TRAFIC, TRAnsport maritime, Fréquentation portuaire et Inégalités environnementales dans les Caraïbes

Iwan Le Berre, Eric Foulquier

▶ **To cite this version:**

Iwan Le Berre, Eric Foulquier. TRAFIC, TRAnsport maritime, Fréquentation portuaire et Inégalités environnementales dans les Caraïbes. [Rapport de recherche] UMR 6554 LETG. 2022. hal-03819373

HAL Id: hal-03819373
https://hal.science/hal-03819373

Submitted on 18 Oct 2022

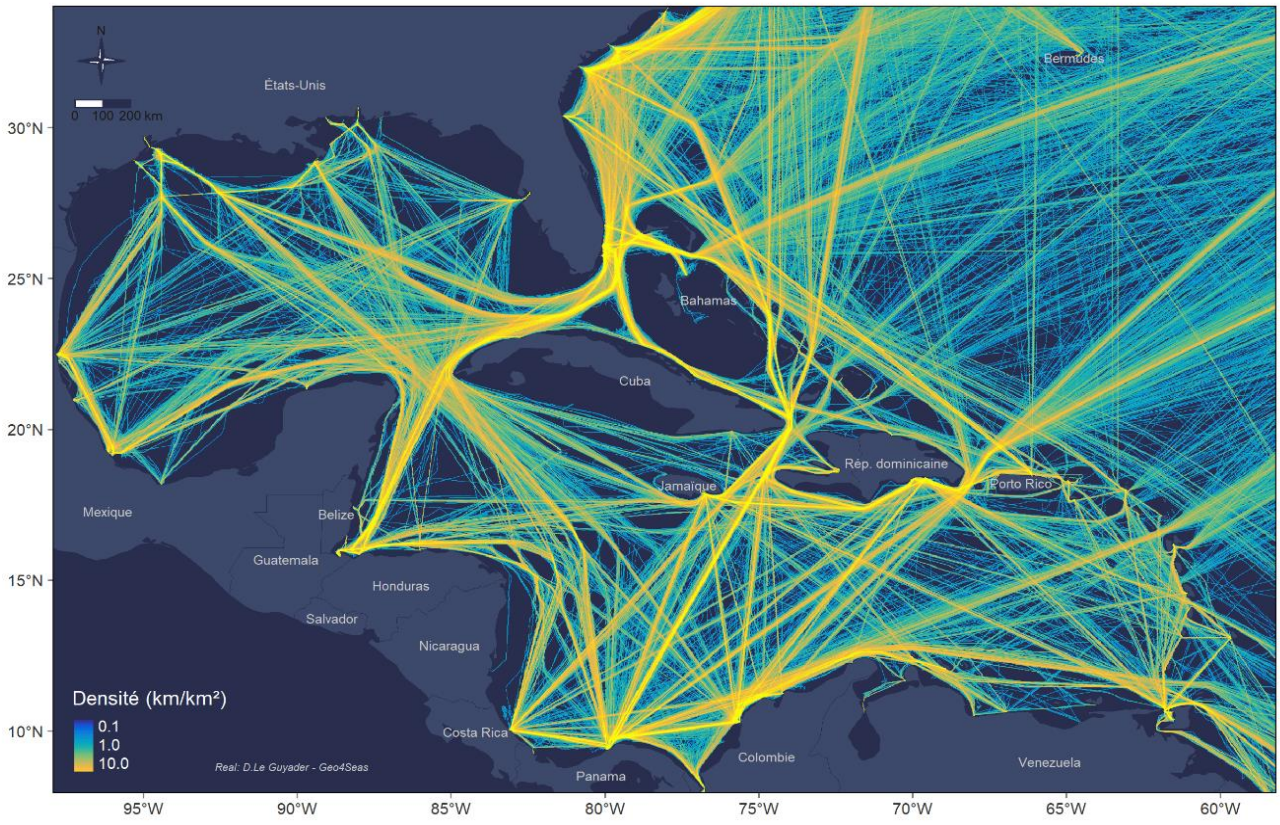
HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Fondation de France - Les futurs des mondes du littoral et de la mer, APR 2019, projet n° 1940

TRAFIC, TRAnsport maritime, Fréquentation portuaire et Inégalités environnementales dans les Caraïbes

Rapport final



Eric Foulquier et Iwan Le Berre – mai 2022

UMR 6554 CNRS LETG, IUEM Université de Bretagne Occidentale, Brest, France

Table des matières

Introduction 1
Organisation et résultats du projet 2
Axe 1 : Circulations et environnements maritimes dans la Caraïbe 2
BDD AIS sur le trafic maritime. 2
BDD Infrastructures portuaires 4
BDD indicateurs de développement des territoires riverains de la Caraïbe 5
Axe 2 : Interactions trafic maritime-environnement 7
BDD Kakila sur les observations de mammifères marins 7
Axe 3 : Fréquentation et vulnérabilité portuaire 10
Qualité de l'air et trafic maritime 10
Perceptions de la qualité de l'air 12
En synthèse : bilan du projet TRAFIC 15
Valorisation scientifique 16
Publication des données 16
Publications 16
Formation à la recherche 18
Médiation scientifique 18
Effet levier du financement Fondation de France 18

Introduction

Le projet TRAFIC s'inscrit dans le cadre du réseau des Observatoires Hommes-Milieux (OHM) du CNRS mis en œuvre par le Labex DRIIHM. Les OHM sont dédiés à l'étude des socio-écosystèmes complexes soumis à des changements anthropiques importantes. Le projet est plus particulièrement mené dans le cadre de l'OHM Littoral Caraïbe qui vise à étudier l'influence du trafic maritime, en lien notamment avec l'extension du port de Pointe-à-Pitre, sur son environnement naturel et social.

TRAFIC s'interroge sur les interactions entre transport maritime et les qualités sociales et environnementales des espaces fréquentés. Le programme est articulé en trois échelles.

- L'échelle régionale couvre la Grande région Caraïbe, Golfe du Mexique inclus, afin d'analyser les relations entre trafic maritime et inégalités environnementales. Il s'agit en particulier de caractériser le trafic maritime au regard du niveau de développement des territoires riverains de la Caraïbe et de leurs exigences environnementales et sociales notamment pour la réglementation du transport maritime et sa mise en œuvre.

- L'échelle intermédiaire s'intéresse au territoire couvert par le Conseil Maritime Ultra-marin des Antilles (CMUBA), dont le périmètre inclus le sanctuaire AGOA, qui couvre l'ensemble de la ZEE française, afin : a) d'établir un état des fréquentations maritimes dans cette sous-région ; b) de tenter de produire des indicateurs d'interactions entre trafic maritime, environnement et préservation de la biodiversité, en prenant l'exemple des mammifères marins.

- La troisième échelle est locale ; elle concerne le Petit-Cul-de-Sac Marin et le territoire Guadeloupéen pour étudier l'influence du trafic maritime sur l'environnement local, en prenant comme cas d'étude la question de la qualité de l'air. Le questionnement porte ici sur l'égalité des ports face au navire. Peut-on développer l'idée de l'existence d'une vulnérabilité portuaire en la matière ?

Au-delà de ces objectifs scientifiques, centrés sur la construction d'indicateurs aptes à répondre à ces questions, l'ambition du programme au travers du partenariat engagé avec les acteurs locaux est de produire des données publiques sur ces sujets, dont les acteurs territoriaux concernés (CMUBA) avouent ne pas disposer en grand nombre et en qualité suffisante.

La suite de ce rapport présente les actions effectivement réalisées dans le cadre de TRAFIC et les perspectives qui s'en dégagent.

Rappelons d'abord que la situation sanitaire a empêché toute mission pendant 2 ans et que l'ensemble du projet a dû être effectué à distance. Seul le séminaire final du projet a pu se tenir en présentiel fin mars 2022. Cette absence de mission a considérablement affecté les objectifs de médiation avec les acteurs territoriaux que nous nous étions fixés. Les relations avec nos partenaires se sont donc établies à distance.

Organisation et résultats du projet

Axe 1 : Circulations et environnements maritimes dans la Caraïbe

L'objectif de cet axe était d'étudier conjointement la nature et l'organisation spatiale du trafic maritime dans la Caraïbe avec les caractéristiques socio-économiques de ses territoires riverains pour y analyser les relations entre qualité du trafic maritime et développement.

Il a reposé sur la construction d'une base de données pluridisciplinaire décrivant le trafic maritime dans la région Caraïbe, ses infrastructures portuaires et des indicateurs de développement (IDH) de ses territoires riverains à l'échelle subnationale.

BDD AIS sur le trafic maritime.

Dans la continuité du projet ASTRAPI soutenu par l'OHM Littoral Caraïbes/Labex DRIIHM (2019), une modélisation de préfiguration de la BDD sur le trafic maritime a été effectuée. Elle a abouti :

- Au développement d'un modèle conceptuel de données ;
- A l'identification des sources de données sur le trafic maritime et de leurs modalités d'acquisition ;
- A la mise en place d'un plan de gestion de données sur la page OPIDOR[1].

Pour rappel, l'AIS (*Automatic Identification System*) est un dispositif de surveillance maritime qui repose sur la localisation en temps réel de l'ensemble des navires de la flotte marchande mondiale. Ces données peuvent être collectées et employées pour reconstituer le déroulement spatiotemporel du trafic maritime. Initié en 2007, ce dispositif ne fournit cependant des données de qualité que depuis 2012-2013, faute d'un réseau de récepteurs suffisamment étoffé. L'AIS n'offre pas de possibilité analytique au-delà de ce pas de temps.

