



# Prix de mémoire de fin d'étude 2023 de la fondation Xavier Bernard

Dynamique d'échouement des sargasses en Martinique :  
mise en place d'un système de prévision courte échelle et  
aide au positionnement des barrages anti-sargasses

Ludivine GOUJON  
([ludiv.goujon@gmail.com](mailto:ludiv.goujon@gmail.com))

# Remerciements

Je remercie chaleureusement :

- Écoles : **ENGEEES**, ENTPE, écoles partenaires du master SIEU
- Encadrantes de stage : **Mme. CHEVALIER** (MIO) et **Mme. VILLARET** (MOBIDYC)
- Rapporteurs : **M. LEVEQUE** et **M. SOUCHON**
- Membres du jury de TFE dont **M. MASBOU** (ENGEEES – ITES UMR 7063)
- Toutes les personnes avec qui j'ai échangé sur les sargasses durant et après le TFE



# Dynamique d'échouement des sargasses en Martinique

1

Contexte

2

Influence des phénomènes météoro-océaniques sur les échouements

3

Modélisation du déplacement des sargasses de la haute mer aux côtes martiniquaises

4

Perspectives : améliorations et prolongements

# 1. Contexte

Echouements massifs de sargasses depuis 2011 dans les Caraïbes



Troubles sanitaires, économiques et environnementaux



*Sargasses envahissant toute la baie des Mulets (Le Vauclin, Martinique) [2]*



# 1. Contexte

## Difficulté des gestionnaires

1. Caractère aléatoire et imprévisible des échouements de sargasses
2. Dimensionnement hypothétique des moyens à mobiliser



*Barrage anti-sargasses [9]*

## Martinique :

### Quelle dynamique d'échouement des sargasses ?

- Développement d'un système de prévision fiable
- Analyse de l'influence des phénomènes météo-océaniques

1

Contexte

2

Influence des phénomènes météoro-océaniques sur les échouements

3

Modélisation du déplacement des sargasses de la haute mer aux côtes martiniquaises

4

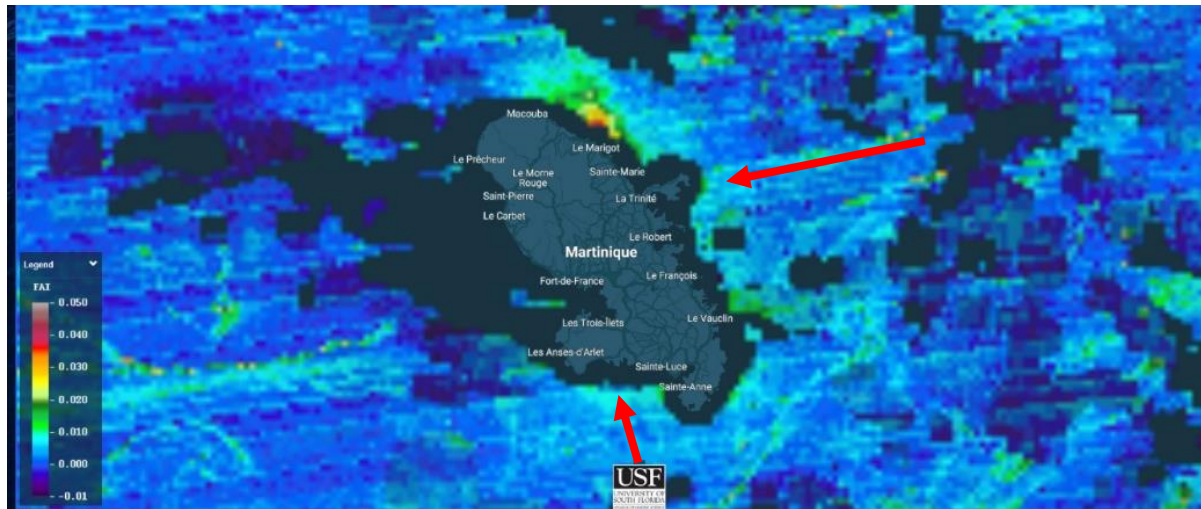
Perspectives : améliorations et prolongements



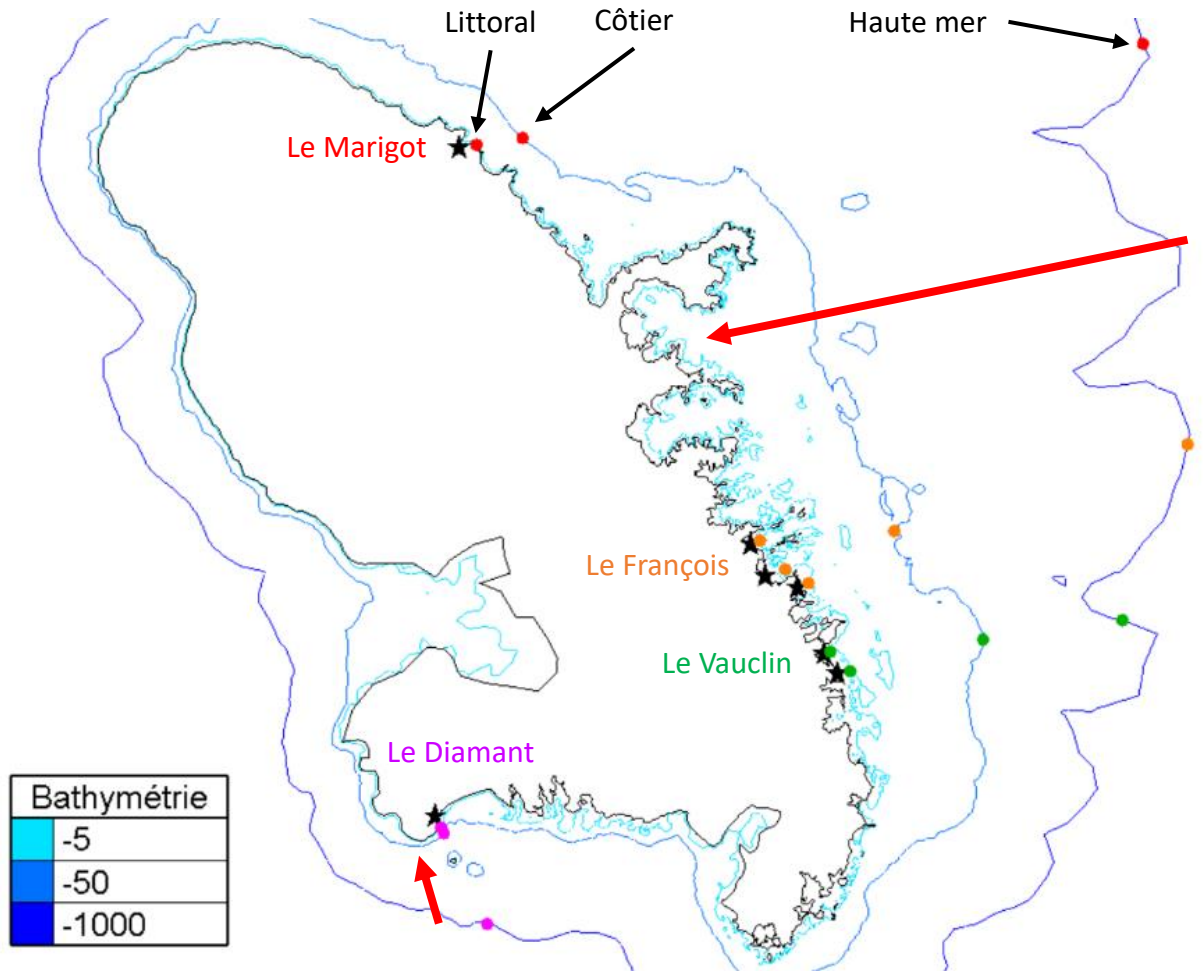
# 2. Influence des phénomènes météo-océaniques

