

Eco3Sar : Ecologie, Ecotoxicologie et Economie des Sargasses

Novembre 2020



EXPERTISES

Remerciements

Ce projet de recherche, financé par l'ADEME a été coordonné par le CNRS, délégation de Paris B. Les porteurs principaux du projet et rédacteurs de ce rapport ont été et/ou sont rattachés au laboratoire Biologie des Organismes et Ecosystèmes Aquatiques (MNHN, CNRS, SU, IRD, UCN, UA), au Laboratoire Caraïben en Sciences Sociales (LC2S) (CNRS, UA) ou au Laboratoire Archéologie Industrielle, Histoire, Patrimoine –Géographie Développement Environnement de la Caraïbe (UA). Le coordinateur du projet est directeur de l'Observatoire Hommes-Milieu Littoral Caraïbe (<https://ohm-littoral-caraibe.in2p3.fr/>). Nous souhaitons remercier M Laurent Beltran (DEAL) pour son aide pour les prélèvements dont notamment ceux des sites de stockages, lors de la campagne 2018 en Martinique.

Les scientifiques impliqués dans le projet sont :

M. Pascal Jean Lopez, Directeur de Recherche (CNRS, MNHN, SU, IRD, UCN, UA)
Mme Florence Ménez, Chercheuse associée (CNRS, UA)
M. Damien Devault, Chercheur Associé (CNRS, MNHN, SU, IRD, UCN, UA)
Mme Anne Péné-Annette, Maître de Conférences (UA, associée CEMOTEV-Paris Saclay)
Mme Josie Lambourdière, Assistante Ingénieur (CNRS, MNHN, SU, IRD, UCN, UA)
M. Franck Dolique, Professeur (CNRS, MNHN, SU, IRD, UCN, UA)
Mme Malika René-Trouillefou, Maître de Conférences (CNRS, MNHN, SU, IRD, UCN, UA)

En collaboration pour les études moléculaires avec :

M. Vincent Hervé (Max Planck Institute for Terrestrial Microbiology, Marburg, Allemagne)

Les études au sein du Laboratoire de la Drôme ont été coordonnées par :

M. Félix Massat (LDA-26)

La société Holdex Environnement dirigée par :

M. Mike Bernus

La mise en place et le suivi du projet ainsi que la relecture ont impliqué :

Mme Charlotte Gully (ADEME)
Mme Clio Maridakis (ADEME)
Mme Nina Cudennec (ADEME)
Mme Marine Marie Charlotte (ADEME)
M. Fabien Védie (DEAL)

CITATION DE CE RAPPORT

Année de publication : 2020

Titre : Eco3Sar : Ecologie, Ecotoxicologie et Economie des Sargasses.

Nombre de pages :126

Auteurs : Damien Devault, Florence Ménez, Anne Péné-Annette, Pascal Jean Lopez

Ce livre est disponible sur : <http://www.ademe.fr/en>

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Étude réalisée par : CNRS

Projet de recherche coordonné par : M. Pascal Jean Lopez (CNRS, MNHN, SU, IRD, UCN)

Financement : ADEME

Numéro de contrat : 18MAC0057

Coordination technique ADEME: Charlotte Gully - Direction exécutive des territoires /Direction Martinique

Rédacteurs : Damien Devault, Florence Ménez, Anne Péné-Annette, Pascal Jean Lopez

Crédits photo : Damien Devault, Florence Ménez, Pascal Jean Lopez

Sommaire

Résumé	6
1. Contexte du projet.....	7
1.1. Cadre général de l'étude	7
1.2. Présentation des travaux	7
1.3. Objectifs	8
1.3.1. Mesure de la contamination des sargasses présente dans des zones marines et littorales mais aussi issues de sites de stockage	8
1.3.2. Cinétique de contamination et devenir de certains micropolluants au cours du processus de formation d'amendement.....	9
1.3.3. Biodiversité associée aux sargasses.....	9
1.3.4. Enquête ethnographique.....	10
1.3.5. Premières analyses à partir de la gouvernance territoriale.....	11
2. Méthodologie.....	13
2.1. Présentation des normes.....	13
2.2. Préparation des échantillons.....	16
2.3. Analyses du carbone organique total et azote Kjeldahl.....	16
2.4. Analyse des métaux et de leur spéciation	17
2.5. Analyse de la chlordécone et de ses métabolites.....	18
2.6. Études moléculaires.....	19
2.7. Enquêtes sociales	20
2.7.1. Matériaux et méthodes d'analyse.....	20
2.7.2. Protocole d'enquête	21
2.7.3. Les terrains de recherche.....	22
2.7.4. Corpus Martinique et Guadeloupe	23
2.7.5. Le matériau presse	24
2.7.6. Synthèse documentaire.....	24
2.8. Systèmes d'acteurs et filières	24
2.8.1. Terrains d'étude.....	25
2.8.2. Méthodologie.....	25
3. Principaux résultats	26
3.1. Hétérogénéité spatiale et temporelle de la composition des sargasses	26
3.1.1. Stratégies d'échantillonnage.....	26
3.1.2. Composition biochimique des sargasses	27
3.1.3. Présence de métaux dans les sargasses	28
3.1.4. Concentration des différentes formes de l'arsenic	29
3.1.5. Variabilité spatiale de la concentration en chlordécone.....	31
3.2. Cinétiques de contamination et de décontamination	35
3.2.1. Constantes toxicologiques	35
3.2.2. Contamination et décontamination par la chlordécone et l'arsenic.....	37
3.3. Évolution de la concentration de contaminants au cours du processus de formation d'andain.....	40

3.3.1. Analyses de la transsudation d'une laisse de mer.....	41
3.3.2. Analyses de la partie interne d'un tas de sargasses	43
3.3.3. Suivi d'un andain pilote.....	46
3.4. Les sargasses, points chauds de biodiversité.....	50
3.4.1. Diversité eucaryote	52
3.4.2. Diversité procaryote.....	53
3.5. Pratiques et usages agricoles des algues : construction sociale des réticences aux Antilles françaises.....	54
3.5.1. Pratiques et usages agricoles des algues	54
3.5.2. Une continuité des pratiques depuis 2011 ?.....	56
3.5.3. Rhétorique en temps de crise.....	58
3.5.4. Les effets sensibles de la sargasse.....	60
3.6. La gouvernance territoriale recentralisée.....	63
3.6.1. Les acteurs socio-politiques concernés, du local aux services de l'Etat.	63
3.6.2. La valorisation en question	64
4. Recommandations.....	66
4.1. Composition en éléments des sargasses.....	66
4.2. Chlordécone, un contaminant organique ramené à la côte	67
4.3. La valorisation par l'approche amendement.....	68
4.4. Comprendre la biodiversité associée aux sargasses, ça sert à quoi ?.....	69
4.5. Apports opérationnels de la recherche ethnographique sur les sargasses.....	70
4.5.1. Acheter de l'amendement : une affaire de communication ?.....	70
4.5.2. Préconisations sur les usages des sargasses.....	72
4.5.3. Apports opérationnels de la recherche ethnographique.....	73
4.6. Préconisations en termes de gouvernance territoriale	73
5. Diffusion des connaissances et valorisations du projet	75
5.1. Médias et citations	75
5.2. Conférences et séminaires.....	75
5.3. Rapports de stage et publications.....	76
Références.....	77
Liste des tableaux et figures	81
Glossaire.....	84
Annexes.....	87

Résumé

Les échouements massifs de sargasses constatés depuis 2011 posent une diversité de problèmes dans l'ensemble du bassin caribéen et sur certaines côtes ouest-africaines. En effet, leur putréfaction sur la plage et dans les eaux intertidales induit des nuisances mécaniques et sanitaires, et ont des conséquences importantes pour les activités économiques littorales et maritimes, telles que le tourisme ou la pêche. Les échouements modifient les représentations et les pratiques des populations et engendrent des demandes d'action, que la gestion de crise doit prendre en compte. Aujourd'hui, leur ramassage, essentiellement après échouement, est la procédure la plus couramment mise en œuvre dans les Antilles françaises, afin de parer à ces préjudices, ce qui pose des problématiques de collecte, de stockage, d'élimination mais aussi de valorisation.

Le projet Eco3Sar, au travers d'une approche interdisciplinaire, visait à mieux connaître la composition des radeaux de sargasses, notamment par la recherche de contaminants. Cette étude démontre, à l'issue de deux campagnes réalisées en 2018 et 2019, que les sargasses échouées sur les côtes des Antilles Française présentaient des concentrations importantes en Arsenic (de l'ordre de 80 mg par Kg de poids sec). Nous avons pu montrer que les sargasses qui sèchent sur les rivages présentent moins d'arsenic. La présence de ce contaminant dans les sargasses impose donc un traitement adapté de ces échouements. De plus, sur certains sites spécifiques, l'étude confirme la présence de quantités importantes du pesticide Chlordécone dans les sargasses. Ce polluant est potentiellement bioaccumulé par ces macroalgues selon les eaux littorales qu'elles croisent. Nous avons pu confirmer qu'en suivant des règles strictes de productions, des andains pouvaient être produits conformément aux normes françaises actuelles. Selon nous, il s'avère important que ces pratiques de valorisation soient réalisées dans des installations classées et qu'un large spectre de contaminants tant environnementaux et/ou anthropiques soit analysé.

Cette étude a aussi révélé que les microbiotes associés aux sargasses, que ce soit sur les sites littoraux ou de stockage, présentent une large diversité d'organismes potentiellement impliqués dans la production de sulfure d'hydrogène, la fermentation, le métabolisme de l'azote ou la dégradation de constituants organiques complexes issus des sargasses. Le suivi de la qualité microbiologique tout comme l'exploitation de la diversité microbienne pourraient être utiles pour le développement d'applications potentielles en biotechnologies.

Enfin, des études de l'acceptabilité sociale de cette nouvelle filière de valorisation ont été initiées, ainsi que des modes de gouvernance associés. Ces premières études conseillent une diffusion sans filtre des résultats d'analyses, ainsi que des recommandations et normes qui s'appliquent aux industriels. Outre la mise en place d'une pédagogie, le déroulement d'ateliers de compostage/amendement auprès du public et la visite de sites de productions pourraient permettre l'élaboration et la transmission de savoirs sur les filières ainsi que l'appropriation par les populations. Nous suggérons qu'il pourrait être intéressant de mettre en place, tant aux échelles locales qu'internationales, des labels sur les produits et des informations sur la traçabilité et l'origine des sargasses utilisées.

1. Contexte du projet

1.1. Cadre général de l'étude

Les radeaux de sargasses, algues brunes dont les espèces *Sargassum fluitans* et *Sargassum natans* prolifèrent dans l'Atlantique Nord, s'échouent dans la région Caraïbe épisodiquement depuis 2011 sur les côtes de la Guadeloupe, la Martinique et dans une moindre mesure de la Guyane française. Ces efflorescences des sargasses qui sont intermittentes, répondent néanmoins à des forçages qui restent encore à identifier et dont l'anticipation des volumes concernés est actuellement difficile même si des progrès très récents ont été réalisés (1, 2). Les quantités de sargasses impliquées sont estimées à plusieurs dizaines de milliers de tonnes par an et par île (Martinique et Guadeloupe). Au cours des campagnes d'échantillonnage réalisées pour le projet Eco3Sar, les volumes collectés pour l'ensemble de la Guadeloupe s'élèvent en 2018 et 2019 à respectivement environ 110 000 et 60 000 m³. Leur putréfaction sur la plage et dans les eaux intertidales induit des nuisances mécaniques, olfactives et sanitaires. Les conséquences économiques sont également importantes pour différents secteurs d'activités, dont le tourisme et les professionnels de la mer et du littoral.

Le ramassage des sargasses, essentiellement après échouement, est la procédure majoritairement mise en œuvre aujourd'hui afin de parer à ces préjudices, aboutissant à une problématique de collecte, de stockage et de valorisation ou d'élimination de cette matière première. Indépendamment des filières en aval de traitement, le stockage des sargasses, qu'il soit en vue de leur élimination et/ou valorisation, impose des connaissances approfondies sur les flux de contaminants issus de ces algues. Dans un contexte de stockage, les composés organiques, chimiques et/ou métaux lourds ayant pu s'accumuler dans les sargasses peuvent devenir une nouvelle source de micropolluants contaminant par lessivage ou suite à l'extraction des eaux de surverse, les milieux environnant les zones d'élimination.

La valorisation au travers de procédés de type compostage est la principale filière identifiée à ce jour, et celle qui a en partie été étudiée au cours de ce projet. Même si les connaissances actuelles suggèrent que l'épandage direct de sargasses ne serait que peu intéressant d'un point de vue agronomique, le processus aurait pu présenter une démarche intéressante d'élimination des déchets et donc de la gestion des volumes ramassés.

1.2. Présentation des travaux

D'une manière générale nous pouvons considérer que cette étude interdisciplinaire Eco₃Sar, initiée pendant l'été 2018, a permis d'estimer à l'échelle de l'ensemble de la Guadeloupe et de la Martinique (WP1), la nature et le devenir de certains contaminants présents à l'intérieur et/ou absorbés par les sargasses (WP1 et WP2). Les résultats obtenus ont été complétés par des études de toxicocinétique des micropolluants considérés et de leur devenir dans les procédés de transformation par compostage ou de stockage (WP3). Afin de mieux comprendre la physiologie des sargasses et le rôle des microorganismes dans leur potentielle toxicologie, leur décomposition et les processus biologiques associés, nous avons étudié la diversité microbienne (bactéries, protistes et champignons) associée aux sargasses (WP4). En parallèle, il nous a paru essentiel de mettre en place des premières études sur les secteurs de la valorisation et de l'acceptabilité sociale des sargasses. En effet, les échouements de sargasses depuis 2011 ont des répercussions sur les usages, les pratiques et l'imaginaire collectif liés à la mer et à ses ressources potentielles. A partir de cette crise écologique discontinue, les acteurs sociaux développent différentes attitudes pour appréhender ces abondances de sargasses : imputation d'une responsabilité, mise à distance par la dérision, diffusion de rumeurs, participation à des mobilisations individuelles ou collectives, actions et association à des réflexions pragmatiques. Le volet ethnographique de cette étude avait pour finalité de mieux cerner quelques-unes des représentations collectives des acteurs sociaux en Martinique et en Guadeloupe grâce à des approches diachronique et prospective, afin de saisir in fine les degrés d'acceptabilité de l'utilisation des sargasses en amendement (WP5). Par ailleurs, un volet centré sur la gouvernance territoriale avait pour objectif de repérer les actions menées par les acteurs les plus concernés, suite à cette crise écologique discontinue. Il est alors question d'analyser les dynamiques des systèmes d'acteurs, face à cette crise écologique et ses éventuelles recompositions en raison de cette crise. Cela revient donc à décrypter les types d'articulations entre les échelles territoriales de gouvernance, du local au national. Les acteurs retenus sont les représentants des collectivités locales, des services déconcentrés de l'Etat et du secteur socio-professionnel, en Guadeloupe et en Martinique. (WP5).

1.3. Objectifs

Certains des objectifs initiaux du programme Eco3Sar n'ont cependant pas pu être pleinement réalisés et/ou ont été modifiés au regard des premiers résultats obtenus, de l'évolution des priorités, du caractère aléatoire des échouements, des contraintes liées au transport des algues et de la modification de l'enveloppe financière. Nous présenterons ci-après le but des études réalisées, tout en rappelant certaines des connaissances actuelles sur les Sargasses ainsi que certains faits sociaux, historiques et politiques.

1.3.1. Mesure de la contamination des sargasses présente dans des zones marines et littorales mais aussi issues de sites de stockage

Comme nous le verrons dans la suite du rapport, parmi les contaminants testés, deux grands types nous ont semblé tout particulièrement importants :

- Multiples contaminants inorganiques : métaux lourds et métalloïdes

Les sargasses sont connues pour leur capacité à accumuler les métaux en partie du fait de la proportion élevée d'alginate qui les constitue. Par exemple, il a été rapporté que 25,6 % du poids sec de *S. muticum* correspondait à des alginates contre près de 45 % pour *S. fluitans*; des teneurs de l'ordre de ce qui a été mesuré pour d'autres espèces d'algues brunes (3-6). Dans l'environnement, l'essentiel de la biosorption concerne les cations divalents dont certains métaux lourds comme Cd, Cu, Zn, Pb, Cr, Ni ou Hg mais aussi U (7, 8). Ainsi, il a été montré que l'arsenic pouvait s'accumuler dans les sargasses jusqu'à 123 µg/g (9, 10) malgré un fond géochimique anodin (0,5 à 3 µg/L dans l'eau de mer, moyenne de 1,7 µg/L d'après Neff (11)). Outre l'accumulation sur l'alginate et d'autres macromolécules, l'arsenic est également sujet à une phytoaccumulation spécifique dans les sargasses : les transporteurs de phosphate, protéines membranaires destinées à récupérer le phosphate disponible en solution, confondent les orthophosphates ($H_2PO_4^-$) avec l'espèce pentavalente de l'arsenic (AsV) (en solution : $H_2AsO_4^-$) (11, 12), prédominante dans les environnements aérobies dans lesquels se développent les sargasses. Le phosphate et l'As(V) seraient en compétition pour les sites fonctionnels et d'adsorption (13). Ces transporteurs de phosphate sont d'autant plus sollicités que le milieu est carencé en ce nutriment (14). Or, les sargasses holopélagiques se développent par définition hors de l'influence terrigène directe et les zones de croissance en biomasse de *S. natans* et *S. fluitans* ne sont pas en zone d'upwelling. Leur demande en phosphate est donc importante (15). Par ailleurs, Lapointe *et al.* (16) mettent en exergue le phosphate comme nutriment clef pour la croissance de *S. natans* et *S. fluitans*. D'une manière générale, la capacité des sargasses à fixer les métaux lourds, tout comme d'autres algues brunes, a depuis longtemps été démontrée et utilisée pour de la phytoremédiation et du monitoring de métaux lourds par exemple (17, 18). Ainsi, parmi les métaux lourds et métalloïdes dont les concentrations ont été mesurées essentiellement pour des sargasses échouées sur les plages de l'archipel de la Guadeloupe et de la Martinique, il nous a semblé important d'insister sur l'arsenic.

- Un contaminant organique : la chlordécone

La chlordécone est un insecticide qui a été utilisé pour la culture de bananes de 1972 à 1978 et de 1981 à 1993 aux Antilles françaises afin de contrer l'infestation du charançon du bananier *Cosmopolites sordidus*. La présence de chlordécone, inscrite depuis 2004 sur la liste de la Convention de Stockholm relative aux polluants organiques persistants (POP), dans certains espaces terrestres et aquatiques a conduit à différentes interdictions et restrictions de cultures et de prélèvements. Ainsi, dans certaines zones maritimes de Guadeloupe et de Martinique, il a depuis longtemps été constaté une bioaccumulation de cette molécule dans différents compartiments trophiques allant des producteurs primaires (i.e., cyanobactéries, microalgues, algues benthiques et herbiers de phanérogames marines) aux prédateurs. Par ailleurs, la présence de ce contaminant organique dans les sargasses avait été démontrée lors de premières études préliminaires cofinancées par l'ADEME et la Région Martinique et portées par l'Institut Technique Tropical.

Deux points se sont avérés cruciaux pour ce projet : d'une part analyser l'hétérogénéité spatiale des contaminations inorganiques et organiques et d'autre part tester l'existence d'une variabilité temporelle interannuelle de ces contaminations.

1.3.2. Cinétique de contamination et devenir de certains micropolluants au cours du processus de formation d'amendement

La cinétique de contamination et de transsudation de l'arsenic et de la chlordécone est une question complexe car le calcul d'une toxicocinétique implique une connaissance fine des différentes étapes liées aux conditionnements, aux traitements, aux conditions physico-chimiques, etc. que peuvent subir les sargasses. Entre une étude en laboratoire, avec des critères physico-chimiques spécifiques mais ne reflétant pas exactement l'ensemble des conditions environnementales réelles, et une étude *in situ*, sans contrôle des critères physico-chimiques au sein d'un écosystème complexe, la reproductibilité de l'évaluation de l'accumulation par les macroalgues restent une question difficile et technique. En effet, savoir à quelle vitesse les micropolluants terrigènes peuvent contaminer les sargasses qui s'échouent sur les côtes est une question cruciale pour la valorisation des algues. De plus, lors d'évènements climatiques particuliers associés à de fortes houles, il est envisageable que des sargasses déposées sur la plage puissent être reprises par les courants pour être emportées dans des eaux ne présentant pas de contamination et se faire ainsi les vecteurs de la pollution terrigène, d'autant plus si des barrages flottants ou une côte peu découpée l'exposent à des circulations littorales. Afin d'aborder ces questions, nous avons retenu (1) de renseigner le comportement de la chlordécone par les descripteurs normatifs dédiés (KOC) (2) de réaliser une étude de toxicocinétique en laboratoire durant 5 jours et (3) de faire un suivi *in situ* durant quatre jours de sargasses fraîches exemptes de chlordécone exposées en milieu contaminé et inversement.

Dans cette même lignée, nous avons également abordé la question de la possible transsudation de l'arsenic et/ou de la chlordécone par les sargasses, notamment en termes de vitesse. Comme expliqué dans la partie résultats, des mesures ont aussi été réalisées dans des conditions similaires à celles décrites ci-dessus pour la chlordécone.

Enfin, dans l'optique d'une valorisation des sargasses, il a été convenu de réaliser un suivi précis des contaminants, arsenic mais aussi chlordécone, afin d'évaluer leur devenir dans des andains expérimentaux. Un des objectifs retenus a été de tester l'influence du lessivage et/ou des conditions de formation d'andains sur la concentration en micropolluants dans les sargasses.

1.3.3. Biodiversité associée aux sargasses

Les sargasses pélagiques retrouvées dans l'océan Atlantique constituent un écosystème flottant qui sert d'habitat à un grand nombre d'espèces. Certaines se sont adaptées à cet écosystème jusqu'à en devenir endémiques comme certains crustacés, téléostéens, cnidaires, mollusques et protostomiens. Les organismes associés à ces radeaux de sargasses sont des producteurs primaires aux top-prédateurs. Les sargasses servent également pour la croissance, l'alimentation mais aussi la pontes de divers organismes comme les tortues et les oiseaux marins. On y retrouve aussi de nombreux d'organismes associés plus petits correspondant à la méiofaune et la microfaune qui vivent en interdépendance avec ces macroalgues et qui leur sont indispensables pour leur croissance et celle des macroorganismes associés.

Certains épibiontes du genre *Sargassum* ont été décrits dès les années 1970 et correspondent à différents phyla incluant des hydrozoaires, des bryozoaires, des polychètes et des microalgues dites vert-bleu. D'autres producteurs primaires ont également été décrits comme les diatomées. Tout comme pour d'autres algues, l'holobionte – ensemble composé par un organisme animal ou végétal et les micro-organismes qu'il héberge – qui est associé aux sargasses joue probablement un grand nombre de rôles allant de l'absorption des nutriments au relargage des spores et à la germination, en passant par la lutte contre les pathogènes, la reproduction ou encore la fixation. Les échanges constants entre l'holobionte et les macroalgues ont probablement des conséquences sur l'environnement proche a minima tout en sachant que les microorganismes impliqués peuvent potentiellement contribuer à la fois à la croissance mais aussi à la dégradation de ces algues, d'où l'importance de mieux connaître cette biodiversité.

Sachant que les études sur l'holobionte sont très rares et concernent principalement des associations entre bactéries et sargasses prélevées au large, il nous a paru important de réaliser des premières études au cours du processus d'échouement des sargasses. Outre l'aspect fondamental, il est attendu que ces études apportent de nouvelles données sur les organismes impliqués dans la dégradation des sargasses, sur les impacts probables des échouements sur les milieux environnants tant terrestres que marins mais aussi sur la présence d'espèces potentiellement pathogènes.

1.3.4. Enquête ethnographique

1.3.4.1. Analyser une pluralité de discours dans un cadre de vulnérabilité environnementale

Ce volet ethnographique répond à la nécessité d'intégrer dans la compréhension et la résolution des problématiques environnementales le ressenti des populations concernées par des nuisances quotidiennes apportées par la décomposition des sargasses. L'étude ethnographique s'est focalisée sur la question de l'acceptabilité sociale d'une valorisation des sargasses en amendement, et leur possible assimilation dans des usages et pratiques locaux en Martinique et en Guadeloupe. Au cours de cette enquête, trois obstacles majeurs à l'acceptation de cette valorisation ont été identifiés : a/ l'expérience pratique des conséquences sur la santé et sur les biens matériels, la rhétorique sur l'abondance et la nocivité potentielle de la sargasse, b/ la relation des acteurs sociaux au traitement socio-technique et politique et c/ le contexte plus général de vulnérabilité environnementale et de perception des risques.

a/ Dans la multiplicité de discours recueillis, émerge comme dominante la rhétorique autour de l'abondance des sargasses et de leurs composants potentiellement nocifs. Le discours de la presse régionale, à la fois vecteur et producteur de représentations, taxe le phénomène de « calamité », « fléau », répandant une « mort en sourdine » (France-Antilles). Elvire Van Staëvel, pour son enquête sur la représentation de la dioxine, écrit que celle-ci « sait créer l'évènement : quand bien même les faits ne sont pas probants, les dégâts bien difficiles à estimer, elle inquiète, organise des polémiques, se laisse paraître comme un symptôme, un emblème, un symbole ... » (19). En l'occurrence pour la sargasse, comme nous allons le voir par cette enquête ethnographique, l'arsenic et les métaux lourds, contenus dans les sargasses, tout comme l'hydrogène sulfuré et l'ammoniac émis lors de la décomposition génèrent l'angoisse et freinent la conceptualisation d'une valorisation. Il est de fait nécessaire de réaliser une mise en relief des enjeux des représentations d'une espèce abondante, d'une « invasion » pour reprendre cette terminologie très diffusée.

Les représentations des espèces invasives, envahissantes, dépendent de divers déterminants sociaux, comme du niveau d'engagement des individus, leurs activités et leurs lieux de résidence, ou des représentations véhiculées par les médias. En pratique, l'expérience actuelle des désagréments des sargasses pose de multiples interrogations à la population, notamment riveraine ou sensible de par les liens développés avec les habitants des zones impactées. En effet, la décomposition des sargasses après 48 heures sur les littoraux largement urbanisés a entraîné des changements dans les trajectoires d'acteurs sociaux, tant du point de vue sanitaire (20), économique (fermetures d'entreprises) que social (déménagements, changements dans les pratiques sociales). Ces algues sont devenues un problème irrigant toutes les strates et les champs de la société : économie, politique, santé, écologie, innovation technologique, pêche, agriculture, alimentation, etc.

b/ La société civile produit des signes de son inquiétude, de son mécontentement, de son angoisse, face à une carence d'actions et d'informations qui a pu et peut générer des interprétations et des rumeurs infondées que le présent rapport souhaite en partie combler. Les échouements massifs et le non-ramassage ont fait éclore des mobilisations collectives dans lesquelles les citoyens ont inscrit leur parcours individuel, leurs diagnostics, leurs savoirs, en se fédérant et en tenant le rôle de sentinelles écologiques pour surveiller « cette verrue de la mer » comme l'appelle un responsable d'une jardinerie à Fort-de-France (entretien 2019). Certains habitants rencontrés lors des enquêtes ethnographiques menées en Martinique et Guadeloupe ont participé à des mobilisations qui avaient pour objectifs soit de dénoncer les faits (barrages filtrants érigés dans le quartier Pontaléry au Robert, Martinique, pendant la visite présidentielle), soit de suppléer à la lenteur d'actions des gestionnaires de l'environnement (collectifs informels d'habitants qui se cotisent pour installer des barrages flottants par exemple). D'autres ont intenté des actions individuelles, à l'instar du Docteur Thierry Lebrun, habitant du Robert, lançant une invitation à déjeuner au Préfet devant les sargasses en décomposition pour dénoncer la « non-assistance à personnes en danger ». Ces mobilisations ont contribué à la construction d'un problème public (21), c'est-à-dire la mise en récit et le processus de mise en avant d'un problème par les acteurs sociaux dans l'arène publique. Nous pouvons émettre l'hypothèse que ces mobilisations ont orienté la perception de la valorisation des sargasses.

c/ Le présent volet ethnographique de l'étude Eco3Sar a permis de collecter des données sur la perception d'une nocivité possible des sargasses qui pourraient être transférées sur des terres dont la contamination par le chlordécone est déjà à la source d'un enjeu sanitaire et social majeur. D'autres problématiques s'y ajoutent : en effet, à une échelle micro-locale et macro-globale, le problème posé par l'abondance des sargasses, leur traitement et leur valorisation est enchâssé dans un continuum d'autres problèmes récents d'origines anthropiques et/ou naturelles e.g. la pollution à la chlordécone, les cyclones, les maladies véhiculées par les piqûres de moustiques (dengue, chikungunya, zika), la prolifération de poissons-lions et la pollution atmosphérique causée par la nuée de particules fines transportées par les alizés depuis le Sahara, communément appelée « brume de sable ». Pour la plupart des interlocuteurs rencontrés, le phénomène des sargasses est

un risque émergent apparaissant dans le cadre d'un ensemble de risques. Un gestionnaire de l'environnement (entretien à Capesterre-Belle-Eau, Guadeloupe) résume cet ensemble : « *on a pratiquement tous les phénomènes et assortis les phénomènes de sargasses qui nous empoisonnent la vie.* »

Ces effets cumulatifs changent les modes relationnels à l'environnement et modèlent une objectivation du problème sargasse dans un contexte permanent de risques. La plupart de ces risques sont à analyser en prêtant attention aux cadres idéologiques dans lesquels ils sont pensés. Par exemple, en ce qui concerne la présence de la chlrodécone et d'autres pollutions, le philosophe Malcom Ferdinand établit qu'elles « *ont entraîné des violences et des dominations écologiques ainsi qu'une aliénation du rapport au milieu antillais* » (2016). Ces effets cumulatifs génèrent également un certain fatalisme. Si certains interlocuteurs en Martinique et en Guadeloupe nourrissent des interrogations et des protestations, d'aucuns font le constat que cette « nature » n'offre pas de prise, ne peut se contrôler, « *demande des comptes et revient toujours en arrière.* » (Entretien à Capesterre-Belle-Eau cité plus haut)

1.3.4.2. Insertion de ces recherches dans un contexte contemporain

Enquêter aux Antilles françaises sur un objet de recherche, dont la gestion est actuellement sujette à controverse, a été d'une grande complexité. Il a fallu en effet s'intégrer dans un réseau d'acteurs sur un sujet qui met en jeu le rapport à l'histoire coloniale, à la gouvernance locale et nationale voire internationale. La « crise » des sargasses n'étant pas un objet de recherche neutre, elle a nécessité d'être abordée avec une approche systémique, non circonscrite à la question de l'amendement. De plus, pendant la période 2018-2019 au cours de laquelle l'étude Eco3Sar a été menée, une attention et un nouveau regard sur le problème ont émergé¹. Des événements politiques (citons par exemple la démission du Ministre de l'environnement, ou la tenue de la conférence internationale sur les sargasses en Guadeloupe²), auxquels se rajoutent des prises de décisions logistiques et budgétaires, ont jalonné le temps de l'enquête. Nous pouvons supposer qu'ils ont laissé des traces dans le discours des enquêtés, sans que l'on puisse mesurer l'influence exacte sur celui-ci. En effet, l'enquête a été menée alors que la « crise sargasses » commençait à devenir visible dans l'espace public local mais plus encore à l'échelle interrégionale et nationale à la faveur d'une longue période d'échouements de 10 mois en 2018. Selon le rapport Théophile (2019), « *Par son ampleur sans précédent et son intensité la crise de 2018 constitue [...] une menace inédite pour l'économie, l'écologie et la santé dans les Caraïbes* ». Il poursuit : « *l'impact sanitaire d'une exposition chronique est inconnu pour l'instant. S'ajoute à cela une dégradation des conditions de vie et une dégradation des biens matériels [...]* ». Le plan PULSAR, Plan d'Urgence Locale SARGasses a été déclenché en mai 2018 suivi d'une visite des Ministres Nicolas Hulot et Annick Girardin en juin de cette même année. À cette occasion, ils ont visité en Martinique l'entreprise HOLDEX, partenaire de l'étude Eco3Sar, ainsi que SITA VERDE en Guadeloupe. Le Président Emmanuel Macron est également venu en visite pour la première fois en tant que chef d'Etat aux Antilles françaises fin septembre 2018, où il a tenu des discours sur les conséquences des cyclones et sur le phénomène des sargasses (discours à Goyave, Guadeloupe, 28 septembre 2018).

1.3.5. Premières analyses à partir de la gouvernance territoriale

L'approche sous le prisme de la gouvernance et de la gouvernance territoriale en sciences humaines et sociales, que ce soit en sciences politiques, sociologie, géographie, etc., est une des grilles de lecture possible sur le développement du territoire local, depuis les dernières phases politico-administratives de la décentralisation. Selon A. Torre, la gouvernance territoriale peut être définie de la façon suivante : « *Les différents acteurs de la gouvernance des territoires se trouvent localisés au sein d'un même espace, et donc tenus par des relations de proximité géographique. (...) Ces acteurs de la gouvernance comprennent évidemment les pouvoirs publics, qu'il s'agisse des services déconcentrés de l'État ou des pouvoirs publics locaux. Mais il faut dorénavant ajouter, à ces protagonistes traditionnels de la gouvernamentalité, le rôle joué en commun par différentes parties prenantes, de nature privée ou semi-publique, dans les processus de coordination et les projets d'actions au service des territoires* » (Torre, A. 2011).

Les acteurs, confrontés aux impacts des échouements des sargasses, tant sanitaires, socio-économiques qu'environnementaux, se sont efforcés de trouver des solutions afin de répondre d'une part aux réactions des populations

¹ Des rapports avaient déjà été établis, exemple : Florenne, T., Guerber, F., Colas-Belcour, F. (2016) - Le phénomène d'échouage des Sargasses dans les Antilles et en Guyane. https://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/cgaaer_15113_2016_rapport.pdf

² <https://www.sargassum2019.com/>

sinistrées et d'autre part, de se projeter, pour certains d'entre eux, vers des perspectives de transformation, voire de valorisation des sargasses, en particulier en amendement, pour ce qui concerne cette étude. Ainsi, les facteurs déterminants pour comprendre les mécanismes de la gouvernance mis en place sont le caractère aléatoire des échouements et, surtout, le coût budgétaire relativement élevé que requiert la gestion de ces échouements. Ceux-ci ayant été particulièrement intenses au cours des années 2014, 2015 et 2018, comme dans l'ensemble des littoraux de la Caraïbe, les acteurs institutionnels et privés se sont retrouvés rapidement confrontés à des situations d'urgence, ravivées par le désarroi et l'exaspération de la société civile touchée. Durant cette période, la mise en place de filières de valorisation sur le long terme connaît des vicissitudes.

Il semblait alors intéressant de mieux comprendre l'organisation institutionnelle et les systèmes d'acteurs politico-administratifs et socio-professionnels, suite aux échouements aléatoires et de voir si certains acteurs s'orientaient vers des possibilités de valorisation en amendement.

2. Méthodologie

2.1. Présentation des normes

Nous présenterons ci-après quelques informations sur les normes et recommandations.

La norme NF U44-051 (Avril 2006)³

Norme d'application obligatoire : Amendements organiques - Dénominations spécifications et marquage.

Cette norme a pour objet de fixer les dénominations, les définitions et spécifications, le marquage, les teneurs à déclarer et les doses limites d'emploi des amendements organiques avec et sans engrais. Elle s'applique à tous les produits dont les dénominations et caractéristiques sont définies à l'article 4 et aux mélanges constitués de ces matières et d'un ou plusieurs engrais. La présente norme n'est pas applicable aux matières fertilisantes organiques qui contiennent au moins 3 % sur matière brute en l'un des éléments majeurs (N, P205, K20). Celles-ci sont considérées comme engrais. Les amendements organiques additionnés d'engrais doivent respecter ce critère. Les amendements organiques doivent également respecter N + P205 + K20 inférieur à 7 % sur MB. Sauf pour les amendements organiques avec engrais, la somme des formes nitrique, ammoniacale et uréique ne doit pas dépasser 33 % de l'azote total, et le rapport C/N doit être supérieur à 8. Les matières premières entrant dans la composition des amendements organiques ne font pas systématiquement l'objet de dénominations de type ni de spécifications, ni de marquage spécifique. Tout nouveau produit résultant de l'utilisation d'une nouvelle matière première et/ou d'un nouveau procédé devra faire l'objet d'un dossier technique concernant les matières fertilisantes ou les supports de culture candidats à l'inscription dans une norme française existante ou à créer. La présente norme n'est pas applicable à un usage de supports de culture, ni aux composts répondant à la norme NF U44-095.

Cette norme fixe des teneurs limites en éléments traces métalliques (ETM), en composés traces organiques (CTO) (Tableau 1), en micro-organismes et en éléments inertes et impuretés. Elle impose également des flux maxima annuels moyens sur 10 ans pour les ETM et les CTO qui doivent être utilisés pour déterminer la dose maximale préconisée du produit.

Tableau 1 : Valeurs limites et maximales selon la Norme NF U44-051.

	Élément ou Composé	Valeur limite (mg/kg de MS)	Flux maximal par an (g/ha)
Éléments traces métalliques	As	18	270
	Cd	3	45
	Cr	120	1800
	Cu	300	3000
	Hg	2	30
	Ni	60	900
	Pb	180	2700
	Se	12	180
	Zn	600	6000
Composé traces organiques (HAP)	Fluoranthène	4	6
	Benzo(b)fluoranthène	2,5	4
	Benzo(a)pyrène	1,5	2

³<https://www.boutique.afnor.org/norme/nf-u44-051/amendements-organiques-denominations-specifications-et-marquage/article/686933/fa125064>

La norme NF U44-095 (Mai 2002)⁴

Norme d'application obligatoire : Amendements organiques - Composts contenant des matières d'intérêt agronomique, issues du traitement des eaux.

Cette norme a pour objet de fixer les dénominations, les définitions et spécifications, le marquage, les éléments de caractérisation des composts contenant des matières d'intérêt agronomique, issues du traitement des eaux (pour les matières d'intérêt agronomique issues du traitement des eaux, voir 3.1.4). Elle s'applique aux produits finis utilisables en l'état contenant des matières issues du traitement physique, chimique ou biologique des eaux, dont les dénominations et caractéristiques sont définies à l'article 4 et aux mélanges constitués de ces matières et d'un ou plusieurs engrais. Les produits finis doivent avoir des teneurs respectives en azote (N), anhydride phosphorique (P2O5), oxyde de potassium (K2O) inférieures à 3 % sur matière brute avec $(N + P2O5 + K2O) < 7 \%$ sur la matière brute.

Pour l'arsenic

D'une manière générale, la concentration d'As n'est pas normée pour toutes les matrices (Tableau 2), à l'inverse de la plupart des ETM mais, surtout, la norme n'entre pas dans le détail des espèces de ce métalloïde, sujet méthodologiquement riche. Concernant la concentration les lixiviations en As, la qualité (inerte...) des lixiviats fait évoluer d'un facteur 50 les seuils de référence.

⁴<https://www.boutique.afnor.org/norme/nf-u44-095/amendements-organiques-composts-contenant-des-matieres-d-interet-agronomique-issues-du-traitement-des-eaux/article/647571/fa107372>

Tableau 2 : Valeurs seuils, normes et recommandations pour l'Arsenic.

Milieu	Seuil
Eaux de boisson	10 µg/L (Union Européenne)
Eaux de boisson	10 µg/L (France)
Alimentation voie orale	15 µg/kg/semaine (OMS)
Alimentation voie orale	0,3 µg/kg/jour (US EPA et ASTDR)
Air ambiant	6 ng.m-3
Rejets dans l'air	As, Se, Te et leurs composés exprimés en (As+Se+Te) *: 1 mg/m ³ si F > 5g/h, exceptés As ₂ O ₅ et As ₂ O ₃ et les acides et sels correspondants avec un flux F > 2g/h (substances classées cancérogènes)
Rejets dans l'eau de surface	As et composés exprimés en As : 0,05 mg/l si F > 0,5g/jour
Rejet eaux souterraines	Interdit (direct et indirect)
Amendement organique	18 mg/kg Note : l'entreprise HOLDEX s'est vue demander de respecter cette valeur
Acceptabilité en décharge	Déchets stabilisés : As < 10 mg/kg Déchets en attente de stabilisation : une concentration supérieure (de 5 fois au maximum) est admise s'il est prouvé que la stabilisation va être réalisée
Incinération des déchets	Qualité de l'air : surveillance des effluents : Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V+Sn+Te et leurs composés : seuil limite 0,5 mg/m ³ Qualité des eaux de rejets : la masse de métaux lourds dans les effluents aqueux dont le rejet est autorisé dans l'eau doit être inférieure à la masse dont le rejet dans l'air est autorisé
Valeur de définition de source sol	19 mg/kg en As
Valeur de constat d'impact pour sol : Usage sensible	37 mg/kg en As
Valeur de constat d'impact pour sol : Usage non sensible	120 mg/kg en As
Composts et amendement (norme NFU 44 095).	18 mg/kg de MS pour un flux maximal en g/ha de 900 g/ha/décennie et 270 g/ha/an
Composts contenant des Matières d'Intérêt Agronomique, issues du Traitement des Eaux	Pas de norme (l'ADEME suggère en pratique de s'appuyer sur NFU 44 095)
Compost compatible agriculture biologique (NFU 44-051)	Pas de norme (l'ADEME suggère en pratique de s'appuyer sur NFU 44 095)
Sédiment	25 mg/kg MS (max : 50 mg/kg) MS
Lixiviation	Inerte : 0,5 mg/kg MS Non dangereux non inerte : 2 mg/kg MS Dangereux : 25 mg/kg MS

L'extraction des matières solides doit répondre à la norme NF EN 13 650

Pour la chlordécone

Nous n'avons pas trouvé de norme clairement définie bien qu'il existe des seuils couramment utilisés comme celui défini par l'Union Européenne de 0,1 µg/L (pesticide) pour l'eau destinée à la production d'eau potable (Tableau 3). Ce contaminant fait l'objet d'interdictions via le règlement 850-2004 (C.E., 2004) et le protocole d'Aarhus. Différentes valeurs guide de seuil existent et sont toujours en cours de discussion et de modifications.⁵⁶

⁵https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwimwbWcsuvrAhUSXoKHdJ_CUwQFIaFegQIAhAB&url=https%3A%2F%2Fsubstances.ineris.fr%2Ffr%2Fsubstance%2FgetDocument%2F3203&usg=AOvVaw34uRsmogKsAsBdvP8vB_dP

⁶ http://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/rapports/cechlordec/115b2440-ti_rapport-enquete#

Tableau 3 : Valeurs seuils, normes et recommandations pour la Chlordécone.

Concentration maximale acceptable dans l'eau douce	0,066 µg/L
Concentration maximale acceptable dans l'eau de mer	0,01µg/L
Sédiments	179 µg/kg MS
Sédiments marins	17,9 µg/kg MS
Prédateurs marins et produits de la pêche	3µg/kg pf
Aliments	20 µg/kg pf
Espèces benthiques eau douce	70 µg/kg pf
Espèces benthiques marines	7 µg/kg pf
Eau potable	0,1 µg/l
Sol pour culture sensible	Inférieure à 0,1 mg/kg MS
Sol pour culture peu sensible	Entre 0,1 et 1 mg/kg MS
Sol pour culture non sensible	Pas de restriction

2.2. Préparation des échantillons

Lors du ramassage des échantillons, nous avons veillé à réaliser des inspections visuelles des sargasses accompagnées d'un tri permettant de limiter au mieux la quantité d'autres algues en mélange avec les sargasses, notamment la présence de *Syringodium filiforme*, de *Halophila stipulacea* et de *Thalassia testudinum*. Pour les échantillons d'eau, nous avons veillé à ce qu'ils contiennent le moins possible de fragments de sargasses.

Les échantillons rassemblés tant en Guadeloupe qu'en Martinique ont été congelés sur place (-20°C) et stockés à l'Université des Antilles pôle Guadeloupe, à l'Université des Antilles pôle Martinique ou à l'IFREMER (Le Robert) jusqu'à l'acheminement à La Drôme Laboratoire (Valence). Pour certains échantillons, notamment ceux issus de la première campagne, le transport s'est opéré par des transitaires professionnels et en bagage accompagné par avion avec une personne impliquée dans le projet. La température des échantillons a été validée à l'arrivée au laboratoire d'analyse.

Toutes les analyses chimiques ont été réalisées par La Drôme Laboratoire. Ce dernier a systématiquement utilisé les mêmes protocoles, le but étant une intra-comparabilité entre les analyses du projet Eco₃Sar avec celles menées dans le cadre d'autres projets (IT2, BRGM, Office de l'Eau de Guyane, etc.) et par certains acteurs privés confrontés à cette problématique.

Les échantillons solides (*i.e.*, sargasses) ont été broyés avec un Grindomix GM 200 (Retsch) jusqu'à une granulométrie inférieure à 2 mm suivie d'une lyophilisation sur un CHRIST Alpha 1-2 LD Plus. Après cette première étape, la matière sèche et la matière minérale ont été déterminées suivant respectivement les protocoles NF EN 12880 et NF EN 15169.

2.3. Analyses du carbone organique total et azote Kjeldahl

Les échantillons broyés et secs issus des analyses de la matière sèche et minérale ont à nouveau été broyés jusqu'à une granulométrie inférieure à 200 µm. Le carbone organique total (COT) a été déterminé suivant la procédure normalisée NF ISO 14235 incluant une oxydation thermique par sulfochrome et une quantification par spectro-colorimétrie pour une limite de quantification de 1000 mg(C)/kg (poids sec). L'analyse de l'azote Kjeldahl a été réalisée selon la norme NF EN 13342 impliquant une minéralisation thermique par acide sulfurique catalysée par sélénium. L'analyse titrimétrique a permis de déterminer la teneur en azote Kjeldahl avec une limite de quantification à 200 mg(N)/kg (poids sec).

