

Etude des relations pression-impact des masses d'eau souterraine de la Martinique

Rapport final

BRGM/RP-68630-FR
Mai 2019

L. Nacimiento

Vérificateur :

Nom : C. Auterives
Fonction : Hydrogéologue
Date : le 28-01-2019
Signature :

Approbateur :

Nom : B. Vittecoq
Fonction : Directeur régional
Date : le 08-02-2019
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 : Eaux souterraines, Etat des lieux, Relation pression impact, Qualitatif, Quantitatif, Industrielle, Nitrates, Produit phytosanitaire,

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

L. Nascimento. (2019) – Etude des relations pression-impact des masses d'eau souterraine de la Martinique. Rapport final. BRGM/RP-68630-FR, 114 p, 73 illustrations., 4 annexes.

© BRGM, 2019, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

La Directive Cadre sur L'Eau demande de faire un état des lieux des masses d'eau du bassin de la Martinique tous les six ans. Le dernier état des lieux date de 2013 et doit faire l'objet d'une mise à jour. A cet effet, quatre étapes sont nécessaires :

- Etablir l'état quantitatif et qualitatif des masses d'eau souterraine,
- Réaliser l'inventaire des pressions des activités humaines sur l'état des eaux,
- Caractériser la relation pression/impact des activités humaines sur les masses d'eau souterraine,
- Identifier les masses d'eau qui risquent de ne pas atteindre les objectifs environnementaux (RNAOE) d'ici 2021.

Dans ce cadre, l'ODE a sollicité le BRGM pour caractériser les liens de cause à effet entre les pressions anthropiques et leurs impacts sur l'état des masses d'eau souterraine (dite « relation pression/impact »).

Les guides méthodologiques appliqués aux DOM ont été utilisés pour mener cette analyse :

- Bessière, 2018 (RP-67572-FR) pour la caractérisation des pressions et impacts liés aux prélèvements quantitatifs sur la ressource en eau,
- Bessière, 2016 (RP-65558-FR), pour l'analyse Pressions-Impact dans le cas des pollutions industrielle,
- Bessière et Surdyk, 2017 (RP-67366-FR) pour l'analyse pression impact dans le cas des pressions agricoles diffuses phytosanitaires,
- Surdyk et Bessière, 2017 (RP-67323-FR) pour l'étude des pression-impact du nitrate sur les masses d'eau souterraine.

Les données sur la qualité des eaux souterraines utilisées dans ce rapport sont issues du réseau de surveillance DCE « 0800000016 - FRJSOS - Contrôle de surveillance de l'état chimique des eaux souterraines du bassin Martinique » et « 0800000017 - FRJSOO - Contrôles opérationnels de l'état chimique des eaux souterraines du bassin Martinique ».

L'analyse des relations pression/impact montre qu'il n'existe pas de pressions quantitatives significatives à l'échelle de la Martinique, en cohérence avec le bon état quantitatif des masses d'eaux souterraines.

L'analyse des pressions en produits phytosanitaires met en évidence que :

- Les masses d'eau Pelée – Est et Jacob – Est présentent des pressions en produits phytosanitaires fortes,
- La masse d'eau Jacob Centre présente des pressions moyennes,
- Les masses d'eau Pelée – Ouest, Carbet, Vauclin-Pitault, Miocène et Trois – îlet présentent des pressions faibles.

Les masses d'eau souterraine présentant les plus fortes concentrations en produits phytosanitaires présentent aussi les pressions agricoles les plus élevées. La relation pression impact pour les produits phytosanitaires est ainsi cohérente.

L'analyse des pressions nitrate met en évidence que :

- Les masses d'eau Pelée – Est, Pelée – Ouest, Jacob – Est et Jacob Centre présentent des pressions en Nitrates fortes,
- Les masses d'eau Carbet, Vauclin – Pitault et Miocène présentent des pressions Nitrates moyennes,
- La masse d'eau Trois – îlet présente des pressions Nitrates faibles.

Les concentrations en nitrates sont les plus élevées dans les masses d'eau nord de l'île (Pelée – Est et Jacob-Est) où les pressions agricoles sont aussi les plus importantes. La relation pression-impact pour les nitrates est ainsi cohérente.

L'état actuel des connaissances permet de mettre en évidence l'existence d'un impact de l'urbanisation sur les masses d'eau souterraine possible mais pas de le quantifier.

Enfin, l'état actuel des connaissances ne permet pas de conclure sur la possibilité d'impacts liés aux activités industrielles sur la qualité des eaux souterraines de l'île.

Sommaire

1. Introduction	11
2. Pression Impact des produits phytosanitaires sur les masses d'eau souterraine	15
2.1. MÉTHODOLOGIE APPLIQUÉE.....	15
2.2. LES PRESSIONS AGRICOLES.....	16
2.2.1. Inventaire des cultures.....	18
2.2.2. Pression globale produit phytosanitaire à l'échelle de la masse d'eau souterraine	18
2.2.3. Test des 20% de la surface dégradée.....	21
2.3. ÉTUDE DE TRANSFERT DES MOLÉCULES PHYTOSANITAIRES	22
2.3.1. Etape 1 : Sélection des produits phytosanitaires.....	22
2.3.2. Etape 2 : Carte des zones d'application potentielle des molécules d'intérêt ?	24
2.3.3. Etape 3 : Etablissement des cartes de risque	25
2.3.4. Etape 4 : Croisement des indices de risque avec la vulnérabilité des eaux souterraines par molécule.....	28
2.4. CONFRONTATION ENTRE RISQUE DE CONTAMINATION ET QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES.....	29
2.5. INDICE GLOBAL DE TRANSFERT PAR MASSE D'EAU SOUTERRAINE.....	36
2.6. DÉTERMINATION DE LA PRESSION SIGNIFICATIVE	38
2.6.1. Croisement pression brute / transfert global.....	38
2.6.2. Le temps de transfert	39
2.6.3. Validation de l'analyse pression impact.....	41
3. Pression impact du nitrate sur les masses d'eau souterraine.....	45
3.1. MÉTHODOLOGIE APPLIQUÉE.....	45
3.2. ETAPE 1 : CALCUL DE LA PRESSION BRUTE NITRATE.....	45
3.3. ETAPE 2 : SUSCEPTIBILITÉ DE TRANSFERT DE L'EAU.....	48
3.3.1. Vulnérabilité des eaux souterraines	48
3.3.2. Facteur d'atténuation	51
3.3.3. Susceptibilité de transfert totale par masse d'eau souterraine	52
3.4. ETAPE 3 : DÉTERMINATION DE LA PRESSION SIGNIFICATIVE EN NITRATE	54
3.4.1. Temps de transfert et âge de l'eau.....	54

3.4.2. Evolution des pressions avec évolution de la SAU	56
3.4.3. Validation de l'analyse pression impact	56
4. Identification des pressions théoriques induites par les activités industrielles	59
4.1. MÉTHODOLOGIE APPLIQUÉE	59
4.2. EXPLOITATION DES BASES DE DONNÉES	59
4.2.1. Base de données BASIAS	59
4.2.2. Base de données BASOL	61
4.2.3. Base de données ICPE	62
4.2.4. Répartition des activités sur le territoire	64
4.3. QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES ET FOND GÉOCHIMIQUE	64
4.4. MATRICE « ACTIVITÉS – POLLUANTS » ET MICROPOLLUANTS ORGANIQUES 68	
4.5. RELATION PRESSION IMPACT	70
5. Identification des pressions théoriques induites par l'urbanisation	71
5.1. MÉTHODOLOGIE APPLIQUÉE	71
5.2. REJETS URBAINS	71
5.3. QUALITE DE L'EAU SOUTERRAINE	72
6. Pression impact liés aux prélèvements quantitatifs sur les masses d'eau souterraine	75
6.1. MÉTHODOLOGIE APPLIQUÉE	75
6.2. ESTIMATION DES PRESSIONS SIGNIFICATIVES	75
6.2.1. Variation spatiale des pluies	75
6.2.2. Vulnérabilité aux intrusions salines	76
6.2.3. Quantification des prélèvements	78
6.2.4. Evaluation de la recharge	79
6.3. RELATION PRESSION IMPACT	81
6.3.1. Calcul du ratio prélèvement / recharge	81
7. Conclusion	83
8. Bibliographie	85

Liste des illustrations

Illustration 1 : Carte de l'état qualitatif des points d'eau et des masses d'eau souterraine dans le cadre de l'évaluation DCE 2012 – 2017 (Nacimiento L. et Taïlamé A.-L., 2017)	12
Illustration 2 : Liste des points du réseaux DCE de suivi de la qualité des eaux souterraines de la Martinique (Nacimiento L. et Taïlamé A.-L., 2017)	13
Illustration 3 : Répartition de la SAU sur le territoire martiniquais en 2017 (RPG)	16
Illustration 4 : Carte de la répartition des pratiques agricoles de la Martinique (Source ODE et RPG 2016)	17
Illustration 5 : Notations appliquées à chaque groupement de culture (Bessière et Surdyk, 2017)	19
Illustration 6 : Pression brute agricole	20
Illustration 7 : Evaluation des pressions brutes agricoles globales à l'échelle de la masse d'eau	21
Illustration 8 : Pression brute agricole finale par masse d'eau souterraine	22
Illustration 9 : Liste des molécules dépassant la Mma	23
Illustration 10 : Liste des molécules les plus vendues en Martinique (source BNVD, année 2018)	23
Illustration 11 : Application des produit phytosanitaire en fonction du type d'agriculture	24
Illustration 12 : Application de la note GUS (Baran et Arnaud, 2013)	25
Illustration 13 : Application de la note AFT (Baran et Arnaud, 2013)	26
Illustration 14 : Synthèse des notes GUS et AFT calculées pour chaque couple sol/substance dans deux conditions d'infiltrations extrêmes 0,2 mm/j et 6,85 mm/j. Baran et Arnaud, (2013)	27
Illustration 15 : Carte de vulnérabilité des eaux souterraines (Allier et al., 2008)	28
Illustration 16 : Carte de risque de contamination et qualité de l'eau pour le propiconazole (méthode GUS)	30
Illustration 17 : Carte de risque de contamination et qualité de l'eau pour le 2,4D (méthode AFT)	31
Illustration 18 : Carte de risque de contamination et qualité de l'eau pour la chlordécone (méthode AFT)	32
Illustration 19 : Carte de risque de contamination et qualité de l'eau pour le glyphosate (méthode AFT)	33
Illustration 20 : Carte de risque de contamination et qualité de l'eau pour le diuron (méthode GUS)	34
Illustration 21 : Confrontation du risque de contamination par le métolachlore (méthode GUS)	35
Illustration 22 : Indices de risque de transfert calculés par molécule et par masse d'eau souterraine	37
Illustration 23 : Grille de croisement entre la pression brute et le risque de transfert pour la caractérisation de la pression significative	38
Illustration 24 : Pressions significatives obtenues par masse d'eau	38
Illustration 25 : Carte des pressions significatives en produit phytosanitaire	39
<i>Illustration 26 : Répartition géographique des groupes d'eau souterraine classés en fonction de leur âge (Vittecoq et al., 2007b)</i>	40
Illustration 27 : Nombre de détections des produit phytosanitaire en fonction de 3 catégories d'âge estimés (Vittecoq et al., 2007b)	41
Illustration 28 : Principe de classification des analyses (Bessière et Surdyk, 2017)	42

Illustration 29 : Classification des analyses sur la période 1993 – 2017	42
Illustration 30 : Pressions significatives en produit phytosanitaire à l'échelle de la masse d'eau et analyse statistique des concentrations en produits phytosanitaires	43
Illustration 31 : Notes des pressions en nitrate appliquées aux cultures, fort = 5 et très faible = 1 (Surdyk et Bessière, 2017)	46
Illustration 32 : Carte des gammes de pression brute nitrate appliquée à la parcelle	47
Illustration 33 : Notes et classe de la pression brute nitrate agricole calculées pour chaque masse d'eau (rouge = forte ; jaune = moyenne, vert = faible).....	48
Illustration 34 : Carte de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines (Vittecoq et al., 2007a)	49
Illustration 35 : Découpage de la vulnérabilité selon le RPG 2017.	50
Illustration 36 : Susceptibilité de transfert des masses d'eau souterraine	50
Illustration 37 : Arbre de classification appliqué à l'ensemble des qualitomètres (Hinkle et Tesoriero, 2014)	51
Illustration 38 : Médianes du potentiel redox et des concentrations en oxygène dissous, en fer et en manganèse des forages présentant des conditions potentiellement dénitrifiantes	51
Illustration 39 : Croisement du facteur d'atténuation et des résultats de dénitrification potentielle. Les concentrations en nitrates sont des Mma	52
Illustration 40 : Grille du croisement entre la susceptibilité de transfert d'eau et la classe de facteur d'atténuation pour définir la susceptibilité de transfert total.....	53
Illustration 41 : Susceptibilité de transfert total par masse d'eau souterraine	53
Illustration 42 : Grille du croisement entre la pression brute et la susceptibilité de transfert pour définir la pression significative finale en nitrate par masse d'eau souterraine (Surdyk et Bessière, 2017).	54
Illustration 43 : Evaluation de la pression significative brute en nitrate par masse d'eau souterraine	54
Illustration 44 : Concentrations en nitrate en fonction de l'âges des eaux (Vittecoq et al., 2007b), en vert, points d'eau où la dénitrification pourrait expliquer les faibles concentrations mesurées	55
Illustration 45 : Evolution des surfaces agricoles en Martinique (Surdyk et Bessière, 2017).....	56
Illustration 46 : Evolution des concentrations en nitrate des qualitomètres du réseau DCE les plus impactés par les nitrates.	57
Illustration 47 : Pressions significatives en nitrate par masse d'eau souterraine (Illustration 43) et Mma des concentrations en nitrate	58
Illustration 48 : Etat d'occupation des 721 sites Basias recensés en Martinique	60
Illustration 49 : Cartographie des 46 sites BASOL	61
Illustration 50 : Liste des principaux polluants dans les sols et nappes recensés dans BASOL	62
Illustration 51 : Cartographie des sites ICPE	63
Illustration 52 : Répartition des ICPE en fonction de leur catégorie	63
Illustration 53 : Répartition des sites industriels par masse d'eau	64
Illustration 54 : Analyse de la qualité des eaux souterraines en micropolluants minéraux	65
Illustration 55 : Délimitation des faciès enrichies en Ca, Mg, Na, Cl et SO ₄ , (Arnaud et al., 2013)	66
Illustration 56 : Tableau récapitulatif des zones à risque de fond géochimique élevé (Arnaud et al., 2013)	67

Illustration 57 : Confrontation entre les concentration en micropolluants minéraux dépassant les valeurs seuils sur le réseau DCE et les zones à risque de fond géochimique élevé	68
Illustration 58 : Activité les plus fréquentes en Martinique	69
Illustration 59 : Liste des micropolluants retrouvés sur le réseau DCE	69
Illustration 60 : Etablissement du niveau d'impact en fonction des pressions existantes et de l'état de dégradation (Bessière, 2016)	70
Illustration 61 : Répartition des STEU par masse d'eau souterraine (données IRIS 2014 et SPANC)	71
Illustration 62 : Confrontation entre la carte de localisation des STEU et de la pression de l'ANC avec les substances actives relevées en 2015 sur de réseau DCE	73
Illustration 63 : Pluviométrie moyenne annuelle calculée par Météo France sur la période 1991-2010	76
Illustration 64 : Conductivités moyennes mesurées au niveau des points du réseau de surveillance qualité sur la période 2014 - 2018	77
Illustration 65 : Prélèvements d'eau souterraine recensés par la BNPE en 2015.	78
Illustration 66 : Prélèvements annuels réalisés en Martinique entre 2012 et 2015.....	79
Illustration 67 : Volume des prélèvements affectés à chaque masse d'eau en 2015	79
Illustration 68 : Modèle hydrologique global à 3 réservoir en cascade (Thiéry, 2003).....	80
Illustration 69 : Schéma du troisième réservoir (Vittecoq et al., 2007a, BRGM/RP-55099-FR) .	80
Illustration 70 : Evaluation de la recharge (I en mm) de l'île en fonction des unités hydrogéologiques considérées (Arnaud et Lanini, 2014)	81
Illustration 71 : Evaluation de du ratio prélèvement/recharge	82
Illustration 72 : Synthèse des pressions quantitatives recensées en Martinique.....	82
Illustration 73 : Pressions significatives en produit phytosanitaire à l'échelle de la masse d'eau et analyse statistique des concentrations en produits phytosanitaires.....	83

Liste des annexes

Annexe 1 Cartes d'applications potentielles des molécules d'intérêts.....	87
Annexe 2 Cartographie des risques par molécules avec l'indice GUS	91
Annexe 3 Cartographie des risques par molécules avec l'indice AFT	95
Annexe 4 Croisement risque / vulnérabilité par molécule en fonction des indices AFT et GUS	99

1. Introduction

La Directive Cadre sur L'Eau demande de faire un état des lieux des masses d'eau du bassin de la Martinique tous les six ans. Le dernier état des lieux date de 2013 et doit faire l'objet d'une mise à jour. Selon l'article L212-2 du code de l'environnement, le Comité de l'Eau & de la Biodiversité élabore et met à jour le SDAGE et en suit l'application. Cette démarche est inscrite dans un cycle de planification de 6 ans qui s'élabore par étapes dont la première consiste à établir un état des lieux. L'état des lieux des masses d'eau souterraine nécessite de réaliser :

- L'état quantitatif et qualitatif des masses d'eau souterraine
- L'Inventaire des pressions des activités humaines sur l'état des eaux
- La relation pression/impact des activités humaines sur les masses d'eau souterraine
- L'identification des masses d'eau qui risquent de ne pas atteindre les objectifs environnementaux (RNAOE) d'ici 2021

Dans ce cadre, l'ODE a sollicité le BRGM pour caractériser les liens de cause à effet entre les pressions anthropiques et leurs impacts sur l'état des masses d'eau souterraine (dite « relation pression/impact »). La réalisation du lien pression-impact quantitatif et qualitatif a nécessité l'utilisation des méthodologies ci-dessous :

- Bessière, 2018 (RP-67572-FR) pour la caractérisation des pressions et impacts liés aux prélèvements quantitatifs sur la ressource en eau
- Bessière, 2016 (RP-65558-FR), pour l'analyse Pressions-Impact dans le cas des pollutions industrielle
- Bessière et Surdyk, 2017. (RP-67366-FR) pour l'analyse pression impact dans le cas des pressions agricoles diffuses phytosanitaires
- Surdyk et Bessière, 2017. (RP-67323-FR) pour l'étude des pression-impact du nitrate sur les masses d'eau souterraine

Les données sur la qualité des eaux souterraines utilisées dans ce rapport sont issues du réseau de surveillance DCE « 0800000016 - FRJSOS - Contrôle de surveillance de l'état chimique des eaux souterraines du bassin Martinique » et « 0800000017 - FRJSOO - Contrôles opérationnels de l'état chimique des eaux souterraines du bassin Martinique » disponibles sur le portail ADES d'accès aux données sur les eaux souterraines (<http://www.ades.eaufrance.fr>).

Les Illustration 1 et 2 présentent les 21 points du réseaux DCE de suivi des eaux souterraines de la Martinique.

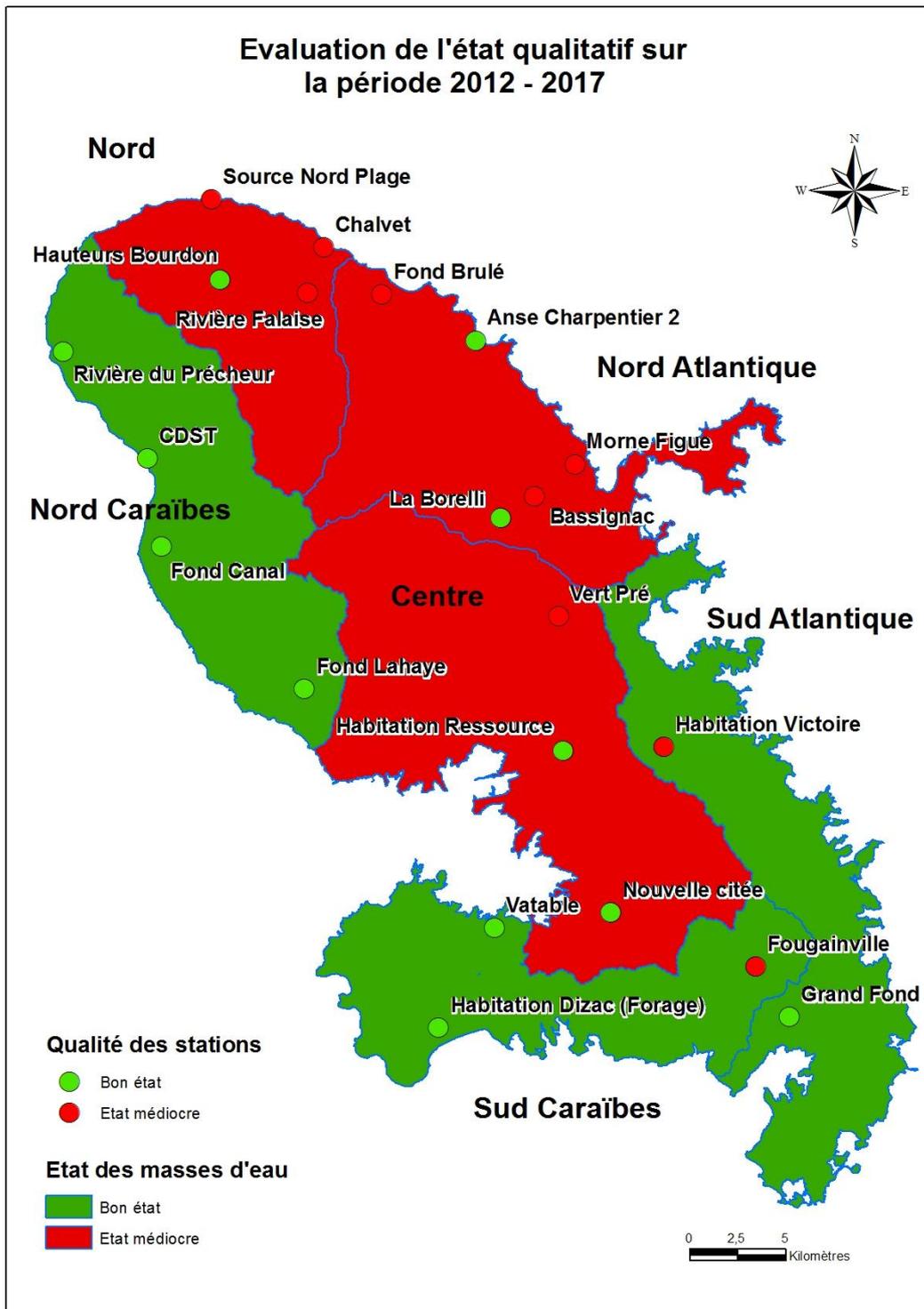


Illustration 1 : Carte de l'état qualitatif des points d'eau et des masses d'eau souterraine dans le cadre de l'évaluation DCE 2012 – 2017 (Nacimiento L. et Tailamé A.-L., 2017)

Masse d'eau	n° BSS	Communes	Lieu dit	Concentration en nitrates 50 mg/l	Concentrations des substances actives des produits phytosanitaires 0,1 µg/l*	Somme des concentrations des substances actives des produits phytosanitaires 0,5 µg/l	Qualité des stations de surveillance	
Nord - FRJG201	1166Z0026	Basse Pointe	Chalvet	50 mg/l	CLD, BRO, DIE, PRO, ESA	CLD, BRO, DIE, PRO, ESA	CLD, BRO, DIE, PRO, ESA	
	1166Z0020	Basse Pointe	Hauteurs Bourdon					
	1166Z0019	Basse Pointe	Socco Gradis					
	1166Z0032	Basse Pointe	Socco Gradis Amont					
Nord Atlantique - FRJG202	1166Z0023	Macouba	Nord Plage		CLD, DIE, 5B-H, HCH	CLD, DIE, 5B-H, HCH		
	1168Z0054	Basse Pointe	Rivière Falaise		DIE, CLD, BRO	CLD, BRO, DIE, ESA		
	1169Z0006	Marigot	Anse Charpentier					
	1169Z0184	Marigot	Anse Charpentier 2					
	1175Z0190	Trinité	Bassignac		CLD	CLD		
Nord Caraïbes - FRJG203	1169Z0084	Lorrain	Fond Brulé		CLD, HCH, 5B-H, CLDL	CLD, HCH, 5B-H, CLDL		
	1174Z0088	Gros Morne	La Borelli					
	1175Z0153	Trinité	Morne Figue		CLD	CLD		
	1167Z0045	Saint Pierre	CDS					
Centre - FRJG204	1177Z0177	Schoelcher	Fond Lahaye					
	1167Z0024	Prêcheur	Rivière du Prêcheur					
	1172Z0063	Carbet	Fond Canal					
Sud Atlantique - FRJG205	1175Z0106	Robert	Vert Pré		CLD	CLD		
	1179Z0070	Lamentin	Habitation Ressource					
Sud Caraïbes - FRJG206	1182Z0160	Rivière Salée	Nouvelle Cité					
	1186Z0118	Marin	Grand Fond		CLD	CLD		
	1183Z0052	Rivière Pilote	Habitation Victoire		CLD	CLD		
	1181Z0132	Trois Ilets	Fougainville					
	1184Z0001	Diamant	Habitation Dizac					

Abréviations paramètres déclassés
 Chlordécone : CLD
 Chlordécone 5b-hydro : 5B-H
 Chlordécal : CLDL
 Bromacil : BRO
 Beta HCH : HCH
 Dieldrine : DIE
 Métaclor ESA : ESA
 Propiconazole : PRO

Exigence DCE respectée
 Exigence DCE non respectée

Exigence DCE respectée
 Exigence DCE non respectée
 * Exceptions : dieldrine, aldrine, heptachlore : 0,03 µg/l
 Point abandonné

Illustration 2 : Liste des points du réseaux DCE de suivi de la qualité des eaux souterraines de la Martinique (Nacimiento L. et Taïlamé A.-L., 2017)

2. Pression Impact des produits phytosanitaires sur les masses d'eau souterraine

La directive européenne 91/414/CE, mise en place en 1991, constitue le fondement des dispositions réglementaires gouvernant la mise sur le marché des produits phytosanitaires en Europe. Chaque substance active (et ses métabolites) subit une évaluation du risque sanitaire et écologique pour un usage déterminé. Si le risque est considéré comme acceptable selon les critères réglementaires ; la substance active est inscrite en annexe I de la directive 91/414/CE. Les Etats membres peuvent ensuite donner des autorisations de mise sur le marché (AMM) pour des préparations commerciales contenant les substances actives autorisées.

La contamination des eaux souterraines de la Martinique résulte à la fois de molécules liées à des usages anciens et actuellement interdits et de molécules plus récemment introduites sur le marché (Nascimento L. et Taïlamé A.-L., 2017).

Le devenir des produits phytosanitaires dans l'environnement est lié à leurs propriétés physico-chimiques ainsi qu'à celles du milieu récepteur. Les mécanismes gouvernant leur devenir sont nombreux et complexes : prélèvement par les plantes, volatilisation, photolyse, hydrolyse, biodégradation, sorption, formation de résidus liés.

2.1. MÉTHODOLOGIE APPLIQUÉE

La réalisation du lien pression-impact des produits phytosanitaires sur les eaux souterraines de la Martinique s'appuient sur la méthodologie définie par Bessière et Surdyk (2017).

La méthode suivie pour l'analyse pression-impact des pollutions agricoles est une méthode qualitative d'estimation d'un risque de contamination des eaux souterraines par les produits phytosanitaires. Cette méthode repose sur la définition d'un risque de transfert prenant en compte des facteurs hydrogéologiques et certaines propriétés physico-chimiques des molécules. Elle se décline selon les six étapes suivantes :

- Elaboration d'une carte des pressions brutes phytosanitaires. Pour cela, des notes de pression en produit phytosanitaire sont affectées par culture et un calcul d'agrégation des pressions par les surfaces cultivées est réalisé à l'échelle de la Masse d'Eau souterraine (MESOUT).
- Sélection des molécules d'intérêt pour la caractérisation du transfert. Les molécules sont sélectionnées à partir des données de pression de la Banque nationale des ventes pour les distributeurs (BNV-D) et de traitements statistiques sur les données de qualité des eaux souterraines. Ces molécules ont été sélectionnées car elles peuvent être représentatives, de par leurs caractéristiques, de l'ensemble des autres molécules phytosanitaires.
- Etablissement des cartes de risque de contamination pour les molécules d'intérêt. Dans un second temps, l'étude du transfert est effectuée pour ces molécules d'intérêt. Des indices de risque de contamination sont calculés par molécule d'intérêt et par type de sol (spatialisation des paramètres en fonction de la carte pédologique et des propriétés des molécules). Cet indicateur de risque sera croisé avec la carte de vulnérabilité intrinsèque.

- Comparaison des résultats cartographiques avec la qualité des eaux souterraines : les cartes de risque de contamination obtenues sont confrontées aux données de qualité des eaux souterraines afin de déterminer le meilleur indicateur.
- Calcul d'un indice global de risque à l'échelle de la masse d'eau pour chaque molécule pour *in fine* pouvoir comparer le risque de contamination en phytosanitaires par masse d'eau.
- Croisement des deux sources d'informations : pression et risque de contamination pour établir le lien pression impact à la masse d'eau souterraine (MESOUT). La validation des pressions significatives est effectuée à partir d'informations sur la persistance des molécules et des analyses de concentrations en produits phytosanitaires dans les eaux souterraines.

2.2. LES PRESSIONS AGRICOLES

En Martinique, la Surface Agricole Utile (SAU) représente 20% de la surface du territoire. Les cultures fruitières semi-permanentes et la banane sont les plus importantes avec respectivement 6 024 ha et 5 980 ha en 2016. Elles représentent près de 53% de la surface agricole utile, cela représente 11% de la surface totale de l'île (Agreste Martinique, 2016). Avec 3 840 ha cultivés en 2016, la canne à sucre représente 17% de la SAU. Les surfaces en herbe représentent 29% de la SAU des exploitations (Agreste Martinique, 2016). Les surfaces en herbe sont réparties sur l'ensemble de l'île.

Avec une SAU supérieure à 30%, les communes de Macouba, Basse Pointe, Le François et de Rivière Salée présentent la plus grande part de SAU sur leur surface communale.

L'illustration 3 présente la répartition de la SAU par groupement de culture pour l'année 2017 (RPG, 2017). L'illustration 4 présente une répartition cartographique schématique des pratiques culturales.

Groupements de cultures	Cultures	Superficie Km ²	% SAU
Prairies permanentes	Prairies naturelles, prairies permanentes de plus de 5 ans	65,80	31,8
Arboriculture (dont banane)	Agrumes, Banane, Café, Ananas	60,91	29,4
Canne à sucre		44,69	21,6
Légumes-fleurs	Légumes de plein champ, maraîchage, fleurs	19,20	9,3
Diver	Autres cultures, bois	9,44	4,6
Vergers		2,98	1,4
Prairies temporaires		2,29	1,1
Fourrage		1,53	0,7

Illustration 3 : Répartition de la SAU sur le territoire martiniquais en 2017 (RPG)

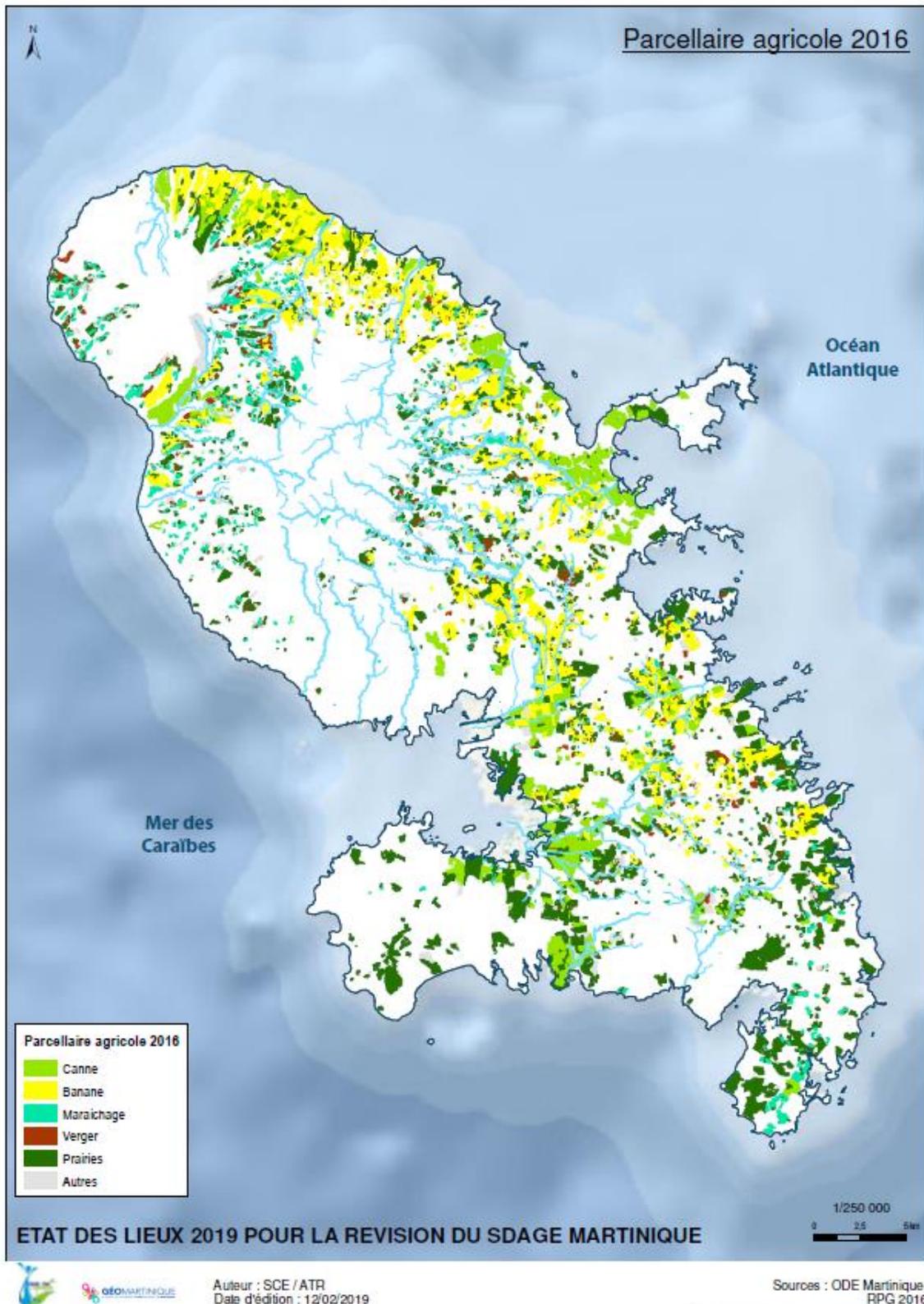


Illustration 4 : Carte de la répartition des pratiques agricoles de la Martinique (Source ODE et RPG 2016)

2.2.1. Inventaire des cultures

La démarche vise à donner une note de pression à chaque culture, sur la base de l'inventaire des cultures du territoire. L'échelle d'acquisition des données est la parcelle agricole. Pour ce faire, deux bases de données ont été exploitées :

- Le Registre Parcellaire Graphique de 2017 (RPG), système d'information géographique permettant l'identification (superficie et type de culture) des parcelles agricoles ;
- Corine Land Cover de 2012 (CLC), base de données européenne qui permet de décrire l'ensemble du territoire et de connaître l'occupation du sol. Le territoire est découpé en fonction de son utilisation : tissu urbain, prairies, forêts.

Le RPG 2017 étant plus précis et plus récent il a été favorisé pour l'évaluation des pressions agricoles.

2.2.2. Pression globale produit phytosanitaire à l'échelle de la masse d'eau souterraine

Afin d'affecter une gamme de pression, ou note, à un groupement de cultures, les pratiques agronomiques doivent être évaluées. Pour effectuer une notation, deux paramètres vont entrer en compte : les pratiques culturales (fertilisation versus consommation de la plante) et le cycle de la culture.

Les hiérarchisations et cotations de la pression « produits phytosanitaires » en fonction du type de culture sur la base du RPG pour les DOM sont présentés en Illustration 5.

Trois classes de pression (faible, moyen et fort) sont associées à trois coefficients de pression (1, 5 et 10) respectivement. Ce choix de pondération permet de bien distinguer les trois classes.

