



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité

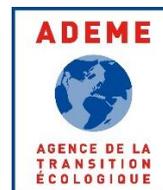
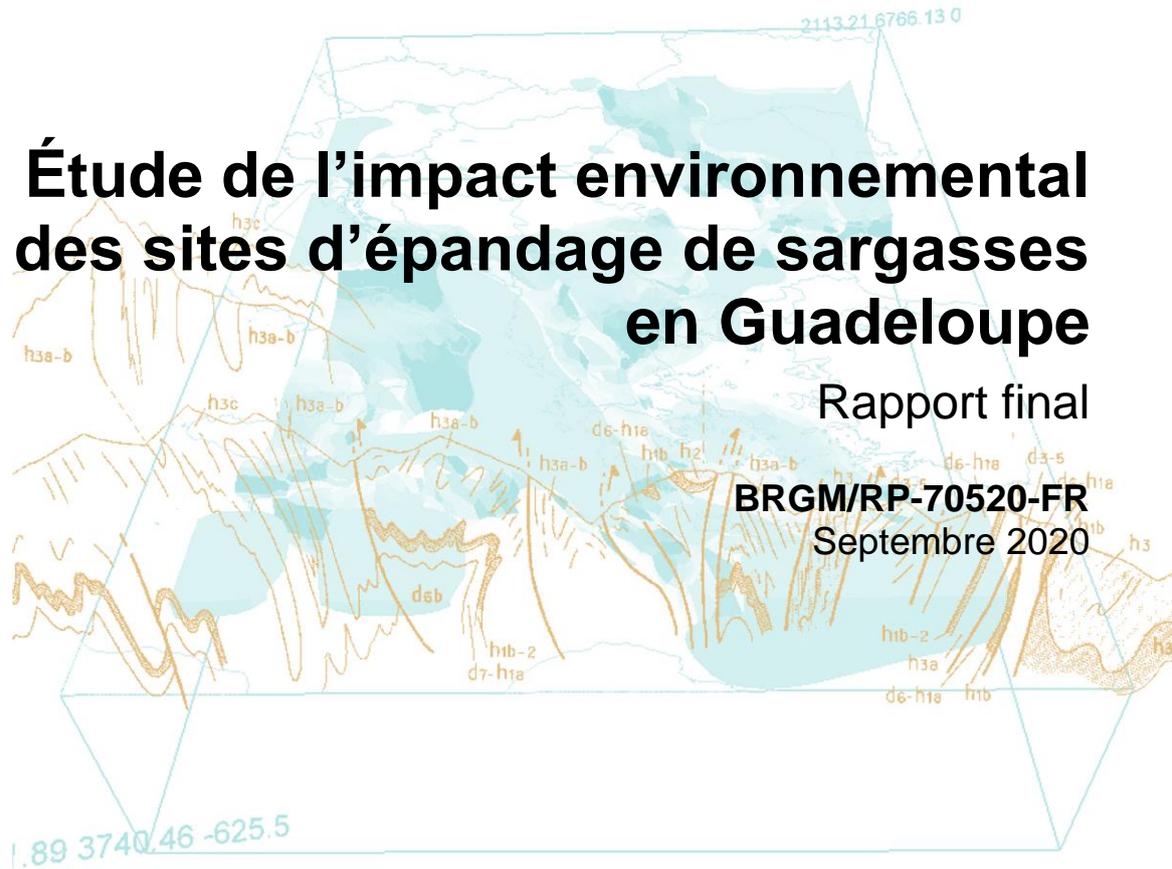


Document public

Étude de l'impact environnemental des sites d'épandage de sargasses en Guadeloupe

Rapport final

BRGM/RP-70520-FR
Septembre 2020



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Étude de l'impact environnemental des sites d'épandage de sargasses en Guadeloupe

Rapport final

BRGM/RP-70520-FR

Septembre 2020

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public 2020 du BRGM

E. Civallero, B. Seux, S. Chapron

Vérificateur :

Nom : V. Laperche

Fonction : Expert en géochimie

Date : 02/07/2021

Signature :



Approbateur :

Nom : Y. De La Torre

Fonction : Directeur régional

Date : 03/09/2021

Signature :



Le système de management de la qualité et de l'environnement
est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Contact : qualite@brgm.fr



Mots-clés : Sargasses, Stockage, Arsenic, Guadeloupe, Pollution, Chlordécone

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Civallero E., Seux B., Chapron S. (2021) – Étude de l'impact environnemental des sites d'épandage de sargasses en Guadeloupe. Rapport final. BRGM/RP-70520-FR, 115 p., 54 ill., 20 tabl, 25 ann.

© BRGM, 2021, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Dans la continuité du rapport RP-70062-FR : *Etude de l'impact environnemental des stockages de sargasses en Guadeloupe* visant à décrire les caractéristiques environnementales et historiques des sites de stockage de sargasses, ce rapport final synthétise les évaluations environnementales réalisées suite aux campagnes d'échantillonnage réalisées en juillet 2019 et octobre 2020 ainsi que les préconisations associées. Le projet a été financé à 70% par l'ADEME et à 30% par le BRGM.

Initialement, les polluants recherchés ont été définis comme étant les éléments traces métalliques (arsenic (As), cuivre (Cu), zinc (Zn), plomb (Pb), nickel (Ni), cadmium (Cd) et chrome (Cr)), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), le tributylétain (TBT) et la chlordécone (chlordécone) en fonction des zones de ramassage. Plusieurs matrices ont été ainsi analysées afin de dresser un état des lieux de chaque site de stockage. Ces matrices sont principalement les sols en place, les eaux de rivières, les eaux marines et les eaux souterraines. Parallèlement chaque site a fait l'objet d'analyses *in situ* réalisées à l'aide d'un spectromètre de fluorescence X portable (pXRF portable X Ray Fluorescence) pour déterminer les zones les plus impactées par les éléments traces métalliques sur chaque site de stockage.

Les résultats de l'étude ont montré d'importantes disparités d'impact entre les stockages. De manière générale, **l'arsenic et les chlorures (et le sodium associé)** sont considérés comme les trois éléments réellement impactant sur les sites de stockage.

L'arsenic se retrouve en quantité importante dans les lixiviats de sargasses aussi appelés « jus de sargasses ». Ces phases liquides, qui stagnent sur les sites dont la surface argileuse empêche l'infiltration, présentent des teneurs qui peuvent aller jusqu'à 5 996 µg/L d'arsenic comme il a été mesuré sur le site d'anse Maurice (Petit-Canal). La variation de la teneur en As dans ces eaux est dépendante des conditions pluviométriques de chaque site qui peuvent diluer les « jus de sargasses », mais aussi de la quantité de sargasses entreposées.

Les chlorures sont présents et servent comme marqueurs de l'impact des stockages. En effet, les sols témoins analysés ne sont, pour la plupart, que très peu concentrés en chlorures (environ 500 mg/kg maximum pour les sols les plus influencés par le littoral). Le contact de ces sols avec des sargasses ou leurs lixiviats donnent des valeurs presque systématiquement supérieures à 1000 mg/kg de chlorures. Il en est de même pour les eaux stagnantes et souterraines.

Certains sites tels que la plage de Pompierre (Terre-de-Haut) ou l'anse du Belley (Sainte-Anne) sont placés sur des substrats sableux et une migration de l'arsenic est mesurée dans les eaux souterraines (93 µg/L).

L'arsenic et les chlorures se retrouvent peu dans les cours d'eaux présents autour des sites, les teneurs maximales n'étant pas supérieure à 2 µg/L pour l'arsenic.

Les eaux stagnantes naturelles (mares et marais) sont également fortement impactées si elles sont en contact direct avec les dépôts. Un exemple de cette contamination a été mesuré sur le site de Sainte-Claire ou encore sur le site de l'anse du Belley. Les sols sont également concernés par cette contamination. Les sols sableux mélangés aux sargasses montrent une contamination en arsenic et en marqueurs salins, de même que la surface des sols argileux. Des tests de lixiviation ont été menés sur les sols argileux et sableux pour estimer les potentiels rejets de ces sols et leur capacité à fixer l'arsenic. Les résultats ont montré une faible capacité de rétention des sols sableux pour l'arsenic et les chlorures.

Enfin les eaux de mers de certains sites côtiers n'ont montré aucune formes d'impacts excepté sur le site de Pointe-Colibri ou le rejet à la mer de sargasses mélangées aux sédiments portuaires de la Désirade ont induits une pollution très locale en certains hydrocarbures ainsi qu'en tributylétain. Ce phénomène reste isolé et ponctuel et ne fait pas office de généralisation dans les sites de stockage.

La problématique de la chlordécone a été étudiée sur les sites de Sainte-Claire et de Viard, tous deux situés en aval de parcelles bananières. Le lien entre les sargasses et les teneurs de chlordécone mesurées dans les eaux et les sols n'a pas pu être clairement établi car la concentration en chlordécone de ces parcelles bananières demeure inconnue.

Au vu des résultats, l'impact environnemental des stockages de sargasses est marqué par l'arsenic et les chlorures et des risques potentiels quant à la pollution des sols et des eaux existent. Une série de préconisation en lien avec les recommandations de l'étude du BRGM Martinique (*Rapport RP-69156-FR*) sur ce sujet est proposée par le BRGM Guadeloupe dans le but de minimiser l'impact et les dangers que représentent les stockages pour les usagers :

- Une signalisation de l'emprise des stockages (clôtures, panneaux) et des risques liés aux eaux stagnantes ainsi qu'à la réutilisation des sols devrait être installée. De même, il est nécessaire de faire une prévention sur les usages possibles de ces sites concernant particulièrement l'élevage des bovins pratiqué sur certains d'entre eux.
- Il a aussi été remarqué que les sites où les sargasses étaient peu mélangées au sable et bien étalées ne présentait pas de pic de pollution à l'arsenic contrairement aux stockages où la présence de tas de taille importante (au moins 1,50 m) entraîne des rejets de lixiviats concentrés et une mauvaise dégradation des sargasses (dégagement gazeux par fermentation).
- Dans un second temps, le choix de la localisation des sites doit s'effectuer en fonction :
 - de la proximité du littoral,
 - d'un sol argileux limitant les infiltrations,
 - et de la non proximité de cibles potentielles (zones touristiques, zones proche de zone humide, zones à proximité des agglomérations).
- Dans le cas où il serait possible de développer des sites de stockages, l'étanchéification des sols permettant de récupérer les lixiviats seraient une meilleure pratique que la mise en place sur des sols naturels.
- Les sites de stockage les plus préoccupants doivent faire l'objet d'un suivi piézométrique/qualitométrique pour surveiller l'évolution des concentrations en chlorures et arsenic dans les nappes à l'amont, au droit et à l'aval des sites de stockage.
- Une application de réglementation ICPE permettrait de mieux encadrer les sites de stockage en créant un suivi de l'activité et une adaptation des stockages pour respecter les normes.

Plus globalement, l'impact actuellement observé n'est pas alarmant tout en restant réel, cette pratique de stockage est relativement récente et l'impact ne fera que s'amplifier si cette activité continue selon cette méthode de gestion, ce qui conduira à générer des zones à potentiel toxique important (sols et eaux souterraines) en lien avec l'arsenic qui s'y stockera et conduira potentiellement à la réalisation de plans de gestion pour les propriétaires de ces parcelles.

Sommaire

1. Introduction	11
1.1. CONTEXTE DE L'ETUDE	11
1.2. OBJECTIF DE L'ETUDE	11
2. Sources d'informations disponibles	13
2.1. RAPPEL DE LA PHASE DOCUMENTAIRE	13
2.2. PROJET ECO3SAR	13
2.3. AUTRE ETUDE	14
2.4. ELARGISSEMENT DES PARAMETRES EN FONCTION DU LIEU DE RAMASSAGE	15
2.4.1. Zone portuaire	15
2.4.2. Zone bananière	16
2.5. SYNTHÈSE DES PARAMETRES SELECTIONNES	17
2.6. CARACTERISATION DES DEPOTS	17
3. Methodologie d'échantillonnage	19
3.1. PRELEVEMENTS D'EAUX	19
3.2. PRELEVEMENTS DE SOLS	20
3.3. SPECTROMETRE DE FLUORESCENCE X PORTABLE (PXRF)	21
3.3.1. Stratégie d'échantillonnage	22
3.3.2. Limites de la méthode analytique et correction des données	22
3.4. BILAN DE LA CAMPAGNE DE PRELEVEMENTS	22
3.5. CRITERES DE COMPARAISON	24
3.5.1. Critères pour les eaux	24
3.5.2. Critères pour les sols	25
3.5.3. Critères pour les lixiviats	26
4. Interprétation site par site	27
4.1. SITE DE STOCKAGE DE L'ANSE A TORTUES	27
4.2. SITE DE STOCKAGE DE PORTE D'ENFER	29
4.3. SITE DE STOCKAGE DE L'ANSE MAURICE	31
4.4. SITES DE STOCKAGE DES ALIZES ET D'ANSE MONTAL	34

4.5. SITE DE STOCKAGE DE L'ANSE A LA BOUELLE	36
4.6. SITE DE STOCKAGE DE L'ANSE CHAMPAGNE.....	38
4.7. SITE DE STOCKAGE DE RAISINS CLAIRS	40
4.8. SITE DE STOCKAGE DE L'ANSE DU BELLEY	42
4.9. SITE DE STOCKAGE DE SAINT-FELIX.....	46
4.10. SITE DE STOCKAGE DE VIARD	48
4.11. SITE DE STOCKAGE DE SAINTE-CLAIRE	50
4.12. SITE DE STOCKAGE DE POMPIERRE.....	53
4.13. SITE DE STOCKAGE DE LA POINTE DU HAVRE.....	55
4.14. SITE DE STOCKAGE DE LA POINTE-COLIBRI.....	57
4.15. SITE DE STOCKAGE DE LA DECHARGE EST	61
4.16. SITE DE STOCKAGE DE GROS CAP	63
5. Présentation et interprétation des résultats.....	69
5.1. ANALYSES D'EAUX	69
5.1.1. Eaux stagnantes	69
5.1.2. Eaux de surface	72
5.1.3. Eaux de mer.....	75
5.1.4. Eaux souterraines	76
5.1.5. Spéciation de l'arsenic	78
5.2. ANALYSES DE SOLS.....	78
5.2.1. Eléments traces métalliques	79
5.2.2. Produits phytosanitaires.....	80
5.2.3. Hydrocarbures et trybutylétain	82
5.3. ANALYSES DE LIXIVIATS.....	82
5.3.1. Présentation des résultats.....	83
5.3.2. Interprétation	83
5.4. LIMITES DE L'ETUDE	83
5.4.1. Incertitudes sur les polluants liés aux sargasses	83
5.4.2. Manque d'accès au milieu souterrain.....	84
5.4.3. Cartographie de la pollution incomplète.....	84
5.5. RECOMMANDATIONS POUR LE CHOIX D'EMPLACEMENT D'UN SITE DE STOCKAGE	84

6. Conclusion et préconisations	87
7. Bibliographie	89

Liste des Illustrations

Illustration 1 : Mare prélevée à l'anse du Belley (gauche), prélèvement dans une flaqué de lixiviation à Viard (droite)	19
Illustration 2 : Prélèvements d'eau de mer sur le site de stockage de Pointe Colibri	20
Illustration 3 : Flacons de prélèvements (gauche), mesure à l'aide de la sonde multi-paramètres sur une flaqué de lixiviation à anse Maurice (droite)	20
Illustration 4 : Mesure par pXRF à gros cap (gauche) et tamisage d'un sol à anse à la Bouelle (droite)	21
Illustration 5 : Carte des prélèvements du site de stockage de l'anse à tortues	27
Illustration 6 : Dépôts du site de stockage de l'anse à tortues	28
Illustration 7 : Eaux prélevées ; AT2 (gauche) ; AT1 avec biofilm (droite)	28
Illustration 8 : Carte des prélèvements du site de stockage de porte d'enfer	29
Illustration 9 : Vues des sites de porte d'enfer bas (gauche) et porte d'enfer haut (droite)	30
Illustration 10 : Vue du site de stockage d'anse Maurice	31
Illustration 11 : Carte des prélèvements de sols du site de stockage d'anse Maurice	32
Illustration 12 : Carte des prélèvements des tests de lixiviation et des eaux du site de stockage d'anse Maurice	32
Illustration 13 : Flaqué prélevée pour un échantillon d'eau stagnante	33
Illustration 14 : Carte des prélèvements des sites de stockage des alizés et de l'anse Montal	34
Illustration 15 : Vue du site de stockage des alizés (gauche) ; Point AMO 06 (droite)	35
Illustration 16 : Carte des prélèvements du site de stockage d'anse à la Bouelle	36
Illustration 17 : Vues du site de stockage d'anse à la Bouelle	37
Illustration 18 : Carte des prélèvements du site de stockage d'anse champagne	38
Illustration 18 : Dépôts de sargasses du site d'anse champagne avec le point de prélèvement AC 1 (droite)	39
Illustration 20 : Carte des prélèvements du site de stockage de raisins clairs	40
Illustration 21 : Zone de stockage de raisins clairs (gauche), prélèvement RC 04 (droite)	41
Illustration 23 : Carte des prélèvements de sols du site de stockage de l'anse du Belley	42
Illustration 24 : Carte des prélèvements d'eaux et des test de lixiviation du site de stockage de l'anse du Belley	43
Illustration 25 : Vues du site de stockage de l'anse du Belley ; terrassement des dépôts (gauche) ; prélèvement du point BEL 03	43
Illustration 25 : Eaux prélevées , mare naturelle (gauche) et sortie de la ravine (droite)	45
Illustration 26 : Prélèvements des eaux souterraines BEL_STOCK (gauche) et BEL_PLAGE (droite)	45
Illustration 27 : Carte des prélèvements du site de stockage de Saint-Félix	46

Illustration 28 : Vue du site de stockage de St-Félix (gauche); ancienne zone de dépôts de sargasses (droite).....	47
Illustration 29 : Carte des prélèvements du site de stockage de Viard	48
Illustration 30 : Vues du site de stockage de Viard	49
Illustration 31 : Vues des eaux prélevées sur site, stagnantes (gauche) et naturelles (droite).....	49
Illustration 32 : Carte des prélèvements du site de stockage de Sainte-Claire.....	50
Illustration 33 : Vue du site de stockage de Sainte-Claire.....	51
Illustration 34 : Eaux prélevées : rivière (gauche) et stagnantes (droite).....	52
Illustration 35 : Carte des prélèvements du site de stockage de Pompierre.....	53
Illustration 36 : Vues du site de stockage de Pompierre (gauche) ; sable et sargasses mélangés (droite).....	54
Illustration 37 : Accès au prélèvement du point PUIITS POMPIERRE	54
Illustration 38 : Carte des prélèvements du site de stockage de la pointe du havre.....	55
Illustration 39 : Vues du site de stockage de la pointe du havre	56
Illustration 40 : Carte des prélèvements de sols et d'eaux stagnantes du site de stockage de Pointe-Colibri	57
Illustration 41 : Carte des prélèvements d'eau de mer du site de stockage de Pointe-Colibri.....	58
Illustration 42 : Vues du site de stockage de la Pointe-Colibri , partie récente (gauche) partie ancienne (droite).....	59
Illustration 43 : Eaux prélevées, eau de mer (gauche) eau stagnante (droite)	60
Illustration 44 : Carte des prélèvements du site de stockage de la décharge est.....	61
Illustration 45 : Vues du site de stockage de la décharge est	62
Illustration 46 : Carte des prélèvements de sols du site de stockage de gros cap	63
Illustration 47 : Carte des prélèvements pour test de lixiviation et des eaux stagnantes du site de stockage de Gros-Cap	64
Illustration 48 : Carte des prélèvements d'eau de mer du site de stockage de gros cap.....	65
Illustration 49 : Vues du site de stockage de gros cap	66
Illustration 50: Eaux stagnantes (gauche) et eau de mer (droite)	66
Illustration 51 : Concentration d'arsenic dans les lixiviats issus des sargasses en pluie simulée (Eco3Sar).....	70
Illustration 52 : Corrélation entre chlorures et sodium dans les eaux stagnantes.....	71
Illustration 53 : Concentration en chlordécone dans les sargasses mesurée dans l'archipel guadeloupéen lors des deux campagnes. Le gradient de couleur correspond aux concentrations en µg/kg MS. L'encadre rose illustre la superposition de certains sites.....	82
Illustration 54 : Histogramme indiquant une corrélation entre la pollution de l'eau de mer COL5 et les boues de dragage du port de la Désirade.	86

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Concentrations élémentaires (mg/kg MS) dans les sargasses collectées sur les côtes mexicaines (Rodriguez-Martinez et al. 2020) *LD : Limite de détection.....	14
Tableau 2 : Liste des HAP étudiés et toxicité individuelle observée (Source INERIS)	16
Tableau 3 : Résumé des substances analysées par formule	17
Tableau 4 : Fond géochimique des sols de Guadeloupe, en référence aux gammes de référence des sols de l'hexagone (Source INRA).....	21
Tableau 5 : Synthèse des types de matrices prélevées par site de stockage.....	23
Tableau 6 : Nombre d'échantillons réalisés par site et par substance (: Spéciation arsenic III/V)	24
Tableau 7 : Normes de qualité environnementale fixant les valeurs règlementaires des eaux de surfaces intérieures, de transition, côtières et souterraines définie par la directive 2013/39/CE et l'arrêté du 17 décembre 2008.....	25
Tableau 8 : Récapitulatif des fonds géochimiques mesurés à travers les témoins.....	26
Tableau 9 : Seuil ISDI définis par l'arrêté du 2 décembre 2014	26
Tableau 10 : Synthèse des concentrations en polluants des lixiviats issus des dépôts de sargasses	69
Tableau 11 : Concentration en substances polluantes des eaux de surface du site de stockage de Sainte-Claire	72
Tableau 12 : Concentration en substances polluantes des eaux de surface du site de stockage de Viard.....	73
Tableau 13 : Concentration en substances polluantes des eaux de surface du site de stockage de l'anse du Belley.....	74
Tableau 14 : Synthèse des résultats d'analyse des métaux dans les eaux de mer du site de stockage de la Pointe-Colibri.....	75
Tableau 15 : Synthèse des résultats d'analyse des HAP et TBT dans les eaux de mer du site de stockage de la Pointe-Colibri	75
Tableau 16 : Synthèse des résultats d'analyse des métaux dans les eaux de mer du site de stockage de gros cap	76
Tableau 17 : Concentration en substances polluantes des eaux souterraines du site de stockage de l'anse du Belley	77
Tableau 18 : Résultats des tests de spéciation de l'arsenic effectués sur les prélèvements d'eaux	78
Tableau 19 : Classification des sites de stockage en fonction de leur dépassement en ETM dans les sols.....	79
Tableau 20 : Fréquence des dépassements par classe de site de stockage et par ETM.....	80

Liste des Annexes

Annexe 1 : Résultats des tests de lixiviation	90
Annexe 2 : Résultats des prélèvements de témoins	91
Annexe 3 : Résultats des prélèvements de sols (Formule 1).....	91
Annexe 4 : Résultats des prélèvements de sols (Formule 2).....	92
Annexe 5 : Résultats des prélèvements de sols (Formule 3 & 4)	93
Annexe 6 : Résultats des prélèvements d'eaux continentales (2 tableaux).....	94
Annexe 7 : Résultats des prélèvements d'eaux de mer	96
Annexe 8 : Site de stockage de l'anse à tortues (pXRF).....	97
Annexe 9 : Site de stockage de porte d'enfer (pXRF).....	98
Annexe 10 : Site de stockage de l'anse Maurice (pXRF).....	99
Annexe 11 : Sites de stockage de La Plage des Alizes et de l'anse Montal (pXRF)	100
Annexe 12 : Site de stockage de l'anse a La Bouelle (pXRF).....	102
Annexe 13 : Site de stockage de l'anse champagne (pXRF).....	103
Annexe 14 : Site de stockage de raisins clairs (pXRF)	104
Annexe 15 : Site de stockage de l'anse du Belley (pXRF).....	105
Annexe 16 : Site de stockage de Saint-Félix (pXRF).....	106
Annexe 17 : Site de stockage de Viard (pXRF).....	107
Annexe 18 : Site de stockage de Sainte-Claire (pXRF)	108
Annexe 19 : Site de stockage de Pompierre (pXRF)	109
Annexe 20 : Site de stockage de la pointe du havre (pXRF)	110
Annexe 21 : Site de stockage de la pointe-Colibri (pXRF)	111
Annexe 22 : Site de Stockage de la décharge est (pXRF).....	112
Annexe 23 : Site de stockage de gros cap (pXRF)	113
Annexe 24: Carte des isohyètes inter-annuelles de la Guadeloupe sur la période 1981-2010 (Météo France)	114
Annexe 25 : Analyses des sédiments du port de la Désirade en vue d'un dragage (Safege 2019)	115

1. Introduction

1.1. CONTEXTE DE L'ETUDE

L'échouage massif de sargasses (*Sargassum natans* et *Sargassum fluitans*) depuis 2011 sur les côtes antillaises entraîne des conséquences marquées d'un point de vue environnemental (asphyxie de la faune et de la flore marine), économique (oxydation des appareils électroniques, chômage technique pour les entreprises situées à proximité du rivage, baisse du tourisme, ...) et sanitaire (émanations toxiques de sulfure d'hydrogène et d'ammoniac au cours de leur décomposition). Un plan départemental de lutte contre les échouages de sargasses a été mis en place par la préfecture de Guadeloupe.

Au 26 décembre 2018, 19 sites potentiels d'épandage de sargasses ont été identifiés et utilisés à partir de cette période. Le contexte environnemental et historique de ces sites est décrit dans le rapport BRGM RP-70062-FR.

Ces sites sont de natures variées, tant par leur environnement (qu'il s'agisse de géologie, d'hydrologie, d'hydrogéologie, de proximité d'habitation, etc.) que par leur mise en œuvre (cubage de sargasses, mise en tas, mélange avec du sable, mélange avec des boues de dragage ou de déchets divers...).

Les premières investigations conduites par l'étude Eco3Sar entre 2015 et 2016 ont révélé que les sargasses présentaient des concentrations pouvant atteindre respectivement jusqu'à 78 µg/kg MS¹ d'arsenic et 70 µg/kg MS de chlordécone.

1.2. OBJECTIF DE L'ETUDE

Actuellement, l'impact environnemental associé aux sargasses, et plus particulièrement aux sites d'épandages, reste inconnu.

Il est donc essentiel :

(1) de mieux caractériser la composition chimique des sargasses qui s'échouent, notamment en éléments traces métalliques et en produits phytosanitaires ; cette caractérisation étant réalisée dans le cadre du projet Eco3Sar piloté par le CNRS ;

(2) de caractériser chimiquement les différents sites d'épandages des sargasses afin d'évaluer les éventuels impacts sur l'environnement (eau de surface, eau souterraine, eau de mer, sol, sous-sol, sédiments).

Dans ce contexte, fin 2018, l'ADEME² a sollicité le BRGM Guadeloupe pour réaliser une étude sur l'impact environnemental de ces sites d'épandage. La présente étude se base sur la norme NF X 31-620-2 « Qualité des sols - Evaluation des sols et des sites et dépollution des sols » définie par l'AFNOR³.

¹ Matière sèche

² Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

³ Association française de normalisation

Le projet réalisera les offres globales de prestations « EVAL »⁴ et « CPIS »⁵ définie dans cette norme dont les objectifs généraux sont :

- Définir un programme d'investigations ou de surveillance ;
- Mettre en œuvre le programme de prélèvements ;
- Interpréter les résultats et statuer sur l'impact environnemental des stockages.

⁴ Prestation réalisée dans le rapport intermédiaire BRGM/RP-70062-FR

⁵ Conception de programme d'investigations ou de surveillance

2. Sources d'informations disponibles

2.1. RAPPEL DE LA PHASE DOCUMENTAIRE

Le rapport intermédiaire RP-70062-FR réalisé sur la période 2019-2020 a permis de faire un état des lieux de l'ensemble des sites de stockage utilisés sur la Guadeloupe et ses dépendances. Plusieurs sites sont ressortis comme étant des sites à forts enjeux en raison de leur taille et des risques qu'ils représentent pour les cibles avoisinantes (espaces protégés, ressources naturelles, activités humaines).

Ces recherches ont permis de préparer la campagne d'échantillonnage réalisée en juillet 2019 ainsi qu'à l'automne 2020, dont le but était de constater si les stockages de sargasses impactaient leur milieu. A travers la phase documentaire, le profil historique, géologique, pédologique et hydrogéologique de chaque site a été établi dans le but de contextualiser les résultats à venir dans la phase de prélèvement du projet.

Afin de déterminer si le stockage des sargasses a un impact sur le milieu hôte, il est convenu de choisir à l'avance le panel de polluants à analyser au sein des principales matrices (eau et sol) pour quantifier la pollution et anticiper sa potentielle mobilité. Pour être pris en compte dans l'étude d'impact, ces polluants doivent être présents dans les algues avant leur dépôt sur site, une série de travaux récents a permis d'en dresser une liste non exhaustive.

2.2. PROJET ECO3SAR

L'étude principale sur les polluants présents dans les sargasses des petites Antilles est le projet Eco3Sar, menée par le laboratoire BOREA⁶ sur la période 2019-2020. La synthèse de l'étude fournit ses résultats sur les ETM⁷ contenus dans les algues :

*« Les concentrations moyennes obtenues dans les sargasses (MS⁸) sont de **0,45 mg/kg pour le cadmium, 11,4 mg/kg pour le chrome, 1,1 mg/kg pour le cobalt, 4,3mg/kg pour le cuivre, 3,8 mg/kg pour le nickel, 0,55 mg/kg pour le plomb, 7,4 mg/kg pour le zinc** et en dessous des limites de détection pour le mercure et le méthyl-mercure (HgX-CH₃). ».*

Néanmoins l'arsenic reste l'ETM le plus concentré dans les algues avec une spéciation particulière sur les espèces As III/V » :

« Pour l'arsenic, nous avons pu montrer que la forme minérale largement majoritaire est celle la moins toxique à savoir l'arsenic(V), et qu'en moyenne les formes minérales représentaient environ les trois-quarts de l'arsenic total (avec cependant des variations importantes). Indépendamment de la forme, la concentration en arsenic total phyto-accumulée dans les sargasses qui s'échouent est en moyenne de 80 mg par kg de matière sèche (min = 9,5 et max = 156) en considérant les deux campagnes. Une variabilité interannuelle a pu être observée. Cette étude a aussi permis de montrer qu'au cours du processus de séchage sur les plages la quantité de As totale pouvait baisser de manière significative dans les sargasses. Les sargasses issues des sites de stockage présentaient elles aussi une concentration significativement plus

⁶ Biologie des organismes et écosystèmes aquatiques (CNRS Paris)

⁷ Eléments Traces Métalliques

⁸ Matière sèche

faible en arsenic que celles prélevées sur les sites d'échouages. La présence d'arsenic dans les sargasses impose donc un traitement adapté des échouements : laisser les sargasses en eau induirait la transsudation⁹ de quantités potentiellement importantes d'arsenic dans le milieu. ».

Ces observations renseignent sur la pollution élémentaire présente dans les sargasses mais également que le délai de ramassage des sargasses après échouage a une influence sur la contamination du site de stockage. L'étude Eco3Sar fait également état des contaminations en chlordécone¹⁰, la présence de ce pesticide dans les sargasses est liée au lieu d'échouage (zone contaminée par la chlordécone). De plus, les valeurs de concentration rencontrées au sein d'une même zone sont très hétérogènes avec des concentrations allant de moins de 10 µg/kg MS à 1,9 mg/kg MS, cette concentration maximale a été observée sur la plage des Roseaux de Capesterre-Belle-Eau.

Enfin le rapport Eco3Sar mentionne ceci : « *Par ailleurs, il est depuis longtemps montré que différentes espèces d'algues (des lignées brunes, rouges et vertes) sont capables d'accumuler dans leurs milieux naturels différents types de micropolluants organiques allant des pesticides aux hydrocarbures aromatiques polycycliques ou aux polychlorobiphényles* ». Ces informations devraient amener à analyser également ces paramètres sur les zones où leur présence est possible.

2.3. AUTRE ETUDE

Une deuxième étude (Rodriguez-Martinez et al. 2020) réalisée sur les sargasses du Mexique échouées sur la période 2018-2019 apportent des précisions sur certaines concentrations (Tableau 1).

Eléments	LD*	Echantillons supérieur à la LD (%)	Minimum	Maximum	Médiane
Al	140	58.7	<LD	500	206
As	4	100	24	172	80
Ca	394	100	23,723	136,146	70,040
Cl	266	100	747	53 101	22 350
Cu	6	7.9	<LD	540	<LD
Pb	2	7.9	<LD	3	<LD
Zn	5	12.7	<LD	17	<LD

*Tableau 1 : Concentrations élémentaires (mg/kg MS) dans les sargasses collectées sur les côtes mexicaines (Rodriguez-Martinez et al. 2020) *LD : Limite de détection*

Il est à noter que les concentrations en ETM présentées dans cette étude sont en accord avec les données présentées dans le rapport Eco3Sar. En effet, dans la mesure où les limites de détection données ici sont supérieures aux valeurs d'Eco3Sar les résultats sont compatibles.

⁹ Passage d'un liquide à travers une membrane

¹⁰ Chlordécone

2.4. ELARGISSEMENT DES PARAMETRES EN FONCTION DU LIEU DE RAMASSAGE

L'étude d'Eco3Sar a montré que les sargasses ont une forte capacité d'adsorption des ETM ainsi que des molécules complexes telles que la chlordécone. Ces propriétés naturelles questionnent sur la possibilité que d'autres polluants présents dans le milieu marin de manière ponctuelle soient également adsorbés.

2.4.1. Zone portuaire

Plusieurs sites de stockage sont approvisionnés par des sargasses provenant de zones portuaires et ramassées par des barges type Sargator ou des pelles mécaniques. Parmi ces sites on retrouve les stockages de Viard, Sainte-Claire, Saint-Félix, gros cap et Pointe-Colibri. Compte tenu des polluants présents généralement dans les ports, des pollutions déjà observées sur le territoire guadeloupéen et des paramètres analysés dans les sédiments de dragage pour la classification de ces derniers (Arrêté interministériel du 14 juin 2000), les analyses suivantes ont été choisies pour les prélèvements effectués sur ces sites :

TBT¹¹ : ce polluant organostannique interdit par le décret n°2003-8796 a été largement utilisé dans les milieux portuaires pour ses propriétés biocides dans les peintures antisalissure des coques de bateaux, afin d'éviter notamment le développement d'algues et de coquillages. C'est un produit toxique et écotoxique pour l'ensemble des organismes. Ce polluant soluble dans l'eau a tendance à se dégrader par contact avec la lumière en milieu oxydant avec une demi-vie allant de quelques jours à quelques semaines, mais son adsorption dans les sédiments en milieu réducteur peut augmenter sa demi-vie à plusieurs années. Le polluant étant plus présent dans les sédiments, la probabilité de contamination des sargasses est faible, mais le ramassage des sargasses pouvant mettre en suspension ces derniers, le risque de contamination n'est pas à exclure.

HAP¹² : cette famille de polluants est principalement issues de l'utilisation d'hydrocarbures dans les ports. Ce sont des composés majoritairement hydrophobes avec une tendance à s'adsorber sur la matière organique particulaire en suspension ainsi que de se bioconcentrer (*Mohindra et al. 2018*) dans les organismes. Ces molécules sont biologiquement actives et peuvent provoquer des dysfonctionnements cellulaires. Les HAP étudiés ici (Tableau 2) sont les même que ceux analysés dans les sédiments portuaires en prévision d'un dragage.

¹¹ Tributylétain

¹² Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

HAP	Toxicité	Cancérogénese	Mutagène
Naphtalène	Modérée	Non confirmée	
Acénaphène	Modérée		Constatée
Acénaphylène	Modérée		Constatée
Fluorène	Faible		Constatée
Phénanthrène	Modérée		Constatée
Anthracène	Modérée		Constatée
Fluoranthène	Modérée	Non confirmée	Constatée
Pyrène	Modérée	Non confirmée	Constatée
Benzo[a]anthracène	Élevée	Confirmée	Constatée
Chrysène		Confirmée	Constatée
Benzo[b]fluoranthène		Confirmée	Constatée
Benzo[k]fluoranthène		Confirmée	Constatée
Benzo[a]pyrène	Élevée	Confirmée	Constatée
Benzo[e]pyrène		Non confirmée	Constatée
Indéno[1,2,3-cd]pyrène		Confirmée	Constatée
Benzo[ghi]perylène		Non confirmée	Constatée
Dibenzo[a, h]anthracène	Élevée	Confirmée	Constatée

Tableau 2 : Liste des HAP étudiés et toxicité individuelle observée (Source INERIS)

2.4.2. Zone bananière

Les sites de stockage situés sur la côte au vent de la Basse-Terre recueillent les sargasses s'échouant au sein des ports de Petit-Bourg et Goyave. Cette zone connaît une problématique phytosanitaire notamment à cause des taux importants de chlordécone présents dans les eaux naturelles et les sols. Cet enjeu spécifique amène à vérifier si de manière analogue à la chlordécone et ses métabolites (Chlordécol et Chlordécone Hydro5B), d'autres polluants phytosanitaires seraient adsorbés par les sargasses, l'analyse multi-résidus portant sur l'analyse de plus de 450 substances phytosanitaires.

2.5. SYNTHÈSE DES PARAMÈTRES SÉLECTIONNÉS

Rappel des formules¹³ présentées dans le rapport intermédiaire BRGM/RP-70062-FR et synthétisées dans le Tableau 3.

- La formule 1 inclura l'analyse de l'arsenic et des chlorures et sera réalisée à minima sur chaque échantillon de sol ;
- La formule 2 traitera des éléments traces métalliques (ETM), du chlore, du sodium et des sulfates ;
- La formule 3 comprendra les éléments de la formule 2 auxquels s'ajouteront les HAP et le trybutylétain, composés caractéristiques des environnements portuaires. Les sites accueillant des sargasses provenant de ce type d'environnement feront donc l'objet de ce type d'analyses. La formule 4 correspondra à l'analyse des éléments de la formule 3 auxquels s'ajoutera la chlordécone et ses métabolites en lien avec le contexte bananier de Basse-Terre. Ces analyses seront donc utilisées essentiellement pour les sites présents à proximité de ces zones bananières ;
- La formule 5 sera une analyse dite « multi-résidu » permettant d'identifier un large spectre de contaminants en lien avec l'activité agricole notamment (plus de 450 molécules analysées).
- En supplément la spéciation de certaines analyses de l'arsenic sera mesurée afin de déterminer les parts d'As III (arsenic trivalent) et d'As V (arsenic pentavalent). La spéciation sert à déterminer la mobilité et la toxicité de l'arsenic, le trivalent étant plus mobile et toxique que le pentavalent.

