahault (5 phases). Les autres étaient sur Terre-de-Bas, Goyave et St-Anne.



Figure 46: Localisation des différents capteurs (47)

Grâce à ce réseau Gwad'air a la possibilité de mesurer le dégagement des principaux gaz émis lors des échouages de sargasses et d'informer ou d'alerter la population quand ceux ci sont trop importants.

Une cartographie est notamment publiée de façon journalière montrant les différentes concentrations de gaz dans chacun des lieux disposant de capteurs. Les moyennes annuelles des concentrations en H_2S relevées sur 24h en ppm sont réalisées sur les sites exposés aux sargasses.

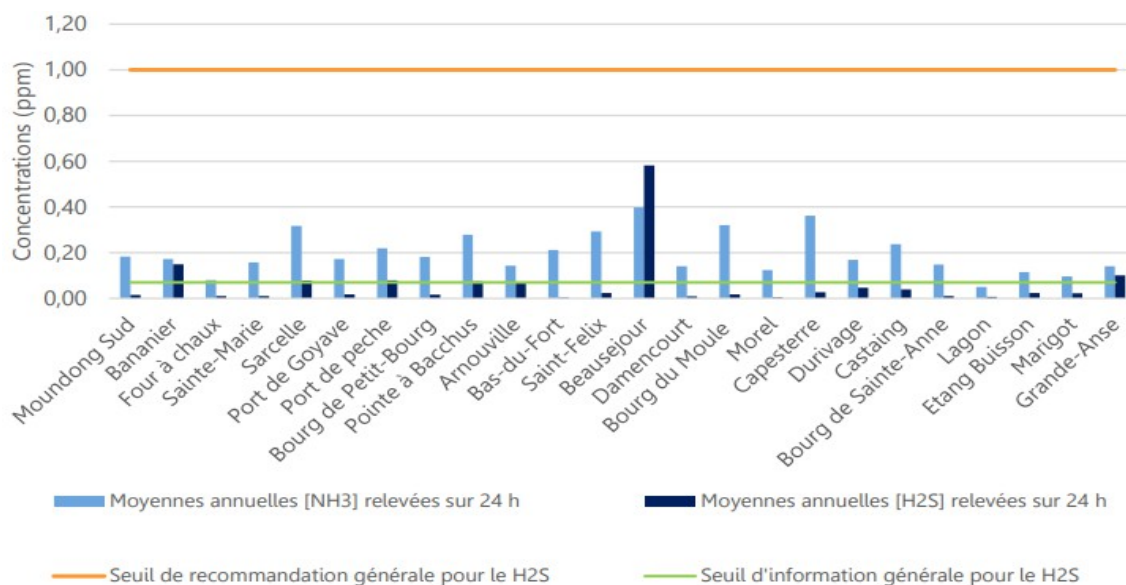


Figure 47 : Moyennes annuelles en 2019 (47)

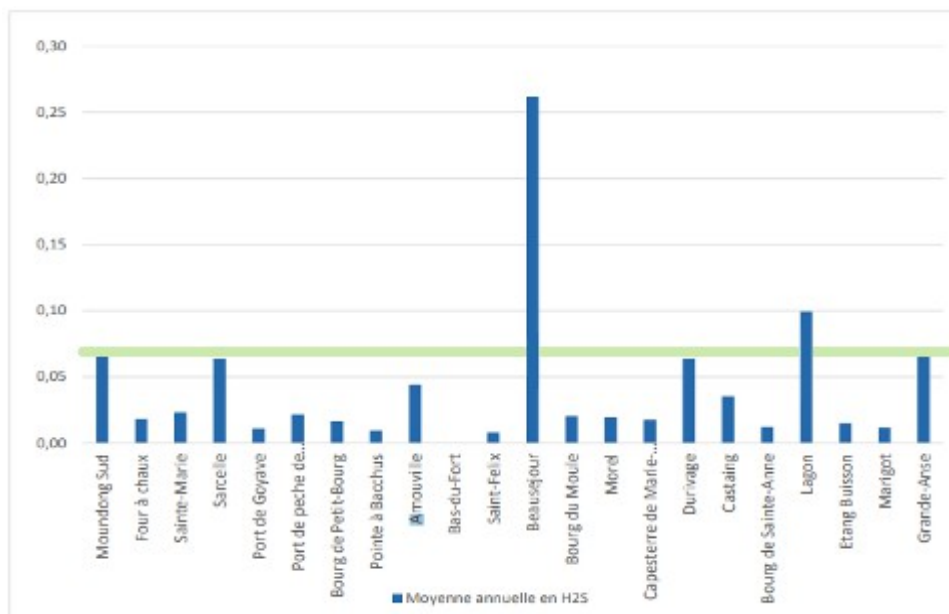


Figure 48 : Moyennes annuelles en 2020 (48)

Sur une année complète, certains sites peuvent avoir une moyenne annuelle qui dépasse le seuil d'information générale pour le H₂S. A noter que ce seuil est largement dépassé sur le site de Beauséjour à la Désirade.

En 2020, un bilan sur les concentrations maximales journalières et horaires en H₂S sur les différents sites est également disponible. Les maximums journaliers en H₂S mesurés par le réseau pour de nombreux sites dépassent le seuil de 1ppm comme le montre le tableau ci-dessous.

Communes	Sites	Maximums annuels des moyennes journalières (ppm)
Baie-Mahault	Moudong	1,91
Goyave	Sarcelle	1,2
Désirade	Beauséjour	4,54
Sainte-Anne	Durivage	1,31
Sainte-Anne	Bourg	2
Saint-François	Lagon	3,74
Terre-de-Bas	Grande Anse	3,1

Tableau 1 : informations reprises du bilan annuel 2020 de Gwad'air (48)

Les maximums des moyennes horaires disponibles dans le rapport annuel de 2020 de Gwad'air, atteignent jusqu'à 8,73 ppm pour Beauséjour et 4,30ppm pour le Lagon de Saint-François.

Concernant l'ammoniac, l'ARS de Guadeloupe a rapporté que des pics de plus de 100 ppm et des valeurs d'environ 40 ppm sur 15 minutes ont déjà été mesurés localement. (49)

Au delà des dégagements gazeux lors des échouages, il y a une crainte d'une contamination des sols aux alentours des sites. En effet, les sargasses contiennent de nombreux composés dont des métaux lourds qui peuvent être relargués dans l'environnement avoisinant.

3. Mesures de composés sur un site de dépôt de sargasses

Le BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) a analysé l'un des sites de stockage de sargasses (commune de Capesterre-de-Marie-Galante) (49). Ils ont cherché à montrer si les métaux lourds et notamment l'arsenic dans les sargasses pouvaient contaminer l'environnement. Historiquement ce lieu n'était pas à proximité d'industries pouvant polluer les sols et ne faisait pas partie de la base de donnée BASOL qui répertorie les sites et sols pollués ou potentiellement pollués. Plusieurs prélèvements ont été réalisés à des endroits différents du site. La nature du sol était différent selon la localisation, le nord du site étant plutôt argileux et le sud sableux.

Les résultats montrent pour l'eau stagnante proche des sargasses fraîches (échantillon n°2) une plus forte concentration pour des métaux comme le Cd, Cu, Hg, Se, Cr, Pb, Mn, Zn, Al, Fe. Pour l'As et le Ni, ils sont plus concentrés dans les dépôts les plus anciens (échantillon n°5). Globalement l'enrichissement est net vis à vis du sol témoin sauf pour le mercure.

Paramètre	unité	témoin	eau 2	eau 3	eau 4	eau 5	eau potable
Arsenic total (As)	µg(As)/L	4.2	912.2	2 298	432.9	3 380	10

Figure 49 : Concentrations de l'arsenic dans les eaux stagnantes

Les concentration en Cr, Fe et Hg sont plus importantes dans le sol où les sargasses fraîches sont présentes (Sol 2). Les plus fortes concentrations en As, Mn et Ni sont dans le sol où les sargasses sont les plus anciennes (Sol 5). Globalement dans les sols, les teneurs sont similaires au témoin.

Paramètre	unité	TEMOIN	SOL 2	SOL 3	SOL 4	SOL 5
Arsenic (As)	mg(As)/kg MS	8	5.9	5.6	9.5	12.8

Figure 50 : Concentrations de l'arsenic dans les sols à proximité

La concentration en arsenic de 12,8 mg/kg se situe dans la gamme de valeurs couramment observées dans les sols « ordinaires », la limite haute étant de 25 mg/kg. Il n'y a pas eu de trace de chlordécone ou de ses dérivés dans les échantillons. La chlordécone est un pesticide longtemps utilisé dans les bananeraies des Antilles entre 1972 et 1993. Elle pollue maintenant les sols et les eaux et il est estimé que la quasi totalité de la population Antillaise en a dans le sang (50). De la chlordécone a été observée dans les sargasses au niveau des littorales où ce polluant est présent. Cela correspond aux zones avec un historique de plantation de banane. (52)

En conclusion, il n'y a eu aucune différence observée pour les sols. Par contre, des différences par rapport au témoin ont été observées pour les eaux stagnantes, il y a un impact fort avec un enrichissement en éléments vis à vis de l'échantillon témoin.

C. Toxicologie des différents éléments

1. Composés impactant l'air

Il est intéressant de se pencher sur les différents symptômes possible lors d'une exposition aux gaz émis par les sargasses, puisque certaines molécules relarguées se retrouvent avec une concentration très élevée dans l'atmosphère. Des habitations se situent à proximité de zones d'échouage et certaines personnes ont une activité proche de la mer et sont donc exposées aux émanations de façon récurrente. Ces expositions se produisent pendant plusieurs mois et reviennent presque chaque années.

• Toxicité du sulfure d'hydrogène H₂S :

Le sulfure d'hydrogène est un gaz incolore, plus lourd que l'air avec une odeur caractéristique d'œuf pourri. Il est détectable à de très faible concentration (0,02 à 0,1ppm) mais à forte concentration, ce gaz peut anesthésier l'odorat et donc son odeur peut disparaître (100ppm). Ce gaz intoxique l'homme essentiellement par voie respiratoire. Il est rapidement oxydé et éliminé par voies intestinale et urinaire sous forme de thiosulfates, sulfites et sulfates.

L'INRS (institut national de recherche et de sécurité) rassemble les différentes informations sur la toxicologie de composés rencontrés en milieu professionnel. (53) Pour une exposition aiguë avec du sulfure d'hydrogène les effets vont être variables en fonction de la concentration du gaz, pouvant aller jusqu'au décès dans les cas les plus graves (expositions industrielles).

À partir de 100 ppm, une irritation des muqueuses oculaires et respiratoires est rencontrée, cela se manifeste par une conjonctivite, une rhinite, une dyspnée voire un œdème pulmonaire retardé. Ces symptômes peuvent s'associer de céphalée, nausée, sialorrhée et perte de connaissance brève.

Même si elles n'atteignent pas ces valeurs, les concentrations rencontrées lors des échouages de sargasses peuvent être assez élevées pour observer des effets sur le corps humain.

L'organisation mondiale de la santé a publié un document sur l'hydrogène sulfuré et notamment un tableau regroupant les effets sur la santé humaine de ce gaz à différentes concentrations. (54)

Exposure (mg/m ³)	Effect / observation	Reference
0.011	Odour threshold	Amoore & Hautala, 1983
2.8	Bronchial constriction in asthmatic individuals	Jappinen et al., 1990
5.0	Increased eye complaints	Vanhorne et al., 1995
7 or 14	Increased blood lactate concentration, decreased skeletal muscle citrate synthase activity, decreased oxygen uptake	Bhambhani & Singh, 1991; Bhambhani et al., 1996b, 1997
5–29	Eye irritation	IPCS, 1981
28	Fatigue, loss of appetite, headache, irritability, poor memory, dizziness	Ahlborg, 1951
>140	Olfactory paralysis	Hirsch & Zavala, 1999
>560	Respiratory distress	Spolyar, 1951
≥700	Death	Beauchamp et al., 1984

Figure 51 : Effets de l'hydrogène sulfuré sur la santé humaine en fonction de sa concentration (Chou and al. 2003) (54)

Pour l'hydrogène sulfuré : 1 mg/m³ = 0,71 ppm

Dès $2,8 \text{ mg/m}^3$ (soit environ 2ppm), une bronchoconstriction est visible chez les individus asthmatiques. À partir de 5 mg/m^3 (3,55 ppm), il y a une augmentation des gênes et des irritations oculaires. À partir de 7 mg/m^3 (5 ppm), une augmentation de la concentration des lactates dans le sang (acidose métabolique), une diminution de l'activité de la citrate synthase dans les muscles et une diminution de l'assimilation de l'oxygène se produisent.

Ces effets observés se présentent à des seuils facilement atteignables lors des échouages de sargasse. Les personnes à proximité sont donc potentiellement exposées à ce risque.

Les symptômes retrouvés en cas d'intoxication chronique rapportés par l'INRS concernent le système nerveux (céphalées, fatigue, insomnie, perte de la libido, troubles de la mémoire, ataxie et mouvements choréo-athétosique incontrôlés). À cela s'ajoutent des irritations oculaires avec sensation de brûlure, inconfort et photophobie avec la possibilité de survenue d'œdème cornéen ; des effets digestifs (nausées, une anorexie, des douleurs abdominales et des diarrhées). L'exposition répétée peut également causer des bronchites irritatives et une irritation cutanée. Le taux d'avortements spontanés serait plus élevé également lors d'une exposition chronique au H_2S . Ces différents signes sont généralement observés pour des concentrations assez élevées.

L'exposition à long terme à de faibles concentrations est assez peu documentée. Il n'y a pas d'étude qui montre que l'hydrogène sulfuré est cancérogène.

- **Toxicité de l'ammoniac NH_3 :** (55) (56)

C'est un gaz incolore à odeur piquante et irritante plus léger que l'air. Il se liquéfie facilement, est très soluble dans l'eau et cette dissolution est associée à un dégagement de chaleur. Le seuil de perception olfactif est variable en fonction des personnes (quelques dizaines de ppm à plus de 100 ppm) et il existe une forme de tolérance avec une exposition chronique.

Les différents symptômes lors d'une exposition aiguë à l'ammoniac se caractérisent par une irritation des muqueuses oculaires et respiratoires :

- Une irritation trachéobronchique (toux, dyspnée asthmatiforme), les formes sévères apparaissent vers 408 ppm.
- Une atteinte oculaire (larmolement, hyperhémie conjonctivale, ulcérations conjonctivales et cornéennes, iritis, cataracte, glaucome), les lésions apparaissent au dessus de 600 ppm.
- Des ulcérations et œdèmes des muqueuses nasale, oropharyngée et laryngée (vers 1720 ppm).

Suite aux échouages des sargasses, les concentrations peuvent atteindre 100 ppm. À cette concentration, l'inconfort et les premiers signes d'irritations au niveau des yeux et des muqueuses sont possibles puisqu'ils apparaissent autour de 20 à 25 ppm. Les premiers signes d'irritation à la gorge après une exposition de quelques heures apparaissent à 100ppm, vers 134 ppm l'exposition nécessaire est de seulement 5 min.

La toxicité chronique pour l'ammoniac n'a été que très peu étudiée. Des altérations de la fonction respiratoire avec une diminution de la capacité vitale (CV) et du volume expiratoire maximal par seconde (VEMS) ont été mises en avant sur quelques études en milieu industriel. Ces cas se sont produits pour des valeurs d'exposition supérieures à 25 ppm en moyenne. Des cas d'asthme professionnel ont été révélés avec des expositions dans les métiers du nettoyage et de la coiffure. (55)

Il n'y a pas d'étude qui montre que l'ammoniac a des effets cancérogènes. Concernant la génotoxicité, une ancienne étude montre des altérations chromosomiques mais le lien n'est pas réellement établi dans la mesure où elle est peu détaillée.

2. Composés impactant les sols et l'eau

D'autres composés dans les sargasses peuvent être toxique, parmi eux, l'arsenic et le cadmium qui peuvent atteindre des concentrations importantes. Contrairement aux émanations gazeuses, ils ne sont pas perceptibles mais leurs accumulations dans l'environnement peut être un danger d'autant plus que le phénomène se répète.

- **Toxicité de l'arsenic (As) :** (57 - 60)

C'est un métalloïde qui se présente sous forme de cristaux gris, brillants, d'aspect métallique. C'est un élément chimique sans goût et sans odeur, de la croûte terrestre naturellement présent dans l'eau, le sol ou l'air.

Il est principalement absorbé par voie digestive (80%), mais aussi par voie respiratoire et cutanée. Il est distribué dans l'organisme de façon rapide et éliminé par voie urinaire.

L'arsenic peut se trouver sous différentes formes qui seront plus ou moins toxiques. La forme inorganique est la plus toxique, elle est plus facilement métabolisée sous formes méthylées et s'accumule dans les tissus. Cette forme inorganique est combinée avec du chlore, du soufre ou de l'oxygène et se trouve par exemple dans l'eau. L'OMS porte une attention particulière envers ce composé puisqu'il est présent en grande quantité dans les eaux souterraines de nombreux pays. Les formes inorganiques ont une DL 50 à environ 5 – 100 mg par kg de poids corporel. La limite journalière est de 0,45µg d'arsenic inorganique par kilogramme de poids corporel.

Les formes organiques dans les aliments (poissons et fruits de mer) sont combinées avec du carbone et de l'hydrogène. L'arsénobétaïne (un exemple de forme organique) est faiblement toxique avec une DL 50 à environ 10g par kg de poids corporel. Pour les composés organiques, peu d'études ont été faites et certaines d'entre elles sont peu toxiques. Il n'y a pas de donnée pour la dose journalière tolérable

Des études supposent qu'une forme de l'arsenic dans l'eau entre dans les sargasses par les transporteurs de phosphates. L'As (V) se confondrait avec le phosphate avec des similarités physico-chimique entre H_2PO_4^- et H_2AsO_4^- (Taylor and Jackson 2016) (60).

Il y aurait un lien entre une augmentation d'As (V) et une diminution de concentration en P dans les algues résultant d'une compétition à l'entrée du transporteur. Une autre

forme l'As (III) entrerait également mais ne montre pas de corrélation avec P en terme de concentration. Il y aurait un passage indépendant du phosphate par l'intermédiaire d'une aquaglyceroporine (Meharg 2004).

Les mécanismes de rétention de l'arsenic ne sont pas pour l'instant totalement compris.

Dans les sargasses, il peut être chélaté avec les alginates et également entrer dans la composition de sucres arséniés. Dans le corps humain, l'arsenic provoque une modification de systèmes enzymatiques et une perturbation de la synthèse de certaines protéines / nucléoprotéines. Il exerce également des effets génotoxiques avec une augmentation du nombre d'aberrations chromosomiques, des effets cancérogènes et des effets sur la reproduction (tératogène et embryotoxique).

En cas d'intoxication aiguë, les effets immédiats sont digestifs (vomissements, douleurs abdominales, diarrhée) puis nerveux (engourdissement, fourmillements dans les extrémités et crampes musculaires). Les fortes intoxications peuvent mener à un décès.

Il est cependant peu probable dans le cas des invasions des sargasses de voir une intoxication aiguë, à moins de boire une grande quantité d'eau stagnante près des sargasses par exemple. Une intoxication chronique provoque sur la peau des modifications de pigmentation, des lésions cutanées et de plaques rugueuses sur la paume des mains et la plante des pieds (hyperkératose). Cela peut aboutir à un cancer de la peau. Il faut au moins cinq ans pour voir apparaître ces effets.

En plus des effets sur la peau, des risques d'augmentation de cancer de la vessie et des poumons sont également possibles. Des atteintes pulmonaires, cardiovasculaires, des effets neurotoxiques et des effets sur le diabète peuvent également s'observer.

Avec les échouages constants ces dernières années, une des questions que l'on peut se poser est la suivante : est ce que l'arsenic apporté par les sargasse peut contaminer l'écosystème environnant et entraîner un risque pour les populations à l'avenir ?