## Localisation des points d'observation

Pourquoi ?	Connaître l'influence des phénomènes météo-océaniques (courant, houle, marée, vent...) sur l'échouement des sargasses
Comment ?	Corrélations enregistrements H <sub>2</sub> S - phénomènes météo-océaniques Hypothèse : Présence de H <sub>2</sub> S ⇔ Echouement de sargasses
Quand ?	1 <sup>er</sup> janvier 2020 - 2 juillet 2021
Où ?	7 stations de mesure (H <sub>2</sub> S) x 3 distances à la côte (phénomènes météo-océaniques)



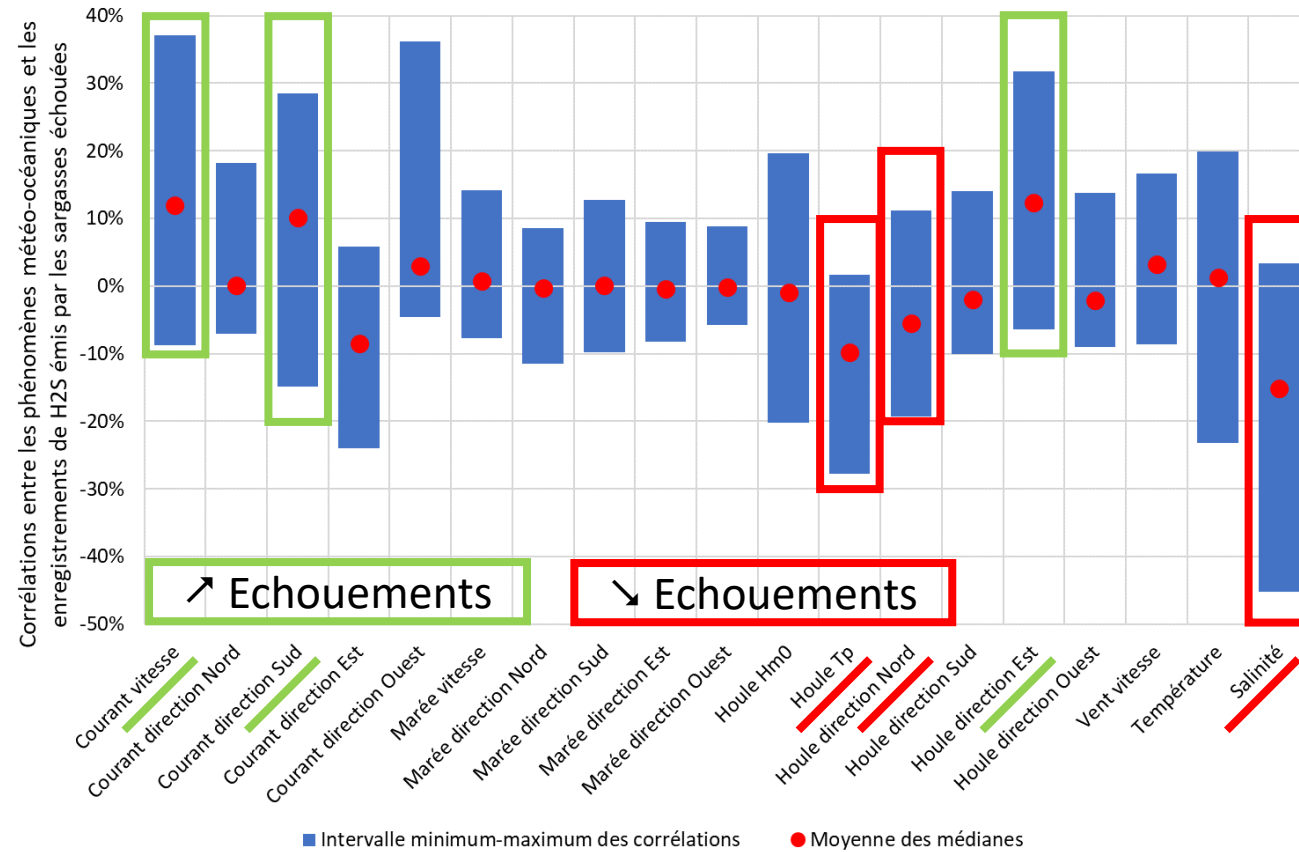
Détection satellitaire des sargasses en Martinique au 25 juin 2022 à 13h12 AST [11]



Localisation des données météo-océaniques

## 2. Influence des phénomènes météo-océaniques

### Résultats des corrélations toutes stations confondues



Corrélations entre les phénomènes météo-océaniques et le H<sub>2</sub>S émis par les sargasses échouées toutes stations confondues

1

Contexte

2

Influence des phénomènes météoro-océaniques sur les échouements

3

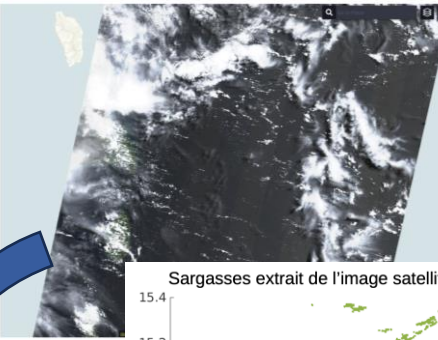
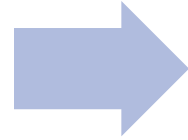
Modélisation du déplacement des sargasses de la haute mer aux côtes martiniquaises

4

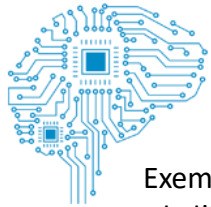
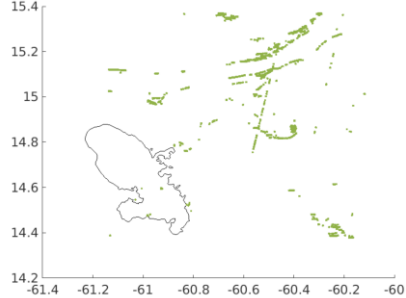
Perspectives : améliorations et prolongements

# 3.1. Solution intégrée et complète proposée

## Surveillance

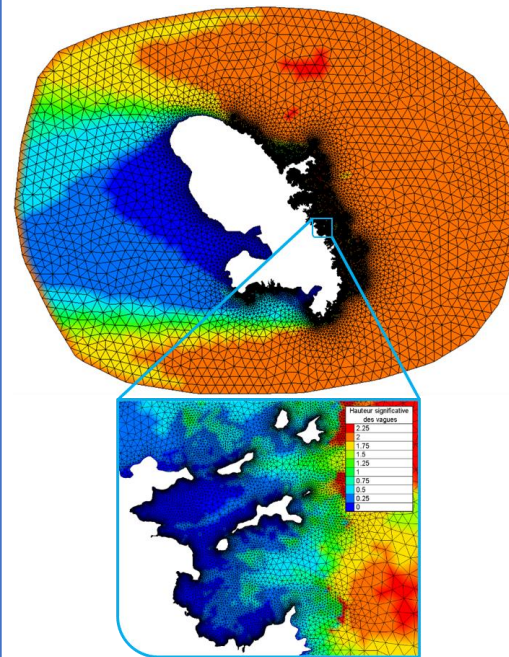
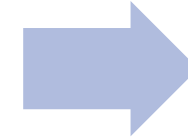