2.4. Analyse des métaux et de leur spéciation

L'arsenic élémentaire (As), le cadmium (Cd), le chrome (Cr), le cobalt (Co), le nickel (Ni), le plomb (Pb), le zinc (Zn), le mercure élémentaire (Hg) et le soufre (S) ont été analysés dans les échantillons broyés en sortie de lyophilisation avec un broyeur à billes (granulométrie inférieure à 100 µm). Les prises d'essai ont été minéralisées par bain d'acide nitrique sous micro-ondes suivant la norme NF EN 13805. L'analyse quantitative des métaux a été réalisée par spectromètre de masse à plasma induit (ICP-MS X-série fourni par Thermofisher). La détermination des métaux a été réalisée selon la norme NF EN 17294-2 pour des limites de quantifications sur matière sèche décrites dans le Tableau 4.

Les spéciations de l'As et du Hg ont été requises pour comprendre les origines des sargasses, leur niveau de contamination et le devenir des métaux tant sur les côtes que sur terre ou dans les andains (valorisation sous forme d'amendement organique).

Tableau 4 : Limite de quantification (LQ) des métaux en mg par kg de poids sec.

Métal	LQ
As	0,05
Cd	0,05
Cr	0,10
Co	0,05
Cu	0,10
Hg	0,05
Ni	0,10
Zn	1,00

L'As a été déterminé par les teneurs suivantes : As total, arsenite ou As(III), arsenate ou As(V), acide monométhylarsinique (MMA), acide didiméthylarsinique (DMA), arsenobétaïne (AsB) et arsenocholine (AsC). Pour autant, d'autres formes existent : la différence entre la mesure de l'As total, somme des As mesurés (somme des six espèces pour lesquelles l'analyse détaillée est acquise), permet d'estimer l'importance de formes très marginales. En effet, l'arsenic est un métalloïde toxique notoire, ubiquiste dans l'environnement, notamment les sols et l'eau. Associé aux minerais de Pb, de cuivre (Cu), d'étain (Sn), d'or et de zinc, l'arsenic élémentaire (AsO) est très rare dans le milieu marin. Parmi ses trois autres valences natives As(-III), As(+III) et As(+V), As(-III) est observé dans des milieux aux potentiels d'oxydoréduction extrêmement bas (22) inapplicables dans l'environnement. L'As(III) est dominant dans les milieux réducteurs (sédiments sous l'effet de la diagénèse précoce, etc.) et l'As(V) domine dans les milieux oxydés. Comme ces derniers prédominent dans l'environnement, l'As(V) est donc la forme majoritaire d'As dans l'environnement (23, 24, 25) mais aussi dans les milieux aqueux inorganiques (98 % HAsO_4^{2-} et traces de $\text{H}_2\text{AsO}_4^{-1}$ et AsO_4^{-3}). L'As(V) tend à fortement s'adsorber sur les surfaces organiques ou des minerais oxydés de fer (Fe), de manganèse (Mn) et d'aluminium (Al), y compris dans le complexe pariétal des sargasses où se forment d'importants dépôts métalliques appelés « plaques » (26). L'As(III) passe, lui, par les canaux d'aquaglyceroprine sous forme neutre $\text{As}(\text{OH})_3$ (27) et s'adsorbe moins, aboutissant à une surreprésentation relative d'oxyanions d'As(III) par rapport à ceux que forme l'As(V) (28) mais aussi à une espèce plus biodisponible ($\text{As}[\text{OH}]_3^0$ prédomine en solution). Cela explique en partie que l'As(III) est de 20 à 60 fois plus toxique que l'As(V) (29) : l'As(III) est plus disponible à des réactions avec des groupements thiols. La modification dans l'environnement de l'As(V) en As(III) est relativement rapide et réversible mais la méthylation bloquera la structure électronique, aboutissant à des MMA et DMA différents : ceux comportant un As trivalent sont plus toxiques que l'As(III) mais ceux comportant un As pentavalent sont moins toxiques que l'As(V). Ces formes organo-arséniées restent rares dans l'environnement et observées à des concentrations moindres que les formes inorganiques As(III) et As(V). L'analyse de la spéciation a été assurée sur un spectromètre de masse à plasma induit (ICP) Nexion 300 fourni par Perkin Elmer couplé à un chromatographe en phase liquide fourni par Flexar.

Tableau 5 : Limite de quantification (LQ) des espèces d'As et de Hg en mg par kg de poids sec.

Espèce métallique	LQ
As (total)	0,05
As(III) (arsénite)	0,05

As(V) (arséniate)	0,05
MMA (acide monométhylarsonique)	0,10
DMA (acide diméthylarsinique)	0,10
AsB (arsénobétaine)	0,10
AsC (arsénocholine)	0,10
Hg (total)	0,50
iHg (Hg inorganique)	0,50
MMeHg (monométhylHg)	0,50

Le Hg a été analysé sous sa forme Hg total, inorganique (iHg) et monométhylmercure (MMeHg). La première espèce (iHg) correspond à la forme native Hg⁰ du mercure et à son espèce dominante en milieu oxygène Hg(II). La forme native n'est essentiellement toxique que sous forme de vapeur tandis que le Hg(II) est le plus toxique des métaux lourds sous forme inorganique car le plus thioleprive. L'objet de cette attention particulière était de s'assurer que les sargasses ne soient pas les vectrices de ces espèces de Hg dans l'environnement antillais. La spéciation du Hg a été réalisée sur le même ICP-MS Nexion 300 mais couplé à un chromatographe en phase gazeuse fourni par Clarus. Les limites de quantification sont résumées dans le Tableau 5.

2.5. Analyse de la chlordécone et de ses métabolites

L'analyse de la chlordécone et de ses métabolites (5b hydrochlordécone et chlordécol) a été réalisée sur les échantillons broyés à 2 mm (Méthode ANSES 161). 150 µL du standard de chlordécone C¹³ ont été ajoutés à 10 g de prise d'essai. 20 mL d'acétone ont été mélangés et agités durant 24 heures pour extraire la matrice solide. 10 mL ont été ensuite ajoutés par deux fois. La chlordécone et ses métabolites ont enfin été extraits par agitation dans une solution de dichlorométhane (20 mL dilué dans 175 mL d'eau saturée de sel). Après deux extractions, le dichlorométhane récupéré a été concentré à sec par évaporation sous flux d'azote. Un mL d'hexane a été ensuite ajouté. La chromatographie en phase liquide sur Acquity UPLC System (fourni par Waters) implique que 200 µL de la solution soient mélangés à 1 mL d'une solution H₂O/acétonitrile. La chlordécone et ses métabolites ont été quantifiés sur un spectromètre de masse en tandem XevoTQ-S fourni par Waters. Les conditions d'exploitation du chromatographe sont présentées dans le Tableau 6 et les limites de quantification sont détaillées dans le Tableau 7.

Tableau 6 : Conditions chromatographiques opérationnelles (LC/MS-MS).

Appareil	Conditions opérationnelles
LC	Solvant A : H ₂ O et 0,1 % d'acide formique Solvant B : Acétonitrile Débit : 0,4 mL/min (0,5 min 80 % de solvant A et 4 min 100 % de solvant B) Injection : 10 µL
	Mode négatif Chlordécone : <ul style="list-style-type: none"> ● Première transition : 506,9/426,78 ● Seconde transition : 506,9/424,8
MS-MS	5-b-hydrochlordécone : <ul style="list-style-type: none"> ● Première transition : 472,96/392,88 ● Seconde transition : 472,96/390,80
	Chlordécol :

- Transition 490,2/490,2

Standard interne :

- Transition chlordécone C13 : 516,9/435,87

Injection label :

- Transition 24D-D3 : 221,9/163,82

Tableau 7 : Limites de quantification de la chlordécone et de ses métabolites en µg par kg de poids frais.

Chlordécone et métabolites	LQ
Chlordécone	0,50
5b-hydrochlordécone	0,50
Chlordécol	0,50

2.6. Études moléculaires

Les extractions des ADN environnementaux ont été réalisées soit à partir de sargasses congelées soit à partir d'échantillons d'eau de mer préalablement filtrée sur 0,2 µm. Les ADN ont été extraits en utilisant le kit DNeasy PowerSoil Kit ou DNeasy PowerBiofilm (Qiagen) en suivant les recommandations du fabricant. Les ADN ont ensuite été quantifiés en utilisant le kit Quant-it PicoGreen (Invitrogen, Thermo Scientific Fischer Carlsbad, CA, USA) et le système CFX96 Real-Time System (C1000 Touch Thermal Cycler Biorad, California, USA). Des banques d'ADN ont été réalisées avec des amorces universelles correspondant au gène codant pour la sous-unité 16S de l'ARN ribosomique (515F-Y et 926R) ou pour la sous-unité 18S de l'ARN ribosomique (TAREuk454FWD1 et TAREukREV3). Les conditions d'amplification des ADN ont été optimisées pour certains échantillons et, pour l'amplification du 16S, nous avons mis au point un protocole spécifique permettant de bloquer l'amplification de séquences de *Sargassum* spp. Cette technique novatrice, qui a permis d'avoir une très faible contamination des séquences cibles par l'ADN des sargasses, est décrite en détail dans un manuscrit actuellement soumis sur les microbiotes des sargasses (Voir § 3.4 : Hervé *et al.* Soumis).

Les produits PCR ont été purifiés par NucleoMag (Macherey-Nagel, Duren, Germany) puis quantifiés (Quant-it PicoGreen) et enfin normalisés avant d'être envoyés à séquencer, avec un séquençage paired-end (2 × 250 bp) sur HiSeq Illumina instrument (San Diego, Californie, USA). Ce séquençage a été réalisé par la société Fasteris (Genève, Suisse).

À l'issu du séquençage, nous avons utilisé différentes procédures bio-informatiques pour traiter les résultats, normaliser les données, réaliser des analyses statistiques et identifier la taxonomie des séquences avec des bases de références. Nous avons notamment utilisé la suite *mothur*, les banques de références SILVA (Release 132) et PR2 v4.11.1 (30) pour effectuer respectivement l'analyse des séquences 16S et 18S. Après normalisation, nous avons réalisé différentes analyses, dont celles de clustering (i.e., *VSEARCH*), afin d'obtenir la composition des communautés microbiennes associées aux échantillons d'eau de mer et de sargasses. Les séquences seront déposées sur le site NCBI Sequence Read Archive afin qu'elles soient libres d'accès. Les numéros des BioProjects seront portés à connaissance dans les prochains mois (Voir § 3.4 : Hervé *et al.* Soumis).

Les analyses bio-informatiques et statistiques ont été réalisées par M. Vincent Hervé (Max Planck Institute for Terrestrial Microbiology, Marburg, Allemagne). Ces analyses ont fait appel au logiciel *R* (version 3.4.4). L'analyse en coordonnées principales qui s'est basée sur les distances de Bray-Curtis a fait appel au package *phyloseq*(31). Les effets du substrat, de la région et du milieu sur la composition des communautés ont été testés par analyse de la variance par permutation (PERMANOVA), comme en utilisant la fonction *adonis* (permutations = 9999) du package *Vegan*, après avoir testé l'homogénéité de la dispersion au sein des différents groupes avec la fonction *betadisper* du même package(32). Pour identifier les unités taxonomiques opérationnelles spécifiques- UTO ou OTU, terme fréquemment utilisé comme un équivalent du concept d'espèce - nous avons utilisé l'algorithme ALDEx2 sur les matrices de communautés procaryotes (16S) et eucaryotes (18S) filtrées pour une abondance des OTUs supérieure à 0,01 % (33). Les analyses statistiques ont fait appel

au test Wilcoxon Rank avec une correction de type Benjamini and Hochberg's afin de maintenir un taux de faux positif inférieur à 5 %.

2.7. Enquêtes sociales

2.7.1. Matériaux et méthodes d'analyse

Dans ses différentes phases, l'enquête a duré de façon intermittente d'août 2018 à septembre 2019 incluant une recherche dans la presse, une investigation ethnographique de terrain en Martinique et en Guadeloupe, des observations mais aussi la constitution d'une documentation photographique et d'un corpus hétérogène d'entretiens semi-directifs. À l'issue de cette enquête, des analyses et restitutions ont été effectuées. Deux axes de recherche ont été privilégiés, en considérant le cadre socioculturel et historique présenté en introduction : (1) l'histoire culturelle des pratiques et la représentation des algues sargasses et (2) la dynamique mise en place dans la récurrence des crises d'échouements depuis 2011. Par « représentations », nous entendons des « formes de connaissances socialement élaborées et partagées ayant une visée pratique et concourant à la construction d'une réalité commune à un ensemble social » (34). Ces représentations se construisent par une série de micro-mécanismes sociaux, pouvant intégrer des croyances populaires, être façonnées par la rhétorique diffusée par les médias qui contribue à la formation d'une opinion publique, et/ou par des réinterprétations de savoirs scientifiques.

En premier lieu (1), l'utilisation des algues comme ressource aux Antilles a été considérée dans une perspective diachronique. L'objectif était d'inventorier la sélection des algues selon des caractéristiques ou des zones d'échouement, les prétraitements éventuels avant épandage, la différenciation selon les catégories sociales ou les spécificités des terrains et des cultures (potager familial, jardin créole, culture intensive). Par l'étude de ces pratiques, nous souhaitons répondre aux problématiques suivantes : quelles vertus les utilisateurs de fertilisants trouvaient-ils aux algues ? Quels étaient les bénéfices sur les produits (goût particulier/croissance plus élevée) ?

La deuxième partie de l'étude (2) était axée sur la dynamique des représentations, des usages et des pratiques depuis les périodes de « crises des sargasses ».

Deux méthodes ont permis la production et l'analyse de données qualitatives et quantitatives afin de dessiner les systèmes interprétatifs : (a) la réalisation et l'analyse de discours à partir des entretiens semi-directifs réalisés avec différents acteurs sociaux en tenant compte de leur catégorie socio-professionnelle et de leur zone de résidence, et (b) la lecture et l'analyse textuelle systématique et diachronique de la presse locale.

a/ Des entretiens semi-directifs ont été menés sur plus d'une heure en moyenne, le plus long des entretiens ayant duré près de 3h30. Les interlocuteurs ont le plus souvent été contactés par téléphone sur les recommandations de personnes intermédiaires. Ils ont pu également être abordés lors de conférences organisées à l'université des Antilles ou dans d'autres lieux publics par le Professeur Pascal Saffache ou par les Docteurs Dabor Resière, Thierry Lebrun, Rémi Nevière et Ruddy Valentino, médecins au CHUM (Centre Hospitalo-universitaire de Martinique). Une troisième voie d'accès aux interlocuteurs est le contact direct par des entretiens exploratoires sur les rivages ou dans des commerces (jardinerie, pharmacie, etc.). Les entretiens ont eu lieu au domicile des interlocuteurs, dans les environs immédiats ou sur les lieux de travail pour ce qui concerne les jardineries, les administrations, écoles ou propriétés agricoles. Ils ont été systématiquement enregistrés (à l'exception des entretiens exploratoires) puis retranscrits dans leur intégralité.

b/ Pour accompagner cette enquête ethnographique avec observations et entretiens semi-directifs, un corpus de données écrites et numérisées a été constitué et analysé. Le traitement analytique a été réalisé en partie avec le logiciel d'analyse textuelle NVivo. L'objectif était de mettre à jour la genèse de certaines représentations collectives, et l'influence que la presse peut avoir dans la constitution de l'imaginaire et dans les usages et pratiques locales. L'analyse des médias sociaux (Facebook, Twitter, YouTube, etc.) sur lesquels s'expriment des riverains concernés dans des groupes de mobilisation citoyenne n'a été réalisée que de façon très marginale faute de temps. Elle pourrait être approfondie à l'avenir.

2.7.2. Protocole d'enquête

Deux étudiants-stagiaires, inscrits en M1 Études culturelles à l'université des Antilles, pôle Martinique, ont participé lors d'un contrat de stage à plein temps de 3 mois (5 février-5 mai 2019) à la collecte des données. Ils ont été formés par la docteure Florence Ménez à la recherche ethnographique sur le terrain et ont ensuite pratiqué en autonomie les enquêtes, notamment celles menées en Guadeloupe (mission du 17 au 30 avril 2019). Ils n'ont cependant pas participé à l'analyse des résultats des données issues de l'enquête, à la rédaction du présent rapport et des articles scientifiques associés et à la présentation des communications.

Tableau 8 : Calendrier des enquêtes ethnographiques sur la période 2018-2020 dans le cadre d'Eco3Sar.

Trimestres	1 Août-oct. 2018	2 Nov. 2018- janv. 2019	3 Février- avril 2019	4 Mai- juillet 2019	5 Août-oct. 2019	6 Nov. 2019- Janv. 2020
Participation à la campagne 1 d'échantillonnage (Martinique)						
Entretiens exploratoires – constitution de la problématique et de la bibliographie						
Formation de 2 étudiants à l'enquête ethnographique, à N'Vivo (12 mars) et SIG						
Terrain ethnographique Martinique – 25 entretiens semi-directifs réalisés – observations - Analyse des données						
Constitution et analyse des données écrites (presse, archives)						
Terrain ethnographique Guadeloupe (mi-avril) – 11 entretiens semi-directifs réalisés (15 entretiens considérés comme exploratoires) - observations – Analyse des données						
Prolongation des enquêtes –enrichissement des données - confrontation des résultats						
Valorisation scientifique (participation à 1 séminaire, 2 colloques, rédaction d'1 article, proposition de 2 articles)						
Synthèse – préconisations						

Les entretiens avec différents acteurs sociaux associés à l'étude de la presse ont permis de mieux mettre à jour les mécanismes d'appropriation ou de rejet de la sargasse, mais également les préoccupations biopolitiques comme la recherche des origines des sargasses, l'imputation des responsabilités, les formes de dénonciation, y compris artistique ou encore les pratiques de valorisation. Il sera cependant impossible dans ce contexte de restitution d'exposer exhaustivement les résultats d'une enquête sur le terrain dont l'empirisme fait la richesse. La totalité des entretiens réalisés depuis 2018 n'a pas été utilisée pour ce rapport, qui ne rendra compte essentiellement que des pratiques et perceptions des algues en amendement.

2.7.3. Les terrains de recherche

Tout comme les terrains de prélèvements des sargasses pour les analyses biologiques et écotoxicologiques, les terrains d'enquête ethnographique ont été multi-situés, afin de restituer la pluralité des représentations correspondant à des lieux de résidence, et par conséquent d'exposition plus ou moins aiguë et chronique aux effets des sargasses. Nous avons donc mené des entretiens sur les littoraux touchés par les sargasses et à l'intérieur des terres, sur des territoires agricoles, du fait de l'objet de recherche. En ce qui concerne la Martinique, les enquêtes ont été menées sur la côte Atlantique au Robert, au François, au Vauclin et à Basse-Pointe, en milieu urbain à Fort-de-France et au Lamentin et également sur la côte Caraïbe au Prêcheur. En Guadeloupe, les territoires investis par les étudiants ont été majoritairement Petit-Bourg, Petit-Canal et Le Gosier. L'enquête sur le territoire guadeloupéen n'a pu être menée que par les étudiants-stagiaires pour des raisons administratives. Il n'a pas été possible d'étendre les terrains d'enquête à Marie-Galante ni aux Saintes, ou à la Désirade comme il était prévu initialement. Cette carence est d'autant plus dommageable que ces territoires ont été touchés à toutes les échelles par les échouements de sargasses. Il s'agit d'un point à explorer dans une prochaine étude.

Les lieux propices aux entretiens ont été les jardinerie, les abords des littoraux, les jardins individuels et agricoles. La représentativité d'une pluralité d'acteurs, catégorisés en groupes socioprofessionnels, a permis de dessiner une répartition socio-spatiale des représentations et des usages et pratiques. Nous avons mené des entretiens plus particulièrement avec des agriculteurs professionnels, agriculteurs occasionnels, acteurs de la filière de valorisation et du commerce agricole, riverains et touristes. En ce qui concerne les pêcheurs professionnels, seuls des entretiens exploratoires ont été réalisés et n'apparaissent donc pas dans les données. Une grille d'entretien a été établie évoluant en fonction de la progression de l'enquête et des apports empiriques. Cette enquête sur les représentations de la transformation des sargasses s'est rapidement orientée vers les problématiques de l'atteinte matérielle et corporelle, qui se sont révélées significatives dans la

perception de la valorisation en amendement. Le corpus, présenté en annexe, a été rendu anonyme. Dans les extraits d'entretiens présentés dans ce rapport, le langage parlé des interlocuteurs n'a pas été modifié afin de restituer la spontanéité des paroles.

2.7.4. Corpus Martinique et Guadeloupe

En Martinique, une cinquantaine d'entretiens a été réalisée d'août 2018 à septembre 2019, dont certains l'ont été pour des problématiques connexes. Seuls 19 entretiens semi-directifs, ont été retenus pour ce rapport. Les autres abordent l'objet de recherche sargasses de façon trop éloignée de l'objectif d'Eco3Sar, et d'autres sont des entretiens exploratoires.

Tableau 9 : Profils des enquêtés.

	Femmes	Hommes	Ensemble
Ensemble	9	10	19
Répartition par âges			
30-40 ans	2	5	7
50-60 ans	5	3	8
65 ans et plus	2	1	3
Résidence			
Zone impactée	7	4	11
Zone littorale non impactée	2	3	5
Zone urbaine	0	2	2
Catégorie socio-professionnelle			
Artisan.e.s, agriculteurs/trices	1	3	4
Commerçant.e.s	2	3	5
Retraité.e.s, sans profession	3	1	4
Gestionnaires environnement	0	1	1
Enseignant.e.s, cadres	1	1	2
Touristes	2	1	3
Avis sur la transformation des sargasses en amendement			
Avis négatif	4	1	5
Avis positif	2	4	6
A expérimenter / mitigé	3	4	7

En Guadeloupe, sur les 27 entretiens réalisés par les étudiants stagiaires, 12 ont pu être analysés, les autres étant considérés comme des entretiens exploratoires (entretiens de moins d'une dizaine de minutes réalisés sous la forme de 'micro-trottoir', entretiens téléphoniques non réalisés dans les conditions requises). Le rapport est basé sur ce corpus assez représentatif mais évidemment limité. Il serait intéressant d'élargir l'enquête qualitative à un échantillon plus important.

Tableau 10 : Profils des enquêtés.

	Femmes	Hommes	Ensemble
Ensemble	2	10	12
Répartition par âges			
30-40 ans	1	4	5
50-60 ans	1	4	5

65 ans et plus	0	2	2
Résidence			
Zone impactée	2	7	9
Zone littorale non impactée	0	1	1
Zone urbaine	0	2	2
Catégorie socio-professionnelle			
Artisan.e.s, agriculteurs/trices	0	1	1
Commerçant.e.s	1	2	3
Retraité.e.s, sans profession	0	2	2
Gestionnaires environnement	1	2	3
Enseignant.e.s, cadres	0	2	2
Touristes	0	1	1
Avis sur la transformation des sargasses en amendement			
Avis négatif	1	2	3
Avis positif	0	5	5
A expérimenter / mitigé	0	2	2
Sans avis	1	1	2

2.7.5. Le matériau presse

Deux études quantitatives ont été menées sur la presse locale : l'une porte sur la rhétorique utilisée pour qualifier le phénomène des sargasses, à partir de 2011, dans les quotidiens régionaux France-Antilles Martinique et France-Antilles Guadeloupe. Le protocole de recherche suivi a été de réaliser un relevé (commenté en page 61) de la fréquence de 49 occurrences dans 663 articles ayant trait aux thématiques suivantes : valorisation/santé publique/économie, responsabilité/causes/écologie/actions de ramassage/typologie des sargasses/terminologie. La sélection de ces occurrences correspond à des termes fréquemment entendus lors des entretiens et a permis de rechercher une éventuelle influence de la presse régionale. La seconde étude quantitative (présentée en annexe) a été réalisée par le stagiaire Nicolas Boilly à partir des archives en ligne de France-Antilles Martinique (<https://www.martinique.franceantilles.fr/>) et France-Antilles Guadeloupe (<https://www.guadeloupe.franceantilles.fr/>) avec une étude sur les occurrences du terme « sargasse » et ses variantes.

2.7.6. Synthèse documentaire

Afin d'appuyer le discours des acteurs sociaux par une approche historique et systématique de l'usage des algues, une recherche documentaire dans les moteurs bibliographiques et dans les archives entendait réunir des informations d'une part sur les pratiques d'amendement aux Antilles françaises et d'autre part sur l'utilisation des algues. La documentation écrite est peu fournie voire inexistante en ce qui concerne le croisement des deux thématiques. La recherche a été effectuée à partir des mots-clés suivants : algues / sargasses / amendement / agriculture. Les résultats de cette recherche documentaire montrent combien le sujet est novateur aux Antilles et reste encore à appréhender dans sa globalité, ce qui laisse présager des recherches futures.

2.8. Systèmes d'acteurs et filières

Depuis 2011, les acteurs ont réagi trop lentement ou n'ont pas proposé de solutions adaptées, aux yeux des populations directement touchées par les impacts sanitaires graves ou la dégradation des conditions d'habitat (électroménager, etc.), déjà abordés dans la partie ethnographique. Dans ce contexte, il est important de recenser et questionner les actions menées en vue de protéger les habitants et l'écosystème touchés par la dégradation de la sargasse non ramassée à temps (tant du point

de vue olfactif, paysager, etc.). De plus, pour ce qui est de la prévention des échouements, il apparaît intéressant de recenser les dispositifs mis en place du point de vue de la variabilité temporelle du phénomène. Celle-ci rend en effet difficile la mise en place de filières de valorisation à long terme, comme mentionné précédemment.

Les acteurs ont pu s'adapter plus ou moins facilement vis-à-vis de cette variabilité, au regard des stratégies de valorisation à élaborer, notamment du fait du coût budgétaire. La question centrale revient alors à se demander si un système d'acteurs s'est construit autour de la valorisation des sargasses, en particulier pour une transformation en amendement (et si c'est le cas, comment).

Ce volet sur la gouvernance territoriale a été en partie étudié dans le cadre d'un stage financé par Eco3Sar, d'une durée de 5 mois (du 5 février au 5 juillet 2019), réalisé par Mme Sandrine Séné, étudiante en Master 2 de géographie (mention ADEI: Aménagement durable des espaces insulaires) de l'Université des Antilles - pôle Martinique. Ce travail a été codirigé par Mme Anne Péné-Annette, Maître de Conférences en géographie, et par M. Franck Dolique, Professeur de géographie. Il a abouti à la réalisation d'un mémoire de Master 2 professionnel, soutenu le 17 juin 2019, devant un jury présidé par le Professeur Pascal Saffache (voir pièce jointe). Une première ébauche d'analyses sur la gouvernance territoriale, en lien avec le phénomène des échouements des sargasses, a donc pu être réalisée. Celle-ci laisse augurer un champ de recherches à approfondir ultérieurement, concernant par exemple les liens entre gouvernance territoriale et riverains.

2.8.1. Terrains d'étude

Les observations de terrain sur les littoraux les plus impactés par les échouements, en Martinique et en Guadeloupe, ont été réalisées en grande partie par Mme Sandrine Séné, dans le cadre de son stage de février à mai 2019. Durant cette période, elle était basée en Martinique ; elle a aussi réalisé deux missions de terrain en Guadeloupe, chacune d'une semaine, fin mars et fin juin 2019. La stagiaire a pu ainsi effectuer ces observations et mener, en parallèle, des entretiens semi-directifs auprès d'acteurs.

Comme il a été expliqué dès le début, les deux territoires étudiés sont touchés par les échouements du fait de l'exposition aux courants et aux vents de surface. À l'échelle de la Guadeloupe, le linéaire côtier le plus impacté est celui des communes d'Anse-Bertrand, de Le Moule, de Saint-François, de Sainte-Anne, de Le Gosier, de Petit-Bourg, de Goyave et de Capesterre-Belle-Eau. Les dépendances de Marie-Galante, les Saintes et la Désirade sont aussi fortement impactées. En Martinique, le littoral essentiellement touché s'étend des communes de Basse-Pointe, au nord, jusqu'au Diamant, au sud, en particulier les portions qui ont un substrat meuble. Des observations de terrain plus fines ont été effectuées dans quatre communes : Le François et Le Marigot en Martinique (Annexe, Figure 43, à gauche) et celles de Sainte-Anne et d'Anse-Bertrand en Guadeloupe (Annexe, Figure 43, à droite). Ces terrains de recherche retenus correspondent à des communes littorales particulièrement impactées par les échouements (selon l'étude diachronique réalisée pour la période 2011-2018).

De plus, chacune des communes se caractérise par un milieu côtier (voir Annexe, Figure 43) et un profil socio-économique spécifiques. En Guadeloupe, la commune de Sainte-Anne (23675 habitants en 2017, INSEE), mise sur une valorisation touristique balnéaire (avec notamment un complexe hôtelier, le *Club Med*), avec sa baie et ses trois plages. Anse-Bertrand (4275 habitants en 2017, INSEE) est une commune peu attractive du fait de son éloignement du centre économique au sud-ouest de Grande Terre. Cependant, la plage de Porte d'Enfer, du fait de son site de lagon entouré de falaises, joue une fonction de site récréatif et touristique, à l'échelle de la Guadeloupe. En Martinique, le Marigot (3196 habitants en 2017, INSEE) connaît une dynamique économique en grande partie liée au port de pêche. Enfin, la commune du François (16949 habitants en 2017, INSEE) se caractérise par ses ports de plaisance et de pêche de Frégate Est 2.

2.8.2. Méthodologie

Il a été procédé, en premier lieu, à une recherche bibliographique sur (a) les échouements des sargasses et sur leurs impacts sur les milieux littoraux, sous l'angle de la géographie physique, (b) sur la gouvernance territoriale et les projets de valorisation des sargasses en géographie politique, en sociologie des organisations et en sciences politiques. De plus, un travail cartographique a été réalisé à partir de photos aériennes pour construire une approche diachronique des impacts des échouements de 2011 à 2018. En parallèle, des entretiens semi-directifs ont été menés auprès d'acteurs représentant différents domaines de compétences et responsabilités (voir en Annexe le Tableau 21, p.101 des acteurs interrogés et le Tableau 22, p. 102 du guide d'entretien). L'impossibilité d'aboutir à la prise de rendez-vous, malgré les relances, auprès de certains acteurs explique le peu de résultats concernant notamment le volet des élus politiques.

3. Principaux résultats

3.1. Hétérogénéité spatiale et temporelle de la composition des sargasses

Comme mentionné dans la partie « Protocoles et stratégies expérimentales », deux campagnes d'échantillonnage ont été réalisées au cours de ce projet. Les principaux objectifs étaient de : (i) connaître la composition élémentaire des sargasses, (ii) étudier la diversité et la concentration de contaminants organiques - au regard de la seule chlrodécone – et métalliques associés aux sargasses et enfin (iii) apporter des premiers éléments relatifs à l'existence d'éventuelles hétérogénéités spatiales et temporelles. Pour ces études, 227 échantillons correspondant dans la grande majorité des cas à des triplicatas d'analyse par site ont été analysés.

Ci-dessous, nous présentons les résultats obtenus selon quatre parties : (i) la composition biochimique des sargasses, (ii) la présence de différents métaux lourds et métalloïdes, (iii) la contamination en arsenic et enfin (iv) la contamination en chlrodécone. Il convient également de rappeler que certaines analyses diffèrent entre les campagnes 2018 et 2019.

3.1.1. Stratégies d'échantillonnage

Les échantillonnages ont été réalisés sur deux périodes distinctes afin d'évaluer l'impact de la saison notamment. En effet, sachant que le trajet océanique des sargasses et donc les traits d'histoire de vie peuvent évoluer, il a semblé important de réaliser des expériences sur des sargasses prélevées plutôt en fin de saison des échouements (*i.e.* juillet-août) ou plutôt en début de saison (*i.e.* janvier-février). Le doublement des campagnes d'échantillonnages a permis d'affiner les études et la représentativité des échantillons mais aussi d'analyser la variabilité annuelle de la contamination des sargasses sur certains sites. La première campagne a permis notamment d'évaluer la diversité de concentration d'un large panel de métaux lourds et d'appréhender la difficulté d'un échantillonnage représentatif. La seconde campagne a cherché à distinguer sur la plupart des sites la différence de contamination entre les algues selon leur « fraîcheur » : encore en eau, celles dans la zone intertidale (zone de battement des vagues dans le cas présent), celles déjà échouées mais encore fraîches et celles échouées et sèches.

Les sites ont été choisis en concertation avec l'ADEME et les services de l'État pour la façade Atlantique de la Martinique. Avec l'aide précieuse de la DEAL, trois sites de stockage intermédiaire des sargasses ont été échantillonnés lors de cette première campagne (Le Marigot, Le Robert et Sainte-Anne). Pour la Guadeloupe, au cours de la première campagne, nous avons principalement échantillonné la façade Atlantique des deux îles de Basse-Terre et Grande-Terre. Au cours de la deuxième campagne, nous avons aussi pu échantillonner les autres îles de l'archipel guadeloupéen. Les sites de Marie-Galante ont été échantillonnés avec l'aide de personnels rattachés à la sous-préfecture de Pointe-à-Pitre.

Des prélèvements ont également été réalisés dans la Zone Economique Exclusive à quinze milles nautiques au droit de l'extrémité orientale du canal de Sainte-Lucie le 28 Octobre 2018 afin de disposer d'échantillons exempts des effets terrigènes. Un site de prélèvement au Diamant (extrémité occidentale du canal de Sainte-Lucie) a complété le dispositif.

La première campagne a été réalisée du 26 au 28 Juillet 2018 en Guadeloupe puis du 30 Juillet au 2 Août 2018 en Martinique. La seconde a été réalisée du 27 Février au 4 Mars 2019 en Martinique et du 12 au 15 Mars en Guadeloupe. Pour chacun des sites ce sont entre 2 et 4 prélèvements qui ont été réalisés (généralement 3 pour la première campagne et 4 pour la seconde). À quelques exceptions près, les prélèvements pour les analyses moléculaires et biochimiques correspondent.

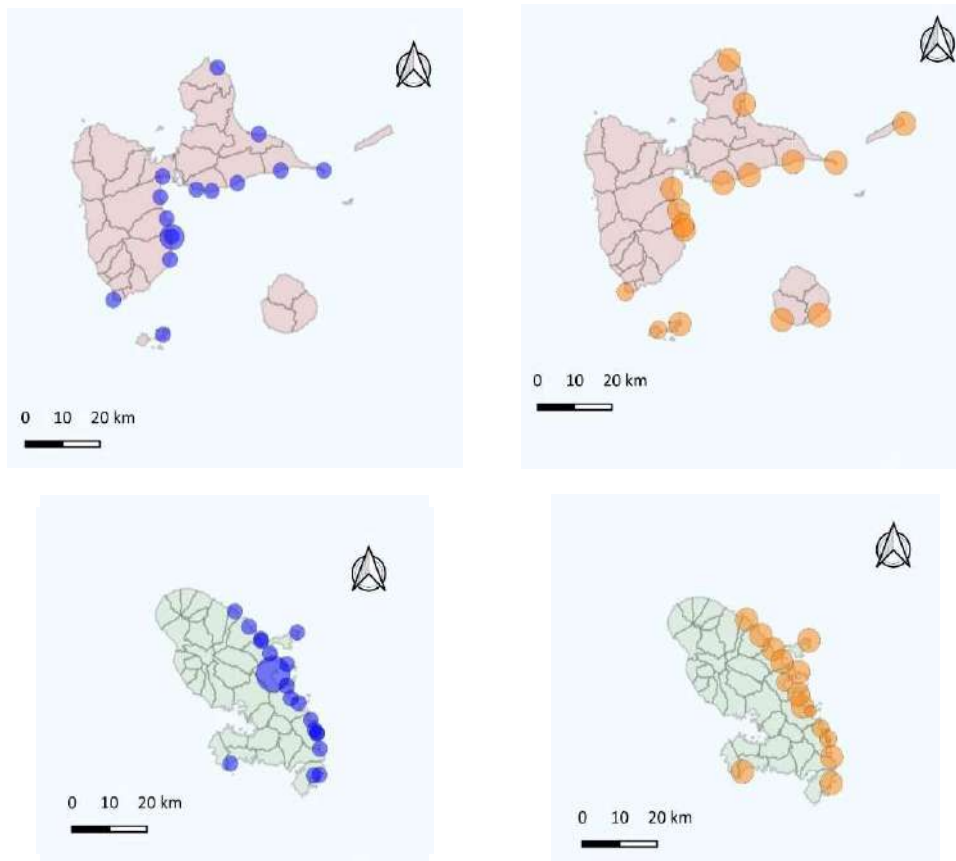


Figure 1 : Cartes montrant les sites d'échantillonnage réalisés au cours des campagnes 2018 (à gauche) et 2019 (à droite). La campagne 2018 comprend 37 sites différents et celle 2019 correspond à 32 sites. À cette échelle de résolution, certains sites de prélèvements se superposent. Les cercles sont proportionnels au nombre d'échantillons analysés par site, ce dernier varie entre 1 et 6 avec une moyenne de 3 prélèvements par site en 2018 et 4 par site en 2019. La Dominique a intentionnellement été retirée de ces cartes.

Pour les analyses de la composition chimique des sargasses, ce sont 227 échantillons qui ont été prélevés au total dont 109 échantillons pour la première campagne contre 118 pour la deuxième. En fonction de ce qui a été considéré comme un site à l'échelle de la commune (ville, plage, etc.), il peut être considéré qu'il a été étudié une trentaine de sites littoraux lors de la première campagne en plus des 3 sites de stockage et des 3 sites issus de la ZEE.

Pour la deuxième campagne, ce sont là encore près d'une trentaine de sites (17 sites en Martinique et 16 en Guadeloupe) qui a également été étudiée (Figure 1). La diversité des faciès et des prélèvements a été le support d'une investigation de la contamination : (i) des sargasses en eau, échouées sur la grève ou sur le sable, derrière des barrages ainsi que quelques prélèvements au large de la Martinique, (ii) des sargasses issues de zones présentant des niveaux d'urbanisation et d'anthropisation différentes allant de sites dans des parcs régionaux à des sites de centre-ville, (iii) des sargasses nouvellement échouées et/ou en cours d'échouement tout comme des sargasses échouées très probablement depuis plusieurs semaines et (iv) des sites littoraux pour l'archipel de Guadeloupe et la Martinique ainsi que des sites de stockages en Martinique. Ces derniers sont issus de la première campagne. Cette diversité des prélèvements est illustrée dans l'Annexe, Figures 44 à 47.

3.1.2. Composition biochimique des sargasses

Les résultats obtenus sont présentés dans le Tableau 11 avec une distinction entre les deux campagnes. La campagne 2018 correspond à 108 échantillons et celle de 2019 à 118 échantillons.

Tableau 11 : Composition des sargasses dans ces principaux éléments : C, N, P et S. Des mesures de la concentration en phosphore et soufre n'ont été réalisées que pour les échantillons de la campagne 2019. N/A signifie non disponible.

Analyse	Campagne 2018		Campagne 2019	
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type
Matière sèche(%)	19,6	10,7	24,1	14,7
Matière minérale(%)	41,7	12,3	42,1	5,7
Matière organique(%)	58,3	12,3	57,9	5,7
Rapport MO/MS	3,6	1,3	2,9	0,9
COT (g/Kg de MS)	212,9	52,4	220,1	30,4
Azote (g/Kg de MS)	8,2	3,0	9,2	2,0
Soufre (g/Kg de MS)	N/A	N/A	13,8	5,7
Phosphore (g/Kg de MS)	N/A	N/A	0,91	0,25
Rapport C/N	27,6	8,9	24,8	5,2
Rapport C/S	N/A	N/A	16,7	3,1
Rapport C/P	N/A	N/A	260,5	76,7

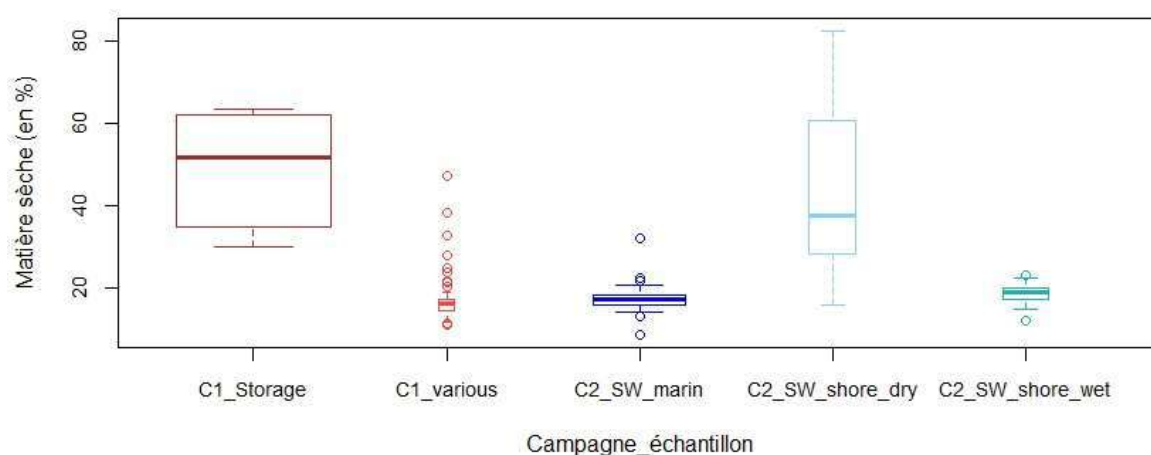


Figure 2 : Pourcentage de matière sèche en fonction des campagnes. C1 et C2 pour campagne 2018 et 2019, respectivement. Storage= Site de stockage, SW_marin=sargasses en mer, SW_shore_dry sargasses échouées et sèches, et SW_shore_wet=sargasses échouées et humides.

Ces résultats présentés sont cohérents entre les deux campagnes. Des différences dans les pourcentages de matière sèche étaient attendues dans la mesure où, fort de notre campagne 2018, la campagne 2019 a été réalisée en différenciant les prélèvements avec des sargasses échantillonnées en eau, échouées ou sèches (*i.e.*, de couleur sombre). Ces résultats sont illustrés sur la Figure 2.

Les analyses montrent que les sargasses en eau et celles fraîchement échouées sont souvent indissociables pour la quantité de matière sèche : le phénomène de dessiccation par l'ensoleillement n'a généralement pas encore eu lieu.

3.1.3. Présence de métaux dans les sargasses

Comme rappelé dans l'introduction, les macroalgues sont connues pour les capacités à bioaccumuler les métaux lourds. Cette propriété résulte très probablement d'une combinaison entre la présence de ligands organiques et des conditions physiologiques. En lien aussi avec les besoins de valorisation des sargasses et la sécurisation des conditions de stockage, la teneur d'un certain nombre de métaux lourds a été mesurée au sein de nos échantillons. Nous avons ainsi mesuré le mercure

(Hg) et le méthylmercure (HgX-CH₃), le chrome (Cr), le cobalt (Co), le cuivre (Cu), le nickel (Ni), le plomb (Pb) et le zinc (Zn)(Tableau 12 et Figure 3). Du fait de la très faible teneur de ces métaux, ils n'ont été étudiés que pour la campagne 2018.

Tableau 12 : Concentrations en métaux dans les sargasses.

Elément	Cd	Cr	Co	Cu	Ni	Pb	Zn
Moyenne (mg/kg de MS)	0,45	11,4	1,10	4,27	3,82	0,55	7,40
Ecart-type	0,19	22,4	1,37	6,91	1,14	0,70	7,11
N (> seuil)	108	108	108	108	108	108	107
Valeurs limites de la norme NF EN 13650 (mg.kg ⁻¹ MS)	3	120	N/A	300	60	180	600

Mise à part le chrome pour lequel quelques mesures se trouvaient au-dessus de la moyenne (Tableau 12 et Figure 3), toutes les mesures réalisées pour le mercure (Hg) et le méthylmercure (HgX-CH₃) étaient en dessous des seuils de détection de 0,0085 mg/kg de MS et 0,054 mg/kg de MS, respectivement.

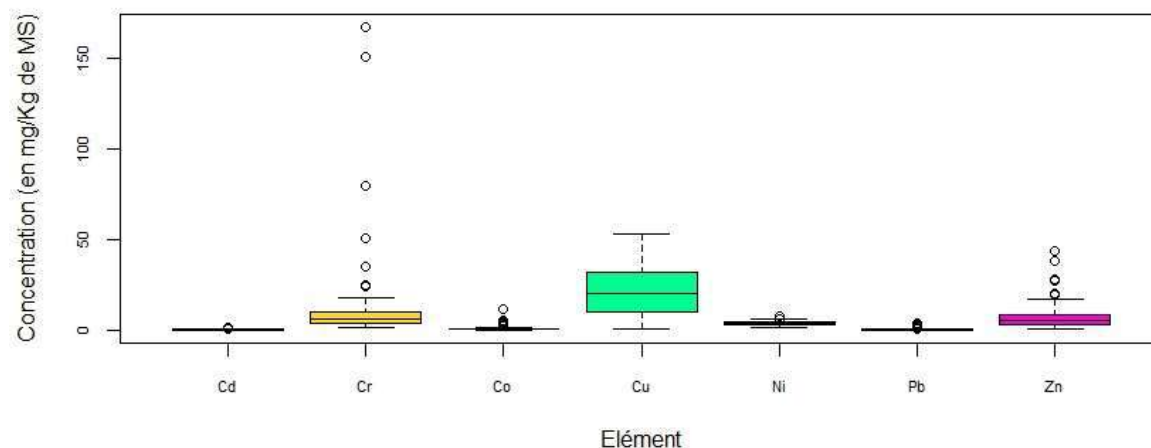


Figure 3 : Boîte à moustaches illustrant les concentrations mesurées dans les sargasses pour différents métaux.

Les valeurs obtenues pour ces éléments traces métalliques étaient en moyenne toutes inférieures à la norme, NFU44-051 (voir § 2.1).

