



Depuis 80 ans, nos connaissances
bâtissent de nouveaux mondes



Note de synthèse du projet Ecologie Ecotoxicologie et Economie des Sargasses (Eco3Sar)

Consortium scientifique du projet :

Pascal Jean Lopez (DR, CNRS), Damien Devault (Chercheur Associé, CNRS), Florence Menez (Chercheuse associée, MNHN - UA), Anne Péné-Annette (MCF, UA), Malika René-Trouillefou (MCF, UA), Franck Dolique (PR, UA), Josie Lambourdière (AI, CNRS), Vincent Hervé (Postdoc, MPI – Allemagne).

Partenaire coordinateur du projet :

Centre National de la Recherche Scientifique ; UMR BOREA.

Partenaire du projet :

Laboratoire Départemental d'Analyse de la Drôme (LDA 26)

Financement :

Agence de la transition écologique (ADEME)

Les échouements massifs de sargasses constatés depuis 2011 posent des problèmes importants dans l'ensemble du bassin caribéen et sur certaines côtes africaines. En effet, leur putréfaction sur la plage et dans les eaux intertidales induit des nuisances olfactives, mécaniques et sanitaires, et ont des conséquences économiques importantes pour différents secteurs d'activités dont le tourisme et les professionnels de la mer et du littoral. De plus, ces échouements engendrent des modifications des représentations sociales mais aussi des demandes d'actions de la part des populations, ce qui implique des réorganisations dans la gestion de cette crise. Aujourd'hui, leur ramassage, essentiellement après échouement, est la procédure mise en œuvre la plus répandue dans les Antilles françaises, afin de parer à ces préjudices, aboutissant à des problématiques de collecte, de stockage, d'élimination mais aussi de valorisation.

Le projet Eco3Sar, au travers d'une approche interdisciplinaire, a visé à mieux connaître la composition des radeaux de sargasses, notamment par la recherche de contaminants tant chimiques, qu'organiques ou biologiques. En effet, il est envisageable que des composés organiques, chimiques ou bactériologiques ayant pu s'accumuler dans les sargasses deviennent une source de contamination au cours des processus de stockage et de valorisation, voire pour les co-produits issus des sargasses. La production d'amendement étant aujourd'hui l'une des filières viables aux Antilles françaises, ce projet avait aussi pour but d'étudier plus finement les dynamiques de contaminations et de décontaminations au cours du processus de transformation en amendement mais aussi lors du processus de séchage naturel (qui imite la sargasse stockée sur site). En parallèle, des études de l'acceptabilité sociale de cette nouvelle filière de valorisation ont été initiées en tant qu'enjeu majeur pour l'économie et la société, ainsi que pour les modes de gouvernance associés.

Au cours de ce projet il est apparu primordial de réaliser des campagnes d'échantillonnage relativement exhaustives pour analyser tant spatialement que temporellement les différences de composition des sargasses en éléments principaux (Carbone, Azote, Soufre, Phosphore), métaux lourds et métalloïdes et pour la présence d'un polluant organique persistant, la chlrodécone. Deux campagnes d'échantillonnage ont été principalement réalisées, **l'une en juillet et août 2018 et l'autre au cours des mois de mars et avril 2019. Au final ce sont près de 230 lots qui ont été analysés**, qui correspondent, dans la grande majorité des cas, à des triplicatas d'analyse par site. Ces derniers qui couvrent les façades atlantiques de la Martinique et de la Guadeloupe, incluent aussi



Depuis 80 ans, nos connaissances
bâtissent de nouveaux mondes



Marie-Galante, La Désirade et Les Saintes. Il faut noter que quelques sites de stockages en Martinique ont été échantillonnés dans cette étude, tout comme des échantillons prélevés à 20-30 km au large de la pointe Sud-Est de la Martinique.