Groupements de cultures	Cultures	Note pression
Arboriculture	agrumes, banane, café, ananas	10
Legumes-fleurs	pomme de terre, légumes de plein champ, maraîchage sous serre, fleurs	10
Canne à sucre		5
Fourrage		1
Prairies temporaires		1
Prairies permanentes	prairies naturelles, prairies permanentes de plus de 5 ans	1
Autres cultures industrielles		1
Vergers		1
Vignes		1
Maïs grain et ensilage		1
Autres céréales		1
Autres oleagineux		1
Protéagineux		1
Autres gels	gel vert, gel légumineuse	1
Riz		1
Estives landes		1
Fruit à coque		1
Divers	autres cultures, bois, cultures énergétiques, haies, mare	1

Illustration 5 : Notations appliquées à chaque groupement de culture (Bessièrre et Surdyk, 2017)

Dans le mode opératoire (Bessièrre et Surdyk, 2017), les groupements « Bois sur anciennes terres agricoles et parcelle agricole temporairement non exploitée » du RPG n'avaient pas été notés, néanmoins les anciennes pratiques culturales étant inconnues et potentiellement impactantes, la note de pression appliquée dans cette étude est de 10.

Les notes de pression présentées ci-dessus ont été appliquées au RPG 2017, l'illustration 6 présente la répartition culturelle en fonction de sa note de pression (Faible: 1, Moyen: 5 et Fort: 10). Cette répartition représente la pression brute agricole.

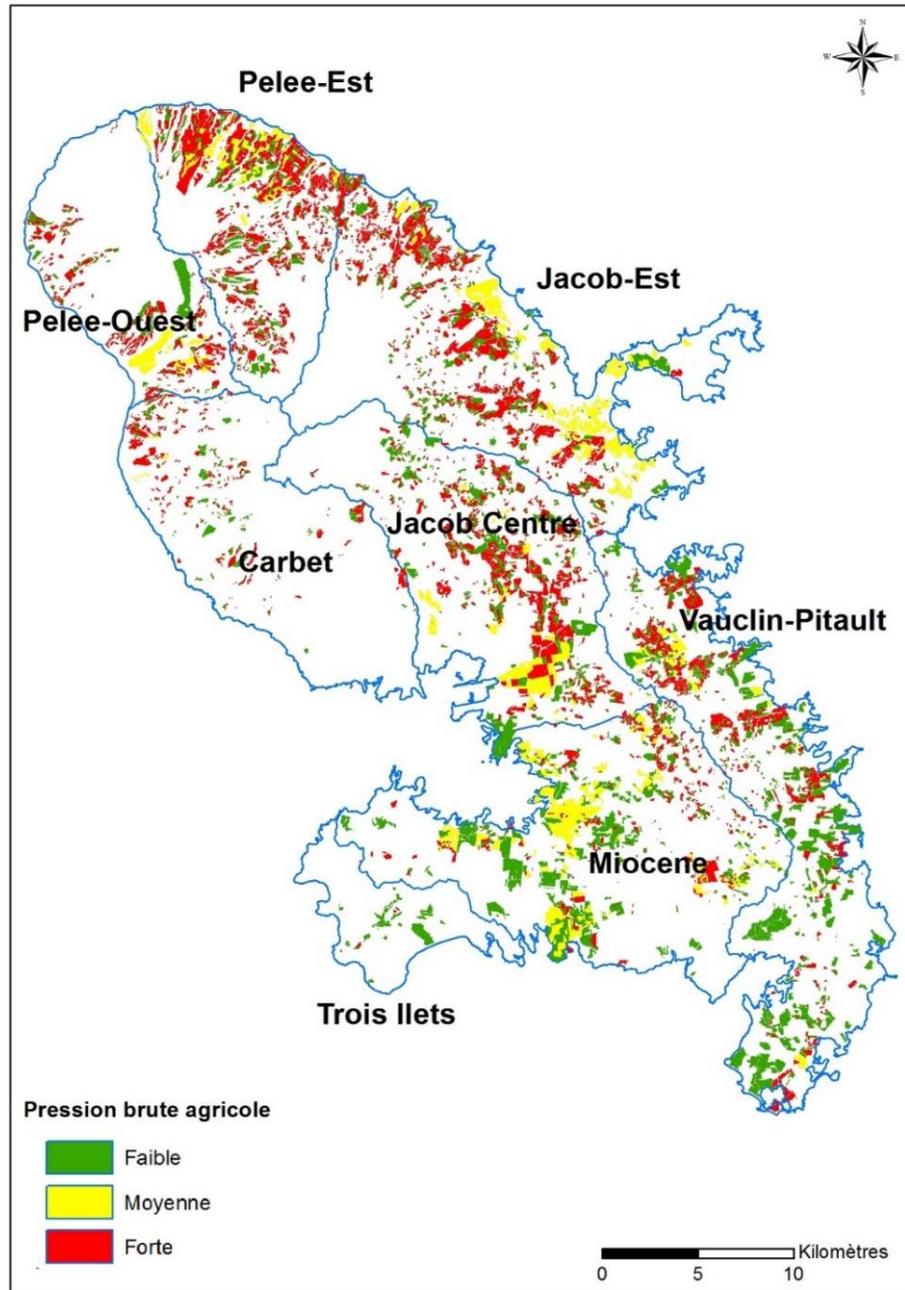


Illustration 6 : Pression brute agricole

Une méthode d'agrégation basée sur la formule ci-dessous (Bessière et Surdyk, 2017) a été appliquée pour transposer les notes du niveau parcellaire en notes globales au niveau des masses d'eau souterraine. Cette méthode prend en compte la note de chaque parcelle et la pondère par sa surface. Plus une parcelle sera grande et plus son impact sur la MESOUT sera important. La formule se présente sous la forme suivante :

$$Note_{Masse\ d'eau} = \frac{\sum Note_{parcelle} \times Surface_{parcelle}}{Surface_{Totale\ agricole\ de\ la\ MESOUT}}$$

Avec :

Note_{MasseEau} : Note moyenne de la pression pour la masse d'eau ;

Note_{parcelle} : Note de la pression pour une parcelle ;

Surf_{parcelle} : Surface de la parcelle ;

Surf_{TotaleAgr} : Surface totale agricole de la MESOUT

L'illustration 7 présente les résultats par masse d'eau souterraine des pressions brutes agricoles en produits phytosanitaires. La note de la pression globale phytosanitaire est convertie en classe de pression :

- Pression globale phytosanitaire faible : Pression MESOUT < 3 ;
- Pression globale phytosanitaire moyenne : 3 < Pression MESOUT < 6 ;
- Pression globale phytosanitaire forte : Pression MESOUT > 6.

La masse d'eau présentant la note la plus élevée est la masse d'eau Pelée Est.

A l'inverse la masse d'eau présentant la note la plus basse est la masse d'eau Trois Ilets qui présente le moins de parcelles agricoles.

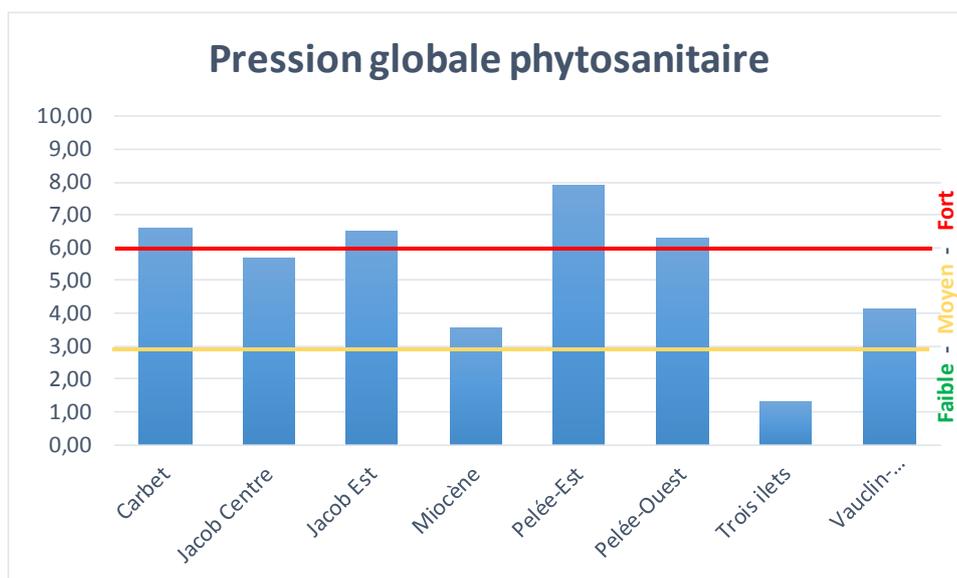


Illustration 7 : Evaluation des pressions brutes agricoles globales à l'échelle de la masse d'eau

2.2.3. Test des 20% de la surface dégradée

Dans le cas des masses d'eau présentant une pression agricole forte, un test doit être mené pour juger de la pertinence des calculs vis-à-vis des surfaces agricoles par rapport à la surface totale de la masse d'eau souterraine. Pour les masses d'eau présentant une pression faible le test des 20 % n'est pas pertinent vis-à-vis des pressions agricoles recensées

Pour ces masses d'eau, la surface agricole est évaluée en réalisant le ratio suivant (test des 20%) :

$$\text{Test des 20 \%} = \text{Surfaces agricoles} / \text{Surface de la MESOUT}$$

De façon très nette, les masses d'eau Pelée Est et Jacob Est et Jacob Centre sont concernées par plus de 20 % de superficie agricole. *A contrario*, les masses d'eau Pelée Ouest et Carbet présentent respectivement 15,8% et 6,0% de zones à risque de pollution moyen à fort. Après application de l'enquête appropriée, la pression agricole des masses d'eau Pelée Ouest et Carbet est considérée comme faible.

L'illustration 8 présente les résultats finaux par masse d'eau pour les pressions brutes agricoles en produits phytosanitaires.

Masse d'eau	Superficie KM ²	Pression agricole brute	Superficie agricole > à 20 %	Pression agricole brute Finale
Pelée-Est	107	Forte	Oui	Forte
Pelée-Ouest	94	Forte	Non	Faible
Jacob Est	181	Forte	Oui	Forte
Carbet	144	Forte	Non	Faible
Jacob Centre	161	Moyenne	Oui	Moyenne
Vauclin-Pitault	164	Moyenne		Moyenne
Miocène	192	Moyenne		Moyenne
Trois ilets	41	Faible		Faible

Illustration 8 : Pression brute agricole finale par masse d'eau souterraine

2.3. ÉTUDE DE TRANSFERT DES MOLÉCULES PHYTOSANITAIRES

Méthode appliquée

L'étude du transfert des molécules est proposée selon les 4 étapes suivantes :

- Etape 1 : sélection des produits phytosanitaires d'intérêt pour l'étude : il existe plus de 500 molécules autorisées en France auquel il faut ajouter leurs métabolites ainsi que les produits qui ne sont plus autorisés mais que l'on retrouve encore dans les eaux souterraines ;
- Etape 2 : détermination des applications potentielles pour les molécules étudiées ;
- Etape 3 : établissement de cartes de risque de contamination pour les molécules étudiées sur la base de fonctions de transfert et de calculs du risque associé. Deux méthodes ont été exploitées (Bessière et Surdyk, 2017) :
 - GUS + vulnérabilité
 - AFT+ vulnérabilité ;
- Etape 4 : comparaison avec la qualité des eaux souterraines pour chaque molécule étudiée.

2.3.1. Etape 1 : Sélection des produits phytosanitaires

La sélection des produits phytosanitaires d'intérêt repose sur deux approches :

- a- L'identification des molécules retrouvées dans les eaux souterraines
- b- L'inventaire des produits les plus utilisés.

Démarche a

Cette démarche consiste à réaliser un inventaire des molécules détectées dans l'eau souterraine. Elle permet de sélectionner les substances ayant un fort impact et un risque avéré sur la qualité des eaux souterraines. Basée sur le dépassement des valeurs seuils au titre de la DCE, cette procédure peut mettre en avant des produits phytosanitaires actuellement interdit.

Les critères du bon état chimique des eaux souterraines sont développés dans la Directive européenne fille sur les eaux souterraines 2006/118/CE. Selon son article 4.2, « une masse d'eau ou un groupe de masse d'eau est considéré comme étant en bon état chimique lorsque les conditions suivantes sont respectées :

- *Mma* ≤ à 0,1 µg/l par substance (à l'exception de l'aldrine, la dieldrine, l'heptachlore et l'heptachlorepoxyde pour lesquelles la limite est de 0,03 µg/l) y compris métabolites ;
- Somme ≤ 0,5 µg/l sur le total des substances ».

La molécule est sélectionnée si un dépassement de la Moyenne des moyennes annuelles (Mma) ou de la fréquence de détection est observée. Avec cette méthode, 11 molécules ont pu être mises en évidence (cf. Illustration 9).

Molécules	Usages	Date d'interdiction	Parents
AMPA	Herbicide	Autorisé	métabolite Glyphosate
Beta HCH		Lindane (1998)	métabolite Lindane
Bromacil	Herbicide, agrumes, ananas, zone non agricole	2003	
Carbendazime	Divers cultures	2008	
Chlodécone	Banane	1993	
Chlordécol		Chlodécone (1993)	métabolite CLD
Chlodécone 5b-hydro		Chlodécone (1993)	métabolite CLD
Dieldrine	Insecticide, divers cultures	1972	
Métalaxyl	Fongicide, maraîchage	Autorisé	
Métolachlor ESA		Métolachlor (2003)	métabolite Métolachlor
Propiconazole	Fongicide, banane	Autorisé	

Illustration 9 : Liste des molécules dépassant la Mma

Démarche b

Cette démarche repose sur l'inventaire des produits les plus vendus et par conséquent supposés utilisés actuellement en interrogeant la Banque nationale des ventes pour les distributeurs (BNVD). La BNVD est alimentée depuis 2009 par les déclarations des bilans annuels des ventes de produits phytosanitaires par les distributeurs agréés auprès des agences et offices de l'eau. Les données de la BNVD permettent d'identifier les produits phytosanitaires les plus utilisés. Toutefois, les substances identifiées peuvent ne pas avoir d'impact observé sur les eaux souterraines.

Les 5 molécules d'intérêt identifiées comme les plus vendues en Martinique en 2018 sont présentées dans l'illustration 10.

Molécules	Quantité (Kg)
glyphosate	27056
s-metolachlore	5240
2,4-d	5123
pendimethaline	2732
difenoconazole	1468

Illustration 10 : Liste des molécules les plus vendues en Martinique (source BNVD, année 2018)

Ces deux listes mettent clairement en évidence, par leur divergence, le problème de la persistance des molécules dans l'environnement et de l'existence d'un stock de ces substances dans le sol et/ou la zone non saturée, stock qui pourrait être remobilisé sous certaines conditions. L'évolution des pratiques agricoles se traduirait alors de façon différée sur la qualité de l'eau.

Choix des molécules d'intérêts

Baran et Arnaud, 2013 ont étudié les processus de transfert des produits phytosanitaires du sol vers les eaux souterraines. Ils ont identifié des couples sols/substances jugés pertinents à partir de la confrontation des données d'usage des molécules, de la qualité des eaux souterraines et des indices GUS et AFT.

Les six molécules d'intérêt sélectionnées par Baran et Arnaud, 2013 sont: 2,4D, la chlordécone, le diuron, le glyphosate, le S-métolachlore et le propiconazole. La molécule S-métolachlore a été recherchée en 2007, 2008 et 2012 sans dépasser la limite de quantification. Depuis 2012 elle n'a plus été recherchée. Dans cette étude nous étudierons l'impact du métolachlore molécule parents du S-métolachlore interdite depuis 2003.

2.3.2. Etape 2 : Carte des zones d'application potentielle des molécules d'intérêt ?

Les cartes des zones d'application potentielle définissent les secteurs ayant pu avoir une application des molécules d'intérêts étudiées. Pour chaque parcelle agricole sont identifiés le type d'agriculture et les substances phytosanitaires autorisées sur ces cultures. L'hypothèse est faite que les substances sont utilisées sur les cultures. Pour chacune des 6 molécules d'intérêt sont identifiées les cultures concernées (Illustration 11).

Molécules	Application
2,4-D	Canne à sucre
Chlodécone	Banane
Diuron	Ananas, banane, canne à sucre, zone non agricole
Glyphosate	Divers
Propiconazole	Divers
S-Métolachlore	Canne à sucre

Illustration 11 : Application des produit phytosanitaire en fonction du type d'agriculture

Les cartes des zones d'application potentielle des 6 molécules sélectionnées précédemment sont présentées en Annexe 1.

D'après ces cartes, par ordre décroissant les surfaces d'application potentielle des molécules sont : 165 km² pour le glyphosate, 163 km² pour le diuron, 134 km² pour le propiconazole, 51 km² pour la chlordécone, 45 km² pour le 2,4D et 45 km² pour le métolachlore.

Les masses d'eau souterraine connaissant le plus de pression vis-à-vis des molécules d'intérêts sont Pelée – Est, Jacob – Est. A contrario les masses d'eau présentant le moins de pression en produits phytosanitaires selon les molécules d'intérêt sélectionnées sont Trois ilets, Carbet et Pelée Ouest.

2.3.3. Etape 3 : Etablissement des cartes de risque

Indice de risque GUS

L'indicateur GUS est un indice empirique issu d'observations de concentrations dans les eaux souterraines reliées à certaines propriétés des substances. Cet indicateur qui ne prend en compte que la mobilité vers les eaux souterraines permet de définir une classe de mobilité pour une substance (Gustafson, 1989). L'indicateur est basé sur l'équation présentée ci-dessous qui permet de lier le potentiel de dégradation et le potentiel de sorption d'une substance pour estimer son potentiel de mobilité (Bessière et Surdyk, 2017).

$$GUS = \log(DT_{50}) \times (4 - \log(K_{oc}))$$

Avec :

DT_{50} : temps de demi-vie(j)

K_{oc} : coefficient d'adsorption (L/Kg)

L'indice repose sur l'hypothèse que plus un produit est facilement adsorbé par les particules de sol et moins il est persistant, moins le risque est grand de le voir être entraîné en profondeur.

Pour cet indice trois classes de risque existent :

- si $GUS > 2,8$ les substances actives sont considérées comme lessivables (ou « très mobiles ») ;
- si $GUS < 1,8$ les substances actives sont considérées comme non lessivables (ou « immobiles ») ;
- dans l'intervalle $[1,8 - 2,8]$, il est difficile de conclure sur la capacité de la substance active à être lessivée (la substance est « moyennement mobile »).

La spatialisation de l'indice de GUS est issue des travaux de Baran et Arnaud (2013).

Les données pédologiques (K_{oc} et DT_{50}) ont été obtenues à partir de mesure de terrain, l'indice de GUS a été attribué à chaque type de sol de la carte pédologique (IRD).

Une note de 1 à 5, a été associée à chacune des classes dans le but de caractériser la capacité de la substance à être lessivée et de pouvoir comparer les molécules entre elles. Plus la substance est lessivable, plus la note est forte (cf. Illustration 12). D'après Bessière et Surdyk (2017), cette répartition par quintile engendre un découpage des classes de GUS un peu différente de celle de l'indicateur d'origine. En effet, si la limite à 1,8 est conservée en revanche une limite est posée à 2,6 (et non pas 2,8). Selon la définition du GUS, les classes 1 et 2 seraient regroupées, de la même façon que les classes 4 et 5.

Classes de valeurs	Note GUS
$GUS \leq 1,2$	1
$1,2 \leq GUS \leq 1,8$	2
$1,8 \leq GUS \leq 2,6$	3
$2,6 \leq GUS \leq 3,3$	4
$GUS > 3,3$	5

Illustration 12 : Application de la note GUS (Baran et Arnaud, 2013)

Indice de risque AFT

Afin de prendre en compte le temps de transfert de la substance dans le sol, Rao et al., 1985 ont défini un indice dit facteur d'atténuation (AF - sans unité) () qui, outre les paramètres de sorption et de dégradation, prend en compte l'épaisseur de sol considérée et les flux d'eau. L'équation suivante permet d'évaluer l'index AFT :

$$AFT = Ln(AF)/(-0,693)$$

Avec :

AF : facteur d'atténuation (sans unité)

L'illustration 13 présente les notes AFT affectées à chaque classe de valeurs, définie par Baran et Arnaud (2013).

Classes de valeurs	Note AFT
AFT > 150	1
60 < AFT ≤ 150	2
30 < AFT ≤ 60	3
12 < AFT ≤ 30	4
AFT < 12	5

Illustration 13 : Application de la note AFT (Baran et Arnaud, 2013)

Croisement des indices de risque avec la pédologie

En Martinique, il existe sept grands types de sol : les ferrisols (paléosol fersiallitique), les sols à allophanes (sols sur cendres et ponces), les sols à alluvions, les sols bruns rouille à halloysite (sols bruns rouille), les sols fersiallitiques, les sols peu évolués sur cendres et les vertisols (sols à argiles gonflantes).

Baran et Arnaud (2013) ont étudiés cinq couples sols/substances pour lesquels des indices des risques GUS et AFT ont été évalués. Seuls les andosols, ferrisols, nitisols (sols peu évolués sur cendres) et les vertisols sont traités dans cette étude. Les indices GUS et AFT ont été appliqués pour chaque produit phytosanitaire d'intérêt. Ces indices sont présentés dans l'illustration 14, en fonction du type de sol.

Molécule	Type de sol	Note GUS	Note AFT	
			q=0.2 mm/j	q=6.85mm/j
2,4-D	Nitisol	2	1	4
	Andosol	3	1	4
	Sol peu évolué sur cendres	3	1	5
	Vertisol	3	1	5
	Ferrisol	4	2	5
Chlordécone	Ferrisol	1	3	5
	Vertisol	1	3	5
	Sol peu évolué sur cendres	1	4	5
	Andosol	2	2	5
	Nitisol	2	3	5
Diuron	Vertisol	2	1	5
	Sol peu évolué sur cendres	2	2	5
	Andosol	3	1	5
	Ferrisol	3	1	5
	Nitisol	4	3	5
Glyphosate	Ferrisol	1	1	2
	Andosol	1	1	3
	Nitisol	1	1	3
	Sol peu évolué sur cendres	1	1	3
	Vertisol	1	1	3
Propiconazole	Vertisol	1	1	5
	Ferrisol	2	1	5
	Sol peu évolué sur cendres	2	3	5
	Andosol	3	1	5
	Nitisol	3	2	5
S-métolachlore	Vertisol	3	2	5
	Ferrisol	4	2	5
	Sol peu évolué sur cendres	4	3	5
	Andosol	5	1	5
	Nitisol	5	2	5

Illustration 14 : Synthèse des notes GUS et AFT calculées pour chaque couple sol/substance dans deux conditions d'infiltrations extrêmes 0,2 mm/j et 6,85 mm/j. Baran et Arnaud, (2013).

Les notes AFT sont déterminées pour cinq types de sol recensés en Martinique pour deux conditions d'infiltration extrêmes 0,2 mm/j et 6,85 mm/j. La lame d'eau de 0,2mm/j semble plus appropriée aux caractéristiques pédologiques et climatiques de la Martinique.

Les résultats des croisements GUS et AFT (0.2 mm/j) avec la pédologie sont présentés respectivement en annexe 2 et 3.

2.3.4. Etape 4 : Croisement des indices de risque avec la vulnérabilité des eaux souterraines par molécule

Dans le cadre du SIESMAR, une carte de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines a été élaborée (Allier et al., 2008, Illustration 15). La vulnérabilité est notée de 1 à 5, la vulnérabilité la plus importante est représentée par la note la plus élevée (la valeur 0 est attribuée aux secteurs sans information).

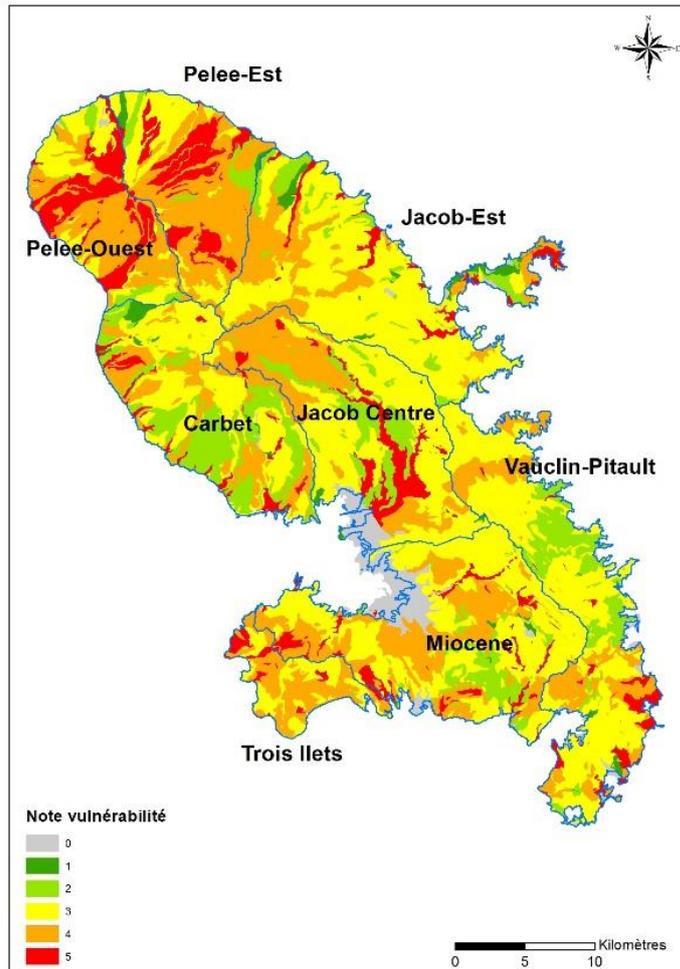


Illustration 15 : Carte de vulnérabilité des eaux souterraines (Allier et al., 2008)

Le croisement entre les indicateurs de risque et la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines permet d'établir des cartes de risque de contamination par molécule en fonction de l'indice choisi. La note de risque est obtenue en croisant la note GUS ou AFT (selon la pédologie) attribuée à chaque molécule et la note vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines selon la formule suivante :

$$\text{Risk} = \text{Note}(\text{GUS ou AFT selon pédologie}) \times \text{Note Vulnérabilité} \times \text{Application potentielle}$$

L'indice AFT est retenu pour les molécules de glyphosate, chlordécone et 2,4D tandis que l'indice GUS est retenu pour les molécules de diuron, propiconazole et métolachlore. Les résultats de ce croisement sont présentés en Annexe 4.

2.4. CONFRONTATION ENTRE RISQUE DE CONTAMINATION ET QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES

Les données sur la qualité des eaux souterraines sont issues du portail ADES d'accès aux données sur les eaux souterraines (<http://www.ades.eaufrance.fr>). Pour réaliser la confrontation entre le risque et la qualité des eaux souterraines, les données du réseau de surveillance DCE (« 0800000016 - FRJSOS - Contrôle de surveillance de l'état chimique des eaux souterraines du bassin Martinique » et « 0800000017 - FRJSOO - Contrôles opérationnels de l'état chimique des eaux souterraines du bassin Martinique ») ont été utilisées (cf. illustration 1 et 2).

Pour chaque point de mesure, les Moyennes des moyennes annuelles (Mma) de chaque molécule ont été calculées.

Pour chaque molécule, des cartes permettant la confrontation entre l'application potentielle, le risque de contamination et la qualité de l'eau souterraine ont été réalisées (Illustration 16 à 21).

Le risque de contamination est plus important pour la partie nord de l'île ce qui coïncide avec la répartition des pratiques culturales sur le territoire. En effet, la masse d'eau Pelée-Est qui présente près de 50% de surfaces agricoles répartie sur son emprise témoigne des concentrations en produits phytosanitaires les plus importantes.

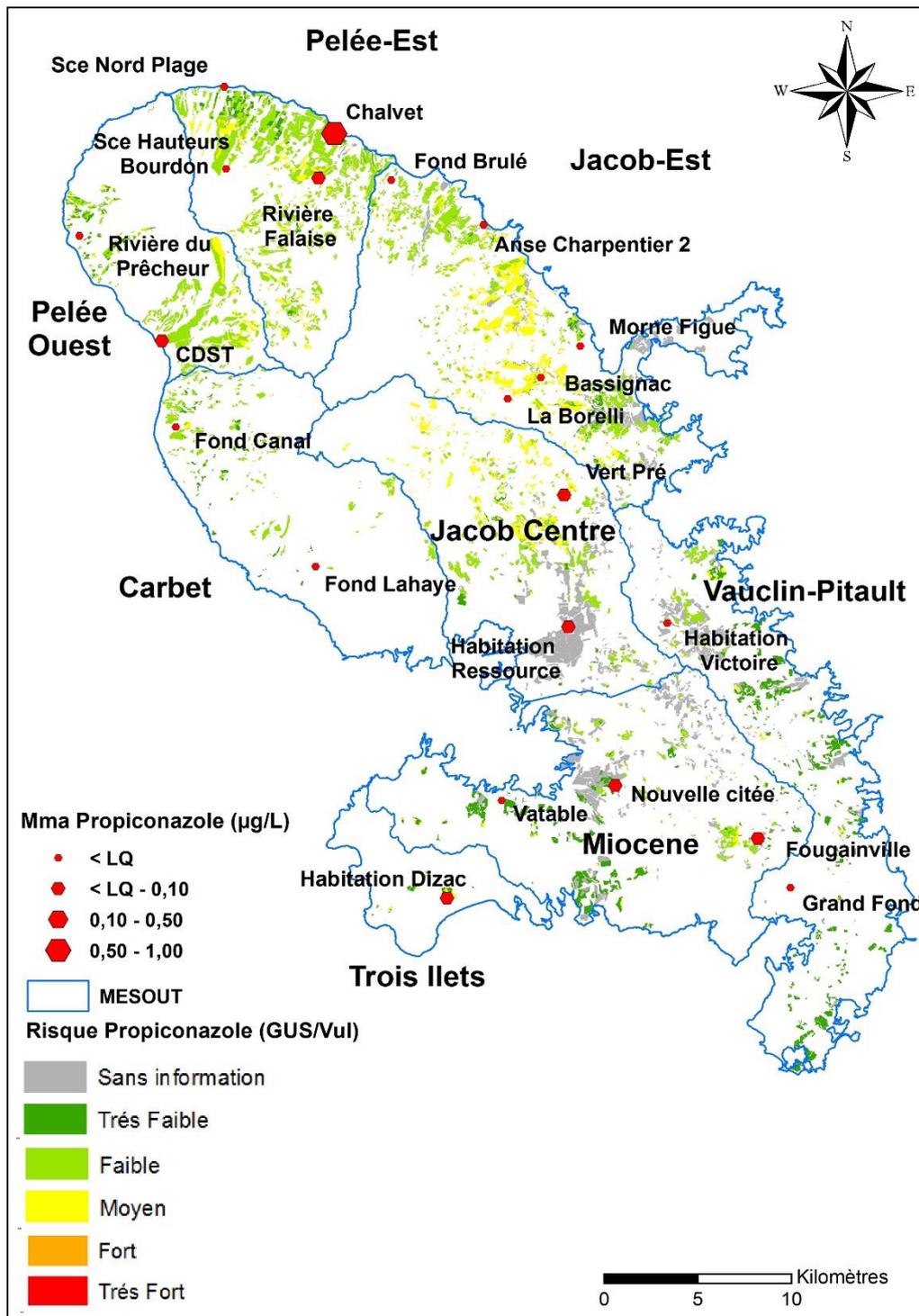


Illustration 16 : Carte de risque de contamination et qualité de l'eau pour le propiconazole (méthode GUS)

La confrontation entre le risque de contamination et la qualité de l'eau souterraine pour le propiconazole met en avant un risque de contamination plus important pour la partie nord de l'île. Pour cette molécule, le lien entre pression et qualité de l'eau concorde. Aucun dépassement des normes de qualité n'a été relevé à l'exception du point Chalvet – Basse Pointe qui présente la plus forte concentration.

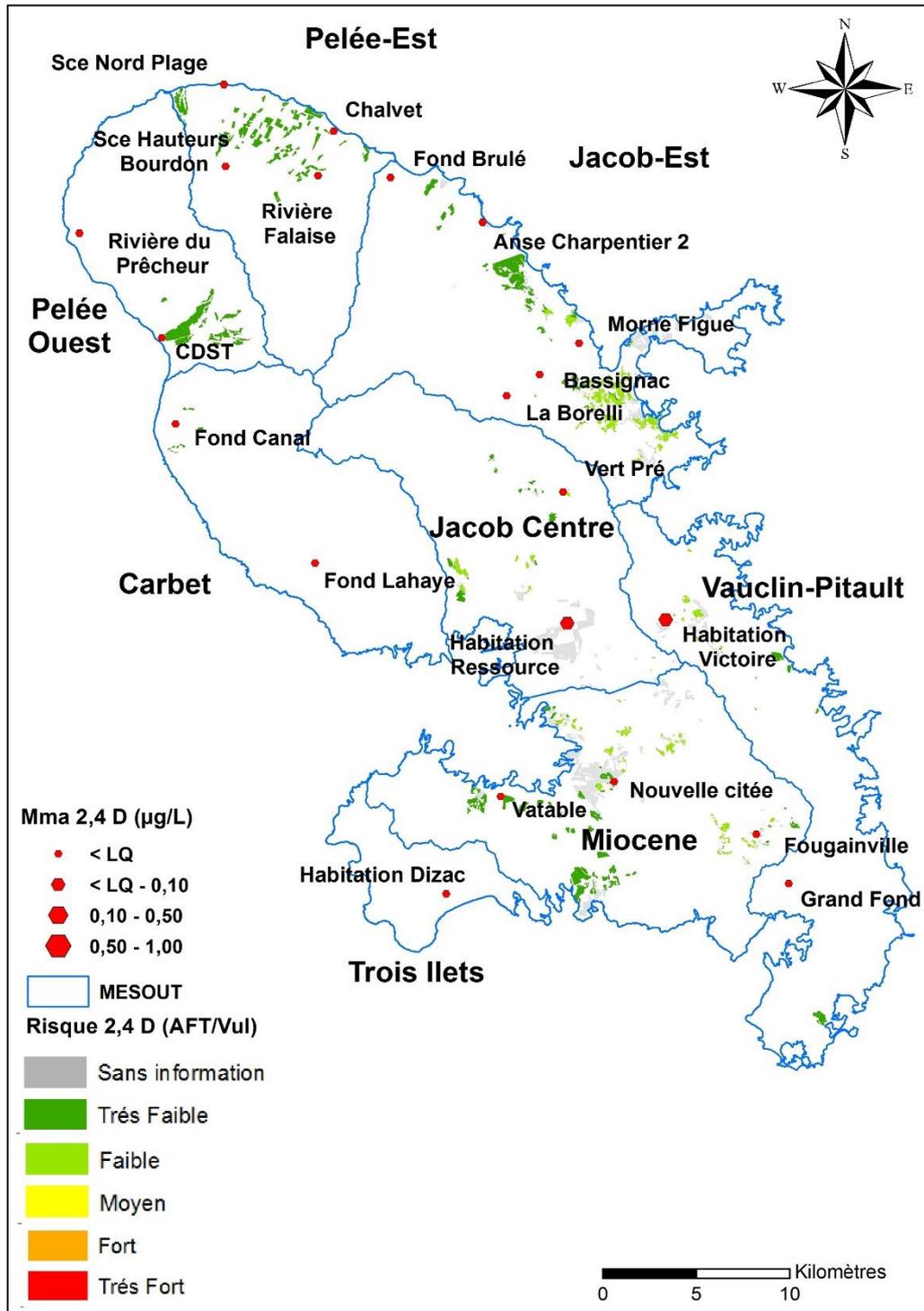


Illustration 17 : Carte de risque de contamination et qualité de l'eau pour le 2,4D (méthode AFT)

La confrontation du risque avec les mesures de concentration du 2,4 D ne met pas en évidence de lien pression-impact. Les forages Habitation Ressource - Lamentin et Habitation Victoire – François, implantés respectivement dans les masses d'eau Jacob Centre et Vaucelin-Pitault, présentent les plus fortes concentrations et sont tous deux implantés dans des sols alluvionnaires non traités par la présente étude.

