



Amélioration de la connaissance des pressions (contamination chimique) sur le continuum terre-mer de 3 bassins versants de Mayotte et de leurs Masses d'Eaux Littorales associées, via l'utilisation d'Échantillonneurs Passifs Intégratifs

RAPPORT FINAL Mai 2023



Rédacteurs :

- Clément Lelabousse : OFB/PNMM
- Jean-Louis Gonzalez : IFREMER
- Anne Togola : BRGM
- Anaïs L'hotelier : BRGM

Contributeurs et opérateurs terrain :

- Magali Duval : IFREMER
- Chloé Fari : IFREMER
- Cathy Tréguier : IFREMER
- Hélène Udo : OFB
- Tatiana Ratsimihara : BRGM
- Manon Condet : CITEB
- Jean Turquet : CITEB
- Ylang Chevaleraud : DEAL976
- Guillaume Boisset : DEAL976

Synthèse

La préservation des ressources en eau est un enjeu majeur pour Mayotte, que ce soit pour les eaux douces (eaux de surface ESU et eaux souterraines ESO), mais aussi pour les eaux marines par la préservation de la qualité et donc de la biodiversité des eaux du Lagon.

Le cycle de surveillance de la Directive Cadre sur l'Eau 2016-2021 a été le premier cycle officiel pour le bassin hydrographique de Mayotte. Le cycle précédent (2010-2015) a, quant à lui, permis d'ajuster certains paramètres (fréquence de prélèvement, logistique d'échantillonnage et d'analyse, etc.) de la surveillance et de stabiliser les réseaux ESU/ESO.

Cependant, après les états des lieux en 2013 puis en 2019, la surveillance des ESU par les méthodes conventionnelles (échantillonnage ponctuel) apparaît peu informative quant aux substances présentes. Les substances recherchées, ont été, par manque de connaissances locales sur les pratiques, calquées par défaut sur la liste du bassin de La Réunion.

En effet, malgré des impacts évidents des activités humaines sur l'état physico-chimique et écologique des masses d'eau cours d'eau et littorales, les résultats de la surveillance ne permettent pas d'identifier les pressions (intrants, pratiques, fréquences d'utilisation, etc.).

Les objectifs de cette étude portée par le Parc Naturel Marin de Mayotte, l'Ifremer et le BRGM étaient de :

- Améliorer la connaissance des pressions sur des masses d'eau cours d'eau et littorales à fort enjeux ;
- Améliorer la connaissance du comportement des substances d'intérêt le long de continuum terre-mer ;
- Elargir le spectre des substances chimiques recherchées à Mayotte ;
- Etudier les capacités opérationnelles des échantillonneurs intégratifs passifs dans un contexte complexe prospectif.

L'étude s'est déroulée en deux phases :

- Une première phase de screening qualitatif réalisée sur quatre bassins versants présentant de forts enjeux (AEP, assainissement, écologie). Des échantillonneurs intégratifs passifs (EIP) ont été placés sur la partie aval du bassin versant sur une année hydrologique complète afin d'obtenir un panorama complet des substances présentes ;
- Une deuxième phase dite de prospection radiale, réalisée sur trois bassins versants anthropisés, a consisté à poser des EIP en 6 ou 7 points le long du continuum terre-mer. Cette deuxième phase a permis de restreindre les molécules recherchées et de les quantifier le long du continuum terre-mer allant de l'amont du bassin versant jusqu'à la barrière de corail.

Les EIP choisis pour l'étude (DGT, POCIS, membrane silicone et SBSE) offrent la possibilité d'échantillonner des métaux, des molécules organiques polaires et des molécules organiques apolaires ; couvrant ainsi l'ensemble du spectre des molécules recherchées.

L'utilisation des échantillonneurs intégratifs passifs a permis de mettre en évidence des contaminations, plutôt faibles par rapport à d'autres contextes nationaux, mais marquant tout de même une pression anthropique croissante notamment en confirmant la présence de métaux, de phytosanitaires, de médicaments mais aussi de composés utilisés dans la vie courante, marqueurs de l'activité humaine.

Ces travaux permettent d'avoir une première vision des pollutions, pour certaines anciennes (comme celles par les insecticides organochlorés qui ne sont plus autorisés) mais aussi récente, comme celles en médicaments apportées par les rejets d'eaux usées.

L'étude des continuums montre un gradient de contamination de l'amont vers l'aval, retranscrivant l'implantation de populations le long des rivières. Elle montre également la présence de pollution jusque dans le lagon, réceptacle final des pollutions, malgré le phénomène de dilution.

L'utilisation nouvelle de l'approche non ciblée a permis de mettre en évidence un certain nombre de substances jamais identifiées sur Mayotte et qui pourraient croître au cours des années à venir. Un certain nombre de pesticides, d'usage interdit, sont quantifiés, soit en lien avec les anciens usages et la persistance des molécules dans les compartiments environnementaux, soit comme cela a déjà été montré par les autorités, à cause de l'introduction et de l'utilisation sur l'île de molécules pour des usages non approuvés.

La présence de molécules pharmaceutiques mais aussi de molécules marquant les usages anthropiques met en lumière la faiblesse des infrastructures de récupération et de traitement des eaux usées. L'accroissement des populations va amplifier ce phénomène.

Les données obtenues vont permettre d'ores et déjà d'échanger avec les différents services de l'état, pouvant intervenir soit à la source (pratiques agricoles, limitation des intrants et des mésusages), soit dans l'atténuation (renforcement des réseaux d'assainissement, efficacité des traitements).

Sommaire

1. Contexte de l'étude et enjeux	14
2. Matériel et Méthodes	16
2.1. STRATEGIE DE MONITORING DU PROJET	16
2.2. SELECTION DES BASSINS VERSANTS ET DES STATIONS.....	16
2.2.1. Bassin Versant 1 : Maré.....	16
2.2.2. Bassin Versant 2 : Ourovéni	21
2.2.3. Bassin Versant 3 : Gouloué	24
2.2.4. Bassin Versant 4 : Kwalé	26
2.2.5. Choix des bassins versants	27
2.3. MISE EN ŒUVRE DES EIP (IMMERSION ET RECUPERATION).....	29
2.3.1. Déploiement des EIP dans les eaux côtières de Mayotte (stations 1 à 3) et prélèvements SBSE	30
2.3.2. Déploiement des EIP dans les eaux de rivières et d'estuaires de Mayotte (stations 4 à 7) et prélèvements SBSE	30
2.3.3. Récupération des EIP	31
2.4. TRAITEMENT ET ANALYSE DES ÉCHANTILLONS	32
2.4.1. DGT	32
2.4.2. POCIS	32
2.4.3. Les Membranes Silicone	33
2.4.4. SBSE	34
2.4.5. Eaux	36
3. Résultats et discussion	37
3.1. RESULTATS CAMPAGNE DE SCREENING.....	37
3.2. RESULTATS DES CAMPAGNE TRANSECT	39
3.2.1. Déroulement des campagnes	39
3.2.2. Paramètres physico-chimiques mesurés lors des campagnes	40
3.2.3. DGT (métaux)	42
3.2.4. POCIS (contaminants organiques hydrophiles).....	45
3.2.5. Membranes silicone (contaminants organiques hydrophobes)	47
3.2.6. SBSE (contaminants organiques hydrophobes)	49
3.3. BILAN DES COMPOSES RETROUVES	54
3.3.1. Principaux résultats de la présente étude à Mayotte	54
3.3.2. Comparaison avec des études antérieures réalisées à La Réunion	58

3.4. SPECIFICITE PAR BASSIN VERSANT	60
3.5. SPECIFICITE SAISONNIERE.....	60
3.6. COMMUNICATION ET DISSEMINATION DES RESULTATS - COMMUNICATION ASSOCIEE AU PROJET.....	62
4. Conclusions	64
5. Références	65

Figure 1 : Cartographie de l'occupation du sol sur le bassin versant de la Maré (BV1) (KERMAP, 2022) et localisation des stations choisies côté terre	17
Figure 2 : Choix des stations dans le lagon pour le BV1	20
Figure 3 : Cartographie de l'occupation du sol du bassin versant de l'Ourovéni (BV2) (KERMAP, 2022) et localisation des stations côté terre	21
Figure 4 : Choix des stations dans le lagon pour le BV2	23
Figure 5 : Cartographie de l'occupation du sol du bassin versant de la Gouloué (BV3) (KERMAP, 2022) et localisation des stations choisies côté terre	24
Figure 6 : Choix des stations dans le lagon pour le BV3	25
Figure 7 : Cartographie de l'occupation du sol du bassin versant de la Kwalé (BV4)	26
Figure 8 : Localisation des stations sur les 3 bassins versants	28
Figure 9 : Photographies des cages prêtes à être déployées, à gauche la membrane silicone, à droite les DGT	29
Figure 10 : Déploiement des cages et des DGT sur les stations marines	30
Figure 11 : Extraction et concentration des composés organiques hydrophobes par la technique SBSE	35
Figure 12 : Nombre de molécules détectées sur POCIS, MS et eaux, campagnes de screening	37
Figure 13 : Répartition des molécules détectées sur les 2 POCIS (orange) et/ou eau (bleu), campagne de screening sur l'Ourovéni	38
Figure 14 : Résultats des DGT	39
Figure 15 : Représentation schématique des tendances d'évolution "bassin versant" des métaux traces mesurés par DGT (BV1: Maré en vert, BV2: Ourovéni en orange et BV3: Gouloué en bleu)	43
Figure 16 : Représentation schématique des tendances d'évolution saisonnières des métaux mesurés par DGT	43
Figure 17 : Représentation schématique de l'évolution "continuum Terre-Mer" des concentrations métaux mesurées par DGT	44
Figure 18 : Bilan du nombre de molécules détectées sur les POCIS par station dans chaque bassin et campagne	46
Figure 19 : Profil de contamination mesuré pour la cotinine sur le continuum, BV3, campagne 1	47
Figure 20 : Exemple de nombre de molécules détectées sur les MS campagne 2, BV1	47
Figure 21 : Evolution des concentrations dans les MS, exemple du piperonyl butoxide, BV1_campagne 2	47
Figure 22 : Evolution des concentrations dans les MS, exemple du diflufenicanil et du biphényl, BV2 campagne 1	48
Figure 23 : Evolution des concentrations dans les MS, exemple de l'antraquinone, BV3 campagne 1	48
Figure 24 : Evolution "terre-mer" de la somme des concentrations en HAPs (en jaune: été 2021; en gris saison des pluies 2022; hachures rouges: somme des concentrations <LQ)	50

Figure 25 : Evolution “continuum Terre-Mer” de la somme des concentrations (ng/L) en pesticides mesurés par SBSE (en jaune : étiage ; en gris : crues).....	51
Figure 26 : Typologie par bassin versant des familles d’usage des molécules retrouvées sur POCIS et eaux par screening non ciblés, sur l’ensemble des campagnes et stations.....	60
Figure 27 : Typologie par campagnes des familles d’usage des molécules retrouvées sur POCIS et eaux par screening non ciblés, sur l’ensemble des campagnes et stations.....	61
Figure 28 : Nombre de molécules quantifiées par campagne sur les membranes silicone, sur l’ensemble des BV et stations.....	61

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractérisation des pressions, du niveau d'impact, de l'évolution et les scénarios tendanciels à 2027 pour la masse d'eau Maré amont (tableau issu des fiches masses d'eau cours d'eau de l'état des lieux 2019).....	18
Tableau 2 : Caractérisation des pressions, du niveau d'impact, de l'évolution et les scénarios tendanciel à 2027 pour la masse d'eau Maré aval (tableau issu des fiches masses d'eau cours d'eau de l'état des lieux 2019).....	19
Tableau 3 : Caractérisation des pressions, du niveau d'impact, de l'évolution et les scénarios tendanciel à 2027 pour la masse d'eau Orovéni amont (tableau issu des fiches masses d'eau cours d'eau de l'état des lieux 2019).....	22
Tableau 4 : Caractérisation des pressions, du niveau d'impact, de l'évolution et les scénarios tendanciel à 2027 pour la masse d'eau Orovéni aval (tableau issu des fiches masses d'eau cours d'eau de l'état des lieux 2019).....	23
Tableau 5 : Caractérisation des pressions, du niveau d'impact, de l'évolution et les scénarios tendanciel à 2027 pour la masse d'eau Gouloué (tableau issu des fiches masses d'eau cours d'eau de l'état des lieux 2019).....	25
Tableau 6 : Caractérisation des pressions, du niveau d'impact, de l'évolution et les scénarios tendanciel à 2027 pour la masse d'eau Kwalé (tableau issu des fiches masses d'eau cours d'eau de l'état des lieux 2019).....	27
Tableau 7 : Coordonnées géographiques des stations choisies	28
Tableau 8 : Récapitulatif des échantillonneurs employés et des analyses respectives	31
Tableau 9 : Chronogrammes des campagnes 1 et 2	40
<i>Tableau 10 : Paramètres mesurés lors des deux campagnes de mise en œuvre des EP et prélèvements d'eau (Sal: salinité; C: conductivité en $\mu\text{S/cm}$).</i>	<i>41</i>
Tableau 11 : Concentrations mesurées dans les eaux littorales de Mayotte (moyenne de différentes masses d'eau: Gonzalez et al, 2015), des Glorieuses, au site "Boulodrome" et à la vasière des Badamiers	45
Tableau 12 : Somme des HAPs mesurés par SBSE en ng/L.....	49
Tableau 13 : Somme des PCBs mesurés par SBSE, en ng/L ; LQ limite de quantification, LD limite de détection (= LQ/3).....	51
Tableau 14 : Somme des pesticides mesurés par SBSE en ng/L	51
Tableau 15 : Somme des alkylphénols mesurés par SBSE en ng/L	52
Tableau 16 : Somme des PBDE mesurés par SBSE en ng/L	52
Tableau 17 : Somme des concentrations en TBT mesurées par SBSE en ng/L	53
Tableau 18 : Nombre de quantification des phytopharmaceutiques analysées sur les MS	55
Tableau 19 : Liste des composés les plus détectés dans les POCIS sur l'ensemble de l'étude, par Bassin versant et sur le total des campagnes (PHARM Pharmaceutiques et produits de dégradation) , PHY Phytosanitaire et produits de dégradation, ind. substances industrielles marqueur anthropique, PCP produits de la vie courante	57
Tableau 20 : Liste des composés détectés au moins une fois dans les POCIS sur l'ensemble de l'étude, par bassin versant et sur le total des campagnes	57

Tableau 21 : Concentrations DGT moyennes (Moy) et variabilité des mesures d'une masse d'eau à une autre (exprimée en pourcentage de la déviation standard: DS %). N représente le nombre de masses d'eau (MEC et MET) dans lesquelles les mesures ont été faites (Gonzalez et al, 2010).....58

Liste des annexes

Annexe 1 Paramètres hydrologiques relevés lors de la pose et récupération des EIP69	
Annexe 2 DGT après leur récupération	71
Annexe 3 Composés mesurés, limites de détection et de quantification dans les DGT et les SBSE	73
Annexe 4 Synthèse des conditions analytiques utilisées pour le screening UPLC-HRMS	75
Annexe 5 Composés recherchés dans les membranes silicone	77
Annexe 6 Concentrations moyennes des métaux mesurées par DGT	79
Annexe 7 HAPs mesurés par SBSE	81
Annexe 8 Pesticides mesurés par SBSE	85

1. Contexte de l'étude et enjeux

Le cycle de surveillance de la [Directive Cadre sur l'Eau](#) 2016-2021 (arrêtés du 7 août 2015 puis du 17 octobre 2018 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R. 212-22 du Code de l'Environnement) a été le premier cycle officiel pour le bassin hydrographique de Mayotte. Le cycle précédent a néanmoins permis d'ajuster certains paramètres (fréquence de prélèvement, logistique d'échantillonnage et d'analyse, etc.) de la surveillance et de stabiliser les réseaux de stations de prélèvement des eaux de surface et des eaux souterraines.

Cependant, l'état des lieux de 2013 et de 2019, basé sur la surveillance des Substances Pertinentes à Surveiller (SPAS) et des Polluants Spécifiques de l'état État Ecologique (PSEE) conformément à l'arrêté du 7 août 2015, et sur la surveillance des masses d'eau superficielle (ESU) par les méthodes conventionnelles (échantillonnage ponctuel), apparaît peu informatif quant aux substances présentes. Les substances recherchées ont été calquées par défaut sur la liste du bassin de La Réunion, par manque de connaissances locales sur les pratiques de Mayotte.

La liste de substances recherchées pour le cycle de surveillance 2022-2027 a été calquée sur la liste nationale. En effet, malgré des impacts évidents des activités humaines sur l'état physico-chimique et écologique des cours d'eau et des masses d'eau littorales (MEL), les résultats de la surveillance ne permettent pas d'identifier les pressions (intrants, pratiques, fréquences d'utilisation, etc.).

Des approches plus innovantes de recherche ont été développées ces dernières années, permettant d'améliorer les connaissances et d'identifier la présence de contaminants chimiques dans les eaux. Les échantillonneurs intégratifs passifs (EIP) permettent d'accumuler les contaminants présents dans la colonne d'eau et d'intégrer les variations de concentration dans les milieux.

Le suivi de la contamination chimique des eaux littorales de Mayotte basé sur l'utilisation d'EIP, a été initié en 2009 (Turquet et al, 2009; 2010a; 2010b) et s'est poursuivi par différentes campagnes : en 2011 (DEAL Mayotte, PARETO, Ifremer, 2012), 2015 (PARETO, ARDA, Ifremer, 2015) et également en 2015 dans l'archipel des Glorieuses (Mangion P. et al, État des lieux initial et définition d'une stratégie de surveillance de la qualité des eaux littorales du Parc Naturel Marin des Glorieuses, UMR Entropie, 65p). Ces campagnes ont utilisé deux outils d'échantillonnage intégratif passif, le POCIS (POLar Organic Integrative Sampler) pour les composés hydrophiles, et le DGT (Diffusive Gradient in Thin film) pour les métaux. Une méthode d'échantillonnage, le barreau SBSE (Stir Bar Sorptive Extraction) a été utilisé au laboratoire pour les composés plus hydrophobes à partir de prélèvements d'eau.

Les résultats de ces actions ont contribué à mettre en évidence les impacts évidents des activités humaines sur l'état physico-chimique et écologique des eaux, mais les seules données de la surveillance des masses d'eau littorales ne permettent pas d'identifier les pressions (intrants, pratiques, fréquences d'utilisation, etc.) qui contrôlent la qualité des eaux du lagon.

D'autres outils d'échantillonnage intégratif passifs sont à présent disponibles, dont les membranes silicone (noté par la suite MS), qui accumulent les contaminants hydrophobes de manière très importante, permettant ainsi de détecter les molécules présentes à de très faibles niveaux de concentrations. Ces outils ont notamment été utilisés dans le cadre du Réseau national de Surveillance Prospective de la qualité chimique des milieux aquatiques (RSP).

En complément de ces approches concernant l'échantillonnage, d'autres outils analytiques comme l'analyse par screening non ciblé, permettent de mesurer sans a priori la présence de molécules organiques dans les eaux. Le principe de cette technique repose sur la spectrométrie de masse haute résolution qui permet l'identification de composés, de manière très fiable. Ces capacités de haute résolution permettent un changement de concept dans l'approche analytique à travers l'enregistrement sans a priori de l'intégralité du signal correspondant à l'échantillon analysé (eau, extrait d'EIP, etc.). La recherche de composés ne se fait donc plus obligatoirement par la sélection initiale d'une liste de composés (comme cela se fait classiquement aujourd'hui) mais par la recherche dans le « signal » de l'échantillon de tous les composés présents, dont les composés d'intérêt pour l'étude. Cette recherche peut de plus être renouvelée a posteriori, pour répondre aux besoins évolutifs de la réglementation ou de la connaissance, le « signal » pouvant être conservé sans limite de durée.

Sur un petit territoire comme l'île de Mayotte, les conséquences des pressions terrestres vont impacter directement et rapidement le milieu marin, notamment dans le lagon. Il est donc nécessaire de considérer cette problématique dans une logique de continuum terre-mer sans compartimenter les pressions terrestres ou marines, d'où l'origine et la nécessité de ce type d'étude.

Dans ce but, un contrat de Recherche et Développement entre l'OFB, le BRGM et l'Ifremer a été établi pour quatre ans (démarrage fin 2018) afin de pouvoir :

- améliorer la connaissance des pressions sur des masses d'eaux à forts enjeux ;
- améliorer la connaissance du comportement des substances chimiques d'intérêt le long d'un continuum terre-mer ;
- élargir le spectre des substances chimiques recherchées à Mayotte ;
- poursuivre le développement des capacités opérationnelles des Échantillonneurs Intégratifs Passifs DGT, POCIS et MS dans un contexte complexe prospectif.

2. Matériel et Méthodes

2.1. STRATEGIE DE MONITORING DU PROJET

Mayotte, le 101^{ème} département français est située dans le canal du Mozambique, dans l'archipel des Comores, entre Madagascar et la côte est-africaine. Formée de deux îles principales aux reliefs tourmentés et d'origine volcanique, seule l'île de Grande Terre est pourvue de cours d'eau permanents. Celle-ci mesure 360 km² et culmine à 660 m d'altitude avec des pentes supérieures à 15° sur 60% de sa superficie (Notice de la carte géologique Mayotte à 1/30 000, 2013).

L'île de Mayotte est soumise à un climat tropical maritime avec deux saisons très contrastées :

- une saison sèche ou hiver austral de juin à septembre caractérisée par des températures journalières comprises entre 25 et 28°C et une humidité comprise entre 60 et 80% ;
- une saison humide ou été austral de décembre à mars caractérisée par des températures journalières comprises entre 28 et 30°C et une humidité comprise entre 80 et 90%.

L'hygrométrie varie de 70 à 95%. Les précipitations annuelles (de 1 000 à 2 300 mm) sont concentrées pendant l'été austral essentiellement sous forme d'averses brèves et de fortes intensités, entraînant un ruissellement important et une forte érosion des sols.

Il a donc été décidé de réaliser les deux campagnes principales au cœur de ces deux saisons contrastées.

Préalablement à ces campagnes "continuum terre-mer", et afin de déterminer les bassins versants qui feraient l'objet de l'étude, une première étape de screening qualitatif a été dimensionnée, ciblant une station, la plus aval de la rivière non soumise à l'intrusion saline. Cette première phase de l'étude a permis sur les stations aval choisies de rechercher un large panel de molécules (présence/absence).

La première étape de ce screening a débuté fin 2018 uniquement sur les points avals des estuaires des bassins versants de la Kwalé, la Maré, la Gouloué et de l'Ourovéni en saison sèche et humide.

Ce screening a permis d'identifier les 3 bassins versants (BV) sélectionnés pour le déploiement sur l'intégralité du continuum soit les bassins versants de la Maré, de la Gouloué et de l'Ourovéni.

2.2. SELECTION DES BASSINS VERSANTS ET DES STATIONS

Lors du démarrage du projet, il était prévu de travailler sur un premier bassin versant majoritairement recouvert par de la végétation naturelle, un deuxième plutôt agricole et un dernier à tendance urbaine. Tous les bassins versants du département étant un mélange de ces trois types d'occupation des sols, il a été convenu de sélectionner des bassins versants avec une rivière s'écoulant toute l'année et répartis tout autour de l'île de Grande Terre.

2.2.1. Bassin Versant 1 : Maré

Le bassin versant de la Maré est un bassin versant principalement agricole (40 % de l'occupation du sol) et forestier (42 % de l'occupation du sol) sur 2 898 ha (Figure 1).

La retenue collinaire de Dzoumogné se situe sur ce bassin versant. Les principaux affluents de la Maré sont la Bandrani, la Mapouera, la Massoulaha et la Mahojani en amont de la retenue puis la Mjihari et la Mohogoni en aval.

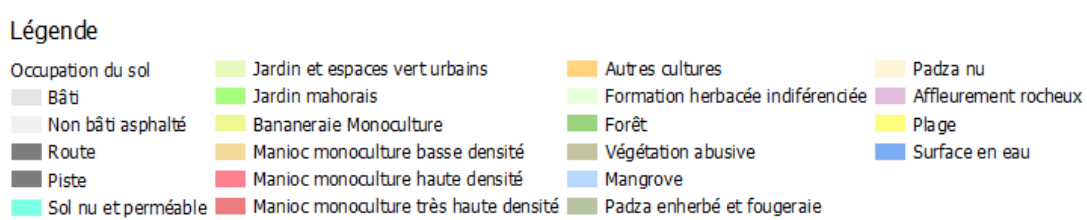
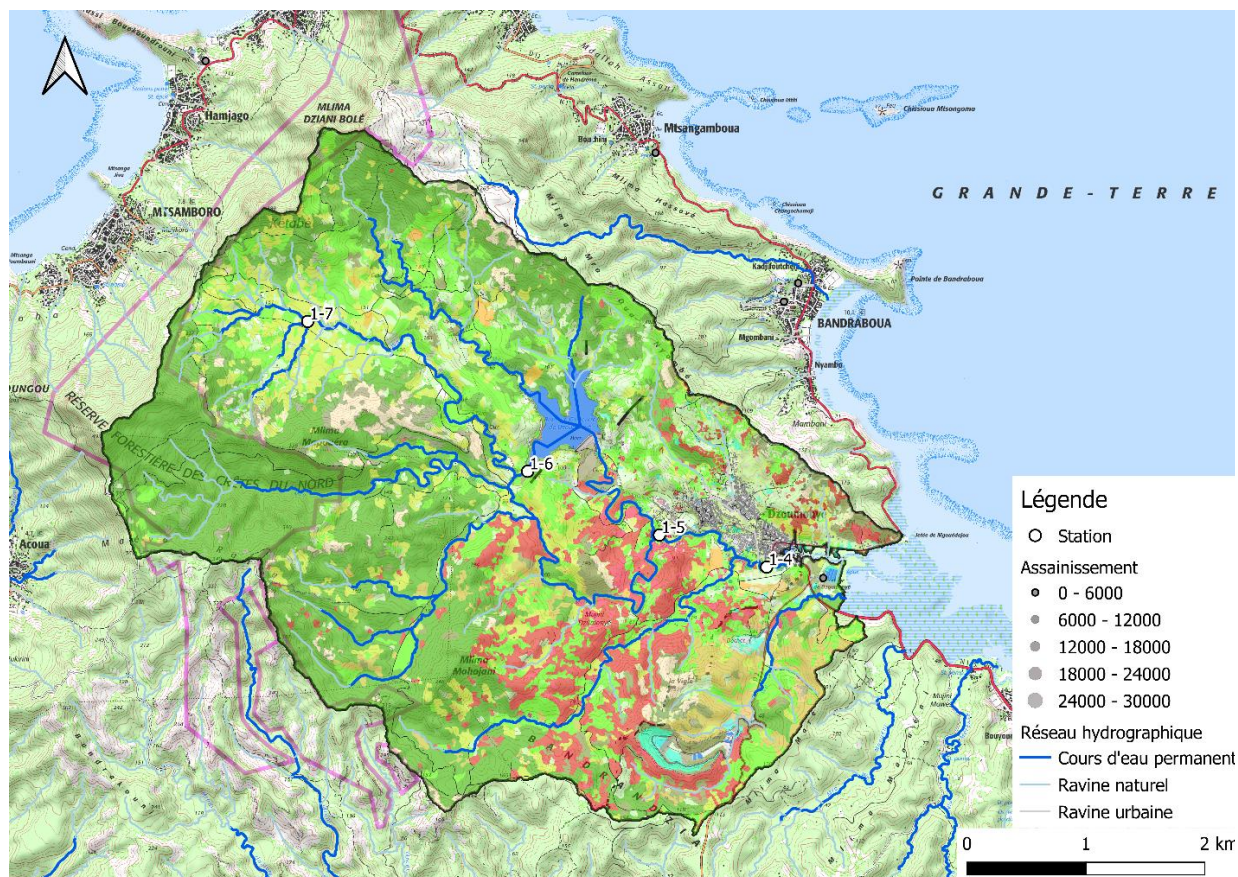


Figure 1 : Cartographie de l'occupation du sol sur le bassin versant de la Maré (BV1) (KERMAP, 2022) et localisation des stations choisies côté terre

L'état des lieux de 2019, basé sur les chroniques de données 2015-2017 pour la partie écologie et de l'année 2018 pour la partie chimique, a qualifié la masse d'eau Maré amont (FRMR01) comme étant en bon état contrairement à la masse d'eau Maré aval (FRMR02) qualifiée en mauvais état.