- **Toxicité du cadmium (Cd) : (62 - 63)**

C'est un métal blanc-bleuâtre, mou, très malléable et ductile. Il est naturellement présent dans les sols, géochimiquement lié avec le zinc, mais également présent dans l'atmosphère résultant du volcanisme. Le cadmium se trouve dans les eaux, apporté par les retombés atmosphériques et suite au drainage des sols. Il est, comme l'arsenic, chélaté avec les alginates au sein des sargasses.

L'absorption est élevée par inhalation (10 à 50% en fonction de la taille des particules), par voie digestive, elle représente 5 à 10% (dépendant de la taille des particules et augmente si l'individu présente une carence en fer, calcium ou zinc). Par voie cutanée, l'absorption est limitée. (64)

Après absorption, le cadmium est présent dans les érythrocytes (70%) sous forme liée à l'hémoglobine et va s'accumuler dans le foie et les reins. Sa demi-vie dans l'organisme est très longue, entre 10 à 20 ans (pour le rein et le foie par exemple). L'excrétion est très lente et essentiellement urinaire, et dans une moindre mesure

dans les fèces, la sueur et la salive.

Une intoxication aiguë, après une ingestion accidentelle par exemple, provoque des troubles digestifs intenses (nausées, vomissements, douleurs abdominales, diarrhées), des crampes musculaires et une hyper-salivation. À doses élevées, cela peut aboutir à une insuffisance rénale et une cytolyse hépatique voir même à une mort rapide.

Avec une demi-vie très importante (80 à 100 jours dans le sang et entre 10 et 20 ans dans certains tissus), le cadmium est un toxique cumulatif, les symptômes arrivent très lentement et même après l'arrêt de l'exposition. Il provoque des manifestations rénales, osseuses, cardiovasculaires, respiratoire et d'autres troubles comme la coloration des dents.

Il existe également des effets génotoxiques, cancérogènes et sur la reproduction.

Comme pour l'arsenic la question se pose d'une possible contamination de l'environnement par un composé qui se retrouve facilement dans les produits de la mer. Ils représentent avec les abats, certaines céréales, les champignons et les légumes, les aliments où le plus de cadmium est le plus présent. 10 à 35µg de cadmium sont absorbés par jour en moyenne pour un adulte non fumeur. Un fumeur peut facilement doubler son exposition journalière puisqu'une cigarette contient entre 1 et 2µg de cadmium. (65) L'ANSES a proposé en 2019 une dose journalière tolérable qui est fixé à 0,35µg de cadmium par kg de poids corporel. Cette valeur montre ainsi que la dose journalière peut être facilement atteinte. (66)

L'augmentation de la présence de ce composé est donc à prendre en considération.

Partie III : Conséquences des échouages de sargasse sur la vie des Guadeloupéens

Le phénomène, de par son ampleur, touche la santé des populations des Caraïbes mais également leurs activités professionnelles et les loisirs. Avec l'arrivée de ces algues, les sites côtiers et marins sont modifiés et le milieu naturel environnant est perturbé. De même, passer d'un paysage de sable fin et d'eau turquoise, à d'immenses tas d'algues brunes et d'eau marron ne fait pas rêver et cela peut avoir une influence sur la venue de touristes. Beaucoup d'informations concernant les aléas causés par ce phénomène sont retrouvées. Ces impacts sont notamment visibles dans les différents médias locaux et même nationaux. Le gouvernement français a quant à lui publié en juillet 2016 un rapport suite à une mission envoyée sur place par trois ministères (des outre-mer / de l'environnement, de l'énergie et de la mer / de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt) pour analyser l'impact des sargasses sur les Antilles.

De nombreuses personnes partagent leurs situations et s'organisent en collectifs pour montrer leurs mécontentements et inquiétudes face à la situation.

A. Des répercussions dans de nombreux domaines

1. Les impacts sur la santé

La gêne actuellement constatée est principalement liée au dégagement d'hydrogène sulfuré et d'ammoniac. D'après le bilan de surveillance sanitaire du réseau sargasses, entre janvier et août 2018, plus de 3341 cas d'exposition aiguë sont rapportés par les médecins en Guadeloupe. Pour la Martinique, près de 8061 cas d'exposition aiguë aux émanations gazeuses sont observés dont 3 cas ont été admis en soins intensifs. Ce travail rapporte également une augmentation de consultations liées à une exposition chronique. (67)

Sur la même période, une thèse en 2019 s'appuyait sur le réseau de médecins sentinelles pour recueillir et illustrer cet impact des échouements de sargasses sur la santé des populations. Il y a eu 3067 consultations liées aux expositions aux sargasses entre fin mars et mi-juillet 2018 dans 12 communes fréquemment touchées. (68)

Commune	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26	S27	S28	S29	CUMUL TOTAL
CAPESTERRE B/EAU	0	8	8	0	0	0	0	15	0	0	0	0	23	0	ND	ND	0	53
CAPESTERRE MARIE GALANTE	2	ND	15	19	4	10	10	13	10	7	1	ND	3	1	1	0	0	96
GOYAVE	ND	0	0	0	8	21	59	63	59	74	24	59	61	ND	7	0	16	451
GRAND BOURG	4	ND	7	17	ND	26	7	2	12	4	8	2	8	20	16	24	16	173
LA DESIRADE	ND	3	10	ND	8	ND	23	24	10	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2	3	0	83
LE GOSIER	0	ND	11	0	0	0	0	0	0	68	0	0	20	0	0	0	14	113
LE MOULE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	9
PETIT BOURG	0	0	ND	58	64	33	7	116	17	146	121	48	105	88	20	102	91	1016
SAINT FRANCOIS	0	10	6	12	6	121	18	27	0	20	24	24	9	12	6	0	0	295
SAINTE ANNE	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0	45	49	77	77	130	139	89	17	9	7	7	646
TERRE DE HAUT	0	10	5	8	10	10	7	ND	5	12	15	15	0	ND	ND	0	0	97
TROIS RIVIERES	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0	6	ND	0	0	24	0	0	6	0	36
Consultations	6	31	61	114	100	221	176	309	196	417	323	287	342	138	61	142	144	3067

*ND : données non disponibles (médecins sentinelles non répondants)

** N/A : absence de médecin sentinelles ou généralistes sur la commune

Figure 52 : Consultations par commune liées à une exposition aux sargasses en Guadeloupe (semaines 13 à 29 en 2018) (68)

Il existe une réelle crainte de la population et de nombreux collectifs se sont créés pour manifester leurs peurs et mécontentements. Dans certaines rues proche des zones d'échouages de sargasses des affiches de collectifs (ex : Saas971.com) témoignent d'une certaine angoisse envers les dégagements gazeux de ces algues.



Photo 1, 2, 3 : Affiches visible à Sainte-Anne près de la plage de la Caravelle le 28/07/19 (Photographies personnelles)

2. Impacts sur les biens

L' H_2S corrode de nombreux métaux et il est notamment agressif sur le cuivre qui est retrouvé dans beaucoup de composés électroniques. Le rapport cite que les dommages causés par le H_2S sont très présents (Rapport de juillet 2016) (69). Lors de la visite des populations côtières, les experts envoyés par les différents ministères ont observé de la corrosion sur la tuyauterie et la robinetterie mais également un noircissement des pièces de monnaie. Beaucoup d'appareils électroménagers et électriques de la maison tels que climatiseurs, téléviseurs, ordinateurs, réfrigérateurs, congélateurs, fours à micro-ondes étaient attaqués notamment au niveau de leurs circuits électroniques et électriques. Il en résultait que des appareils neufs ou récents (moins de deux ans) ne fonctionnaient plus et dans les zones exposées certains appareils ne fonctionnaient pas plus de six mois. Cela entraîne une augmentation de coût pour les ménages difficilement chiffrable. Les personnes concernées n'ont pas été prises en charge par les assurances et les constructeurs n'ont souvent pas fait jouer la garantie sous prétexte que les appareils n'auraient pas fait l'objet d'un usage normal.

Les experts envoyés ont également noté que les nuisances ont eu un impact négatif sur la valeur des habitations. Cette moins-value peut être significative et décourager les habitants touchés à déménager. Les populations se retrouvent ainsi bloquées, à subir les arrivées cycliques des sargasses.

3. Conséquences pour les professionnels ayant une activité en mer

Les sargasses perturbent l'activité des pêcheurs et des professionnels naviguant en bateau de plusieurs manières. Les radeaux de sargasse flottant en mer rendent la navigation difficile, obligeant les marins à modifier leurs routes. Passer

dans les bancs à la dérive risque de bloquer les hélices ou de colmater les circuits de refroidissement des moteurs pouvant entraîner un risque de surchauffe.

Quand les nappes arrivent à l'entrée des ports, elles provoquent une obstruction empêchant les marins de pouvoir sortir en mer. Les conséquences sur le matériel de pêche peuvent aussi compliquer le métier des pêcheurs. Les algues peuvent colmater les filets en se bloquant à l'intérieur, rendant ainsi les opérations de levé de filet et de démaillage beaucoup plus difficile (70). Le rapport de l'état en juillet 2016 a mis en avant une enquête réalisée par la Chambre de Commerce et d'Industrie des Îles de la Guadeloupe (CCIIG). L'enquête souligne que les pêcheurs ont connu une forte baisse de leur chiffre d'affaire au 1er semestre 2015, d'environ 50% et ils ont noté qu'environ 22 journées de pêche ont été perdues sur la période (65).

Certaines îles comme la Désirade ou Terre-de-Bas (aux Saintes) peuvent être totalement isolées puisque les navettes faisant le lien avec la Guadeloupe ne peuvent plus accoster. Des tractopelles viennent en aide pour ouvrir un passage pour les bateaux et relancer les liaisons maritime mais cela est de courte durée quand les échouages sont répétés. C'est notamment sur l'île de la Désirade que se trouve le 1er port de pêche de la Guadeloupe, avec un tiers des poissons pêchés sur l'archipel qui proviennent de cette île. (71 - 73)



Photographie 4 : Vue aérienne du port de la Désirade le 14/07/19 (Photographie personnelle) En 2018, pratiquement l'ensemble de la baie était envahie de sargasses.

4. Professionnels ayant une activité dans le tourisme et la restauration

Le tourisme correspondait à 7% du PIB de la Guadeloupe en 2012, c'est donc une part importante de l'économie de cette île qui peut être touchée à cause de ces sargasses.

Pour les hôtels et restaurants, l'impact financier peut être élevé :

- Une augmentation des coûts directs pour les entreprises qui veulent continuer leurs activités et limiter les désagréments en nettoyant les plages à leurs frais. Ex : sur la période de 2014-2015, un hôtel de la ville du Gosier a fait ramasser les sargasses par un prestataire pour une somme de 1500€ par nuit de ramassage portant le coût total à environ 100 000€.
- Une augmentation des coûts indirects avec l'augmentation des dégâts matériels et des pannes comme pour les particuliers.
- Baisse du chiffre d'affaires due à la diminution de la fréquentation.

De nombreux professionnels ont une trésorerie impactée par ces invasions. Mais une des difficultés est de connaître réellement le surcoût que cela engendre. Il y a peu de chiffres précis, la plupart sont seulement déclaratifs sans vraiment de justificatif.

La CCIIG a réalisé une enquête auprès d'un échantillon de 424 entreprises en lien directement avec le tourisme (hôtel, gîtes et résidences ; commerces alimentaires ; sociétés de location de véhicules, de bateaux, de matériels de plongée) et le secteur de la pêche dans les communes de l'archipel les plus touchées par les sargasses (69).

Au final, 148 entreprises se disent impactées par les sargasses, ce qui représente environ un tiers de l'ensemble de l'échantillon. Parmi ces entreprises, certaines ont procédé à des fermetures temporaires (12 restaurants et 1 hôtel) et à des licenciements. Pour le 1er semestre 2015, la perte financière pour les 148 entreprises était de 4,6 millions d'euros. Pour les restaurateurs et les structures d'hébergement, le chiffre d'affaire aurait diminué d'environ 40% sur cette période.

Le rapport de juillet 2016 (69) souligne l'impact des sargasses sur d'autres entreprises qui ne se trouvaient pas dans l'échantillon de la CCIIG. Un hôtel et quatre gîtes sur l'île de la Désirade ont dû fermer. Sur les Saintes, 4 gîtes sur Terre-de-Haut à proximité de la plage de Pompierre ont connu une diminution de 60% de la fréquentation depuis 2014 et le restaurant en haut de la plage est passé d'une moyenne de 90 repas servis par jour à seulement 10 par jour. A l'inverse, des structures d'hébergement et des restaurants épargnés ont probablement profité de l'impact négatif des sargasses sur les établissements concurrents pour récupérer une partie de la clientèle. (69)

Parmi les exemples cités dans la presse locale il y a le restaurant « chez Coco » situé sur le site de la Porte d'Enfer qui subit chaque année l'arrivée des sargasses. La porte d'Enfer est une d'échancrure naturelle située entre les falaises sur la côte face à l'Atlantique. Les sargasses s'y accumulent de façon spectaculaire (photographie 5 et 6). Le restaurant qui est une entreprise familiale présent depuis une trentaine d'année est obligé de fermer dès que les sargasses arrivent à cause notamment des dégagements de sulfure d'hydrogène avec des taux qui ont atteint jusqu'à 9,9 ppm. Au départ, les gérants du restaurant essayaient de ramasser eux même les sargasses, en vain. Par la suite des mécanismes d'enlèvement sont venus pour les récolter mais ceux ci prélevaient également du sable. Ainsi, 15m de plage sont partis avec le déblayage. Un filet de rétention avait été posé en amont mais il a cédé sous la pression des sargasses. Au final aucunes de ces solutions ne furent efficaces et pérennes laissant comme seule option une possible délocalisation du

restaurant lors des échouages. Les émanations ont également attaqué le matériel du restaurant dont certains panneaux solaires alors que le bâtiment est totalement autonome en énergie. Aucune prise en charge par les assurances n'a eu lieu puisque le phénomène n'est pas considéré comme catastrophe naturelle (69).



Photographie 5 : Vue aérienne de la porte de l'enfer sans sargasses
(Source : PaysGuadeloupe) (74)



Photographie 6 : Vue aérienne de la porte de l'enfer avec sargasses le 05/07/19
(Photographie personnelle)

Globalement, il y a peu de conséquence vis à vis du nombre de touriste venant sur les îles de la Guadeloupe. L'impact dépend de la localisation des gîtes, hôtels et restaurants.

En effet, les sargasses peuvent être une préoccupation pour les touristes venant dans les Caraïbes et un hôtel à proximité d'une plage régulièrement envahie d'algues peut être plus facilement mis de côté pour une réservation.

Exemple de commentaires sur les sites de voyages :

Mais le vrai problème de ce bel endroit, pour le moment, est la sargasse, cette algue envahissante - et souvent malodorante- qui devient un vrai fléau dans toute la Caraïbe. Chaque jour des employés de la rhumerie et un gros camions venaient enlever des tonnes d'algues accumulées en bord de plage. Chaque matin, c'était à refaire... Et la mer totalement imbaignable. Bref, l'endroit peut avoir son intérêt. Mais bien se renseigner sur la santé locale de la sargasse avant de s'y aventurer.

Figure 53 : Extrait d'un commentaire sur le site Tripadvisor pour la Villa Cycas à Marie-Galante (76)

Bonjour, y a T il des sargasses à la plage de l'hôtel ?
Nous avons vu que c'était toxique et dangereux pour la santé , cela nous fait un peu peur . Nous sommes avec des enfants . Nous avons une réservation pour la semaine prochaine ,

Cordialement

Figure 54 : Commentaire sur le site TripAdvisor pour l'hôtel Fleur d'Épée (77)

5. Conséquences sur la scolarité

Les échouages ont un impact sur la vie scolaire. En mai 2018 où huit établissements dans la commune de Petit-Bourg (Guadeloupe) ont dû fermer pour cause d'un taux élevé d'H₂S : 5,6 ppm dans le bourg de la ville et jusqu'à 6,4 ppm au niveau de la Pointe à Bacchus au bord de mer. En conséquence, de nombreux cours ont été annulé et certaines épreuves du Bac et Brevet des collèges ont été délocalisés (72). Ces mesures ont été prises afin de protéger les élèves et le personnel des établissements et d'éviter que des incidents se reproduisent. En effet en 2014, la décomposition des algues se trouvant à proximité d'un lycée en Martinique a causé des malaises chez une dizaine d'élèves. Quatre d'entre eux ont même été placés en observation dans des hôpitaux (73).

6. Conséquences pour l'environnement

(60) (69) (80)

Les sargasses exercent différents effets (positifs et négatifs) sur l'environnement. En plus des désagréments causés par la production de gaz nocifs, les grandes quantités d'algues peuvent être une gêne pour la circulation de certains animaux et les écoulements des eaux douces vers la mer. Les sargasses se décomposent dans l'eau et cette décomposition consomme de l'oxygène, diminuant alors sa concentration dans la mer. Elles génèrent une vase qui peut dégager de fortes concentration en H₂S quand elle est remuée (jusqu'à 20 ppm observés).

Les grandes nappes de sargasse à proximité du rivage peuvent empêcher la lumière du soleil d'éclairer les fonds marins. Il y a parfois une telle densité d'algues, qu'elles

forment un écran opaque en surface. Sous ces nappes, un blanchiment et dans certains cas la mort des herbiers peut survenir et ce jusqu'à 20 mètres du rivage. Cet impact est probablement réversible et les herbiers se redéveloppent une fois les sargasses parties.

Les conséquences sur la faune associée (oursins, holothuries, crabes, lambis ...) qui elle aussi disparaît, sont cependant plus irréversibles. Une grande partie de cette faune a un mode de reproduction externe. Une recolonisation est tout de même possible par l'intermédiaire des larves et gamètes qui se déplaceraient grâce aux courants.

Des effets sur les coraux sont dus à l'anoxie et à la diminution de la luminosité mais ils sont transitoires. La durée des modifications engendrées par les sargasses n'est pas suffisamment longue pour observer des effets plus importants.

Sur le littoral, les sargasses ont une influence sur la mangrove qui est un écosystème à part entière.

Au niveau de la qualité de l'eau, elles provoquent :

- une diminution de la concentration en oxygène (jusqu'à l'anoxie)
- une diminution du pH
- une augmentation de matières organiques
- une augmentation de sulfates

La végétation ne semble pas être impactée par les sargasses. La matière organique apportée par les sargasses fertiliserait les sols et stimulerait l'apparition de jeunes plantules.



Photographie 7 : Plage des salines, avec les sargasses fraîches flottant en partie encore en mer à droite (marron clair) et les sargasses plus anciennes échouées (marron foncé) (Photographie personnelle).

Les grandes quantités de sargasses sur les plages gênent probablement la nidification des tortues marines. La Réserve naturelle nationale de l'Amana (Guyane) a notamment remarqué une interruption de la nidification des tortues Luth pendant la

période d'échouage des sargasses. La densité des algues rendrait difficile l'accès des plages aux femelles pour aller rejoindre leurs lieux de ponte. Mais cela rendrait aussi l'accès à la mer difficile pour les jeunes tortues augmentant le risque de mortalité. La réserve a notamment déjà retrouvé une tortue et des poissons piégés par les sargasses en état de décomposition stagnant dans la baie. (Chapitre sur les impacts écologique du rapport de juillet 2016)(69).

En pleine mer, les grandes nappes de ces algues sont de véritable lieu de biodiversité : 145 espèces d'invertébrés, une centaines de poissons, des champignons, des micro et macro épiphytes, 5 espèces de tortues et 19 d'oiseaux ont été observées (Shirley 2008).

Une étude réalisé par impact mer (cabinet d'étude) pour le compte de la DEAL Martinique (80) rapporte que ces nappes fournissent de la nourriture et servent d'abris à de nombreuses espèces. Elles sont comparées aux dispositifs de concentrateurs de poissons qui sont développés au profit des pêcheurs. Nombreux pêcheurs ont en effet déclaré avoir rencontré plus de poissons comme des daurades, carangues, saumons, souvent ces poissons étaient de petite taille (juvénile).