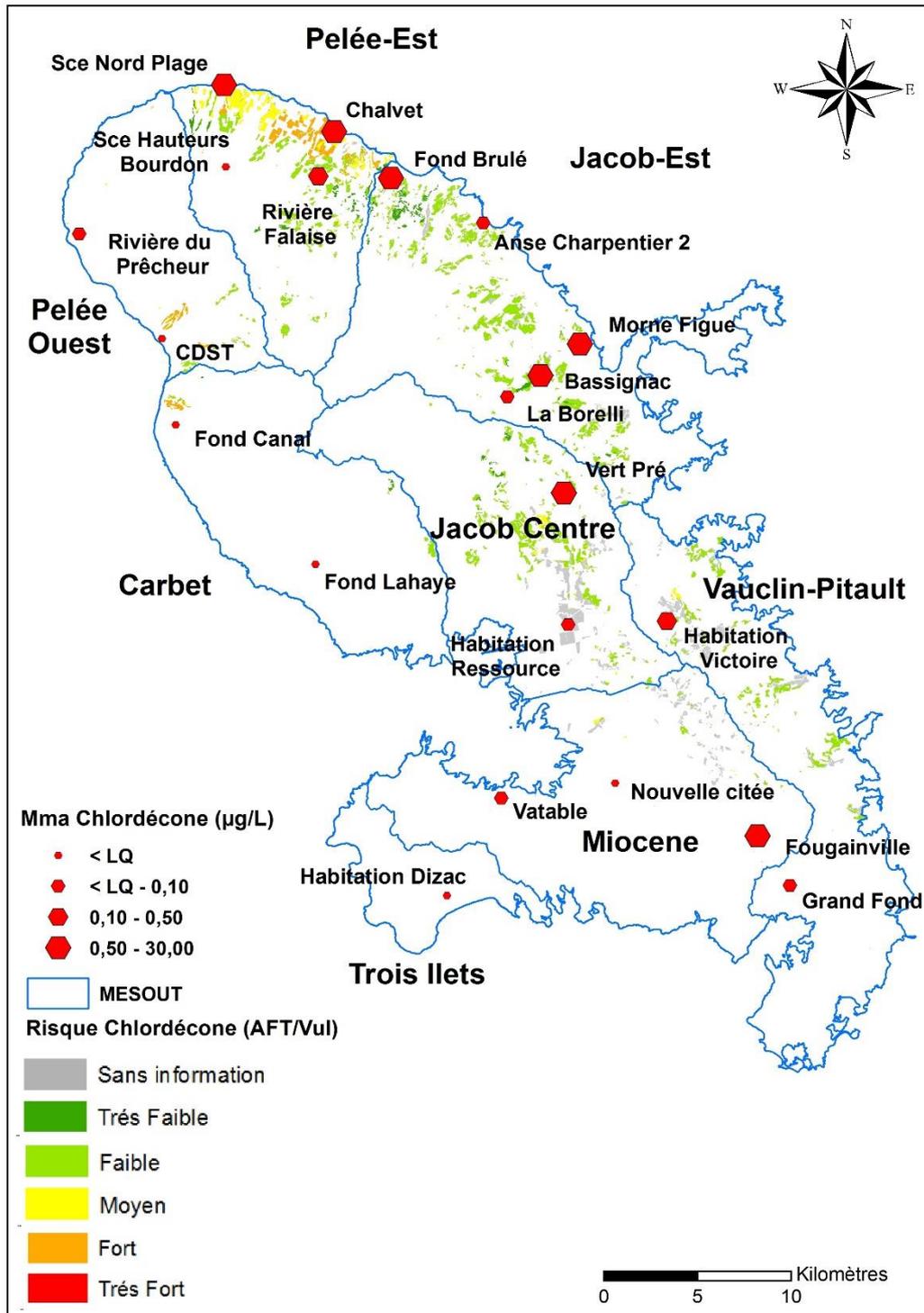


Illustration 18 : Carte de risque de contamination et qualité de l'eau pour la chlordécone (méthode AFT)

Sur 21 qualitomètres, 6 présentent des concentrations en chlordécone inférieures à la LQ, il s'agit des points Habitation Dizac - Diamant, Nouvelle Cité – Rivière Salée, Fond Lahaye - Schoelcher, CDST – Saint Pierre, Fons Canal - Carbet, Hauteur Bourdon – Basse Pointe. Ces points sont implantés dans des secteurs pas ou peu impactés par l'agriculture. Les MESOUT Pelée- Est, Jacob Est et Jacob Centre présentent les concentrations les plus élevées. Notons que ces masses d'eau sont aussi les plus concernées par l'activité bananière. Pour la chlordécone, les zones de risques et les mesures de concentrations les plus élevées coïncident.

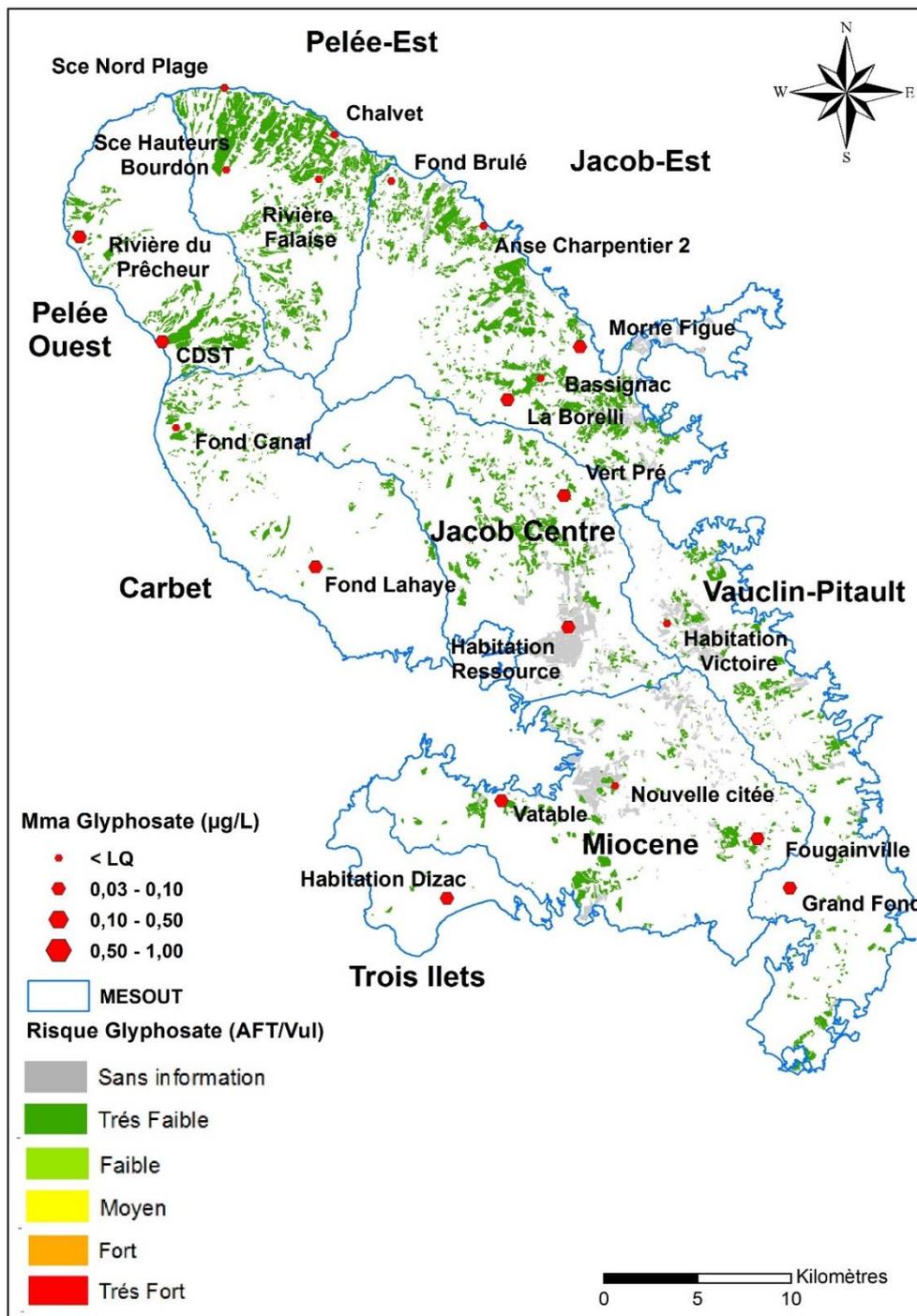


Illustration 19 : Carte de risque de contamination et qualité de l'eau pour le glyphosate (méthode AFT)

Le glyphosate a une utilisation potentielle sur l'ensemble du territoire. Cet herbicide est utilisé sur tout type de culture ainsi qu'en zone non agricole. Le croisement de la carte des risques avec la qualité de l'eau souterraine ne met pas en évidence un lien entre pression et impact.

D'après la BNVD, cette molécule fait partie des produits phytosanitaires les plus vendus en Martinique. Or, sur l'ensemble du réseau DCE, la Mma de cette molécule ne dépasse pas la valeur seuil 0,1 µg/l. Pour les 5 types de sols traités dans cette étude, le temps de demi-vie du glyphosate varie entre 8,1 et 24,2 jours. Ces temps de demi-vie courts pourraient expliquer les faibles concentrations retrouvées dans les eaux souterraines.

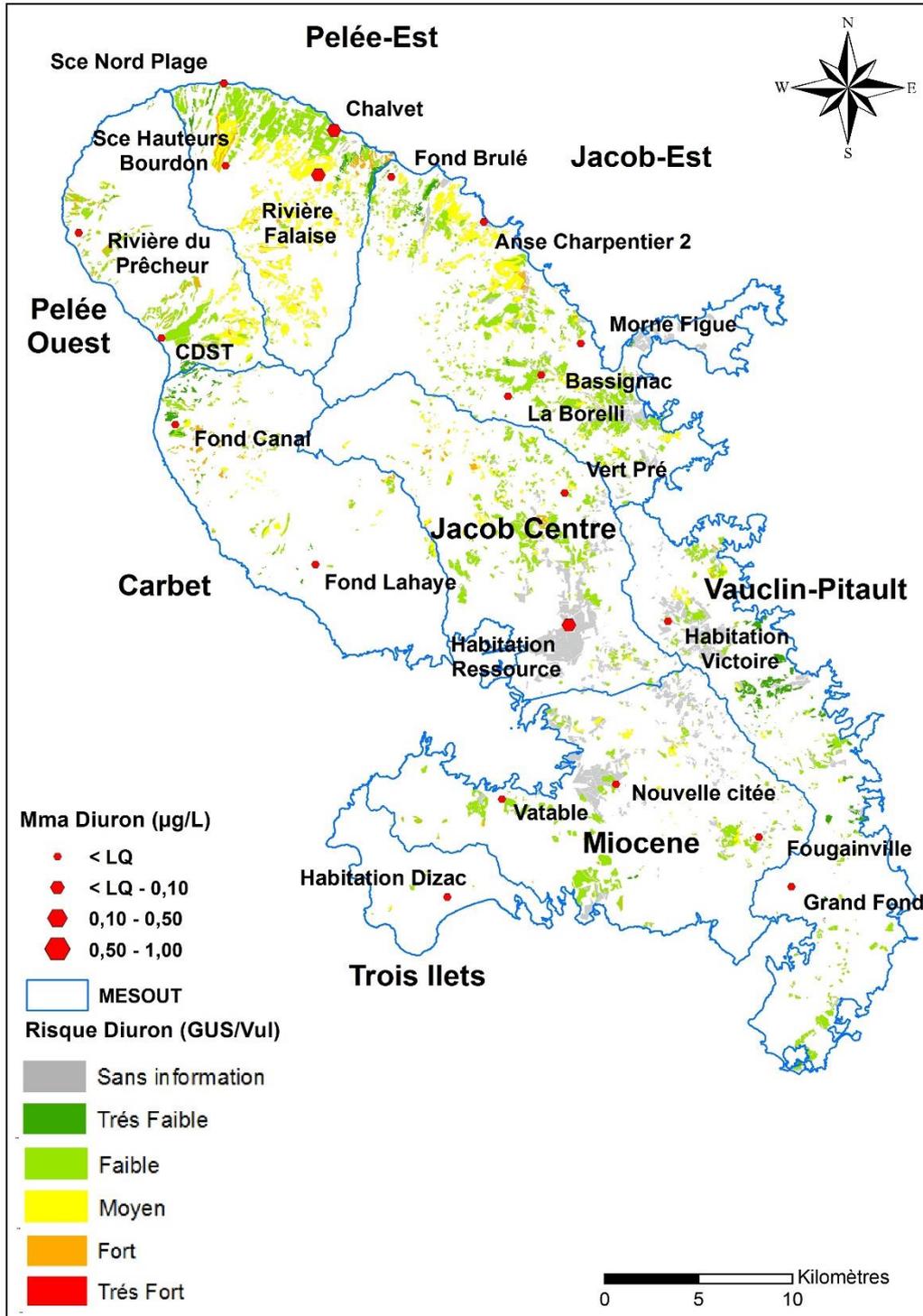


Illustration 20 : Carte de risque de contamination et qualité de l'eau pour le diuron (méthode GUS)

Le risque de contamination est plus important pour la partie nord de l'île pour le diuron et est confirmé pour la masse d'eau Pelée-Est. Le lien entre pression et qualité de l'eau est cohérent. Aucun dépassement des normes de qualité n'a été relevé à l'exception des points Rivière Falaise – Basse Pointe, Chalvet – Basse Pointe et Habitation Ressource - Lamentin qui présentent les plus fortes concentrations. Pour ces deux premiers points, le risque est considéré comme moyen à faible. Le point Habitation Ressource est implanté dans des sols alluvionnaires non traités par la présente étude.

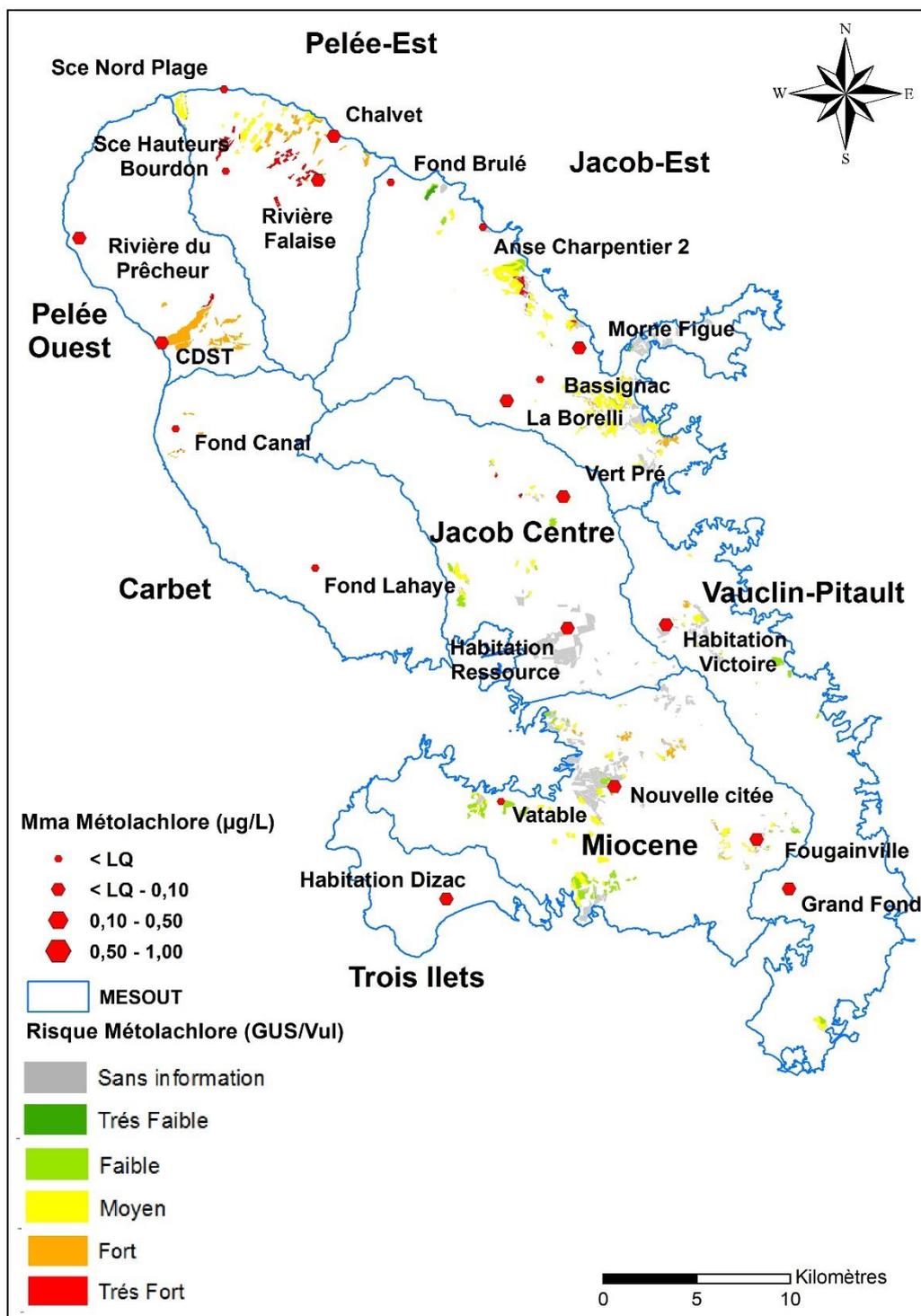
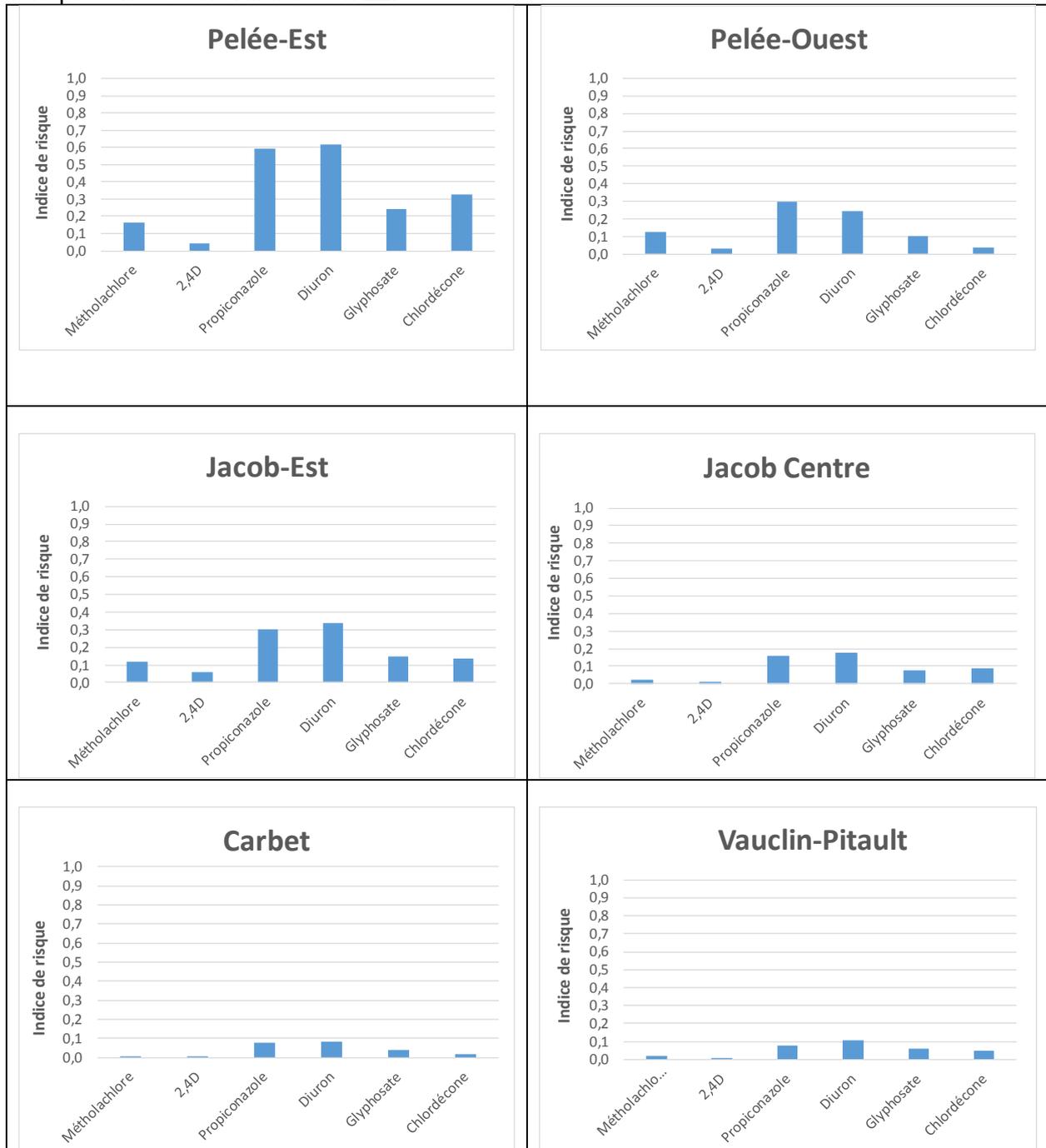


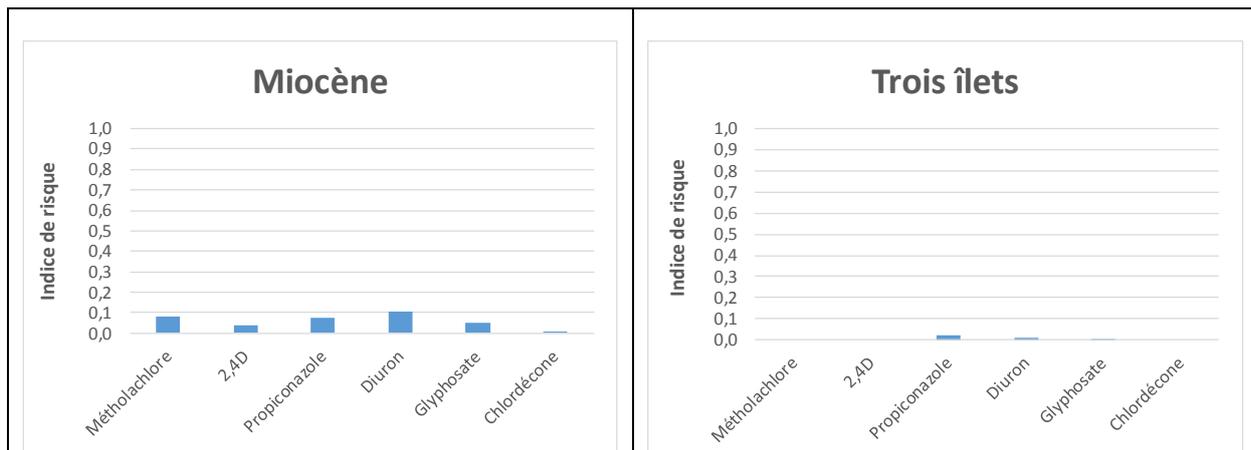
Illustration 21 : Confrontation du risque de contamination par le métochloré (méthode GUS)

Sur le réseau de surveillance, 8 qualitomètres ne présentent pas de dépassement de la LQ en métochloré. Pour les 13 autres qualitomètres, aucun dépassement des normes de qualité n'a été observé. La corrélation entre la qualité de l'eau et la carte de risque n'est pas évidente. Cette molécule utilisée comme désherbant pour la canne est retrouvée sur l'ensemble du territoire. Ce produit a possiblement été utilisé sur d'autres types de cultures.

2.5. INDICE GLOBAL DE TRANSFERT PAR MASSE D'EAU SOUTERRAINE

Les notes de risque (0 à 5) ont été agrégées par masse d'eau souterraine dans le but de calculer un indice global de risque par molécule. Le principe repose sur le calcul du barycentre selon les superficies en jeu. Le risque de contamination des eaux souterraines pour chacune des molécules peut ainsi être comparé à l'échelle de la masse d'eau. Les calculs d'un indice de risque de transfert global pour les molécules d'intérêt à l'échelle de la masse d'eau ont été réalisés et sont présentés dans l'illustration 22.





La somme de ces indices permet de définir un indice global par masse d'eau souterraine pour lequel trois classes sont proposées :

- Indice global faible : Indice MESOUT < 0,5 ;
- Indice global moyen : 0,5 < Indice MESOUT < 1,0 ;
- Indice global fort : Indice MESOUT > 1,0.

Masse d'Eau	Transfert
Pelée-Est	Fort
Pelée-Ouest	Moyen
Jacob-Est	Fort
Carbet	Faible
Jacob Centre	Moyen
Vauclin-Pitault	Faible
Miocène	Faible
Trois îlets	Faible

Illustration 22 : Indices de risque de transfert calculés par molécule et par masse d'eau souterraine

2.6. DÉTERMINATION DE LA PRESSION SIGNIFICATIVE

2.6.1. Croisement pression brute / transfert global

L'évaluation de la pression significative (Illustration 24, Illustration 25) résulte du croisement entre la pression brute agricole (cf. paragraphe 2.2.3, Illustration 8) et le risque de transfert (cf. paragraphe 2.6, Illustration 22) selon la grille ci-après (Illustration 23, Bessière, 2017).

		Indicateur Pression brute		
		Faible	Moyen	Fort
Risque de transfert	Faible	Faible	Faible	Moyen
	Moyen	Faible	Moyen	Fort
	Fort	Faible	Fort	Fort

Illustration 23 : Grille de croisement entre la pression brute et le risque de transfert pour la caractérisation de la pression significative

Masse d'Eau	Pression Brute agricole	Transfert	Pression significative
Pelée-Est	Fort	Fort	Fort
Pelée-Ouest	Faible	Moyen	Faible
Jacob-Est	Fort	Fort	Fort
Carbet	Faible	Faible	Faible
Jacob Centre	Moyen	Moyen	Moyen
Vauclin-Pitault	Moyen	Faible	Faible
Miocène	Moyen	Faible	Faible
Trois ilets	Faible	Faible	Faible

Illustration 24 : Pressions significatives obtenues par masse d'eau

Les pressions significatives les plus élevées sont concentrées dans la partie nord et nord-est de l'île (Illustration 25).

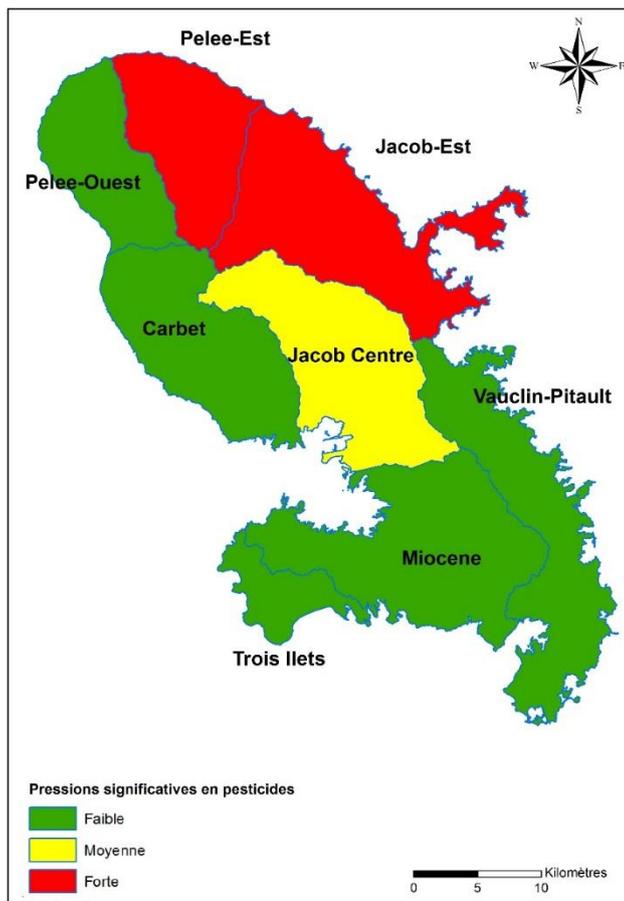


Illustration 25 : Carte des pressions significatives en produit phytosanitaire

2.6.2. Le temps de transfert

Il est fondamental de prendre en considération le problème de la persistance des molécules historiques et de l'existence d'un stock de ces substances dans le sol et/ou la zone non saturée qui pourrait être remobilisé sous certaines conditions. En effet, le temps de transfert peut expliquer les différences observées entre la pression significative et l'impact observé.

En 2007, une étude portant sur la datation des eaux souterraines de Martinique a été réalisée (Vittecoq et al., 2007b). Cette étude avait pour but d'évaluer la vulnérabilité des eaux souterraines et d'améliorer la compréhension des dynamiques de circulation et de transfert des eaux souterraines grâce à la connaissance du temps de résidence des eaux dans les aquifères.

L'illustration 26 présente la répartition géographique des points de mesure. La majorité des eaux jeunes (< 20 ans) se situent dans la partie nord de l'île. Les eaux anciennes (< 1962) sont réparties de manière plus homogène sur l'ensemble du territoire.

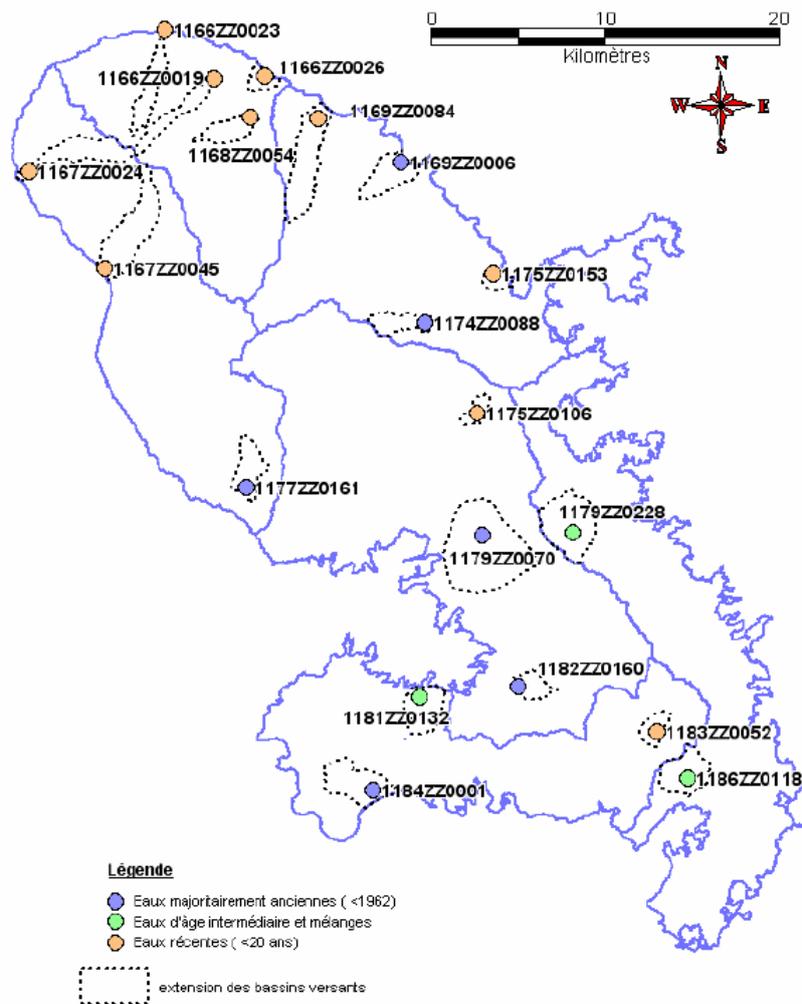


Illustration 26 : Répartition géographique des groupes d'eau souterraine classés en fonction de leur âge (Vittecoq et al., 2007b)

Dans cette étude, trois groupes d'eau, ont pu être mis en évidence :

- Les eaux majoritairement anciennes <1962. Cette catégorie concerne les points La Borelli – Gros Morne (1174ZZ0088), Fond Lahaye – Schoelcher (1177ZZ0161), Habitation ressource – Lamentin (1179ZZ0070), Anse Charpentier – Marigot (1169ZZ0006), Dizac – Diamant (1184ZZ0001) et Nouvelle Cité – Rivière Salée (1182ZZ0160),
- Les eaux majoritairement jeunes d'une vingtaine d'années avec une composante d'eau plus actuelle plus ou moins importante (1988-2002). Cette catégorie concerne les points Source Socco Gradis – Basse Pointe (1166ZZ0019), Source Nord Plage – Macouba (1166ZZ0023), Rivière du pêcheur – Prêcheur (1167ZZ0024), Chalvet – Basse Pointe (1166ZZ0026), Chez Lélène – Basse Pointe (1168ZZ0054), Fond Brûlé – Lorrain (1169ZZ0084), Source Morne Figue – Trinité (1175ZZ0153), Fougainville – Rivière Pilote (1183ZZ0052) et l'usine Yoplait – Vert Prè (1175ZZ0106),
- Les eaux d'âge intermédiaire dont Habitation Victoire – François (1179ZZ0228) et Grand Fond – Le Marin (1186ZZ0118). Ces points présentent une part d'eau « jeune » (une quinzaine d'années) représentant moins de 50% d'un mélange avec des eaux plus anciennes.

L'illustration 27 présente les résultats du croisement entre l'âge de l'eau et les détections de produit phytosanitaire quantifiées durant la campagne qualité de la saison sèche d'avril 2007 sur le réseau de suivi DCE des eaux souterraines (Vittecoq et al., 2007b). Cette illustration répertorie le nombre de détection dépassant le seuil de quantification mesuré au moins une fois durant la campagne d'avril 2007 (pour une liste analytique identique).

Il ressort de ce graphique que les eaux plus jeunes présentent un taux de quantification de produit phytosanitaire plus élevé. La présence de produit phytosanitaire sur les eaux anciennes (< 1962) pourrait s'expliquer par la présence d'infiltration préférentielle d'eau plus récente via des fractures.

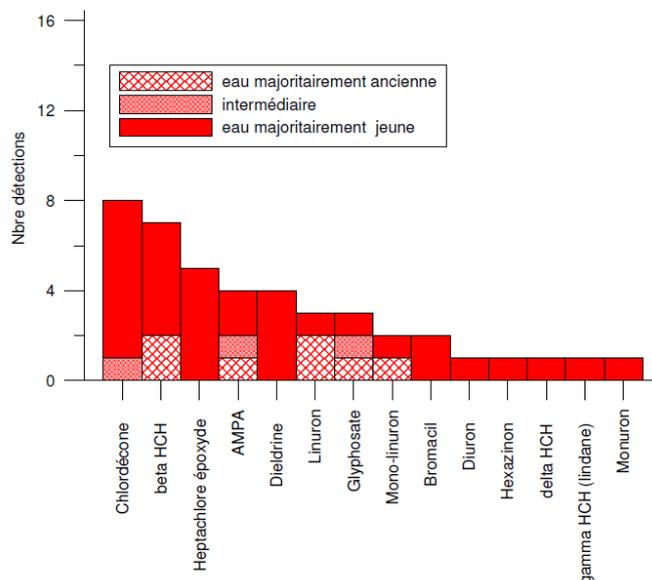
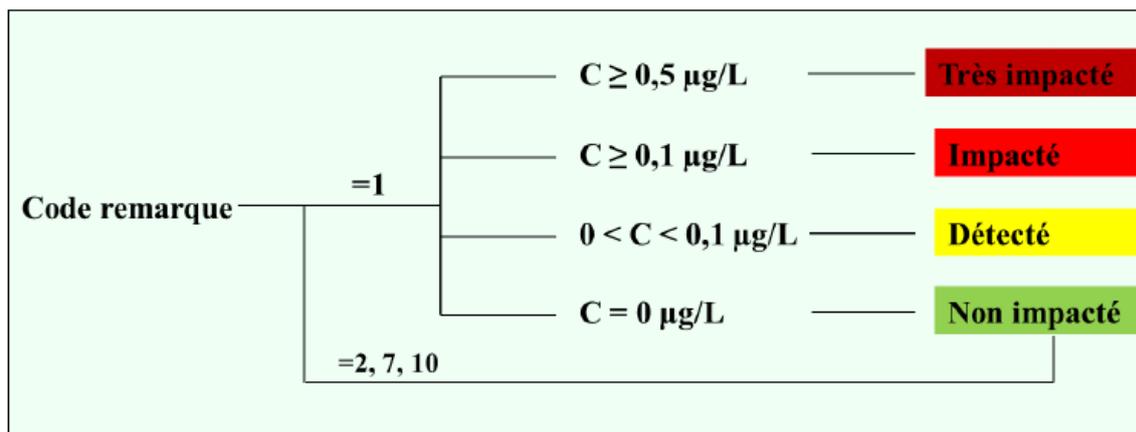


Illustration 27 : Nombre de détections des produit phytosanitaire en fonction de 3 catégories d'âge estimés (Vittecoq et al., 2007b).

2.6.3. Validation de l'analyse pression impact

Un traitement statistique basé sur toutes les analyses disponibles (1993 – 2017) des concentrations en produits phytosanitaires dans les eaux souterraines est réalisé afin de déterminer les secteurs les plus impactés et *in fine* valider les résultats obtenus concernant les pressions significatives. La classification proposée (non impacté, détecté, impacté, très impacté) dépend des concentrations mesurées (Illustration 28).