Sargasses extrait de l'image satellite - 10h29



Exemple d'image satellite (Sentinel) et de l'interprétation de la positions des sargasses

## Prévision



## Actions locales



# 3.2. Modèle final de la dynamique des sargasses

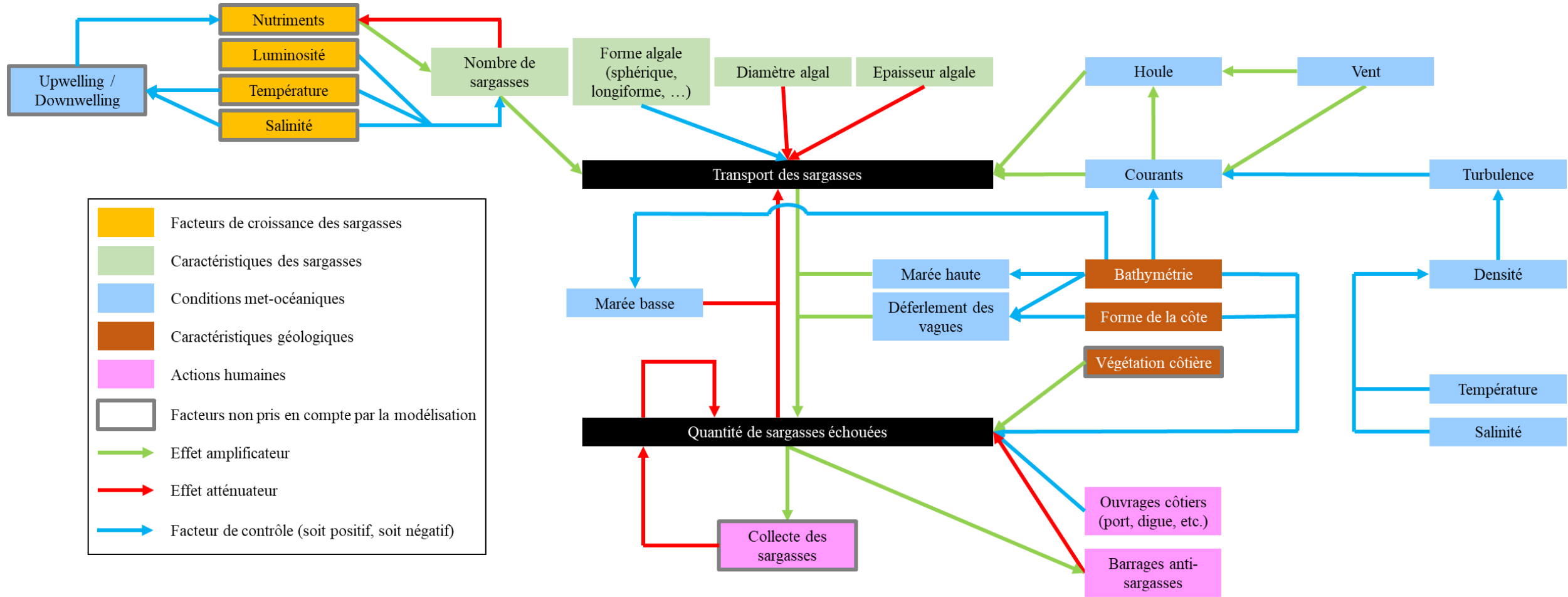
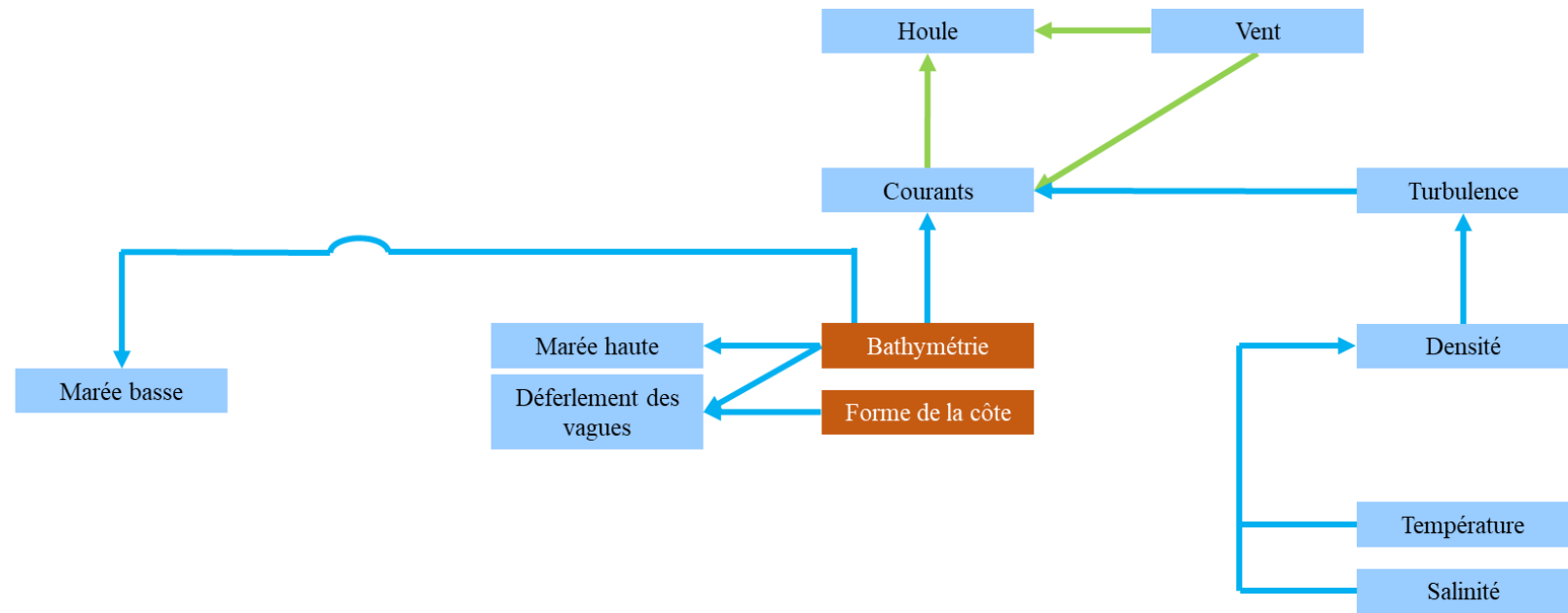
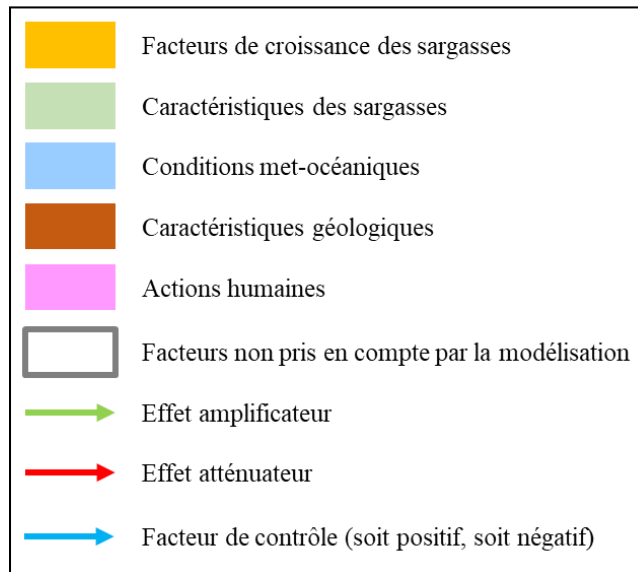