Formule	As et Cl ⁻	ETM, Na et SO ₄ ²⁻	HAP, TBT	Chlordécone Chlordecol Chlordécone-Hydro5B	Multi résidus
1	X				
2	X	X			
3	X	X	X		
4	X	X	X	X	
5	X	X	X	X	X

Tableau 3 : Résumé des substances analysées par formule

En complément des cinq formules précédentes, une sixième formule correspondant à des tests de lixiviation des sols (capacité des sols à relâcher dans le milieu certains composés) sera ponctuellement effectuée sur certains échantillons.

2.6. CARACTÉRISATION DES DÉPÔTS

Des analyses de lixiviation des sols ont été réalisées sur huit sites différents, pour être comparées avec les seuils ISDI¹⁴ selon la norme NF X30-402-2. Ces analyses doivent permettre de

¹³ L'ensemble des formules exceptées les tests de lixiviation s'applique aux sols ainsi qu'aux eaux

¹⁴ Installation en stockage de déchets inertes

caractériser les dépôts (mélange sable et sargasses) ainsi que certains sols naturels en contact avec les dépôts. L'objectif de ce type d'analyse est de savoir dans quelle catégorie classer les terres présentes sur le site de stockage. Cela permet également de connaître les concentrations en arsenic et chlorures dans les eaux transitant à travers les dépôts et les sols impactés. Parmi ces contaminants se trouve les PCB¹⁵, BTEX¹⁶ et hydrocarbures (C10 à C40).

PCB : les polychlorobiphényles sont une famille de molécules polluantes persistantes et présentant des propriétés bioaccumulatrices (*Norstöm et al. 2010*), leur utilisation est interdite depuis 1987. Ces molécules furent utilisées dans le domaine de la fabrication de transformateur électriques, de condensateurs et pour ses propriétés lubrifiantes dans les systèmes de type turbine, pompe... Leur propriété cancérigène est confirmée par le CIRC¹⁷ en 2013. Les PCB analysés dans cette étude sont les suivants : PCB 101, PCB 118, PCB 138, PCB 153, PCB 180, PCB 28, PCB 52. Ces PCB sont les même que ceux analysés dans la caractérisation des sédiments de dragage et sont suivis comme substances pertinentes dans l'arrêté du 30 juin 2005 relatif au programme national d'action contre la pollution des milieux aquatiques par certaines substances dangereuses.

BTEX : Les BTEX (Benzène, Toluène, Éthylbenzène et Xylènes) sont des composés organiques volatils mono-aromatiques, toxiques et écotoxiques. Ils sont des sous-produits des réactions pyrolytiques et fréquemment utilisés dans la pétrochimie.

Hydrocarbures (C10 à C40) : Les hydrocarbures représentent l'ensemble des molécules composées exclusivement de carbone et d'hydrogène. Les catégories C10 à C40 regroupent les hydrocarbures ayant un nombre d'atome de carbone compris entre 10 et 40. La toxicité des hydrocarbures est variable selon les molécules.

¹⁵ Polychlorobiphényle

¹⁶ Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylènes

¹⁷ Centre international de recherche sur le cancer

3. Methodologie d'échantillonnage

Les prélèvements réalisés sur site se divisent entre les eaux et les sols. De manière systématique toutes les eaux sont prélevées en raison de leur fréquence d'apparition relativement faible sur l'ensemble des sites. Les sols sont prélevés en fonction des résultats obtenus par la pXRF en sélectionnant les sols les plus concentrés et en essayant de sélectionner différentes granulométries de sols sur un même site.

3.1. PRELEVEMENTS D'EAUX

Les prélèvements d'eaux sont divisés en quatre catégories : les **prélèvements d'eaux stagnantes** (lixiviats des dépôts de sargasses ou « jus de sargasses »), les **prélèvement d'eaux de surface** (eaux naturelles), les **prélèvements d'eaux souterraines** et les **prélèvements en mer** si le site est suffisamment proche du littoral et qu'un potentiel rejet en milieu marin est constaté.

Les prélèvements hors eaux de mer se font par remplissage direct des récipients dans le milieu pour les prélèvements non filtrés et par prélèvements à la seringue pour les échantillons filtrés (ETM). Les flaques sont généralement accessibles et l'usage d'un récipient intermédiaire pour la collecte n'est pas nécessaire (Illustration 1).



Illustration 1 : Mare prélevée à l'anse du Belley (gauche), prélèvement dans une flaque de lixiviation à Viard (droite)

Les prélèvements en mer sont réalisés en suivant un transect côtier le long du site de stockage. Le but de ces prélèvements est de déterminer si les rejets du site sont quantifiables dans le milieu marin. La surface de l'eau aux points de prélèvements étant difficile d'accès, un seau est utilisé comme récipient intermédiaire (Illustration 2).

Les eaux souterraines sont prélevées à l'aide d'un seau dans le puits de Pompierre, l'eau du puits n'a pas été renouvelée pour le prélèvement. Les eaux souterraines de l'anse du Belley sont atteintes en creusant et prélevées à l'aide d'un flacon intermédiaire.



Illustration 2 : Prélèvements d'eau de mer sur le site de stockage de Pointe Colibri

Les prélèvements sont collectés dans des récipients adaptés (Illustration 3) aux paramètres analysés et envoyés au laboratoire. Les récipients sont stockés dans des glacières afin de les maintenir à température fraîche ($\leq 6^\circ$). Les retours du laboratoire sur la température à la réception de la glacière indiquent que ce paramètre est respecté. Les propriétés physicochimiques de chaque prélèvement sont mesurés par une sonde multi-paramètres HANNA HI 9829 qui donne la **température**, le **pH**, le **potentiel d'oxydo-réduction**, la **conductivité** et la **teneur en oxygène** (% et mg/L).



Illustration 3 : Flacons de prélèvements (gauche), mesure à l'aide de la sonde multi-paramètres sur une flaque de lixiviation à anse Maurice (droite)

3.2. PRELEVEMENTS DE SOLS

Les prélèvements de sols sont réalisés à l'aide d'une tarière à main pour les prélèvements profonds et d'une pelle de jardinage pour les prélèvements de surface. Les sols sont placés dans des sacs de prélèvements en plastique. Chaque prélèvement de sol est préalablement analysé par pXRF (Illustration 4). Le but des prélèvements est de déterminer quelles sont les sols les plus impactés par les dépôts de sargasses. Pour cela divers types de sols sont sélectionnés (sables et argiles) sous des dépôts de sargasses d'âges différents. Les sols en dehors du site de stockage sont également prélevés afin d'avoir un témoin du fond géochimique de la zone étudiée. Tous les sites de stockage ne font pas l'objet d'un prélèvement de témoin. Dans ce cas, les

valeurs de référence seront le fond géochimique (Cabidoche et al. 2001) déterminé par l'INRA pour la Basse-Terre et la Grande-Terre (Tableau 4).



Illustration 4 : Mesure par pXRF à gros cap (gauche) et tamisage d'un sol à anse à la Bouelle (droite)

	Valeurs couramment observées dans les sols "ordinaires" de toutes granulométries (mg/kg)	Valeurs observées dans le cas d'anomalies naturelles modérées (mg/kg)	Valeurs observées dans le cas de fortes anomalies naturelles (mg/kg)	Valeurs mesurées dans les sols de Basse-Terre (mg/kg)	Valeurs mesurées dans les sols de Grande-Terre (mg/kg)
	D'après Baize, 1997			Données INRA : RMQS ou Cabidoche et al, 2001	
As	1 à 30	30 à 60	60 à 230	10 à 20	10 à 20
Cd	0,05 à 0,45	0,7 à 2,0	2,0 à 7,0	0,1 à 0,3	0,4 à 0,8
Cr	10 à 90	90 à 150	150 à 534	5 à 50	50 à 110
Co	2 à 23	23 à 90	105 à 148	15 à 60	20 à 90
Cu	2 à 20	20 à 62	néant	40 à 120	40 à 60
Hg	0,02 à 0,20	0,20 à 0,45	néant	0,1 à 0,2	0,1 à 0,2
Ni	2 à 60	60 à 130	130 à 480	4 à 25	15 à 20
Pb	9 à 50	60 à 90	100 à 3000	10 à 30	10 à 30
Se	0,10 à 0,70	0,8 à 2,0	2,0 à 4,5		2 à 4
Tl	0,10 à 1,7	2,5 à 4,4	7,0 à 55	0,3 à 0,8	0,1 à 0,5
V				200 à 500	100 à 200
Zn	10 à 100	100 à 250	205 à 3800	60 à 180	60 à 110

Tableau 4 : Fond géochimique des sols de Guadeloupe, en référence aux gammes de référence des sols de l'hexagone (Source INRA).

3.3. SPECTROMETRE DE FLUORESCENCE X PORTABLE (PXRF)

Les analyses sont réalisées à l'aide d'un appareil de mesure de marque NITON de modèle XL3t980.

3.3.1. Stratégie d'échantillonnage

Il a été décidé pour cette étude d'utiliser cette méthode analytique sur l'ensemble des sites de stockage. L'idée principale étant d'orienter les prélèvements de sols en vue des analyses laboratoire. Les analyses *in situ* par pXRF dans les conditions de réalisation (granulométrie et hygrométrie des sols variables) ne peuvent servir comme valeurs dans la phase d'interprétation en raison de la marge d'erreur trop élevée, plus particulièrement liée à la non préparation des échantillons (séchage et broyage).

3.3.2. Limites de la méthode analytique et correction des données

La méthode analytique par pXRF est sujette à des erreurs de précisions en lien avec de nombreux facteurs. Les causes sont décrites comme telles :

« Les principales interférences rencontrées en spectrométrie de fluorescence X sont dues aux effets physiques de la matrice, à l'humidité, à la porosité de l'échantillon et aux effets chimiques de la matrice... Le logiciel intégré dans le spectromètre de fluorescence X tient compte des interférences entre les différents éléments chimiques pour le calcul des teneurs mais il ne permet pas toujours de toutes les compenser et les teneurs de certains de ces éléments sont sous ou surestimées par rapport aux teneurs réelles » (Laperche, 2005).

Ces disparités peuvent être corrigées dans le cas où un échantillon mesuré *in situ* par cette méthode est prélevé puis analysé en laboratoire. Cette méthode requiert de réaliser plusieurs prélèvements sur site (au moins 3) puis par la suite de calculer une régression linéaire entre les valeurs mesurées *in situ* et en laboratoire pour le même point. La validité du modèle de régression linéaire est déterminée par un coefficient r^2 compris entre 0 et 1, plus ce coefficient est proche de 1, plus juste est la régression linéaire, seules les régressions avec un coefficient supérieur à 0,8 sont considérées comme valides. Par la suite, ces régressions servent à calculer les valeurs corrigées des mesures *in situ* non prélevées pour approcher une valeur d'analyse en laboratoire.

La réalité des conditions de terrain a éprouvé cette observation avec une grande diversité de sols de par leur origine, structure et état hydrique. Certains sols ont été tamisés (sols sableux), d'autres ont été séchés (sols argileux humides) mais il demeure cependant une importante variabilité entre les échantillons, y compris au sein d'un même site de stockage. La détection d'arsenic est également très sensible à l'humidité du sol, qui a tendance à atténuer le signal et diminuer le résultat en comparaison à la valeur réelle. La méthodologie décrite ci-dessus n'a pas été complètement concluante. Néanmoins, les résultats obtenus par PXRF ont permis de discriminer les zones non ou faiblement polluées des zones plus fortement polluées et d'orienter les prélèvements.

3.4. BILAN DE LA CAMPAGNE DE PRELEVEMENTS

La campagne de prélèvements a été réalisée durant le mois de juillet 2019, les prélèvements ont été analysés par le Laboratoire Départemental d'Analyse de la Drôme et envoyés par avion le jour même du prélèvement. L'ensemble des détails sur les matrices échantillonnées est présenté dans le Tableau 5.

SITES	Eaux stagnantes	Eaux souterraines	Eaux de surface	Eaux de mer	Sols	Tests lixiviation	pXRF
anse à tortues	2	-	-	-	5	-	11
porte d'enfer	-	-	-	-	1	1	10
anse Maurice	3	-	-	-	7	4	11
alizés	-	-	-	-	1	-	7
anse Montal	-	-	-	-	3	-	7
anse à la Bouelle	-	-	-	-	5	-	10
anse champagne	1	-	-	-	-	1	11
raisins clairs	-	-	-	-	-	1	6
anse du Belley	2	2	2	-	6	3	9
St Félix	-	-	-	-	4	-	13
Viard	1	-	4	-	4	-	12
Sainte Claire	2	-	3	-	5	-	11
Pompierre	-	1	-	1	4	2	14
pointe du havre	-	-	-	-	2	-	13
Pointe Colibri	2	-	-	4	5	1	16
Décharge Est	-	-	-	-	3	-	10
gros cap	2	-	-	5	6	3	14
Total	24	-	-	11	55	13	185

Tableau 5 : Synthèse des types de matrices prélevées par site de stockage.

Comme expliqué précédemment, de multiples contaminants sont recherchés dans cette étude, les analyses ont été adaptées en fonction de l'origine des sargasses et des enjeux liés à la zone de stockage. Le plan d'échantillonnage initial a dû s'adapter aux réalités du terrain (difficulté de différencier les sols en place des dépôts, absence d'eaux superficielles...). La répartition globale des paramètres analysés est donnée dans le Tableau 6.

		As, Cl ⁻	ETM, Na ; SO ₄ ²⁻	HAP, TBT	CLD	Multi Résidus	Lixiviats
Sainte-Claire	Eaux	>	>	>	4	1*	
	Sols	>	>	>	4	1	
Viard	Eaux	>	>	>	5		
	Sols	>	>	>	4		
St-Félix	Eaux						
	Sols	4	3*				
anse du Belley	Eaux	6	4	2			
	Sols	6	5				3
raisins clairs	Eaux						
	Sols						1
anse champagne	Eaux	>	1				
	Sols						1
anse à la Bouelle	Eaux						
	Sols	>	5				
anse Montal	Eaux						
	Sols	3*					
alizés	Eaux						
	Sols	1					
anse Maurice	Eaux	>	3				
	Sols	8	7*				4
porte d'enfer	Eaux						
	Sols	1					1
anse à tortues	Eaux	>	2*				
	Sols	5	4				
Pointe-Colibri	Eaux	>	>	5*			
	Sols	5	3	2			1
Décharge Est	Eaux						
	Sols	>	2				
Pompierre	Eaux	>	>	2*			
	Sols	4	1				2
pointe du havre	Eaux						
	Sols	2	1	1			
gros cap	Eaux	>	>	7*			
	Sols	>	5	1 ¹			3

Tableau 6 : Nombre d'échantillons réalisés par site et par substance (* : Spéciation arsenic III/V)

3.5. CRITERES DE COMPARAISON

3.5.1. Critères pour les eaux

L'eau analysée sur site doit faire l'objet d'une comparaison à des valeurs normées pour juger de l'impact. Les valeurs réglementaires de normes de qualité environnementale définie par la directive 2013/39/CE seront choisies comme étant les plus pertinentes et permettront de se rendre compte de l'état chimique des différentes eaux sur la base de seuils définis pour la protection de l'environnement et la santé humaine (Tableau 7). Seules les valeurs détectées dans les échantillons d'eaux continentales sont retranscrites dans le tableau ci-dessous. Ces valeurs

seuils sont données à titre indicatif, et peuvent être naturellement dépassées en raison de fond géochimique élevé pour les ETM (hors arsenic) ou bien d'une pollution croisée.

Substance		Métaux						Chlordécone	Tributylétain	Anthracène	Naphtalène	Cl	
		As	Pb	Zn	Cu	Cr	Ni						Cd
ECO ¹⁸ (µg/L)	Eau de transition ¹⁹ Eau côtière	0,83	1,3	-	-		8,6	0,2	0,0000005	0,0002	0,1	2	
MAC ²⁰ (µg/L)		1,37	14,25	-	-		34	1,5	0,01	0,0015	0,1	130	
ECO (µg/L)	Eau de surfaces intérieures	0,83	1,2	7,8	1	3,4	4	0,25	0,0000005	0,0002	0,1	2	
MAC (µg/L)		1,37	14,25	-	-		34	1,5	0,07	0,0015	0,1	130	
NQE ES ²¹ (µg/L)	Eaux souterraines	10	10	5000	2000	50	20	5	0,1	0,1	140	140	200

Tableau 7 : Normes de qualité environnementale fixant les valeurs règlementaires des eaux de surfaces intérieures, de transition, côtières et souterraines définie par la directive 2013/39/CE et l'arrêté du 17 décembre 2008

3.5.2. Critères pour les sols

Dans la méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués, les résultats de concentration brute dans les sols sont comparés à des valeurs de référence prédéterminées.

Dans le cas des ETM qui sont les seuls éléments de l'étude pouvant être naturellement présents dans les sols, le fonds géochimique guadeloupéen (source INRA²² - RMQS²³ / Cabidoche et al. 2001) défini par le RMQS sera utilisé.

Le cas des Saintes, de la Désirade et de Marie-Galante seront traités à part avec les témoins réalisés sur place, la géologie de ces lieux étant sensiblement différentes de celle des deux îles principales de la Guadeloupe (Basse Terre : BT et Grande Terre : GT). Afin de déterminer s'il y a ou non impact, il sera choisi d'utiliser les valeurs RMQS, qui sont systématiquement plus importantes que celles du fond géochimique local calculé avec les prélèvements de l'étude et qui permettent ainsi d'éviter une sous-évaluation du fond géochimique réel par un trop faible nombre de témoins. Les fonds géochimiques sont présentés dans le Tableau 8. La valeur médiane des témoins servira pour la détermination du fond géochimique des chlorures et du sodium.

¹⁸ Seuil minimal admissible pour la qualité environnementale

¹⁹ Eau de transition : Marécage, mare, zone d'embouchure...

²⁰ Seuil maximal admissible pour la qualité environnementale et la santé humaine

²¹ Normes de qualité environnementale pour les eaux souterraines

²² Institut National de la Recherche Agronomique

²³ Réseau de mesure de la qualité des sols

Paramètres	Unité	Médiane de l'ensemble des témoins de l'étude	Médiane témoins BT	Médiane témoins GT	RMQS BT	RMQS GT
Arsenic	mg/kg	5,56	9,185	6,24	20	20
Cadmium	mg/kg	0,2	0	0,45	0,3	0,8
Chrome	mg/kg	53,3	12,55	42,5	50	110
Cuivre	mg/kg	39	48,6	29,65	120	60
Plomb	mg/kg	9,8	3,4	14,9	30	30
Nickel	mg/kg	14,4	4,4	13,95	25	20
Zinc	mg/kg	60,1	70,25	57,55	180	110
Chlorures		100,5				
Sodium		2004				

Tableau 8 : Récapitulatif des fonds géochimiques mesurés à travers les témoins

3.5.3. Critères pour les lixiviats

Les seuils ISDI (Tableau 9) répondent à une norme définie par l'arrêté du 12 décembre 2014 relatif aux conditions d'admission des déchets inertes, la méthode de lixiviation répond à la norme NF EN 12457-2.

Analyse sur éluat		
Paramètres	Unité	Valeur Seuil
Mercuré	mg/kg	0,5
Chrome	mg/kg	0,5
Fluorures	mg/kg	10
Plomb	mg/kg	0,5
Sélénium	mg/kg	0,1
Antimoine	mg/kg	0,06
Arsenic	mg/kg	0,5
Nickel	mg/kg	0,4
Molybdène	mg/kg	0,5
Cuivre	mg/kg	2
Zinc	mg/kg	4
Carbone organique total	mg(C)/kg	500
Sulfates (SO4)	mg/kg	1000
Chlorures	mg/kg	800
Baryum	mg/kg	20
Fraction soluble	mg/kg	4000
Analyse sur échantillon total		
Carbone organique total	mg/kg	30000
BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes)	mg/kg	6
PCB (polychlorobiphényles 7 congénères)	mg/kg	1
Hydrocarbures (C10 a C40)	mg/kg	500
HAP	mg/kg	50

Tableau 9 : Seuil ISDI définis par l'arrêté du 2 décembre 2014

4. Interprétation site par site

La présentation des sites ayant été réalisée dans le rapport RP-70062-FR, seule la présentation et l'interprétation des prélèvements sera abordée dans cette partie. Les données seront présentées sous la forme d'une carte de synthèse par site, les cases colorées dans les tableaux de données indiquent un dépassement du seuil de référence choisi pour chaque type de prélèvement dans la partie 3.5. L'ensemble des données laboratoires est disponible de l'Annexe 1 à l'Annexe 7, seules les données interprétées sont présentées dans les cartes de synthèse.

4.1. SITE DE STOCKAGE DE L'ANSE A TORTUES

Le site de stockage de l'anse à tortues a fait l'objet de cinq prélèvements de sols et de deux prélèvements d'eaux.

Les résultats sont présentés dans l'illustration 5.

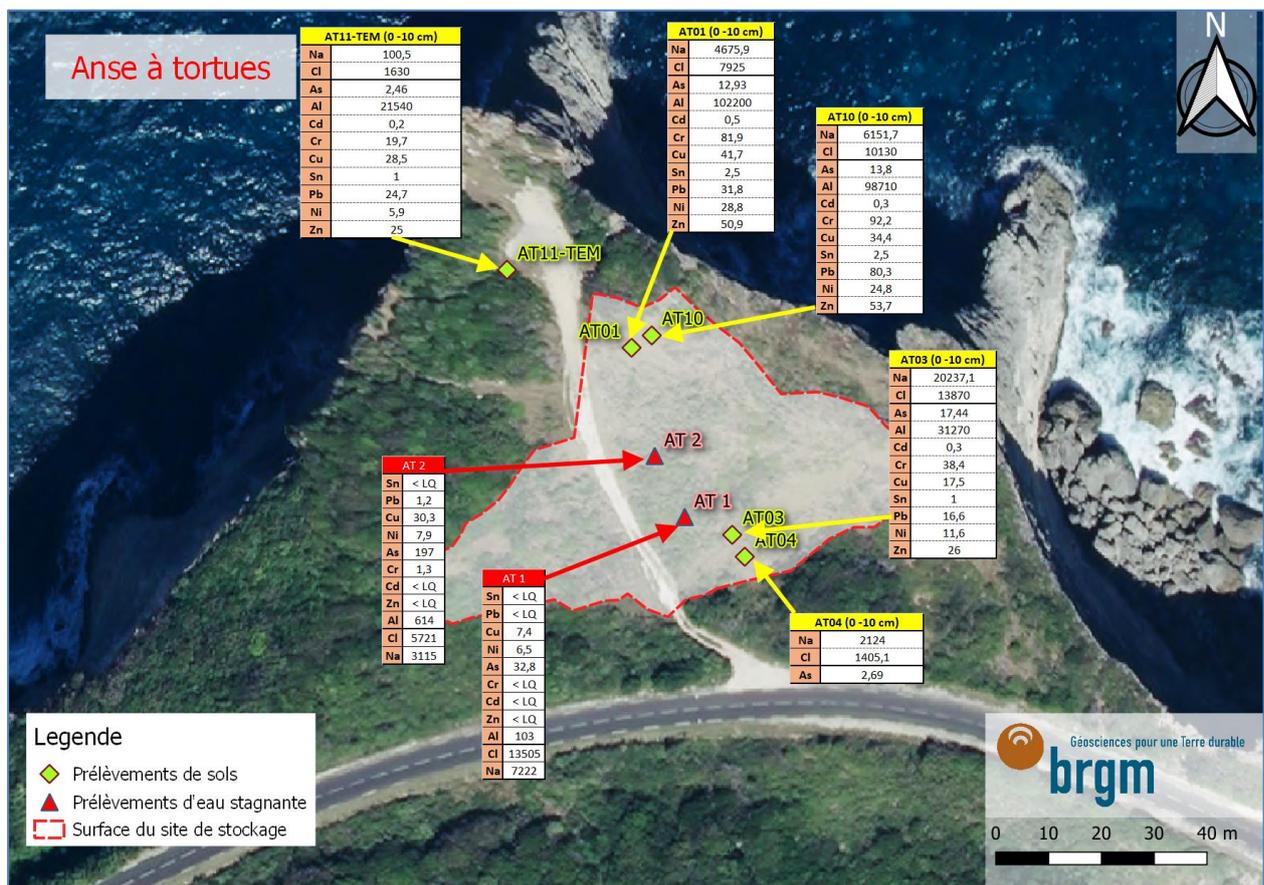


Illustration 5 : Carte des prélèvements du site de stockage de l'anse à tortues

Les concentrations en chlorure et sodium dans les sols sont représentatives de l'impact des dépôts. Tous les échantillons dépassent les valeurs de référence pour les marqueurs salins. Le prélèvement témoin **AT11-TEM** appuie cette hypothèse par une concentration en Cl (100,5 mg/kg) et Na (2004 mg/kg) bien inférieure à celle mesurée au droit des dépôts.

Les concentrations en arsenic des mesures sont supérieures à celle du témoin mais reste inférieure aux valeurs de fond géochimique INRA.

Les sols prélevés sont argileux et se trouvent sous une épaisseur de sables/sargasses d'environ 20 cm (Illustration 6)

Les points **AT01** et **AT10** montrent des dépassements en plomb et nickel mais cela peut être dû à une pollution ponctuelle liée à une autre activité telle qu'une décharge sauvage, des déchets ont été observés sur cette partie du stockage. De plus cette pollution n'apparaît pas sur le point **AT03** qui est le point le plus impacté par les marqueurs salins et l'arsenic.



Illustration 6 : Dépôts du site de stockage de l'anse à tortues

Les prélèvements d'eaux (Illustration 7) donnent des résultats très distincts, le point **AT 2**, qui se situe sur la piste d'accès est plus concentré en ETM. Le point **AT 1** est quant à lui plus concentré en marqueurs salins. La différence observée entre ces deux points d'eaux stagnantes est la présence de biofilms en grandes quantités dans la flaqué du point **AT 1**, qui pourrait expliquer une adsorption des éléments métalliques dissous disponible dans l'eau (Andjelkovic et al. 2017), la détermination des bactéries constituantes du biofilm permettrait de statuer sur cette question.



Illustration 7 : Eaux prélevées ; AT2 (gauche) ; AT1 avec biofilm (droite)

Le principal impact du stockage observé sur site est une salinisation des argiles en place au droit des dépôts de sargasses.

4.2. SITE DE STOCKAGE DE PORTE D'ENFER

Le site de stockage de porte d'enfer « haut » a fait l'objet d'un prélèvement de sol pour un test de lixiviation sur une argile proche des dépôts. Le stockage de porte d'enfer « bas » étant peu visible lors de la campagne de prélèvement, la zone décrite par l'agent du SIPS²⁴ comme étant la zone de stockage a été échantillonnée.

Les résultats sont présentés dans l'illustration 8.

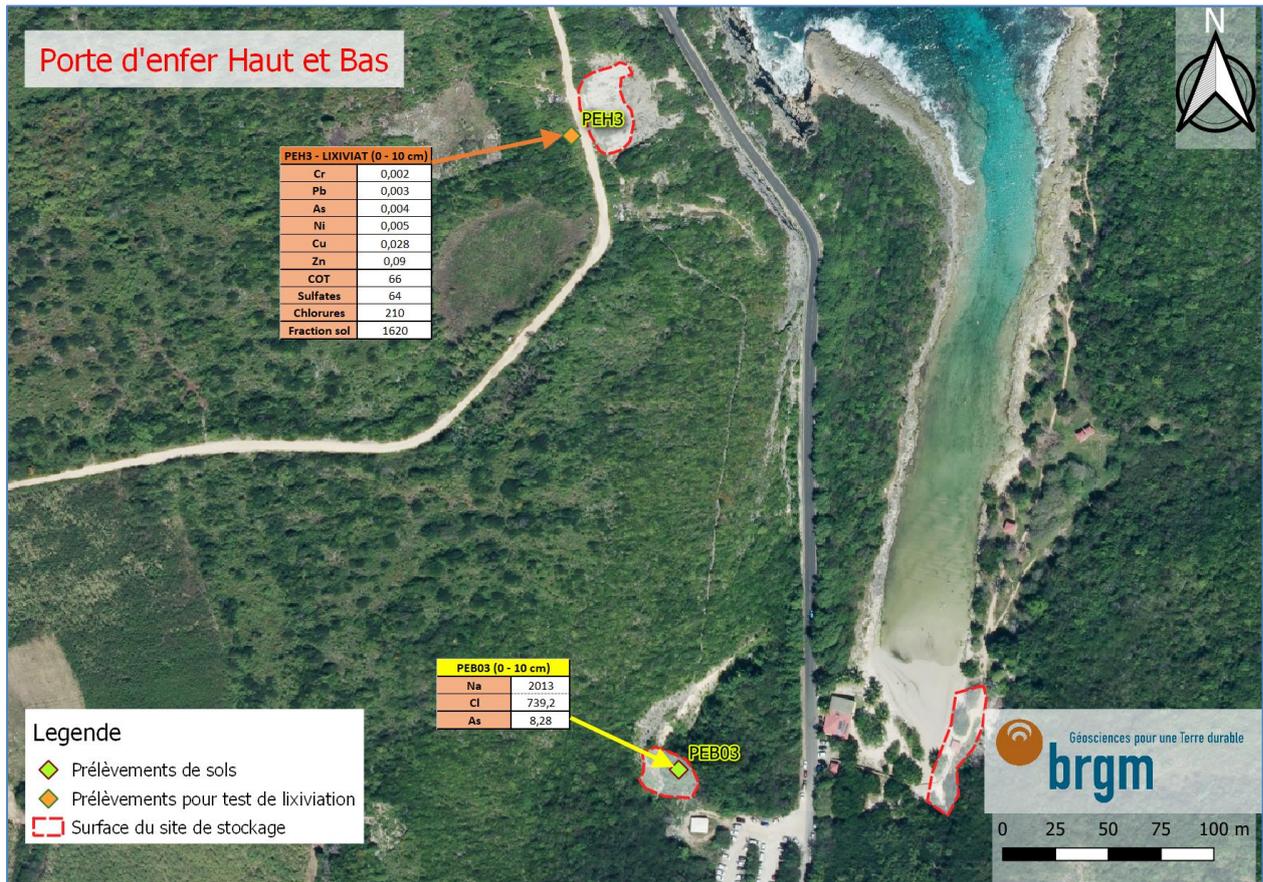


Illustration 8 : Carte des prélèvements du site de stockage de porte d'enfer

Les sols du site porte d'enfer « haut » sont difficilement accessibles étant donné l'épaisseur importante des dépôts de sables et de sargasses (Illustration 9). Le point analysé **PEH3** n'indique pas de dépassement du seuil ISDI²⁵ et présente des teneurs globalement très faibles en comparaison aux autres tests effectués au cours de l'étude. Cet écart est peut-être lié à l'emplacement du point de prélèvement topographiquement trop élevé par rapport au dépôt pour mesurer un impact. Un point plus bas n'a pas été réalisé dû à une présence exclusive de roche calcaire et de sable du dépôt.

²⁴ Le Syndicat Intercommunal pour la mise en valeur des plages et sites touristiques de la Guadeloupe

²⁵ Installation en stockage de déchets inertes



Illustration 9 : Vues des sites de porte d'enfer bas (gauche) et porte d'enfer haut (droite)

Le point **PEB03** du site porte d'enfer « bas » présente des concentrations en arsenic, chlorures et sodium supérieures au témoin mesuré sur le site proche de l'anse à tortues. Cette concentration montre néanmoins une faible contamination du site par les dépôts de sargasses.

Aucun impact particulier n'est observé sur ce site, mis à part une salinisation du sol sur le site de porte d'enfer « bas ».

4.3. SITE DE STOCKAGE DE L'ANSE MAURICE

Le site de l'anse Maurice (Illustration 10) a fait l'objet de multiples prélèvements en raison de ses caractéristiques et de sa taille importante. Les sols proviennent de la couche argileuse présente sous environ 60 cm de dépôts. Les prélèvements d'eaux proviennent d'eaux stagnantes au droit et à côté des dépôts.



Illustration 10: Vue du site de stockage d'anse Maurice

Les résultats sont présentés dans l'illustration 11 et Illustration 12.

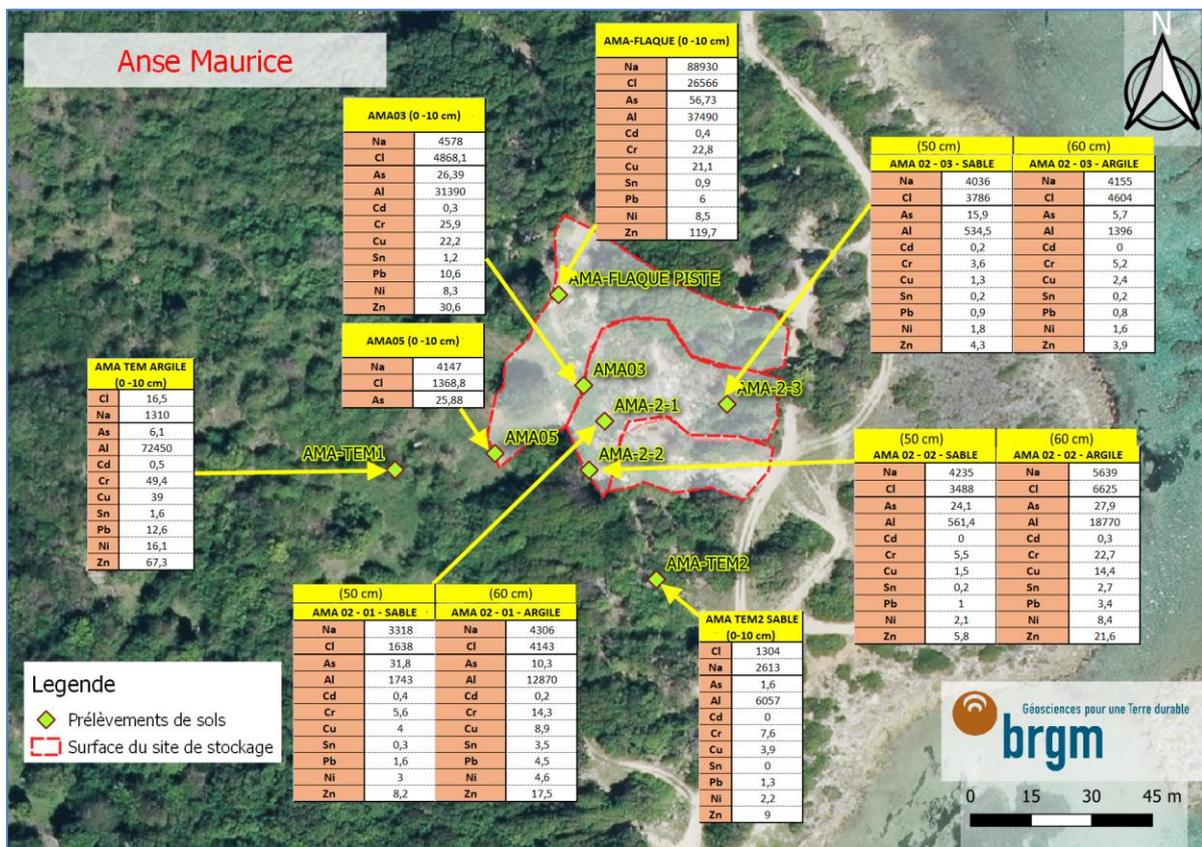


Illustration 11 : Carte des prélèvements de sols du site de stockage d'anse Maurice

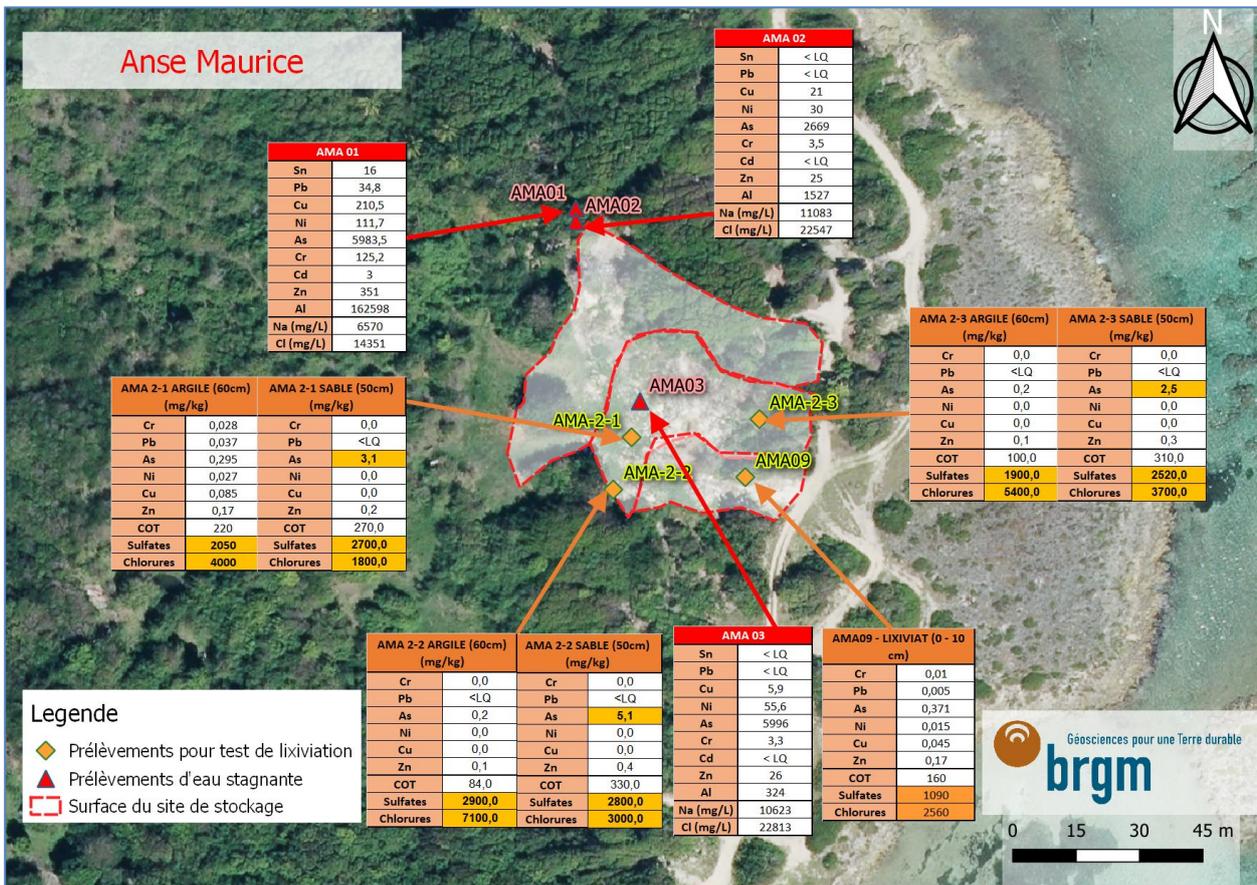


Illustration 12 : Carte des prélèvements des tests de lixiviation et des eaux du site de stockage d'anse Maurice

Les analyses de sols ont mis en évidence la présence d'arsenic dans la plupart des échantillons dans une gamme allant de 24,1 à 56,73 mg/kg. De même les marqueurs salins sont élevés sur ces échantillons en comparaison au témoin **AMA-TEM ARGILE**. Aucun autre dépassement significatif sur les analyses brutes n'est détecté. Les tests de lixiviation corrélaient les analyses de sols avec une forte présence de chlorure et d'arsenic dépassant le seuil ISDI à plusieurs reprises. La matrice la plus chargée en arsenic lixiviable est la matrice sableuse, constitutive du dépôt et reposant sur les argiles en place.

