



OBSERVATOIRE DE LA QUALITÉ DE L'AIR EN MARTINIQUE

Rapport d'étude

Estimation des émissions en hydrogène sulfuré
issues de la dégradation des sargasses via une
modélisation numérique



FLORENT Puy

Juillet - Décembre 2024

Table des matières

| | |
|--|-----------|
| 1 Contexte | 3 |
| 1.1 Problème | 3 |
| 1.2 Actions | 4 |
| 1.3 Études | 5 |
| 2 Présentation | 6 |
| 3 Paramètres | 7 |
| 3.1 Météo | 7 |
| 3.2 Topographie | 8 |
| 3.3 Rugosités | 10 |
| 3.4 Sources d'émission | 10 |
| 4 Hypothèses | 11 |
| 4.1 Hypothèses météorologiques | 11 |
| 4.2 Hypothèses sur la rugosité | 12 |
| 4.3 Hypothèses d'émissions | 12 |
| 5 Méthode | 12 |
| 5.1 Méthode de calcul | 12 |
| 5.2 Traitement des résultats | 13 |
| 6 Résultats | 15 |
| 6.1 Facteurs d'émission | 15 |
| 6.2 Cartes de propagation | 19 |
| 7 Facteurs influents | 21 |
| 7.1 Jour/nuit | 21 |
| 7.2 Marées | 22 |
| 8 Critiques | 23 |
| 8.1 Sources d'émission | 23 |
| 8.2 Données météo | 24 |
| 9 Conclusion | 25 |
| Références | 26 |

Introduction

L'étude présente se concentre sur la modélisation de la propagation de l'hydrogène sulfuré (H_2S) émis lors de la décomposition des sargasses. Ces algues marines flottantes et invasives s'échouent régulièrement sur les plages des Caraïbes, libérant du H_2S et du NH_3 , gaz dont les niveaux élevés peuvent avoir des répercussions importantes sur la qualité de l'air, la santé des riverains et l'environnement.

L'objectif de cette étude est de fournir des estimations concernant les émissions de H_2S en fonction de divers paramètres, tels que les conditions d'échouage des sargasses, les variations météorologiques et la topographie des lieux. Notre support de modélisation sera le logiciel ADMS du CERC. En analysant ces facteurs, nous visons à comprendre comment ils influencent la dispersion de ce gaz et à évaluer son impact potentiel sur les populations et l'environnement. Ce rapport présente la méthodologie détaillée employée ainsi que les résultats obtenus.

1 Contexte

1.1 Problème

Depuis le début des années 2010, les algues sargasses sont un problème majeur dans les Caraïbes. Ces algues invasives suivant vents et courants, s'échouent en masse sur le littoral martiniquais. En causes potentielles, nous trouvons les pratiques agricoles et industrielles intensives libérant en excès dans l'océan des nutriments favorisant la prolifération de ces algues, ainsi que les perturbations subies par les courants océaniques causées par le dérèglement climatique.

En s'échouant et se décomposant sur les côtes, les sargasses libèrent de l'hydrogène sulfuré H_2S et de l'ammoniac NH_3 , exposant ainsi les populations locales et l'environnement à des concentrations très élevées, nocives pour l'organisme.

| Concentrations en H_2S et en NH_3 sur 24 heures | | MESSAGES D'INFORMATION ET DE RECOMMANDATION |
|---|--|---|
| [H_2S] < 0,07 ppm et [NH_3] < 8,3 ppm | | Sans effet sanitaire sur la période observée. |
| [H_2S] : 0,07 à 1 ppm et [NH_3] < 8,3 ppm | | <p>Se tenir informé de l'évolution du phénomène, particulièrement pour les personnes vulnérables*.</p> <p>Il est recommandé aux personnes vulnérables* de se tenir éloignées des zones de présence des algues en décomposition dès la perception des odeurs et d'éviter d'être sous le vent des émissions de gaz.</p> |
| [H_2S] : 1 à 5 ppm et [NH_3] < 8,3 ppm | | <p>Pour la <u>population générale</u>, il est recommandé de se tenir éloigné des zones affectées par les échouages d'algues en décomposition.</p> <p>En cas de symptômes (yeux ou gorge qui piquent, larmoiements, maux de tête, difficulté respiratoire, toux, démangeaisons, vomissements, vertiges), s'adresser à son médecin ou pharmacien.</p> <p>Pour les <u>personnes vulnérables</u>*, il est recommandé de ne pas séjourner sous le vent des émissions des gaz et d'éviter l'exposition aux autres substances irritantes et/ou allergisantes (fumées de tabac...).</p> <p>En cas de symptômes (yeux ou gorge qui piquent, larmoiements, maux de tête, difficulté respiratoire, toux, démangeaisons, vomissements, vertiges), s'adresser à son médecin ou pharmacien.</p> |
| [H_2S] > 5 ppm ou [NH_3] > 8,3 ppm | | <p>Il est fortement recommandé à l'ensemble de la population d'éviter l'accès aux zones à risque et de ne pas se placer sous le vent des émissions de gaz.</p> <p>En cas de symptômes (yeux ou gorge qui piquent, larmoiements, maux de tête, difficulté respiratoire, toux, démangeaisons, vomissements, vertiges), s'adresser à son médecin ou pharmacien.</p> |

* Sont définies comme vulnérables les personnes suivantes : nourrissons, jeunes enfants, femmes enceintes, personnes âgées, asthmatiques, personnes atteintes de maladies cardiovasculaires, d'insuffisance respiratoire ou de fortes allergies

FIGURE 1 – Seuils de concentrations en H_2S et NH_3 - Source : Agence régionale de santé de Guadeloupe

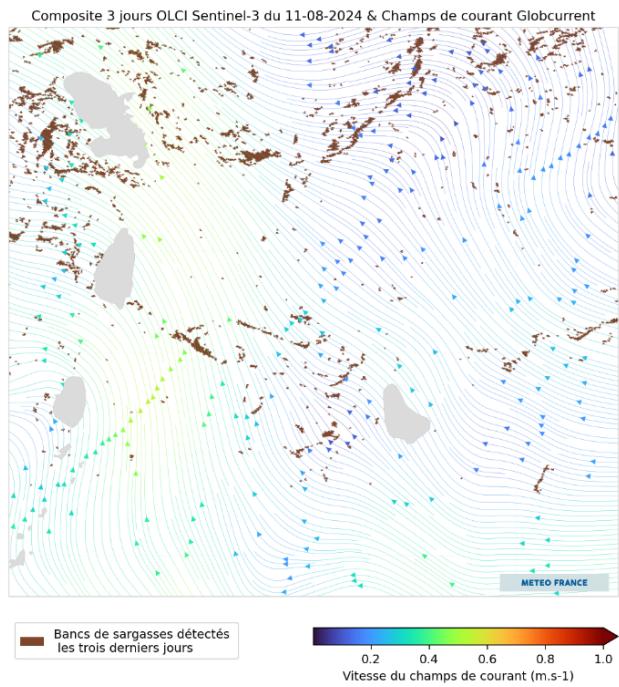


FIGURE 2 – Analyse satellite de la présence de sargasses au large des petites Antilles et courants océaniques. Source : Météo France

1.2 Actions

Les riverains et les institutions publiques se mobilisent pour atténuer les effets de ce fléau. Ils mettent en place des barrages, ramassages et investissent dans des embarcations récoltant les algues directement en mer :



(a) Ramassage manuel de sargasses,
Floride - USA



(b) Navire récoltant sargasses en mer,
Robert - Martinique

FIGURE 3 – Moyens de récolte utilisé par les populations. Sources : National Geographic (a) et Le Monde (b)

Les ramassages ou le placement de barrages étant assez courant en Martinique, nous devrons bien sélectionner nos sites d'étude afin que ces actions n'interfèrent pas avec nos mesures.

1.3 Études

En 2015, Madininair a mis en place un premier dispositif de surveillance d'hydrogène sulfuré et d'ammoniac par capteurs autonomes Cairpol. Depuis l'observatoire martiniquais développe et optimise son réseau de mesure en Martinique. Il y a aujourd'hui 16 capteurs autonomes placés stratégiquement sur l'île qui envoient en direct les données de concentration en H_2S et NH_3 relevées.