Les concentrations moyennes obtenues dans les sargasses sont de 0,45 mg/kg pour le cadmium (Cd), 11,4 mg/kg pour le chrome (Cr), 1,1 mg/kg pour le cobalt (Co), 4,3 mg/kg pour le cuivre (Cu), 3,8 mg/kg pour le nickel (Ni), 0,55 mg/kg pour le plomb (Pb), 7,4 mg/kg pour le zinc (Zn) et en dessous des limites de détection pour le mercure (Hg) et le méthyl-mercure (HgX-CH₃). De par des concentrations faibles et en dessous des normes, il apparaît que les sargasses ne sont pas contaminées par ces éléments, ce qui est en accord avec la littérature internationale sur ce thème. **Ces métaux, qui ne semblent donc pas présenter d'enjeux environnementaux au regard des normes actuelles, ne sont pas non plus un obstacle à la valorisation des sargasses notamment sous la forme d'amendement organique.**

Pour l'arsenic (As), nous avons pu montrer que la forme minérale largement majoritaire est celle la moins toxique à savoir l'arsenic (V), et qu'en moyenne les formes minérales représentaient environ les trois-quarts de l'arsenic total (avec cependant des variations importantes). Indépendamment de la forme, la concentration en arsenic total phyto-accumulée dans les sargasses qui s'échouent est en moyenne de 80 mg par kg de matière sèche (min = 9,5 et max = 156) en considérant les deux campagnes. Une variabilité interannuelle a pu être observée. Cette étude a aussi permis de montrer qu'au cours du processus de séchage sur les plages la quantité d'As totale pouvait baisser de manière significative dans les sargasses. Les sargasses issues des sites de stockage présentaient elles aussi une concentration significativement plus faible en arsenic que celles prélevées sur les sites d'échouages. **La présence d'arsenic dans les sargasses impose donc un traitement adapté des échouements : laisser les sargasses en eau induirait la transsudation de quantités potentiellement importantes d'arsenic dans le milieu.** Il y va d'une certaine logique de proposer que la collecte de sargasses encore fraîches pourrait permettre de réduire l'apport d'arsenic dans l'environnement. Même si les conséquences environnementales du relargage d'une partie de l'arsenic issu des sargasses n'ont pas fait l'objet de la présente étude, il serait important de poser la question de son devenir dans les réseaux trophiques et de la possibilité de bioaccumulations de l'As par certains organismes consommés ou non. Le devenir de l'arsenic issu des sargasses collectées dans les sites de stockage et de valorisation est bel et bien une question importante. Cette étude a permis de montrer que les lixiviats de sargasses peuvent contenir des concentrations en arsenic très élevées (pouvant être supérieure à 1000 µg/L). Ainsi, même si nous avons pu confirmer que les produits de valorisation issus de chez Holdex Environnement sous formes d'andains sont conformes aux normes françaises actuelles (voir *Annexe*), nos analyses **prônent l'importance de pratiques dans des installations classées pour cette voie de valorisation.**

En ce qui concerne la chlrodécone présente dans les sargasses échouées sur les côtes de Guadeloupe et Martinique, les résultats du projet Eco3Sar, complètent et étendent nos connaissances sur la contamination par ce polluant persistant. Ainsi, l'analyse d'une quinzaine de sites en Martinique et près d'une vingtaine pour l'archipel de la Guadeloupe révèle l'absence de chlrodécone 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 constaté une certaine hétérogénéité spatiale et temporelle des concentrations mesurées, allant de quelques µg par kg de matière sèche (MS) de sargasses, jusqu'à des maxima de 1,9 mg/kg de MS pour la plage des Roseaux à Capesterre-Belle-Eau ou 0,58 mg/kg de MS pour Quartier Bac en Martinique. Ainsi, en moyenne et sur les mêmes sites, les concentrations mesurées lors de la campagne du début du printemps 2019 étaient toujours supérieures à celles de la campagne de l'été 2018 (facteur 1,5 à 2). Sans avoir d'explication réelle, il est à constater que les sargasses issues de la campagne 2019 correspondaient plus systématiquement à des arrivages récents, suggérant une influence éventuelle des processus de dégradation, de lessivage, de séchage sur site, voire des différences interannuelles dans les concentrations marines en chlrodécone. Une expérience



Depuis 80 ans, nos connaissances
bâtissent de nouveaux mondes



pilote de suivi d'andain, avec volontairement des sargasses contaminées en chlordécone a montré que la concentration de chlordécone après deux mois de traitement industriel était inférieure à celle au début du processus (voir *Annexe*).