Les prélèvements d'eaux stagnantes révèlent des taux d'arsenic élevés, le point **AMA03** est réalisé dans les dépôts qui contiennent un certain volume d'eau bloqué par les argiles sous-jacentes. Ces fortes teneurs peuvent donc s'expliquer par le contact permanent entre cette eau et les dépôts de sargasses. De même que pour les sols, les marqueurs salins indiquent une influence des sargasses, avec une teneur en chlorures similaire à celle de l'eau de mer. D'autres dépassement anormaux apparaissent sur les éléments plomb, cuivre, nickel, chrome, cadmium et zinc. La présence de ces métaux est probablement liée à la décharge sauvage existant sous le site de stockage, comme le montre les disparités de teneurs entre **AMA01** et **AMA03** pour une même concentration en arsenic.



Illustration 13 : Flaque prélevée pour un échantillon d'eau stagnante

Le site d'anse Maurice a permis l'observation de différents phénomènes :

- **Les dépôts sableux mélangés aux sargasses peuvent contenir de l'eau si cette dernière est bloquée par des argiles sous-jacentes, cette eau peut être très concentrée en chlorures et arsenic.**
- **Les dépôts sableux sont plus chargés que les argiles sous-jacentes en carbone organique dû au mélange sable/sargasses.**
- **Les dépôts sableux sont plus concentrés en arsenic et moins concentrés en chlorures que les argiles sous-jacentes.**
- **Les tests de lixiviation indiquent que les dépôts sableux libèrent mieux l'arsenic que les argiles. Ce n'est pas le cas des chlorures qui sont proportionnellement lixiviés pour les sables et les argiles (de 0,85 fois à 1,16 fois la concentration brute de l'échantillon), ce qui n'indique pas une granulométrie particulièrement protectrice vis-à-vis des chlorures, les argiles ralentissant néanmoins la vitesse de transfert de l'eau.**

4.4. SITES DE STOCKAGE DES ALIZES ET D'ANSE MONTAL

Le site de stockage des alizés a fait l'objet d'un prélèvement de sol sableux. L'échantillon **AL06** ne présente aucune trace particulière en surface. L'âge avancé du site ainsi que la texture sableuse du sol pourrait favoriser une potentielle migration des chlorures et de l'arsenic en profondeur.

Le site de stockage de l'anse Montal a fait l'objet de trois prélèvements dont deux sur un même point à des profondeurs différentes. Comme il est difficile de différencier le sol en place du sable mélangé aux sargasses en lien avec leur ramassage, les échantillons sont prélevés à partir de la surface du dépôt.

Les résultats sont présentés dans l'illustration 14.

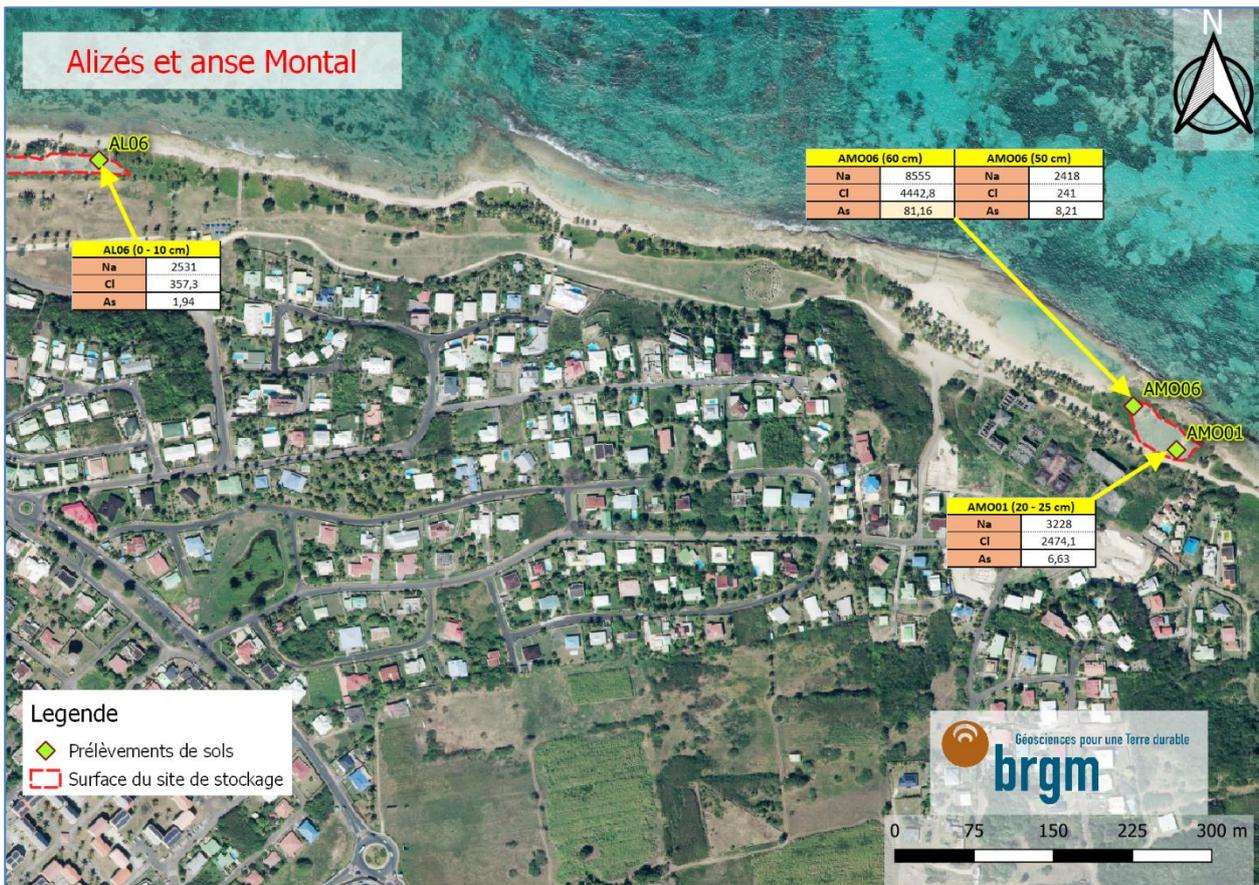


Illustration 14 : Carte des prélèvements des sites de stockage des alizés et de l'anse Montal

Le prélèvement **AMO01** est réalisé dans la couche argileuse présentes sous le sable du dépôt, la teneur en arsenic est peu élevée et correspond au fond géochimique des sols de la Grande-Terre, la présence de chlorures et sodium peut également être expliquée par la présence très proche du littoral et la potentielle submersion régulière du sol par les eaux marines.



Illustration 15 : Vue du site de stockage des alizés (gauche) ; Point AMO 06 (droite)

Le prélèvement **AMO06** (Illustration 15) est réalisé sur la partie épaisse du dépôt (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Un échantillon à 50 cm sous la surface du dépôt dans la matrice sableuse indique une faible présence de chlorures et d'arsenic. Le deuxième échantillon réalisé à 60 cm sous la surface du dépôt est d'une texture différente, contenant plus de matières organiques et donnant un sable à texture pâteuse et de couleur brun-jaune. Cette texture est probablement liée à la dégradation des algues dans le sable. Les concentrations sont sensiblement différentes avec un taux d'arsenic et de chlorures élevés.

Le site d'anse Montal permet l'observation d'un phénomène qu'est la différence de concentration en fonction de la profondeur. Cela peut s'expliquer par le transfert en profondeur de l'arsenic, de la matière organique et des chlorures dû aux précipitations. La percolation ralentit dans un milieu moins drainant et/ou plus favorable à l'adsorption qu'une matrice uniquement sableuse. La présence de matière organique mélangée au sable peut ralentir cette percolation.

Les sargasses contiennent de grandes quantités d'alginate (45% pour l'espèce *Sargassum Fluitans*) qui est une matière visqueuse présentant une forte capacité de sorption sur les éléments traces métalliques (Fourest et al. 1995). Il est émis comme hypothèse que la couche sableuse profonde du point AMO06 pourrait être fortement concentrée en alginate, ce qui pourrait expliquer cette forte concentration en arsenic.

4.5. SITE DE STOCKAGE DE L'ANSE A LA BOUELLE

Le site de stockage de l'anse à la Bouelle a fait l'objet de cinq prélèvements de sols en surface. Le fond géochimique du site renseigné par les prélèvements **ABL03-TEM** et **ABL10-TEM** est élevé en zinc en comparaison des autres sols de la Grande-Terre. Les témoins sont argileux et représentatifs du sol local.

Les résultats sont présentés dans l'illustration 16.

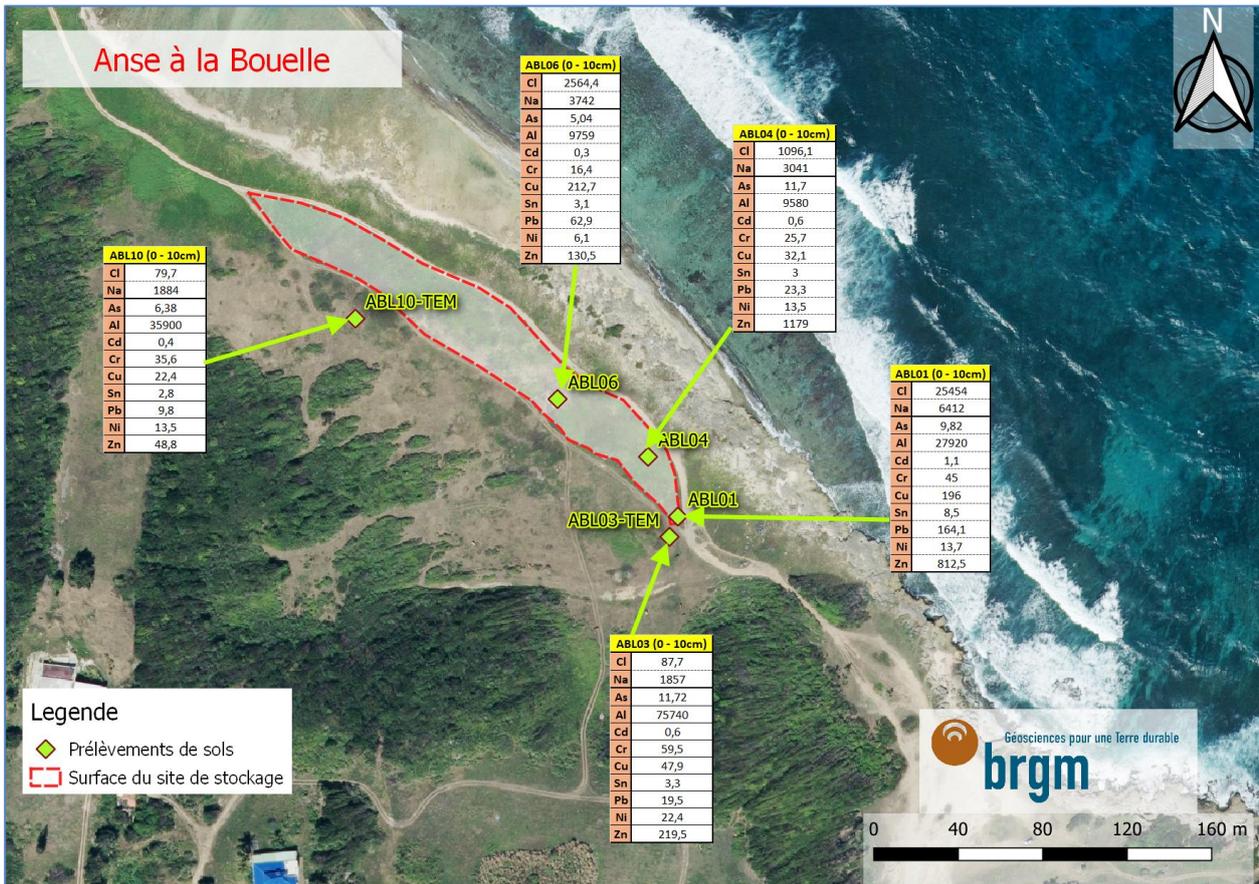


Illustration 16 : Carte des prélèvements du site de stockage d'anse à la Bouelle

Les points **ABL06** et **ABL04** ont une texture sableuse alors que le point **ABL01** est argileux. Ces trois prélèvements réalisés au droit du dépôt sur la couche support sous 20 cm de mélange de sables et de sargasses n'indiquent pas de dépassement du fond géochimique sur l'élément arsenic. En comparaison aux témoins, ces points indiquent une forte concentration en plomb, cuivre, étain, cadmium, zinc, sodium et chlorures. Les marqueurs de salinité sont liés aux dépôts de sargasses car présents sur les trois points du site.

Les sargasses étant réparties de manière uniforme sur l'ensemble du stockage (Illustration 17), les disparités de concentration en métaux suggèrent une origine différente que le stockage de sargasses (ancienne décharge sauvage, anomalie géochimique...). D'après les analyses pXRF, la contamination en zinc, plomb, chrome et cuivre se situe sur la moitié est du site au droit des points **ABL04**, **ABL01**, **ABL03-TEM**.



Illustration 17 : Vues du site de stockage d'anse à la Bouelle

Le site d'anse à la Bouelle montre une disparité importante de la concentration de chlorures entre les sables et les argiles, les argiles ont tendance à être plus concentrées en chlorures que les sables.

4.6. SITE DE STOCKAGE DE L'ANSE CHAMPAGNE

Le site de stockage de l'anse champagne a fait l'objet d'un prélèvement de sol de type argileux **AC07** sous le dépôt et d'un prélèvement d'eau stagnante **AC 1**.

Les résultats sont présentés dans l'illustration 18 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

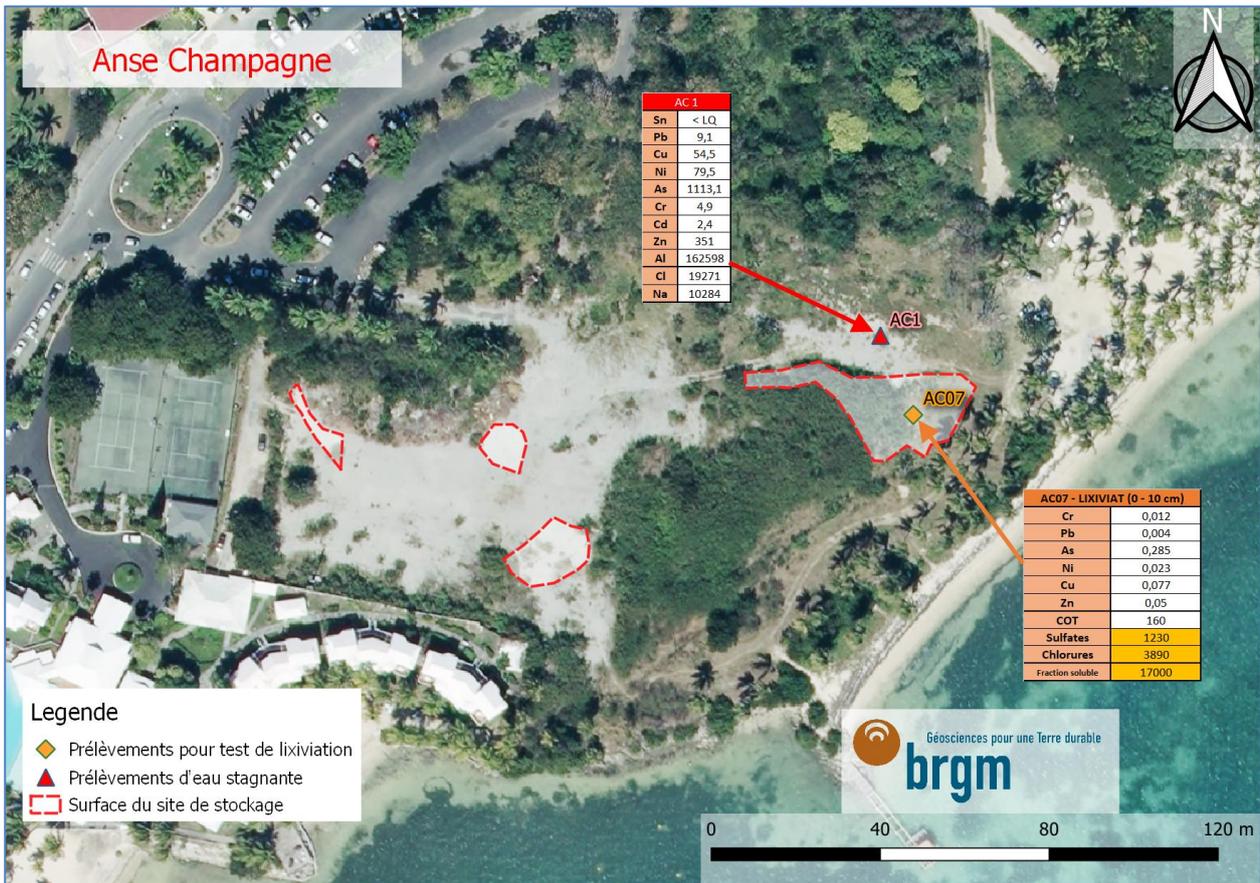


Illustration 18 : Carte des prélèvements du site de stockage d'anse champagne



Illustration 19 : Dépôts de sargasses du site d'anse champagne avec le point de prélèvement AC 1 (droite)

Le test de lixiviation indique un dépassement en sulfates et chlorures en comparaison au seuil ISDI, ce dépassement est lié au dépôt de sargasses qui génère une pollution saline ainsi que des rejets de sulfates présents dans les sargasses. L'arsenic est également présent mais ne dépasse pas le seuil ISDI.

Le prélèvement d'eau (Illustration 18) est également concentré en ETM (arsenic, cuivre, nickel, chrome, cadmium, zinc et aluminium). Les concentrations en arsenic, chlorures sont à mettre en relation avec le stockage de sargasses, la présence des autres métaux peut être liée aux sargasses mais également à l'historique du site qui est une décharge sauvage ainsi que l'emplacement d'un ancien hôtel démolie pour désamiantage en 2013.

4.7. SITE DE STOCKAGE DE RAISINS CLAIRS

Le site de stockage de raisins clairs n'accueille plus de dépôts de sargasses en surface de manière analogues au site de stockage des alizés. Un prélèvement de sol sableux **RC04** est réalisé pour un test de lixiviation.

Les résultats sont présentés dans l'illustration 20.



Illustration 20 : Carte des prélèvements du site de stockage de raisins clairs

Le prélèvement **RC 04** est réalisé à 50 cm de profondeur (Illustration 21) pour étudier le transfert des contaminants en milieu souterrain. Les résultats indiquent un dépassement du seuil ISDI en chlorures, sulfates et arsenic. La concentration en arsenic et sulfates atteste de l'impact lié au stockage dans le milieu souterrain. La présence de chlorures peut être due aux sargasses mais également à la proximité du littoral et à des submersions marines régulières.



Illustration 21 : Zone de stockage de raisins clairs (gauche), prélèvement RC 04 (droite)

Le prélèvement réalisé sur ce site permet de constater le transfert de l'arsenic dans un milieu relativement profond (supérieur à 50 cm) et de son potentiel de lixiviation dans une matrice sableuse.

4.8. SITE DE STOCKAGE DE L'ANSE DU BELLEY

Le site de stockage de l'anse du Belley a fait l'objet de prélèvements de sols sableux et argileux mais également d'eaux de différentes origines (stagnantes, souterraines et de surfaces). C'est un site de grande superficie, fréquemment aplani et alimenté en sargasses, qui se situe sur l'arrière plage de l'anse du Belley

Les résultats sont présentés dans l'illustration 22 et l'illustration 23.

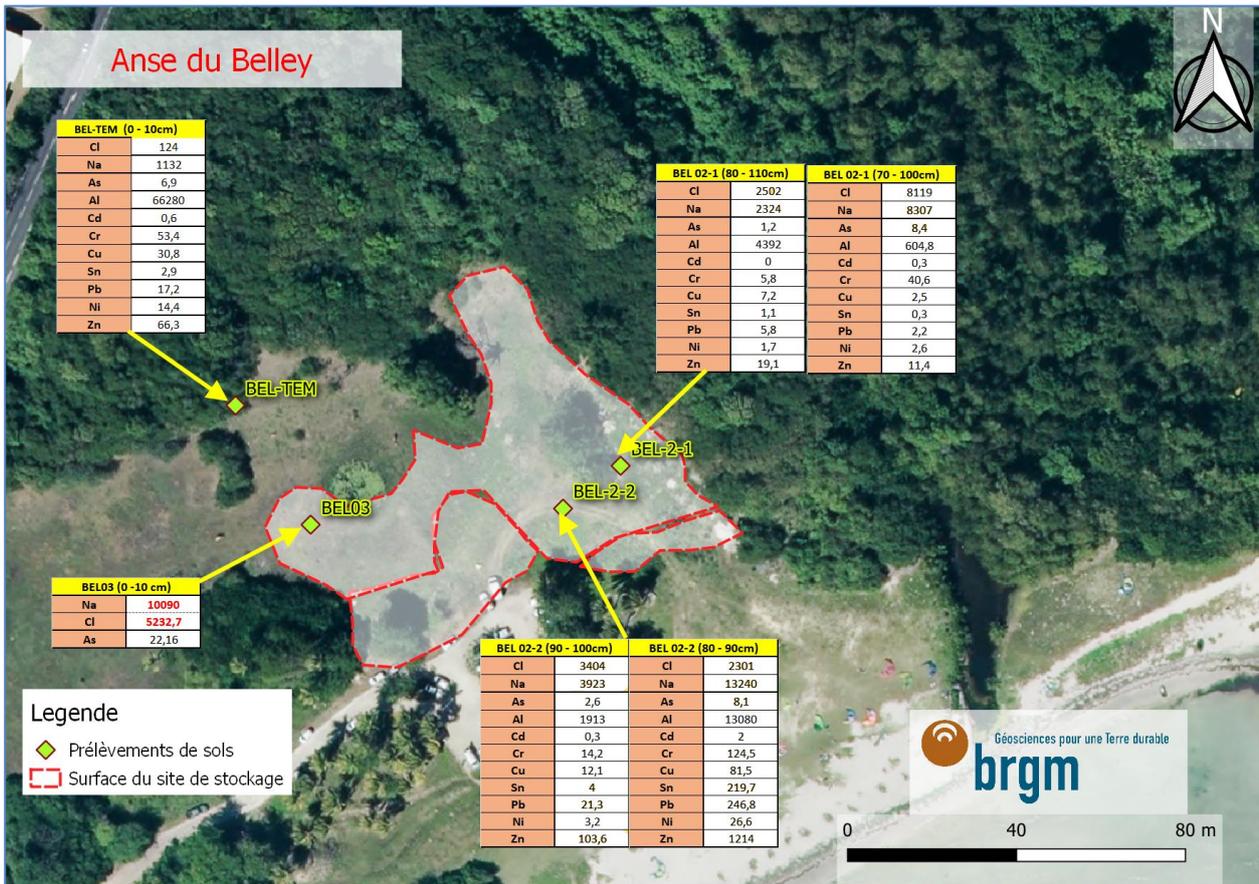


Illustration 22 : Carte des prélèvements de sols du site de stockage de l'anse du Belley

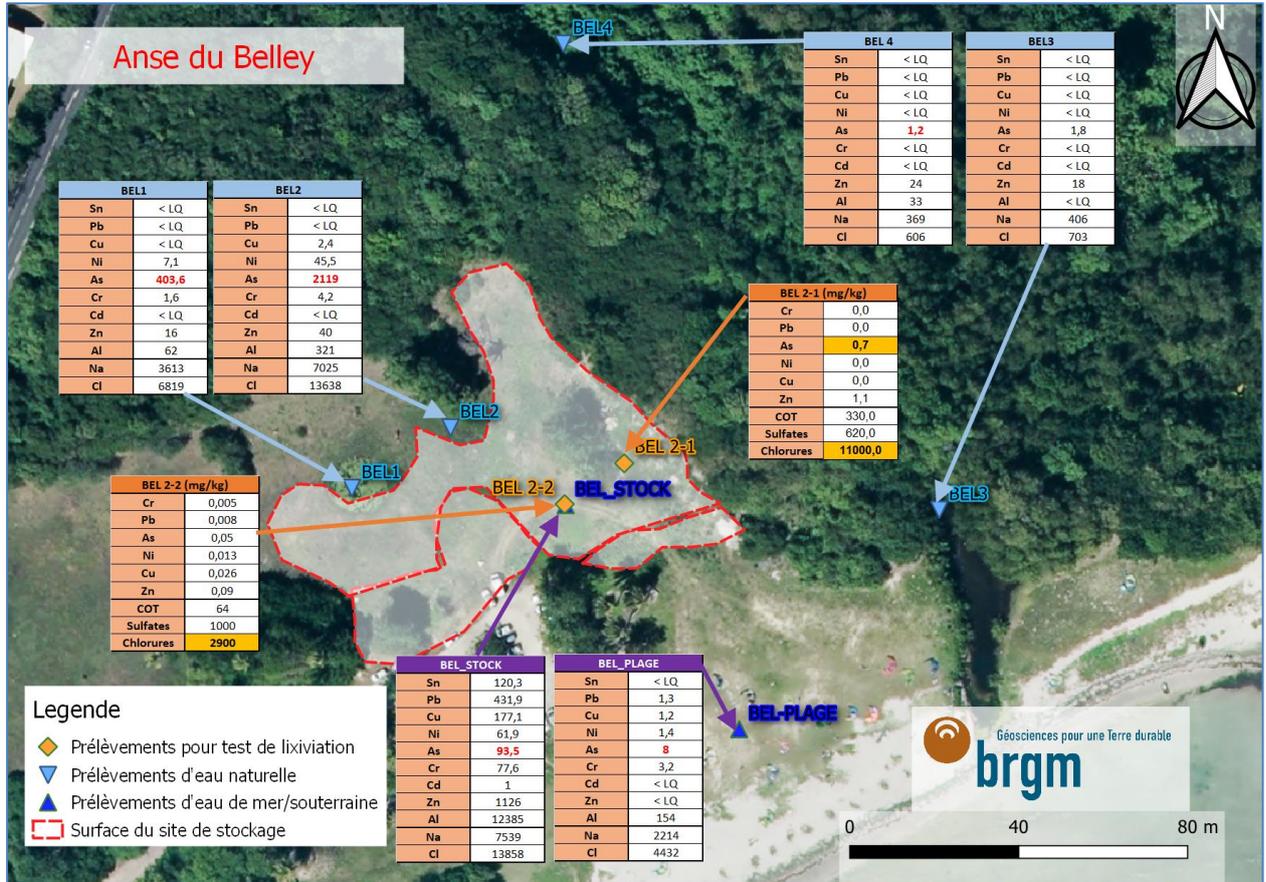


Illustration 23 : Carte des prélèvements d'eaux et des test de lixiviation du site de stockage de l'anse du Belley



Illustration 24 : Vues du site de stockage de l'anse du Belley ; terrassement des dépôts (gauche) ; prélèvement du point BEL 03

Les analyses indiquent un taux d'arsenic supérieur au fond géochimique sur le point **BEL 03** (Illustration 24), néanmoins les teneurs restent relativement faibles. Le point **BEL 2-3** réalisé en profondeur au droit du site de stockage révèle des teneurs importantes sur les éléments cadmium, plomb, cuivre, nickel, chrome et zinc ainsi qu'une concentration anormale en étain.

Après vérification le site se situe sur d'anciens dépôts de remblais d'origine inconnue, l'observation des horizons lors du prélèvement (160 cm de profondeur) ont permis de constater la présence de nombreux déchets dans cette couche de remblais.

Les tests de lixiviation n'ont pas été réalisés sur cette couche profonde et révèlent uniquement un impact des dépôts de sargasses caractérisés par un dépassement sur les chlorures et l'arsenic.

Les prélèvements d'eaux réalisés donnent différentes informations, les points **BEL1** et **BEL2** réalisés sur des eaux de surface montrent l'influence des dépôts de sargasses par les fortes teneurs en chlorures et en arsenic. La présence anormale de zinc et de nickel est mesurée mais l'origine peut être attribuée à la pollution induite par les remblais. Les points **BEL3** et **BEL4** réalisés dans la ravine avoisinante (Illustration 25) ne montrent pas d'impact particulier des sargasses avec une faible concentration en arsenic et en chlorures. Le zinc est présent en quantité faible, provenant probablement des remblais ou des nombreux débris métalliques présents dans la ravine. Enfin le point d'eau souterraine **BEL_STOCK** (Illustration 26) montre l'influence du stockage de sargasses sur les eaux souterraines, avec une présence d'arsenic et de chlorures anormalement élevée, on note la présence d'autres ETM en lien avec les remblais. Le point **BEL_PLAGE** ne présente pas les mêmes caractéristiques avec un profil moins contaminé, des traces d'arsenic s'y retrouve mais cela peut provenir de l'échouage naturel des sargasses. L'influence du stockage sur les eaux avoisinantes semble donc se limiter aux eaux sur site.



Illustration 25 : Eaux prélevées , mare naturelle (gauche) et sortie de la ravine (droite)



Illustration 26 : Prélèvements des eaux souterraines BEL_STOCK (gauche) et BEL_PLAGE (droite)

En synthèse, l'impact est confirmé sur un profil avec un transfert vertical des polluants. Néanmoins la pollution ne s'étend pas de manière horizontale avec une absence d'impact observé sur les eaux autour du site de stockage.

4.9. SITE DE STOCKAGE DE SAINT-FELIX

Le site de stockage de Saint-Félix a fait l'objet de quatre prélèvements de sols, dont trois sur la partie récente du stockage et un (SF12) sur la partie ancienne où les dépôts ne sont plus visibles

Les résultats sont présentés dans l'illustration 27.

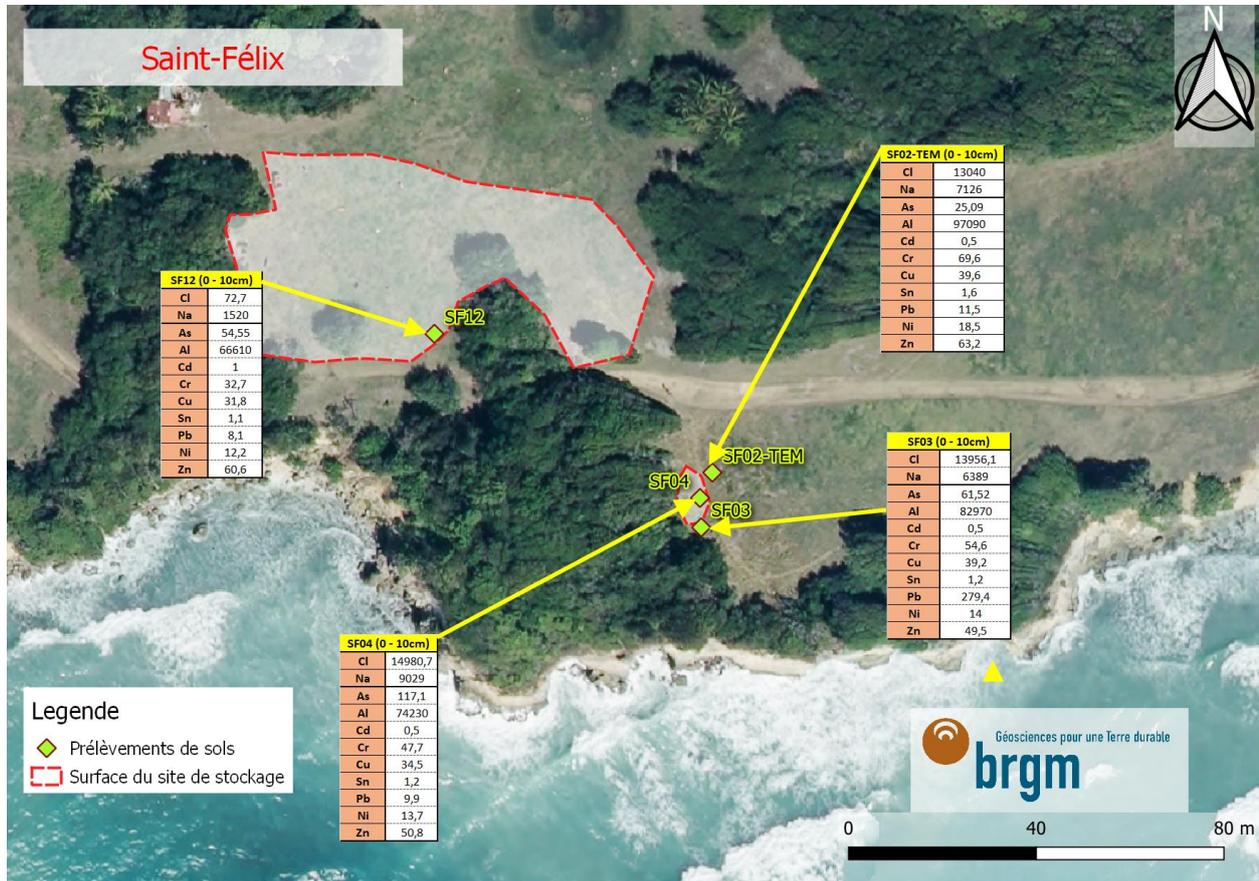


Illustration 27 : Carte des prélèvements du site de stockage de Saint-Félix

Le point **SF03** présente une concentration en plomb très supérieure aux échantillons à proximité qui provient d'une anomalie ponctuelle. Les chlorures ne sont présents que dans les sols (**SF03 et SF04**) du stockage récent mais également dans le témoin proche du dépôt **SF02**. Il est possible que le témoin ait été contaminé par des écoulements du dépôt ou que les sols de cette zone soient naturellement salés. La faible présence de chlorures dans l'échantillon de l'ancien dépôt **SF12** (Illustration 28) peut s'expliquer par un lessivage du sol, en effet les chlorures ont une capacité de dissolution importante et une plus faible affinité avec les argiles que l'arsenic.



Illustration 28 : Vue du site de stockage de St-Félix (gauche); ancienne zone de dépôts de sargasses (droite)

Le stockage de Saint-Félix montre que les sols argileux en pente ont tendance à être lessivé car on observe une diminution très forte des teneurs en chlorures. Ce phénomène s'observe aussi pour l'arsenic mais dans une moindre mesure car les teneurs restent fortes.

4.10. SITE DE STOCKAGE DE VIARD

Le site de stockage de Viard a fait l'objet de quatre prélèvements de sols argileux et de cinq prélèvements d'eaux stagnantes.

Les résultats sont présentés dans l'illustration 29

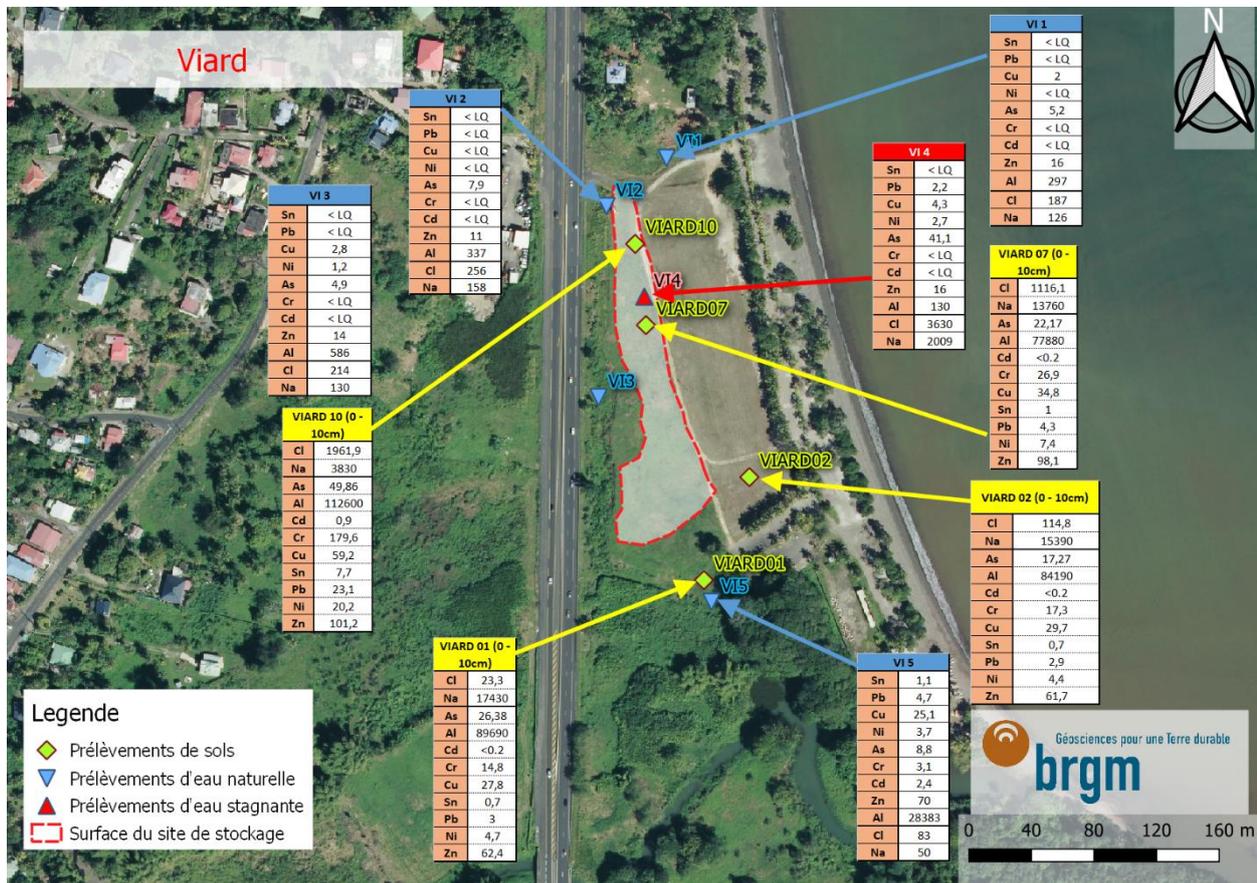


Illustration 29 : Carte des prélèvements du site de stockage de Viard

Le prélèvement **VIARD 10** se trouvant au centre du stockage (Illustration 30) est plus concentré sur l'ensemble des paramètres analysés que le témoin **VIARD 02**, de même la concentration en chlorure est plus importante sur les prélèvements réalisés au droit du stockage (**VIARD 07** et **VIARD 10**) que pour les prélèvements effectués hors site (**VIARD 02** et **VIARD 01**). La forte concentration en métaux du prélèvement **VIARD 10** peut être liée à la présence des sédiments du port de Petit-Bourg mélangés aux sargasses lors de la collecte. Il n'existe pas de données concernant ces sédiments mais l'étain retrouvé sur site peut être un marqueur de pollution portuaire. Des teneurs en chlordécone sont mesurées sur le site avec un maximum de 71,8 µg/kg, cette teneur proscrit la possibilité d'implanter une activité de pâturage sur ces sols comme il a pu être constaté lors des visites de site.