FIGURE 4 – Capteur autonome Cairpol de H_2S de Madininair - Source : Madininair

Des concentrations de plus de 5 ppm en H_2S sont régulièrement observées sur les communes du Robert et du Vauclin, mais ces mesures sont ponctuelles et ne peuvent représenter un grand espace. Afin de connaître l'étendue de la population impactée une concentration en tout point est indispensable, d'où la nécessité d'une modélisation informatique calibrée par les mesures terrain.

2 Présentation

Notre objectif est de déterminer des valeurs d'émission en H_2S issues de la décomposition des sargasses. Pour cela, notre méthode est tout d'abord de modéliser topographiquement les parties exposées de la côte Atlantique Martiniquaise. Ensuite, grâce à des mesures terrain et des études effectuées au préalable, nous allons pouvoir déterminer les zones de décomposition des algues. Des données de concentration faites sur site nous permettront de calibrer le paramètre d'émission de la modélisation au travers de la recherche d'un minimum d'erreur. Nous allons maximiser le nombre de points observés afin de moyenner sur un set de données aussi grand que possible, face aux contraintes terrain et numériques.

Notre modélisation se base sur le logiciel ADMS Urban (Atmospheric Dispersion Modelling System), un outil de modélisation de la dispersion atmosphérique développé par le CERC (Cambridge Environmental Research Consultants). Il permet, à partir de différents paramètres de modélisation, de calculer la concentration d'un gaz ou d'une particule dans l'atmosphère sur une zone définie. Les paramètres de modélisation sont les suivants :

- Fichier météo au format .met
- Fichier topographique géo-référencé de la zone d'étude au format .ter
- Fichier des rugosités géo-référencé au format .ruf
- Données de pollution de fond
- Surface des sources d'émission en H_2S 2D (m^2)
- Facteur d'émission : débit massique et surfacique de H_2S ($g.m^{-2}.s^{-1}$)

Nous disposons plus ou moins directement, via des observations terrain ou en nous basant sur des études antérieures, de tous ces paramètres excepté des facteurs d'émissions en H_2S . La présente étude a pour but d'estimer ce paramètre manquant.

Les zones modélisées seront les suivantes : Bourg du Robert, quartiers Frégate et Dostaly du François et le bourg et le quartier de la Pointe Faula au Vauclin.

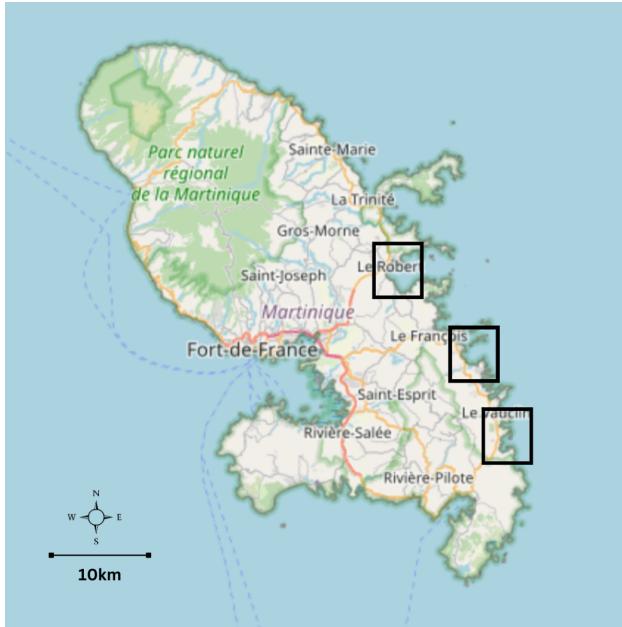


FIGURE 5 – Zones modélisées sur ADMS (rectangles noirs)

3 Paramètres

Nous allons ici détailler l’obtention et le traitement des données d’entrée au logiciel ADMS décrites ci-dessus.

3.1 Météo

Nous simulons ici une dispersion à grande échelle (km) en extérieur, les paramètres météorologiques comme le vent ont donc une importance cruciale. Afin d’obtenir des données météo fiables, nous allons utiliser les relevés des stations météo de Météo France disponibles en open source. Les données retenues sont :

- Instant du relevé horaire (AAAA JJJ HH)
- Température ($^{\circ}\text{C}$)
- Vent (force en m/s + direction en degrés)
- Radiation solaires (W/m^2)
- Humidité (%)
- Précipitations (mm)

Ces données retenues sont utilisées pour créer un fichier .met grâce à un code Python.

Nous utiliserons les données des stations Météo France du Vauclin et du Robert, fiables, open source et situées en bord de mer près de nos zones modélisées.

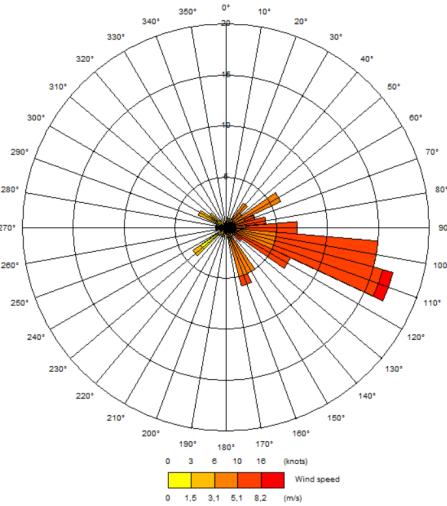


FIGURE 6 – Rose des vents, station Météo France du Robert - août-septembre 2024

3.2 Topographie

Dans une modélisation de mécanique des fluides, le milieu de propagation est un paramètre essentiel. Pour tenir compte des effets type tunnel ou effets de site, l'intégration de variables topographiques est essentielle. Le fichier terrain a trois composantes : latitude, longitude, altitude. Tout d'abord, nous choisissons la projection EPSG-3395 pour le reste de l'étude. Nous choisissons alors de faire plusieurs zones d'étude allant du Vauclin au Robert. Nous utilisons les données de l'IGN : RGE-ALTI-5m, des listes géoréférencées des altitudes d'une zone, avec un pas de 5m. Nous les importons sur QGIS, changeons de projection et exportons un fichier .xyz que nous pouvons facilement traiter sur Python. Nous formons alors via un code un fichier .ter conforme à ADMS. La limite de points imposée par ADMS étant de 770 000, nous devons réduire nos fichiers. Nous choisissons de ne garder que un point sur quatre de façon à avoir une précision de 10m, en suivant ce motif régulier :

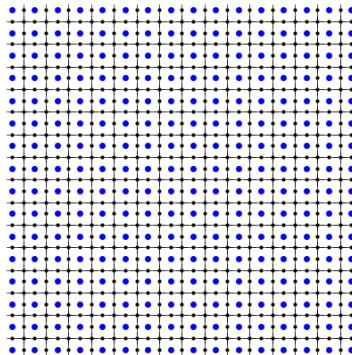


FIGURE 7 – Points retenus sur maillage initial (Point bleu : retenu, point noir : supprimé)

Voici les données finales récoltées pour le site du François :

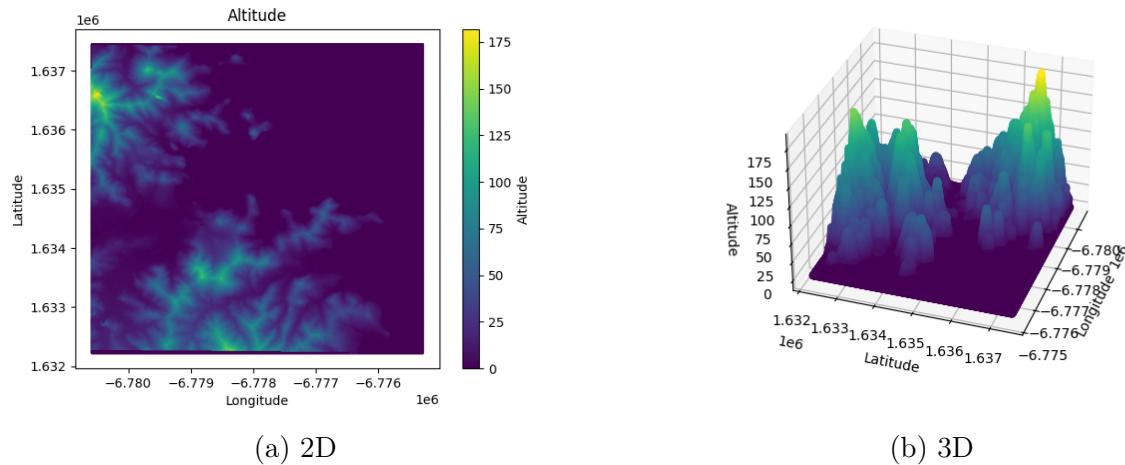


FIGURE 8 – Altitudes de la zone de Frégate Est, Le François, Géo-référencé dans la projection epsg 3395. Données issues de l'IGN.