TRAFIC a permis :

- d'effectuer une analyse comparative de l'offre des différents diffuseurs, institutionnels et commerciaux de données AIS en vue,
- d'acquérir des jeux de données afin,
- de les expertiser dans le but,
- de les intégrer à une base de données pluridisciplinaire et partagée. Une première expérimentation effectuée par le bureau d'étude Geo4Seas (créé par Damien Le Guyader, ancien membres de Terra Maris) à partir à partir d'un jeu de données portant sur l'ensemble de l'année 2015 (source OrbCom) a permis de définir les modalités de traitement et de structuration des données AIS dans une BDD cohérente[2].

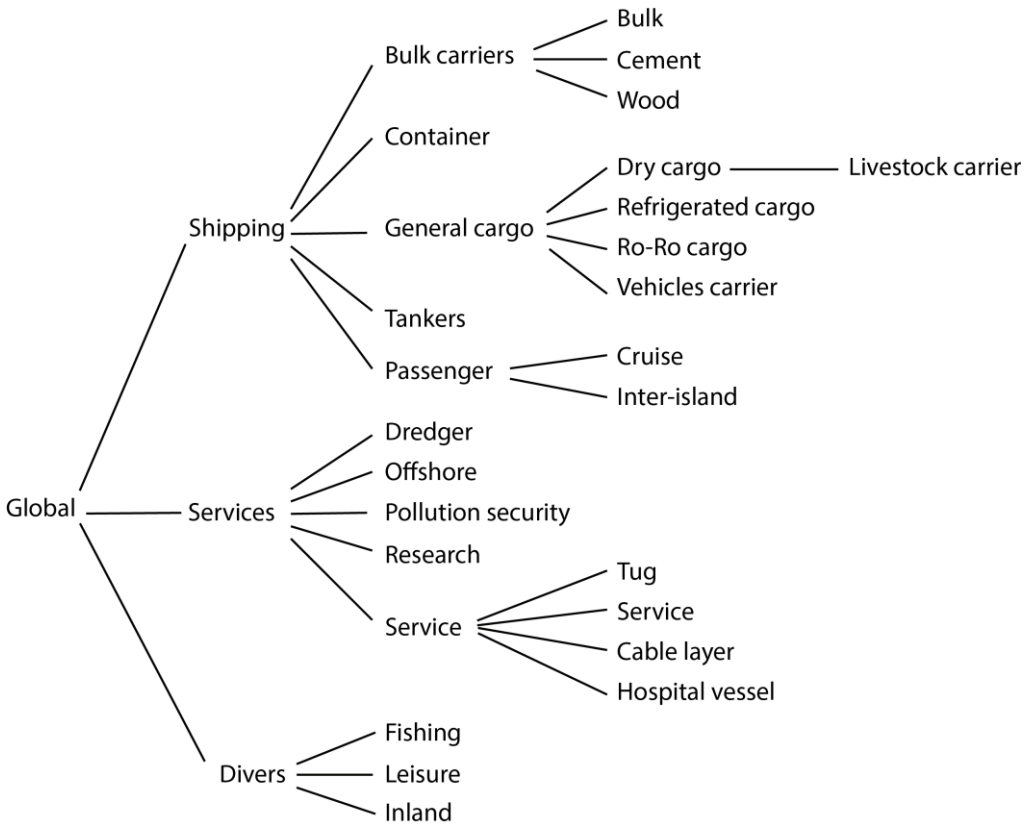
Le financement Fondation de France a notamment permis l'acquisition, auprès de la société ExactEarth, d'un jeu de données satellitaires couvrant l'ensemble du terrain d'étude (Caraïbe et Golfe du Mexique) pour toute l'année 2019. Il s'agit de données massives. Le jeu de données brut occupe un volume 49 Go, il décrit 400 millions de positions de 14 958 navires. Par ailleurs, les contacts établis

[1] https://dmp.opidor.fr/

[2] Le Guyader D. (2020), *Analyse spatiotemporelle du trafic maritime dans le bassin Caraïbe*. Rapport projet 2130 Labex DRIIHM- OHM Littoral Caraïbe, TerraMaris, 71 p.

dans le cadre de TRAFIC avec plusieurs acteurs institutionnels du trafic maritime (Direction de la mer, CROSS Antilles-Guyane, Direction des affaires maritimes) ont conduit à la signature d'une convention avec l'Agence européenne de sécurité maritime (EMSA) pour accéder aux données AIS acquises par cet établissement dans le cadre de ses missions. Cette démarche a abouti à la livraison d'un jeu de données terrestre couvrant les Antilles françaises entre 2017 et 2019.

Les données ont été intégrées dans une BDD PostGREsql/PostGIS. Une première série de cartographies a ainsi été produite sur le trafic maritime dans le bassin Caraïbe (un exemple est présenté (fig. 1). Ces cartes peuvent être déclinées par catégories de navires selon la typologie suivante :



Ces cartes ont été présentées aux partenaires institutionnels et socio-économiques de TRAFIC pour discuter de leur interprétation et, surtout, de leur intérêt dans une perspective opérationnelle. Deux séminaires ont été organisés à cette fin : le premier au mois de mai 2021, en visio-conférences, et le second, à la fin du mois de mars 2022 en présentiel à l'Université des Antilles à Pointe-à-Pitre.

Ces cartes en cours d'analyse vont faire à courte échéance (été 2022) l'objet d'une valorisation scientifique (article en préparation pour la revue *Cybergeo*).

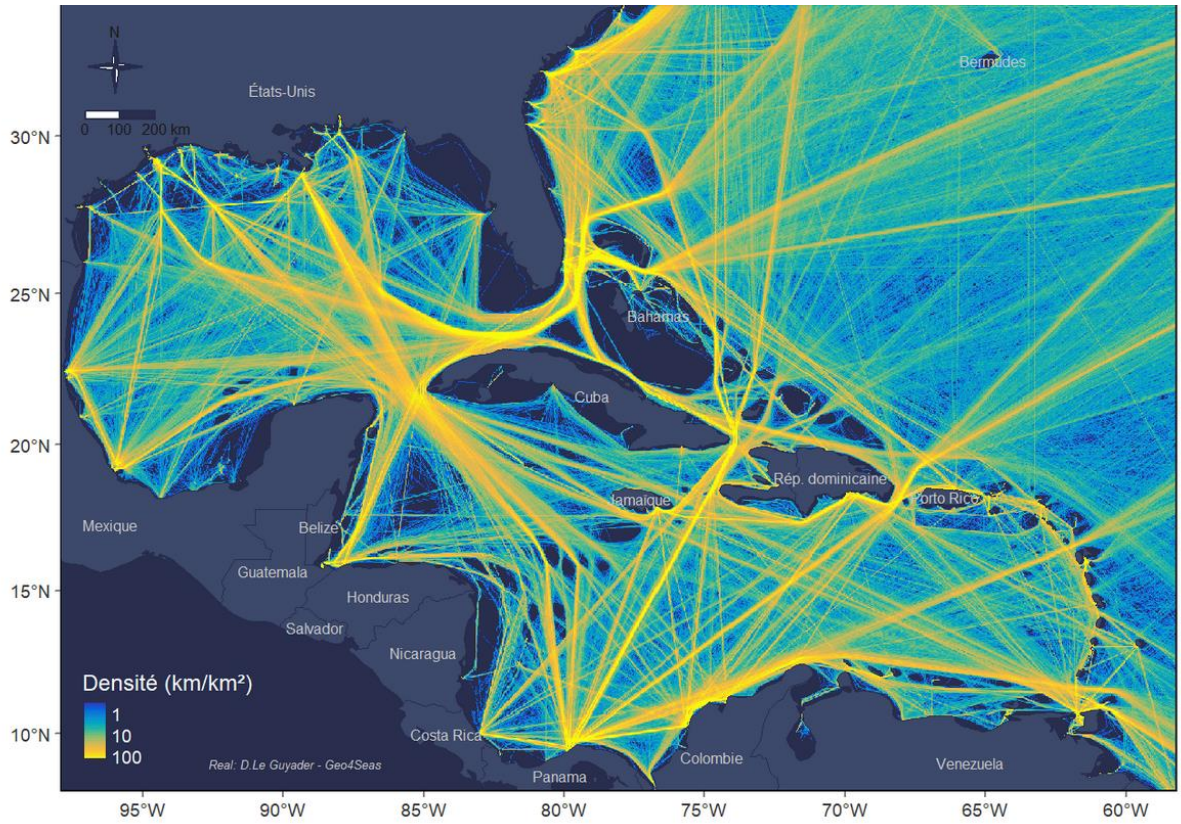


Figure 1 : la densité de trafic maritime générée par la catégorie General cargo dans les Caraïbes en 2019

BDD Infrastructures portuaires

Parallèlement, nous avons acquis auprès de la société IHS Markit, un jeu de données décrivant 300 ports de la région Caraïbe, dans l'objectif de compléter les données sur les voies maritimes parcourues par les navires marchands par une description des infrastructures portuaires les recevant en escale. Si les ports caribéens y sont recensés, les informations qui décrivent leurs activités comme leurs infrastructures s'avèrent très lacunaires. Selon les acteurs locaux, avoir une vision complète des activités portuaires dans la région est une question délicate qui met en évidence l'hétérogénéité des conditions de gouvernance dans nombre des territoires concernés.