Illustration 30 : Vues du site de stockage de Viard

Les prélèvements d'eaux **VI1**, **VI2**, **VI3** et **VI5** sont réalisés dans des eaux stagnantes autour du site de stockage (Illustration 31). Des traces d'arsenic et de chlorure sont retrouvées mais dans des proportions faibles en comparaison au prélèvement **VI4** réalisé au milieu du stockage. L'impact du stockage se limite donc aux eaux stagnantes au droit du dépôt et les interactions avec les eaux naturelles avoisinantes reste faible. Le point **VI5** situé au sud du site de stockage est plus concentré en cuivre, chrome, cadmium, zinc et aluminium. Le faible taux de chlorure et d'arsenic indique une autre source de contamination que les sargasses pour ces métaux, le fond géochimique pouvant être exclu par les concentrations mesurées sur le point **VIARD 01** très similaires au résultat du témoin. La cause de la pollution peut donc provenir d'un écoulement d'eau polluée en provenance de la route nationale ou des habitation sus-jacentes se situant à l'ouest.



Illustration 31 : Vues des eaux prélevées sur site, stagnantes (gauche) et naturelles (droite)

Le site de stockage de Viard montre que la pollution liée au stockage de sargasses reste localisée sur les zones de dépôts. Les eaux avoisinantes (qui ne sont pas en contact direct avec les dépôts) sont peu impactées par les chlorures et l'arsenic.

4.11. SITE DE STOCKAGE DE SAINTE-CLAIRE

Le site de stockage de Sainte-Claire a fait l'objet de quatre prélèvements de sols et de cinq prélèvements d'eaux.

Les résultats sont présentés dans l'illustration 32

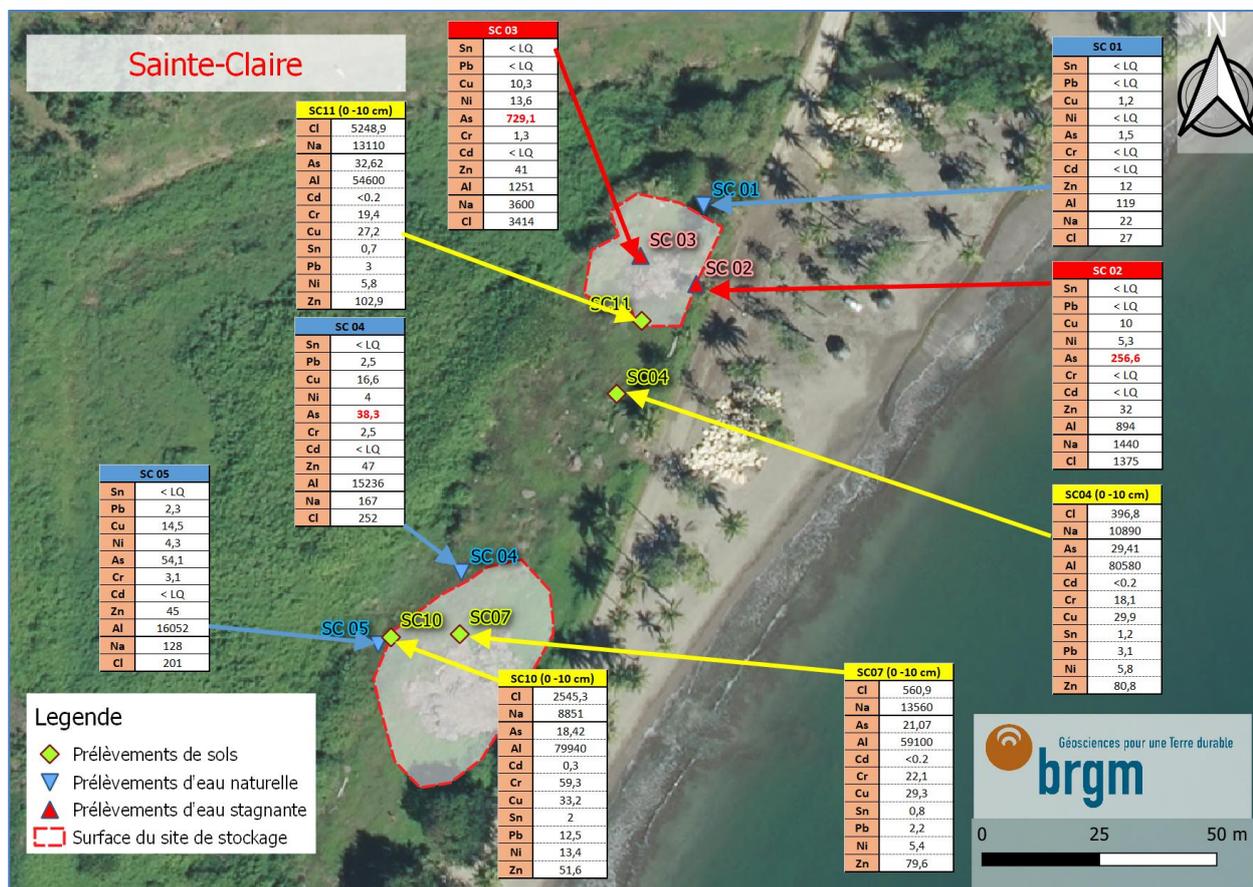


Illustration 32 : Carte des prélèvements du site de stockage de Sainte-Claire

Les prélèvements de sols du site de Sainte-Claire (Illustration 33) indiquent principalement des dépassements en arsenic. Les teneurs en chlorures sont aussi faibles que sur le site de Viard, la raison peut être liée aux précipitations importantes que reçoivent ces deux zones de stockage en comparaison au site de stockage de la Grande-Terre. Des teneurs en chlordécone sont mesurées sur le site avec un maximum de 25 µg/kg (**SC11**), cette teneur proscrit la possibilité d'implanter une activité de pâturage sur ces sols comme il a pu être constaté lors des visites de site. L'origine de cette chlordécone est difficile à déterminer étant donnée la pollution latente des parcelles environnantes mais il est possible que les dépôts de sargasses constituent une source d'apport supplémentaire pour ce pesticide.



Illustration 33 : Vue du site de stockage de Sainte-Claire

Les prélèvements d'eaux sur site (Illustration 34) montrent un impact certain des dépôts de sargasses sur le système marécageux entourant le site (**SC04 et SC05**), les teneurs sont plus faibles que celles des eaux stagnantes présentes sur le stockage ce qui indique une dilution de l'arsenic dans ce milieu. Il est observé également des dépassements en zinc et cuivre qui sont probablement liés au fond géochimique ou encore à des influences agricoles diverses. Le cours d'eau limitrophe du site de stockage (**SC 01**) ne semble pas impacté par les dépôts de sargasses avec une concentration en arsenic faible (*similaire au cours d'eau limitrophe du site de stockage de l'anse du Belley*). A l'inverse, de la chlrodécone est détectée dans toutes les eaux du site avec pour concentration la plus importante, le cours d'eau qui indique une origine allochtone de la chlrodécone en amont du site de stockage. Ce sont les eaux stagnantes sur site qui sont les moins concentrées en chlrodécone, ce qui permet de nuancer l'impact en chlrodécone que représente les dépôts de sargasses. Les teneurs en chlorures sont analogues à l'arsenic avec une concentration importante dans les eaux stagnantes et une faible concentration dans le cours d'eau.



Illustration 34 : Eaux prélevées : rivière (gauche) et stagnantes (droite)

Le site de stockage de Sainte-Claire permet de montrer que la pollution du site de stockage ne se transfère qu'aux eaux de transition en contact direct avec les dépôts comme il a été observé sur les sites de Viard et de l'anse du Belley. Les analyses ne permettent pas de conclure à un impact des sargasses vis-à-vis de la chlrodécone.

4.12. SITE DE STOCKAGE DE POMPIERRE

Le site de stockage de Pompierre a fait l'objet de six prélèvements de sols sableux dont deux pour des tests de lixiviation et de deux prélèvements d'eaux.

Les résultats sont présentés dans l'illustration 35.

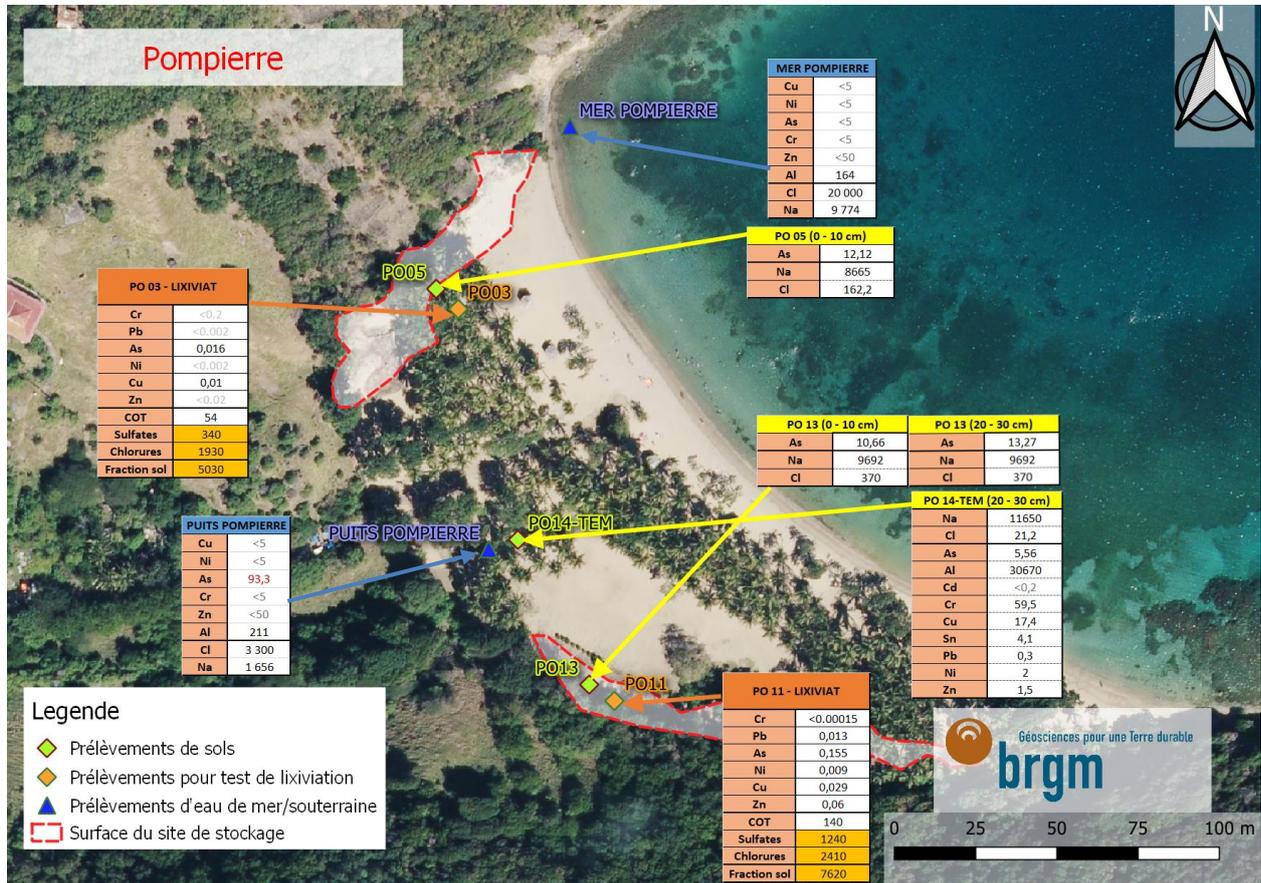


Illustration 35 : Carte des prélèvements du site de stockage de Pompierre

La concentration en arsenic des points **PO13** (10 cm), **PO13** (20 cm) et **PO05** (Illustration 36) en comparaison au témoin **PO14-TEM** est plus élevée et indique un potentiel impact du stockage de sargasses au droit des deux dépôts. Les tests de lixiviation effectués au niveau des deux dépôts indiquent une contamination en arsenic légèrement plus importante pour le dépôt de sargasses se situant au sud de la plage (**PO 11**), cette différence peut être liée à l'âge avancé du dépôt de sargasses sud ainsi qu'à sa hauteur plus importante. Le seuil ISDI est dépassé pour les paramètres chlorures et sulfates.



Illustration 36 : Vues du site de stockage de Pompierre (gauche) ; sable et sargasses mélangés (droite)

Le prélèvement d'eau **MER POMPIERRE** (Illustration 37) effectué au nord de la plage montre un léger dépassement en arsenic. Le prélèvement d'eau **PUITS POMPIERRE** réalisé au sein d'un puits se situant entre les deux stockages et fournissant un point d'accès présumé à la nappe de la plage. L'eau est prélevée à l'aide d'un seau qui ne permet pas un renouvellement de l'eau à l'intérieur de l'ouvrage. N'ayant pas d'analyse de référence pour cette nappe d'eau, ce point montre une concentration en arsenic supérieure aux normes DCE et indique une contamination des eaux souterraines par les dépôts de sargasses.

Le sable présent entre la source de pollution en surface et la nappe est perméable et favorise donc les transferts par infiltration. De plus il est faiblement réactif et présente peu de capacité de rétention de l'arsenic, la nappe est donc vulnérable à une pollution arséniée. Les concentrations respectives du chlorure et du sodium au niveau de ce point d'eau indique que l'eau de la nappe n'est pas constituée uniquement d'eau de mer mais correspond à un mélange d'eau douce (80%) et d'eau salée (20%).



Illustration 37 : Accès au prélèvement du point PUIITS POMPIERRE

Le site de stockage de Pompierre confirme que les sols sableux permettent une percolation de l'arsenic vers les eaux souterraines comme cela a été observé sur le site de stockage de l'anse du Belley.

4.13. SITE DE STOCKAGE DE LA POINTE DU HAVRE

Le site de stockage de la pointe du havre a fait l'objet de deux prélèvements de sols.

Les résultats sont présentés dans l'illustration 38

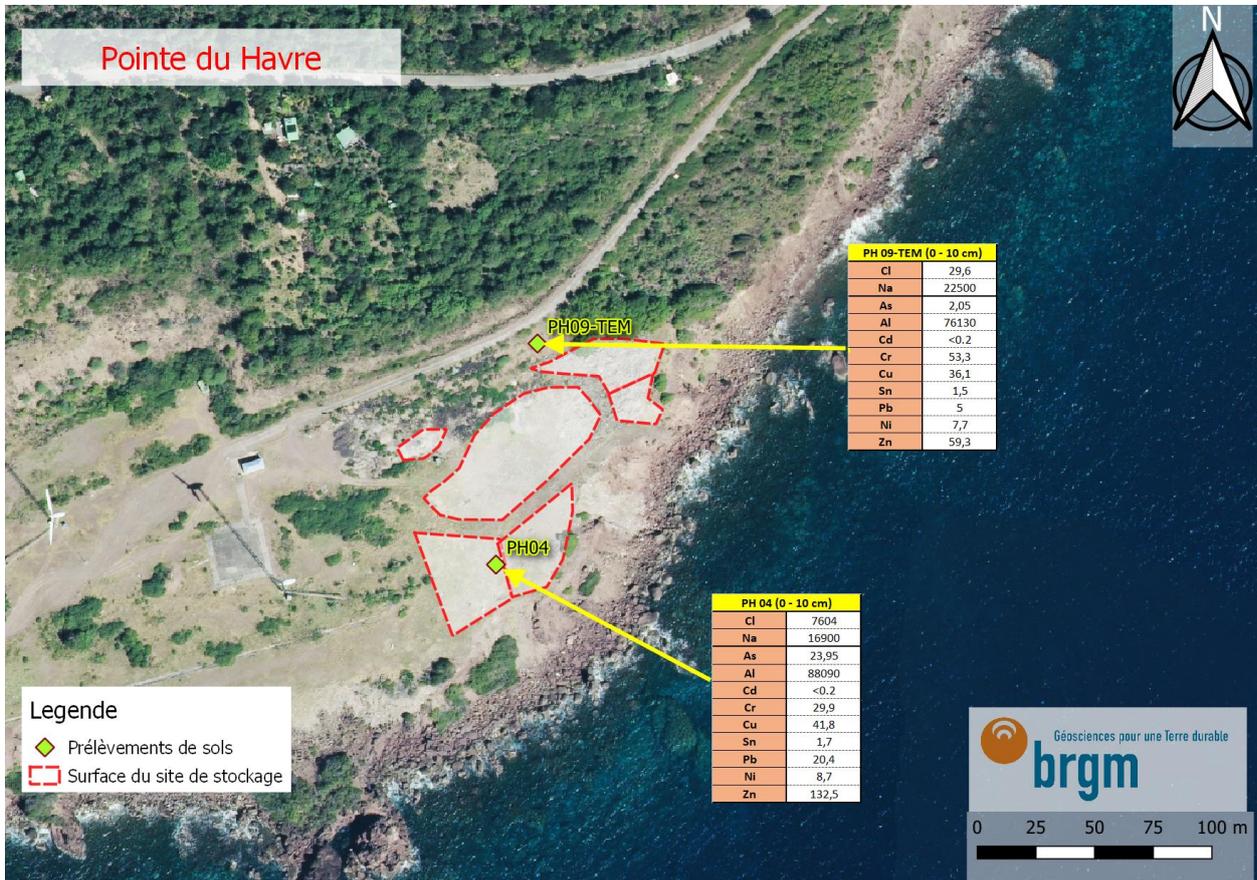


Illustration 38 : Carte des prélèvements du site de stockage de la pointe du havre

Le point **PH04** fait état de concentrations supérieures au témoin **PH09-TEM** pour l'ensemble des paramètres analysés exceptés le chrome, le cadmium et le sodium. La concentration en arsenic et chlorure indique une contamination par les dépôts de sargasses (Illustration 39). Les autres dépassements sont à mettre en relation avec les différentes activités polluantes réalisées sur le site (aérodrome, décharge sauvage) et leur lien avec le stockage ne peut être confirmé.



Illustration 39 : Vues du site de stockage de la pointe du havre

Le site de stockage de la pointe du havre met en évidence que les contaminants principaux des stockages de sargasses sont l'arsenic et les chlorures.

4.14. SITE DE STOCKAGE DE LA POINTE-COLIBRI

Le site de stockage de la Pointe Colibri a fait l'objet de six prélèvements d'eaux (quatre en mer et deux d'eaux stagnantes) et de cinq prélèvements de sols, dont un pour un test de lixiviation.

Les résultats sont présentés dans l'illustration 40 et l'illustration 41.

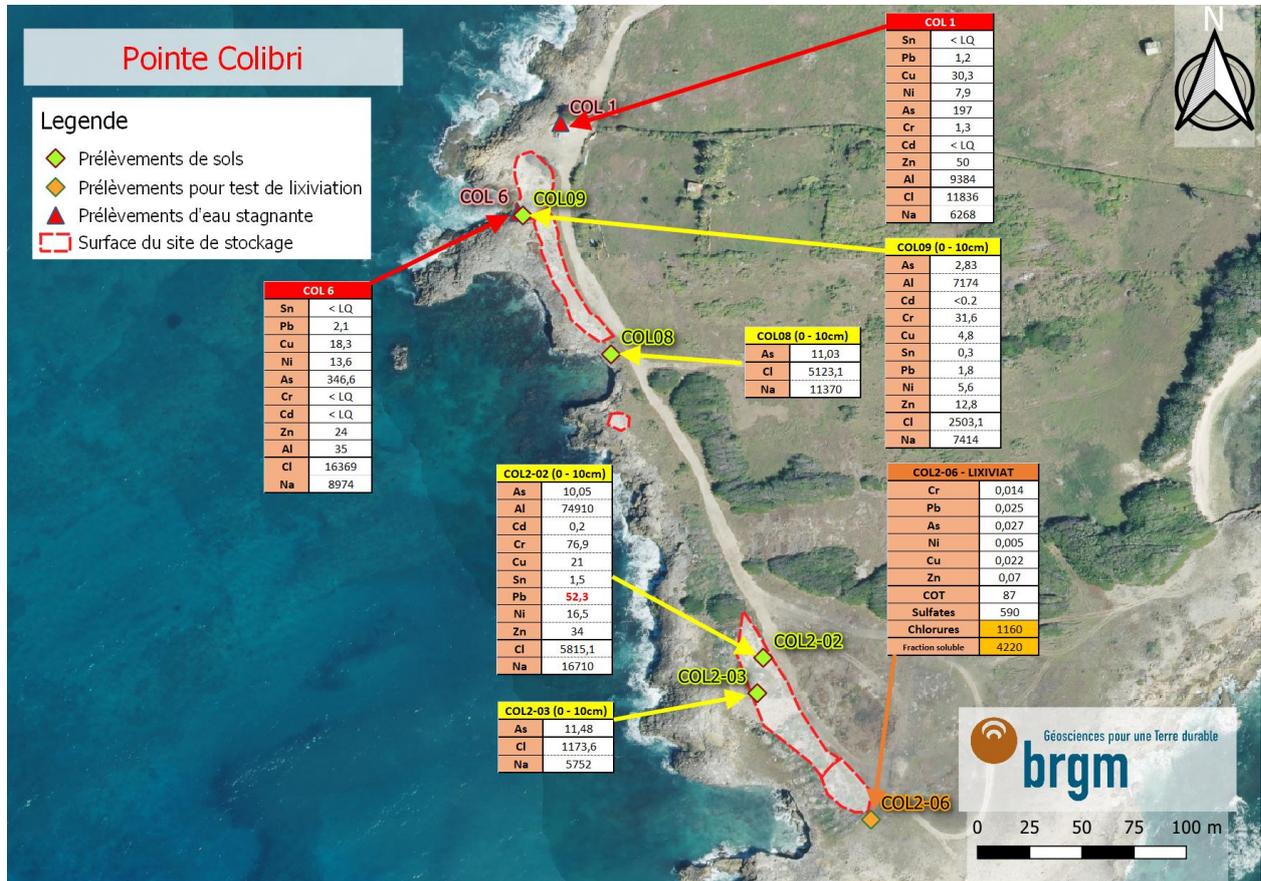


Illustration 40 : Carte des prélèvements de sols et d'eaux stagnantes du site de stockage de Pointe-Colibri

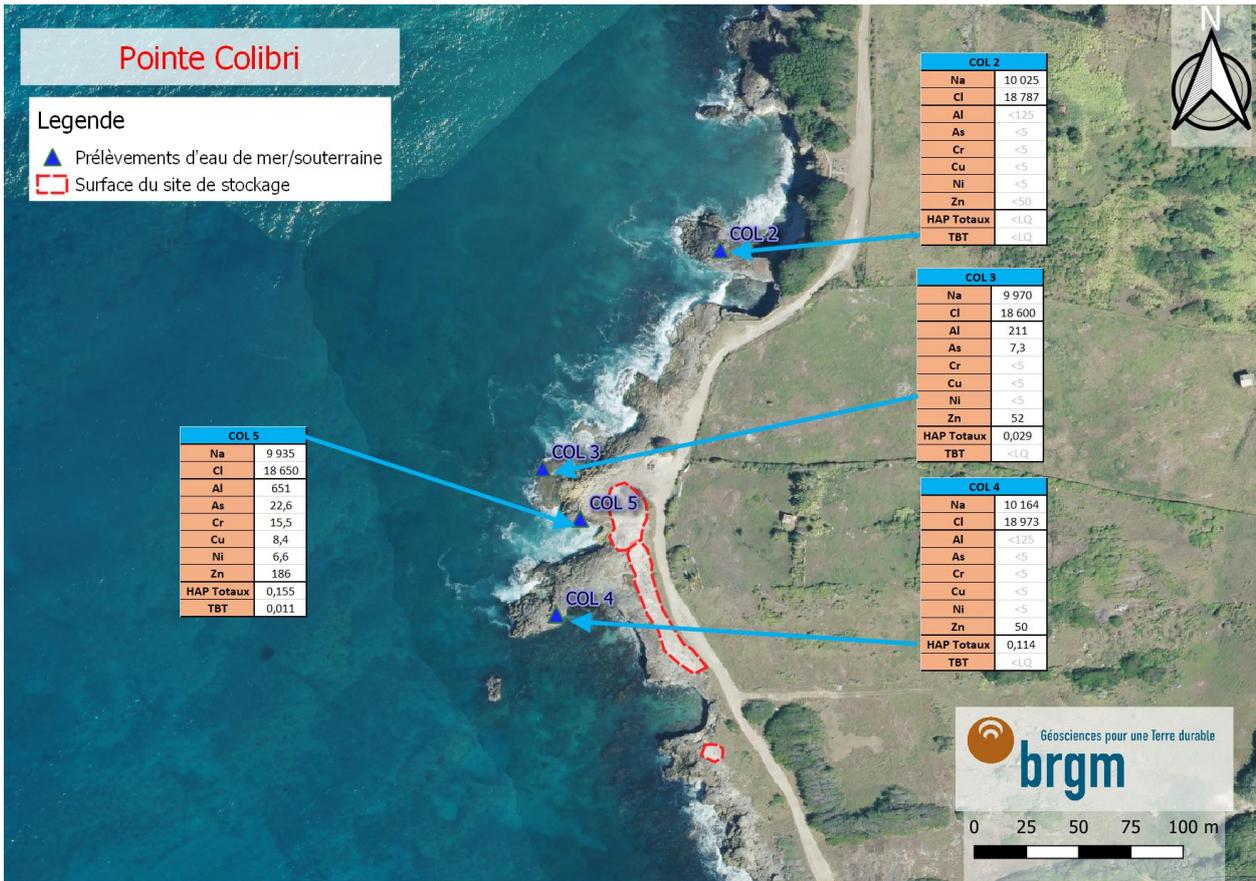


Illustration 41 : Carte des prélèvements d'eau de mer du site de stockage de Pointe-Colibri

Les prélèvements de sols (Illustration 42) sur la partie sud du stockage, la plus ancienne, présentent une concentration faible d'arsenic dans les sables situés sous les anciens dépôts. Le prélèvement **COL09** réalisé sur la partie la plus récente du stockage ne montre pas de contamination en arsenic, la raison peut être lié au temps de résidence des dépôts trop court sur les sols pour un transfert des contaminants. Le point **COL08** est réalisé sous des dépôts d'âge intermédiaire, la concentration en arsenic est la même que pour les dépôts anciens situés au sud, ce qui suggère que la contamination du sol provient d'un dépôt prolongé des sargasses.



Illustration 42 : Vues du site de stockage de la Pointe-Colibri , partie récente (gauche) partie ancienne (droite)

L'échantillon d'eau stagnante **COL6** est réalisé au milieu des dépôts récents, la flaque prélevée repose directement sur la roche et n'est pas en contact avec les sols du site. Le prélèvement d'eau stagnante **COL1** est réalisé sur la piste d'accès au site. Les deux eaux prélevées sont issues directement des lixiviats de dépôts de sargasses comme le confirme les forts taux d'arsenic et de chlorures. La présence d'autres ETM est susceptible de provenir des déblais de dragages apportés avec les sargasses lors du ramassage.

Les prélèvements d'eau de mer (Illustration 43) sont réalisés selon le sens du courant, se déplaçant du sud vers le nord. Les eaux issues des dépôts ainsi que les sargasses elles-mêmes sont en contact avec la mer. Les vagues entraînent une partie du stockage vers dans le milieu marin par manque de place sur le site de stockage.

Le point le plus impacté est **COL5**, prélevé au sein d'une crique où les eaux de lixiviation s'écoulent, les concentrations en ETM, HAP et TBT montrent un impact clair du stockage sur cette zone, la présence de HAP et TBT atteste de l'origine portuaire des sargasses collectées. Ces concentrations dépassent en tous points les teneurs naturelles en métaux de l'eau de mer.

Le point **COL3** situé à proximité du point **COL5** indique la présence résiduelle de HAP, d'arsenic, d'aluminium et de zinc dans des teneurs moins importantes impliquant une dilution de la pollution dans le milieu marin et donc un impact limité du stockage en dehors de la crique.

Le point **COL2** situé à 180 m au nord du site n'indique aucune concentration pour les polluants précédemment cités et permet d'émettre l'hypothèse que la pollution est entièrement diluée à cette distance.

Le point **COL4** situé au sud du point **COL5** fait état d'une concentration en zinc et HAP anormale dont l'origine est liée aux écoulements des eaux issues des dépôts sargasses.



Illustration 43 : Eaux prélevées, eau de mer (gauche) eau stagnante (droite)

Les prélèvements d'eau de mer du site de stockage de la Pointe Colibri montre qu'une pollution du milieu marin par un site de stockage est observable dans le cas d'une évacuation des dépôts directement en mer. Les teneurs en HAP, ETM et TBT sont à nuancées avec le fait que les sargasses de ce site de stockage étaient fortement mélangées à des déblais de dragages pollués (Annexe 25).

4.15. SITE DE STOCKAGE DE LA DECHARGE EST

Le site de stockage de la décharge Est de la Désirade a fait l'objet de trois prélèvements de sols, dont deux sols témoins.

Les résultats sont présentés dans l'illustration 44.

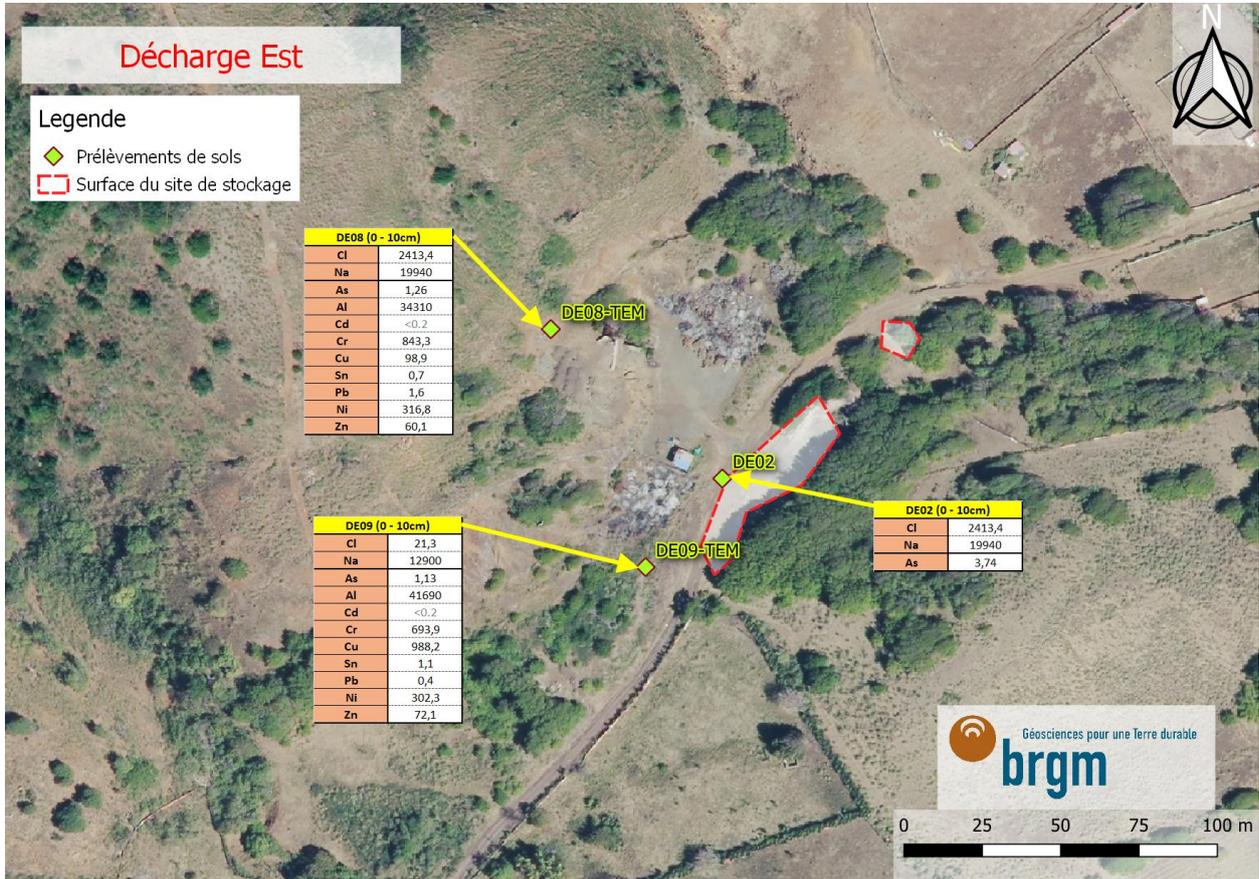


Illustration 44 : Carte des prélèvements du site de stockage de la décharge est

La zone se situe sur des sols issus de l'altération de roches volcaniques (Illustration 45) et présentant un fond géochimique très élevé en chrome, cuivre, et nickel en comparaison aux autres sols de la Désirade. Le point **DE02** est prélevé à la base du dépôt de sargasses, la concentration en arsenic est faible mais reste double en comparaison aux sols témoins et atteste d'un impact du site de stockage sur le sol, il en va de même pour les chlorures. Aucun point d'eau n'a pu être échantillonné.



Illustration 45 : Vues du site de stockage de la décharge est

L'impact du site de stockage reste très limité sur ce site si ce n'est la présence de chlorures élevée par rapport au témoin. Il est possible que les eaux de lixiviation du dépôt aient suivi une direction d'écoulement qui ne recoupe pas le point de prélèvement.

4.16. SITE DE STOCKAGE DE GROS CAP

Le site de stockage de gros cap a fait l'objet de deux campagnes de prélèvements comprenant dix-sept échantillons de sols, dont neuf tests de lixiviation et 10 échantillons d'eaux et, dont quatre d'eaux de mer.