Avec la répétition des échouages de ces algues riches en métaux lourds et métalloïdes, notamment l'arsenic, une contamination des écosystèmes à proximité est à craindre. Comme le souligne la publication de DA Devault et al. (2021)(60), en supposant une concentration en arsenic de 80 mg par kg de matière sèche d'algue, en théorie plusieurs tonnes d'arsenic sont arrivés sur les côtes depuis 2011. Cependant, il n'y a pas d'étude concernant l'accumulation de l'arsenic bio-disponible et la libération des sucres liés à l'arsenic lors de la décomposition des algues pendant les épisodes d'échouage des sargasses.

Il y a donc encore des améliorations à faire pour éclaircir ces points d'autant plus que les populations ne sont pas forcément averties des risques que cela peut engendrer. Or de nombreuses espèces marines absorbent facilement l'arsenic, notamment les bivalves, classe de mollusques que l'on peut retrouver en tant que fruits de mer dans l'alimentation.

Plusieurs études ont montré que l'arsénobétaine était la forme la plus présente d'arsenic dans les fruits de mer (Francesconi 2010 et Zmozinski et al 2015). C'est donc une des formes les moins toxiques qui est retrouvé en majorité.

C'est notamment visible dans une analyse de la composition en arsenic de 2 espèces de bivalves à proximité de sargasses en décomposition. (DA Devault et al) (81)

Espèces d'arsenic (mg/kg de matière non séchée)	<i>Asaphis deflorata</i> (n=46)	<i>Phacoides pectinatus</i> (n=54)
As Total	17,3 ± 5,1	7,7 ± 0,8
As III	0,4 ± 0,1	0,2 ± 0,1
As V	0,2 ± 0,2	0,2 ± 0,1
MMA	0,8 ± 0,4	2,0 ± 0,5
DMA	0,3 ± 0,1	0,1 ± 0,1
AsB	15,4 ± 4,2	5,3 ± 0,6
AsC	0,3 ± 0,4	< LoQ

Tableau 2 : Arsenic présent dans des espèces comestibles de bivalves (DA Devault et al).

Avec la répétition des arrivées de sargasse, la proportion des différentes formes d'arsenic pourrait progressivement augmenter. En attendant la mise en place de doses de références pour toutes les espèces d'arsenic, il faudrait que la consommation de bivalves soit limitée et éloignée des périodes d'échouages (77).

B. Moyens mis en œuvre pour lutter contre les nuisances.

Les différentes communes touchées par le phénomène sont obligées de s'organiser pour limiter au maximum l'impact des sargasses sur leur environnement.

1. Au niveau local

Pour les villes impactées, ces échouages peuvent avoir un coût élevé. En 2018, le ramassage quotidien sur le littoral de Petit-Bourg coûtait environ 9,000€ à la commune (78). La commune de Petit-Bourg a mis à disposition en 2018 une école (École de la Lézarde) pour permettre aux habitants de se mettre à l'abri des émanations gazeuses. En février 2020, à Saint-François, la ville avec l'aide de bénévoles, a mis en place plusieurs barrages flottants et notamment 240 m de barrage au niveau de l'anse Champagne. Le but était de retenir les sargasses en amont, les faire dévier vers des points de collecte et d'éviter ainsi qu'elles ne s'échouent sur les plages. (84)



Photographie 8 : Barrages flottants à Saint-François le 12/12/20 (Photographie personnelle)

2. Au niveau national

Pendant la grosse année d'échouage en 2018, plusieurs mesures ont été prises concernant les sargasses. Parmi elles, une mise à disposition de fonds à hauteur de 3 millions d'euros de crédits d'État pour permettre l'achat de matériels de ramassage et de protection pour les personnes en charge de ces ramassages. Les personnels engagés provenaient de la sécurité civile, du régiment du service militaire adapté (RSMA) et de personnes faisant des travaux d'intérêt généraux.

L'ADEME (l'agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie) a également lancé un appel à projets avec un budget de 1 millions d'euros pour améliorer dans le futur le ramassage et la valorisation des sargasses. La recherche concernant les sargasses et également les méthodes de prévisions des échouages étaient aussi ciblées par ces mesures. (85)

Le 21 octobre 2021, un amendement a été adopté par le Sénat ouvrant la possibilité de reconsidérer l'échouage des sargasses comme catastrophe naturelle. C'est donc une première étape de reconnaissance de ce problème qui facilitera l'aide aux victimes et leurs dédommagements en cas d'atteinte de leurs biens matériels par les dégagements souffrés (82). Enfin, un budget est dédié à la problématique des sargasses dans la loi de finance pour 2022 (81).

3. Le ramassage des sargasses

Il faut que le ramassage des algues se fasse rapidement une fois qu'elles sont échoués, c'est à dire au moment où elles sont encore au stade d'algues fraîches. Si le ramassage n'est pas réalisé au plus tôt, une accumulation des sargasses sur les plages peut se produire. Ces amas risquent de causer des émanations lors de la décomposition mais être aussi néfaste pour l'environnement .

La deuxième solution est d'aller les ramasser lorsqu'elles sont encore dans l'eau soit au bord de mer ou soit en pleine mer avant même qu'elles s'approchent des côtes. Il existe différentes méthodes de ramassages, chacune ont leurs avantages et inconvénients. Au départ, les collectes se faisaient manuellement ou avec des machines déjà sur place et qui servaient pour d'autres fonctions. De nouvelles techniques ont par la suite vu le jour suite à des appels à projets, avec des engins conçus spécifiquement pour les sargasses permettant ainsi d'optimiser le ramassage.

- **Le ramassage manuel : (88)**

En Guadeloupe et en Martinique, des « brigades vertes » regroupent des personnes qui ont pour mission de ramasser les sargasses. Pour récupérer les sargasses, ces brigades sont équipées de fourches et de brouettes.

Les avantages :

- Un rendement est assez bon : pour une équipe de 6 personnes le ramassage est estimé entre 11 et 16 m³ par heure.
- Une méthode respectueuse de l'environnement, qui cible les algues.
- Un taux de sable collecté est faible ce qui limite l'érosion.
- Ils peuvent accéder à des plages non accessibles aux véhicules.
- Un faible coût des équipements.
- Un rendu « propre ».
- Un rôle d'insertion.

Les inconvénients :

- Un besoin d'effectif important.
- Un risque sanitaire important, les personnes sont exposées aux dégagements gazeux.

- Pas d'évacuation directe des algues. La méthode nécessite une mise en tas puis une collecte par un engin mécanique dans un camion benne.
- **Le ramassage avec tractopelles : (89)**

Avantages :

- Des appareils disponibles et polyvalents.
- Un rendement élevé et efficace pour les échouages massifs.

Inconvénients :

- Une prise de sable et tassement ce qui endommage le trait de côte.
- Un accès au site nécessaire pour les engins.

Le coût varie entre 750 et 2000€ par jour. Il faut mettre un godet adapté (claire-voie / griffe) pour limiter la dégradation des plages et avoir des pneus basse pression. Une cabine pressurisée permet de diminuer l'impact des dégagements gazeux sur le conducteur. Celui-ci peut être formé pour une meilleure prise en compte de l'environnement. Certaines pelles mécaniques avec un long bras peuvent depuis le rivage ramasser les algues en mer avec un rayon d'action d'une quinzaine de mètres.



Photographie 9 : Pelleteuse en pleine opération (expertise Cedre) (90)

- **Le ramassage avec les ratisseurs de plage (tractés ou automoteurs) : (89)**

Avantages :

- Une faible prise de sable.
- Un rendement de 30 à 100m³ par heure.
- Se décharge seul dans la benne (pour les ratisseurs automoteurs).

Inconvénients :

- Une faible capacité de stockage (pour les ratisseurs tractés).
- Une manœuvre possible que sur les longues plages avec un accès.
- Une utilisation limitée en cas de forts échouages.

Le coût d'une cribleuse seule est d'environ 60 000€ et cela monte à 350 000€ pour l'achat d'un ratisseur automoteur.

Certaines entreprises ont développé des engins spécifiques pour le ramassage d'algues. C'est le cas de la nettoyeuse de plage Scarbat qui ressemble à une sorte de ratisseur que déjà visible sur les plages. Elle va réaliser un double travail, grâce à un tapis vibrant qui fait office de tamis séparant les algues, qui vont dans une benne, du sable qui sera rejeté sur la plage.(86) L'objectif ainsi est de ramasser au maximum les algues sans prendre de sable qui aurait pour conséquence de faire reculer les plages vis à vis de la mer. Ce type d'appareil est actuellement présent sur l'île de Saint Martin, il a été acheté par une société d'exploitation touristique.(92)



Photographie 10 : Scarbat sur une plage Mexicaine (photo prise sur la page Facebook STOP Aux Sargases)

- **Le ramassage en pleine mer :**

Pour limiter l'impact sur les plages et/ou agir sur des endroits non accessible par la terre, le ramassage peut se faire dans l'eau avec l'aide de barges ou de bateaux. Des dispositifs de pompage sont également à l'étude. Un des autres avantages est d'avoir un accès direct par la mer et donc pas de limitation de taille des engins qui vont pouvoir intervenir. Certains bateaux équipés de pompes aspirantes ou de dispositifs avec un tapis convoyeur peuvent ramasser les sargasses en pleine mer. Cependant cette option n'est pas la plus optimale puisqu'il faut identifier la nappe en pleine mer et se déplacer sur place, la réactivité est donc faible. De plus, il n'y a pas de garantie que les algues de la nappe iraient s'échouer par la suite sur une plage. Cette option n'est plus retenue après l'échec d'une expérimentation de ce type de ramassage (Elbe). Le type de ramassage qui est mis en avant est le ramassage proche-côtier.

- **Le ramassage proche-côtier :**

Une barge « Sargator » a été spécifiquement conçue pour le ramassage des sargasses. C'est un engin assez étroit et avec un faible tirant d'eau. Il a donc une bonne manœuvrabilité qui est un avantage pour les fonds de baie et les zones portuaires. L'inconvénient est qu'elle a une capacité de stockage limitée nécessitant

de décharger fréquemment la barge dans une zone adaptée assez proche pour éviter une perte de rendement.



Photographie 11 : Sargator (89)

Finalement, il n'y a pas un type de ramassage qui prédomine vis à vis des autres. Ils sont complémentaires et ils auront chacun un rôle en fonction de la localisation de l'échouage et de la quantité d'algues échouées.

	Configurations	Description	Echouages faibles	Echouages modérés	Echouages importants	Echouages massifs
Avec accès terrestre au littoral	1	 Plage large avec voie d'accès	Collecte manuelle	Ratisseur de plage tracté	Ratisseur de plage automoteur	Tractopelle équipé de godet adapté + ratisseur de plage tracté pour finition
	2	 Littoral sans zone de roulement avec voie d'accès ponctuelle	Collecte manuelle	Pelle long bras + godet adapté + pousseur amphibie si nécessaire	Pelle long bras + godet adapté + pousseur amphibie	Pelle long bras + godet adapté + pousseur amphibie + pelle mécanique ou chargeur d'appoint
	3	 Littoral aménageable pour accès aux engins terrestres	Collecte manuelle	Aménagement de voie d'accès et espaces de travail (acquisition foncière, servitudes de passage) → cas n°2		
Sans accès terrestre au littoral	4	 Littoral avec voie d'accès terrestre avoisinante	Barrage déflecteur + collecte manuelle	Barrage déflecteur + collecte manuelle si sensibilité ou pelle mécanique avec godet adapté de petite taille	Barrage déflecteur + pousseur amphibie + pelle mécanique avec godet adapté de moyenne taille	Barrage déflecteur + pousseur amphibie + pelle mécanique avec godet adapté de grande taille
	5	 Littoral sans voie d'accès terrestre avoisinant mais navigable (tirant d'eau >0,75 m)	Navire collecteur de petite capacité	Navire collecteur de petite capacité	Navire collecteur de grosse capacité	Navire collecteur de grosse capacité
	6	 Littoral sans accès terrestre avoisinant non navigable	Barrage de rétention positionné en amont au niveau de zones navigables + navire collecteur de petite à grosse capacité selon quantités			

Figure 55: Stratégie de ramassage en fonction de la localisation et de la quantité de sargasse (89)

C. La valorisation des sargasses

(68)(90)

De nombreuses suggestions sont proposées pour valoriser les sargasses et différentes études ont été financées par l'ADEME pour savoir si ces projets sont réalisables ou non.

Il en résulte que la présence des métaux lourds dans les sargasses rend difficile leurs utilisations dans l'agriculture et dans la nutrition animale et humaine. Il est en effet fortement déconseillé de les utiliser pour de l'épandage agricole, il y a un risque de contamination des sols de part la présence de ces métaux lourds, mais aussi de la chlordécone. De plus les sels présents dans les sargasses peuvent engendrer une salinisation des sols. Le compostage est possible mais il est limité pour les mêmes raisons. Une société martiniquaise, Holdex Environnement, s'est penchée sur l'utilisation des sargasses pour le compostage et serait en mesure de proposer prochainement des produits avec des quantités d'éléments toxiques en dessous des seuils de sécurité. (93)

D'autres projets visent à utiliser les sargasses comme ressource énergétique. Leur dégradation en l'absence d'oxygène, produit du méthane, qui peut être utilisé comme énergie renouvelable. Cependant, une étude financée par l'ADEME a révélé que le processus de méthanisation était assez faible car il est inhibé par les sels et sulfates présents en grande concentration. Cette valorisation est donc complexe et n'est de surcroît probablement pas rentable sur le plan économique.

De même l'utilisation des sargasses en biocarburant est possible, mais n'est pas la filière la plus optimale et viable économiquement. Les macro-algues comme les sargasses sont en effet moins exploitables pour la fabrication de biodiesel que les micro-algues et ont donc une moins bonne valorisation pour ce domaine.

Le but de certains projets est d'utiliser les sargasses pour la production de produit à haute valeur ajoutée, car les algues contiennent une multitude de composés pouvant être utiles dans de nombreux domaines industriels. L'un d'eux est notamment d'extraire l'acide alginique des sargasses. Cependant, pour que le projet soit rentable, il faudrait que l'approvisionnement de l'usine soit assuré en quantité, qualité et d'avoir un coût compétitif vis à vis des cultures d'algues brunes asiatiques.

Un autre projet, déjà en place en Bretagne avec la société Algopack, est la fabrication de plastique biodégradable. Cette société produit par des procédés brevetés, des billes de plastique qui sont ensuite mises dans des moules pour fabriquer toutes sortes d'objets. Le but est de réaliser la même chose en Guadeloupe et c'est une voie prometteuse comme le suggère l'ADEME. Une étude de faisabilité de cette valorisation en bioplastique a été réalisée en partenariat avec la société Algopack. Il reste maintenant à voir si l'étape de l'installation d'une usine de production de bioplastique sera atteinte. (94)

La société Sargasse Project situé à Saint-Barthélemy dans les Antilles, envisage de transformer les sargasses en papier et pâte à carton pour des emballages. La prochaine étape du projet est de mettre en place un laboratoire pilote sur place pour espérer traiter et convertir 6000 tonnes de sargasses (90).

Récemment, le projet Pyrosar cherche à transformer les sargasses en biochars et charbon actif pour fixer les molécules de chlordécone et autres pesticides présents notamment dans les sols de Guadeloupe. Pour cela, elles subiront préalablement un processus de décontamination et des analyses pour vérifier leur innocuité. (96)

Certaines personnes dans les Caraïbes utilisent les sargasses pour faire du torchis ou des briques dans des constructions. Reste à voir si les métaux lourds peuvent être nocifs dans ce genre d'utilisation.

Des utilisations assez originales sont même rencontrées, un lunetier utilise par exemple les sargasses comme élément de décors pour des lunettes en les intégrant dans les montures. (97)

En résumé pour l'instant, il n'y a pas encore réellement de filière mise en place pour utiliser les sargasses en quantité et de façon durable. Les arrivages de ces algues ne sont pas constant, il faudrait donc également que la filière s'adapte avec des périodes où aucune ressources ne seraient disponible. Mais de nombreuses études sont en cours et des appels à projets sont régulièrement lancés notamment par l'intermédiaire de l'ADEME.

D. Questionnaire

Pour illustrer cet impact au sein de la population, un questionnaire réalisé avec l'aide du logiciel LimeSurvey a été publié sur les réseaux sociaux entre octobre 2020 et avril 2021 (voir Annexe 1). Le questionnaire comportait 45 questions en majorité des questions fermées, seule la dernière question était totalement ouverte laissant libre aux personnes de partager des commentaires ou des informations.

Les questions fermées sont des questions à choix simple et à choix multiples avec cependant la possibilité pour certaines d'entre elles d'ajouter un commentaire pour détailler le choix de la réponse. La population ciblée était principalement la population Guadeloupéenne mais aussi les touristes (ayant pour but d'aller ou ayant déjà été en Guadeloupe), les futurs et anciens résidents.

Un total de 236 personnes ont répondu totalement au questionnaire. Parmi les personnes ayant répondu, il y a une majorité de femme (70%) et ce sont en majorité des personnes ayant entre 18-29 ans (32% des répondants) et 50-64ans (30% des répondants).

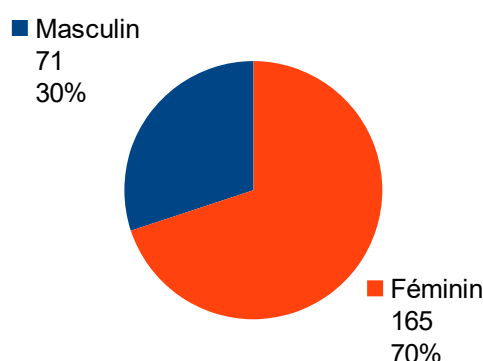


Figure 56 : Répartition des répondants selon le sexe

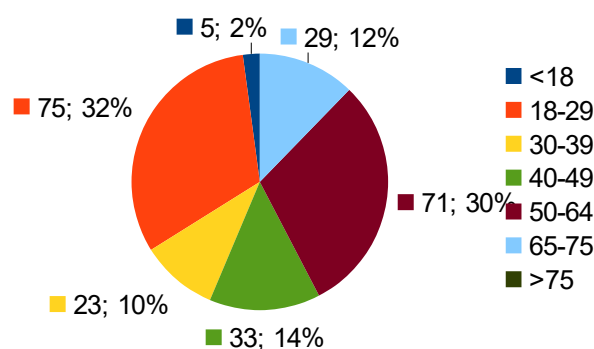


Figure 57 : Répartition des répondants selon l'âge

Le questionnaire n'a pas été fait dans l'objectif de respecter les proportions d'homme et de femme ni même d'âge par rapport à la population actuelle en Guadeloupe. Cependant, selon l'estimation de l'INSEE en 2021, la Guadeloupe compte un total de 375 693 personnes dont 170 406 hommes et 205 287 femmes, soit environ 45,36% d'hommes pour 54,64% de femmes. La proportion de femmes est également majoritaire dans la population Guadeloupéenne même si cette proportion n'est pas aussi grande que celle des répondantes du questionnaire.

Selon l'INSEE, la tranche d'âges la plus représentée dans la population correspond aux 40 - 59 ans soit 28,53% de la population ; 19,21% ont entre 60 et 74 ans. La part entre 18 et 39 ans représente 42% des répondants alors que dans la population, il y a seulement 18,96% qui ont entre 20 et 39 ans. 23,80% de la population en Guadeloupe a entre 0 et 19 ans qui n'est quasi pas représenté dans les répondants. De même, 9,5% de la population a plus de 75 ans, cette tranche d'âge n'est pas représentée parmi les répondants. Il y a en résumé une surreprésentation des personnes ayant entre 18 et 39 ans et une sous-représentation des tranches d'âge extrêmes, c'est-à-dire les personnes mineures et celles ayant plus de 75 ans.