On remarque sur le site du François, deux zones atteignant environ 150m d'altitude séparées par une zone de basse altitude, un effet tunnel pourra ainsi être modélisé par le logiciel. De façon plus générale, les altitudes sur nos zones de modélisation varient entre 0m et 300m. Notons que la figure en 3D n'est pas à l'échelle sur l'axe vertical, pour des raisons de visualisation.

3.3 Rugosités

La rugosité du terrain est un élément essentiel influençant notamment la couche limite de surface et la vitesse d'écoulement près du sol. ADMS demande un fichier .ruf à trois composantes : latitude, longitude et rugosité. Il est recommandé dans la documentation de conserver les mêmes points pour les rugosités que pour les altitudes du fichier .ter. Pour obtenir la rugosité d'un lieu en fonction de coordonnées GPS, nous utilisons l'outil open-source Corine Landcover, qui classe en diverses catégories l'occupation du sol, chaque catégorie ayant une rugosité propre (ex : "discontinuous urban traffic" -> rugosité de 0.5). Nous créons ensuite le fichier .ruf avec un code Python récoltant les coordonnées GPS des points retenus pour le fichier .ter, nous regardons le point correspondant sur la carte de Corine Landcover et en fonction de sa couleur nous lui attribuons une rugosité. Nous appliquons enfin un traitement qui établit un gradient sur une distance δ (m) afin d'étaler les changements de rugosité brutaux. Nous obtenons des rugosités allant de $1,00 \cdot 10^{-3} m$ pour la mer à $6,00 \cdot 10^{-1} m$ pour certaines zones de culture.

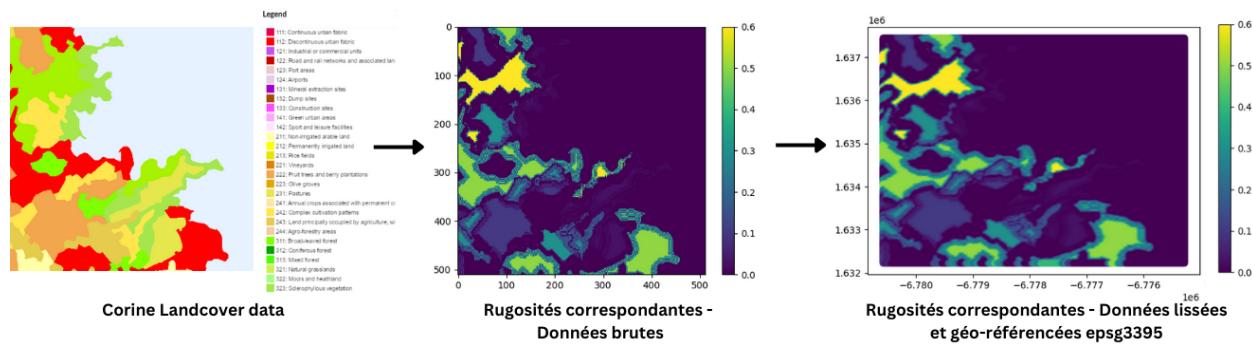


FIGURE 9 – Étapes de création du fichier .ruf.

3.4 Sources d'émission

Afin de savoir où placer nos sources d'émissions, nous allons nous baser sur plusieurs données : d'une part sur l'Atlas de la DEAL (direction de l'environnement, de l'aménagement et du logement) répertoriant les zones d'échouage sur toutes les communes martiniquaises concernées et d'autre part sur des observations terrain.

Nous qualifions de zone d'émission, la zone où les sargasses se décomposent. Cette zone est généralement dans l'eau ou sur le rivage, les algues loin du bord ne sont pas concernées. Nos zones d'émissions sont donc plus petites que les zones de cumul observées par la DEAL.

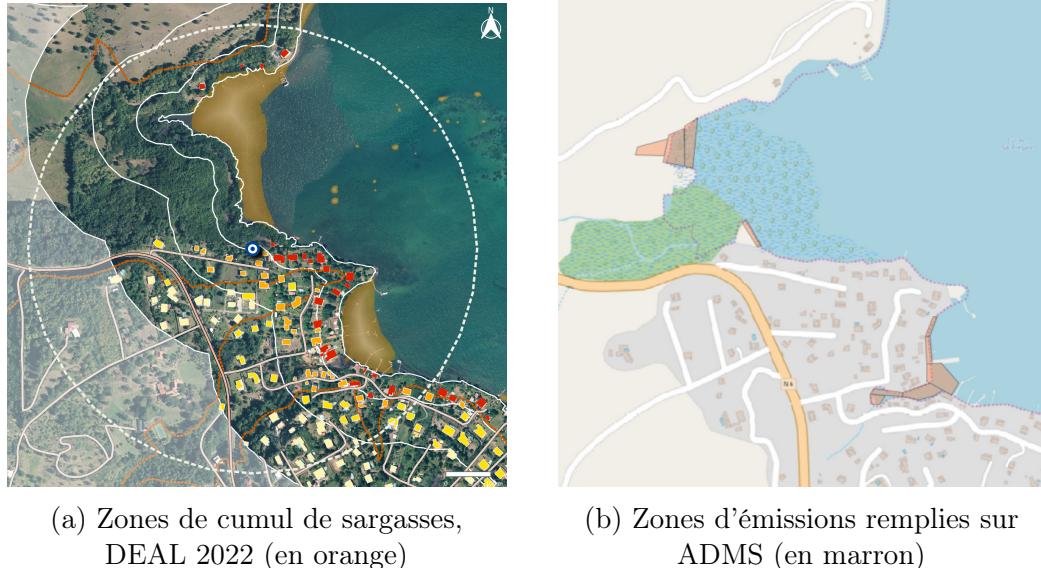


FIGURE 10 – Zone de cumul, données de la DEAL et zones d'émission remplies sur ADMS, secteur de Frégate-Est, Le François.

4 Hypothèses

Afin d'obtenir des résultats à la fois cohérents et réalisables, nous avons dû effectuer des hypothèses afin de simplifier le problème.

4.1 Hypothèses météorologiques

Toutes nos zones d'études se trouvent en bord de mer, mais les stations météo de Météo France pas toujours. Les conditions de vent et les pluies étant grandement influencées par la topologie de la zone, les données des stations météorologiques situées dans les terres sont inexploitables pour nous, même celles à quelques centaines de mètres du littoral. Au nord du Vauclin se trouve une station en bord de mer fournissant des données très cohérentes. Nous utiliserons cette station dans notre étude pour les sites du François et du Vauclin. Nos sites se trouvent tous dans un rayon de 7km autour de cette station.

L'hypothèse est donc que les conditions météorologiques de nos zones d'étude du François et du Vauclin sont identiques à celles captées par la station Météo France placée en bord de mer au nord du Vauclin.

4.2 Hypothèses sur la rugosité

Comme détaillé précédemment, nous exploitons les cartes de Corine Landcover par Copernicus afin de calculer la rugosité détaillée dans des mailles de 10m de côté. Nous faisons l'hypothèse ici que chaque zone à une rugosité uniforme, et que Copernicus à bien délimité les zones à 5m près.

4.3 Hypothèses d'émissions

Les émissions sont supposées constantes spatialement et quantitativement sur toute la durée de la simulation, soit environ une semaine. Cependant, pendant une durée telle, les zones d'émission peuvent se déplacer et changer d'intensité.