Diagramme causal de l'échouement des sargasses et des phénomènes considérés par le modèle final

# 3.3 Etat actuel du modèle 3D de la dynamique des sargasses



*Phénomènes actuellement considérés par le modèle 3D / houle*

1

Contexte

2

Influence des phénomènes météoro-océaniques sur les échouements

3

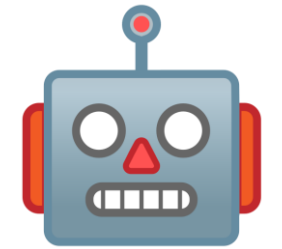
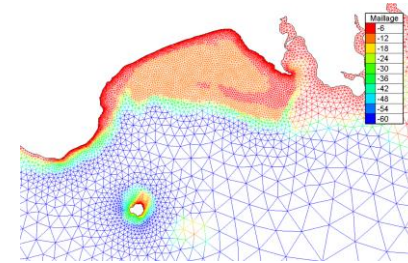
Modélisation du déplacement des sargasses de la haute mer aux côtes martiniquaises

4

Perspectives : améliorations et prolongements

# 4. Améliorations du modèle

- Développement d'un **module de transport algal en 3D**
- Développement de **modèles imbriqués** pour les zones d'intérêt littorales
- **Fiabilisation du modèle**
- **Automatisation** des traitements
- **Nouvelle analyse des influences des phénomènes météo-océaniques** sur les échouements de sargasses grâce au réseau de caméra surveillant le littoral martiniquais et du modèle
- **Dimensionnement des barrages anti-sargasses**





# Bibliographie

- [1] [Wang, M., Hu, C., Barnes, B. B., Mitchum, G., Lapointe, B., & Montoya, J. P. \(2019, 5 juillet\). The great Atlantic \*Sargassum\* belt. \*Science\*, 365\(6448\), 83-87.](#)
- [2] [Agence régionale de santé ARS Martinique. \(2020, 5 novembre\). \*Les algues sargasses : un phénomène sanitaire\*.](#)
- [3] [Gouvernement français. \(2022, 14 mars\). \*Plan national de prévention et de lutte contre les sargasses 2022 – 2025\*.](#)
- [4] [Resiere, D., Mehdaoui, H., Banydeen, R., Florentin, J., Kallel, H., Nevière, R., & Mégarbane, B. \(2021, septembre\). Effets sanitaires de la décomposition des algues sargasses échouées sur les rivages des Antilles françaises. \*Toxicologie Analytique et Clinique\*, 33\(3\), 216-221.](#)
- [5] [Institut national de recherche et de sécurité INRS. \(2021, juin\). \*Sulfure d'hydrogène - Fiche toxicologique 32\*.](#)
- [6] [Institut national de recherche et de sécurité INRS. \(2021, juin\). \*Ammoniac et solutions aqueuses - Fiche toxicologique 16\*.](#)
- [7] [Rostaing, T., Raveau, A., & Degaulejac, B. \(2016, janvier\). \*Economie bleue en Martinique\*. Préfecture de la Martinique.](#)
- [8] [Florenne, T., Guerber, F., & Colas-Belcour, F. \(2016, septembre\). \*Le phénomène d'échouage des sargasses dans les Antilles et en Guyane\*. Ministère de l'Intérieur.](#)
- [9] [DEAL de la Martinique. \(2021, 31 mars\). \*Rapport d'activité 2020\*.](#)
- [10] [Madininair. \*Mesures réseau sargasses : surveillance continue H<sub>2</sub>S et NH<sub>3</sub>\*.](#)
- [11] [Hu, C. \*Floating Algae Index \(Sargasso\)\*. Caricoos, & University of South Florida.](#)
- [12] [CMEMS. \*Global Ocean 1/12° Physics Analysis and Forecast updated Daily\*.](#)
- [13] [TPXO. \*TPXO Web Service\*.](#)
- [14] [CMEMS. \*Global Ocean Waves Analysis and Forecast\*.](#)
- [15] [CMEMS. \*Global Ocean Wind L4 Reprocessed 6 hourly Observations\*.](#)

# Bibliographie

- [16] Wang, M., & Hu, C. (2016, 15 septembre). Mapping and quantifying Sargassum distribution and coverage in the Central West Atlantic using MODIS observations. *Remote Sensing of Environment*, 183, 350-367.
- [17] Prakash, D., Dicopolous, J., Roarty, H., Morel, J., Canals, M., & Evans, C. (2018, 22-25 octobre). Development of Sargassum Seaweed Tracking Tools. *OCEANS 2018 MTS/IEEE Charleston*.
- [18] DEAL de la Martinique. *Le bulletin de prévision des échouages de sargasses*.
- [19] Agence régionale de santé ARS Martinique. (2020, 5 novembre). *Point journalier sur les mesures d'hydrogène sulfuré*.
- [20] Jouanno, J., Benschila, R., Berline, L., Soulié, A., Radenac, M. H., Morvan, G., Diaz, F., Sheinbaum, J., Chevalier, C., Thibaut, T., Changeux, T., Menard, F., Berthet, S., Aumont, O., Ethé, C., Nabat, P., & Mallet, M. (2021). A NEMO-based model of Sargassum distribution in the tropical Atlantic : description of the model and sensitivity analysis (NEMO-Sarg1.0). *Geoscientific Model Development*, 14(6), 4069-4086.
- [21] Iigabel, M., Belan, P.-Y., & L'Her, J. (2019, novembre). *Emploi des barrages contre les sargasses : bilan et perspectives en Guadeloupe*. CEREMA.
- [22] Iigabel, M., Belan, P.-Y., & L'Her, J. (2019, novembre). *Emploi des barrages contre les sargasses : bilan et perspectives en Guadeloupe*. CEREMA.
- [23] Agence de la transition écologique ADEME Guadeloupe. (2020). *Algues sargasses : stockage, prétraitement et valorisation*.
- [24] Bouvier, C., de Cathelineau, T., & Valentini, N. (2020, février). *Suivi de la dynamique des échouages des sargasses sur le littoral martiniquais : développement et application des algorithmes* (BRGM/RP-69651-FR). Bureau de recherches géologiques et minières BRGM.
- [25] Artelia, BAW, CEREMA, CERFACS, Daresbury Laboratory, EDF, & HR Wallingford. *open TELEMAC-MASCARET*. Open TELEMAC-MASCARET.
- [26] Joly, A. (2011, 14 décembre). *Modelisation of the diffusive transport of algal blooms in a coastal environment using a stochastic method*. Université Paris-Est.

