



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

Liberté  
Égalité  
Fraternité



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

Document à accès immédiat

# Suivi de la qualité de sept sources de bord de route en Martinique

Rapport final

**BRGM/RP-71462-FR**

**7 mars 2022**

Étude réalisée dans le cadre des opérations de service public du BRGM

**Gros E., Taïlamé A.-L., Gourcy L.**

## Vérificateur :

Nom : Chrystelle AUTERIVES

Fonction : Expert hydrogéologue qualité  
des eaux

Date : 17/01/2022

Signature :

## Approbateur :

Nom : Vittecoq Benoît

Fonction : Directeur régional

Date : 07/03/2022

Signature :

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

Contact : [qualite@brgm.fr](mailto:qualite@brgm.fr)

## Avertissement

Ce rapport est adressé en communication exclusive au demandeur, au nombre d'exemplaires prévu.

Le demandeur assure lui-même la diffusion des exemplaires de ce tirage initial.

La communicabilité et la réutilisation de ce rapport sont régies selon la réglementation en vigueur et/ou les termes de la convention.

Le BRGM ne saurait être tenu comme responsable de la divulgation du contenu de ce rapport à un tiers qui ne soit pas de son fait et des éventuelles conséquences pouvant en résulter.

## Votre avis nous intéresse

Dans le cadre de notre démarche qualité et de l'amélioration continue de nos pratiques, nous souhaitons mesurer l'efficacité de réalisation de nos travaux.

Aussi, nous vous remercions de bien vouloir nous donner votre avis sur le présent rapport en complétant le formulaire mis à votre disposition.

**Mots clés :** Sources, bassin versant, pression anthropique, produits phytosanitaires, exutoire, risques, surveillance, qualité, pollution, datation.

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

**Gros E., Taïlamé A.-L., Gourcy L.** (2022) – Suivi de la qualité de sept sources de bord de route en Martinique. Rapport final V1. BRGM/RP-71462-FR, 69 p.

© BRGM, 2022, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.  
IM003-MT008-P2-21/09/2021

## Synthèse

En 2017, en Martinique, l'ARS, l'Office de l'Eau (ODE) et le BRGM se sont associés pour réaliser un suivi ponctuel de vingt sources en raison de leurs fortes consommations par la population et d'un risque de pollution aux produits phytosanitaires. Souvent, les pressions qui s'exerçaient sur les bassins d'alimentation des sources concordaient avec les résultats d'analyses à l'exception de sept sources. Ces dernières ne présentaient aucune contamination aux pesticides malgré un bassin d'alimentation soumis à de fortes pressions agricoles.

Dans la continuité des travaux réalisés en 2017, le BRGM a proposé de poursuivre la surveillance de ces sept sources non contaminées aux pesticides mais dont les bassins d'alimentation présentent un risque de pollution.

Afin de mieux comprendre les processus de transfert de ces molécules et de mieux gérer le risque de contamination des eaux de source, quatre campagnes de prélèvement ont alors été menées par le BRGM durant les périodes de basses eaux et de hautes eaux entre 2019 et 2020. Une dernière campagne de prélèvement a été réalisée en mars 2021 dans le but d'étudier les temps de résidence des eaux.

Les objectifs de cette étude sont les suivants :

- Mieux comprendre la dynamique de circulation des eaux souterraines et les processus de transfert des molécules grâce à la connaissance des temps des résidences des eaux ;
- Interpréter les résultats des analyses effectuées durant les campagnes en s'appuyant sur la méthodologie prescrite par la Directive Cadre Européenne sur l'eau (DCE) ;
- Proposer des mesures de surveillance complémentaires pour les 7 sources si nécessaire.

D'après les analyses de 73 micropolluants organiques, quatre composés (chlordécone, métolachlore, PCB 138, bisphénol A) ont été détectés sur quatre des sept sources suivies.

Les eaux de la source Méricette au François, Caplet à Morne Vert et Bodard au Lamentin ne présentent aucune contamination en chlordécone, en PCB 138 et en métolachlore ESA. Un temps de transfert des eaux plus long entre le début et la fin de la contamination peut expliquer qu'il n'y ait pas encore eu de détection. Ces sources nécessiteraient une surveillance au cours des prochaines années puisque la qualité des eaux pourrait se dégrader. Il est aussi possible qu'il n'y ait jamais eu de pression anthropique sur ces bassins versants, impliquant qu'il n'y aurait aucune détection de ces molécules dans les années à venir.

Les analyses des sources Morne Honoré à Rivière Salée, Cimetière à Sainte-Marie, La Jacques au François et Capitaine au Gros Morne ont révélé des contaminations en chlordécone et en métolachlore ESA ainsi que des âges apparents de 26 ans. Les bassins d'alimentation de ces sources remobilisent donc plus rapidement les composés organiques par rapport aux autres sources ou la circulation souterraine est plus longue (environ 33 ans). Ainsi, les risques pour les bassins d'alimentation de ces quatre sources ont été confirmés grâce aux analyses. La concordance entre les risques des bassins d'alimentation et les analyses a été confirmée.

Les 3 sources pour lesquelles un suivi est encore nécessaire puisqu'aucune contamination n'a été détectée alors que leur bassin versant est soumis à une pression agricole sont les sources Méricette, Caplet et Bodard.



## Sommaire

1. Introduction .....	11
2. Les sources .....	13
3. Méthodologie .....	15
3.1. campagne de Mesure et prélèvements .....	15
3.1.1. <i>Les campagnes de prélèvement : paramètres organiques et inorganiques</i> .....	15
3.1.2. <i>La campagne de prélèvement des gaz dissous</i> .....	16
3.2. les gaz dissous CFC/SF <sub>6</sub> .....	18
4. Résultats d'analyses et interprétation .....	23
4.1. les paramètres in situ .....	23
4.2. les Nitrates .....	24
4.3. Les éléments majeurs et traces .....	25
4.4. les produits phytosanitaires .....	26
4.5. Datation des eaux « jeunes », CFC et SF <sub>6</sub> .....	27
5. Conclusion .....	29
6. Bibliographie .....	31