D'autre part, les sources implémentées sont surfaciques et non volumiques. Les accumulations massives en buttes sur une grande épaisseur sont donc traitées à la même enseigne que les accumulations légères sur quelques centimètres.

5 Méthode

5.1 Méthode de calcul

Le logiciel ADMS URBAN utilise un modèle de calcul basé sur des équations de dispersion Gaussiennes :

$$C = \frac{Q_s}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} \left(e^{-\frac{(z-z_s)^2}{2\sigma_z^2}} + e^{-\frac{(z+z_s)^2}{2\sigma_z^2}} + e^{-\frac{(z+2h-z_s)^2}{2\sigma_z^2}} + e^{-\frac{(z-2h+z_s)^2}{2\sigma_z^2}} + e^{-\frac{(z-2h-z_s)^2}{2\sigma_z^2}} \right)$$

avec

$$\sigma_z = \sigma_w t \left(\frac{1}{b^2} + \frac{N^2 t^2}{1 + 2Nt} \right)^{-\frac{1}{2}}$$

$$\sigma_y = \sqrt{\sigma_{yt}^2 + \sigma_{yw}^2}$$

Voici la description des variables :

- C : Concentration en un point.

- Q_s : Taux de rejet ou débit de la source de pollution (dépend du facteur d'émission et de la vitesse d'émission)
- U : Vitesse moyenne du vent selon fichier MET.
- t : Temps de parcours du panache de polluants depuis la source.
- h : Hauteur de la couche limite atmosphérique (dépend de rugosité).
- N : Fréquence de flottabilité, mesurant la stabilité atmosphérique.
- b : Facteur assurant la transition entre les rejets au sol et les rejets élevés.
- σ_z : Paramètre de dispersion verticale, représentant l'étalement vertical du panache de polluants.
- σ_w : Composante verticale de la turbulence, indiquant l'écart-type des vitesses turbulentes verticales.
- σ_y : Paramètre de dispersion horizontale, représentant l'étalement transversal du panache.
- σ_{yt} : Dispersion horizontale due à la turbulence.
- σ_{yw} : Dispersion horizontale due aux variations de direction de vent.

Tous ces paramètres sont calculés en interne par le logiciel, en fonction des paramètres décrits précédemment. La résolution numérique de cette équation prend entre 5 et 50 minutes selon la taille du maillage notamment.

5.2 Traitement des résultats

Afin de maximiser la fiabilité de nos facteurs d'émission, nous devons minimiser l'écart entre les concentrations observées sur nos capteurs et les concentrations calculées sur ADMS, pour chacun de nos points de mesure en ajustant le facteur d'émission.

Autrement dit, afin de trouver le facteur d'émission optimal pour chaque source, nous devons trouver le minimum de l'écart quadratique moyen (RMSE) entre les concentrations observées et calculées. Cet écart, que l'on va dimensionner est donné par la formule suivante pour un site donné :

$$RMSE(site, \mathcal{E}) = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (C_{\text{obs},i} - C_{\text{calc},i,\mathcal{E}})^2}}{RMSE_{site}}$$

où :

- n est le nombre total d'observations sur un site,
- $C_{\text{obs},i}$ est la concentration observée pour l'observation i ,
- $C_{\text{calc},i,\mathcal{E}}$ est la concentration calculée avec facteur \mathcal{E} pour l'observation i .
- $\overline{\text{RMSE}(\text{site})}$ la moyenne des RMSE non adimensionnés sur un site

$$\overline{\text{RMSE}(\text{site})} = \frac{1}{\text{card}(E)} \sum_{\mathcal{E} \in E} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (C_{\text{obs},i} - C_{\text{calc},i,\mathcal{E}})^2}$$

- E l'ensemble des facteurs d'émissions ayant servi à calculer numériquement une concentration

Ainsi, nous allons obtenir un facteur d'émission pour chaque site. Afin de classer ces différents facteurs, nous allons pouvoir les afficher selon des variables adimensionnées :

À données météo égales, selon la distance à la source et la taille de la source : en fonction de la variable adimensionnée suivante : $\tilde{x} = \frac{S}{d^2}$

où :

- $S (m^2)$ est la surface de la zone d'émission,
- $d (m)$ est la distance à la source,

Nous trierons ensuite les différents facteurs d'émission obtenus selon le type de décomposition qui y a lieu : décomposition immergée, sur le rivage ou les deux.



FIGURE 11 – Types d'échouages

6 Résultats

6.1 Facteurs d'émission

Nous allons nous attarder dans cette partie aux résultats obtenus.

Les simulations sont effectuées avec un pas de temps de 1h et sur une durée d'environ une semaine, afin d'avoir un nombre suffisant d'itérations, mais aussi pour éviter que des facteurs comme les marées ou la lumière du jour ne perturbent les résultats.

Le logiciel ADMS nous fournit un fichier de sortie au format glt. Un code Python permet de l'afficher en gardant le géoréférencement et avec un fond de carte.

Voici les résultats des simulations pour les secteurs du Robert et sud-François :

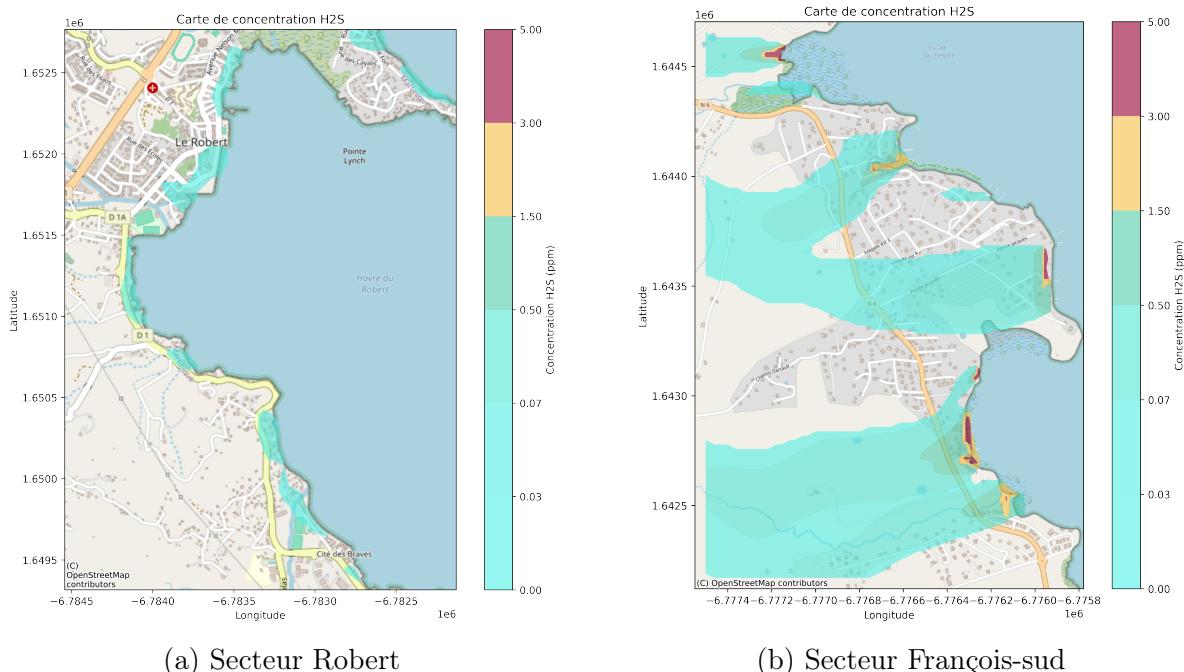


FIGURE 12 – Concentrations de H_2S dans l'air, facteur d'émission $\mathcal{E} = 3,00 \cdot 10^{-4} g.m^{-2}.s^{-1}$

Nous pouvons souligner l'impact du facteur d'émission en comparant un même secteur simulé avec différents facteurs :