Les masses d'eaux marines correspondantes sont la FRMC08 « Récif du Nord Est » de type côtière dont l'état global est moyen et la FRMC09 « Récif du Nord Est » de type lagunaire dont l'état global est bon.

Les pressions, leur impact ainsi que l'évolution prédictive ont été identifiés pour ces deux masses d'eau continentales (Tableau 1 et Tableau 2). Les plus fortes pressions identifiées en 2019 étaient les prélèvements d'eau destinée à la consommation humaine, l'altération hydromorphologique et l'agriculture (phytosanitaires et élevage), ces pressions étant en augmentation.

Caractérisation des pressions				Niveau d'impact	Scénario tendanciel 2027	
Numéro	Force Motrice	Pression	Niveau de pression		Evolution	Hypothèse
1-1	Développement urbain	Assainissement Ponctuel	Nulle	Nulle	↔	-
2-6		Assainissement diffus	Faible	Faible	↗	-
2-4		Surfaces Imperméabilisées	Faible	Faible	↗	Augmentation des surfaces imperméabilisées et du parc automobile visant à intensifier la pression malgré la mise en place des SDGEP
5-3		Macrodéchets	Faible	Faible	✓	Structuration de la filière de collecte
3-2 / 3-3 / 3-4	Développement urbain, Agriculture, Industrie	Prélèvements	Très fort	Faible	↗	Augmentation démographique
4		Ecoulements / altérations hydromorphologiques	Fort	Faible	↔	2 obstacles à l'écoulement
2-10	Développement urbain	Erosion terrestre et côtière	Non pertinent	Modéré	↔	Masse d'eau dont les hauts et crêtes sont sous protection de réserve forestière limitant les risques de défrichement et d'érosion
1-6		Sites et Sols pollués	Nulle	Nulle	↔	Réhabilitation des anciennes décharges
2-2	Agriculture	Phyosanitaires	Faible	Faible	↗	Augmentation des surfaces cultivées
2-2		Elevage	Moyen	Faible	↗	Augmentation du cheptel en lien avec la professionnalisation de la filière et l'augmentation démographique
1-3	Industries	Industries	Nulle	Nulle	↔	Pas de projet industriel actuellement prévu sur cette masse d'eau

Tableau 1 : Caractérisation des pressions, du niveau d'impact, de l'évolution et les scénarios tendanciels à 2027 pour la masse d'eau Maré amont (tableau issu des fiches masses d'eau cours d'eau de l'état des lieux 2019)

Caractérisation des pressions				Niveau d'impact	Scénario tendanciel 2027	
Numéro	Force Motrice	Pression	Niveau de pression		Evolution	Hypothèse
1-1	Développement urbain	Assainissement Ponctuel	Moyen	Faible	✓	Suppression d'une mini-STEU
2-6		Assainissement diffus	Faible	Faible	↗	Suppression d'une mini-STEU
2-4		Surfaces Imperméabilisées	Faible	Faible	↗	Augmentation des surfaces imperméabilisées et du parc automobile visant à intensifier la pression malgré la mise en place des SDGEP
5-3		Macrodéchets	Faible	Faible	✓	Structuration de la filière de collecte
3-2 / 3-3 / 3-4	Développement urbain, Agriculture, Industrie	Prélèvements	Très fort	Très fort	↗	Nouveaux captages et augmentation démographique
4		Écoulements / altérations hydromorphologiques	Fort	Fort	↗	Captage AEP -27 obstacles à l'écoulement
2-10	Développement urbain	Erosion terrestre et côtière	Non pertinent	Modéré	↔	Bassin pilote du projet LESELAM et crêtes sous réserve forestière - risque d'augmentation de l'érosion terrestre limités
1-6		Sites et Sols pollués	Nulle	Faible	↔	Réhabilitation des anciennes décharges
2-2	Agriculture	Phytosanitaires	Fort	Faible	↗	Augmentation des surfaces cultivées
2-2		Élevage	Fort	Fort	↗	Augmentation du cheptel en lien avec la professionnalisation de la filière et l'augmentation démographique
1-3	Industries	Industries	Moyen	Modéré	↔	Pas de projet industriel actuellement prévu sur cette masse d'eau

Tableau 2 : Caractérisation des pressions, du niveau d'impact, de l'évolution et les scénarios tendanciel à 2027 pour la masse d'eau Maré aval (tableau issu des fiches masses d'eau cours d'eau de l'état des lieux 2019)

Quatre stations côté continental ont été choisies en couvrant l'ensemble du bassin versant de l'amont vers l'aval en prenant en compte de nouveaux affluents à chaque nouvelle station implantée. Concernant les points en mer (Figure 2), il a été décidé de conserver les stations des précédentes campagnes de 2009, 2011 et 2015.

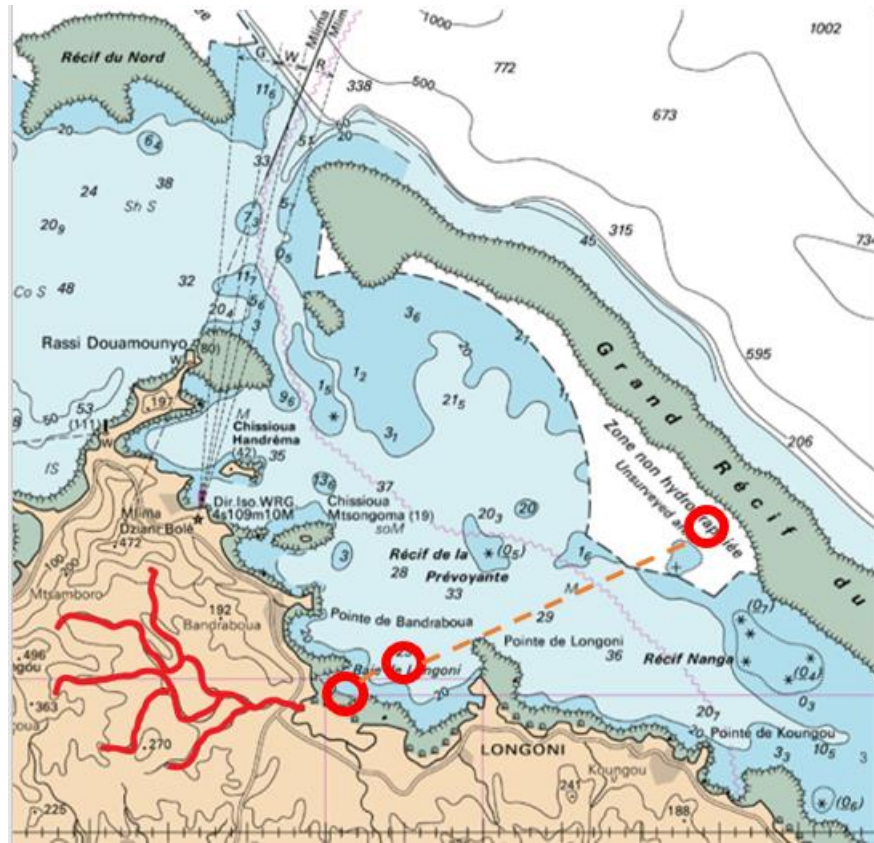
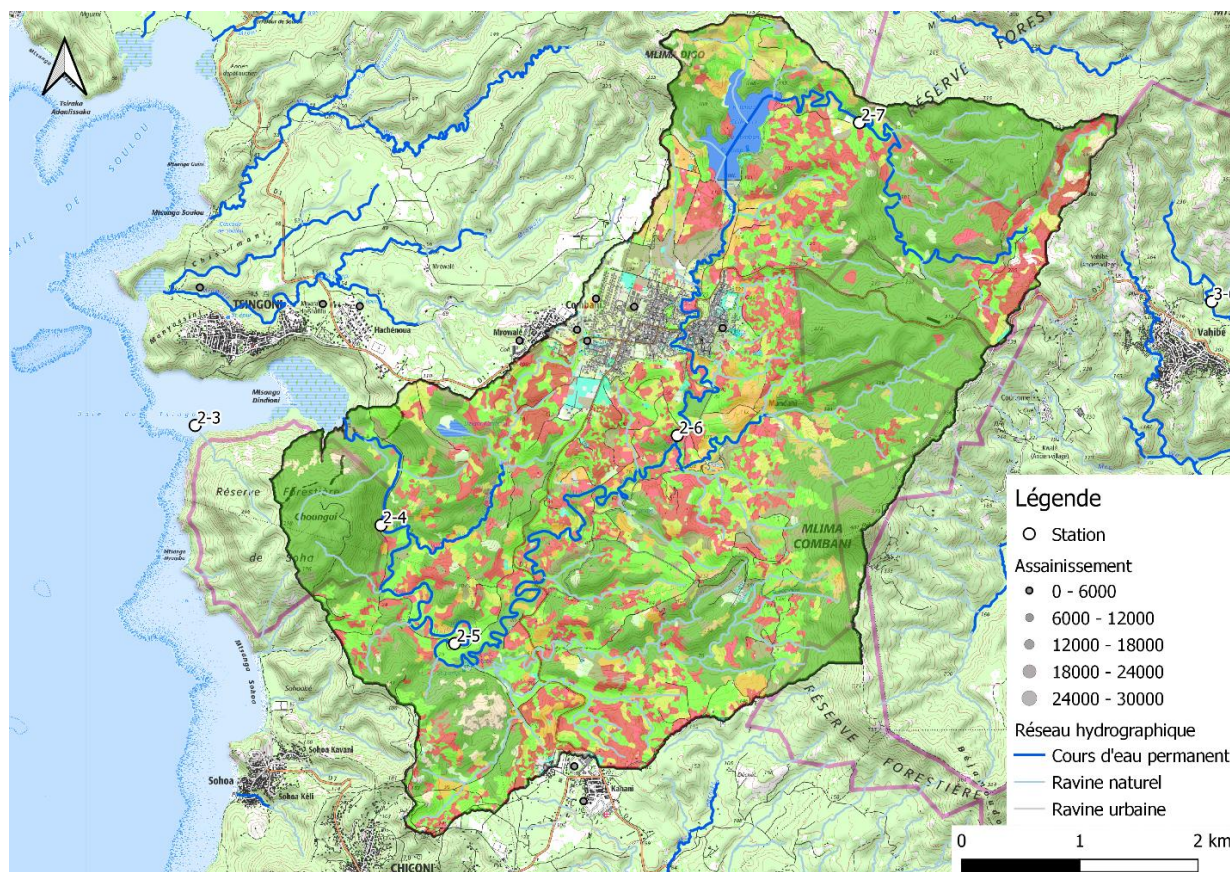


Figure 2 : Choix des stations dans le lagon pour le BV1

2.2.2. Bassin Versant 2 : Orouvéni

Le bassin versant de l'Orouvéni de 3 350 km² est principalement un bassin versant forestier (47%) et agricole (37%). Le tissu urbain représente 7% de l'occupation du sol (Figure 3).

L'affluent principal de l'Orouvéni est la Mouala, cours d'eau alimentant la retenue collinaire de Combani.



Légende

Occupation du sol	Jardin et espaces vert urbains	Autres cultures	Padza nu
Bâti	Jardin mahorais	Formation herbacée indifférenciée	Affleurement rocheux
Non bâti asphalté	Bananeraie Monoculture	Forêt	Plage
Route	Manioc monoculture basse densité	Végétation abusive	Surface en eau
Piste	Manioc monoculture haute densité	Mangrove	
Sol nu et perméable	Manioc monoculture très haute densité	Padza enherbé et fougériaie	

Figure 3 : Cartographie de l'occupation du sol du bassin versant de l'Orouvéni (BV2) (KERMAP, 2022) et localisation des stations côté terre

L'état des lieux de 2019, basé sur les chroniques de données 2015-2017 pour la partie écologie et de l'année 2018 pour la partie chimie, a qualifié la masse d'eau Orouvéni amont (FRMR14) comme étant en bon état contrairement à la masse d'eau Orouvéni aval (FRMR15) comme en mauvais état.

Les masses d'eaux marines correspondantes sont la FMRC04 « Barrière immergée Ouest » de type côtière et la FRMC05 « Barrière immergée Ouest » de type lagunaire, toutes deux classées en état global moyen.

Les pressions, leur impact ainsi que l'évolution prédictive ont été identifiés pour ces deux masses d'eau continentales (Tableau 3 et Tableau 4). Les plus fortes pressions identifiées en 2019 étaient les prélèvements d'eau destinée à la consommation humaine et l'élevage en, ces pressions étant en augmentation.

Caractérisation des pressions				Niveau d'impact	Scénario tendanciel 2027	
Numéro	Force Motrice	Pression	Niveau de pression		Evolution	Hypothèse
1-1	Développement urbain	Assainissement Ponctuel	Nulle	Nulle	↔	-
2-6		Assainissement diffus	Faible	Faible	↗	-
2-4		Surfaces Imperméabilisées	Faible	Faible	↗	Augmentation des surfaces imperméabilisées et du parc automobile + Projet de développement socio-économique de la 3C0
5-3		Macrodéchets	Faible	Faible	✓	Structuration de la filière de collecte
3-2 / 3-3 / 3-4	Développement urbain, Agriculture, Industrie	Prélèvements	Très fort	Faible	↔	Augmentation démographique
4		Ecoulements / altérations hydromorphologiques	Moyen	Faible	↗	Probabilité du développement de l'énergie hydraulique
2-10	Développement urbain	Erosion terrestre et côtière	Non pertinent	Modéré	↗	Probabilité d'augmentation des défrichements et des effets du changement climatique
1-6		Sites et Sols pollués	Nulle	Nulle	↔	Réhabilitation des anciennes décharges
2-2	Agriculture	Phytosanitaires	Faible	Faible	↔	-
2-2		Elevage	Moyen	Modéré	↗	Augmentation du cheptel en lien avec la professionnalisation de la filière et l'augmentation démographique
1-3	Industries	Industries	Nulle	Nulle	↗	Développement de l'énergie hydraulique

Tableau 3 : Caractérisation des pressions, du niveau d'impact, de l'évolution et les scénarios tendanciel à 2027 pour la masse d'eau Orovéni amont (tableau issu des fiches masses d'eau cours d'eau de l'état des lieux 2019)

Caractérisation des pressions				Niveau d'impact	Scénario tendanciel 2027	
Numéro	Force Motrice	Pression	Niveau de pression		Evolution	Hypothèse
1-1	Développement urbain	Assainissement Ponctuel	Faible	Faible	✓	Suppression d'une mini-STEU. Réhabilitation de la mini STEU de Miréréni (2020)
2-6		Assainissement diffus	Faible	Faible	↗	Suppression d'une mini-STEU
2-4		Surfaces Imperméabilisées	Moyen	Faible	↗	Augmentation des surfaces imperméabilisées et du parc automobile + Projet de développement socio-économique de la 3C0
5-3		Macrodéchets	Faible	Faible	✓	Structuration de la filière de collecte
3-2 / 3-3 / 3-4	Développement urbain, Agriculture, Industrie	Prélèvements	Fort	Fort	↗	Nouveaux captages et augmentation démographique
4		Ecoulements / altérations hydromorphologiques	Moyen	Modéré	↑	Projet d'une 3 ^{ème} retenue + captages AEP actuel qui perturbent la continuité, + 49 obstacles à l'écoulement actuellement.
2-10	Développement urbain	Erosion terrestre et côtière	Non pertinent	Modéré	↗	Probabilité d'augmentation des défrichements et des effets du changement climatique
1-6		Sites et Sols pollués	Nulle	Nulle	↔	Réhabilitation des anciennes décharges
2-2	Agriculture	Phytoprotecteurs	Faible	Faible	↗	Augmentation des surfaces cultivées
2-2		Elevage	Fort	Fort	↗	Augmentation du cheptel en lien avec la professionnalisation de la filière et l'augmentation démographique
1-3	Industries	Industries	Nulle	Nulle	↗	Potentiel développement de l'énergie hydraulique ou solaire

Tableau 4 : Caractérisation des pressions, du niveau d'impact, de l'évolution et les scénarios tendanciel à 2027 pour la masse d'eau Ourovéni aval (tableau issu des fiches masses d'eau cours d'eau de l'état des lieux 2019)

Quatre stations côté continental ont été choisies en couvrant l'ensemble du bassin versant de l'amont vers l'aval en prenant en compte de nouveaux affluents à chaque nouvelle station implantée. Concernant les stations marines (Figure 4), il a été décidé de conserver les deux premières stations communes aux études de 2009, 2011 et 2015 et de rajouter une station lointaine proche de la barrière.



Figure 4 : Choix des stations dans le lagon pour le BV2

2.2.3. Bassin Versant 3 : Gouloué

Le bassin versant de la Gouloué de 2 258 ha est le bassin le plus forestier (59%) des 4 bassins à l'étude. L'occupation du sol est à 24% agricole et 8% de tissu urbain (Figure 5).

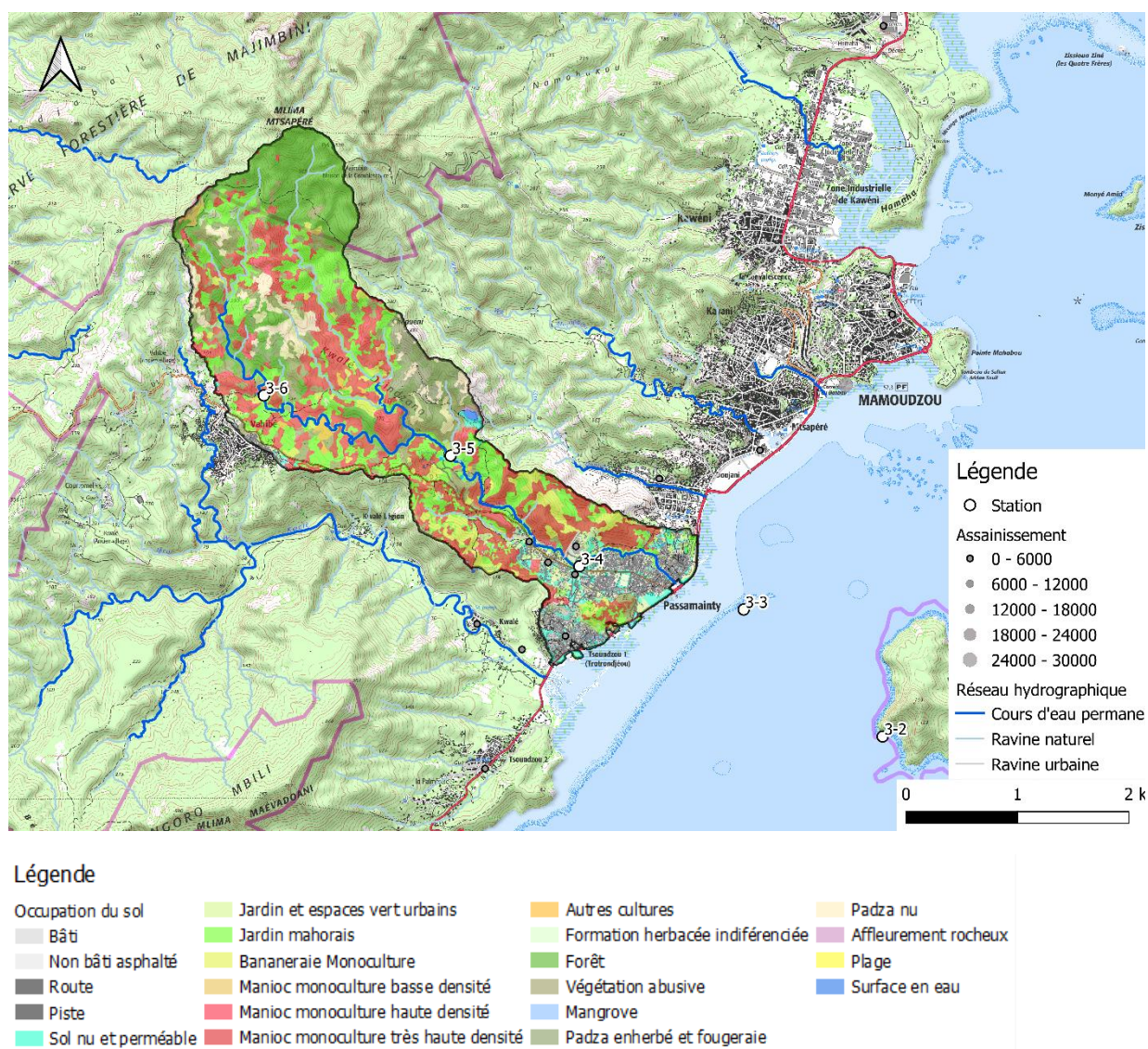


Figure 5 : Cartographie de l'occupation du sol du bassin versant de la Gouloué (BV3) (KERMAP, 2022) et localisation des stations choisies côté terre

L'état des lieux de 2019, basé sur les chroniques de données 2015-2017 pour la partie écologie et de l'année 2018 pour la partie chimie, a qualifié la masse d'eau Gouloué (FRMR19) comme étant en mauvais état environnemental.

Les pressions, leur impact ainsi que l'évolution prédictive ont été identifiés pour cette masse d'eau continentale (Tableau 5). La principale pression identifiée est le développement urbain et notamment les macrodéchets.

Caractérisation des pressions				Niveau d'impact	Scénario tendanciel 2027	
Numéro	Force Motrice	Pression	Niveau de pression		Evolution	Hypothèse
1-1	Développement urbain	Assainissement Ponctuel	Moyen	Modéré	✓	Suppression d'une mini-STEU Amélioration globale de la pression
2-6		Assainissement diffus	Moyen	Fort	↗	Réflexion de la CADEMA sur la création d'un SPANC
2-4		Surfaces Imperméabilisées	Moyen	Faible	↗	Densification du grand Mamoudzou, projets routiers (Caribus, contournements de Mamoudzou), visant à intensifier la pression malgré la mise en place des SDGEP
5-3		Macrodéchets	Fort	Faible	✓	Structuration de la filière de collecte
3-2 / 3-3 / 3-4	Développement urbain, Agriculture, Industrie	Prélèvements	Moyen	Modéré	↗	Nouveaux captages et augmentation démographique
4		Ecoulements / altérations hydromorphologiques	Moyen	Modéré	↗	Captages AEP et atteinte à la continuité écologique - 11 obstacles à l'écoulement actuellement
2-10	Développement urbain	Erosion terrestre et côtière	Non pertinent	Modéré	↗	Augmentation du lessivage des sols (développement de l'urbain et défrichement à des fins agricoles non encadrées)
1-6		Sites et Sols pollués	Nulle	Nulle	↔	Réhabilitation des anciennes décharges
2-2	Agriculture	Phytosanitaires	Faible	Faible	↔	-
2-2		Elevage	Moyen	Modéré	↗	Augmentation du cheptel en lien avec la professionnalisation de la filière et l'augmentation démographique
1-3	Industries	Industries	Nulle	Nulle	↔	Pas de projet industriel actuellement prévu sur cette masse d'eau

Tableau 5 : Caractérisation des pressions, du niveau d'impact, de l'évolution et les scénarios tendanciel à 2027 pour la masse d'eau Gouloué (tableau issu des fiches masses d'eau cours d'eau de l'état des lieux 2019)

Les masses d'eaux marines concernées sont les FRMC12 « Pamandzi – Ajangoua – Bandréle » de type côtière dont l'état global est médiocre et le FRMC13 « Pamandzi – Ajangoua – Bandréle » de type lagunaire dont l'état global est moyen.

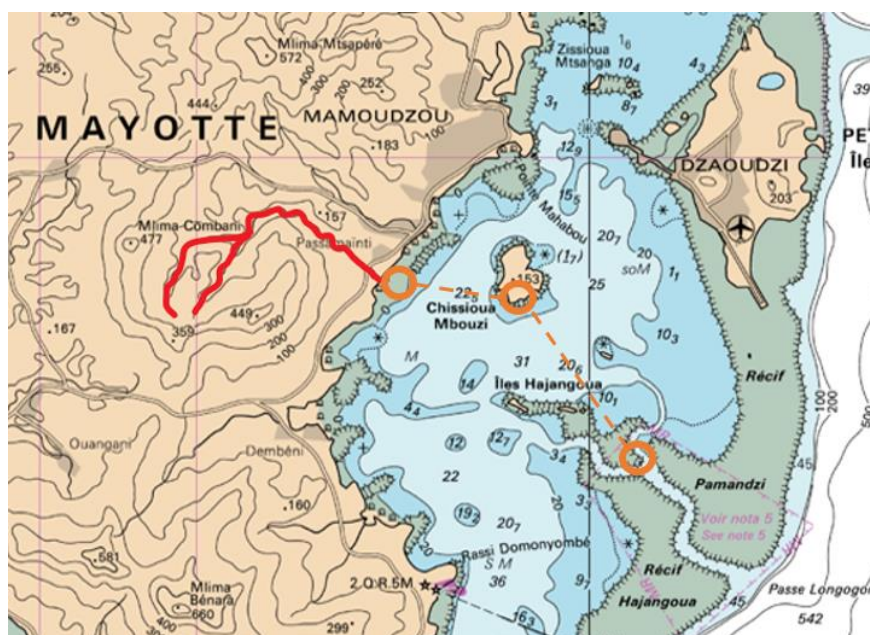


Figure 6 : Choix des stations dans le lagon pour le BV3

2.2.4. Bassin Versant 4 : Kwalé

Le bassin versant de la Kwalé de 2 602 ha, est un bassin forestier (42 %) et agricole (40 %) (Figure 7).