Nous avons également comparé les valeurs obtenues avec celles qui ont été compilées à partir de données de la littérature (voir en Annexe, Tableau 31). Les concentrations en Cd dans les sargasses de la présente étude sont comprises entre 0,18 et 1,48 mg/kg de MS, des concentrations du même ordre que celles que la littérature internationale rapporte pour *S. vachellianum*, *S. thunbergii* ainsi que le mélange *S. filipendula* et *S. vulgare* mais supérieure à certaines autres valeurs rapportées. Les concentrations en Co qui sont comprises entre 0,25 et 11,7 mg/kg correspondent à des concentrations basses pour des sargasses. Celles en Cr semblent relativement élevées car seul *S. linifolium* présente le même ordre de concentration. Les concentrations en Cu, mesurées à 4,27 mg/kg de MS (minimum de 0,25 et maximum de 68,5 mg/kg), sont similaires aux concentrations de *S. subrepandum* mais d'un ordre de grandeur supérieur à celui des autres espèces rapportées. Enfin, les concentrations en Ni et en Pb (respectivement 3,82 et 0,55 mg/kg de MS) sont faibles au regard des résultats observés pour les autres espèces de sargasse et pour lesquelles de l'information existe (voir en Annexe, Tableau 31).

3.1.4. Concentration des différentes formes de l'arsenic

L'arsenic total a été mesuré ainsi que ses formes de spéciations qui sont les formes inorganiques (arsenate As(V), arsenite As(III)) et les formes organiques (acide méthylarsonique (MMA), acide diméthylarsinique (DMA), arsénobétaïne (AsB), arsenocholine (ASC)). Les concentrations mesurées en arsenic étant, dans la majorité des cas, au-delà de la Norme NFU EN

13650 (18 mg/kg de MS) nous avons mesuré ces différentes formes lors des deux campagnes. Ces résultats sont présentés en deux parties.

3.1.4.1. Arsenic total

Les résultats sont présentés dans le Tableau 13 ci-dessous.

Tableau 13 : Concentrations en arsenic dans les sargasses.

	Campagne 2018		Campagne 2019	
	Guadeloupe	Martinique	Guadeloupe	Martinique
[As] (mg/kg de MS)	78,1	62,2	90,7	81,6
Ecart-type	20,7	34,6	29,9	30,8
n (> seuil)	46	63	62	56

L'analyse de la variabilité de la concentration en arsenic révèle une hétérogénéité plus importante pour les mesures issues de la Martinique notamment lors de la première campagne (Figure 4).

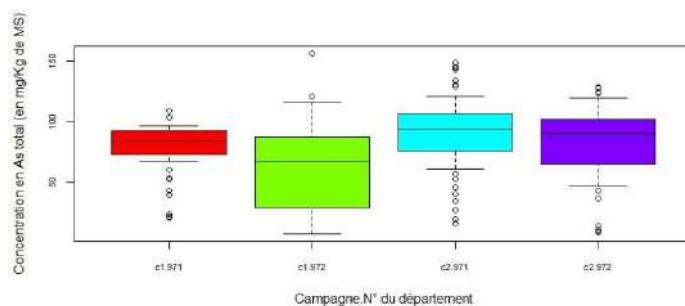


Figure 4 : Boîte à moustaches illustrant les concentrations mesurées en arsenic total. C1.971 correspond à la campagne 1 (2018) et à l'archipel de Guadeloupe, C1.972 à la Martinique, C2.971 à la Guadeloupe lors de la campagne 2 (2019) et C2.972 à la Martinique lors de la campagne 2.

Sachant que lors de la campagne 2018 des sites de stockages ont été analysés, nous avons recalculé la concentration moyenne en arsenic pour la Martinique et obtenu des valeurs de 66,4 mg/kg de MS pour les sites d'échouements (prélèvements d'août 2018), 25,6 mg/kg de MS pour les sites de stockage (prélèvements d'août 2018) et 100,5 mg/kg de MS pour les trois échantillons issus de la ZEE (prélèvements de décembre 2018). Ces résultats supportent l'hypothèse d'une perte significative en arsenic au cours des processus de stockage pouvant impliquer des phénomènes de fragmentation, déshydratation et lessivage. Cet « effet séchage » est conforté par les analyses différentielles des échantillons issus de la campagne 2019 où, comme précédemment mentionné, nous avons systématiquement distingué les sargasses en eau, échouée et échouée mais sèches. Tous les tests réalisés (paramétriques : t-test, z-test, et non-paramétriques : Mann-Whitney, Kolmogorov-Smirnov, etc.) démontrent que la concentration en arsenic total est inférieure (p -value < 0,0001) pour les échantillons dits secs (Tableau 14).

Tableau 14 : Concentration en arsenic dans les sargasses échouées.

	Sargasses en mer	Sargasses échouées et humides	Sargasses échouées et sèches
[As] (mg/kg de MS)	96,1	96,2	54,4
Ecart-type	24,8	23,5	26,8
n (> seuil)	59	31	28

Même s'il faut absolument faire des analyses complémentaires avec des sargasses prélevées loin des côtes, nos résultats suggèrent que la présence d'arsenic ne serait pas due à une contamination dans la zone littorale mais plutôt à une

accumulation au cours du cycle de vie des sargasses. Là encore, nous avons comparé les valeurs obtenues à celles de la littérature (voir en Annexe, Tableaux 31 et 32). La concentration en arsenic total des sargasses *S. natans* et *S. fluitans* mesurée en Guadeloupe et Martinique semble assez similaire à certaines données de la littérature même si elles sont essentiellement basées sur des sargasses fraîches benthiques.

3.1.4.2. Les formes inorganiques et organiques de l'arsenic

Les résultats sont présentés sous la forme d'un tableau unique (Tableau 15). Il est cependant à noter qu'un certain nombre de mesures étaient en dessous du seuil de détection.

Tableau 15 : Concentration dans les différentes formes de l'arsenic.

		As(III)	As(V)	MMA	DMA	AsB	AsC	
Campagne 1	Guadeloupe	Moyenne (mg/kg de MS)	2,33	53,7	3,52	12,0	1,04	0,57
		Ecart-type	2,25	18,0	4,58	7,2	0,99	0,43
		n (> seuil)	46	46	46	46	42	38
	Martinique	Moyenne (mg/kg de MS)	4,92	33,3	12,6	2,16	3,66	1,63
		Ecart-type	6,36	26,3	12,3	1,86	3,79	2,34
		n (> seuil)	62	63	63	62	53	51
Campagne 2	Guadeloupe	Moyenne (mg/kg de MS)	1,59	64,3	5,37	9,93	1,64	1,50
		Ecart-type	5,25	27,2	6,58	7,88	1,22	0,82
		n (> seuil)	60	62	61	62	60	29
	Martinique	Moyenne (mg/kg de MS)	0,73	50,4	22,5	1,60	6,63	0,92
		Ecart-type	1,04	24,0	11,1	1,07	2,81	1,11
		n (> seuil)	49	56	56	51	56	23

Cette étude montre clairement que l'espèce inorganique majoritaire de l'arsenic associée aux sargasses est l'As(V) avec un rapport moyen As(V)/As(III) de 186 (min = 0,013 et max = 1900). L'hétérogénéité de ce rapport, tout comme des mesures individuelles, tant pour les formes inorganiques qu'organiques, rendent toutefois difficile l'interprétation des résultats.

3.1.5. Variabilité spatiale de la concentration en chlordécone

Les analyses sur les concentrations en chlordécone présentées ci-dessous ont été analysées en considérant la spatialisation de la contamination par ce pesticide, associée de nos jours à des zones d'interdiction de pêche, du fait de sa bioaccumulation notamment dans les mollusques, crustacés et poissons. Dans cette section, les valeurs brutes sont présentées même si le seuil tolérable de contamination à la chlordécone peut différer selon les produits considérés.

Tableau 16 : Concentration en chlordécone.

		Chlordécone	5b-hydrochlordécone
Campagne 2018	Moyenne (µg/kg de MS)	141,1	11,1
	Ecart-type	160,8	5,7
	n (> seuil)	33	9
	Minimum (µg/kg de MS)	4,6	2,4
	Maximum (µg/kg de MS)	616,4	19,8
Campagne 2019	Moyenne (µg/kg de MS)	364,6	27,5
	Ecart-type	621,8	18,6
	n (> seuil)	38	11
	Minimum (µg/kg de MS)	4,4	6,5
	Maximum (µg/kg de MS)	2696,9	58,2

Pour rappel, pour les aliments, depuis fin 2018, le niveau dans la graisse ne doit pas dépasser 0,027 mg/kg contre 0,100 mg/kg précédemment. Pour les produits de la mer, la limite maximale de résidus (LMR) est de 0,02 mg/kg dans les produits frais tels que consommés. Un sol est dit faiblement contaminé entre la limite de détection (LD) et 0,100 mg/kg de sol sec, moyennement contaminé entre 0,1 et 1 mg/kg et fortement contaminé au-delà de 1 mg/kg.

Nous présentons tout d'abord des valeurs globales même si elles ne présentent que très peu d'intérêt à cause de l'hétérogénéité des sites, de la géographie (i.e. bassin versant) et de l'historique des usages et de la contamination par la chlordécone (Tableau 16). Ces données révèlent néanmoins que plus d'un tiers des échantillons étudiés présente une valeur au-delà du seuil de détection de la chlordécone (71/227) et un peu moins d'un dixième d'entre eux, pour l'un des produits de dégradation, la 5b-hydrochlordécone (20/227).

3.1.5.1. L'archipel de Guadeloupe

Campagne 2018

Quinze sites ont été étudiés avec 3 prélèvements par site (à l'exception de 1 site à 4 prélèvements) dont 7 sur la Grande-Terre, 7 sur la Basse-Terre et 1 site sur Terre-de-Haut (Les Saintes). La présence de la molécule de chlordécone a pu être détectée sur les 7 sites analysés sur la Basse-Terre. Certes les variations étaient importantes entre site avec des minimums de l'ordre de 5-6 µg/kg de MS au centre de Petit Bourg et à Goyave jusqu'à un maximum de 513 µg/kg de MS (4 échantillons indépendants) pour la plage des Roseaux à Capesterre-Belle-Eau.

Campagne 2019

Seize sites ont été étudiés avec 4 prélèvements par site (à l'exception de 2 sites à 3 prélèvements) dont 6 sur la Grande-Terre, 5 sur la Basse-Terre, 2 aux Saintes (Terre-de-Haut et Terre-de-Bas), 2 sites à Marie-Galante et 1 site à La Désirade. Là encore la molécule de chlordécone n'a été détectée que sur les sites provenant de la Basse-Terre.

Certes, les différences observées étaient importantes entre site, avec des minima de l'ordre de 15 µg/kg de MS à Vieux-Fort, 28 µg/kg de MS à Petit Bourg et à Goyave, et des valeurs maximales de 351 à la Plage des Pêcheurs à Sainte-Marie (Commune de Capesterre-Belle-Eau) et 1928 µg/kg de MS pour la plage des Roseaux à Capesterre-Belle-Eau. Le coefficient de variation pour les 5 sites présentant de la chlordécone varie de 0,7 à 77 %.

La 5b-hydrochlordécone n'a été détectée que sur les deux sites (commune de Capesterre-Belle-Eau : plage des Pêcheurs et la plage des Roseaux) où l'on retrouve les plus fortes concentrations en chlordécone. Les concentrations mesurées en 5b-hydrochlordécone correspondent à environ 2 % de celles de la chlordécone.

Synthèse des deux campagnes

Malgré des différences importantes, cette étude démontre clairement la présence de chlordécone dans les sargasses prélevées sur des sites correspondant aux zones d'interdiction partielle et totale de la pêche de la façade Atlantique de la Basse-Terre (Figure 5).

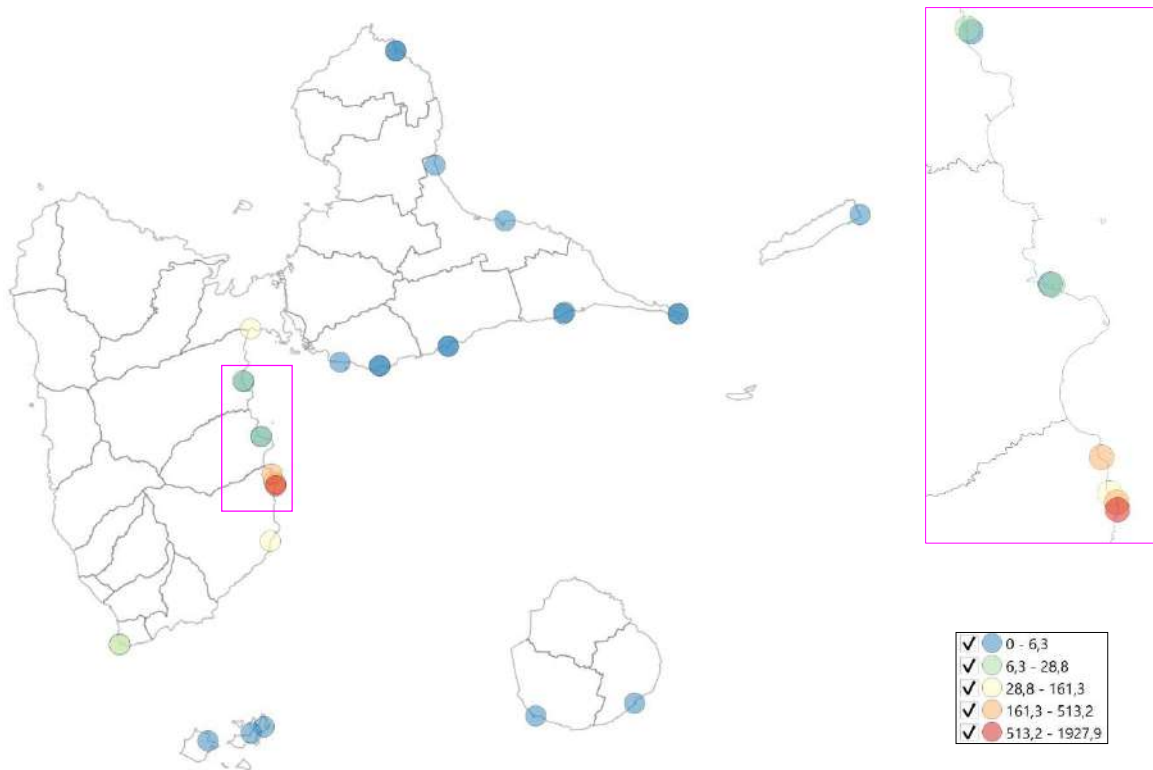


Figure 5 : Concentration en chlordécone mesurée dans l'archipel guadeloupéen lors des deux campagnes. Le gradient de couleur correspond aux concentrations en $\mu\text{g}/\text{kg}$ de MS. L'encadré rose illustre la superposition de certains sites ; il couvre les villes de Petit-Bourg (2 sites), Goyave (2 sites) et Capesterre-Belle-Eau (4 sites).

3.1.5.2. La Martinique

Campagne 2018

Nous avons réalisé quelques prélèvements pour deux sites de stockages localisés à la Pointe Faula sur la commune du Vauclin et à Anse Michel sur la commune de Saint-Anne. La mesure de la chlordécone était en dessous de la limite de détection pour les 6 échantillons issus de la Pointe Faula et les 3 de l'Anse Michel.

Nous avons aussi analysé trois échantillons de sargasses prélevés (28 octobre 2018) à quinze milles nautiques au droit de l'extrémité orientale du canal de Sainte-Lucie. Ces échantillons étaient aussi exempts de chlordécone.

Les seize sites d'échouements analysés vont du centre-bourg du Marigot jusqu'à l'Anse Cafard sur la commune du Diamant au sud (3 prélèvements ont été réalisés par site à l'exception du bourg du Robert où 6 prélèvements ont été réalisés).

Pour quatre sites de la chlordécone a pu être détectée dans les sargasses avec 18 µg/kg de MS pour le bourg du François, 47,1 µg/kg de MS à Sainte-Marie (plage du Tombolo), 206 µg/kg de MS pour Le Marigot et 279 µg/kg pour le quartier Bac à La Trinité. Néanmoins, une certaine hétérogénéité dans les valeurs a pu être constatée avec des coefficients de variation de 101 %, 55 % et 15 % respectivement. Pour le bourg du François, un échantillon sur trois était en dessous de la LD et pour le port du Marigot un échantillon avait une concentration de 76 µg/kg de MS.

Campagne 2019

Cette campagne a été réalisée à la fin début mars essentiellement sur les mêmes sites que ceux de la première campagne. Les analyses montrent que 6 sites présentent une concentration détectable en chlordécone.

Nous avons obtenu des moyennes de 2,6 µg/kg de MS pour le port de pêche de Cosmy à La Trinité, 3,1 µg/kg de MS pour Pointe Rouge à La Trinité), 76 µg/kg de MS pour le bourg du François, 87 µg/kg de MS pour la plage du Tombolo à Sainte-Marie, 357 µg/kg de MS pour le port de pêche du Marigot et 586 µg/kg de MS pour le quartier Bac à la Trinité. Certains de ces résultats restent à prendre avec précaution dans la mesure où 2 prélèvements sur 4 étaient en dessous de la LD pour le site de Cosmy, 3 sur 4 pour le site de la Pointe Rouge et 1 sur 4 pour le centre bourg du François.

Synthèse des deux campagnes

Nous pouvons classer les sites analysés dans un ordre décroissant de contamination avec le quartier Bac en tête suivi du port de pêche du Marigot et le centre bourg du François et la plage du Tombolo à Sainte-Marie.

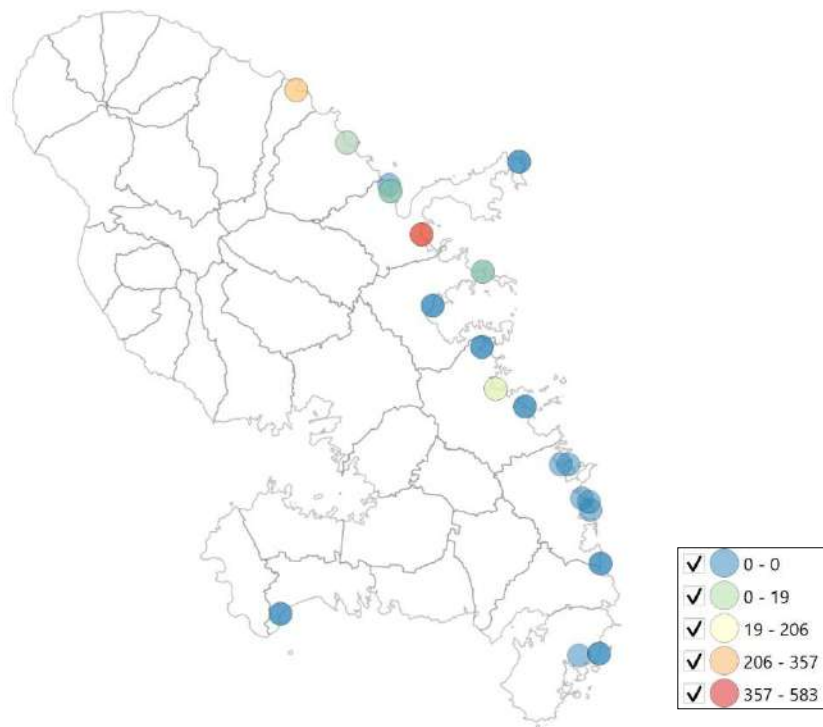


Figure 6 : Concentration en chlordécone dans les sargasses échouées lors des deux campagnes en Martinique. Le gradient de couleur correspond aux concentrations en $\mu\text{g}/\text{kg}$ de MS. Certains points peuvent se superposer.

Avec cependant des différences locales parfois importantes (Figure 6), les sites présentant de la chlordécone correspondent aux mêmes zones que celles de limitation de la pêche en Martinique. Tout comme pour la Guadeloupe, force est de constater que les concentrations observées étaient toujours supérieures pour les échantillons issus de la deuxième campagne que ceux issus de la première. Même si nous n'avons aucune hypothèse pour expliquer de telles différences, les sargasses issues de la deuxième campagne provenaient d'échouements en moyenne plus récents que ceux de la première campagne.

3.2. Cinétiques de contamination et de décontamination

Les cinétiques d'accumulation de l'As et de la chlordécone mais aussi la possible « décontamination », c'est-à-dire la perte de ces micropolluants, ont été étudiées.

3.2.1. Constantes toxicologiques

Avant toute chose, il est apparu indispensable d'évaluer les constantes toxicologiques de base que sont le K_{oc} ⁷ détaillé pour les sargasses dans leur ensemble et par organe, ainsi que le facteur de bioconcentration (BCF) qui sont des descripteurs classiques du comportement des micropolluants organiques.

Une expérience en laboratoire a permis de calculer le facteur de bioaccumulation de chlordécone (BCF, équation 1) et le coefficient de partage eau/carbone organique (K_{oc} , équation 2) de la chlordécone dans les sargasses.

⁷ Coefficient de partage entre le carbone organique et l'eau, il donne une indication sur l'aptitude de la molécule à être adsorbée ou désorbée sur la matière organique.

Équation 1 : $BCF = \frac{C_B}{C_{WD}}$

Avec, dans des conditions d'équilibres, C_B qui correspond ici à la concentration de chlordécone dans le biota et C_{WD} celle dans l'eau. Une étude réalisée en triplicat à partir de sargasses issues de la ZEE et faite à dans les locaux de La Drôme Laboratoire, a permis d'obtenir une valeur de BCF de $89,0 \pm 18,1$.

Une seconde expérience a été mise en place en juillet 2019 pour estimer le K_{oc} des sargasses. Un échantillon dépourvu de chlordécone (prélevé sur la plage de Frégate Est au François, le 15 juillet 2019) a été placé dans un récipient contenant 6 litres d'eau MilliQ dans laquelle 50 g de Curlone™ ont été dissous. Une exposition de 24 heures sous agitation a été opérée. Le pH a été de 7,4 lors de l'expérience réalisée à l'obscurité, pour éviter la photolyse, connue pour pouvoir dégrader la chlordécone en 5b-hydrochlordécone, même marginalement.

Équation 2 : $K_{oc} = \frac{K_d}{f_{oc}}$

avec K_d la partition entre l'eau et le carbone organique, et f_{oc} la teneur en carbone organique. Le K_{oc} (L/kg), qui renvoie une valeur standardisée ((35) voir aussi INERIS 2014⁸), a été utilisé pour interpréter les cinétiques d'accumulation de la chlordécone.

Tableau 17 : Concentration en chlordécone et en 5b-hydrochlordécone (poids sec), matière sèche et carbone organique total (COT) des sargasses (entières ou par fraction).

	CLD	5b-CLD	Matière	COT
	µg/kg de MS	µg/kg de MS	MS (%)	mg C/kg de MS
Sargasses brutes	5 464,8	3,9	13,3	173 555
Stipes	30 591,7	49,6	29,5	150 398
Thalles	16 183,2	9,5	18,3	189 175
Flotteurs	29 986,2	25,6	17,1	138 501

A partir des mesures de la concentration en chlordécone et en 5b-hydrochlordécone (Tableau 17), le K_{oc} a été étudié pour les sargasses brutes mais aussi pour les stipes, thalles et flotteurs tant pour la chlordécone que pour la 5b-hydrochlordécone. Le logarithme décimal du K_{oc} ($\text{Log}_{10}K_{oc}$) pour la chlordécone et la 5b-hydrochlordécone sur les sargasses entières est de 2,88 (Tableau 18).

Tableau 18 : $\text{Log}_{10}K_{oc}$ pour la chlordécone et le 5b-hydrochlordécone vis-à-vis des sargasses brutes ou par fraction.

	Chlordécone	5b-hydrochlordecone
Sargasses brutes	2,88	2,89
Stipes	3,34	3,70
Thalles	3,17	3,32
Flotteurs	3,61	3,73

Ces résultats corroborent avec certains présentés dans la littérature comme celui du Programme des Nations-Unies pour l'Environnement qui a proposé une valeur de 3,19⁹. En outre, nos résultats suggèrent que le K_{oc} de la 5b-hydrochlordécone est supérieur à celui de la chlordécone pour les fractions de sargasses. De telles valeurs permettent d'écarter une adsorption

⁸<https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/drc-14-142371-007734a-methodologie-2014-v4-1426246276.pdf>

⁹ PNUE/UNEP (2005). Proposal for listing chlordecone in Annex A of the Stockholm Convention on Persistent. Organic Pollutants (UNEP/POPS/POPRC.1/INF/6). United Nations Environment Programme, Geneva, UNEP/POPS/POPRC.1/INF/6. 26 July 2005.

active par les sargasses (phytoaccumulation) en plus de la bioaccumulation du pesticide suivant les propriétés physico-chimiques de la molécule.

3.2.2. Contamination et décontamination par la chlordécone et l'arsenic.

Deux protocoles ont été déployés afin de mieux comprendre les cinétiques de contamination et de décontamination par les contaminants que sont la chlordécone et l'arsenic. D'une part, des sargasses fraîches exemptes de chlordécone ont été déployées dans de l'eau de mer dans laquelle de la chlordécone ou de l'arsenic ont été ajoutés. À cette fin, des spécimens ont été échantillonnés dans la ZEE puis ultérieurement placés dans des aquariums afin de suivre les cinétiques d'accumulation et de perte des contaminants : l'un inorganique à savoir l'arsenic et l'autre organique à savoir la chlordécone. D'autre part, des sargasses contaminées ont été déployées *in situ* dans une masse d'eau exempte de chlordécone et inversement – des sargasses non contaminées dans une masse d'eau contaminée. Ces deux types d'approches sont présentés ci-après.

3.2.2.1. Expériences réalisées au laboratoire de la Drôme

Le 28 octobre 2018, 14 kg de sargasses flottantes ont été échantillonnées à 15 miles nautiques au large de la Martinique, à l'est de l'axe central du Canal de Sainte Lucie. Ces échantillons ont été scellés avec 10 litres d'eau de mer prélevés au même endroit, dans un bidon de 120 litres en polyéthylène haute densité (inerte aux métaux) opaque et étanche. Le bidon, qui a été sciemment choisi pour être de grande taille, incluait un grand volume d'air qui a permis d'avoir une inertie thermique lors du transport ; il a été couché pour le transport. Ces conditions avaient pour but d'essayer de « minimiser » les impacts potentiels du transport par avion (en soute) entre la Martinique et le laboratoire de la Drôme à Valence, où certaines expériences en aquarium furent réalisées. De plus, il est important de noter que la température à l'arrivée était de 16°C. Même s'il semble plus que probable que la manipulation et le transport dans des conditions d'obscurité et dans un milieu clos ont dû altérer la physiologie des sargasses.

Différentes conditions ont été testées pour analyser tant l'arsenic que la chlordécone :

- 7 lots de 300 g de sargasses ont été placés dans 10 L d'eau en présence de 10 µg d'arsenic/L, dans des cuves de polyéthylène haute densité ;
- 1 lot de 300 g de sargasses dans 10 L d'eau de mer reconstituée dans une cuve de polyéthylène haute densité ;
- 5 lots de 300 g de sargasses dans 10 L d'eau de mer reconstituée en présence de 10 µg de chlordécone/L par dans des cuves de verre ;
- *2 lots de 300 g de sargasses dans 10 L d'eau de mer reconstituée en présence de 100 µg de chlordécone/L dans des cuves de verre ;
- 1 lot de 300 g de sargasses dans 10 L d'eau de mer reconstituée dans une cuve de verre.

Au cours des expériences, la température était de 22°C et l'oxygène dissous bien que non contrôlé est resté au niveau initial. Les sargasses ont été échantillonnées (en triplicata) à t_0 (immédiatement), $t_0 + 4h$, $t_0 + 17h$, $t_0 + 28h$, $t_0 + 41h$, $t_0 + 51h$ et $t_0 + 87h$. Elles ont été soit analysées sans manipulation, soit analysées après un « décapage » au cours duquel le mucilage a été « éliminé » par frottement avec un coton-tige imbibé d'éthanol (à 99 %). Les bourres de coton ont été conservées pour analyse.

L'intensité de la transsudation a aussi pu être observée après 17 heures de balnéation, indifféremment des conditions de concentration en arsenic ou chlordécone : une couleur rouge brique a teinté l'eau de mer artificielle. Les sargasses ont pris une teinte plus sombre après 3 jours et jusqu'à 7 jours également, indifféremment des conditions d'exposition, révélant probablement une altération de leur physiologie dans ces conditions de maintien.

Expérience avec la chlordécone

La concentration en chlordécone a rapidement diminué dans l'eau puis est restée relativement constante et de l'ordre de 2 µg/L (Figure 7).

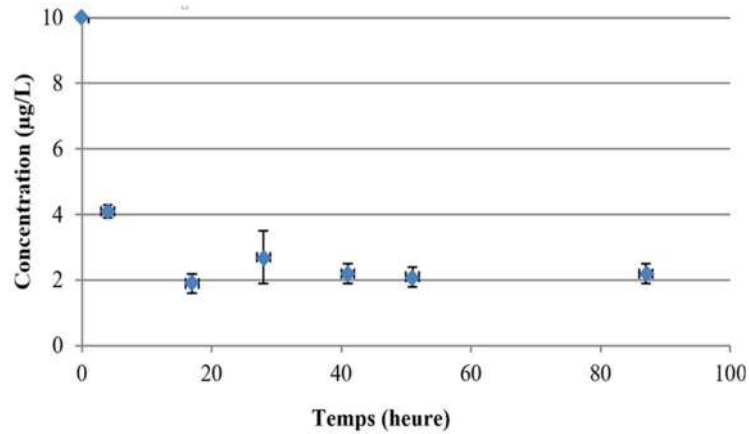


Figure 7 : Évolution de la concentration en chlordécone dans l'eau des aquariums avec une moyenne de l'expérience à 10 µg/L

Pour les sargasses, la concentration en chlordécone a rapidement augmenté pour atteindre de l'ordre de 200 µg/kg de MS (Figure 8).

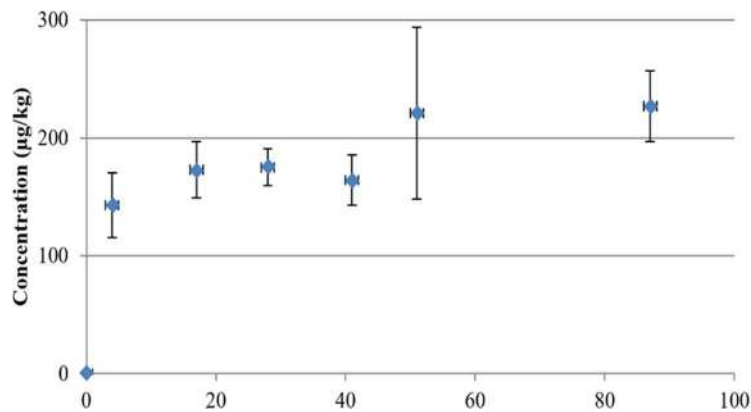


Figure 8 : Évolution de la concentration de chlordécone dans les sargasses

Les sargasses « décapées » n'ont pas présenté de différence significative avec celles dont la surface n'a pas été frottée, suggérant que le mucilage ne participe pas directement à l'accumulation de ce contaminant organique dans les conditions testées. Ces expériences, certes préliminaires et faites dans des conditions assez éloignées de celles sur le terrain, suggèrent que cette molécule serait absorbée dans les sargasses elles-mêmes. La partition de la chlordécone entre l'eau de mer de synthèse et les sargasses a été approchée par un bilan de masse (Tableau 19).

Tableau 19 : Partition de la chlordécone. Valeur, par colonne, en pourcentage du total.

	T+4h	T+17h	T+28h	T+41h	T+51h	T+87h
Sargasse	35,2	39,6	36,8	29,7	36,5	56,8
Eau	33,7	14,0	18,8	12,9	11,2	18,2
Indéterminée	31,1	46,4	44,4	57,4	52,3	25,0

Expérience avec l'arsenic

Dans ces expériences, l'As fut étudié au travers de sa concentration totale incluant l'As(III) et As(V) indifféremment. La concentration en As dans les sargasses a été comprise entre 45 et 90 mg/kg (environ 75 mg/kg de MS).

La transsudation a induit une concentration dans l'eau de mer de synthèse comprise entre 100 et 180 µg/L après 41h. La concentration initiale en As (10 µg/L) des aquariums n'a pas influencé celle dans les sargasses. La baisse de la concentration d'As dans les sargasses due à cette transsudation pourrait être due à la « mortalité » de ces algues maintenues dans ces conditions (et suivant les conditions de transport non-optimales). Là encore, « décaper » les sargasses a été sans effet (Figure 9).

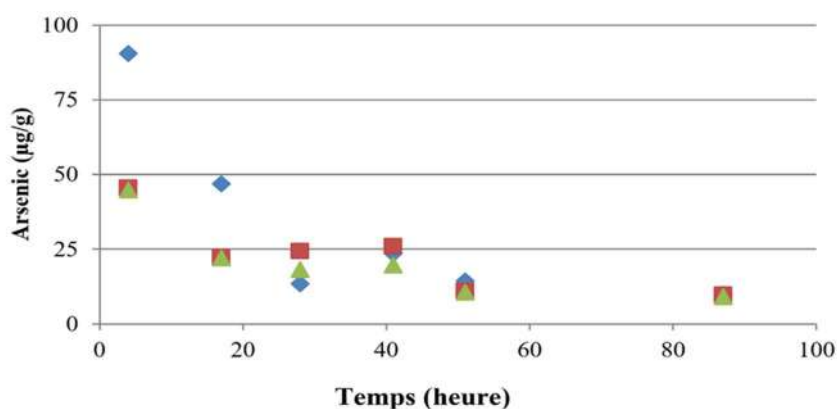


Figure 9 : Concentration d'arsenic dans les sargasses. En bleu : témoin = eau sans arsenic ; en rouge : eau de mer avec 10 µg d'As ; en vert : eau de mer avec 10 µg d'As et sargasses « découpées ».

Le bilan de masse met en avant qu'une part de l'As n'était ni en solution ni dans les sargasses (Tableau 20). Faute d'avoir pu être volatilisé, cette baisse d'As pourrait éventuellement s'expliquer par de l'adsorption sur les parois de polyéthylène alors que ce contenant avait intentionnellement été utilisé car l'adsorption est réputée négligeable sur ce matériel.

Tableau 20 : Partition de l'arsenic. Valeur, par colonne, en pourcentage du total.

	T+4h	T+17h	T+28h	T+41h	T+51h	T+87h
Sargasse	98,6	49,9	53,2	62,7	24,0	21,2
Eau	1,4	26,2	35,4	39,8	40,8	38,4
Indéterminée	0,0	23,8	11,3	0,0	35,2	40,5

Ces résultats ont été obtenus en conditions de laboratoire donc dans un milieu artificiel et dans des conditions de lumière et de température assez éloignées de la réalité. Comme déjà mentionné, les algues utilisées avaient probablement une physiologie déjà fortement altérée par le transport.

3.2.2.2. Expériences réalisées dans le milieu naturel

En vue d'estimer la cinétique d'accumulation de chlordécone dans les sargasses et la réversibilité d'une telle contamination organique, deux expériences en miroir furent menées : (i) des sargasses échantillonnées dans des secteurs non contaminés ont été placées sur un site pollué par la chlordécone pour en évaluer la cinétique de contamination pour une durée de 26 heures et (ii) des sargasses échantillonnées dans des secteurs contaminés ont été placées sur un site exempt de chlordécone pour en évaluer la cinétique de décontamination. Dans ce dernier cas, la durée de l'expérience a été de 96 heures.

Des sargasses issues de la Baie des Mulets ont été, lors des deux campagnes, mesurées comme exemptes de chlordécone. Les sargasses issues de la Baie du Galion, qui ont été échantillonnées à proximité de l'embouchure de la rivière éponyme, lors des deux campagnes, correspondent aux échantillons les plus contaminés. Les deux baies présentent des palétuviers rouges dont les racines-échasses ont été utilisées pour installer des dispositifs de maintien des sargasses en eau et ce malgré le marnage.

Les sargasses contaminées ont donc été déployées durant quatre jours sur le site de la Baie des Mulets, retenues dans des sacs en toile de jute grossière. Le choix d'une telle toile a été conditionné notamment par le besoin du large passage de l'eau, de plus, Liet *al.* (36) avait rapporté que le jute était le matériau le plus propice au développement de *S. muticum*.

La cinétique d'accumulation de la chlordécone dans les sargasses montre qu'après une phase d'équilibration, l'accumulation croît de façon importante pour atteindre au bout de 4 jours des concentrations très importantes et au-delà des maximums mesurés en Martinique (Figure 10).

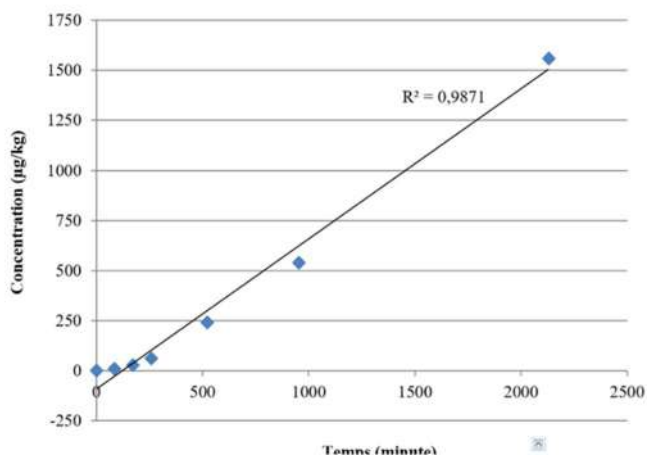


Figure 10 : Cinétique d'accumulation en chlordécone de sargasses placées dans un site pollué.

La cinétique de décontamination de la chlordécone (Figure 11) montre dans ces conditions, une perte importante de CLD et presque totale au bout de 3 jours.

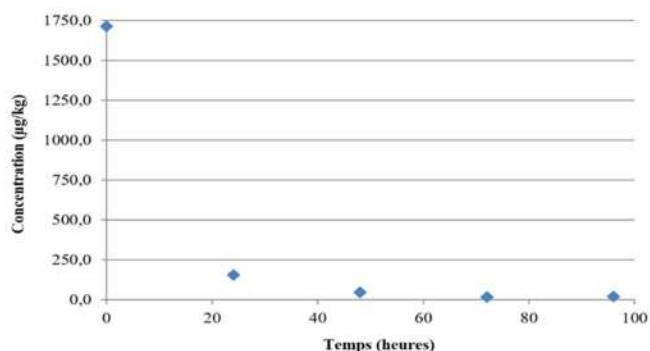


Figure 11 : Cinétique de décontamination de sargasses contaminées par la chlordécone dans un site exempt de chlordécone.

Cette expérience de décontamination illustre donc le fait que la chlordécone peut transsuder dans les conditions environnementales. Cette expérience de contamination fut réalisée dans l'eau de la rivière de Galion dont la concentration avoisinait 1 µg/L. Elle révèle qu'une baignade des sargasses durant 24 h suffit à atteindre des concentrations de l'ordre de celles observées dans le milieu alentour.

3.3. Évolution de la concentration de contaminants au cours du processus de formation d'andain.

Les expériences décrites dans cette partie restent exploratoires, notamment dans la mesure où elles n'ont été réalisées qu'une seule fois et pas nécessairement selon les meilleures conditions et protocoles opératoires. De plus, certains problèmes techniques ont pu être rencontrés au cours de ces expériences. Les résultats relèvent donc plutôt de l'information que de réalités scientifiques établies.

Que ce soit pour la valorisation ou pour le stockage, le devenir des contaminants potentiels des sargasses est une question importante. L'étude Eco3Sar a donc évalué le devenir des principaux contaminants trouvés lors de ce projet (chlordécone et arsenic) dans les andains issus de la société HOLDEX Environnement. L'une des possibilités est évidemment une baisse de leurs concentrations du fait de transferts vers d'autres compartiments, comme le lixiviat. Pour la chlordécone, la possibilité d'une dégradation au cours du processus industriel a aussi été appréhendée par l'analyse de métabolites de cette molécule. Différentes contraintes, notamment de ne pas avoir à disposition constante et immédiate des sargasses fraîches provenant de secteurs d'intérêt, ont fait qu'une partie des expériences programmées n'a pu être réalisée dans les conditions initialement prévues.



Figure 12 : Photos des expériences réalisées sur le site d'HOLDEX Environnement. À gauche, l'expérience de l'andain, et à droite, celle d'un tas de sargasses sans mélange avec des déchets verts.

Pour aborder cette question du devenir de la chlordécone et de l'arsenic, nous avons réalisé trois types d'expériences :

- La reconstitution des conditions d'une **laisse de mer** lors d'un arrivage important de sargasses et son suivi durant 96 heures. Cette expérience s'est faite en extérieur mais à l'abri de la pluie par étalement d'une bâche lors des ondées pour éviter la confusion entre la transsudation propre aux sargasses et le lessivage de l'eau de pluie. Les quatre premiers jours correspondent à la période suspectée de plus forte transsudation. Cette expérience avait aussi pour vocation d'évaluer le devenir de la chlordécone et de l'As à la surface des tas frais de sargasses en zone de stockage.
- La reconstitution **d'un tas de sargasses** par l'imposition sur 200 litres de sargasses d'un poids homogène de 100 kg, à l'obscurité (mais pas un noir absolu) et sous différentes conditions d'humidités, soit : (i) sans arrosage du tas, (ii) avec un arrosage manuel équivalent à 500 mm d'eau, simulant la pluviométrie relative des régions du territoire les plus sèches des Antilles et (iii) avec un arrosage manuel équivalent à 2000 mm d'eau, simulant la pluviométrie relative des régions du territoire les plus pluvieuses. La simulation de la pluie a été assurée quotidiennement par l'aspersion rapide du volume d'eau idoine sur les sargasses du dispositif expérimental. Cela correspondrait, chaque jour, à une sorte de pluie « diluvienne » mais très courte. Ces expériences ont été réalisées durant 24 jours avec prise de la température et du pH, récupération et analyse des lixiviats et des sargasses.
- Le suivi d'un **andain** de 300 mètres cube contenant 10 % de sargasses (30 m³) en parallèle duquel un tas de 8 mètres cube de sargasses était étudié (Figure 12). L'expérience a duré 8 semaines et s'est déroulée sur le site de HOLDEX Environnement. L'andain a subi le même traitement que celui d'un andain destiné à la production d'amendement organique (nombre et périodicité de retournement). Le tas de sargasses test a été laissé inerte sur une bâche de polyéthylène basse densité (Figure 12). L'andain a été prélevé à chaque tiers alternativement en profondeur (deux fois) et en surface (une fois), alors que pour le tas, deux types de prélèvements ont été réalisés (surface et profondeur). Le lixiviat de l'un et de l'autre a été échantillonné dans la mesure du possible. La température et l'oxygénation ont été mesurées quotidiennement. La pluviométrie a été obtenue grâce à l'instrumentation du site.

3.3.1. Analyses de la transsudation d'une laisse de mer.

Deux mètres cube de sargasses ont été récupérés le 19 octobre 2018 sur la plage du Marigot (embouchure de la rivière éponyme) et apportés sur le site de l'usine HOLDEX Environnement. Chaque mètre cube a été déployé sur une plaque d'acier inox de 2 mètres carrés soit une épaisseur initiale de sargasses de l'ordre de 50 cm. L'une des deux a été recouverte d'un film de polyéthylène basse densité de façon à éviter le contact entre les sargasses et le métal et, par conséquent, de rendre cette

plaque inerte aux métaux notamment en ce qui concerne l'As. L'autre plaque était dépourvue dudit film car les surfaces plastiques généralement adsorbent les micropolluants organiques. Les deux dispositifs disposaient d'une plaque de polyéthylène basse densité pour recouvrir les sargasses en cas de pluie. Les deux plaques étaient surélevées à leurs extrémités de façon à ce qu'elles s'incurvent en leur centre pour y laisser s'écouler le lixiviat, recueilli en contrebas de cette gouttière dans une enceinte maintenue dans un bain de glace. Le volume de lixiviat était évalué et prélevé toutes les trois heures, y compris la nuit. Néanmoins, pour atteindre les quantités requises pour les analyses, les lixiviats d'une même journée ont dû être rassemblés. Tous les transsudats présentaient une couleur rouge brique.

3.3.1.1. Arsenic

Tout comme pour les concentrations en chlordécone dans la phase solide, la concentration de la phase solide en As est restée stable tout au long de l'expérience, oscillant entre 79,8 et 105 mg/kg de MS (moyenne : $89,5 \pm 10,0$ mg/kg).

Contrairement au mètre cube dévolu à l'évaluation de la cinétique de la chlordécone, ce tas a continué à donner des lixiviats en quantité suffisante pour l'analyse de l'arsenic et l'effet de la pluie n'a donc pas été évalué. Les résultats obtenus confirment une perte d'eau constitutive durant la première journée avec des concentrations en As atteignant 8000 µg/L ; le flux journalier d'As atteint 4 mg pour décroître tant sous l'effet de la baisse de volume de lixiviat qu'en concentration (Figure 13).

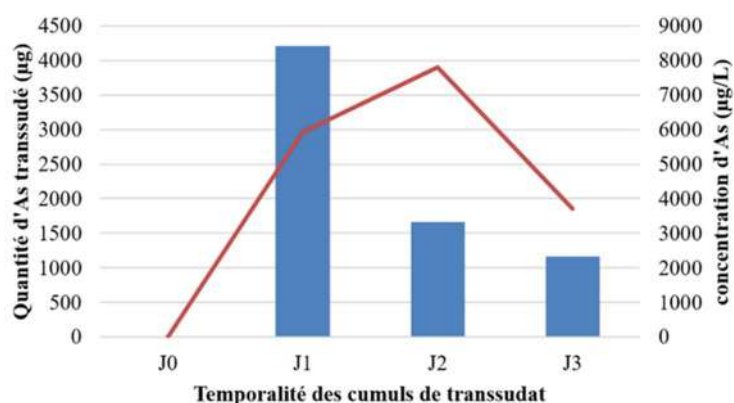


Figure 13 : Concentrations (ligne rouge) et quantités transsudées par les sargasses en condition dite de « laisse de mer » (colonnes bleues).