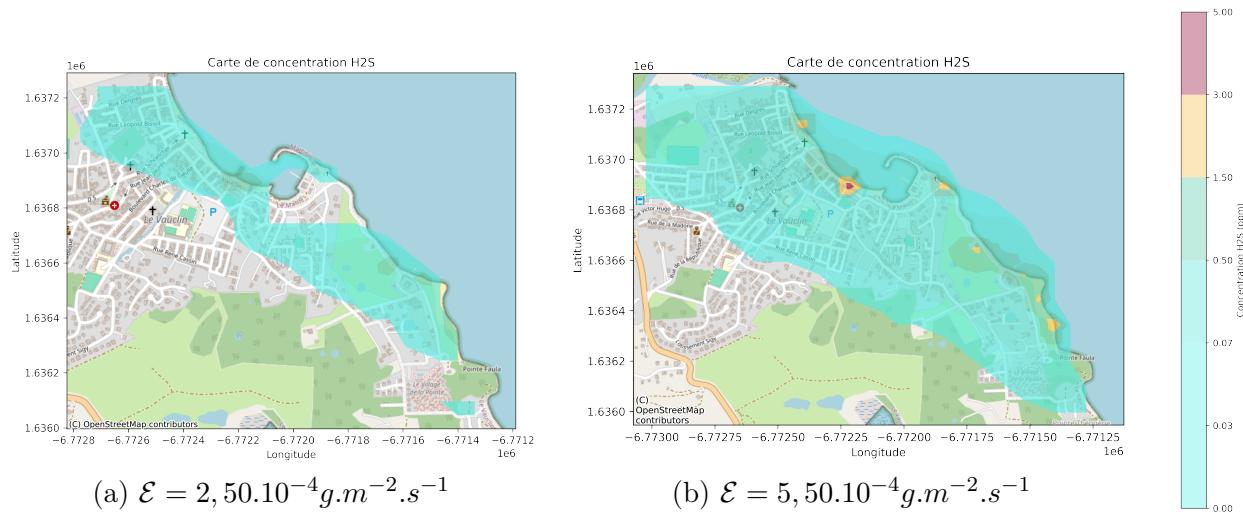


FIGURE 13 – Secteur Vauclin, illustration de l'impact du facteur d'émission sur la concentration

Sur la zone du François et du Vauclin, nous avons deux capteurs H_2S . En faisant tourner notre modèle ADMS avec plusieurs facteurs d'émission différents, nous obtenons différentes concentrations dans la zone, notamment au niveau de la position des capteurs. Notre simulation calcule une moyenne sur une période choisi (quelques jours dans notre cas), nous relevons donc les données des capteurs et calculons la concentration moyenne sur cette période. Nous comparons ensuite les valeurs calculées aux valeurs mesurées grâce à l'écart quadratique moyen (RMSE) que nous traçons selon le facteur d'émission. Le facteur d'émission optimal sur cette période et cette zone correspondra au minimum du RMSE.

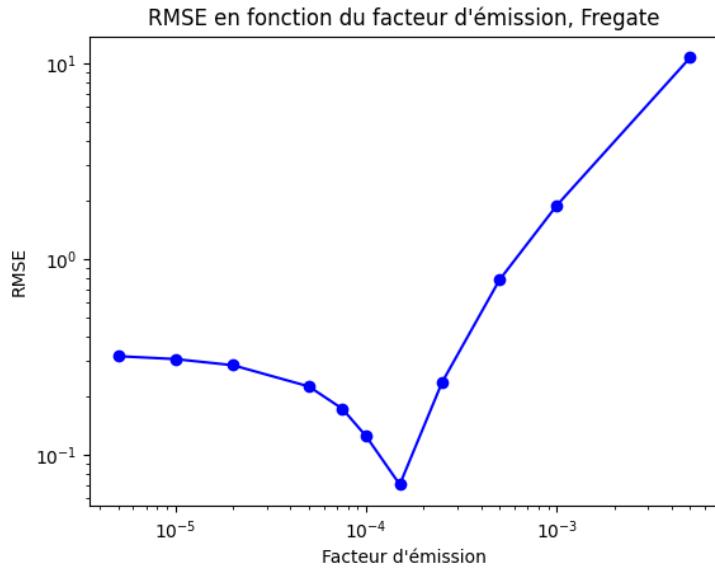


FIGURE 14 – RMSE non adimensionné (ppm) selon facteur d'émission ($g.m^{-2}.s^{-1}$), secteur Frégate

Chaque point de cette figure correspond à une comparaison entre les résultats d'une simulation ADMS et d'une mesure terrain. On observe un minimum pour $\mathcal{E} = 1,50 \cdot 10^{-4} g.m^{-2}.s^{-1}$. Sur le graphique ci-dessous, nous avons tracé les RMSE de plusieurs sites ou un ou plusieurs capteurs sont placés :

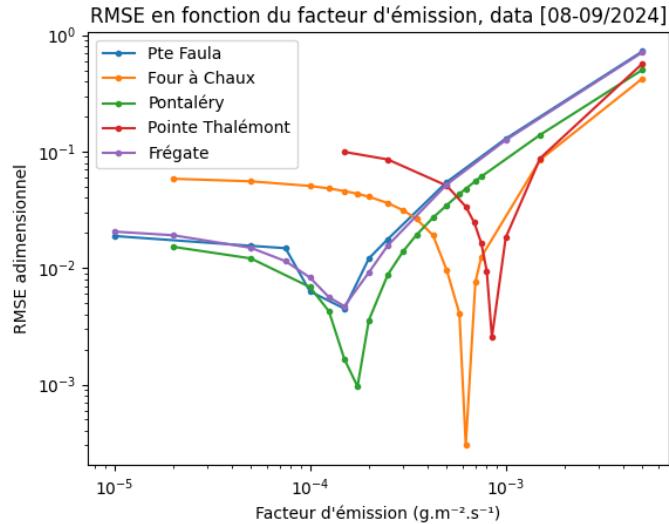


FIGURE 15 – RMSE selon facteur d'émission ($g.m^{-2}.s^{-1}$)

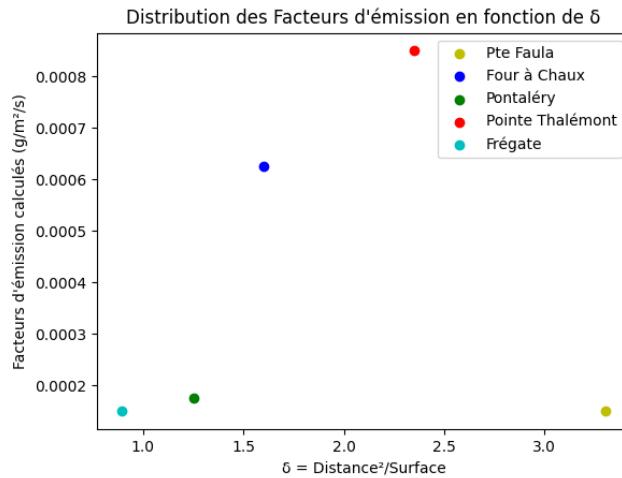


FIGURE 16 – Facteur d'émission ($g.m^{-2}.s^{-1}$) selon δ

On remarque qu'au niveau de Frégate et Pointe Faula, le minimum de RMSE est plus élevé, cela vient du fait qu'il y a deux capteurs sur ce site. Le modèle rencontre plus de difficulté à converger (problème pseudo-quadratique qui n'a pas forcément de solution) plutôt qu'avec un seul point ou le problème est pseudo-linéaire avec une unique solution annulant le RMSE.

Nous disposons au total de 7 capteurs répartis sur les sites suivants. Au niveau de Pointe Faula et de Frégate, nous en avons positionné deux de façon à quadratiser le problème afin d'obtenir une solution moins incertaine.

Types d'échouages

Nous distinguons deux types d'échouages :

- accumulation immérgeée dans l'eau
- accumulations sur la rivage et dans l'eau

Sites à accumulation immérgeée dans l'eau : Pointe Faula, Four à Chaux, Pontaléry. Facteur moyen calculé :

$$\mathcal{E} = 3,17 \cdot 10^{-4} g.m^{-2}.s^{-1}$$

Site avec les deux types d'accumulation : Pointe Thalémont, Frégate. Facteur moyen calculé :

$$\mathcal{E} = 5,25 \cdot 10^{-4} g.m^{-2}.s^{-1}$$

6.2 Cartes de propagation

Avec les facteurs d'émission obtenus, nous pouvons modéliser la propagation de l'hydrogène sulfuré en tenant compte du type d'échouage. Nous nous baserons ici sur des observations des zones de décomposition faites durant les mois d'août et de septembre 2024.