Les résultats sont présentés dans l'illustration 46, l'illustration 47 et l'illustration 48

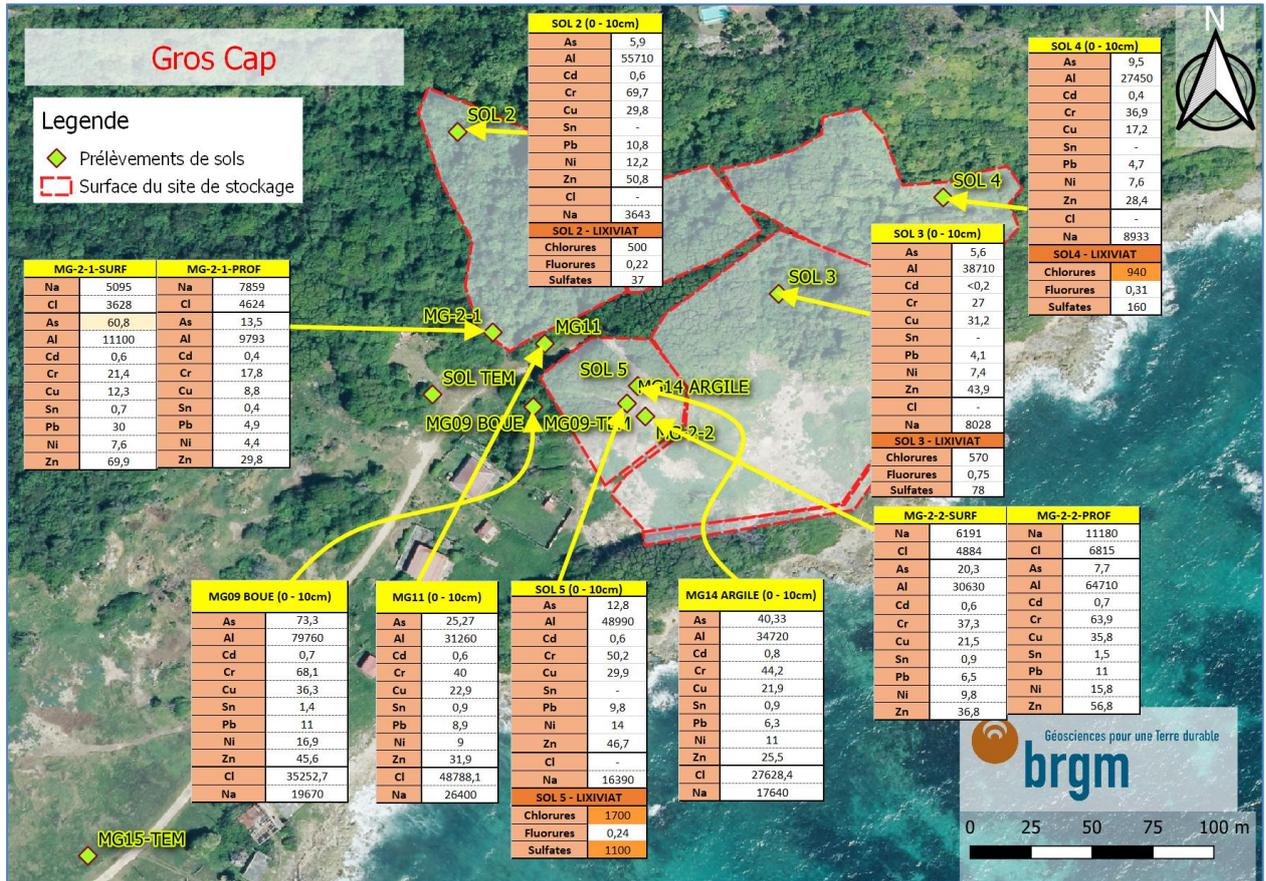


Illustration 46 : Carte des prélèvements de sols du site de stockage de gros cap

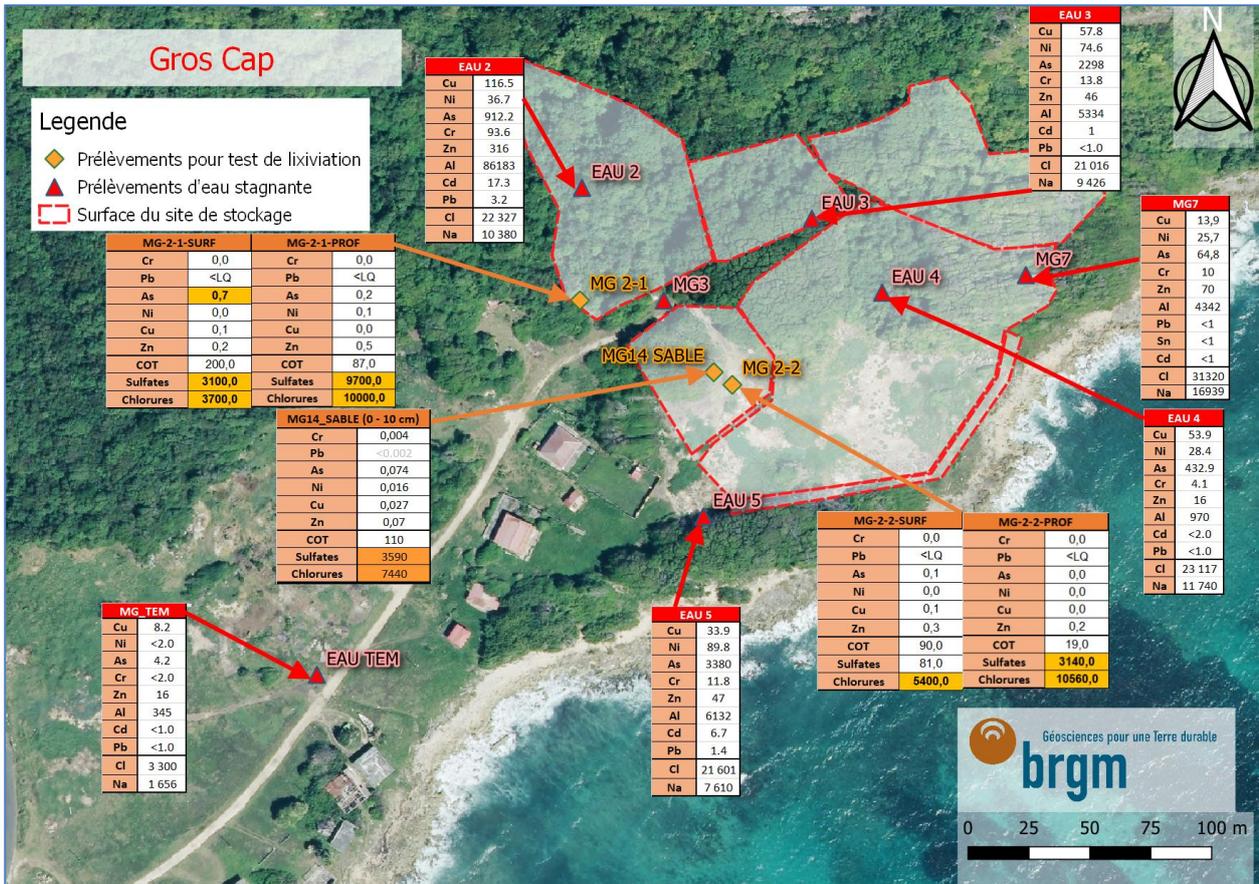


Illustration 47 : Carte des prélèvements pour test de lixiviation et des eaux stagnantes du site de stockage de Gros-Cap

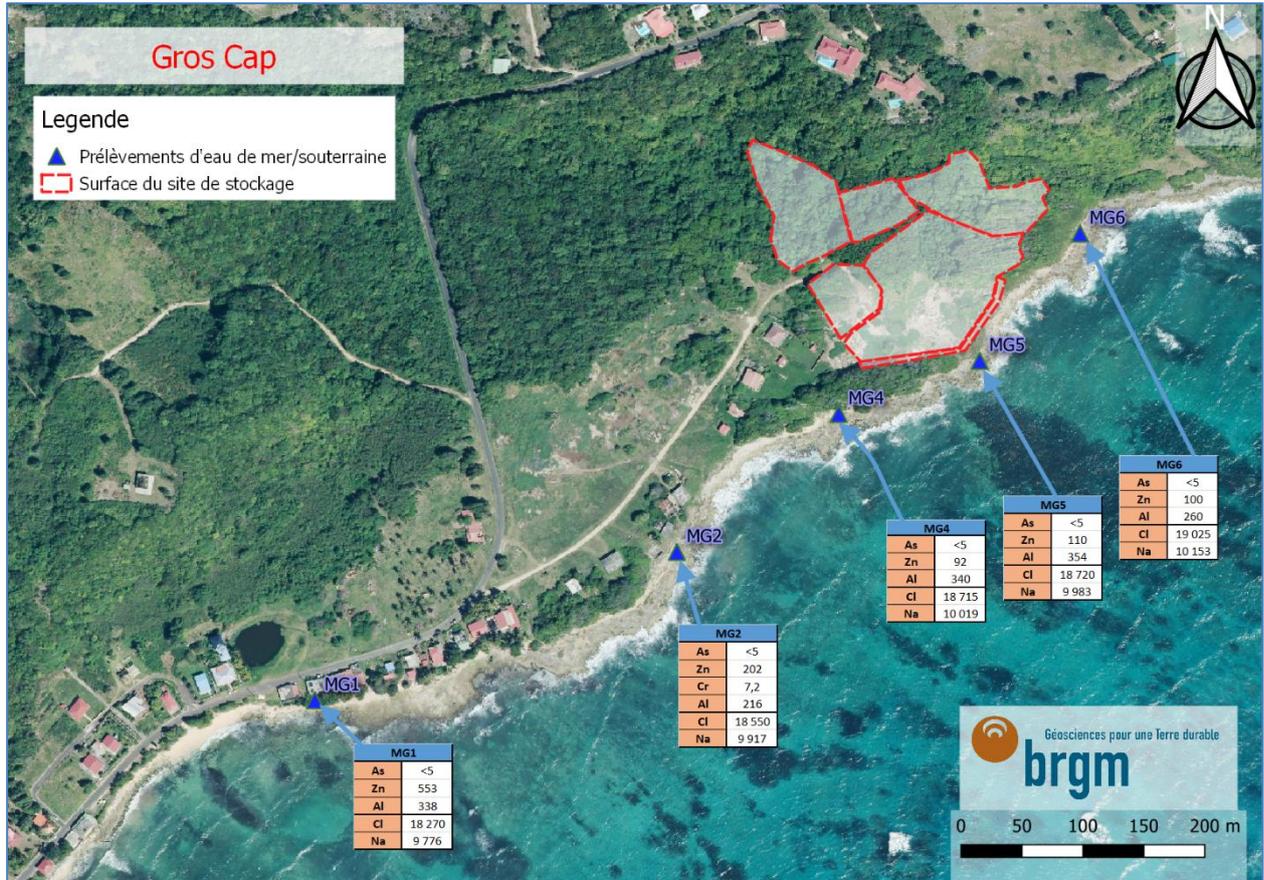


Illustration 48 : Carte des prélèvements d'eau de mer du site de stockage de gros cap

La première campagne réalisée en janvier 2019 fait état d'une faible contamination en arsenic sur l'ensemble des sols (**SOL2, SOL3, SOL4, SOL5**). Les eaux prélevées lors de la première campagne présentent à l'inverse une forte concentration en arsenic, caractéristiques des lixiviats de sargasses (**EAU2, EAU3, EAU4, EAU5**).

Les prélèvements de sols réalisés lors de la deuxième campagne (juillet 2019) (Illustration 49) montrent un impact plus important du stockage de sargasses avec des valeurs de chlorures et d'arsenic largement supérieure au témoin prélevé sur site **MG15-TEM**. Les points argileux **MG 2-1** et **MG 2-2** ont fait l'objet de deux prélèvements à des profondeurs différentes (**SURF = Surface ; PROF = 20 cm** sous la surface). Il ressort que la concentration en arsenic est plus faible en profondeur sur les deux points.

La deuxième campagne de prélèvements permet donc de montrer une augmentation significative de la concentration en arsenic dans les sols, les points **SOL3** et **MG14 ARGILE** ont été prélevés au même emplacement et la teneur en arsenic s'est accrue d'un facteur 3,15. De même la concentration en chlorures a doublé en comparant les tests de lixiviations **SOL3** et **MG14 SABLE**. La teneur dans les sols pour les métaux hors arsenic reste inférieure au fond géochimique mesuré dans les témoins.



Illustration 49 : Vues du site de stockage de gros cap

Les tests de lixiviation présentent des dépassements en chlorures, fraction soluble, sulfates et arsenic pour le point le plus concentré (**MG 2-1 SURF**). Ces dépassements sont typiques des sols impactés par les dépôts de sargasses.

Les prélèvements d'eaux stagnantes (Illustration 50) réalisés lors des deux campagnes ne sont pas comparables car réalisés à des emplacements différents, néanmoins les teneurs en arsenic et chlorures sont comprises dans les mêmes ordres de grandeur que les prélèvements de la première campagne.



Illustration 50: Eaux stagnantes (gauche) et eau de mer (droite)

Les prélèvements **MG6, MG5, MG4, MG2 et MG1** sont réalisés le long du littoral, aucune trace d'arsenic n'est détectée, des teneurs en zinc et aluminium sont détectées mais une corrélation avec l'activité de stockage de sargasses n'est pas affirmable en raison des teneurs faibles de zinc mesurées dans les eaux stagnantes et de l'absence d'arsenic dans les échantillons d'eau de mer.

Les analyses réalisées sur le site de gros cap ont permis d'observer deux phénomènes intéressants :

- **Les argiles du site semblent avoir un pouvoir adsorbant qui diminue fortement la concentration de l'arsenic en profondeur à l'inverse des chlorures dont la concentration augmente en profondeur.**

- **Les échantillons des deux campagnes ont été réalisés à 6 mois d'écart et l'augmentation des teneurs en arsenic et chlorures montrent que le site se contamine continuellement avec l'apport de nouvelles sargasses.**

5. Présentation et interprétation des résultats

L'ensemble des données concernant les prélèvements sur sites et les mesures réalisées à l'aide de la pXRF sont fournies de l'Annexe 8 à l'Annexe 23 sous la forme de deux cartes par site (mesures pXRF et analyses en laboratoire).

5.1. ANALYSES D'EAUX

5.1.1. Eaux stagnantes

Les eaux stagnantes sont déterminées comme les eaux provenant directement des dépôts de sargasses, autrement dits les lixiviats. L'origine peut être soit météorique avec une percolation à travers les dépôts, soit provenir directement des algues fraîches qui perdent leur eau lors de leur sortie du milieu marin. La cinétique de la concentration de l'arsenic et de la chlordécone dans les lixiviats a été largement décrite dans le rapport Eco3Sar.

Présentation des résultats

Quatorze prélèvements d'eaux stagnantes ont été réalisés et la présence d'éléments traces métalliques est fréquente. Les éléments non détectés ont pour valeur leur limite de quantification donnée par le laboratoire.

Substance	Unités	Minimum	Localisation	Maximum	Localisation	Médiane	Détection (%)
Arsenic	($\mu\text{g/L}$)	32,8	anse à tortues	5 996	anse Maurice	648,1	100
Plomb	($\mu\text{g/L}$)	1,2	anse à tortues	34,8	anse Maurice	1	42,8
Cuivre	($\mu\text{g/L}$)	2,4	anse du Belley	210,5	anse Maurice	13,1	100
Nickel	($\mu\text{g/L}$)	2,7	Viard	111,7	anse Maurice	19,6	100
Chrome	($\mu\text{g/L}$)	1,3	Sainte-Claire	125,2	anse Maurice	3,4	71,4
Cadmium	($\mu\text{g/L}$)	2,4	anse champagne	3	anse Maurice	1	14,2
Zinc	($\mu\text{g/L}$)	16	Viard	351	anse Maurice	36	100
Chlorures	(mg/L)	1375	Sainte-Claire	31 320	gros cap	13994,5	100
Sodium	(mg/L)	1440	Sainte-Claire	16939	gros cap	7123,5	100
Aluminium	($\mu\text{g/L}$)	35	Pointe Colibri	162 598	anse Maurice	754	100

Tableau 10 : Synthèse des concentrations en polluants des lixiviats issus des dépôts de sargasses

La chlordécone est présente dans les points de prélèvements du site de stockage de Sainte-Claire avec des valeurs des valeurs de $0,01 \mu\text{g/L}$ et $0,022 \mu\text{g/L}$ respectivement 2 000 et 44 000 fois supérieure à la NQE pour les eaux douces.

Ces eaux ne rentrent pas dans le cadre des eaux impactées, leur origine étant totalement liée aux dépôts des sargasses, les eaux stagnantes représentent une source de pollution et non une cible (excepté pour des substances déjà présentes dans les sols supports).

Interprétation

Le point AMA01 étant très probablement contaminé par une source de pollution additionnelle aux sargasses étant situé au droit d'une ancienne décharge sauvage, la réalisation d'une concentration médiane et non moyenne est plus représentative de l'ensemble des points.

D'après la présentation des précédents résultats (Tableau 10), les paramètres problématiques retrouvés dans les eaux stagnantes sont l'arsenic, le cuivre, le zinc, l'aluminium et les ions chlorures et sodium.

Les concentrations en arsenic varient de manière importantes entre les sites, la variabilité est multifactorielle, les principales hypothèses pour l'expliquer sont : le contexte météorologique de la zone de stockage, la taille, l'âge des dépôts ainsi que leur teneur en sable.

L'influence de la météorologie a été étudiée par Eco3Sar en comparant la teneur en arsenic des lixiviats sous deux régimes pluviométriques simulés différents. Les fortes pluies ont tendance à diluer la concentration d'arsenic dans les lixiviats (

Illustration 51).

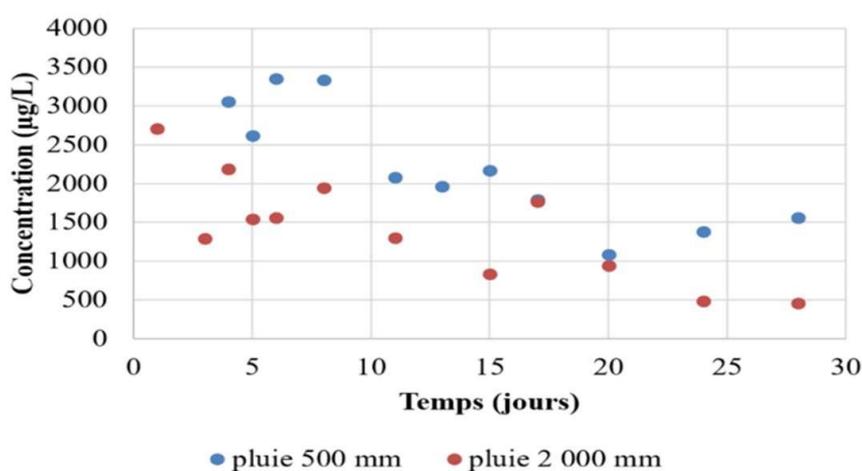


Illustration 51 : Concentration d'arsenic dans les lixiviats issus des sargasses en pluie simulée (Eco3Sar)

D'après la carte des isohyètes éditée par Météo-France, reprenant la moyenne des cumuls de précipitations annuels sur la période 1981-2010 (Annexe 24), les sites de la Grande-Terre, la Désirade, Marie-Galante et Les Saintes sont soumis à des précipitations annuelles de l'ordre de 500 à 1000mm par an contre 2000 à 2500mm pour les sites de la Basse-Terre. Une précipitation moins importante induit également une évaporation des eaux stagnantes plus importante et un phénomène d'augmentation de la concentration en arsenic dans les eaux.

Le deuxième facteur mis en avant par l'étude Eco3Sar concerne l'âge des dépôts, l'étude de la cinétique de la concentration de l'arsenic dans les lixiviats (

Illustration 51) montre que la concentration baisse au cours du temps, et de manière plus significative pour les zones de fortes précipitations.

Enfin l'hypothèse est émise que la configuration des sites et des dépôts au cas par cas peut moduler la concentration en arsenic. Le volume de lixiviats généré est quantitativement proportionnel à la taille des dépôts dont ces derniers sont issus, la concentration sera plus importante dans le cas d'une évaporation partielle des lixiviats. De même la concentration en sable des dépôts fait varier le stock d'arsenic pour un volume donné, en ajoutant que le sable peut dans une certaine mesure bloquer le transfert des alginates et l'arsenic qu'il contient comme cela a pu être observé sur le site d'anse Montal (couche pâteuse et élastique de sable et

de matière organique au bas du dépôt) avec une concentration de 81,16 mg/kg qui est la deuxième valeur la plus élevée sur l'ensemble des échantillons de sols réalisés dans l'étude.

Les teneurs en cuivre mesurées dans les eaux stagnantes peuvent avoir plusieurs origines. Les sargasses constituent une source directe avec une concentration moyenne de 4,3 mg/kg dans la plante, de plus d'après les valeurs mesurées dans les sols témoins, le fond géochimique des sols de Guadeloupe est situé dans la catégorie des anomalies géochimiques modérées pour l'élément cuivre (supérieur à 20 mg/kg). La part de participation des deux facteurs n'est pas déterminée.

Les teneurs en zinc mesurées dans les eaux stagnantes peuvent avoir plusieurs origines. Les sargasses constituent une source directe avec une concentration moyenne de 7,4 mg/kg dans la plante. Les sols témoins contiennent également du zinc avec une valeur médiane de 60,1 mg/kg. La part de participation des deux facteurs n'est pas déterminée.

Certains prélèvements d'eaux stagnantes indiquent d'une influence potentielle des sargasses, en effet, d'après les concentrations naturelles de l'algue estimées à 206 mg/kg, le transfert dans les lixiviats de l'aluminium est probable. Cela est à nuancer avec un fond géochimique élevé dans les sols de la Basse-Terre (BRGM RP-55709-FR) corroboré par les mesures réalisées sur Viard: 84 190 mg/kg et Sainte Claire: 130 400 mg/kg et une concentration moyenne tout sols témoins confondus de 72 760 mg/kg. De plus il est dit dans l'étude *Rodriguez-Martinez et al.*, la présence d'aluminium est moins régulière que celle de l'arsenic avec 41,3% des échantillons de sargasses en dessous de la limite de détection pour cet élément.

Les teneurs en chlorures et sodium sont étroitement liées dans les eaux stagnantes comme le montre la corrélation ($R^2 = 0,97$) obtenue à partir des concentrations mesurées attestant d'une origine commune des chlorures et sodium (

Illustration 52).

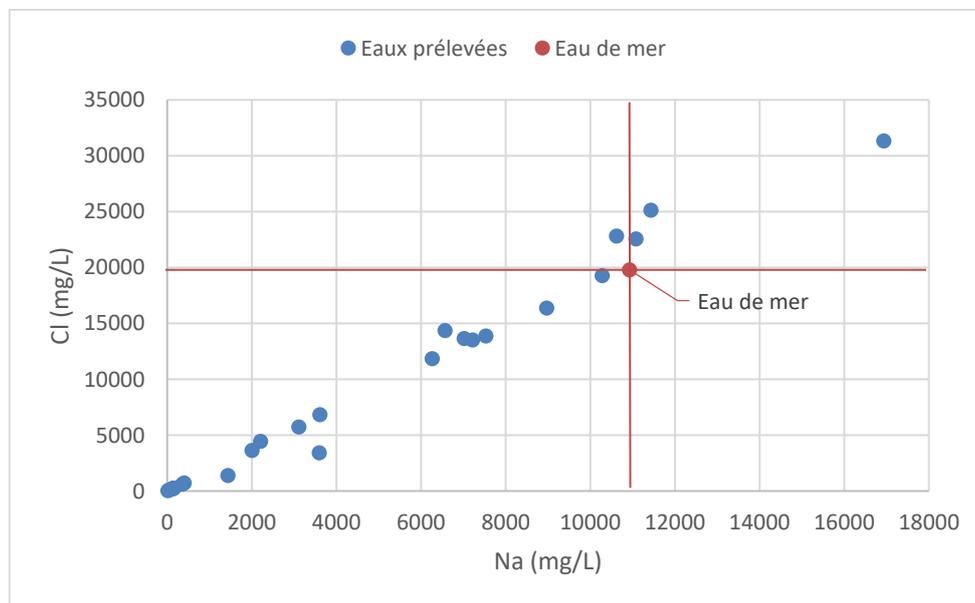


Illustration 52 : Corrélation entre chlorures et sodium dans les eaux stagnantes

Les concentrations en chlorures ne se corrélaient pas avec les autres éléments mis à part le sodium, ce qui en fait les seuls éléments stables permettant de tracer une eau impactée par les sargasses. Les valeurs retrouvées dans certaines eaux stagnantes dépassant les teneurs de l'eau de mer établie à 19 774 mg/L (Cl) et 10 933 mg/L (Na) pour la Guadeloupe (*Sanjuan et*

Brach, 1997). Ce phénomène est jumelé à l'évaporation des eaux stagnantes entraînant une concentration des lixiviats en élément dissous.

L'ensemble des informations développées ci-dessus permet de donner un aperçu des principales substances polluantes retrouvées dans les lixiviats issus des dépôts de sargasses qui sont **l'arsenic, le chlorure, le sodium et la chlordécone**.

5.1.2. Eaux de surface

Les eaux de surfaces se différencient des eaux stagnantes par leur présence naturelle et antérieure sur le site, sont concernés dans ces eaux, les rivières, ruisseaux, mares et zones marécageuses. L'objectif de la collecte de ces eaux est de déterminer si les lixiviats ont un impact sur ces dernières, notamment par la présence d'arsenic ou de la salinité anormale.

Présentation des résultats

Dix prélèvements d'eau de surface ont été réalisés sur les sites de Sainte-Claire (3 points), Viard (4 points) et de l'anse du Belley (3 points).

Les eaux de surface de Sainte-Claire (Tableau 11) correspondent à la zone marécageuse (SC04 ;SC05) entourant une partie de la zone de stockage et au ruisseau adjacent (SC01). Le marécage est plus concentré en arsenic, plomb, cuivre, nickel, zinc, chrome, aluminium, chlorures et sodium que le ruisseau. A l'inverse, l'eau du ruisseau est plus concentrée en chlordécone que les eaux du marécage.

Points	Unité	MAC	SC 01	SC 04	SC 05
PHYSICOCHIMIE					
Température	°C	-	32,56	30,79	29,68
pH		-	7,15	7,2	6,72
ORP	mV	-	-21,8	-39,8	-41
Conductivité	µS/cm	-	692	1334	4658
ETM					
Etain	µg/L	-	-	-	-
Plomb	µg/L	14,25	1	2,5	2,3
Cuivre	µg/L	-	1,2	16,6	14,5
Nickel	µg/L	34	1	4	4,3
Arsenic	µg/L	1,37	1,5	38,3	54,1
Chrome	µg/L	-	1	2,5	3,1
Cadmium	µg/L	1,5	1	1	1
Zinc	µg/L	-	12	47	45
Aluminium	µg/L	-	119	15236	16052
MAJEURS					
Sodium	mg/L	-	22	167	128
Chlorures	mg/L	-	27	252	201
PESTICIDES					
Chlordécone	µg/L		0,26	0,086	0,103

Tableau 11 : Concentration en substances polluantes des eaux de surface du site de stockage de Sainte-Claire

Les eaux de surface de Viard (Tableau 12) correspondent aux ruisseaux se trouvant entre la nationale et le site de stockage (**VI1**, **VI2** et **VI3**) et à une zone marécageuse au sud du site de stockage (**VI5**) et ne présentent pas de concentrations en arsenic, chlorures, sodium ou chlordécone particulièrement importantes.

Points	Unités	MAC	VI4	VI1	VI2	VI3	VI5
PHYSICOCHIMIE							
Température	°C	-	39,22	29,3	31,46	32,79	29,3
pH		-	8,34	7,37	7,7	8,34	7,49
ORP	mV	-	-17,5	52	-55,5	-20,8	-193,8
Conductivité	µS/cm	-	14770	1309	1531	1359	1852
ETM							
Etain	µg/L	-	-	-	-	-	1,1
Plomb	µg/L	14,25	2,2	-	-	-	4,7
Cuivre	µg/L	-	4,3	2	-	2,8	25,1
Nickel	µg/L	34	2,7	-	-	1,2	3,7
Arsenic	µg/L	1,37	41,1	5,2	7,9	4,9	8,8
Chrome	µg/L	-	-	-	-	-	3,1
Cadmium	µg/L	1,5	-	-	-	-	-
Zinc	µg/L	-	16	16	11	14	70
Aluminium	µg/L	-	130	297	337	586	28383
MAJEURS							
Sodium	mg/L	-	2009	126	158	130	50
Chlorures	mg/L	-	3630	187	256	214	83

Tableau 12 : Concentration en substances polluantes des eaux de surface du site de stockage de Viard

Les eaux de surface de l'anse du Belley (Tableau 13) sont prélevées dans une ravine longeant l'Est du stockage avec deux prélèvements, à l'amont du site (**BEL4**) et à l'aval du site (**BEL3**) et ne présentent pas de concentrations en arsenic, chlorures, sodium particulièrement importantes. Le point de la mare naturelle (**BEL1**) montre de fortes concentrations en arsenic, chlorures et sodium.

Points	Unités	MAC	BEL1	BEL3	BEL4
PHYSICOCHEMIE					
Température	°C	-	28,53	27,64	27,7
pH		-	7,87	7,4	7,08
ORP	mV	-	-24,8	-91	-117
Conductivité	µS/cm	-	21430	3569	3124
ETM					
Etain	µg/L	-	-	-	-
Plomb	µg/L	14,2	-	-	-
Cuivre	µg/L	1	-	-	-
Nickel	µg/L	34	7,1	-	-
Arsenic	µg/L	1,37	403,6	1,8	1,2
Chrome	µg/L	3,4	1,6	-	-
Cadmium	µg/L	1,5	-	-	-
Zinc	µg/L	7,8	16	18	24
Aluminium	µg/L	-	62	-	33
MAJEURS					
Sodium	mg/L	-	3613	406	369
Chlorures	mg/L	-	6819	703	606

Tableau 13 : Concentration en substances polluantes des eaux de surface du site de stockage de l'anse du Belley

Interprétation

Sainte-Claire : L'impact sur les eaux de surface à proximité des sites de stockage est mis en évidence sur le site de Sainte-Claire. Les eaux impactées sont celles du marécage en contact direct avec les dépôts de sargasses, ce qui facilite le possible transfert des ETM, chlorures, sodium et chlordécone dans ce milieu. La faible concentration en As et marqueurs salins du ruisseau implique que la pollution reste localisée au marécage. Les eaux de surface contiennent de la chlordécone, cette pollution se retrouve sur les trois points de Sainte-Claire (également dans la rivière non impactée par l'arsenic) et dans des concentrations de 4 à 11 fois plus importantes que les eaux stagnantes du site. L'historique bananier de la zone est donc la cause la plus probable de cette contamination des eaux de surface plutôt que l'apport potentiel des sargasses.

Viard : Les eaux de surface présente sur le site de stockage de Viard montrent un faible impact lié au stockage. Les points situés dans le ruisseau entourant le site présentent le même faciès salin que les eaux impactées de Sainte-Claire qui peuvent indiquer une contamination saline par les eaux de lixiviation. A l'inverse, le point marécageux éloigné montre un faciès salin faible mais des concentrations en zinc, aluminium, chrome, nickel, cuivre et plomb plus importantes que celles des ruisseaux. Ce point est le plus éloigné du site et sa contamination par les sargasses est la moins probable. De plus les teneurs en arsenic sont faibles sur l'ensemble des points,

indiquant s'il y en a une, une faible contamination par les dépôts de sargasses. Le faciès salin peut également s'expliquer par la proximité du site avec le milieu marin.

Anse du Belley : Les eaux de surface présentent sur le site de stockage de l'anse du Belley sont divisées entre les points de la rivière (coupée du site de stockage par un merlon) qui ne semblent pas impactée par le stockage et le point prélevé dans une mare naturelle présente à proximité direct des dépôts qui semble à l'inverse impactée sur les éléments arsenic et nickel ainsi que sur le faciès salin. La proximité directe de la mare est la raison la plus logique de sa contamination.

Au vu des précédentes interprétations, un profil type d'impact des eaux de surface se retrouve sur les éléments As, Cl et Na. Une conclusion sur les autres dépassements (ETM et Al) ne peut être établie en raison des disparités géochimiques rencontrées sur les différents sites ainsi que de potentielles pollutions provenant d'autres sources que de celle des dépôts de sargasses (décharges, routes, eaux usées ou épandage agricole). Les points d'eaux étant tous situés à des altitudes basses en sortie de bassin versant, la provenance des eaux de surface de ces zones est multiple, ainsi que les potentielles pollutions impliquées.

De manière générale, les eaux naturelles stagnantes en contact direct avec les dépôts sont les seules réellement impactées.

5.1.3. Eaux de mer

Présentation des résultats

Dix prélèvements d'eau de mer (Tableau 14, Tableau 15) ont été réalisés sur les sites de Pointe-Colibri (4 points), gros cap (5 points) et Pompierre (1 point).

	Unités	Al	As	Cr	Cu	Ni	Zn
COL 4	µg/L	1	<5	<5	<5	<5	50
COL 5	µg/L	651	22,6	15,5	8,4	6,6	186
COL 3	µg/L	211	7,3	<5	<5	<5	52
COL 2	µg/L	<5	<5	<5	<5	<5	<5

Tableau 14 : Synthèse des résultats d'analyse des métaux dans les eaux de mer du site de stockage de la Pointe-Colibri

	Unités	COL4	COL5	COL3	COL2
Benzo (a) pyrène	µg/L	<0,005	0,004	0,002	<0,005
Benzo (ghi) Perylène	µg/L	<0,005	0,006	<0,005	<0,005
Chrysène	µg/L	<0,005	0,01	<0,005	<0,005
Fluorène	µg/L	<0,005	0,042	0,011	<0,005
Phénanthrène	µg/L	<0,005	0,07	0,016	<0,005
Fluoranthène	µg/L	0,114	0,013	<0,005	<0,005
Tributylétain Cation	µg/L	<0,005	0,011	<0,005	<0,005

Tableau 15 : Synthèse des résultats d'analyse des HAP et TBT dans les eaux de mer du site de stockage de la Pointe-Colibri

Les eaux côtières de gros cap (Tableau 16) ne font pas état d'une contamination à l'arsenic, l'ensemble des points font état de concentrations en zinc, chrome et Benzo (a) pyrène.

Paramètres	Unité	MG1	MG2	MG4	MG5	MG6
Eléments traces métalliques						
Al	µg/L	338	216	340	354	260
As	µg/L	<5	<5	<5	<5	<5
Cr	µg/L	<5	7,2	<5	<5	<5
Zn	µg/L	553	202	92	110	100

Tableau 16 : Synthèse des résultats d'analyse des métaux dans les eaux de mer du site de stockage de gros cap

Le prélèvement unique réalisé dans la baie de Pompierre ne présente aucun dépassement.

Interprétation

L'impact le plus évident est observé sur les eaux côtières de la Pointe Colibri, la multi-pollution ponctuelle des points **COL5** et **COL2** en ETM, HAP et TBT confirme l'impact lié au déversage des sargasses dans le milieu marin. Les concentrations en HAP dépassent les seuils NQE ou les valeurs ubiquitaires pour les paramètres Benzo (g, h, i) Perylène, Chrysène, Fluorène et Phénanthrène. Le seuil de TBT est également dépassé pour le point **COL5**.

Ces substances peu communément liées aux stockages de sargasses sont présentes car les sargasses proviennent du port de pêche et de commerce de la Désirade, leur ramassage les mélange avec les sédiments pollués du port, concentrés en HAP et TBT (rapport SAFEGE sur *la mise à jour de la caractérisation des sédiments de dragage du port de la Désirade* (19MAG056 06/2019) voir Annexe 25). Cette pratique transfère ainsi la pollution sédimentaire et impacte la zone de stockage.

Parallèlement certains ETM sont détectés sur les points **COL3**, **COL4** et **COL5** et sont liés soit aux sargasses ou aux déblais de dragages (Cr, Ni, Cu, Zn).

Pour les sites de gros cap et Pompierre, l'impact de l'activité de stockage sur les eaux côtières n'est pas évident, la raison peut provenir d'un débit faible du rejet de lixiviats dans le milieu marin. Des traces de zinc sont détectées sur les points les plus éloignés du site de stockage de gros cap (250 et 500 m au sud). La relation entre ces teneurs et le stockage est peu probable étant donné les faibles teneurs de zinc sur les points les plus proches du stockage.

La pollution du milieu côtier est particulièrement marquée pour le site de stockage de Pointe Colibri, la pratique de stockage et la nature des dépôts sont à mettre en relation directe avec les résultats obtenus. En effet la surface de stockage étant limitée, les responsables du ramassage ont été contraints de pousser les sargasses mélangées au déblais de dragages dans le milieu marin pour générer de l'espace.

5.1.4. Eaux souterraines

Les eaux souterraines correspondent aux eaux prélevées en dessous de la surface du sol par l'intermédiaire de forages ou de puits. L'inexistence de ces ouvrages sur la majorité des sites a limité l'étude à trois échantillons réalisés sur les sites de stockage de Pompierre et de l'anse du Belley. Les prélèvements ont été réalisés au niveau de la surface libre des aquifères.

Présentation des résultats

Le point analysé à Pompierre présente une teneur en **arsenic de 93,3 µg/L** et en aluminium de 211 µg/L, ce qui est bien supérieur à l'échantillon d'eau de mer réalisé à proximité. L'eau du puits est peu salée malgré sa proximité avec le milieu marin (3 300 mg/L de chlorures contre 20 000 mg/L pour l'échantillon d'eau de mer réalisé à proximité).

Les deux points réalisés à l'anse du Belley présentent deux faciès différents (Tableau 17), le point BEL-STOCK est réalisé au droit du site de stockage, à une profondeur de 1,6 m sous les dépôts, ainsi que sous une couche de remblais d'origine inconnue mais daté du début des années 1970 (orthophotographies historiques IGN). Le point BEL-PLAGE est réalisé entre le stockage et la côte, l'eau y est moins profonde (60 cm) et la pédologie est sableuse avec inclusions de calcaires altérés grossiers.

Points	Unités	NQE ES	BEL_STOCK	BEL_PLAGE
PHYSICOCHIMIE				
Température	°C		28,59	27,6
pH			7,15	6,83
ORP	mV		-24,3	-328
Conductivité	µS/cm		40200	12880
ETM				
Etain	µg/L		120,3	-
Plomb	µg/L	10	431,9	1,3
Cuivre	µg/L	2000	177,1	1,2
Nickel	µg/L	20	61,9	1,4
Arsenic	µg/L	10	93,5	8
Chrome	µg/L	50	77,6	3,2
Cadmium	µg/L	5	1	-
Zinc	µg/L	5000	1126	-
Aluminium	µg/L		12385	154
MAJEURS				
Sodium	mg/L		7539	2214
Chlorures	mg/L	200	13858	4432

Tableau 17 : Concentration en substances polluantes des eaux souterraines du site de stockage de l'anse du Belley

Interprétation

Les points d'eaux souterraines de Pompierre et Belley montrent un impact important des eaux souterraines par l'arsenic. Cet arsenic a très probablement pour origine les dépôts de sargasses et son transfert en milieu souterrain est favorisé par la forte porosité du sol sableux des deux sites de stockage. Le transfert souterrain ainsi que les directions de déplacement de l'eau sont mal connus pour les stockages de sargasses et ce résultat indique une potentielle problématique liée à ce phénomène, au moins pour les sols sableux.

Les fortes teneurs en métaux du point BEL-STOCK peuvent avoir pour origine les remblais situés sous le stockage, la réalisation du puits de prélèvement pour ce point a permis de mettre en évidence que les remblais de l'anse du Belley sont constitués de macro-déchets (bouteilles en verres, plastiques...) mélangés à des silts. Ces remblais ont pu avoir comme utilité de consolider

la route originelle qui longeait la côte de l'anse du Belley et peuvent provenir des nombreux déchets générés par les ouragans Cléo et Inez survenus dans les années 1960. Il est donc raisonnable de proscrire l'implication du stockage de sargasses dans la pollution aux ETM (hors arsenic) et de constater une pollution croisée avec les remblais d'origine inconnue.

La mise en comparaison du point BEL-STOCK et du puits de Pompierre indique une corrélation sur l'arsenic mais aucune corrélation sur les autres paramètres. L'absence de possibilité d'une pollution croisée à Pompierre confirme que l'arsenic est le principal ETM des sargasses qui soit impactant pour les eaux souterraines.

La salinisation des eaux souterraines est également visible dans les résultats. En effet, le point BEL-PLAGE est plus proche du littoral que BEL-STOCK, néanmoins ses teneurs en chlorures et sodium sont environ trois fois moins élevées que pour le point BEL-STOCK plus éloigné des influences marines. L'origine de la salinisation de BEL-STOCK est à relier aux dépôts de sargasses.

5.1.5. Spéciation de l'arsenic

Dans cette étude, certains échantillons d'eaux ont été soumis à un test de spéciation afin de déterminer les quantités respectives d'arsenic III et d'arsenic V contenues dans un prélèvement.

Présentation des résultats

D'après les résultats d'analyses (Tableau 18), la spéciation en arsenic V est la plus favorable en milieu souterrain (99,2%) ainsi que dans les eaux de surface ou stagnantes (> 70 %). Les échantillons marins sont les moins concentrés en As V (< 60%).