## Table de illustrations

Illustration 1 : Comparaison entre risque et contamination par les nitrates et pesticides (Taïlamé et Nacimento, 2017) .....	13
Illustration 2 : Localisation des sources dites « de bord de route » et des stations météo (MNT) .....	14
Illustration 3 : Mesures des paramètres physico-chimiques in situ à la source La Jacques (à gauche) et prélèvements d'eau à la source Bodard (à droite).....	16
Illustration 4 : Schéma du système de prélèvement de l'eau pour l'analyses de CFC et SF <sub>6</sub> (Vittecoq et al., 2007) .....	17
Illustration 5 : Prélèvement de gaz dissous CFC et SF <sub>6</sub> à la source Cimetière. Dispositif mis en place pour éviter la contamination d'origine atmosphérique .....	18
Illustration 6 : Schéma de réalisation de l'estimation des âges apparents des eaux souterraines par traceurs chimiques .....	19
Illustration 7 : Configuration hydrogéologique simplifiée pour laquelle le modèle type piston-exponentiel peut être utilisé.....	20
Illustration 8 : Configurations hydrogéologiques simplifiées pour lesquelles le modèle type mélange exponentiel peut être utilisé .....	20
Illustration 9 : Paramètres physico-chimiques mesurés au cours des campagnes de 2014 à 2021 .....	23
Illustration 10 : Tableau présentant une estimation des débits des sources depuis 2014 .....	24
Illustration 11 : Historique des concentrations en nitrate en mg/L depuis 2014.....	24
Illustration 12 : Diagrammes de Piper pour les 4 campagnes de prélèvements réalisés entre 2019 et 2020 .....	25
Illustration 13 : Tableau récapitulatif des composés organiques quantifiés dans les sources en µg/L.....	26
Illustration 14 : Résultats des analyses de CFC-11, CFC-12, CFC-113 et SF <sub>6</sub> pour les eaux analysées.....	27





## Liste des annexes

Annexe 1 Listes des paramètres organiques (1 & 2) et inorganiques (3) .....	33
Annexe 2 Chroniques géochimiques (éléments majeurs) des sources bord de route .....	41
Annexe 3 Chroniques des débits des sources bord de route .....	45
Annexe 4 : Tableau récapitulatif des analyses en composés inorganiques réalisées durant les campagnes de 2019 à 2020 .....	49
Annexe 5 Histogrammes des pluies mensuelles de 2019 et 2020 des stations pluviométriques de Morne-Rouge, de Saint-Joseph et de St-Anne (Météo France) .....	53
Annexe 6 Bassin d'alimentation des sources.....	57



# 1. Introduction

Les sources dites de « bord de route » sont couramment utilisées et/ou consommées par la population, or, elles peuvent être sujettes à de fortes pressions anthropiques et présenter des contaminations diverses impliquant des problèmes de santé publique. La présence de produits phytosanitaires dans les nappes d'eau souterraine est par ailleurs problématique pour le bon état des masses d'eau exigé par la DCE (Directive cadre sur l'eau).

Une étude a été menée de 2004 à 2009 par l'Agence Régionale de la Santé (ARS) de Martinique afin de recenser les sources de bord de route et d'évaluer leur niveau de pollution ; 126 sources ont été identifiées. A la suite d'analyses bactériologiques et chimiques, il est ressorti que plus de 86% des sources ne respectaient pas les critères fixés par le code de la santé publique pour les eaux destinées à la consommation humaine.

En 2010, l'ARS, l'Office de l'Eau (ODE) et le BRGM ont caractérisé la vulnérabilité et les risques de pollution de 160 sources en Martinique (Allier et al, 2010). A la suite de ce travail, vingt sources à fort enjeux car fortement consommées par la population et présentant des risques de pollution d'origine phytosanitaire ont été ponctuellement suivies en 2014 ([Taïlamé et Nascimento, 2017](#)). L'objectif de l'étude était de croiser les résultats d'analyses des eaux souterraines avec des estimations de risque de pollution réalisées sur SIG à l'échelle du bassin d'alimentation des sources. Il en résulte alors que les pressions anthropiques et agricoles qui s'exercent sur les bassins d'alimentation de ces sources sont cohérentes avec les résultats d'analyses obtenues, à l'exception de sept d'entre-elles. En effet, ces dernières ne présentent aucune contamination aux pesticides malgré des bassins d'alimentation sous pression anthropique.

La complexité des écoulements souterrains et des processus de dégradation des polluants dans les aquifères de Martinique ne permet pas de garantir la bonne qualité de ces sources sur le long terme. Il est donc nécessaire de mieux comprendre les processus de transfert de ces molécules pour mieux gérer le risque de contamination des eaux souterraines.

Ce constat a amené l'ARS, l'ODE et le BRGM à surveiller la qualité des sept sources non contaminées aux pesticides jusqu'en 2014, qui sont situées dans des bassins d'alimentation potentiellement à risque. Pour mener à bien la surveillance des sources, quatre campagnes d'analyse des paramètres organiques et inorganiques sur la période 2019-2020 et une campagne complémentaire de datation des eaux ont été réalisées en 2021.



## 2. Les sources

Les sources qui présentent des incohérences vis-à-vis du risque et des résultats d'analyses en nitrates et pesticides sont indiquées en Illustration 1 et leur localisation est présentée en Illustration 2.

Code BSS	Commune	Source	Nitrates		Pesticides	
			Risque	Concentration	Risque	Détection déjà mesurée
BSS002NNSV	Gros Morne	Capitaine	oui	<10mg/L	oui	non
BSS002NNSZ	Saint Marie	Cimetière	oui	<10mg/L	oui	non
BSS000NNLF	Morne Vert	Caplet	oui	<10mg/L	oui	non
BSS002NTMF	François	La	oui	>10mg/L	oui	non
BSS002NTLH	Lamentin	Bodard	oui	<10mg/L	oui	non
BSS02NTMP	François	Méricette	oui	<10mg/L	oui	non
BSS002NUFV	Rivière Salée	Morne	oui	<10mg/L	oui	non

*Illustration 1 : Comparaison entre risque et contamination par les nitrates et pesticides (Taïlamé et Nascimento, 2017)*

Les surfaces théoriques des bassins d'alimentation des sources ont été affinées en 2017 à partir de l'infiltration moyenne observée sur chaque secteur, de la topographie, de la géologie et des surfaces d'alimentation probables au regard des débits mesurés ponctuellement.

Ces sources présentent un risque théorique de pollution par les nitrates ([Allier D, Pincon S et al., 2010](#)) mais les analyses montrent des concentrations toujours inférieures à 10 mg/L à l'exception de la source la Jacques au François. Toutes les sources présentent un risque de pollution par les produits phytosanitaires alors qu'il n'y a pas eu de détection lors de la campagne de prélèvement de 2014 et celles réalisées antérieurement ([Taïlamé et Nascimento, 2017](#)).