NB : Code remarque

- 2 = > seuil de détection
- 10 = < seuil quantification
- 0 = analyse non faite
- 1 = domaine de validité
- 7 = traces

Illustration 28 : Principe de classification des analyses (Bessière et Surdyk, 2017),

L'illustration 29 présente le nombre d'analyses classifiées (très impacté, impacté, déecté et non déecté) disponibles sur les différents qualitomètres sur la période 1993 – 2017 en Martinique.

Nbre de qualitomètres	Nbre de paramètres phyto	Nbre d'analyses	Période	Nb d'analyses Très impacté	Nb d'analyses Impacté	Nb d'analyses Déecté	Nb d'analyses Non impacté
67	390	129429	1993 - 2017	459	578	1645	126747

Illustration 29 : Classification des analyses sur la période 1993 – 2017

L'illustration 30 présente sous format cartographique, l'analyse statistique réalisée sur les concentrations en produits phytosanitaires.

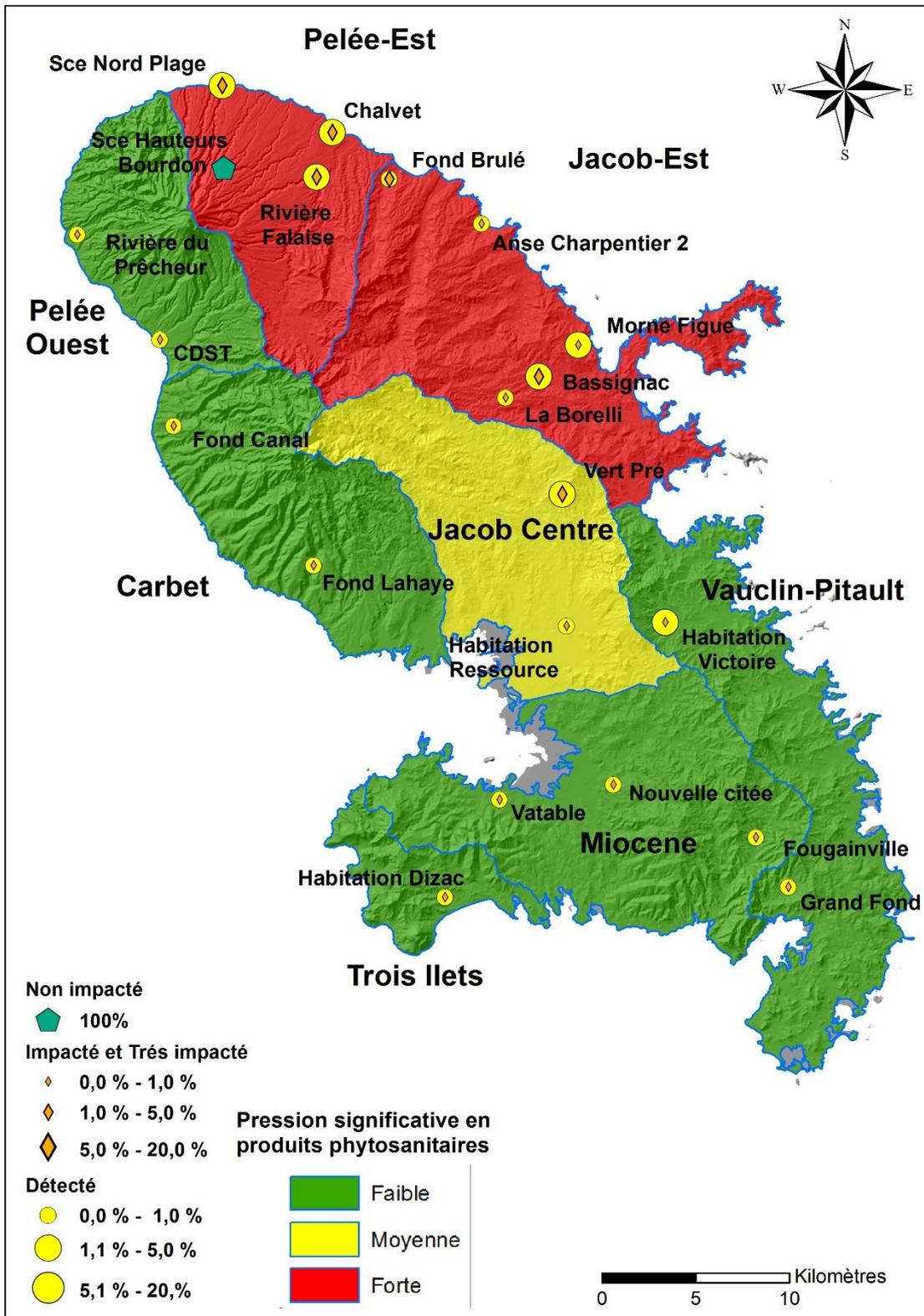


Illustration 30 : Pressions significatives en produit phytosanitaire à l'échelle de la masse d'eau et analyse statistique des concentrations en produits phytosanitaires

L'ensemble des résultats d'analyses statistiques des concentrations depuis 1993 concordent avec la cartographie des pressions significatives établie.

Pour les masses d'eau souterraine Pelée-Ouest, Carbet, Miocène, Trois -Ilets et Vauclin-Pitault une bonne corrélation entre la pression significative et la qualité des eaux souterraines existe. En effet, sur ces trois masses d'eau aucune statistique impacté / très impacté n'a été observée. Seul le qualitomètre Habitation Victoire – Le François présente des dépassements des limites de qualité pour la molécule chlordécone.

Pour la masse d'eau Jacob-Centre, une bonne corrélation existe entre les pressions significatives et la qualité des eaux souterraines. En effet, si le qualitomètre Habitation Ressource présente une eau de bonne qualité *a contrario* le qualitomètre Vert Pré présente des analyses classifiées en impactées et très impactées.

Pour les masses d'eau Pelée-Est et Jacob-Est, la confrontation entre la pression significative et la qualité de l'eau présente de bonnes corrélations. Sur 9 qualitomètres, 5 ouvrages présentent des statistiques moyennes sur le critère impacté / très impacté

3. Pression impact du nitrate sur les masses d'eau souterraine

3.1. MÉTHODOLOGIE APPLIQUÉE

La réalisation du lien pression impact nitrate pour les eaux souterraines de la Martinique s'appuie sur la méthodologie définie par Surdyk et Bessière (2017) et se décline en trois étapes:

- La première étape consiste à calculer la pression azotée agricole en s'appuyant sur une évaluation des pressions azotées des différentes occupations du sol ;
- La seconde étape consiste à déterminer si la pression peut atteindre la nappe. Il s'agit de calculer la susceptibilité de transfert de l'eau et les capacités d'atténuation des concentrations en nitrate ;
- Enfin, la dernière étape consiste à croiser la pression brute calculée et les susceptibilités de transfert. Il est ainsi possible d'estimer une pression significative sur la masse d'eau souterraine.

3.2. ETAPE 1 : CALCUL DE LA PRESSION BRUTE NITRATE

Le nitrate peut provenir de diverses origines. Les deux principales origines identifiées en Martinique sont agricoles et urbaines.

L'ion nitrate est une forme oxydée de l'azote. Cet ion peut être naturellement présent dans les eaux souterraines via les transferts sol/végétation. Les sources anthropiques sont essentiellement liées à l'agriculture et aux rejets domestiques. Il est admis qu'une concentration en nitrate supérieure à 10 mg/l traduit un apport anthropique. Sur le réseau de surveillance DCE, 8 points présentent des concentrations supérieures à 10mg/l.

Seules les pressions diffuses d'origine agricole sont prises en compte. Le lien pression impact pour les nitrates d'origine agricole exclut les contaminations issues d'activités industrielles liées à la production d'engrais ou les rejets directs de STEU¹ ou ANC².

Afin d'affecter une gamme de pression, ou note, à un groupement de cultures, il faut en connaître les pratiques agronomiques. Les gammes de pression sont définies pour chaque parcelle selon cinq classes (Surdyk et Bessière, 2017) : très fort (note 5), fort (note 4), moyen (note 3), faible (note 2), très faible (note 1) (Illustration 31). Cette notation prend en compte les pratiques culturales de fertilisation en fonction de la consommation de la plante ainsi que du cycle de la culture.

¹ STEU : Station de Traitement des Eaux Usées

² ANC : Assainissement Non Collectif

Groupements de cultures	Cultures	Note pression
Arboriculture	agrumes, banane, café, ananas	5
Legumes-fleurs	pomme de terre, légumes de plein champ, maraîchage sous serre, fleurs	4
Canne à sucre		4
Fourrage		3
Prairies temporaires		3
Prairies permanentes	prairies naturelles, prairies permanentes de plus de 5 ans	2
Autres cultures industrielles		2
Vergers		2
Vignes		2
Maïs grain et ensilage		2
Autres céréales		1
Autres oleagineux		1
Protéagineux		1
Autres gels	gel vert, gel légumineuse	1
Riz		1
Estives landes		1
Fruit à coque		1
Divers	autres cultures, bois, cultures énergétiques, haies, mare	1

Illustration 31 : Notes des pressions en nitrate appliquées aux cultures, fort = 5 et très faible = 1 (Surdyk et Bessièrre, 2017)

Pour chaque parcelle du RPG 2017, les notes de pression brute nitrate ont été appliquées aux cultures correspondantes (Illustration 32).

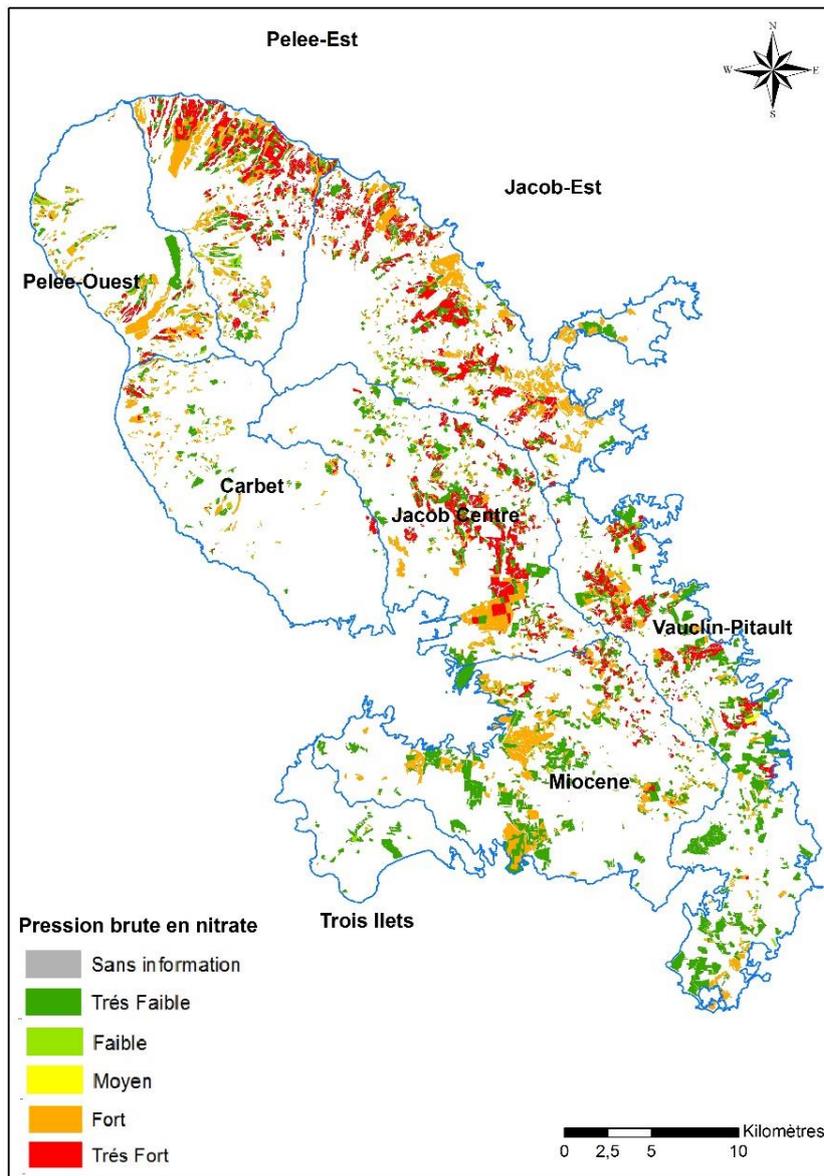


Illustration 32 : Carte des gammes de pression brute nitrate appliquée à la parcelle

L'agrégation à l'échelle de la masse d'eau souterraine somme les notes de chaque parcelle pondérée de leur surface par rapport à la surface totale de la masse d'eau souterraine (formule ci-dessous, Surdyk et Bessièrre, 2017). Plus une parcelle est grande et plus son impact sur la MESOUT sera important.

$$Note_{Masse\ d'eau} = \frac{\sum Note_{parcelle\ n} \times Surface_{parcelle\ n}}{Surface_{Totale\ agricole\ de\ la\ MESO}}$$

Avec :

Note_{MasseEau} : Note moyenne de la pression pour la masse d'eau ;

Note_{parcelle} : Note de la pression pour une parcelle ;

Surf_{parcelle} : Surface de la parcelle ;

Surf_{TotaleAgr} : Surface totale agricole de la MESOUT

Les notes obtenues via la méthode d'agrégation (Illustration 33) qualifient trois niveaux de pression brute en nitrate :

- Pression brute en nitrate faible : $Note_{Masse\ d'eau} < 2$;
- Pression brute en nitrate moyenne : $2 < Note_{Masse\ d'eau} < 3$;
- Pression brute en nitrate forte : $3 < Note_{Masse\ d'eau}$.

Masse d'eau souterraine	Surfaces Pondérées km ²	Note
Pelee-Est	33,82	3,65
Pelee-Ouest	13,23	3,09
Jacob-Est	40,30	3,62
Carbet	7,98	2,94
Jacob Centre	34,46	3,23
Vauclin-Pitault	40,48	2,31
Miocène	38,80	2,44
Trois Ilets	2,00	1,13

Illustration 33 : Notes et classe de la pression brute nitrate agricole calculées pour chaque masse d'eau (rouge = forte ; jaune = moyenne, vert = faible)

Seule la masse d'eau Trois-Ilets présente une pression brute en nitrate faible. Les masses d'eau Miocène, Carbet et Vauclin-Pitault révèlent une pression brute en nitrate moyenne. Les quatre dernières masses d'eau Pelée-Est, Pelée-Ouest, Jacob-Centre et Jacob-Est présentent une pression brute en nitrate forte. Les notes appliquées à chaque masse d'eau sont représentatives des pratiques culturales et des disparités agricoles qui existent entre le nord et le sud de l'île.

3.3. ETAPE 2 : SUSCEPTIBILITÉ DE TRANSFERT DE L'EAU

Le transfert de polluant du sol vers la nappe est régi par deux principaux facteurs : les flux d'eau et la possibilité d'infiltration.

Pour cette étape, les nitrates seront assimilés à un polluant. Pour évaluer la susceptibilité de transfert des nitrates en fonction des formations géologiques la cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des nappes d'eau souterraine a été utilisée (Vittecoq et al., 2007a). Cette étude permet de distinguer les zones ayant une infiltration forte de celles où le ruissellement est fort.

3.3.1. Vulnérabilité des eaux souterraines

Les secteurs présentant la plus forte vulnérabilité sont les aquifères situés dans des formations à fortes perméabilités comme les nuées ardentes et ponces présentes autour de la Montagne Pelée et les nappes alluviales accompagnant les principaux cours d'eau. A l'inverse les secteurs à vulnérabilité plus faible sont situés dans des formations peu perméables comme les brèches et conglomérats (cf. Illustration 34).

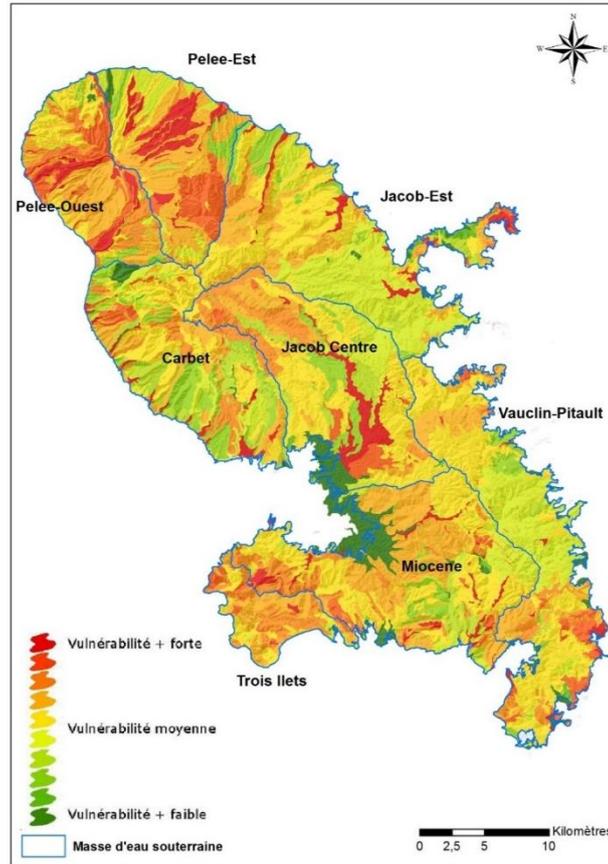


Illustration 34 : Carte de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines (Vittecoq et al., 2007a)

La vulnérabilité de la masse d'eau souterraine résulte du produit des vulnérabilités des unités de traitement pondéré des surfaces de ces unités :

$$Vulnérabilité_{Masse\ d'eau} = \frac{\sum Vul_{unité\ n} \times Surface_{unité\ n}}{Surface_{MESO}}$$

Avec :

$Vulnérabilité_{Masse\ d'eau}$ = infiltration (moyenne) de la masse d'eau,

$Vul_{Unité}$ = infiltration de l'unité de traitement,

$Surf_{Unité}$ = surface de l'unité de traitement,

$Surf_{MESO}$ = surface de la masse d'eau

Les notes les plus faibles (qui tendent vers 0) représentent les formations les moins sensibles à l'infiltration et les moins vulnérables. A l'opposé, les valeurs les plus fortes représentent les formations les plus sensibles à l'infiltration et les plus vulnérables (Illustration 35).

Avec un indice compris entre 50 et 70, les notes de vulnérabilité sont sur un faible intervalle (cf. Illustration 36) et traduisent une susceptibilité au transfert moyenne à forte en fonction des masses d'eau souterraine. Les masses d'eau Pelée-Est, Pelée-Ouest et Trois-Ilet présentent une susceptibilité de transfert plus élevées.

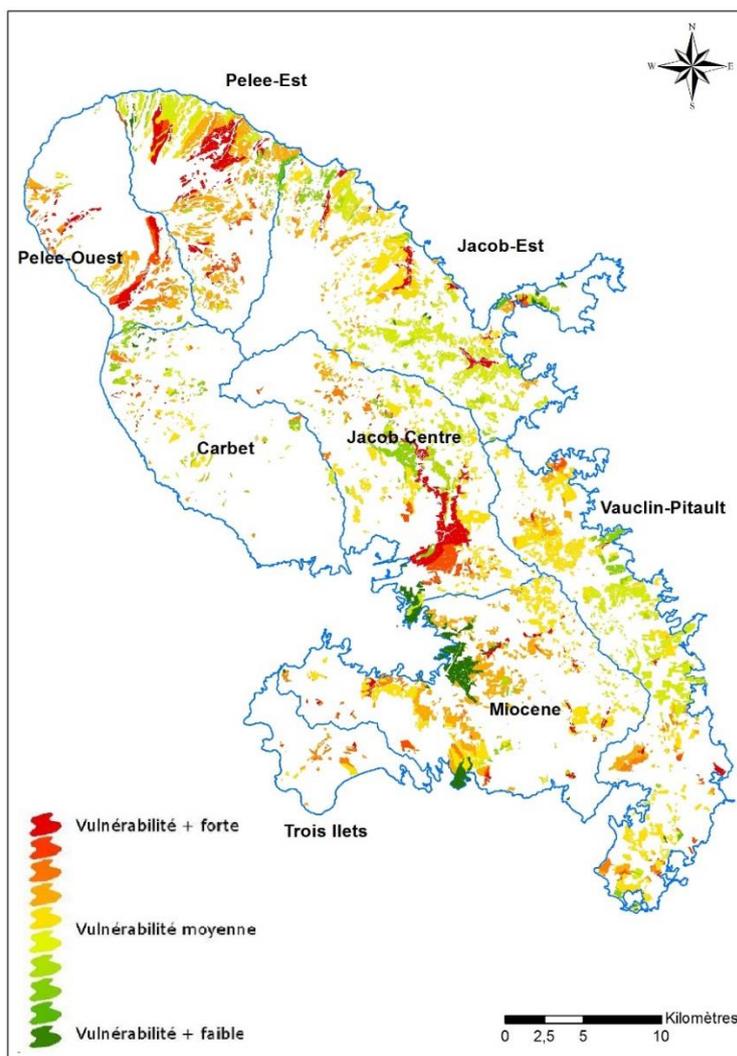


Illustration 35 : Découpage de la vulnérabilité selon le RPG 2017.

Masse d'eau	Note	Susceptibilité de transfert
Pelée-Est	65,78	FORT
Pelée-Ouest	68,04	FORT
Jacob-Est	52,08	MOYEN
Carbet	50,68	MOYEN
Jacob-Centre	54,97	MOYEN
Miocène	55,05	MOYEN
Vauclin-Pitault	53,65	MOYEN
Trois- îlet	66,26	FORT

Illustration 36 : Susceptibilité de transfert des masses d'eau souterraine

3.3.2. Facteur d'atténuation

La dénitrification

Lors de l'infiltration des eaux du sol vers la nappe une diminution des concentrations en nitrate peut être possible par dénitrification naturelle ou dilution.

Pour évaluer l'existence de conditions potentiellement dénitrifiantes, l'utilisation d'un arbre de classification prédictive du phénomène de dénitrification a été nécessaire (Hinkle et Tesoriero, 2014). Des conditions réductrices étant favorables à la dénitrification, les paramètres sensibles aux processus d'oxydo-réduction (RedOx), comme le fer, le manganèse et l'oxygène dissous sont utilisés pour évaluer ce facteur d'atténuation. Cette méthode a été appliquée sur chaque points d'eau disposant de suffisamment de données (cf. Illustration 37).

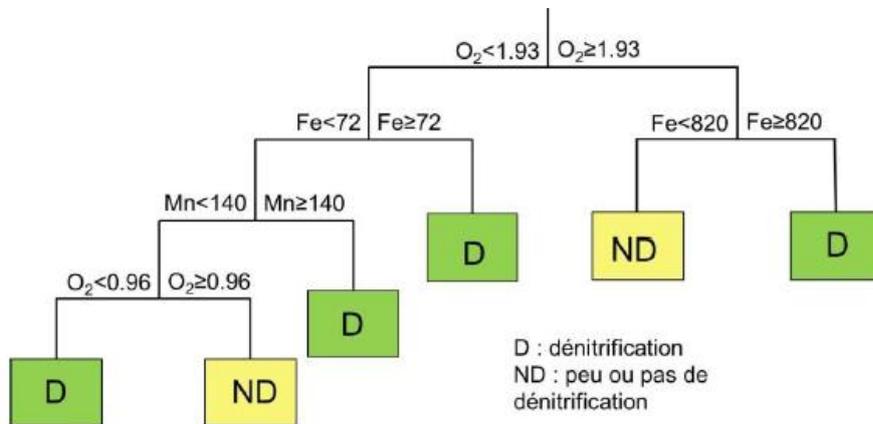


Illustration 37 : Arbre de classification appliqué à l'ensemble des qualitomètres (Hinkle et Tesoriero, 2014)

L'application de l'arbre de décision montre que les points Anse Charpentier 2 - Marigot, Fond Lahaye - Schoelcher, Fond Canal - Carbet et Nouvelle Citée – Rivière Salée sont potentiellement en conditions dénitrifiantes. L'illustration 38 présente les médianes des éléments impactés par les conditions d'oxydo-réduction (RedOx).

n°BSS	Commune	Lieu dit	Oxygène dissous	Fer	Manganèse	Potentiel REDOX
1169ZZ0184	Marigot	Anse Charpentier 2	0,62 mg/l	0,03 mg/l	0,20 mg/l	125,0
1177ZZ0177	Schoelcher	Fond Lahaye	0,77 mg/l	0,04 mg/l	0,19 mg/l	121,00
1172ZZ0063	Carbet	Fond Canal	0,32 mg/l	8,40 mg/l	0,93 mg/l	-90,00
1182ZZ0160	Rivière Salée	Nouvelle Citée	0,35 mg/l	0,04 mg/l	0,07 mg/l	-69,00

Illustration 38 : Médianes du potentiel redox et des concentrations en oxygène dissous, en fer et en manganèse des forages présentant des conditions potentiellement dénitrifiantes

Représentativité à la masse d'eau

Pour déterminer le facteur d'atténuation à l'échelle de la masse d'eau, il est nécessaire de disposer au minimum de cinq points sur la masse d'eau. Si plus de 70% des points suivis sont potentiellement dénitrifiés, on considère alors une atténuation probable des concentrations en nitrate par dénitrification pour la masse d'eau. Si moins de 70% des points suivis sur la masse d'eau sont potentiellement dénitrifiés, la dénitrification est considérée comme locale (le facteur d'atténuation est donc considéré comme fort).

Au vu du nombre de piézomètres se trouvant en situation potentiellement dénitrifiante par masse d'eau, aucune masse d'eau ne se trouve en situation potentiellement dénitrifiante. L'illustration 39 synthétise les résultats obtenus pour l'évaluation du facteur d'atténuation dénitrification.

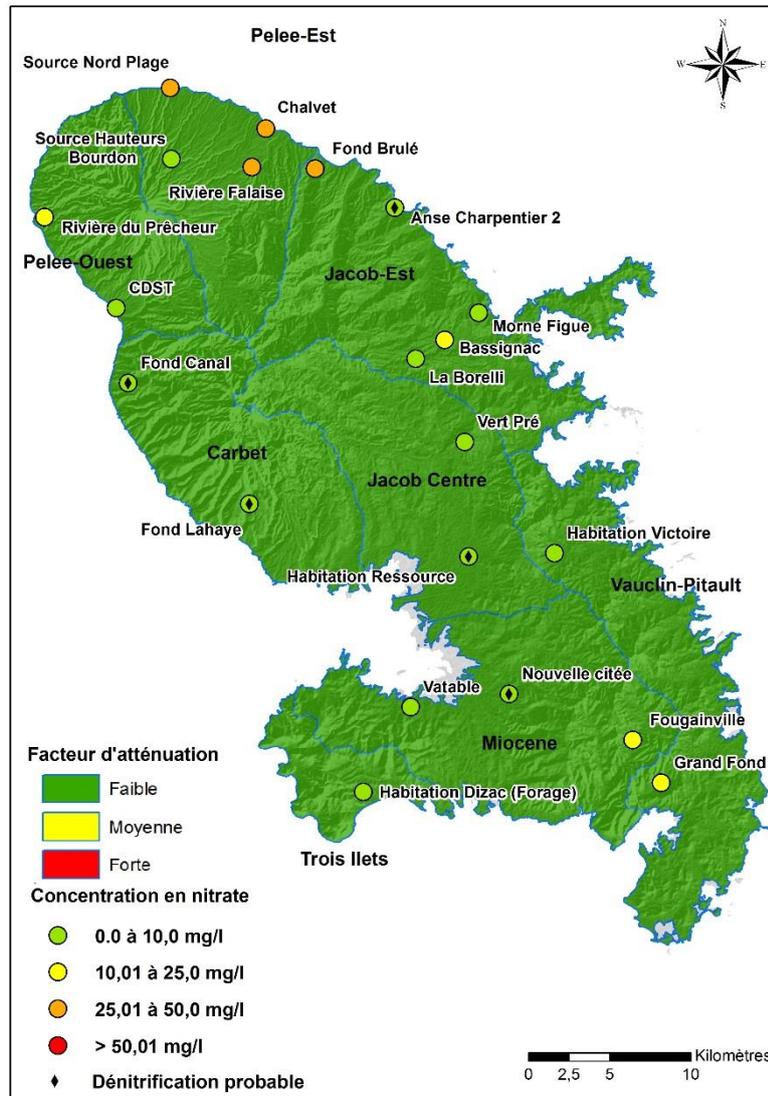


Illustration 39 : Croisement du facteur d'atténuation et des résultats de dénitrification potentielle. Les concentrations en nitrates sont des Mma

3.3.3. Susceptibilité de transfert totale par masse d'eau souterraine

La susceptibilité de transfert totale par masse d'eau souterraine (Illustration 40) croise la susceptibilité de transfert d'eau (moyenne à forte, cf. Illustration 36) et le facteur d'atténuation (Faible, cf. Illustration 39) selon la méthodologie définie par Surdyk et Bessière, 2017.

La susceptibilité de transfert totale est ainsi forte quelle que soit la masse d'eau souterraine (Illustration 41)

		Classe de Facteur d'atténuation		
		Faible	Moyenne	Forte
Susceptibilité de transfert d'eau	Forte (infiltration majoritaire)	Forte susceptibilité de transfert	Forte susceptibilité de transfert	Moyenne susceptibilité de transfert
	Moyenne	Forte susceptibilité de transfert	Moyenne susceptibilité de transfert	Faible susceptibilité de transfert
	Faible (ruissellement majoritaire)	Faible susceptibilité de transfert	Faible susceptibilité de transfert	Faible susceptibilité de transfert

Illustration 40 : Grille du croisement entre la susceptibilité de transfert d'eau et la classe de facteur d'atténuation pour définir la susceptibilité de transfert total

Masse d'eau	Classe de facteur d'atténuation	Susceptibilité de transfert	Suseptibilité de transfert total
Pelée-Est	Faible	Fort	Fort
Pelée-Ouest	Faible	Fort	Fort
Jacob-Est	Faible	Moyen	Fort
Carbet	Faible	Moyen	Fort
Jacob-Centre	Faible	Moyen	Fort
Miocène	Faible	Moyen	Fort
Vauclin-Pitault	Faible	Moyen	Fort
Trois- îlet	Faible	Fort	Fort

Illustration 41 : Susceptibilité de transfert total par masse d'eau souterraine

3.4. ETAPE 3 : DÉTERMINATION DE LA PRESSION SIGNIFICATIVE EN NITRATE

L'évaluation de la pression significative en nitrate (Illustration 43 et Illustration 47) par masse d'eau souterraine résulte du croisement de la susceptibilité de transfert total (Illustration 41) avec la pression brute nitrate (Illustration 33) selon la méthode de Surdyk et Bessière (2017, (Illustration 42).

		Susceptibilité de transfert (Transfert +atténuation)		
		Haute	Moyenne	Faible
Pression brute	Haute	Fortes pressions significatives	Moyenne pressions significative	Faibles pressions significatives
	Moyenne	Moyenne pressions significative	Moyenne pressions significative	Faibles pressions significatives
	Faible	Faibles pressions significatives	Faibles pressions significatives	Faibles pressions significatives
	Sans	Pressions non significatives	Pressions non significatives	Pressions non significatives

Illustration 42 : Grille du croisement entre la pression brute et la susceptibilité de transfert pour définir la pression significative finale en nitrate par masse d'eau souterraine (Surdyk et Bessière, 2017).

Masse d'eau	Suseptibilité de transfert total	Pression brute	Pression significative
Pelée-Est	Fort	Forte	Forte
Pelée-Ouest	Fort	Forte	Forte
Jacob-Est	Fort	Forte	Forte
Carbet	Fort	Moyenne	Moyenne
Jacob-Centre	Fort	Forte	Forte
Miocène	Fort	Moyenne	Moyenne
Vauclin-Pitault	Fort	Moyenne	Moyenne
Trois- îlet	Fort	Faible	Faible

Illustration 43 : Evaluation de la pression significative brute en nitrate par masse d'eau souterraine

3.4.1. Temps de transfert et âge de l'eau

Une étude portant sur la datation des eaux souterraines a été réalisée par Vittecoq et al., 2007b. Cette étude avait pour but d'évaluer la vulnérabilité des eaux souterraines et d'améliorer la compréhension des dynamiques de circulation et de transfert des eaux souterraines grâce à la connaissance du temps de résidence des eaux dans les aquifères (cf. § 2.7.2 « Le temps de transfert »). Une corrélation apparaît entre les concentrations en nitrate et l'âge des eaux souterraines (Illustration 44, Vittecoq et al., 2007b).

Les eaux d'âge « intermédiaire », mélanges entre une eau ancienne (< 1962) et une eau d'une vingtaine d'années présentent des concentrations en nitrate proches des teneurs considérées comme d'origine naturelle. Toutefois, pour 4 points (en vert sur l'illustration 44), Diamant, Gros Morne Lamentin et Marigot, il est possible que la dénitrification explique ces faibles teneurs en nitrate.

Pour les eaux les plus récentes, il y a une grande variabilité dans les concentrations en nitrate (de 0 à 47 mg/l). Certaines eaux ont des concentrations faibles en nitrate soit à la suite de processus de dénitrification, ou soit soumises à de faibles ou à l'inverse à de très récents apports anthropiques. Les concentrations les plus élevées sont mesurées dans les eaux souterraines les plus jeunes.

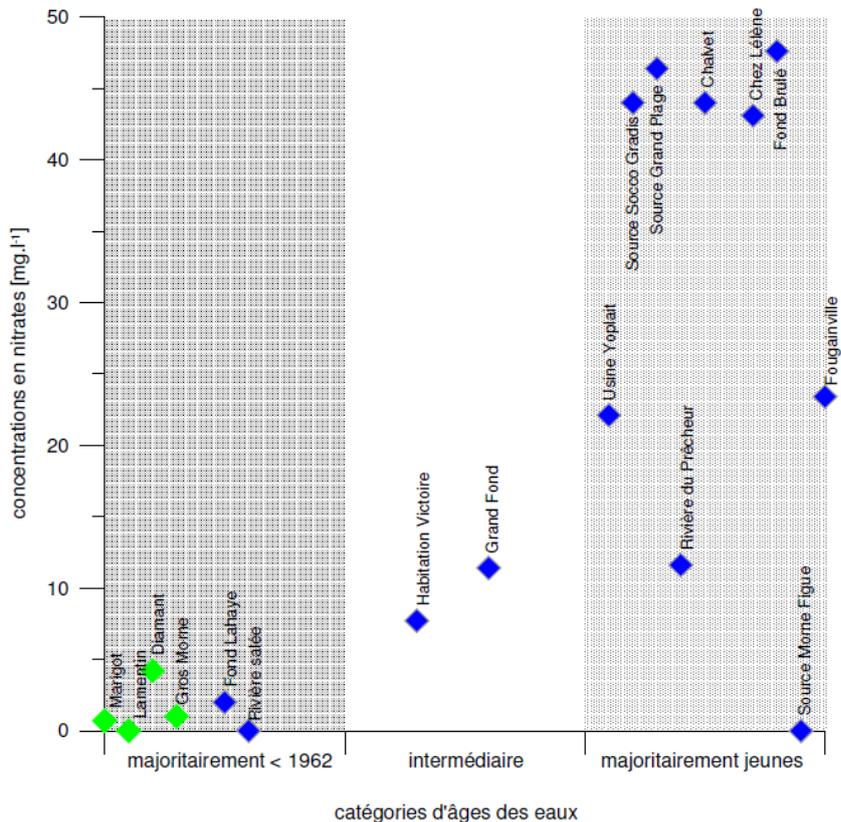


Illustration 44 : Concentrations en nitrate en fonction de l'âges des eaux (Vittecoq et al., 2007b), en vert, points d'eau où la dénitrification pourrait expliquer les faibles concentrations mesurées

3.4.2. Evolution des pressions avec évolution de la SAU

L'évolution des surfaces agricoles en Martinique montre une baisse générale de la surface agricole utile. Tout en conservant les mêmes proportions, les cultures de banane et de canne à sucre baissent en superficie (Illustration 45). Ainsi, la moitié de la SAU a été perdue. De fait, la pression en intrant agricole et nitrate est susceptible d'être également en baisse.