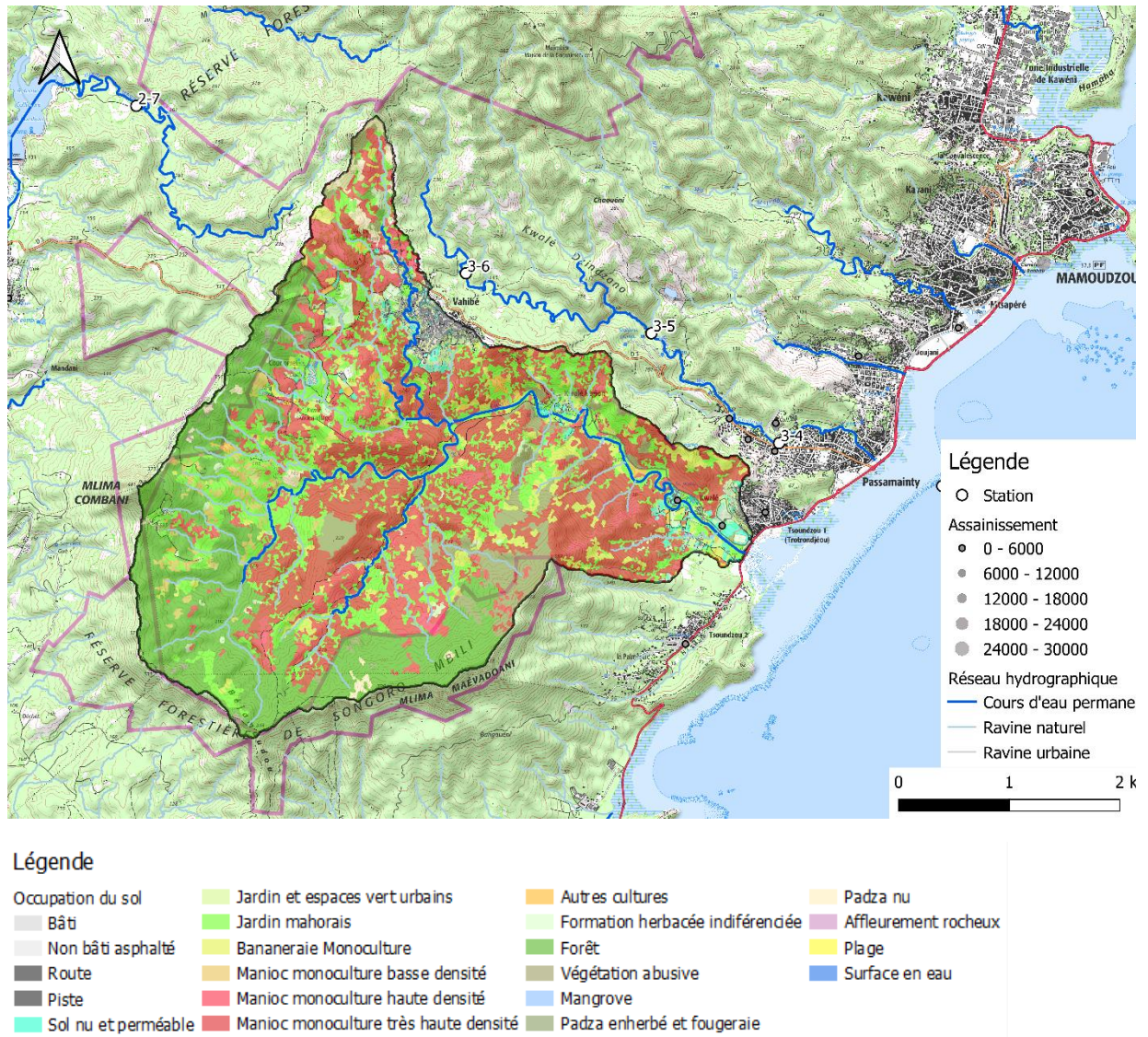


Figure 7 : Cartographie de l'occupation du sol du bassin versant de la Kwalé (BV4)

L'état des lieux de 2019 a classé la masse d'eau Kwalé (FRMR20) en mauvais état environnemental.

Les pressions les plus importantes sur cette masse d'eau sont l'assainissement diffus, les macrodéchets et l'élevage (Tableau 6).

Caractérisation des pressions				Niveau d'impact	Scénario tendanciel 2027	
Numéro	Force Motrice	Pression	Niveau de pression		Evolution	Hypothèse
1-1	Développement urbain	Assainissement Ponctuel	Faible	Faible	↗	Amélioration globale de la pression assainissement
2-6		Assainissement diffus	Fort	Fort	↓	Réflexion de la CADEMA sur la création d'un SPANC
2-4		Surfaces Imperméabilisées	Faible	Faible	↗	Densification du grand Mamoudzou, Projets routier (Caribus, contournements de Mamoudzou) + projet de développement socio-économique CADEMA visant à intensifier la pression malgré la mise en place des SDGEP
5-3		Macrodéchets	Fort	Fort	✓	Structuration de la filière de collecte
3-2 / 3-3 / 3-4	Développement urbain, Agriculture, Industrie	Prélèvements	Moyen	Modéré	↗	Nouveaux captages AEP Potentiel et augmentation démographique
4		Ecoulements / altérations hydromorphologiques	Moyen	Modéré	↑	Captages AEP et atteinte à la continuité écologique - 17 obstacle à l'écoulement actuellement.
2-10	Développement urbain	Erosion terrestre et côtière	Non pertinent	Modéré	↗	Augmentation du lessivage des sols (développement de l'urbain) et défrichement à des fins agricoles non encadrés
1-6		Sites et Sols pollués	Nulle	Nulle	↔	Réhabilitation des anciennes décharges
2-2	Agriculture	Phytosanitaires	Faible	Faible	↔	-
2-2		Elevage	Fort	Fort	↗	Augmentation du cheptel en lien avec la professionnalisation de la filière et l'augmentation démographique
1-3	Industries	Industries	Nulle	Nulle	↗	Développement de l'énergie hydraulique

Tableau 6 : Caractérisation des pressions, du niveau d'impact, de l'évolution et les scénarios tendanciel à 2027 pour la masse d'eau Kwalé (tableau issu des fiches masses d'eau cours d'eau de l'état des lieux 2019)

2.2.5. Choix des bassins versants

Parmi les quatre bassins versants choisis pour les campagnes prospectives, dites de screening, trois ont été retenus pour les deux campagnes radiales.

Les bassins versants choisis sont ceux de Maré, Ourovéni et Gouloué. Une station de "référence" hors du lagon a été ajoutée afin de pouvoir comparer les stations du lagon avec une station océanique. Les localisations des stations sont disponibles (Figure 8 et Tableau 7).

Les stations sont numérotées de l'aval BVX-1 à l'amont BVX-7 avec en supplément une station de référence hors lagon notée HL. En 2021, une station (BV3-7) a dû être supprimée faute d'un niveau d'eau suffisant.

A noter : la station de référence « Hors Lagon » (HL) initialement prévue sur un dispositif concentrateur de poissons (DCP) a dû être déplacée sur le plateau insulaire hors lagon car le DCP n'est pas été retrouvé.

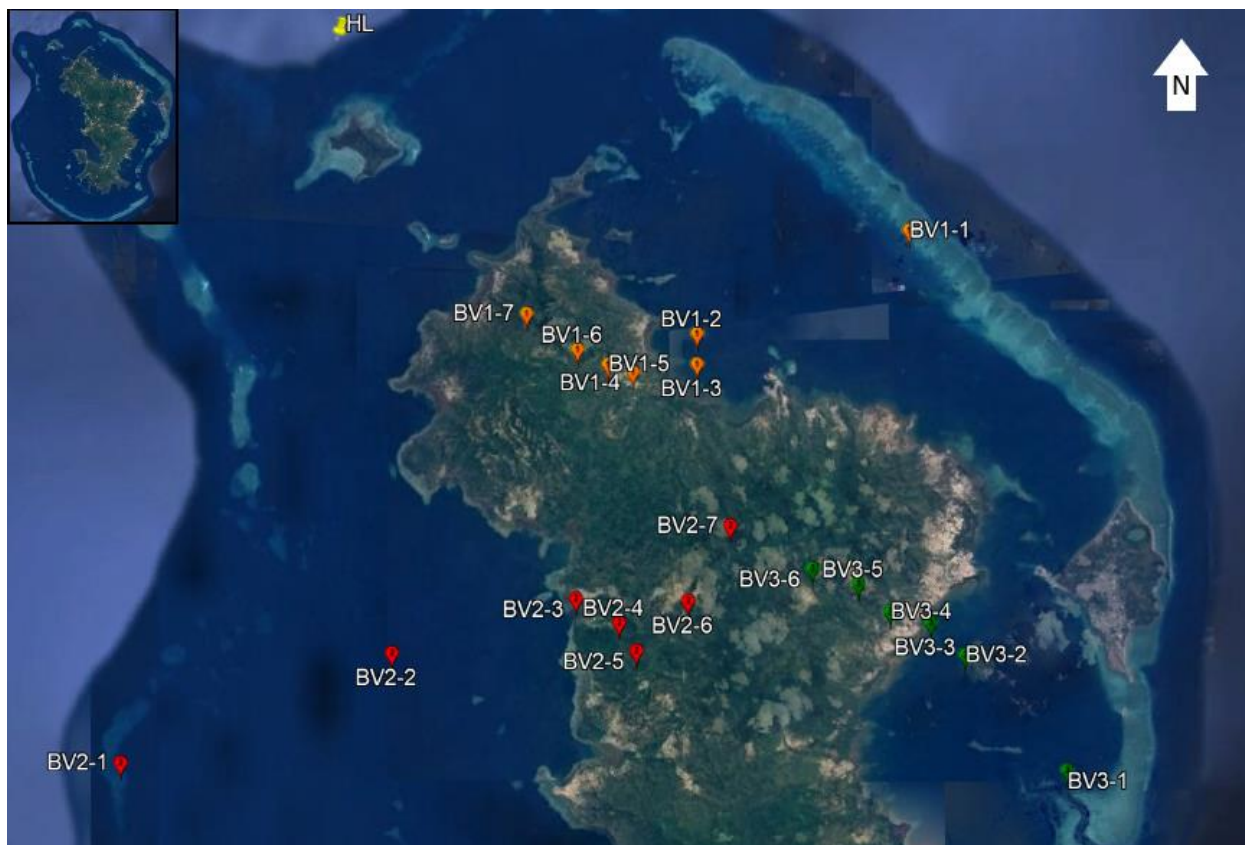


Figure 8 : Localisation des stations sur les 3 bassins versants

station	équipe	Latitude	Longitude	profondeur
BV1-1	mer	12,679	45,212	8 m
BV1-2	mer	12,712	45,164	8,5 m
BV1-3	mer	12,722	45,141	6 m
BV1-4	terre	-12,724	45,120	
BV1-5	terre	-12,722	45,112	
BV1-6	terre	-12,717	45,101	
BV1-7	terre	-12,705	45,084	
BV2-1	mer	12,849	44,948	8 m
BV2-2	mer	12,814	45,039	10 m
BV2-3	mer	12,796	45,101	6,5 m
BV2-4	terre	-12,804	45,115	
BV2-5	terre	-12,813	45,121	
BV2-6	terre	-12,797	45,138	
BV2-7	terre	-12,773	45,152	
BV3-1	mer	12,851	45,265	11 m
BV3-2	mer	12,814	45,231	6 m
BV3-3	mer	12,804	45,220	6 m
BV3-4	terre	-12,801	45,206	
BV3-5	terre	-12,792	45,195	
BV3-6	terre	-12,787	45,180	
HL	mer	12,613	45,021	12 m

Tableau 7 : Coordonnées géographiques des stations choisies

2.3. MISE EN ŒUVRE DES EIP (IMMERSION ET RECUPERATION)

Dans un souci de comparabilité des données, les actions de mise en œuvre des EIP et les prélèvements réalisés par les équipes « terre » et « mer » ont été synchrones. Les opérations terrain ont été réalisées les mêmes jours (immersion des EIP, mesures physico-chimiques, récupération des EIP) sur les trois bassins versants, le **BV1** étant celui de la Maré (Dzoumogné), le **BV2** celui de l'Ourovéni (Tsingoni) et le **BV3** étant celui de la Gouloué (Passamainty).

A chaque station, des EIP de type POCIS, MS et DGT ont été immergés. Des prélèvements ponctuels ont été réalisés pour la mesure de contaminants organiques hydrophobes et tributyl étain (TBT) par la technique SBSE. Lors de chaque opération de déploiement et récupération des EIP, à chaque station, différents paramètres sont mesurés : conditions météorologiques, température, conductivité / salinité, oxygène dissous.

Les DGTs utilisés dans cette étude ont été envoyés par le laboratoire Ifremer LERPAC directement au PNMM de Mayotte. Dès leur réception, ils ont été stockés au réfrigérateur. Avant leur immersion, ils ont été conditionnés en triplicat sur leur support/boîte et placés dans un double emballage plastique. L'ensemble est remis au réfrigérateur en attendant la pose (dans le réfrigérateur du PNMM pour les stations en mer et dans celui du BRGM Mayotte pour les stations à terre).

Les POCIS et membranes silicones (MS) sont envoyés par glacière au BRGM à Mayotte et stockés au congélateur jusqu'au déploiement.

L'installation des EIP dans les cages (fFigure 9) est réalisée soit sur site, soit avant départ.



Figure 9 : Photographies des cages prêtes à être déployées, à gauche la membrane silicone, à droite les DGT

2.3.1. Déploiement des EIP dans les eaux côtières de Mayotte (stations 1 à 3) et prélèvements SBSE

Sur le terrain les EIP ont été transportés dans une glacière dédiée. Ils ont été immergés à partir du bateau du PNMM, par des plongeurs. A chaque station, les EIP (un triplicat DGT, une MS et un POCIS) ont été fixés à l'aide de bout, directement sur le substrat naturel (Figure 10). Les profondeurs relevées varient, en fonction des stations, de 6 m à 12 m. Les mouillages ont été mis en place de façon à ne pas être visibles (aucun repère visuel de surface). La position exacte des échantillonneurs a été relevée en surface à l'aide d'un parachute. Cette technique a permis de récupérer l'ensemble des EIP qui avaient été immergés.

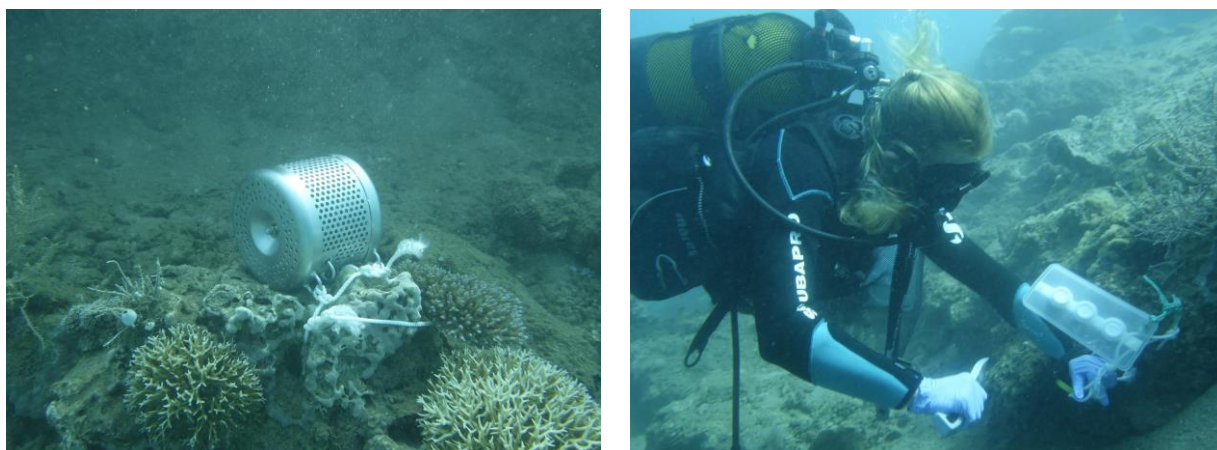


Figure 10 : Déploiement des cages et des DGT sur les stations marines

Les prélèvements d'eau pour l'analyse par SBSE des composés organiques hydrophobes et TBT ont été faits depuis le bateau à l'aide d'une bouteille de prélèvement conditionnée de 2,5 L.

A chaque station, différents paramètres ont été mesurés : conditions météorologiques, température, conductivité / salinité, oxygène dissous. Ces paramètres sont disponibles.

2.3.2. Déploiement des EIP dans les eaux de rivières et d'estuaires de Mayotte (stations 4 à 7) et prélèvements SBSE

Les opérations de pose et de relève en rivière et estuaire ont été réalisées, à partir du "bord" et sans moyens nautiques, par une équipe (trois opérateurs) sur les stations qui avaient déjà été identifiées lors des campagnes de prospection préliminaires des bassins versants (en novembre - décembre 2018, au niveau des exutoires des bassins versants de l'Ourovéni et de la Kwalé ; en décembre 2019 - janvier 2020, au niveau des exutoires des bassins versants de la Gouloué et de la Maré).

Les échantillonneurs ont été installés directement sur des supports naturels présents dans le milieu (roches, racines). Pour éviter le vandalisme, l'installation a été réalisée en veillant à limiter au maximum la visibilité des dispositifs. De même que pour les stations côtières, des prélèvements d'eau brute ont été réalisés afin de réaliser des analyses par SBSE pour le TBT ; les paramètres in-situ (température, conductivité, oxygène dissous) ainsi que les conditions météorologiques ont été relevés.

2.3.3. Récupération des EIP

Pour toutes les campagnes, le triplicat de DGT, la membrane silicone et le POCIS ont été récupérés, en fonction des stations après une période de 11 à 12 jours pour la campagne 1 (juin-juillet 2021) et entre 13 et 14 jours pour la campagne 2 (janvier-février 2022).

A la relève :

- Les DGT sont secoués pour éliminer l'eau et les salissures, placés immédiatement dans les boîtes de stockage et les deux sacs plastiques. Ils sont conservés dans une glacière jusqu'au retour au laboratoire où ils sont placés au réfrigérateur jusqu'à leur traitement (récupération des résines) ;
- Les POCIS sont nettoyés délicatement avec l'eau de la rivière afin d'enlever les dépôts de particules sur les bords du dispositif (anneau). Ils sont replacés dans leur enveloppe aluminium et placés dans une glacière jusqu'au retour au laboratoire où ils sont congelés ;
- Les membranes silicones sont retirées de leur support (spider, Figure 9), frottées avec l'eau de la rivière pour enlever toute particule sur la membrane puis placées chacune dans un flacon en verre brun, avant d'être mises dans une glacière jusqu'au retour pour congélation au laboratoire.

Le tableau suivant présente un récapitulatif des déploiements.

	Analyse non ciblées	Analyses métaux	TBT	Analyses ciblées composés hydrophobes BRGM	Analyses ciblées composés hydrophobes IFREMER
POCIS	X				
EAU	X			X	
DGT		X			
MS				X	
SBSE			X		X

Tableau 8 : Récapitulatif des échantillonneurs employés et des analyses respectives

2.4. TRAITEMENT ET ANALYSE DES ÉCHANTILLONS

2.4.1. DGT

Les DGT ont été récupérés et conditionnés dans le laboratoire du PNMM. Les DGT ont été traités dans les conditions requises pour l'analyse d'éléments traces. L'ouverture des DGT, la récupération des résines ont été réalisées à l'abri d'éventuelles contaminations. Les résines de chaque DGT ont été placées dans un tube en polyéthylène.

Tout le matériel utilisé pour ces différentes opérations avait été préalablement conditionné, qualité "éléments traces". Une photographie de l'ensemble des DGT (campagnes 1 et 2), après leur récupération, est présentée en Annexe 2. A l'arrivée au laboratoire LERPAC de l'Ifremer (La Seyne/mer), les résines ont été éluées avec 2 mL de HNO₃ 1M suprapur. L'éluat DGT a été analysé par ICP-MS pour déterminer la masse (M) des différents éléments métalliques accumulés dans la résine.

La concentration en métal "labile" dans le milieu (C_{DGT}) est calculée par l'équation :

$$C_{DGT} = MEg / tADm$$

Avec :

- M : masse du cation métallique analysée après élution de la résine ;
- Eg: épaisseur de la couche de diffusion (du gel de diffusion + filtre) ;
- t le temps d'immersion du DGT ;
- A : surface du gel exposé ;
- Dm: coefficient de diffusion du métal dans le gel (prédéterminé par Lancaster Research Ltd et à corriger en fonction de la température mesurée dans le milieu d'exposition).

La mesure en triplicat permet d'évaluer un écart-type sur la concentration en métal « labile ». Des "blancs de résine" ont été systématiquement effectués sur chaque nouveau lot de DGT utilisé. Ces mesures permettent de contrôler et de quantifier les possibles contaminations lors de la préparation des DGT. Dans notre étude, les valeurs des blancs sont inférieures à la limite de détection dans la plupart des cas ; elles n'ont pas été prises en compte pour le calcul des résultats.

Au sein de chaque triplicat, certaines mesures « anormales » (fortes valeurs liées à de possibles contaminations des résines ou analyses inférieures aux limites de détection) n'ont pas été prises en compte. Ainsi, pour certaines stations et certains métaux, les mesures n'ont pu être traitées « en triplicat ». Dans ce cas, la concentration calculée correspond à la moyenne des 2 valeurs restantes ou à une seule mesure (selon le nombre de répétition supprimé).

2.4.2. POCIS

Après récupération, les POCIS sont conservés dans une glacière jusqu'au retour au laboratoire où ils sont retirés de la cage, rincés avec de l'eau ultra-pure et enveloppés dans du papier aluminium pyrolysé. Les POCIS sont ensuite placés au congélateur en attendant leur expédition pour traitement et analyses, réalisés par le laboratoire du BRGM.

Chaque POCIS est démonté afin de récupérer la phase adsorbante (OASIS HLB). Celle-ci est transférée dans une cartouche avec de l'eau de laboratoire puis séchée sous vide environ une heure. L'éluat est ensuite réalisé avec 5 mL de méthanol puis 5 mL d'un mélange 50/50 (v:v) de méthanol/dichlorométhane et enfin 5 mL de dichlorométhane. Les solutions de traceurs sont ajoutées à l'éluat. L'extrait est évaporé sous vide sans évaporation à sec jusqu'à obtenir un volume de 1 mL. Les extraits sont ensuite analysés par chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse haute résolution (UPLC/QTOF/HRMS) selon les conditions analytiques décrites en annexe 4.

Les analyses non-ciblées HRMS couplées à la chromatographie liquide permettent de détecter des entités dans les échantillons sans a priori. Une entité correspond à un couple masse (m/z)/temps de rétention. Des milliers d'entités sont détectées dans un seul échantillon. Le résultat HRMS, appelé « empreinte » est une liste de toutes ces entités détectées dans chaque échantillon. L'intérêt du traitement est d'identifier les entités à l'aide de paramètres d'identification tels que masse exacte, temps de rétention, profil isotopique et fragmentation ; cela permet d'associer un nom de molécule à l'entité en question. Dans cette étude, les résultats sont traités en mode suspect. Pour les traitements suspects, les paramètres d'identification présents dans une base de données (BDD) sont comparés à ceux des entités présentes dans les échantillons.

Les résultats sont restitués par molécule identifiée dans les échantillons. La concentration par POCIS n'est pas accessible par l'utilisation de la méthode de screening, mais une comparaison des intensités des signaux peut être effectuée afin d'avoir des informations sur les évolutions relatives entre les stations et dans le temps.

2.4.3. Les Membranes Silicone

La membrane est exposée in situ dans le milieu et accumule les composés organiques présents. Elle contient au préalable à son exposition des composés de référence et de performance (PRC).

Au laboratoire, la membrane est extraite au dichlorométhane via une première extraction pendant 1 nuit. L'extrait est récupéré. Une deuxième extraction au dichlorométhane est ensuite mise en œuvre pendant 4h. Les deux extraits sont regroupés puis évaporés. Cet extrait est ensuite purifié par chromatographie par perméation de gel (GPC) avant analyse par GC/MSMS.

Les membranes extraites et séchées sont pesées.

Les extraits sont analysés par GC/MS/MS. Pour cet exercice, l'équipement utilisé consiste en un chromatographe en phase gazeuse Agilent 8890C, équipé d'une colonne capillaire (DB-XLB 30 m, 0,25mm ID et 0,25 µm de Df, couplé à un spectromètre de masse Agilent TQ 7010B. La liste des composés recherchés dans les membranes est indiquée en annexe 5.

Après détermination de la concentration dans l'extrait de l'échantillon, la quantité de chaque composé dans la membrane est calculée comme suit, en nanogramme (ng) par membrane exposée :

$$C_M = \frac{C_e \times 3}{2}$$

Avec :

- CM : quantité dans la membrane en ng ;
- Ce : concentration dans l'extrait en ng/ml ;
- 2 : facteur de concentration après purification ;
- 3 : volume de reprise avant purification en ml.

2.4.4. SBSE

A chaque station, lors des opérations de mise à l'eau (et/ou de récupération) des EIP, un prélèvement d'eau a été réalisé. Les prélèvements ont été effectués manuellement avec des flacons en verre préalablement traités (verrerie propre passée au four 4h à 450°C, ou à défaut, nettoyée et rincée avec du méthanol pour analyse, et conservée dans du papier aluminium pyrolysé). En attendant le retour au laboratoire, l'échantillon est placé immédiatement à l'abri de la lumière dans une glacière.

Après échantillonnage, les extractions SBSE ont été réalisées par le CITEB dans le laboratoire du PNMM. Au laboratoire, chaque échantillon a été réparti dans 3 flacons en verre (100 mL d'échantillon dans chaque flacon). 10 mL de la solution d'étalons internes sont ensuite introduits dans chacun des triplicats. Afin d'éviter toute contamination des échantillons, les mesures de volumes ont été réalisées avec de la verrerie conditionnée (pyrolysée et conservée dans du papier aluminium).

Un barreau SBSE est introduit dans chacun des réplicats en utilisant une pince inox conditionnée (conditions de nettoyage identiques à la verrerie). Les flacons sont refermés en plaçant une nouvelle feuille d'aluminium pyrolysée entre l'ouverture et le bouchon (afin d'éviter le contact entre l'échantillon et le plastique du bouchon). Les flacons sont ensuite placés sur un agitateur magnétique multiposte (figure 11). La phase d'extraction (agitation) dure 16 heures (vitesse de rotation de 500 tours/minute), elle est réalisée à l'abri de la lumière. Après la phase d'extraction, les flacons sont ouverts et la majeure partie de l'eau est lentement vidée. Puis le barreau est récupéré avec une pince inox conditionnée et rincé au-dessus du flacon avec de l'eau ultra-pure. Le barreau est ensuite séché sur papier absorbant propre puis introduit dans son flacon de conditionnement initial. Durant cette phase, tout contact du barreau avec d'autres surfaces que la pince ou le papier absorbant est évité. Des gants latex (non poudrés) sont utilisés pour l'ensemble de toutes ces opérations.

Des contrôles de qualité et de blancs ont été aussi réalisés sur place par le CITEB (centre technique de recherche et de valorisation des milieux aquatiques), pour cela des barreaux SBSE ont été envoyés par le CEDRE avec les étalons internes et les contrôles qualité. Deux blancs « laboratoire » et un échantillon de contrôle qualité (étalon externe contenant les polluants à concentration connue) ont été réalisés afin de s'assurer de la qualité de l'extraction. Après extraction au laboratoire du PNMM, les barreaux ont été conservés au frigo puis envoyés au CEDRE.

Les prélèvements d'eau pour la mesure du TBT ont été congelés puis envoyés au CEDRE pour analyse après extraction SBSE.

Pour limiter la casse des flacons congelés (constatée notamment lors de la première campagne), les échantillons ont été remplis à moitié, laissés 24h au réfrigérateur avant d'être congelés. Cette méthode a permis de limiter de façon notable la perte d'échantillons. Ces extractions, réalisées sur les échantillons d'eau « brute », serviront à l'analyse (par GCMS) des HAPs, PCBs, pesticides et TBT (Annexe 3).