Cette première étude suggère que les concentrations atteintes dans les lixiviats représentent des valeurs nettement au-dessus des normes environnementales en vigueur pour l'eau (eau potable : 10 µg/L décret 2001-1220 du 20 décembre 2001 ; lixiviat pour rejet en nature : 100 µg/L loi 92-646 du 13 juillet 1992, concernant les lixiviats de déchets la norme s'étage de 0,5 à 25 mg/kg MS). Les concentrations ont atteint 8000 µg/L d'As. Cependant il n'a pas été mesuré de baisse concomitante de la concentration dans la partie solide. Même si ces études mériteraient d'être reproduites afin de mieux comprendre la perte potentielle d'arsenic dans des tas de sargasses elles suggèrent évidemment des effets de concentration d'As dans les lixiviats. Ramené à la question du stockage, la mise hors pluie, sur des surfaces étanches et avec récupération des lixiviats semblent donc des solutions importantes pour limiter la diffusion de l'arsenic.

3.3.1.2. Chlordécone

Sur la durée de cette expérience, il n'a pas pu être constaté une baisse de la concentration en chlordécone. Les traces de métabolites détectées étaient non quantifiables.

Dès le premier jour, une concentration très faible de chlordécone dans le lixiviat a pu être mesurée (0,035 µg/L, ce qui est à rapprocher de l'eau de mer prélevée au Marigot au moment du prélèvement de 0,015 µg/L). Considérant les transsudations, la première phase a correspondu à une phase de perte de liquide (1 litre environ) par les sargasses qui s'est accompagnée de la détection de chlordécone dans le lixiviat (Figure 25). Comme indiqué sur cette figure, les transsudats se réduira progressivement jusqu'à ne plus s'écouler. Des manœuvres de sur-inclinaison n'ont pas permis d'augmenter les volumes recueillis. Néanmoins, sous la couche de 1 à 3 cm d'épaisseur de sargasses devenues grises et sèches, les sargasses restaient fraîches et humides. Le contenu algal (alginate notamment) qui a un potentiel osmotique fort, pourrait expliquer

que le taux d'hydratation des sargasses reste important dès qu'elles ne sont plus en surface –un constat réalisé aussi lors d'autres expériences rapportées ici.

Une fois ce transsudat tari, un épisode de pluie a été analysé pour voir l'effet du lessivage. En effet, une pluie a eu lieu à la 73^{ème} heure d'expérience et a duré 5 min, correspondant à l'équivalent de 4 mm de précipitation. Cette pluie a permis de récupérer du lixiviat qui présentait une concentration en chlordécone de l'ordre de 3 µg/L (Figure 14).

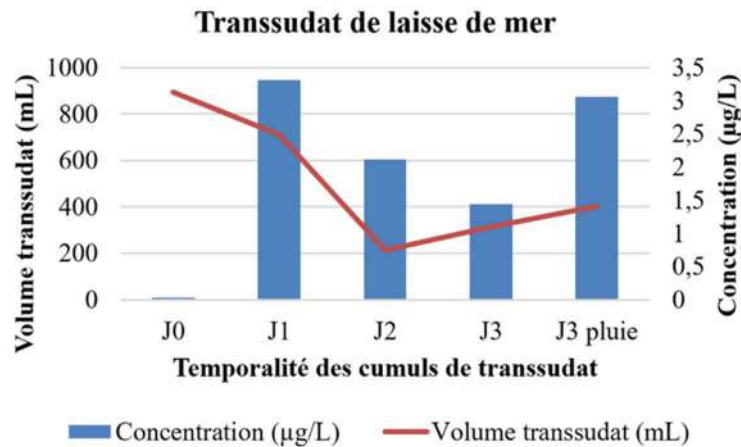


Figure 14 : Concentration en chlordécone (µg/L) et volume transsudé par les sargasses mises à sécher en condition dite « laisse de mer ».

Une autre manière d'apprécier ces résultats a été de calculer la quantité totale de chlordécone transsudée par jour (Figure 15). Le premier jour, seulement 0,03 µg/L ont été lessivés, suggérant que les sargasses ne transsudent pas dès le début de leur séjour à sec (les algues récoltées étaient très fraîches). En tout, l'équivalent du mètre cube de sargasses étudiées a perdu 2,35 µg de chlordécone le premier jour, puis 0,45 µg les deux jours suivants. Le seul épisode de pluie a mobilisé 1,23 µg de chlordécone (Figure 15), une quantité très faible à l'échelle de la laisse de mer simulée.

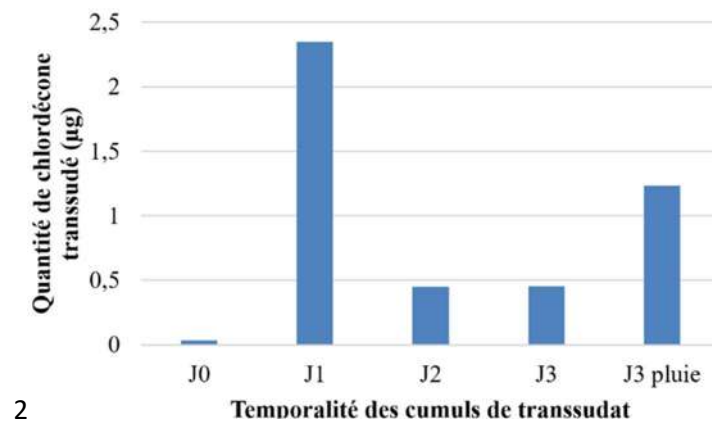


Figure 15 : Quantité journalière de la transsudation de chlordécone, par mètre cube de sargasses en condition dite « laisse de mer ».

3.3.2. Analyses de la partie interne d'un tas de sargasses

Le suivi sur 28 jours de trois conditions de stockage à l'obscurité ont permis d'évaluer sur la durée l'effet tant de la mise sous pression des sargasses que leur arrosage sous des conditions contrôlées. Trois conditions climatiques ont été simulées : (1) l'absence de pluviométrie, (2) l'équivalent de 500 mm de pluviométrie et (3) l'équivalent de 2000 mm de pluie.

Chaque expérience met en jeu 0,2 mètre cube de sargasses fraîches qui ont été échantillonnées au Marigot, zone contaminée par la chlordécone. La mise sous pression s'est réalisée par emboîtement du même contenant que celui dans

lequel ont été placés les 0,2 mètre cube de sargasses, le contenant au-dessus des sargasses contenant 0,1 mètre cube d'eau (100 kg). La condition à sec n'a pas été mise sous pression pour observer le devenir des sargasses elles-mêmes dans un stockage de longue durée.

3.3.2.1. Arsenic

L'évolution des concentrations en As total, As(V) et As(III) sont présentée dans les Figures 16 à 18. Pour les trois conditions, l'As total initial était compris entre 40 et 50 mg/kg de MS, ce qui est relativement peu pour des sargasses fraîches. Au terme de l'expérience, la concentration en As total était autour de 30 mg/kg de MS (Figure 16). Au regard tant de l'incertitude analytique et des fluctuations des concentrations au cours des 28 jours d'expérience, il apparaît que cette valeur ne peut être considérée comme traduisant une baisse significative de la concentration en As total dans les sargasses. Même si l'As(V) (points en rouge sur les figures) est passé de 30 mg/kg (MS) à une valeur finale d'environ deux fois inférieure (Figure 17), nous avons considéré que là encore, il n'y avait pas de différences significatives. La norme dans les lixiviats étant de 0,5 mg/kg MS pour les déchets considérés comme « inerte » à 25 mg/kg MS concernant les lixiviats issus de déchets « dangereux », même si ladite terminologie n'est pas explicite, toutes les concentrations observées sont au-dessus des seuils de référence mais sont inférieurs aux normes pour rejets industriels en nature (100 µg/L).

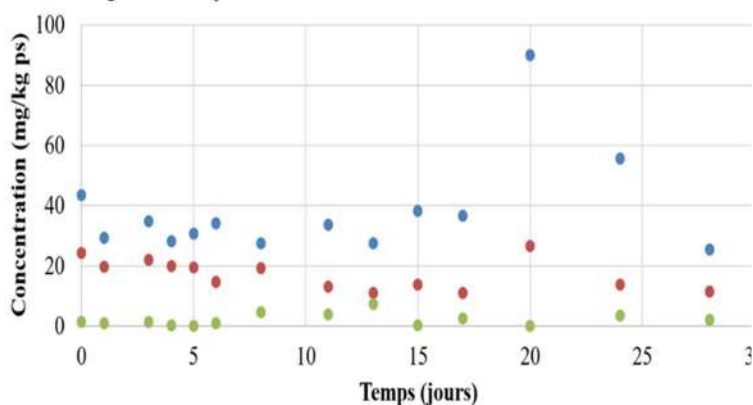


Figure 16 : Évolution de la concentration en arsenic dans les sargasses sans pluie simulée. Les couleurs des points correspondent à : ● As total, ● As(V) et ● As(III).

Les deux expériences de simulations de la pluie montrent là encore des pertes faibles de la concentration en arsenic dans les sargasses (Figures 18 et 19).

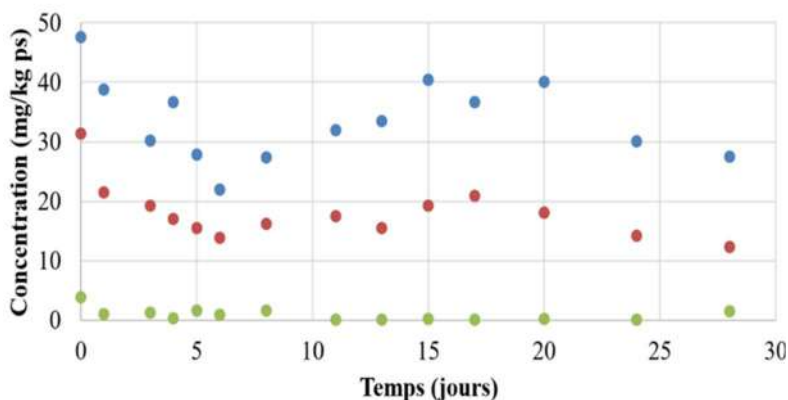


Figure 17 : Évolution de la concentration en arsenic dans les sargasses sous une pluie simulée de 500 mm. Les couleurs des points correspondent à : ● As total, ● As(V) et ● As(III).

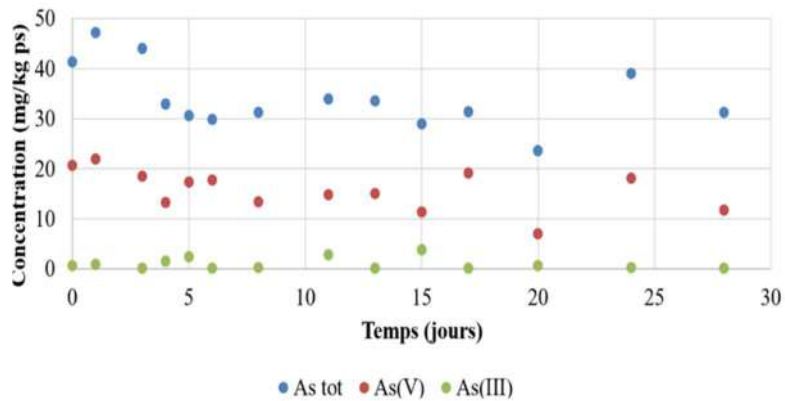


Figure 18 : Évolution de la concentration en arsenic dans les sargasses sous une pluie simulée de 2000 mm. Les couleurs des points correspondent à : ● As total, ● As(V), et ● As(III).

Tout comme les concentrations dans les lixiviats issus de l'expérience de simulation d'une laisse de mer (voir ci-dessus), les lixiviats ont présenté une concentration en arsenic élevée. Néanmoins, ces concentrations en arsenic dans le lixiviat baissent de 3000 µg/L initialement à environ 1000 µg/L au bout de 28 jours (Figure 19). L'arrosage différentiel modifie la quantité d'As lessivé : les volumes lessivés sont quatre fois plus importants dans la condition « 2000 mm » que dans la condition « 500 mm » pour une égale concentration. Il y a donc eu quatre fois plus d'As lessivé (de 9 à 3 mg/jour pour la condition « 2 000 mm » et 2,25 à 0,75 mg/jour pour la condition « 500 mm »).

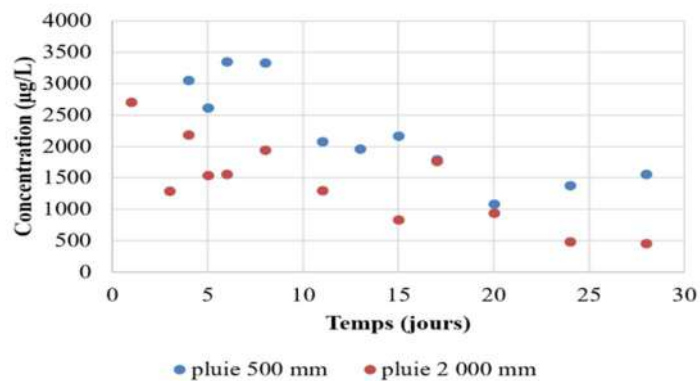


Figure 19 : Concentration d'arsenic dans les lixiviats issus des sargasses en pluie simulée.

Ces expériences réalisées montrent que les concentrations en arsenic dans le lixiviat sont importantes mais qu'elles n'induisent pas nécessairement une réduction des concentrations dans la sargasse de par leur faible volume au regard des quantités de sargasses engagées dans l'expérience.

3.3.2.2. Chlordécone

Une partie des résultats n'ayant pas été obtenue, seuls ceux relatifs aux lixiviats sont présentés ci-dessous. En outre, les concentrations de chlordécone dans les lixiviats n'ont pu être évaluées que sous la condition de forte pluviométrie.

Les expériences réalisées ont montré une concentration du cumul du premier jour équivalent à 2,59 µg/L. Des concentrations les plus élevées ont été observées dans le cumul du second jour (4,47 µg/L) puis les concentrations ont décroché de façon régulière jusqu'à se stabiliser autour de 1 µg/L (Figure 20). Cette baisse d'un facteur 4 corrobore les résultats présentés pour l'As.

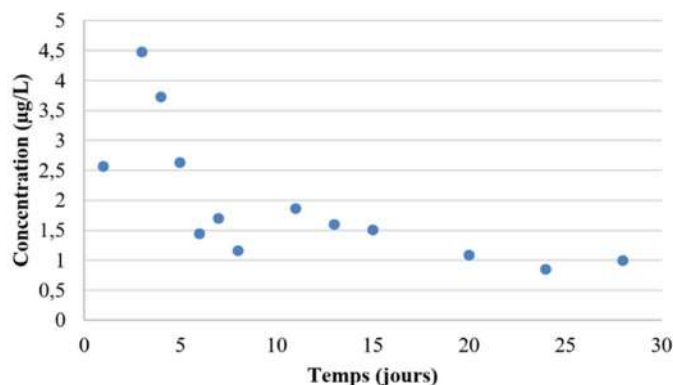


Figure 20 : Concentration en chlordécone dans les lixiviats issus des sargasses en pluie simulée 2000 mm.

3.3.3. Suivi d'un andain pilote

Du 10 juillet 2019 au 2 septembre 2019, un andain pilote a été suivi avec l'aimable coopération de HOLDEX Environnement. Les 8 et 9 juillet, des sargasses à priori contaminées en chlordécone ont été prélevées sur la plage du bourg de Sainte-Marie jusqu'à permettre d'incorporer 32 mètres cubes de sargasses fraîches à un andain composé de déchets verts (provenant de bagasse et d'activités avicoles), de façon à constituer un andain de 300 mètres cubes de section triangulaire après modelage d'environ 2,5 mètres de haut et de 5 mètres de large pour un angle de talutage supérieur à 45 (voir ci-dessus la Figure 23). La section de l'andain tendait à une forme en demi-cercle avant remodelage. L'ensemble du processus industriel a été respecté : nombre et fréquence de retournement, absence d'arrosage. La dalle de la plateforme technique de l'usine est faite d'un béton normé pour être étanche empêchant ainsi le lessivage au-travers de celui-ci. L'eau, tant du fait de la pluie que du lessivage et à l'arrosage, ne pouvait donc que ruisseler à sa surface. L'andain pilote a donc été placé au plus près de l'exutoire pour ne pas contaminer le site et sa production par la chlordécone contenue dans ces sargasses. De même, l'eau produite par l'andain a été séparé de celle produite par les autres de manière à ce qu'elle puisse s'écouler sur le côté libre de l'andain.

Le suivi dans l'andain a été réalisé avec une fréquence décroissante dans le temps. D'abord quotidiens, les prélèvements ont été espacés pour des raisons de coût et de pertinence. Les prélèvements ont été réalisés au milieu de chaque tiers de longueur de l'andain, alternativement en profondeur (à 60 cm sous la surface, à 1,2 m de haut) sur deux points de prélèvement, et en surface dans le cas restant. Chaque prélèvement a été réalisé en triangle, les gros éléments inertes étant écartés (pierres, branches, etc.). En effet, l'échantillonnage dans un tel milieu, par définition hétérogène, restera un point important à prendre en compte dans l'analyse des résultats ainsi que leurs interprétations.

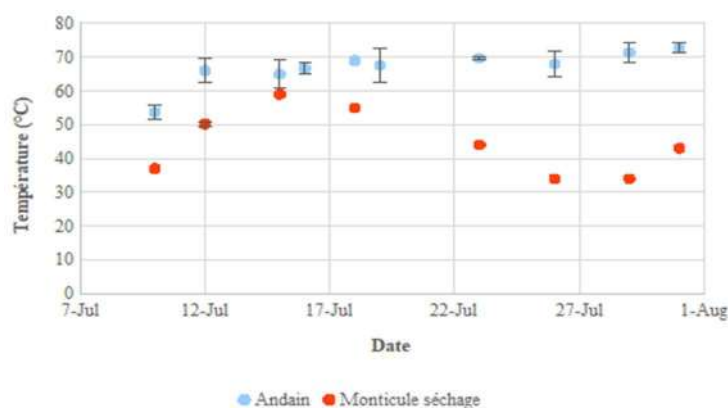


Figure 21 : Température (°C) dans l'andain pilote durant le suivi et dans le séchage.

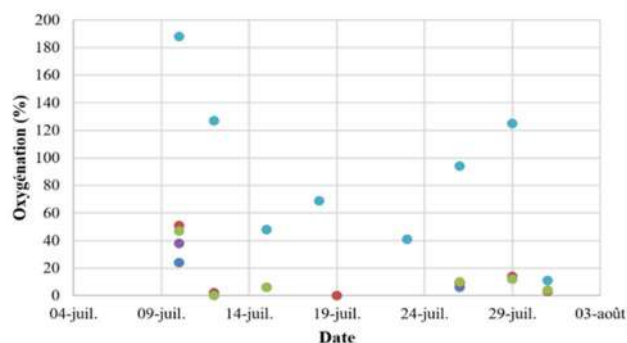


Figure 22 : Oxygénation (%) dans l'andain pilote durant le suivi et dans le séchage. Points bleu azur : tas de sargasses en séchage. Autres points : oxygénation de l'andain.

La température de l'andain, relative à une activité biologique, a été comprise entre 51°C (dès l'andain installé) à 74°C (31 juillet, cf. Figure 21) alors que l'oxygène montre une chute rapide de valeurs initiales comprises entre 20 et 50 % à des valeurs très faibles de quelques pourcents dès le surlendemain (Figures 23). Ces courbes de température et d'oxygénation de l'andain pilote illustrent des conditions thermiques et hypoxiques, ouvrant l'hypothèse de micro-niches anaérobies décrites dans différents articles dont (37-40). Les retournements de l'andain, opérés par enjambeur, apportent une homogénéisation complète mais aussi une oxygénation soudaine. Néanmoins, elles ne visent pas à contrebalancer durablement la fermentation.

3.3.3.1. Arsenic

Analyses de l'andain

La somme des concentrations en As de l'andain pilote a culminé à 41 mg/kg de MS au début de l'expérience (Figure 23). L'As(V) en représentait alors plus de la moitié. Il faut savoir que ces valeurs ne reflètent pas le rapport de dilution attendue entre la quantité de sargasses apportée et la quantité totale de matière dans l'andain (environ 10 % de sargasses en masse). L'andain ainsi formé ne présente donc pas une concentration critique en arsenic. Or, la concentration en As a ensuite diminué : en trois jours, le cumul des concentrations représentait moins de 5 mg/kg de MS, donc une concentration inférieure aux 18 mg/kg MS requis par la norme NFU44095 et dérivées. Cette baisse rapide du cumul des concentrations de chaque espèce d'arsenic est confirmée par la baisse concomitante de la concentration en As total. Au cours de cette expérience, le climat est resté sec et donc la quantité de lixiviats fût limité.

L'évolution des différentes formes d'arsenic montre que ce sont surtout les formes inorganiques qui ont diminuée (Figure 23).

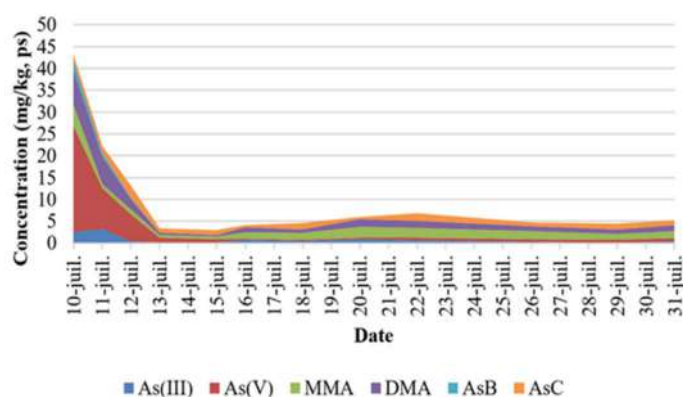


Figure 23 : Concentrations des espèces organiques et inorganiques d'As dans l'andain pilote.

Il est peu probable que ces baisses des formes organiques et inorganiques de l'arsenic soient dues au lessivage (peu de lixiviats récupéré). Or, si le devenir de l'As dans l'andain pilote est comparé au tas de 8 mètres cube, l'une des différences est la température atteinte, tant directement (thermique) qu'indirectement (témoin de l'activité microbienne). La

température et l'implication de micro-organismes dans le processus de fermentation a-t-il un impact sur le devenir de l'arsenic ? En effet, il est possible d'émettre l'hypothèse que l'As inorganique des sargasses pourrait être métabolisé en espèces organiques sous l'effet de la microflore des andains. La température qui accompagne la fermentation constatée est suffisante pour volatiliser lesdites espèces, ne laissant dans l'andain pilote comme As organique résiduel que des espèces dont le point d'ébullition est inférieur à la température dans l'andain.

Analyses des sargasses sous forme d'un tas

Les concentrations dans le tas en séchage ont été stables au centre du tas tandis qu'une tendance à la baisse était observable pour l'As total en surface. Les sargasses de surface, dessiquées, subissent un séchage les réduisant en densité par perte d'eau : la valeur de la matière sèche y dépasse 50 % et les sargasses en surface sont devenues grises et cassantes.

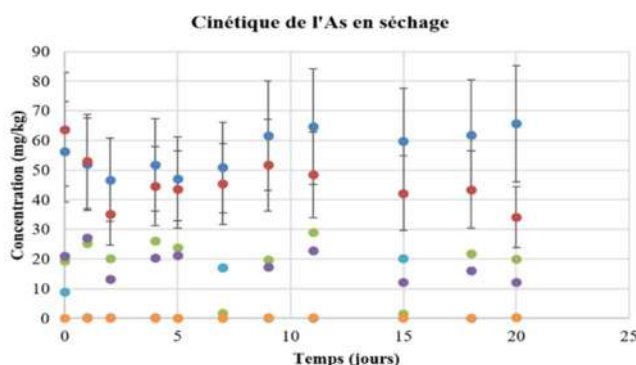


Figure 24 : Concentrations des espèces organiques et inorganiques d'As dans le tas en séchage. Les couleurs des points correspondent à : ● As total en profondeur, ● As total en surface, ● As(V) en profondeur, ● As(V) en surface, ● As(III) en profondeur et ● As(III) en surface.

Études des lixiviats :

La part de la lixiviation a déjà été décrite comme réduite. En effet, les sargasses ont été mêlées à un tas chaud duquel a émergé un lixiviat très limité, séchant à même la dalle de la plate-forme industrielle sur laquelle était sis l'andain lui-même. Il a donc fallu récupérer le lixiviat à la pipette en profitant des légères irrégularités de la dalle pour recueillir des volumes dépassant rarement le millilitre. Quatre échantillons ont pu être collectés : le 10 Juillet (moment où l'incorporation des sargasses avait apporté de l'humidité au reste) et 29 Juillet, suite à une pluie. Effectivement, la durée de l'expérience a été marquée par un temps remarquablement sec ayant permis de faire la part entre le lessivage du tas et la conséquence des pluies (Figure 25).

Le 10 juillet, la concentration en As dans l'eau était proche de celle observée dans l'expérience décrite ci-dessus et intitulée « laisse de mer simulée ». La concentration du lixiviat était de 944 µg/L le 29 Juillet – un résultat à rapprocher de la concentration observée dans l'andain lui-même, dix fois plus faible que le 10 juillet. Les andains conservent donc une capacité à polluer une ressource en eau, et ce probablement tout au long de leur production.

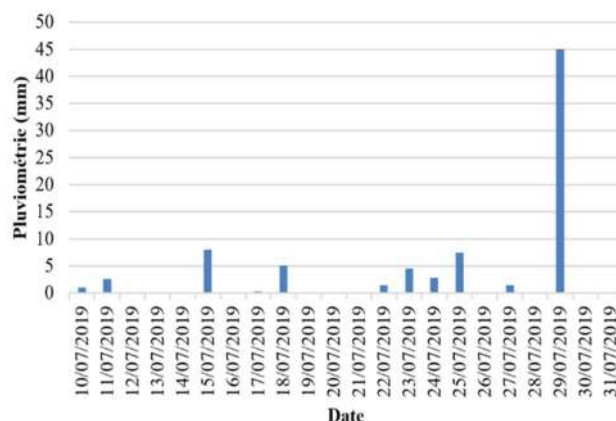


Figure 25 : Pluviométrie du suivi de l'andain-pilote et le séchage concomitant.

La lixiviation du tas de 8 m³ de sargasses en séchage a été suivie. Le tas a été posé sur un film étanche couvrant un plan incliné sous une forme conique d'une hauteur initiale de 1,5 mètres de haut (la hauteur baissera rapidement jusqu'à faire

moins d'un mètre de haut) et autant de rayon. Le lixiviat coulait donc sur le film avant d'être recueilli dans une gouttière aboutissant à une dépression d'une capacité de 80 litres où il fut échantillonné et estimé en termes de volume. La gouttière et la dépression étaient couvertes par le même film de polyéthylène qui couvrait le sol sous le tas. Le film n'a pas été percé lors de l'expérience de telle sorte qu'il ne peut y avoir eu de perte de lixiviat ni de contamination extérieure. Le séchage s'est donc fait en condition extérieure identique à celle décrite pour l'andain. L'effet de la pollution du lixiviat par les poussières industrielles dues à l'activité de l'usine a été évalué par l'analyse de l'eau avant le dépôt des sargasses : la concentration en arsenic s'est avérée inférieure à la limite de détection ($< 5 \mu\text{g/L}$) (Figure 26).

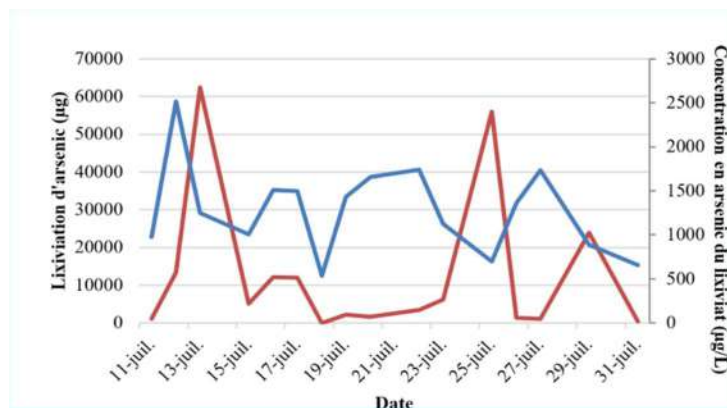


Figure 26 : Lixiviation de l'arsenic, par jour. Rouge : quantité d'arsenic dans les lixiviats, en μg par jour. Bleu : concentration du lixiviat ($\mu\text{g/L}$).

Les 8 m^3 ont produit un lixiviat essentiellement dû au transsudat au début de l'expérience (pluie faible à nulle mais plus de 50 litres lessivés le 13 juillet). La concentration du lixiviat est restée comprise entre 500 et $2000 \mu\text{g/L}$ à une exception le 12 juillet, démontrant la durabilité du potentiel de relargage sur trois semaines (Figure 26). Sur la période considérée, $0,2 \text{ g d'As}$ a été transsudé, soit approximativement l'As contenu dans moins de 4 kg de sargasses (la concentration initiale était de 55 mg/kg de MS).

3.3.3.2. Chlordécone

La concentration en chlordécone a significativement baissé dans l'andain tout au long de l'expérience. D'une concentration initiale dans les sargasses de $60 \mu\text{g/kg}$ de MS, le mélange avec l'andain a abouti à une concentration très fluctuante, conditionnée par la présence ou non de sargasses mêlées à l'échantillon mais aussi à la contamination spontanée de la matière à laquelle les algues ont été mélangées. Retournement après retournement, l'andain est devenu plus homogène et une tendance à la baisse de la concentration de chlordécone a pu devenir manifeste. La Figure 27 présente à la fois la concentration quantifiée mais aussi le domaine d'incertitude dû à la reproductibilité des analyses de chlordécone : d'une concentration initiale après mélange (certes à fort écart-type) de $47,2 \pm 21,5 \mu\text{g/kg}$ de MS, la concentration a progressivement décliné jusqu'à $16,1 \pm 3,5 \mu\text{g/kg}$ de MS.

Cette baisse, tout comme pour l'As, ne peut être justifiée par un processus de lessivage. En effet, outre le fait que le lessivage ait été extrêmement faible depuis l'andain, les concentrations observées lorsqu'il a été possible d'échantillonner assez de liquide pour analyser la chlordécone, la 5b-hydrochlordécone et le chlordécol (11 et 13 juillet) ont confirmé que l'hypothèse du lessivage pouvait être écartée.

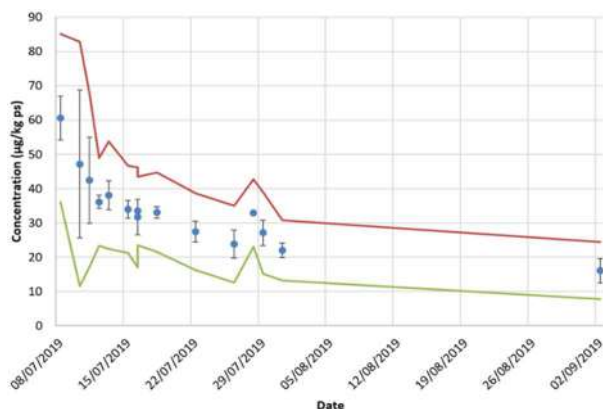


Figure 27 : Concentration en chlordécone ($\mu\text{g}/\text{kg}$ de MS) dans l'andain pilote. Ligne verte : limite basse du domaine d'incertitude. Ligne rouge : limite haute du domaine d'incertitude.

Trois hypothèses peuvent être évoquées : la volatilisation, la dégradation de la chlordécone et l'*aging* :

1. Les molécules de la famille de la chlordécone sont peu volatiles (point de sublimation autour de 350°C) : elles ne peuvent pas avoir été volatilisées durant le processus, et a fortiori dans les proportions importantes requises pour la baisse de concentration observée.
2. La dégradation par les voies connues, par photolyse (41, 42) ou par des voies a priori aérobies (38) produisent la 5b-hydrochlordécone tandis que des voies anaérobies « tièdes » (à température ambiante) produisent un autre mono-hydrochlordécone (voir (43, 44, 45)) que le LDA-26a cherche à détecter. D'autres métabolites de dégradations existent, impliquant des composés polaires à la structure supposée chloroindène. Ils ont été décrits et mentionnent explicitement le milieu anaérobie et chaud (70°C) comme capable de dégrader la chlordécone (46). Or, il s'agit des conditions observées dans l'andain pilote à l'exception de toutes les autres expériences. Même s'il avait été possible de travailler plus en détails cette question, l'absence de détections de mono-hydrochlordécones et de chlordécol dans l'andain tout au long du processus (la 5b-hydrochlordécone a été retrouvée dans le séchage) n'est pas un argument pour écarter une dégradation qui, dans les conditions observées, aurait une remarquable rapidité pour une molécule d'une telle persistance.
3. L'*aging* est un processus de progressive sur-adsorption sur la phase particulaire en fonction du type de carbone qui la constitue. En pratique, les micropolluants organiques sont adsorbés sur la matière organique (47, 48) d'autant plus qu'elle aura une surface développée (dite « surface spécifique ») (49). Il a par ailleurs été émise l'hypothèse que les micropolluants organiques pourraient échapper à la biodégradation en se trouvant séquestrés dans les structures nanoporiques. Ils resteraient vulnérables aux transformations chimiques (hydrolyse, désorption, etc.) et, dans une moindre proportion, physiques (photolyse, thermolyse et changement d'état), ce qui pourrait induire leur « disparition » d'une matière organique déterminée non par destruction ou export mais par la difficulté de les extraire. Cet *aging* peut-il expliquer le résultat observé ? Le protocole suivi pour la quantification de la chlordécone est celui défini par la norme en vigueur. Il implique des bains de solvants et est une méthode d'extraction efficace dans le contexte réglementaire. Il existe pour autant des protocoles plus extracteurs capables de forcer la désorption par l'apport d'énergie (température, pression). À cette fin, il a été procédé à une extraction par extracteur à solvants accélérés (ASE). Les concentrations des deux triplicatas qui ont été extraits, chacun suivant les deux méthodes, n'ont pas été significativement différents : $28,2 \pm 18,7 \mu\text{g}/\text{kg}$ de MS et $29,2 \pm 16,1 \mu\text{g}/\text{kg}$ de MS.

Si les résultats concernant la cinétique de la chlordécone ne permettent pas de trancher clairement entre la dégradation ou toute autre explication faute d'avoir identifié les métabolites produits, l'expérience permet d'écarter clairement les hypothèses alternatives les plus évidentes (*aging* et lessivage).

3.4. Les sargasses, points chauds de biodiversité

Les radeaux de sargasses qui s'échouent sur les côtes des Antilles apportent leur lot de biodiversité mais entraînent aussi des modifications des écosystèmes dans lesquels ils s'échouent et/ou se décomposent. Cependant, alors que la biodiversité, essentiellement la macrofaune, a fait l'objet d'études depuis près d'un siècle, la microfaune a été largement moins investiguée.

Pourtant, les outils du séquençage au débit, dont les approches de *metabarcoding* apportent des connaissances très fines sur la diversité et la dynamique des populations de micro-organismes. Nous pouvons citer l'une de ces rares études qui a porté sur les signatures moléculaires des bactéries associées aux sargasses et à l'eau de mer environnante dans le golfe du Mexique (50).

Pour ce projet nous avons intentionnellement optimisé différents protocoles afin de pouvoir étudier la biodiversité tant eucaryote que procaryote. Nous avons ainsi réalisé à partir de 100 échantillons de sargasses mais aussi de l'eau de mer prélevées aux mêmes sites lors de la campagne 2018 (Figure 28). Les régions amplifiées correspondent à l'ARNr 16S pour les procaryotes et l'ARNr 18S pour les eucaryotes.

Nous avons calculé les abondances relatives en considérant au total ~ 5,3 millions de séquences pour le 18S et ~ 2,8 millions de séquences pour le 16S. Parmi ces 100 échantillons, 55 provenaient de la Guadeloupe et 45 de la Martinique. Pour chacune de ces régions, l'ADN environnemental a été extrait des échantillons de sargasses (19 pour la Guadeloupe et 29 pour la Martinique) ou de l'eau de mer (36 pour la Guadeloupe et 16 pour la Martinique). Pour la Martinique, 9 échantillons proviennent de sites de stockage.

Concernant la diversité eucaryote, nous avons obtenu 17679 OTU (Operational Taxonomic Unit ; « assimilables » à des espèces différentes) avec un seuil de similarité de 99 %. Pour les procaryotes, la diversité totale est de 22214 OTUs avec un seuil de similarité de 97 %.

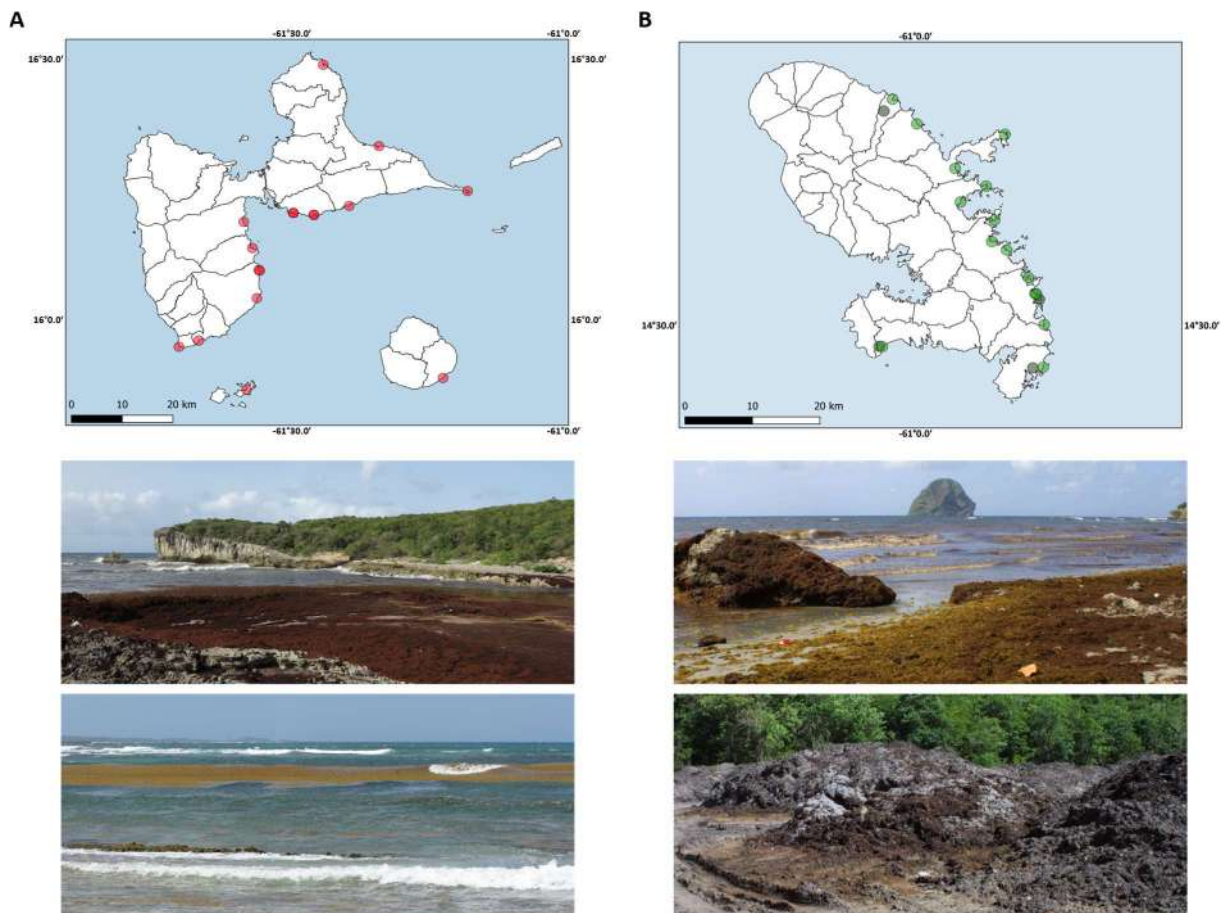


Figure 28 : Cartes des sites d'échantillonnage utilisés pour les analyses moléculaires. (A) Archipel de la Guadeloupe, et (B) Martinique. À cause de la proximité géographique certains cercles indiquant la position des sites peuvent se superposer. Images montrant les espèces *Sargassum natans* et *S. fluitans* accumulées sur les rivages ou sur les sites de stockage. Les photographies correspondent, de gauche à droite et de haut en bas, à la Porte d'Enfer (Guadeloupe), la plage des Raisins Clairs (Guadeloupe), la plage du Diamant (Martinique) et à un site de stockage au Diamant (Martinique).

3.4.1. Diversité eucaryote

L'analyse de la diversité et de l'abondance des phyla eucaryotes montre que les Opisthokonta présentent la plus grande biodiversité (24,9 %) suivi par les Alveolata (22,3 %) et les Straménopiles (20,7 %) (Figure 29). En termes d'abondance, ce sont également les Opisthokonta qui sont plus abondants (48,9 %, les Métazoaires représentant 47,9 % de l'abondance totale) suivis par les Alveolata (21,4 %) et les Archaeplastida (13,1 %) (Figure 29). En outre, les bryozoaires représentent à eux seuls près de 20 % de l'abondance relative totale. Au sein des eucaryotes, les microalgues de type diatomées correspondent à environ 11,3 % et les dinophycées à 7,6 % de la diversité. Un grand nombre d'OTUs au sein du jeu de données recueilli n'a pas d'assignation taxonomique (environ 9,6 % de la diversité totale) malgré l'utilisation de l'une des bases de données utilisées les plus enrichies à l'heure actuelle (PR2), notamment pour les protistes.

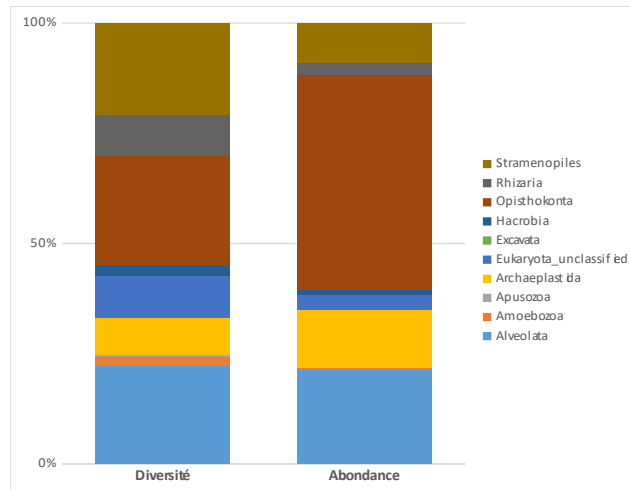


Figure 29 : Diversité totale et abondances relatives des eucaryotes retrouvés associés aux échouements de sargasses.

Pour compléter, nous avons mesuré la diversité dite *bêta* qui consiste à mesurer la diversité des espèces entre les échantillons. L'analyse en coordonnées principales montre que globalement l'on peut différencier les eucaryotes issus des échantillons d'eau de mer et les sargasses (Figure 30, à gauche) et à droite, pour la Martinique entre les sargasses des sites littoraux et celles des sites de stockage (Figure 30, à droite).

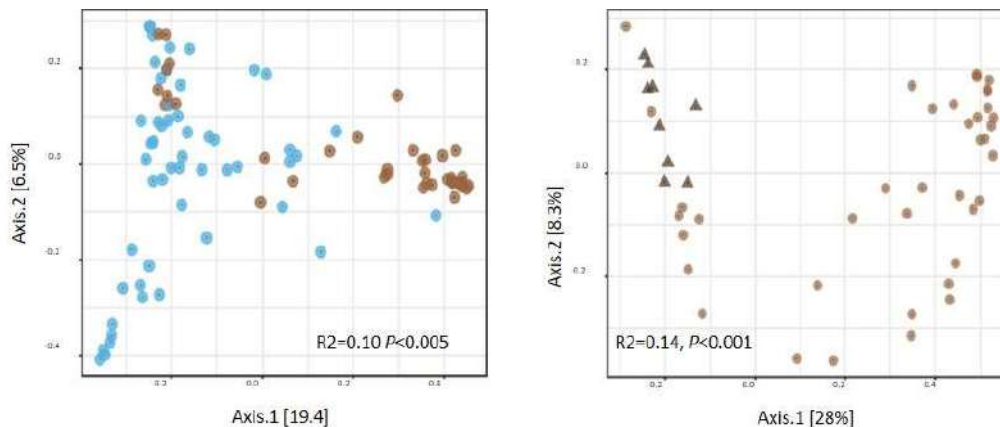


Figure 30 : Analyses en composante principale montrant les différences de composition des communautés eucaryotes en fonction du milieu ou du substrat. Ces analyses en coordonnées principales de la composition des communautés ont été calculées sur la base des distances de Bray-Curtis. De gauche à droite : différences de composition des communautés entre l'eau de mer et les sargasses ou entre les sargasses de Martinique qu'elles soient sur le littoral ou sur des sites de stockage.

Parmi les eucaryotes, il a été trouvé que les bryozoaires sont principalement composés d'épibiontes, les organismes les plus abondants, suivis par des crustacés, des nématodes (classe des Chromadorea), des diatomées (microalgues brunes)

et des Ceramiales (algues rouges). Les procaryotes correspondent majoritairement aux Proteobacteria et aux Bacteroidetes, ces deux phyla correspondant à eux seuls à environ 70 % de l'abondance et de la diversité. Avec dans un ordre décroissant pour leur abondance relative : Flavobacteriales, Vibrionales, Bacteroidales, Chitinophagales, Spirochaetales et Rhodobacterales. Les deux espèces les plus abondantes étant un vibrio suivi d'une cyanobactérie. Ces premiers résultats montrent donc que les échantillons analysés issus de sites d'échouements des sargasses (sargasses + eau de mer des sites d'échouements) présentent une diversité très importante en eucaryotes – allant des microalgues aux nématodes en passant par les champignons, les bryozoaires, les éponges, les poissons et les crustacés.