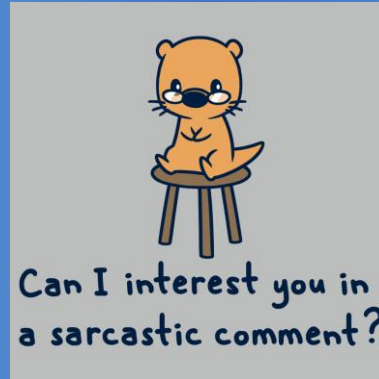
# Bibliographie

- [27] [Wikipedia. \(2022, 14 juin\). \*Petites Antilles\*.](#)
- [28] [Hermes Furian, P. \(2020, 5 février\). \*Carte de la Martinique\*. Actualitix.](#)
- [29] [Bernard, D., Biabiany, E., Sekkat, N., Chery, R., & Cécé, R. \(2019, août\). \*Massive stranding of pelagic sargassum seaweeds on the French Antilles coasts : Analysis of observed situations with Operational Mercator global ocean analysis and forecast system\*. 24<sup>ème</sup> Congrès Français de Mécanique.](#)
- [30] [Oyesiku, O. O., & Egunyomi, A. \(2014\). Identification and chemical studies of pelagic masses of \*Sargassum natans\* \(Linnaeus\) Gaillon and \*S. fluitans\* \(Borgessen\) Borgesen \(brown algae\), found offshore in Ondo State, Nigeria. \*African Journal of Biotechnology\*, 13\(10\), 1188-1193.](#)
- [31] [Széchy, M. T. M. D., Guedes, P. M., Baeta-Neves, M. H., & Oliveira, E. N. \(2012\). Verification of \*Sargassum natans\* \(Linnaeus\) Gaillon \(Heterokontophyta : Phaeophyceae\) from the Sargasso Sea off the coast of Brazil, western Atlantic Ocean. \*Check List\*, 8\(4\), 638-641.](#)
- [32] [Chen, Y., Cooper, P., & Fulton, C. \(2020\). Sargassum epifaunal communities vary with canopy size, predator biomass and seascape setting within a fringing coral reef ecosystem. \*Marine Ecology Progress Series\*, 640, 17-30.](#)
- [33] [Prosek, J. \(2019, juin\). L'algue qui nourrit l'Atlantique Nord. \*National Geographic\*., 134-149.](#)
- [34] [Gower, J., Young, E., & King, S. \(2013, août\). Satellite images suggest a new Sargassum source region in 2011. \*Remote Sensing Letters\*, 4\(8\), 764-773.](#)
- [35] [Maltese, L., Henchoz, G., Bugeon, A., & Guinand, A. \(2016, 23 février\). \*La conquête des Sargasses : une mer pas comme les autres\*. OCEAN71.](#)
- [36] [Institut national de recherche et de sécurité INRS. \(2021, juin\). \*Sulfure d'hydrogène - Fiche toxicologique 32\*.](#)
- [37] [Institut national de recherche et de sécurité INRS. \(2021, juin\). \*Ammoniac et solutions aqueuses - Fiche toxicologique 16\*.](#)



Je vous remercie chaleureusement  
pour votre attention.





Auriez-vous d'éventuelles questions ?  
Ou souhaiteriez-vous un petit café ?





*The End?*

1

Contexte

2

Influence des phénomènes météo-océaniques sur les échouements

3

Modélisation du déplacement des sargasses de la haute mer aux côtes martiniquaises

4

Perspectives : améliorations et prolongements

5

Bonus : informations complémentaires

# 5.1. Localisation de la Martinique



Localisation des îles et archipels des Petites Antilles [27]



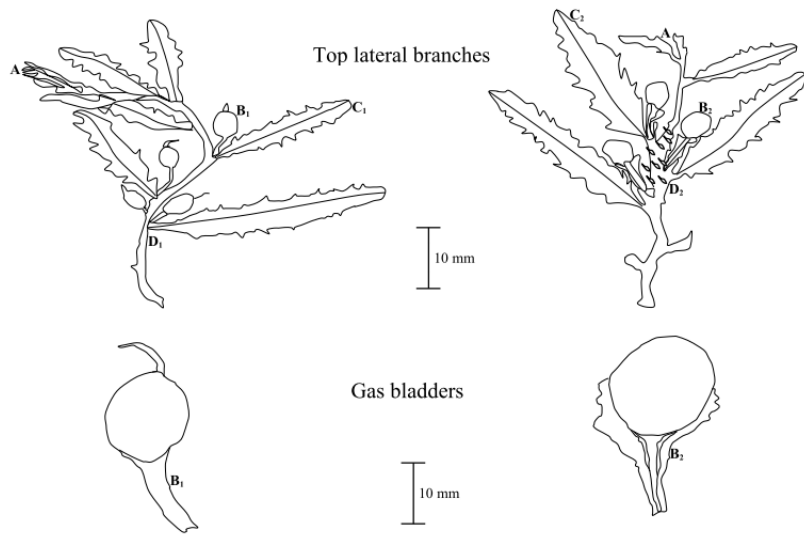
Carte de la Martinique [28]



# 5.2. Définition biologique des sargasses

*Sargassum natans*

*Sargassum fluitans*



<i>Sargassum natans</i>	<i>Sargassum fluitans</i>
A : Réceptacle	
B <sub>1</sub> : Vessie gazeuse avec épine, tige sans aile	B <sub>2</sub> : Vessie gazeuse sans épine, pédoncule ailé
C <sub>1</sub> : Feuille linéaire à marge serrée	C <sub>2</sub> : Feuille lancéolée à marge serrée
D <sub>1</sub> : Branche latérale sans épines	D <sub>2</sub> : Branche latérale avec épines

*Sargassum natans* et *Sargassum fluitans* [29]



Radeaux de sargasses au large de la Désirade [31]