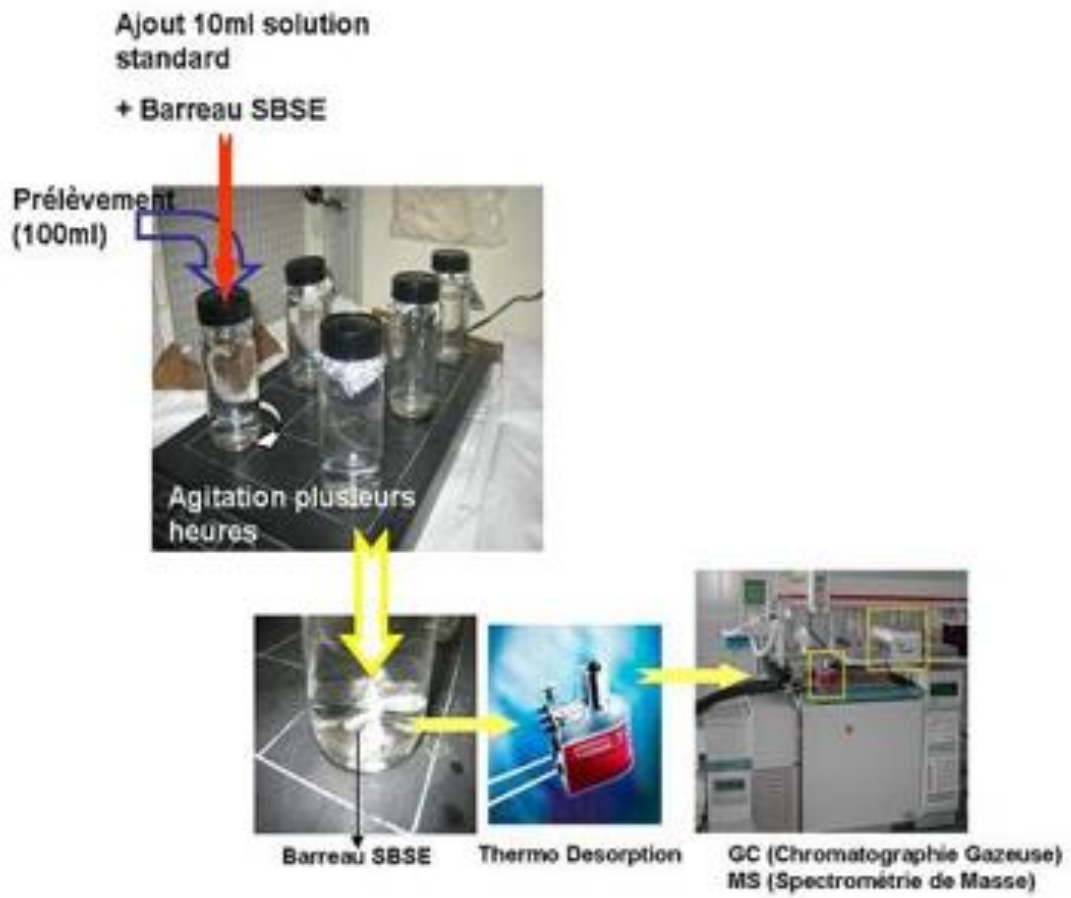


Figure 11 : Extraction et concentration des composés organiques hydrophobes par la technique SBSE

2.4.5. Eaux

Pour les analyses par screening, les échantillons d'eau sont filtrés sur des filtres en fibre de verre de type GF/F préalablement pyrolysés dans des unités de filtration en verre. Le pH est ajusté à 7, avec de l'acide chlorhydrique dilué et une tolérance $\pm 0,5$, et les solutions de traceurs d'extraction sont ajoutées.

Pour les composés polaires, les extractions sont réalisées sur des cartouches OASIS HLB 200 mg ; cette phase est de même nature que celle des POCIS exposés. Les cartouches sont préalablement conditionnées avec 5 mL de dichlorométhane, puis 5 mL de méthanol et enfin 5 mL d'eau HPLC à pH7 avant de faire percoler les 500 mL d'échantillon. La cartouche est ensuite séchée pendant environ 1 heure sous vide. L'élution est réalisée avec le même protocole d'élution que celui des POCIS soit : 5 mL de méthanol, puis 5 mL d'un mélange 50/50 (vol/vol) de méthanol/dichlorométhane puis 5 mL de dichlorométhane. Les analyses sont réalisées avec la même méthode que les POCIS.

Pour les analyses des composés hydrophobes, les échantillons sont extraits par extraction liquide/liquide (prise d'essai 1 L) au dichlorométhane à pH neutre, puis on procède à la concentration de l'extrait, le transfert dans l'hexane et l'analyse par chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse, en étalonnage interne. Selon le volume d'échantillon disponible, il est extrait 1 L reconcentré à 1 mL ou 500 mL reconcentré à 0,5 mL. Les analyses sont effectuées sur les mêmes paramètres que pour les MS et dans les mêmes conditions analytiques.

3. Résultats et discussion

3.1. RESULTATS CAMPAGNE DE SCREENING

Les campagnes de screening se sont déroulées en novembre - décembre 2018, au niveau des exutoires des bassins versants de l'Ourovéni et de la Kwalé ; et en décembre 2019 - janvier 2020, au niveau des exutoires des bassins versants de la Gouloué et de la Maré. Les résultats et discussions concernant cette étape de screening ont été discutés lors des comités de pilotage du 21/06/2019 et 16/12/2020.

La Figure 12 présente les résultats obtenus sur les EIP (POCIS et MS) et les échantillons ponctuels associés sur les 4 bassins versants.

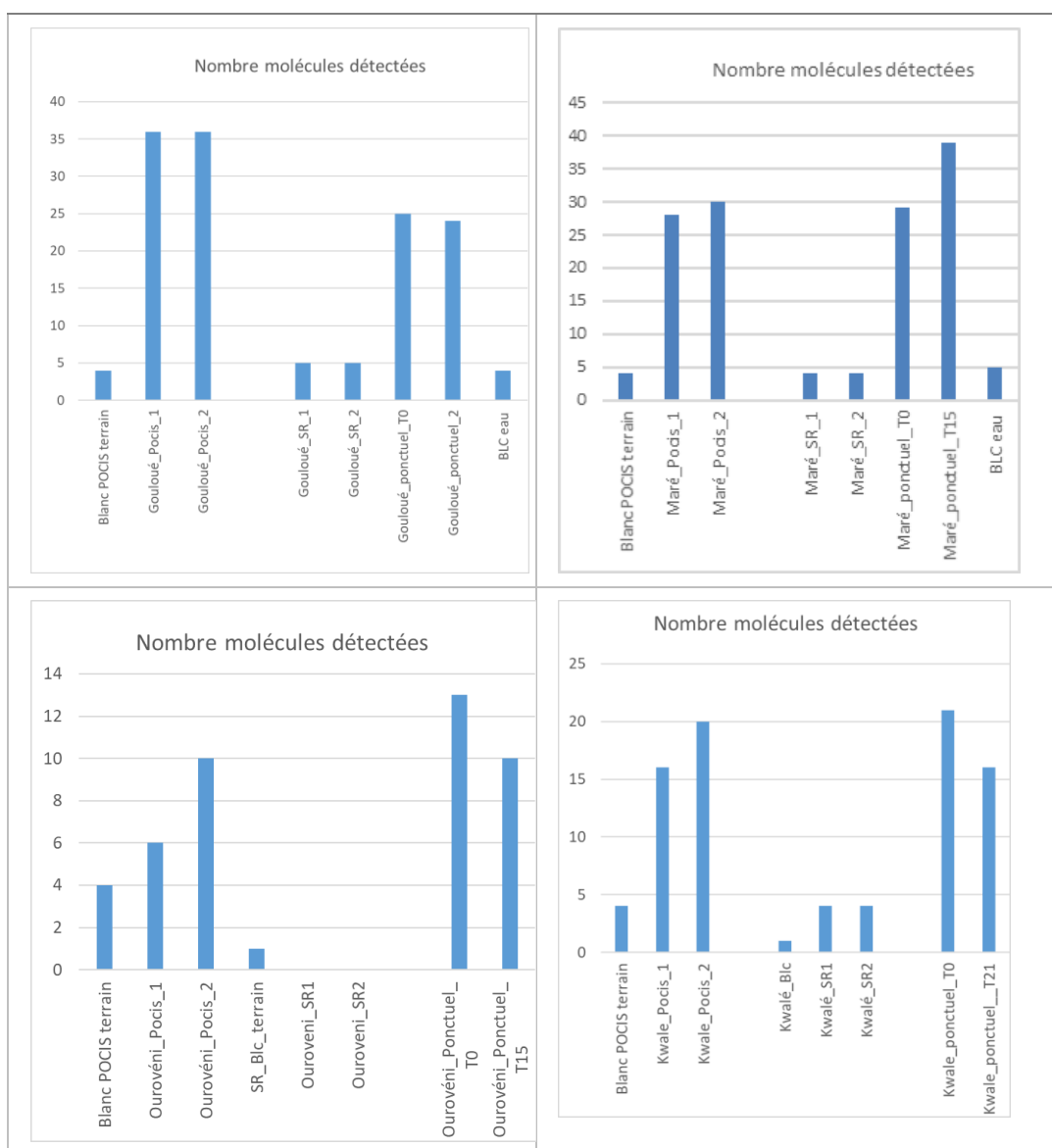


Figure 12 : Nombre de molécules détectées sur POCIS, MS et eaux, campagnes de screening

Pour l'analyse des composés hydrophobes, aucune molécule n'est détectée dans les échantillons ponctuels alors qu'entre une et cinq molécules le sont sur les membranes silicone.

Concernant les molécules polaires, selon les bassins versants, le nombre de molécules détectées varie entre 6 et 12 (BV Ourovéni) et entre 30 et 40 (BV Maré). On peut noter que ce ne sont pas les mêmes molécules qui sont retrouvées dans les échantillons ponctuels et les POCIS, comme le montre la figure 13.

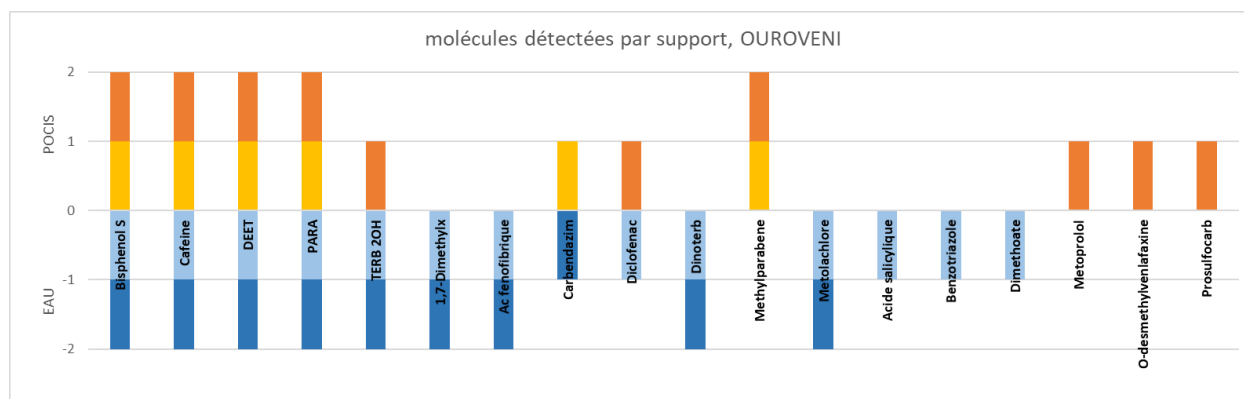
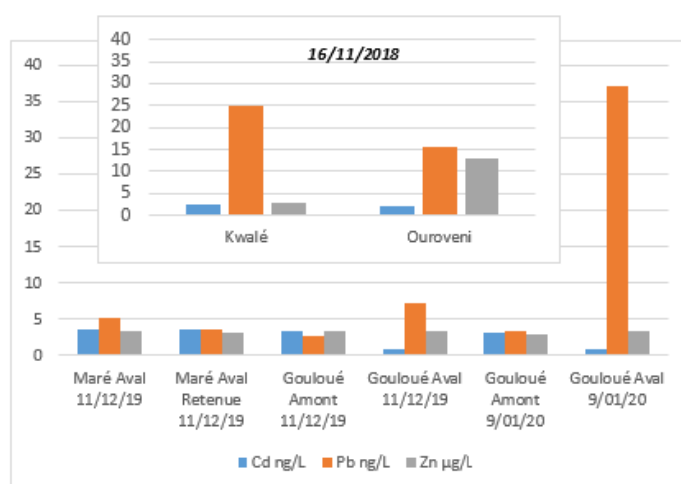


Figure 13 : Répartition des molécules détectées sur les 2 POCIS (orange) et/ou eau (bleu), campagne de screening sur l'Ourovéni

Les molécules indiquées sur la figure 13 sont détectées pour certaines à la fois sur les supports eau (barre bleue) et EIP (barre orange) pour d'autres uniquement sur l'un ou l'autre des supports, ce qui met en évidence la complémentarité des deux supports et élargit le spectre des molécules pouvant être identifiées. Pour les molécules détectées pour un seul des deux duplicats, cela est probablement dû à la faible teneur, proche de la limite de détection.

Les mesures de concentration en métaux par DGT réalisées lors des campagnes de screening (Figure 14) montrent que pour la plupart des métaux, les teneurs sont plus élevées dans les bassins de Maré, Gouloué et Orouvéni (dans une moindre mesure).

Considérant ces résultats, et la volonté de vouloir étudier des BV avec des pressions anthropiques les plus différentes possibles, 3 bassins ont été sélectionnés, il s'agit d'Orouvéni, Maré et Gouloué.



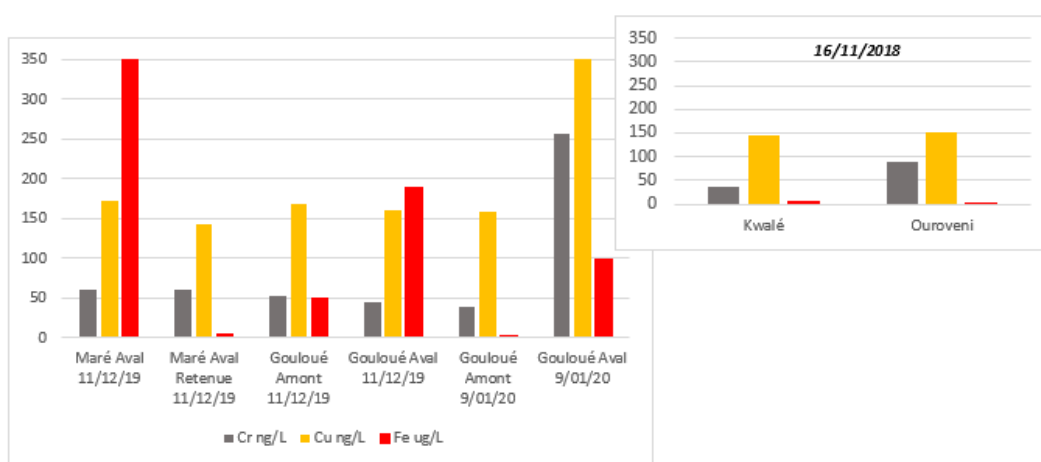
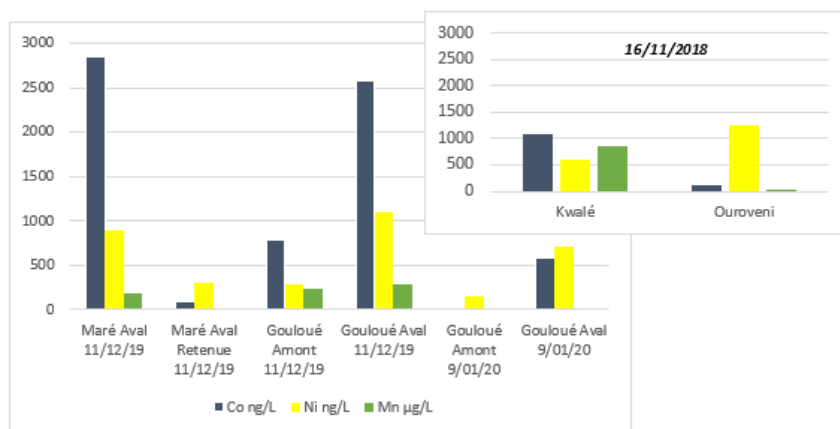


Figure 14 : Résultats des DGT

3.2. RESULTATS DES CAMPAGNE TRANSECT

3.2.1. Déroulement des campagnes

Chaque campagne s'est déroulée sur 3 jours avec l'équipement des 7 stations d'un même bassin versant en une journée.

Lors de la deuxième campagne, le passage d'une dépression dans le canal du Mozambique a perturbé très fortement les conditions météorologiques au moment de la pose des EIP, engendrant des vents et de la houle d'Ouest, mais également une très forte pluviométrie (Alerte orange forte pluie). Les niveaux élevés de pluviométrie devront être considérés dans l'analyse des résultats, en particulier pour les suivis SBSE et TBT.

	lundi	mardi	mercredi	jeudi	vendredi	...	lundi	mardi	...	jeudi	vendredi
	28-juin	29-juin	30-juin	01-juil	02-juil	...	12-juil	13-juil	...	15-juil	16-juil
Equipe Terre	prospection BV1 et BV2	prospection BV3 préparation matériel	BV1-7 à BV1-4 pose DGT / POCIS / MS prélèvement eau brute	BV2-7 à BV2-4 pose DGT / POCIS / MS prélèvement eau brute	BV3-6 à BV3-4 pose DGT / POCIS / MS prélèvement eau brute	...	BV1-7 à BV1-4 BV2-7 à BV2-4 récup DGT prélèvement eau brute	BV3-6 à BV1-4 récup DGT prélèvement eau brute	...	BV1-7 à BV1-4 BV2-7 à BV2-4 récup POCIS / MS prélèvement eau brute	BV3-6 à BV3-7 récup POCIS / MS prélèvement eau brute
Equipe Mer		préparation matériel	BV1-1 à BV1-3 et HL pose DGT / POCIS / MS prélèvement eau brute	BV2-1 à BV2-3 pose DGT / POCIS / MS prélèvement eau brute	BV3-1 à BV3-3 pose DGT / POCIS / MS prélèvement eau brute	...	BV1-1 à BV1-3 BV2-1 à BV2-3 et HL récup DGT prélèvement eau brute	BV3-1 à BV3-4 récup DGT prélèvement eau brute	...	BV1-1 à BV1-3 BV2-1 à BV2-3 et HL récup POCIS / MS	BV3-1 à BV3-3 récup POCIS / MS

Campagne Janvier-Février 2022

	mercredi	jeudi	vendredi	...	mardi	...	jeudi	vendredi
	19-janv	20-janv	21-janv	...	01-févr	...	03-févr	04-févr
Equipe Terre	pose EIP et prélèvement (TBT et SBSE) BV3	pose EIP et prélèvements (TBT et SBSE) BV1	pose EIP et prélèvements (TBT et SBSE) BV2	...	récup EIP et prélèvements TBT BV3	...	récup EIP et prélèvements TBT BV1	récup EIP et prélèvements TBT BV2
Equipe Mer	pose EIP et prélèvement BV3	pose EIP et prélèvements (TBT et SBSE) BV1	pose EIP et prélèvements (TBT et SBSE) BV2 + HL	...	récup EIP et prélèvements TBT BV3	...	récup EIP et prélèvements TBT BV1	récup EIP et prélèvements TBT BV2 + HL

Tableau 9 : Chronogrammes des campagnes 1 et 2

3.2.2. Paramètres physico-chimiques mesurés lors des campagnes

L'ensemble des paramètres mesurés sont présentés dans le *Tableau 10*.

Campagne Juin-Juillet 2021

Station	Profondeur de mise en place/fond	DGT/POCIS/MS Pose	DGT Tps immersion (h)	T°C	Sal/C	O2
				may	may	may
Hors Lagon - Référence - Large M'Tsamboro	12m	30/06/2021 11:00	287,7	26,2	34,9	7,1
BV1- Maré Station 07 -TERRE - Amont rivière		30/06/2021 12:11	286,6	25,0	62,0	3,9
BV1-Maré- Station 06 -TERRE- Centre Rivière		30/06/2021 11:10	287,0	22,2	117,6	8,3
BV1 - Maré - Station 05 - TERRE - Aval Rivière		30/06/2021 10:25	287,2	23,8	121,6	1,2
BV1- Maré- Station 04 - TERRE - Estuaire		30/06/2021 09:45	287,4	23,8	149,6	1,1
BV1-Maré- Station 03 - MER - Frangeant	6m	30/06/2021 12:20	288,1	26,4	35,1	7,0
BV1 Maré - Station 02 - MER-Centre lagon	8,5m	30/06/2021 13:00	288,2	26,3	35,3	7,1
BV1 Maré - Station 1 - MER-Recif barrière	8m	30/06/2021 13:35	288,0	27,0	35,0	8,3
BV2-Ourooueni - Station 07 -TERRE - Amont rivière		01/07/2021 10:15	267,0	22,4	76,0	8,1
BV2-Ourooueni - Station 06 -TERRE- Centre Rivière		01/07/2021 11:35	266,3	22,6	79,0	7,0
BV2-Ourooueni - Station 05 - TERRE - Aval Rivière		01/07/2021 12:30	265,8	22,3	76,5	8,1
BV2-Ourooueni - Station 04 - TERRE - Estuaire		01/07/2021 13:15	265,3	21,9	80,5	4,8
BV2-Ourooueni - Station 03 - MER - Frangeant						
BV2- Oouvoueni- Station 02 - MER-Centre lagon	10m	01/07/2021 10:00	264,4	25,8	35,4	7,0
BV2-Ourooueni - Station 1 - MER-Recif barrière	8m	01/07/2021 10:45	Perdu	26,0	35,2	7,1
BV3- Gouloué - Station 06 -TERRE - Amont rivière		02/07/2021 11:00	263,7	22,2	94,5	8,2
BV3- Gouloué - Station 05 -TERRE- Centre Rivière		02/07/2021 09:50	264,1	22,4	116,1	8,6
BV3- Gouloué - Station 04 - TERRE - Aval Rivière		02/07/2021 12:10	263,5	24,0	190,1	1,3
BV3- Gouloué - Station 03 - MER - Frangeant	6m	02/07/2021 09:00	264,5	26,7	35,1	7,0
BV3- Gouloué - Station 02 - MER-Centre lagon	6m	02/07/2021 09:50	263,4	26,4	35,3	7,1
BV3- Gouloué - Station 1 - MER-Recif barrière	11m	02/07/2021 10:25	262,4	26,5	35,0	7,4

	POCIS/MS	T°C	Sal/C	O2	SBSE
	Tps immersion (h)	moy	moy	moy	prélèvement
Hors Lagon - Référence - Large M'Tsamboro	360,2	26,3	34,9	7,0	30/06/2021 11:30
BV1 - Maré Station 07 -TERRE - Amont rivière	358,5	25,0	119	4,2	30/06/2021 12:11
BV1-Maré- Station 06 -TERRE- Centre Rivière	358,7	22,2	239,5	8,2	30/06/2021 11:10
BV1 - Maré- Station 05 - TERRE - Aval Rivière	358,7	23,5	241	1,1	30/06/2021 10:25
BV1 - Maré- Station 04 - TERRE - Estuaire	358,7	23,5	299,5	1,1	30/06/2021 09:25
BV1-Maré- Station 03 - MER - Frangeant	360,0	26,7	34,9	7,0	30/06/2021 12:35
BV1 Maré - Station 02 - MER-Centre lagon	360,1	26,6	34,9	7,1	30/06/2021 13:10
BV1 Maré - Station 1 - MER-Recif barrière	359,8	26,8	35,1	8,1	30/06/2021 14:00
BV2-Ourouveni - Station 07 -TERRE - Amont rivière	338,7	22,0	155	8,1	01/07/2021 10:15
BV2-Ourouveni - Station 06 -TERRE- Centre Rivière	338,5	22,5	166	7,0	01/07/2021 11:35
BV2-Ourouveni - Station 05 - TERRE - Aval Rivière	338,3	22,4	152,5	8,1	01/07/2021 12:30
BV2-Ourouveni - Station 04 - TERRE - Estuaire	338,0	21,9	161,5	4,5	01/07/2021 13:15
BV2-Ourouveni - Station 03 - MER - Frangeant					
BV2 - Ououveni- Station 02 - MER-Centre lagon	335,6	26,3	35,1	7,0	01/07/2021 10:15
BV2-Ourouveni - Station 1 - MER-Recif barrière	335,5	26,0	35,2	7,1	01/07/2021 11:00
BV3 - Gouloué - Station 06 -TERRE - Amont rivière	335,3	21,8	194,5	8,1	02/07/2021 11:00
BV3 - Gouloué - Station 05 -TERRE- Centre Rivière	335,7	22,0	232,5	8,7	02/07/2021 09:50
BV3 - Gouloué - Station 04 - TERRE - Aval Rivière	335,0	23,8	362,5	1,2	02/07/2021 12:10
BV3 - Gouloué - Station 03 - MER - Frangeant	336,0	26,6	35,1	6,9	02/07/2021 09:25
BV3 - Gouloué - Station 02 - MER-Centre lagon	335,4	26,6	35,1	7,0	02/07/2021 10:10
BV3 - Gouloué - Station 1 - MER-Recif barrière	335,3	26,0	35,3	7,5	02/07/2021 10:47

Campagne Janvier 2022

Station	Profondeur de mise en place	DGT/POCIS/MS Pose	DGT Tps immersion (h)	T°C	Sal/C	O2	SBSE
				moy	moy	moy	prélèvement
Hors Lagon - Référence - Large M'Tsamboro	13m	21/01/2022 09:20	337,67	28,7	35,4		21/01/2022 09:20
BV1 - Maré Station 07 -TERRE - Amont rivière		20/01/2022 11:20	335,75	25,5	101,4	1,2	20/01/2022 11:20
BV1-Maré- Station 06 -TERRE- Centre Rivière		20/01/2022 10:20	336,08	25,7	204,0	7,0	20/01/2022 10:20
BV1 - Maré - Station 05 - TERRE - Aval Rivière		20/01/2022 09:50	335,92	26,1	191,0	3,6	20/01/2022 09:50
BV1 - Maré- Station 04 - TERRE - Estuaire		20/01/2022 09:20	336,00	26,1	325,0	3,6	20/01/2022 09:20
BV1-Maré- Station 03 - MER - Frangeant	6m	20/01/2022 11:00	335,50	29,4	35,5		20/01/2022 11:00
BV1 Maré - Station 02 - MER-Centre lagon	6,5m	20/01/2022 10:30	336,00	29,4	35,5		20/01/2022 10:30
BV1 Maré - Station 1 - MER-Recif barrière	6,6m	20/01/2022 09:40	335,33	29,2	35,5		20/01/2022 09:40
BV2-Ourouveni - Station 07 -TERRE - Amont rivière		21/01/2022 08:45	336,08	24,6	111,4	7,6	21/01/2022 08:45
BV2-Ourouveni - Station 06 -TERRE- Centre Rivière		21/01/2022 09:25	336,25	25,9	168,1	6,9	21/01/2022 09:25
BV2-Ourouveni - Station 05 - TERRE - Aval Rivière		21/01/2022 10:05	336,17	25,9	129,5	7,7	21/01/2022 10:05
BV2-Ourouveni - Station 04 - TERRE - Estuaire		21/01/2022 10:35	336,42	26,0	134,8	6,6	21/01/2022 10:35
BV2-Ourouveni - Station 03 - MER - Frangeant	4m	21/01/2022 12:40	332,33	29,4	35,0		21/01/2022 12:40
BV2 - Ououveni- Station 02 - MER-Centre lagon	7m	21/01/2022 11:40	333,67	29,2	35,4		21/01/2022 11:40
BV2-Ourouveni - Station 1 - MER-Recif barrière	8m	21/01/2022 11:40	334,50	29,0	35,4		21/01/2022 11:40
BV3- Gouloué - Station 06 -TERRE - Amont rivière		19/01/2022 09:00	311,67	25,5	161,6	7,5	19/01/2022 09:00
BV3- Gouloué - Station 05 -TERRE- Centre Rivière		19/01/2022 09:30	312,25	26,5	178,8	7,9	19/01/2022 09:30
BV3 - Gouloué - Station 04 - TERRE - Aval Rivière		19/01/2022 10:00	312,50	26,8	220,8	4,8	19/01/2022 10:00
BV3- Gouloué - Station 03 - MER - Frangeant	3,5m	19/01/2022 11:20	309,67	29,5	35,6		19/01/2022 11:20
BV3- Gouloué - Station 02 - MER-Centre lagon	4,5m	19/01/2022 10:30	310,75	29,4	35,4		19/01/2022 10:30
BV3- Gouloué - Station 1 - MER-Recif barrière	4,5m	19/01/2022 09:30	312,17	29,3	35,5		19/01/2022 09:30

Tableau 10 : Paramètres mesurés lors des deux campagnes de mise en œuvre des EP et prélèvements d'eau (Sal: salinité; C: conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Lors de la première campagne, les récupérations des DGT et des POCIS ont été réalisées à des moments différents, mais comme l'indiquent les différents paramètres mesurés (Tableau 10, il n'y a pas eu de variations notables de la température, salinité et O₂ dissous au sein des 3 bassins, au cours des périodes d'exposition des DGT et des POCIS.