3.4.2. Diversité procaryote

La diversité procaryote étant particulièrement importante, avec 56 phyla différents et deux phyla de procaryotes non-classifiés, nous présenterons ici les résultats relatifs aux plus abondants et aux mieux décrits. Ainsi la plupart des phyla sont regroupés sous l'appellation OB (Other Bacteria) (Figure 31).

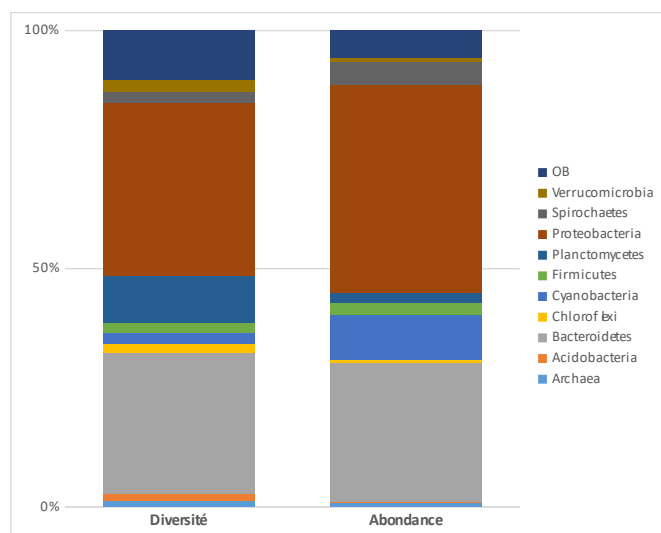


Figure 31 : Diversité globale et abondances relatives des OTUs procaryotes retrouvées associées aux sargasses.

L'analyse de la diversité et de l'abondance des phyla montre, comme pour la majorité des études d'échantillons aquatiques tant d'eaux douces que marines, que les Proteobacteria représentent 36,2 % de la diversité totale et 43,7 % de l'abondance (Figure 31). Ils sont suivis par les Bacteroidetes (29,6 % de la diversité et 29,2 % de l'abondance). Le troisième phylum en termes de diversité correspond aux Planctomycetes (9,9 %) et aux cyanobactéries (9,4 %) en termes d'abondance.

Tout comme pour les eucaryotes, l'analyse en coordonnées principales montre que globalement on peut différencier les procaryotes issus des échantillons d'eau de mer et les sargasses (Figure 32, à gauche) et à droite, pour la Martinique les sargasses des sites littoraux de celles des sites de stockage (Figure 32, à droite).

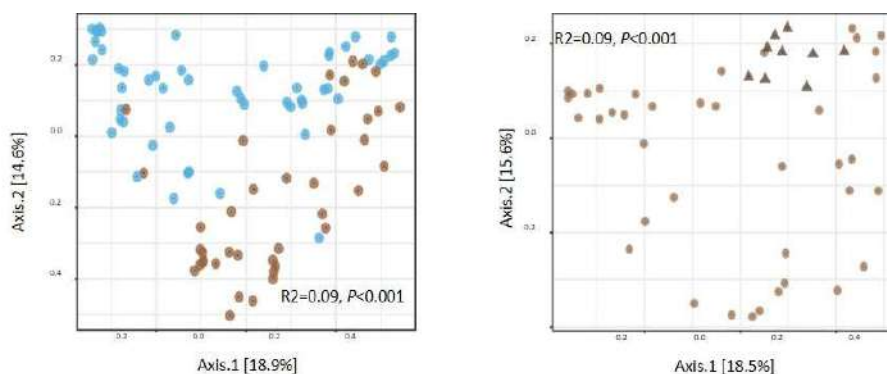


Figure 32 : Analyses en composante principale montrant les différences de composition des communautés procaryotes en fonction du milieu ou du substrat. Ces analyses, en coordonnées principales de la composition des communautés, ont été calculées sur la base des distances de Bray-Curtis. A gauche différences de composition des communautés entre l'eau de mer (point bleu) et les sargasses (point marron). A droite différences dans la composition entre les sargasses de Martinique, qu'elles soient sur le littoral (point marron) ou sur des sites de stockage (triangle marron).

Ces premiers résultats montrent que les sargasses présentent aussi une diversité très importante en procaryotes, avec notamment potentiellement une diversité importante de bactéries pouvant être impliquées dans la croissance des sargasses mais aussi leur dégradation. En effet, un certain nombre d'OTUs correspondant à des bactéries potentiellement impliquées dans la réduction des sulfates et appartenant aux Ordres Desulfobacterales (265 OTUs), Desulfovibrionales (118 OTUs) et Desulfuromonadales (32 OTUs) a été identifié. Des analyses, qui ont fait appel à de la prédiction pour les organismes procaryotes, ont révélé la présence de 491 OTUs pouvant correspondre à des bactéries symbiotiques et parasites et/ou pathogènes pour les hommes et les animaux, avec notamment des séquences apparentées à l'ordre des Coxiellales (comprenant des espèces responsables de la fièvre Q), Rickettsiales (responsable de la fièvre Q, du Typhus ou des fièvres boutonneuses) et Legionellales (agent de la légionellose).

3.5. Pratiques et usages agricoles des algues : construction sociale des réticences aux Antilles françaises

3.5.1. Pratiques et usages agricoles des algues

Nous avons commencé l'étude par une réflexion sur l'usage des algues dans les pratiques d'amendements, dans les différents types de culture pouvant se côtoyer au sein de grandes et petites exploitations : la banane, les cultures légumières, la canne à sucre, les cultures fruitières et florales, et les jardins familiaux.

Pour cette enquête, nous avons rencontré des exploitants agricoles en culture biologique notamment, des pépiniéristes, des commerçants en jardinerie ainsi que des propriétaires de jardins créoles travaillant en biologique ou en raisonné, dont le dénominateur commun est l'utilisation habituelle de fertilisants de toutes sortes. Pour diverses raisons, nous n'avons pu rencontrer d'exploitants de bananeraies ou d'exploitants en agriculture conventionnelle.

Le jardin créole, présenté comme un écosystème protégé et proche de la maison, consiste en un ensemble de plantes médicinales et de plantes et légumes alimentaires. La biodiversité par association est utilisée. Dans cette culture vertueuse, les pratiques d'amendement sont naturelles : « L'utilisation du compost naturel obtenu à partir de déchets verts, d'excréments d'animaux de basse-cour ou de petit élevage (poule, lapin, cochon, mouton, etc.) est privilégiée pour amender le sol. C'est pour cela que très souvent, le cultivateur ou le jardinier amateur associe au jaden [« jardin » en créole] une activité d'élevage de sorte à disposer en permanence de la matière pour l'enrichir. »(51). L'auteur de cette thèse poursuit : « Mise à part l'association des cultures pour favoriser la lutte biologique, le jardinier et le cultivateur utilisent aujourd'hui des biopesticides. Ce sont des traitements à base de végétaux ou de produits non polluants. ». Parmi les nombreuses préparations, cette auteure cite le purin (le plus utilisé), la macération, l'infusion et la décoction. Les plantes du jardin ou des préparations à base de

savon noir par exemple servent d'insectifuges, d'insecticides, d'herbicides ou de fertilisants. L'auteure montre aussi que la pratique de la permaculture existe et utilise une biomasse, formée par un ensemble d'« êtres vivants végétaux, animaux, ou micro-organismes ». Il n'est pas fait mention d'utilisation de ressources marines telles que les algues ou les herbiers. Devant le peu de traces écrites trouvées lors de la synthèse documentaire, nous nous sommes alors tournés vers les interlocuteurs afin d'interroger leur mémoire individuelle.

D'après les entretiens réalisés lors de cette enquête, qu'ils soient enregistrés ou exploratoires, les usages populaires des algues, appelées communément « wawet » en créole martiniquais et « varech » en créole guadeloupéen, existaient jusqu'à il y a quelques années. D'après les récits entendus, elles jouissaient d'ailleurs d'une bonne réputation autant à terre qu'en mer puisque des pêcheurs avaient l'habitude de lier des radeaux d'algues, de riches biotopes et « DCP naturels » (expression fréquemment employée par les interlocuteurs), à leurs bateaux de manière à pêcher des espèces pélagiques notamment des dorades. Sur les rivages, les algues échouées constituaient également une ressource occasionnelle commune grâce à ses qualités reconnues collectivement de fongicide et insectifuge. Une même chaîne opératoire a été décrite par les différents interlocuteurs se référant à des pratiques des « anciens » ou « grandes personnes », c'est-à-dire la génération des grands-parents des interlocuteurs :

1/ Les algues étaient récoltées alors qu'elles venaient de s'échouer sur le rivage, ou à peine séchées (pratiques artisanales à corréliser avec les différents états de sargasses étudiées pour Eco3Sar) ;

2/ Puis, elles étaient répandues sans mélange en petites couches autour des arbres fruitiers ou accrochées aux branches.

Les interlocuteurs qui se souviennent de ces pratiques, indiquent qu'elles ne leur semblaient pas répandues. Cependant, des pratiques plus larges ont pu avoir lieu, mais le corpus restreint en nombre et comprenant essentiellement des agriculteurs sur petites exploitations ou des cultivateurs informels, ne permet pas d'argumenter cette hypothèse. En ce qui concerne la Martinique, la zone convoitée pour la fraîcheur et la qualité de ces algues se situait sur la côte Atlantique, vers Grand-Macabou et vers Tartane, où ces pratiques se sont encore poursuivies jusqu'au début des années 2010 et pendant les premiers grands échouements. En ce qui concerne la Guadeloupe, ces informations n'ont pas été collectées. Certains interlocuteurs connaissent ces pratiques maraîchères par ouï-dire, d'autres les ont vues réaliser par leurs grands-parents ou un entourage de cette génération (née aux alentours des années 1940) par d'autres membres de la structure familiale. Un interlocuteur quarantenaire, commercial en jardinerie au Lamentin (Martinique), produisant lui-même pour son jardin du terreau, ainsi que du fumier de cabris, de cheval ou de mouton, évoque l'usage de ces algues par ses grands-parents : « *je les ai vu faire [dans les années] 70, 80, et c'était utilisé pour pouvoir détruire certaines maladies des arbres, et les insectes des arbres.* » Puis, cette pratique réalisée dans la perspective d'une lutte biologique et héritage d'une pratique plus ancienne encore ne s'est pas poursuivie sur la génération suivante : « *Tout simplement parce qu'il y a de moins en moins de jardins, et que la nouvelle ère nous a amené [...] beaucoup de solutions chimiques. Je pense que nos grands-parents n'avaient pas accès à ce genre de choses-là donc ils faisaient avec les moyens du bord et avec ce qu'ils avaient hérité de leurs ancêtres. Nous, nous sommes arrivés avec les traitements chimiques. On a un problème avec les cochenilles, on a un traitement contre les cochenilles. On a un problème avec les pucerons, on a un anti-pucerons. Donc, on va en grande-surface et on achète un produit. Tout le côté naturel a perdu son sens.* »

Une interlocutrice mère au foyer cinquantenaire du quartier Frégate (commune du François, côte Atlantique, Martinique) rappelle elle aussi les usages de ses grands-parents : « *[quand] ma grand-mère [...] habitait ici quand j'étais enfant [dans les années 65/75], il y avait toujours des algues, et son jardinier allait avec sa brouette prendre des algues et mettait au pied des arbres fruitiers. On a toujours connu ça nous.* » Cependant, elle précise que « *ce n'étaient pas les mêmes algues* » : sans pouvoir les définir avec exactitude, elle ajoute qu'elles étaient de couleurs différentes et surtout moins abondantes. Une autre interlocutrice interrogée sur le sujet, retraitée de l'Education nationale habitant à Pointe Hyacinthe (commune du Robert, côte Atlantique, Martinique) et très incommodée par la vue et l'odeur des sargasses, utilisait elle-même et voyait utiliser des algues –et non des sargasses renchérit-elle- lorsqu'elle habitait à Tartane : « *Ce que les gens ne comprennent pas c'est qu'il faut faire la différence entre les petites algues et les sargasses. Les petites algues utilisées dans l'agriculture ne sont pas les sargasses, elles ne forment pas de radeaux. Elles chassaient les nuisibles et à Tartane, les gens venaient prendre de grands sacs remplis d'algues mais c'était les petites algues. Les gens prenaient des algues sèches ou mouillées, mais elles n'avaient pas la même texture [...] ne sentaient pas* » Il est intéressant de noter que la description des « algues » est souvent imprécise et sommaire. L'enquête a montré –dans la limite du corpus– qu'il n'est pas considéré comme important de classer des algues et encore moins de les nommer autrement que par « wawet » ou « algues » en y ajoutant un qualificatif de taille ou de couleur. Apparemment, ces distinctions étaient jugées suffisantes pour l'usage qui en était rapporté dans ces entretiens. Une enquête plus fine sur les savoirs naturalistes pourrait éclaircir ce point.

3.5.2. Une continuité des pratiques depuis 2011 ?

Quels que soient les types d'algues, on leur reconnaissait un bon pouvoir fongicide et insectifuge. Si l'on pouvait concevoir avant les crises répétées des sargasses le transfert de ressources marines, il pose désormais plus de problèmes. Qu'en est-il spécifiquement de l'utilisation des sargasses ? L'interlocutrice de Frégate raconte avoir eu l'occasion de réaliser une observation directe du pouvoir fertilisant des sargasses : « *Ce qui m'a interpellé c'est que la première fois que les sargasses sont arrivées [en 2011], il y avait plein de petites pousses de mangrove, évidemment mon mari et moi on a enlevé [...] ça veut dire que c'est du bon compost, parce que tout le long là, c'était fraîchement arrivé et deux mois après ça commençait à germer. Cela montre que ce qui est néfaste c'est la décomposition. Ça veut dire que ça peut être bon pour le terreau. [...]* ». Cette riveraine conserve une vision somme toute positive de la sargasse et de ses qualités intrinsèques alors même que lorsque nous avons réalisé l'entretien, le taux d'hydrogène sulfuré était de 8 ppm. Par ailleurs, elle avait dû précédemment quitter sa maison à plusieurs reprises à cause des effets de la décomposition des sargasses.

Ces pratiques d'amendement informel ont été racontées comme persistantes au tout début des échouements de sargasses. Un agriculteur quarantenaire travaillant depuis plus de 20 ans ses champs en biologique sur les hauteurs de Basse-Pointe (côte Nord Martinique) raconte son expérience avec ce qui constitue des « *barrières contre les mollusques et les escargots* » : « *j'ai utilisé les algues autour des greffes, autour des arbres fruitiers, mais il n'y a pas eu de suivi [par le GRAB, Groupe de recherche en agriculture biologique]. On savait [que ça fonctionnait], les algues sargasses sont riches en potasse, en urée, donc ça amène du sel [...] marin, ce n'est pas du sel chimique, et puis ça désinfecte aussi autour des troncs d'arbres* ». Un commerçant en jardinerie lui aussi confirme cette utilisation positive en paillage dont il a entendu parler.

Ces récits reflètent les observations présentées dans différents rapports dont celui du Ministère des outre-mer¹⁰. À propos des épandages et compostage d'algues, le rapport souligne qu'ils répondaient à des « *besoins locaux, par exemple l'amélioration ou le maintien des taux de matière organique notamment dans les sols ferrallitiques et les vertisols ou les apports potassiques pour la canne. [...]* Les sargasses sont réputées localement pour leur effet antiparasitaire soit par incorporation au sol, soit par accrochage aux arbres des vergers. ». Ce rapport, qui se penche sur plusieurs solutions de valorisation des sargasses, considère comme « *Un atout [...] l'utilisation ancestrale d'algues dans les deux îles (« varèche »). En ce sens, les questionnaires communaux recueillis à l'occasion de la mission mentionnent des utilisations agricoles. »*

Dans un entretien avec le maire de Sainte-Anne (Côte Sud, Martinique) publié dans le quotidien *France-Antilles* (23 septembre 2011) sous le titre « *Les sargasses n'ont rien de toxique.* », réfute l'idée de toxicité des sargasses et préférerait s'orienter vers une exploitation de celles-ci : « *Ces algues seraient même bénéfiques pour la peau. Nous avons toujours eu des sargasses en Martinique. Et il n'était pas rare de voir les baigneurs se frictionner avec elles. [...] Avec les sargasses on gagnerait à envisager l'éventualité d'une nouvelle donne climatique. Dans ce cas, il s'agit de structures à mettre en place et de mentalités à changer* »

Lors des deux premières années d'échouement, la presse locale diffusait en effet des messages positifs quant à l'utilisation des sargasses pour l'agriculture. Ainsi le 17 septembre 2011, dans les pages de *France-Antilles Guadeloupe* trouve-t-on cette affirmation : « *Cette algue est un engrais magistral pour les ignames et autres légumes du jardin.* ». Cette même année, *France-Antilles* rapporte déjà des projets de valorisation des sargasses, une préoccupation constante si l'on en croit le nombre d'occurrences dans ce quotidien (255 citations des termes « valorisation » et « valoriser » sur un ensemble de 663 articles).

En 2019, les propriétés bienfaites des algues sont toujours approuvées par une interlocutrice gestionnaire de l'environnement à Capesterre-Belle-Eau (Sud-Est de Basse-Terre, Guadeloupe), qui précise qu'avant tout, il s'agissait d'un traitement traditionnel pour lutter contre les pucerons sur les citronniers. Elle ajoute avoir fait l'expérience avec les sargasses entreposées sur les sites d'épandage « *[...] On a fait la démonstration à un moment donné parce qu'on avait un terrain de la collectivité qu'on pouvait utiliser pour pouvoir les récupérer et en matière de décomposition on [obtenait] que du sel, du sable [...] au fur et à mesure. Il y avait un champ d'exploitation de cannes qui était à proximité et l'exploitant récupérait ces éléments pour voir effectivement quels résultats [...] de production pour la canne à sucre et on a eu des résultats plutôt positifs en matière de développement et rapidité pour la production en matière cannière* ».

¹⁰<https://ree.developpement-durable.gouv.fr/donnees-et-ressources/ressources/publications/article/le-phenomene-d-echouage-des-sargasses-dans-les-antilles-et-en-guyane>

De même un gestionnaire de l'environnement à Petit-Bourg (Est de Basse-Terre, Guadeloupe) a tenté l'expérience, fort de ses connaissances sur le pouvoir fongicide des algues. Il introduit aussi le concept de bioaccumulation de produits nocifs mais qui disparaîtraient par lessivage en mer : « *c'est un produit d'ailleurs qui est naturel qui a effectivement subi des chocs à partir des produits qui ont été traités au niveau du Brésil. Mais du fait d'avoir fait le parcours, ces produits ont tendance à se lessiver, ce sont des produits d'origine naturelle, ce sont des plantes. [...] Et la démonstration a été faite, j'ai moi-même eu l'opportunité de l'utiliser pour les plantes que j'avais. Notamment, il y avait le problème [...] des bananeraies où les feuilles jaunissaient donc j'ai dû couper et j'ai mis ces algues autour des bananeraies [...]. Le résultat était plus ou moins satisfaisant. Je parle de mon côté, je ne parle pas sur le plan général donc il y a beaucoup d'études qu'on aurait pu faire à partir de ces éléments. Comme je vous l'ai dit en métropole, on utilise les algues brunes pour pouvoir faire du plastique [il cite aussi l'utilisation pour faire du remblai dans la construction]. Si c'était de l'or, je pense [que les entrepreneurs] se seraient battus pour tout ramasser [...] mais le fait que c'est quelque chose qui est déjà en matière d'odeur qui a tendance à créer des nuisances, les gens n'en veulent pas c'est comme ça, c'est tout ce qui est mauvais on n'en veut pas.* ».

Considérer ces sargasses comme des plantes naturelles plutôt que comme des « hybrides » de nature et d'industrie semble être prédominant chez les interlocuteurs qui ont des jardins et ceux impliqués dans la gestion du problème. Dans l'action et l'expérimentation face aux échouements, ils ont l'avantage d'être au plus près des sources de connaissances et de conseils des instituts agronomiques et environnementaux plus en général.

Cependant tous les interlocuteurs ne sont pas unanimes aujourd'hui quant aux bénéfices des sargasses. En effet, à partir de l'année 2015, des informations concernant les métaux lourds commençaient déjà à être diffusées dans la presse, même si les occurrences les plus fréquemment diffusées dans la presse locale concernent les conséquences de la décomposition (« gaz », « hydrogène sulfuré », etc.). Nos entretiens montrent qu'une rupture s'installe dans l'utilisation de l'algue en tant qu'épandage à partir de la diffusion en 2018 du document de synthèse pour les agriculteurs intitulé *Sargasses & Agriculture : utilisation déconseillée en épandage direct*, publié par la Chambre d'agriculture de Martinique, IT2, Le Centre technique de la canne et du sucre et le Service d'expérimentations en agroécologie –SEA– de la Collectivité territoriale de la Martinique. Le document mettait en garde contre les risques de salinisation des sols et indiquant que la pratique n'avait aucun effet fertilisant. Le document incitait à arrêter immédiatement cette pratique maraîchère informelle. Par ailleurs, l'usage en agriculture fut aussi freiné par les constats de plus en plus évidents de symptômes chez les riverains.

Entendons par exemple cette interlocutrice, professeure d'histoire-géographie à la retraite, qui cultive un vaste potager sur les hauteurs du Robert (côte atlantique, Martinique), avec pour ambition l'autosuffisance alimentaire. Elle avait pris l'habitude de collecter des sargasses dans le site de stockage près du stade de sa commune. Grâce à elles, affirme-t-elle, ses légumes étaient devenus plantureux. Nous nous rendons toutes les deux le jour de l'entretien sur le site et constatons sa colonisation par des plantes. Elle a arrêté le collecte lorsqu'a été éditée en 2018 la plaquette de *Sargasses & Agriculture* (voir Annexe, Figure 51). Elle hésite à venir en récupérer désormais, étant dans le doute quant aux précautions édictées sur la plaquette : est-ce un fait avéré, une rumeur, voire même une « *jalousie* » ? Puisque les plantes avaient un taux de croissance tel avec ce produit naturel ramassé gratuitement, quelqu'un aurait-il pu vouloir le récupérer financièrement, soupçonne-t-elle ? Cette interrogation n'a rien de saugrenue. Elle fait partie du dispositif de doutes et de surdité sélective qui accompagnent la réception de la communication institutionnelle. En effet, les informations diffusées sur la toxicité des algues ne sont aucunement considérées comme neutres, et amènent la société civile à les interroger et à se les approprier à l'aune de l'héritage historique et des tensions politiques et dans le contexte actuel du scandale sanitaire lié à la chlordécone.

À entendre plusieurs interlocuteurs, les sargasses ont donc été mises de côté pour l'instant pour la ressource maraîchère. Elles restent cependant encore un auxiliaire de pêche pour les pêcheurs amateurs (les pêcheurs professionnels n'ont malheureusement pu être interviewés). Un pharmacien à la retraite, adepte de la pêche sportive dans la Caraïbe, dira avec allégresse, lors d'un entretien exploratoire à Fort-de-France : « *La sargasse est une bénédiction !* ». Cet autre interlocuteur, ingénieur chimiste trentenaire et créateur d'un blog sur la pêche, appartient à la nouvelle génération de pêcheurs. Il décrit celle-ci comme respectueuse de l'environnement, pratiquant une pêche vertueuse par le « *no kill* » (ou « prendre et relâcher », pratique souvent utilisée désormais dans les zones polluées ou interdites à la consommation), adhère à la philosophie des *surf riders* collecteurs de déchets sur les plages. Selon lui, « *cette génération considère les sargasses comme une opportunité, tandis que le pêcheur à l'ancienne verra ça comme une menace, parce que la ligne se prend dans les algues. Pour les jeunes, s'il y a des sargasses on y va, pour avoir le maximum de sensations, même si le poisson n'est pas bon à manger, c'est pour le plaisir de pêcher [...] Pour moi, les sargasses ça attire les poissons, protection, nourriture et éventuellement oxygénation de l'eau [...] Pour l'instant ça m'arrange les sargasses car il y a les poissons dessous mais il ne faudrait pas qu'il y en ait trop tout de même.* ».

Ressource ou méfait, le statut de l'algue a donc considérablement changé au cours de ces sept dernières années. Cependant, mis à part pour les pêcheurs sportifs cités ci-dessus, son statut évolue plutôt vers une nuisance.

3.5.3. Rhétorique en temps de crise

La sargasse devint de plus en plus un épouvantail cristallisant non seulement les craintes de pollution aux métaux lourds et à l'arsenic mais également des maux plus politiques et logistiques, notamment lors des longs et importants échouements de 2018. Mettre des mots et une explication sur le problème de l'abondance, son origine et l'imputation de la responsabilité, est une première étape qui peut se résoudre par ce qui peut s'apparenter à des rumeurs. Nous avons entendu sur le terrain deux explications sur la formation des radeaux avec une mise en avant de synchronicité dans des événements survenus même à distance géographique des Antilles : le premier événement cité est la catastrophe de Fukushima (séisme de magnitude 9 du 11 Mars 2011 associé à un tsunami ayant emporté 19 000 personnes et une catastrophe nucléaire) et le deuxième (parfois cités par les mêmes interlocuteurs) le soupçon d'un accident survenu sur une plateforme pétrolière américaine dans le Golfe du Mexique. Dans la presse, ces explications de l'apparition des sargasses par le biais d'un accident industriel ne sont pas relayées mais d'autres termes apparaissent. Une étude plus approfondie de la rhétorique utilisée pour qualifier la sargasse permettrait de déterminer les dynamiques en cours sur l'évolution de son statut et de sa transformation dans les projets de valorisation. La sargasse devient une matière assimilée par la presse à un « fléau », au fur et à mesure des échouements.

La question de la terminologie est importante dans la construction et l'orientation du regard et la presse se fait l'écho d'une préoccupation constante au fil des années en utilisant le terme de « phénomène(s) » par exemple (442 occurrences sur 663 articles) (voir en annexe Fréquence des occurrences - quotidien France-Antilles 2011-2019). La recherche a été effectuée dans la presse selon les thématiques de valorisation/santé publique/économie, responsabilité/causes/écologie/actions de ramassage/typologie des sargasses/terminologie. Étymologiquement, un « phénomène » est en philosophie (1719) un « fait qui frappe par sa nouveauté, son caractère extraordinaire » (Centre national de ressources textuelles et lexicales, <https://www.cnrtl.fr>). La deuxième occurrence est le(s) « problème(s) » (360 occurrences), puis le(s) invasion(s) (356 occurrences), « catastrophe » (167 occurrences) et « crise(s) » (125 occurrences).

Ces termes traduisent la sensation d'invasion et le caractère extraordinaire des arrivées de sargasses. L'approche sociologique permet de catégoriser ces figures de la prolifération. La présence abondante et les nuisances que les proliférations d'espèces entraînent ont fréquemment « une connotation péjorative ». Les sociologues Claeys et Sirost ont établi quatre figures de représentations de la prolifération. En ce qui concerne l'arrivée des sargasses, nous pouvons nous rattacher à deux de ces figures : d'une part le « pullulement, qui renvoie à l'abondance désordonnée des espèces et est associé au désordre des sociétés humaines et au grouillement de la foule » et d'autre part, dans une moindre mesure, « l'hybride, qui renvoie au croisement naturel ou artificiel de deux espèces à la faveur de la rencontre des technologies issues de la révolution industrielle et du monde rural » (52).

Dans la même période de réalisation de l'étude Eco3Sar, une analyse textuelle était effectuée par Méliane Gnamba, étudiante en Master Géographie, Aménagement, Environnement, Développement, Parcours Transitions Environnementales et Sociétales de l'université de Poitiers(53). S'appuyant sur un corpus restreint de 8 entretiens réalisés à distance avec différents acteurs sociaux vivant en Guadeloupe et sur 20 articles de presse, son analyse permet néanmoins de visualiser la récurrence de la terminologie catastrophiste :



Figure 33: Visualisation créée à partir de données de perception issues de la presse, des publications d'internautes et questionnaires semi-directifs sur la sargasse. Réalisation : Gnamba Méliane. 2019, [extrait de son mémoire, p. 34. Avec son aimable autorisation].

Cette rhétorique est fortement axée sur une perception négative de la sargasse avec la prédominance des termes « catastrophe », « menace » et « fléau ». On relève le terme « compost » cependant. Cette terminologie est en général exprimée en début d'entretiens ou lors de conversations informelles brèves. Nous avons constaté sur le terrain que le catastrophisme était assez souvent nuancé lors des entretiens longs et que la presse s'était aussi fait l'écho très rapidement de projets de valorisation. Ainsi, les occurrences concernant la valorisation signalées en orange dans le tableau de la fréquence des occurrences dans le quotidien Frances-Antilles 2011-2019 (voir en annexe Figure 52) sont de 255, celles du compost/compostage de 99 et celles d'engrais de 78.

Les termes « métaux lourds », « arsenic », « hydrogène sulfuré », « ammoniac », « H₂S », « NH₃ », « toxicité » (signalés en rouge dans le tableau des occurrences) effraient pour la charge symbolique qu'ils transportent. Pourtant, ils apparaissent assez peu dans la presse. Le terme « arsenic » n'apparaît que 9 fois. Ces termes rejaillissent pourtant fortement dans les entretiens, la presse n'étant pas l'unique vecteur des représentations. L'article paru dans Le Canard enchaîné en août 2018 (Figure 34) met en relief ces caractéristiques des algues, « gorgées de chlordécone » et « imbibées d'arsenic » et s'interroge de façon ironique sur leur potentielle valorisation.



Figure 34 : Article paru dans Le Canard enchaîné, 1er août 2018.

3.5.4. Les effets sensibles de la sargasse

La suspicion la plus forte et celle amenant à plus de réticence pour l'acceptabilité d'une valorisation des sargasses en amendement, est bien, comme l'épingle *Le Canard enchaîné*, la présence de métaux lourds ou d'arsenic, potentiels polluants invisibles à l'œil nu mais dont l'évocation est constante et fréquemment source d'angoisse. Les interlocuteurs se sentaient d'ailleurs concernés par l'enquête pensant qu'Eco3Sar allait pouvoir établir des données précises sur les taux de contamination, et faire le partage entre données scientifiques et rumeurs, entre « vrai » et « faux ». Or, la sargasse engendre aussi des suspicions sur sa dangerosité du fait des conséquences visibles liées aux émanations de gaz lors de la décomposition sur les rivages après 48 heures. Les dysfonctionnements des objets déplorés par les riverains de la côte atlantique martiniquaise deviennent des symptômes d'un problème écologique et géopolitique et signes visibles de risques sanitaires (Ménez, 2019). Au-delà de la seule perception de ces risques, le CHUM recense des céphalées, troubles digestifs, vertiges, toux, rhinorrhées (20) potentiellement attribués aux dégradations des sargasses.

Les récits de la mise en danger et de la prévention du danger accordent une grande part au lexique olfactif. Dans la presse, les occurrences concernant les odeurs et leurs causes sont nombreuses : « gaz » (265 occurrences pour 663 articles), « odeur(s) » (262), « décomposition » (153), « hydrogène sulfuré » (151), « nauséabond(es) » (59) et « œufs pourris » (33). Le site de l'Union régionale des Médecins libéraux de Martinique (<https://www.urml-m.org/en-action/sante-environnementale/sargasses/>) met en garde contre l'hydrogène sulfuré en ces termes : « *Son odeur caractéristique d'œuf pourri est perçue à des niveaux très bas, environ 0,02 à 0,03 ppm (parties par million). [...] Le meilleur des capteurs est le nez humain, car il est bien plus sensible que les capteurs portatifs (seuil à 1 ppm, lorsque l'odorat perçoit entre 0,2 et 0,3 ppm).* » Le Haut Conseil de la Santé Publique (HCPS) ainsi que l'ARS donnent des recommandations pour la prévention et la protection des personnes contre les émanations de H₂S et de NH₃.¹¹ Les signes visibles de la dégradation de l'environnement et des objets familiers ont un effet délétère sur l'état psychologique des habitants victimes des échouements de sargasses. Les pannes matérielles sont considérées comme l'expression d'un dysfonctionnement des artefacts (Ménez, 2019) qui permettraient de démontrer les symptômes et maladies des riverains. Les épisodes de crises environnementales agissent comme révélateurs des modes relationnels entre les collectifs et le corps, celui-ci « *étant un des lieux critiques où se lisent le plus aisément les rapports entre l'individu et la société et le sens même du rapport au monde* »(54).

Les effets psychologiques sont également pris en compte en santé publique. Mais au-delà de cet impact, selon un questionnaire de l'environnement en Guadeloupe, il existe aussi une peur, un affolement car « *dès que la sargasse arrive, c'est la psychose.* ».

À partir des données recueillies jusqu'à présent, nous pouvons émettre l'hypothèse qu'il existe très schématiquement trois systèmes interprétatifs, montrant une corrélation forte entre la relation aux risques, notamment sanitaire, et la perception de la valorisation. Ces trois systèmes de pensée, qui ne sont pas établis de manière pérenne mais circonstancielle à l'enquête, ont des frontières poreuses. Un facteur important est l'expérience sensible, qui correspond au temps d'exposition quotidien et qui affecte la sphère corporelle. La limitation ne se fait pas à une zone géographique impactée, puisque les individus peuvent aussi être préoccupés par des parents qui en seraient affectés.

¹¹<https://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=515> et <https://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=270>

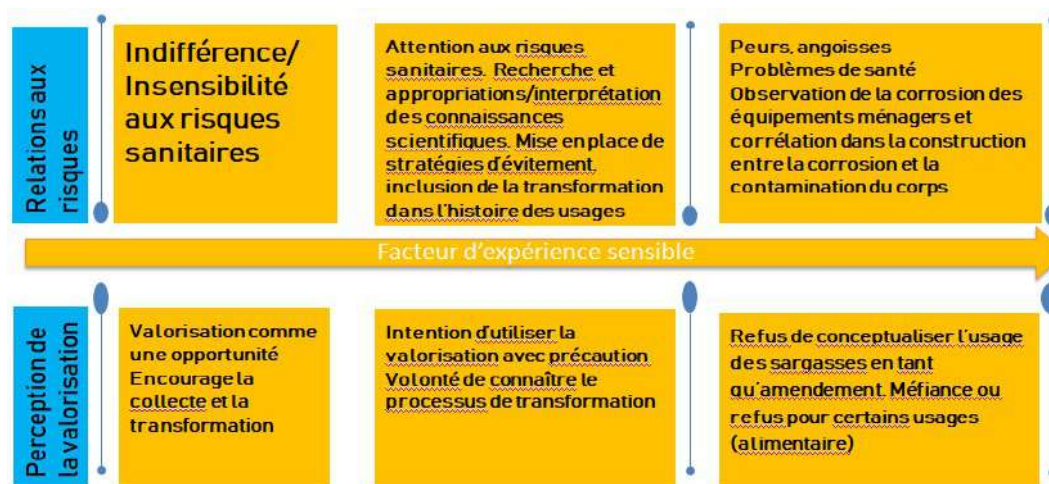


Figure 35: Systèmes interprétatifs schématisés d'après les données de l'enquête de terrain. D'après Florence Ménez 2019.

3.5.4.1. Indifférence / insensibilité aux risques

Cette catégorie d'acteurs sociaux (11 entretiens semi-directifs) a une vision et une proximité souvent sporadiques des échouements. En règle générale, ces personnes ne résident pas près du rivage, continuent à pratiquer la pêche récréative ou du *kite surf* quand bien même pour pratiquer ce sport, il faut traverser plusieurs mètres englués dans les sargasses. Ils considèrent majoritairement la valorisation comme tout-à-fait acceptable et y voit même une solution pour favoriser le nettoyage des plages. Des touristes pratiquant des activités nautiques et ne vivant pas sur le littoral, ont ainsi déclarés pouvant s'adapter à ces accumulations de sargasses. Par exemple, sur la plage de la Pointe Faula (côte Atlantique, Martinique) contrastaient les attitudes des pratiquants amateurs de sports (Annexe, Figure 48, photographie 6) avec celles des moniteurs de voile professionnels, ces derniers étant dans l'obligation de rester la journée à proximité des algues. Un biais est à relever quant à ces approches déclarées sans réticences : plusieurs de ces personnes ne possédaient pas de jardins et ne s'intéressaient pas aux pratiques de maraîchage. On peut par conséquent émettre l'hypothèse que l'acceptation d'une valorisation des sargasses en amendement était plus de principe que de pratique.

Par contre, d'autres interlocuteurs dans cette catégorie avaient des activités de maraîchage mais gardaient une vision positive de la valorisation lorsqu'elles ne souffraient pas d'exposition chronique ou n'étaient pas liés intimement à des personnes exposées. Pour les agriculteurs rencontrés par exemple un nouveau type d'amendement est une aubaine à tenter, s'il peut augmenter la rentabilité, comme l'explique un agriculteur de Basse-Pointe : « Si on pouvait régler ce problème, faire partir les habitants lorsque les sargasses arrivent, et puis utiliser toute cette manne naturelle pour l'agriculture, parce que si on veut développer l'agriculture biologique ça c'est une solution aussi, et personne n'a encore vraiment bien réfléchi. » Il est d'ailleurs prêt à faire l'expérimentation lui-même et à la soumettre au GRAB. La confiance dans la ressource est telle qu'un risque sanitaire potentiel ou des résultats d'une étude écotoxicologique sont dans ce cas non envisagés. Cependant, il serait important que les données éco-toxicologiques de l'enquête puissent être communiquées et servir pour assurer une absence de risque sur ces méthodes et ainsi permettre aux agriculteurs de mener des expérimentations tout en étant assurés de respecter la réglementation en vigueur (voir aussi dans les recommandations en 4.5).

3.5.4.2. Attentions, évaluations, vigilance

La deuxième catégorie que nous pouvons pour l'instant établir est composée d'acteurs sociaux (9 entretiens semi-directifs) qui se sont déclarés prudents mais non réticents. Ils souhaitent s'approprier des connaissances sur la surveillance, se préoccupent de la présence de capteurs près de leur domicile ou bien en achètent, et regardent les taux de polluants au quotidien sur leurs capteurs ou sur le site de *Madininair* (en ce qui concerne les acteurs sociaux habitant en Martinique, cette donnée d'enquête n'étant pas présente pour le volet Guadeloupe). Ces interlocuteurs demandent le plus souvent de la transparence sur les données toxicologiques ainsi qu'au niveau du processus de réalisation des produits issus des sargasses. Ce sont des personnes qui s'informent, recherchent des responsabilités, réclament une prise en charge, qui sont actives dans des mobilisations collectives et qui accompagnent les innovations. Ces acteurs sociaux ont en général une connaissance des usages passés des algues aux Antilles.

Par ailleurs, ils se protègent des effets de la décomposition, développent toutes sortes de stratégies d'évitement de ce risque : évitement matériel (« on remonte les vitres pour ne pas prendre l'odeur ») et évitement symbolique. On peut citer dans cette catégorie le responsable de jardinerie à Fort-de-France qui pense utile, voire salutaire de valoriser les sargasses comme solution de ramassage : « tant qu'à faire autant s'en servir, soit la récolter, soit l'enlever des plages, mais qu'elles servent tant qu'à faire. [...] je dis que y a une solution à tout problème, pour moi c'est la nature de toute façon, on ne peut pas aller contre la nature, [...] si elle arrive c'est que je pense qu'elle va nous servir à quelque chose à un moment ou à un autre, j'espère que c'est pas juste négatif, après c'est vrai qu'esthétiquement c'est moche, ça nous pollue plus visuellement les plages, et après ça nous pollue aussi olfactivement ». D'autres acteurs sociaux travaillant dans des jardinerie ou des agriculteurs n'ont aucun problème avec l'idée de réaliser des amendements avec des sargasses. Ils connaissent bien le processus de leur dégradation et les mélanges qui peuvent être faits. Ils exigent par contre de la transparence surtout au niveau des données toxicologiques et du processus de réalisation des produits issus des sargasses. Certaines interlocutrices dans ce cas se disaient favorables à l'essai d'amendement pour les fleurs mais surtout pas pour les légumes par peur d'incorporation de substances nocives.

3.5.4.3. Refus

La troisième catégorie regroupe les personnes (8 interlocuteurs) les plus exposées aux odeurs, qui ont des problèmes de santé ou qui ont dû bouleverser leurs habitudes, voire déménager. Les récits de trajectoires sociales modifiées par les sargasses sont nombreux. L'impact sur la santé est l'un des plus importants problèmes posés par les sargasses, et qui oriente la représentation de la valorisation des sargasses en amendement. Lorsque la santé d'une personne est atteinte, celle-ci exprime l'impression de « vivre dans un enfer » causé par la présence des sargasses. Les interlocuteurs ont exprimé auprès des enquêteurs leurs peurs et leurs angoisses face à ces sargasses, par le biais notamment de l'usage récurrent de termes considérés comme négatifs tels « arsenic », « hydrogène » et « ammoniac ». Ces termes reviennent très souvent dans les discours des interlocuteurs pour qualifier la dangerosité des sargasses, contrairement à leur occurrence faible dans la presse locale. Une des difficultés à conceptualiser la sargasse en ressource réside dans la question de la transformation d'une matière dont l'odeur « d'œuf pourri » est éprouvée physiquement par les interlocuteurs. En effet, la distance avec le problème physique, le fait de « prendre l'odeur » ou non, de ressentir des symptômes (difficultés respiratoires, céphalées, problèmes digestifs et cutanés entre autres) ou non, tracent une frontière dans l'avis émis sur la valorisation de la sargasse en amendement (voire dans un autre produit). L'éloignement des lieux impactés ou l'expérience sensible changent considérablement la représentation de la sargasse.

Prenons un exemple caractéristique : une habitante de Pontaléry (quartier du Robert, côte Atlantique de la Martinique) ayant l'impression de « mourir à petit feu » et qui ne souhaite plus prononcer le mot « sargasse » préférant les appeler les « saletés », « les bêtises » et expliquant avoir développé un traumatisme, mais aussi un asthme chronique, à cause de la présence abondante et nauséabonde de ces algues dans son quartier. Elle n'habite pourtant pas aux abords immédiats du rivage, mais sa qualité de vie et sa sociabilité ont été très impactées dans la zone du collège Robert 3qui a dû fermer à deux reprises à cause des dangers potentiels encourus par les scolaires. Une autre interlocutrice, gestionnaire de problèmes environnementaux en Guadeloupe, pour qui les sargasses représentent un « cauchemar » dit ne pas être du tout favorable à cette revalorisation, notamment en tant qu'engrais car elle la considère comme un danger pour la santé et pour les sols. Elle invoque la présence de métaux lourds et d'ammoniac qui l'empêche de croire en de potentiels produits à base de sargasses. Un couple de métropolitains, habitant depuis trois ans à Sainte-Marie (côte Nord de la Martinique) et très engagé dans les mobilisations exprime le même refus : « moi en l'état actuel des choses j'achèterai jamais du terreau de Martinique, fait avec de sargasses, pour mon potager surélevé, jamais de la vie. » Son mari, tout en rappelant qu'il a appris que le ramassage des algues pour les plantes était une pratique locale, renchérit : « On ne le fait pas, surtout que s'est déconseillé par l'ARS ».

Une interlocutrice retraitée de l'éducation nationale, riveraine d'une baie au Robert, nous relate l'état de santé de son mari, dont elle impute la responsabilité à la décomposition des sargasses. Dans sa pratique quotidienne de prévention, elle calfeutre les fenêtres des chambres. Malgré ses précautions, l'intérieur de sa maison se dégrade. Pendant l'entretien, elle nous montre pour preuves de cette dégradation, ses bijoux qui régulièrement noircissent, et le carrelage de sa salle de bains constellé de moisissures (Annexe, Figure 48, photographies 1 et 2). Quand nous abordons la possibilité d'une valorisation de la sargasse en amendement, elle la refuse catégoriquement, ayant lu dans des articles diffusés sur internet que les sargasses contenaient de l'arsenic, ce qui l'effraie encore plus que l'hydrogène sulfuré. Elle achète pour entretenir son jardin du « caca poule » à une entreprise du Sud recommandée par un ami. Elle est satisfaite de « profiter de ce qui est là », de la production locale. Elle déclare avoir lu, sans avoir cherché à en savoir plus, que cet entrepreneur « désintoxiquait » cet amendement. Lorsqu'elle nous a montré le sachet d'amendement, nous avons constaté qu'il s'agissait d'un produit d'HOLDEX

Environnement. Il s'agit donc ici de la construction d'un savoir profane pour palier à des peurs générées par l'expérience sensible.

3.6. La gouvernance territoriale recentralisée

Nous retenons pour cette étude deux ensembles de résultats :

Un premier ensemble concerne le volet de la gouvernance impliquée, c'est-à-dire les niveaux de compétences et de responsabilités des acteurs considérés et leurs éventuelles évolutions et adaptations suite aux périodes d'échouements intenses.

Un deuxième ensemble de résultats porte sur les choix de la valorisation en amendement par rapport aux autres possibilités de valorisation

3.6.1. Les acteurs socio-politiques concernés, du local aux services de l'Etat.

Le système des acteurs concernés par la gestion des échouements est résumé à partir des tableaux sur la gestion des opérations sargasses (voir Tableau 25).

A partir de ces tableaux, il semble ressortir que les articulations entre échelons des collectivités locales (commune, EPCI, département et région) et les services déconcentrés de l'Etat sont plus importantes dans le cas de la Guadeloupe que de la Martinique (où les échelons du département et de la région sont regroupés dans celui de la Collectivité unique). En Guadeloupe, la structure spécifique du SIPS (Syndicat intercommunal des plages et des sites touristiques) joue un rôle majeur pour une approche d'ensemble. Celui-ci, dont le siège est implanté au sein de la sous-préfecture de Pointe-à-Pitre, a été créé pour favoriser les relations entre les communes, la préfecture et les sous-préfectures, en d'autres termes pour faciliter l'articulation entre l'échelon local et national. Le travail d'actualisation des données et de vérification, en lien avec les maires, lui octroie une fonction de cellule de crise avec une veille constante. Cependant, en raison du nombre plus réduit d'entretiens réalisés en Martinique par rapport ceux faits en Guadeloupe (voir tableau en Annexe), un prolongement de ces recherches permettrait de voir si une s'il existe réellement des différences de mode de gouvernance entre la Guadeloupe et la Martinique, face aux échouements.