Dans le cours de la deuxième année du projet, une réflexion a été portée sur les différentes voies envisageables pour construire une base de données portuaires caribéennes aussi fidèle que possible à la réalité terrain. Le premier jeu de données IHS MArkit a donc été complété par le *World Port Index*, couche de données libre qui décrit 240 ports de la région Caraïbe. Ces deux bases de données fournissent une description complémentaire des ports de la zone d'étude, mais dont la compatibilité et l'exhaustivité s'avère partielle : la liste des ports décrits par les deux BDD diffère sensiblement, leurs

caractéristiques sont décrites avec un niveau de détail variable, et leur géographie n'est restituée que par des points, dont la précision de positionnement est également variable.

Fort de ce constat, il a été décidé de compléter ces données, par une numérisation des ouvrages d'accostage – quais et appontements – des principaux ports de commerce de la Caraïbe à partir d'une photointerprétation sur fonds Google Earth, BingMap et OpenStreetMap dans Qgis. Cette base de donnée, qui comporte plus de 400 ports, peut être consultée en ligne[3]. Grâce à cette numérisation, une délimitation des emprises portuaires est rendue possible, ce qui permet de quantifier et de caractériser le trafic de chaque port, à partir des données AIS (requêtes d'identification et de caractérisation de tous les navires atteignant et s'arrêtant dans les emprises portuaires ainsi délimitées). Cette analyse va nous permettre d'établir une hiérarchisation portuaire à l'échelle de la région Caraïbe pour comprendre les différences et vérifier l'hypothèse d'inégalités infrastructurelles – en termes d'emprise, de fonctions déployées, d'infrastructures de quais, d'espaces d'entreposage.

L'objectif est double :

- Sur le plan scientifique, il s'agit de jeter les bases empiriques du concept de vulnérabilité portuaire ;
- Sur le plan de la médiation scientifique, il vise à positionner les ports des Antilles françaises dans la géographie infrastructurelle caribéenne.

BDD indicateurs de développement des territoires riverains de la Caraïbe

Afin de renseigner la question initiale des relations éventuelles entre shipping et inégalité la production d'un troisième jeu de données destiné à évaluer le niveau relatif de développement des régions riveraines de la Caraïbe a été entreprise sur la base d'un stage de master. Lorenzo Joncheray, étudiant de master 2 de Géographie, a été accueilli 4 mois durant (1er juillet - 31 octobre 2021) à LETG[4] en codirection avec Stéphane Zuber, chercheur au Centre d'économie de la Sorbonne (CNRS). Ce stage a permis de produire un état de l'art des indicateurs usuels pour évaluer le niveau de développement des territoires riverains de la Caraïbe à l'échelle subnationale, de sélectionner les indicateurs les plus pertinents au regard de l'approche développée dans TRAFIC et de rechercher les jeux de données disponibles pour produire ces indicateurs. Leur intégration dans la base de données est en cours de finalisation. L'objectif est de développer un indice permettant de restituer pour l'ensemble de la Grande région Caraïbe le caractère multidimensionnel du développement (revenu, santé, éducation, environnement, etc.), tout en permettant des comparaisons spatiales à l'échelle subnationale.

[3] Lien vers la carte en ligne des ports de la Caraïbe :
https://qgiscloud.com/ileberre/QGIScloudmap_Caraibe_Ports/

[4] JONCHERAY Lorenzo (2021) *Trafic maritime et inégalités de développement dans la Caraïbe*, rapport de stage de master 2 de Géographie, Université des Antilles.

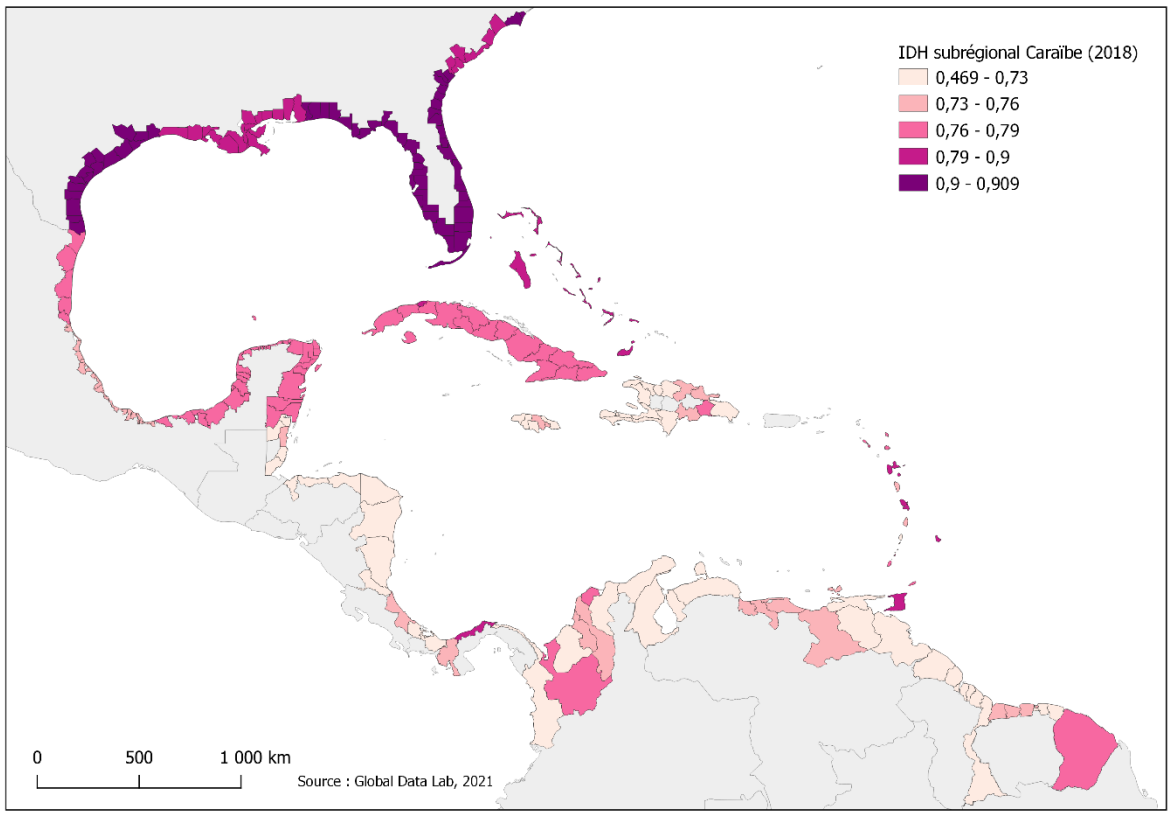


Figure 2 : l'indice de développement humain (IDH) dans la Caraïbe en 2018

Cet indice doit décrire les territoires caribéens sous deux dimensions : d'une part le niveau de développement intégrant des critères non seulement économiques, mais également sociaux, sanitaires et environnementaux (stage de Master Lorenzo Joncheray), et le niveau de contrainte réglementaire environnementale d'autre part. L'objectif est de confronter ces caractéristiques territoriales avec les données acquises sur les navires parcourant les espaces maritimes et portuaires de la Caraïbe (BDD AIS), ainsi que sur ses infrastructures portuaires (BDD ports), afin de tester deux hypothèses sur l'existence d'inégalités environnementales liées aux activités portuaires et maritimes :

- L'adéquation entre la puissance portuaire déployée (en termes d'infrastructures) et les besoins territoriaux ;
- L'adéquation entre la qualité des navires en escale et la qualité socio-environnementale du territoire concerné.

Cette analyse est en cours et a fait l'objet d'une proposition d'article dans le cadre de l'appel à contribution émis par la revue *Etudes caribéennes* en vue de la publication d'un numéro thématique consacré à la « Maritimisation de l'espace Caraïbe »[5].

Les premiers résultats sur l'indicateur « âge des navires » révèlent effectivement d'inégales répartitions des navires selon leur vétusté, au moins pour les îles de la sous-région antillaises. La question mérite donc d'être affinée. Elle constitue une piste intéressante de réflexion sur le navire comme indicateur de développement, mais aussi de vulnérabilité des territoires face au risque navire.

[5] Foulquier E., Le Berre I., Ranély Vergé-Dépré C., Joncheray L., Iphar C., Le Guyader D. (*in prep.*), Objectiver les trajectoires de maritimisation dans les îles des Petites Antilles. Etudes caribéennes, n° 54, 2023, https://journals.openedition.org/etudescaribeennes/22993

Plus largement, elle autorise une analyse fine du concept de maritimité, variable selon les territoires considérés.