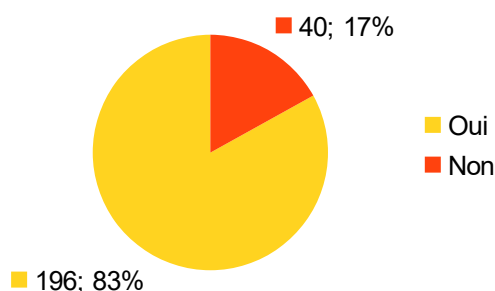


Figure 58 : Répondant vivant ou non en Guadeloupe

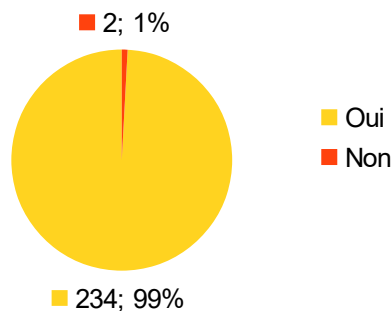


Figure 59 : Avez vous déjà entendu parler des sargasses ?

Sur les 236 personnes, seules 2 ont répondu n'avoir jamais entendu parler des sargasses.

Sur ces 2 personnes, une personne s'était déplacée en Guadeloupe pour raisons professionnelles, l'autre était une habitante âgée entre 65 et 75 ans vivant à Baie-Mahault. Cette ville n'est pas vraiment concernée par les sargasses.

Concernant l'impact des sargasses sur le logement des habitants en Guadeloupe : Les trois prochaines questions ont été posées aux habitants de Guadeloupe connaissant les sargasses, soit 195 personnes.

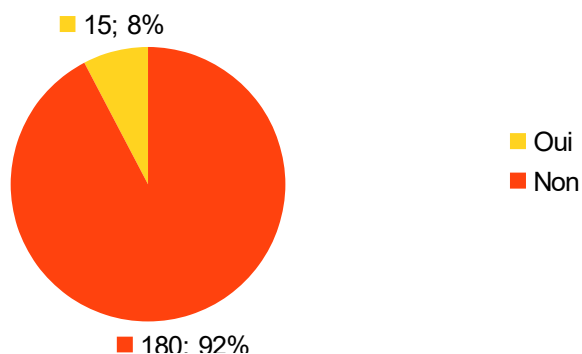


Figure 60 : Avez vous déjà pensez à déménager à cause des sargasses ?

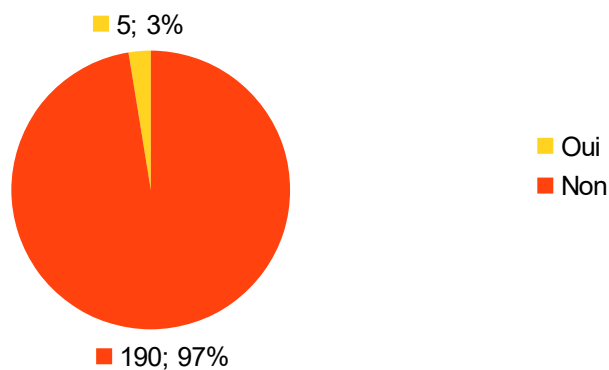


Figure 61 : Avez vous déjà déménagé à cause des sargasses ?

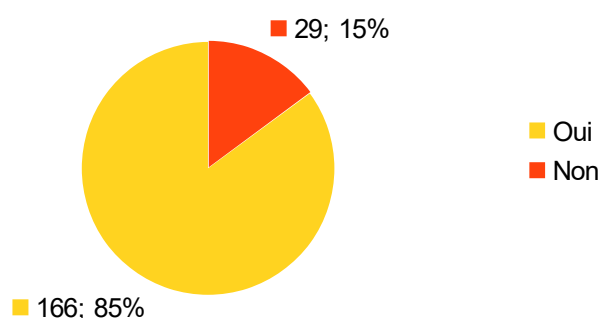


Figure 62 : Si vous changez de logement, allez vous prendre en compte les zones d'échouage de sargasse pour votre future habitation ?

Huit pourcents des répondants ont déjà pensé à déménager à cause des sargasses (Figure 60) et 3% l'ont même déjà fait (Figure 61) ; 85% sont sensibles à la prise en compte des sargasses pour une future habitation (Figure 62).

La prochaine question a été posée aux personnes ayant répondu être des anciens habitants de Guadeloupe. Ils étaient 19 à avoir répondu au questionnaire.

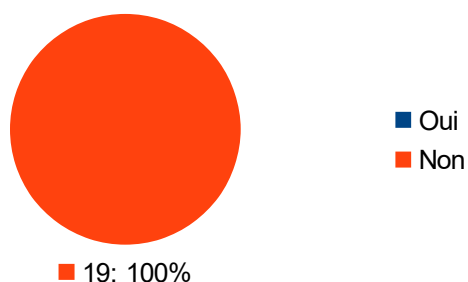


Figure 63 : Avez vous déménagé à cause des sargasses ?

Parmi les répondants personne n'a quitté la Guadeloupe à cause des sargasses.

La prochaine question a été posée aux personnes ayant répondu être de futurs habitants de Guadeloupe. Ils étaient 2 à avoir répondu au questionnaire.

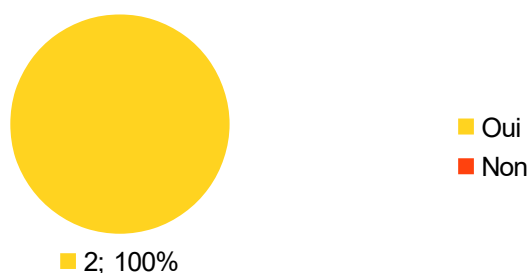


Figure 64 : Avez vous pris en compte la présence de sargasse pour votre future installation ?

Pour les 2 futurs habitants, les sargasses ont participé à la décision de leurs habitations en Guadeloupe.

Les deux prochaines questions ont été posées aux personnes ayant répondu être des anciens ou futurs touristes de la Guadeloupe. Ils étaient 17 à avoir répondu au questionnaire.

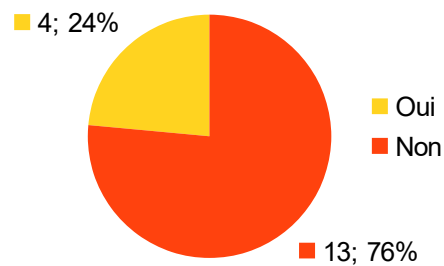


Figure 65 : En tant que vacancier / touriste, avez vous hésité à venir en Guadeloupe à cause des sargasses ?

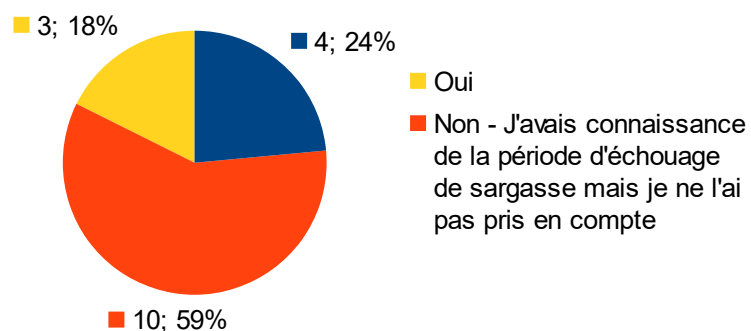


Figure 66 : Avez vous pris en compte (ou allez vous prendre en compte) les périodes de hautes et de basses saisons d'échouages des sargasses pour votre séjour ?

Même si cela ne concerne pas la majorité des vacanciers et touristes, on peut quand même noter qu'une partie d'entre eux ont pris en compte les sargasses pour leur voyage.

Dans la 2ème partie, les répondants avaient le choix sur une échelle de 1 à 5 selon leur ressenti d'évaluer l'impact des sargasses sur différents thèmes. (1 = Pas du tout; 2 = Un peu; 3 = Moyennement; 4 = Beaucoup et 5 = Totalelement).

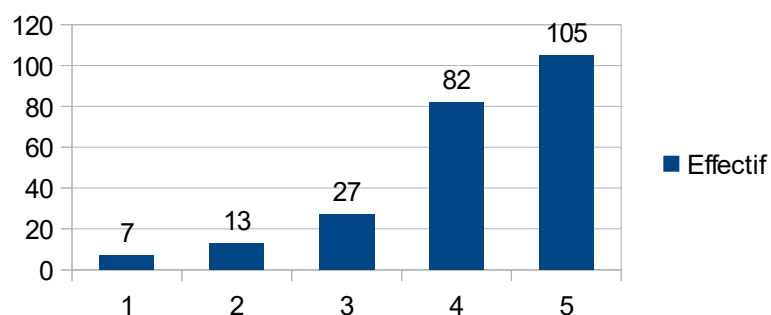


Figure 67 : Selon vous, d'une manière générale, les sargasses ont elles des conséquences sur la **santé** ?

La moyenne est de 4,13 avec un écart-type de 1,02.

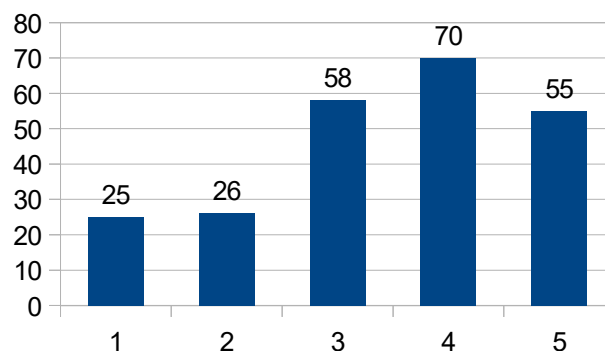


Figure 68 : Selon vous, d'une manière générale, les sargasses ont elles des conséquences sur la **scolarité** ?

La moyenne est de 3,44 avec un écart-type de 1,26.

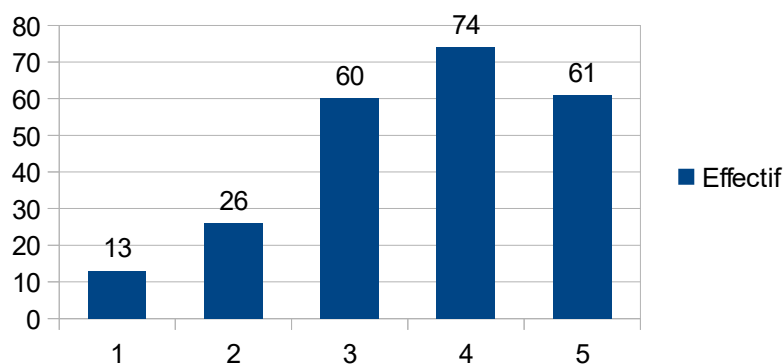


Figure 69 : Selon vous, d'une manière générale, les sargasses ont elles des conséquences sur les **activités professionnelles** ?

La moyenne est de 3,62 avec un écart-type de 1,15.

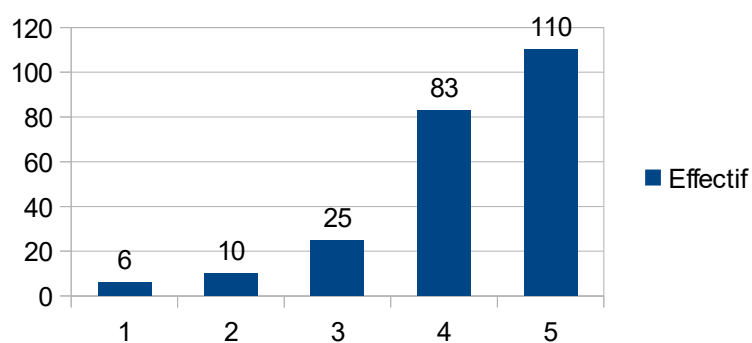


Figure 70 : Selon vous, d'une manière générale, les sargasses ont elles des conséquences sur les **activités de loisirs** ?

La moyenne est de 4,20 avec un écart-type de 0,97.

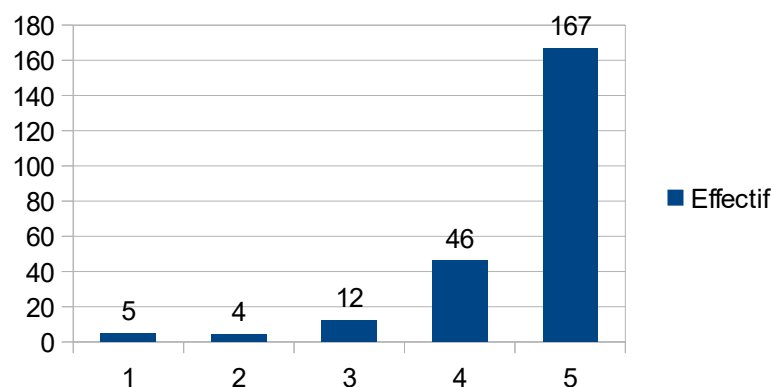


Figure 71 : Selon vous, d'une manière générale, les sargasses ont elles des conséquences sur **l'environnement** ?

La moyenne est de 4,56 avec un écart-type de 0,84.

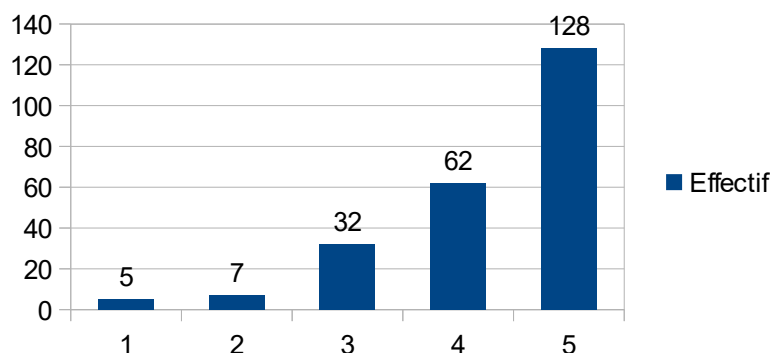


Figure 72 : Selon vous, d'une manière générale, les sargasses ont elles des conséquences sur **l'attractivité de l'île** ?

La moyenne est de 4,29 avec un écart-type de 0,96.

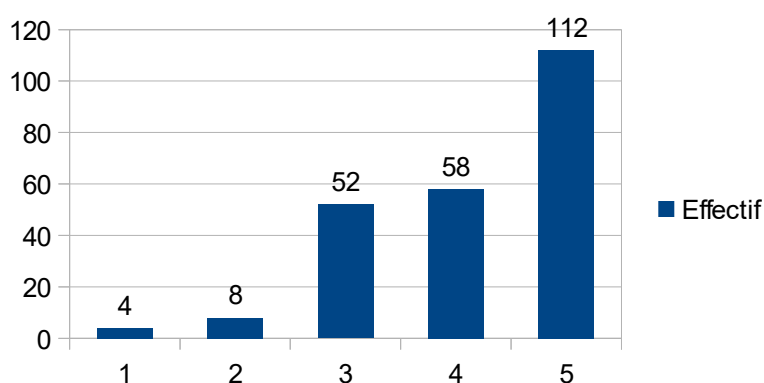


Figure 73 : Selon vous, d'une manière générale, les sargasses ont elles des conséquences sur la **navigation maritime** ?

La moyenne est de 4,14 avec un écart-type de 0,99.

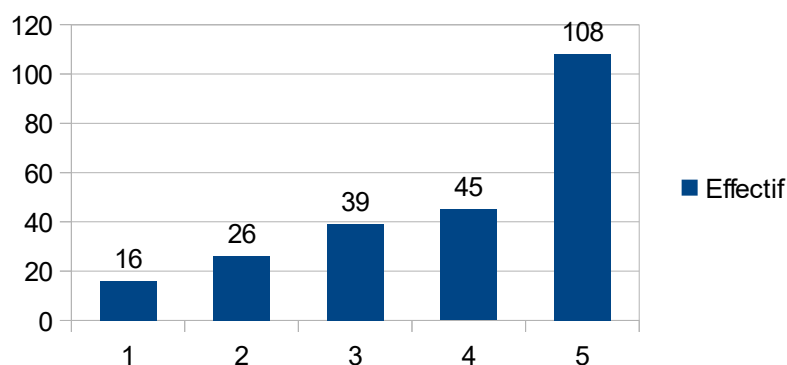


Figure 74 : Selon vous, d'une manière générale, les sargasses ont elles des conséquences sur les équipements (électroniques ou autres) ?

La moyenne est de 3,87 avec un écart-type de 1,30.

D'une manière générale, les répondants estiment que les sargasses ont un impact assez élevé sur les différents thèmes proposés. Pour certains thèmes les moyennes sont même très élevées (>4) avec des écart-type faibles montrant que les notes sont peu dispersées et donc les avis similaires.

Les thèmes suivants ont eu des moyennes élevées : l'environnement, l'attractivité de l'île, les loisirs, la navigation maritime, la santé.

Pour les autres thèmes leurs moyennes se situaient entre 3 et 4 : les équipements, les activités professionnels, la scolarité L'impact selon les répondants est donc fort même s'il est un peu moins important que pour les autres thèmes cités précédemment.

Dans la 3ème partie du questionnaire, les questions portaient sur le ressenti vis à vis de l'évolution du phénomène des sargasses et de sa prise en compte par les autorités.

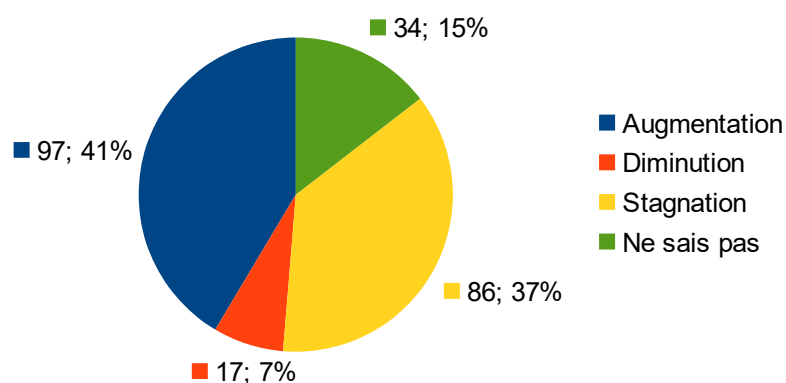


Figure 75 : Selon vous l'invasion de sargasse est :

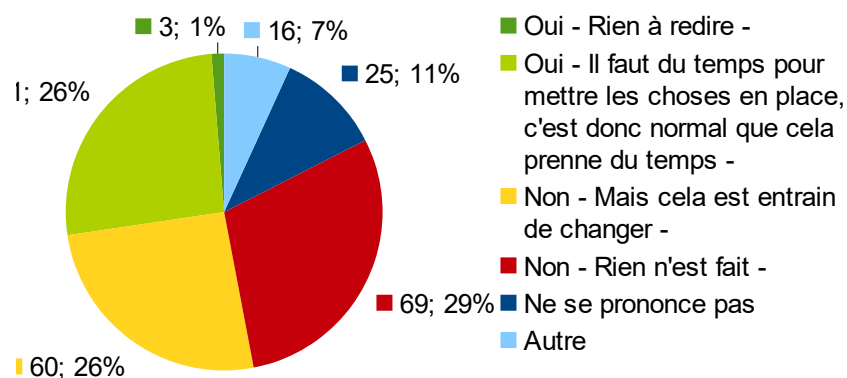


Figure 76 : Pensez vous que les autorités ont pris le problème au sérieux ?

En choisissant la proposition « autre », les 16 répondants avaient la possibilité de détailler leur choix avec une réponse ouverte courte.