Au sein d'un même bassin, l'évolution amont-aval des différents paramètres ne varie pas d'une campagne à une autre.

La température augmente de l'amont à l'aval, le BV de Gouloué se caractérise par une augmentation marquée de la température au niveau du récif frangeant, tandis que pour les 2 autres bassins on note une légère baisse aux niveaux des stations « estuaire ». En moyenne, les températures des eaux sont plus élevées lors de la campagne de janvier.

Quels que soient le bassin ou la saison, le gradient d'augmentation de la salinité se situe entre les stations « estuaire » et « récif frangeant ». Il n'y a pas de différence notable de la salinité des eaux en fonction de la campagne.

L'évolution amont-aval des concentrations en O₂ dissous est comparable pour les BV de Maré et Gouloué : augmentation de la station « amont » à « centre » rivière; baisse très importante de « centre » à « aval » rivière puis augmentation nette à la station « récif frangeant » ; peu de variations pour les stations les plus marines. En ce qui concerne le bassin d'Ourovéni, pour les stations où il y a eu des mesures (pas de mesures pour les stations marines pour la campagne de janvier), les concentrations en oxygène dissous varient de façon inverse par rapport aux 2 autres bassins. Si l'on compare les 2 saisons, il n'y a que pour Maré que l'on voit des différences notables : les teneurs en O₂ dissous sont minimales aux stations « aval » rivière et « estuaire » lors de la première campagne, tandis que c'est la station « amont » rivière qui présente les concentrations les plus faibles en janvier.

3.2.3. DGT (métaux)

Les concentrations en métaux mesurées aux différentes stations lors des deux campagnes sont présentées dans l'annexe 6.

Il est à noter que, quels que soient le bassin versant ou la saison, les concentrations en Cd sont très faibles (de l'ordre de quelques ng/L), proches de la limite de quantification.

Pour l'ensemble des métaux, les résultats ne mettent pas en évidence de tendances très nettes. Schématiquement (Figure 15), le bassin de Maré se caractérise par les concentrations moyennes (quelle que soit la campagne) les plus élevées pour Co, Ni et Fe, tandis que pour celui d'Ourovéni c'est pour Cr, Cu et Zn qu'elles sont les plus élevées et les plus faibles en Co, Mn et Fe. Le bassin versant de Gouloué, à part des concentrations moyennes en Cr les plus faibles, ne montre pas de tendance particulière.

On n'observe pas non plus de tendance saisonnière particulière (Figure 16). Pour Cr, Pb, Mn et Zn, quel que soit le bassin, les concentrations moyennes diminuent en janvier 2022. A l'inverse, pour Co, Ni, Cu et Fe, les concentrations moyennes sont généralement plus élevées en janvier.

L'évolution des teneurs en métaux montre schématiquement (Figure 17), en fonction des bassins versants et des métaux, que pour la plupart des métaux, les concentrations sont généralement les plus élevées aux stations intermédiaires (Aval rivière et Estuaire) et aux stations les plus amont (Amont et Centre rivière). Dans quelques cas (notamment pour Cd), les concentrations augmentent vers le lagon.

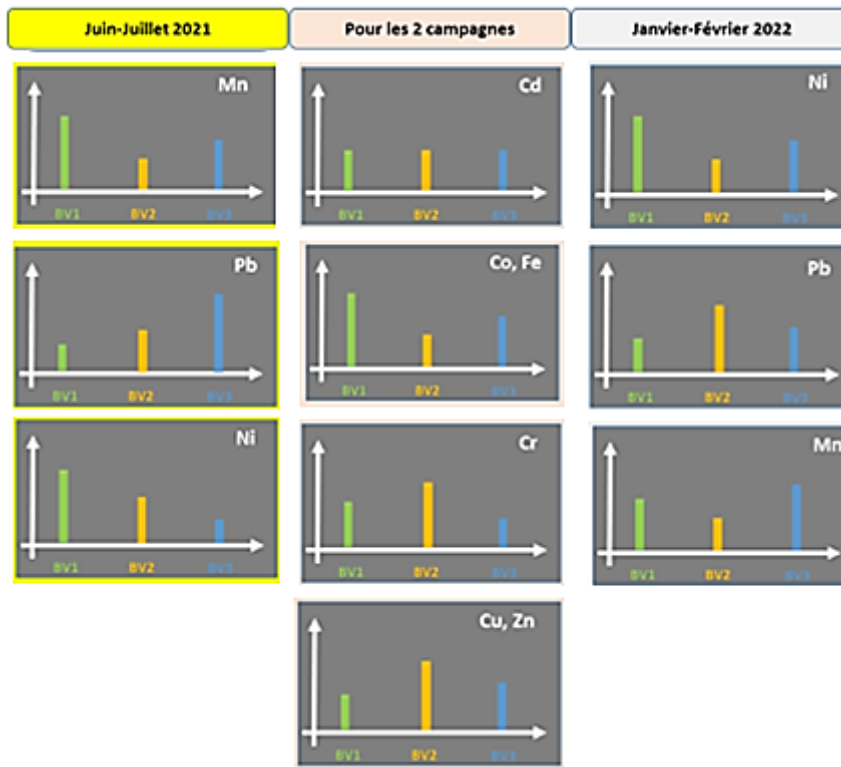


Figure 15 : Représentation schématique des tendances d'évolution "bassin versant" des métaux traces mesurés par DGT (BV1: Maré en vert, BV2: Ourovéni en orange et BV3: Gouloué en bleu).

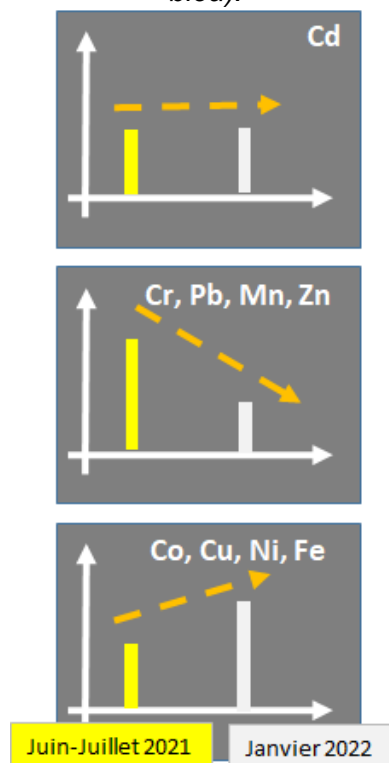
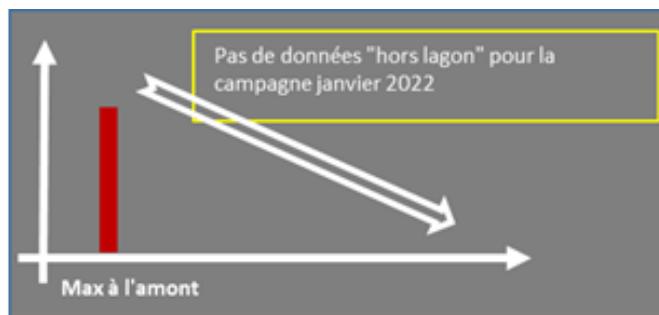
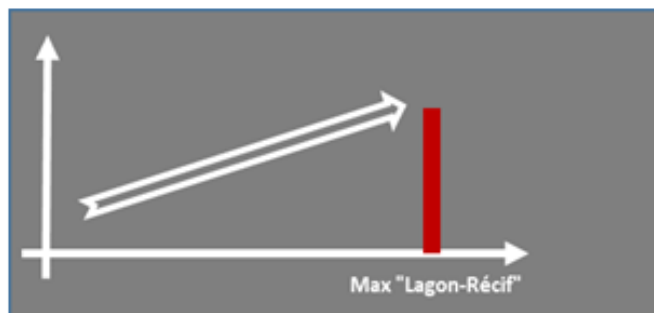


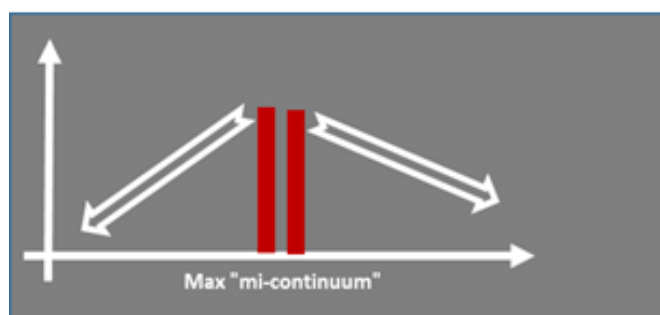
Figure 16 : Représentation schématique des tendances d'évolution saisonnières des métaux mesurés par DGT



	Etiage Juin-Juillet 2021	Hautes eaux Janvier-Février 2022
Maré	Ni	Co, Cu, Fe, Ni
Ourouveni	Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn	Co, Ni, Zn
Gouloué		



	Etiage Juin-Juillet 2021	Hautes eaux Janvier-Février 2022
	Cd	Cd
		Fe
	Cd, Pb	Cd



	Etiage Juin-Juillet 2021	Hautes eaux Janvier-Février 2022
	Co, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn	Mn, Pb, Zn
	Co, Mn	Cr, Co, Mn, Pb, Zn

Figure 17 : Représentation schématique de l'évolution "continuum Terre-Mer" des concentrations métaux mesurées par DGT

La comparaison des concentrations mesurées lors de campagnes précédentes dans différentes masses d'eaux littorales autour de Mayotte, aux Glorieuses ou dans des sites qui peuvent sembler très contaminés (Tableau 11), montre que par rapport :

- aux masses d'eau mahoraises il n'y a que pour Co et Ni que les concentrations moyennes mesurées dans les différents BV sont plus élevées ;
- aux mesures réalisées au Glorieuses, il n'y a que pour Co, Mn et Ni que les concentrations sont très largement plus faibles aux Glorieuses et il est à noter que pour Zn la concentration est plus forte ;
- à des sites comme la vasière des Badamiers ou le "Boulodrome", pour la plupart des métaux les concentrations moyennes sont plus faibles dans les différents BV, sauf dans le cas de Co, Mn et Ni.

	Année	Mayotte			Glorieuses			Boulodrome			V. Badamiers		
		Moy	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy	Min	Max
Cd ng/L	2009	8	4	21									
	2011	5	4	6									
	2015	11	4	16	< LD								
	2019							34	32	37	3	2	3
Co ng/L	2009	0,5	0,4	0,6									
	2011	12	7	20									
	2015	20	4	50	12	10	14						
	2019							96	70	123	16	15	17
Cr ng/L	2009	120	58	186									
	2011	89	51	123									
	2015	464	162	877	109	73	145						
	2019							119	89	148	63	58	68
Cu ng/L	2009	888	220	3346									
	2011	98	61	164									
	2015	63	33	105	85	57	113						
	2019							359	306	412	170	116	224
Mn µg/L	2009												
	2011	0,57	0,14	1,00									
	2015	1,00	0,18	3,64	0,10	0,10	0,11						
	2019							40,59	21,24	59,94	1,52	1,41	1,63
Ni ng/L	2009	229	122	403									
	2011	187	141	276									
	2015	200	155	307	81	63	99						
	2019							366	238	494	122	112	131
Pb ng/L	2009	189	85	490									
	2011	29	13	68									
	2015	24	16	46	21	18	24						
	2019							356	186	525	27	22	32
Zn µg/L	2009	1,35	0,96	2,39									
	2011	2,04	1,48	2,78									
	2015	4,21	2,80	6,10	1,85	1,61	2,09						
	2019							2,76	2,26	3,26	0,87	0,70	1,05

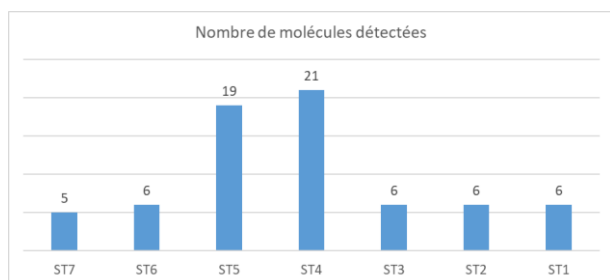
Tableau 11 : Concentrations mesurées dans les eaux littorales de Mayotte (moyenne de différentes masses d'eau: Gonzalez et al, 2015), des Glorieuses, au site "Boulodrome" et à la vasière des Badamiers

3.2.4. POCIS (contaminants organiques hydrophiles)

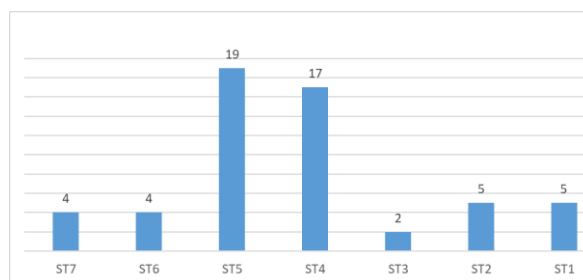
Si l'on regarde plus précisément par bassin, des différences notables sont mises en évidence quant au nombre de molécules détectées par station et quant au profil longitudinal de la contamination, comme présenté dans la figure 18.

Sur le BV1, Maré, les deux stations rivières les plus aval présentent une pression de pollution quasi similaire au regard des molécules recherchées et détectées sur les POCIS. Sur le bassin de l'Ourovéni (BV2), une source de contamination au niveau de la station 6 modifie le profil général, pression remarquée sur les deux campagnes. Cette station, suivie dans le cadre du RCS (Ourovéni inter) se situe dans une zone où la pression urbaine est de plus en plus importante, située en aval de Combani.

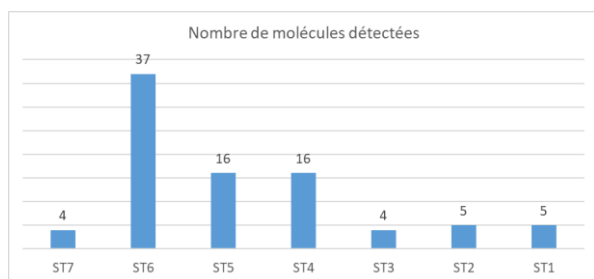
Le bassin de la Gouloué, se distingue quant à lui par une pression essentiellement localisée sur le point le plus aval de la rivière situé dans le centre de Passamainty, avec peu de pression dans la zone amont.



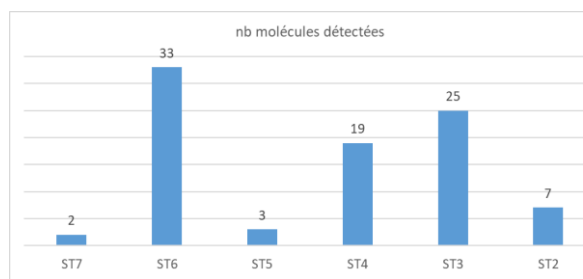
BV1 Maré (Dzoumogné) campagne 1



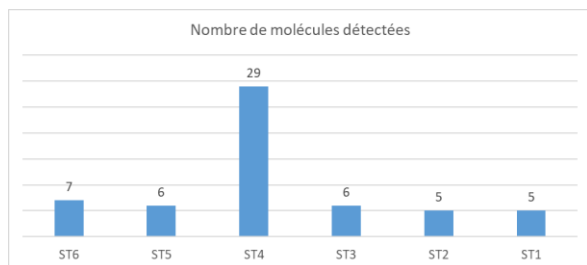
BV1 campagne 2



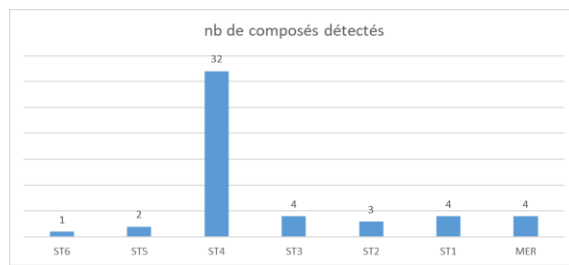
BV2 Oourovéni campagne 1



BV2 campagne 2



BV3, Gouloué campagne 1



BV3 campagne 2

Figure 18 : Bilan du nombre de molécules détectées sur les POCIS par station dans chaque bassin et campagne

En regardant les intensités des signaux mesurés (proportionnel à la concentration dans les échantillonneurs), on note pour chaque molécule, (exemple pour la cotinine en figure 19) une évolution des concentrations de l'amont vers l'aval, puis une décroissance (due a priori à la dilution) après la zone estuarienne.

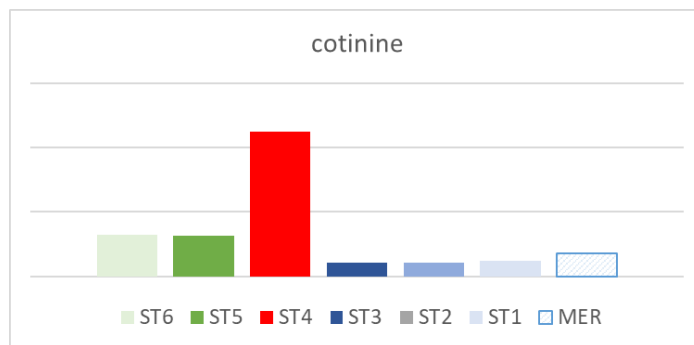


Figure 19 : Profil de contamination mesuré pour la cotinine sur le continuum, BV3, campagne 1

3.2.5. Membranes silicone (contaminants organiques hydrophobes)

En regard des analyses ponctuelles, pour lesquelles quasi aucune quantification n'a été faite sur l'intégralité des campagnes et des stations, les analyses sur membranes silicone ont permis de mettre en évidence la présence de certaines substances.

Comme pour les POCIS, le nombre de molécules quantifiées croît d'amont en aval, jusqu'au point estuarien (ST04), on observe ensuite une diminution du nombre de molécules quantifiées, liée très certainement au phénomène de dilution (Figure 20).

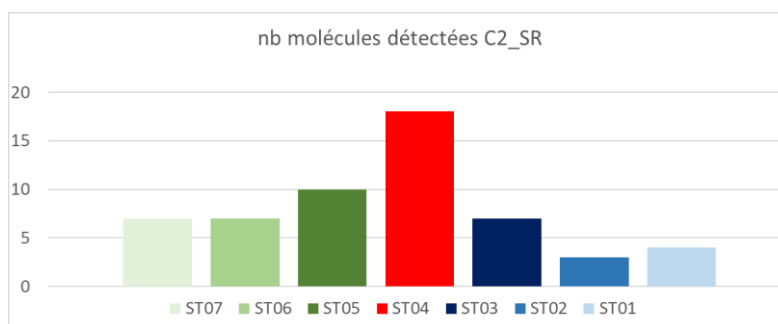


Figure 20 : Exemple de nombre de molécules détectées sur les MS campagne 2, BV1

Si on regarde l'évolution des concentrations le long du continuum dans les membranes, on retrouve cette gradation d'amont vers ST04, puis une diminution voir selon les molécules une non détection, dans les eaux marines. C'est l'exemple présenté dans la Figure 21 sur le piperonyl butoxyde (agent synergisant, associé aux phytopharmaceutiques, sans effet pesticide).

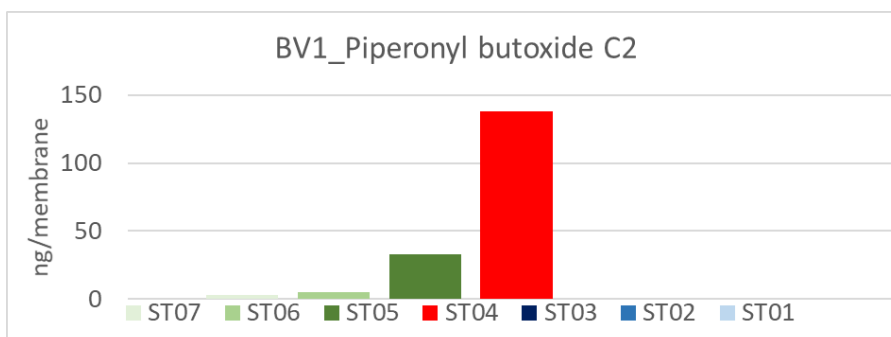


Figure 21 : Evolution des concentrations dans les MS, exemple du piperonyl butoxyde, BV1_campagne 2

Comme montré pour les POCIS, le profil spécifique du BV2 (Ourovéni) est confirmé sur les MS pour différentes molécules phytopharmaceutiques encore en usage comme le diflufenicanil (herbicide) et le biphenyl (biocide, agent conservateur pour les agrumes), (Figure 22) avec un apport dans la zone intermédiaire (ST06), plus marqué que dans la partie aval de la rivière (ST04).

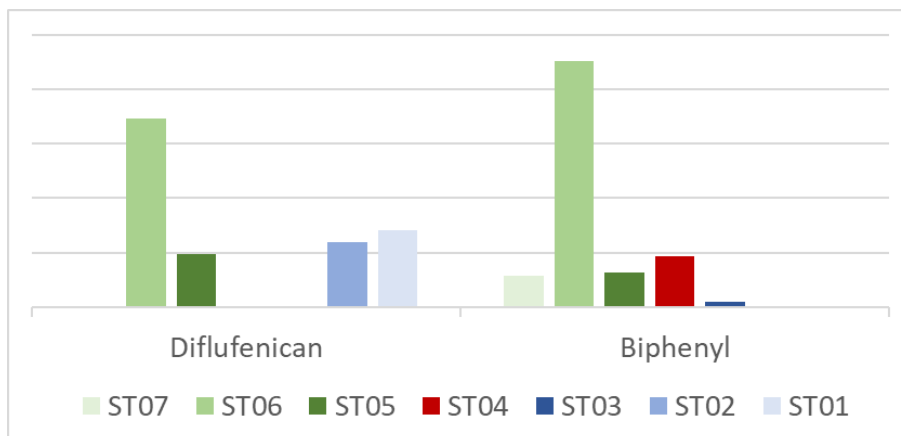


Figure 22 : Evolution des concentrations dans les MS, exemple du diflufenicanil et du biphenyl, BV2 campagne 1

Pour certaines molécules néanmoins, ce gradient n'est pas mis en évidence, posant la question d'une origine naturelle de la substance (ex anthraquinone, Figure 23 qui est non seulement un pesticide mais aussi une substance naturelle produite par certaines plantes et insectes). Une plante endémique de Mayotte le Noni (*Morinda citrifolia*), que l'on retrouve sur les côtes, est connue pour être très concentrée en anthraquinone, utilisé en médecine traditionnelle en Asie.

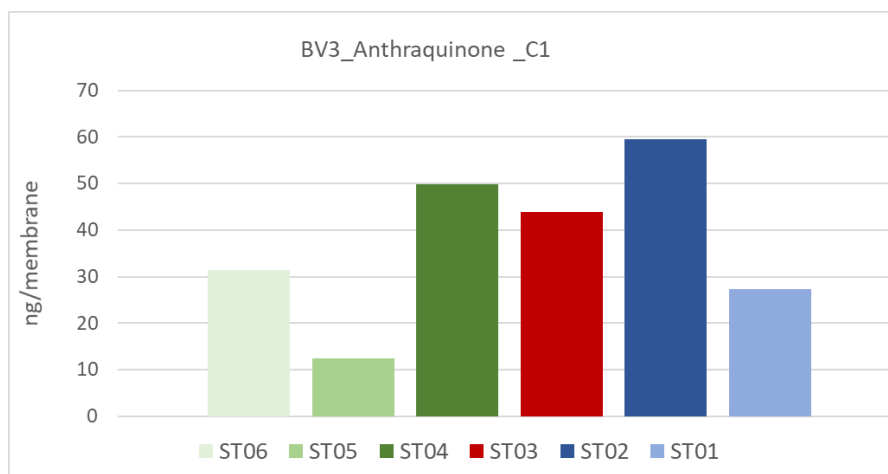


Figure 23 : Evolution des concentrations dans les MS, exemple de l'anthraquinone, BV3 campagne 1

3.2.6. SBSE (contaminants organiques hydrophobes)

HAPs

Afin de pouvoir comparer les deux campagnes, les résultats sont présentés en ne prenant pas en compte les concentrations de naphthalène et 1-méthyl-naphthalène, car les échantillons prélevés lors de la deuxième campagne ont été sans doute contaminés lors des opérations terrain (et/ou laboratoire) par ces deux composés.

	Maré	Ourovéni	Gouloué	Hors Lagon
Etiage 2021	12,8	27,8	49,5	< LQ
Hautes Eaux 2022	50	62,2	47,6	5,5

Tableau 12 : Somme des HAPs mesurés par SBSE en ng/L

La somme des HAPs (Tableau 12) indique :

- à part pour le bassin de Gouloué (peu de variations), les concentrations en HAPs augmentent pendant la saison des hautes eaux ;
- pendant l'étiage c'est à Maré que les concentrations sont les plus faibles et à Gouloué les plus élevées, tandis que pendant la saison des pluies c'est Ourovéni qui se caractérise par les concentrations les plus fortes alors qu'il y a peu de différence entre Maré et Gouloué.

On ne note pas de tendance d'évolution « terre-mer » pour les 3 bassins (Figure 24). A Maré, c'est aux stations « aval rivière » et « centre lagon » que les concentrations sont, en étiage, les plus élevées. A Ourovéni, les concentrations restent faibles et varient relativement peu le long du continuum, quelle que soit la saison. A Gouloué, pour les 2 campagnes, les concentrations varient peu, sauf à la station estuaire où les concentrations sont les plus élevées.

Sur les 24 composés recherchés (Annexe 7), c'est dans le bassin de Maré que l'on retrouve le plus de composés (aux stations « aval rivière » en étiage et « estuaire » en crue), tandis que c'est à Ourovéni que l'on en retrouve le moins. A Gouloué, c'est à la station « aval rivière » que le plus de composés ont été quantifiés, quelle que soit la saison.