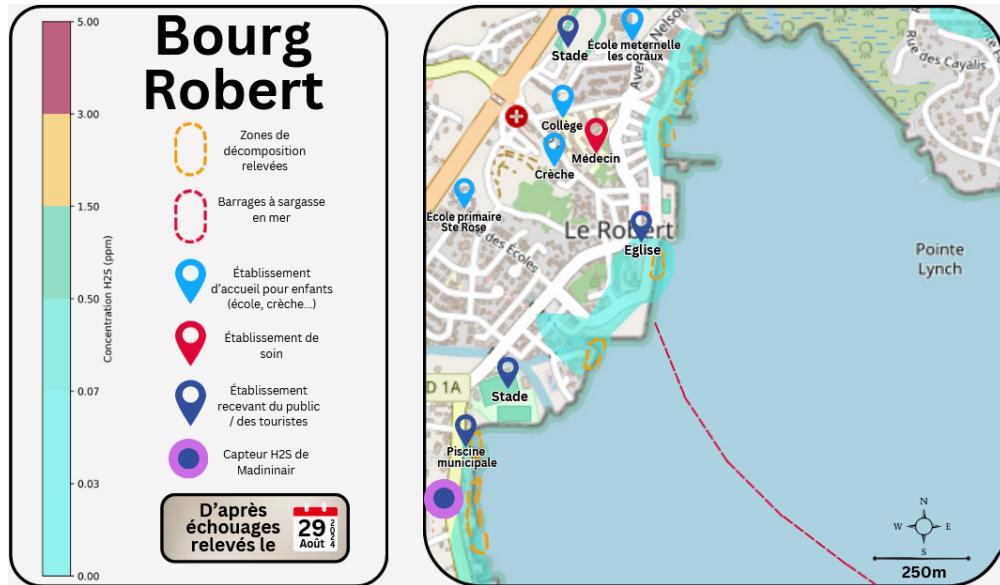


FIGURE 17 – Le Robert, bourg - $\mathcal{E} = 3,17 \cdot 10^{-4} g.m^{-2}.s^{-1}$

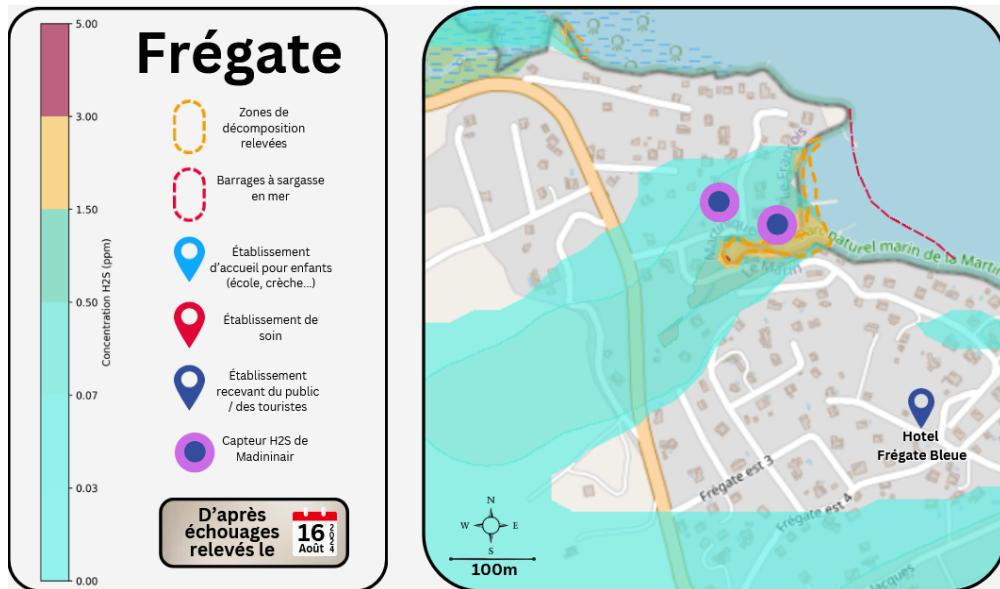


FIGURE 18 – Le François, quartier Frégate - $\mathcal{E} = 5,25 \cdot 10^{-4} g.m^{-2}.s^{-1}$

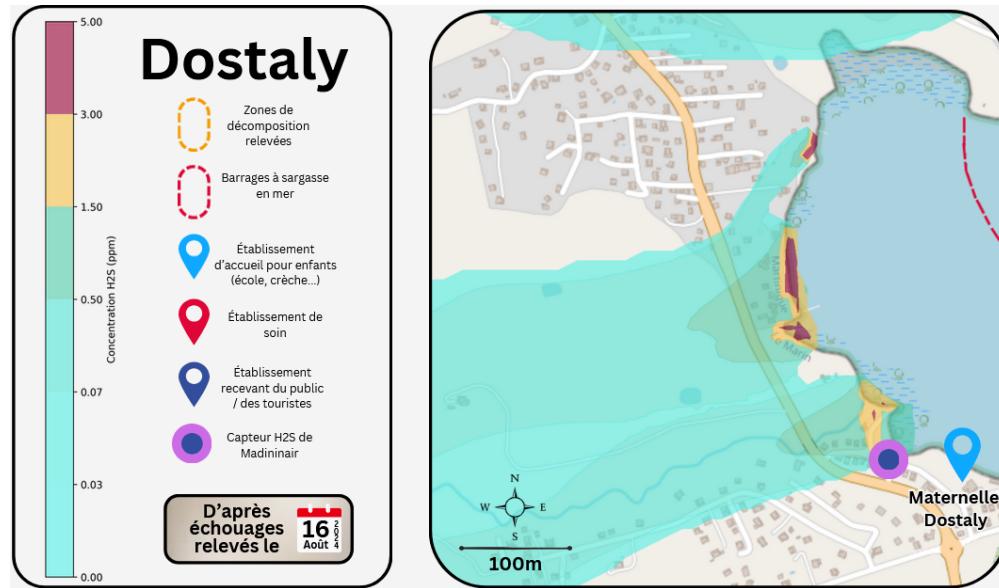


FIGURE 19 – Le François, quartier Dostaly - $\mathcal{E} = 5, 25.10^{-4} g.m^{-2}.s^{-1}$