Certaines de ces réponses étaient :

- « Un peu aux endroits les plus touristiques (ex : plage du Clubmed™). »
- « Oui, mais pas suffisamment à la mesure de l'ampleur du problème. »
- « Oui au début mais plus maintenant. »
- « Des actions sont réalisées mais il n'y en a pas assez. Et surtout ce n'est peut-être pas les plus efficaces. »
- « Vu la quantité de problèmes majeurs en Guadeloupe comme l'accès à l'eau, la vétusté du CHU et le manque de dynamisme global entre autre, je crains que les invasions de sargasses ne constituent pas une priorité. »
- « Non. Pas assez. Ils devraient penser aux filières de transformation. »
- « Réponses inadaptées pour le long terme. »
- « Non les autorités n'ont pas pris le problème au sérieux et ce qui est fait est soit insuffisant soit inutile. »
- « Visite de Nicolas Hulot en juin 2018 sur Marie Galante qui n'a abouti qu'à la seule conférence sur les sargasses d'octobre 2019. »

On peut en tirer les informations suivantes :

Un ramassage ciblé, insuffisant, pas sur la durée, un problème parmi d'autre que la Guadeloupe rencontre. Globalement, la majorité des personnes pensent que les invasions des sargasses sont en augmentation ou en stagnation et plus de la moitié pensent que les autorités n'ont pas pris les problèmes au sérieux.

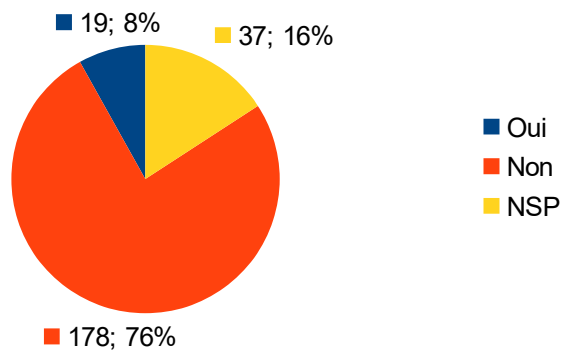


Figure 77 : Pensez-vous que le dispositif mis en place actuellement pour ramasser et empêcher l'échouage de sargasse est efficace ?

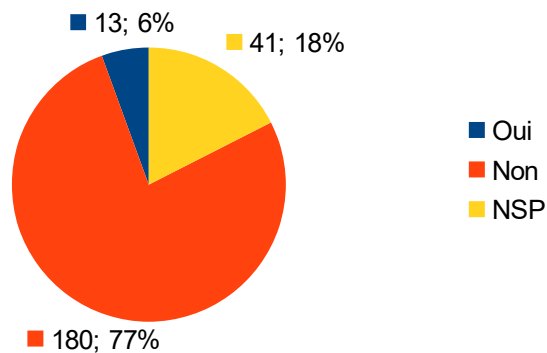


Figure 78 : Pensez-vous que le dispositif de ramassage mis en place est pérenne à long terme ?

Environ $\frac{3}{4}$ des répondants pensent que le dispositif actuel pour le ramassage des sargasses n'est pas efficace et pérenne à long terme.

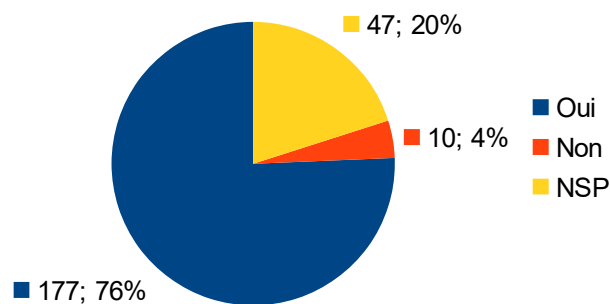


Figure 79 : Pensez-vous que les sargasses peuvent avoir un impact sur votre santé ou celle de vos proches ?

Une certaine crainte pour la population concernant leur santé est visible avec ces échouages de sargasses. Dans la 4ème partie du questionnaire, on retrouve des questions concernant les contacts avec les sargasses.

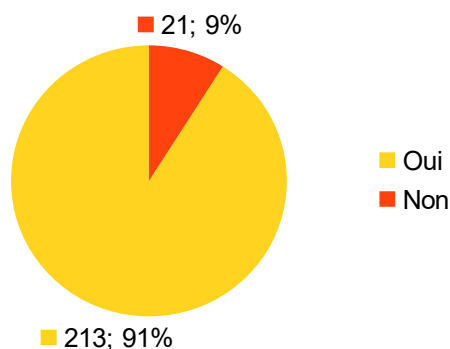


Figure 80 : Avez vous déjà été en contact avec les sargasses ? (*Odeur, gêne respiratoire, contact direct, ingestion etc...*)

Plus de 9 répondants sur 10 ont déjà été en contact avec les sargasses.

Les questions suivantes ont été uniquement posées aux personnes ayant répondues « Oui » à la question précédente soit 213 personnes.

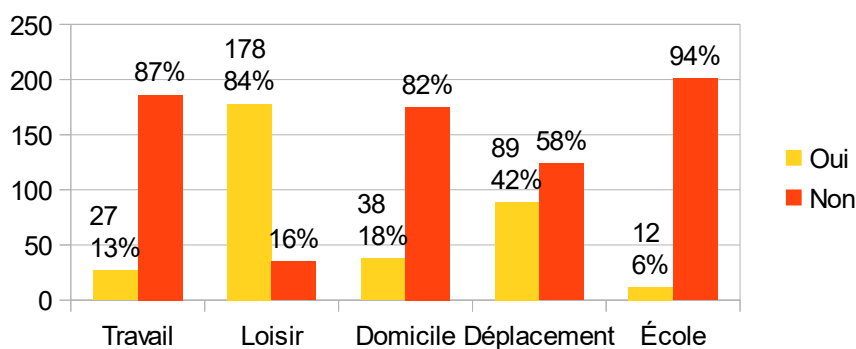


Figure 81 : Dans quelle circonstance avez vous été personnellement en contact avec les sargasses ?

Les répondants avaient le choix de mettre également « autre » en réponse avec la possibilité de mettre une phrase courte pour illustrer leurs propos.

Certaines de ces réponses :

- « Dans le bourg de Petit-Bourg / En formation à Petit-Bourg. »
- « Lors de mes nombreux séjours à Marie galante de juin 2018 à janvier 2020. »
- « À la plage. »

On constate que pour la majorité des personnes, le contact avec les sargasses se produit pendant les loisirs.

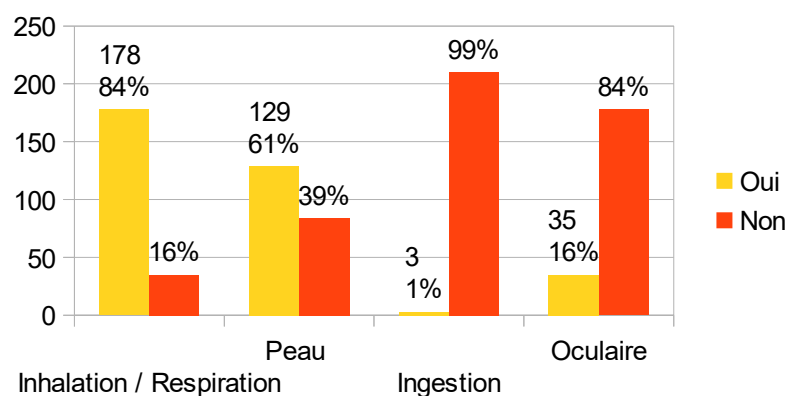


Figure 82 : De quelle manière avez vous été personnellement en contact avec les sargasses ?

Les répondants avaient le choix de mettre également « autre » en réponse, avec la possibilité de mettre une phrase courte pour illustrer leurs propos.

L'exposition aux sargasses chez les répondants se fait principalement par voie respiratoire donc par l'intermédiaire des dégagements gazeux lors de la décomposition des algues.

Le contact avec la peau est également fortement présent, lors des échouages massifs, il n'y a quelque fois pas d'autre manière que de traverser les nappes de sargasses à proximité du rivage pour aller en mer.

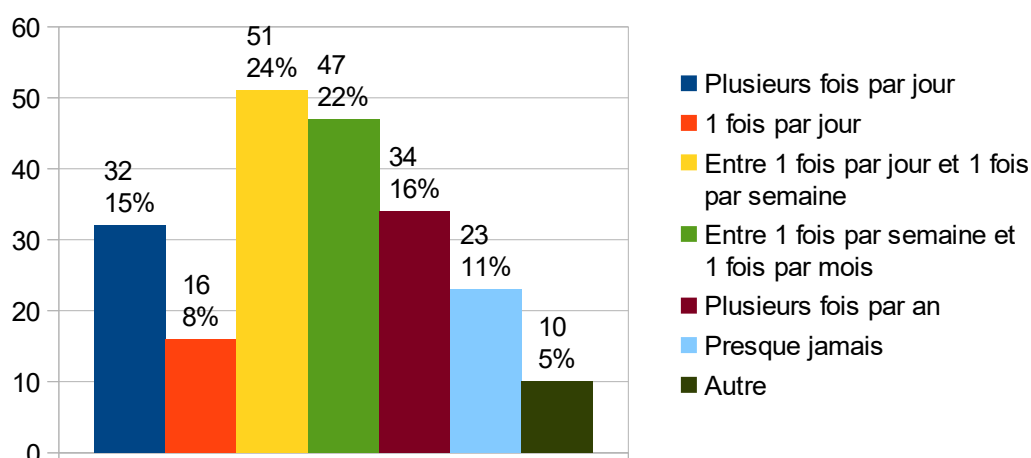


Figure 83 : Pendant la/les période(s) d'échouage des sargasses à quelle fréquence avez vous été exposés ?

Les répondants avaient le choix de mettre également « autre » en réponse avec la possibilité de mettre une phrase courte pour illustrer leurs propos.

Certaines de ces réponses étaient :

- « Uniquement lorsque je passais en voiture à Sainte-Anne ou devant Raisins-Clairs (plage à Saint-François) / Sur le trajet de mes déplacements. »
- « Occasionnellement. »

- « En permanence par périodes / J'habite sur le littoral en bordure de mer. »
- « Je limite mes sorties lors de des échouages. »

Pour une partie des répondants, l'exposition avec les sargasses n'est pas quotidienne mais plutôt hebdomadaire ou mensuelle. A noter que pour 15% des répondants, l'exposition est très fréquente, plusieurs fois par jour.

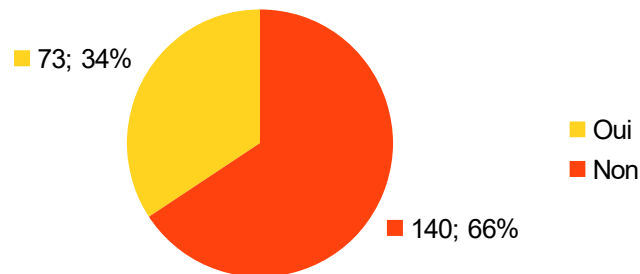


Figure 84 : Avez vous ressenti des symptômes lors des contacts avec les sargasses ?

Environ 1/3 des répondants (34%) déclarent avoir ressenti des symptômes lors des contacts avec les sargasses.

Les questions suivantes ont été uniquement à ces 73 personnes.

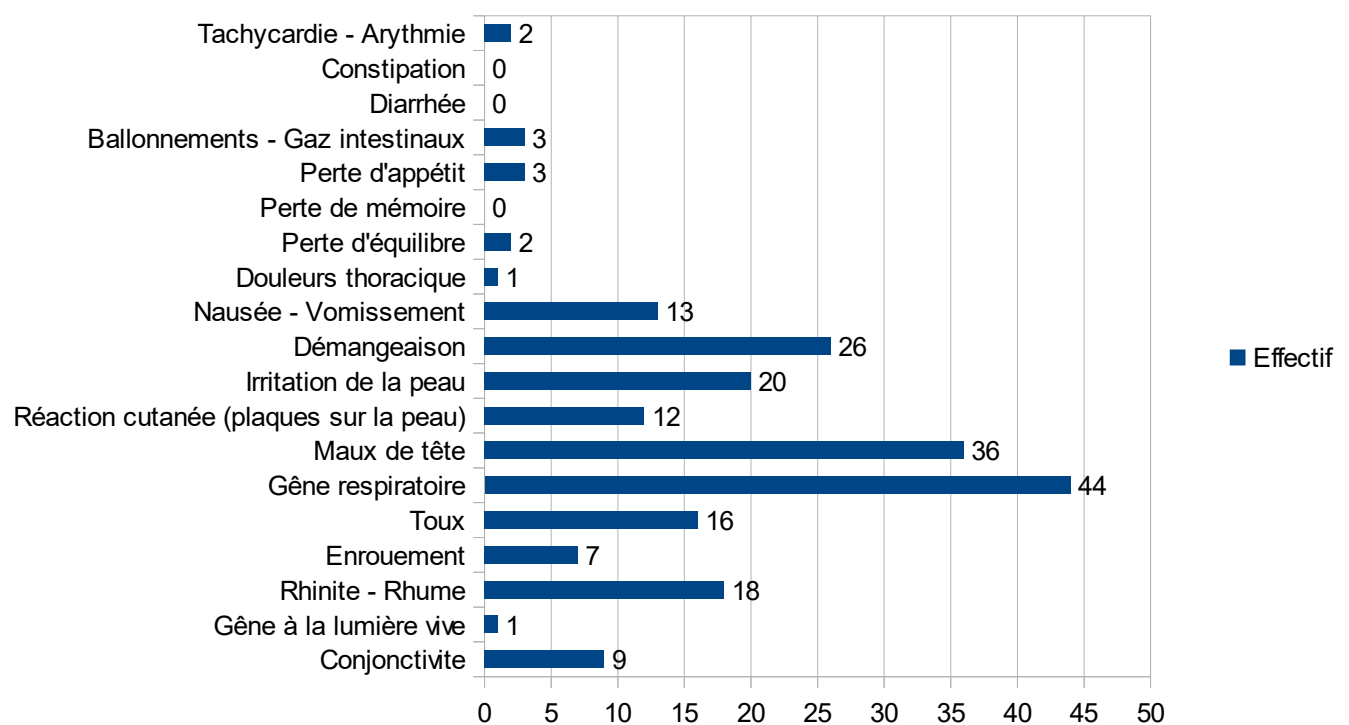


Figure 85 : Quels ont été ces symptômes ? (Plusieurs réponses possibles)

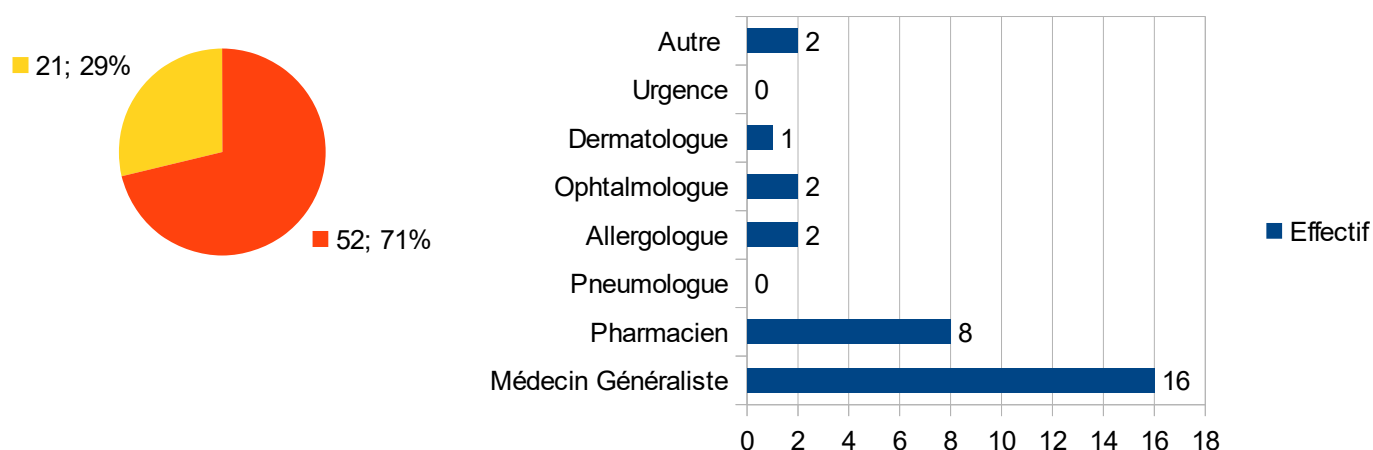
Les répondants avaient le choix de mettre également « autre » en réponse avec la possibilité de mettre une phrase courte pour illustrer leurs propos.

Certaines de ces réponses :

- « Des douleurs au corps. »
- « Crampes membres inférieurs. »
- « Asthme. »

La majorité des symptômes évoqués sont liés à l'appareil respiratoire : gêne respiratoire (44), toux (16), rhinite – rhume (18) ; de même, les maux de tête sont souvent évoqués (36) mais aussi des nausées – vomissements (13) et de la conjonctivite (9). Un lien avec les dégagements gazeux est à supposer puisque ce sont des symptômes que l'on retrouve lors d'une exposition avec le sulfure d'hydrogène et à l'ammoniac.

Il y a également des symptômes en lien à la peau : démangeaisons (26), irritation de la peau (20), réactions cutanées (12), supposant un caractère irritant, allergisant des sargasses.



Autre :

- Cardiologue 1x

Figure 86 et 87 : Avez vous consulté un professionnel de santé pour ces symptômes ?

Les questions suivantes ont été posées aux personnes ayant consultées un professionnel de santé, soit 21 personnes.

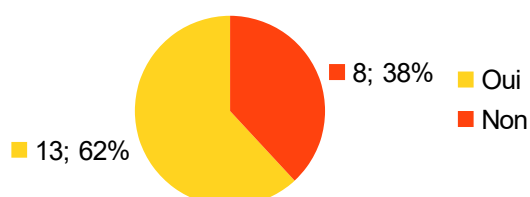


Figure 88 : Vous a-t-il prescrit des médicaments ?

Réponses :

- « Granules homéopathiques. »
- « Camus. »
- « Une crème »
- « Lavage de nez et yeux et homéopathie. »
- « Que des médicaments sans effets constatés. »
- « Aeries. »
- « Gouttes oculaires, paracétamol. »
- « Traitement a base d'argile, Advil. »
- « Antihistaminique. »
- « Quand il y a les sargasses, mon traitement pour l'asthme, suffisant depuis 20 ans, est inefficace, insuffisance respiratoire jour et nuit... c'est compliqué, quand je me sens en danger, je m'en vais... LOIN »

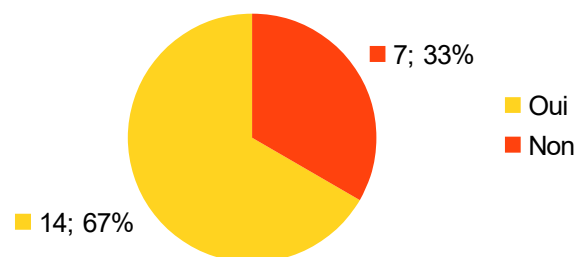


Figure 89 : Vous a-t-il donné des conseils ?

Réponses :

- « Ne pas se gratter boire beaucoup de rincer la peau souvent. »
- « Laver les yeux avec sérum physiologique et porter des lunettes solaires. »
- « Éviter les contacts avec les sargasses. »
- « D'éviter les lieux remplis de sargasses. »
- « N'a pas fait le lien entre symptômes et les sargasses » ---> Personne qui a été voir le cardiologue.
- « Déménager. »
- « Me badigeonner d'huile (olive ou autre) avant de rentrer de l'eau. Je suis monitrice d'activité nautique. Et j'ai fait des réactions allergiques aux sargasses (grosses plaques cutanées rouges et enflées et avec de grosses démangeaisons) »
- « Limiter le temps de contact respiratoire. Mais habitant à 100 m de l'échouage.... achat de masques à cartouches. »
- « Être loin des sargasses. »
- « Sur l'île quand elles arrivent , où peut on aller??? il y en a partout! »

L'une des réponse qui ressort le plus est de s'éloigner au maximum des sargasses. Ce qui peut être difficile pour des personnes n'ayant pas le choix d'être à proximité de leurs lieux d'échouages.