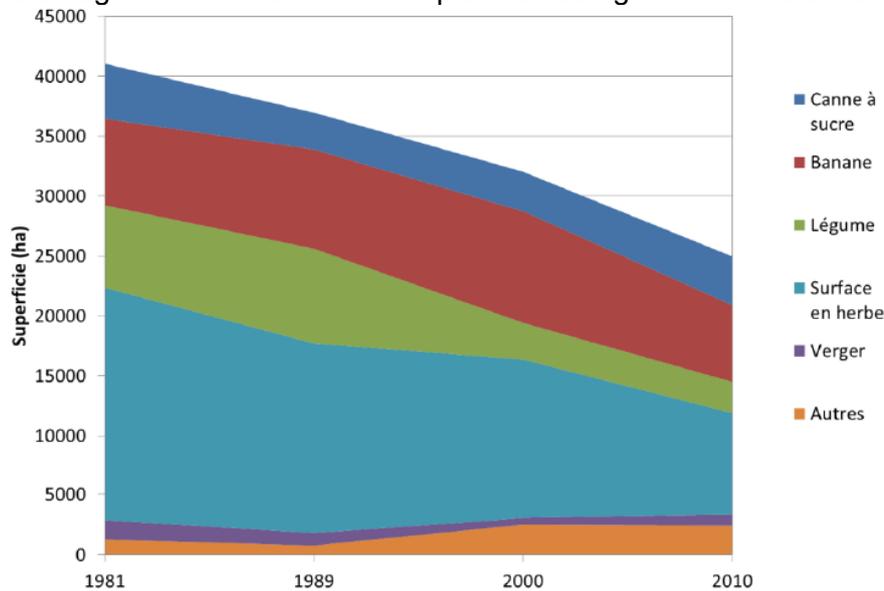


Illustration 45 : Evolution des surfaces agricoles en Martinique (Surdyk et Bessière, 2017).

Néanmoins, les cultures les moins consommatrices en nitrate comme les surfaces en herbe sont celles dont la perte de superficie a été la plus importante. La surface n'est donc pas un indicateur direct de la pression mais elle peut être prise en compte pour comprendre l'évolution de la pression.

3.4.3. Validation de l'analyse pression impact

L'illustration 47 présente la comparaison entre les pressions significatives et les concentrations en nitrate. La concentration en nitrate est un indicateur de la vulnérabilité d'un aquifère. La majorité des qualitomètres avec des concentrations supérieures à 10 mg/l sont implantés dans des aquifères d'âge récents (< 20 ans). Les points concernés par cette situation sont : Rivière du Prêcheur - Prêcheur, Nord Plage - Macouba, Rivière Falaise – Basse Pointe, Chalvet – Basse Pointe, Fond Brulé - Lorrain, et Fougainville – Rivière Pilote. A l'inverse les ouvrages présentant des concentrations inférieures à 10mg/l captent des eaux anciennes.

Les plus fortes concentrations en nitrate se trouvent essentiellement dans les zones agricoles du Nord Atlantique.

L'évolution des concentrations en nitrate (Illustration 46) des 4 qualitomètres du réseau DCE les plus impactés par les nitrates (Chalvet, Nord Plage, Fond Brulé et Rivière Falaise), tous situés au nord de l'île, montre une tendance générale à la baisse des concentrations à l'exception du forage de Prêcheur – Rivière du Prêcheur où la tendance est à la hausse. Les concentrations mesurées sur ce forage dépassent 10 mg/l à partir de 2012 pour atteindre 30 mg/l en 2017.

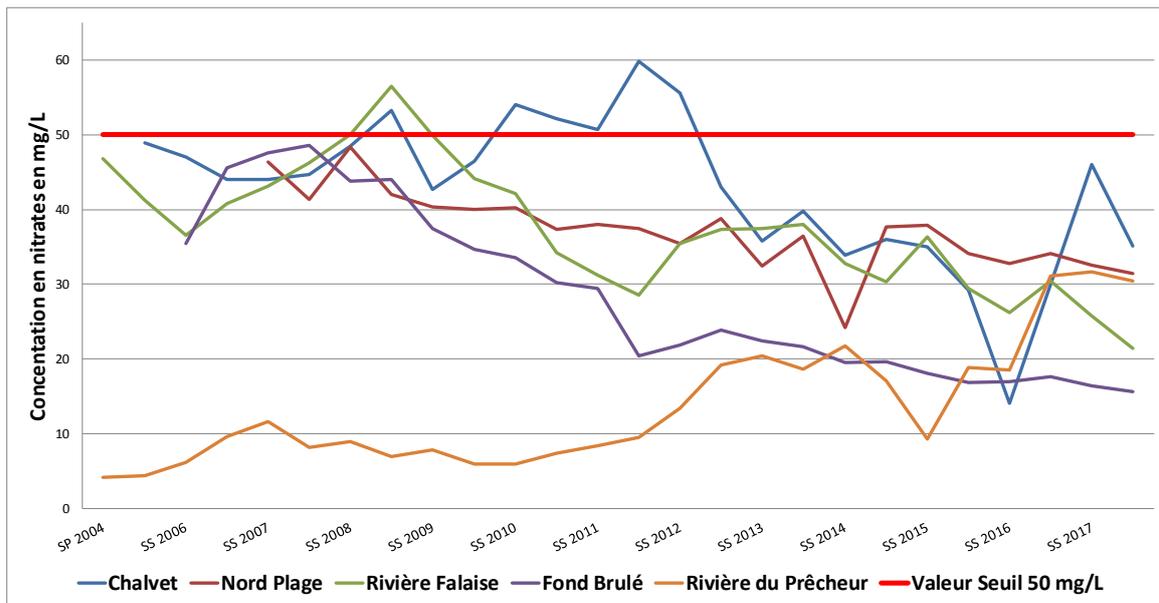


Illustration 46 : Evolution des concentrations en nitrate des qualitomètres du réseau DCE les plus impactés par les nitrates.

Une bonne corrélation entre les concentrations en nitrate et la pression significative évaluée précédemment apparait. En effet, les concentrations en nitrate les plus élevées sont situées dans les masses d'eau nord de l'île ou les pressions significatives sont les plus importantes.

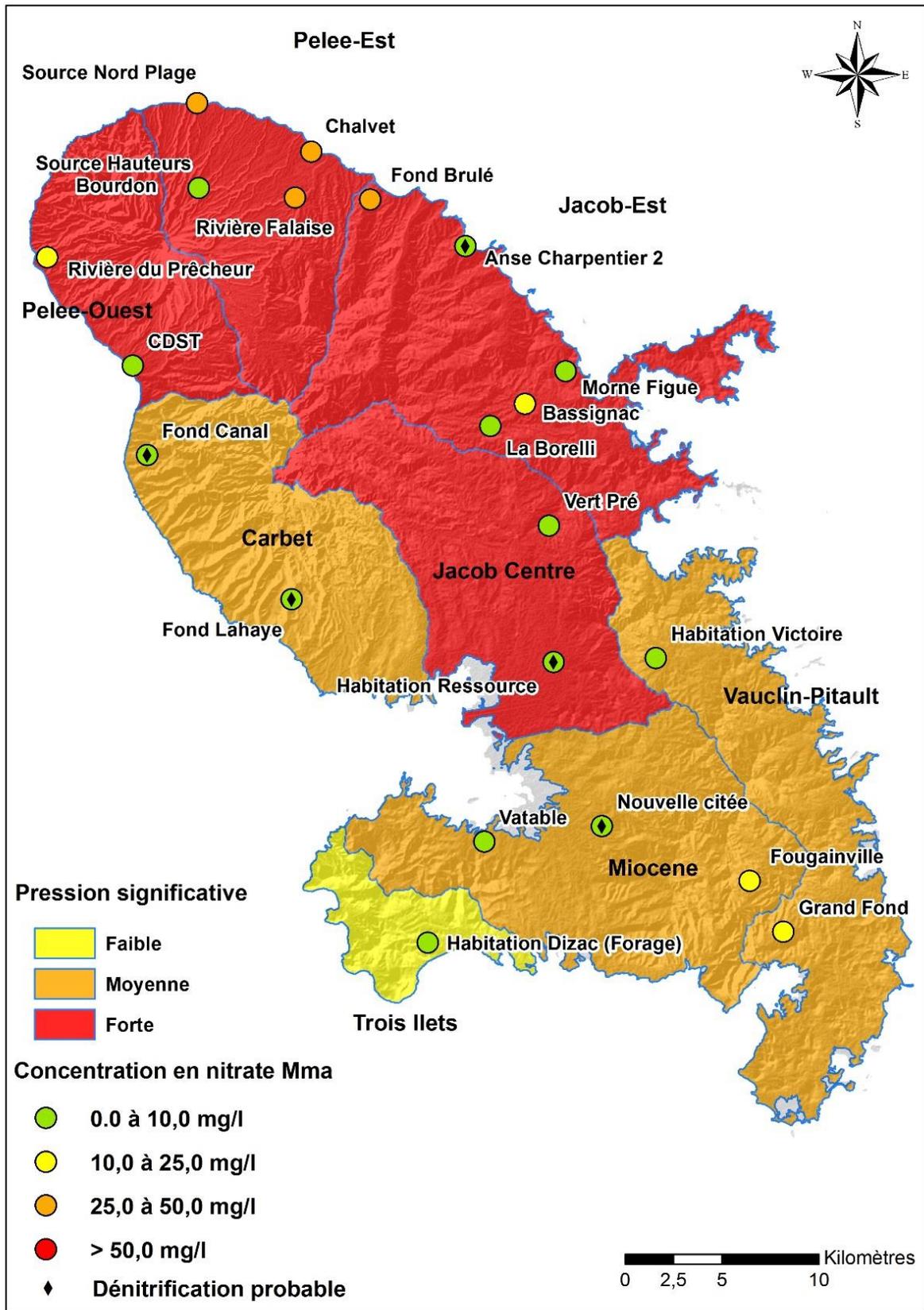


Illustration 47 : Pressions significatives en nitrate par masse d'eau souterraine (Illustration 43) et Mma des concentrations en nitrate

4. Identification des pressions théoriques induites par les activités industrielles

4.1. MÉTHODOLOGIE APPLIQUÉE

La méthodologie pour l'évaluation des pressions théoriques induites par les activités industrielles (Bessière, 2016) suit les étapes listées ci-dessous :

- Croisement des différentes sources d'informations sur les pressions industrielles avec l'interrogation des bases de données BASIAS³ (Base de données des Anciens Sites Industriels et Activités de Services), BASOL⁴ (Base de données sur les sites et SOLs pollués (ou potentiellement pollués)) et ICPE (Installation Classée pour la Protection de l'Environnement),
- Croisement de la qualité des eaux souterraines avec les informations sur les fonds géochimiques naturels (pour les micropolluants minéraux : Al, As, Ba, Br, Cd, Cl, Cr, Cu, Fe, Mn, NH₄, Ni, Pb, Se, Na, SO₄, Zn) ;
- Utilisation de la matrice « activités-polluants » (Aubert et Koch-Mathian, 2014)
- Caractérisation du lien pression impact.

4.2. EXPLOITATION DES BASES DE DONNÉES

4.2.1. Base de données BASIAS

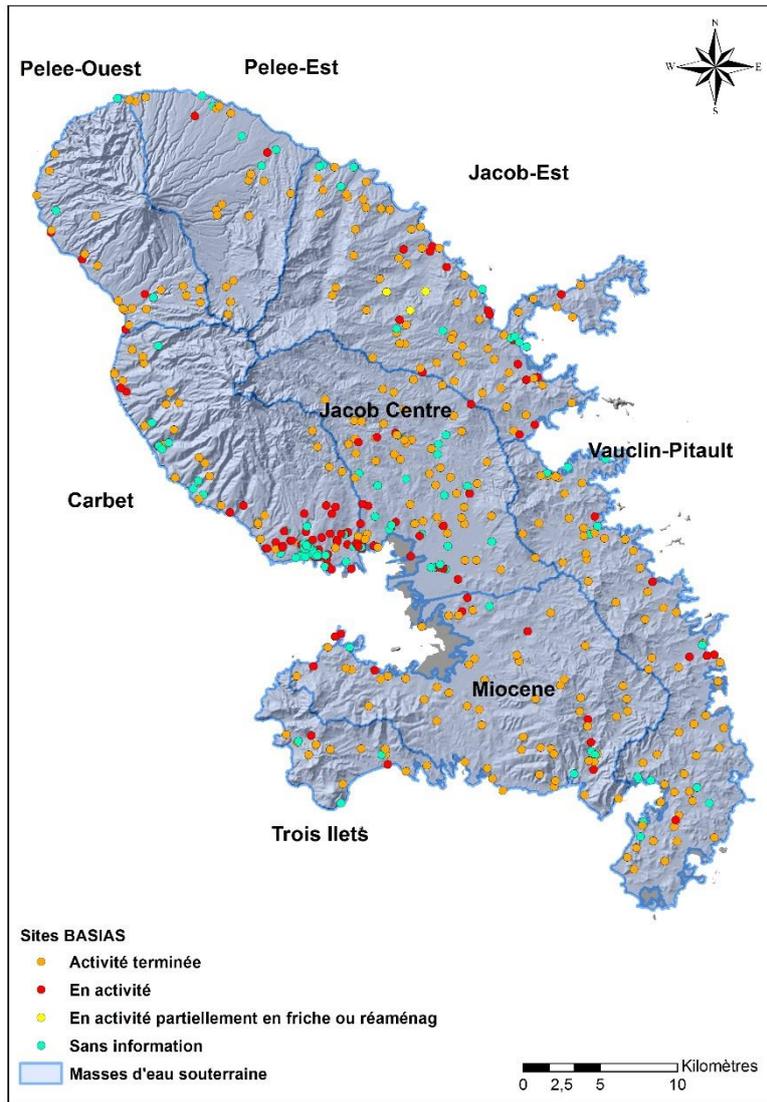
BASIAS est la base de données nationale gérée par le BRGM des Inventaires Historiques Régionaux (IHR). Elle recense les sites industriels pollués ou susceptibles de l'être. Une extraction de la base de données BASIAS a été réalisée via le site <http://www.georisques.gouv.fr> et permet de cartographier l'ensemble des sites (Illustration 48) en fonction de leur état d'occupation.

Sur les 721 sites (cf. Illustration 48), 56 activités différentes ont été recensées. Les activités les plus représentées sur le territoire sont :

- La production de boissons alcooliques distillerie et liqueurs avec 354 sites (code NAF C11.01)
- Commerce de gros, de détail, de desserte de carburants en magasin spécialisé (station service de toute capacité de stockage) 105 sites (code NAF G47.30Z)
- Dépôt d'immondices, dépotoir, vidanges (ancienne appellation des déchets ménagers avant 1945) 53 sites (code naf E38.42Z)

³ <http://www.georisques.gouv.fr/dossiers/inventaire-historique-des-sites-industriels-et-activites-de-service-basias/>

⁴ <https://basol.developpement-durable.gouv.fr/>



Activité terminée	En activité	En activité et partiellement en friche	En activité et partiellement réaménagé	Ne sais pas	Sans information
394	143	1	3	149	31

Illustration 48 : Etat d'occupation des 721 sites Basias recensés en Martinique

4.2.2. Base de données BASOL

BASOL est une base de données nationale qui répertorie plusieurs milliers de sites et sols pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif. En Martinique, 46 sites sont identifiés (Illustration 49).

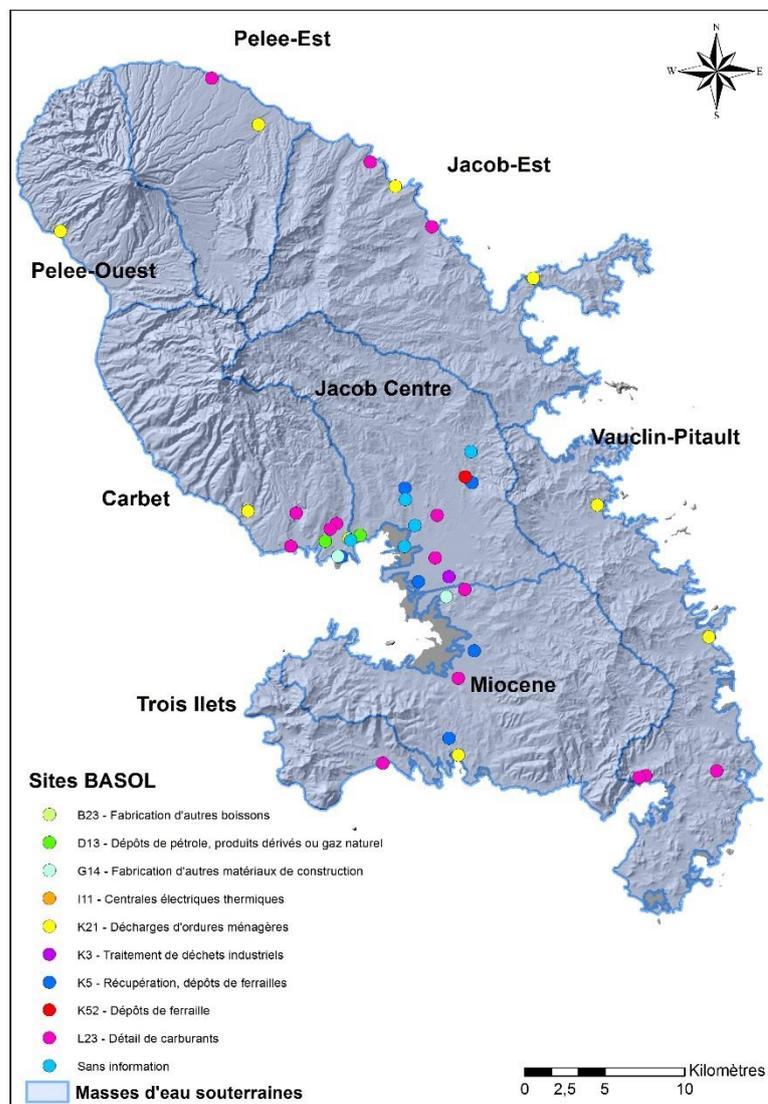


Illustration 49 : Cartographie des 46 sites BASOL

Sur les 46 sites, 9 activités différentes ont été recensées. Les activités les plus représentées sur le territoire sont :

- Détail de carburant, 15 sites (code activité L23)
- Récupération, dépôt de ferrailles, 7 sites (code activité K5)
- Décharges d'ordures ménagères, 6 sites (code activité K21)

Les principaux polluants recensés dans Basol (seuls ou en mélange) sont présentés dans l'illustration 50.

Principaux polluants recensés dans BASOL	
Métaux et métalloïdes	Familles de substances organiques et autres
Arsenic (As)	Sulfates (SO4)
Baryum (Ba)	Chlorures (Cl)
Cadmium (Cd)	Ammonium (N)
Cobalt (Co)	BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylène)
Chrome (Cr)	TCE (TriChloroEthylène)
Cuivre (Cu)	Hydrocarbures
Mercuré (Hg)	H.A.P. (Hydrocarbures Aromatiques Polycyclique)
Molybdène (Mo)	Cyanures
Nickel (Ni)	PCB-PCT (PolyChloroBiphényle- PolyCloroTerphényle)
Plomb (Pb)	Solvants halogénés
Sélénium (Se)	Solvants non halogénés
Zinc (Zn)	Produits phytosanitaires

Illustration 50 : Liste des principaux polluants dans les sols et nappes recensés dans BASOL

4.2.3. Base de données ICPE

Les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement concernent toute exploitation industrielle ou agricole susceptible de créer des risques ou de provoquer des pollutions ou nuisances, notamment pour la sécurité et la santé des riverains. En fonction de l'importance des risques ou des inconvénients qui peuvent être engendrés, les installations ICPE relèvent de différentes nomenclatures énumérées ci-dessous :

- Autorisation : pour les installations présentant les risques ou pollutions les plus importants. Les sites Seveso sont comptabilisés dans les établissements autorisés ;
- Enregistrement : visant des secteurs pour lesquels les mesures techniques pour prévenir les inconvénients sont bien connues et standardisées ;
- Déclaration : pour les activités les moins polluantes et les moins dangereuses.

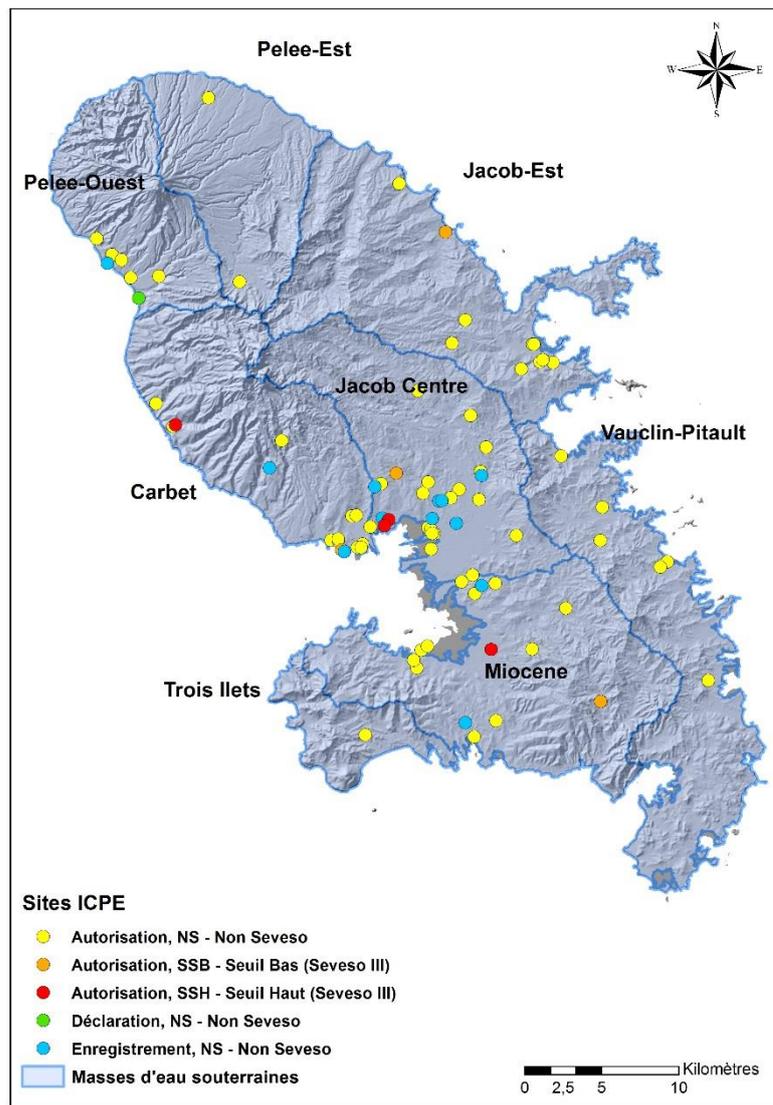


Illustration 51 : Cartographie des sites ICPE

Sur les 89 sites, 50 activités différentes ont été recensées. Les activités les plus représentées sur le territoire sont :

- Exploitation gravière & sable, extraction d'argile : 13 sites,
- Production de boissons alcooliques distillées : 7 sites,
- Production d'électricité : 4 sites.

Le tableau ci-dessous reprend la classification des sites ICPE.

	Autorisation		Déclaration	Enregistrement
Non SEVESO	SEVESO seuil bas	SEVESO seuil haut	Non SEVESO	Non SEVESO
68	4	4	1	12

Illustration 52 : Répartition des ICPE en fonction de leur catégorie

L'action RSDE

L'action RSDE (Recherche et réduction des rejets de Substance Dangereuses dans l'Eau) répond à l'ambition européenne d'améliorer la qualité de l'environnement aquatique et de garantir la santé des populations.

Lors d'une première phase dite de surveillance initiale, les exploitants sont tenus de réaliser des campagnes d'analyses comprenant six mesures mensuelles et portant sur des substances susceptibles d'être présentes dans les effluents de leurs installations en raison de la nature de leurs activités. La seconde phase appelée surveillance pérenne consiste en un suivi des substances initialement trouvées durant la première phase.

Au total 4 entreprises sont concernées par ce type d'action, il s'agit de :

- Colas implanté sur le site Pointe des Grive (FDF),
- EDF implanté à Bellefontaine,
- Idex Show implanté au Robert,
- E Compagnie implanté dans la ZAC la Lézarde au Lamentin.

L'ensemble des rejets réalisés par ces entreprises se font sur la frange littorale en aval des points de suivi DCE.

4.2.4. Répartition des activités sur le territoire

L'illustration 53 présente le nombre de sites ICPE, BASOL et BASIAS par masse d'eau. Les masses d'eau présentant le plus grand nombre d'activités sont Carbet et Jacob Centre.

Masses d'eau	Sites ICPE	Sites BASOL	Sites BASIAS
Pelee-Est	3	2	25
Pelee-Ouest	7	1	25
Jacob-Est	13	4	87
Carbet	14	9	122
Jacob Centre	29	11	92
Vauclin-Pitault	6	5	73
Miocene	15	6	64
Trois Ilets	1	1	16

Illustration 53 : Répartition des sites industriels par masse d'eau

4.3. QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES ET FOND GÉOCHIMIQUE

Un inventaire des micropolluants minéraux a été réalisé sur le réseau de suivi DCE. L'illustration 54 présente la localisation des ouvrages DCE ainsi que les paramètres dépassant les valeurs seuils. Sur les 21 points que comptabilise ce réseau:

- 13 d'entre eux ont présenté au moins une fois une concentration en micropolluant minéral dépassant les valeurs seuils DCE. Il s'agit des points Rivière Falaise – Basse Pointe, Anse Charpentier 2 - Marigot, La Borelli – Gros Morne, Morne Figue - Trinité, Fond Lahaye - Schoelcher, Rivière du Prêcheur - Prêcheur, Fons Canal - Carbet, Usine Yoplait - Vert Pré, Habitation Resource - Lamentin, Nouvelle Citée – Rivière Salée, Grand Fond - Marin, Vatable – Trois îlets, Habitation Dizac - Diamant.

- Les 8 autres points n'ont jamais présenté de concentration en micropolluant minéral dépassant les valeurs seuils DCE. Il s'agit des points Chalvet – Basse Pointe, Hauteur Bourdon – Basse Pointe, CDST – Saint Pierre, Fond Brulé - Lorrain, Bassignac - Trinité, Habitation Victoire - François, Fougainville – Rivière Pilote.

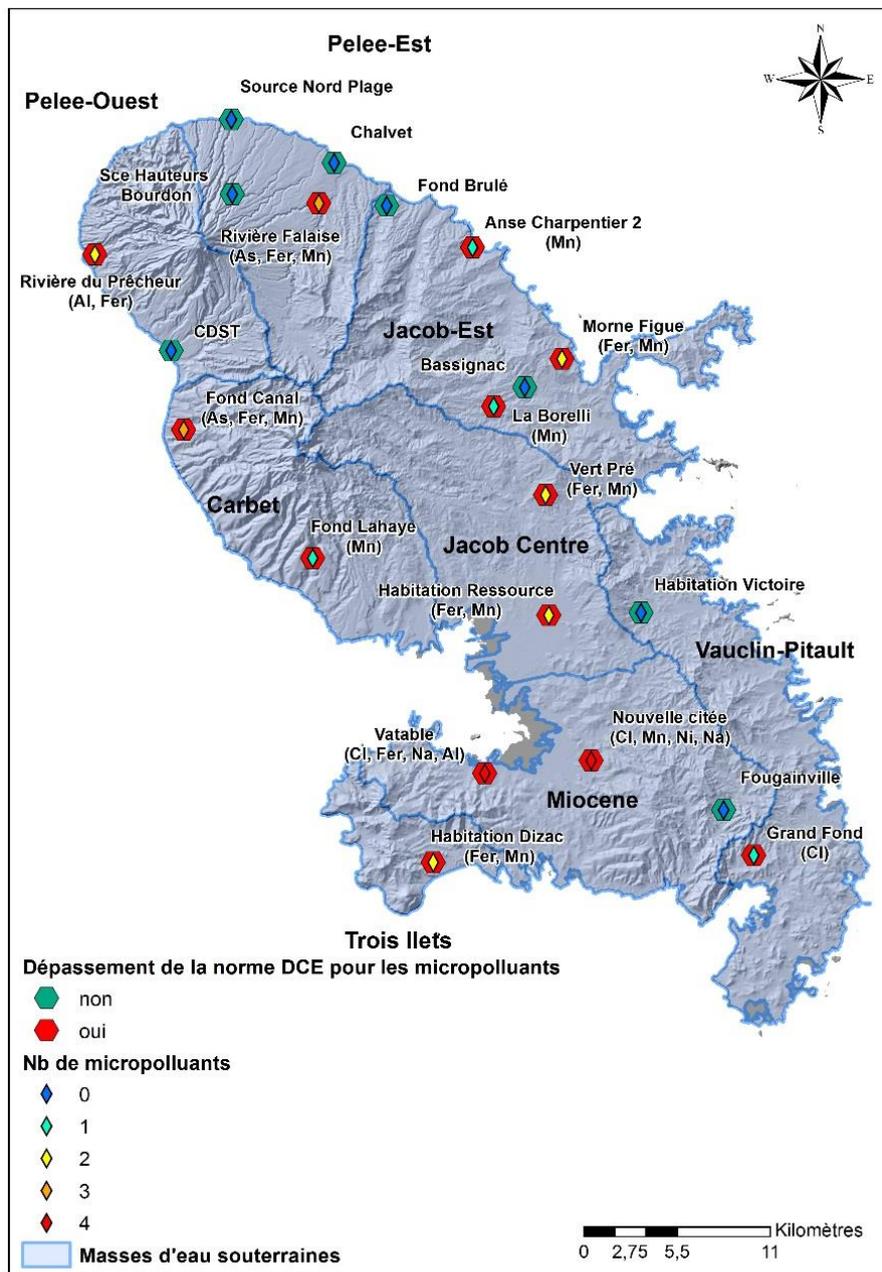


Illustration 54 : Analyse de la qualité des eaux souterraines en micropolluants minéraux

Une distinction doit être réalisée entre les micropolluants minéraux pouvant provenir du fond géochimique naturel et ceux pouvant être d'origine anthropique.

En 2013 une étude portant sur l'étude du fond géochimique des eaux souterraines de la Martinique a été réalisée (Arnaud et al., 2013). Dans ce rapport, la délimitation des zones à risque

de fond géochimique élevé s'appuie sur la BDLISA⁵ (Base de Données sur les Limites des Systèmes Aquifères).

Les conclusions de cette étude sont les suivantes (Illustration 55, Illustration 56) :

- les aquifères du sud présentent des eaux plus minéralisées avec des concentrations en Ca, Mg et Na, Cl et SO₄ plus importantes (Illustration 55) ;
- En ce qui concerne le sodium et les chlorures, une zone à risque de fond géochimique élevé plus étendue a été délimitée. Elle regroupe le complexe de base, l'unité aquifère de laves de Rivière-Pilote, le système aquifère du morne Larcher et des Roches Genty ainsi que l'axe piton du Carbet (Illustration 55).

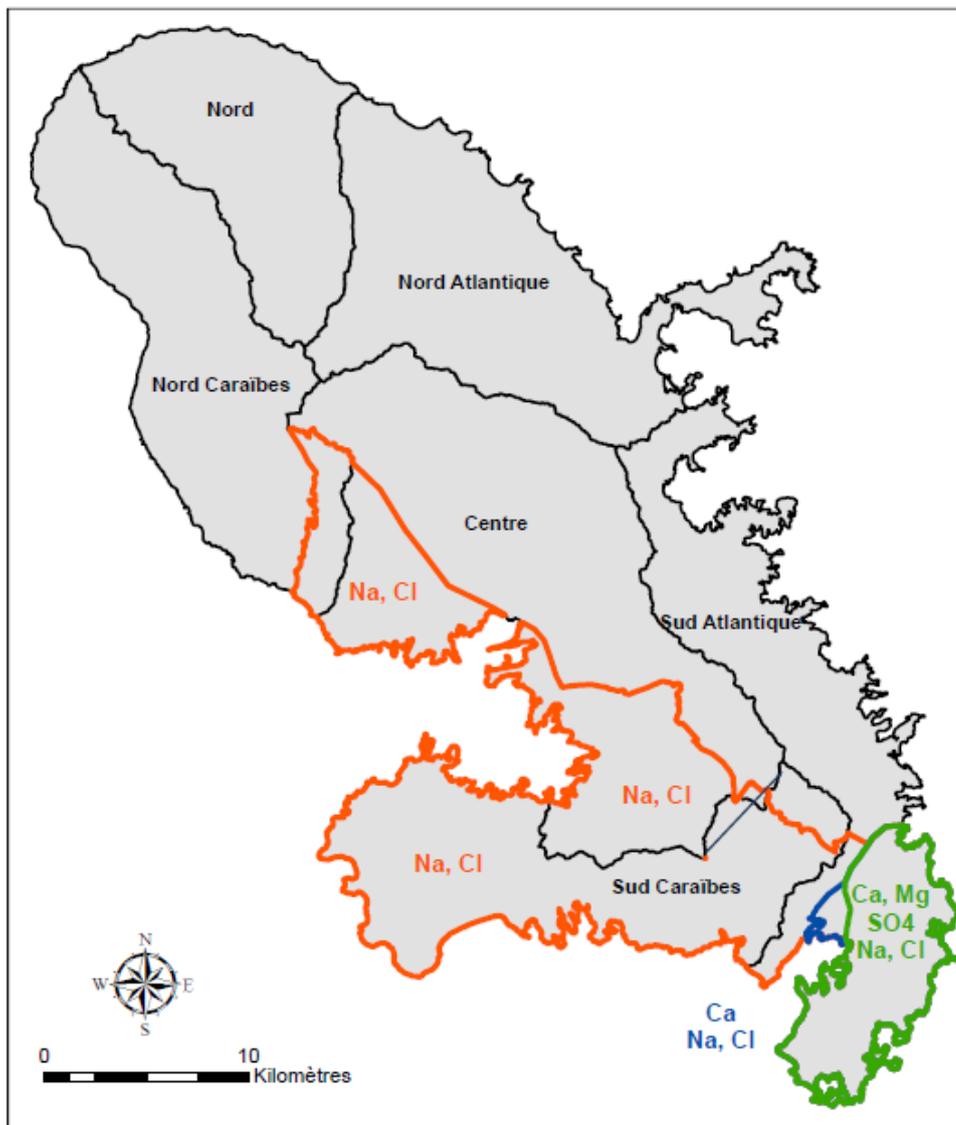


Illustration 55 : Délimitation des faciès enrichies en Ca, Mg, Na, Cl et SO₄, (Arnaud et al., 2013)

⁵ <https://bdlisa.eaufrance.fr/>

	Éléments	Indice de confiance	Délimitation	Masses d'eau souterraine
ÉLÉMENTS MAJEURS	Calcium	Élevé	Calcaires du Marin	Sud Atlantique
			Système aquifère du complexe de base (Presqu'île de Sainte-Anne)	
	Magnésium	Élevé	Système aquifère du complexe de base (Presqu'île de Sainte-Anne)	Sud Atlantique
	Chlorures Sodium	Élevé	Unité aquifère des andésites 2alpha	Nord Caraïbe
			Système aquifère du Sud	Centre
			Système aquifère du Mome Larcher et des Roches Genty	Sud Caraïbe
			Système aquifère du Sud	Sud Atlantique
Système aquifère du complexe de base (Presqu'île de Sainte-Anne)				
Sulfates	Élevé	Système aquifère du complexe de base (Presqu'île de Sainte-Anne)	Sud Atlantique	
ÉLÉMENTS TRACES	Arsenic	Élevé	Système aquifère de la Montagne Pelée	Nord Caraïbe
			Système aquifère de l'édifice ancien de la Montagne Pelée	
			Système aquifère des pitons du Carbet	
		Moyen	Anomalies sols (Le Lamentin)	Centre
			Unité aquifère des laves de Rivière Pilote	Sud Caraïbe
	Baryum	Faible	Système aquifère du complexe de base (Presqu'île de la Caravelle)	Nord Atlantique
		Moyen	Système aquifère du complexe de base (Presqu'île de Sainte-Anne)	Sud Atlantique
	Bore	Élevé	Unité aquifère des laves de Rivière Pilote	Centre
			Unité aquifère des laves du Morne Pavillon	Sud Caraïbe
			Système aquifère du Morne Larcher et des Roches Genty	
Fer Manganèse	Élevé	Martinique	toutes	
Mercure	Moyen	Anomalies sols (Le Lamentin)	Centre	
		Système aquifère du complexe de base (Presqu'île de Sainte-Anne)	Sud Atlantique	

Illustration 56 : Tableau récapitulatif des zones à risque de fond géochimique élevé (Arnaud et al., 2013)

Les dépassements des valeurs seuils de la DCE en micropolluants minéraux sont confrontés au fond géochimique de la Martinique (Illustration 57). Les dépassements observés pour le fer, le manganèse, le chlorure et le sodium sont imputables au fond géochimique.

Le dépassement en arsenic pour le point Carbet - Fond Canal est également imputable au fond géochimique. Toutefois, une décharge sauvage a été recensée en amont hydraulique du

qualitomètre. Le dépassement en arsenic pour le point Rivière Falaise à Basse Pointe peut être en lien avec la présence de trois anciennes distilleries en amont hydraulique du qualitomètre.

Du nickel a été quantifié au point Rivière Salée - Nouvelle Citée, néanmoins, aucune activité alentour ne semble être à l'origine de ce micropolluant à l'exception de la carrière la Reprise située à 1,5km en amont hydraulique.