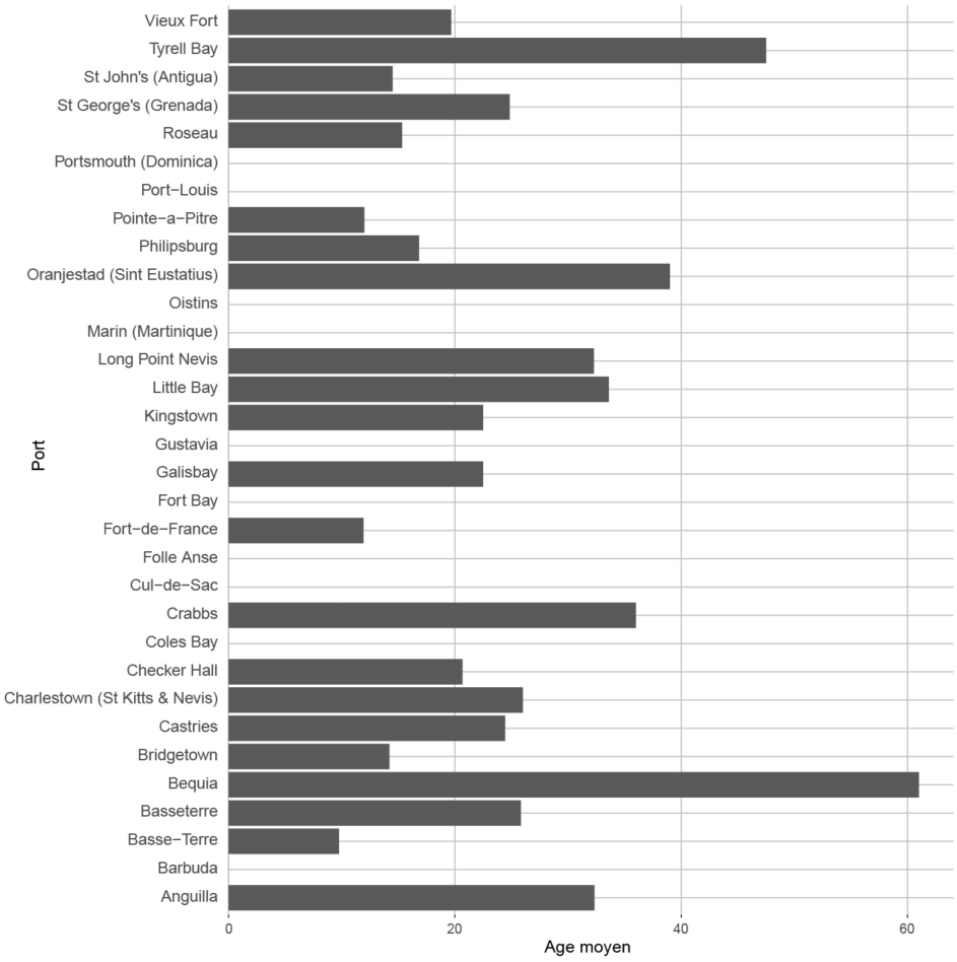


Figure 3 : Âge moyen des navires « général cargo » dans les Petites Antilles (sources : Exact Earth, 2019 ; IHS Markit, 2020 . Réal. Clément Iphar, LETG).

Axe 2 : Interactions trafic maritime-environnement

L'objectif de ce second axe était d'évaluer les pressions exercées par le trafic maritime sur l'environnement marin. Il a reposé sur la confrontation des données sur le trafic maritime avec les données d'observation des mammifères marins collectées dans les Antilles françaises.

BDD Kakila sur les observations de mammifères marins

TRAFIC a permis de coordonner le développement de KAKILA, une BDD collaborative multisource rassemblant les données d'observations des mammifères marins de la Guadeloupe. Une action de science collaborative » correspond à un co-productions de savoirs, entre acteurs académiques et non académiques, une interaction science-société en quelque sorte.

Grâce au partenariat établi avec l'OMMAG (Observatoire des Mammifères Marins de l'Archipel Guadeloupéen), les données de plusieurs ONG et sociétés d'observation de la mégafaune marine de

Guadeloupe (OMMAG, Breach, sanctuaire AGOA), mais également d'entreprises professionnelles de *Whale watching* (Guadeloupe Evasion Découverte, Cétacés Caraïbes et Aventures Marines) ont été collectées. Ces données ont été intégrées à une BDD conçue et développée par Lorraine Coché, dans le cadre d'un stage de master financé par l'OHM Littoral Caraïbe[6], prolongé de 2 mois par un contrat à durée déterminée financé par TRAFIC et co-encadré par l'équipe scientifique de TRAFIC et l'OMMAG. Dans un second temps, pour analyser cette BDD et contribuer à identifier les perspectives scientifiques et opérationnelles (protection des mammifères marins) qui s'en dégagent, une chargée de recherche a été recrutée pendant 8 mois par LETG et l'ISYEB, à l'aide du budget alloué par la Fondation de France. L'ensemble de ces travaux ont abouti à :

- Structurer les données d'observation des mammifères marins dans la BDD Kakila qui comporte désormais 4704 enregistrements sur 21 espèces collectés entre 2000 et 2019 dans l'archipel de Guadeloupe (fig. 4) ;
- Finaliser la structuration de cette BDD selon les principes FAIR (*Findable, Accessible, Interoperable and Reusable*) ;
- De cataloguer KAKILA dans le Pôle national de données de biodiversité, avec l'appui du MNHN[7] et du Labex DRIIHM, pour en permettre la diffusion publique.

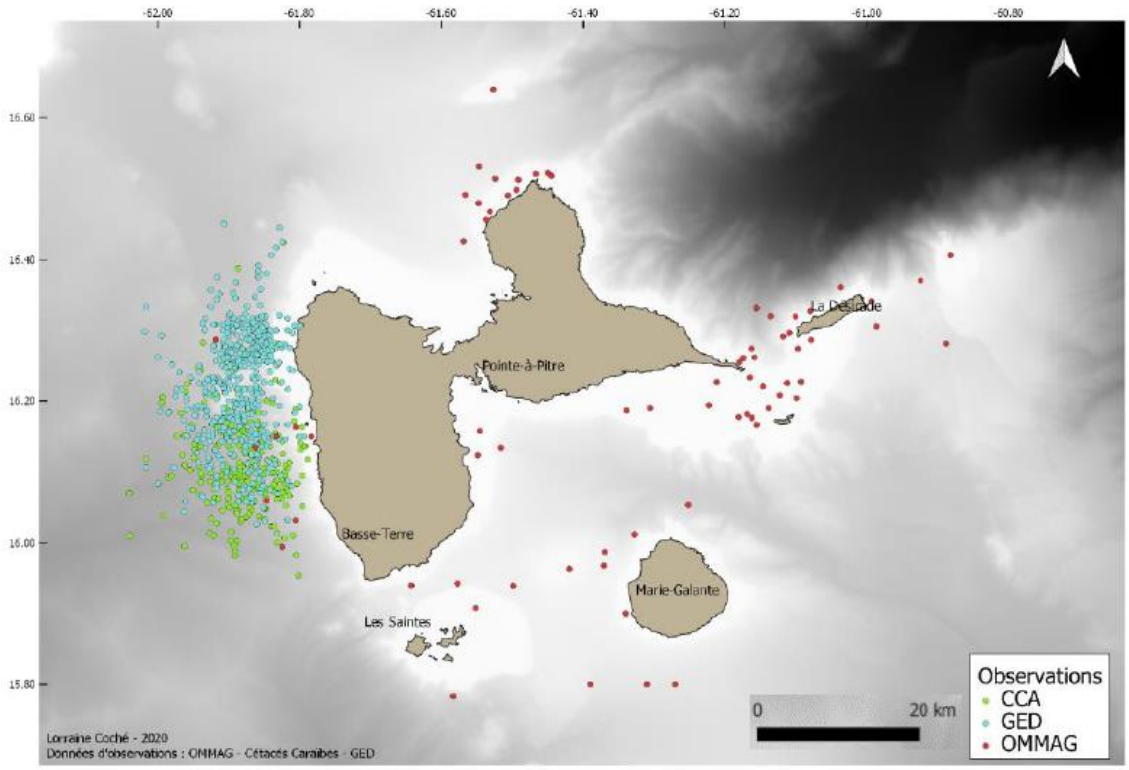


Figure 4 : Distribution des observations de mammifères marins consignées dans KAKILA

KAKILA démontre la pertinence des sciences participatives ou collaboratives pour l'étude des relations entre les sociétés humaines et leurs environnements, dès lors qu'il s'agit de recueillir des données de manière systématique, sur des pas de temps assez long et dans des contextes où la possibilité de

[6] COCHE Lorraine (2020), *Inventaire et structuration des données d'observation des mammières marins aux abords de la Guadeloupe*, Master 2 ECOTROP, Université des Antilles, OHM Littoral Caraïbe.
[7] https://data.pndb.fr/view/doi:10.48502/8bb5-pk85

recourir massivement à de l'instrumentation est contrainte, comme c'est le cas pour l'observation de la mégafaune marine. Elle permet notamment de multiplier la quantité d'observations par rapport à des campagnes scientifiques dont les coûts limitent généralement la durée et l'étendue spatiale. Elle facilite ainsi la détection des espèces « rares », comme la baleine de Cuvier (*Ziphius cavirostris*) et la baleine à bec de Gervais (*Mesoplodon europaeus*). Elle permet également d'établir des liens entre la fréquence d'observation, le fonctionnement des structures d'observation et la répartition des espèces notamment pour pouvoir qualifier quelque peu l'effort d'observation. Enfin, KAKILA permet de relier la fréquence d'observation et les habitudes écologiques des cétacés : saisonnalité des naissances, répartition spatiale des observations de juvéniles, ainsi que la répartition totale des espèces.

Ce travail de co-construction de KAKILA a été valorisé collectivement par la publication d'un « data paper » dans la revue *Biodiversity Data Journal*[8].

KAKILA a été remobilisée dans le cadre du contrat d'ingénieure de recherche de Bénédicte Madon, recrutée à LETG entre mars et octobre 2021, pour analyser les relations entre trafic maritime, mammifères marins et caractéristiques environnementales des habitats marins des abords de la Guadeloupe. Son travail a notamment permis de préparer un article, qui a été soumis à la revue internationale *Marine Policy*[9] et d'accroître les interactions entre l'équipe scientifique de TRAFIC, les acteurs de l'observation de mammifères marins dans les Antilles françaises, et l'Office français de la biodiversité, notamment chargé de la gestion du sanctuaire AGOA consacré à la protection des mammifères marins dans la ZEE française des Petites Antilles.