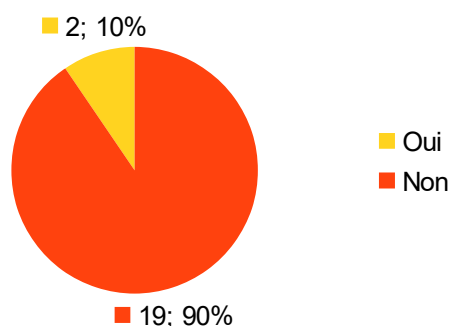


Figure 90 : Avez vous réalisé des tests médicaux (prise de sang, fonction pulmonaire ...) en lien avec les symptômes liés aux sargasses ?

Pour les 2 personnes qui ont répondu « oui », aucun détails sur les tests médicaux réalisés n'a été donné.

Dans la 5ème partie du questionnaire, regroupe des questions à propos du contact des sargasses par les proches des répondants.

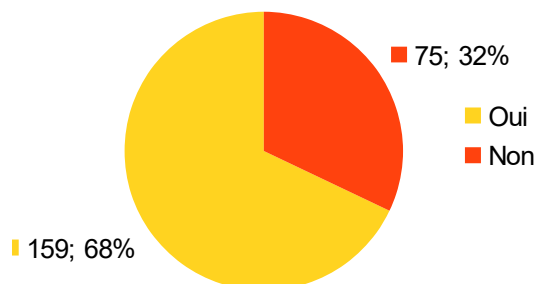


Figure 91 : Avez vous des proches (famille : parents/enfants) qui ont été en contact avec les sargasses ?

Les questions suivantes ont été uniquement posées aux personnes ayant répondues « Oui » à la question précédente, soit 159 personnes.

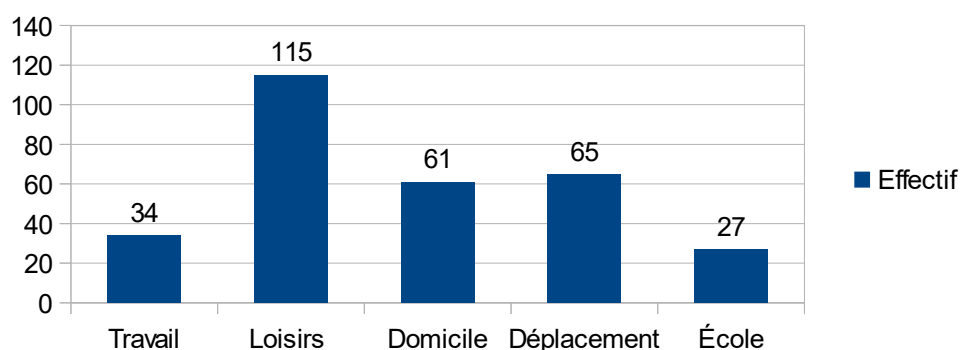


Figure 92 : Dans quelle circonstance vos proches ont été en contact avec les sargasses ?

Les répondants avaient le choix de mettre également « autre » en réponse avec la

possibilité de mettre une phrase courte pour illustrer leurs propos.

Certaines de ces réponses :

- « En vacances »

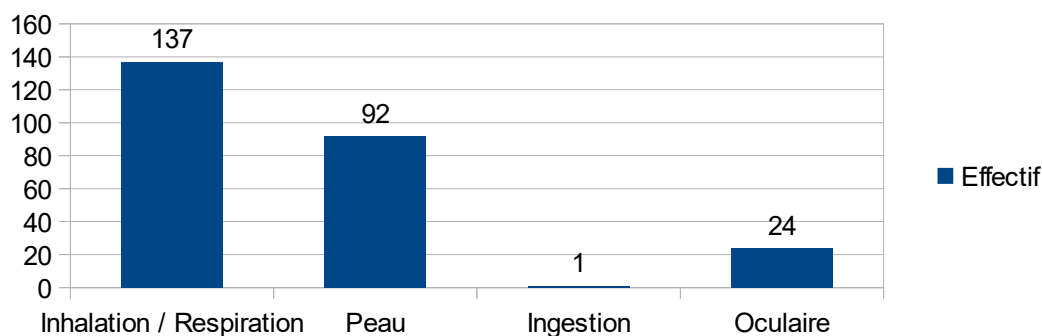


Figure 93 : De quelle manière vos proches ont été en contact avec les sargasses ?

Les répondants avaient le choix de mettre également « autre » en réponse avec la possibilité de mettre une phrase courte pour illustrer leurs propos.

Globalement les proches des répondants ont été en contact avec les sargasses de la même manière que les répondants eux même, c'est-à-dire principalement pendant les loisirs et déplacements. On peut noter un grand nombre de contacts à domicile pour les proches. Les voies respiratoires et cutanées sont les voies d'exposition prédominantes.

La 6ème partie du questionnaire regroupe des questions d'ordre médical, le but étant de savoir si les sargasses ont déjà eu des impacts sur des pathologies déjà connues des répondants.

Les personnes pouvant répondre à cette partie sont uniquement celles qui ont répondu avoir eux des contacts avec les sargasses, soit 213 personnes.

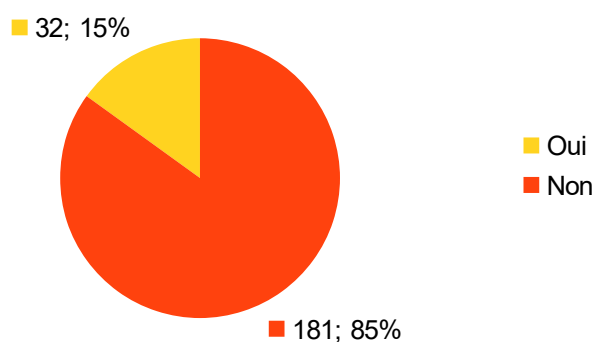


Figure 94 : Un médecin vous a-t-il dit que vous étiez asthmatique ou que vous aviez une insuffisance respiratoire ?

La question suivante était uniquement posée aux personnes ayant répondues « Oui » à la question précédente, soit 32 personnes.

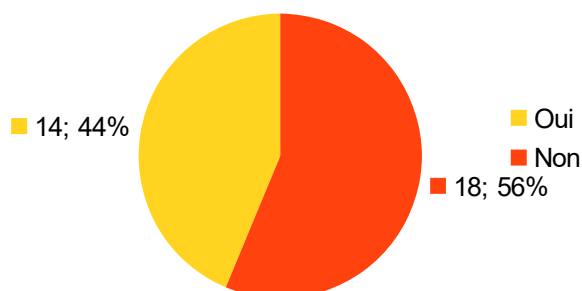


Figure 95 : Pendant les épisodes d'échouage de sargasse, avez vous eu plus de crise respiratoire nécessitant l'utilisation de Salbutamol - Terbutaline (Ventoline*, Airomir*, Ventilastin*, Bricanyl*) ?

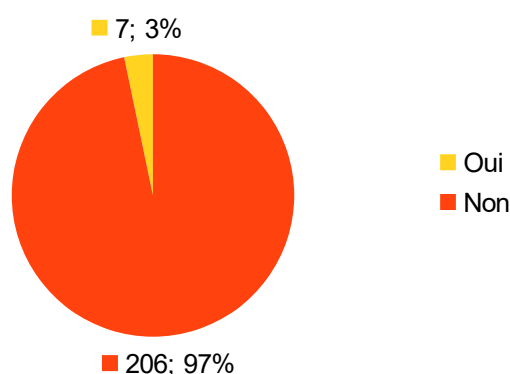


Figure 96 : Avez vous une pathologie qui s'est aggravée pendant les épisodes de sargasse ? (autre que asthme et insuffisance respiratoire)

Les réponses des 7 personnes :

- « Migraines douleurs au corps. »
- « Difficulté à respirer seulement lorsque je suis proche des sargasses. »
- « Urticaire. »
- « Je pleure en permanence avec écoulement de pu. »
- « Céphalées, sinusites, maux de gorge. »
- « Maux de tête vomissements. »
- « Grande fatigue. »

La 7ème partie du questionnaire, regroupe des questions à destination des personnes ayant des loisirs en mer ou ayant une activité professionnelle en lien avec la mer, le but étant de savoir si les sargasses ont déjà eu des impacts sur ces activités.

Il y a 235 personnes qui ont répondu à ces questions (71 hommes et 164 femmes), dont 196 habitants vivant actuellement en Guadeloupe.

La 1ère question fut uniquement posée aux habitants de Guadeloupe.

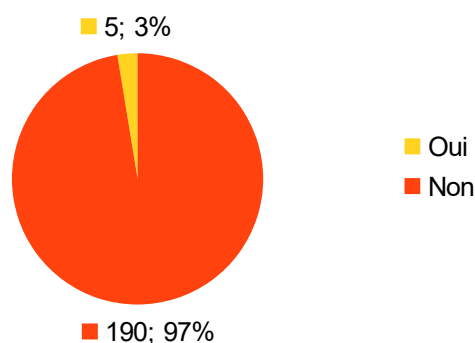


Figure 97 : Avez vous un métier en lien avec la mer ?

La question suivante était uniquement posée aux personnes ayant un métier en lien avec la mer.

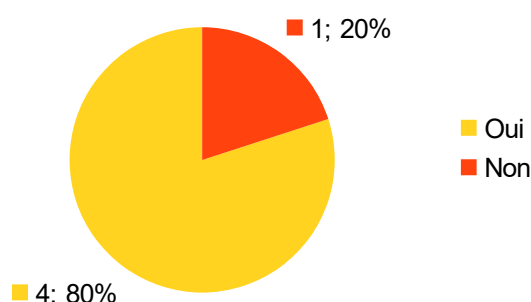


Figure 98 : Les sargasses vous ont-elles perturbées dans votre activité ? Si oui, expliquez.

Les différentes explications pour les 4 personnes ayant répondu « oui »:

- « Je travaille avec des pêcheurs, il leur était impossible de sortir du port, tant il y en avait, et donc de m'approvisionner en poissons. »
- « Navigation compliquée et baignade impossible. »
- « Monitrice de voile dans une base nautique. Moins de monde. Impossibilité de pratiquer la voile légère, le gouvernail ne répond plus correctement, idem en kayak et en planche à voile. Obligée d'attendre que la nappe passe pour faire reprendre les activités. »
- « Fermeture de mon restaurant directement situé sur la plage de la Feuillère. Perte économique et de clientèle. »

La personne ayant répondu « non » est un pêcheur de Terre-de-Haut aux Saintes.

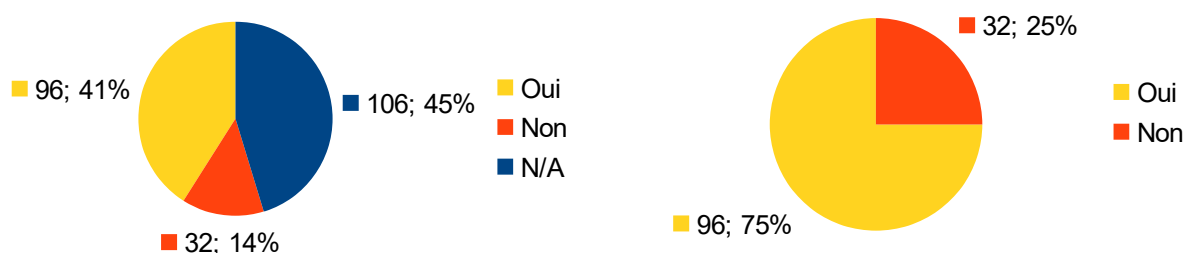


Figure 99a et 99b : Avez vous des loisirs en lien avec la mer ?

Il y a eu une erreur de codage lors de la création du questionnaire rendant cette question indisponible aux 106 premières personnes ayant participé au questionnaire. La figure 99a prend en compte les personnes n'ayant pas pu répondre dans le pourcentage global (N/A), et la figure 99b ne les prend pas en compte.

La question suivante était uniquement posée aux personnes ayant des loisirs en lien avec la mer, soit 96 personnes.

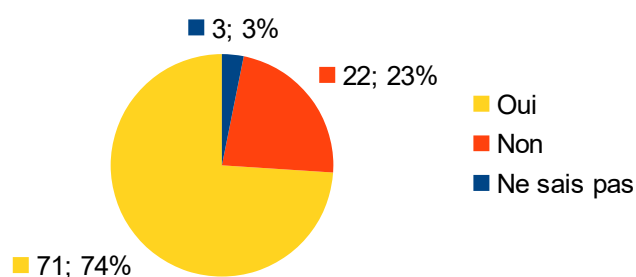


Figure 100 : Les sargasses vous ont-elles perturbées dans votre activité ? Si oui, expliquez.

Beaucoup de réponses ont été données par les répondants concernant ce sujet. Plusieurs thèmes ont été plusieurs fois abordés :

- Les perturbations causées lors de sortie de natation, de baignade, de plongée ou de pêche par rapport à la difficulté de se déplacer dans les algues et à la perte de visibilité sous l'eau qu'engendrent les nappes de sargasses en surface.
- Les perturbations pour les activités de voiles, de bateau à moteur ou de jet ski. Les problèmes de manœuvrabilité à cause des algues se bloquant dans les safrans ou hélices de moteurs, de même que le risque de surchauffe des moteurs de jet ski.
- Des problèmes de santé empêchant leurs activités.
- La nécessité de changer d'endroit ou de sélectionner des lieux sans sargasses pour réaliser son activité ou même finalement l'annulation d'activité de loisirs.

La 8ème partie du questionnaire regroupe des questions est à propos de la perception de l'impact des sargasses concernant les biens matériels et la possible utilisation de ces algues dans le futur.

La question suivante concerne uniquement les habitants de Guadeloupe.

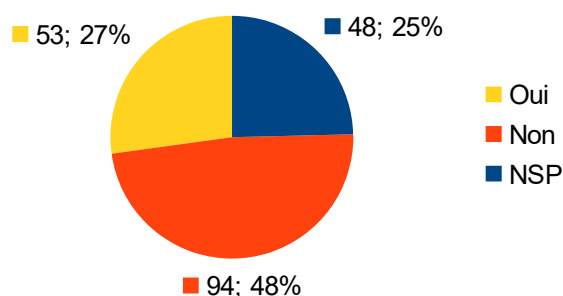


Figure 101 : Avez-vous remarqué des différences sur vos biens matériels (longévité, aspect etc...) au moment des échouages de sargasses ?

Beaucoup de réponses ont été données par les répondants concernant ce sujet, les thèmes les plus évoqués sont :

- Des complications avec leurs appareils électroniques et l'électroménager. Certains de ces biens se dégradent, deviennent plus rapidement défectueux voir inutilisables.
- L'oxydation des métaux et des bijoux, avec des éléments qui noircissent et également des matériaux qui rouilleraient plus rapidement.

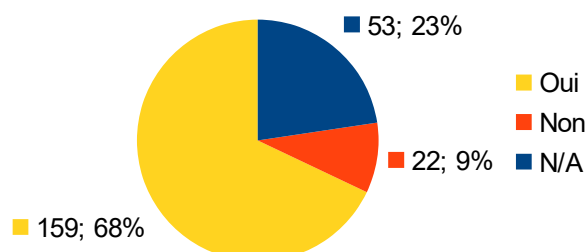


Figure 102 : Selon vous, est-ce que l'on peut tirer un avantage de ces sargasses dans le futur ?

La question suivante a été posée uniquement aux personnes ayant répondu « Oui » à la question précédente, soit 159 personnes.

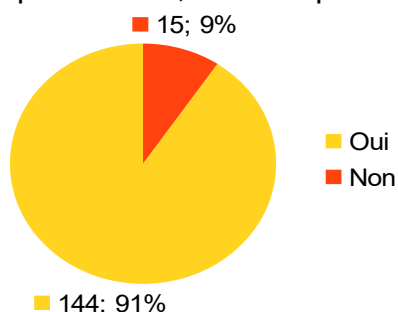


Figure 103 : Utiliseriez-vous des produits à base de sargasse si des sociétés en commercialisent ? (engrais, cartons etc..)

La majorité des répondants sont optimistes concernant le fait que l'on pourrait tirer un avantage des sargasses dans le futur (Figure 102). De même une grande majorité serait prête à utiliser des produits à base de sargasse (Figure 103).

La dernière question était à réponse ouverte, les répondants étaient donc libres de répondre ce qu'ils voulaient afin de partager des informations ou expériences à propos des sargasses. De multiples sujets ont ainsi été abordés dans les réponses sur l'impact des sargasses dans les différents domaines évoqués précédemment.

Par exemple au niveau de la santé, une personne décrit voir de « gros problèmes respiratoires dans la population et chez les touristes à Marie-Galante » et notamment de nombreuses prescriptions de Ventoline* pour des non asthmatiques. Toujours à Marie-Galante, une personne explique que de nombreux habitants ont quitté le bourg de la ville de Capesterre tellement les dégagements étaient odorants. Une autre personne explique qu'à cause des sargasses, un membre de sa famille vivant aux Saintes en bord de mer a dû déménager sur Basse-Terre car elles lui causaient de violents maux de tête, nausées et étourdissements. Pour l'attractivité de l'île, une personne travaillant dans le tourisme explique qu'elle a des clients venant de l'hexagone qui l'appelle pour savoir si il y a des sargasses sur place.

Des réflexions autour de l'avantage que ces algues peuvent ou pourront procurer sont partagées, notamment qu'elles peuvent être un atout dans le futur et être une nouvelle ressource économique pour l'île. D'autres également se disent qu'elles sont un peu nettoyeuses des mers avec leurs capacités à absorber les « toxines ». De nouvelles techniques pour les éliminer sont abordées comme par exemple l'utilisation de lombrics qui mangeraient les sargasses.

Des personnes qui partagent leur « enfer » pouvant être dur moralement, avec des notions de non assistance à personne en danger.

Un sentiment d'abandon est rapporté pour certains avec comme ressenti une inaction au niveau local et un manque de considération de l'état, faisant écho à d'autres problématiques que l'on retrouve en Guadeloupe comme la pollution à la chlordécone ou encore les problèmes de distribution d'eau courante.

Parmi les limites du sondage, le fait d'avoir internet et être sur les réseaux sociaux était nécessaire pour avoir accès au questionnaire. De même, une partie des personnes qui répondent au questionnaire sont probablement déjà sensibilisées et/ou concernées par le phénomène et profitent de cet outil pour faire passer un message.

Conclusion

Les sargasses sont des algues brunes présentes dans le golfe du Mexique et dans l'Atlantique depuis très longtemps. Cependant depuis quelques années, d'énormes nappes viennent s'échouer sur les plages des îles et pays des Caraïbes. De nombreuses études se sont penchées sur l'origine de cette apparition soudaine et massive. Les réflexions se sont d'abord orientées vers la mer des sargasses comme source de ce phénomène mais, par la suite, il a finalement été découvert que l'origine est bien plus au Sud au niveau de l'Atlantique Équatorial et la NERR (North Equatorial Recirculation Region). Cependant, les sargasses n'existaient pas à cet endroit auparavant. D'autres recherches ont alors mis en évidence le rôle des courants marins, aériens et notamment les anomalies climatiques dans l'ensemble de l'océan Atlantique pour mettre en lien cette « nouvelle mer des sargasses » en Atlantique Équatorial et la mer des sargasses « originelle ». Dans cette zone les sargasses peuvent bénéficier de certains nutriments dont ceux provenant des brassages océaniques pour leurs développements.

Lors des échouages de ces algues, des dégagements d'hydrogène sulfuré et d'ammoniac se révèlent être en quantité suffisante pour causer des désagréments aux populations à proximité.

Avec un phénomène devenu répétitif, différentes questions peuvent se poser, notamment par rapport aux effets à long terme de l'exposition chronique à ces gaz. Mais également les conséquences d'une possible contamination de l'environnement par les métaux que ces algues contiennent tels que l'arsenic et le cadmium.

Au final, ce phénomène peut impacter la vie des habitants rendant difficile la réalisation de certaines activités, certains métiers, altérant leur santé, obligeant même certains à déménager.