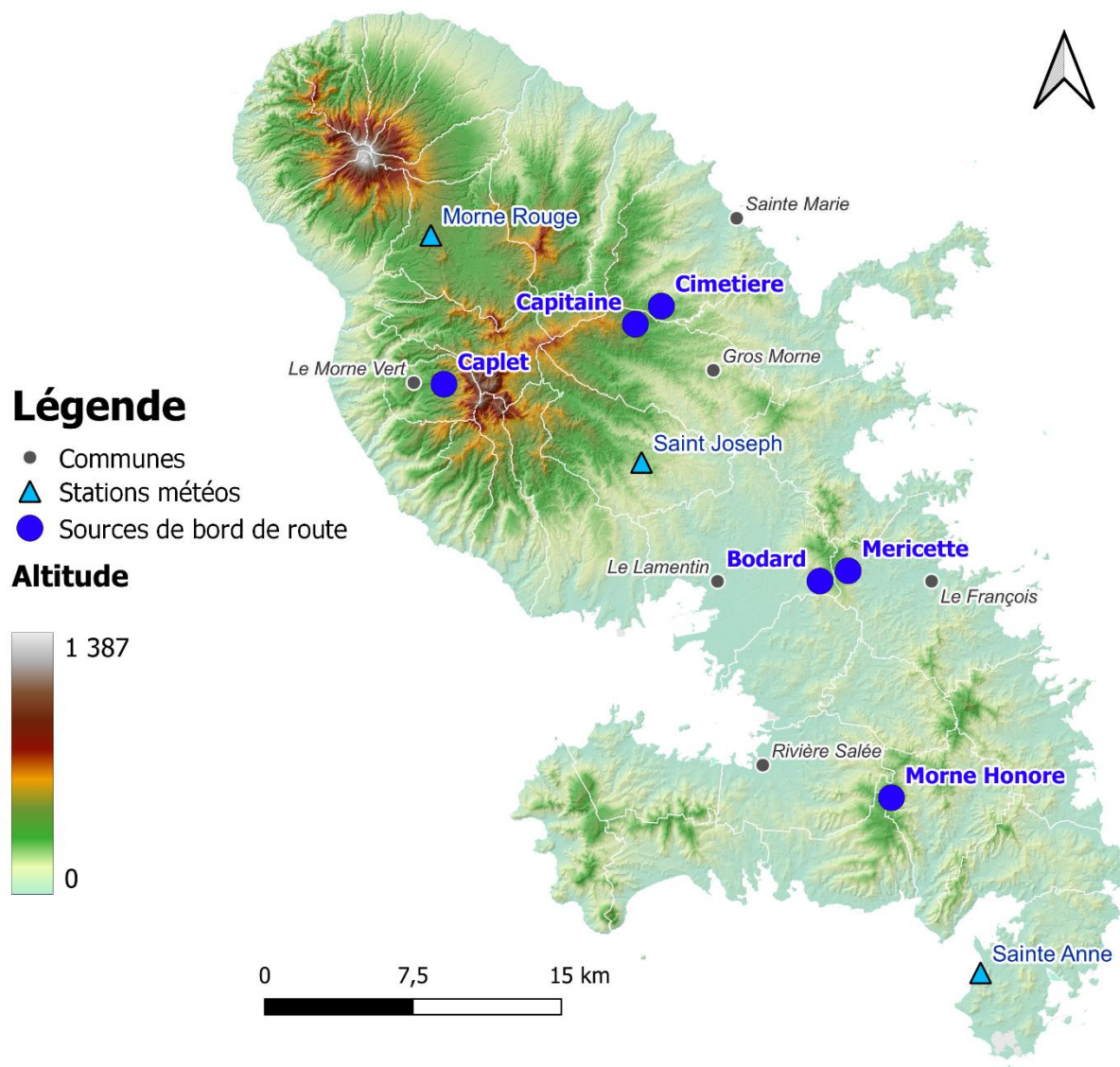


Illustration 2 : Localisation des sources dites « de bord de route » et des stations météo (MNT)

## 3. Méthodologie

### 3.1. CAMPAGNE DE MESURE ET PRELEVEMENTS

#### 3.1.1. Les campagnes de prélèvement : paramètres organiques et inorganiques

Quatre campagnes de prélèvements ont été réalisées pour l'analyse des paramètres organiques et inorganiques (Annexe 1) :

- deux campagnes en période de basses eaux aux mois de juillet 2019 et 2020 ;
- deux campagnes en période de hautes eaux aux mois de novembre 2019 et décembre 2020.

La bonne pratique du prélèvement conditionne en très grande partie la fiabilité des analyses réalisées et donc l'interprétation qu'il sera possible d'en faire. Pour assurer la représentativité et l'intégrité des prélèvements réalisés depuis l'extraction du milieu souterrain jusqu'aux laboratoires, il a été appliqué les recommandations techniques du guide AQUAREF relatif à l'échantillonnage en eau souterraine disponible sur le site internet [www.aquaref.fr](http://www.aquaref.fr).

L'échantillonnage des sources a été réalisé au plus près de l'émergence et le remplissage du flaconnage fourni par le laboratoire d'analyse de La Drôme sans matériel intermédiaire. Les mesures des paramètres physico-chimiques *in situ* sont systématiquement réalisées ainsi que trois mesures de débit manuelles (mesures réalisés avec un seau doseur de 15 L). Les trois mesures de débit ont ensuite été moyennées pour définir une seule valeur. Une fois les prélèvements effectués, les échantillons sont conservés à  $5 \pm 3^{\circ}\text{C}$  et expédiés par voie aérienne au laboratoire d'analyse de la Drôme dans les 48h et analysés dans les jours qui suivent.

L'illustration 3 montre une partie du matériel employé pour l'échantillonnage et les boîtiers de mesure de paramètres *in situ*.





*Illustration 3 : Mesures des paramètres physico-chimiques in situ à la source La Jacques (à gauche) et prélèvements d'eau à la source Bodard (à droite)*

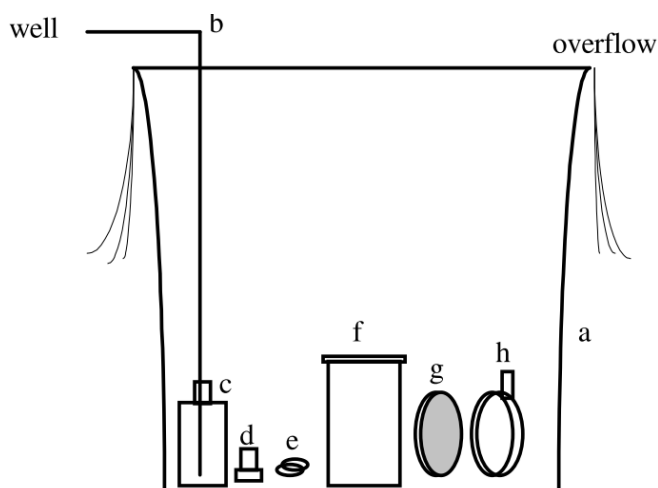
### **3.1.2. La campagne de prélèvement des gaz dissous**

Les prélèvements des gaz dissous ont été réalisés en mars 2021 et leur analyse est assurée par le laboratoire Spurenstofflabor, situé en Allemagne, spécialisé dans l'analyse des CFC et SF<sub>6</sub>, figurant parmi les quelques laboratoires reconnus en Europe.

Ces prélèvements doivent respecter un protocole strict développé par Oster *et al.* (1996). Ils font l'objet d'une méthode spécifique pour éviter toute contamination avec l'atmosphère et obtenir un échantillon représentatif du milieu souterrain (Illustration 4).