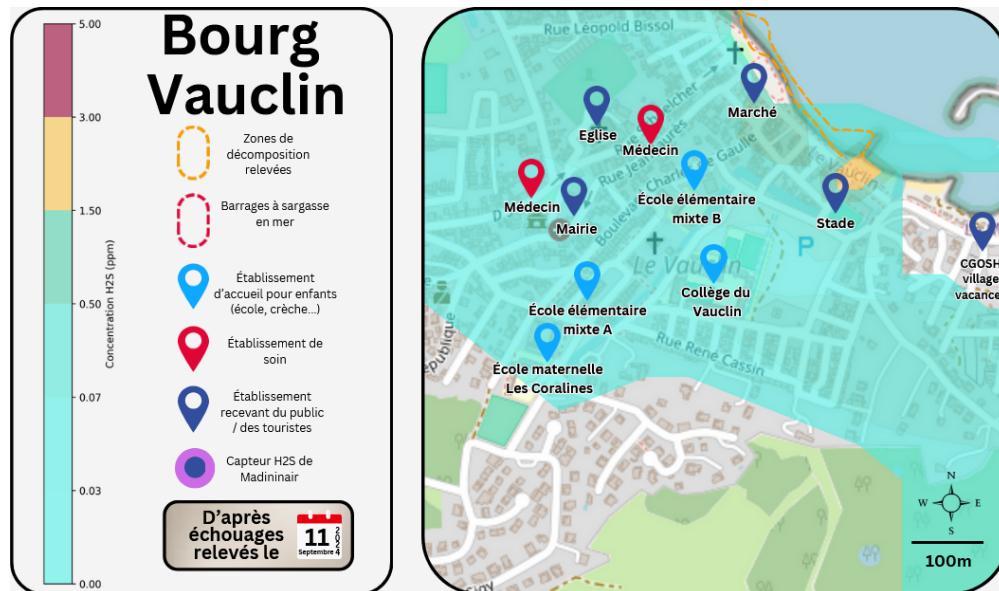


FIGURE 20 – Le Vauclin, bourg - $\mathcal{E} = 3, 17.10^{-4} g.m^{-2}.s^{-1}$

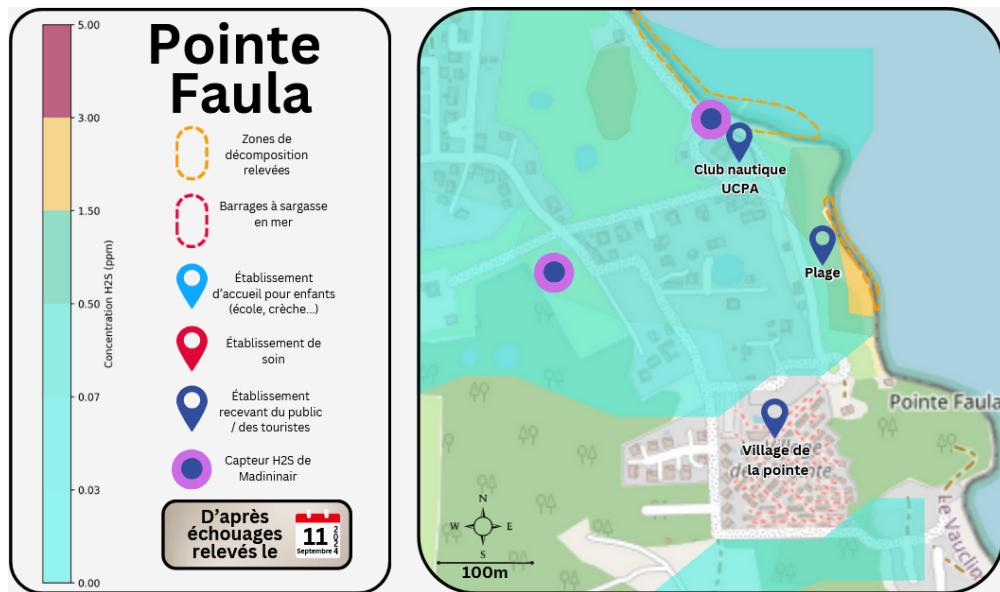


FIGURE 21 – Le Vauclin, quartier Pointe Faula - $\mathcal{E} = 3,17 \cdot 10^{-4} g.m^{-2}.s^{-1}$

En croisant nos résultats aux données démographiques de l'IGN, au total plus de 2500 riverains touchés par des concentrations moyennes de plus de 0,03ppm, dont environ 350 à Frégate et Dostaly, 1350 au Vauclin et 800 au Robert. Les habitants ont sur ces sites semi-urbains en moyenne entre 40 et 46 ans.

7 Facteurs influents

En complément de l'étude, nous allons observer rapidement les statistiques et essayer de trouver des corrélations entre de fortes concentrations et de paramètres physiques.

7.1 Jour/nuit

Nous supposons que le manque de lumière cesserait la production d' O_2 par photosynthèse, ce qui accentuerait la concentration en CO_2 au niveau des échouages et favoriserait donc la mort et la décomposition des algues.

Cependant, après une comparaison des concentrations jour (9h-15h) / nuit (22h-4h) moyennées sur plusieurs semaines, nous ne relevons pas de concentrations significativement plus fortes la nuit. Nous observons même une légère tendance inverse.

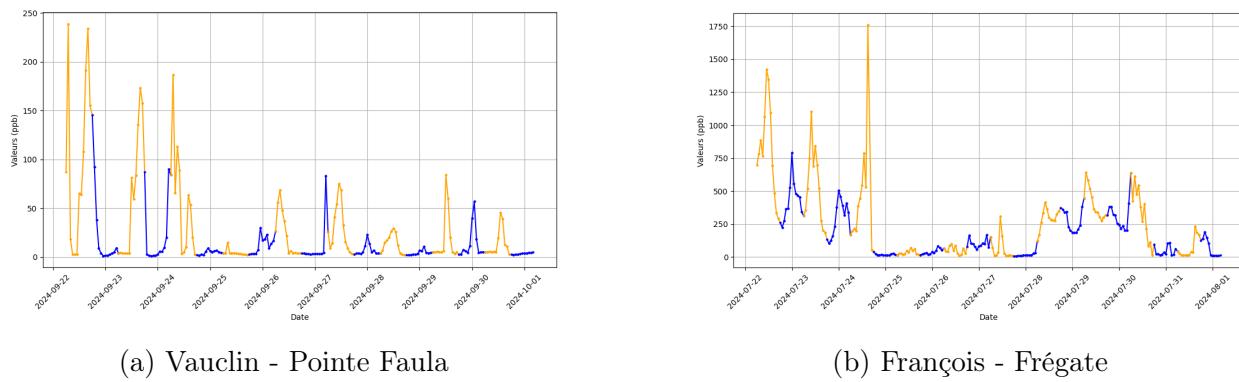


FIGURE 22 – Comparaison concentrations jour (orange) et nuit (bleu)

Sur des échelles de plusieurs mois (non affichées pour des raisons de lisibilité), pour le Vauclin en août et septembre 2024 :

$$\bar{C}_{jour} = 337.37 \text{ ppb et } \bar{C}_{nuit} = 234.86 \text{ ppb}$$

Et pour le François sur juillet et août 2024 :

$$\bar{C}_{jour} = 317.49 \text{ ppb et } \bar{C}_{nuit} = 256.51 \text{ ppb}$$

On remarque une baisse de 100ppb (0.1ppm) la nuit, soit 20% environ. Nous ne parvenons pas à expliquer cette différence pour l'instant.

7.2 Marées

La décomposition des sargasses menant à l'émanation d' H_2S dans l'atmosphère est conditionnée par les conditions d'humidité, nous allons donc étudier si les marées ont un impact sur les concentrations.

Ci-dessous, les courbes de niveau d'eau du capteur du SHOM situé au Robert. En vert, les concentrations en H_2S (mis à l'échelle) et les points rouges correspondent à des mesures exploitables : ou nous avons dans un intervalle de temps une donnée de niveau d'eau en condition de marée haute ou basse et une donnée de concentration en H_2S .