Masse d'eau	Code BSS	Points d'eau	Micropolluant ayant dépassé au moins une fois la valeur seuil DCE	Zone risque fond géochimique élevé
Pelée Est	1168ZZ0054	Rivière Falaise	Arsenic, Fer, Manganèse	Oui sur toute l'île pour le Fer et le Manganèse, Pour l'Arsenic (une seul détection enregistrée)
Jacob Est	1169ZZ0184	Anse charpentier 2	Manganèse	Oui sur toute l'île
	1174ZZ0088	La Borelli	Manganèse	Oui sur toute l'île
	1175ZZ0153	Morne Figue	Manganèse, Fer	Oui sur toute l'île
Carbet	1177ZZ0177	Fond Lahaye	Manganèse	Oui sur toute l'île
	1172ZZ0063	Fond Canal	Arsenic, Fer, Manganèse	Oui sur toute l'île pour le Fer et le Manganèse, Pour l'Arsenic un fond géochimique élevé est rencontré sur la partie Nord Caraïbes de l'île
Pelée Ouest	1167ZZ0024	Rivière du Prêcheur	Aluminium, Fer	Oui sur toute l'île pour le Fer, Pour Aluminium (une seul détection enregistrée)
Jacob Centre	1175ZZ0106	Vert Pré	Fer, Manganèse	Oui sur toute l'île
	1179ZZ0070	Habitation Ressource	Fer, Manganèse	Oui sur toute l'île
Miocène	1182ZZ0160	Nouvelle Citée	Chlorure, Manganèse, Nickel, Sodium	Oui sur toute l'île pour le Manganèse, oui pour le sud de l'île pour Chlorure et le Sodium
	1181ZZ0132	Vatable	Chlorure, Fer, Sodium	Oui sur toute l'île pour le Fer, Oui pour le Chlorure et Sodium pour le sud de l'île
Vaclin Pitault	1186ZZ0118	Grand Fond	Chlorure	Oui pour le sud de l'île
Trois îlets	1184ZZ0001	Habitation Dizac	Fer, Manganèse	Oui sur toute l'île

Illustration 57 : Confrontation entre les concentration en micropolluants minéraux dépassant les valeurs seuils sur le réseau DCE et les zones à risque de fond géochimique élevé

4.4. MATRICE « ACTIVITÉS – POLLUANTS » ET MICROPOLLUANTS ORGANIQUES

Dans le cadre de ses missions d'appui aux politiques publiques pour le Ministère en charge de l'Environnement, le BRGM a élaboré en 2014 (Aubert et Koch-Mathian., 2014) une nouvelle matrice de corrélation Activités - Polluants⁶ dont l'objectif est d'identifier des typologies de composés potentiellement liés à des activités industrielles.

Le territoire martiniquais est concerné par 721 activités Basias (cf. paragraphe 4.2.1), dont les 5 activités les plus fréquentes (80%) sont présentées en Illustration 58.

⁶ <http://ssp-infoterre.brgm.fr/matrice-activites-polluants>

Code NAF	Nb de sites inventoriés	Type de l'activité (ref NAF)	Nb de sous groupes associés
G47.30Z	105	Commerce de gros, de détail, de desserte de carburants en magasin spécialisé (station service de toute capacité de stockage)	39
V89.03Z	32	Dépôt de liquides inflammables (D.L.I.)	40
G45.21A	33	Garages, ateliers, mécanique et soudure	33
E38.42Z	52	Dépôt d'immondices, dépotoir, vidanges (ancienne appellation des déchets ménagers avant 1945)	29
C11.01	350	Production de boissons alcooliques distillées et liqueurs	21

Illustration 58 : Activité les plus fréquentes en Martinique

Trois activités (G45.21A, G47.30Z, V89.03Z) sur 5 sont très fortement corrélées (note > 7) avec les sous-groupes suivants : HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques), Hydrocarbures, BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène, xylène) et solvants chlorés.

L'extraction de la base de donnée ADES a permis de mettre en avant la présence de micropolluants organiques dans les eaux souterraines. Au total 11 micropolluants organiques ont été quantifiés, il s'agit du biphényle, butyl benzyl phtalate, chloroforme, di(2-ethylhexyl)phtalate, dibromochloromethane, dichloromonobromométhane, galaxolide, n-Butyl phtalate, pentachlorophénol, thiabendazole et du PCB 138 (Illustration 59).

Qualitomètres	Micropolluants organiques	Qualitomètres	Micropolluants organiques
Hauteur Bourdon - Basse Pointe	Chloroforme	Rivière Falaise - Basse Pointe	Biphényle
	Dibromochloromethane		Butyl benzyl phtalate
	Dichloromonobromométhane		Galaxolide
Chalvet - Basse Pointe	Butyl benzyl phtalate		n-Butyl Phtalate
	Di(2-ethylhexyl)phtalate		Pentachlorophénol
	n-Butyl Phtalate		Butyl benzyl phtalate
	Pentachlorophénol	n-Butyl Phtalate	
La Borelli Gros Morne	PCB 138	Habitation Victoire - François	Pentachlorophénol
			Butyl benzyl phtalate
Nouvelle Cité - Rivière Salée	Di(2-ethylhexyl)phtalate		Fougainville - Rivière Pilote
Habitation Dizac - Diamant	Chloroforme	Pentachlorophénol	

Illustration 59 : Liste des micropolluants retrouvés sur le réseau DCE

La matrice « activités – polluants » a été consultée pour les 11 molécules retrouvées dans les eaux souterraines (Illustration 59). Seuls les phtalates et les PCB sont listés dans la matrice activités-polluants. Le PCB 138 a été détecté une fois en 2006 sur le point Gros Morne - La Borelli.

A l'heure actuelle la fréquence des analyses en micropolluant organiques réalisées sur le réseau DCE ne permettent pas d'avancer d'hypothèse sur leur potentielle origine industrielle. L'ajout dans les prochaines analyses du réseau DCE de molécules liées aux activités industrielles présent sur le territoire permettrait d'identifier leurs origines.

4.5. RELATION PRESSION IMPACT

Il y a un impact dès lors qu'un lien est établi entre une pression et un état « dégradé ». L'état dégradé ou non des eaux souterraines est qualifié selon les éléments suivants :

- Etat (ou niveau de dégradation) ; si certaines substances sont ou non détectées et dépassent ou non les critères de qualité ;
- Pérennité de la dégradation ; si occasionnelle et non confirmée, ou chronique ;
- Etendue de la dégradation ; si la dégradation est constatée localement uniquement ou de façon plus généralisée ;
- Niveau de confiance de l'information ; si les données sont suffisantes ou au contraire insuffisantes, éparses et trop ponctuelles.

Le niveau d'impact par masse d'eau souterraine est établi en fonction du lien entre les pressions existantes et l'état de dégradation des eaux souterraines, à l'aide de la grille de décision présentée à l'illustration 60.

	Présence de pression identifiée	Incertitude sur les pressions	Absence de pression identifiée
Présence d'un état dégradé	Impact avéré et attribué	Impact incertain (dégradation avérée mais d'origine incertaine)	Impact incertain (dégradation avérée et inexplicée)
Incertitude sur l'état des eaux	Impact incertain (état incertain mais pressions existantes)	Incertitudes sur les pressions et impacts	Impact incertain (état incertain sans pression identifiée)
Absence d'état dégradé	Absence avérée d'impact (état non dégradé en dépit de pressions existantes)	Absence avérée d'impact (état non dégradé en dépit de pressions potentielles)	Absence avérée d'impact (état non dégradé et absence de pression)

Illustration 60 : Etablissement du niveau d'impact en fonction des pressions existantes et de l'état de dégradation (Bessière, 2016)

Au vu de la connaissance de l'activité industrielle et de la fréquence des analyses recherchées sur le réseau DCE, l'identification des pressions théoriques induites par les activités industrielles sur les masses d'eau souterraines de la Martinique apparaît incertaine (croisement entre incertitude sur les pressions et incertitude sur l'état des eaux).

L'état actuel des connaissances ne permet donc pas de conclure sur la présence d'impacts avérés liés à l'activité industrielle sur la qualité des eaux souterraines de l'île.

5. Identification des pressions théoriques induites par l'urbanisation

5.1. MÉTHODOLOGIE APPLIQUÉE

Aucune méthodologie pour l'évaluation des pressions théoriques induites par les activités urbaines n'est disponible. La méthodologie appliquée suit les étapes listées ci-dessous :

- Localisation des rejets urbains
- Evaluation de la qualité des eaux souterraines
- Caractérisation du lien pression impact.

5.2. REJETS URBAINS

Avec respectivement 95 et 67 STEU (Stations de Traitement des Eaux Usées), les masses d'eau souterraine Carbet et Jacob Centre présentent les plus fortes pressions vis-à-vis des rejets urbains (Illustration 61). Les masses d'eau les plus impactées par l'ANC (Assainissement Non Collectif) sont les masses d'eau Jacob Centre et Miocène avec respectivement 47663 et 44558 habitants utilisant un ANC. Pour chaque masse d'eau une estimation de la quantité d'azote et de phosphore ont été réalisées. Ces résultats sont présentés à l'illustration 61.

Masse d'eau	Assainissement collectif			Assainissement non collectif		
	STEP >200 EH	STEP <200 EH	STEP communale	Population concernée par l'ANC (2014)	Estimation de la quantité d'azote (kg/j)	Estimation de la quantité de phosphore (kg/j)
Pelee-Est	3	4	11	9563	40,32	10,75
Pelee-Ouest	3	3	13	5607	15,46	4,12
Jacob-Est	9	8	16	34350	63,30	16,88
Carbet	15	62	18	25725	36,92	9,84
Jacob Centre	17	30	20	47663	75,89	20,24
Vauclin-Pitault	4	15	9	28161	48,50	12,93
Miocene	11	26	18	44558	73,27	19,54
Trois Ilets	1	1	3	3933	9,20	2,45

Illustration 61 : Répartition des STEU par masse d'eau souterraine (données IRIS 2014 et SPANC)

5.3. QUALITE DE L'EAU SOUTERRAINE

Les données sur la qualité des eaux souterraines sont issues de la base de données des eaux souterraines ADES extraite en septembre 2018 (<http://www.ades.eaufrance.fr>). Pour réaliser la confrontation entre le risque et la qualité des eaux souterraines, le réseau de surveillance DCE (« 0800000016 - FRJSOS - Contrôle de surveillance de l'état chimique des eaux souterraines du bassin Martinique » et « 0800000017 - FRJSOO - Contrôles opérationnels de l'état chimique des eaux souterraines du bassin Martinique ») a été utilisé.

Des analyses spécifiques ont été réalisées en 2015 sur le réseaux DCE. Les molécules de caféine, méthylparaben et propylparaben ont été quantifiées.

Pour la caféine, 14 points ont présenté des concentrations supérieures à la limite de quantification (LQ) du laboratoire. Il s'agit des points Chalvet – Basse Pointe, Hauteur bourdon – Basse Pointe, Nord plage - Macouba, Anse charpentier 2 - Marigot, La Borelli – Gros Morne, Fond brulé - Lorrain, Morne figue - Trinité, Rivière du Prêcheur - Prêcheur, Fond Lahaye - Schoelcher, Vert Pré – Robert, Habitations Ressource - Lamentin, Nouvelle Cité – Rivière Salée, Habitation Victoire – François et Vatable – Trois îlets.

Le méthylparaben a été quantifié sur l'ensemble du réseau qualité DCE.

Le propylparaben a été quantifié sur 2 points Vatable – Trois îlet et la Borelli – Gros Morne.

L'illustration 62 confronte la qualité de l'eau souterraine avec la localisation des STEU et les pressions liée à l'ANC rapporté à la masse d'eau. Cette carte met en avant la présence de détection sur tout le territoire. L'état actuel des connaissances permet ainsi de mettre en évidence la présence d'un impact possible, mais non quantifiable, lié à l'urbanisation.

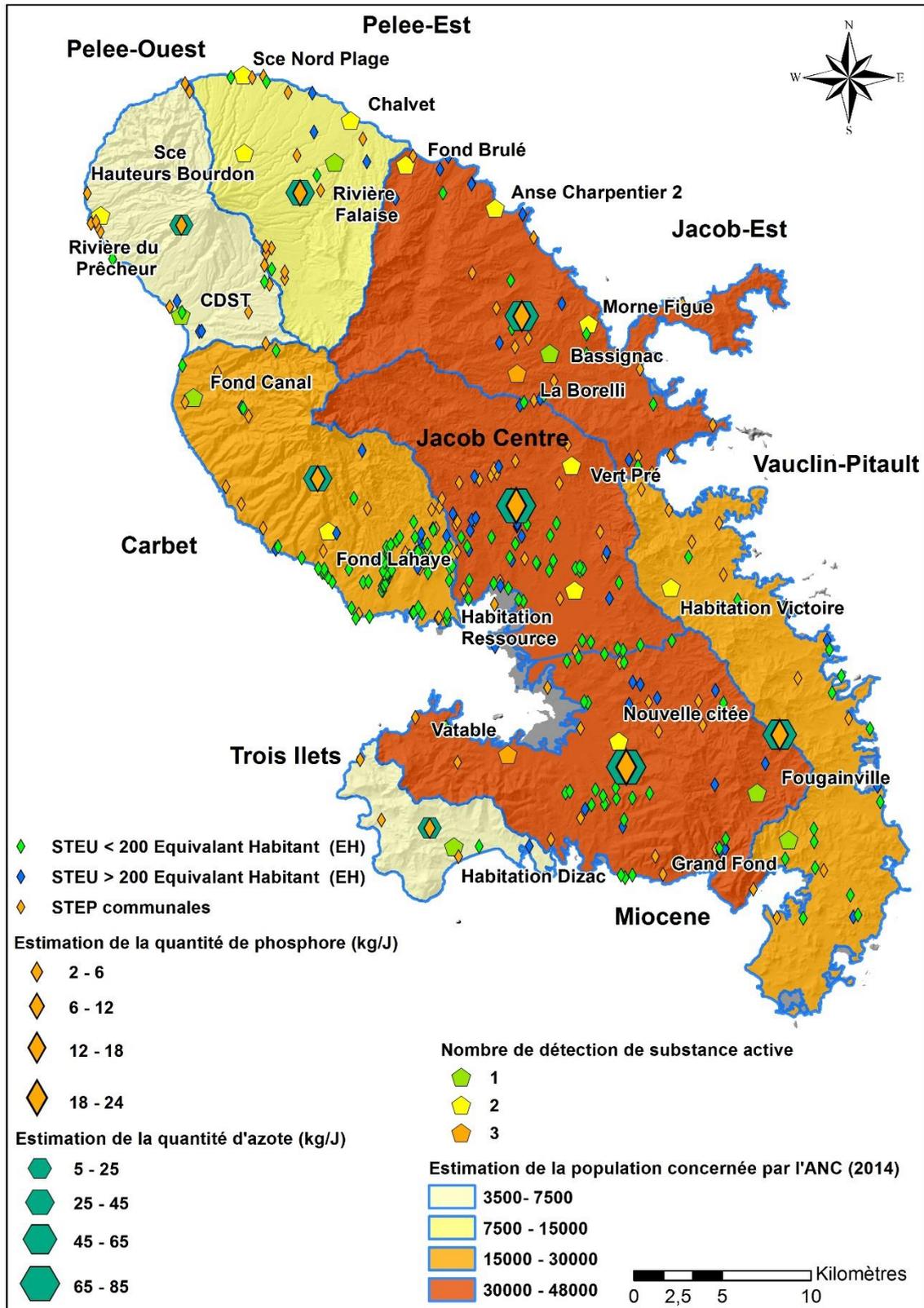


Illustration 62 : Confrontation entre la carte de localisation des STEU et de la pression de l'ANC avec les substances actives analysées en 2015 sur le réseau DCE

6. Pression impact liés aux prélèvements quantitatifs sur les masses d'eau souterraine

6.1. MÉTHODOLOGIE APPLIQUÉE

La réalisation du lien pression impact quantitatif pour les eaux souterraines de la Martinique s'appuie sur la méthodologie définie par Bessière (2018).

L'évaluation de l'état quantitatif repose sur le calcul ou/et l'observation de plusieurs indicateurs. La méthodologie suivante a été appliquée :

- Une estimation des pressions significatives de prélèvement par masse d'eau souterraine pour calculer le ratio volumes de prélèvement / recharge ;
- Une évaluation des impacts liés à ces pressions reposant sur l'estimation d'un seuil à partir du ratio volumes prélevés / recharge ;

6.2. ESTIMATION DES PRESSIONS SIGNIFICATIVES

6.2.1. Variation spatiale des pluies

En contexte insulaire, la répartition spatio-temporelle des pluies est fonction du relief et de la saisonnalité. Les pluviométries moyennes annuelles sont plus importantes au nord de l'île. L'illustration 63 présente la pluviométrie moyenne annuelle observée par Météo France, calculée sur la période 1991-2010.

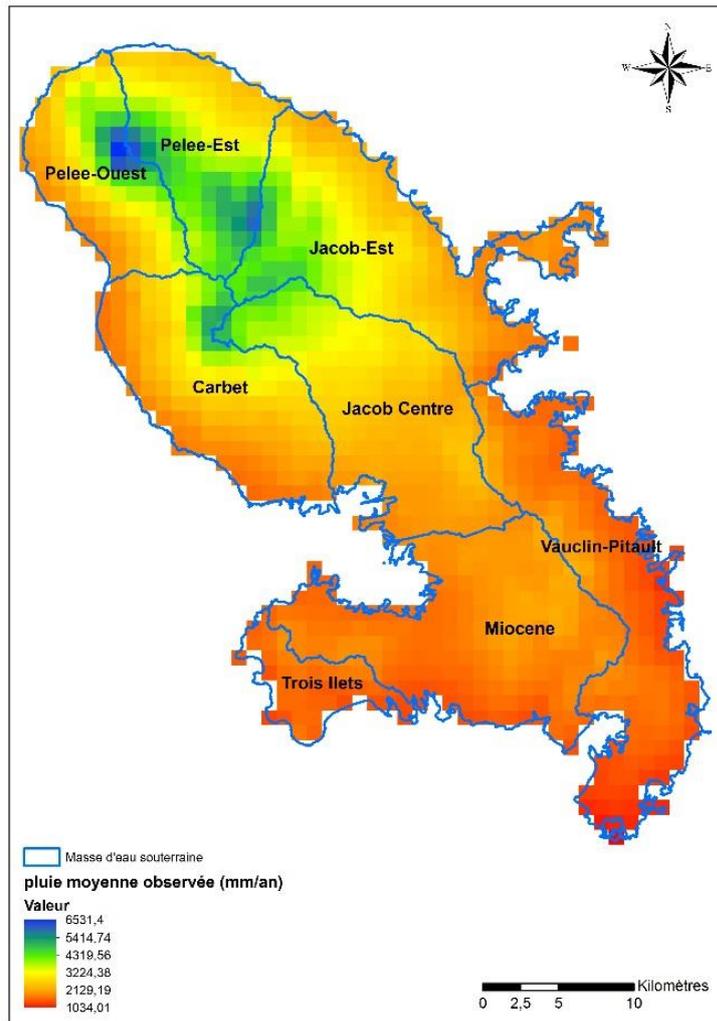


Illustration 63 : Pluviométrie moyenne annuelle calculée par Météo France sur la période 1991-2010

6.2.2. Vulnérabilité aux intrusions salines

Dans les zones littorales, les nappes souterraines d'eau douce sont en contact avec l'eau salée d'origine marine. L'exploitation des nappes situées sur la frange littorale peut influencer le positionnement de l'interface eau douce / eau salée et à terme engendrer une dégradation de la ressource. L'illustration 64 présente les conductivités moyennes observées sur les points du réseau de suivi de la qualité des eaux souterraines de la Martinique sur la période 2014 – 2018, sachant qu'aucune forage n'exploite une nappe d'eau souterraine dans la frange littorale.

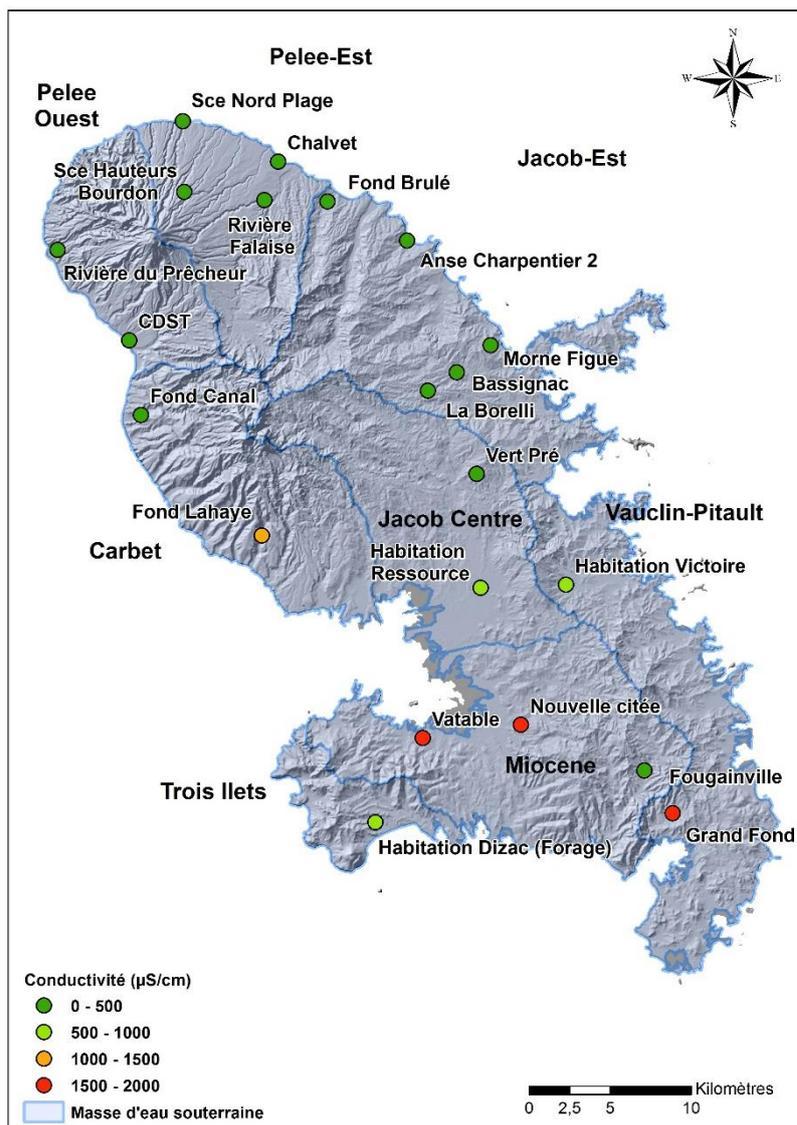


Illustration 64 : Conductivités moyennes mesurées au niveau des points du réseau de surveillance qualité sur la période 2014 - 2018

Certains piézomètres situés à proximité du littoral présentent des conductivités plus importantes laissant supposer une influence marine. Il s'agit des points Vatable – Trois îlets, Grand Fond - Marin, Habitation Victoire - François, Nouvelle Citée – Rivière Salée, Habitation Dizac - Diamant Habitation Ressources - Lamentin et Fond Lahaye - Schoelcher.

D'après l'étude sur la datation des eaux souterraines de Martinique (Vittecoq et al, 2007b), les piézomètres Nouvelle Citée – Rivière Salée, Habitation Dizac - Diamant, Habitation Ressource - Lamentin et Fond Lahaye - Schoelcher captent des eaux majoritairement anciennes (<1962). Des eaux anciennes minéralisées peuvent également être à l'origine des fortes conductivités observées au niveau de ces ouvrages. Les piézomètres Grand Fond - Marin et Habitation Victoire - François captent des eaux d'âge intermédiaire. Une influence d'eau ancienne minéralisée peut être envisagée pour ces deux piézomètres.

Les analyses effectuées sur le piézomètre Trois Ilets - Vatable ne permettent pas de tirer de conclusion. Toutefois, sa proximité avec la mer (environ 600 m) laisse supposer une influence marine.

D'après le BNPE⁷, en Martinique, aucun forage en activité n'a été recensé dans le sud de l'île. L'impact des prélèvements est donc inexistant.

6.2.3. Quantification des prélèvements

La Banque Nationale des Prélèvements quantitatifs en Eau (BNPE) est l'outil national dédié à la diffusion des prélèvements sur la ressource en eau. Elle permet d'évaluer les prélèvements d'eau souterraine de l'île. L'illustration 65 présente les différents captages recensés sur le territoire. Les prélèvements sont concentrés sur la moitié nord de l'île. La masse d'eau Pelée-Est compte quatre captages. La masse d'eau Pelée – Ouest compte trois captages dont la source Morestin qui est le plus gros captage de l'île.

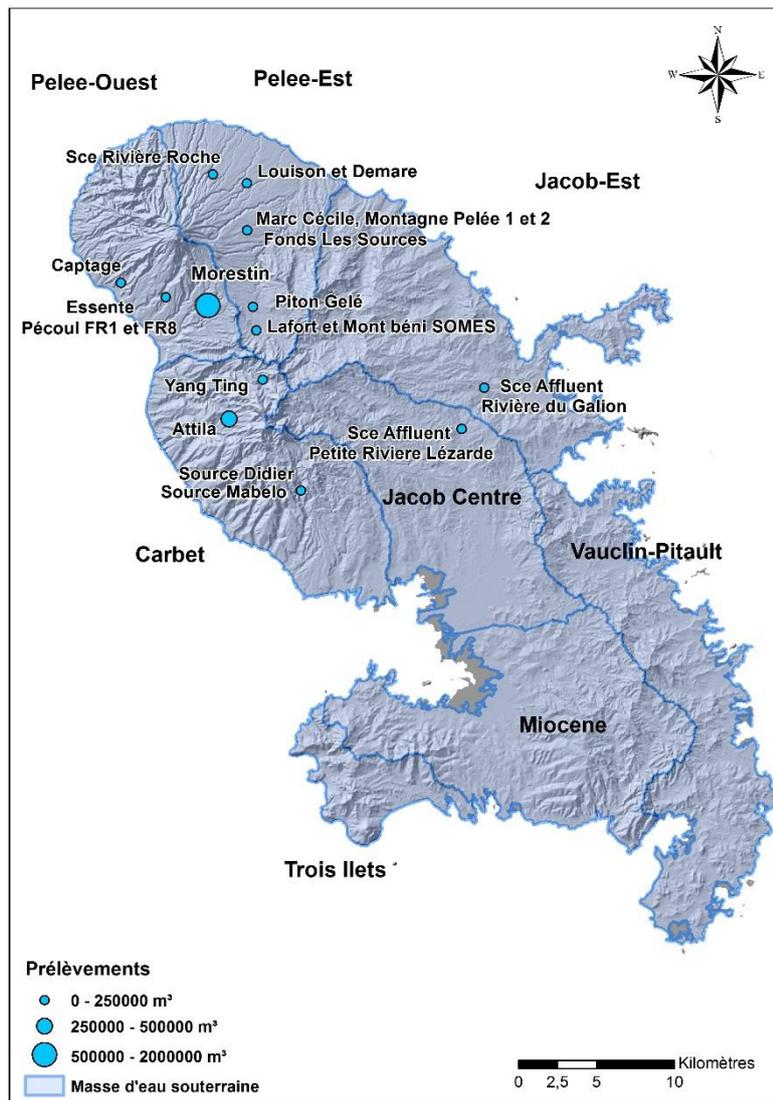


Illustration 65 : Prélèvements d'eau souterraine recensés par la BNPE en 2015.

L'illustration 66 présente les prélèvements annuels globaux réalisés à l'échelle de l'île de 2012 à 2015. Malgré une légère hausse des prélèvements en 2015, c'est dernier restent constants d'une année sur l'autre.

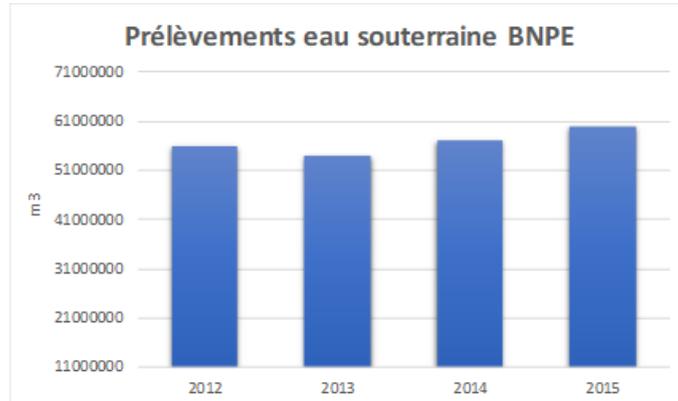


Illustration 66 : Prélèvements annuels réalisés en Martinique entre 2012 et 2015

Pour l'année 2015, les prélèvements affectés à chaque masse d'eau sont présentés en Illustration 67. Avec plus de 1,9 Mm³ prélevé en 2015, la masse d'eau Pelée-Ouest est l'unité hydrogéologique dont les ressources en eau souterraine sont les plus sollicitées.

Masse d'eau	Prélèvements m ³ /an en 2015
Carbet	477547
Jacob Centre	2585
Jacob-Est	9024
Pelee-Est	748334
Pelee-Ouest	1982080

Illustration 67 : Volume des prélèvements affectés à chaque masse d'eau en 2015

6.2.4. Evaluation de la recharge

L'évaluation de la recharge est issue de travaux antérieurs sur l'impact du changement climatique sur les ressources en eau souterraine et superficielle de Martinique (Arnaud et Lanini, 2014).

Cette étude s'appuie sur le simulateur numérique dédié à la modélisation globale du cycle de l'eau en Martinique développé par le BRGM dans le cadre du Système d'Information sur les Eaux Souterraines de MARTinique (Vittecoq et al., 2007a). Dans cette étude, un modèle hydrologique global à 3 réservoirs avait été retenu (Illustration 68). La particularité du travail a été d'introduire un changement d'échelle entre les deux premiers réservoirs (Sol et ZNS) et le réservoir Nappe. Ce changement d'échelle permet de calculer les variations de stock dans la nappe et le débit à l'exutoire de chacune des unités hydrogéologiques du modèle (3^{ème} réservoir, cf. Illustration 69). Ainsi, la recharge calculée à l'échelle de l'île varie de 39 à 1462 mm en fonction des unités hydrogéologiques considérées (Illustration 70).

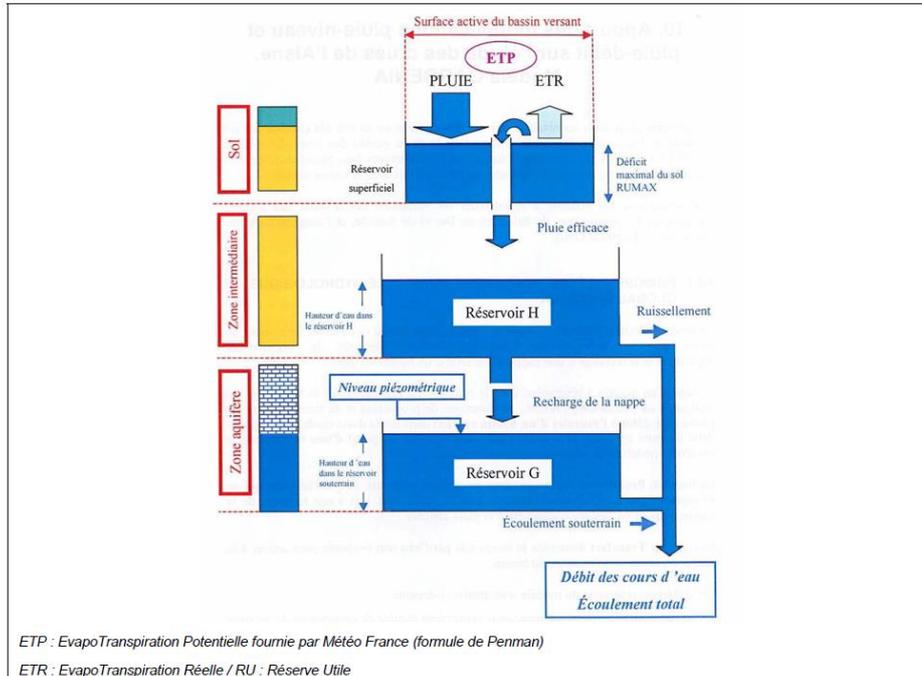


Illustration 68 : Modèle hydrologique global à 3 réservoir en cascade (Thiéry, 2003)

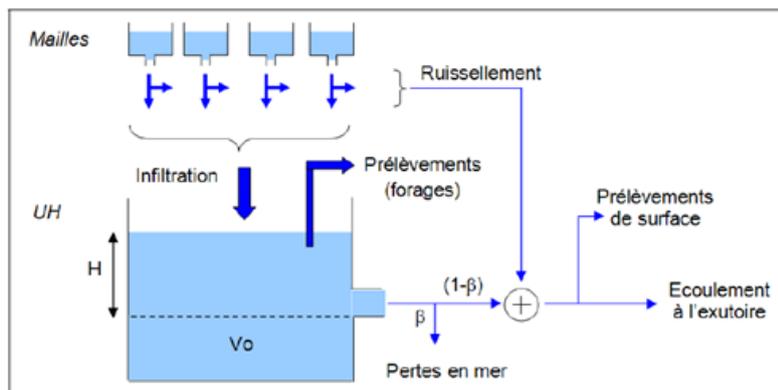


Illustration 69 : Schéma du troisième réservoir (Vittecoq et al., 2007a, BRGM/RP-55099-FR)

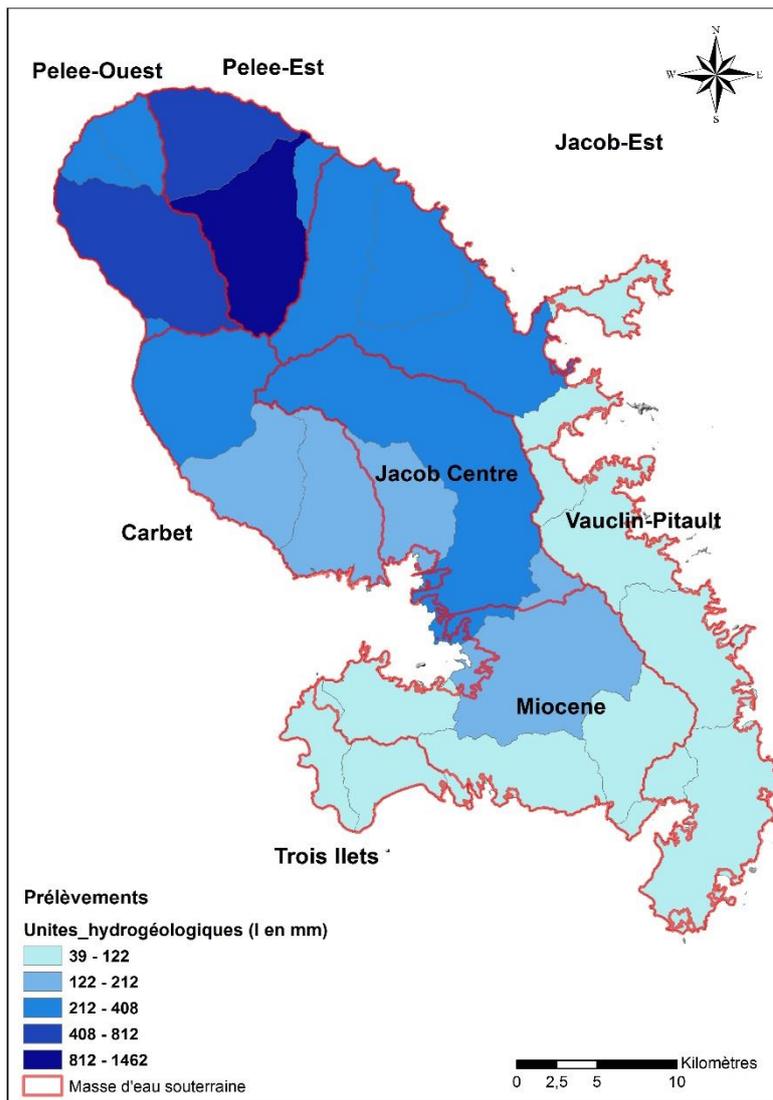


Illustration 70 : Evaluation de la recharge (l en mm) de l'île en fonction des unités hydrogéologiques considérées (Arnaud et Lanini, 2014)

6.3. RELATION PRESSION IMPACT

6.3.1. Calcul du ratio prélèvement / recharge

Pour évaluer l'impact des prélèvements sur la ressource en eau le ratio Prélèvement / Recharge doit être évalué en appliquant le calcul ci-dessous :

$$\text{Ratio [MESOUT]} = \text{Volume annuel prélevé (m}^3\text{)} / \text{Recharge annuelle moyenne estimée (m}^3\text{)}$$

La recharge annuelle moyenne estimée correspond à l'infiltration par masse d'eau calculée par Arnaud et Lanini, 2014.