Ces prélèvements sont réalisés dans des flacons en verre de 500 mL placés dans un récipient métallique qui sera rempli par l'eau de prélèvement pour limiter les mélanges avec l'air ambiant jusqu'à débordement. L'échantillonnage se fait en permanence sous l'eau.





*Illustration 4 : Schéma du système de prélèvement de l'eau pour l'analyse de CFC et SF6 (Vittecoq et al., 2007)*

*a) récipient en métal, b) tuyau de prélèvement, c) flacon de verre, e) clip métallique pour bloquer le bouchon, f) récipient métallique, g) couvercle du récipient métallique, h) bloqueur couvercle métallique.*

*Source : Plummer et al., 2006*

L'illustration 5 présente un exemple de dispositif mis en place pour saturer le conduit en eau et éviter la contamination de celle-ci avec l'atmosphère. Néanmoins, la contamination peut aussi avoir lieu en amont du prélèvement en fonction du dispositif de la source et du type de nappe. Par exemple, si la source est alimentée par une nappe libre, l'eau superficielle sera déjà équilibrée avec l'atmosphère, empêchant la datation.

Certains dispositifs d'aménagements des sources compliquent leurs prélèvements. C'est le cas de la source « La Jacques » qui n'a pas été échantillonnée car son écoulement se fait via un réservoir qui engendre une importante contamination par l'atmosphère.



*Illustration 5 : Prélèvement de gaz dissous CFC et SF<sub>6</sub> à la source Cimetière. Dispositif mis en place pour éviter la contamination d'origine atmosphérique*

### **3.2. LES GAZ DISSOUS CFC/SF<sub>6</sub>**

Les chlorofluorocarbures ou CFC et les hexafluorures de soufre aussi appelés SF<sub>6</sub> sont des molécules organiques rejetées dans l'atmosphère depuis les années 1940 par les activités humaines. Leur concentration reste élevée malgré leur interdiction en 1995 (Protocole de Kyoto). Les eaux de sources représentent des points de décharge et sont souvent des mélanges complexes d'eaux d'âges différents.

Les traceurs gazeux présents dans l'atmosphère, diffusent dans les zones non-saturées et s'équilibrent avec l'eau souterraine sous forme de gaz dissous suivant la loi de Henry. Les indicateurs chimiques subissent énormément de modification par des facteurs divers comme par exemple : l'estimation de la température et de l'altitude de recharge, l'excès d'air, le dégazage et enfin la dégradation microbienne qui concerne principalement les CFC.

Le principe de datation des eaux se base sur un schéma simple (Illustration 6). Un prélèvement d'eau est réalisé et les échantillons sont envoyés au laboratoire afin d'analyser les concentrations en gaz dissous CFC-11, CFC-12, CFC-113, SF<sub>6</sub> dans l'eau (concentrations données en pico ou femtomoles.L<sup>-1</sup>). Il convient ensuite d'exprimer ses concentrations en 'équivalent atmosphère', c'est-à-dire calculer la concentration de l'air qui était en contact avec l'eau lorsque la mise à l'équilibre s'est opérée. Ce sont ces concentrations qu'il conviendra de comparer avec les mesures de concentrations en gaz dans l'atmosphère, à des stations de référence et mesurées depuis plusieurs dizaines d'années à diverses localisations du globe. La dissolution des gaz dans l'eau est contrôlée par différents paramètres : température, pression atmosphérique, salinité. La température utilisée est celle de l'eau mesurée au moment du prélèvement. La pression atmosphérique est calculée à partir de la donnée d'altitude du point de mesure. Les eaux étant peu minéralisées le facteur salinité n'est pas pris en compte ici. Un modèle de circulation de l'eau de la recharge jusqu'à un exutoire (captage) doit également être choisi pour permettre l'estimation des âges apparents.

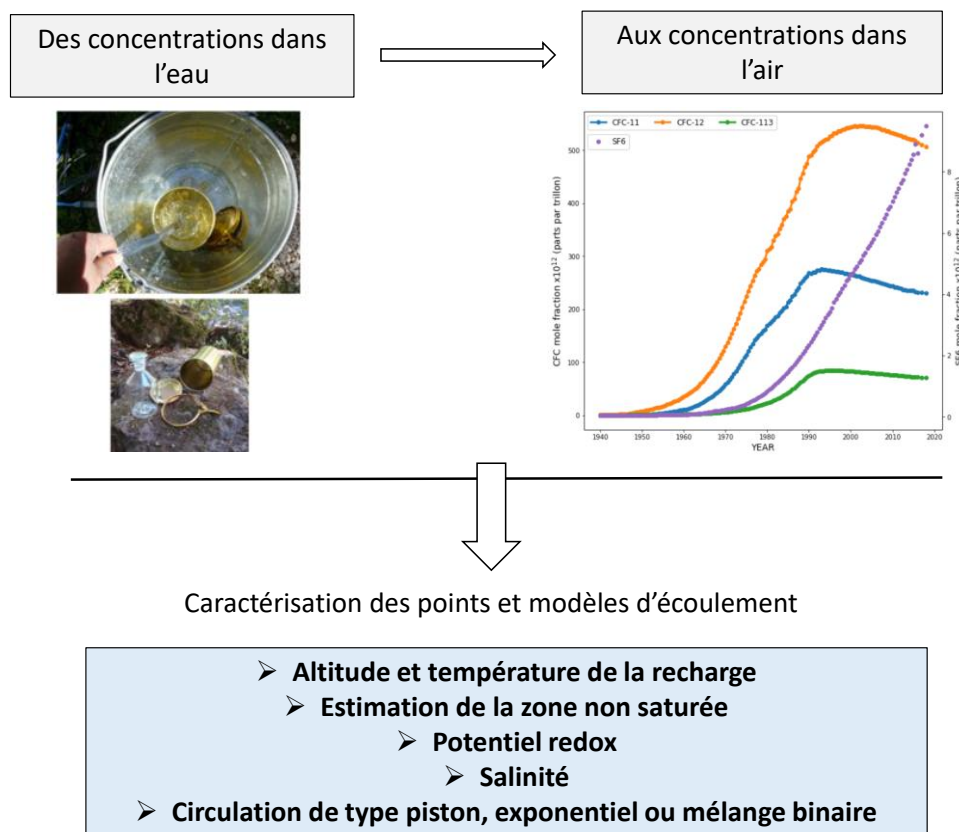


Illustration 6 : Schéma de réalisation de l'estimation des âges apparents des eaux souterraines par traceurs chimiques

L'âge de l'eau est le temps qui s'est écoulé entre le moment où la goutte d'eau est entrée dans le système et le moment où elle est collectée pour analyse. Le temps de résidence est le temps que met cette goutte d'eau pour passer de la zone de recharge à la zone de décharge d'un aquifère.