A l'échelle municipale, à partir des exemples des communes du François et du Marigot, nous pouvons observer que l'articulation entre l'échelon communal et l'échelon de la communauté des communes (EPCI) essaie d'être en coordination avec les services de l'Etat. La gouvernance territoriale peut être schématisée de la façon suivante pour la commune du François (Figure 36).

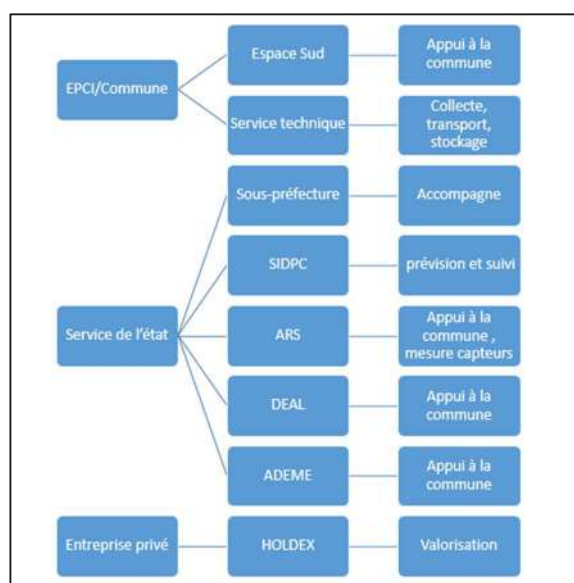


Figure 36: Schéma de gouvernance pour la commune du François en Martinique. Source : Séné S., 2019, p. 67.

Le schéma suivant résume la gouvernance territoriale pour le cas de la commune du Marigot (Figure 37).

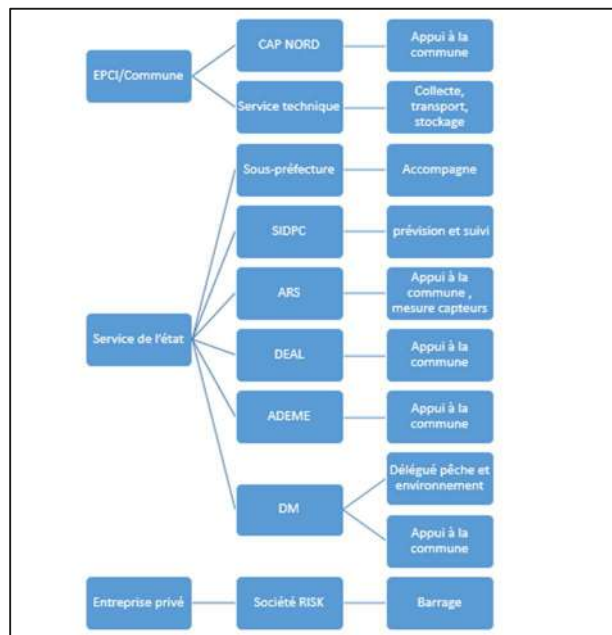


Figure 37 : Schéma de gouvernance pour la commune du Marigot en Martinique. Source : Séné S., 2019, p. 64.

Depuis 2014, les crises successives liées aux échouements ont eu pour conséquence le renforcement du travail de conseil des services de l'État auprès des communes les plus affectées, comme celles du Robert, du Marigot et du François en Martinique ou de Sainte Anne en Guadeloupe. Ceci s'est traduit par une recentralisation au profit d'un contrôle plus important par les services des préfectures en lien avec les services de l'État concernés. La gouvernance territoriale semble se recentrer au profit des compétences nationales.

3.6.2. La valorisation en question

En matière de valorisation, la réalisation d'un amendement doit respecter un certain nombre de points afin de permettre le retour au sol du produit : collecter des sargasses avant échouement, limiter l'excès de sable dans les sargasses, respecter la norme NF U44 051, procéder au rinçage et séchage des sargasses, pour enlever l'excès d'eau et de sel.

En Martinique, le centre de valorisation CVO SMTVD (Centre de valorisation organique Syndicat Mixte de Traitement et de Valorisation des Déchets, géré depuis 2014 par les trois EPCI, et soutenu par l'ADEME) a réalisé un essai sur la réutilisation des sargasses. Cet essai n'a pas été mené à terme car le taux en arsenic des sargasses collectées était supérieur à la norme NF U440-51. Les sargasses utilisées pour réaliser l'essai ont été récupérées sur le site du Marigot car ces sargasses présentent des caractéristiques favorables au traitement. La plateforme de compostage Terraviva sur la commune de Ducos a elle aussi testé le compostage d'un lot de sargasse, mais n'a pas finalisé les essais, se rendant compte qu'ils étaient trop éloignés des sites de collecte et qu'ils avaient de la difficulté à recevoir des camions de sargasses pour les tests.

L'entreprise privée HOLDEX environnement, basée dans la commune du François, récupère les algues sur les sites non contaminés par la chlrodécone pour la valoriser en amendement organique. Les algues sont stockées dans des aménagements en casiers puis utilisées à des fins d'amendement. Les sargasses échouées sur la côte de Frégate Est 2, au François, ne sont pas amenées pour être traitées chez HOLDEX environnement.

En Guadeloupe, l'entreprise privée SITA VERDE a mis en place un protocole pour la collecte des sargasses afin de les réutiliser en amendement. Lorsque les sargasses arrivent sur la plateforme par camion, elles ne sont pas stockées mais sont directement utilisées dans le processus de transformation organique. Un protocole sur la qualité des algues doit être respecté, avant d'être acheminées par camions, afin de permettre leur utilisation en amendement. C'est pourquoi les algues sont collectées en mer avant d'avoir échoué sur le littoral. En effet, en s'échouant sur le littoral, le volume de sable prélevé avec les sargasses devient trop élevé et les algues deviennent impropres à l'utilisation. L'autre entreprise privée SORECTA,

dans la commune de Sainte-Anne, qui fait partie de l'Appel à Projet (AAP) du protocole sargasse lancé par l'ADEME en 2015, a réalisé des essais d'amendement calcaire enrichis en sargasses, estimés concluants. La fabrication permet l'utilisation de matières fraîches humides, fraîches, sèches, stockées humides et stockées sèches. L'entreprise récupère les sargasses dans le bassin sud de Grande-Terre, à la Riviera du Levant. Cette valorisation est riche en apport organique.

Une des limites à la valorisation en amendement est que les entreprises privées qui se situent sur la Grande-Terre, en Guadeloupe, ne collaborent pas suffisamment avec les communes qui sont impactées par les échouements massifs. C'est le cas de la commune de Sainte-Anne, où l'entreprise SORECTA ne prévoyait pas, en 2019, de collaboration en lien avec la valorisation des sargasses.

4. Recommandations

4.1. Composition en éléments des sargasses

Nous rapportons ici les valeurs moyennes obtenues et les extrema en mg/kg de matière sèche (Figure 38).

Les concentrations moyennes obtenues dans les sargasses sont de :

- 0,45 mg/kg (min = 0,18 et max = 1,48) pour le cadmium,
- 1,1 mg/kg (min = 0,25 et max = 11,7) pour le cobalt,
- 4,27 mg/kg (min = 0,9 et max = 68,5) pour le cuivre,
- 3,82 mg/kg (min = 1,53 et max = 7,64) pour le nickel,
- 11,4 mg/kg (min = 1,77 et max = 167,1 ; avec deux valeurs mesurées très au-dessus des autres) pour le chrome,
- 7,4 mg/kg (min = 1,0 et max = 43,7) pour le zinc,
- 0,55 mg/kg (min = 0,08 et max = 4,37) pour le plomb.

Il apparaît donc que les sargasses ne sont pas contaminées par les métaux à des taux au-dessus des normes autorisées et que, au regard de la littérature internationale, elles ne présentent pas de phytoaccumulation remarquable. Les données de la littérature rapportent parfois des concentrations variables d'une espèce à l'autre voire d'une publication à l'autre pour une même espèce (Annexe, Tableau 31 et 32). Ces métaux ne semblent pas présenter d'enjeux environnementaux, ni un défi à la valorisation des sargasses sous forme d'andain.

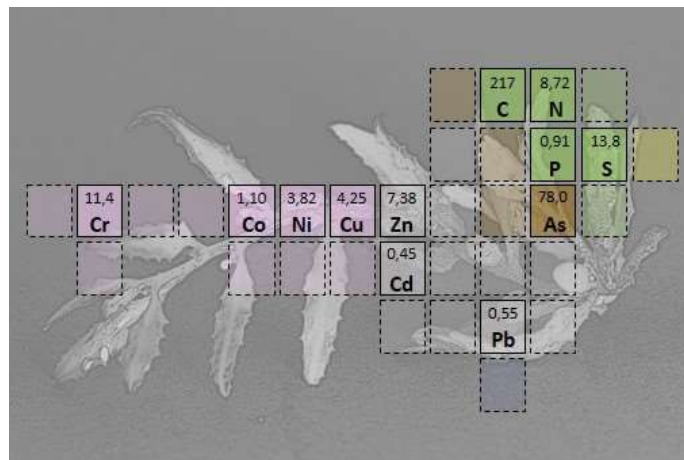


Figure 38 : Tableau périodique des sargasses. Les valeurs indiquées correspondent aux moyennes des analyses et sont en mg/kg de matière sèche sauf pour C, N, P et S où elles sont en g/kg de matière sèche.

L'arsenic est, par contre, phyto-accumulé dans les sargasses avec une moyenne, mesurée sur 227 échantillons, de 78 mg/kg de matière sèche (min = 8,0 et max = 156,1). L'accumulation de l'arsenic se fait en mer. Cette étude montre aussi que la quantité d'As totale pouvait baisser de manière significative tant pour les sargasses sèches retrouvées sur le bord de plage que pour celles des sites de stockage.

La présence d'arsenic dans les sargasses impose donc un traitement adapté des échouements : laisser les sargasses en eau induit la transsudation de quantités potentiellement importantes d'arsenic dans la colonne d'eau. Les conséquences environnementales du relargage d'une partie de l'arsenic issu des sargasses n'ont pas fait l'objet de la présente étude. Néanmoins il est important de poser la question de son devenir dans les réseaux trophiques et des possibilités de bioaccumulations par certains organismes consommés ou non. Dans tous les cas, il est évident que la collecte de sargasses encore fraîches peut permettre de réduire l'apport d'arsenic dans l'environnement marin. Evidemment le devenir des sargasses collectées et donc de l'arsenic qu'elles contiennent restent réel sur les sites de stockage et de valorisations.

Cette étude montre aussi que les lixiviats de sargasses peuvent contenir des concentrations très élevées (pouvant être supérieures à 5000 µg/L). A l'échelle internationale, la norme pour les eaux est de 10 µg/L (OMS, US EPA, Union Européenne, France) à 25 µg/L (Santé Canada). Les lixiviats pourraient donc être astreints à une gestion spécifique. L'expérience pilote réalisée a montré que le traitement dans un andain permet une dissipation rapide de l'arsenic mais impose de pratiquer sur une installation classée, comme cela a été le cas.

4.2. Chlordécone, un contaminant organique ramené à la côte

La chlordécone, pesticide inscrit à la Convention de Stockholm relative aux polluants organiques persistants (POP), est présente dans les sols mais aussi les eaux douces et marines des Antilles Françaises. Dans le milieu marin, la présence de chlordécone et sa bioaccumulation le long de la chaîne trophique a amené les autorités à mettre en place, par différents arrêtés préfectoraux et interministériels, des zones de restriction et d'interdiction de la pêche et de la commercialisation des produits pêchés pour certaines rivières puis étendues aux espaces maritimes côtiers de la Guadeloupe (pour différents secteurs de la Basse-Terre) et de la Martinique (secteurs côte au vent et baie de Fort-de-France). La présence de chlordécone dans le milieu marin est démontrée notamment dans la matière organique en suspension, les biofilms ou la matière végétale (« turf algal », les macroalgues et les herbiers de phanérogames) (55) indiquant ainsi la capacité de certaines algues brunes présentes dans les zones polluées de Martinique et de Guadeloupe, à accumuler cette molécule.

Par ailleurs, il est depuis longtemps montré que différentes espèces d'algues (des lignées brunes, rouges et vertes) sont capables d'accumuler dans leurs milieux naturels différents types de micropolluants organiques allant des pesticides aux hydrocarbures aromatiques polycycliques ou aux polychlorobiphényles (voir par exemple : (36, 56-59)). C'est ainsi que, les macrophytes comme d'autres algues ont été proposées pour réduire la contamination des milieux, restaurer les écosystèmes ou développer des approches industrielles.

Dans ce contexte, les résultats du projet complètent et étendent nos connaissances sur la contamination par la chlordécone des sargasses échouées sur les côtes de Guadeloupe et Martinique. Comme indiqué ci-dessus, nous avons analysé une quinzaine de sites en Martinique et près d'une vingtaine pour l'archipel de la Guadeloupe. Pour les deux territoires, les résultats démontrent l'absence de chlordécone dans les sargasses prélevées sur les zones ne correspondant pas à celles de restriction de la pêche. Pour les zones de limitation/restriction de la pêche nous avons montré que certaines hétérogénéités des concentrations mesurées, allant de quelques µg/kg de MS de sargasses jusqu'à un maximum de 1,9 mg/kg de MS de sargasses pour la plage des roseaux à Capesterre-Belle-Eau ou 0,58 mg/kg de MS de sargasses pour Quartier Bac en Martinique (pour une illustration, voir la Figure 39).

Le projet Eco3Sar a permis à nouveau de soulever la question de l'hétérogénéité spatiale et temporelle de la concentration en chlordécone dans les sargasses. La variabilité spatiale est illustrée sur les cartes et celle temporelle vient du constat qu'en moyenne les concentrations mesurées lors de la campagne du début 2019 étaient toujours supérieures à celle de la campagne de 2018 (facteur 1,5 à 2). Sans avoir d'explication réelle, il est à constater que les sargasses issues de la campagne 2019 provenaient d'arrivage récents, au contraire de la campagne de 2018, suggérant une influence des processus de dégradation, de lessivage, de séchage sur site, voire éventuellement à cause de différences dans les concentrations marines en chlordécone.



Figure 39 : Présence de chlordécone dans les sargasses échouées sur les plages des Antilles (Guadeloupe, Martinique).

Ces connaissances acquises sur la présence de chlordécone nous semblent essentielles pour les populations, le stockage et la valorisation des sargasses et nous permettent de poser la question de la mise en place de protocoles de surveillances systématiques de la contamination en chlordécone qui pourraient notamment se faire par extension des prérogatives des observatoires de la chlordécone (Observatoires de la Pollution aux Antilles pour la Chlordécone, OPA-C) et probablement être inclus dans le plan chlordécone IV (2021-2027).

4.3. La valorisation par l'approche amendement

La souplesse de la production d'amendement est, avec les aménagements qui conviennent de surface de dalle, de récupération de lixiviats et de prise en charge de co-réactifs (déchets verts ligneux...), la voie de valorisation qui a été étudiée au cours de ce projet.

Eco3Sar a illustré l'importance de la contamination des sargasses dérivantes par l'arsenic, un résultat qui était attendu. Dans le cadre du suivi des tas de sargasses, la faible baisse de la concentration en arsenic, lorsque les sargasses sont sorties de l'eau et mises en tas, a permis d'illustrer que le processus observé dans l'andain pilote divergeait des autres situations étudiées. En effet, dans l'andain pilote, sans phénomène de lessivage remarquable, la quantité d'arsenic, indifféremment des espèces, a rapidement décroché jusqu'à atteindre des concentrations rapportées par HOLDEX Environnement (autour de 5 mg/kg de MS alors que le seuil réglementaire est à 18 mg/kg de MS en arsenic total (sur le produit fini). Concernant l'andain, la production d'amendement conforme à la loi apparaît donc confortée. Plusieurs hypothèses pourraient être proposées pour expliquer la diminution observée des concentrations en arsenic dont celle d'une dilution des sargasses à l'intérieur de l'andain associée à une hétérogénéité relative des mélanges. Ce projet a aussi permis de soulever la question d'éventuelles émanations d'espèces organométalliques de l'arsenic.

Concernant le contenu en chlordécone des sargasses, des solutions d'évitement sont pratiquées : HOLDEX Environnement n'accepte aucune sargasse des côtes exposées à ce résidu. L'arc allant de Frégate-Est (commune du François) au Diamant correspond à son secteur de prise en charge, et la présente étude confirme que les sargasses issues de cette zone sont dépourvues de chlordécone. La transposition à la Guadeloupe reviendrait donc à promouvoir une usine similaire pour valoriser les sargasses ramassées sur les rivages de la Grande-Terre.

La concentration en chlordécone dans les sargasses collectées sur la côte de la commune de Capesterre-Belle-Eau et les communes limitrophes, tout comme le secteur au Nord de la Baie du Galion (baie comprise), est à interpréter au regard

démontrer l'existence de communautés et d'espèces spécifiques associées aux sargasses de sites de stockage par rapport à celles présentes sur le littoral. L'identification et la mise en place d'indicateurs moléculaires pourraient être une autre des conséquences directes de cette étude. En effet, ce premier inventaire moléculaire du microbiome de sites d'échouements et de quelques sites de stockage a permis d'identifier des microorganismes potentiellement impliqués dans la dégradation des constituants des sargasses (i.e., *Gramella*, *Planctomicrobium*, *Microbulbifer*) ; un résultat qui ouvre la voie à de futures applications biotechnologiques de cette diversité microbienne.

4.5. Apports opérationnels de la recherche ethnographique sur les sargasses

4.5.1. Acheter de l'amendement : une affaire de communication ?

Constatant ces différences dans l'appréhension de la nocivité des sargasses, en l'absence de données actuelles en écotoxicologie (l'enquête ethnographique réalisée dans la même période que l'étude écotoxicologique ECO3SAR), et avec le spectre de la chlordécone toujours présent, nous nous sommes demandés si le dégoût, la peur, pouvaient être justifiés par le fait que l'amendement servirait à la terre (donc peur d'une contamination par la terre) et serait indirectement ingéré par les ressources issues de cette terre. C'est pourquoi, il nous a paru intéressant d'orienter les interlocuteurs (parfois ils l'évoquaient eux-mêmes) au cours des entretiens vers l'appréhension d'autres solutions proposées par des entrepreneurs et de leur demander leur avis.

Il est apparu que la plupart des interlocuteurs regardaient soit avec curiosité soit avec intention d'acheter, ou en tous les cas sans dégoût exprimé, des inventions telles que le papier. Ainsi, l'exemple de l'entrepreneur de Saint-Barthélémy, M. Guibout (création de papier et de carton entièrement avec des sargasses) était montré en exemple d'une résolution efficace et utile. A la perspective du contact d'aliments dans les sacs en papier fabriqué à partir de sargasses, les interlocuteurs ne semblaient pas choqués.



Figure 41 : Photographie extraite de la page Facebook de Sargasse project, janvier 2020.

Mais plus curieux peut-être, le produit bio-stimulant fabriqué à Sainte-Lucie (*Algas Organic* de Mr Dujon) cité souvent comme une solution à l'abondance des sargasses par les interlocuteurs, ne semblait pas receler de risques sanitaires ou biologiques pour les plantes. Son prix décerné par la Chambre de commerce de Sainte-Lucie a fait l'objet de plusieurs articles dans la presse locale antillaise en 2017 sans qu'y soit posée la question des analyses éco-toxicologiques. Ainsi, dans l'état actuel de l'enquête, la question de ce paradoxe dans ces différentes échelles d'acceptation, est peut-être à observer d'une part dans la communication sur le processus, et d'autre part dans le marketing pour l'acceptation de cette transformation.

Les interlocuteurs dans les jardinerie seraient les plus à même de répondre à ces différenciations. Dans le commerce, les produits d'ajouts pour les cultures maraîchères sont légion : terreau, compost, fumier, guano, ainsi que des produits à base d'algues de Bretagne (voir Annexes, Figure 48, photographie 8). Un commercial dans une jardinerie au Lamentin envisage de façon très positive la vente d'un produit issu de la transformation des sargasses, grâce à la capacité qu'offrirait leurs métiers et la vitrine de la jardinerie dans laquelle ils prodiguent des conseils aux clients. Cependant, la vente ne pourrait pas se pratiquer comme avec un quelconque produit, et la communication et le marketing seraient à l'ordre

du jour : « aujourd'hui la sargasse c'est quelque chose de nocif pour tout le monde, qui pollue qui est dangereuse pour la santé si on respire les gaz tout ça, après je pense que c'est une question de communication, après c'est notre métier de faire passer les messages aussi, mais honnêtement, c'est vrai que si vous mettez « terreau à base de sargasses », je ne suis pas sûr qu'il va pouvoir se vendre tout seul. Faut communiquer, dire en amont aux gens « la sargasse apporte ça, c'est très bon », parce qu'on a parlé des risques des sargasses alors les gens voilà ils retiennent le risque, le mot « risque » déjà ! Alors qu'on parle pas des bienfaits qu'on peut faire avec, donc c'est une question de mentalité. [...] Je ne dis pas que ça va être le produit qui va être miraculeux que les gens vont sauter dessus, mais c'est une question de communication, Mais voilà, si les gens savent qu'on peut recycler ce qui pollue nos plages, s'ils savent qu'on va pouvoir les nettoyer [...] ».

L'interlocuteur ingénieur et pêcheur déjà cité, étudie en ce moment pour son blog les techniques de communication. Pour lui, vendre des sargasses est une affaire de *storytelling* car « Il faudrait que ça parle aux gens, que ça vient de Martinique, il y a différentes façons de présenter les choses, j'ai une conscience environnementale, je vais sauter sur l'occasion et là je vais me poser plein de questions si je vois le bénéfice ». Pour exemple, il applique le *storytelling* à la Martinique une des techniques de communication qui est celle de la construction d'un récit en résumant une série de traumatismes en trois faits : la grève générale de 2009 puis en 2011 le début des sargasses, et entre-temps la chlordécone. A partir de là, il développe l'idée « Une grosse douleur = un bénéfice » : « La chlordécone c'est la grosse douleur, et la sargasse c'est la 2^{ème} grosse douleur, donc si tu trouves un produit qui permet de soigner ces deux-là... ».

En effet la chlordécone est une épée de Damoclès toujours présente. Un dirigeant métropolitain répond ainsi à propos du choix du terreau par ses clients de Fort-de-France : « ah oui le terreau comme on dit que y a à 92 % [de chlordécone] sur la Martinique ça fait peur, [...] donc les gens depuis le chlordécone achètent encore plus de terre végétale, terre végétale qui est garantie sans chlordécone sinon on la vendrait pas, et nos terreaux la plupart maintenant sont naturels c'est à dire qu'ils sont garantis NFU[...] les gens sont vraiment plus axés sur le bio, donc ils veulent le terreau naturel bio, les semences bios. ».



Figure 42 : Compost utilisé dans un lycée agricole en Martinique, à base de boues d'épuration.

Un exploitant agricole travaillant dans un lycée en Martinique estime qu'il s'agit de la même problématique que pour l'utilisation des boues d'épuration : même si les analyses montrent qu'elles sont bonnes, elles seront considérées comme non pures. La rhétorique est donc extrêmement importante dans cette acceptation : « si dans le produit que j'achète aujourd'hui, dans mon amendement, y a des sargasses, sur le fond ça me gêne pas mais [...] pour moi faut pas que ça apparaisse dans le marketing c'est pas le premier truc à mettre en avant. Si par exemple demain j'achète un produit qui a 50 % de sargasses dedans et 50 % d'autres, que y a pas de métaux lourds, etc., alors je vais dire « moi je mets un amendement organique », [mais] si quelqu'un me demande demain ce qu'il y a dedans [...] si on prononce ce nom-là, si on dit « moi j'ai étendu 10 tonnes de sargasses » je pense que ça passera pas bien ».

Différentes écoles se construisent donc : d'une part les partisans de la non-information et de la non-apparition du terme « sargasses » dans les produits ; d'autre part, la communication et l'éducation au processus, qui passe aussi par une information claire des données écotoxicologiques. Ainsi le responsable de la jardinerie à Fort-de-France aimerait pouvoir communiquer sur la résolution du problème et « dire « ça y est, on a trouvé le moyen pour utiliser ce fléau qu'on a sur nos

côtes, et on a différents procédés qui va rendre nos produits sains en enlevant toutes ces choses-là donc ça va permettre de toucher tout le monde, et mettre tout le monde dans le coup [...] ok, y a des dangers, mais on a fait ça pour enlever les dangers ». Il préconise non pas seulement l'information des professionnels, des commerçants, mais aussi une campagne grand public afin que l'information soit délivrée équitablement.

Le responsable achats d'une jardinerie du Lamentin propose aussi une campagne d'éducation : « si on explique aux gens que c'est tout un processus et que c'est pas juste récupéré sur la plage et mis dans des sacs, je pense qu'il y aura aucun souci. D'ailleurs je pense que lorsque on pourra vraiment bénéficier de cette ressource, il faudra mettre en place toute une éducation, pour faire savoir aux gens qu'il y a eu un processus pour aboutir à ça ».

4.5.2. Préconisations sur les usages des sargasses

L'obstacle principal identifié pour l'instant par le biais de ces enquêtes ethnographiques apparaît comme étant le manque de communication sur les sargasses, ses impacts sur le littoral, sa composition physico-chimique, et ses perspectives de transformation. Une étude plus fine de la communication et de sa réception serait nécessaire. Les peurs entendues pendant cette enquête, réalisée donc dans le même temps que les études écotoxicologiques, pourraient peut-être être résorbées, atténuées par la divulgation des résultats, ce qui amènerait à une démythification des sargasses et de leur danger, lié aux problèmes de santé rencontrés par l'intoxication chronique à l'hydrogène sulfuré et à l'ammoniac. Les interlocuteurs se basant sur des données scientifiques pourraient avoir une meilleure acceptation de cette valorisation, surtout si celle-ci est couplée avec des informations sur le processus de transformation et une plus-value environnementale de la nuisance transformée en ressource.

Les préconisations suivantes ont pour premier objectif de palier aux problèmes soulevés par l'enquête ethnographique :

Information / communication : (i) diffuser les résultats de l'enquête en faisant apparaître des réponses étayées notamment pour les termes incriminés (« arsenic », « métaux lourds », etc.) afin d'engager une dédramatisation des peurs et rumeurs. Différents vecteurs de communication pourraient être utilisés : d'une part des sources vulgarisatrices, sous forme originale de jeu / chanson / film documentaire, pouvant être diffusées sur les réseaux sociaux, d'autre part une synthèse de rapport. Sur l'un ou l'autre support de communications, permettre la visualisation des normes (codes couleurs - voir normes de *Madinair*). (ii) Faire connaître le processus de fabrication des amendements par des visites chez les entrepreneurs. (iii) Il pourrait être intéressant d'évaluer l'introduction de labels et d'informations sur la traçabilité et l'origine de certains produits comprenant des sargasses.

Partenariat : créer des relations entre différentes solutions de valorisation (voir le succès presse et public rencontré par la création du papier pour *Sargasses project*). La superposition des éléments de valeurs peut aider une meilleure appréhension des perspectives de résolution du problème des échouements.

Education adultes/jeunesse : deux publics différents pourront être sensibilisés par des animations par le Carbet des sciences, par des groupes de mobilisations collectives, ainsi que des agriculteurs, des commerçants dans les jardineries. Cette diffusion de l'information sur les possibilités d'utilisation des sargasses inclurait les questions soulevées par les interlocuteurs dans l'enquête, à savoir par exemple les origines des sargasses. En ce qui concerne l'éducation à destination de la jeunesse, les enseignants du primaire et du second degré pourraient être impliqués à travers les référents EDD (Education au Développement Durable) des Académies de Martinique et de Guadeloupe. Le réseau Canopé (Centre de documentation pédagogique) pourrait aussi être sollicité pour la création et la diffusion, y compris par des animations, de vulgarisation scientifique.

Expérimentation locale : Impliquer des citoyens dans des expérimentations ; recueillir les expériences des acteurs sociaux, les confronter / sous forme d'expérimentation ascendante et de science participative. Cela pourrait prendre la forme d'ateliers de compostage/amendement en jardins partagés afin de produire des savoirs.

4.5.3. Apports opérationnels de la recherche ethnographique

Les recommandations présentées sont à considérer avec la précaution due à une enquête qualitative avec un corpus réduit et un temps réduit. Même s'il serait très intéressant de l'étendre, en espace, en temps et en nombre d'interlocuteurs, afin de mieux observer les dynamiques à l'œuvre et leurs variantes, cette étude apporte quelques premiers résultats importants.

L'objectif initial de cette enquête était de mettre à jour des degrés d'acceptabilité ou de rejet de la transformation des sargasses en amendement auprès d'une pluralité d'acteurs sociaux. Les sargasses, et surtout leur décomposition sur les rivages, sont des éléments perturbateurs à prendre en compte dans une approche systémique dans un contexte socio-historique sensible aux problèmes environnementaux. Il est avant tout nécessaire de porter une attention particulière au traitement social et politique du scandale sanitaire de la chlordécone. Une partie des discours imprégnée d'une peur de la contamination à l'arsenic et aux métaux lourds a probablement pour source cette problématique contemporaine.

L'enquête ethnographique n'a pas été réalisée dans l'objectif de favoriser la commercialisation d'un produit, mais bel et bien afin d'essayer de comprendre les leviers de réticence pour l'acceptation d'une transformation. Mieux comprendre la manière dont les populations locales peuvent concevoir la transformation d'une abondance nocive en potentielles ressources, permettrait de gérer différemment les littoraux anthropisés et ainsi contribuer à l'atténuation des problèmes de santé dus à ces pollutions environnementales.

Face aux conséquences des échouements de sargasses depuis 2011, les populations impactées ont activé des stratégies d'adaptation dépendant d'un ensemble de facteurs, tels la zone de résidence, la catégorie socio-professionnelle, la prégnance de l'imaginaire collectif ou de la rhétorique de la presse. En synthèse, l'analyse des données montre que les représentations des sargasses se caractérisent par leur ambivalence et leur paradoxe, qui peuvent se superposer, et se modifier selon des échelles de temps, de lieu, et d'expérience sensible. L'acceptation sociale des algues sargasses en amendement se heurte à deux écueils qui tiennent au contexte historique et actuel, et à l'émission et la réception d'informations contradictoires dans la période incriminée : d'une part la peur d'une contamination des cultures vivrières par ce transfert de la mer à la terre, et donc une contamination du corps (avec qui plus est, le spectre de la chlordécone) ; d'autre part, le souhait qu'une solution puisse être trouvée qui pourrait soutenir une logistique de ramassage, agir donc *in fine*, en chaîne et en amont sur les échouements. Du côté du paradoxe, les solutions envisagées en-dehors des Antilles françaises captent l'attention (briques au Mexique, bio-stimulant à Sainte-Lucie) sans que ne soit posée la question des normes toxicologiques.

D'après les données recueillies, trois schémas de représentations ont pu être dessinés : 1) L'indifférence à une situation venant d'une insensibilité, désintérêt ou méconnaissance de potentiels risques sanitaires due notamment à une fréquentation épisodique des lieux impactés amène à envisager sans réticences la valorisation en amendement ; 2) L'hypervigilance sur les risques sanitaires et sur les risques écologiques due à la volonté de comprendre et de traiter et de voir traité une situation considérée comme complexe, grave, et irradiant tous les domaines de la société, provoque une demande d'informations précises et non-contradictoires, de réassurance sur les possibilités de valorisation et une volonté d'expérimenter l'amendement ; 3) Et enfin, le refus des acteurs sociaux vivant cette nuisance au quotidien, qui exprime un rejet physique et par voie de conséquence une impossibilité de conceptualiser la sargasse en ressource.

4.6. Préconisations en termes de gouvernance territoriale

La gestion des impacts des échouements des sargasses, à partir des observations de terrain et des entretiens semi-directifs réalisés dans le cadre de cette étude, constitue une charge difficile à assumer par les municipalités, les premières impliquées dans l'échelle de gouvernance. En effet, il est fréquemment déploré par celles-ci un manque de moyens techniques et financiers dans les phases de collecte et de stockage, malgré les soutiens financiers des services de l'Etat. C'est une des raisons pour lesquelles la phase de valorisation, en particulier en amendement, n'est pas prise en compte par les acteurs publics.

Les programmes des candidats aux élections municipales de mars 2020, reportées en juin 2020, ont montré que la problématique des sargasses a été mise de côté, dans le contexte de la crise sanitaire de la COVID-19. Il ne ressort pas d'engagements différents et novateurs sur le thème des échouements des sargasses et leur éventuelle valorisation. Ces thèmes reviennent dans les discours politiques et médiatiques au gré des nouveaux échouements.

Cependant, une meilleure coordination entre les services de l'Etat et les collectivités locales (en particulier entre les municipalités, le département et la région en Guadeloupe ou entre les municipalités et la Collectivité unique en

Martinique) devrait favoriser une réactivité plus rapide pour répondre aux difficultés spécifiques des municipalités sinistrées, suite aux périodes d'échouements massifs.

En parallèle, se sont développés des collectifs d'habitants, comme l'a aussi souligné le volet ethnographique. Par exemple, le président de l'association *Sainte Anne Action Sargasse*, à Sainte Anne en Guadeloupe, exprime qu'il souhaiterait pouvoir passer outre le maillon municipal, afin d'être rapidement pris en compte par les services de l'Etat (entretien réalisé par Anne Péné-Annette).

Par ailleurs, la place prépondérante des entreprises privées pour la valorisation, en particulier pour la transformation en amendement, nous amène à souligner les difficultés de mise en place d'une gouvernance territoriale, définie par « *le rôle joué en commun par différentes parties prenantes, de nature privée ou semi-publique, dans les processus de coordination et les projets d'actions au service des territoires* » (Torre A., 2011). Il ressort, dans notre étude, un contexte de difficile concertation entre acteurs privés et pouvoirs publics, ce qu'il conviendrait pourtant de reconsidérer dans un contexte de développement territorial fragile.

Enfin, à l'échelon national, la question de considérer les échouements des sargasses comme une catastrophe naturelle a toujours été là, depuis le début. Ainsi, depuis janvier 2020, le Sénat a accepté d'étudier une proposition de loi visant à revoir le régime des catastrophes naturelles, par le biais de la rapporteure Mme N. Tocqueville : « (...) *compte tenu des dégâts considérables constatés dans les territoires concernés, ce sous-amendement vise à permettre une reconnaissance plus facile de l'échouage d'algues sargasses comme catastrophe naturelle, afin que les victimes puissent être indemnisées en conséquence.* » (Sénat, 2020). Le sous-amendement ayant été voté, il serait alors intéressant d'évaluer les évolutions de la gouvernance territoriale suite à ce nouveau contexte juridique.

5. Diffusion des connaissances et valorisations du projet

5.1. Médias et citations

- Actu-Environnement.com. « Antilles : la recherche s'accélère pour valoriser les algues sargasses ». <https://www.actu-environnement.com/ae/news/Antilles-recherche-accelere-valoriser-algues-sargasses-32097.php4>
- Communiqué de Presse du CNRS. Un projet de recherche aux Antilles françaises pour valoriser les sargasses. 1er Octobre 2018. (<http://www2.cnrs.fr/presse/communiquede/5704.htm>)
- Environnement Magazine. « Antilles françaises : un système de surveillance et de prévision des bancs d'algues sargasses ». 23 Octobre 2019. (<https://www.environnement-magazine.fr/pollutions/article/2019/10/23/126412/antilles-francaises-systeme-surveillance-prevision-des-bancs-algues-sargasses>)
- Environnement Magazine. Le CNRS et l'Université des Antilles lancent un projet de recherche pour la valorisation des sargasses. <http://www.environnement-magazine.fr/pollutions/article/2018/10/02/120970/cnrs-universite-des-antilles-lancent-projet-recherche-pour-valorisation-des-sargasses>
- Futura Planète. « Sargasses aux Antilles : un projet du CNRS pour valoriser ces algues ». <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/botanique-sargasses-antilles-projet-cnrs-valoriser-ces-algues-73061/>
- France-Antilles. « Sargasses : les esquisses d'un front uni caribéen ». 4 Octobre 2018. (<https://www.guadeloupe.franceantilles.fr/actualite/environnement/sargasses-les-esquisses-d-un-front-uni-caribeen-506054.php>)
- Geo. « Sargasses, des solutions contre cette algue qui envahit les Antilles ? » (27 Septembre 2018). <https://www.geo.fr/environnement/sargasses-des-solutions-contre-cette-algue-qui-envahit-les-antilles-192797>
- Guadeloupe 1^{ère}. Intervention de F. Ménez. Journal du 25 octobre 2019).
- Guadeloupe 1^{ère}. Magazine Focus. (22 Octobre 2019).
- Industrie et Technologies. « Aux Antilles françaises, le projet ECO3SAR veut aider à valoriser les sargasses ». 09 Novembre 2018. <https://www.industrie-techno.com/aux-antilles-francaises-le-projet-eco3sar-veut-aider-a-valoriser-les-sargasses.54166>
- La Croix. Interview de F. Ménez, « Aux Antilles, les sargasses vécues comme un « envahissement ». 22 octobre 2019. (<https://www.la-croix.com/Sciences-et-ethique/Environnement/Antilles-sargasses-vecues-comme-envahissement-2019-10-22-1201055849>)
- La Croix. « Une valorisation balbutiante ». 22 octobre 2019. (<https://www.la-croix.com/JournalV2/valorisation-balbutiante-2019-10-22-1101055765>)
- Le marin. « Antilles, comment valoriser les sargasses ; Faire une cartographie des acteurs ». 18 Octobre 2018.
- Libération. « Algues sargasses : muer la plaie en aubaine ». 30 Octobre 2019. (<https://www.liberation.fr/france/2019/10/30/algues-sargasses-muer-la-plaie-en-aubaine-1760398>)
- Libération. Vidéo : « Comment les sargasses intoxiquent les Antilles ». (<http://video.lefigaro.fr/figaro/video/comment-les-sargasses-intoxiquent-les-antilles/6096684879001/>)
- Phys.org. « A research project in the French West Indies for repurposing Sargassum seaweed”.
- Radio Classique. Mission 3 minutes pour la planète. Xx Octobre 2019. Pour réécouter : <https://ohm-littoral-caraibe.in2p3.fr/medias>

5.2. Conférences et séminaires

- 49^{ème} colloque du Groupe Français de recherche sur les Pesticides. Contamination des sargasses par la chlordécone : l'autre défi des échouages aux Antilles. Montpellier (21-24 mai 2019).
- 50^{ème} colloque du Groupe Français de recherche sur les Pesticides. Bilan de l'étude ECO3SAR sur la contamination des sargasses par la chlordécone et l'arsenic en mer, sur le rivage et dans le processus d'amendement (27-29 mai 2021, Namur). [titre provisoire]
- Conférence Grand Public. « Les sargasses. Cauchemard des Caraïbes ». Rencontres à la Maison du Combattant, de la Vie Associative et Citoyenne (MACVAC) Paris 19^{ème} (27 septembre 2019).

- Conférence Grand Public. « Sargasses. Qui es-tu ? Que fais-tu ? » Conférences au Yacht-Club de Martinique, Fort-de-France (17 mai 2019).
- Conférence Grand Public. « ECO-EXPLORATION - La crise des algues Sargasses dans les Caraïbes ». La Paillasse, Paris (12 juin 2019).
- Conférence Internationale sur les sargasses : Lopez Pascal Jean. « Fundamental knowledge on *Sargassum* and their associated microorganisms ». Jarry Baie-Mahault, Guadeloupe (23-26 octobre 2019). [Communication]
- Conférence Internationale sur les sargasses : Péné-Annette Anne. « Geographic issues of *Sargassum* strandings; an example from the French Lesser Antilles. ». Jarry Baie-Mahault, Guadeloupe (23-26 octobre 2019). [Communication]
- Congrès-Carisciences, Caribbean Science and Innovation Meeting. Ménez Florence, « From « a poisoned gold » to « a dazzling gold »: the transformation of *Sargassum* from the artists'eyes ». (19-22 octobre 2019). Le Gosier, Guadeloupe. [Communication]
- Colloque People & the Sea Conference. Learning from the past, imagining the future. Ménez Florence, « *Sargassum* Blooming in French Caribbean islands: building and overcoming crises. Coordination du panel avec Julia FRAGA *Sargassum* Blooming in the Caribbean: Human and Environment Interactions ». Université d'Amsterdam, Hollande (25-28 juin 2019) (<https://avanceyperspectiva.cinvestav.mx/arribazonas-de-sargazo-en-el-caribe-interaccion-humano-medioambiente/>)
- Séminaire Fracage. Ménez Florence, « Des palourdes et des algues : composer un monde avec les non-humains ». Brest (23 mai 2019).
- SETAC Scicon Europe 30th Annual Meeting. Devault, D. A., Dolique, F., Trouillefou, M., Massat, F., Lopez, P. J. (2020) *Sargassum* contamination by arsenic and chlordecone: fate ashore and in compost. (3-7 mai 2020) [Poster]
- XIV° Conférence de Coopération Régionale Antilles-Guyane. Eco3Sar : Ecologie, Ecotoxicologie et Economie des sargasses. <http://www.martinique.pref.gouv.fr/Politiques-publiques/Environnement-sante-publique/Sargasses/Conference-de-cooperation-regionale-Antilles-Guyane-Seminaire-Sargasses> (3-5 octobre 2018).

5.3. Rapports de stage et publications

Le projet Eco3Sar a permis le financement de deux stagiaires de Master 1 Etudes culturelles de l'université des Antilles, pôle Martinique. Malgré de nombreuses relances, seul un des deux étudiants.es. a remis son rapport. Le projet a aussi permis le financement d'une stagiaire de Master 2 en géographie, mention ADEI (Aménagement durable des espaces insulaires) de l'université des Antilles, pôle Martinique.

- Devault *et al.* Chlordecone and arsenic contamination in *Sargassum fluitans* and *S. natans* seashore French West Indies: assessment and kinetics. *Environmental Science and Pollution Research*. *In press*
- Devault *et al.* Valorisation of *Sargassum* depending their contamination level: a reflexive state of the art.2020 *Applied Phycology*. *In press*
- Devault *et al.* Fate of chlordecone and arsenic from sargassum in windrow for organic amendment. *[Prévu pour Waste Management]*
- Hervé V. *et al.* From the sea to the land: dynamic of the *Sargassum* tide holobiont in the Caribbean islands. *Soumis*
- Ménez Florence (2019) « La télé est morte ». Algues brunes, corrosion, contagion aux Antilles. *Techniques & Culture* **72**: 184-199.
- Ménez Florence (2021). Des algues en crise. Échouements de sargasses aux Antilles françaises et stratégies discursives dans la presse écrite [à paraître aux Ed. Karthala, ouvrage collectif sur les risques insulaires]
- Ménez Florence. Crises and risks : the *Sargassum* invasion in the Caribbean islands.*[Prévu pour Aquatic Invasions]*
- Keyza Francillonne (2019) Rapport de stage de Master 1 Etudes Culturelle. Université des Antilles.
- Séné Sandrine. « L'impact des échouages de sargasses sur les littoraux de la Guadeloupe et de la Martinique : gouvernance et valorisation en tant que compost ». Mémoire de Master 2 sous la co-direction de Dolique Franck et Péné-Annette Anne. Soutenance le 17 juin 2019, 96 p.