Dans ce cadre, la méthodologie développée pour KAKILA a été reproduite en Martinique pour compiler les données d'observations des mammifères marins disponibles. La BDD ainsi constituée, a servi à l'élaboration d'un diagnostic sur la délimitation fonctionnelle des zones de protection des mammifères marins au regard du trafic maritime[10].

En définitive, ce second axe a permis de dégager des perspectives de recherche avec l'Office Français pour la Biodiversité (OFB) pour l'amélioration des connaissances sur les interactions entre mammifères marins et trafic maritime au sein du sanctuaire AGOA, sur la production d'indicateurs de suivi de la biodiversité de la mégafaune marine, dans l'optique de perspectives opérationnelles de protection des mammifères marins.

---

[8] Coché, L., Arnaud, E., Bouveret, L., David, R., Foulquier, E., Gandilhon, N., Jeannesson, E., Le Bras, Y., Lerigoleur, E., Lopez, P.J., Madon, B., Sananikone, J., Sèbe, M., Le Berre, I., Jung, J.-L., 2021. Kakila database: Towards a FAIR community approved database of cetacean presence in the waters of the Guadeloupe Archipelago, based on citizen science. *BDJ* 9, e69022. https://doi.org/10.3897/BDJ.9.e69022

[9] Madon B., Le Guyader D., Jung J.-L., De Montgolfier B., Lopez P., Foulquier E., Le Berre I., (accepté, en cours de correction), Pairing AIS data and underwater topography to assess maritime traffic pressures on marine mammals: Case study in the Guadeloupean waters of the Agoa Sanctuary. *Marine Policy.*

[10] De Montgolfier B., Jung J.-L., Le Berre I., Mayol P., Ratel M., Labach H., Morissette L., Bissery C., Le Guyader D., *Étude de faisabilité pour l'instauration de zones refuges en Martinique et en Guadeloupe.* Rapport OFB-AGOA, Aquasearch, Geo4Seas, M Expertise marine, Miraceti, MNHN, UBO, 115 p.

Axe 3 : Fréquentation et vulnérabilité portuaire

Ce troisième axe visait à déterminer dans quelle mesure le navire en escale peut être considéré comme un facteur de risque participant de la vulnérabilité portuaire et si les dispositifs de gouvernance environnementale, d'échelles internationale ou nationale, ont une influence sur la qualité fréquentations portuaires, au regard notamment de l'âge des navires, de leur motorisation, de leur taille. L'indicateur choisi pour exprimer la vulnérabilité portuaire, est le « risque-navire », au prisme de la qualité de l'air.

Pour modéliser ce risque, les données AIS collectées et structurées dans l'axe 1 sont couplées, avec des données décrivant les caractéristiques des navires. Dans cette perspective, le financement Fondation de France a permis l'acquisition à l'automne 2020 d'un jeu de données *ShipData* auprès de la société IHS Markit. Cette société distribue les données d'immatriculation des navires de la flotte de commerce mondiale à la suite de la Lloyd's. Ces données nous permettent de caractériser les navires au regard de certains critères (âge, motorisation, propriétaire, capacité d'emport, etc.) afin de produire des indicateurs de vétusté pouvant être confrontés aux données sur le développement des régions portuaires.

Qualité de l'air et trafic maritime

Tel que conçu initialement, le projet prévoyait des actions de collecte de données dans les espaces en périphérie portuaire. La concertation avec notre partenaire Gwadair (Association Agrée de Surveillance de la Qualité de l'Air - AASQA) établissait en effet le constat d'un déficit de suivi de la qualité de l'air dans ces espaces.

L'idée était d'instrumenter plusieurs zones en périphérie de la zone portuaire de Pointe-à-Pitre/Jarry afin de récolter des données de retombées atmosphériques de précipitations. Sur la base de ces échantillons – qui devaient être prélevés sur une dizaine de site, sur une période de 6 mois – une analyse devait être menée à la recherche des marqueurs de carburants marins, parmi les métaux lourds, tel le vanadium, typique des fiouls lourds. Couplées à des données météo, ces relevés terrains devaient permettre de modéliser les circulations potentielles des émissions de navires dans la périphérie portuaire.

En raison du COVID, la première campagne de relevés, initialement prévue dans le cadre d'un stage co-financé par l'OHM Littoral Caraïbe entre mars et juillet 2020, n'a pu se réaliser. Un travail de modélisation a donc été engagé afin de poser des hypothèses en matière de retombées atmosphériques liées aux émissions de navires. Un rapport de Master[11] a été produit sur les bases d'une modélisation Hysplit, fréquemment utilisée en matière de circulation atmosphérique (fig. 5).

[11] PARAGOT Niels (2020), *Impact des émissions du transport maritime sur la qualité de l'air. Deux exemples : les Caraïbes et le quartier de Mourepiane à Marseille*, mémoire de master 2 GéoSciences, Université de Lyon 1, UMR Espace, Cerege.

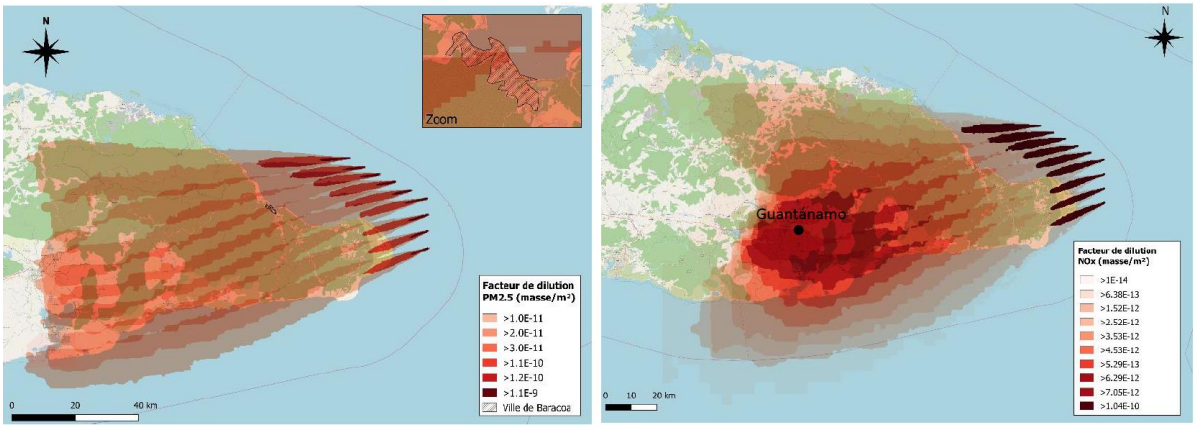


Figure 5 : Modélisation HYSPLIT de retombées atmosphériques à l ínterface Terre-Mer au large de Cuba. Représentation de l'impact des dépositions en PM2.5 (à gauche) et en NOx (à droite) via un facteur de dilution en masse/m3 à la suite d'un passage d'un navire (port conteneur, 868 TEU) au large de la côte de Guantanamo.

Pour répondre à nos questionnements initiaux sur les abords de l'espace portuaire du Petit-Cul-de-Sac Marin, une campagne de prélèvements a pu être effectivement mise en place entre février et juin 2021. Un stage de Master a été financé pour Anthony Etienne[12], sous la responsabilité de Mickael Vaitilingom (UA) et Yves Noack (Cerege) pour mettre en place ce réseau de mesure des retombées atmosphériques aux abords du GPMG Pointe-à-Pitre Jarry et sur Basse-Terre et la côte sous le vent. Le plan d'échantillonnage mis en œuvre est présenté dans la figure 6b.

L'objet du stage était de mesurer les retombées atmosphériques dans les deux îles en mettant en place un réseau de capteurs (type jauge Owen, fig. 6a), puis, après analyse de la phase particulaire et de la phase dissoute, de tenter d'identifier l'origine, maritime ou non, de ces retombées en les croisant avec les données de trafic maritime et de météorologie.

Le stagiaire avait pour mission de participer à la mise en place des collecteurs sur une dizaine de sites définis en fonction des sources d'émissions et de retombées, aux prélèvements. Il a traité les échantillons en vue des analyses et a effectué celles possibles en Guadeloupe (les autres ayant été effectuées par le Cerege à Marseille, resp. Yves Noack). Il a participé à l'interprétation des résultats et à la cartographie des contaminants.

[12] ETIENNE Anthony (2021) Caractérisation des métaux dans les dépôts humides et secs sur la Guadeloupe, Rapport de stage de master 2 Risques et Environnement, Université des Antilles. UMR LETG, LARGE.

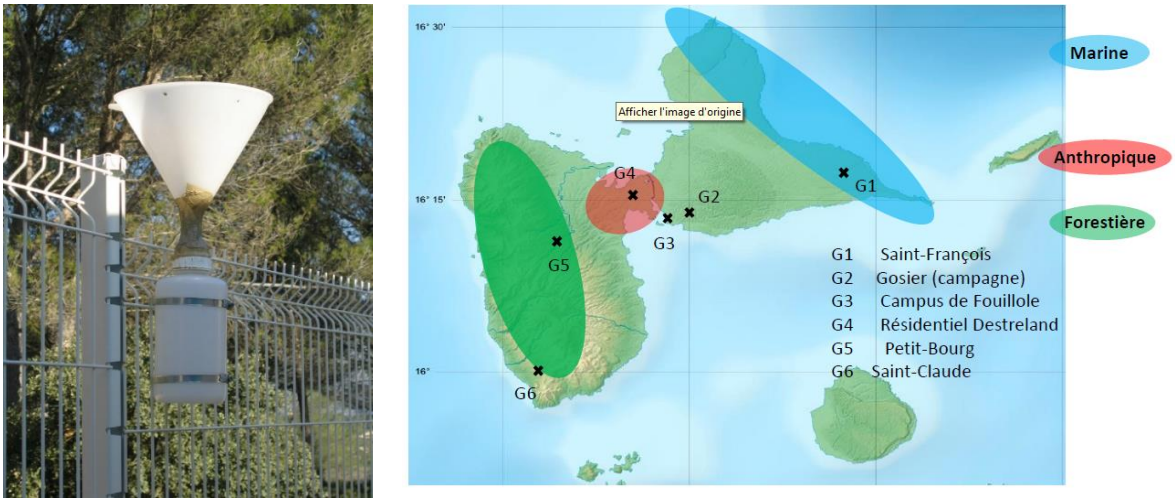


Figure 6 : Station de mesure et sites de prélèvement des retombées atmosphériques. Campagne TRAFIC 2021.