Les réponses du questionnaire montrent que le pharmacien d'officine est un acteur de santé pouvant être confronté à des situations en lien avec ce genre de problématique. Il peut être amené à donner des conseils et informations auprès des habitants ou même des voyageurs se rendant sur les îles antillaises suite à une exposition ou à un contact avec des sargasses.

Ce phénomène envahissement n'est pas spécifique aux Caraïbes, il existe près des côtes Européennes avec les algues vertes qui s'échouent massivement en Bretagne et dont l'impact de l'activité humaine est connue. (93). Il existe également une augmentation significative de micro-algues comme souligné par l'UNESCO dans une publication en 2016 qui alerte sur ce phénomène lui aussi influencé par les activités humaines. (99)

L'étude de Djakouré et al. (2017) a montré qu'il y a en Atlantique Équatorial une augmentation progressive de nitrate et phosphate entre 2011 et 2015 (Figure 33). Ces éléments étant importants pour le développement des sargasses, il serait donc intéressant d'en savoir plus sur l'origine de cette croissance et de voir si celle-ci perdure dans le temps. Il y a une augmentation des brassages océaniques qui pourrait influencer ce phénomène cependant il serait également intéressant de voir si les activités humaines ont un rôle dans cet enrichissement.

Références bibliographiques

1. La Renaissance (1) : les grands voyageurs [Internet]. [cité 16 sept 2020]. Disponible sur: https://www.professeurphifix.net/eveil/histoire_colomb.pdf
2. Gower J, Hu C, Borstad G, King S. Ocean Color Satellites Show Extensive Lines of Floating *Sargassum* in the Gulf of Mexico. IEEE Trans Geosci Remote Sens. déc 2006;44(12):3619-25.
3. Gower JFR, King SA. Distribution of floating *Sargassum* in the Gulf of Mexico and the Atlantic Ocean mapped using MERIS. Int J Remote Sens. 28 mars 2011;32(7):1917-29.
4. Agence Nationale de Sécurité Sanitaire, de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail (ANSES). Expositions aux émanations d'algues sargasses en décomposition aux Antilles et en Guyane [Internet]. [cité 16 sept 2020]. Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2015SA0225Ra.pdf>
5. Rispaïl P. Les «protistesà parasites ou opportunistes en pathologie humaine, animale et végétale: Le point sur la systématique actuelle. Rev Fr Lab. 1 nov 2002;2002(347):27-41.
6. Faculté des Sciences de Rabat. Pr Hassikou, Pr Aissami. Cours S2: Biologie des organismes vivants. :328.
7. Université Frères Mentouri Constantine I. Bouchoukh I. Cours botanique bouchoukh.pdf [Internet]. [cité 22 sept 2020]. Disponible sur: <https://fac.umc.edu.dz/snv/faculte/tc/2017/cours/Cours%20botanique%20bouchoukh.pdf>
8. Selosse M-A. poly Selosse.pdf [Internet]. [cité 23 sept 2020]. Disponible sur: http://upa.it-sudparis.eu/ziteplus0_9/documents/2013_2014/biblio_allano/poly%20Selosse.pdf
9. Martin L. Pelagic *Sargassum* and its associated mobile fauna in the Caribbean, Gulf of Mexico, and Sargasso Sea. 2016.
10. Mattio L. Taxonomie du genre *Sargassum* (Fucales, Phaeophyceae) en Nouvelle-Calédonie et dans le Pacifique Sud. Approches morphologique et moléculaire. :352.
11. What are the differences between benthic and pelagic zones in the ocean? - Quora [Internet]. [cité 25 sept 2020]. Disponible sur: <https://www.quora.com/What-are-the-differences-between-benthic-and-pelagic-zones-in-the-ocean>
12. Govindjee, Satoh K. Fluorescence properties of chlorophyll b- and chlorophyll c-containing algae. 1986_gov_satoh.pdf [Internet]. [cité 24 sept 2020]. Disponible sur: http://www.life.illinois.edu/govindjee/Electronic%20Publications/1986/1986_gov_satoh.pdf
13. Jaswir I, Noviendri D, Salleh HM, Taher M, Miyashita K, Ramli N. Analysis of

fucoxanthin content and purification of all-trans-fucoxanthin from *Turbinaria turbinata* and *Sargassum plagyophyllum* by SiO₂ open column chromatography and reversed phase-HPLC. J Liq Chromatogr Relat Technol. avr 2013;36(10):1340-54.

14. Borah KD, Bhuyan J. Magnesium porphyrins with relevance to chlorophylls. Dalton Trans. 2017;46(20):6497-509.

15. Chlorophyll a Chlorophyll b synthesis Protochlorophyllide, Chlorophyll A, angle, white png | PNGEgg [Internet]. [cité 17 déc 2021]. Disponible sur: <https://www.pngegg.com/en/png-hzadp>

16. Purcell M. Étude comparative de la localisation tridimensionnelle des pigments photosynthétiques et de la distribution du flux des excitons au sein du photosystème I. 000606464.pdf [Internet]. [cité 5 oct 2020]. Disponible sur: <http://depot-e.uqtr.ca/id/eprint/6798/1/000606464.pdf>

17. Molecular structure of β -carotene and zeaxanthin [Internet]. ResearchGate. [cité 5 oct 2020]. Disponible sur: https://www.researchgate.net/figure/Molecular-structure-of-b-carotene-and-zeaxanthin_fig1_316094562

18. Schell JM, Goodwin DS, Siuda ANS. Recent Sargassum Inundation Events in the Caribbean. :4.

19. Gower et King - 2011 - Distribution of floating Sargassum in the G.pdf.

20. Johns EM, Lumpkin R, Putman NF, Smith RH, Muller-Karger FE, T. Rueda-Roa D, et al. The establishment of a pelagic Sargassum population in the tropical Atlantic: Biological consequences of a basin-scale long distance dispersal event. Prog Oceanogr. 1 mars 2020;182:102269.

21. prise au vent - traduction - Dictionnaire Français-Anglais WordReference.com [Internet]. [cité 28 nov 2020]. Disponible sur: <https://www.wordreference.com/fren/prise%20au%20vent>

22. Putman NF, Goni GJ, Gramer LJ, Hu C, Johns EM, Trinanes J, et al. Simulating transport pathways of pelagic Sargassum from the Equatorial Atlantic into the Caribbean Sea. Prog Oceanogr. 1 juill 2018;165:205-14.

23. NAO [Internet]. [cité 28 nov 2020]. Disponible sur: <http://la.climatologie.free.fr/nao/NAO.htm>

24. Larousse É. Définitions : gyre - Dictionnaire de français Larousse [Internet]. [cité 8 déc 2020]. Disponible sur: <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/gyre/188245>

25. Wang M, Hu C, Barnes B, Mitchum G, Lapointe B, Montoya J. The great Atlantic Sargassum belt. Science. 5 juill 2019;365:83-7.

26. Reichholf JH. Is Saharan Dust a Major Source of Nutrients for the Amazonian Rain Forest? Stud Neotropical Fauna Environ. 1 janv 1986;21(4):251-5.

27. Yu H, Chin M, Yuan T, Bian H, Remer LA, Prospero JM, et al. The fertilizing role

- of African dust in the Amazon rainforest: A first multiyear assessment based on data from Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations. *Geophys Res Lett.* 2015;42(6):1984-91.
28. Jickells TD. Global Iron Connections Between Desert Dust, Ocean Biogeochemistry, and Climate. *Science.* 1 avr 2005;308(5718):67-71.
29. Louime C, Fortune J, Gervais G. *Sargassum* Invasion of Coastal Environments: A Growing Concern. *Am J Environ Sci.* 1 janv 2017;13(1):58-64.
30. Djakouré S, Araujo M, Hounsou-Gbo A, Noriega C, Bourlès B. On the potential causes of the recent Pelagic *Sargassum* blooms events in the tropical North Atlantic Ocean [Internet]. *Biogeophysics: Physical - Biological Coupling*; 2017 sept [cité 16 mai 2021]. Disponible sur: <https://bg.copernicus.org/preprints/bg-2017-346/>
31. Jouanno J, Moquet J-S, Berline L, Radenac M-H, Santini W, Changeux T, et al. Evolution of the riverine nutrient export to the Tropical Atlantic over the last 15 years: is there a link with *Sargassum* proliferation? *Environ Res Lett.* mars 2021;16(3):034042.
32. Kantha et Clayson - 2003 - BOUNDARY LAYERS Ocean Mixed Layer.pdf.
33. Schell J, Goodwin D, Siuda A. Recent *Sargassum* Inundation Events in the Caribbean: Shipboard Observations Reveal Dominance of a Previously Rare Form. *Oceanography.* 1 sept 2015;28(3):8-10.
34. Martin L. Pelagic *sargassum* and its associated mobile fauna in the caribeean, gulf of mexico, and sargasso sea. 147247998.pdf [Internet]. [cité 9 févr 2021]. Disponible sur: <https://core.ac.uk/download/pdf/147247998.pdf>
35. Davis D, Simister R, Campbell S, Marston M, Bose S, McQueen-Mason SJ, et al. Biomass composition of the golden tide pelagic seaweeds *Sargassum fluitans* and *S. natans* (morphotypes I and VIII) to inform valorisation pathways. *Sci Total Environ.* 25 mars 2021;762:143134.
36. Gloria NDA, Kweku AA deGraft-Johnson. Preliminary investigation into the chemical composition of the invasive brown seaweed *Sargassum* along the West Coast of Ghana. *Afr J Biotechnol.* 28 sept 2016;15(39):2184-91.
37. Kabata-Pendias A, Pendias H. Kabata-Pendias et Pendias - 2001 - Trace elements in soils and plants.pdf [Internet]. [cité 17 févr 2021]. Disponible sur: <http://base.dnsgb.com.ua/files/book/Agriculture/Soil/Trace-Elements-in-Soils-and-Plants.pdf>
38. Sudharsan S, Seedeve P, Ramasamy P, Subhapradha N, Vairamani S, Shanmugam A. Heavy metal accumulation in seaweeds and sea grasses along southeast coast of India. 2012;6.
39. Chou A. Les applications potentielles des macroalgues marines et les activités pharmacologiques de leurs métabolites : *Revue. Aquat Ecosyst.* 2013;40.
40. Faraj PA, Berbich PA, Lazrak PB, Chkili PT, Alaoui PMT, Belmahi PA, et al.

41. Structure of fucoidan. [Internet]. ResearchGate. [cité 23 févr 2021]. Disponible sur: https://www.researchgate.net/figure/Structure-of-fucoidan_fig4_294287292
42. 1200px-Laminarin_Part_of_Chemical_Structure_V1.svg.png (1200×554) [Internet]. [cité 1 mars 2021]. Disponible sur: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/23/Laminarin_Part_of_Chemical_Structure_V1.svg/1200px-Laminarin_Part_of_Chemical_Structure_V1.svg.png
43. You S, Yang C, Lee H, Lee B-Y. Molecular characteristics of partially hydrolyzed fucoidans from sporophyll of Undaria Pinnatifida and their in vitro anticancer activity. Food Chem. 15 mars 2010;119(2):554-9.
44. Mannitol_structure.png (1837×738) [Internet]. [cité 1 mars 2021]. Disponible sur: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/ff/Mannitol_structure.png
45. Garbin C, Raghoumandan C. RAPPORT D'ACTIVITES 2017. :25.
46. Gwad'air. Rapport annuel 2018. rapport-activites2018.pdf [Internet]. [cité 2 mars 2021]. Disponible sur: <http://www.gwadair.fr/images/pdf/rapport-activites2018.pdf>
47. Gwad'air. 2019 Etude des émanations gazeuses liées à la décomposition des algues sargasses sur les littoraux guadeloupéens. Etude-des-manations-gazeuses--la-dcomposition-des-algues-sargasses-sur-les-littoraux-guadeloupens-en-2019_publication.pdf [Internet]. [cité 2 mars 2021]. Disponible sur: https://www.gwadair.fr/images/pdf/etudes/Etude-des-manations-gazeuses-lies--la-dcomposition-des-algues-sargasses-sur-les-littoraux-guadeloupens-en-2019_publication.pdf
48. Gwad'air. 2020 Bilan annuel des émanations gazeuses liées à la décomposition des algues sargasses sur les littoraux de la Guadeloupe . Bilan_annuel_2020_des_émanations_gazeuses_liées_à_la_décomposition_des_algues_sargasses_sur_les_littoraux_de_la_Guadeloupe.pdf [Internet]. [cité 8 mars 2021]. Disponible sur: http://www.gwadair.fr/images/Bilan_annuel_2020_des_%C3%A9manations_gazeuses_li%C3%A9es_%C3%A0_la_d%C3%A9composition_des_algues_sargasses_sur_les_littoraux_de_la_Guadeloupe.pdf
49. Haut Conseil de la Santé Publique. Avis relatif à la définition de mesures de gestion concernant l'exposition des populations antillaises à de l'ammoniac (NH3) et du sulfure d'hydrogène (H2S) issus de la décomposition d'algues Sargasses. :22.
50. Bureau de Recherches Géologique et Minières. Présentation des résultats de l'étude du site de stockage de sargasses de Capesterre-de-Marie-Galante. 2019/06/19 Restitution Stockage Sargasses Mg [Internet]. calameo.com. [cité 2 mars 2021]. Disponible sur: <https://www.calameo.com/read/00407985639df154a646c>
51. Le chlอร์ดécone, un scandale d'Etat [Internet]. Outre-mer la 1ère. [cité 9 mars 2021]. Disponible sur: <https://la1ere.francetvinfo.fr/chlordecone-scandale-etat-grand->

52. L'ADEME Martinique. Algues sargasses : prévention des échouages et perspectives de valorisation. situation-perspectives-valorisation-sargasses.pdf [Internet]. [cité 9 mars 2021]. Disponible sur: <https://martinique.ademe.fr/sites/default/files/situation-perspectives-valorisation-sargasses.pdf>
53. Institut National de Recherche et de Sécurité. Sulfure d'hydrogène (FT 32). Caractéristiques - Fiche toxicologique - INRS [Internet]. [cité 11 mars 2021]. Disponible sur: https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_32§ion=caracteristiques
54. Chou SJ. Hydrogen sulfide: human health aspects. Geneva: World Health Organization; 2003. 35 p. (Concise international chemical assessment document).
55. Institut National de Recherche et de Sécurité. Ammoniac et solutions aqueuses (FT 16). Généralités - Fiche toxicologique - INRS [Internet]. [cité 23 mars 2021]. Disponible sur: https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_16
56. Lavigne J, Roy L-A, Thériault G, Bourgault M-H, Nantel A, Laplante L. Auteurs – Section B – 4 Ammoniac. 2004;48.
57. Institut National de Recherche et de Sécurité. Arsenic et composés minéraux (FT 192). Pathologie - Toxicologie - Fiche toxicologique - INRS [Internet]. [cité 23 mars 2021]. Disponible sur: https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_192§ion=pathologieToxicologie#tab_toxiHomme
58. World Health Organization. Arsenic [Internet]. [cité 23 mars 2021]. Disponible sur: <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>
59. Arsenic et risque de cancer | Cancer et environnement [Internet]. [cité 23 mars 2021]. Disponible sur: <https://www.cancer-environnement.fr/335-Arsenic.ce.aspx>
60. Devault DA, Modestin E, Cottureau V, Védie F, Stiger-Pouvreau V, Pierre R, et al. The silent spring of Sargassum. Environ Sci Pollut Res. Avr 2021;28(13):15580-3.
61. Devault D, Pierre R, Marfaing H, Dolique F, Lopez P-J. Sargassum contamination and consequences for downstream uses: a review. J Appl Phycol [Internet]. nov 2020 [cité 1 mai 2021]; Disponible sur: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03032938>
62. Institut National de Recherche et de Sécurité. Cadmium et composés minéraux(*) (FT 60). Pathologie - Toxicologie - Fiche toxicologique - INRS [Internet]. [cité 23 mars 2021]. Disponible sur: https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_60§ion=pathologieToxicologie#tab_toxiHomme
63. Verge G. Evaluation et gestion du risque lié à l'ingestion de produits de la mer contaminées par le cadmium. verge_1574.pdf [Internet]. [cité 23 mars 2021]. Disponible sur: https://oatao.univ-toulouse.fr/1574/1/verge_1574.pdf

64. Bernhoft RA. Cadmium Toxicity and Treatment. Sci World J. 3 juin 2013;2013:394652.
65. Andujar P, Bensefa-Colas L, Descatha A. Intoxication aiguë et chronique au cadmium. Rev Médecine Interne. févr 2010;31(2):107-15.
66. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Exposition au cadmium : l'Anses propose des valeurs limites pour mieux protéger les consommateurs et les travailleurs | Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail [Internet]. [cité 4 avr 2022]. Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/content/exposition-au-cadmium-l%E2%80%99anses-propose-des-valeurs-limites-pour-mieux-prot%C3%A9ger-les>
67. Resiere D, Valentino R, Nevière R, Banydeen R, Gueye P, Florentin J, et al. Sargassum seaweed on Caribbean islands: an international public health concern. The Lancet. 22 déc 2018;392(10165):2691.
68. Dauvergne J, Berger A. Enquête en ligne sur l'impact des échouements de sargasses sur la santé en population antillaise. 2019. THESE-Anna-et-Jérémie_Sargasse-impact-sur-la-santé.pdf.
69. Florenne T, Guerber F, Colas-Belcour F. Le phénomène d'exhouage des sargasses dans les Antilles et en Guyane. 2016. 010345-01 rapport-final.pdf [Internet]. [cité 14 avr 2021]. Disponible sur: <https://cgedd.documentation.developpement-durable.gouv.fr/documents/Affaires-0009246/010345-01%20rapport-final.pdf>
70. Sargasses [Internet]. La pêche des îles de Guadeloupe. [cité 24 mars 2021]. Disponible sur: <http://guadeloupe-peches.org/sargasses/>
71. L'institut d'émission des départements d'outre-mer. Guadeloupe Rapport annuel de 2019. ra2019_guadeloupe_1_.pdf [Internet]. [cité 1 mai 2022]. Disponible sur: https://www.iedom.fr/IMG/pdf/ra2019_guadeloupe_1_.pdf
72. Guadeloupe : les sargasses coupent du monde La Désirade et l'île de Terre-de-bas [Internet]. Outre-mer la 1ère. [cité 30 mars 2021]. Disponible sur: <https://la1ere.francetvinfo.fr/guadeloupe-sargasses-coupent-du-monde-desirade-ile-terre-bas-585683.html>
73. La galère continue et l'île est à nouveau bloquée par les sargasses - Les Saintes : Terre de Haut et Terre de Bas [Internet]. France-Antilles Guadeloupe. [cité 30 mars 2021]. Disponible sur: <https://www.guadeloupe.franceantilles.fr/actualite/environnement/la-galere-continue-et-l-ile-est-a-nouveau-bloquee-par-les-sargasses-484475.php>
74. maxresdefault.jpg (1280×720) [Internet]. [cité 30 mars 2021]. Disponible sur: <https://i.ytimg.com/vi/WKuLP7Zruh0/maxresdefault.jpg>
75. Chez Coco à Anse Bertrand, on ne sait plus quoi faire - Environnement en Guadeloupe [Internet]. France-Antilles Guadeloupe. [cité 30 mars 2021]. Disponible sur: <https://www.guadeloupe.franceantilles.fr/actualite/environnement/chez-coco-a-anse-bertrand-on-ne-sait-plus-quoi-faire-556766.php>