## 5.3. Ecosystème constitué par les sargasses

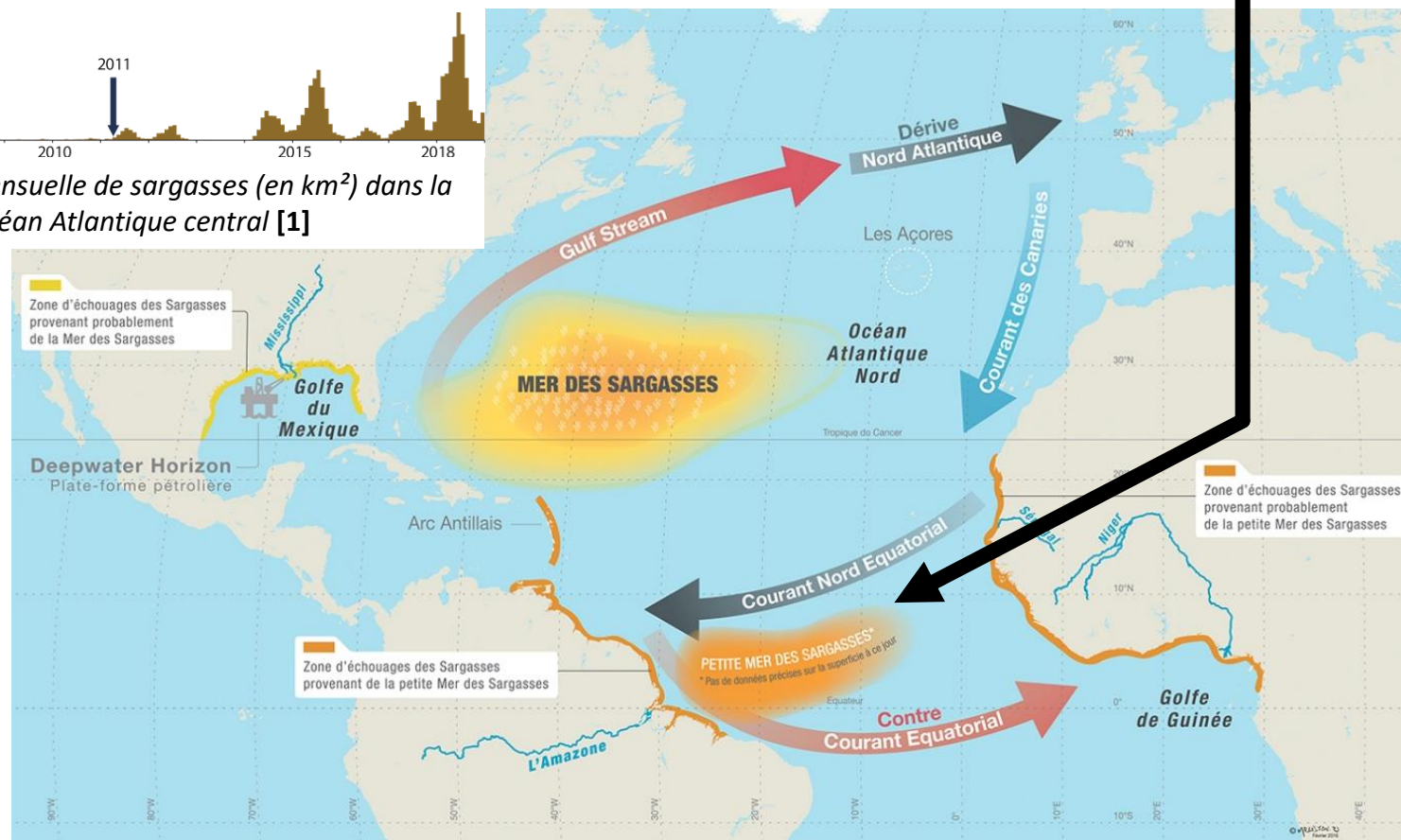
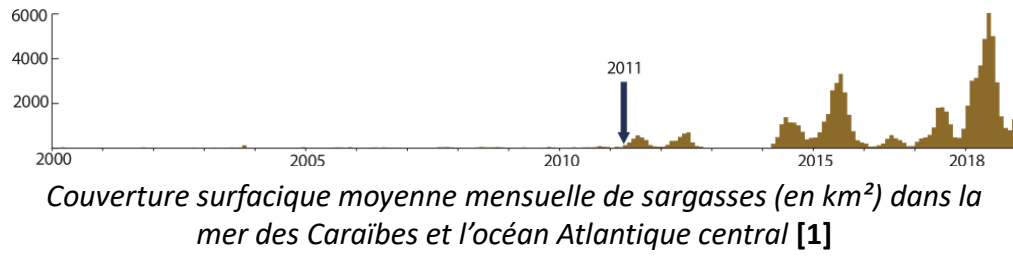
Sargasses = production primaire = habitat pour 240 espèces de crustacés et de poissons :

- Anguille ;
- Antennaire des sargasses (endémique des sargasses) ;
- Baliste ;
- Coryphène ;
- Poisson porc-épic ;
- Sériole ;
- ...



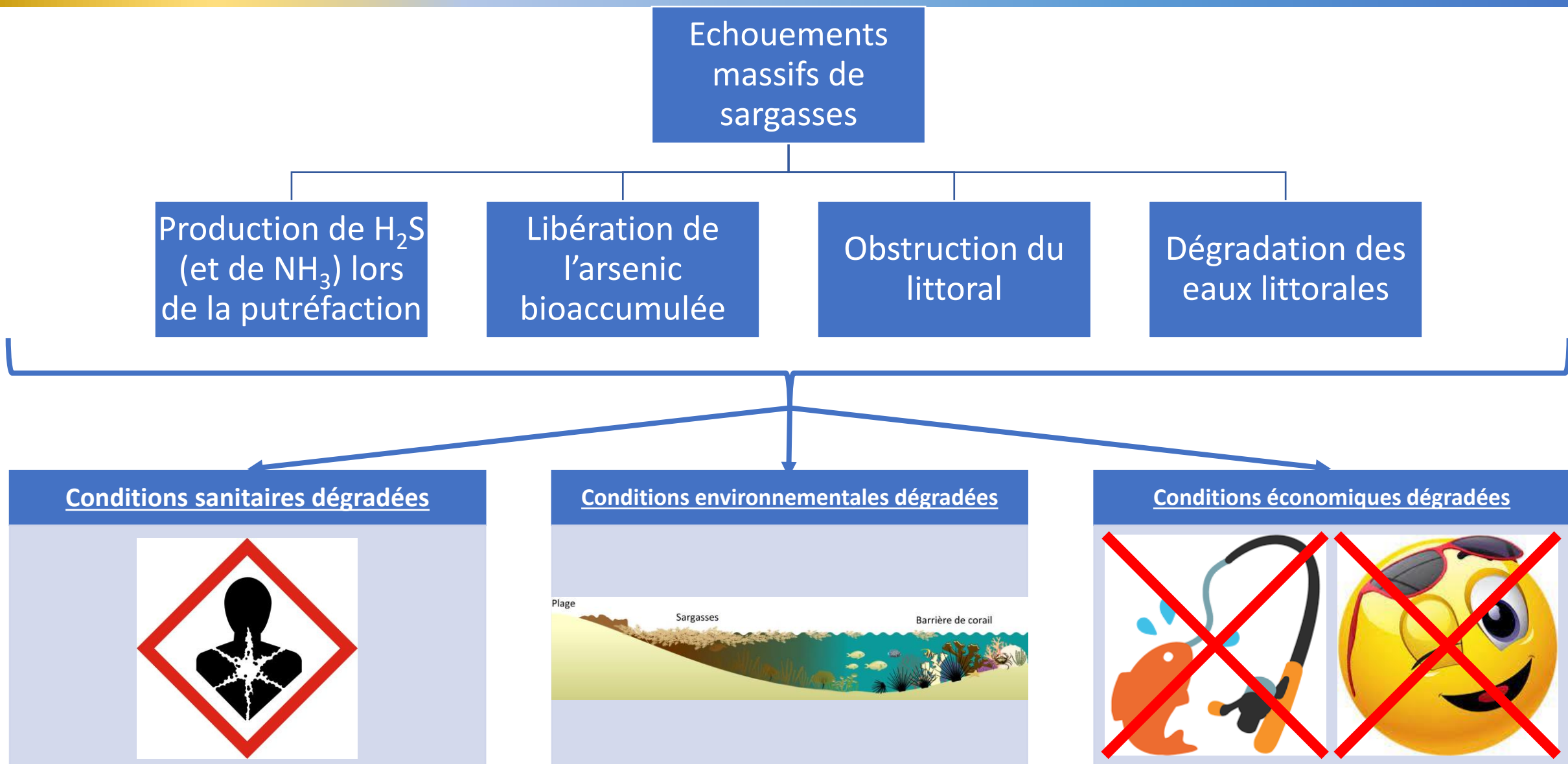
# 5.4. Localisation des mers des sargasses

## Nouvelle mer des sargasses depuis 2011



Zone d'échouement des sargasses selon la mer d'origine [35]