En raison des contraintes logistiques inhérentes à la crise sanitaire et sociale en Guadeloupe, ces analyses sont cependant toujours en cours et leurs résultats devraient nous parvenir d'ici la fin du printemps 2022. En fonction de leur intérêt, une valorisation de ces résultats reste envisagée.

Perceptions de la qualité de l'air

En parallèle à ces analyses géophysiques, une étude sociologique de la perception de la qualité de l'air a été effectuée dans le cadre d'un stage du master 2 COAST de Université Aix-Marseille, réalisée par Sonia Vannoorenberghe[13], co-financée par le Labex DRIIHM.

Dans un premier temps, le stage a également été contraint par le premier confinement du printemps 2020. Quelques enquêtes ont toutefois été sous-traitées en local, afin de tester la méthodologie pour un développement futur de ces approches. Afin de compenser ce déficit de données terrain, une analyse bibliographique a donc été réalisée en vue de retracer l'évolution de la réglementation relative à la qualité de l'air sur les littoraux et en particulier dans les villes portuaires (fig. 7). Cet état de l'art a permis d'identifier les grandes périodes de mise en œuvre progressive de la réglementation depuis la prise de conscience des enjeux liés à la pollution de l'air au début des années 1970 (A), jusqu'à l'implication effective du secteur maritime au cours des années 1990 via l'OMI (C), et l'entrée en vigueur des directives européennes relatives aux rejets atmosphériques des navires (D).

[13] VANNOORENBERGHE Sonia (2020), *Représentations sociales de la pollution atmosphérique liée aux bateaux de croisière dans la ville port. Etude comparative entre Marseille et Pointe-à-Pitre*, rapport de stage de master 2 COAST de Université Aix-Marseille, UMR ESPACE.

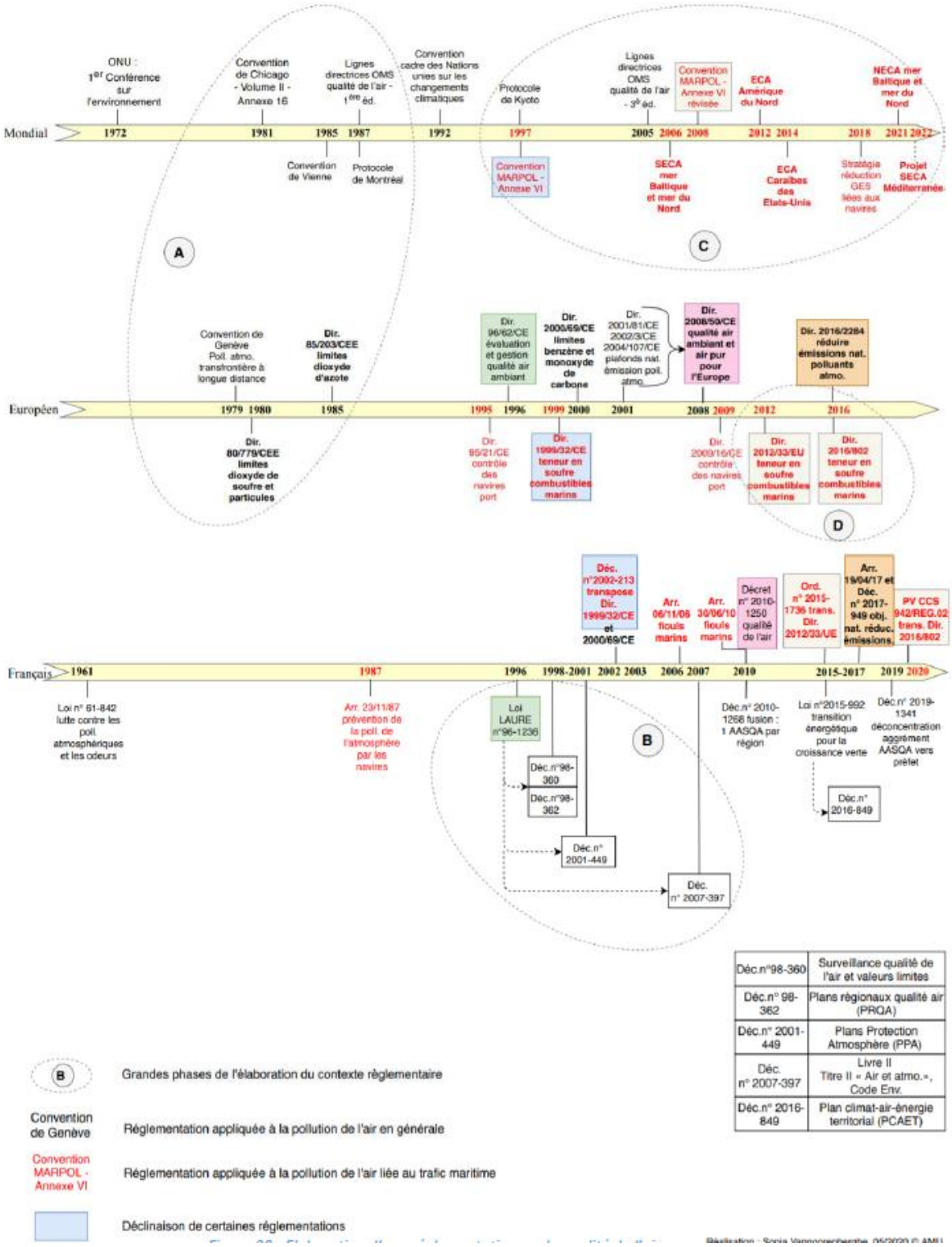


Figure 7 : Mise en place d'une réglementation sur la qualité de l'air (Vannoorenberghe, 2020)

Au cours de l'été 2020, des enquêtes ont enfin pu être entreprises afin de questionner la perception des activités de croisières et celle de la qualité de l'air perçue, à Marseille et à Pointe-à-Pitre. Dans les deux villes les enquêtes ont été menées sur trois sites (à Pointe-à-Pitre il s'agissait de la Marina, du centre-ville et de Jarry-Baie Mahault). Les conditions sanitaires encore contraignantes et le court délai restant avant la fin du stage ont imposé de limiter l'exercice à une enquête exploratoire des représentations sociales ayant pour objectif de recueillir des avis autour d'une question unique (« Lorsque l'on vous dit *croisière*, quels sont les 5 premiers mots qui vous viennent à l'esprit ? ») sans indiquer que l'on s'intéresse aux nuisances. 35 personnes ont ainsi été interrogées dans les deux villes.

Sur les 153 mots relevés à Pointe-à-Pitre, les mentions positives sont les plus fréquentes (fig. 8). Seuls trois termes négatifs ont été cités. Le premier (Covid-19), qui peut être considéré comme conjoncturel, et le second (pollution) n'ont été évoqués que par 8 personnes et n'apparaissent respectivement qu'à la 16ème et la 18ème place. Le troisième terme (cher) n'a été mentionné que 2 fois. Ce résultat tend à montrer qu'à Pointe-à-Pitre la pollution de l'air par la croisière ne semble pas une préoccupation majeure des riverains.

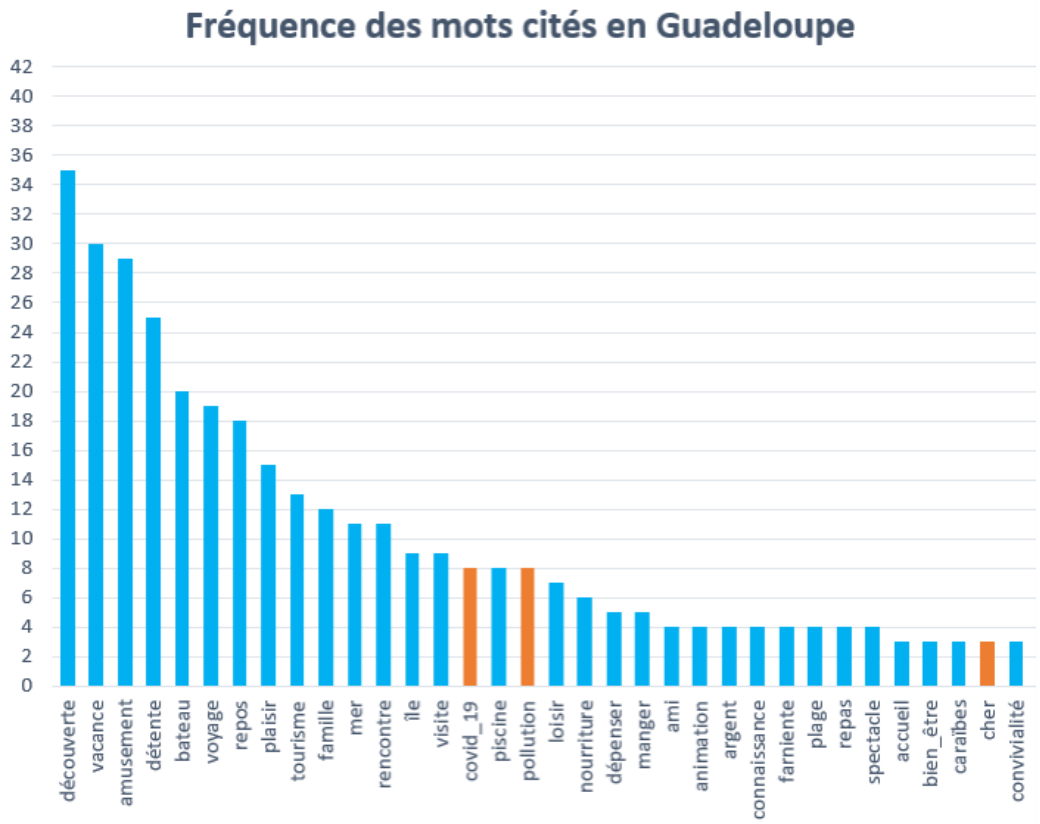


Figure 8 – Dix premiers mots cités lors de l'enquête à Pointe-à-Pitre. En bleu figurent les mots à connotation positive et en orange à connotation négative (Vannoorenberghe S., 2020).