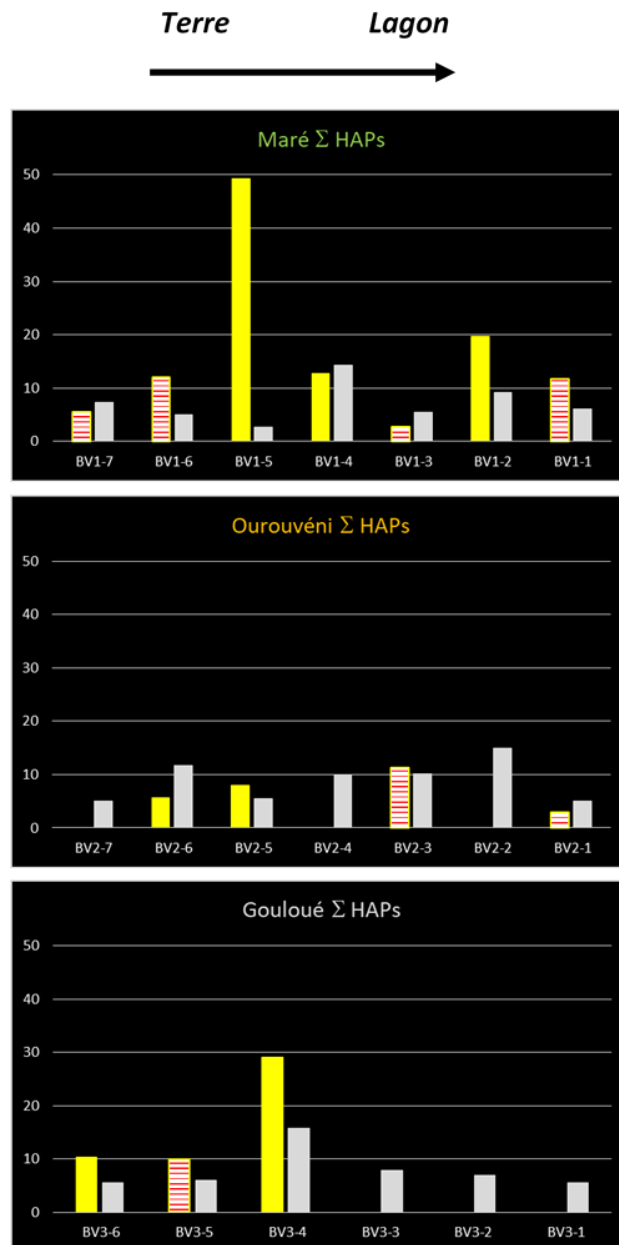


Figure 24 : Evolution "terre-mer" de la somme des concentrations en HAPs (en jaune: étiage 2021; en gris saison des pluies 2022; hachures rouges: somme des concentrations <LQ)

PCBs

La somme des PCBs (Tableau 13) montre que dans la majorité des cas, aucun des 14 PCBs recherchés (Annexe 3) n'a pu être quantifié (LQ= 0,5 ng/L). Il n'y a que dans le bassin de Gouloué, en étiage, que des concentrations en PCB 118 ont pu être mesurées à la station "Centre Lagon".

	Maré	Ourovéni	Gouloué	Hors Lagon
Etiage 2021	< LD	< LD	0,52	< LD
Hautes-Eaux 2022	< LQ	< LD	< LD	< LD

Tableau 13 : Somme des PCBs mesurés par SBSE, en ng/L ; LQ limite de quantification, LD limite de détection (= LQ/3)

Concernant ces composés, aucune tendance n'a été mise en évidence.

Pesticides par SBSE

La période des pluies se caractérise par une diminution très nette de la somme des pesticides mesurés (Tableau 14), ce qui pourrait être le résultat de la dilution des apports et de la réduction des applications. Durant l'étiage, c'est dans le bassin de Gouloué que la somme des concentrations est largement plus élevée, notamment à la station "Estuaire" (Figure 14). Aune tendance d'évolution amont-aval n'est mise en évidence.

	Maré	Ourovéni	Gouloué	Hors Lagon
Etiage 2021	23,7	11,2	57,4	2,1
Hautes-Eaux 2022	3,5	5,3	0,8	< LD

Tableau 14 : Somme des pesticides mesurés par SBSE en ng/L

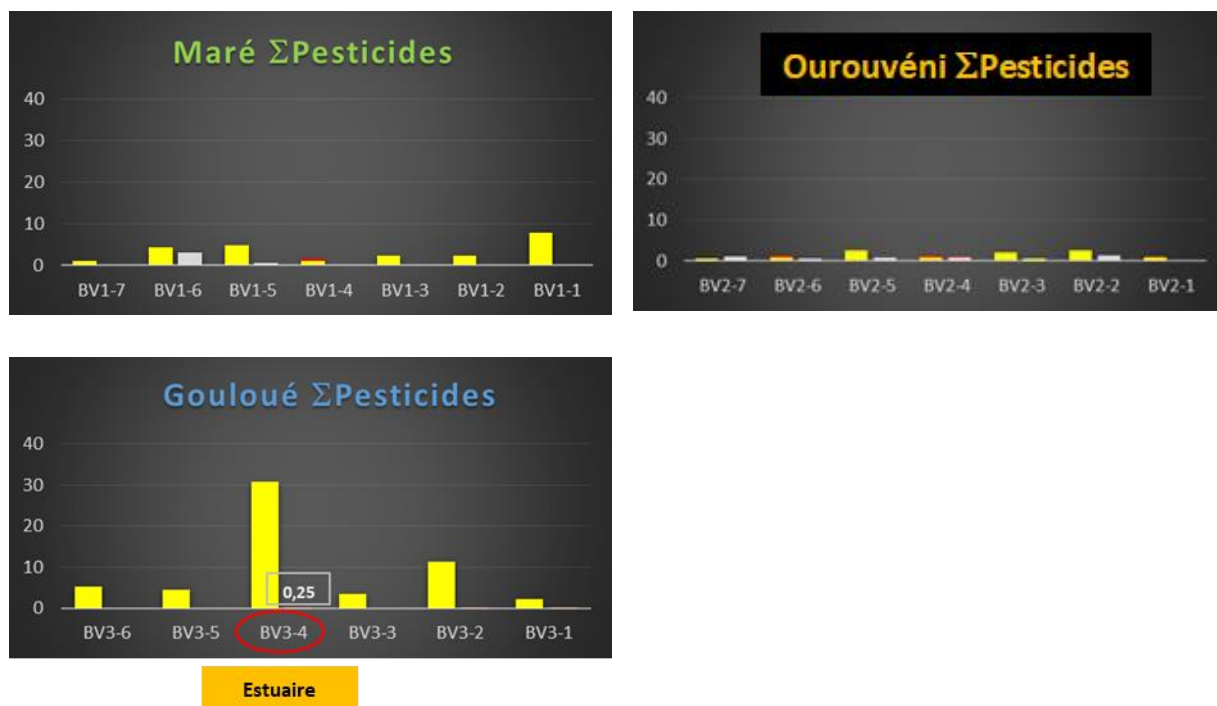


Figure 25 : Evolution "continuum Terre-Mer" de la somme des concentrations (ng/L) en pesticides mesurés par SBSE (en jaune : étiage ; en gris : crues)

Sur les 35 pesticides recherchés (Annexe 3), seuls quelques composés ont été quantifiés (Annexe 8). Dans l'ensemble, c'est en Juin-Juillet que le plus de pesticides sont mesurés (période d'application et/ou concentration liée à l'étiage). Comme vu précédemment, c'est aussi à cette période que la somme des concentrations est la plus élevée.

Il n'y a que quelques pesticides quantifiés dans chaque bassin, en général différents d'un bassin à un autre et au sein d'un même bassin, différents d'une saison à une autre (Annexe 8). L'aldrine est la substance majoritaire des bassins versants d'Ourovéni et de Gouloué en période d'étiage. A cette période, le bassin de Maré se caractérise par des concentrations relativement élevées de métolachlore (dés herbant) quasiment tout le long du continuum.

Alkylphénols

Deux composés ont été recherchés par la technique SBSE : le 4-tert-octylphénol et le 4-nonylphénol. Ces composés sont surtout produits et utilisés comme détergents, additifs de carburant, de lubrifiants, ou pour la production de polymères (pneus, résines...). Ils peuvent aussi être utilisés dans d'autres applications (parfums, élastomères thermoplastiques, matériaux retardateurs de flamme, etc.).

	Maré	Ourovéni	Gouloué	Hors Lagon
Etiage 2021	< LQ	< LD	3,1	< LD
Hautes-Eaux 2022	< LQ	< LQ	< LQ	< LD

Tableau 15 : Somme des alkylphénols mesurés par SBSE en ng/L

Les résultats indiquent (Tableau 15), que comme dans le cas des PCBs, le bassin versant de Gouloué est le seul où du 4-tert-octylphénol a été quantifié (3,07 ng/L), à la station « Estuaire » (BV3-4).

PBDE

Parmi les 7 composés mesurés (Annexe 3), aucun n'a pu être quantifié (Tableau 16), malgré des LQ relativement basses (1 ng/L).

	Maré	Ourovéni	Gouloué	Hors Lagon
Etiage 2021	< LD	< LD	< LQ	< LD
Hautes-Eaux 2022	< LD	< LD	< LD	< LD

Tableau 16 : Somme des PBDE mesurés par SBSE en ng/L

TBT

Le bassin versant de Maré est le seul où le TBT a pu être quantifié (Tableau 17), notamment pendant la campagne en période de crue, à 3 stations (de l'ordre de 1 ng/L à chaque station) : « Amont », « Centre » et « Aval » rivière. Il est à noter que la station « Récif frangeant » est la seule où du TBT a été mesuré en période d'étiage.

	Maré	Ourovéni	Gouloué	Hors Lagon
Etiage 2021	0,7	< LD	< LD	< LD
Hautes-Eaux 2022	3,1	< LD	< LD	< LD

Tableau 17 : Somme des concentrations en TBT mesurées par SBSE en ng/L

A titre de comparaison, des concentrations en TBT de l'ordre de 8 et 6 ng/L ont été mesurées respectivement, par la même technique, dans les zones portuaires de St Mandrier (plaisance) et le port de Toulon.

3.3. BILAN DES COMPOSES RETROUVES

3.3.1. Principaux résultats de la présente étude à Mayotte

Un grand nombre de molécules correspondant à l'usage de produits pharmaceutiques ont été détectés dans les POCIS. Pour certains d'entre eux, c'est à notre connaissance, la première fois que ces molécules sont identifiées, et ce grâce à l'utilisation de l'analyse non ciblées, qui permet une recherche sans a priori. L'origine de cette présence est fortement liée à l'absence d'assainissement ou l'assainissement non collectif ainsi qu'aux potentiels dysfonctionnements des stations d'épuration. Une source d'information d'intérêt aurait pu être les acquisitions de mesures dans le cadre de la réglementation RSDE (Réduction des Substances Dangereuses dans les Eaux) qui n'est à ce jour pas mise en place à Mayotte.

Concernant les résultats obtenus sur les membranes silicone, ce sont principalement des substances phytopharmaceutiques qui ont été recherchées. Le Tableau 17 présente pour les molécules retrouvées, leur fréquence de quantification (sur au moins 1 station du BV, lors des 2 campagnes).

Parmi les substances mesurées, certaines sont présentes sur tous les BV. On y retrouve des molécules d'usages autorisés (comme le fipronil biocide d'usage vétérinaire) ou le diflufénicanil, mais surtout beaucoup de molécules d'usages non autorisés – chlorpyrifos éthyl, endosulfan. La présence de ces dernières peut être due à la persistance de ces molécules dans les milieux longtemps après leur interdiction.

D'autres molécules sont détectées de manière moins systématique, sur l'un ou l'autre BV et l'une ou l'autre des deux campagnes.

	Usage PPP /autres	Autorisés	nb de BV	NB POSITIFS (sur 6 campagnes)
Aclonifen	Herbicide	OUI	3	4
Antraquinone	Fongicide/naturel	NON	3	2
Biphenyl	conservateur biocide	NON	3	6
Chlorpyrifos ethyl	Insecticide	NON	3	6
Cypermethrine	Insecticide	NON	3	6
Deltamethrine	Insecticide	OUI	3	4
Dieldrin	Insecticide	NON	3	5
Diflufenican	herbicide	OUI	3	5
Fenitrothion	Insecticide	NON	3	1
Fipronil	biocide	OUI	3	4
Gamma-HCH	Insecticide	NON	3	3
Heptachlor	Insecticide	NON	3	5
o,p'-DDD	Insecticide	NON	3	3
o,p'-DDT	Insecticide	NON	3	3
p,p'-DDD	Insecticide	NON	3	4
p,p'-DDE	Insecticide	NON	3	4
p,p'-DDT	Insecticide	NON	3	4
Piperonyl butoxide	Synergisant	OUI	3	4
Propoxur	Insecticide	NON	3	1
dicofol (4,4'-Dichlorobenzophenone)	Insecticide	NON	2	4
Endosulfan sulfate	Insecticide	NON	2	3
Flurochloridone	herbicide	OUI	2	2
Methoxychlor	Insecticide	NON	2	2
o,p'-DDE	Insecticide	NON	2	2
Oxadiazon	herbicide	NON	2	3
Pendimethalin	herbicide	OUI	2	2
Pyrimethanil	Fongicide	OUI	2	2
Aldrin	Insecticide	NON	1	2
Alpha-Endosulfan	Insecticide	NON	1	2
Alpha-HCH	Insecticide	NON	1	2
Beta-Endosulfan	Insecticide	NON	1	2
Beta-HCH	Insecticide	NON	1	2
Bifenox	herbicide	OUI	1	1
Bromophos ethyl	Insecticide	NON	1	2
Bromophos methyl	Insecticide	NON	1	2
Bromopropylate	Insecticide	NON	1	1
Cadusafos	Insecticide	NON	1	2
Carbophenothion	Insecticide	NON	1	1
Chlorfenvinphos	Insecticide	NON	1	1
Chloropyrifos methyl	Insecticide	NON	1	2
Delta-HCH	Insecticide	NON	1	2
Diazinon	Insecticide	NON	1	2
Dichlorvos	Insecticide	NON	1	1
Endrin	Insecticide	NON	1	1
Epsilon-HCH	Insecticide	NON	1	1
Heptachlor epoxide Cis B	Insecticide	NON	1	1
Heptachlor epoxide Trans A	Insecticide	NON	1	1
Hexachlorobenzene	Fongicide	NON	1	1
Isodrin	Insecticide	NON	1	1
Lambda-Cyhalothrine	Insecticide	OUI	1	2
Parathion ethyl	Insecticide	NON	1	1
Pentachlorobenzene	industrie/synthèse	NON	1	1
Phosalone	Insecticide	NON	1	1
Trifluraline	herbicide	NON	1	1

Tableau 18 : Nombre de quantification des phytopharmaceutiques analysées sur les MS

Concernant les analyses sur les EIP POCIS, un nombre total de 75 différents composés a été détecté. On retrouve à la fois des composés phytosanitaires (certains encore autorisés, ou d'autres interdits parfois depuis de nombreuses années), mais aussi des produits pharmaceutiques, des biocides, et des substances marquant l'activité anthropique au sens large, comme des plastifiants, des anti-corrosifs, etc.

Le Tableau 18 présente les molécules les plus fréquemment détectées, sur au moins une des stations du continuum, par BV.

Certaines molécules ont été systématiquement détectés dans toutes les campagnes

Molécules	usage	nb BV	nb /6
Caféine	pharm	3	6
Lidocaïne	pharm	3	6
Bisphénol S	IND	3	6
Albendazole	Pharm	3	6
Atrazine	PHY	3	6
Carbendazim	PHY	3	6
Diclofénac	pharm	3	6
Fipronil sulfone	biocide	3	6
Fipronil	biocide	3	6
Tolyltriazole	IND	3	5
2,6' diethylacetanilide (VII)	PHY	3	5
Paracétamol	pharm	3	5
Carbamazépine	pharm	3	5
Propiconazole	PHY	3	5
Lamotrigine	pharm	3	5
Métoprolol	pharm	3	5
Terbutryne	PHY	3	4
Sucralose	PCP	3	4
Benzotriazole	IND	2	4
Irbesartan	pharm	2	4
Cetirizine	pharm	3	3

Molécules	usage	nb BV	nb /6
Cotinine	PPCP	3	3
Hexaconazole	PHY	3	3
Theophylline	PCP	3	3
Fenpropimorphe	PHY	3	3
N,N-Diethyltoluamide (DEET)	biocide	3	3
PFOS	IND	3	3
Terbutylazine Desethyl	PHY	3	3
Imazalil = enilconazole	PHY	3	3

Tableau 19 : Liste des composés les plus détectés dans les POCIS sur l'ensemble de l'étude, par Bassin versant et sur le total des campagnes (PHARM Pharmaceutiques et produits de dégradation) , PHY Phytosanitaire et produits de dégradation, ind. substances industrielles marqueur anthropique, PCP produits de la vie courante

D'autres molécules sont retrouvées moins systématiquement sur un ou deux bassins versants et l'une ou l'autre des campagnes (Tableau 20).

Molécules	usage	nb BV	nb /6	Molécules	usage	nb BV	nb /6
Tramadol	pharm	2	3	Acetamiprid	PHY	1	1
Codeine	Pharm	2	3	Atenolol	pharm	1	1
10,11 dihydrocarbamazepine	pharm	2	2	Azoxystrobine R234886	PHY	1	1
Fenbendazole	pharm	2	2	Bromoxynil	PHY	1	1
Metolachlore	PHY	2	2	Irbesartan impurety A	pharm	1	1
O Desmethylnaproxen	pharm	2	2	Nicosulfuron	PHY	1	1
Metalaxyl	PHY	2	2	O-desmethylenlafaxine	pharm	1	1
Levamisole	pharm	2	2	Quetiapine	PHY	1	1
Dinoterb	PHY	2	2	Theobromine	PCP	1	1
2' ethyl 6' methylacetanilide (X)	PHY	2	2	Trimethoprim	pharm	1	1
Terbutylazine-2-hydroxy	PHY	2	2	2 hydroxy ibuprofene	pharm	1	1
19-norethindrone	pharm	2	2	Acesulfam	PCP	1	1
Boscalide	PHY	2	2	Ametoctradin	PHY	1	1
Codeine 6b glucuronide	pharm	2	2	Clarithromycin	pharm	1	1
Furosemide	pharm	2	2	Difeconazole	PHY	1	1
Naproxen	pharm	2	2	Diuron	PHY	1	1
Thiabendazole	PHY	2	2	Erythromycin	pharm	1	1
Azoxystrobine	PHY	1	2	Estrone (E1)	naturel	1	1
Fexofenadine	PHY	1	2	Oxazepam	pharm	1	1
Hydrochlorothiazide	pharm	1	2	Progesterone	naturel	1	1
Sulfamethoxazole	pharm	1	1	Bisoprolol	pharm	1	1
Tetraconazole	PHY	1	1	Spiroxamine	PHY	1	1
Flusilasole	PHY	1	1	Tebuconazole	PHY	1	1

Tableau 20 : Liste des composés détectés au moins une fois dans les POCIS sur l'ensemble de l'étude, par bassin versant et sur le total des campagnes

3.3.2. Comparaison avec des études antérieures réalisées à La Réunion

Des études précédentes ont été menées à la Réunion qui permettent quelques comparaisons, compte tenu de la proximité géographiques des 2 zones.

Pour les éléments métalliques, (Tableau 21), pour l'ensemble des MEC et MET (Gonzalez *et al*, 2010) et en saison sèche (2008) et humide (2009), seuls Co; Cr (en étiage) et Ni présentaient des concentrations dans les différents bassins versants supérieures aux moyennes mesurées dans les eaux réunionnaises.

Campagne sèche (octobre 2008)

	Cd ng/l	Co ng/l	Cu ng/l	Ni ng/l	Cr ng/l	Pb ng/l	Zn µg/l
Moy	10	19	297	268	86	96	0.5
DS %	49	65	34	28	68	36	62
<i>n</i>	29	35	41	38	31	22	27

Campagne humide (février-mars 2009)

	Cd ng/l	Co ng/l	Cu ng/l	Ni ng/l	Cr ng/l	Pb ng/l	Zn µg/l
Moy	7	21	233	251	36	83	0.7
DS %	63	105	61	32	103	51	76
<i>n</i>	28	38	48	46	30	31	35

*Tableau 21 : Concentrations DGT moyennes (Moy) et variabilité des mesures d'une masse d'eau à une autre (exprimée en pourcentage de la déviation standard: DS %). N représente le nombre de masses d'eau (MEC et MET) dans lesquelles les mesures ont été faites (Gonzalez *et al*, 2010).*

Lors de ces campagnes réunionnaises, des mesures par la technique POCIS avaient aussi été réalisées. Sur les 57 pesticides recherchés, seules 8 molécules ont été mesurées : l'atrazine, le diuron et ses métabolites (DCPMU, DCPU et 124-dichlorodiphénylurée), l'irgarol, l'isoproturon et la terbuthylazine à des niveaux de concentrations faibles. Les autres composés, faisant partie des substances prioritaires, n'avaient pas été détectés (alachlore, chlorfenvinphos, chlorpyrifos-ethyl, endosulfan, simazine, trifluraline). Les composés les plus présents étaient l'irgarol et le diuron qui sont deux herbicides utilisés dans certaines peintures anti-salissures pour les bateaux.

Les mesures d'alkylphénols ont montré que les 6 molécules recherchées (4-ter-Octylphénol, 4-Nonylphénol (4-NP), Acide Nonylphénoxy acétique, Bisphénol A (BPA), 4-Nonylphénol monoéthoxylé (NP1EO), 4-Nonylphénol diéthoxylé) étaient retrouvées à des niveaux plus ou moins importants. Globalement, les concentrations en alkylphénols dans l'eau ne dépassaient pas 50 ng/L sauf à deux stations. Les deux composés majoritairement retrouvés dans les masses d'eau étaient le 4-NP, le NP1EO. On retrouvait aussi le BPA sur un site pendant la saison humide.

Pour ces deux campagnes réunionnaises, les mesures SBSE indiquaient que pour les HAPs les plus légers (du naphthalène à l'acénaphène), les teneurs étaient relativement homogènes et significatives pour certaines stations. En particulier, les eaux réunionnaises se caractérisaient par des concentrations en naphthalène importantes (proches de 200 ng/L pour l'ensemble des sites de prélèvements en 2009 et environ 250 ng/L en 2008). Les autres HAPs n'étaient pas présents à toutes les stations, mettant en évidence des différences entre les sites étudiés et les périodes d'échantillonnage. En particulier, en 2009, les lagons contenaient des HAPs lourds (penta et hexa-aromatiques) à des niveaux pouvant être élevés.

La somme de l'ensemble des HAPs mesurés (Tableau 12) indique que c'était en période humide, dans les lagons de St Gilles et St Leu que les concentrations les plus élevées étaient atteintes, notamment du fait de la présence de HAPs « lourds » (benzo(b+k)fluoranthène, benzo(a)pyrène, benzo(g,h,i)pérylène...) qui n'étaient pas détectables en période sèche.

Sur la plupart des sites, peu de pesticides avaient pu être quantifiés à des niveaux significatifs. Seule la somme $\beta+\gamma$ -HCB (Hexachlorobenzène) présentait des valeurs importantes sur la majorité des points de prélèvements, notamment dans les MET. Les valeurs mesurées lors de la campagne en période humide (essentiellement $\beta+\gamma$ -HCB) étaient significativement plus faibles que celles de la période sèche.

Concernant les PCBs, ils étaient peu présents dans l'ensemble des stations. Seul le congénère 52 était quantifié sur plusieurs sites, et à des niveaux proches de la limite de quantification dans tous les cas. Un seul site, lors de la période humide (lagon de St Gilles) présentait d'autres PCBs (notamment le 169), mais également à des niveaux faibles.

3.4. SPECIFICITE PAR BASSIN VERSANT

Si l'on compare les résultats obtenus sur POCIS et eaux par screening non ciblés, représentant la plus grande gamme de composés d'usages différents, il n'est pas mis en évidence de discrimination notable entre les 3 BV (Figure 26).

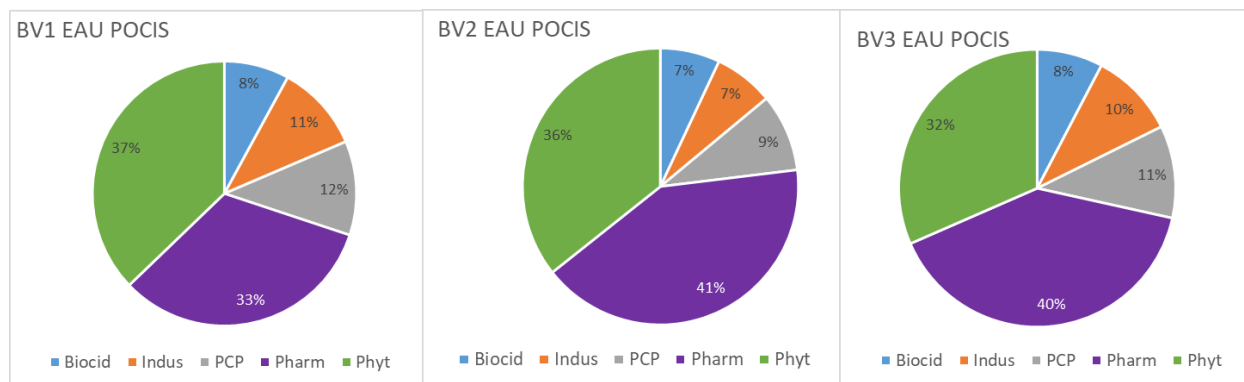


Figure 26 : Typologie par bassin versant des familles d'usage des molécules retrouvées sur POCIS et eaux par screening non ciblés, sur l'ensemble des campagnes et stations

Les concentrations en métaux ne mettent pas non plus en évidence de tendance très nette.

Le bassin versant de Gouloué est le seul où des PCBs et des alkylphénols ont été quantifiés en étiage. Celui de Maré est celui où le TBT a pu être quantifié, notamment pendant la campagne en période de crue.

Les stations aux signatures les plus « urbaines » sont :

- La ST4 pour le BV1 Maré avec les plus fortes concentrations en HAPs et métaux en période d'étiage comme en période de crue (pas de remarques particulières concernant les autres contaminants mesurés via SBSE)
- La ST6 pour le BV2 Orovéni avec de fortes concentrations en métaux pour les deux saisons
- La ST4 pour le BV3 Gouloué avec de fortes concentrations en métaux et HAPs pour les deux campagnes. Cette station est la seule où un AKP (alkylphénol) a été quantifié lors de la période d'étiage.

3.5. SPECIFICITE SAISONNIERE

Si l'on compare les résultats obtenus sur POCIS et eaux par screening non ciblés, représentant la plus grande gamme de composés d'usages différents, entre la campagne 1 (étiage 2021) et la campagne 2 (hautes eaux 2022), à nombre total de molécules détectées équivalent (respectivement 199 et 187), les profils de pression diffèrent quelque peu. En étiage (C1), la part des phytosanitaires est plus faible qu'en hautes eaux (C2) et la part des substances pharmaceutiques montre le phénomène inverse (Figure 27).

Cela peut s'expliquer par le phénomène de dilution des rejets urbains, porteurs des substances pharmaceutiques en période de hautes eaux, tandis que pour la même période les apports des substances phytosanitaires par le lessivage des sols sont accrus par les pluies.