Références

1. V. Smetacek, A. Zingone, Green and golden seaweed tides on the rise. *Nature* **504**, 84-88 (2013).
2. M. Q. Wang *et al.*, The great Atlantic *Sargassum* belt. *Science* **365**, 83-87 (2019).
3. S. El Atouani *et al.*, The invasive brown seaweed *Sargassum muticum* as new resource for alginate in Morocco: Spectroscopic and rheological characterization. *Phycological Research* **64**, 185-193 (2016).
4. N. Flórez-Fernández, H. Domínguez, M. D. Torres, Advances in the biorefinery of *Sargassum muticum*: Valorisation of the alginate fractions. *Industrial Crops and Products* **138**, 111483 (2019).
5. E. Fourest, B. Volesky, Contribution of Sulfonate Groups and Alginate to Heavy Metal Biosorption by the Dry Biomass of *Sargassum fluitans*. *Environmental Science & Technology* **30**, 277-282 (1996).
6. S. Mabeau, B. Kloareg, Isolation and Analysis of the Cell Walls of Brown Algae: *Fucus spiralis*, *F. ceranoides*, *F. vesiculosus*, *F. serratus*, *Bifurcaria bifurcata* and *Laminaria digitata*. *Journal of Experimental Botany* **38**, 1573-1580 (1987).
7. T. A. Davis, B. Volesky, A. Mucci, A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae. *Water Research* **37**, 4311-4330 (2003).
8. O. Raize, Y. Argaman, S. Yannai, Mechanisms of biosorption of different heavy metals by brown marine macroalgae. *Biotechnology and Bioengineering* **87**, 451-458 (2004).
9. J. S. Edmonds, Diastereoisomers of an 'arsenomethionine'-based structure from *Sargassum lacerifolium*: the formation of the arsenic-carbon bond in arsenic-containing natural products. *Bioorg Med Chem Lett* **10**, 1105-1108 (2000).
10. W. A. Maher, Inorganic arsenic in marine organisms. *Mar Pollut Bull* **14**, 308-310 (1983).
11. J. M. Neff, in *Bioaccumulation in Marine Organisms*, J. M. Neff, Ed. (Elsevier Ltd, 2002), chap. 57-78, pp. 468.
12. V. F. Taylor, B. P. Jackson, Concentrations and speciation of arsenic in New England seaweed species harvested for food and agriculture. *Chemosphere* **163**, 6-13 (2016).
13. J. M. Neff, Ecotoxicology of arsenic in the marine environment. *Environmental Toxicology and Chemistry* **16**, 917-927 (1997).
14. A. A. Benson, in *Marine Phytoplankton and Productivity. Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies*, O. Holm-Hansen, L. Bolis, R. Gilles, Eds. (Springer, Berlin, Heidelberg, 1984), vol. 8.
15. B. E. Lapointe, D. Hanisak, paper presented at the Symposium papers Energy from biomass and wastes IX, Lake BuenaVista, Florida, January 28 - February 1, 1985.
16. B. E. Lapointe, Phosphorus-limited photosynthesis and growth of *Sargassum natans* and *Sargassum fluitans* (Phaeophyceae) in the western North Atlantic. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers* **33**, 391-399 (1986).
17. X. Wang, T. Shan, S. Pang, Phytoremediation Potential of *Saccharina japonica* and *Sargassum horneri* (Phaeophyceae): Biosorption Study of Strontium. *B Environ Contam Tox* **101**, 501-505 (2018).
18. M. A. Seepersaud, A. Ramkissoon, S. Seecharan, Y. L. Powder-George, F. K. Mohammed, Environmental monitoring of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in *Sargassum filipendula* and *Sargassum vulgare* along the eastern coastal waters of Trinidad and Tobago, West Indies. *Journal of Applied Phycology* **30**, 2143-2154 (2018).
19. E. Van Staëvel, *La pollution sauvage*. (Presses Universitaires de France, Paris cedex 14, 2006), pp. 206.
20. D. Resiere *et al.*, *Sargassum* seaweed on Caribbean islands: an international public health concern. *Lancet* **392**, 2691-2691 (2018).
21. D. Cefai, La construction des problèmes publics. Définitions de situations dans des arènes publiques. *Réseaux* **75**, 43-66 (1996).
22. J. W. Moore, S. Ramamoorthy, *Heavy metals in natural waters: applied monitoring and impact assessment. Applied Monitoring and Impact Assessment*. (Springer-Verlag, New York, 1984), pp. 247.
23. L. C. D. Anderson, K. W. Bruland, Biogeochemistry of arsenic in natural waters: the importance of methylated species. *Environmental Science & Technology* **25**, 420-427 (1991).
24. K. A. Francesconi, J. S. Edmonds, Arsenic Species in Marine Samples. *Croatica Chemica Acta* **71**, 343-359 (1998).
25. M. Sadiq, Arsenic chemistry in marine environments: a comparison between theoretical and field observations. *Marine Chemistry* **31**, 285-297 (1990).
26. M. A. A. Mamun *et al.*, Bioaccumulation and biotransformation of arsenic by the brown macroalga *Sargassum patens* C. Agardh in seawater: effects of phosphate and iron ions. *Journal of Applied Phycology* **31**, 2669-2685 (2019).
27. A. A. Meharg, L. Jardine, Arsenite transport into paddy rice (*Oryza sativa*) roots. *New Phytologist* **157**, 39-44 (2003).
28. P. L. Smedley, D. G. Kinniburgh, A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry* **17**, 517-568 (2002).
29. J. F. Ferguson, J. Gavis, A review of the arsenic cycle in natural waters. *Water Research* **6**, 1259-1274 (1972).
30. L. Guillou *et al.*, The Protist Ribosomal Reference database (PR2): a catalog of unicellular eukaryote Small Sub-Unit rRNA sequences with curated taxonomy. *Nucleic Acids Research* **41**, D597-D604 (2013).

31. P. J. McMurdie, S. Holmes, Phyloseq: an R package for reproducible interactive analysis and graphics of microbiome census data. *PLoS One* **8**, e61217 (2013).
32. J. Oksanen *et al.* (<http://CRAN.R-project.org/package=vegan>, 2015).
33. A. D. Fernandes *et al.*, Unifying the analysis of high-throughput sequencing datasets: characterizing RNA-seq, 16S rRNA gene sequencing and selective growth experiments by compositional data analysis. *Microbiome* **2**, 15 (2014).
34. D. Jodelet, *Les représentations sociales*. (Presses Universitaires de France, Paris cedex 14, 2003), pp. 454.
35. W. J. Lyman, W. F. Reehl, D. H. Rosenblatt, *Handbook of chemical property estimation methods*. (American Chemical Society. , Washington DC, United States, 1990).
36. J. Li, K. Han, S. Li, Porous carbons from *Sargassum muticum* prepared by H₃PO₄ and KOH activation for supercapacitors. *J Mater Sci: Mater Electron* **29**, 8480–8491 (2018).
37. B. E. Barragán-Huerta *et al.*, Biodegradation of organochlorine pesticides by bacteria grown in microniches of the porous structure of green bean coffee. *International Biodeterioration & Biodegradation* **59**, 239-244 (2007).
38. D. A. Devault *et al.*, Natural transformation of chlordecone into 5b-hydrochlordecone in French West Indies soils: statistical evidence for investigating long-term persistence of organic pollutants. *Environ Sci Pollut R* **23**, 81-97 (2016).
39. A. Stockdale, W. Davison, H. Zhang, Formation of iron sulfide at faecal pellets and other microniches within suboxic surface sediment. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **74**, 2665-2676 (2010).
40. A. Stockdale, W. Davison, H. Zhang, Micro-scale biogeochemical heterogeneity in sediments: A review of available technology and observed evidence. *Earth-Science Reviews* **92**, 81-97 (2009).
41. D. Carlson, K. Konyha, W. Wheeler, G. Marshall, R. Zaylskie, Mirex in the environment: its degradation to kepone and related compounds. *Science* **194**, 939-941 (1976).
42. G. W. Ivie, H. W. Dorough, E. G. Alley, Photodecomposition of mirex on silica gel chromatoplates exposed to natural and artificial light. *J Agric Food Chem* **22**, 933-935 (1974).
43. S. Chaussonnerie *et al.*, Microbial Degradation of a Recalcitrant Pesticide: Chlordecone. *Frontiers in Microbiology* **7**, 2025 (2016).
44. M. L. Chevallier *et al.*, Natural Chlordecone Degradation Revealed by Numerous Transformation Products Characterized in Key French West Indies Environmental Compartments. *Environmental Science & Technology* **53**, 6133-6143 (2019).
45. M. L. Chevallier *et al.*, Distinct Carbon Isotope Fractionation Signatures during Biotic and Abiotic Reductive Transformation of Chlordecone. *Environmental Science & Technology* **52**, 3615-3624 (2018).
46. P. E. Jablonski, D. J. Pheasant, J. G. Ferry, Conversion of Kepone by *Methanosarcina thermophila*. *Fems Microbiol Lett* **139**, 169-173 (1996).
47. S. W. Karickhoff, D. S. Brown, T. A. Scott, Sorption of hydrophobic pollutants on natural sediments. *Water Research* **13**, 241-248 (1979).
48. J. P. Gao, J. Maguhn, P. Spitzauer, A. Kettrup, Sorption of pesticides in the sediment of the Teufelsweiher pond (Southern Germany). II: Competitive adsorption, desorption of aged residues and effect of dissolved organic carbon. *Water Research* **32**, 2089-2094 (1998).
49. J. P. Gao, J. Maguhn, P. Spitzauer, A. Kettrup, Distribution of pesticides in the sediment of the small Teufelsweiher pond (southern Germany). *Water Research* **31**, 2811-2819 (1997).
50. M. G. Torralba *et al.*, Effect of Macondo Prospect 252 Oil on Microbiota Associated with Pelagic *Sargassum* in the Northern Gulf of Mexico. *Microb Ecol* **73**, 91-100 (2017).
51. M. Adèle, Université des Antilles, (2016).
52. C. Claeys, O. Sirost, Proliférantes natures. *Études rurales* **185**, 009-022 (2010).
53. M. Gnamba, Université de Poitiers, (2019).
54. C. Benoît, *Corps, jardins, mémoires. Anthropologie du corps et de l'espace à la Guadeloupe*. (CNRS Éditions/Éditions de la Maison des sciences de l'homme, Paris, 2000).
55. C. R. Dromard *et al.*, Environmental fate of chlordecone in coastal habitats: recent studies conducted in Guadeloupe and Martinique (Lesser Antilles). *Environ Sci Pollut R*, (2019).
56. B. T. B. Alencar *et al.*, Use of macrophytes to reduce the contamination of water resources by pesticides. *Ecological Indicators* **109**, 105785 (2020).
57. Y. Li, X. Fu, D. Duan, J. Xu, X. Gao, Comparison study of bioactive substances and nutritional components of brown algae *Sargassum fusiforme* strains with different vesicle shapes. *Journal of Applied Phycology* **30**, 3271-3283 (2018).
58. B. Pavoni, M. Caliceti, L. Sporni, A. Sfriso, Organic micropollutants (PAHs, PCBs, pesticides) in seaweeds of the lagoon of Venice. *Oceanologica Acta* **26**, 585-596 (2003).
59. A. Serafin, J. Sender, U. Bronowicka-Mielniczuk, Potential of Shrubs, Shore Vegetation and Macrophytes of a Lake to Function as a Phytogeochemical Barrier against Biogenic Substances of Various Origin. *Water* **11**, 290 (2019).
60. A. Ody *et al.*, From In Situ to satellite observations of pelagic *Sargassum* distribution and aggregation in the Tropical North Atlantic Ocean. *PLoS One* **14**, e0222584 (2019).
61. J. N. Butler, B. B. S. f. Research, *Studies of Sargassum and the Sargassum Community*. (Bermuda Biological Station, 1983).

62. T. L. Casazza, S. W. Ross, Fishes associated with pelagic *Sargassum* and open water lacking *Sargassum* in the Gulf Stream off North Carolina. *Fishery Bulletin* **106**, 348-363 (2008).
63. D. d. A. Laffoley *et al.*, "The protection and management of the Sargasso Sea," (Sargasso Sea Alliance, 2011).
64. A. W. Stoner, H. S. Greening, Geographic-variation in the macrofaunal associates of pelagic *Sargassum* and some biogeographic implications. *Marine Ecology Progress Series* **20**, 185-192 (1984).
65. A. M. A. Abdallah, M. A. Abdallah, A. I. Beltagy, Contents of heavy metals in marine seaweeds from the Egyptian coast of the Red Sea. *Chemistry and Ecology* **21**, 399-411 (2005).
66. M. Alahverdi, M. Savabieasfahani, Seaweed and Chlorophyll as Biomarkers of Metals in the Persian Gulf, Iran. *B Environ Contam Tox* **89**, 501-506 (2012).
67. A. A. Al-Homaidan, Heavy metal concentrations in three species of green algae from the Saudi coast of the Arabian Gulf. *J Food Agric Environ* **5**, 354-358 (2007).
68. A. A. Al-Homaidan, Accumulation of nickel by marine macroalgae from the Saudi coast of the Arabian Gulf. *J Food Agric Environ* **6**, 148-151 (2008).
69. M. S. Al-Masri, S. Mamish, Y. Budier, Radionuclides and trace metals in eastern Mediterranean Sea algae. *J Environ Radioactiv* **67**, 157-168 (2003).
70. N. A. Al-Shwafi, A. I. Rushdi, Heavy metal concentrations in marine green, brown, and red seaweeds from coastal waters of Yemen, the Gulf of Aden. *Environ Geol* **55**, 653-660 (2008).
71. G. M. Amado, L. R. Andrade, C. S. Karez, M. Farina, W. C. Pfeiffer, Brown algae species as biomonitors of Zn and Cd at Sepetiba Bay, Rio de Janeiro, Brazil. *Mar Environ Res* **48**, 213-224 (1999).
72. G. M. Amado *et al.*, Heavy metals in benthic organisms from Todos os Santos Bay, Brazil. *Braz J Biol* **68**, 95-100 (2008).
73. G. B. Brito, T. L. de Souza, F. C. Bressy, C. W. N. Moura, M. G. A. Korn, Levels and spatial distribution of trace elements in macroalgae species from the Todos os Santos Bay, Bahia, Brazil. *Mar Pollut Bull* **64**, 2238-2244 (2012).
74. S. Chakraborty, G. Owens, Metal distributions in seawater, sediment and marine benthic macroalgae from the South Australian coastline. *Int J Environ Sci Te* **11**, 1259-1270 (2014).
75. S. Chakraborty, G. Owens, Metal distributions in seawater, sediment and marine benthic macroalgae from the South Australian coastline. *Int J Environ Sci Te* **12**, 1479-1480 (2015).
76. G. R. W. Denton, C. Burdonjones, Trace-Metals in Algae from the Great-Barrier-Reef. *Mar Pollut Bull* **17**, 98-107 (1986).
77. G. F. El-Said, A. El-Sikaily, Chemical composition of some seaweed from Mediterranean Sea coast, Egypt. *Environ Monit Assess* **185**, 6089-6099 (2013).
78. N. Favero, M. G. Frigo, Biomonitoring of metal availability in the southern basin of the Lagoon of Venice (Italy) by means of macroalgae. *Water Air Soil Poll* **140**, 231-246 (2002).
79. Y. B. Ho, Metal levels in three intertidal macroalgae in Hong Kong waters. *Aquatic Botany* **29**, 367-372 (1988).
80. A. Horowitz, B. J. Presley, Trace-Metal Concentrations and Partitioning in Zooplankton, Neuston, and Benthos from South Texas Outer Continental-Shelf. *Arch Environ Con Tox* **5**, 241-225 (1977).
81. X. L. Hou, X. J. Yan, Study on the concentration and seasonal variation of inorganic elements in 35 species of marine algae. *Sci Total Environ* **222**, 141-156 (1998).
82. M. M. Ismail, G. M. El Zokm, A. A. M. El-Sayed, Variation in biochemical constituents and master elements in common seaweeds from Alexandria Coast, Egypt, with special reference to their antioxidant activity and potential food uses: prospective equations. *Environ Monit Assess* **189**, (2017).
83. R. N. Jadeja, A. Tewari, Effect of soda ash industry effluent on bioaccumulation of metals by seaweeds of coastal region of Gujarat, India. *J Hazard Mater* **147**, 148-154 (2007).
84. C. S. Karez, V. F. Magalhaes, W. C. Pfeiffer, G. M. A. Filho, Trace-Metal Accumulation by Algae in Sepetiba Bay, Brazil. *Environ Pollut* **83**, 351-356 (1994).
85. T. Kaviarasan *et al.*, Trace Metal Inference on Seaweeds in Wandoor Area, Southern Andaman Island. *B Environ Contam Tox* **100**, 614-619 (2018).
86. H. Li, Cu, Zn and As contamination of seaweed beside Shizuki and Kanayama metal mines in Japan. *Intern. J. GEOMATE* **9**, 1411-1417 (2015).
87. G. Lozano, A. Hardisson, A. J. Gutierrez, M. A. Lafuente, Lead and cadmium levels in coastal benthic algae (seaweeds) of Tenerife, Canary Islands. *Environ Int* **28**, 627-631 (2003).
88. J. Magura, R. Moodley, S. B. Jonnalagadda, Chemical composition of selected seaweeds from the Indian Ocean, KwaZulu-Natal coast, South Africa. *J Environ Sci Heal B* **51**, 525-533 (2016).
89. L. Miao, W. Yan, L. F. Zhong, W. H. Xu, Effect of heavy metals (Cu, Pb, and As) on the ultrastructure of *Sargassum pallidum* in Daya Bay, China. *Environ Monit Assess* **186**, 87-95 (2014).
90. S. F. Mohamed, Biomonitoring of heavy metals in some brown algal species in the Red Sea area (Saudi Arabia and Egypt). *Arab Gulf Journal of Scientific Research* **23**, 126-131 (2005).
91. E. O. Okuku, H. K. Peter, Choose of Heavy Metals Pollution Biomonitors: A Critic of the Method that uses Sediments total Metals Concentration as the Benchmark. *Int J Environ Res* **6**, 313-322 (2012).
92. Y. R. Pan *et al.*, Screening of seaweeds in the East China Sea as potential bio-monitors of heavy metals. *Environ Sci Pollut R* **25**, 16640-16651 (2018).
93. D. A. Roberts, E. L. Johnston, A. G. B. Poore, Biomonitors and the assessment of ecological impacts: Distribution of herbivorous epifauna in contaminated macroalgal beds. *Environ Pollut* **156**, 489-503 (2008).

94. I. Sanchez-Rodriguez, M. A. Huerta-Diaz, E. Choumiline, O. Holguin-Quinones, J. A. Zertuche-Gonzalez, Elemental concentrations in different species of seaweeds from Loreto Bay, Baja California Sur, Mexico: implications for the geochemical control of metals in algal tissue. *Environ Pollut* **114**, 145-160 (2001).
95. T. Sawidis, M. T. Brown, G. Zachariadis, I. Srtatis, Trace metal concentrations in marine macroalgae from different biotopes in the Aegean Sea. *Environ Int* **27**, 43-47 (2001).
96. M. J. Ruiz Chancho, J. F. López Sánchez, R. Rubio, Occurrence of arsenic species in the seagrass *Posidonia oceanica* and in the marine algae *Lessonia nigrescens* and *Durvillaea antarctica*. *Journal of Applied Phycology* **22**, 465-472 (2010).
97. M. Rose *et al.*, Arsenic in seaweed--forms, concentration and dietary exposure. *Food Chem Toxicol* **45**, 1263-1267 (2007).
98. Y. Sugawa-Katayama *et al.*, Diminution of the arsenic level in Hijiki, *Sargassum fusiforme* (Harvey) Setchell, through pre-cooking treatment. *Trace Nutrients Research* **22**, 107-109 (2005).
99. C. Han, X. Cao, J.-J. Yu, X.-R. Wang, Y. Shen, Arsenic Speciation in *Sargassum fusiforme* by Microwave-Assisted Extraction and LC-ICP-MS. *Chromatographia* **69**, 587-591 (2009).
100. T. Pichler *et al.*, A natural laboratory to study arsenic geobiocomplexity. *EOS, Transactions of the American Geophysical Union* **87**, 221-225 (2006).
101. M. L. Leal-Acosta, E. Shumilin, N. Mirlean, F. Delgadillo-Hinojosa, I. Sanchez-Rodriguez, The impact of marine shallow-water hydrothermal venting on arsenic and mercury accumulation by seaweed *Sargassum sinicola* in Concepcion Bay, Gulf of California. *Environ Sci-Proc Imp* **15**, 470-477 (2013).
102. H. H. Anderson, Boiling Points and Boiling Point Numbers of Trivalent Organoarsenic Compounds. *Journal of Chemical & Engineering Data* **9**, 592-594 (1964).

Liste des tableaux et figures

Tableaux

Tableau 1 : Valeurs limites et maximales selon la Norme NF U44-051.	13
Tableau 2 : Valeurs seuils, normes et recommandations pour l'Arsenic.....	15
Tableau 3 : Valeurs seuils, normes et recommandations pour la Chlordécone.	16
Tableau 4 : Limite de quantification (LQ) des métaux en mg par kg de poids sec.....	17
Tableau 5 : Limite de quantification (LQ) des espèces d'As et de Hg en mg par kg de poids sec.	17
Tableau 6 : Conditions chromatographiques opérationnelles (LC/MS-MS).	18
Tableau 7 : Limites de quantification de la chlordécone et de ses métabolites en µg par kg de poids frais.	19
Tableau 8 : Calendrier des enquêtes ethnographiques sur la période 2018-2020 dans le cadre d'Eco3Sar.	22
Tableau 9 : Profils des enquêtés.....	23
Tableau 10 : Profils des enquêtés.....	23
Tableau 11 : Composition des sargasses dans ces principaux éléments : C, N, P et S. Des mesures de la concentration en phosphore et soufre n'ont été réalisées que pour les échantillons de la campagne 2019. N/A signifie non disponible.	27
Tableau 12 : Concentrations en métaux dans les sargasses.....	29
Tableau 13 : Concentrations en arsenic dans les sargasses.	30
Tableau 14 : Concentration en arsenic dans les sargasses échouées.....	30
Tableau 15 : Concentration dans les différentes formes de l'arsenic.	31
Tableau 16 : Concentration en chlordécone.	32
Tableau 17 : Concentration en chlordécone et en 5b-hydrochlordécone (poids sec), matière sèche et carbone organique total (COT) des sargasses (entières ou par fraction).	36
Tableau 18 : $\text{Log}_{10}K_{oc}$ pour la chlordécone et le 5b-hydrochlordécone vis-à-vis des sargasses brutes ou par fraction.	36
Tableau 19 : Partition de la chlordécone. Valeur, par colonne, en pourcentage du total.....	38
Tableau 20 : Partition de l'arsenic. Valeur, par colonne, en pourcentage du total.	39
Tableau 21 : Acteurs rencontrés durant les missions réalisées par Mme Sandrine Séné, en Guadeloupe et en Martinique, durant le stage réalisé du 4 février au 5 juillet 2019.	98
Tableau 22 : Guide d'entretien auprès des acteurs.....	99
Tableau 23 : Gestion des impacts des sargasses.	100
Tableau 24 : Les sites potentiels de stockage et d'épandage.....	101
Tableau 25 : La gestion des opérations sargasses en Guadeloupe.....	102
Tableau 26 : Gestion des échouements des sargasses à partir de quatre terrains d'étude (février-juillet 2019).	103
Tableau 27 : Gestion des échouements des sargasses à partir de quatre terrains d'étude (février-juillet 2019).	104
Tableau 28 : Gestion des échouements des sargasses à partir de quatre terrains d'étude (février-juillet 2019).	105
Tableau 29 : Gestion des échouements des sargasses à partir de quatre terrains d'étude (février-juillet 2019).	106
Tableau 30 : Données de la littérature sur la concentration en métaux dans les sargasses. Pour les références, voir le document principal.	107
Tableau 31 : Quelques données de la littérature sur la concentration en Arsenic dans les Sargasses. Pour les références voir la bibliographie dans le document principal.	110
Tableau 32 : Exemples d'espèces organiques de l'arsenic présentant un point d'ébullition inférieur à 90°C d'après (102), voir aussi pour les références mentionnées.....	111
Tableau 33 : Corpus Martinique. Liste des entretiens par ordre de réalisation, d'août 2018 à septembre 2019.....	112
Tableau 34 : Corpus Guadeloupe. Les entretiens sont listés par ordre de réalisation pendant le séjour de terrain des étudiants en avril 2019.	114
Tableau 35 : Récapitulatif des résultats sur l'outil de recherche du site de France-Antilles Guadeloupe.....	115
Tableau 36 : Récapitulatif des résultats sur l'outil de recherche du site de France-Antilles Martinique.	116

Figures

Figure 1 : Cartes montrant les sites d'échantillonnage réalisés au cours des campagnes 2018 (à gauche) et 2019 (à droite). La campagne 2018 comprend 37 sites différents et celle 2019 correspond à 32 sites. À cette échelle de résolution, certains sites de prélèvements se superposent. Les cercles sont proportionnels au nombre d'échantillons analysés par site, ce dernier varie entre 1 et 6 avec une moyenne de 3 prélèvements par site en 2018 et 4 par site en 2019. La Dominique a intentionnellement été retirée de ces cartes. 27

Figure 2 : Pourcentage de matière sèche en fonction des campagnes. C1 et C2 pour campagne 2018 et 2019, respectivement. Storage= Site de stockage, SW_marin=sargasses en mer, SW_shore_dry sargasses échouées et sèches, et SW_shore_wet=sargasses échouées et humides. 28

Figure 3 : Boîte à moustaches illustrant les concentrations mesurées dans les sargasses pour différents métaux. 29

Figure 4 : Boîte à moustaches illustrant les concentrations mesurées en arsenic total. C1.971 correspond à la campagne 1 (2018) et à l'archipel de Guadeloupe, C1.972 à la Martinique, C2.971 à la Guadeloupe lors de la campagne 2 (2019) et C2.972 à la Martinique lors de la campagne 2. 30

Figure 5 : Concentration en chlrodécone mesurée dans l'archipel guadeloupéen lors des deux campagnes. Le gradient de couleur correspond aux concentrations en $\mu\text{g}/\text{kg}$ de MS. L'encadré rose illustre la superposition de certains sites ; il couvre les villes de Petit-Bourg (2 sites), Goyave (2 sites) et Capesterre-Belle-Eau (4 sites). 33

Figure 6 : Concentration en chlrodécone dans les sargasses échouées lors des deux campagnes en Martinique. Le gradient de couleur correspond aux concentrations en $\mu\text{g}/\text{kg}$ de MS. Certains points peuvent se superposer. 35

Figure 7 : Évolution de la concentration en chlrodécone dans l'eau des aquariums avec une moyenne de l'expérience à 10 $\mu\text{g}/\text{L}$ 38

Figure 8 : Évolution de la concentration de chlrodécone dans les sargasses. 38

Figure 9 : Concentration d'arsenic dans les sargasses. En bleu : témoin = eau sans arsenic ; en rouge : eau de mer avec 10 μg d'As ; en vert : eau de mer avec 10 μg d'As et sargasses « décapées ». 39

Figure 10 : Cinétique d'accumulation en chlrodécone de sargasses placées dans un site pollué. 40

Figure 11 : Cinétique de décontamination de sargasses contaminées par la chlrodécone dans un site exempt de chlrodécone. 40

Figure 12 : Photos des expériences réalisées sur le site d'HOLDEX Environnement. À gauche, l'expérience de l'andain, et à droite, celle d'un tas de sargasses sans mélange avec des déchets verts. 41

Figure 13 : Concentrations (ligne rouge) et quantités transsudées par les sargasses en condition dite de « laisse de mer » (colonnes bleues). 42

Figure 14 : Concentration en chlrodécone ($\mu\text{g}/\text{L}$) et volume transsudé par les sargasses mises à sécher en condition dite « laisse de mer ». 43

Figure 15 : Quantité journalière de la transsudation de chlrodécone, par mètre cube de sargasses en condition dite « laisse de mer ». 43

Figure 16 : Évolution de la concentration en arsenic dans les sargasses sans pluie simulée. Les couleurs des points correspondent à : ● As total, ● As(V) et ● As(III). 44

Figure 17 : Évolution de la concentration en arsenic dans les sargasses sous une pluie simulée de 500 mm. Les couleurs des points correspondent à : ● As total, ● As(V) et ● As(III). 44

Figure 18 : Évolution de la concentration en arsenic dans les sargasses sous une pluie simulée de 2000 mm. Les couleurs des points correspondent à : ● As total, ● As(V), et ● As(III). 45

Figure 19 : Concentration d'arsenic dans les lixiviats issus des sargasses en pluie simulée. 45

Figure 20 : Concentration en chlrodécone dans les lixiviats issus des sargasses en pluie simulée 2000 mm. 46

Figure 21 : Température ($^{\circ}\text{C}$) dans l'andain pilote durant le suivi et dans le séchage. 46

Figure 22 : Oxygénation (%) dans l'andain pilote durant le suivi et dans le séchage. Points bleu azur : tas de sargasses en séchage. Autres points : oxygénation de l'andain. 47

Figure 23 : Concentrations des espèces organiques et inorganiques d'As dans l'andain pilote. 47

Figure 24 : Concentrations des espèces organiques et inorganiques d'As dans le tas en séchage. Les couleurs des points correspondent à : ● As total en profondeur, ● As total en surface, ● As(V) en profondeur, ● As(V) en surface, ● As(III) en profondeur et ● As(III) en surface. 48

Figure 25 : Pluviométrie du suivi de l'andain-pilote et le séchage concomitant. 48

Figure 26 : Lixiviation de l'arsenic, par jour. Rouge : quantité d'arsenic dans les lixiviats, en μg par jour. Bleu : concentration du lixiviat ($\mu\text{g}/\text{L}$). 49

Figure 27 : Concentration en chlrodécone ($\mu\text{g}/\text{kg}$ de MS) dans l'andain pilote. Ligne verte : limite basse du domaine d'incertitude. Ligne rouge : limite haute du domaine d'incertitude. 50

Figure 28 : Cartes des sites d'échantillonnage utilisés pour les analyses moléculaires. (A) Archipel de la Guadeloupe, et (B) Martinique. À cause de la proximité géographique certains cercles indiquant la position des sites peuvent se superposer. Images montrant les espèces *Sargassum natans* et *S. fluitans* accumulées sur les rivages ou sur les sites de stockage. Les photographies correspondent, de gauche à droite et de haut en bas, à la Porte d'Enfer (Guadeloupe), la plage des Raisins Clairs (Guadeloupe), la plage du Diamant (Martinique) et à un site de stockage au Diamant (Martinique). 51

Figure 29 : Diversité totale et abondances relatives des eucaryotes retrouvés associés aux échouements de sargasses. 52

Figure 30 : Analyses en composante principale montrant les différences de composition des communautés eucaryotes en fonction du milieu ou du substrat. Ces analyses en coordonnées principales de la composition des communautés ont été

calculées sur la base des distances de Bray-Curtis. De gauche à droite : différences de composition des communautés entre l'eau de mer et les sargasses ou entre les sargasses de Martinique qu'elles soient sur le littoral ou sur des sites de stockage.	52
Figure 31 : Diversité globale et abondances relatives des OTUs procaryotes retrouvées associées aux sargasses.	53
Figure 32 : Analyses en composante principale montrant les différences de composition des communautés procaryotes en fonction du milieu ou du substrat. Ces analyses, en coordonnées principales de la composition des communautés, ont été calculées sur la base des distances de Bray-Curtis. A gauche différences de composition des communautés entre l'eau de mer (point bleu) et les sargasses (point marron). A droite différences dans la composition entre les sargasses de Martinique, qu'elles soient sur le littoral (point marron) ou sur des sites de stockage (triangle marron).	54
Figure 33: Visualisation créée à partir de données de perception issues de la presse, des publications d'internautes et questionnaires semi-directifs sur la sargasse. Réalisation : Gnamba Méliane. 2019, [extrait de son mémoire, p. 34. Avec son aimable autorisation].	58
Figure 34 : Article paru dans Le Canard enchaîné, 1er août 2018.	59
Figure 35: Systèmes interprétatifs schématisés d'après les données de l'enquête de terrain. D'après Florence Ménez 2019.	61
Figure 36: Schéma de gouvernance pour la commune du François en Martinique. Source : Séné S., 2019, p. 67.	63
Figure 37 : Schéma de gouvernance pour la commune du Marigot en Martinique. Source : Séné S., 2019, p. 64.	64
Figure 38 : Tableau périodique des sargasses. Les valeurs indiquées correspondent aux moyennes des analyses et sont en mg/kg de matière sèche sauf pour C, N, P et C où elles sont en g/kg de matière sèche.	66
Figure 39 : Présence de chlrodécone dans les sargasses échouées sur les plages des Antilles (Guadeloupe, Martinique).	68
Figure 40 : Illustration de la diversité des organismes associés aux échouements de sargasses.	69
Figure 41 : Photographie extraite de la page Facebook de Sargasse project, janvier 2020.	70
Figure 42 : Compost utilisé dans un lycée agricole en Martinique, à base de boues d'épuration.	71
Figure 43 : Cartes des littoraux impactés par les échouements. A gauche, cas des communes du Marigot et du François (Martinique). Source : Séné S. (2019), p. 63 et 67. A droite, cas des communes d'Anse Bertrand et de Ste Anne (Guadeloupe). Source : Séné S. (2019), p. 63 et 67. A droite, cas des communes d'Anse Bertrand et de Ste Anne (Guadeloupe). Source : Séné S. (2019), p. 63 et 67. A droite, cas des communes d'Anse Bertrand et de Ste Anne (Guadeloupe). Source : Séné S. (2019), p. 52 et 55.	88
Figure 44 : Photographies lors de la campagne de 2018 en Guadeloupe.	89
Figure 45 : Photographies lors de la campagne de 2018 en Martinique.	90
Figure 46 : Photographies lors de la campagne de 2019 en Guadeloupe.	91
Figure 47 : Photographies lors de la campagne de 2019 en Martinique.	92
Figure 48 : Photographies relatives aux enquêtes de terrain ethnographique.	93
Figure 49 : Analyse quantitative du quotidien France-Antilles Martinique des années 2013 à 2018. Répartition du nombre d'articles dans la rubrique Archives.	94
Figure 50 : Analyse quantitative du quotidien France-Antilles Guadeloupe des années 2013 à 2018. Répartition du nombre d'articles dans la rubrique Archives.	95
Figure 51 : Sargasses et agriculture. Document de synthèse pour les agriculteurs, préparé par la Chambre de commerce et d'agriculture de Martinique, le Centre technique de la canne et du sucre, l'Institut technique tropical, Le service d'expérimentations en agroécologie - SEA- de la collectivité territoriale de Martinique, [2018].	96
Figure 52 : Fréquence des occurrences - quotidien Frances-Antilles 2011-2019. La recherche a été effectuée dans la presse selon les thématiques de valorisation/santé publique/économie, responsabilité/causes/écologie/actions de ramassage/typologie des sargasses/ terminologie. D'après Florence Ménez.	97

Glossaire

5b-CLD	5b hydrochlorodécone
AAP	Appel à projet
ACI	Ateliers-chantier d'insertion
ADEME	Agence de la transition écologique (<i>anciennement</i> : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie)
ADN	Acide Désoxyribonucléique
AMI	Appel à manifestation d'intérêt
ANSES	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
AOT	Autorisation d'occupation temporaire
ARS	Agence régionale de santé
As	Arsenic
As(III)	Ou As+3.Sels trivalents, formes variées d'arsénites, dérivées du trioxyde d'arsenic en solution aqueuse
As(V)	Ou As+5.Sels pentavalents, ou arsénates, dérivés du pentoxyde d'arsenic en solution aqueuse
AsB	Arsenobétaïne
AsC	Arsenocholine
BRGM	Bureau des Recherches Géologiques et Minières
CANGT	Communauté d'Agglomération du Nord Grande Terre
CARICOM	Communauté des Caraïbes
CARL	Communauté d'Agglomération de la Riviera du Levant
CATS	The Caribbean aqua-terrestrial solution program
CCRAG	Conférence de coopération régionale Antilles Guyane
CEDEMA	Caribbean Disaster Emergency Management Agency
CDEMA	Agence Caribéenne chargée de la gestion des situations d'urgence
CEVA	Centre d'étude et de valorisation des algues
CGAAER	Centre général de l'alimentation, de l'agriculture et des espaces ruraux
CGADD	Centre général de l'environnement et du développement durable
CIRAD	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
CLD	Chlordécone
CMVOA	Cellule ministérielle de veille opérationnelle et d'alerte
CNRS	Centre national de la recherche scientifique
COGIC	Centre opérationnel de gestion interministérielle des crises
COT	Carbone Organique Total
CTCS	Centre technique de la canne et du sucre
CTM	Collectivité territoriale de la Martinique
CVO	Centre de valorisation organique

DAAF	Direction de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt
DEAL	Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
DGOM	Direction générale des Outre-Mer
DIECCTE	Directions régionales des entreprises, de la concurrence, de la consommation, du travail et de l'emploi
DMA	Acide didiméthylarsinique
EMIZA	Etat-major interministériel de la zone Antilles
EPCI	Etablissement public de coopération intercommunale
EPI	Equipement de protection individuel
H₂S	Hydrogène sulfuré
HAP	Hydrocarbures aromatique polycycliques
HCPS	Haut conseil de la santé publique
IGA	Institut général de l'agriculture
IGN	Institut national de l'information géographique et forestière
INRA	Institut de la recherche agronomique
IRD	Institut de recherche pour le développement
ITT	Institut Technique Tropical
LDA-26	La Drôme Laboratoire - Laboratoire Départemental de la Drôme
MMA	Acide monométhylarsonique
MNHN	Muséum National d'Histoire Naturelle
MS	Matière Sèche
n/a	Non applicable ou non disponible
NERR	Nord equatorial recirculation region
NH₃	Ammoniac
OMM	Observatoire du Milieu Marin Martiniquais
ONF	Office national des forêts
ONU	Organisation des Nations Unies
ORSEC	Organisation de la Réponse de Sécurité Civile
OTU	Operational Taxonomic Unit (<i>en Français</i> : Unité Taxonomique Opérationnelle)
PCB	Polychlorobiphényles
PCR	Polymerase Chain Reaction – Réaction de polymérisation en chaîne
PCS	Plan communal de sauvegarde
POP	Polluant organique persistant
PULSAR	Plan d'urgence local sargasses
SEAS	Système d'alerte précoce de <i>Sargassum</i>
SIG	Système d'information géographique
SIPS	Syndicat intercommunal pour la mise en valeur des plages et sites touristiques de la Guadeloupe
SLNT	National trust de Sainte-Lucie
SMTVD	Syndicat martiniquais pour le traitement et la valorisation des déchets
SU	Sorbonne Université

TIG	Travaux d'intérêt généraux
UA	Université des Antilles
UCN	Université de Caen Normandie
URML	Union régional des médecins libéraux

Annexes

Les annexes ci-dessous correspondent à un certain nombre de figures et de tableaux non présentés dans le texte principal du fait de leur importance et/ou afin d'alléger ce dernier.

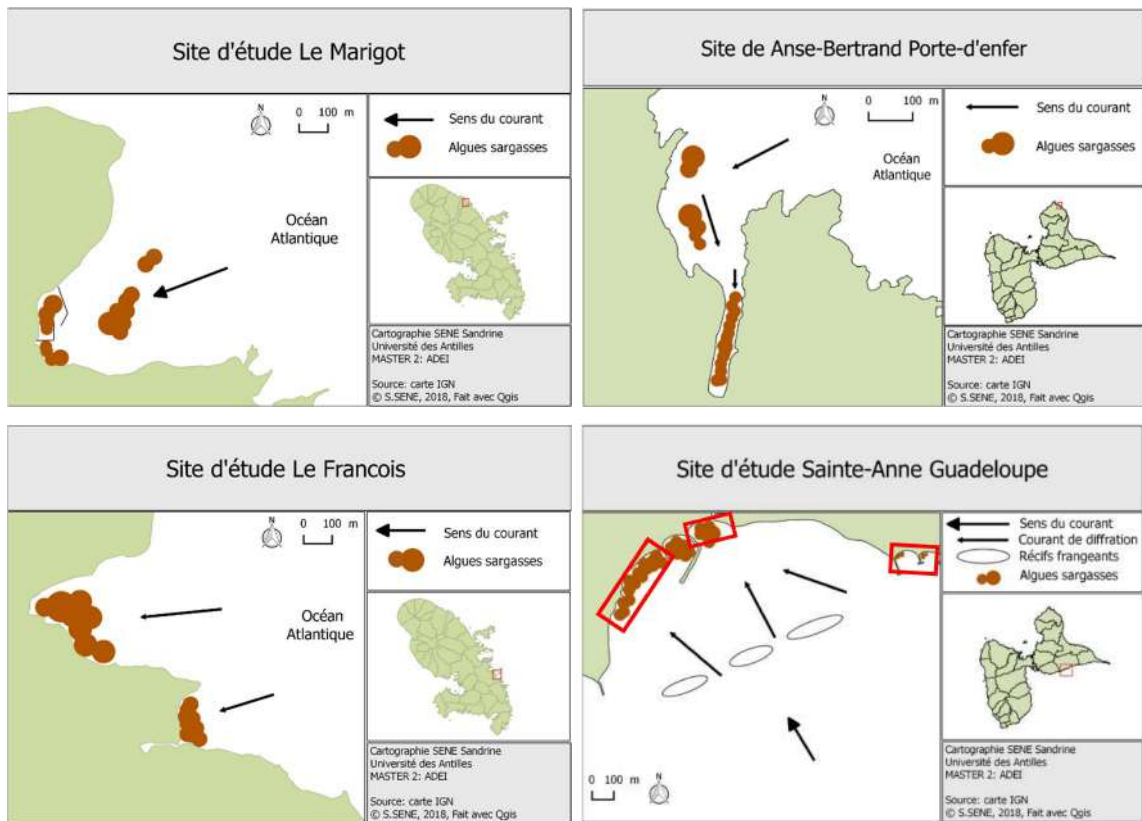


Figure 43 : Cartes des littoraux impactés par les échouements. A gauche, cas des communes du Marigot et du François (Martinique). Source : Séné S. (2019), p. 63 et 67. A droite, cas des communes d'Anse Bertrand et de Ste Anne (Guadeloupe). Source : Séné S. (2019), p. 63 et 67. A droite, cas des communes d'Anse Bertrand et de Ste Anne (Guadeloupe). Source : Séné S. (2019), p. 52 et 55.

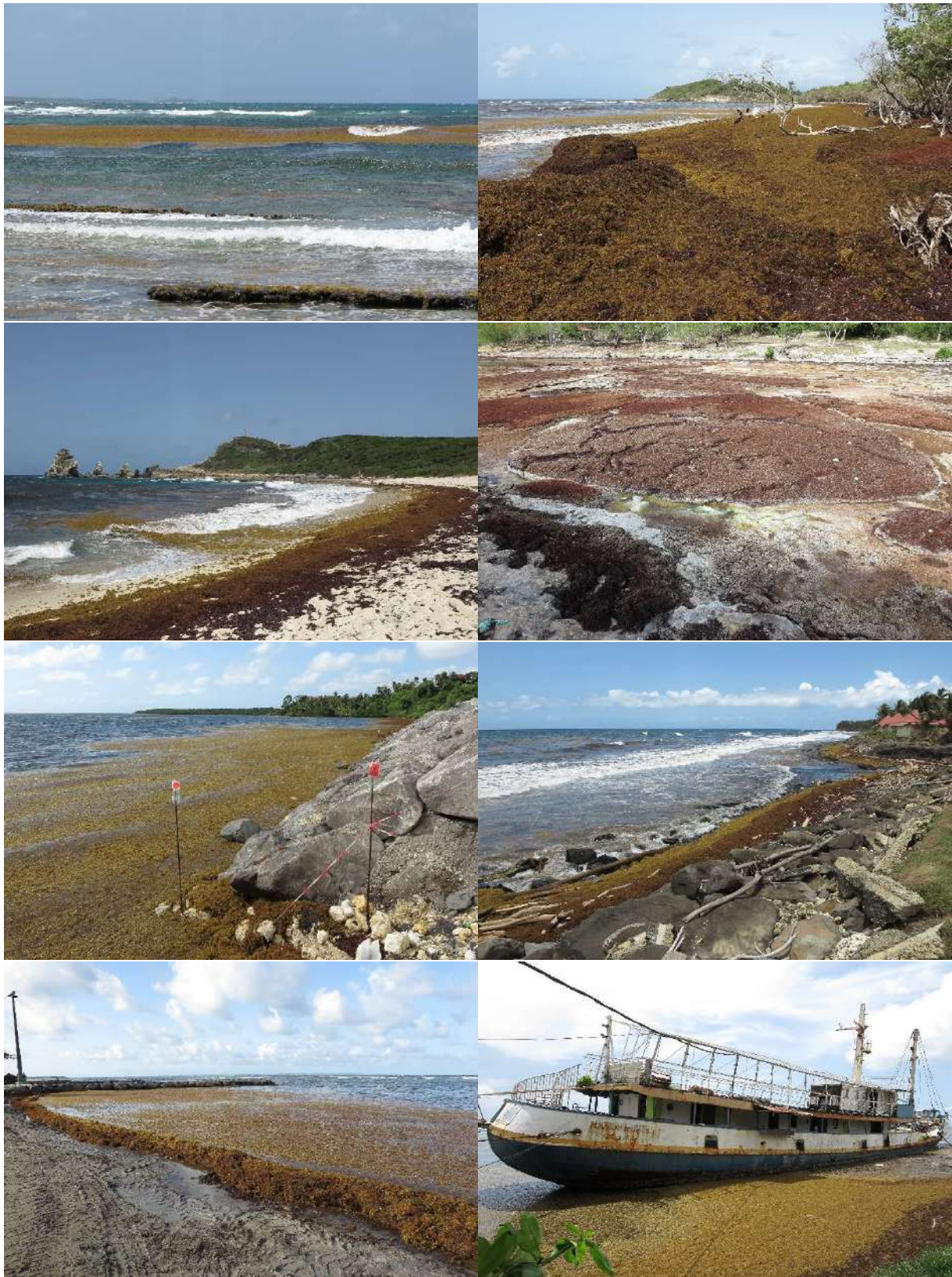


Figure 44 : Photographies lors de la campagne de 2018 en Guadeloupe.



Figure 45 : Photographies lors de la campagne de 2018 en Martinique.



Figure 46 : Photographies lors de la campagne de 2019 en Guadeloupe.



Figure 47 : Photographies lors de la campagne de 2019 en Martinique.