Echantillon	Origine	As Total (µg/L)	As III (µg/L)	As V (µg/L)
COL 5	Mer	22,6	8,4 37,2%	13,3 58,8 %
Mer Pompierre	Mer	-	<5 -	2,1 -
Puits Pompierre	Souterraine	93,3	< 5 -	92,6 99,2 %
BEL 1	Surface	403,6	64,5 16 %	324,8 80,5 %
AT1	Stagnantes	32,8	8,1 24,7 %	23,3 71 %

Tableau 18 : Résultats des tests de spéciation de l'arsenic effectués sur les prélèvements d'eaux

5.2. ANALYSES DE SOLS

Les prélèvements de sols sur les sites de stockage ont été réalisés principalement sur la couche pédologique de surface des sites lorsque cette dernière était accessible. La variabilité pédologique des sols est importante sur les aspects granulométriques et géochimique. Soixante et un échantillons de sols ont été réalisés, dont quinze échantillons hors site dans le but de caractériser le fond géochimique de certains sites.

5.2.1. Eléments traces métalliques

Les éléments traces métalliques sont considérés comme les principaux polluants apportés par les sargasses en se basant sur les résultats de l'étude Eco3Sar, notamment l'arsenic.

Présentation des résultats

Comme expliqué au 3.5.2, les teneurs rencontrées dans les échantillons sont comparées aux valeurs du fond géochimique généralisé à la Guadeloupe pour vérifier l'impact sur les sites de stockage. Afin de hiérarchiser les impacts observés, les sites seront classés en trois catégories en fonction des résultats (Tableau 19 et Tableau 20) :

- Les sites dont aucun dépassement du fond géochimique local défini par l'INRAe n'est observé, seront placés dans la catégorie A.
- Les sites présentant un ou plusieurs dépassements du fond géochimique local défini par l'INRAe mais restant inférieurs aux valeurs d'anomalie modérée défini également par l'INRAe seront placés dans la catégorie B
- Les sites présentant un ou plusieurs dépassements des valeurs d'anomalie modérée seront placés dans la catégorie C.

Cette classification n'est pas une description de l'impact liée au stockage de sargasses mais des concentrations anormalement élevée retrouvée sur les sites, certains des dépassements sont à lier à d'autres sources que les dépôts de sargasses.

Sites	Catégorie	Dépassement
porte d'enfer	A	
Alizes	A	
décharge est	A	
Pompierre	A	
anse à tortues	B	Plomb (80,3 mg/kg) Nickel (28,8 mg/kg)
anse Maurice	B	Arsenic (56,73 mg/kg) Zinc (119,7 mg/kg)
Sainte-Claire	B	Arsenic (32,62 mg/kg)
pointe du havre	B	Arsenic (23,95 mg/kg) Cuivre (41,8 mg/kg) Zinc (132,5 mg/kg)
pointe-Colibri	B	Plomb (52,3 mg/kg)
anse Montal	C	Arsenic (81,16 mg/kg)
anse à la Bouelle	C	Plomb (164,1 mg/kg) Zinc (1179 mg/kg)
St Félix	C	Arsenic (117,1 mg/kg) Plomb (279,4 mg/kg)
Viard	C	Arsenic (49,86 mg/kg) Chrome (179,6 mg/kg)
anse du Belley	C	Arsenic (22,16 mg/kg) Cadmium (2 mg/kg) Cuivre (81,5 mg/kg) Plomb (246,8 mg/kg) Zinc (1214 mg/kg)
gros cap	C	Arsenic (73,3 mg/kg)
anse champagne	Pas de données	
raisins clairs	Pas de données	

Tableau 19 : Classification des sites de stockage en fonction de leur dépassement en ETM dans les sols

ETM	Pourcentage de sites présentant un dépassement	
	B	C
As	60 %	83,3 %
Pb	40 %	50 %
Cr	0 %	16,7 %
Zn	40 %	33,3 %
Cu	20 %	16,7 %

Tableau 20 : Fréquence des dépassements par classe de site de stockage et par ETM

Interprétation

Sur l'ensemble des données recueillies, le dépassement du fond géochimique local défini par l'INRAe pour l'arsenic est particulièrement récurrent en comparaison aux autres éléments.

Les dépassements en plomb ne sont probablement pas compatibles avec une origine liée aux dépôts de sargasses, les concentrations mesurées dans les sargasses étant faibles pour (0,55 mg/kg MS), la présence de plomb sur les sites est ponctuelle (excepté l'anse à la Bouelle où le fond géochimique présente une anomalie au plomb) et non représentative des sols du site, ces valeurs sont liées à des anomalies géochimiques ou à la présence antérieure de déchets.

Les dépassements en chrome sont à nuancer avec un fond géochimique relativement élevé en Guadeloupe, la teneur de chrome mesurée dans les sargasses (11,4 mg/kg MS) implique un apport potentiel mais mineur de ces dernières.

Les dépassements en zinc sont potentiellement liés à la présence des dépôts de sargasses. La teneur de zinc mesurée dans les sargasses (7,4 mg/kg MS) implique un apport potentiel de ces dernières. Néanmoins les dépassements en zinc apparaissent sur des sites d'ancienne décharge sauvage (excepté l'anse à la Bouelle où le fond géochimique présente une anomalie au zinc). Le zinc est un élément métallique particulièrement abondant sur les sites de décharges sauvages (Déchets ménagers, construction, automobiles, électroniques...).

Les dépassements en cuivre sont à nuancer avec un fond géochimique relativement élevé en Guadeloupe, la teneur de cuivre mesurée dans les sargasses (4,3 mg/kg MS) implique un apport potentiel mineur de ces dernières.

Au vu des résultats, la pollution à l'arsenic des sols par les lixiviats de sargasses est avérée (80% des sites classés en C), dans des concentrations variables à mettre en relation avec les précédents facteurs énoncés concernant le transfert de l'arsenic par les lixiviats.

Une partie des éléments chrome, plomb, zinc et cuivre mesurés ont potentiellement une origine liée aux dépôts des sargasses, mais l'historique des sols et la présence d'activité antérieure telles que des décharges sauvages génératrices des éléments chrome, plomb, zinc et cuivre contre-indiquent de lier ces contaminants aux dépôts de sargasses.

5.2.2. Produits phytosanitaires

Les produits phytosanitaires et plus particulièrement la chlordécone et ses métabolites (Chlordécol et Chlordécone Hydro-5B) ont été analysés sur les sites de Viard et Sainte-Claire, car tous deux situés en aval d'importantes zones bananières et soumis à de fortes pressions phytosanitaires. L'objectif étant de déterminer si le stockage des sargasses impactent les sites par ces substances en transférant les polluants phytosanitaires du milieu marin (pollution par les rivières qui se jettent en milieu marin) vers les sols des sites.

Présentation des résultats

Le site de Viard a fait l'objet d'analyses de chlordécone. Des teneurs de chlordécone ont été détectées sur site (39,4 µg/kg MS) et hors site (71,8 µg/kg MS).

Le site de Sainte-Claire a fait l'objet d'une analyse multi-paramètres et de trois analyses de chlordécone. L'analyse multi-paramètres ne donne de résultats que pour la chlordécone (25 µg/kg MS), les autres points montrent des valeurs plus faibles comprises entre 7,3 µg/kg MS et 17,7 µg/kg MS.

Interprétation

Sur le site de stockage de Viard, les sols sont déjà pollués par la chlordécone, le point témoin **VIARD 01**, non impacté par le stockage (pas de salinisation anormale), est 1,8 fois plus concentré en chlordécone (71,8 µg/kg) que le point le point **VIARD 07** situé au droit du stockage (39,4 µg/kg). Les sols avoisinants le stockage sont donc d'ores et déjà contaminés en chlordécone, ce qui minimise l'impact potentiel des dépôts.

Sur le site de stockage de Sainte-Claire, les dépôts de sargasses ont un potentiel impact en apport de chlordécone sur les sols. Le témoin **SC-TEM2** ne montre aucune concentration en chlordécone, il se trouve sur une parcelle proche du site qui d'après l'imagerie aérienne n'a jamais été cultivée et qui est également située en dehors de la zone d'influence de la rivière longeant le site de stockage, pour rappel la rivière montre une concentration en chlordécone de 0,26 µg/L.

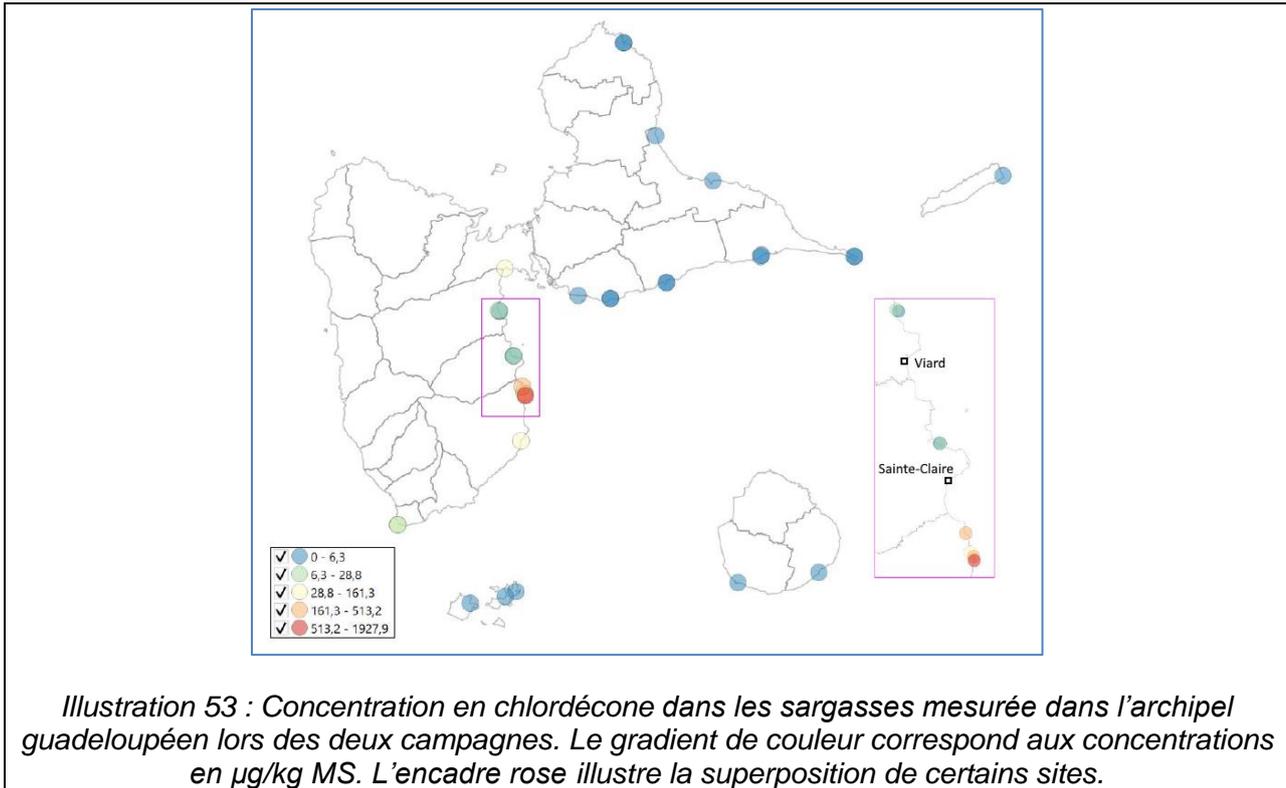
De la chlordécone est détectée sur le site de stockage, les teneurs restent néanmoins dans la moyenne des concentrations mesurées dans les sols avoisinants par le programme JAJA²⁶ (suivi de la chlordécone dans les sols), la parcelle la plus proche (160 m) montre une concentration en chlordécone de 23 µg/kg. La chlordécone détectée a une origine allochtone très probable, avec une contamination liée au ruisseau.

Par ailleurs, l'étude Eco3Sar a mis en évidence que la variabilité de concentration en chlordécone des sargasses est importante (de 4,4 à 2696,9 µg/kg MS) et les concentrations en chlordécone dans les sargasses récoltées entre Viard et Sainte-Claire sont comprises entre 0 et 28,8 µg/kg MS pour Viard et entre 28,8 et 513,2 µg/kg MS pour Sainte-Claire (

Illustration 53).

Il est donc possible que les sargasses représentent une source de pollution en chlordécone pour les lieux où elles sont stockées, mais il est difficile de le confirmer dues aux pollutions antérieures de ces sites par l'activité bananière. Cependant, il reste important d'appliquer le principe de précaution concernant les lieux de stockage des sargasses provenant de la zone maritime « chlordéconée » afin d'éviter la contamination de sols sains.

²⁶ Programme des jardins familiaux de Guadeloupe



5.2.3. Hydrocarbures et trybutylétain

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques et le trybutylétain ont été recherchés sur les sites ayant réceptionné des sargasses issues de milieu portuaire, la présence de ce type de substances étant la plus abondante dans ce type d'environnement en lien avec les rejets des bateaux et les activités portuaires en général. De plus les sargasses ramassées en milieu portuaire sont parfois mélangées avec des sédiments de dragage.

Présentation des résultats

Sur l'ensemble des sols analysés seul le site de Viard fait état d'une trace très faible de Benzo (b) Fluoranthène de 11 µg/kg MS.

Interprétation

L'ensemble des sites où ces polluants ont été étudiés ne montrent aucun impact lié au dépôt de sargasses. Il est possible que les quantités adsorbées par les sargasses soient trop faible ou les milieux portuaires trop faiblement concentré en ces polluants pour permettre une détection.

5.3. ANALYSES DE LIXIVIATS

Les prélèvements de sols pour lixiviation ont été réalisés principalement sur la couche pédologique de surface et les dépôts sableux de sargasses des sites de stockage. Seize échantillons ont été réalisés.

5.3.1. Présentation des résultats

L'ensemble des échantillons analysés (excepté celui du site de porte d'enfer) présentent des dépassements du seuil ISDI pour les chlorures (1160 – 10 560 mg/kg) et la fraction soluble (4220 – 35 280 mg/kg). Les échantillons des sites de Pompierre, anse champagne, gros cap, anse Maurice et raisins clairs présentent des dépassements du seuil ISDI pour les sulfates (1060 – 3590 mg/kg). Les prélèvements de raisins clairs, anse Maurice, anse du Belley et gros cap présentent également un dépassement du seuil ISDI pour l'arsenic (0,613 – 5,1 mg/kg).

5.3.2. Interprétation

Les résultats de la lixiviation sont à mettre en relation avec l'activité du stockage de sargasses concernant les seuils dépassés. En effet les chlorures sont directement apportés par les sargasses, ils représentent 50% de la matière minérale contenue par ces dernières (ANSES 2017). Il en va de même pour les sulfates qui sont constituants de 1,3 à 3,7 % de la matière sèche des algues brunes (Rupérez 2002).

La fraction soluble élevée des échantillons est à mettre en relation avec le fort taux de chlorures des échantillons qui constitue une partie non négligeable d'éléments dissous.

Le dépassement du seuil ISDI sur l'élément arsenic est également une conséquence directe du stockage de sargasses. Les valeurs les plus importantes proviennent des matrices sableuses mélangées aux sargasses des dépôts d'anse Maurice (2,5 – 5,1 mg/kg), en comparaison la couche argileuse sous-jacente à ces dépôts présente des valeurs comprises entre 0,2 et 0,3 mg/kg.

Deux explications sont possibles à cette observation :

La première est que la matière organique des sargasses contenues dans le sable retient une part de l'arsenic comme le montre les échantillons d'anse Maurice (23,93 µg/kg dans les sables contre 14,6 µg/kg dans les argiles sur les points AMA 02-01, AMA 02-02 et AMA 03-03).

La deuxième oriente plutôt sur un gradient décroissant de l'arsenic dans les sols, on retrouve en effet ce même phénomène sur le site de gros cap mais sur des textures uniquement argileuses sans sargasses sus-jacentes.

En conclusion, les matières présentes sur les stockages présentent des caractéristiques de déchet inertes voire de déchets non dangereux pour les sables d'anse Maurice et devront être prises en compte dans l'éventualité d'une gestion du site.

5.4. LIMITES DE L'ETUDE

5.4.1. Incertitudes sur les polluants liés aux sargasses

La préparation de la première campagne de terrain (été 2019) a été compliquée par le manque de données sur les caractéristiques chimiques des sargasses et les risques induits concernant les propriétés des lixiviats qui s'en échappent. Après les résultats de la première campagne, la principale substance toxique liée aux sargasses semble être l'arsenic, dont la concentration varie selon la matrice analysée et l'âge du dépôt. Il n'existe pas de corrélations claires entre les concentrations en arsenic et celles des autres métaux retrouvés.

La présence de chlorures est un indicateur de la contamination d'une eau ou d'un sol par les dépôts de sargasses, néanmoins de manière similaires aux métaux, la proportion arsenic/chlorures n'est pas constante d'un site à l'autre.

Les analyses effectuées dans les sargasses issues de milieu portuaire portant sur les hydrocarbures et les organostannique montrent un impact sur l'eau de mer de la pointe Colibri au niveau de la zone de contact entre le dépôt (sargasses et sédiments de dragages) et la mer (**COL5**). Certains sols présentent de légères contaminations aux HAP sur différents sites mais leur répartition ainsi que leur faible concentration suggèrent des pollutions provenant d'autres activités.

Enfin le lien entre sargasses et chlordécone n'a pas été clairement mis en évidence, les teneurs retrouvées dans les sols du site de Sainte-Claire peuvent être liée à une pollution de surface antérieure, le témoin étant lui-même contaminé par la chlordécone. De plus, les eaux naturelles prélevées autour du site sont concentrées en chlordécone entre 4 et 12 fois plus que les eaux de lixiviation. A l'inverse, les eaux naturelles sont peu contaminées en arsenic en comparaison aux eaux de lixiviation même si une influence du stockage sur ces eaux est avérée.

5.4.2. Manque d'accès au milieu souterrain

La surveillance des eaux souterraines est un point essentiel de l'étude car les aquifères représentent une cible préférentielle pour les écoulements souterrains. Leur vulnérabilité dépend principalement de la couverture pédologique sur laquelle repose le site. Il a été déterminé grâce au site de stockage de Pompierre et de l'anse du Belley que les matrices sableuses laissent facilement percoler les eaux de lixiviation ainsi que l'arsenic qu'elles contiennent. Le transfert des eaux de lixiviation à travers des sols argileux est présumé plus lent que pour les sols sableux, de plus les argiles ont de meilleures capacités d'adsorption des polluants. Cette particularité couplée aux emplacements des sites très proche du littoral pour la plupart, induit un faible risque car les aquifères présents au droit des sites sont proches du biseau salin et ne sont pas prélevés dans le but d'une exploitation agricole ou domestique.

5.4.3. Cartographie de la pollution incomplète

La multitude de site à investiguer a conduit à restreindre la précision dans la caractérisation des sites. L'utilisation de la pXRF a permis d'orienter comme prévu les prélèvements des échantillons de sols en ciblant les zones les plus polluées en arsenic. Par ailleurs l'interprétation des résultats de la pXRF n'a pas été approfondie dû à l'impossibilité de fiabiliser les résultats. Cela est dû à la variabilité des matrices analysées qui donne des résultats très hétérogènes d'un site à l'autre et d'une matrice à l'autre. La mise en corrélation des analyses pXRF et des analyses laboratoire n'est pas concluant avec un coefficient de détermination maximum de 0,6, ce qui est trop faible. De plus de nombreuses mesures ne dépassent pas les seuils de détection de l'appareil pour l'arsenic.

5.5. RECOMMANDATIONS POUR LE CHOIX D'EMPLACEMENT D'UN SITE DE STOCKAGE

Plusieurs facteurs liés aux caractéristiques naturelles des sites peuvent déterminer certaines zones comme plus appropriée à l'activité de stockage de sargasses :

La couverture pédologique : les sols imperméables tels que les sols argileux sont préconisés, les matrices argileuses limitent la vitesse de transfert vertical avec une perméabilité moyenne

comprise entre 10^{-9} et 10^{-13} m/s²⁷ contre une perméabilité moyenne pour les sables comprise entre 10^{-2} et 10^{-5} m/s. De plus, les argiles ont un meilleur pouvoir d'adsorption de l'eau avec une moyenne de 40 – 50% du volume pour les argiles contre 10 – 15% du volume pour les sables.

La pente : un site argileux trop pentu risque d'entraîner des ruissèlements vers l'extérieur du stockage et une contamination des parcelles adjacentes, de faibles pentes inférieures à 2% sont préférables pour contenir au mieux les polluants. Le cas échéant l'aménagement de fossés sera nécessaire.

L'éloignement des habitations et des activités : les sites de stockage doivent être choisis pour être les plus éloignés des lieux de résidence, les mesures d'émanations de H₂S n'ont pas été définies comme étant dangereuses sur site, néanmoins l'action de corrosion sur les équipements électroniques a été dénoncée plusieurs fois par les populations exposées aux sargasses. Une distance entre les stockages et les lieux d'activité (club de kitesurf à l'anse de Belley par exemple) doit être respectée afin d'éviter tout risque d'accident, particulièrement pour les enfants (risque d'ingestion d'eaux et/ou sols pollués, déchets dangereux mélangés aux sargasses, sols instables).

L'éloignement des zones de protection : plusieurs zones naturelles sous protection ont été mises à disposition pour le stockage des sargasses. L'implantation des stockages a entraîné des modifications sérieuses à ces zones (déforestation, salinisation et déplacement des sols, modification de la topographie, contamination des eaux naturelles, destruction d'habitats d'espèces...). La remise en état de ces parcelles n'a pas été anticipée pour l'ensemble des sites et devra être sérieusement réalisée à l'avenir dans le cas où l'implantation sur ces parcelles est la seule option.

Proximité du littoral : l'exutoire des eaux qui s'écoulent des stockages doit être préférentiellement le milieu marin. D'après les analyses d'eau de mer, l'impact reste faible en raison de la grande capacité de dilution du milieu marin. Néanmoins la pollution de zone locale peut être mesurée selon la quantité et la nature des rejets, la zone d'exutoire de la Pointe-Colibri fait état d'une pollution en métaux, HAP et TBT de l'eau de mer (**COL 5**). Cette pollution est liée aux boues de dragages mélangées aux sargasses (Illustration 54). Les boues du port de la Désirade ont été prélevées sur le port au sein de la barge de dragage.

²⁷ <http://sigessn.brgm.fr/spip.php?article313>

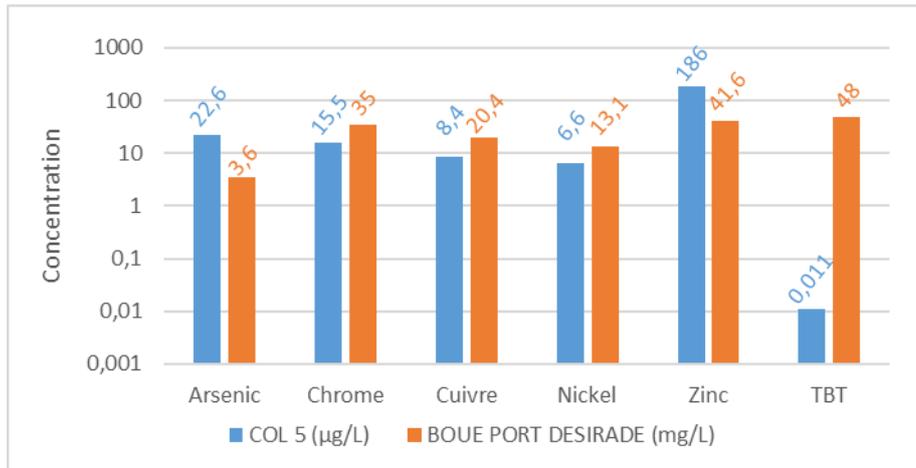


Illustration 54 : Histogramme indiquant une corrélation entre la pollution de l'eau de mer COL5 et les boues de dragage du port de la Désirade.

L'utilisation de l'exutoire marin pour les lixiviats peut donc être envisagée dans le cadre du respect des normes de rejet des effluents décrit dans l'Arrêté du 9 août 2006 *relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux relevant respectivement des rubriques 2.2.3.0, 4.1.3.0 et 3.2.1.0 de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du code de l'environnement* qui définit :

- le rejet d'arsenic maximal autorisé à 1245 mg/j ;
- le rejet de sels dissous maximal autorisé à 1 t/j ;
- le rejet de COT²⁸ inférieur à 8kg/j pour les rejets supérieur à 2 000 mg/l pour les chlorures ;

Historique du site : Une partie des sites de stockage étant auparavant des zones de décharge sauvage, des polluants se trouvent déjà sur ces parcelles, ce qui minimise l'impact des sargasses en comparaison à la contamination d'un sol sain.

²⁸ Carbone Organique Total

6. Conclusion et préconisations

L'étude de l'impact environnemental des sites de stockage de sargasses sur l'ensemble de la Guadeloupe a permis de statuer sur les dangers liés à cette activité, au niveau local en fonction des spécificités intrinsèques de chaque site de stockage et plus généralement au niveau de l'archipel Guadeloupéen.

Les mesures réalisées sur différents sites de stockage a permis d'isoler les paramètres communs mesurés afin de déterminer quels étaient les polluants liés aux sargasses. Les autres pollutions mesurées ont pu être écartés (décharge sauvage, boues de dragages). Cela a permis de retenir deux éléments polluants majeurs provenant des dépôts de sargasses qui sont l'arsenic dissous et les chlorures, provenant des « jus de sargasses ».

L'analyse des différents types de milieux récepteurs ont permis d'établir certaines tendances générales :

- Le transfert de l'arsenic et des chlorures en milieu souterrain sableux a été mis en évidence sur les sites de Pompierre (Terre-de-Haut) et de l'anse du Belley (Sainte-Anne). Hormis l'arsenic que l'on retrouve dans des teneurs moyennes d'environ 93 µg/L, la salinisation des eaux souterraines représente une menace au terme d'une longue durée d'activité du stockage, plus particulièrement sur le site de gros cap, la ressource en eau de Marie-Galante subissant déjà de fortes pressions salines.
Il n'existe pas de données de prélèvements souterrains en milieux argileux pour comparer les concentrations des nappes.
- Les eaux de surface sont principalement des mélanges d'eaux stagnantes naturelles, d'eaux météoriques qui ont transité à travers les dépôts et de « jus de sargasses ». En fonction de la proportion de chacune de ces eaux dans les mélanges, les teneurs varient de manière importante d'un site à l'autre pour l'arsenic (1,2 – 5 996 µg/L) et les chlorures (27 – 31 320 µg/L). Les eaux naturelles qui ne sont pas situés en contact direct avec les dépôts ont des teneurs faibles en arsenic et en chlorures comme l'ont montré les prélèvements d'eaux réalisés à Viard, Sainte-Claire et dans la ravine Gombo longeant le site de l'anse du Belley.
- Les analyses de sols combinées à des tests de lixiviation donnent également des informations sur le comportement des polluants dans un substrat naturel. Les sols argileux ont une meilleure capacité de rétention de l'arsenic et des chlorures en comparaison au sable. Les argiles constituent donc une meilleure protection du milieu souterrain, en fonction de l'épaisseur de la zone non saturée.
Il a été observé dans un contexte sableux que le comportement des polluants diffère. Les sargasses en se dégradant dans les sables libèrent leurs alginates qui transitent à la base des dépôts, donnant une texture élastique et grasse au sable. C'est dans cette partie basse des dépôts sableux que les concentrations d'arsenic sont les plus élevées comme il a été observé sur les sites d'anse Montal, d'anse Maurice et d'anse du Belley.
- La problématique de la chlordécone n'a pas été réellement mise en évidence sur les sites de la plage de Viard ou de Sainte-Claire car les sols et les eaux adjacentes proches du site donnent une pollution plus importante autour de la zone de dépôt plutôt qu'au droit de cette dernière.

Suite au travail de recherches et d'analyses réalisés sur les sites de stockage de sargasses de la Guadeloupe, plusieurs recommandations de gestion des sites sont proposées par le BRGM avec à minima :

- Une régulation des accès aux points d'eaux stagnantes utilisés notamment par les éleveurs de bœufs comme moyen d'abreuvement ;
- La sélection de zones peu pentues pour l'installation des stockages afin d'éviter les ruissèlements ;
- Un clôturage des sites de stockage est conseillé pour les plus pollués ou du moins l'installation d'une signalétique adaptée expliquant les risques sanitaires encourus suite à une exposition à l'arsenic ;
- La création de fossés et de merlons permettant d'éviter la dispersion des matières polluées et la récupération des eaux de lixiviation ;
- Le traitement des eaux de lixiviation si nécessaire pour le retrait de l'arsenic (filtration, interaction avec les oxyhydroxydes de fer ou rejet en milieu marin en fonction des concentrations) ;
- L'installation de piézomètres/qualitomètres de surveillance en amont, au droit et en aval hydrogéologique des sites à forts enjeux (anse Maurice, anse du Belley, gros cap), avec pour but d'assurer un suivi de la qualité des nappes ;
- La création de site respectant les normes d'un site de stockage sous nomenclature ICPE avec une meilleure traçabilité des sargasses et une meilleure gestion des lixiviats.
- La réutilisation du sable présent dans les dépôts pour le ré ensablement des plages impactées par le ramassage doit être étudiée. Pour être réutilisé, le sable ne doit pas constituer une source de pollution pour le milieu récepteur et ne doit dépasser le seuil N1 au titre de l'arrêté du 9 août 2006 modifié par l'arrêté du 30 juin 2020 sur la qualité des sédiments marins, en particulier sur le paramètre arsenic.

Outre les dépôts de sargasses, la présence de nombreux autres déchets de différentes natures a pu être constatée sur les sites de stockage (ordures, boues de dragage...). Ces déchets ont un impact sur la qualité des milieux et leur traitement ou leur valorisation doit être réalisé dans des installations adéquates et réglementaires.

Plus globalement, l'impact actuellement observé n'est pas alarmant tout en restant réel, cette pratique de stockage est relativement récente et l'impact ne fera que s'amplifier si cette activité continue selon cette méthode de gestion, ce qui conduira à générer des zones à potentiel toxique important (sols et eaux souterraines) en lien avec l'arsenic qui s'y stockera et conduira potentiellement à la réalisation de plans de gestion pour les propriétaires de ces parcelles

7. Bibliographie

ANDJELKOVIC I. et al (2017) - Bacterial iron-oxide nanowires from biofilm waste as a new adsorbent for the removal of arsenic from water. RSC Adv. p 3941-3948.

ANSES (2017) - Expositions aux émanations d'algues sargasses en décomposition aux Antilles et en Guyane

BRENOT A., ALLIER D., DUMON A. (2008) - Identification des zones à risque de fond géochimique élevé dans les cours d'eau et les eaux souterraines en Guadeloupe. Rapport BRGM RP-55709-FR, 102p.

CIVALLERO E., LE LOHER F., SEUX B. ET CAUMONT M. (2020). Etude de l'impact environnemental des sites d'épandage de sargasses en Guadeloupe. Rapport Intermédiaire. RP-70062-FR

DEVAULT D., Florence MENEZ, Anne PENE-ANNETTE, Pascal Jean LOPEZ. (2020). Eco3Sar : Ecologie, Ecotoxicologie et Economie des Sargasses. p. 126.

LAPERCHE V. (2005) - Evaluation des performances du spectromètre portable de fluorescence X Niton XL723S (au laboratoire et sur le terrain). RP-53377-FR, 72 p, 41 ill., 2 ann.

LEOZ-GARZIANDIA E. (2000). Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques dans l'air ambiant. INERIS. p. 9,45, 46.

MOHINDRA et al. (2018). Environmental monitoring of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in *Sargassum filipendula* and *Sargassum vulgare* along the eastern coastal waters of Trinidad and Tobago, West Indies. Journal of Applied Phycology. p. 30, 2143-2154.

NEGREL P., LACHASSAGNE P., LAPORTE P. (1997). – Chemical and isotopic characterization of rainwaters in Cayenne (French Guyana). Compte Rendu Académie des Sciences 324, 379-386.

NORSTRÖM et al. (2010). External exposure and bioaccumulation of PCBs in humans living in a contaminated urban environment. Environment International. Vol 36, Issue 8, p. 855-861.

RODRUIGEZ-MARTINEZ Rosa E. et al. (2020) - Element concentrations in pelagic *Sargassum* along the Mexican Caribbean coast in 2018-2019

RUPEREZ P. (2002) Mineral Content of Edible Marine Seaweeds. Food Chemistry, 79 p, 23-26.

SANJUAN B., BRACH M. (1998). – Etude hydrogéochimique du champ géothermique de Bouillante (Guadeloupe). Rapport BRGM/R 39880 décembre 1997. 84 p.

FOUREST E., BOHUMIL V. (1995) - Contribution of Sulfonate Groups and Alginate to Heavy Metal Biosorption by the Dry Biomass of *Sargassum fluitans*. Environ. Sci. Technol, 30, 1, 277-282

Annexe 1 : Résultats des tests de lixiviation

Paramètres	Unité	Seuil ISDI	AMA09	RC04	PEH3	PO11	AC07	MG14 SABLE	PO03	COL2- 06	MG 2-1 SURF	MG 2-1 PROF	MG 2-2 SURF	MG 2-2 PROF	AMA 2-1 SABLE	AMA 2-1 ARGILE	AMA 2-1 SABLE	AMA 2-2 SABLE	AMA 2-2 ARGILE	AMA 2-3 SABLE	AMA 2-3 ARGILE	BEL 2-1	BEL 2-2
COT	mg(C)/kg	500	160,0	130,0	66,0	140,0	160,0	110,0	54,0	87,0	200,0	87,0	90,0	19,0	270,0	220,0	330,0	330,0	84,0	310,0	100,0	330,0	64,0
Chlorures	mg/kg	800	2560,0	3060,0	210,0	2410,0	3890,0	7440,0	1990,0	1160,0	3700,0	10000,0	5400,0	10560,0	1800,0	4000,0	3000,0	3000,0	7100,0	3700,0	5400,0	11000,0	2900,0
Conductivité (20°)	µS/cm	-	1116,0	1330,0	187,0	1118,0	1825,0	2827,0	746,0	578,0	2156,0	4636,0	2649,0	3507,0	1506,0	1926,0	1671,0	1671,0	2812,0	1967,0	2116,0	3659,0	1259,0
Fluorures (F)	mg/kg	10	<LQ	2,8	<LQ	<LQ	5,9	<LQ	<LQ	<LQ	1,7	3,0	1,6	2,1	1,2	2,2	1,7	3,1	3,1	1,4	2,1	3,0	1,8
Fraction soluble	mg/kg	4000	7990,0	8820,0	1620,0	7620,0	17000,0	22880,0	5030,0	4220,0	16630,0	35280,0	19640,0	24130,0	12440,0	18970,0	12570,0	20170,0	20170,0	14580,0	14950,0	24180,0	8990,0
Indice Phénol	mg/L	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Sulfates (SO4)	mg/kg	1000	1090,0	1060,0	64,0	1240,0	1230,0	3590,0	340,0	590,0	3100,0	9700,0	81,0	3140,0	2700,0	2050,0	2800,0	2800,0	2900,0	2520,0	1900,0	620,0	1000,0
Antimoine	mg/kg	0,06	<LQ	0,0	<LQ	<LQ	0,0	<LQ	<LQ	<LQ	0,0	0,0	<LQ	<LQ	<LQ	0,0	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,0	0,0
Baryum	mg/kg	0,5	0,4	0,6	0,0	0,2	0,3	0,1	0,0	0,0	0,7	0,2	0,1	0,0	3,1	0,3	5,1	5,1	0,2	2,5	0,2	0,7	0,1
Cadmium	mg/kg	20	3,1	0,5	1,4	1,4	1,8	0,9	1,1	1,9	0,8	1,3	0,8	1,1	0,5	0,3	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,7	0,5
Chrome	mg/kg	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cuivre	mg/kg	2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mercurure	mg/kg	0,5	0,0	0,0	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Molybdène	mg/kg	0,5	0,0	0,0	<LQ	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,5	0,1
Nickel	mg/kg	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<LQ	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Plomb	mg/kg	0,5	<LQ	<LQ	0,0	0,0	0,0	<LQ	<LQ	0,0	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,0	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,0	0,0
Sélénium	mg/kg	0,1	0,0	0,0	<LQ	0,0	0,0	0,0	0,0	<LQ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Zinc	mg/kg	4	0,2	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	<LQ	0,1	0,2	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,1	0,3	0,1	1,1	0,1

Annexe 2 : Résultats des prélèvements de témoins

Paramètres	Unité	DE08-TEM	DE09-TEM	PH09-TEM	AT11-TEM	PO14-TEM	ABL03-TEM	ABL10-TEM	MG09-TEM	MG15-TEM	SF02-TEM	SC-TEM2	BEL-TEM	AMA TEM ARGILE	AMA TEM2 SABLE
Organique et Minéraux															
Chlorures	mg/kg MS	205,6	21,3	29,6	100,5	25,6	87,7	79,7	5327,3	196,7	13040	480	124	16,5	1304
Sodium	mg/kg MS	19680	12900	22500	1630	11650	1857	1884	6094	2004	7126	1817	1132	1310	2613
Métaux															
Arsenic	mg/kg MS	1,13	1,26	2,05	2,46	5,56	11,72	6,38	9,35	6,82	25,09	1,1	6,9	6,1	1,6
Aluminium	mg/kg MS	41690	34310	76130	21540	30670	75740	35900	83190	72760	97090	130400	66280	72450	6057
Cadmium	mg/kg MS	<0,2	<0,2	<0,2	0,2	<0,2	0,6	0,4	0,9	0,6	0,5	<0,2	0,6	0,5	0
Chrome	mg/kg MS	693,9	843,3	53,3	19,7	17,4	59,5	35,6	90,3	61,4	69,6	7,8	53,4	49,4	7,6
Cuivre	mg/kg MS	988,2	98,9	36,1	28,5	4,1	47,9	22,4	68,4	49,5	39,6	67,5	30,8	39	3,9
Etain	mg/kg MS	1,1	0,7	1,5	1	0,3	3,3	2,8	2,1	2	1,6	1,3	2,9	1,6	0
Plomb	mg/kg MS	0,4	1,6	5	24,7	2	19,5	9,8	15,4	15,9	11,5	3,9	17,2	12,6	1,3
Nickel	mg/kg MS	302,3	316,8	7,7	5,9	1,5	22,4	13,5	19,7	17,2	18,5	4,4	14,4	16,1	2,2
Zinc	mg/kg MS	72,1	60,1	59,3	25	21,2	219,5	48,8	65,2	59	63,2	78,8	66,3	67,3	9