Pour évaluer l'impact des prélèvements sur la ressource la règle suivante a été appliquée :

- Ratio ≥ 1 : pression très significative ;
- $0,1 \leq \text{Ratio} < 1$: pression significative ;
- Ratio $< 0,1$: pression non significative.

L'illustration 71 présente pour chaque masse d'eau la recharge, les prélèvements ainsi que le ratio. Pour l'ensemble des masses d'eau le ratio est inférieur à 0,1, les pressions sont donc considérées comme non significatives.

Masse d'eau	Surface Km ²	I mm/an	Prélèvements m ³ /an	Ratio
Carbet	142,91	216,73	477547	0,0154
Jacob Centre	160,91	278,73	2585	0,0001
Jacob Est	180,48	283,37	9024	0,0002
Miocène	191,58	115,47	0	0,0000
Pelée Est	106,49	1134,96	748334	0,0062
Pelée Ouest	93,75	494,73	1982080	0,0427
Trois iles	41,11	83,78	0	0,0000
Vauclin Pitault	162,70	79,52	0	0,0000

Illustration 71 : Evaluation de du ratio prélèvement/recharge

Une synthèse des différents indicateurs appliqués sur le territoire est présentée sur l'illustration 72. La confrontation des ratios prélèvements / recharge et des tendances de la conductivité par masse d'eau souterraine montrent qu'il n'existe pas de pressions significatives à l'échelle de la Martinique.

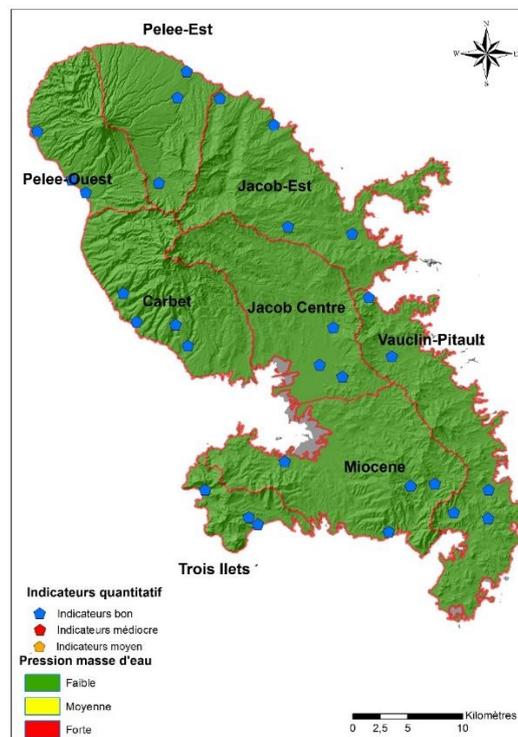


Illustration 72 : Synthèse des pressions quantitatives recensées en Martinique

7. Conclusion

L'objectif de cette étude était de réaliser l'analyse des relations pression/impact sur l'état des masses d'eau souterraine. Pour réaliser le lien pression/impact, les guides méthodologiques appliqués aux DOM pour l'état des lieux quantitatif (Bessière, 2018. RP-67572-FR) et qualitatif dans le cas de pollutions industrielles (Bessière, 2016. RP-65558-FR), de pressions agricoles diffuses phytosanitaire (Bessière et Surdyk, 2017. RP-67366-FR) et nitrate (RP-67323-FR), ont été suivis.

L'analyse des pressions en produits phytosanitaires met en évidence que :

- Les masses d'eau Pelée – Est et Jacob – Est présentent des pressions en produit phytosanitaire fortes,
- La masse d'eau Jacob Centre présente des pressions moyennes,
- Les masses d'eau Pelée – Ouest, Carbet, Vauclin-Pitault, Miocène et Trois – îlet présentent des pressions faibles.

Comme le montre l'illustration 73 ci-dessous, les masses d'eau souterraine présentant les plus fortes concentrations en produits phytosanitaires présentent aussi les pressions agricoles les plus élevées. La relation pression-impact pour les produits phytosanitaires est cohérente.

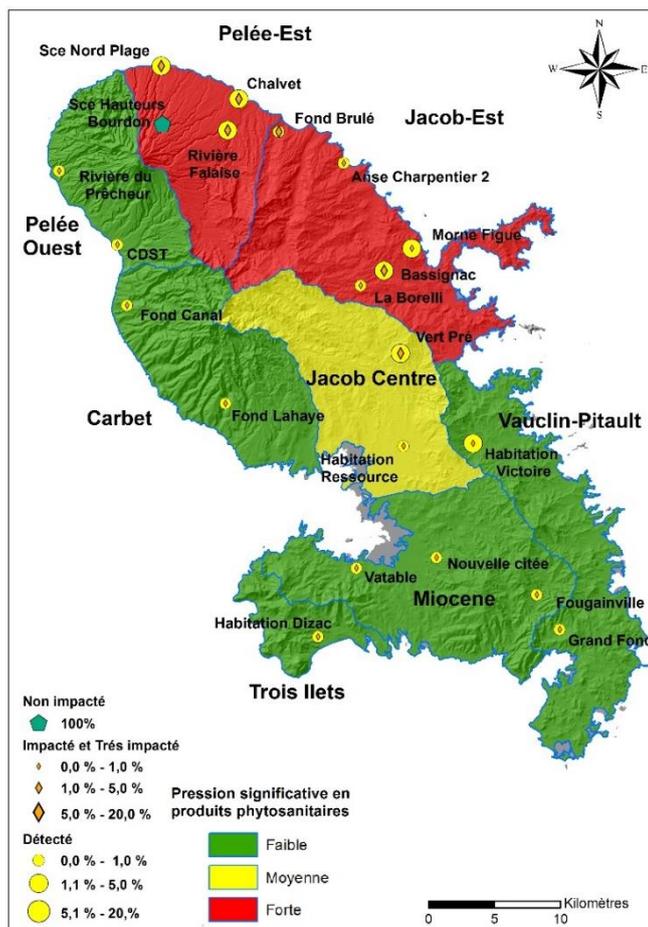


Illustration 73 : Pressions significatives en produit phytosanitaire à l'échelle de la masse d'eau et analyse statistique des concentrations en produits phytosanitaires

L'analyse des pressions en nitrate met en évidence que :

- Les masses d'eau Pelée – Est, Pelée – Ouest, Jacob – Est et Jacob Centre présentent des pressions en nitrate fortes,
- Les masses d'eau Carbet, Vauclin – Pitault et Miocène présentent des pressions moyennes,
- La masse d'eau Trois – îlet présente des pressions faibles.

Les concentrations en nitrate sont les plus élevées dans les masses d'eau nord de l'île (Pelée – Est et Jacob-Est) ou les pressions agricoles sont les plus importantes. La relation pression impact pour les nitrates est cohérente.

L'état actuel des connaissances permet de mettre en évidence la présence d'un impact de l'urbanisation sur les masses d'eau souterraine possible mais non quantifiable.

L'état actuel des connaissances ne permet pas de conclure sur la présence d'impacts liés aux activités industrielles sur la qualité des eaux souterraines de l'île.

Enfin, l'analyse des relations pression/impact montre qu'il n'existe pas de pressions quantitatives significatives à l'échelle de la Martinique, en cohérence avec le bon état quantitatif des masses d'eau souterraine.

8. Bibliographie

- Agrest Martinique.** (2016). Mémento de la statistique agricole
- Arnaud L., Lanini S.** (2014). Impact du changement climatique sur les ressources en eau de Martinique. Rapport BRGM/RP-62676-FR, 91 p., 26 ill., 5 ann.
- Arnaud L., Senergues M., Devau N.** (2013). Étude détaillée du fond géochimique des eaux souterraines de Martinique. Rapport BRGM/RP-62886-FR.
- Aubert N., Koch-Mathian J-Y** avec la collaboration de **Baraton A.** (2014). Elaboration d'une base de données corrélant activités et polluants potentiels. Rapport final. BRGM/RP-64125-FR, 110 p., 3 ill., 21 tabl., 8ann.
- Allier D., Vittecoq B. Mardhel V.** (2008). Évaluation de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines de la Martinique. Rapport BRGM/RP-56283-FR.
- Baran N., Arnaud L.** (2013). Cartographie du risque de contamination des eaux souterraines par les produits phytosanitaires en Martinique. BRGM/RP-61976-FR, 103 p., 41 ill., 3 ann., CD.
- Bessière H., Surdyk N.** (2017). Guide pour l'analyse pression impact dans le cas des pressions agricoles diffuses phytosanitaires. Rapport final. BRGM/RP-67366-FR, 82 p.
- Bessière H.** (2018). Pistes méthodologiques pour la caractérisation des pressions et impacts liés aux prélèvements quantitatifs sur la ressource en eau dans les départements d'Outre-Mer. Rapport final. BRGM/RP-67572-FR, 118 p.
- Bessière H.** (2016). Guide méthodologique pour l'analyse Pressions-Impact dans le cas de pollutions industrielles dans les départements d'Outre-Mer. Rapport final. BRGM/RP-65558-FR, 102p.
- Gustafson D.I.** (1989). Environmental toxicology and Chemistry, Vol. 8, pp 339-357.
- Hinkle S.R., Tesoriero A.J.** (2014). Nitrogen speciation and trends, and prediction of denitrification extent, in shallow US groundwater. Journal of Hydrology, 509, p.343-353.
- Nacimiento L. et Taïlamé A.-L.** – Evaluation de l'état des masses d'eau souterraine de la Martinique – Approche DCE – Rapport annuel 2017. Rapport BRGM/RP-68042-FR V2, 124 p., 33 ill., 10 ann.
- Odeadom** (2010) - (Office de développement de l'économie agricole d'outre-mer)- Rapport d'activité 2010. Odeadom. 90 p
- Rao P.S.C., A.G. Hornsby, and R.E. Jessup.** (1985). Indices for ranking the potential for pesticide contamination of groundwater. Soil Crop Sci. Soc. Fla. Proc. 44 :1-8.
- Registre Parcellaire Graphique.,** (2017). RPG <http://www.geomartinique.fr/>
- Seguin J.J.** (2015) – Proposition d'un indicateur piézométrique standardisé pour le Bulletin de Situation Hydrogéologique « nappes ». Rapport final. BRGM/RP-64147-FR. 89p., 39 ill., 6 tabl., 4 ann.

Surdyk N., Bessiere H. (2017). Description de la méthode appliquée aux DOM pour l'étude pression-impact du nitrate sur les eaux souterraines. Rapport final. BRGM/RP-67323-FR, 68 p., 31 ill., 5 ann.

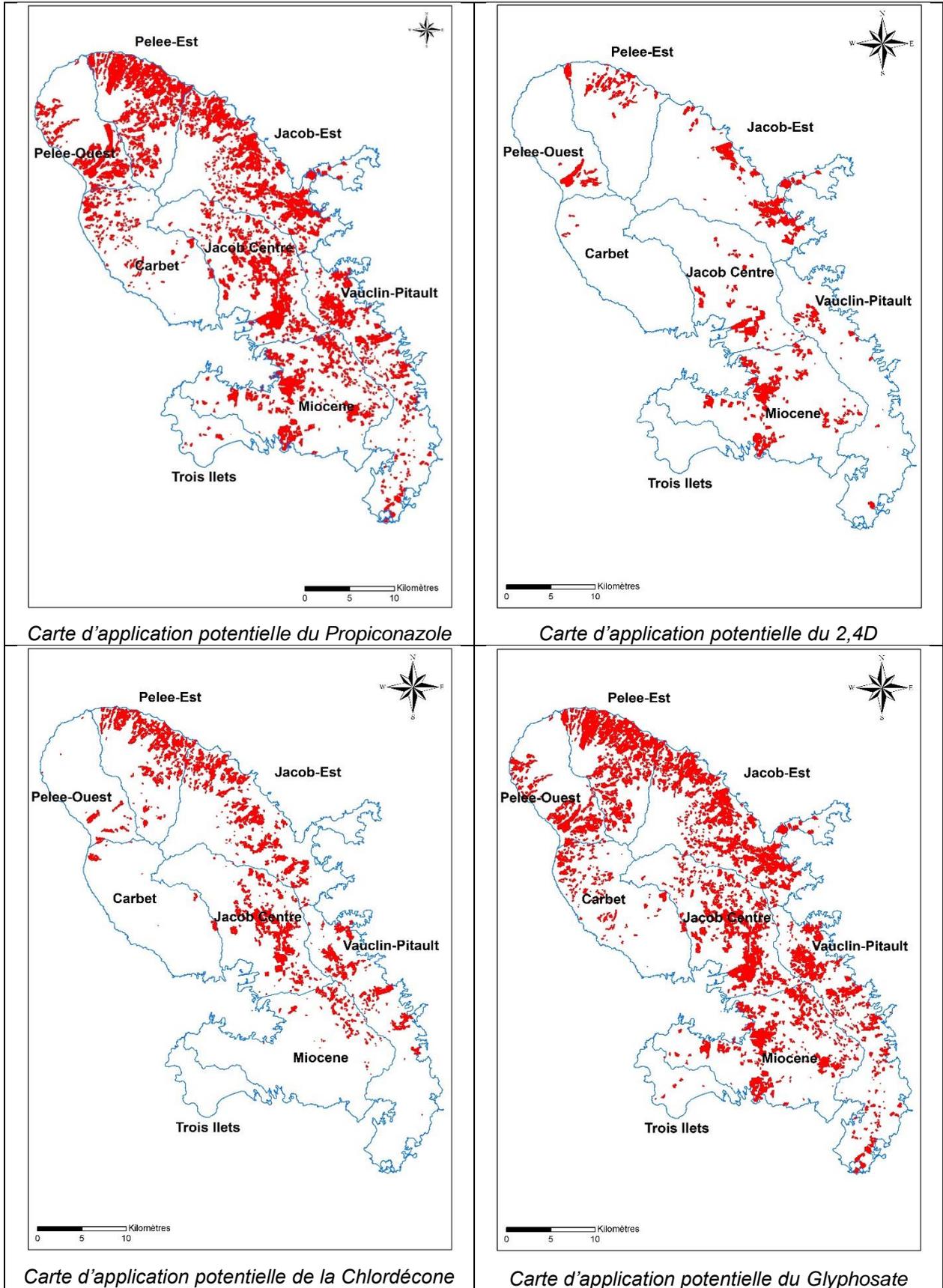
Thiery D. (2003). Logiciel GARDÉNIA, version 6.0. Guide d'utilisation. BRGM/RP-52832-FR, 102 p., 42 fig., 3 ann.

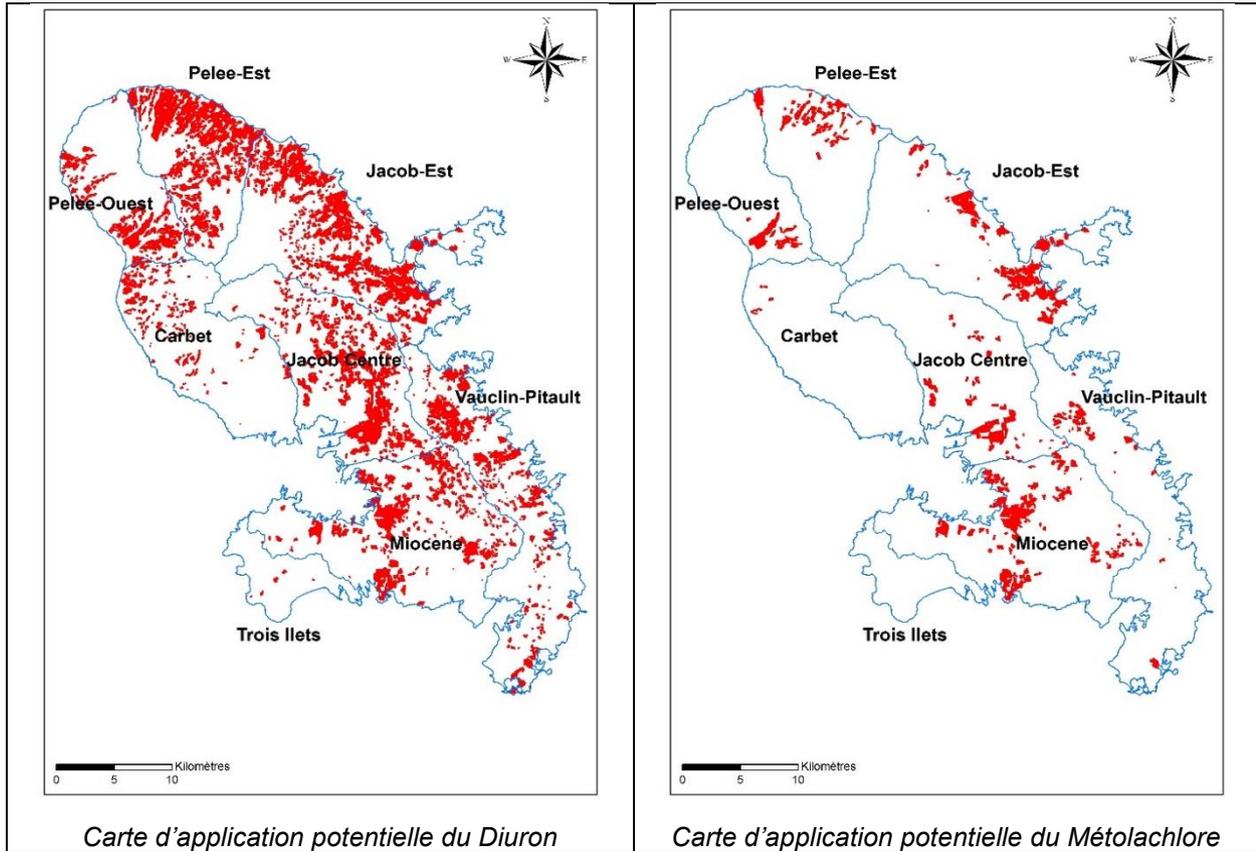
Vittecoq B., Lachassagne P., Lanini, S., Ladouche, B., Marechal J.C., Petit V. (2007a). Elaboration d'un système d'information sur les eaux souterraines de la Martinique : identification et caractérisations quantitatives. Rapport final. BRGM/RP-55099-FR, 221 p., 87 ill., 8 ann.

Vittecoq B., Gourcy L., Baran N., (2007b). Datation des eaux souterraines de Martinique par l'analyse conjointe des CFC, SF6 et tritium et relation avec les concentrations en nitrates et produits phytosanitaires. BRGM/RP-55844-FR, 50 pages, 29 illustrations.

Annexe 1

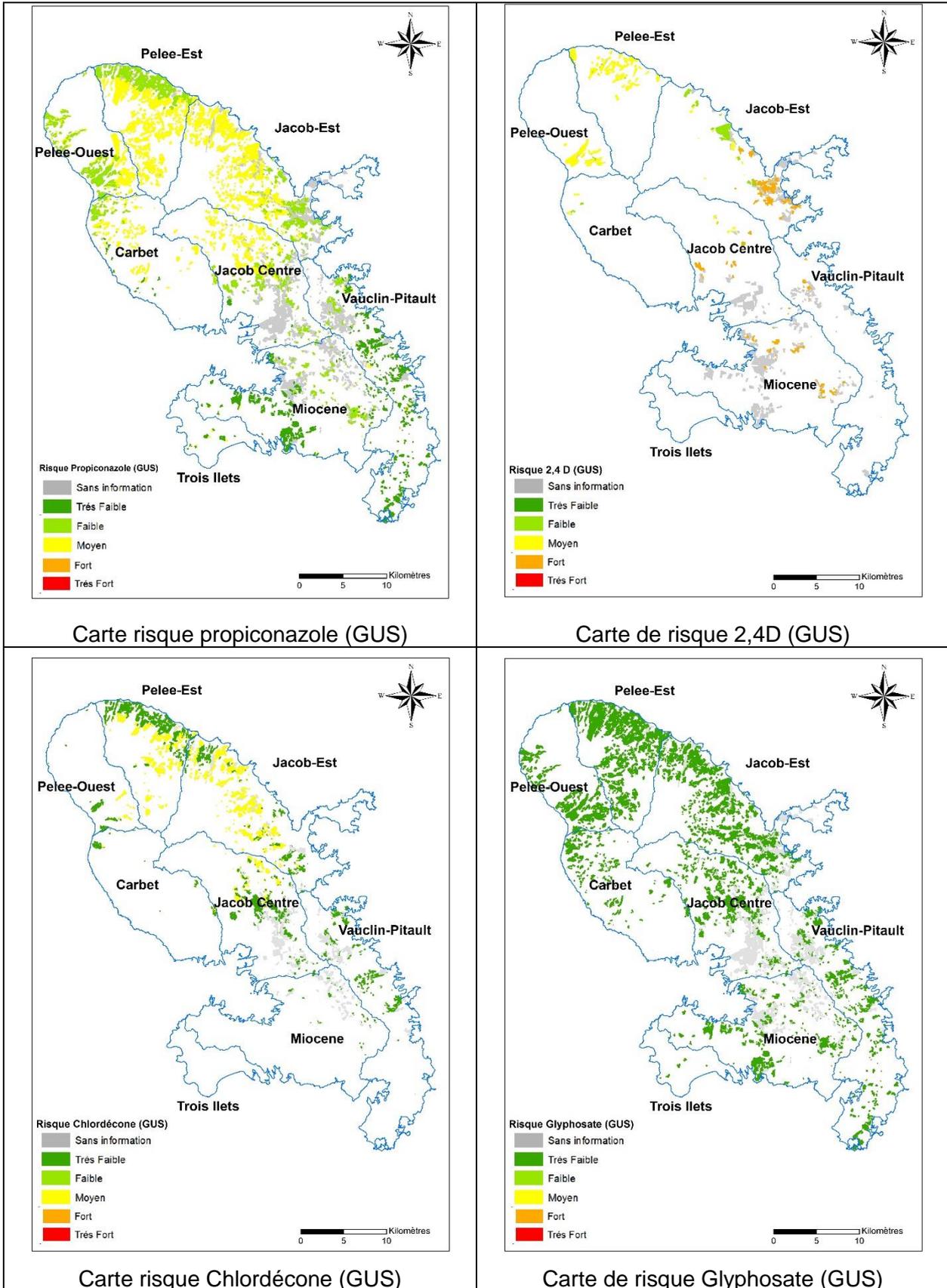
Cartes d'applications potentielles des molécules d'intérêts

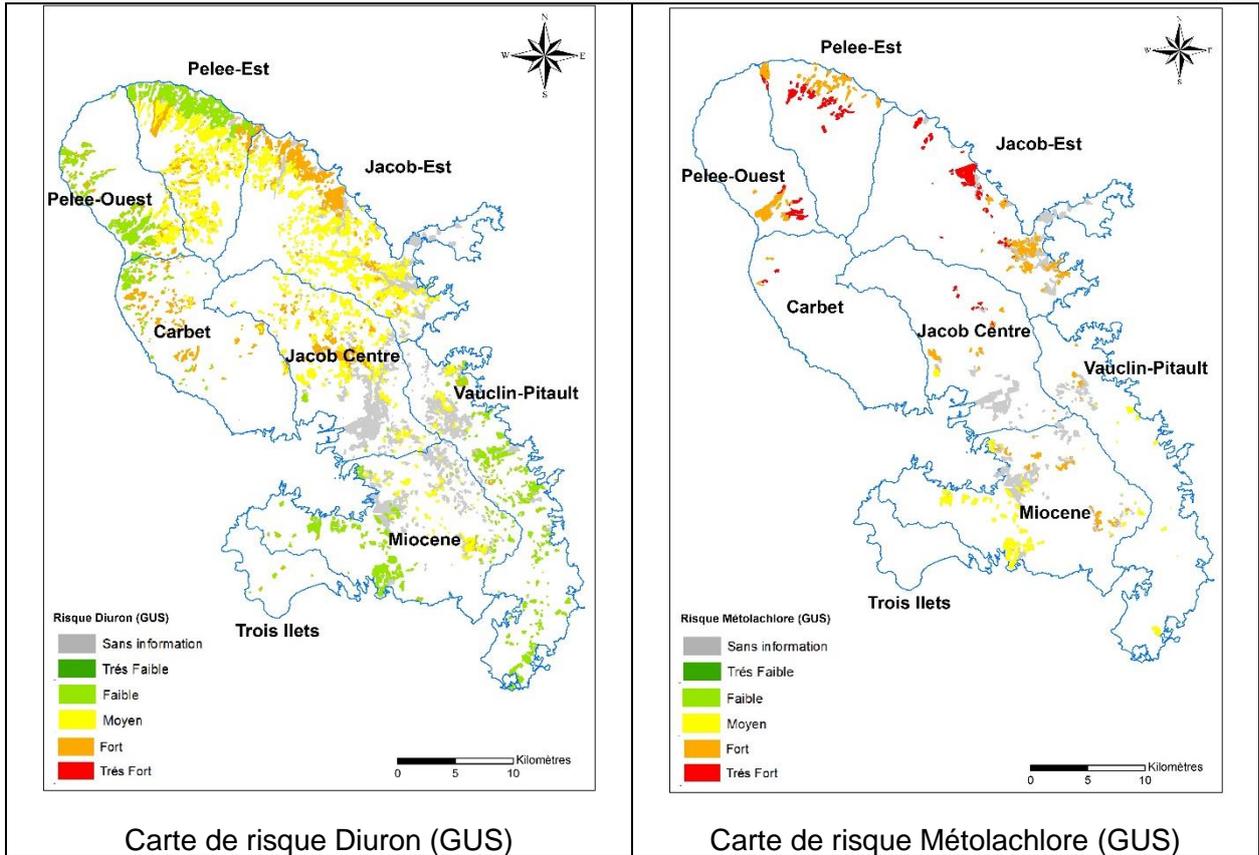




Annexe 2

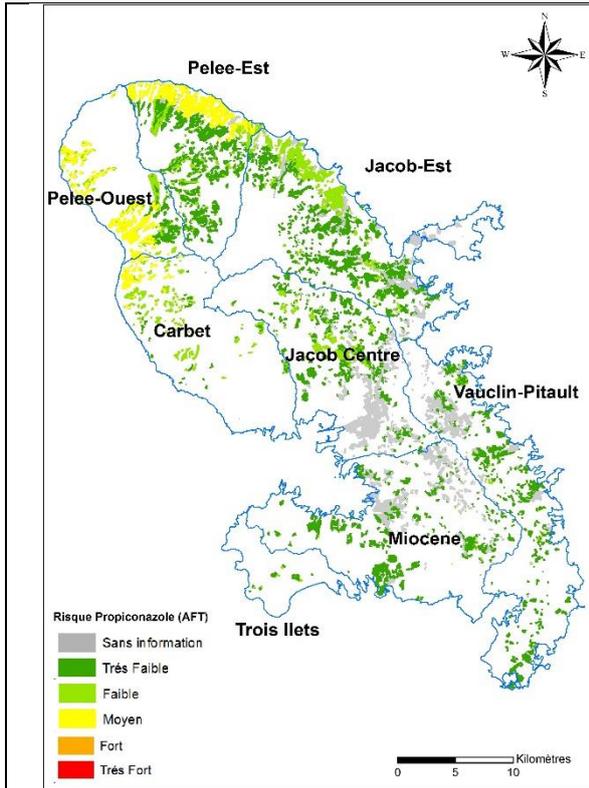
Cartographie des risques par molécules avec l'indice GUS



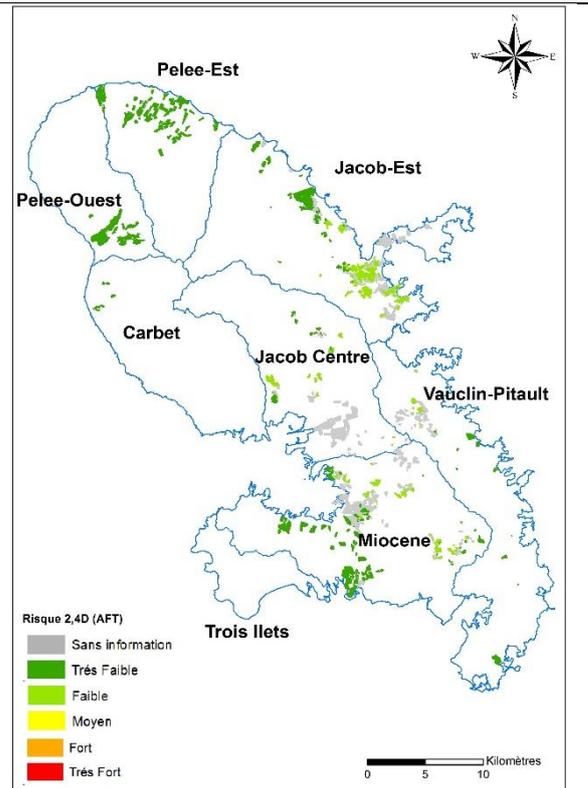


Annexe 3

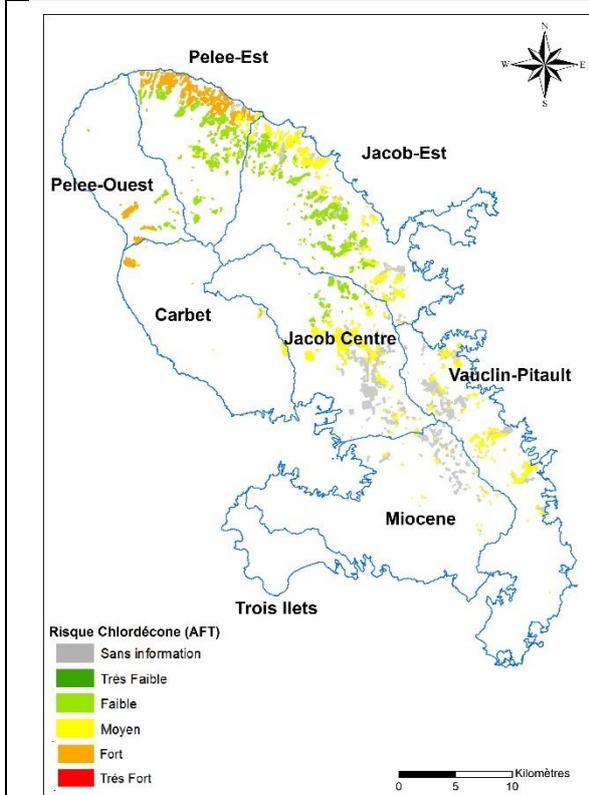
Cartographie des risques par molécules avec l'indice AFT



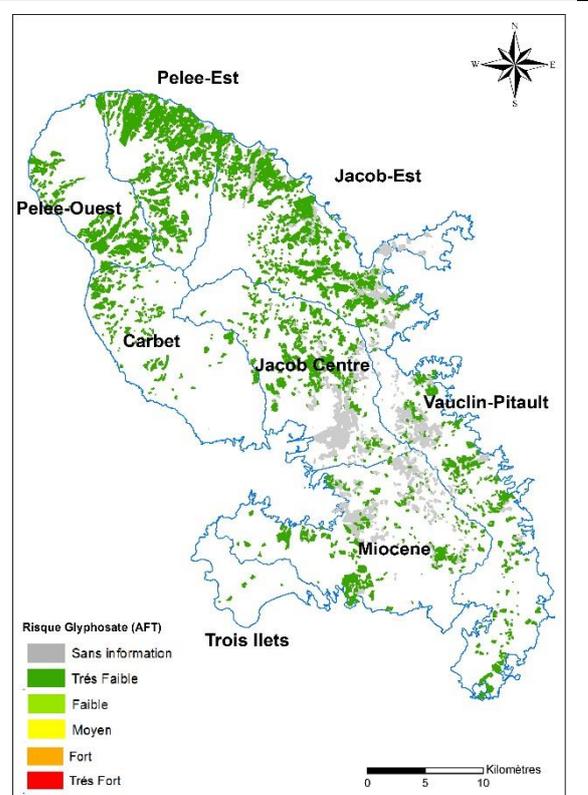
Carte risque Propiconazole (AFT)



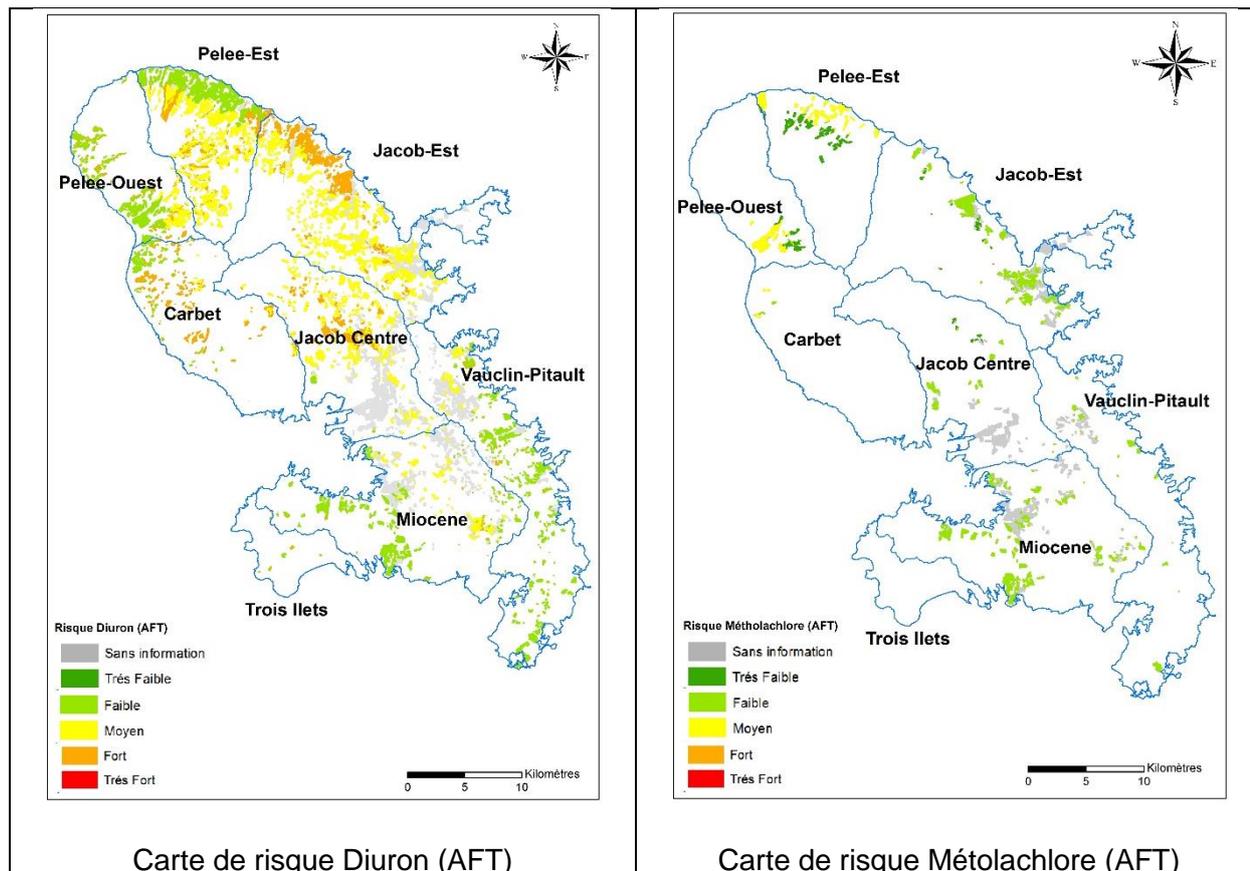
Carte risque 2,4D (AFT)



Carte de risque Chlordécone (AFT)