# 5.5. Les dangers des échouements de sargasses en Martinique

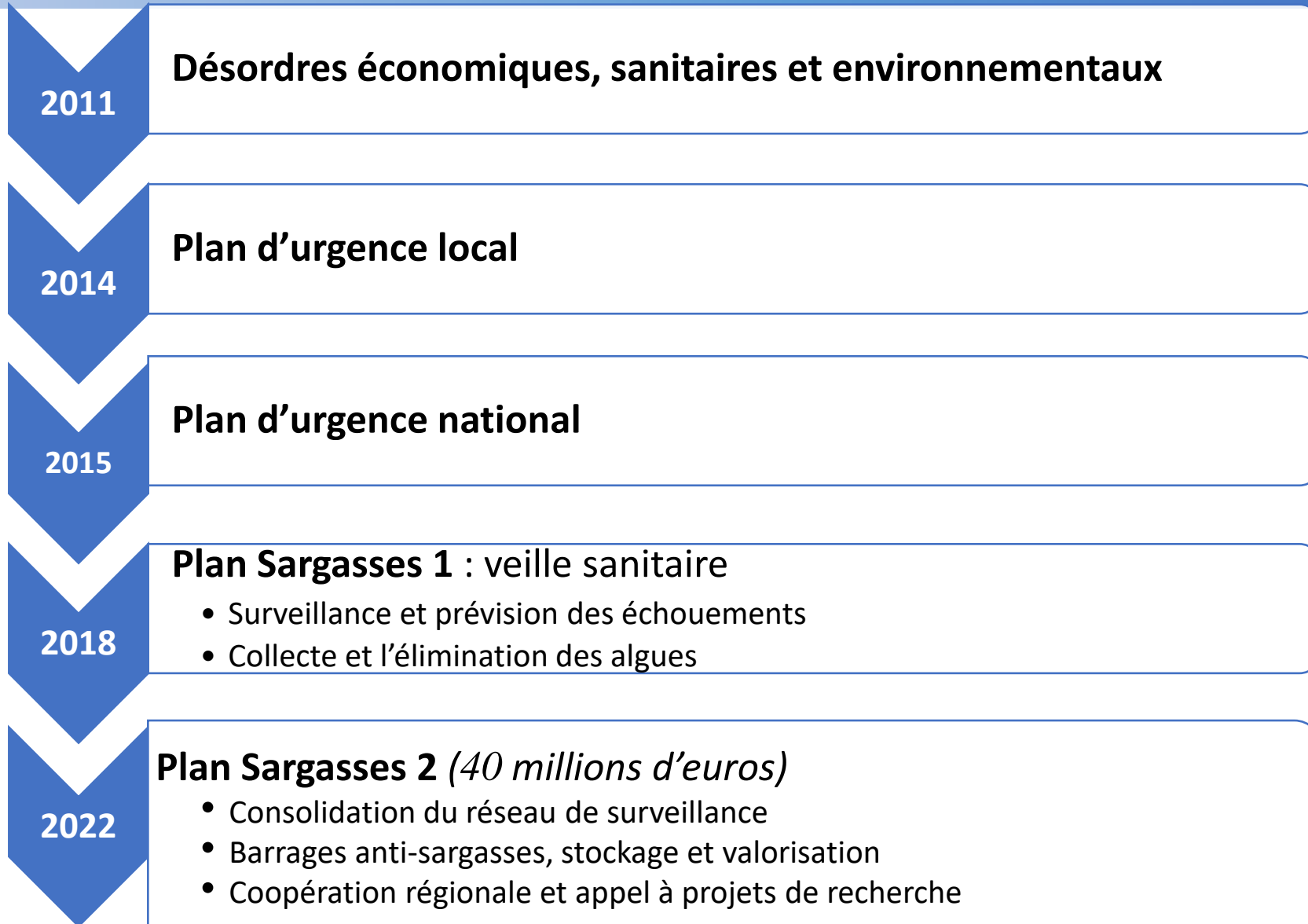
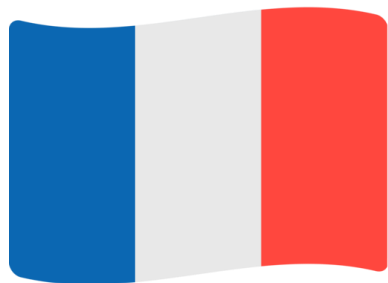


## 5.6. Toxicité du H<sub>2</sub>S et NH<sub>3</sub>

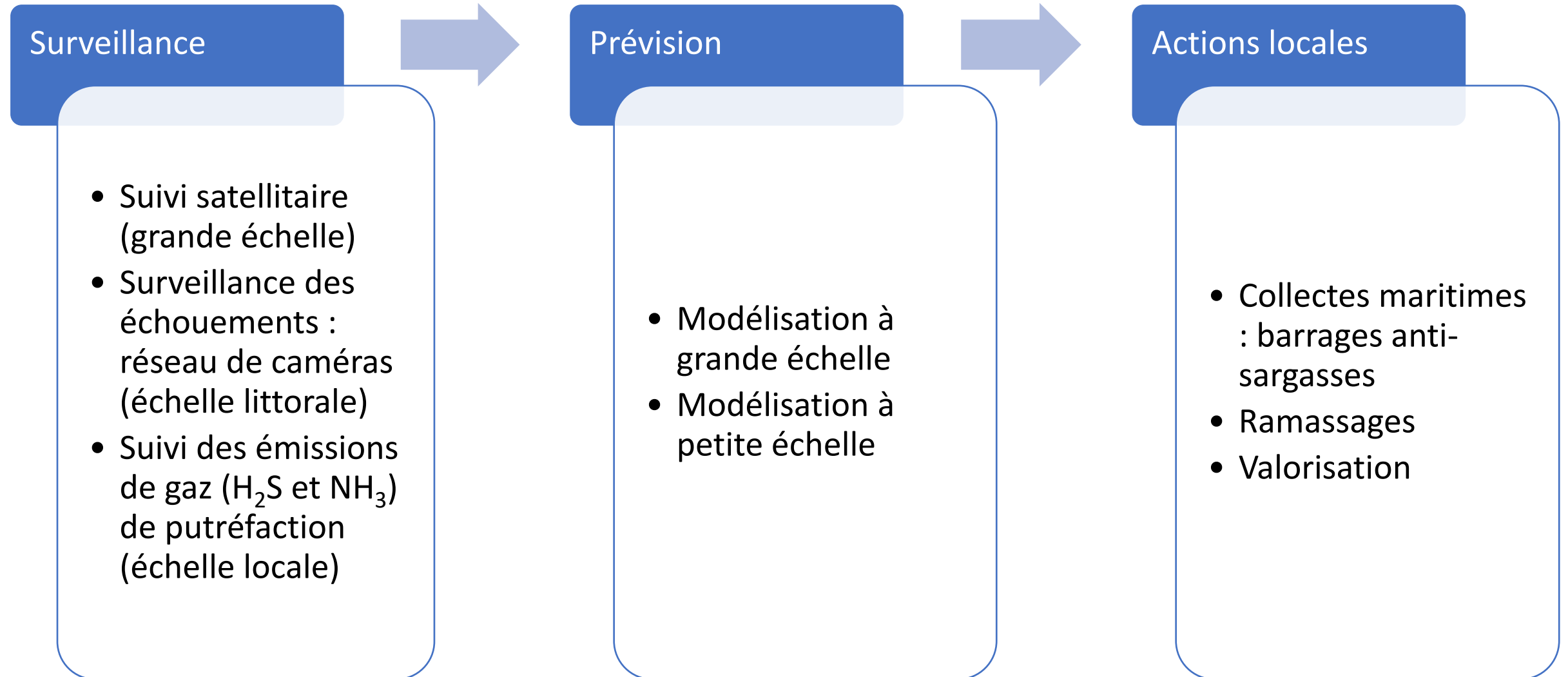
Substance	Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle			
	Moyenne		De court terme	
	En ppm	En mg / m <sup>3</sup>	En ppm	En mg / m <sup>3</sup>
Hydrogène sulfuré H <sub>2</sub> S	5	7	10	14
Ammoniac anhydre NH <sub>3</sub>	10	7	20	14