Ce projet Eco3Sar a permis d'étudier la diversité moléculaire des organismes eucaryotes (protistes, champignons, etc.) et procaryotes (bactéries et archées) associés aux sargasses échouées. Il a été démontré que plusieurs dizaines de milliers d'organismes (~22000 procaryotes et ~18000 eucaryotes) vivaient en association, interdépendance et/ou proximité avec les sargasses. Des différences statistiques de la composition des communautés mais aussi des organismes spécifiques ont pu être démontrées entre l'eau de mer environnante et les sargasses du rivage mais aussi entre les sargasses en mer de celles issues des sites de stockage. Ces résultats révèlent aussi la diversité d'espèces potentiellement impliquées 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 en de futures applications potentielles en biotechnologiques, pourraient être l'une des conséquences de cette étude.

En parallèle aux études susmentionnées, nous avons pu commencer l'analyse des représentations sociales pour l'utilisation de produits de valorisation des sargasses. En effet, mieux comprendre la manière dont les populations locales pourraient concevoir la transformation d'une abondance nocive en potentielles ressources permettrait de gérer différemment les littoraux anthropisés et naturels et ainsi contribuer à l'atténuation des problèmes de santé dus à ces pollutions environnementales mais aussi les potentiels impacts environnementaux et économique. L'objectif de l'enquête réalisée était de mettre à jour les degrés d'acceptabilité de la transformation des sargasses en amendement auprès d'une pluralité d'acteurs sociaux. Comme nous pouvions le subodorer, les sargasses et surtout leur décomposition sur les rivages sont des éléments perturbateurs dans un contexte socio-historique sensible aux problèmes environnementaux. D'après les données recueillies auprès de 31 acteurs sociaux de différents profils, et sur des terrains ethnographiques multi-situés en Martinique et Guadeloupe, trois schémas de représentations ont pu être dessinés : (i) l'indifférence à une situation venant d'une insensibilité à des potentiels risques sanitaires due notamment à une fréquentation sporadique des lieux impactés. Ce schéma représentatif amène à envisager sans réticences la valorisation en amendement ; (ii) la vigilance constante due à la volonté de comprendre et de (voir) traiter une situation considérée comme complexe, grave, et irradiant tous les domaines de la société. Cette « hypervigilance » notamment sur les risques sanitaires et sur les risques écologiques provoque une demande d'informations précises et non-contradictoires, une réassurance sur les possibilités de valorisation et d'envisager une expérimentation personnelle de l'amendement ; et (iii) le refus pour des acteurs sociaux vivant cette nuisance au quotidien, qui amène à une impossibilité de conceptualiser la sargasse en ressource. Dès lors, les recommandations envisagées doivent passer par une diffusion sans filtre des résultats d'analyses, mais aussi des recommandations et des normes qui s'appliquent aux industriels. Par ailleurs, il pourrait être intéressant d'évaluer l'introduction de labels sur les produits et d'informations sur la traçabilité et l'origine des sargasses utilisées. Outre l'éducation, primordiale, la mise en place d'ateliers de compostage/amendement auprès du public et la visite des sites de productions pourraient permettre l'élaboration et la transmission de savoirs sur les filières et l'appropriation à l'échelle individuelle de techniques d'aide à une production maraîchère locale.

Avec la formation de plusieurs étudiant.e.s antillais.e.s, la contribution de chercheur.e.s et d'enseignant.e.s chercheur.e.s de France hexagonale et de l'université des Antilles, l'expertise du laboratoire départemental de la Drôme, le projet Eco3Sar met en exergue l'attention qu'il faut porter à l'origine des sargasses, à une meilleure gestion des sites de stockage, à l'analyse de la qualité des produits finis issus de la valorisation et à la communication. Ce projet invite aussi à mettre en place une réflexion sur des normes et



Depuis 80 ans, nos connaissances
bâtissent de nouveaux mondes



labels partagés pour les produits issus des sargasses. Enfin, le développement d'une interface permettant le rendu public des ressources issues de cette étude, permettrait de démontrer la volonté de transparence de l'Etat sur cette question qui entrecroise santé publique, environnement et valorisation.