En synthèse : bilan du projet TRAFIC

Le financement du notre projet par la Fondation de France a été très bénéfique des points de vue à la fois scientifiques et partenariaux.

Du point de vue scientifique, il a permis de renforcer sensiblement les moyens de recherche mobilisables dans le cadre de l'OHM-LC et du Labex DRIIHM, en permettant l'acquisition de données onéreuses (AIS, caractéristiques des navires, ports), le renforcement de l'équipe de recherche – que ce soit sous forme de prestation (Geo4Seas), de contrat de recherche (B. Madon) ou des stages de master – et en apportant une aide au fonctionnement du projet (missions, séminaires, etc.).

Fort de ces apports, TRAFIC a abouti à plusieurs types de résultats, notamment le développement d'une base de données totalement inédite dans les Antilles française, voire à l'échelle de la Caraïbe, à plusieurs valorisations sous forme d'articles et de présentations scientifiques. Il a permis de contribuer à la formation par la recherche au travers de 5 stages de master de 3 universités différentes réalisés sur les thématiques du projet. Les travaux conduits dans TRAFIC sur les activités maritimes dans la Caraïbe ont sans doute contribué à mettre en visibilité les Outre-Mer dans le livre blanc sur l'état de la recherche portuaire en France publié en janvier 2022 par le CNRS.

Du point de vue partenarial, TRAFIC a permis de développer, d'une part une intense collaboration entre science et ONG dans la cadre d'une démarche de science volontaire pour développer une base de données mutualisée rassemblant quasiment l'ensemble des observations de mammifères marins réalisées dans l'archipel de Guadeloupe. D'autre part, il a permis de fédérer un ensemble d'acteurs institutionnels (collectivités territoriales, services de l'Etat) et socio-économiques (GPM de Guadeloupe, Union Maritime), autour de la notion en émergence de vulnérabilité portuaire. Ce partenariat constitue à n'en pas douter un jalon important vers la consolidation de ce concept et son application à des fins de recherche, ainsi que pour répondre à des besoins opérationnels exprimés par les partenaires du projet autour plusieurs approches : macro-économique (densité de navires, tonnage cumulé et capacité de l'offre transport), approche portuaire (touchées, temps d'escale, diversité des fréquentations), exposition au risque (densité, diversité et types de trafic par zones d'intérêt, vitesse médiane).

C'est au sein de ce partenariat que vont désormais se poursuivre nos travaux, à travers notamment la co-construction de plusieurs projets en gestation :

- Le dépôt en octobre 2022 d'un programme ANR sur des questions d'interactions entre risque-navire et conservation des environnements marins, en collaboration avec le sanctuaire AGOA, l'OFB, les CROSS Guadeloupe et Martinique.
- La réalisation d'un outil de géovisualisation des trafics maritimes dans la région Caraïbe, en collaboration avec l'Union Maritime et Portuaire de Guadeloupe et le Conseil de Coordination Inter-Portuaire Antilles-Guyane (CCIP AG), la CMUBA, les CROSS Guadeloupe et Martinique (projet en partie financé par le recrutement d'un contrat post-doctoral sur financement européen, voire rubrique « effet levier » ci-dessous) .
- Un contrat de recherche autour de la notion d'efficacité portuaire à travers la question des temps d'escale des navires dans les Caraïbes, en collaboration avec le CCIP-AG.

En termes de livrables, les résultats de TRAFIC se présentent comme suit.

Valorisation scientifique

Publication des données

Le catalogage et la bancarisation des données acquises et structurées dans le cadre de TRAFIC en constituent un livrable important. Ils ont bénéficié des moyens développés et mis à disposition par le Labex DRIIHM et par l'ANR dans le cadre du projet ANR-Flash SO-DRIIHM[14]. Ces jeux de données sont ainsi à la fois sécurisés, et mis à disposition de la communauté scientifique et partenariale de TRAFIC :

- Données AIS de la Caraïbe en 2019 traitées (format raster) : https://doi.org/10.35110/48465771-075d-4983-b3a3-58595d79ec16
- Cartographie du trafic maritime dans la Caraïbe en 2019, par types de navires : https://portail.indigeo.fr/geocms/projects/caraibes-trafic-ais-2019
- Cartographie des ports de la Caraïbe en 2022 : https://qgiscloud.com/ileberre/QGIScloudmap_Caraibe_Ports/
- Jeu de données sur le site du PNDB (Pôle national de données sur la biodiversité) les observations des mammifères marins dans l'archipel de Guadeloupe entre 2007 et 2019 : Coché, L., Arnaud, E., Bouveret, L., David, R., Foulquier, E., Gandilhon, N., Jeannesson, E., Le Bras, Y., Lerigoleur, E., Lopez, P.J., Madon, B., Sananikone, J., Sèbe M., Le Berre, I., Jung J.-L., 2021. Kakila database of marine mammal observation data around the French archipelago of Guadeloupe in the AGOA sanctuary - French Antilles, https://data.pndb.fr/view/doi:10.48502/8bb5-pk85

Publications

La restitution des travaux réalisés dans TRAFIC a été réalisée sous forme de plusieurs articles et d'une présentation dans le cadre d'un colloque international.

Un data paper sur les observations de mammifères marins dans la zone. Ce type d'article vise à mettre à disposition de la communauté de chercheurs et d'acteurs intéressés par une thématique des jeux de données scientifiques à des fins de comparaisons, de reproduction ou d'expérimentations nouvelles. Il s'agit d'une démarche de science ouverte, apte à construire des savoirs globaux, sur la base de résultats locaux. Cette démarche consiste notamment à structurer dans un format international et standardisé des données acquises localement.

- Coché, L., Arnaud, E., Bouveret, L., David, R., Foulquier, E., Gandilhon, N., Jeannesson, E., Le Bras, Y., Lerigoleur, E., Lopez, P.J., Madon, B., Sananikone, J., Sèbe M., Le Berre, I. and Jung J.-L. 2021. Kakila database: Towards a FAIR community approved database of cetacean presence in the waters of the Guadeloupe archipelago based on citizen science. *Biodiversity Data Journal*. Vol.9: e69022. https://doi.org/10.3897/BDJ.9.e69022.

Deux chapitres d'ouvrage consacrés aux travaux menés dans le cadre de TRAFIC et de l'OHM-LC :

- Foulquier E., Montouroy Y., Le Berre I., Lopez P., Le Guyader D., "The Caribbean Coastal Human-Environment Observatory and the TRAFIC scientific program, a participatory research device on the port fact in Guadeloupe archipelago (French West Indies)." (2021) in : Fondation

[14] Projet ANR sur les Sciences ouvertes. Flash ANR-19-DATA-0022 Impulser la science ouverte au sein du Dispositif de Recherche Interdisciplinaire sur les Interactions Hommes-Milieux (DRIIHM) : co-design d'une e-infrastructure intégrant les principes FAIR – SO-DRIIHM.

CEFACIL, *Dinámicas portuarias en el caribe y américa latina. Ports in transition to face global challenges*, Vol VII, Collection Les Océanides, EMS Eds : 703-718.

- Foulquier E., Le Berre I., Le Guyader D., Jung J.L., Raymond R., Lopez P.J. (2022), « OHM Littoral Caraïbe : insularité, singularités et expositions et expositions au trafics maritimes, in : Tchenorkian R. (Dir.), *Contaminations, contaminants, contaminés* (à paraitre).

Quatre communications dans des colloques :

- David R., Bouveret L., Coché L., Pizzigatti Corrêa P., Edmunds R., Heredia A., Jung J.-L., Kondo Y., Le Berre I., Le Bras Y., Lerigoleur E., Mabile L., Machicao J., Madon., Murayama Y., O'Brien M., Osawa T., Raoul H., Richard A., Santos S., Specht A., Stall S., Stepanyan D., Vellenich F. & Wyborn L. Data dictionary cookbook for research data and software interoperability at global scale (Version 1.0). Presented at the Research Data Alliance Plenary 17 (RDA P17), Edinburg, https://zenodo.org/record/4683066#.YoT4Py0iuys.