## 5.7. Actions de l'Etat français

### Actions de l'Etat français



# 5.8. Solutions actuelles contre les échouements de sargasses



# 5.8. Solutions actuelles contre les échouements de sargasses

## Avantages / inconvénients

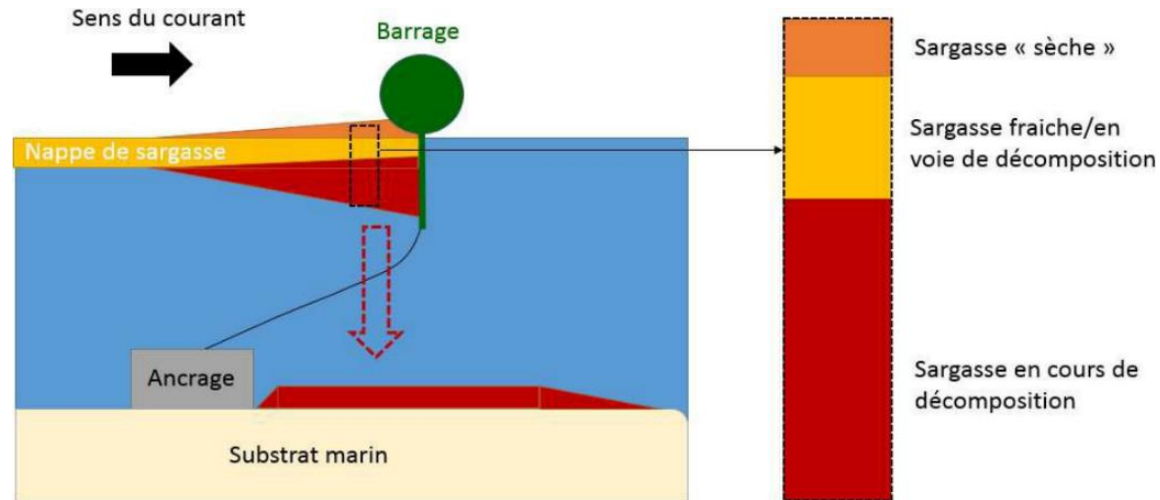
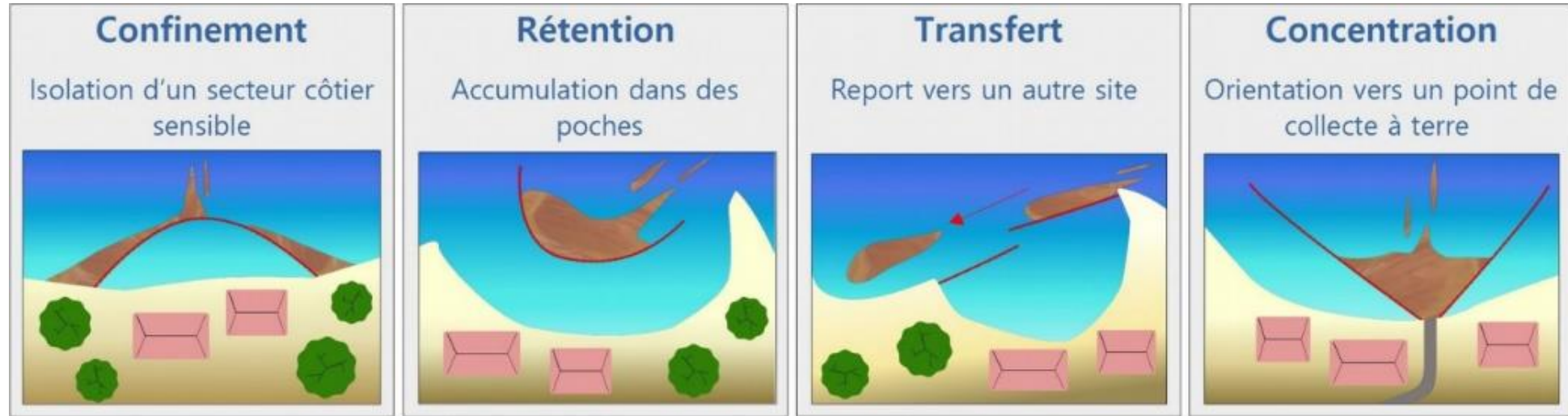
- Surveillance :
  - **Suivi satellitaire** → fonctionnel à l'exception des zones littorales (la côte est confondue avec les sargasses)
  - **Réseau de caméra autonome** → bientôt fonctionnel (encore quelques réglages dans l'IA de détection des sargasses)
  - **Réseau de capteurs des émissions de gaz** ( $H_2S$  et  $NH_3$ ) émis par la putréfaction des sargasses → alerte des risques sanitaires + observation indirecte des échouements
- Prévision :
  - **Modélisation** : à l'échelle de la Guadeloupe et de la Martinique
- Actions locales :
  - **Barrages anti-sargasses** : pose empirique sans étude d'ingénierie
  - **Ramassage des sargasses** : en fonction des échouements et du terrain
  - **Valorisation des sargasses** : encore à l'étude



## 5.9. Ramassages selon la côte

Type de côte	Ramassage préconisé actuellement
Falaise (cas d'enjeux très rares)	Aucune solution
Cul de sac (anse, port)	Pelle mécanique sur jetée ou sur barge ; barge récolteuse (« sargator »)
Plage	Selon configuration : tracteur + ratisseur, fourches à fumier ou râteaux goémoniers ; micro engins, ramassage manuel
Cayes ou côte rocheuse basse	Selon planéité et profondeur : engins terrestres, ramassage manuel ou aucune solution
Mangroves et zones humides (rares cas à enjeux forts)	Collecte en mer (barge récolteuse ou pelle sur barges)

# 5.10. Barrages anti-sargasses



# 5.11. Valorisation des sargasses

Bioplastiques	Les bioplastiques produits sont de couleur sombre et légèrement plus cassant que les plastiques classiques, mais présentent des propriétés intéressantes.
Combustion	La rentabilité énergétique de l'algue est contrebalancée par le surcoût d'entretien généré par une forte production de cendre. De plus, la présence d'arsenic dans les cendres résiduelles limite la valorisation.
Compostage	La sargasse enrichit le compost en oligoéléments et semble augmenter l'activité micro-organique et donc le process. La proportion d'algues qu'il est possible d'intégrer dans un compost normé est toutefois limitée par sa forte concentration en arsenic. De plus, la sargasse relargue une partie de cet arsenic dans les lixiviats issus du processus du compostage et ces derniers doivent alors être traités.
Méthanisation	La présence de sels et de sulfates à forte concentration inhibe le processus biologique de méthanisation (projet en cours).
Pyrogazéification	La pyrogazéification est intéressante uniquement à très haute température, avec des cosubstrats. L'utilisation des biochars reste à qualifier. (projet en cours)
Epandage agricole	L'épandage direct de sargasse est déconseillé : <ul style="list-style-type: none"><li>• aucun effet fertilisant n'a été mesuré ;</li><li>• la présence de sels présente un risque de salinisation des sols ;</li><li>• présence de contaminants (forte variabilité).</li></ul>
Nutrition	La présence d'arsenic à de forte concentrations exclut toute utilisation pour la nutrition humaine ou animale, mais offre un intérêt potentiel de molécules utiles en immunostimulation.



*The End*