Remerciements : Rédacteurs de cette note : Pascal Jean Lopez, Damien Devault, Florence Menez et Anne Péné-Annette. Relecteurs pour l'ADEME : pour la Martinique Charlotte Gully et Clio Maridakis et pour la Guadeloupe Nina Cudennec. Relecteur pour la DEAL Martinique : Fabien Védie. Nous remercions également monsieur Mike Bernus gérant de la société Holdex Environnement pour l'accès à son site industriel et la réalisation d'expériences pilotes.



Depuis 80 ans, nos connaissances
bâtissent de nouveaux mondes



Annexe : Expérience pilote de formation d'andain en présence de sargasses

Dans le but de mieux connaître l'un des processus de valorisation des sargasses au travers de leur incorporation dans la fabrication d'amendements organiques, une expérience pilote a été réalisée grâce à l'aimable coopération de HOLDEX Environnement.

Un andain expérimental a été suivi sur une période de 2 mois s'étalant du 10 juillet 2019 au 2 septembre 2019. Les 8 et 9 juillet, 32 mètres cubes de sargasses fraîches ont été prélevées sur la plage du bourg de Sainte-Marie et incorporées à des déchets verts (y compris bagasse) et issus d'activités avicoles pour constituer un andain de 300 mètres cubes. Ce dernier, réalisé sur une dalle étanche normée pour récolter le ruissellement a subi le processus industriel de modelage, retournement, etc. L'objectif était de déterminer l'évolution de la teneur en chlordécone et en arsenic.

Le suivi dans l'andain a été réalisé avec une fréquence décroissante dans le temps : quotidien-les cinq premiers jours, tous les deux jours jusqu'à J+11, tous les trois jours jusqu'à J+20, et un prélèvement à J+55. 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 1,2m de haut) sur deux points de prélèvement, et en surface dans le cas restant. Chaque prélèvement était réalisé en triangle, les gros éléments inertes étant écartés (pierres, branches...). L'hétérogénéité a été remarquable jusqu'à J+2 mais la variabilité n'excèdera pas 20% ensuite.

En partant d'une concentration totale en arsenic mesurée dans les sargasses de 66,9+/-4,4 mg(As)/kg MS, un suivi de son évolution a été réalisé au cours du temps. Ainsi partant d'une concentration initiale mesurée dans l'andain de l'ordre de 25 mg/kg de MS, cette dernière a diminué pour atteindre assez rapidement 2 à 4 mg/kg de MS. Il faut noter que l'As-V, une forme inorganique, représentait 60% de l'arsenic total à J0 pour être réduit à partir de J+3 à des concentrations vestigiales très minoritaires au profit des formes organo-arsénielles, d'une toxicité 20 à 60 fois moins toxique mais plus volatiles. Nos expériences ont permis de proposer qu'une partie de la baisse pourrait être due à de la volatilisation ; une piste importante à conforter. Ainsi la seule dilution dans un volume d'amendement organique environ dix fois plus grand sans compter la spéciation en forme organo-arsénielle moins toxique que l'arsenic initial, assure donc l'innocuité de l'andain produit par HOLDEX Environnement. La norme NF U44 051 s'appliquant pour les produits de HOLDEX Environnement, étant de 18 mg/kg, HOLDEX pourrait surement incorporer plus de sargasses dans ces andains, et 30% de sargasses dans ses andains semble un objectif atteignable.

Concernant la concentration de chlordécone, de 60 µg/kg de MS dans l'andain au début de l'expérience elle baissa jusqu'à une teneur de 15 µg/kg de MS. Cette baisse ne semble pas être due à l'export par l'eau ou à la volatilisation. La chlordécone est connue pour être dégradée dans des conditions anaérobies à partir de 60°C : l'absence de détection de métabolite empêche d'affirmer que cette baisse est due à la déchloration de la molécule et des études complémentaires sont donc requises.

Au regard de ces expériences, il est important de rappeler l'importance de réaliser cette forme de valorisation en co-compostage dans des installations normées pour notamment traiter et contrôler le devenir des lixiviats (ce qui fait l'objet du projet d'extension d'Holdex) et d'autre part s'assurer des entrants (sargasses issues de zones de non restriction de pêche) et de la qualité des produits de valorisation.