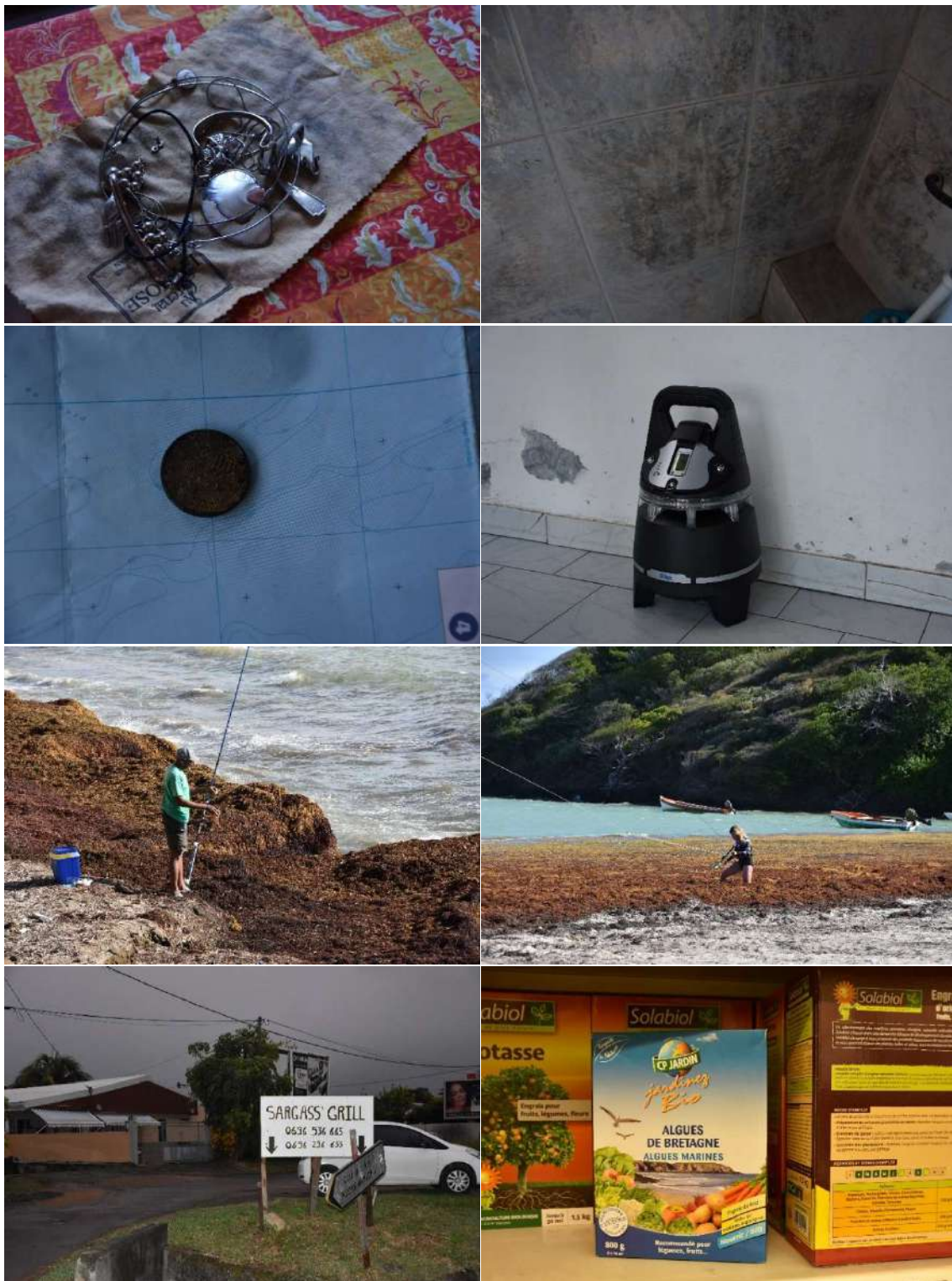


Figure 48 : Photographies relatives aux enquêtes de terrain ethnographique.

Légende de haut en bas et de gauche à droite. Photographie 1 et 2 : Au domicile d'une interlocutrice Pointe Hyacinthe au Robert, Martinique. Bijoux en argent, oxydés, et mur de la salle de bain recouvert de moisissures, 16 février 2019. Photographie 3 : Quartier Pontaléry, Robert, Martinique, pièce de monnaie corrodée, 9 février 2019. Photographie 4 : Quartier Pontaléry, Robert, Martinique, compteur de H2S installé par l'ARS sur la terrasse d'une interlocutrice, 9 février 2019. Photographie 5 : Activités se maintenant malgré les échouages de sargasses. Pêcheur au Vauclin, Vers Château-Paille, Martinique, 9 mars 2019. Photographie 6 : Activités se maintenant malgré les échouages de sargasses. Kite surf à la Pointe Faula, Vauclin, Martinique, 5 janvier 2019. Photographie 7 : Appropriation humoristique, route de Trinité, Martinique, 9 février 2019. Photographie 8 : Amendement à base d'algues vendu en jardinerie. Lamentin, Martinique, 3 septembre 2019



Figure 49 : Analyse quantitative du quotidien France-Antilles Martinique des années 2013 à 2018. Répartition du nombre d'articles dans la rubrique Archives.

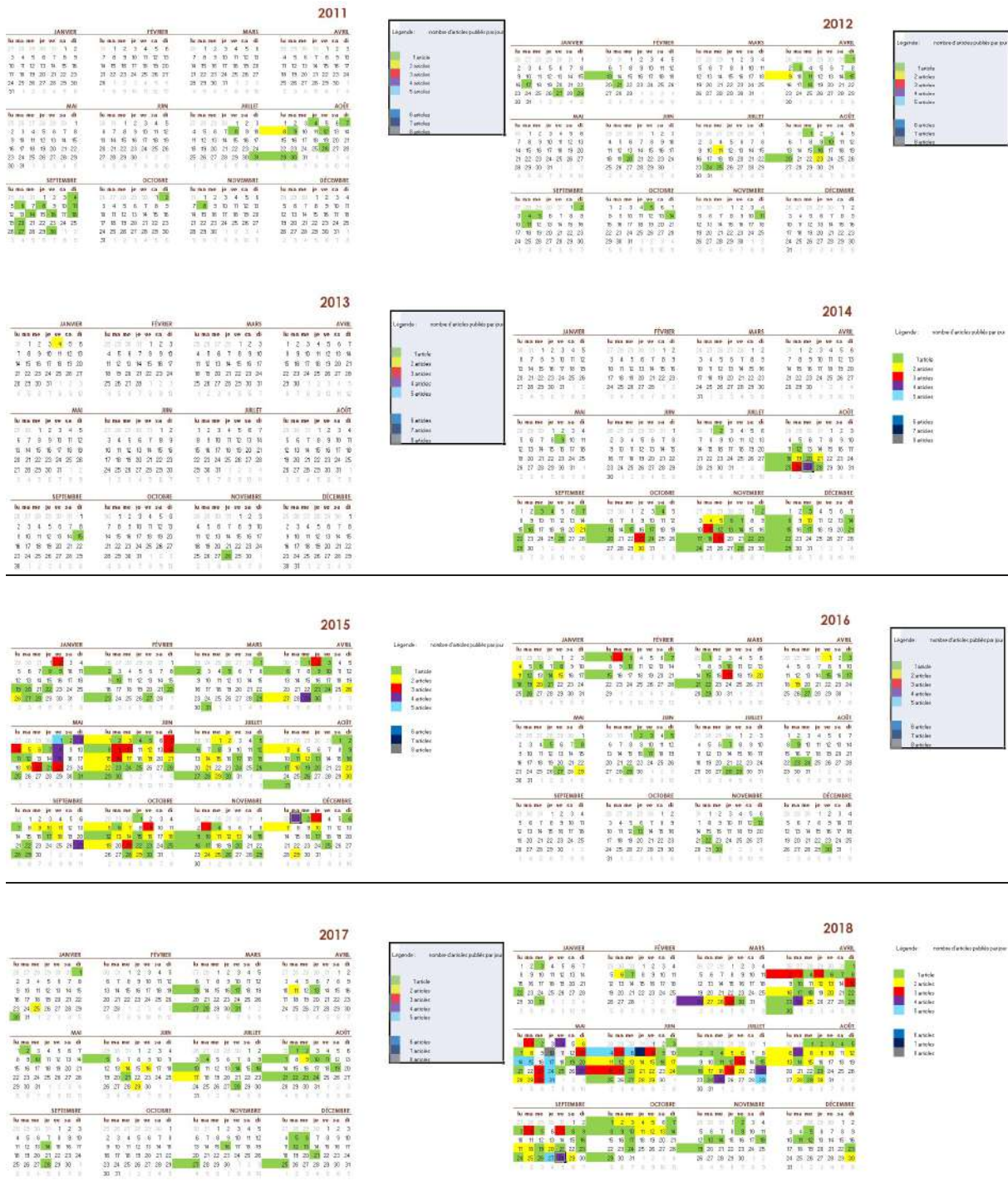


Figure 50 : Analyse quantitative du quotidien France-Antilles Guadeloupe des années 2013 à 2018. Répartition du nombre d'articles dans la rubrique Archives.

Sargasses & Agriculture

UTILISATION DÉCONSEILLÉE EN ÉPANDAGE DIRECT

Que sont les sargasses ?

Les sargasses sont des algues brunes qui vivent à la surface des océans où elles peuvent constituer de très longues traînées, ou d'immenses radeaux qui dérivent au gré du vent et des courants.



D'où viennent-elles ?

Celles qui s'échouent sur nos côtes proviennent d'une zone située au Nord du Brésil. Selon les saisons et les courants, des masses importantes de sargasses remontent et s'échouent sur les côtes des Antilles.

Des échouages néfastes

Au milieu de l'océan, les radeaux de sargasses sont de véritables oasis de vie et des refuges pour de nombreux stades larvaires de poissons et de crustacés. A l'inverse, quand elles s'échouent en quantité sur nos côtes, les conséquences sont néfastes pour l'environnement et pour les activités humaines.



Aucun intérêt pour les cultures en épandage direct !

Des expérimentations ont été menées sur concombre, laitue, patate douce, banane et canne à sucre, avec un apport de sargasses juste avant l'implantation des cultures.

DEUX MODALITÉS ONT ÉTÉ COMPARÉES :

- > sargasses épandues moins de 3 jours après leur ramassage sur plage
- > sargasses épandues après stockage au moins 15 jours en bout de champ

COMPARAISON DE DEUX DOSES

10 tonnes/ha et 20 tonnes/ha avec un témoin sans apport de sargasses.

Les sargasses contiennent 80% d'eau et il y a peu d'éléments intéressants pour les cultures. Les rendements ont été les

mêmes pour les parcelles avec et sans sargasses. Par ailleurs, pas d'effets observés sur les ravageurs. Malgré la présence de quelques oligo-éléments, présence de quelques fraiches ou stockées pendant un moment avant leur épandage n'ont pas d'effet fertilisant !



L'intégration d'une fraction limitée de sargasses dans un compost avec d'autres déchets verts peut en revanche présenter un intérêt.

Risque de salinisation pour nos sols !

La teneur en sodium (sel) des sargasses est importante : 7g/kg de sargasses humides. Le sodium se trouve à l'intérieur des cellules des algues. Un rinçage ne diminue pas beaucoup la quantité de sodium apportée par les sargasses. L'apport de 20 tonnes de sargasses sur un hectare de terre correspond à l'apport de 360 kg de sel de cuisine. Seuls des apports conséquents et répétés risquent donc de saliniser les sols. Parce qu'elles n'apportent rien aux cultures et qu'elles peuvent rapidement saliniser les sols, l'apport de sargasses brutes directement au sol est déconseillé. On retrouve aussi des métaux lourds dans les sargasses, tels que l'arsenic. Les sargasses ne contiennent pas de chloroforme quand elles arrivent sur nos côtes. Elles peuvent cependant en fuir quand elles stagnent plusieurs jours dans des fonds de baie où le polluant peut être présent.

EFFET DU SODIUM DANS LE SOL

L'excès de sodium dans un sol va déformer sa structure : compaction et circulation de l'eau réduite.

Du fait de la teneur en sel, les plantes ont du mal à prélever l'eau et flétrissent malgré un sol humide.



Pour plus d'informations vous pouvez contacter :

LA CHAMBRE D'AGRICULTURE DE MARTINIQUE
Place d'Armes - BP 312 - 97286 LE LAMENTIN Cedex 02 - Tél : 0596 51 75 75

L'INSTITUT TECHNIQUE TROPICAL - IT2
C/o BANAMART - Bois-Rouge - 97224 DUCCOS - Tél : 0596 42 43 44

LE CENTRE TECHNIQUE DE LA CANNE ET DU SUCRE - CTCs
Petit Morne - 97232 LE LAMENTIN - Tél : 0596 51 28 08

LE SERVICE D'EXPÉRIMENTATIONS EN AGROÉCOLOGIE - SEA
DE LA COLLECTIVITÉ TERRITORIALE DE MARTINIQUE - CTM
Quartier Val d'Or - 97227 SAINT-ANNE - Tél : 0596 76 73 36



Figure 51 : Sargasses et agriculture. Document de synthèse pour les agriculteurs, préparé par la Chambre de commerce et d'agriculture de Martinique, le Centre technique de la canne et du sucre, l'Institut technique tropical, Le service d'expérimentations en agroécologie - SEA - de la collectivité territoriale de Martinique, [2018].

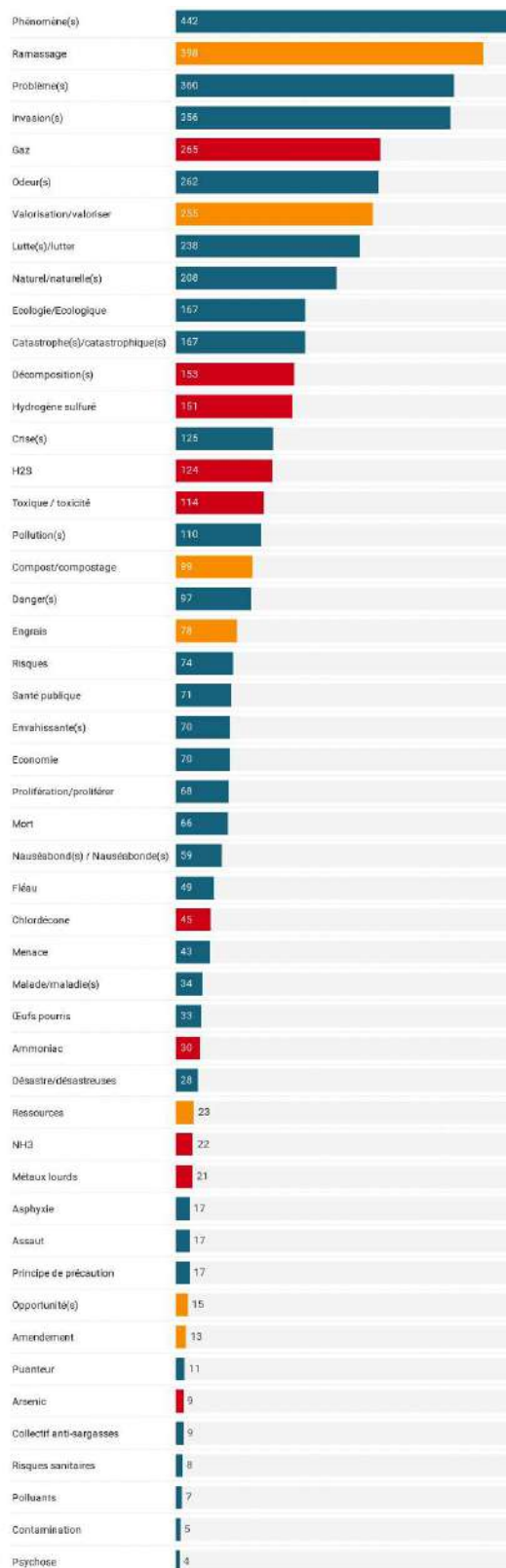


Figure 52 : Fréquence des occurrences - quotidien Frances-Antilles 2011-2019. La recherche a été effectuée dans la presse selon les thématiques de valorisation/santé publique/économie, responsabilité/causes/écologie/actions de ramassage/typologie des sargasses/terminologie. D'après Florence Ménez.

Tableau 21 : Acteurs rencontrés durant les missions réalisées par Mme Sandrine Séné, en Guadeloupe et en Martinique, durant le stage réalisé du 4 février au 5 juillet 2019.

Mission 1 en Guadeloupe (22 au 30 mars 2019)

Structures/Organismes/ Entreprises	Réponse positive : (rendez-vous ou renseignement)	Réponse négative (pas de réponse)
ONF	Oui (renseignement)	
ARS		Pas de réponse
SIPS - Sous-préfecture	Oui (rendez-vous)	
DIRECTION DE LA MER (DM)	Oui (renseignement)	
SITA VERDE	Oui (rendez-vous)	
GWADAIR		Pas de réponse
CONSERVATOIRE DU LITTORAL	Oui (renseignement)	
COMMUNE DE SAINTE-ANNE	Oui (rendez-vous)	
COMMUNE D'ANSE-BERTRAND	Oui (rendez-vous)	
CANGT		Pas de réponse
SORECTA	Oui (rendez-vous)	
Service technique de Capesterre Belle-Eau	Oui	

Mission 2 en Guadeloupe (29 juin au 4 juillet 2019)

Structures/Organismes/ Entreprises	Réponse positive : (rendez-vous ou renseignement)	Réponse négative (pas de réponse)
CANGT	Oui (renseignement)	
CARL	Renseignement DATID	
Mairie de Goyave	Renseignement	
Service technique de Capesterre Belle-Eau	Renseignement	
Service technique de Petit-Bourg	Oui (rendez-vous)	
SORECTA	Rendez-vous	

Mission en Martinique

Structures/Organismes/ Entreprises	Réponse positive : (rendez-vous ou renseignement)	Réponse négative (pas de réponse)
ONF	Oui (renseignement)	
Sous-Préfecture Trinité	Oui	
Sous-Préfecture Le Marin	Oui (mail)	
Service technique Le Marigot	Non	Pas de réponse
SIPDC	Oui	
CVO/SMTVD	Oui	
CAP NORD	Non	
Service technique Le François	Non	

Tableau 22 : Guide d'entretien auprès des acteurs.

Acteurs publics	Acteurs privés entreprises de compostage
Quels sont les sites de stockage ?	
Avez-vous pensé à aménager un site pour accueillir les sargasses comme site de stockage ?	
Quelles sont les entreprises de collecte ?	
Quels sont les moyens de collecte ?	Comment intégrez-vous les sargasses dans le processus de compostage ?
Sont-ils efficaces et est-ce que la collecte des sargasses respecte l'environnement ?	
Tenez-vous compte des veilles satellitaires mises à disposition par la DEAL sur les éventuels échouages ?	Est-ce que les sargasses doivent respecter un protocole avant traitement ?
Avez-vous mis en place un dispositif sur le suivi des échouages et des impacts de ces dernières sur la population et sur l'environnement ?	Sur quels sites sont collectés les sargasses et pourquoi ?
Quels sont les niveaux de responsabilité face au phénomène ?	Avez-vous testé le degré de viabilité des sargasses dans le compost ?
Comment la commune s'organise-t-elle pour la collecte des sargasses ? en fonction de quels critères des dispositifs sont-ils mis en place ?	Les sargasses sont-elles stockées sur les plateformes de compostage ?
Qu'est-ce que la commune a mis en place en matière de diffusion d'information ?	
Est-ce que vous réalisez des visites de terrain afin de recenser les sites d'échouage et les moyens à mettre en place ?	
Sur combien de sites avez-vous déployé des dispositifs et pourquoi ?	
Avez-vous réfléchi à un traitement des sargasses ? Si oui, que faites-vous ?	

Source : Séné S, (2019).

Tableau 23 : Gestion des impacts des sargasses.

Les impacts des algues brunes		
Gestion des algues	Avantages	Inconvénients
Collecte manuelle	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Accès aux sites peu accessibles ➤ Faible impact environnemental 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rendement faible lors d'échouage massif
Collecte mécanique des algues	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Collecte rapide ➤ Nettoyage rapide des côtes touchées 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Accentuation de l'érosion côtière ➤ Écrasement ou détérioration des sites de ponte des tortues ➤ Tassement des sols ➤ Non durable ➤ Pas adapté à certains sites
Barrages	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Protection des rives contre les échouages ➤ Maintien un littoral sans échouage ➤ Favorise la collecte par voie maritime ➤ Stockage en mer ➤ Déviation des algues 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Impact la biocénose marine par asphyxie ➤ Effet écran diminution de la lumière dans l'eau
Stockages (intérieur des terres/ arrière plage)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Désencombre les littoraux fortement impactés 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Perturbation des milieux ➤ Risque de dégagement de lixivats¹² dans les sols ➤ Impact visuel des tas de sargasses ➤ Risque de dégradation d'un autre site ➤ Risque de contamination des sols en sodium, arsenic

Source : Chéreau E., Colombier C. (2019).

¹² Polluants (métaux lourds, micropolluants organiques)

Tableau 24 : Les sites potentiels de stockage et d'épandage.

Martinique		Guadeloupe	
Stockage		Stockage	
Communes	Sites	Communes	Sites
Le Diamant	Ancienne carrière en face de l'Anse Cafard, cap 110 (site de dépôt désigné par la mairie)	Anse-Bertrand	Porte d'Enfer (ONF)
Le François	Ancienne décharge publique toujours utilisée par la population derrière le service technique	Baie Mahault	Moudong (Conservatoire du littoral)
Le Marin	La Duprey, sur la route nationale en face de la mangrove	Capesterre Belle Eau	Pointe du Gros Cap (Conservatoire du littoral)
Le Robert	Ancien stade de foot du Robert, derrière le nouveau (terrain privé ; conflit)	Gosier	Saint-Felix (Conservatoire du littoral)
Sainte-Marie	Réalisation d'un aménagement, mise en place d'un préventif pour l'environnement	Gourbeyre	Route du littoral (géré par l'ONF)
Trinité	Ancienne parcelle agricole qui doit abriter bientôt un cimetière	Goyave	Saint-Claire (Conservatoire du littoral)
Le Vauclin	Derrière la Pointe Faula	Petit-Bourg	Viard (Conservatoire du littoral)
		Petit-Canal	Gros Cap (Conservatoire du littoral)
		Sainte-Anne	Bois-Jolan (Conservatoire du littoral)
		Saint-François	Secteur de la coulée (ONF)

Source : Séné S. (2019).

Tableau 25 : La gestion des opérations sargasses en Guadeloupe.

Niveau de gouvernance	Statut	Services	Responsabilités
Préfet	PUBLIC	ETAT	Chargé de sargasses et la « mission sargasses » (Organisation des reconnaissances, coordination des acteurs, structuration de la réponse opérationnelle) Liaison avec le préfet de zone
Le syndicat intercommunal des plages et des sites touristiques (SIPS)	PUBLIC	ETAT	Information et conseil aux communes et intercommunalités Collecte d'information ; participation, élaboration de plan de gestion ; mise à disposition de la « mission sargasses » ; suivi et réunion
Les collectivités locales	PUBLIC		Mise en place de stratégie d'intervention Collaboration avec : - EPCI - Communes - Etat (Programme de recherche ; financement de station de mesure (24) ; soutien matériel de collecte ; soutien du SIPS ; pilotage de programme INTERREG Caraïbe
	PUBLIC		Enlèvement des sargasses (Port de pêche ; faciliter l'accès à l'activité ; libre circulation des voyageurs) Renfort des moyens matériels
Les mairies	PUBLIC		Ramassage des algues (bande des 300 m) (Acquisition de matériel, informer la population, réglementer la baignade)
Les agences, services et établissements publics de l'État	PUBLIC	ARS	Veille sanitaire Recommandation population
		ADEME	Groupe expert lancement, financement, expérimentation, suivi des projets
		DEAL	Suivi des impacts environnementaux Cartographie prévisionnelle Modalité d'intervention (recommandation)
		DM	Suivi des entreprises: (Pêche, transport maritime, expertise technique de barrage, CEDRE/CEREMA)
		DIECCTE	Suivi des impacts sur les entreprises Dispositif d'indemnisation Chantier d'insertion EPI
		SIPIP	Mise en œuvre des TIG
		ONF/ Conservatoire du littoral	Indentification et suivi des sites d'épandages Suivi des impacts
		DAAF	Identification de nouvelles zones d'épandage Suivi des impacts dans l'agriculture
	Gendarmerie	Reconnaissance ponctuelle	
GWADAIR	PUBLIC		Dispositif de mesure lien avec l'ARS Mesure de la qualité de l'air

Source : Séné S. (2019).

Tableau 26 : Gestion des échouements des sargasses à partir de quatre terrains d'étude (février-juillet 2019).

Gestion des sargasses au François (Martinique)						
	Littoraux impactés	Protection	Ramassage	Stockage	Traitement	Transport
Le François	Sableux/ Mangrove/ Aménagement urbain diffus/ côte rocheuse	Oui Barrage (Frégate Est 2)	Manuel + Pelle long bras + Tractopelle + Barber BP + Par voie maritime	Usine du Simon	HOLDEX CVO	Camion benne

Source : Séné S. (2019).

Tableau 27 : Gestion des échouements des sargasses à partir de quatre terrains d'étude (février-juillet 2019).

Gestion des sargasses au Marigot (Martinique)						
	Littoraux impactés	Protection	Ramassage	Stockage	Traitement	Transport
Le Marigot	Enrochements aménagement artificiel	Oui Barrage dans le port	Manuel + Pelle long bras + Tractopelle + Truxor			Camion benne

Source : Séné S. (2019).

Tableau 28 : Gestion des échouements des sargasses à partir de quatre terrains d'étude (février-juillet 2019).

Gestion des sargasses à l'Anse Bertrand (Guadeloupe)						
	Littoraux impactés	Protection	Ramassage	Stockage	Traitement	Transport
Anse-Bertrand	Meuble, côtes rocheuses	Un barrage mis en place mais pas efficace	Utilisation d'engin mécanique	4 sites : 2 sites de stockages 2 sites d'épandages	Géré par la CANGT	Entreprise privée camion benne

Source : Séné S. (2019).

Tableau 29 : Gestion des échouements des sargasses à partir de quatre terrains d'étude (février-juillet 2019).

Gestion des sargasses à Sainte-Anne (Guadeloupe)							
	Littoraux impactés	Protection	Ramassage	Stockage	Traitement	Transport	
Sainte-Anne	Meuble, aménagements urbains diffus (épis, enrochement)	Pas de barrage	Utilisation d'engin mécanique	2 sites : 1 site de stockage à la déchèterie 1 site d'épandage en arrière plage à l'Anse du Belley	Géré par la CARL	Entreprise privée	

Source : Séné S. (2019).

Tableau 30 : Données de la littérature sur la concentration en métaux dans les sargasses. Pour les références, voir le document principal.

Referenc e	Species	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	V	As	Se
(65)	<i>S. dentifolium</i>		0,98 - 2,1	1,8 - 3,5	0,6 - 1,2	1,5 - 5,2		6,7 - 27,1	2,1 - 8,7	4,5 - 25,8	4,5 - 55,3			
(66)	<i>S. subrepandum</i>		0,1 - 5			2 - 85			0,5 - 50	2 - 51				
(67)	<i>S. latifolium</i>								24,7 - 36,2					
(68)	<i>S. latifolium</i>								31,6 ± 6,4					
(69)	<i>S. vulgare</i>		0,16 ± 0,03			23,1 ± 0,1	4,7 5 ± 0,18			1,04 ± 0,05	23,74 ± 1,19			
(70)	<i>S. binderi</i>		0,76	0,6	3,7	10,2	30,6	3,55	2,8	2,4	2,8	0,9		
(71)	<i>S. stenophyllum</i>		2,01 ± 0,33								580 ± 68			
(71)	<i>S. stenophyllum</i>		0,3 - 2,01											
(72)	<i>S. sp</i>		0,40 - 1,45		1,5 - 9,0	6,0 - 16,8		93,7 - 334,9	8,5 - 9,7	6,2 - 11,1	13,5 - 27,1			
(73)	<i>S. spp.</i>		0,381 - 0,719	178 - 189	4,41 - 6,94	4,75 - 15,5		81,2 - 83,2	7,47 - 9,93	3,02 - 3,12	25,1 - 26,6	14,1 - 25,1	16,1 - 19,7	
(73)	<i>S. spp.</i>		0,264 - 0,91	168 - 191	2,77 - 7,77	4,33 - 16,1		42,9 - 123	6,11 - 10,1	1,70 - 4,33	25,0 - 26,9	11,1 - 30,2		9,95 - 29,5
(74, 75)	<i>S. cinctum</i>		0,07	2,1	0,9	8,3	224	14,8	0,4	0,9	23,2		78,8	
Devault et al. (2020)	<i>S. fluitans and natans</i>		0,18 - 10,63	0,25 - 11,7	0,29 - 167,1	0,9 - 68,5			1,53 - 7,64	0,08 - 4,37	> 1 - 44,8		5,4 - 156,1	
(76)	<i>S. spp.</i>		0,39				2,4		3,6	2	8,1			
(76)	<i>S. crassifolium</i>		0,38				1,4		1,5	1,1	1,7			
(77)	<i>S. linifolium</i>		0,161 ± 0,037	12,5 ± 1,5	134,0 ± 11	29,9 ± 3	39,2 ± 3,2		39,2 ± 3,5		99 ± 3,5			
(78)	<i>S. muticum</i>		0,26 ± 0,01			0,96 ± 0,15	44,45 ± 4,32	188 ± 7,86	0,86 ± 0,2	1,1 ± 0,01	311 ± 11,6			

(79)o	<i>S. hemiphyllum</i>	0,6 ± 0,1			4,4 ± 1,3	62 ± 86	10,2 ± 1,7	6 ± 2,7	21 ± 6,9	
(79)	<i>S. vachellianum</i>	1,1 ± 0,3			5 ± 1	129 ± 83	5,4 ± 0,9	10,6 ± 1,4	63 ± 34	
(80)	<i>S. sp.</i>	1,25 - 2,38	1,2 - 2,6	2,8 - 7	45 - 550	12 - 89,5	2,2 - 9,9	3,9 - 6,5	34 - 41	
(81)	<i>S. kjellmanium</i>			1,27 - 5,66		15,4 - 83,8			11,8 - 25,4	
(81)	<i>S. spp.</i>		0,238 - 2,07	0,699 - 6,05		15,4 - 124			11,8 - 38,7	65,3 - 182,8
(81)	<i>S. thunbergii</i>			3,39		92,5			19,4	
(82)	<i>S. fusiforme</i>	147 ± 7	0,79 ± 0,02	3,4 ± 0,02	1,55 ± 0,07	311 ± 11		0,43 ± 0,03	13,4 ± 0,5	
(83)	<i>S. tenerrimum</i>	< 10		< 20	110 ± 2	< 10			< 5	
(84)	<i>S. stenophyllum</i>	0,37 - 0,25		2,2-3,4	2,5 - 3,8			2,9 - 4,4	23,7 - 108	
(85)	<i>S. swartzii</i>	ND - 0,311	0,006 - 0,334	0,03- 0,291		0,118 - 7,736		ND - 0,165	0,019- 5,537	
(86)	<i>S. thunbergii</i>			1 - 2000				20 - 1000	20 - 2000	
(87)	<i>S. vulgare</i>							5,03 - 18,6	1,08 - 1,47	
(88)	<i>S. elegans</i>		0,2 - 1,5	0,41 - 3,4	7,43 - 43,2	111,5 - 189,77	7,45 - 10,27	1,37 - 3,03	7,16 - 23,33	0,30 - 1,47
(89)	<i>S. pallidum</i>			3,06- 4,81				2,36 - 18,41	50,16- 261,73	
(90)	<i>S. dentifolium</i>	ND - 0,72	ND - 28,39	0,84 - 9,36	85 - 1178,5			ND - 129,64	49,43 - 7,25	
(90)	<i>S. latifolium</i>	0,643 - 0,93	0,89 - 36,54	4,65 - 8,75	115 - 1190,3			2,92 - 161,43	15,18 - 46,52	
(91)	<i>S. spp.</i>	334,95 - 10129,4	0,027 - 0,212	0,072 - 11,857	1,576 - 37,973	2,188 - 23,092	638,582 - 22013,5	4,623 - 248,84	0,757 - 21,524	3,812 - 94,376
(92)	<i>S. fusiforme</i>	1,71 ± 0,17	0,85 ± 0,11	7,93 ± 0,89			2,87 ± 0,38	1,5 ± 0,62	20,87 ± 6,69	57,71 ± 13,44

(92)	<i>S. thunbergii</i>	5,63 ± 0,12	3,84 ± 0,47	12,81 ± 0,83		6,04± 0,53	2 ± 0,24	40,69 ± 4,67	49,08 ± 2,46
(92)	<i>S. vachellianu m</i>	8,48 ± 0,29	1,21 ± 0,12	8,59 ± 0,23		3,11± 0,38	1,9 ± 0,39	81 ± 12,9	23,77 ± 3,88
(93)	<i>S. sp.</i>	2,4 ± 0,38	88 ± 0,44	8,8 ± 0,44	50,19 ± 3,83	97± 7,4	3,1± 1,24	69,51 ± 10,34	200 ± 10,14
(94)	<i>S. sinicola</i>			36,2				30	
(95)	<i>S. sp.</i>	0,07			2,1	38	13,7	0,02	18,7
(18)	<i>S. filipendula et S. vulgare</i>	1,77 - 3,65	4,33 - 13,30	65,79 - 1237,37	20,2 - 134,46	7,07 - 12,08	4,61 - 12,11	12,61 - 194,15	

Tableau 31 : Quelques données de la littérature sur la concentration en Arsenic dans les Sargasses. Pour les références voir la bibliographie dans le document principal.

Espèces	Arsenic ($\mu\text{g}/\text{kg}$ de MS)	Références
<i>Sargassum bracteolosum</i>	64 – 123	(10)
<i>Sargassum fulvellum</i>	115 \pm 9	(96)
<i>Sargassum fusiforme</i>	18 - 124	(97)
<i>Sargassum fusiforme</i>	37 - 146	(98)
<i>Sargassum fusiforme</i>	65,3 - 84,1	(99)
<i>Sargassum horneri</i>	114,3 \pm 27	(100)
<i>Sargassum lacerifolium</i>	2,0 - 40	(9)
<i>Sargassum ramifolium</i>	11 - 66,3	(96)
<i>Sargassum sinicola</i>	62 - 640	(101)
<i>Sargassum sinicola</i>	32 - 80	(101)
<i>Sargassum vulgare</i>	16,1 - 58,8	(96)

Tableau 32 : Exemples d'espèces organiques de l'arsenic présentant un point d'ébullition inférieur à 90°C d'après (102), voir aussi pour les références mentionnées.

Composé	Point d'ébullition (°C)	Référence
$\text{As}(\text{CH}_3)_3$	53,1	Renshaw <i>et al.</i> (1920)
$\text{As}(\text{C}_2\text{H}_5)(\text{CH}_3)$	86	Jones <i>et al.</i> (1932)
$\text{AsH}(\text{CH}_3)_2$	36,3	Dehn & Wilcox (1906)
$\text{AsH}(\text{C}_2\text{H}_5)(\text{CH}_3)$	70,6	Wigren (1924)
$\text{AsH}_2\text{C}_2\text{H}_5$	36	Dehn (1905)
AsCH_3H_2	2,2	Palmer (1901)
AsCH_3F	76,5	Long (1946)

Tableau 33 : Corpus Martinique. Liste des entretiens par ordre de réalisation, d'août 2018 à septembre 2019.

Codes d'entretiens et professions	Profil sociologique	Principales thématiques développées lors des entretiens	Avis sur la transformation des sargasses en amendement positif/négatif/mitigé
M01 Gestionnaire environnement	Homme métropolitain. 40 ans Habite à Fort-de France	Identification des acteurs institutionnels Gouvernance Valorisation	Positif
M02 Agriculteur (agriculture biologique)	Homme martiniquais. 40 ans. Propriétaire de ses terrains à Basse-Pointe (Côte Atlantique)	Agriculture biologique versus Agriculture intensive Autosuffisance Expérimentation compostage avec sargasses	Mitigé : à expérimenter
M03 Agriculteur (agriculture raisonnée)	Homme martiniquais revenu depuis 2 ans au Prêcheur. Propriétaire 65 ans	Agriculture biologique impossible Utilisation de fertilisants	Mitigé : à expérimenter
M04 Agriculteur / Formateur	Homme métropolitain. Habite en Martinique depuis 2018. 40 ans. Le Robert		Positif sous conditions
M05 Directeur d'une jardinerie	Homme métropolitain arrivé en 2017. 40 ans. Fort-de-France	Achats de terreau (marketing) Positif sur la transformation de la sargasse Chlordécone	Positif
M06 Cadre ingénieure	Femme métropolitaine. 40 ans. Habite au Robert (Côte Atlantique) depuis 2009. Entretien au Marigot	Analogie avec chlordécone et amiante Terreau avec boue d'épuration	Positif
M07 Responsable achats jardinerie	Homme martiniquais. Habite au Robert (hauteurs). 40 ans. Entretien au Lamentin	Rappel de l'usage dans l'histoire récente : algues déjà utilisées en amendement Mettre en place une éducation au processus de transformation de la matière sargasses	Positif
M08 Riveraine Retraitée de l'éducation nationale	Femme métropolitaine habitant la Martinique depuis 22 ans Pointe Hyacinthe, Robert	crise sanitaire / souffrance / corrélation maux/dégradation matérielle abandon des pouvoirs publics non information arsenic	Négatif
M09 Riveraine Mère au foyer	Femme martiniquaise. 55 ans Frégate (commune du François)	Matériel dégradé Malaise physique Solidarité entre habitants (barrage) Capteur : importance mesure ppm, pour i	Mitigé
M10 Riveraine Retraitée, ancienne infirmière libérale	Femme martiniquaise. 60 ans. Robert (quartier Pontaléry)	Qualification des sargasses Désespoir car achat maison récente : ne peut plus déménager Maux physiques (asthme)	Négatif
M11 Riveraine. Personnel hospitalier en activité	Femme martiniquaise 60 ans. Habite au Robert (quartier Pontaléry)	Organise la lutte par des barrages filtrants Corrélation risques sanitaires /corrosion	Mitigé
M12 Riveraine. Personnel des écoles. En activité	Femme martiniquaise. 60 ans. Habite au Robert (quartier Pontaléry)	Abandon (Etat, mais aussi abandon face à la saleté envahissante	Mitigé
M13 et M14 Riverains. Entrepreneurs privés	Couple de métropolitains arrivés en 2016 Habitent à Sainte-Marie (Côte Atlantique). Entretien au Robert	Mobilisations, pétitions Danger sanitaire du stockage de sargasses Inactions politiques	Négatif

M15 Pépinieriste	Homme martiniquais. 30 ans. Robert (hauteurs)	Problèmes d'odeurs Réalise son propre compost pour la jardinerie	Mitigé
M16 Ingénieur chimiste et pêcheur amateur	Homme guadeloupéen. 30 ans. Habite à Fort-de-France	Pêche no-kill Avantages des radeaux de sargasses pour la pêche	Positif
M17 Riveraine Infirmière	Femme martiniquaise. 30 ans. Habite au Robert (quartier Pontaléry)	Problèmes de santé Surveille quotidiennement sur le site de l'ARS les taux d'H2S et d'ammoniac	Négatif
M18 Retraitée de l'éducation nationale. Géographe	Femme martiniquaise. 65 ans. Habite au Robert (hauteurs)	Cultive un jardin pour l'auto-suffisance A utilisé les sargasses au début des échouements mais a abandonné à cause de la diffusion de la plaquette de la DAAF	Positif
M19 Pharmacienne	Femme martiniquaise. 50 ans. Habite au Robert	Mesures de prévention des effets de l'hydrogène sulfuré	Aucun avis
M20 Moniteur de voile	Homme martiniquais. 30 ans. Vauclin. Pointe Faula	Problèmes de santé Déménagement prévu	Négatif

Tableau 34 : Corpus Guadeloupe. Les entretiens sont listés par ordre de réalisation pendant le séjour de terrain des étudiants en avril 2019.

Codes d'entretiens et professions	Profil sociologique	Principales thématiques développées lors des entretiens	Avis sur la transformation des sargasses en amendement positif/négatif/mitigé
G01 Pépiniériste	Homme guadeloupéen 60 ans. Baie-Mahault	Préférence pour une utilisation du label bio Comparaison entre Holdex (Martinique) et Sita Verde (Guadeloupe)	Mitigé
G02 Riverain. Agent de mairie. Agriculteur occasionnel	Homme guadeloupéen. Habite à Capesterre Belle-eau	Utilisation des algues dans le passé	Positif
G03 Agriculteur occasionnel	Habite la campagne Petit Canal	Habite la campagne et préfère cultiver ses propres fruits et légumes Refuserait catégoriquement d'utiliser un compost à base de sargasses, préfère son compost personnel fait à partir d'herbe coupée	Négatif
G04 et G05 Riverains. Commerçants	Couple de métropolitains. Vivent en Guadeloupe depuis 2018. Saint-François		
G06 Gestionnaire environnement	Homme. Guadeloupéen. 50 ans Petit-Bourg	Sites d'épandage	Positif
G07 Gestionnaire environnement	Homme. Guadeloupéen. Pointe-à-Pitre	Fonctionnement de la cellule Pulsar Possibilité de faire de l'engrais Blâme de la population alors qu'ils ne connaissent pas la difficulté	Positif
G08 Gestionnaire environnement	Homme guadeloupéen. Capesterre Belle-eau	Valorisation en compost Fonctionnement de la prise en charge dans sa ville	Positif
G09 Riverain Mécanicien	Homme guadeloupéen. 60 ans. Petit-Bourg	Espèce de sargasses différente. Provoque des difficultés pour le tourisme Santé affectée (asthme) Sargasse devient terre après décomposition	Positif
G10 Retraité	Homme guadeloupéen. Capesterre-Belle-eau	Pense que la solution ne se trouve qu'à la source, et refuse catégoriquement de réutiliser quelque chose "causé" par l'extérieur Désintéret total pour une valorisation des sargasses. Considère les sargasses comme une pollution extérieure, et souhaite un débarras définitif du problème	Négatif
G11 Artiste Employée municipale	Femme guadeloupéenne. 50 ans. Moule	Se dit traumatisée par les sargasses Son chien ne s'approchait pas des sargasses, alors qu'il se roulait dans les cendres après que des cendres volcaniques se soient répandues Idées pour pouvoir les contenir au large	Négatif
G12 Artiste	Homme guadeloupéen. 40 ans. Entretien à Pointe-à-Pitre	Concerné par le problème en tant que citoyen même s'il ne subit pas les conséquences directes Pourrait essayer l'une des solutions de valorisation mais avec réticence	Mitigé

Tableau 35 : Récapitulatif des résultats sur l'outil de recherche du site de France-Antilles Guadeloupe.

Recherche\Mot clé	Sargasso	Sargassum	Sargasses	Sargasse	Tous les mots clés
Actualités (titre uniquement)	0	0	13	0	16
Actualités (ensemble de l'article)	0	0	60	6	61
Archives (titre uniquement)	0	0	310	6	349
Archives (ensemble de l'article)	1	6	850	79	861
Nombre total d'articles par mot-clé	1	6	910	85	922

Tableau 36 : Récapitulatif des résultats sur l'outil de recherche du site de France-Antilles Martinique.

Recherche\Mot clé	Sargasso	Sargassum	Sargasses	Sargasse	Tous les mots clés
Actualités (titre uniquement)	0	0	59	1	68
Actualités (ensemble de l'article)	0	1	109	13	113
Archives (titre uniquement)	0	0	253	5	293
Archives (ensemble de l'article)	0	8	684	67	699
Nombre total d'articles par mot-clé	0	9	793	80	812

ECO3SAR : ECOLOGIE, ECOTOXICOLOGIE ET ECONOMIE DES SARGASSES

Résumé : Les échouements massifs de sargasses constatés depuis 2011 posent une diversité de problèmes dans l'ensemble du bassin caribéen et sur certaines côtes ouest-africaines. En effet, leur putréfaction sur la plage et dans les eaux intertidales induit des nuisances mécaniques et sanitaires, et ont des conséquences importantes pour les activités économiques littorales et maritimes, telles que le tourisme ou la pêche. Les échouements modifient les représentations et les pratiques des populations et engendrent des demandes d'action, que la gestion de crise doit prendre en compte. Aujourd'hui, leur ramassage, essentiellement après échouement, est la procédure la plus couramment mise en œuvre dans les Antilles françaises, afin de parer à ces préjudices, ce qui pose des problématiques de collecte, de stockage, d'élimination mais aussi de valorisation.

Le projet Eco3Sar, au travers d'une approche interdisciplinaire, visait à mieux connaître la composition des radeaux de sargasses, notamment par la recherche de contaminants. Cette étude démontre, à l'issue de deux campagnes réalisées en 2018 et 2019, que les sargasses échouées sur les côtes des Antilles française présentaient des concentrations importantes en Arsenic (de l'ordre de 80 mg par Kg de poids sec). Nous avons pu montrer que les sargasses qui sèchent sur les rivages présentent moins d'arsenic. La présence de ce contaminant dans les sargasses impose donc un traitement adapté de ces échouements. De plus, sur certains sites spécifiques, l'étude confirme la présence de quantités importantes du pesticide Chlordécone dans les sargasses. Ce polluant est potentiellement bioaccumulé par ces macroalgues selon les eaux littorales qu'elles croisent. Nous avons pu confirmer qu'en suivant des règles strictes de productions, des andains pouvaient être produits conformément aux normes françaises actuelles. Selon nous, il s'avère important que ces pratiques de valorisation soient réalisées dans des installations classées et qu'un large spectre de contaminants tant environnementaux et/ou anthropiques soit analysé.

Cette étude a aussi révélé que les microbiotes associés aux sargasses, que ce soit sur les sites littoraux ou de stockage, présentent une large diversité d'organismes potentiellement impliqués dans la production de sulfure d'hydrogène, la fermentation, le métabolisme de l'azote ou la dégradation de constituants organiques complexes issus des sargasses. Le suivi de la qualité microbiologique tout comme l'exploitation de la diversité microbienne pourraient être utiles pour le développement d'applications potentielles en biotechnologies.

Enfin, des études de l'acceptabilité sociale de cette nouvelle filière de valorisation ont été initiées, ainsi que des modes de gouvernance associés. Ces premières études conseillent une diffusion sans filtre des résultats d'analyses, ainsi que des recommandations et normes qui s'appliquent aux industriels. Outre la mise en place d'une pédagogie, le déroulement d'ateliers de compostage/amendement auprès du public et la visite de sites de productions pourraient permettre l'élaboration et la transmission de savoirs sur les filières ainsi que l'appropriation par les populations. Nous suggérons qu'il pourrait être intéressant de mettre en place, tant aux échelles locales qu'internationales, des labels sur les produits et des informations sur la traçabilité et l'origine des sargasses utilisées.

Essentiel à retenir ou exergue ou discours marketing

Depuis 2011, les échouements de sargasses posent des problèmes sur les rivages caribéens.

Une des solutions est le ramassage et la valorisation en amendement de ces algues.

Le projet Eco3Sar a mesuré l'évolution de l'arsenic et du chlordécone, deux des contaminants présents, et proposé des solutions pour une procédure adaptée dans des installations classées, conformément aux normes françaises actuelles.

Par ailleurs, la grande diversité de microorganismes associés aux sargasses échouées et sur les sites de stockage, pourrait être utile au développement de biotechnologies.

L'acceptabilité sociale de cette valorisation est fluctuante et nécessite une communication transparente et la réalisation d'une traçabilité des compositions et procédures.