- Foulquier E., Le Berre I., Lopez P., Raymond R., 2020. De la conflictualité sociale à la controverse environnementale : Les mutations récentes des relations port-territoire à Pointe-à-Pitre (2004-2018). *DEVPORT 3 - Ports, transport maritime et développement régional. Globalisation, jeux d'échelles et environnements*, Université du Havre, 15-16 octobre 2020.

- Foulquier E., Le Berre I., Le Guyader D., Lopez P.,., 2021. Exposure of West Indies Ecosystems to Maritime Traffic, *BIP Session: interdisciplinary working groups, International Symposium of Labex Driihm,* Toulouse, 6th-8th of September 2021.

- Jung J.-L., Le Berre I., Coché L., Madon B., Foulquier E. et al. 2021. Baleines et dauphins : des belles espèces sentinelles à étudier dans le cadre d'un OHM littoral, mais d'un abord bien complexe. *International Symposium of LabEx DRIIHM*, Labex DRIIHM; CNRS InEE, 6th-8th of September 2021 https://hal-lirmm.ccsd.cnrs.fr/BOREA/hal-03353044v1

Un article visant à analyser les interactions entre trafic maritime et mammifères marins dans l'archipel de Guadeloupe a été soumis et accepté sous réserve de modifications dans la revue *Marine Policy.* Cet article qui repose sur la mobilisation des bases de données AIS et des données d'observations des mammifères marins consignées dans la BDD Kakila est en cours de correction.

- Madon B., Le Guyader D., Jung J.-L., De Montgolfier B., Lopez P., Foulquier E., Le Berre I., (accepté, en cours de correction), Pairing AIS data and underwater topography to assess maritime traffic pressures on marine mammals: Case study in the Guadeloupean waters of the Agoa Sanctuary. *Marine Policy.*

Un article a été soumis dans le cadre d'un appel à contribution de la revue Etudes caribéennes. Il s'attache à confronter deux trajectoires, celle de l'offre de transport et celle de la demande sociétale, pour vérifier la relation entre croissance infrastructurelle liée aux activités maritimes, et évolution des économies locales insulaires et de leurs besoins relatifs en termes de transport par voie de mer. L'hypothèse principale repose sur la mise en évidence d'un processus d'inflation infrastructurelle conséquence de la connexion de l'espace caribéen à des réseaux globalisés. L'article s'appuie sur l'exploitation des résultats de TRAFIC : d'une part, la caractérisation typologique et cartographique des flux maritimes et portuaires à partir des données AIS, selon des indicateurs permettant de décrire la nature de l'offre de transport présente dans les Petites Antilles ; d'autre part, différents indicateurs socio-économiques (IDH, Démographie, PIB, etc.), collectés depuis les années 2000.

- Foulquier E., Le Berre I., Ranély Vergé-Dépré C., Joncheray L., Iphar C., Le Guyader D. (in prep.), Objectiver les trajectoires de maritimisation dans les îles des Petites Antilles. *Etudes caribéennes*, n° 54, 2023, https://journals.openedition.org/etudescaribeennes/22993

Formation à la recherche

5 stages de master ont été financés et encadrés dans le cadre du projet TRAFIC. Ils ont tous donné lieu à la restitution d'un rapport et à une soutenance devant jury.

- COCHE Lorraine (2020), *Inventaire et structuration des données d'observation des mammières marins aux abords de la Guadeloupe*, Rapport de stage de Master 2 ECOTROP, Université des Antilles, OHM Littoral Caraïbe. Dir. I. Le Berre (LETG), J.-L. Jung (ISYEB), L. Bouveret (OMMAG)
- ETIENNE Anthony (2021) *Caractérisation des métaux dans les dépôts humides et secs sur la Guadeloupe*, Rapport de stage de Master 2 Risques et Environnement, Université des Antilles. UMR LETG, LARGE. Dir. M. Vaitilingom (LARGE, U. Antilles), Y. Noack (Cerege)
- JONCHERAY Lorenzo (2021) *Trafic maritime et inégalités de développement dans la Caraïbe*, Rapport de stage de Master 2 de Géographie, Université des Antilles. Dir. I. Le Berre (LETG), S. Zuber (Sorbonne U.).
- PARAGOT Niels (2020), *Impact des émissions du transport maritime sur la qualité de l'air. Deux exemples : les Caraïbes et le quartier de Mourepiane à Marseille*, Rapport de stage de Master 2 GéoSciences, Université de Lyon 1, UMR Espace, Cerege. Dir. Y. Noack (Cerege)
- VANNOORENBERGHE Sonia (2020), *Représentations sociales de la pollution atmosphérique liée aux bateaux de croisière dans la ville port. Etude comparative entre Marseille et Pointe-à-Pitre*, Rapport de stage de Master 2 COAST de Université Aix-Marseille, UMR ESPACE. Dir. S. Robert (ESPACE), E. Foulquier (LETG).

Médiation scientifique

Deux séminaires ont été organisés avec les partenaires socio-économiques de TRAFIC, en visioconférence (juin 2021) et en présentiel (mars 2022). Ils ont permis de discuter de l'avancement des travaux et de l'orientations à leur donner pour répondre aux questionnements des partenaires au regard des enjeux environnementaux et sociaux liés au transport maritime dans la Caraïbe et plus particulièrement dans les Antilles françaises.

Malgré la rupture des relations imposée par la situation sanitaire, le partenariat établi dans TRAFIC avec la chaîne de radio Guadeloupe Première a permis de couvrir le séminaire organisé en mars 2022, et de proposer aux auditeurs guadeloupéens un compte rendu des échanges auxquels il a donné lieu : https://la1ere.francetvinfo.fr/guadeloupe/recherche-a-quel-point-l-homme-interagit-avec-le-littoral-dans-la-caraibe-1267800.html

Effet levier du financement Fondation de France

En complément du soutien de la Fondation de France, TRAFIC a bénéficié de plusieurs sources de financement qui ont permis de compléter ou de prolonger nos travaux :

Le Labex DRIIHM en particulier a fourni un soutien important à ce projet, grâce à son appel récurrent à projets de recherche[15].

[15] Le LabEx DRIIHM est financé dans le cadre du programme ANR "Investissements d'Avenir" (ANR-11-LABX-0010).

- En prélude à TRAFIC, le projet ASTRAPI (Analyse Spatiotemporelle du TRAfic maritime dans la CaraÏbe, APR OHM-LC 2019), réalisé en partenariat avec le bureau d'étude Geo4Seas, a permis d'effectuer une étude de préfiguration de la base de données AIS sur le trafic maritime. Il a permis de définir les bases et de modéliser la structuration de cette BDD, ainsi que de ses modalités d'exploitation, à partir d'un jeu de données test de 2015 en possession de Geo4Seas. Une recherche exhaustive sur les fournisseurs commerciaux et institutionnels de données AIS a permis d'effectuer les choix techniques et la mise en concurrence nécessaires à l'acquisition du jeu de données indispensable pour débuter TRAFIC.
- Le projet inter-OHM CRUISE, associant l'OHM-LC et l'OHM Littoral méditerranéen a permis de cofinancer deux stages orientés spécifiquement vers la croisière, notamment celui de Sonia Vannoorenberghe sur les représentations sociales de la pollution atmosphérique liée.
- Enfin, le projet AIS-LC (Vers une série d'observation du trafic maritime à base d'AIS pour l'OHM-LC, APR OHM-LC 2022), vise à développer une série d'observation annuelle sur le trafic maritime à l'échelle des Antilles françaises par l'expertise des données de l'EMSA (Agence européenne de sécurité maritime) et le développement du partenariat amorcé avec cet établissement et la Direction des affaires maritimes.

TRAFIC a également bénéficié du soutien de l'école universitaire de recherche ISBlue (Interdisciplinary graduate School for the Blue planet)[16] qui s'implique dans la formation de la prochaine génération d'innovateurs et de scientifique en matière de recherche océanographique et d'économie bleue. Ce soutien, obtenu dans le cadre du thème 3 d'ISBlue consacré à la durabilité des systèmes côtiers, a contribué à l'organisation du séminaire final de TRAFIC avec ses partenaires scientifiques, institutionnels et socioéconomiques fin mars 2022, en Guadeloupe et au financement des missions liées.

En 2021, un financement post-doctoral Maria Sloboda Curie a été obtenu en partenariat avec Mines Paris Tech Nice (Aldo Napoli) auprès de la Région Bretagne dans le cadre du programme *Cofund Bienvenüe*. Le postdoctorant, a été recruté en janvier 2022 pour une période de 2 ans. Son projet intitulé *GeoShipMap (GEOvisualisation of areas of exposure to SHIPping for MArine Policy making in the Caribbean)* vise à développer une interface d'exploration et de visualisation des données acquises et structurées dans le cadre de TRAFIC. A l'issue de la phase en cours, consacrée à la structuration de la données, ce projet s'attachera à déterminer en partenariat avec les acteurs du CMUBA, la gamme des usagers potentiels, le type de données à rendre accessibles et leur format, leurs modalités d'exploration et le type de fonctions attendues d'une telle interface.

En 2022, un sujet de thèse a été déposée auprès de la Région Bretagne dans le cadre du dispositif Thèse en Bretagne-Loire[17]. 12 dossiers de candidature pour ce sujet ont été réceptionnés. Ils vont être examinés très prochainement, pour proposer deux candidats qui iront défendre leur projet devant la commission de sélection de l'Ecole doctorale des sciences de la mer et du littoral (fin juin-début juillet 2022). Dans le cas où l'un de ces candidats soit lauréat, la thèse débutera en octobre 2022 à l'IUEM.

[16] https://www.isblue.fr/presentation/
[17] https://theses.doctorat-bretagneloire.fr/all