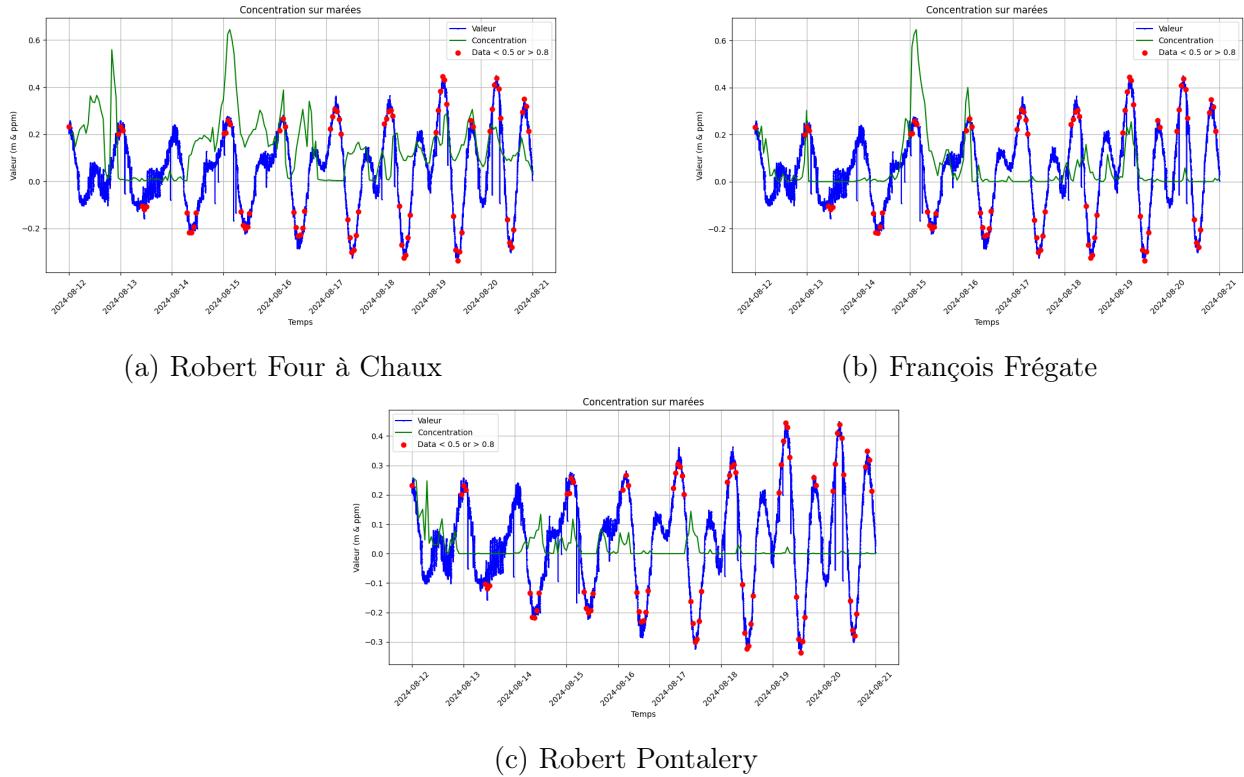


FIGURE 23 – Concentrations et marées superposés

Nous pouvons observer une corrélation entre les pics : pratiquement chaque maximum de concentration a lieu en marée haute. Cependant, lorsqu'on fait une moyenne des concentrations sur chaque site, les résultats en condition de marée haute sont similaires à ceux en condition de marée basse. Une approche plus complexe en fixant un maximum de paramètres (luminosité, précipitations...) site par site et en introduisant des décalages temporels est alors à envisager.

8 Critiques

8.1 Sources d'émission

Les émissions renseignées sur le logiciel sont surfaciques (facteur d'émission surfacique) alors qu'en réalité, les accumulations de sargasse sont volumiques. Afin de compenser ce biais nous distinguons plusieurs types d'échouages, mais cela reste une approximation.

De plus, les simulations correspondent à des périodes de plusieurs jours. Pendant cela, les sources d'émission réelles peuvent se déplacer, notamment celles immergées, et émettre plus ou moins ce qui n'est pas le cas dans notre simulation.

8.2 Données météo

Les données météo utilisées dans notre étude sont celles du réseau de stations de Météo France. Nous n'avons utilisé que les stations situées en bord de mer par soucis de cohérence. On retrouve une station au Robert qui se situe dans notre zone de modélisation du Robert, et une au Vauclin qui nous servira pour la modélisation du Vauclin et du François. La distance entre la station météo du Vauclin et notre zone de modélisation du François étant d'environ 7km, nous avons voulu comparer les conditions entre ces deux sites en plaçant une de nos stations au François. Voici les résultats :

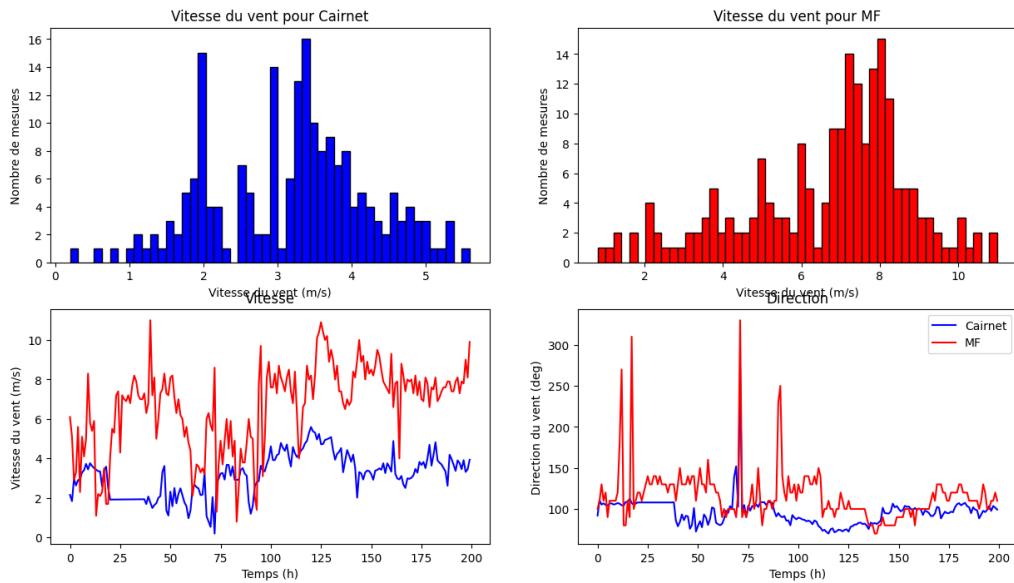


FIGURE 24 – Data météo - comparaison données station météo France et Cairnet Data+ sur site

On remarque que la station de Météo France détecte des vents supérieurs de deux à trois noeuds environ. Cela est notamment dû à l'altitude de l'anémomètre : 10m pour MF et 1m pour nous. Les données sont semblables en termes de direction.

Nous utiliserons les stations de Météo France pour nos simulations, car les données restent dans la globalité équivalentes entre le François et le Vauclin.

9 Conclusion

En conclusion, lors de ce projet nous avons modélisé la diffusion de l'hydrogène sulfuré (H_2S) libéré lors de la dégradation des sargasses en Martinique. Les résultats révèlent que certaines régions affichent des concentrations de H_2S excédant 5 ppm, soulignant l'importance d'un suivi constant. Les divers types d'échouages ont mis en évidence des facteurs d'émission distincts, essentiels pour évaluer les répercussions sur la santé publique et l'environnement. Les facteurs calculés vont de $\mathcal{E} = 3.17 \cdot 10^{-4} g.m^{-2}.s^{-1}$ à $\mathcal{E} = 5,25 \cdot 10^{-4} g.m^{-2}.s^{-1}$ selon si il y a décomposition en mer seulement ou en mer et sur la plage. En somme, cette étude met en lumière la nécessité d'une gestion anticipative pour préserver la qualité de l'air et la santé des résidents.

Bibliographie

Références

- [1] Madininair : <https://www.madininair.fr/>
- [2] Deal Martinique :
 - "Le dispositif de prévision des échouages de sargasses",
<https://www.martinique.developpement-durable.gouv.fr/le-dispositif-de-prevision-des-echouages-de-a1174.html>
 - "ATLAS communal de gestion des échouages de sargasses"
- [3] Copernicus, "Corine Land Cover", <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>
- [4] Météo France :
 - "Données climatologiques de base - horaires", <https://meteo.data.gouv.fr/datasets/6569b4473bedf2e7abad3b72>,
 - "Bulletins sargasse", <https://meteofrance.mq/fr/sargasses>
- [5] SHOM : "Annuaire des marées, Le Robert" https://maree.shom.fr/harbor/LE_ROBERT/hlt/0?date=2024-10-30&utc=-4
- [6] ARS Guadeloupe : "Seuils sanitaires et effets des concentrations en H2S et NH3", <http://www.ars.guadeloupe.sante.fr/>
- [7] ADMS Urban : "ADMS Urban user guide", http://www.cerc.co.uk/environmental-software/assets/data/doc_userguides/CERC_ADMS-Urban5.0_User_Guide.pdf
- [8] Géoservices IGN : "RGE ALTI(R)", <https://geoservices.ign.fr/rgealti>, consulté le 30 octobre 2024.
- [9] Le Monde :
 - "Le phénomène des sargasses est probablement lié au changement climatique"
 - "Algues sargasses : aux Antilles, « on craint le pire »"
 - "Pour éradiquer les sargasses, ces algues malodorantes qui échouent sur le littoral, les Antilles misent sur la collecte en mer"

[10] National Geographic, "Antilles : comment combattre le fléau des algues brunes ?"
"Une immense masse d'algues brunes s'apprête à envahir les plages de Floride"

[11] France-Antilles, "Un taux en sulfure d'hydrogène et en ammoniac élevé"

[12] Martinique2030 : "Impacts des algues sargasses sur la santé humaine", <https://www.martinique2030.com/non-classe/impacts-des-algues-sargasses-sur-la-sante-humaine>

[13] Photographie page de garde : David Doubilet