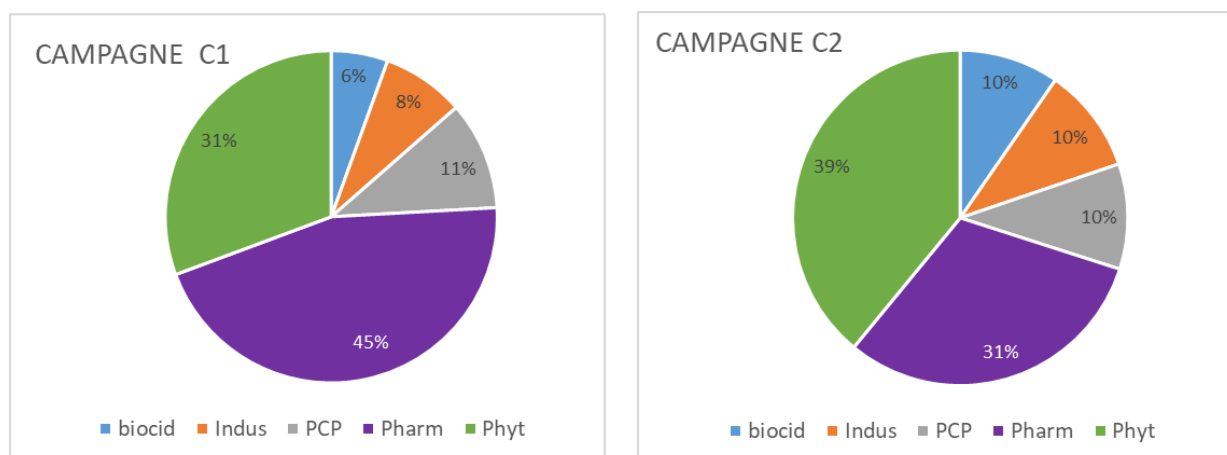


Figure 27 : Typologie par campagnes des familles d'usage des molécules retrouvées sur POCIS et eaux par screening non ciblés, sur l'ensemble des campagnes et stations

Il reste difficile de programmer des campagnes de prélèvements correspondant aux objectifs hautes eaux / basses eaux, car il n'y pas d'anticipation possible des périodes de pluie.

Les informations apportées par les membranes silicone sont peu discriminantes (Figure 28).

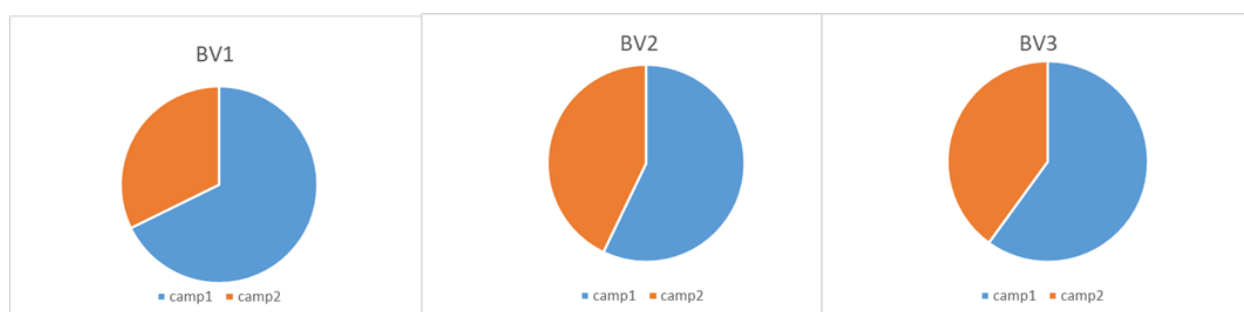


Figure 28 : Nombre de molécules quantifiées par campagne sur les membranes silicone, sur l'ensemble des BV et stations

L'évolution des teneurs en métaux n'indique pas de tendance saisonnière particulière, en fonction des éléments, pour certains, quel que soit le bassin, les concentrations moyennes diminuent lors de la saison des pluies, tandis qu'elles augmentent pour d'autres.

En ce qui concerne les HAPs, à part pour le bassin de Gouloué (peu de variations), dans les 2 autres bassins, la somme des HAPs mesurés augmente pendant la saison des hautes eaux.

A l'inverse, pour les pesticides mesurés par SBSE, la période des pluies se caractérise par une diminution très nette de la somme des pesticides mesurés, ce qui pourrait indiquer les effets de la dilution des apports et de la diminution des applications.

3.6. COMMUNICATION ET DISSEMINATION DES RESULTATS - COMMUNICATION ASSOCIEE AU PROJET

Ce projet a fait l'objet de plusieurs communications :

- Des pages de présentation sur les sites respectifs du Parc Naturel Marin de Mayotte (<https://parc-marin-mayotte.fr/>) et du BRGM (<https://www.brgm.fr/fr>).



Afin d'améliorer la connaissance des pressions sur des masses d'eaux de surface à fort enjeu, le BRGM, l'Ifremer et le Parc naturel Marin de Mayotte ont réalisé un suivi des contaminants chimiques sur trois bassins versants possédant les trois types de sources de contamination potentiellement présentes à Mayotte (domestique, agricole, industrielle) le long d'un continuum terre-mer (rivière, estuaire et lagon). L'originalité du projet a consisté en l'utilisation d'Échantillonneurs Intégratifs Passifs (EIP) et de techniques analytiques non ciblées.

1 septembre 2022

- Un film a été réalisé durant la campagne de juin et juillet 2021 par le PNMM. Ce film est consultable sur le site internet du PNMM ([L'étude des contaminants du continuum terre-mer | Parc naturel marin Mayotte \(parc-marin-mayotte.fr\)](http://L'étude des contaminants du continuum terre-mer | Parc naturel marin Mayotte (parc-marin-mayotte.fr))).
- Des articles dans la presse locale. Un article a été publié le 7 février 2022 dans le Flash Info ainsi que dans le Mayotte Hebdo dont l'article est à retrouver sur leur [site web](#).



Fl n° 5160 Lundi 7 février 2022 St Eugénie Smet

ENVIRONNEMENT

CLAP DE FIN POUR LE PREMIER SUIVI DES POLLUTIONS CHIMIQUES EN CONTINUUM TERRE-MER À MAYOTTE

Ce même article a été relayé sur le site internet [Outre-mer 360 °](#).

Mayotte : Clap de fin pour le premier suivi des pollutions chimiques en continuum terre-mer

BASSIN-INDIEN-APPLI

PLANÈTE

FIL INFO 2021

FIL INFO

Jean-Tenahe FAATAU

07/02/2022

~2 min lecture

Depuis l'année 2009, le parc naturel marin de Mayotte suit les pollutions chimiques dans le lagon. En 2018, le projet en continuum terre-mer voit le jour en lien avec le BRGM. Pendant quatre ans, les équipes à terre et en mer ont analysé les polluants présents dans les eaux de l'île aux parfums. Explications de notre partenaire Mayotte Hebdo.

- Groupes de travail et Comité de Pilotage :

Le comité de pilotage s'est réuni officiellement et au complet les 21/06/2019 et 16/12/2020 mais les différents membres se sont réunis de nombreuses fois en visioconférence tout le long du projet. De nombreux points d'avancement du projet ont été effectués lors des réunions du GT-ELIT (groupe de travail du PNM Mayotte sur la DCE) les 23/10/2019, 09/02/2022 et 08/12/2022 ainsi qu'aux séminaires annuels de la DCE dans les outre-mer organisés au siège de l'Office Français pour la Biodiversité.

Enfin, à l'issue de cette étude, il est prévu de rédiger au moins un article qui sera publié dans une revue scientifique et la participation à un colloque est envisagée afin d'en valoriser les résultats.

4. Conclusions

L'étude menée a visé les 3 principaux bassins versants anthropisés de l'île de Mayotte, identifiés lors d'une première étude de screening. L'utilisation des échantillonneurs intégratifs passifs a permis de documenter la présence de métaux, de phytosanitaires, de médicaments mais aussi de composés utilisés dans la vie courante, marqueurs de l'activité humaine. Cela a permis de mettre en évidence des contaminations, plutôt faibles par rapport à d'autres contextes nationaux, mais marquant tout de même une pression anthropique croissante.

Ces travaux permettent d'avoir une première vision des pollutions, pour certaines anciennes (comme celles par les insecticides organochlorés qui ne sont plus autorisés) mais aussi récente, comme celles en médicaments apportées par les rejets d'eaux usées.

L'étude des continuums des parties les plus amont des bassins, comme les retenues collinaires de Dzoumogné et Combani, montre un gradient de contamination de l'amont vers l'aval, retranscrivant l'implantation de populations le long des rivières. Elle montre aussi la présence de pollution jusque dans le lagon, réceptacle final des pollutions, malgré le phénomène de dilution.

L'utilisation nouvelle de l'approche non ciblée a permis de mettre en évidence un certain nombre de substances jamais identifiées sur Mayotte et ainsi de pouvoir orienter la surveillance des bassins selon les pressions réellement présentes et qui pourraient croître au cours des années à venir. Un certain nombre de pesticides, d'usage interdit, sont quantifiés, soit en lien avec les anciens usages et la persistance des molécules dans les compartiments environnementaux, soit comme cela a déjà été montré par les autorités, à cause de l'introduction et de l'utilisation dans l'île de molécules pour des usages non approuvés.

La présence de molécules pharmaceutiques mais aussi de molécules marquant les usages anthropiques (parabènes, triazoles, bisphénols...) met en lumière la faiblesse des infrastructures de récupération et de traitement des eaux usées. L'accroissement des populations va amplifier ce phénomène, qui pourrait être spécifiquement étudié par un suivi des rejets des stations d'épuration et de l'assainissement non collectif.

Le suivi réglementaire de la qualité des eaux de Mayotte de par sa situation particulière et les pressions spécifiques qui la caractérise, nécessite une adaptation, qui est permise par l'arrêté local ; celui-ci pourra être mis à jour par les données acquises dans cette étude. En effet, la majorité des analyses effectuées dans cette étude permet uniquement une vision qualitative de la situation, qui doit être étayée par des suivis plus réguliers avec l'acquisition de mesures quantitatives et donc une évaluation effective du risque potentiel pour l'environnement.

Les données obtenues permettront néanmoins d'ores et déjà d'échanger avec les différents services de l'état, pouvant intervenir soit à la source (pratiques agricoles, limitation des intrants et des mésusages), soit dans l'atténuation (renforcement des réseaux d'assainissement, efficacité des traitements). La préservation des ressources en eau est un enjeu majeur pour Mayotte, que ce soit pour les eaux douces (eaux de surface et eaux souterraines), mais aussi pour les eaux marines par la préservation de la qualité et donc de la biodiversité des eaux du Lagon.

5. Références

- Arditsoglou A. and Voutsas D. (2008). Passive sampling of selected endocrine disrupting compounds using polar organic chemical integrative samplers. *Environmental Pollution*, 156, 316-324.
- Bersuder P., Amouroux I., Belzunce-Segarra M-J., Bolam T., Caetano M., Carvalho I., Correia Dos Santos M., Fones G. R., Gonzalez J-L., Guesdon S., Larreta J., Marras B., McHugh B., Menet-Nédélec F., Menchaca I., Gabet Millán V., Montero N., Nolan M., Regan F., Robinson C. D., Rosa N., Sanz Rodrigo M., Rodríguez J. G., Schintu M., White B., Zhang H. (2021). Concurrent sampling of transitional and coastal waters by Diffusive Gradient in Thin-films (DGT) and spot sampling for trace metals analysis. *Methods X*, 8, 101462 (14p.). <https://doi.org/10.1016/j.mex.2021.101462>
- Caetano M., Correia Dos Santos M., Rosa N., Carvalho I., Rodríguez J. G., Belzunce-Segarra M-J, Menchaca I., Larreta J., Sanz Rodrigo M., Millán-Gabet V., Gonzalez J-L, Amouroux I., Guesdon S., Menet-Nédélec F., White B., Regan F., Nolan M., McHugh B., Bersuder P., Bolam T., Robinson C. D., Fones G. R., Zhang H., Schintu M., Montero N., Marras B. (2022). Metals concentrations in transitional and coastal waters by ICPMS and voltammetry analysis of spot samples and passive samplers (DGT). *Marine Pollution Bulletin*, 179, 113715 (15p.).
- Dabrin A., Ghestem J. -P., Uher E., Gonzalez J-L., Allan I. J., Schintu M., Montero N., Balaam J., Peinerud E., Miege C., Coquery M. (2016). Metal measurement in aquatic environments by passive sampling methods: Lessons learning from an in situ intercomparison exercise. *Environmental Pollution*, 208, 299-308. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.08.049>
- DEAL Mayotte, PARETO, Ifremer (2012). Réseau Hydrologique du Littoral Mahorais – rapport final campagne novembre 2011, 104 pages + annexes
- Gonzalez J-L. (2012). Formation à l'utilisation des techniques d'échantillonnage passif (DGT, POCIS, SBSE) en milieu marin : journées de formation et guide terrain. Rapport final, Convention Ifremer/AQUAREF 2011. 31p.
- Gonzalez J-L., Amouroux I., Guesdon S., Menet-Nedelec F., Ponzevera E., Montero N., Marras B., Schintu M., Caetano M., Correia Dos Santos M., Rodrigo Sanz M., Millán Gabet V., Rodríguez J. G., Belzunce-Segarra M-J., Larreta J., Menchaca I., Bersuder P., Bolam T., Regan F., White B., Zhang H. (2022). An international intercomparison exercise on passive samplers (DGT) for monitoring metals in marine waters under a regulatory context. *Science of The Total Environment*, 847, 157499 (10p.). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157499>
- Gonzalez J.-L., Foan L., Montero N., Belzunce Segarra M-J. (2016). "Large scale" application of the passive samplers and evaluation of DGT technique as a monitoring tool for the assessment of the chemical status of water bodies". VALLE C, AGUILAR J, ARECHAVALA P, and al. (Ed.). 2016. Libro de Resúmenes. V Simposio Internacional de Ciencias del Mar. Universidad de Alicante, Alicante. 343 pp. ISBN: 978-84-16724-16-1. pp.142-143.

Gonzalez J-L., Tapie N., Budzinski H., Guyomarch J., Crenn V., Bretaudeau-Sanjuan J. (2009). Première évaluation des niveaux de contamination chimique des eaux littorales guyanaises dans le cadre de la préparation du volet "chimie" du contrôle de surveillance DCE - campagne Novembre 2008. Rapport final, Convention IFREMER / DIREN Guyane contrat n° 07/5 210 962/F, 42p.

Gonzalez J-L., Tapie N., Guyomarch J., Budzinski H. (2011). PROJET PEPS Guyane - Evaluation de la contamination chimique des eaux guyanaises par les techniques d'échantillonnage passif: Application et soutien à la mise en place de la DCE. Campagnes Juillet et Novembre 2010. Convention IRD / Ifremer 2010, 45 p.

Gonzalez J-L., Turquet J., Cambert H., Budzinski H., Tapie N., Guyomarch J. et Andral B. (2010) PROJET PEPS La Réunion (Pré étude: Echantillonnage Passif pour la Surveillance de la contamination chimique) : Mise en place d'échantillonneurs passifs pour la caractérisation de la contamination chimique des masses d'eau côtières réunionnaises. Rapport final, Convention IFREMER / DIREN n°07/1216859/TF. 89p.

Gonzalez J-L., Munaron D., Podeur C., Tapie N., Budzinski H., Montero N., Belzunce M-J. (2012). Contribution au développement et à l'amélioration des techniques d'échantillonnage passif (DGT et POCIS). Rapport AQUAREF 2011. 61p.

Gourlay C. et Gonzalez J-L. (2010). L'utilisation des échantillonneurs passifs. Une nouvelle méthode pour évaluer la contamination chimique des masses d'eau. TSM, Techniques Sciences Méthodes, (3), 24-35. <https://doi.org/10.1051/tsm/201003024>

Huckins J. N., Petty J. D., Lebo J. A., Almeida F. V., Booij K., Alvarez D. A., Cranor W. L., Clark R. C. and Mogensen B. B. (2002). Development of the permeability/performance reference compound approach for in situ calibration of semipermeable membrane devices. Environ. Sci. Technol, 36 (1), 85–91.

Mangion P. et al, Etat des lieux initial et définition d'une stratégie de surveillance de la qualité des eaux littorales du Parc Naturel Marin des Glorieuses, UMR Entropie, 65pp

Mathon B., Dabrin A., Allan I., Lardy-Fontan S., Togola A., Ghestem J-P., Tixier C., Gonzalez J-L., Ferreol M., Dherret L., Yari A., Richard L., Moreira A., Eon M., Delest B., Noel-Chery E., El Moussaoui M., Alasonati E., Staub P-F., Mazzella N., Miede C. (2022). Surveillance prospective – évaluation de la pertinence des échantillonneurs intégratifs passifs (EIP) pour la surveillance réglementaire des milieux aquatiques. Rapport AQUAREF 2022–175p.

Mazzella N., Dubernet J-F. and Delmas F. (2007). Determination of kinetic and equilibrium regimes in the operation of polar organic chemical integrative samplers: application to the passive sampling of the polar herbicides in aquatic environments, Journal of Chromatography A, 1154, 42–51.

Montero N., Belzunce-Segarra M-J., Gonzalez J-L., Larreta J., Franco J. (2012). Evaluation of Diffusive Gradients in Thin-Films (DGTs) as a monitoring tool for the assessment of the chemical status of transitional waters within the Water Framework Directive. Marine Pollution Bulletin, 64(1), 31-39. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.10.028>

Nehlig P., Lacquement F., Bernard J., Audru J.-C., Caroff M., Deparis J., Jaouen T., Pelletier A.-A., Perrin J., Prognon C., Vittecoq B., Notice explicative de la carte géologique Mayotte à 1/30 000, 2013, BRGM Editions, Service géologique national.

PARETO, ARDA, IFREMER (2015). Réseaux de surveillance : suivi des contaminants chimiques par échantillonneurs passifs 2015 – campagne n°3: avril - mai 2015 – Contaminants chimiques. Rapport de fin de mission – Août 2015, 23 pages + annexes.

Turquet J., Gonzalez J-L., Cambert H. et Jamon A. (2009) Définition des réseaux de surveillance « qualité des masses d'eau côtières » de Mayotte, Rapport intermédiaire 2009, 17p.

Turquet J., Nicet J-B., Cambert H., Denis Y., Gonzalez J-L., Bigot L., Guyomarch J., Budzinski H., Tapie N., Jamon A., Pribat B. (2010a) Définition des réseaux de surveillance DCE de la qualité des masses d'eau côtières de l'île de Mayotte - Rapport final Tome 1 Synthèse et propositions. N° HASAR091005-2.

Turquet J., Nicet J-B., Cambert H., Denis Y., Gonzalez J-L., Bigot L., Guyomarch J., Budzinski H., Tapie N., Jamon A., Pribat B. (2010b) Définition des réseaux de surveillance DCE de la qualité des masses d'eau côtières de l'île de Mayotte - Rapport final Tome 2 Cartographie des données DCE par masse d'eau. N° HASAR091005-2.

ANNEXES

Annexe 1

Paramètres hydrologiques relevés lors de la pose et récupération des EIP

Campagne Juin-Juillet 2021

type manip	Date	Heure	Station	stations marines				stations terrestres						
				profondeur (m)	température (°C)	Salinité	O ₂ (mg/L)	Heure	Station	pH	Température (°C)	Conductivité (µS/cm)	O ₂ (mg/L)	
pose EIP	30/06/21	11:00	HL	1	26,6	34,68	6,58	12:11	BV1-7	5,91	25	124	4,7	
	30/06/21	12:20	BV1-3	1	26,8	34,83	6,63	11:10	BV1-6	8	22,4	235	8,24	
	30/06/21	13:10	BV1-2	1	26,8	34,86	6,71	10:25	BV1-5	6,83	24	243	1,26	
	30/06/21	13:35	BV1-1	1	27,2	34,87	7,52	09:45	BV1-4	7,24	24	299	1,53	
	01/07/21	9:15	BV2-3	1	25,9	34,66	6,03	10:15	BV2-7	7,62	22	152	8,07	
	01/07/21	10:00	BV2-2	1	26,6	35,17	6,51	11:35	BV2-6	7,24	22	158	7,27	
	01/07/21	10:45	BV2-1	1	26,3	35,17	6,6	12:30	BV2-5	7,56	22	153	8,15	
								13:15	BV2-4	7,06	22	161	4,65	
		02/07/21	9:00	BV3-3	1	26,9	35,2	6,54	11:00	BV3-6	7,92	22	189	8,17
		02/07/21	9:50	BV3-2	1	26,8	35,2	6,59	09:50	BV3-5	8,15	22	232	8,69
	02/07/21	10:25	BV3-1	1	26,6	35,13	7,35	12:10	BV3-4	7,32	24	380	1,38	
recup DGT	12/07/21	9:52	BV2-1	0,32	25,68	35,20	7,67	10:45	BV1-7	6,2	25	116	3,05	
	12/07/21	10:26	BV2-2	0,49	25,09	35,70	7,59	10:10	BV1-6	8,26	22	242	8,27	
	12/07/21	10:50	BV2-3	0,7	25,57	35,29	7,41	09:38	BV1-5	7,09	23,5	237	1,12	
	12/07/21	11:44	HL	1,96	25,86	35,13	7,58	09:08	BV1-4	7,41	23,5	304	0,59	
	12/07/21	12:34	BV1-3	1,82	25,93	35,43	7,46	13:15	BV2-7	7,76	22,8	157	8,13	
	12/07/21	13:18	BV1-2	1,6	25,88	35,77	7,48	13:55	BV2-6	7,23	23,2	167	6,73	
	12/07/21	13:36	BV1-1	1,77	26,8	35,12	9	14:20	BV2-5	7,44	22,5	156	7,99	
								14:35	BV2-4	7,11	21,8	161	5,02	
		13/07/21	8:47	BV3-1	1,22	26,37	34,95	7,42	10:45	BV3-6	7,9	22,3	192	8,2
		13/07/21	9:13	BV3-2	1,15	26,08	35,30	7,58	09:55	BV3-5	8,06	22,7	237	1,27
	13/07/21	9:31	BV3-3	1,19	26,55	35,09	7,43	11:40	BV3-4	7,24	24	305	1,27	
recup POCIS / MS	15/07/21	8:59	BV2-3	1,29	25,79	34,89	7,16	10:40	BV1-7	5,99	25	114	3,79	
	15/07/21	9:33	BV2-2	1,01	26,09	34,94	7,46	09:50	BV1-6	8,27	22	244	8,23	
	15/07/21	10:14	BV2-1	1,37	25,775	35,22	7,56	09:10	BV1-5	7,04	23	239	1,02	
	15/07/21	11:16	HL	1,43	25,93	35,12	7,51	08:30	BV1-4	7,46	23	300	0,61	
	15/07/21	12:15	BV1-3	2,02	26,505	34,96	7,32	13:00	BV2-7	7,33	22	158	8,15	
	15/07/21	13:07	BV1-2	1,43	26,42	34,93	7,52	14:05	BV2-6	7,22	23	174	6,66	
	15/07/21	13:28	BV1-1	2,04	26,385	35,36	8,75	14:47	BV2-5	7,42	22,8	152	7,96	
								15:15	BV2-4	7,03	21,8	162	4,37	
		16/07/21	8:51	BV3-3	2,47	26,345	35,03	7,32	10:20	BV3-6	8,01	21,5	200	8,09
		16/07/21	9:18	BV3-2	2,39	26,4	35,02	7,34	09:30	BV3-5	8,22	22	233	8,67
	16/07/21	9:46	BV3-1	2,55	25,48	35,55	7,61	11:12	BV3-4	7,42	23,6	345	1,06	

A noter :

- Station BV2-1 : les DGT n'ont pas été récupérés, certainement arraché par l'hydrodynamisme de la zone.
- Station BV2-6 le 01/07 : forte odeur de lessive / javel et aspect laiteux du cours d'eau lors de la pose.
- Station BV3-5 : attention, station à priori sur le terrain d'un propriétaire particulier
- Stations BV1-7 à BV1-4 le 12/07 (récupération DGT) : les flacons de prélèvement n'ont pas été rincés avec l'eau brute.
- Stations BV3-6 à BV3-4 le 13/07 (récupération DGT) : l'agent préleveur a utilisé de la crème solaire
- Station BV1-7 à BV1-4 et BV2-7 à BV2-4 et BV3-6 à BV3-4 le 15 et 16/07 (récupération cages POCIS / MS) : l'agent préleveur a fumé des cigarettes
- Station BV3-6 le 16/07 : présence de lavandières en amont de la station

Campagne Janvier-Février 2022

type manip	Date	stations marines					stations terrestres				
		Heure	Station	profondeur (m)	température (°C)	Salinité	Heure	Station	Température (°C)	Conductivité (µS/cm)	O ₂ (mg/L)
pose EIP (+ prélèvement SBSE / TBT)	19/01/22	9h30	BV3-1	4,5	29,6	35,44	9h	BV3-6	25,9	178	7,17
	19/01/22	10h30	BV3-2	4,5	29,5	35,43	9h30	BV3-5	27	204	7,81
	19/01/22	11h20	BV3-3	3,5	29,9	35,39	10h	BV3-4	27,2	250	3,03
	20/01/22	9h40	BV1-1	6,6	29,3	35,46	9h20	BV1-4	25,7	217	4,18
	20/01/22	10h30	BV1-2	6,5	29,4	35,45	9h50	BV1-5	25,6	145	5,97
	20/01/22	11h00	BV1-3	6	29,4	35,2	10h20	BV1-6	25,3	159	6,77
	20/01/22						11h20	BV1-7	25	95,4	1,4
	21/01/22	9h20	HL	13	28,8	35,4	8h45	BV2-7	24	102,3	7,87
	21/01/22	11h	BV2-1	8	29,2	35,38	9h25	BV2-6	25,3	170	6,94
	21/01/22	11h40	BV2-2	7	29,2	35,36	10h05	BV2-5	25,1	118,2	7,73
	21/01/22	12h40	BV2-3	4	29	34,61	10h35	BV2-4	25,1	123,2	6,89
recup EIP (+ prélèvement TBT)	01/02/22	9h40	BV3-1	4	28,9	35,62	8h40	BV3-6	25,1	145,2	7,86
	01/02/22	9h15	BV3-2	5	29,3	35,43	9h45	BV3-5	26	153,6	8,05
	01/02/22	9h	BV3-3	4	29,1	35,81	10h30	BV3-4	26,4	191,6	6,58
	03/02/22	9h	BV1-1	6	29,1	35,52	9h05	BV1-4	26,4	433	3,08
	03/02/22	10h30	BV1-2	6	29,3	35,55	9h45	BV1-5	26,6	237	1,29
	03/02/22	10h30	BV1-3	6	29,4	35,78	10h25	BV1-6	26,1	249	7,26
	03/02/22						11h05	BV1-7	26	107,4	0,92
	04/02/22	11h	HL	13	28,6	35,49	8h50	BV2-7	25,2	120,5	7,47
	04/02/22	10h10	BV2-1	7	28,8	35,33	9h40	BV2-6	26,5	166,1	6,76
	04/02/22	9h20	BV2-2	8	29,1	35,37	10h15	BV2-5	26,7	140,7	7,62
	04/02/22	9h	BV2-3	5	29,8	35,48	11h	BV2-4	26,8	146,3	6,4

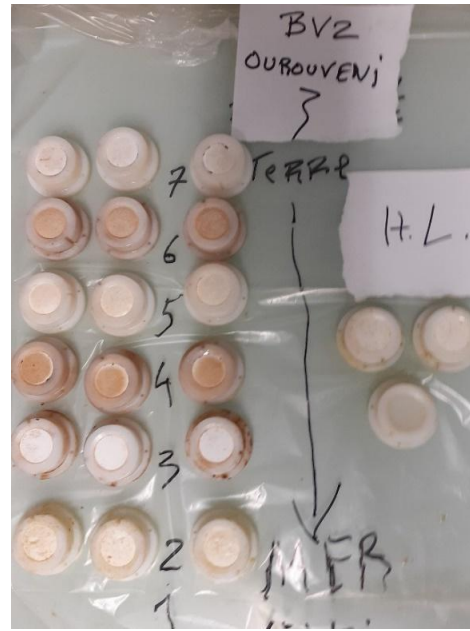
A noter :

- 1 seul disque POCIS a été déchiré sur le BV2 en mer. Les conditions hydrodynamiques sont une des causes possibles. Toutes les membranes silicones ont été récupérées.
- Plusieurs gels DGT en mer ont été perdus

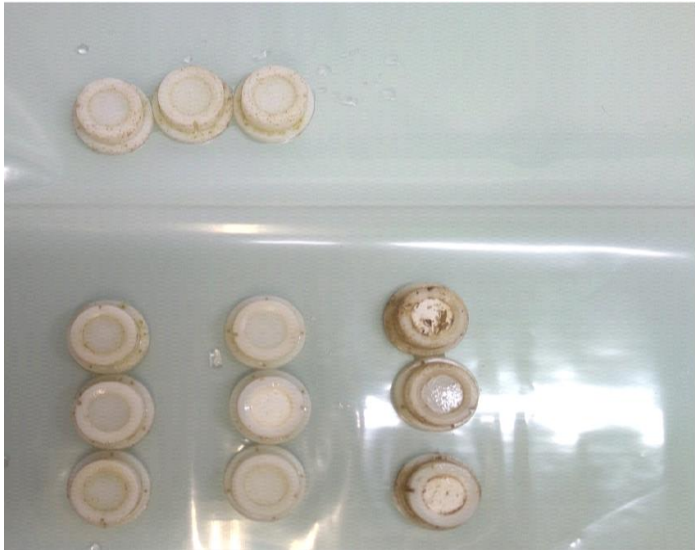
Annexe 2

DGT après leur récupération

Campagne Juin-Juillet 2021



Campagne Janvier-Février 2022



Annexe 3

Composés mesurés, limites de détection et de quantification dans les DGT et les SBSE

1. Technique DGT: de l'ordre de 11 ng/L pour une durée d'immersion de 24h.

S'agissant d'une technique d'échantillonnage passif intégratif, la LQ a été calculée en prenant la LQ de la méthode analytique (de l'ordre de 0,1 µg/L pour tous les métaux) pour un temps d'intégration de 24h et une température de 20°C. Si par exemple la durée d'immersion est doublée (2 j), pour une même température de l'eau, la LQ sera divisée par 2.