Annexe 3 : Résultats des prélèvements de sols (Formule 1)

Paramètres	Unité	AL06	DE02	AMO01	AT04	PO05	PO13	PO13	BEL03	PEB03	COL2-03	COL08	AMO06	AMO06	AMA05
Minéraux															
Chlorures	mg/kg MS	357,3	2413,4	2474,1	1405,1	162,2	457,3	370	5232,7	739,2	1173,6	5123,1	241	4442,8	1368,8
Sodium	mg/kg MS	2531	19940	3228	2124	8665	10970	9692	10090	2013	5752	11370	2418	8555	4147
Métaux															
Arsenic	mg/kg MS	1,94	3,74	6,63	2,69	12,12	10,66	13,27	22,16	8,28	11,48	11,03	8,21	81,16	25,88
As III	mg/kg MS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,07	0,07	-
As V	mg/kg MS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,89	3,89	-

Annexe 4 : Résultats des prélèvements de sols (Formule 2)

Paramètres	Unité	MG11	MG14 ARGILE	AMA03	AMA-FLAQUE PISTE	COL2-02	AT10	AT01	AT03	ABL01	ABL04	ABL06
Minéraux												
Chlorures	mg/kg MS	48788,1	27628,4	4868,1	26566	5815,1	6151,7	4675,9	20237,1	25454	1096,1	2564,4
Sodium	mg/kg MS	26400	17640	4578	88930	16710	10130	7925	13870	6412	3041	3742
Métaux												
Arsenic	mg/kg MS	25,27	40,33	26,39	56,73	10,05	13,8	12,93	17,44	9,82	11,7	5,04
As III	mg/kg MS	-	-	0,45	-	-	-	-	-	-	-	-
As V	mg/kg MS	-	-	13,7	-	-	-	-	-	-	-	-
Aluminium	mg/kg MS	31260	34720	31390	37490	74910	98710	102200	31270	27920	9580	9759
Cadmium	mg/kg MS	0,6	0,8	0,3	0,4	0,2	0,3	0,5	0,3	1,1	0,6	0,3
Chrome	mg/kg MS	40	44,2	25,9	22,8	76,9	92,2	81,9	38,4	45	25,7	16,4
Cuivre	mg/kg MS	22,9	21,9	22,2	21,1	21	34,4	41,7	17,5	196	32,1	212,7
Etain	mg/kg MS	0,9	0,9	1,2	0,9	1,5	2,5	2,5	1	8,5	3	3,1
Plomb	mg/kg MS	8,9	6,3	10,6	6	52,3	80,3	31,8	16,6	164,1	23,3	62,9
Nickel	mg/kg MS	9	11	8,3	8,5	16,5	24,8	28,8	11,6	13,7	13,5	6,1
Zinc	mg/kg MS	31,9	25,5	30,6	119,7	34	53,7	50,9	26	812,5	1179	130,5

Paramètres	Unité	BEL 2 - 1	BEL 2 - 2	BEL 2 - 3	BEL 2 - 4	AMA 02 - 01 - SABLE	AMA 02 - 01 - ARGILE	AMA 02 - 02 - SABLE	AMA 02 - 02 - ARGILE	AMA 02 - 02 - ARGILE	AMA 02 - 03 - SABLE	AMA 02 - 03 - ARGILE	MG - 2 - 1 - SURF	MG - 2 - 1 - PROF	MG - 2 - 2 - SURF	MG - 2 - 2 - PROF
Minéraux																
Chlorures	mg/kg MS	8119	2502	2301	3404	1638	4143	3488	6625	6625	3786	4604	3628	4624	4884	6815
Sodium	mg/kg MS	8307	2324	13240	3923	3318	4306	4235	5639	5639	4036	4155	5095	7859	6191	11180
Métaux																
Arsenic	mg/kg MS	8,4	1,2	8,1	2,6	31,8	10,3	24,1	27,9	27,9	15,9	5,7	60,8	13,5	20,3	7,7
Aluminium	mg/kg MS	604,8	4392	13080	1913	1743	12870	561,4	18770	18770	534,5	1396	11100	9793	30630	64710
Cadmium	mg/kg MS	0,3	0	2	0,3	0,4	0,2	0	0,3	0,3	0,2	0	0,6	0,4	0,6	0,7
Chrome	mg/kg MS	40,6	5,8	124,5	14,2	5,6	14,3	5,5	22,7	22,7	3,6	5,2	21,4	17,8	37,3	63,9
Cuivre	mg/kg MS	2,5	7,2	81,5	12,1	4	8,9	1,5	14,4	14,4	1,3	2,4	12,3	8,8	21,5	35,8
Etain	mg/kg MS	0,3	1,1	219,7	4	0,3	3,5	0,2	2,7	2,7	0,2	0,2	0,7	0,4	0,9	1,5
Plomb	mg/kg MS	2,2	5,8	246,8	21,3	1,6	4,5	1	3,4	3,4	0,9	0,8	30	4,9	6,5	11
Nickel	mg/kg MS	2,6	1,7	26,6	3,2	3	4,6	2,1	8,4	8,4	1,8	1,6	7,6	4,4	9,8	15,8
Zinc	mg/kg MS	11,4	19,1	1214	103,6	8,2	17,5	5,8	21,6	21,6	4,3	3,9	69,9	29,8	36,8	56,8

Annexe 5 : Résultats des prélèvements de sols (Formule 3 & 4)

Paramètres	Unité	COL09	BOUE PORT	SF03	SF04	SF12	PH04	MG09 BOUE	SC04	SC07	SC10	SC11	VIARD01	VIARD02	VIARD07	VIARD10
Minéraux																
COT	mg/kg MS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chlorures	mg/kg MS	2503,1	7484	13956,1	14980,7	72,7	7604	35252,7	396,8	560,9	2545,3	5248,9	23,3	114,8	1116,1	1961,9
Sodium	mg/kg MS	7414	11400	6389	9029	1520	16900	19670	10890	13560	8851	13110	17430	15390	13760	3830
Métaux																
Arsenic	mg/kg MS	2,83	3,6	61,52	117,1	54,55	23,95	73,3	29,41	21,07	18,42	32,62	26,38	17,27	22,17	49,86
As III	mg/kg MS	-	-	-	0,66	-	-	1	-	-	-	0,28	-	-	-	-
As V	mg/kg MS	-	-	-	79,3	-	-	34,9	-	-	-	8,16	-	-	-	-
Aluminium	mg/kg MS	7174	11820	82970	74230	66610	88090	79760	80580	59100	79940	54600	89690	84190	77880	112600
Cadmium	mg/kg MS	<0,2	<0,2	0,5	0,5	1	<0,2	0,7	<0,2	<0,2	0,3	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,9
Chrome	mg/kg MS	31,6	35	54,6	47,7	32,7	29,9	68,1	18,1	22,1	59,3	19,4	14,8	17,3	26,9	179,6
Cuivre	mg/kg MS	4,8	20,4	39,2	34,5	31,8	41,8	36,3	29,9	29,3	33,2	27,2	27,8	29,7	34,8	59,2
Etain	mg/kg MS	0,3	0,8	1,2	1,2	1,1	1,7	1,4	1,2	0,8	2	0,7	0,7	0,7	1	7,7
Plomb	mg/kg MS	1,8	7,4	279,4	9,9	8,1	20,4	11	3,1	2,2	12,5	3	3	2,9	4,3	23,1
Nickel	mg/kg MS	5,6	13,1	14	13,7	12,2	8,7	16,9	5,8	5,4	13,4	5,8	4,7	4,4	7,4	20,2
Zinc	mg/kg MS	12,8	41,6	49,5	50,8	60,6	132,5	45,6	80,8	79,6	51,6	102,9	62,4	61,7	98,1	101,2
Autres Polluants																
Benzo (b) Fluoranthène	µg/kg MS	<10	<10	<10	<10	<10	19	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	11
Chlordécone	µg/kg MS	-	-	-	-	-	-	-	7,3	<5,0	17,7	25	71,8	<5,0	39,4	<5
Tributylétain Cation	µg/kg MS	<49	48	<49	<49	<49	<49	<49	-	-	-	<49	-	-	-	-
Tributylétain	µg/kg	<20	20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20

Annexe 6 : Résultats des prélèvements d'eaux continentales (2 tableaux)

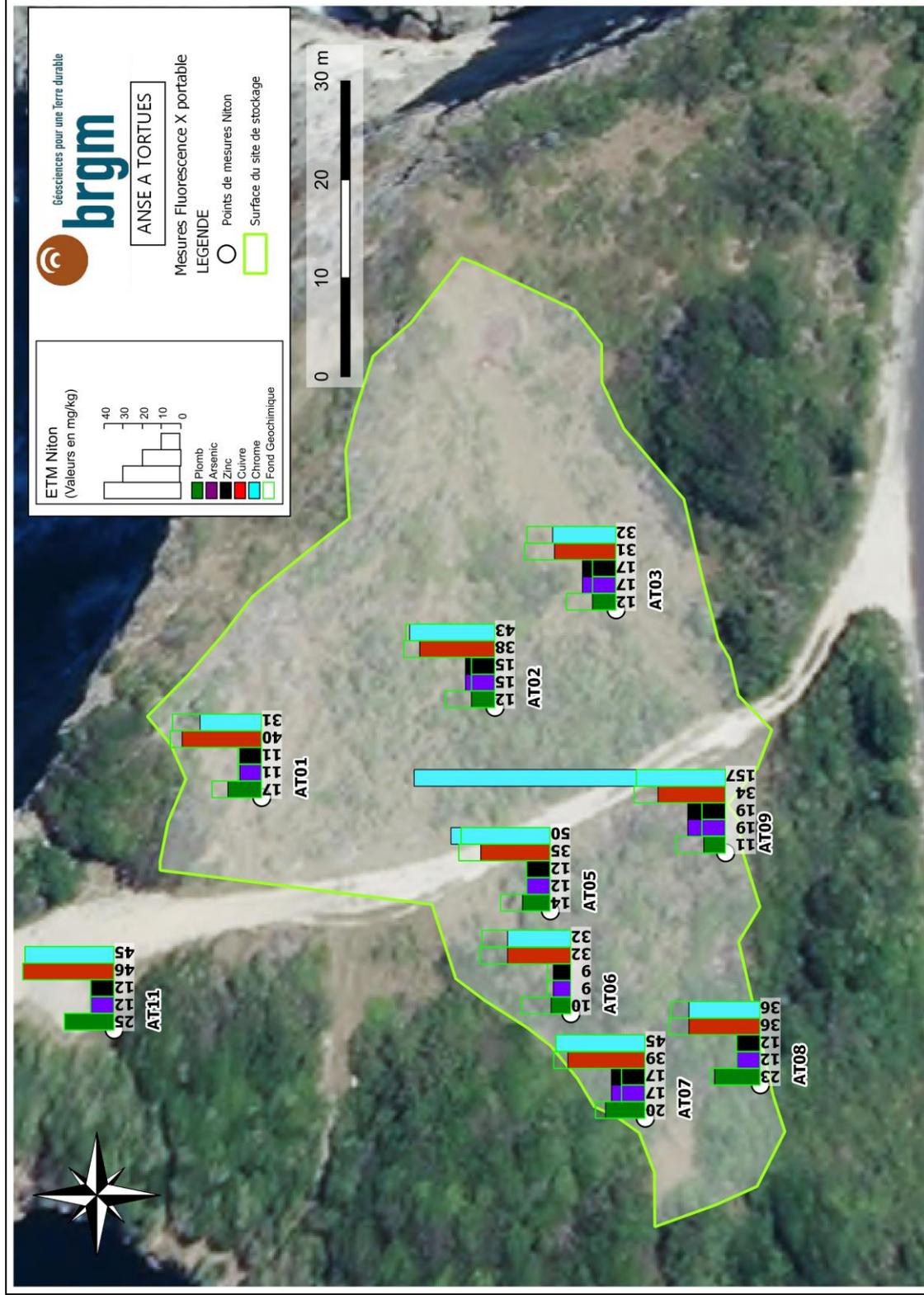
Points	AT 1	AT 2	COL.1	COL.6	MG3	MG7	SC.01	SC.02	SC.03	SC.04	SC.05	VI1	VI2
Coordonnées (WGS84)	X	665786.32	703222.41	703202.03	691366.23	691514.88	61,56875	61,56891667	61,56902778	61,56938889	61,5695556	651214,85	651176,45
	Y	1825810.66	1802452.36	1802409.13	1758581,38	1758591,88	16,12341667	16,12341667	16,12347222	16,12286111	16,1227222	1787777,35	1787746,35
PHYSICOCHIMIE													
Température	°C	34,56	35,23	38,99	32,25	31,1	32,56	35,17	33,06	30,79	29,68	29,3	31,46
pH		8,63	8,14	8,57	8,3	8,03	7,15	7,52	8,19	7,2	6,72	7,37	7,7
ORP	mV	23,3	-116	-4,4	8,1	-21,1	-21,8	0,6	30,5	-39,8	-41	52	-55,5
Conductivité	µS/cm	40030	46970	38710	52640	63290	692	15007	34380	1334	4658	1309	1531
ETM													
Etain	µg/L	-	-	-	2,3	-	-	-	-	-	-	-	-
Plomb	µg/L	-	9,1	2,1	-	-	-	-	-	2,5	2,3	-	-
Cuivre	µg/L	7,4	12,3	18,3	17,9	13,9	1,2	10	10,3	16,6	14,5	2	-
Nickel	µg/L	6,5	10,7	13,6	40,1	25,7	-	5,3	13,6	4	4,3	-	-
Arsenic	µg/L	32,8	567,1	346,6	847	64,8	1,5	256,6	729,1	38,3	54,1	5,2	7,9
Arsenic III	µg/L	8,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arsenic V	µg/L	23,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chrome Total	µg/L	-	6,7	-	5	10	-	-	1,3	2,5	3,1	-	-
Cadmium	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zinc	µg/L	-	50	24	67	70	12	32	41	47	45	16	11
Aluminium	µg/L	103	9384	35	964	4342	119	894	1251	15236	16052	297	337
MAJEURS													
Sodium	mg/L	7222	6268	8974	11435	16939	22	1440	3600	167	128	126	158
Chlorures	mg/L	13505	11836	16369	25119	31320	27	1375	3414	252	201	187	256
PESTICIDES													
Chlordécone	µg/L	-	-	-	-	-	0,26	0,01	0,022	0,086	0,103	-	-
HAP													
Anthracène	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,014	-	-
Sulfures	mg(S)/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,28	-
Naphtalène	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	0,44	-	-	-
Commentaires													
		Flaque tranchée	Flaque a l'entrée du site	Eau stagnante sur caillie	Flaque sarg fraîches	Flaque sargasse vieille	Zone Humide	Flaque en bord de tas	Flaque très chargée au milieu des sargasses	Bord du site flaque	Flaque bord du site	Petite mare à l'entrée	fossé au bord de la nationale

Points		V13	V14	V15	BEL1	BEL2	BEL3	BEL4	BEL_STOCK	BEL_PLAGE	AC1	AMA01	AMA02	AMA03	
Coordonnées (WGS84)	X	651171,36	651200,62	651243,55	674148,89	674168,9	674284,64	674248,58	674195,7	674237,4	685682,39	670255,32	670255,34	670270,52	
	Y	1787623,37	1787688,12	1787491,71	1795375,42	1795392,25	1795372,64	1795477,63	1795373,7	1795319,8	1797749,35	1813017,96	1813014,89	1812971,97	
PHYSICOCHIMIE															
Température	°C	32,79	39,22	29,3	28,53	31,14	27,64	27,7	28,59	27,6	33,92	34,76	36,73	31,41	
pH		8,34	8,34	7,49	7,87	7,96	7,4	7,08	7,15	6,83	7,35	8,27	8,9	8,44	
ORP	mV	-20,8	-17,5	-193,8	-24,8	-110	-91	-117	-24,3	-328	-96	-28	8	10,7	
Conductivité	µS/cm	1359	14770	1852	21430	40580	3569	3124	40200	12880	53080	41550	62470	66060	
ETM															
Etain	µg/L	-	-	1,1	-	-	-	-	120,3	-	-	16	-	-	
Plomb	µg/L	-	2,2	4,7	-	-	-	-	431,9	1,3	9,1	34,8	-	-	
Cuivre	µg/L	2,8	4,3	25,1	-	2,4	-	-	177,1	1,2	54,5	210,5	21	5,9	
Nickel	µg/L	1,2	2,7	3,7	7,1	45,5	-	-	61,9	1,4	79,5	111,7	30	55,6	
Arsenic	µg/L	4,9	41,1	8,8	403,6	2119	1,8	1,2	93,5	8	1113,1	5983,5	2669	5996	
Arsenic III	µg/L	-	-	-	64,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Arsenic V	µg/L	-	-	-	324,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Chrome Total	µg/L	-	-	3,1	1,6	4,2	-	-	77,6	3,2	4,9	125,2	3,5	3,3	
Cadmium	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	1	-	2,4	3	-	-	
Zinc	µg/L	14	16	70	16	40	18	24	1126	-	159	351	25	26	
Aluminium	µg/L	586	130	28383	62	321	-	33	12385	154	323	162598	1527	324	
MAJEURS															
Sodium	mg/L	130	2009	50	3613	7025	406	369	7539	2214	10284	6570	11083	10623	
Chlorures	mg/L	214	3630	83	6819	13638	703	606	13858	4432	19271	14351	22547	22813	
PESTICIDES															
Chlordécone	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
HAP															
Anthracène	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Sulfures	mg(S)/L	-	-	-	-	-	0,87	-	-	-	-	-	-	-	
Naphtalène	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Commentaires		fossé au bord de la nationale	flaque dans omière	fossé au fond du site	(petite mare)	eau marron foncé (petite mare)	aval rivière	amont rivière	trou au milieu du stockage	trou à mi-distance entre le stockage et la plage	flaque en bord de tas	flaque en bord de tas	flaque en bord de tas	flaque au milieu du tas	

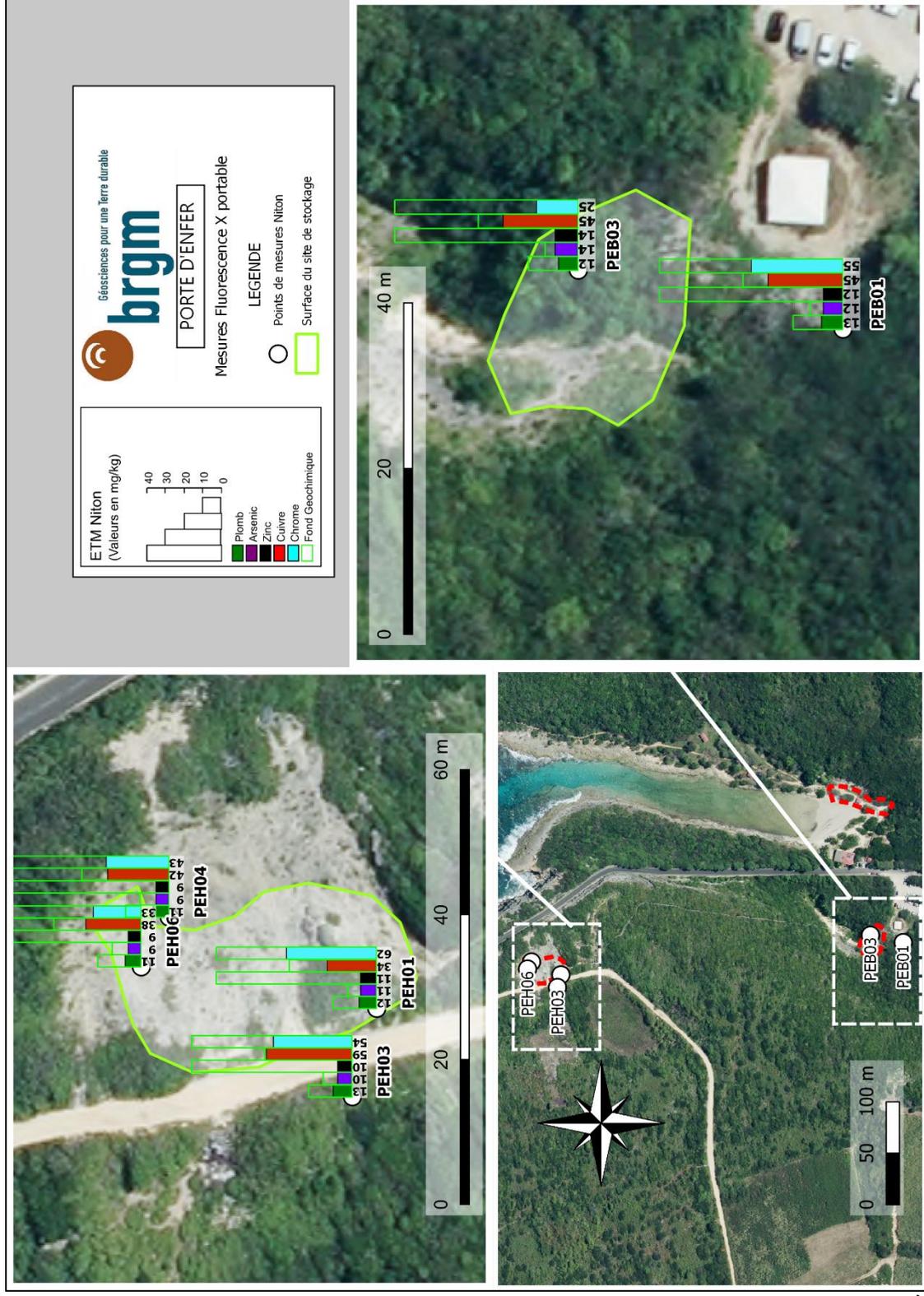
Annexe 7 : Résultats des prélèvements d'eaux de mer

Points	Unité	COL 2	COL 3	COL 4	COL 5	MG1	MG2	MG4	MG5	MG6	MER POMPIERRE	PUITS POMPIERRE
Coordonnées	X	703254,15	703169,02	703175,62	703187,07	690946,1	691243,35	691376,23	691491,88	691574,27	706123	652901
	Y	1802551,04	1802445,72	1802375,07	1802421,29	1758218,65	1758341,33	1758455,43	1758499,46	1758604,68	1803415	1755285
Physico-Chimie												
T	°C	30,3	29,68	29,89	29,89	30,75	29,99	30,08	29,83	29,96	30,73	30,43
pH		8,3	8,06	8,24	7,54	8,33	8,23	8,35	8,32	8,32	8,2	8,12
ORP	mV	Non stable	Non stable	Non stable	Non stable	29	3	12	3,1	1,2	62,5	47,8
Cond	µs/cm	40370	40920	40860	41070	38730	40020	40720	40420	40280	43060	10860
Eléments majeurs												
Sodium	mg/L	10 025	9 970	10 164	9 935	9 776	9 917	10 019	9 983	10 153	9 774	1 656
Chlorures	mg/L	18 787	18 600	18 973	18 650	18 270	18 550	18 715	18 720	19 025	20 000	3 300
Eléments traces métalliques												
Aluminium	µg/L	<125	211	<125	L	338	216	340	354	260	164	211
Arsenic	µg/L	<5	7,3	<5	22,6	<5	<5	<5	<5	<5	<5	93,3
Arsenic V	µg/L	n.a	n.a	n.a	13,3	<5	<5	<5	n.a	n.a	2,1	92,6
Arsenic III	µg/L	n.a	n.a	n.a	8,4	<5	<5	<5	n.a	n.a	<2,0	<2,0
Chrome	µg/L	<5	<5	<5	15,5	<5	7,2	<5	<5	<5	<5	<5
Cuivre	µg/L	<5	<5	<5	8,4	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Nickel	µg/L	<5	<5	<5	6,6	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Zinc	µg/L	<50	52	50	186	553	202	92	110	100	<50	<50
Autres polluants												
Benzo (a) pyrène	µg/L	<0.0010	0,002	<0.0010	0,004	<0.0010	<0.0010	<0.0010	0,009	0,005	<0.0010	<0.0010
Benzo (ghi) Perylène	µg/L	<0.005	<0.005	<0.005	0,006	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Chrysène	µg/L	<0.010	<0.010	<0.010	0,01	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Fluorène	µg/L	<0.010	0,011	<0.010	0,042	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Phénanthrène	µg/L	<0.010	0,016	<0.010	0,07	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Fluoranthène	µg/L	<0.010	<0.010	0,114	0,013	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Tributylétain	µg/L	<0.005	<0.005	<0.005	0,011	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Commentaires												
		eau de mer aval	eau de mer au niveau du ponton	eau de mer amont	eau de mer entre ponton et amont (mélange (max))	Bord de mer entre le bourg et le stockage	En aval du stockage	eau de mer, au bout de la tranchée	eau de mer au niveau du stockage en amont	Eau de mer en amont du stockage	Eau de mer aval	Eau du puits de la plage (ruissellement)

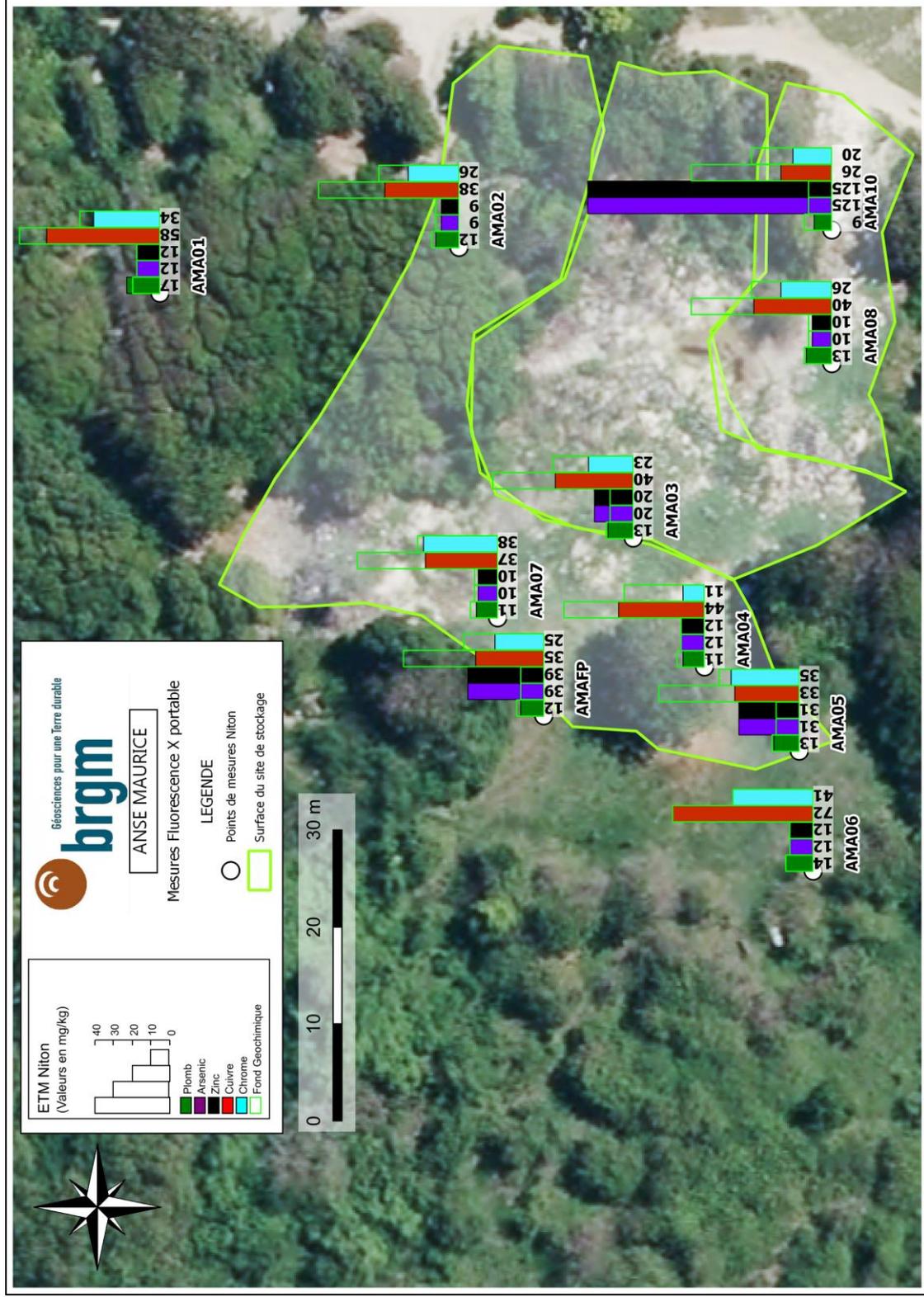
Annexe 8 : Site de stockage de l'anse à tortues (pXRF)



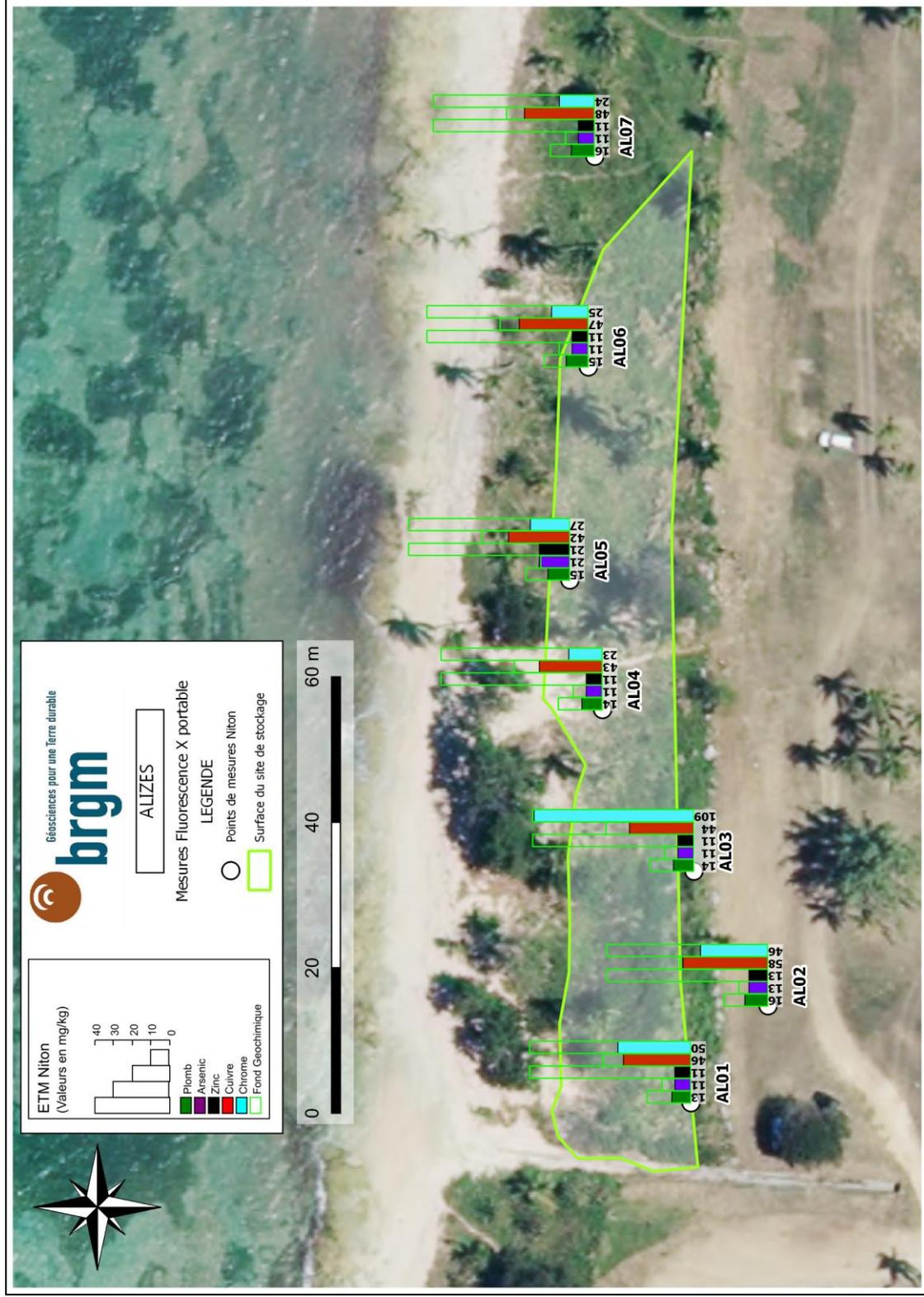
Annexe 9 : Site de stockage de porte d'enfer (pXRF)

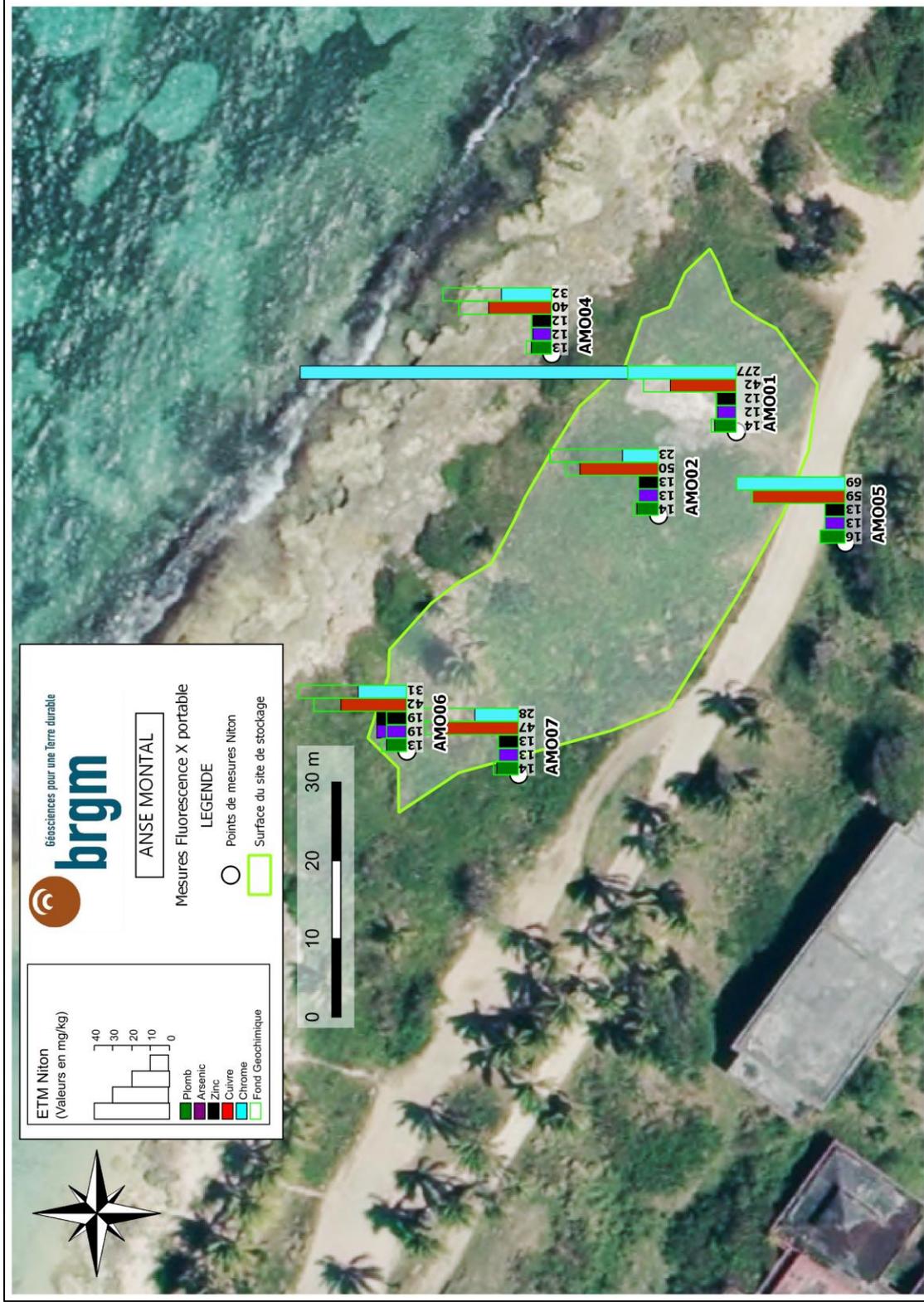


Annexe 10 : Site de stockage de l'anse Maurice (pXRF)

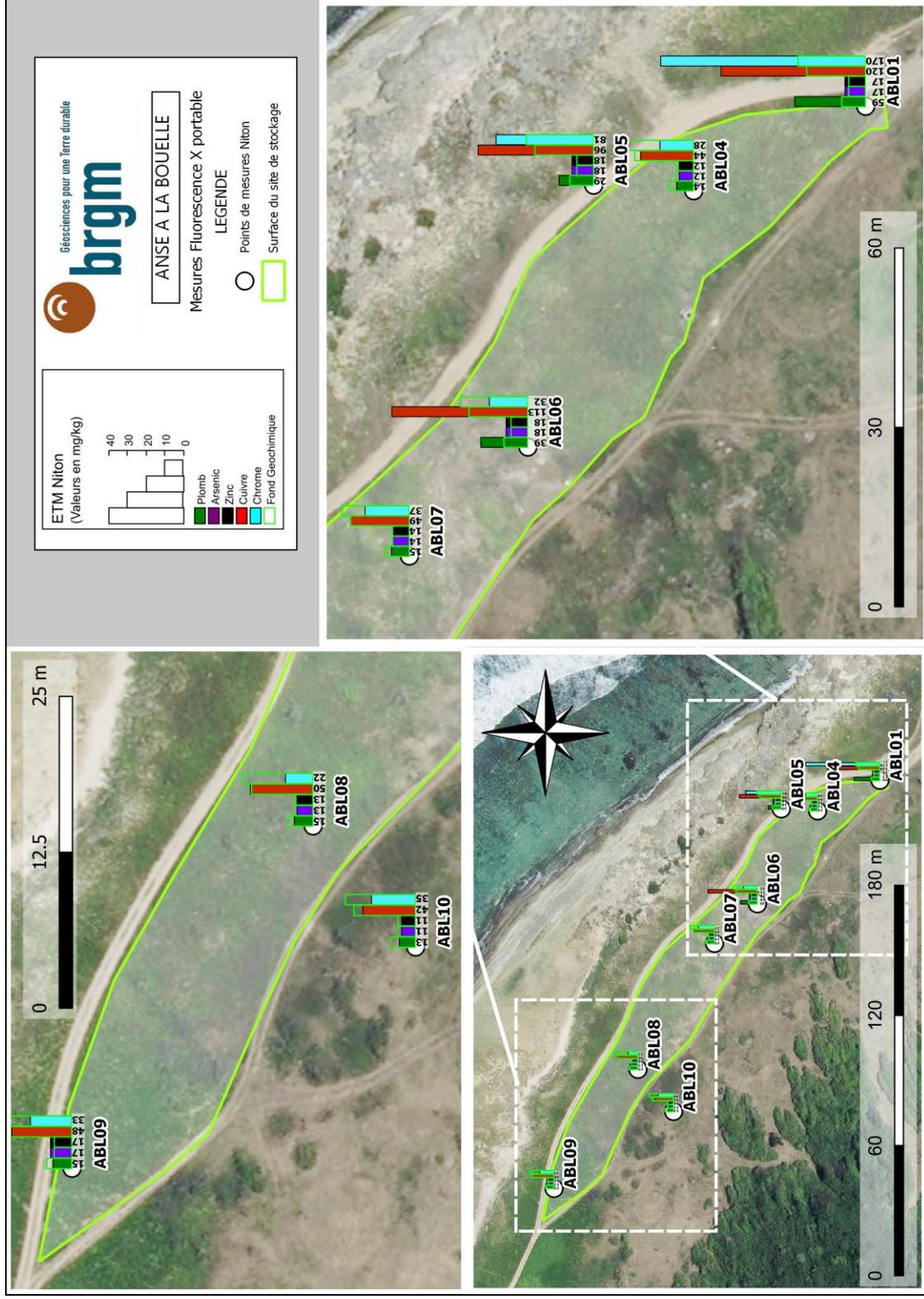


Annexe 11 : Sites de stockage de La Plage des Alizes et de l'anse Montal (pXRF)