76. Sargasse - Avis de voyageurs sur Villa Cycas, Marie-Galante - Tripadvisor [Internet]. [cité 6 avr 2021]. Disponible sur: https://www.tripadvisor.fr/ShowUserReviews-g658280-d17146960-r663491289-Villa_Cycas-Marie_Galante_Guadeloupe.html
77. Bonjour, y a T il des sargasses à la plage de... [Internet]. [cité 30 mars 2021]. Disponible sur: https://www.tripadvisor.fr/FAQ_Answers-g644387-d806575-t5353141-Bonjour_y_a_T_il_des_sargasses_a_la_plage_de.html
78. Huit établissements scolaires de Petit-Bourg fermés sur décision du maire [Internet]. Guadeloupe la 1ère. [cité 24 mars 2021]. Disponible sur: <https://la1ere.francetvinfo.fr/guadeloupe/neuf-etablissements-scolaires-petit-bourg-fermes-decision-du-maire-594217.html>
79. Algues Sargasses : plusieurs lycéens hospitalisés [Internet]. Martinique la 1ère. [cité 24 mars 2021]. Disponible sur: <https://la1ere.francetvinfo.fr/martinique/2014/10/08/algues-sargasses-plusieurs-lyceens-hospitalises-196650.html>
80. Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement. Impact des sargasses pélagiques sur les mangroves, herbiers et stocks de poissons en Martinique en 2011. impact_des_sargasses_pelagiques_sur_les_mangroves_herbiers_et_stocks_de_poissons_en_martinique_en_2011_impact_mer_2011.pdf [Internet]. [cité 14 avr 2021]. Disponible sur: http://www.tortuesmarinesguadeloupe.org/wp-content/uploads/2018/06/impact_des_sargasses_pelagiques_sur_les_mangroves_herbiers_et_stocks_de_poissons_en_martinique_en_2011_impact_mer_2011.pdf
81. Devault DA, Modestin E, Trouillefou M, Massat F, Lopez PJ, Dolique F. Sargassum contamination by arsenic and chlordecone fate ashore in compost. 2020.
82. Modestin M. Consommation de bivalves marins et pollution à l'arsenic : le risque lié à deux espèces en Martinique. 2015. 201215Thèse MODESTIN.pdf [Internet]. [cité 29 avr 2021]. Disponible sur: <https://borea.mnhn.fr/sites/default/files/fichiers-actus/201215Th%C3%A8se%20MODESTIN.pdf>
<https://borea.mnhn.fr/sites/default/files/fichiers-actus/201215Th%C3%A8se%20MODESTIN.pdf>
83. Un abri anti-sargasses à Petit-Bourg [Internet]. Guadeloupe la 1ère. [cité 12 avr 2021]. Disponible sur: <https://la1ere.francetvinfo.fr/guadeloupe/basse-terre/petit-bourg-0/abri-anti-sargasses-petit-bourg-610381.html>
84. Projet sargasse caraïbes - Le Floch Dépollution [Internet]. [cité 12 avr 2021]. Disponible sur: <http://leflochdepollution.com/projet-sargasse-cara-bes>
85. Les mesures gouvernementales d'urgence contre les sargasses / Dossier Sargasses / Risques naturels, technologiques et sanitaires / Politiques publiques / Accueil - Les services de l'État en Guadeloupe [Internet]. [cité 18 nov 2021]. Disponible sur: <https://www.guadeloupe.gouv.fr/Politiques-publiques/Risques-naturels-technologiques-et-sanitaires/Dossier-Sargasses/Les-mesures->

86. Les sargasses bientôt reconnues comme catastrophe naturelle ? - Environnement en Guadeloupe [Internet]. France-Antilles Guadeloupe. [cité 10 nov 2021]. Disponible sur: <https://www.guadeloupe.franceantilles.fr/actualite/environnement/les-sargasses-bientot-reconnues-comme-catastrophe-naturelle-602716.php>

87. La loi de finances pour 2022 comprend une ligne budgétaire spécifique aux sargasses : 2,5 M€ [Internet]. Guadeloupe la 1ère. [cité 18 nov 2021]. Disponible sur: <https://la1ere.francetvinfo.fr/guadeloupe/la-loi-de-finances-pour-2022-comprend-une-ligne-budgetaire-specifique-aux-sargasses-2-5-m-1132951.html>

88. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie. Évaluation des méthodes de ramassage de sargasse. 2018. fiche_synthese_brigade_verte-2.pdf [Internet]. [cité 13 avr 2021]. Disponible sur: http://www.guadeloupe.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/fiche_synthese_brigade_verte-2.pdf

89. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie. Panorama des dispositifs techniques pour la collecte et la prévention des échouages des algues sargasses. 2019. dispositifs-collecte-sargasses.pdf [Internet]. [cité 13 avr 2021]. Disponible sur: <https://www.martinique.ademe.fr/sites/default/files/dispositifs-collecte-sargasses.pdf>

90. M'Chichi K, Dembele S. - Rapport du Projet de fin d'études Les sargasses.pdf [Internet]. [cité 13 avr 2021]. Disponible sur: <https://www.observatoire-eau-martinique.fr/documents/PFE-Sargasses--MCHICHI--DEMBELE.pdf>

91. Nettoyeuse sargasse et les algues de la plage [Internet]. [cité 13 avr 2021]. Disponible sur: <https://fr.unicorn-beachcleaners.com/nettoyeuse-scarbat-pid-33>

92. webmaster. Scarbat : le remède miracle contre les sargasses [Internet]. Le St Martin's Week. 2015 [cité 13 avr 2021]. Disponible sur: <https://www.stmartinweek.fr/2015/12/01/scarbat-le-remede-miracle-contre-les-sargasses/4958>

93. Holdex Environnement, une solution de valorisation des sargasses 100% martiniquaise ! [Internet]. Martinique 2030. 2018 [cité 3 sept 2021]. Disponible sur: <https://www.martinique2030.com/non-classe/holdex-environnement-une-solution-de-valorisation-des-sargasses-100-martiniquaise>

94. Baptiste T. Étude de faisabilité de la mise en place d'une filière de valorisation bioplastique des sargasses. :12.

95. Quand le nuisible devient utile [Internet]. Sargasse Project. [cité 3 sept 2021]. Disponible sur: <https://sargasseproject.com/sargasse-project-quand-le-nuisible-devient-utile/>

96. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie. Actions de l'ADEME sur les algues sargasses aux Antilles. actions-ademe-sargasses.pdf [Internet]. [cité 3 sept 2021]. Disponible sur:

<https://www.guadeloupe.ademe.fr/sites/default/files/actions-ademe-sargasses.pdf>

97. De l'algue sargasse incrustée dans des lunettes, le nouveau défi de deux passionnés [Internet]. Guadeloupe la 1ère. [cité 14 juin 2021]. Disponible sur: <https://la1ere.francetvinfo.fr/guadeloupe/de-l-algue-sargasse-incrustee-dans-des-lunettes-le-nouveau-defi-de-deux-passionnes-1003306.html>

98. Ministère de la transition écologique. Le point sur les proliférations d'algues sur les côtes métropolitaines. 2014 - Les proliférations d'algues.pdf [Internet]. [cité 17 déc 2021]. Disponible sur: <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2018-10/lps182-proliferation-algues-janvier2014.pdf>

99. UNESCO. Une publication de l'UNESCO dresse un état des lieux de la prolifération des algues nuisibles | Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture [Internet]. [cité 13 déc 2021]. Disponible sur: http://www.unesco.org/new/fr/media-services/single-view/news/unesco_publication_takes_stock_of_harmful_algae_blooms_and/

Annexes



Bonjour, je suis étudiant en pharmacie à l'université de Lille et je rédige ma thèse de fin d'étude sur le thème des sargasses en Guadeloupe. Ce questionnaire, complètement anonyme, vise à mieux connaître votre opinion et les conséquences des arrivages des algues brunes appelées sargasses sur les plages Guadeloupéennes. Vos réponses me seront précieuses pour illustrer et montrer l'impact de ce fléau dans vos vies quotidiennes. J'espère qu'elles permettront une meilleure prise en compte de ce problème par les autorités.

Les données étant anonymes, il ne sera plus possible d'exercer les droits d'accès aux données, au droit de retrait ou de modification dès que le questionnaire est validé et transmis. Elles seront conservées pendant le temps de l'étude. Vous avez le droit d'introduire une réclamation (plainte) auprès de la CNIL si vous considérez que vos droits ne sont pas respectés.

Partie A: Informations générales

A1. Vous êtes :

Féminin ☐

Masculin ☐

A2. Quel est votre âge ?

<18 ☐

18-29 ☐

30-39 ☐

40-49 ☐

50-64 ☐

65-75 ☐

>75 ☐

A3. Habitez vous actuellement en Guadeloupe ?

Oui ☐

Non ☐



A4. Avez vous déjà entendu parler des sargasses ?

Oui ☐

Non ☐

Partie B: Habitant de Guadeloupe

B1. Où habitez-vous ?

Anse-Bertrand ☐

Baie-Mahault ☐

Baillif ☐

Basse-Terre ☐

Bouillante ☐

Capesterre-Belle-Eau ☐

Capesterre-de-Marie-Galante (Marie Galante) ☐

Deshaies ☐

Gourbeyre ☐

Goyave ☐

Grand-Bourg (Marie Galante) ☐

Jarry ☐

La Désirade ☐

Lamentin ☐

Le Gosier ☐

Le Moule ☐

Les Abymes ☐

Morne-à-l'Eau ☐

Petit-Bourg ☐

Petit-Canal ☐

Pointe-à-Pitre ☐

Pointe-Noire ☐

Port-Louis ☐

Saint-Claude ☐





	Saint-François	☐
	Saint-Louis (Marie Galante)	☐
	Sainte-Anne	☐
	Sainte-Rose	☐
	Terre-de-Bas (Les Saintes)	☐
	Terre-de-Haut (Les Saintes)	☐
	Trois-Rivière	☐
	Vieux-Port	☐
	Vieux-Habitants	☐
B2. Avez vous déjà pensez à déménager à cause des sargasses ?		
	Oui	☐
	Non	☐
B3. Avez vous déjà déménagé à cause des sargasses ?		
	Oui	☐
	Non	☐
B4. Si vous changez de logement, allez vous prendre en compte les zones d'échouage de sargasse pour votre future habitation ?		
	Oui	☐
	Non	☐
Partie C: Non habitant de Guadeloupe		
C1. Avez vous déjà été en Guadeloupe ?		
	Futur vacancier (voyage réservé)	☐
	Ancien vacancier	☐
	Ancien habitant	☐
	Raisons professionnelles	☐
	Je compte y aller (voyage non réservé)	☐
	Futur habitant	☐
	Non	☐



C2.	En tant que vacancier / touriste, avez vous hésité à venir en Guadeloupe à cause des sargasses ?	Oui ☐			
		Non ☐			
C3.	Avez vous pris en compte (ou allez vous prendre en compte) les périodes de hautes et de basses saisons d'échouages des sargasses pour votre séjour	Oui ☐			
	Non - J'avais connaissance de la période d'échouage de sargasse mais je ne l'ai pas pris en compte	☐			
	Non - Je n'en avais pas connaissance	☐			
C4.	Avez vous déménagé à cause des sargasses ?	Oui ☐			
		Non ☐			
C5.	Avez vous pris en compte la présence de sargasse pour votre future installation ?	Oui ☐			
		Non ☐			
Partie D: Selon vous, les sargasses ont elles des conséquences sur les thèmes ci dessous ?					
D1.	Selon vous, d'une manière générale, les sargasses ont elles des conséquences sur les thèmes ci dessous ?				
	Cochez sur une échelle de 1 à 5 selon votre ressenti (1 = Pas du tout; 2 = Un peu; 3 = Moyennement; 4 = Beaucoup et 5 = Totalelement)				
	<i>Cochez sur une échelle de 1 à 5 selon votre ressenti : 1 = Pas du tout et 5 = Totalelement</i>				
	1	2	3	4	5
Santé	☐	☐	☐	☐	☐
Scolarité des enfants	☐	☐	☐	☐	☐
Activités professionnelles	☐	☐	☐	☐	☐
Activités de loisir	☐	☐	☐	☐	☐
Environnement	☐	☐	☐	☐	☐
Attractivité de l'île	☐	☐	☐	☐	☐
Navigation maritime	☐	☐	☐	☐	☐



1 2 3 4 5
Equipement (électronique ou autre) ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Partie E: Selon vous ?

E1. Pensez vous que les sargasses peuvent avoir un impact sur votre santé ou celle de vos proches ?

Oui ☐

Non ☐

E2. Selon vous l'invasion de sargasse est :

En augmentation ☐

En diminution ☐

En stagnation ☐

Je ne sais pas ☐

E3. Pensez vous que les autorités ont pris le problème au sérieux ?

Oui - Rien à redire - ☐

Oui - Il faut du temps pour mettre les choses en place, c'est donc normal que cela prenne du temps - ☐

Non - Mais cela est entrain de changer - ☐

Non - Rien n'est fait - ☐

Ne se prononce pas ☐

Autre ☐

Autre

E4. Pensez vous que le dispositif mis en place actuellement pour ramasser et empêcher l'échouage de sargasse est efficace ?

Oui ☐

Non ☐

E5. Pensez vous que le dispositif de ramassage mis en place est pérenne à long terme ?

Oui ☐

Non ☐



Partie F: Contact avec les sargasses

F1. Avez vous déjà été en contact avec les sargasses ?

Odeur, gêne respiratoire, contact direct, ingestion etc...

Oui ☐

Non ☐

F2. Dans quelle circonstance avez vous été personnellement en contact avec les sargasses ?

à votre travail ☐

lors de vos loisirs ☐

au domicile ☐

au cours de déplacement ☐

à l'école (de la primaire à l'université) ☐

Autre ☐

Autre

F3. De quelle manière avez vous été personnellement en contact avec les sargasses ?

Inhalation-Respiration ☐

Contact avec la peau ☐

Ingestion ☐

Oculaire ☐

Autre ☐

Autre



F4. Pendant la/les période(s) d'échouage des sargasses à quelle fréquence avez vous été exposés ?	Plusieurs fois par jour	☐
	1 fois par jour	☐
	Entre 1 fois par jour et 1 fois par semaine	☐
	Entre 1 fois par semaine et 1 fois par mois	☐
	Plusieurs fois par an	☐
	Presque jamais	☐
	Autre	☐
	Autre	
F5. Avez vous ressenti des symptômes lors des contacts avec les sargasses ?	Oui	☐
	Non	☐
F6. Quels ont été ces symptômes ? (Plusieurs réponses possibles)	Conjonctivite	☐
	Gêne à la lumière vive	☐
	Rhinite - Rhume	☐
	Enrouement	☐
	Toux	☐
	Gêne respiratoire	☐
	Maux de tête	☐
	Réaction cutanée (plaques sur la peau)	☐
	Irritation de la peau	☐
	Démangeaison	☐
	Nausée - Vomissement	☐
	Douleurs thoracique	☐
	Perte d'équilibre	☐



	Perte de mémoire	☐
	Perte d'appétit	☐
	Ballonnements - Gaz intestinaux	☐
	Diarrhée	☐
	Constipation	☐
	Tachycardie - Arythmie	☐
	Autre	☐
Autre		

F7. Avez vous consulté un professionnel de santé pour ces symptômes ?

	Médecin Généraliste	☐
	Pharmacien	☐
	Pneumologue	☐
	Allergologue	☐
	Ophthalmologue	☐
	Dermatologue	☐
	Urgence	☐
	Non	☐
	Autre	☐
Autre		

F8. Vous a-t-il prescrit des médicaments ?

(Si oui : mettre le nom du médicament prescrit)

	Oui	☐
	Non	☐



F9.	Vous a-t-il donné des conseils ? (Si oui lesquels)	Oui ☐ Non ☐
F10.	Avez vous réalisé des tests médicaux (prise de sang, fonction pulmonaire ...) en lien avec les symptômes liés aux sargasses ? Si oui, lesquels ?	Oui ☐ Non ☐
F11.	Avez vous des proches (famille : parents/enfants) qui ont été en contact avec les sargasses ?	Oui ☐ Non ☐
Partie G: Contact avec les sargasses par vos proches (parents, enfants, etc)		
G1.	Dans quelle circonstance vos proches ont été en contact avec les sargasses ?	à votre travail ☐



lors de vos loisirs ☐

au domicile ☐

au cours de déplacement ☐

à l'école (de la primaire à l'université) ☐

Autre ☐

Autre

G2. De quelle manière vos proches ont été en contact avec les sargasses ?

Inhalation-Respiration ☐

Contact avec la peau ☐

Ingestion ☐

Oculaire ☐

Autre ☐

Autre

Partie H: Aspect médical

H1. Un médecin vous a-t-il dit que vous étiez asthmatique ou que vous aviez une insuffisance respiratoire ?

Oui ☐

Non ☐

H2. Pendant les épisodes d'échouage de sargasse, avez vous eu plus de crise respiratoire nécessitant l'utilisation de Salbutamol - Terbutaline (Ventoline*, Airomir*, Ventilastin*, Bricanyl*) ?

Oui ☐

Non ☐



H3. Avez vous une pathologie qui s'est aggravée pendant les épisodes de sargasse ?

(autre que asthme et insuffisance respiratoire)

Oui ☐

Non ☐

H4. Laquelle/Lesquelles ?

Partie I: Activités maritimes

I1. Avez vous un métier en lien avec la mer ?

Oui ☐

Non ☐

I2. Les sargasses vous ont elles perturbées dans votre activité ? Si oui, expliquez.

Oui ☐

Non ☐

Ne sais pas ☐

I3. Avez vous des loisirs en lien avec la mer ?

Oui ☐

Non ☐

I4. Les sargasses vous ont elles perturbées dans votre activité ? Si oui, expliquez.

Oui ☐

Non ☐

Ne sais pas ☐



Partie J: Biens matériels	
J1.	Avez vous remarqué des différences sur vos bien matériels (longévité, aspect etc...) au moment des échouages de sargasses ? Oui ☐ Non ☐
J2.	Si vous avez remarqué des différences : lesquelles et sur quels biens ?
Partie K: Utilité des sargasses ?	
K1.	Selon vous, est ce que l'on peut tirer un avantage de ces sargasses dans le futur ? Oui ☐ Non ☐
K2.	Utiliseriez vous des produits à base de sargasse si des sociétés en commercialisent ? (engrais, cartons etc...) Oui ☐ Non ☐



Partie L: Vous avez la parole !

- L1. Si vous avez des commentaires ou des informations à partager vous pouvez les écrire ci dessous !

Merci !

Université de Lille
FACULTE DE PHARMACIE DE LILLE
DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN PHARMACIE
Année Universitaire 2021/2022

Nom : PONT
Prénom : Alexander

Titre de la thèse : Sargasses en Guadeloupe : Bilan des connaissances et enquête de perception

Mots-clés : Sargasses, Algues brunes, Environnement, Santé publique, Guadeloupe, Antilles, Océan Atlantique,

Résumé :

Des échouages massifs d'algues brunes sur les plages des Caraïbes apparaissent pour la première fois en 2011. Ces algues nommées sargasses reviennent depuis de façon régulière, faisant penser aux habitants des lieux touchés qu'ils vont devoir s'habituer à vivre avec ce phénomène.

Une multitude de questions sont soulevées avec l'arrivée de ces échouages. A la fois concernant leur provenance, leur toxicité mais aussi par rapport à l'impact de ces algues sur la vie des habitants et sur l'environnement

En effet, lors des échouages, ces algues en plus de modifier les paysages côtiers, apportent différentes nuisances et craintes. Des dégagements gazeux sont notamment perceptibles gênant les personnes vivant sur place, et la présence de divers métaux lourds interroge sur un éventuel impact environnemental à plus long terme.

La vie en présence de ce phénomène mais également le ramassage, le stockage et l'utilisation de ces sargasses font parties des nouveaux défis auxquels doivent faire face les populations concernées.

Membres du jury :

Président, Directeur, conseiller de thèse :

Monsieur le Professeur Damien Cuny, Professeur des Universités en Sciences végétales et fongiques, Faculté de Pharmacie, Université de Lille.

Assesseur :

Monsieur le Professeur Régis Courtecuisse, Professeur des Universités en Sciences végétales et fongiques, Faculté de Pharmacie, Université de Lille

Membre extérieur :

Monsieur le Docteur Brice Voluer, Pharmacien titulaire, Pharmacie Voluer à Aulnoye-Aymeries