2. Technique SBSE

HAPs			Pesticides		
Recherchés(24)	LD (ng/L)	LQ (ng/L)	Recherchés(29)	LD (ng/L)	LQ (ng/L)
naphtalene	1,50	5,00	Alpha-BHC	0,15	0,50
1-methylnaphtalene	1,50	5,00	hexachlorobenzene	0,15	0,50
2-methylnaphtalene	1,50	5,00	atrazine	1,50	5,00
benzothiophene	0,30	1,00	Beta-BHC	0,15	0,50
biphenyl	0,30	1,00	gama bhc	0,15	0,50
acenaphtylene	0,15	0,50	Diazinon	0,15	0,50
acenaphtene	0,15	0,50	Delta-BHC	0,15	0,50
fluorene	0,15	0,50	acetochlore	0,15	0,50
Dibenzothiophene	0,15	0,50	methylparathion	0,30	1,00
Phenanthrene	0,30	1,00	alachlore	0,15	0,50
anthracene	0,15	0,50	aldrine	0,15	0,50
fluoranthene	0,30	1,00	metolachlore	0,30	1,00
pyrene	0,15	0,50	chlorpyrifos	0,15	0,50
2-methylfluoranthene	0,30	1,00	ethylparathion	0,15	0,50
benzoanthracene	0,30	1,00	isodrine	0,30	1,00
chrysene	0,30	1,00	metazachlore	0,30	1,00
benzofluoranthene	0,30	1,00	pendimethaline	0,30	1,00
benzofluoranthene	0,30	1,00	chlorfenvinphos	0,30	1,00
benzoepyrene	0,30	1,00	2-4-dde	0,15	0,50
benzoapyrene	0,30	1,00	endosulfan alpha	0,15	0,50
perylene	0,30	1,00	4-4-dde	0,15	0,50
indeno123cdpyrene	0,30	1,00	dieldrine	0,15	0,50
dibenzoanthracene	0,30	1,00	2-4-ddd	0,15	0,50
benzo(ghi)peryrene	0,30	1,00	endrine	0,30	1,00
			endosulfan beta	0,15	0,50
			4-4ddd	0,15	0,50
			2,4-ddt	0,15	0,50
			endosulfan sulfate	0,15	0,50
			4-4ddt	0,15	0,50

PCBs			TBT	LD (ng/L)	LQ (ng/L)
Recherchés (13)	LD (ng/L)	LQ (ng/L)		0,15	0,50
PCB-7	0,15	0,50			
PCB 28	0,15	0,50			
PCB-52	0,15	0,50			
PCB-35	0,15	0,50			
PCB 101	0,15	0,50			
PCB 77	0,15	0,50			
PCB 135	0,15	0,50			
PCB 118	0,15	0,50			
PCB 153	0,15	0,50			
PCB 105	0,15	0,50			
PCB 138	0,15	0,50			
PCB 156	0,15	0,50			
PCB 180	0,15	0,50			
PCB 169	0,15	0,50			

Annexe 4

Synthèse des conditions analytiques utilisées pour le screening UPLC-HRMS

Application aux extraits de SPE (eau) et de POCIS (EIP)

Paramètre	Labo 1
Appareil utilisé : type	UPLC-HRMS (QTOF)
Appareil utilisé : marque	Waters : UHPLC I-Class + Xevo-G2s-QToF
Source d'ionisation	Electrospray (ESI)
Mode d'ionisation	ESI+ et ESI-
Logiciel d'acquisition des données LC-HRMS	Waters MassLynx
Volume injecté	2 µL
Chromatographie, phase stationnaire (colonne)	Phase inverse type C18, colonne Acquity BEH C18 2,1mm x 15cm x 1,7µm, (Waters)
Température du four	ESI+ : 35°C ESI- : 45°C
Chromatographie, phase mobile et gradient (ESI +)	Eau acidifiée / acétonitrile (ACN) acidifié. Gradient en ACN de 2% à 99%. Débit : 0,45mL/min Durée : 25min

Paramètre	Labo 1
Chromatographie, phase mobile et gradient (ESI -)	Eau acidifiée / méthanol (MeOH) acidifié. Gradient en MeOH de 2% à 99%. Débit : 0,3mL/min Durée : 25min
HRMS : mode d'acquisition	Data independant (MSe), profile (Continuum), mode Resolution
HRMS : gamme de masses acquises	50-1200 uma
HRMS : énergie de collision	Rampe de 6 à 45eV
HRMS vitesse d'analyse (scan rate)	4 Hz
Logiciel de retraitement des données HRMS	Waters UNIFI

Annexe 5

Composés recherchés dans les membranes silicone

4,4'-DDT	1148	Endosulfan sulfate	1742
2,4'-DDD	1143	Endrine	1181
2,4'-DDE	1145	Ethion	1183
2,4'-DDT	1147	Ethoprophos	1495
4,4' dichlorobenzophenone	3165	Fénitrothion	1187
4,4'-DDD	1144	Fenthion	1190
4,4'-DDE	1146	Fipronil	2009
Aclonifène	1688	Flurochloridone	1675
Aldrine	1103	Folpel	1192
Alpha endosulfan	1178	Heptachlore	1197
Anthraquinone	2013	Heptachlore époxyde endo trans	1749
Bêta endosulfan	1179	Heptachlore époxyde exo cis	1748
Bifenox	1119	Hexachlorobenzène	1199
Biphényle	1584	Hexachlorocyclohexane alpha	1200
Bromophos éthyl	1123	Hexachlorocyclohexane bêta	1201
Bromophos méthyl	1124	Hexachlorocyclohexane delta	1202
Bromopropylate	1685	Hexachlorocyclohexane epsilon	2046
Cadusafos	1863	Hexachlorocyclohexane gamma	1203
Captane	1128	Isodrine	1207
Carbophenothion	1131	Lambda cyhalothrine	1094
Chlorfenvinphos	1464	Malathion	1210
Chlorfenvinphos cis	-	Méthoxychlore	1511
Chlorfenvinphos trans	-	Mévinphos	1226
Chlorpyriphos éthyl	1083	Oxadiazon	1667
Chlorpyriphos méthyl	1540	Parathion éthyl	1232

Cyperméthrine	1140	Parathion méthyl	1233
Deltaméthrine	1149	Pendiméthaline	1234
Diazinon	1157	Pentachlorobenzène	1888
Dichlorvos	1170	Phosalone	1237
Dicofol	1172	Piperonyl butoxide	1709
Dieldrine	1173	Propoxur	1535
Diflufénicanil	1814	Pyriméthanol	1432
Diméthoate	1175	Terbuphos	1267
Disulfoton	1492	Trifluraline	1289

Annexe 6

Concentrations moyennes des métaux mesurées par DGT

- en **gras** : moyenne des mesures DGT réalisées en triplicat (%ET: pourcentage de déviation standard.; ET: écart type)
- en "normal" : moyenne quand uniquement deux mesures sont disponibles (%ET = vide; ET = valeur en italique correspondant à l'écart, entre la valeur maxi (ou mini) mesurée et la moyenne). Si une seule valeur du réplicat a été validée (%ET= vide et ET = vide)
- en **rouge** : LOQ/2

	Étage				Hautes eaux				Étage				Hautes eaux			
	Jan-Jul 2021				Janvier-Février 2022				Jan-Jul 2021				Janvier-Février 2022			
	Cd			Perdu	Co			Perdu	Cr			Perdu	Cr			
	ng/l	ET	%ET		ng/l	ET	%ET		ng/l	ET	%ET		ng/l	ET	%ET	
Lions Lagon - Station de référence large: MTSambo	2	0,3			4	0,2			100	2,6						
IV 1 Mare																
Station 07 - TERRE - Amont Rivière	4	0,5	13	0,5	1107	170,1	16	11741	447,9	4	94	0,6	29	5,3	18	
Station 06 - TERRE - Centre Rivière	0,8			0,5	26	0,6		51	18,2	36	73	4,1	23	0,6		
Station 05 - TERRE - Aval Rivière	0,8			1	2594	306,3	12	9095	318,7	4	79	9,0	12	21	4,9	23
Station 04 - TERRE - Estuaire	1	0,1	9	2	1831	209,9	15	435	170,3	39	403	84,7	21	29	2,8	
Station 03 - MER - Frangeant	1	0,1	9	1	27	2,9	11	22	1,5		101	6,7	7	29	3,2	
Station 02 - MER - Centre Lagon	2	0,3	19	2	11	1,0	9	11	1,9	17	82	8,7	11	21	4,1	20
Station 1 - MER - Reef barrière	1	0,1	11	2	8	2,2	27	6	0,7	12	103	13,3	13	21	1,3	6
mo y	2			2	88			3051			232			25		
%ET	82			48	234			167			92			2,6		
IV 2 Climatant																
Station 07 - TERRE - Amont Rivière	0,5			0,6	28	0,6		15	3,7	25	103	4,0	21	0,8	2	
Station 06 - TERRE - Centre Rivière	3	0,5		3	290	31,2		320	13,4	4	357	35,5	25	1,5		
Station 05 - TERRE - Aval Rivière	0,5			0,5	33	9,7		48	17,1	35	111	5,1	21	0,7	3	
Station 04 - TERRE - Estuaire	1	0,1	5	0,5	144	31,5	23	61	1,6		192	38,7	20	20	1,8	9
Station 03 - MER - Frangeant	2	0,1	5	2	39	7,1		64	25,2		140	20,3				
Station 02 - MER - Centre Lagon	3	0,1			7	1,6	24	7			97	7,0	7			
Station 1 - MER - Reef barrière																
mo y	2			2	80			102			267			47		
%ET	68			85	222			122			62			120		
IV 3 Goulouk																
Station 06 - TERRE - Amont Rivière	0,5			0,6	134	25,2	19	36	10,4		99	10,3	10	28	4,7	
Station 05 - TERRE - Centre Rivière	0,5			0,6	21	3,3	15	31	0,3	1	89	26,8	30	24	3,8	14
Station 04 - TERRE - Aval Rivière	0,5			0,6	891	18,2	2	5205	833,8	16	74	6,7	9	30	4,3	
Station 03 - MER - Frangeant	2	0,6	25	1	8	0,9	11	15	0,1		101	22,8	22	27	0,0	
Station 02 - MER - Centre Lagon	1	0,1		2	13	0,9		13	4,2	33	93	2,8		25	2,7	11
Station 1 - MER - Reef barrière	3	0,6		1	46	15,6		5	0,2	4	170	38,0		28	2,8	9
mo y	2			2	186			884			204			28		
%ET	77			48	188			239			32			2,8		

	Étage Jan-Jul 2021			Hautes eaux Janvier-Février 2022			Étage Jan-Jul 2021			Hautes eaux Janvier-Février 2022			Étage Jan-Jul 2021			Hautes eaux Janvier-Février 2022		
	Pb ng/l	ET	NET	Pb ng/l	ET	%ET	Mn µg/l	ET	NET	Mn µg/l	ET	NET	Zn µg/l	ET	NET	Zn µg/l	ET	%ET
Tous Lagon - Station de référence Lage MTAmbom	17	2,3		Perdu			0,2	0,02		Perdu			0,6	0,03		Perdu		
BV1 Mare																		
Station 07 - TERRE - Amont Rivière	4	1,8		4	0,1		30,5	0,07	20	37,0	5,9	16	1,0	0,19	19	0,8	0,01	3
Station 06 - TERRE - Centre Rivière	2	0,2		1			4,3	0,35		3,1	0,2	9	0,6	0,02		0,1		
Station 05 - TERRE - Aval Rivière	3	0,4	16	3	0,1		407,9	27,04	5	101,4	12,31	12	0,7	0,06	9	0,8	0,11	30
Station 04 - TERRE - Estuaire	43	12,9	30	9			336,7	16,53	11	94,6	21,85	26	1,4	0,51	37	0,6	0,13	
Station 03 - MER - Frangeant	40	2,6	7	4	1,5		0,8	0,16	19	0,5	0,07		0,6	0,19	33	0,1		
Station 02 - MER - Centre lagon	16	1,3	8	3	0,1		0,6	0,05	8	0,5	0,02		0,7	0,13	17	0,2		
Station 1 - MER - Redf barrière	13	1,2	10	4	0,8	19	0,4	0,02	5	0,3	0,10	32	0,6	0,02		0,1		
mo y	27			4			222			33			0,7			0,3		
%ET	102			58			102			134			48			69		
BV2 Ouaouit																		
Station 07 - TERRE - Amont Rivière	5	3,7		5			3,4	1,36	40	2,2	0,64	29	0,5	0,13	25	0,8	0,03	8
Station 06 - TERRE - Centre Rivière	116	20,2		13	4,7		30,3	5,42		33,6	4,20	12	1,9	0,31		2,2	0,32	14
Station 05 - TERRE - Aval Rivière	6	2,2		2			13,2	3,75		15,5	4,46		0,7	0,03		0,8	0,10	24
Station 04 - TERRE - Estuaire	23	4,6		4			54,4	1,69	3	20,2	3,11		0,9	0,18	19	0,8	0,01	2
Station 03 - MER - Frangeant	82	17,3	21	16	8,3		1,2	0,39		1,4	0,82		0,6	0,08	13	1,0	0,64	
Station 02 - MER - Centre lagon	82	8,7	11				0,2	0,05	32	0,4	0,06	15	0,4	0,06	15			
Station 1 - MER - Redf barrière	Perdu			Perdu			Perdu			Perdu			Perdu			Perdu		
mo y	52			8			27			25			0,8			0,9		
%ET	80			75			125			82			64			91		
BV3 Gouf ouk																		
Station 06 - TERRE - Amont Rivière	7	1,5	22	9			32,6	11,25	35	10,3	1,09		0,6	0,03		0,2	0,07	
Station 05 - TERRE - Centre Rivière	4	1,1	27	2			2,9	0,54	18	8,4	0,20	2	0,4	0,01	1	0,2	0,03	13
Station 04 - TERRE - Aval Rivière	9	2,2		59			329,1	4,94	2	231,1	40,62	18	0,9	0,08	8	0,6	0,07	
Station 03 - MER - Frangeant	64	4,1	6	4	0,1		0,7	0,10	14	0,7	0,08		0,4	0,03	6	0,3	0,089	
Station 02 - MER - Centre lagon	77	5,5		6	0,1		0,5	0,05		0,5	0,05	10	0,4	0,04		0,8	0,15	35
Station 1 - MER - Redf barrière	129	51,6		13			0,6	0,06		0,2	0,03	15	0,6	0,05		0,2	0,03	18
mo y	48			16			62			42			0,6			0,3		
%ET	104			139			216			222			35			50		
Étage Jan-Jul 2021	Ni ng/l	ET	NET	Ni ng/l	ET	%ET	Cu ng/l	ET	NET	Cu ng/l	ET	NET	Fe µg/l	ET	NET	Fe µg/l	ET	%ET
Tous Lagon - Station de référence Lage MTAmbom	131	12,2		Perdu			25	0,2		Perdu			0,1	0,02		Perdu		
BV1 Mare																		
Station 07 - TERRE - Amont Rivière	2289	156,0	7	4332	290,3	7	48	0,1		251	42,7		0,5	2,29		2240,3	104,28	5
Station 06 - TERRE - Centre Rivière	112	0,2		258	47,2	18	40	5,7		134	18,1	15	1,3	0,14		1,8	0,08	
Station 05 - TERRE - Aval Rivière	577	21,1	4	1140	157,9	14	26	0,9	4	10,6	25,5		27,6	5,89		1965,8	243,90	12
Station 04 - TERRE - Estuaire	564	136,1	24	676	89,6	13	132	30,8		123	19,6	16	577,8	107,13	19	6,9	1,91	
Station 03 - MER - Frangeant	151	6,7	4	151	5,2		73	4,0	5	52	3,3		2,7	0,63	24	3,5	1,20	
Station 02 - MER - Centre lagon	132	2,67	20	135	9,7	7	27	2,7	10	32	2,7	9	1,2	0,32	27	0,5	0,13	
Station 1 - MER - Redf barrière	189	9,8	9	125	4,6	4	22	2,1	10	27	2,4	9	0,6	0,04		0,6	0,12	
mo y	562			974			53			102			88			603		
%ET	162			157			74			76			245			171		
BV2 Ouaouit																		
Station 07 - TERRE - Amont Rivière	162	42,3	26	178	30,2	17	45	2,0		75	8,4	11	5,5	0,93		2,0	0,49	24
Station 06 - TERRE - Centre Rivière	775	216,7		732	140,0	19	359	70,8		150	4,3		89,7	3,49		9,2	3,33	
Station 05 - TERRE - Aval Rivière	135	41,9		211	22,1	10	60	14,6		11,6	18,9	16	1,00	0,82		0,7	0,03	4
Station 04 - TERRE - Estuaire	191	23,8	12	189	38,3	20	146	32,2	22	127	33,6	27	31,9	4,72		1,0	0,30	
Station 03 - MER - Frangeant	188	31,1	18	543	238,7		67	21,7	32	137	27,5		71	2,66		32,0	27,24	
Station 02 - MER - Centre lagon	135	12,8	10				33	3,8	11				0,5	0,20	39			
Station 1 - MER - Redf barrière	Perdu			Perdu			Perdu			Perdu			Perdu			Perdu		
mo y	264			371			218			121			24			9		
%ET	85			68			105			24			142			149		
BV3 Gouf ouk																		
Station 06 - TERRE - Amont Rivière	114	3,2		129	17,0	13	55	2,0	4	79	5,0		12,6	3,88		0,8		
Station 05 - TERRE - Centre Rivière	70	3,7	5	138	31,0	22	40	4,3	11	72	2,4	3	0,6	0,02		1,3	0,24	18
Station 04 - TERRE - Aval Rivière	291	17,5	6	1066	30,5	2	24	2,8	10	102	8,1		164,3	21,83	13	1225,3	295,55	24
Station 03 - MER - Frangeant	129	9,2	7	137	3,6		31	2,3		42	1,7		0,4	0,09	21	0,5	0,155	
Station 02 - MER - Centre lagon	137	2,7		164	52,4	32	33	4,6		86	11,9	26	2,0	1,10		0,5	0,14	
Station 1 - MER - Redf barrière	272	65,8		131	4,5	3	187	66,6		27	1,0	4	1,00	4,16		0,8	0,11	30
mo y	169			431			62			61			32			205		
%ET	54			105			100			45			206			244		

Annexe 7

HAPs mesurés par SBSE

24 HAPs	Maré					Janvier-Février 2022								
	7 Amont rivière	6 Centre Rivière	Aval Rivière	4 Estuaire	3 Frangeant	2 Centre lagon	1 Recif barrière	7 Amont rivière	6 Centre Rivière	5 Aval Rivière	4 Estuaire	3 Frangeant	2 Centre lagon	1 Recif barrière
naphtalene						16,69		6,71		9,51	0,75	7,28	7,33	6,79
1-methylnaphtalene			5,53			8,36		27,22	13,80	17,12	10,65	14,55	22,42	19,43
2-methylnaphtalene			10,74			11,92								
benzothiophene														
biphenyl														
acenaphtylene														
acenaphtene														
fluorene			0,71			1,27				3,43	1,67		3,25	
Dibenzothiophene														
Phenanthrene			7,51											
anthracene														
fluoranthene			6,17	2,46							1,47			
pyrene			6,56	1,34							1,20			
2-methylfluoranthene														
benzoanthracene			2,99								0,68			
chrysene			3,44								0,85			
benzofluoranthene			3,10											
benzokfluoranthene			4,01								0,60			
benzopyrene			0,86								0,25			
benzopyrene			3,05											
perylene											0,78			
indeno123cdpyrene														
dibenzoanthracene														
benzo(ghi)perylene			2,35											

Echantillons contaminés

Ourouveni

Juin-Juillet 2021

Janvier-Février 2022

24 HAPs	7 Amont rivière	6 Centre Rivière	5 Aval Rivière	4 Estuaire	3 Frangeant	2 Centre lagon	1 Recif barrière	7 Amont rivière	6 Centre Rivière	5 Aval Rivière	4 Estuaire	3 Frangeant	2 Centre lagon	1 Recif barrière
naphtalene									7,00	6,20	6,54	18,11	6,95	6,84
1-methylnaphtalene								14,22	19,99	16,65	24,07	22,03	24,68	9,34
2-methylnaphtalene													13,34	
benzothiophene														
biphenyl														
acenaphtylene								0,85				1,52	0,65	
acenaphtene												2,58		
fluorene														
Dibenzothiophene														
Phenanthrene			7,44											
anthracene												1,00		
fluoranthene	2,63													
pyrene														
2-methylfluoranthene														
benzoanthracene														
chrysene														
benzofluoranthene														
benzokfluoranthene														
benzopyrene								0,55						
benzopyrene														
perylene														
indeno123cdpyrene														
dibenzoahanthracene														
benzo(ghi)perylyene														

Echantillons contaminés

24 HAPs		Gouloué Juin-Juillet 2021					Janvier-Février 2022							
		7 Amont rivière	6 Centre Rivière	5 Aval Rivière	4 Estuaire	3 Frangeant	2 Centre lagon	1 Recif barrière	7 Amont rivière	6 Centre Rivière	5 Aval Rivière	4 Estuaire	3 Frangeant	2 Centre lagon
naphtalene			17,52					5,76	9,91		8,16	6,58		2,50
1-methylnaphtalene			10,68					20,81	13,79		13,96	13,92		12,38
2-methylnaphtalene			12,11											
benzothiophene														
biphenyl														
acenaphtylene												0,86		
acenaphtene														
fluorene											2,10	1,11		
Dibenzothiophene														
Phenanthrene	5,31	9,25	6,81											
anthracene														
fluoranthene			3,58							2,74				
pyrene			2,37							2,87				
2-methylfluoranthene														
benzoanthracene			0,52							0,77				
chrysene			0,76							1,25				
benzofluoranthene										0,78				
benzokfluoranthene										0,87				
benzoepyrene										0,74				
benzoapyrene														
perylene														
indeno123cdpyrene														
dibenzoanthracene														
benzo(ghi)perylene														

Echantillons contaminés

Annexe 8

Pesticides mesurés par SBSE

Maré

Juin-Juillet 2021

Janvier-Février 2022

35 Pesticides	7 Amont rivière	6 Centre Rivière	5 Aval Rivière	4 Estuaire	3 Frangeant	2 Centre lagon	1 Recif barrière	7 Amont rivière	6 Centre Rivière	5 Aval Rivière	4 Estuaire	3 Frangeant	2 Centre lagon	1 Recif barrière
Chlortoluron														
Unuron														
Alpha-BHC														
hexachlorobenzene														
atrazine														
Beta-BHC									1,13					
gama bhc														
Diazinon														
Delta-BHC									1,08					
acetochlore														
methylparathion		1,80	2,19											
alachlore														
aldrine														
metolachlore		2,10	2,01		1,81	1,69	6,99							
chlorpyrifos														
ethylparathion														
isodrine														
metazachlore														
pendimethaline														
chlorfenvinphos														
2-4-dde														
endosulfan alpha														
4-4-dde														
oxadiazon														
dieldrine														
2-4-ddd														
endrine														
endosulfan beta									0,25					
4-4ddd														
2,4-ddt														
chlordecone														
endosulfan sulfate														
4-4ddt														
cypermethrine														
deltamethrine														

Métolachlore: desherbant (remplacé par 5métolachlore).
<LD en Janvier-Février 2022

Ourouveni

Juin-Juillet 2021

Janvier-Février 2022

	7 Amont rivière	6 Centre Rivière	5 Aval Rivière	4 Estuaire	3 Frangeant	2 Centre lagon	1 Recif barrière	7 Amont rivière	6 Centre Rivière	5 Aval Rivière	4 Estuaire	3 Frangeant	2 Centre lagon	1 Recif barrière
35 Pesticides														
Chlortoluron														
Linuron														
Alpha-BHC														
hexachlorobenzene														
atrazine														
Beta-BHC														
gamma bhc														
Diazinon														
Delta-BHC														
acetochlore								1,11		0,50				
methylparathion														
alachlore														
aldrine			2,05		2,16	1,52								
metolachlore														
chlorpyrifos														
ethylparathion														
Isodrine														
metazachlore														
pendimethaline														
chlorfenvinphos														
2-4-dde														
endosulfan alpha														
4-4-dde														
oxadiazon													1,41	
dieldrine														
2-4-ddd														
endrine														
endosulfan beta														
4-4ddd														
2,4-ddt														
chlordecone														
endosulfan sulfate														
4-4ddt														
cypermethrine														
deltamethrine														