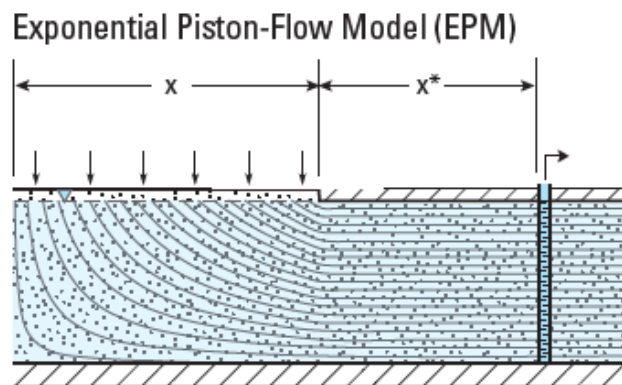
La concentration des gaz dissous ne donne qu'une information relative de l'âge d'une eau. L'âge d'une eau souterraine est en fait l'âge moyen d'un mélange de nombreux écoulements, on parle d'âge « apparent ».

Pour permettre une datation des eaux souterraines, il est essentiel d'établir au préalable un modèle conceptuel des circulations souterraines qui permettra notamment la détermination des principaux modes de circulation des eaux. De manière générale, on peut considérer trois modèles extrêmes sur la façon dont les eaux souterraines circulent : le modèle piston, le modèle exponentiel et le modèle de mélange (binaire).

- Dans le modèle piston il n'y a pas de mélange car toutes les lignes de flux ont le même temps de transit ;
- Dans le modèle exponentiel on imagine une distribution exponentielle des temps de résidence des eaux avec des mélanges d'eaux d'âge très petit et très grand au niveau des points de prélèvement ;
- Enfin, le modèle de mélange correspond au mélange d'un pôle eau ancien et jeune. Les eaux souterraines proviennent très rarement d'une recharge unique mais plutôt de mélanges de plusieurs flux d'eau constituant les aquifères.

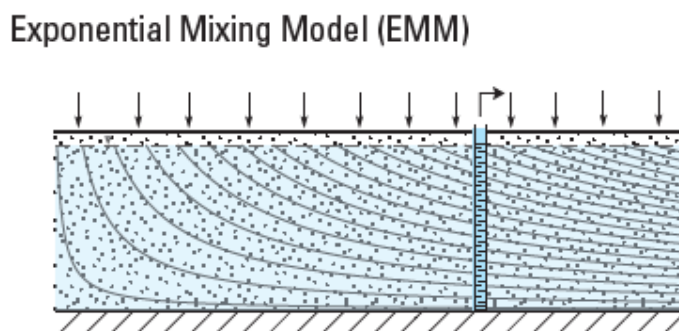
Le modèle exponentiel traduit le fait de capter des lignes de courants de différentes longueurs à l'endroit de l'échantillonnage, sans mélange entre elles. Il faut davantage de temps à une ligne de courant très grande (recharge située loin du puits), qu'à une ligne de courant très petite (recharge à côté du puits) pour parvenir jusqu'au puits. L'eau échantillonnée au puits sera donc un mélange de molécules d'eau ayant parcouru ces différentes lignes de courant. La fonction de répartition entre ces différentes particules d'eau est la fonction exponentielle.

Ce modèle décrit un aquifère avec 2 parties d'écoulements différentes, une première de type exponentiel (dans la zone de recharge de l'aquifère) puis une autre de type piston (Illustration 7) en passant en zone plus captive.



*Illustration 7 : Configuration hydrogéologique simplifiée pour laquelle le modèle type piston-exponentiel peut être utilisé*

Le modèle EMM est applicable à des aquifères libres homogènes d'épaisseur constante recevant une recharge de manière uniforme. Cette situation amène une stratification verticale des âges avec croissance logarithmique de 0 au niveau piézométrique à très important (~infini) à la base de l'aquifère (Illustration 8). Ce modèle est approprié pour un captage captant toute la colonne d'eau ou des aquifères déchargeant en rivière ou au niveau de sources.



*Illustration 8 : Configurations hydrogéologiques simplifiées pour lesquelles le modèle type mélange exponentiel peut être utilisé*

Pour les points d'eau pour lesquels 2 à 3 traceurs peuvent être utilisés, on recherche une bonne adéquation des « âges CFC » pour chacun de ces traceurs en testant également un possible excès d'air ou une altitude et température moyenne de recharge légèrement différente) celles mesurées au point de prélèvement et considérée comme possible au vue des connaissances hydrogéologiques. Dans le cas présent une température moyenne de recharge autour de 25°C

donne de meilleurs résultats. Les temps de transferts sont toutefois très similaires pour une température de recharge de 27°C.



## 4. Résultats d'analyses et interprétation

L'analyse de la chimie des eaux permet de mieux appréhender les chemins d'écoulements de l'eau mais aussi d'estimer les temps de résidence (traceurs environnementaux). Les corrélations entre les temps de résidence des eaux et les paramètres chimiques peuvent aider à améliorer la connaissance des systèmes hydrogéologiques. Les résultats de toutes les analyses chimiques des campagnes de prélèvement depuis 2014 sont présentés dans ce chapitre.

### 4.1. LES PARAMETRES IN SITU

Les mesures *in situ* présentées en Illustration 9 montrent une faible variabilité de tous les paramètres. Les valeurs en oxygène dissous sont peu représentatives compte tenu des conditions de mesure. L'aménagement des sources ne permet pas d'éviter l'effet de chute d'eau qui engendre naturellement une modification de l'oxygène dissous de l'eau des sources.

Les chroniques de chaque paramètre sont présentées en Annexe 2.