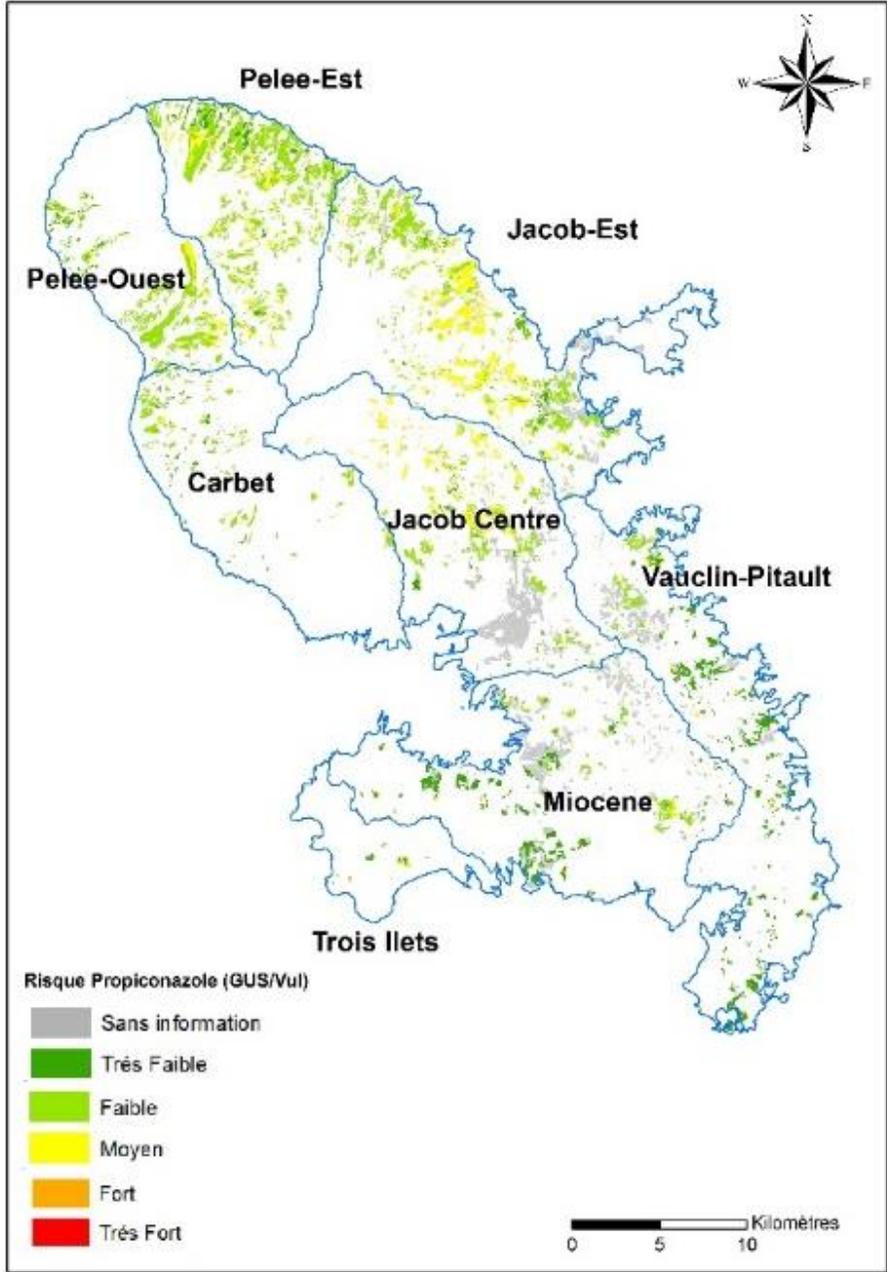


Carte de risque Glyphosate (AFT)

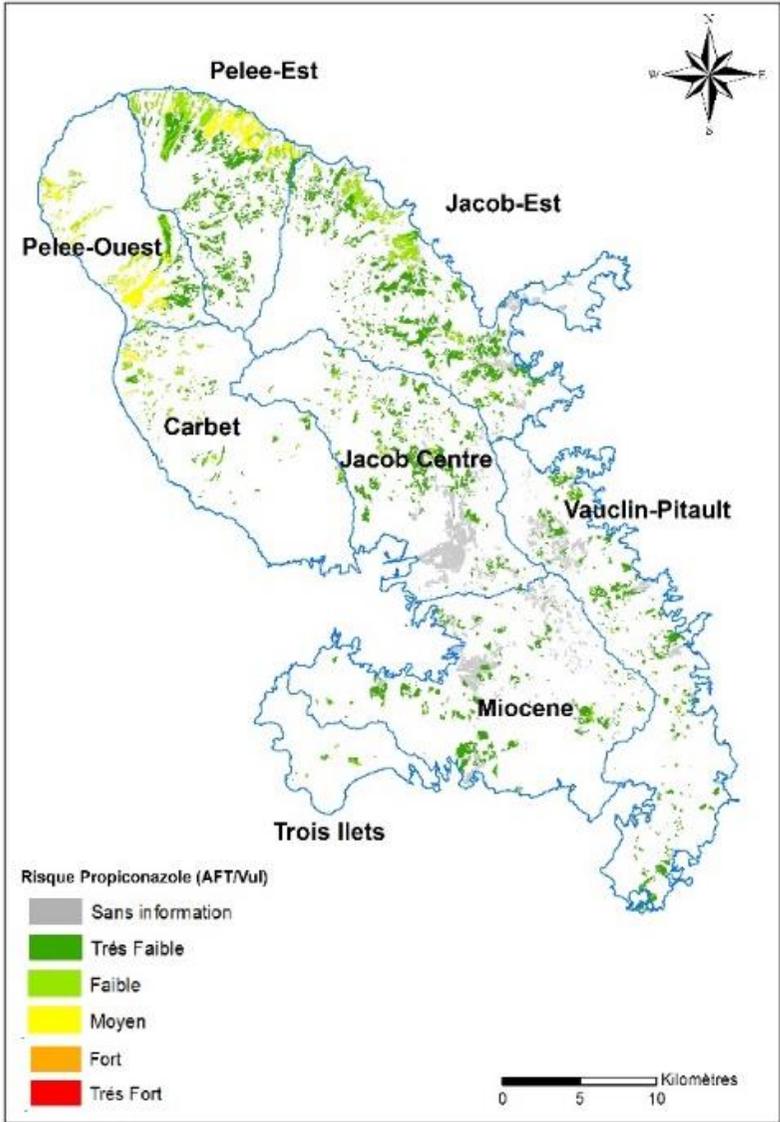


Annexe 4

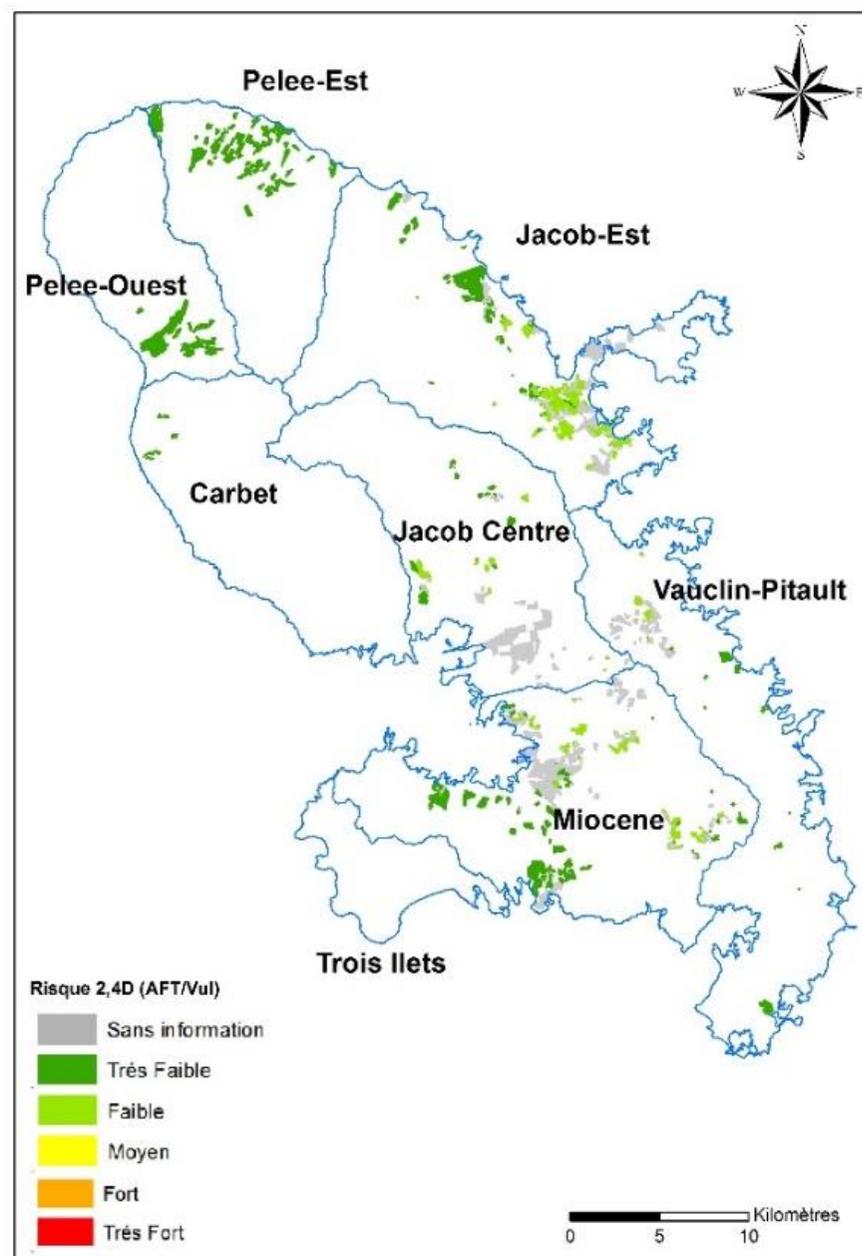
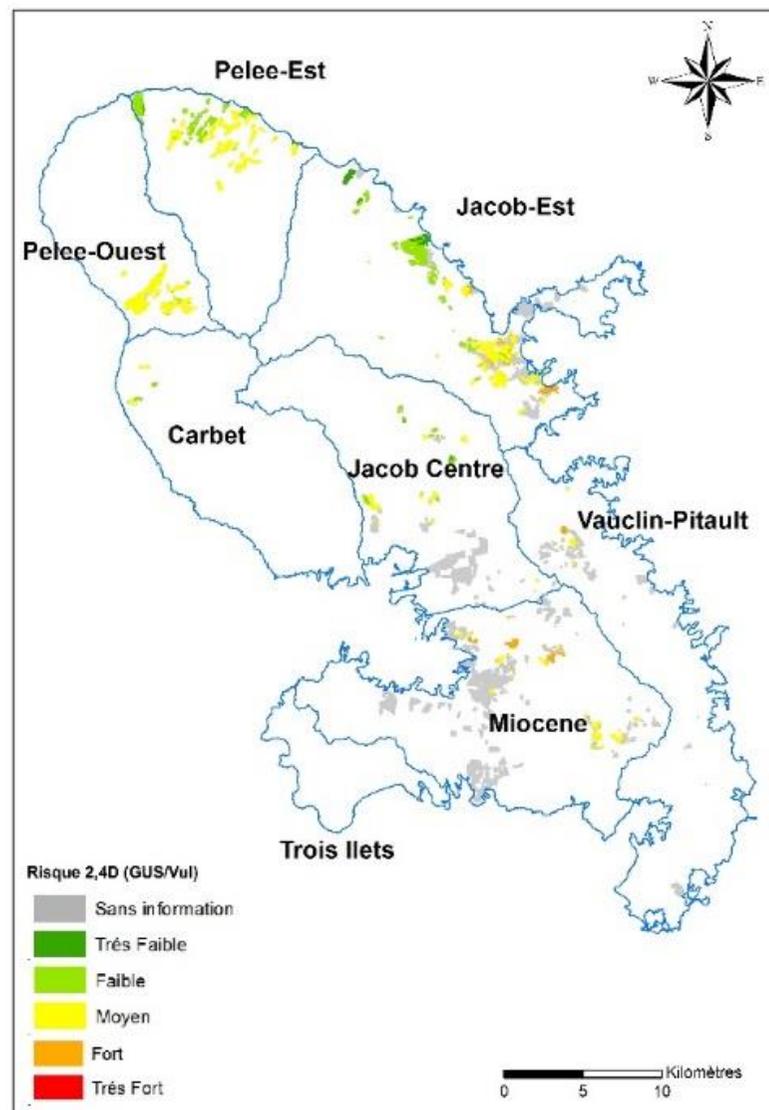
Croisement risque / vulnérabilité par molécule en fonction des indices AFT et GUS



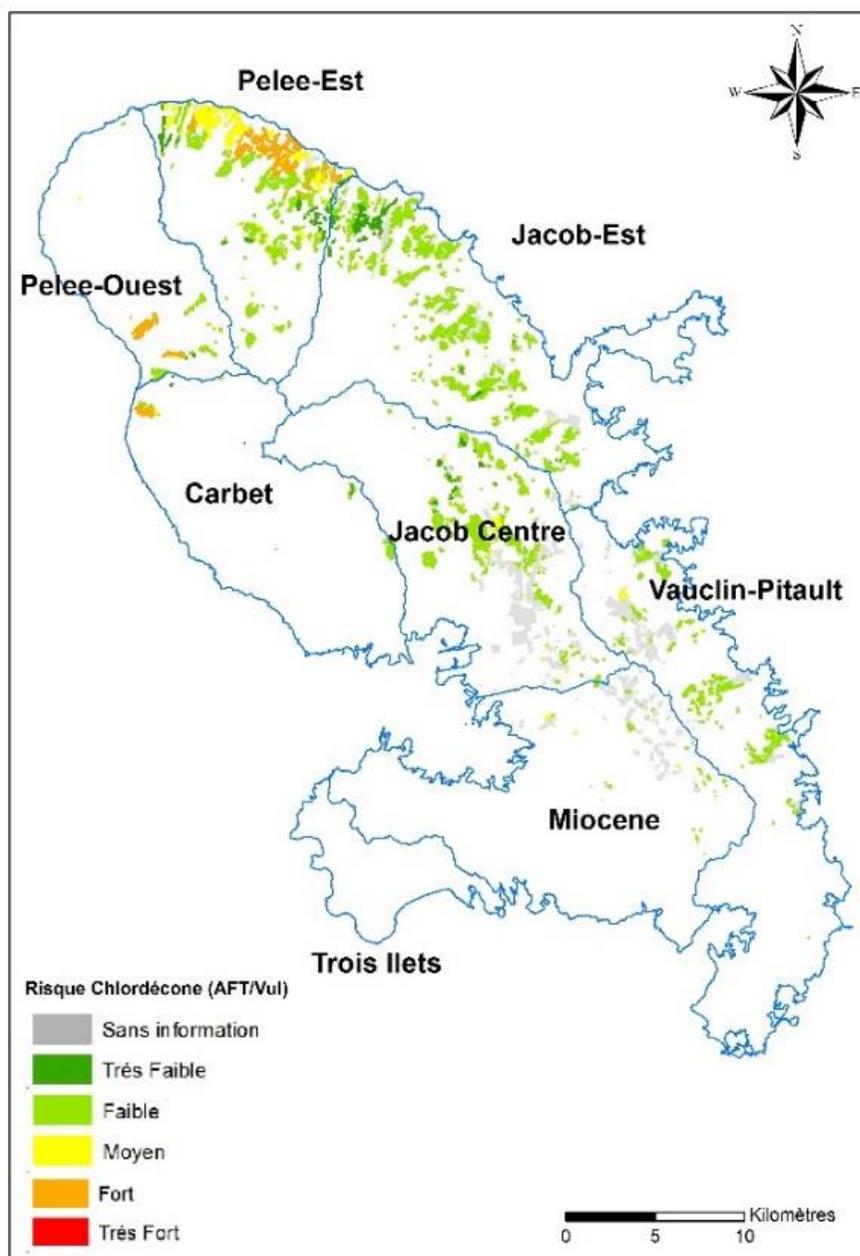
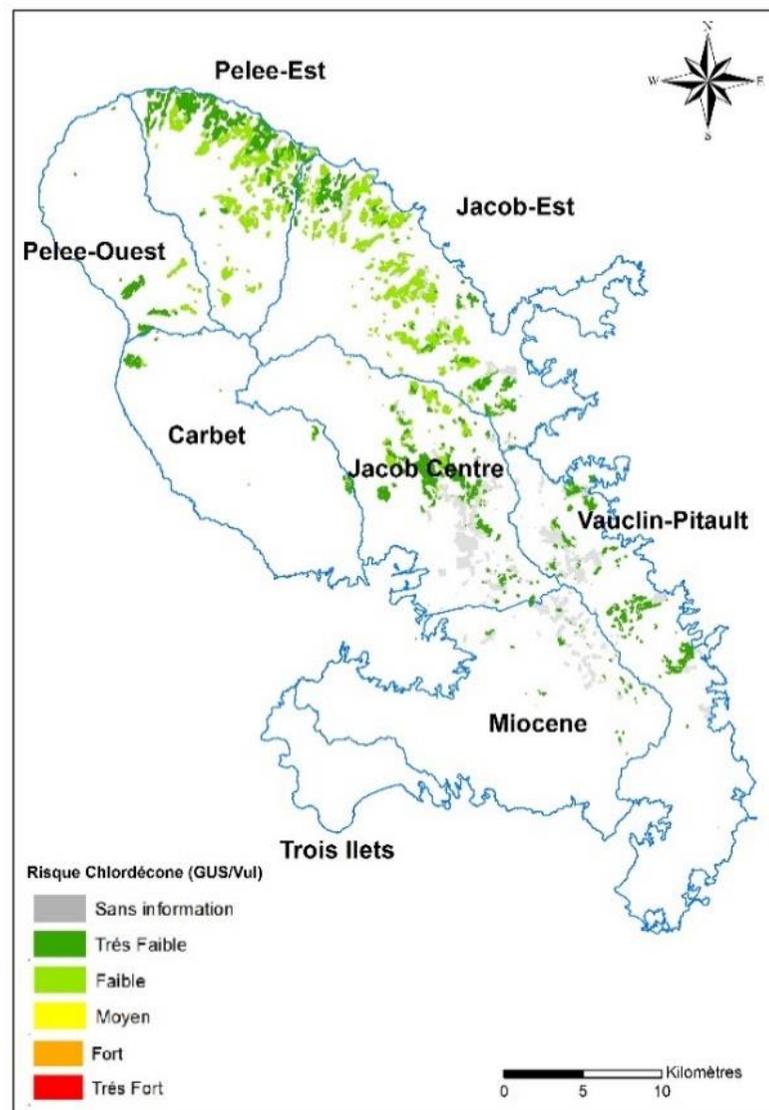
Croisement risque / vulnérabilité pour le Propiconazole



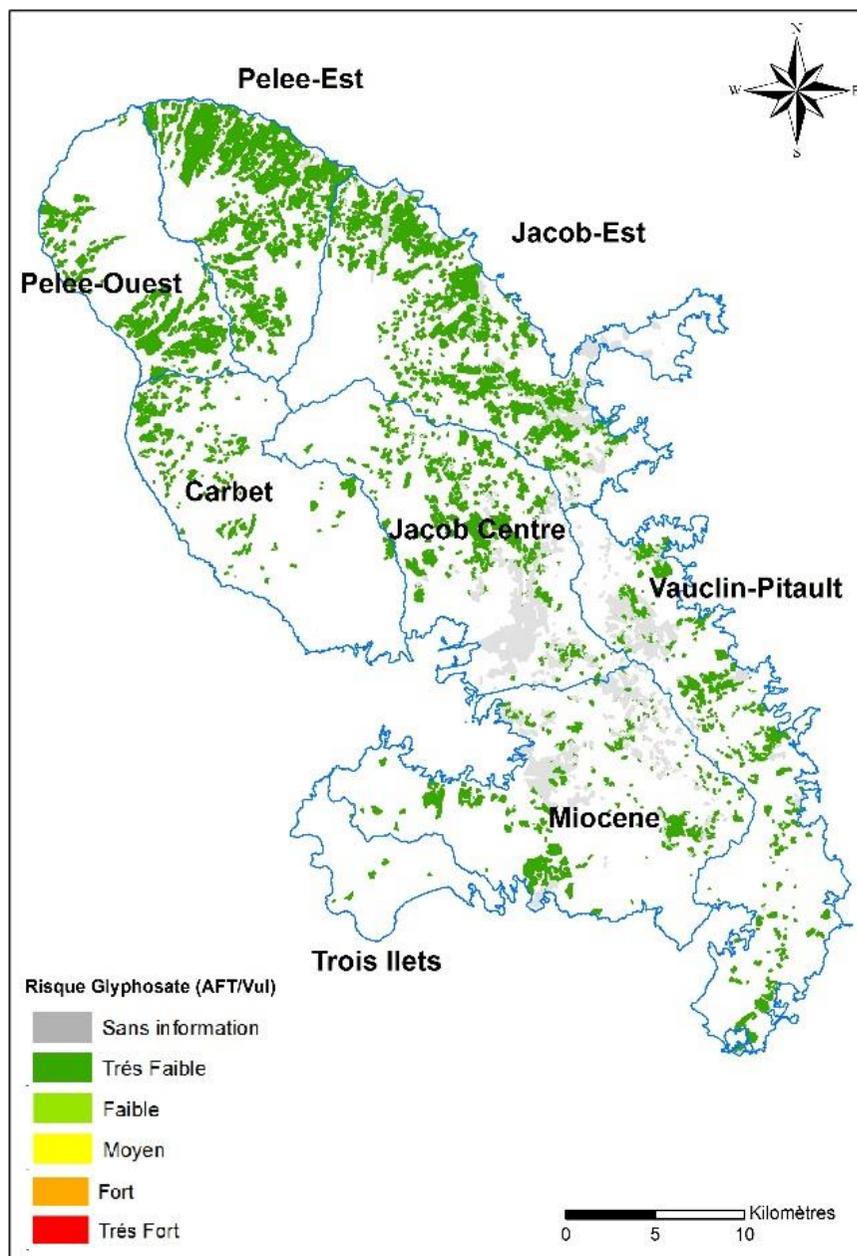
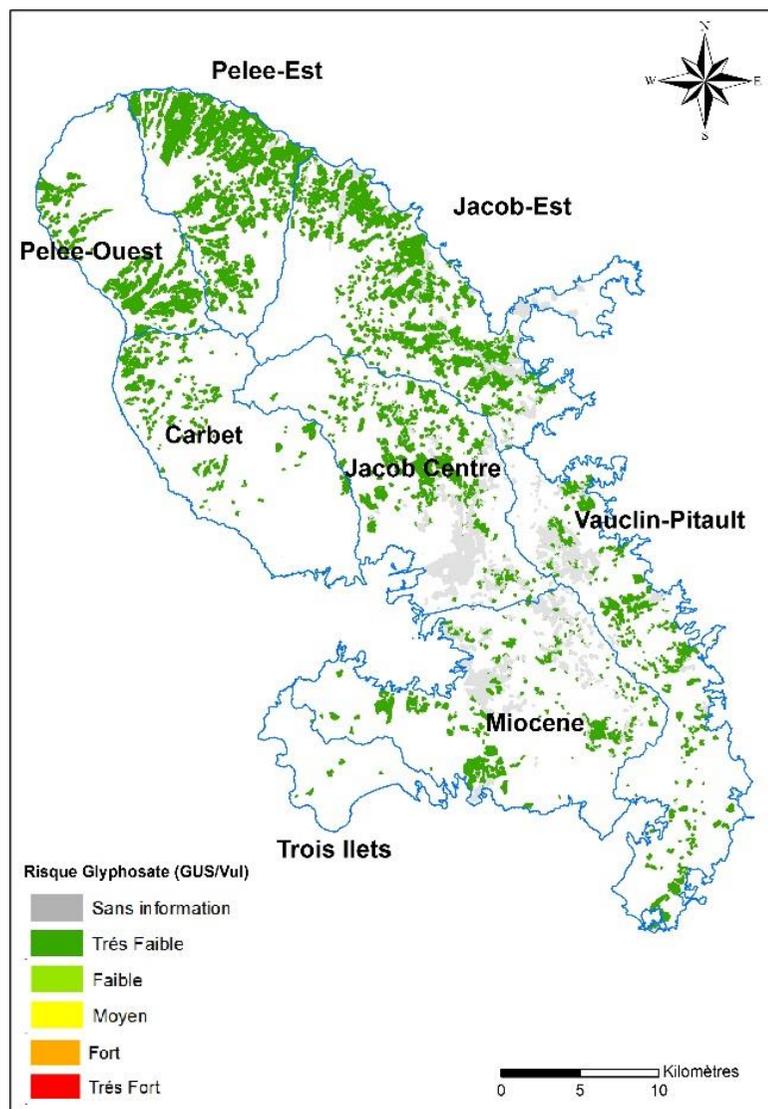
Croisement risque / vulnérabilité pour le 2,4D

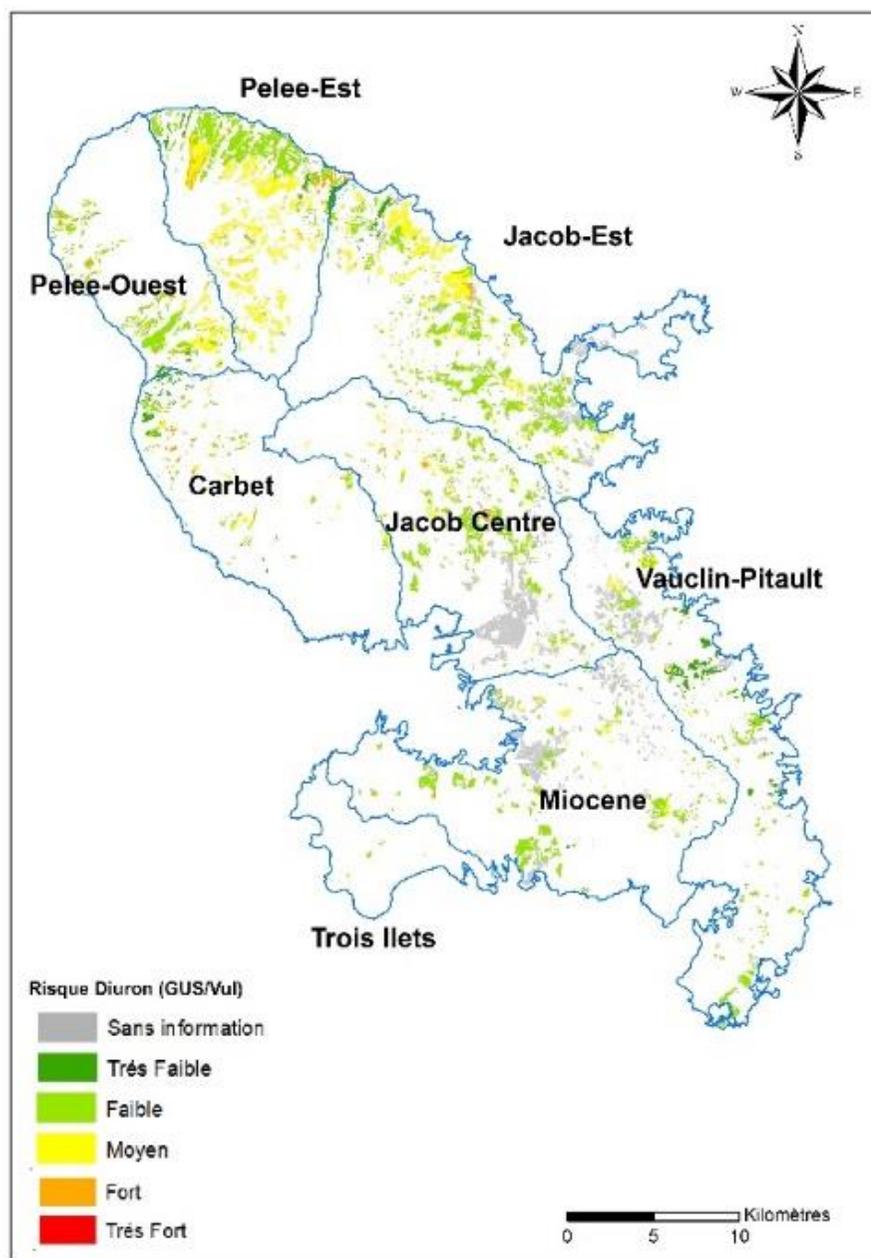


Croisement risque / vulnérabilité pour la Chlordécone

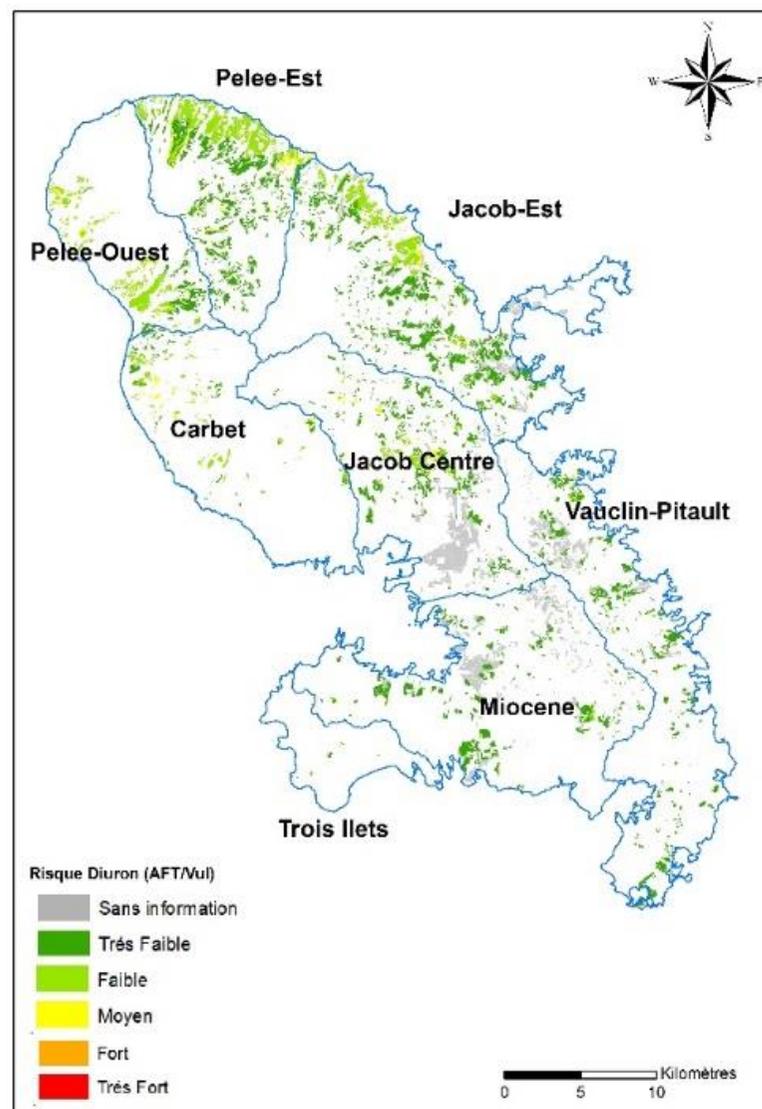


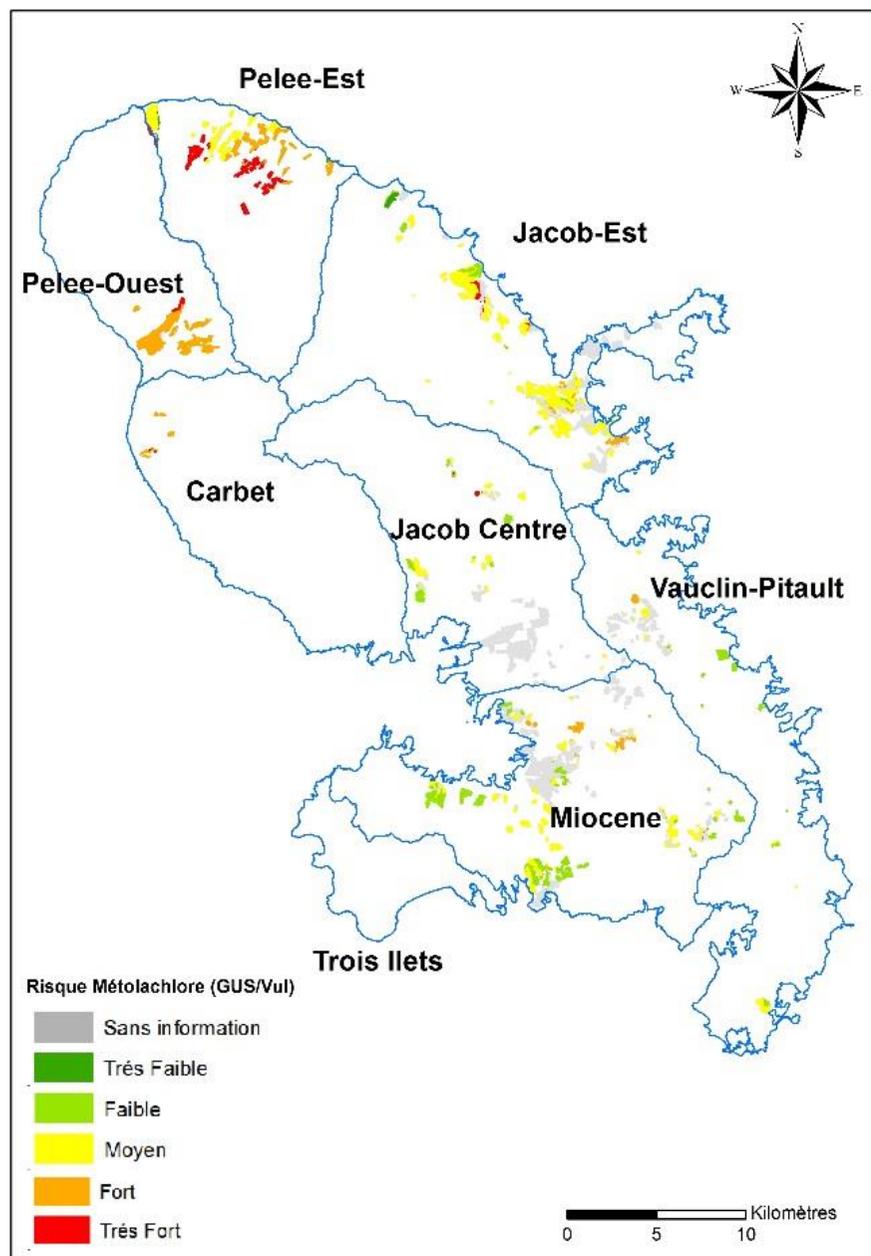
Croisement risque / vulnérabilité pour le Glyphosate



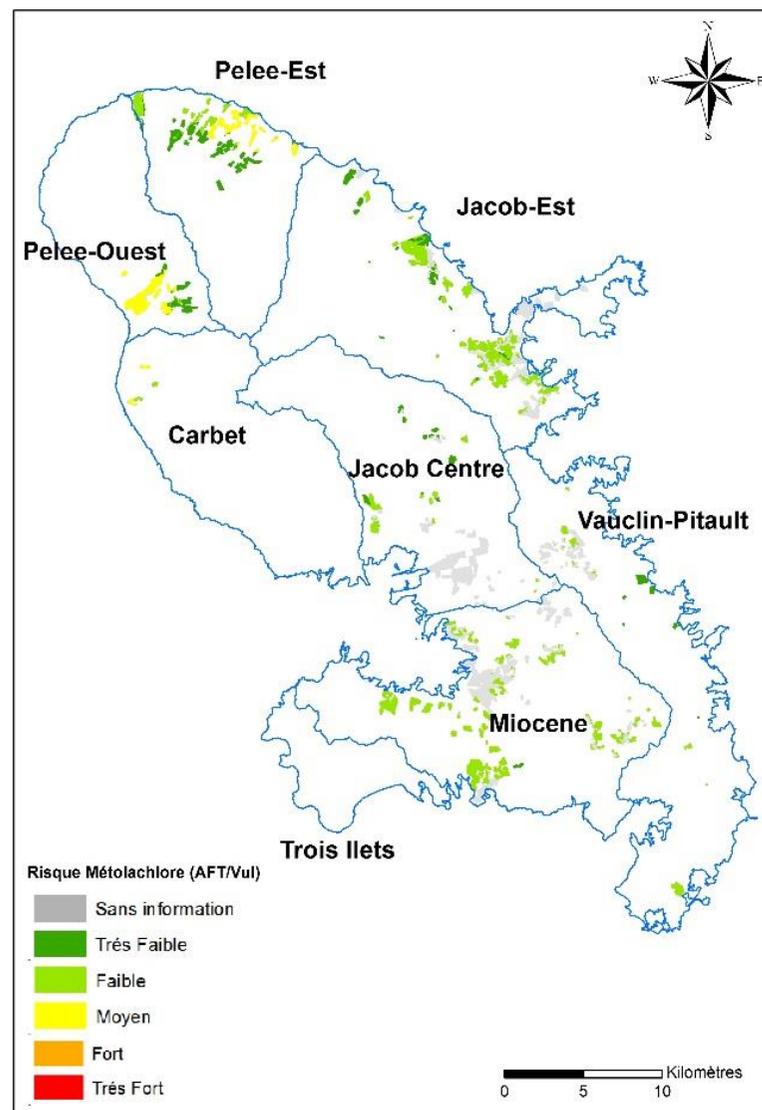


Croisement risque / vulnérabilité pour le Diuron





Croisement risque / vulnérabilité pour le Métolachlor





Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction régionale de Martinique
4 lot. Miramar
Route Point des Nègres
97200 – Fort de France – Martinique
Tél. : 06.96.71.17.70