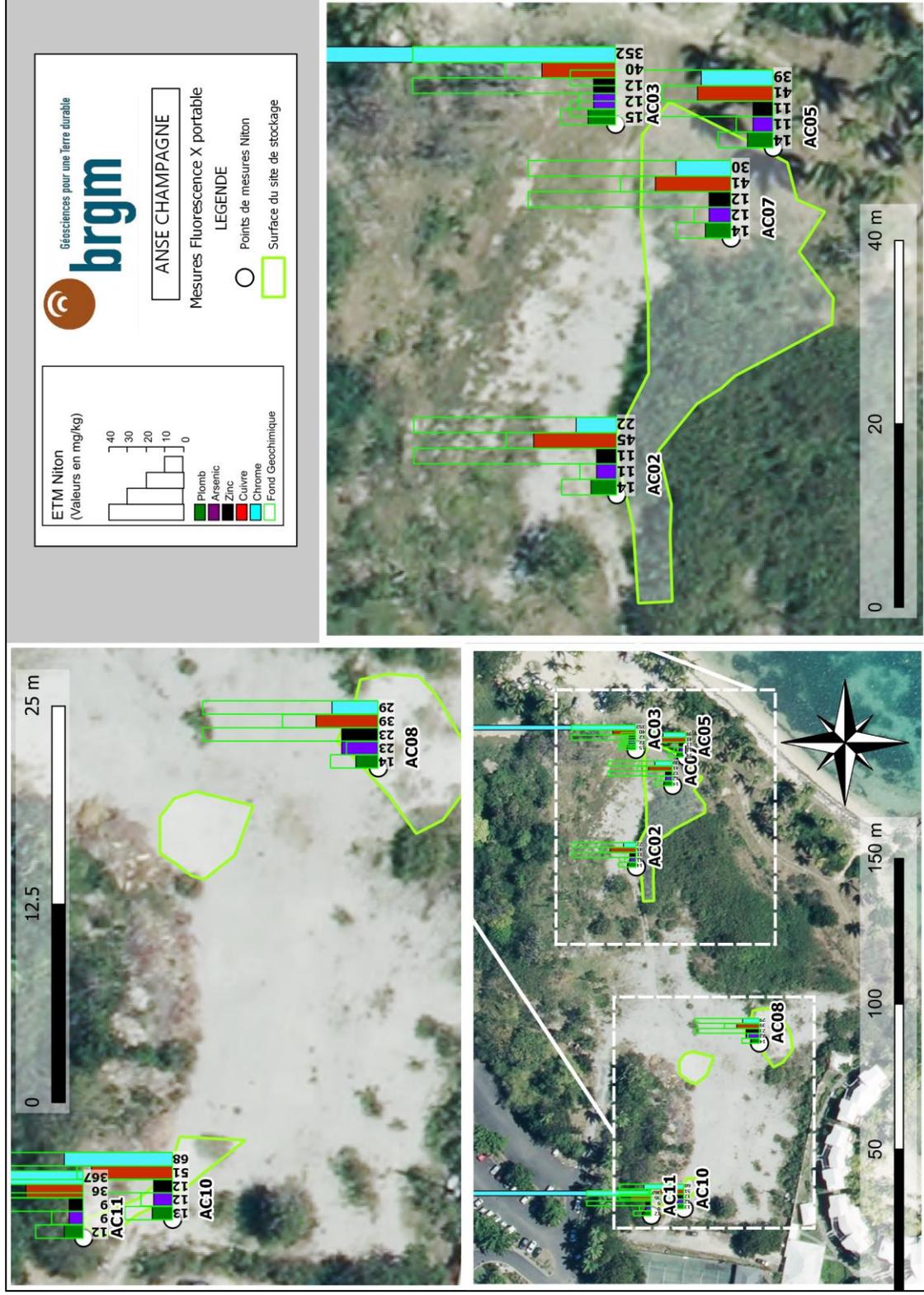




Annexe 12 : Site de stockage de l'anse a La Bouelle (pXRF)



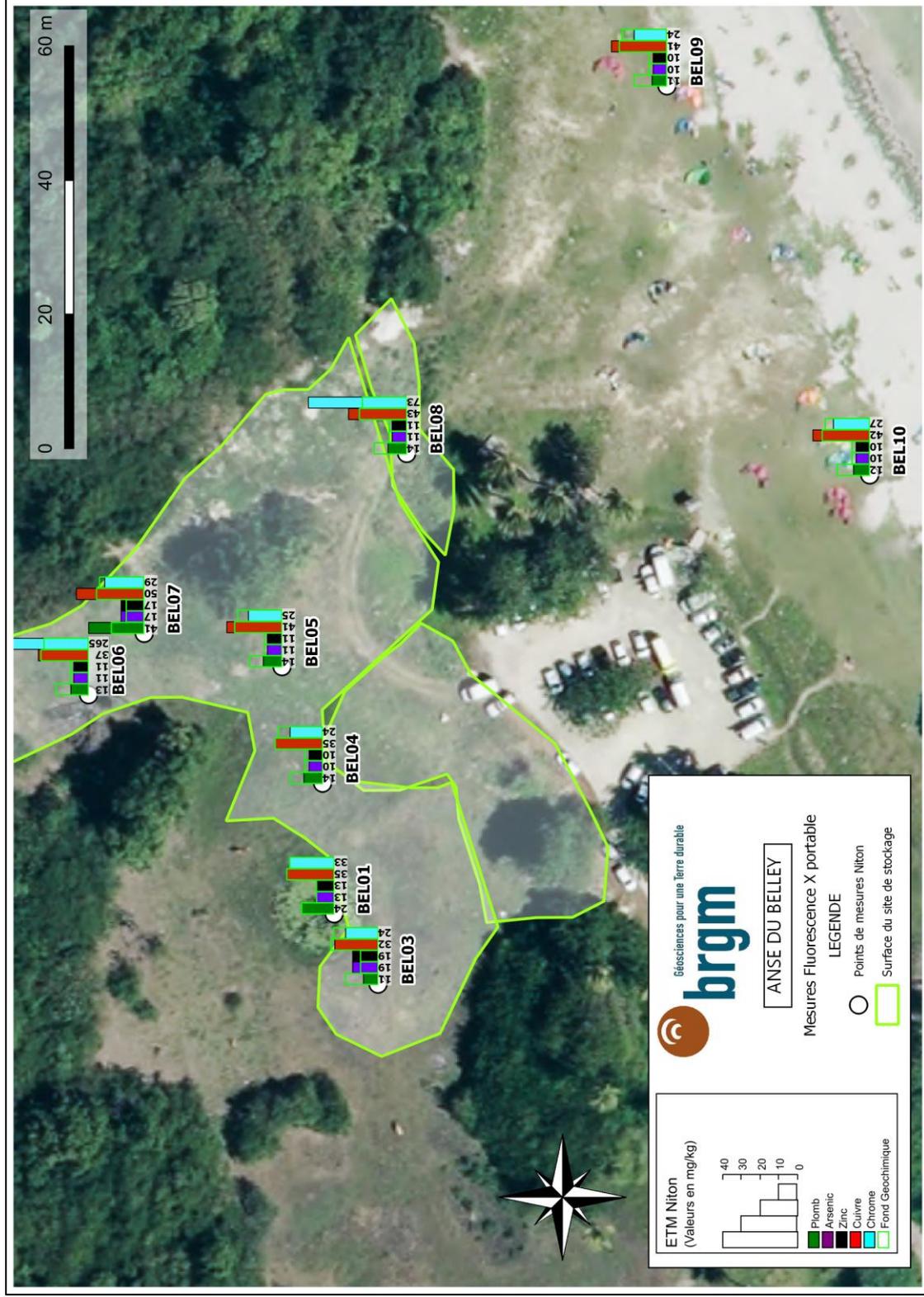
Annexe 13 : Site de stockage de l'anse champagne (pXRF)



Annexe 14 : Site de stockage de raisins clairs (pXRF)



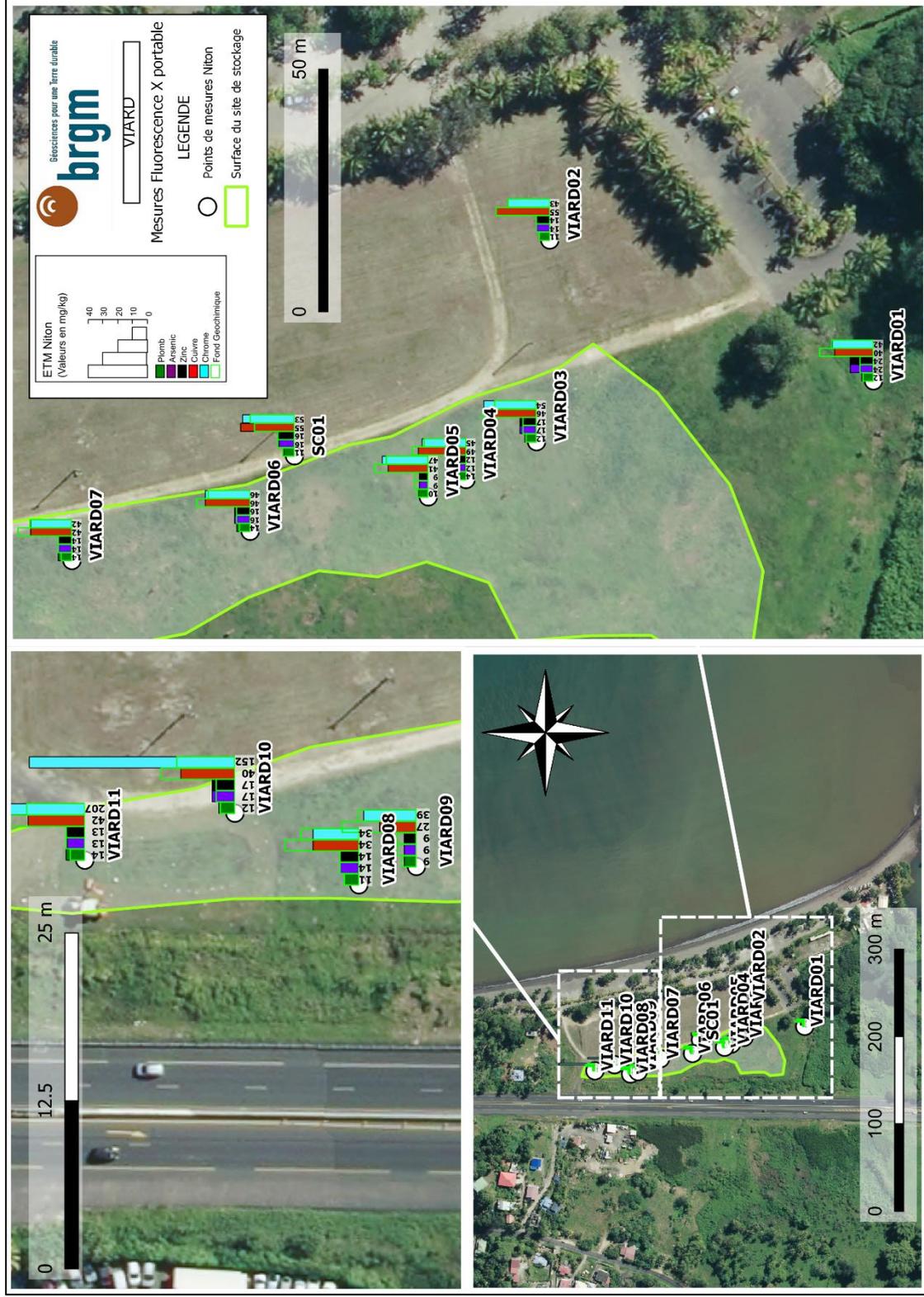
Annexe 15 : Site de stockage de l'anse du Belley (pXRF)



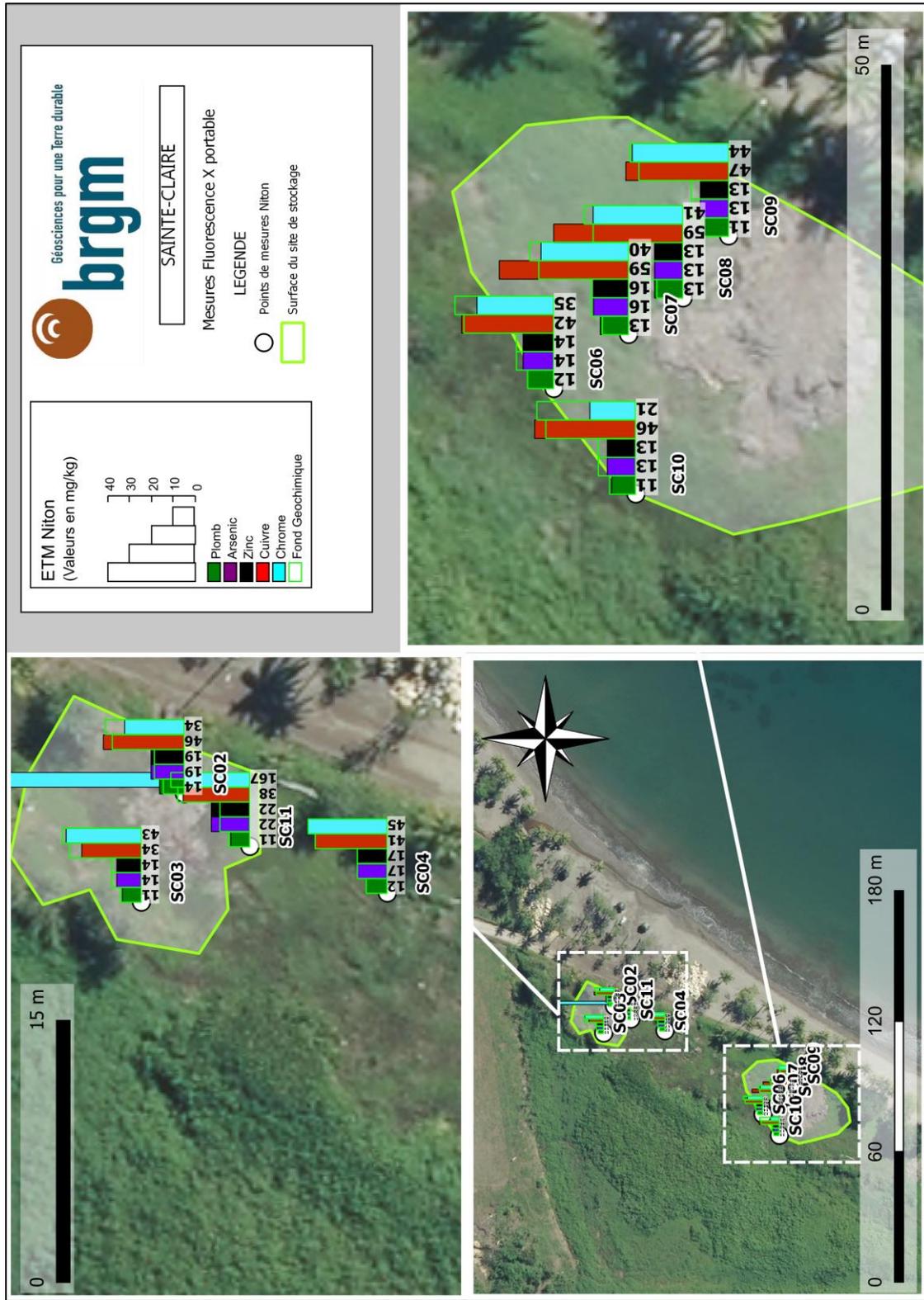
Annexe 16 : Site de stockage de Saint-Félix (pXRF)



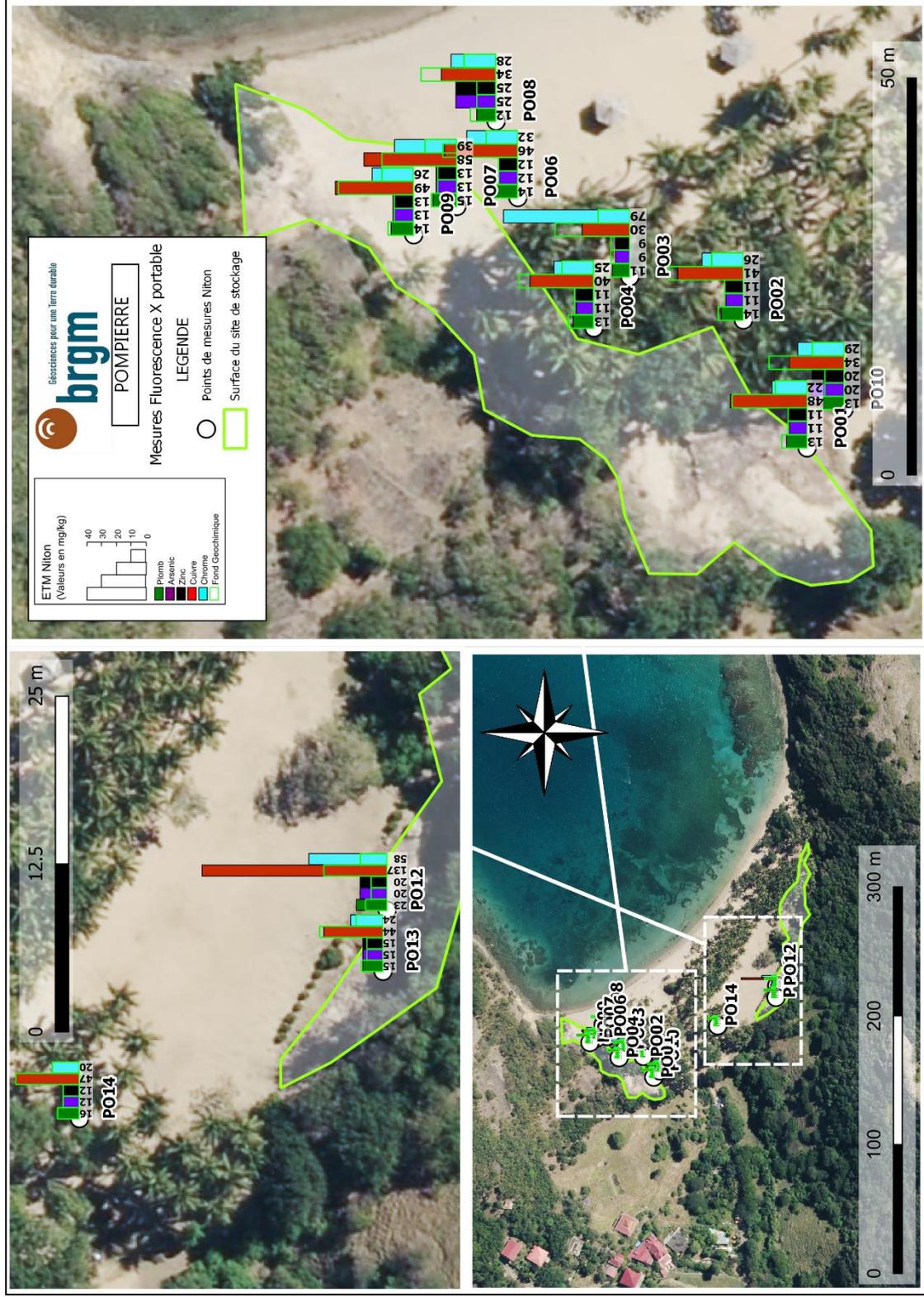
Annexe 17 : Site de stockage de Viard (pXRF)



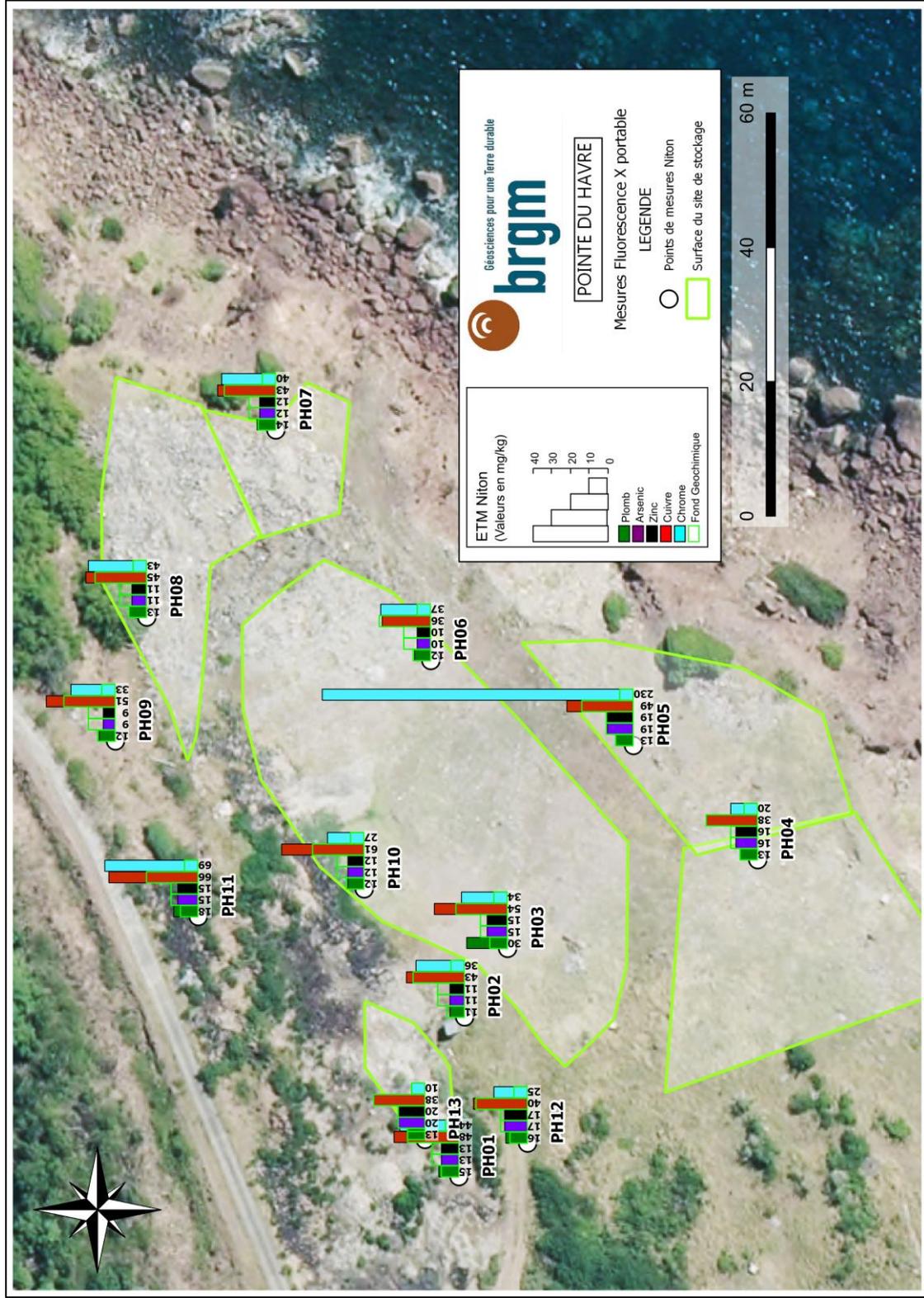
Annexe 18 : Site de stockage de Sainte-Claire (pXRF)



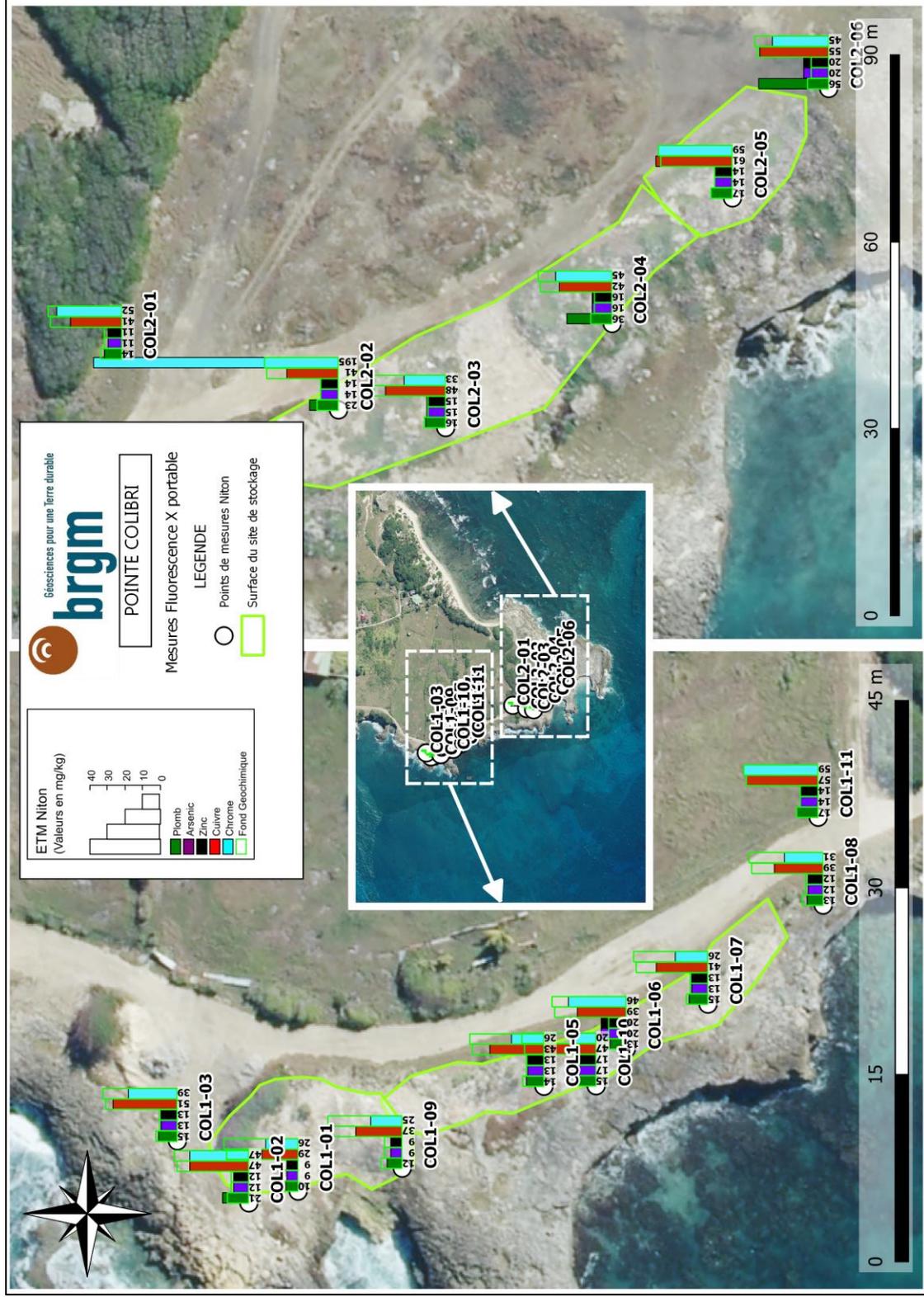
Annexe 19 : Site de stockage de Pompièrre (pXRF)



Annexe 20 : Site de stockage de la pointe du havre (pXRF)



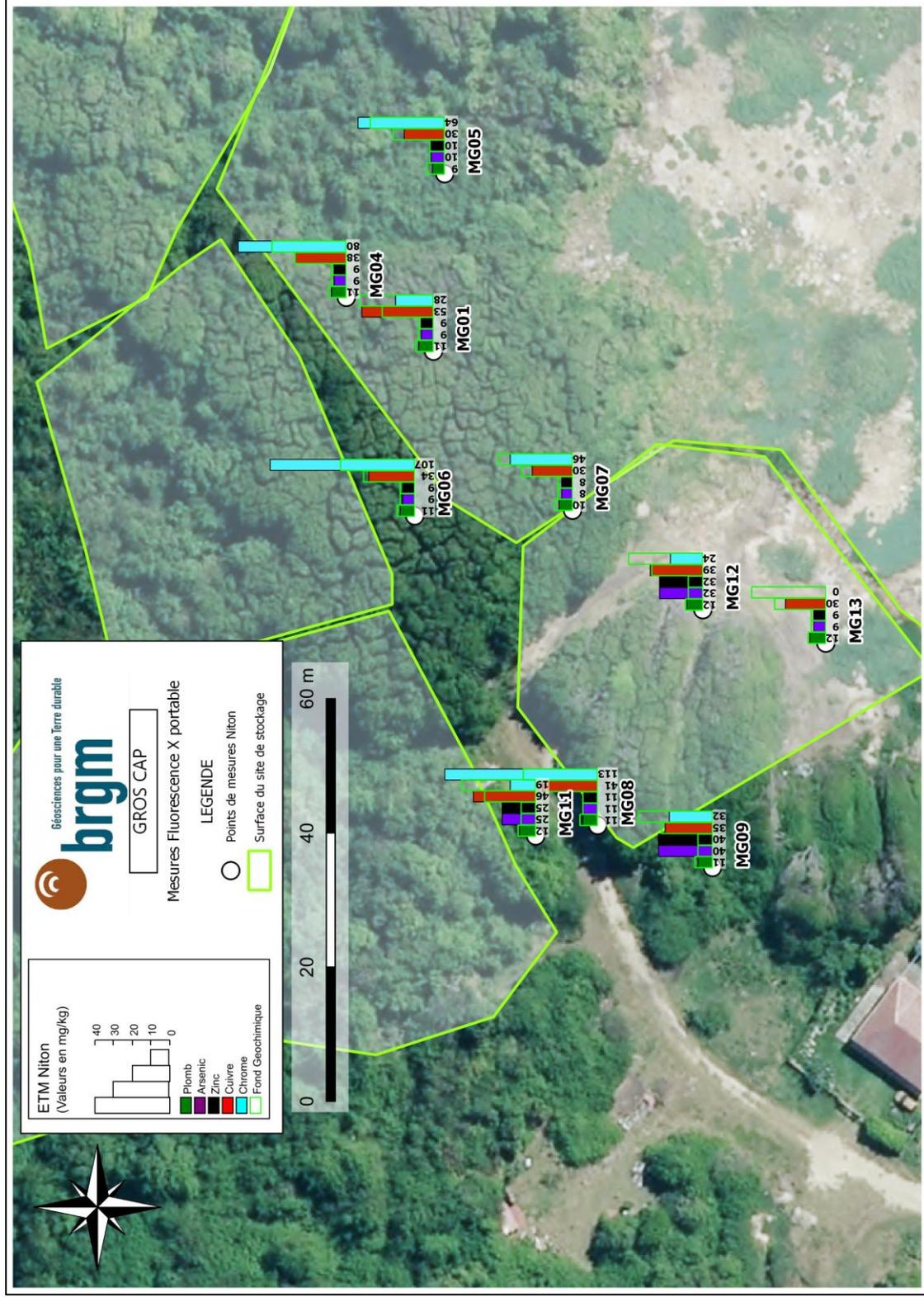
Annexe 21 : Site de stockage de la pointe-Colibri (pXRF)



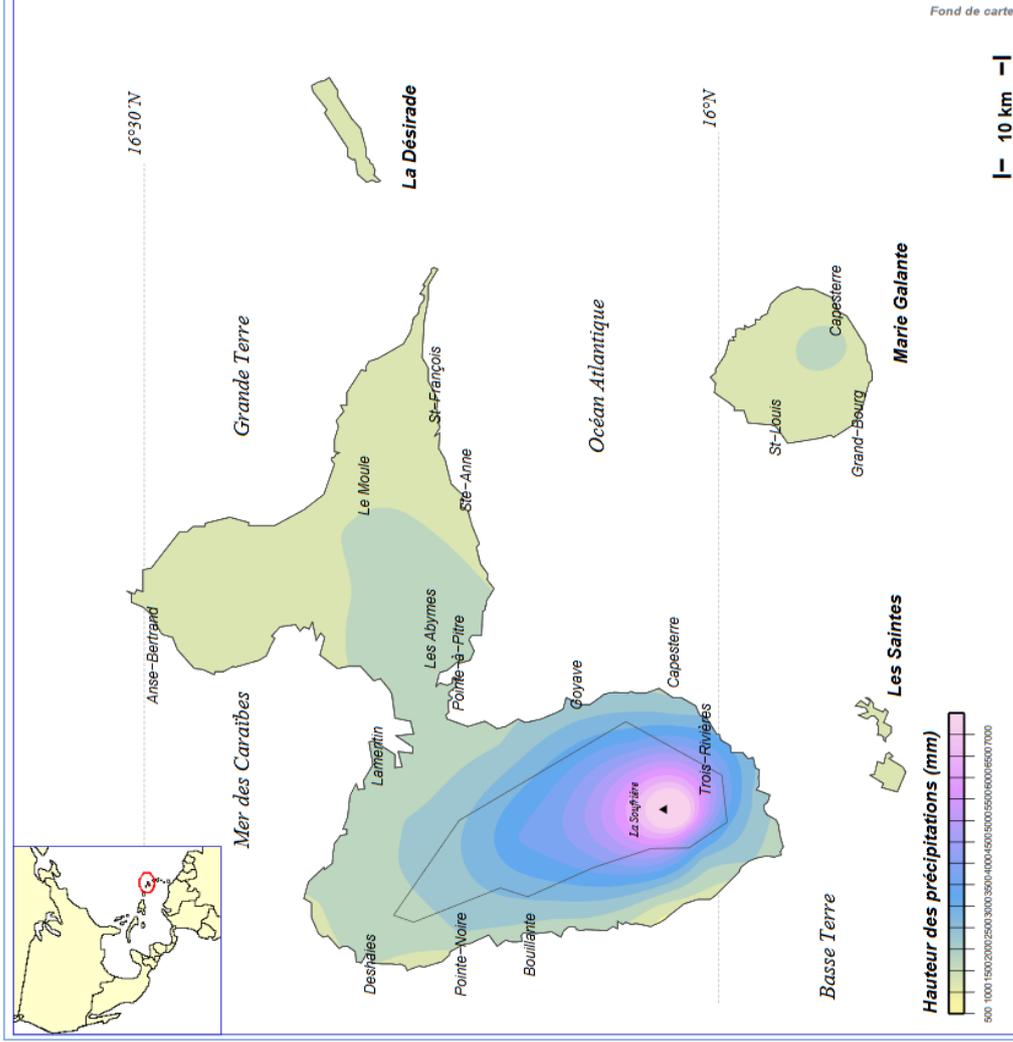
Annexe 22 : Site de Stockage de la décharge est (pXRF)



Annexe 23 : Site de stockage de gros cap (pXRF)



Annexe 24: Carte des isohyètes inter-annuelles de la Guadeloupe sur la période 1981-2010 (Météo France)



Annexe 25 : Analyses des sédiments du port de la Désirade en vue d'un dragage (Safege 2019)

Paramètres	Unités	Limites de quantification	Sédiments Port de la Désirade Campagne SAFEGE (9 mai 2019)			Arrêté du 17 juillet 2014	
			Station E1 (DESP01)	Station E2 (DESP02)	Station E3 (DESP03)	Niveau N1	Niveau N2
Eléments Traces Métalliques (ETM)							
Arsenic	mg/kg MS	1	6.85	4.87	5.66	25	50
Cadmium		0.1	0.65	0.34	0.38	1.2	2.4
Chrome		0.1	19.40	13.00	14.60	90	180
Cuivre		5	60.00	30.60	39.40	45	90
Nickel		1	10.80	6.22	7.40	37	74
Plomb		5	13.90	6.52	9.63	100	200
Zinc		5	96.40	47.10	65.80	276	552
Mercure		0.1	<0.10	<0.10	<0.10	0.4	0.8
Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)							
Naphtalène	µg/kg MS	2	0.031	0.011	0.015	160	1130
Acénaphthylène		2	0.0071	0.0032	0.0049	40	340
Acénaphène		2	0.0087	0.0056	0.0069	15	260
Fluorène		2	0.018	0.0062	0.0093	20	280
Phénanthrène		2	0.053	0.0075	0.009	240	870
Anthracène		2	0.058	0.0092	0.012	85	590
Fluoranthène		2	0.085	0.011	0.014	600	2850
Pyrène		2	0.13	0.018	0.019	500	1500
Benzo(a)anthracène		2	0.037	0.0054	0.0064	260	930
Chrysène		2	0.052	0.0073	0.0067	380	1590
Benzo(b)fluoranthène		2	0.078	0.008	0.011	400	900
Benzo(k)fluoranthène		2	0.021	0.0034	0.0086	200	400
Benzo(a)pyrène		2	0.041	0.0069	0.01	430	1015
Dibenzo(a,h)anthracène		2	0.025	0.0033	0.0048	60	160
Benzo(ghi)pérylène		2	0.056	0.0057	0.0072	1700	5650
Indeno(1,2,3-cd)pyrène		2	0.04	0.0041	0.0054	1700	5650
HAP totaux		-	0.74	0.12	0.15		



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin

BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34

Direction régionale Guadeloupe

Parc d'activités Colin

La lézarde

97170 – Petit-Bourg – France

Tél. : +590 590 41 35 48

www.brgm.fr



Géosciences pour une Terre durable

brgm