Source	Code BSS	Paramètres	oct-14	juil-19	nov-19	juil-20	oct-20	déc-20	mars-21	Moyenne
Capitaine	BSS002NNSV	Conductivité à 25 °C (µS/cm)	76,4	73,9	93,3	94,9		87,4	77,8	84,0
		Température (°C)	24,7	24,6	24,4	24,8		24,8	24,2	24,6
		pH	6,2	6,8	6,0	6,8		6,5	6,2	6,4
		Eh (mV)	153,0	188,0	136,9	62,9		55,0	87,9	114,0
		O <sub>2</sub> (mg/l)	7,5		7,5	7,9		7,4	7,4	7,5
Cimetière	BSS002NNSZ	Conductivité à 25 °C (µS/cm)	97,8	95,0	95,9	96,8		98,5	98,1	97,0
		Température (°C)	25,4	25,3	25,3	25,5		25,3	25,4	25,4
		pH	5,7	5,7	5,7	5,8		5,9	5,7	5,7
		Eh (mV)	224,0	270,8	218,0	251,6		213,0	216,0	232,2
		O <sub>2</sub> (mg/l)	6,1		5,7	6,6		6,3	6,2	6,2
Caplet	BSS000NNLF	Conductivité à 25 °C (µS/cm)	260,0	258,0	250,0	268,0		275,0	263,0	262,3
		Température (°C)	25,8	24,9	24,9	25,0		25,0	24,9	25,1
		pH	6,3	6,1	5,7	6,1		6,1	6,1	6,1
		Eh (mV)	190,0	247,7	251,0	243,0		177,4	201,2	218,4
		O <sub>2</sub> (mg/l)	5,7		4,6	5,8		5,0	6,0	5,4
La Jacque	BSS002NTMF	Conductivité à 25 °C (µS/cm)	626,0	632,0	601,0	641,0		594,0		618,8
		Température (°C)	26,0	27,0	26,1	27,6		25,5		26,4
		pH	6,5	7,3	6,9	6,9		6,8		6,9
		Eh (mV)	167,0	185,0	178,2	218,0		190,0		187,6
		O <sub>2</sub> (mg/l)	4,9		4,9	6,7		4,5		5,2
Bodard	BSS002NTLH	Conductivité à 25 °C (µS/cm)	311,0	301,0	286,0		307,0	298,0	314,0	302,0
		Température (°C)	26,4	26,7	26,4		26,5	26,5	26,6	26,5
		pH	6,7	6,7	6,5		6,5	6,6	6,5	6,6
		Eh (mV)	200,0	203,0	232,5		178,1	198,0	209,0	208,5
		O <sub>2</sub> (mg/l)	5,5		7,4		3,8	5,1	4,4	5,6
Méricette	BSS02NTMP	Conductivité à 25 °C (µS/cm)	389,0	391,0	378,0	391,0		405,0	406,0	393,3
		Température (°C)	26,3	26,4	26,3	26,6		26,3	26,3	26,4
		pH	6,3	6,5	6,3	6,4		6,5	6,4	6,4
		Eh (mV)	257,0	205,3	218,0	238,0		186,0	143,6	208,0
		O <sub>2</sub> (mg/l)	4,1		4,4	6,2		5,4	4,5	4,9
Morne Honoré	BSS002NUFV	Conductivité à 25 °C (µS/cm)	331,0	329,0	327,0	328,0		333,0	340,0	331,3
		Température (°C)	25,5	25,4	25,4	25,7		25,3	25,4	25,5
		pH	6,6	6,5	6,4	6,3		6,5	6,3	6,5
		Eh (mV)	209,0	33,0	205,0	230,1		193,2	185,1	175,9
		O <sub>2</sub> (mg/l)	5,9		2,3	3,8		3,7	2,5	3,6

Illustration 9 : Paramètres physico-chimiques mesurés au cours des campagnes de 2014 à 2021

Les mesures de débits ont été réalisées quand les conditions le permettaient. Le débit maximum a été rencontré à la source Cimetière à Sainte-Marie avec 1,1 L/s.

		Débit (L/min)						
Code BSS	Source	oct-14	juil-19	nov-19	juil-20	oct-20	déc-20	mars-21
BSS002NNSV	Capitaine	52,8	16,0	2,1	0,1		3,6	2,0
BSS002NNSZ	Cimetière	96,0	29,7	21,7	12,5		66,7	39,0
BSS000NNLF	Caplet	12,0	0,0	10,0	3,8		12,0	2,2
BSS002NTMF	La Jacques		2,5	2,1	0,0		3,7	4,2
BSS002NTLH	Bodard	4,8	2,2	2,5		6,6	21,6	10,0
BSS02NTMP	Méricette	9,6	4,6	7,3	6,8		8,3	7,1
BSS002NUFV	Morne Honoré	2,6	3,9	5,3	2,8		6,5	5,2

Illustration 10 : Tableau présentant une estimation des débits des sources depuis 2014

Les variations de débit sont généralement influencées par le régime pluviométrique saisonnier (saison des pluies vs saison sèche). Malgré le peu de mesure et leur incertitude, certaines sources Caplet, Méricette, Bodard et Morne Honoré illustrent l'influence saisonnière (Annexe 3).

## 4.2. LES NITRATES

Il est généralement considéré qu'une teneur en nitrate supérieure à 10 mg/L est liée à une contamination anthropique. Son origine peut être variée et plus communément liée au lessivage des engrais et aux rejets domestiques.

Les concentrations en nitrate mesurées dans les sources depuis 2014 sont synthétisées dans l'illustration 11.

		Nitrate (mg/L)						
Code BSS	Source	oct-14	juil-19	nov-19	juil-20	oct-20	déc-20	LQ
BSS002NNSV	Capitaine	6,6	4,4	4,8	2		5,1	0,5
BSS002NNSZ	Cimetière	4,5	6,4	4,1	4,7		4,4	0,5
BSS000NNLF	Caplet	3,1	1,2	1,9	<0,50		2,5	0,5
BSS002NTMF	La Jacques	13	7,8	7,1	8,3		6,9	0,5
BSS002NTLH	Bodard	3,5	4,2	3,7		4,2	4,2	0,5
BSS02NTMP	Méricette	6,8	6,2	5,9	5,8		5,4	0,5
BSS002NUFV	Morne Honoré	3,6	6	7,3	7,4		6,2	0,5

Non analysé

Contamination d'origine anthropique

Illustration 11 : Historique des concentrations en nitrate en mg/L depuis 2014

Aucun point n'a dépassé la concentration de 10 mg/L en nitrate au cours des campagnes réalisées en 2019 et 2020.

Seule la source La Jacques avait une concentration de 13 mg/L en octobre 2014, néanmoins cette valeur reste faible.



### 4.3. LES ELEMENTS MAJEURS ET TRACES

Le tableau des composés inorganiques analysés par le laboratoire est présenté en Annexe 4 et les chroniques sont représentées en Annexe 2.

On relève très peu d'évolution des éléments majeurs sur les données disponibles. Les eaux des sources sont principalement bicarbonatées calciques et magnésiennes. L'eau de la source Caplet a un faciès bicarbonaté calcique et magnésien plus important (Illustration 12).

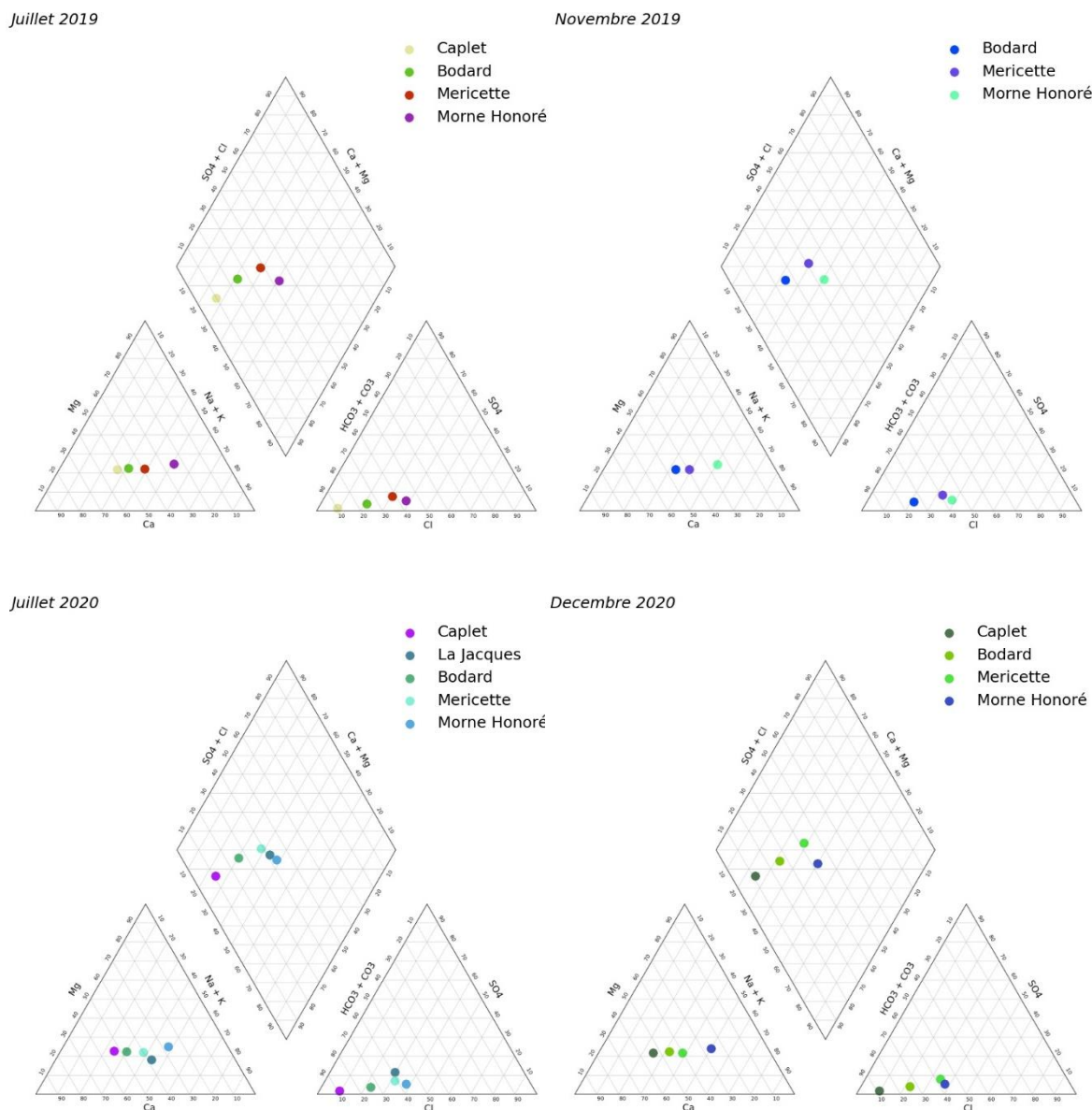


Illustration 12 : Diagrammes de Piper pour les 4 campagnes de prélèvements réalisés entre 2019 et 2020

Les concentrations en éléments traces, fer et manganèse sont assez similaires sur toutes les eaux des sources, mis à part pour l'eau de la source Capitaine qui présente des concentrations plus importantes.

#### 4.4. LES PRODUITS PHYTOSANITAIRES

Le tableau en Illustration 13 synthétise les résultats d'analyses des produits phytosanitaires qui dépassent la limite de quantification au cours des campagnes depuis 2014. Quatre sources échantillonnées sont ponctuellement contaminées par ces produits phytosanitaires.

Source	BSS	Molécules	oct-14	juil-19	nov-19	juil-20	oct-20	déc-20
Capitaine	BSS002NNSV	Metolachlore ESA	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02		<0.02
		Chlordécone (*)	<0.010	0.025	<0.010	<0.010		<0.010
		PCB138 (*)		<0.005	<0.005	<0.005		<0.005
Cimetière	BSS002NNSZ	Metolachlore ESA	<0.02	<0.02	0.034	<0.02		<0.02
		Chlordécone (*)	<0.010	<0.010	0.010	<0.010		<0.010
		PCB138 (*)		<0.005	<0.005	<0.005		<0.005
Caplet	BSS000NNLF	Metolachlore ESA	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02		<0.02
		Chlordécone (*)	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010		<0.010
		PCB138 (*)		<0.005	<0.005	<0.005		<0.005
La Jacques	BSS002NTMF	Metolachlore ESA	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02		<0.02
		Chlordécone (*)	<0.010	0.033	0.030	<0.010		0.030
		PCB138 (*)		<0.005	<0.005	<0.005		<0.005
Bodard	BSS002NTLH	Metolachlore ESA	<0.02	<0.02	<0.02		<0.02	<0.02
		Chlordécone (*)	<0.010	<0.010	<0.010		<0.010	<0.010
		PCB138 (*)		<0.005	<0.005		<0.005	<0.005
Méricette	BSSà2NTMP	Metolachlore ESA	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02		<0.02
		Chlordécone (*)	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010		<0.010
		PCB138 (*)		<0.005	<0.005	<0.005		<0.005
Morne Honoré	BSS002NUFV	Metolachlore ESA	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02		<0.02
		Chlordécone (*)	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010		<0.010
		PCB138 (*)		<0.005	0,011	<0.005		<0.005
						Non analysé		
						> Quantification détectée		
						< Limite de Quantification		

Illustration 13 : Tableau récapitulatif des composés organiques quantifiés dans les sources en µg/L

Les résultats d'analyses montrent des concentrations en chlordécone, métolachlore ESA et PCB 138 supérieures à la limite de quantification (Illustration 13) et toujours inférieures à la norme de potabilité de 0,1 µg/l :

- 5 détections de chlordécone sur les sources La Jacques, Cimetière et Capitaine : pesticide interdit depuis 28 ans, largement utilisé entre 1972 et 1993, très rémanent ;
- 1 détection de métolachlore ESA sur la source Cimetière : métabolite du métolachlore, composé organique encore largement utilisé comme herbicide (produit « S-métolachlore ») ;
- 1 détection de PCB 138 sur la source Morne Honoré : fongicide très persistant, interdit depuis 1987 (34 ans).

Notons, que du bisphénol A composé largement répandu aujourd'hui utilisé dans la fabrication de plastiques a été détecté sur les sources La Jacques, Morne Honoré et Cimetière.

#### 4.5. DATATION DES EAUX « JEUNES », CFC ET SF<sub>6</sub>

Les résultats de datation sont présentés en Illustration 14 ci-dessous. Seule la source La Jacques n'a pas été échantillonnée car son écoulement se fait via un réservoir qui engendre une contamination par l'atmosphère.

Sources	Date	altitude	T°C Recharge	T°C eau	Salinité	Eh (mV)	Concentration pmol/L			
							SF <sub>6</sub>	CFC-12	CFC-11	CFC-113
Capitaine	11/03/2021	379	25	24,2	0,1	88	0,0021	1,3	2,1	0,18
Cimetiere	11/03/2021	305	25	25,4	0,1	216	0,002	1,9	7,6	0,21
Caplet	11/03/2021	379	25	24,9	0,1	201	0,0017	1	2,4	0,16
Bodard	10/03/2021	170	25	26,6	0,1	209	0,002	1,3	1,8	0,11
Méricette	10/03/2021	150	25	26,3	0,1	144	0,0019	1,4	2	1
Morne Honore	10/03/2021	234	25	25,4	0,1	185	0,0016	6,6	6,5	0,14

Illustration 14 : Résultats des analyses de CFC-11, CFC-12, CFC-113 et SF<sub>6</sub> pour les eaux analysées

Dans un premier temps un calcul est effectué afin de passer d'une concentration dans l'eau en une concentration dans l'air (en partie par trillions volumique, pptv) qui pourra être comparée aux concentrations mesurées sur des stations de référence. Pour la Martinique la station de référence disposant de chroniques longues de mesures du CFC et SF<sub>6</sub> la plus proche se situe à la Barbade, mais les données les plus longues étant celles de l'hémisphère Nord, elles seront utilisées pour les calculs.

Les données de chacun des traceurs (CFC-11, CFC-12, CFC-113 et SF<sub>6</sub>) sont également comparées entre elles et aux données de l'hémisphère nord afin de détecter des anomalies comme des contaminations ou dégradation. Les données de SF<sub>6</sub> sont très élevées en comparaison aux données des CFC comme déjà observé en Martinique. C'est une production géogénique (d'origine naturelle) qui est la cause probable de ces concentrations élevées. Dans le cadre de cette étude, les résultats des SF<sub>6</sub> ne seront pas pris en compte.

L'échantillon d'eau prélevé à la source Cimetière ne peut pas être daté du fait de contamination et dégradation des gaz dissous dans l'eau trop importante. Pour la source Capitaine les trois autres traceurs seront utilisés. Les temps de transfert obtenus seront de bonne qualité.

Pour les autres points de prélèvement, on note un ou deux gaz qui ne sont pas en adéquation avec les valeurs de la station de référence ou qui donnent des informations très divergentes. Les raisons peuvent être diverses, comme une dégradation du gaz en milieu réducteur ou riche en matière organique ou une contamination par des apports de CFC anthropiques ou par des apports atmosphériques actuels au niveau de la source ou lors de la manipulation. Les temps de transfert estimés ont alors des incertitudes plus fortes.

Pour l'ensemble des points d'eau (à l'exception de Cimetière) diverses fonctions de transferts ont été testées.

Pour les sources Caplet, Morne Honoré, Bodard et Méricette le modèle de type mélange exponentiel (EMM) donne les résultats les plus cohérents mais le modèle EPM reste également valide pour ces points d'eau.

Le fait d'avoir utilisé un même modèle de transfert permet de comparer les résultats obtenus pour les différentes sources. Si l'on considère le modèle EPM qui correspond le mieux aux mesures effectuées, trois groupes d'eau, classés selon leur âge relatif, ont pu être mis en évidence :

- Capitaine montre des temps de transfert de **26 ans** ;
- Morne Honoré et Caplet montrent des temps de transfert légèrement plus élevés, **37 ans** environ ;
- Bodard et Méricette ont des temps de transferts intermédiaires de **30 ans**, avec une incertitude relativement élevée.

Les âges apparents obtenus correspondent à la catégorie des eaux dites intermédiaires.

La recherche de corrélation entre les différents paramètres n'est pas possible compte tenu du trop faible nombre d'analyses. Par analogie avec une campagne d'analyse de CFC réalisée en 2007 ([Vittecoq et al., 2007](#)), les eaux présentent des âges intermédiaires à récentes et devraient donc présenter des contaminations d'origine agricole.

Les utilisations agricoles de PCB 138 et chlordécone ont cessé respectivement depuis 34 ans et 28 ans. La détection de produits phytosanitaires interdits témoigne de la persistance des molécules, des stocks dans le milieu et de leur remobilisation dans les sols. Le suivi des sources a montré que les sources Capitaine, La Jacques, Cimetière et Morne Honoré montrent la présence de pesticides (concentration < 0.1 µg/L) et confirment les risques qui avaient été estimés à l'échelle des bassins d'alimentations en 2017. Ces sources dont les analyses ont mis en évidence des contaminations en pesticides rémanents actuellement interdits (chlordécone) témoignent d'une pression anthropique ou agricole ancienne et durable, n'ont plus intérêt à être suivi dans le cadre de ce projet.

Les eaux de sources exemptent de contamination sont les sources Méricette, Caplet et Bodard. Concernant leur évolution potentielle, deux cas de figure sont possibles :

- Peu ou pas de nitrates et de produits phytosanitaires ont été appliqués sur les cultures situées en amont des sources, la pression serait donc non-significative. La source et la qualité de l'eau restera bonne.
- L'influence anthropique n'est pas encore visible car le temps de transfert est important. Dans ce cas, la qualité de l'eau pourrait s'altérer dans les prochaines années.
- La configuration hydrogéologique du bassin empêche le transfert des molécules vers les eaux souterraines leur assurant une de bonne qualité.

D'après les résultats et les interprétations, les sources Caplet, Méricette et Bodard devraient continuer à être suivies au cours des prochaines années.

## 5. Conclusion

La qualité des sept sources de bord de route non contaminées aux pesticides jusqu'en 2014, situées dans des bassins d'alimentation potentiellement à risque a été suivie au cours de 4 campagnes d'analyses entre 2019 et 2020 et une campagne de datation des eaux en 2021.

Les analyses des eaux par la méthode des CFC ont permis de déterminer l'âge apparent des eaux grâce au modèle exponentiel-piston. Trois groupes d'âge ont été mis en évidence :

- Capitaine au Gros-Morne montre des temps de transfert estimés de **26 ans**.
- Morne Honoré à Rivière-Salée et Caplet au Morne Vert montrent des temps de transfert légèrement plus élevés, **37 ans** environ.
- Bodard au Lamentin et Méricette au François ont des temps de transferts intermédiaires, avec une incertitude relativement élevée (30 ans).

Alors qu'en 2014 aucune des sept sources ne présentait de contamination aux pesticides, en 2019, quatre d'entre elles présentent une contamination au moins ponctuelle en produits phytosanitaires sur l'ensemble des campagnes.

Trois pesticides sont concernés le PCB 138, la chlordécone et le métolachlore ESA (métabolite du métolachlore), les deux premiers sont interdits respectivement depuis 1987 et 1993. Leur présence dans les sources témoigne de la persistance de ces molécules, des stocks dans le milieu et de leur remobilisation dans les sols.

Le métolachlore ESA, est un métabolite du produit S-métolachlore qui est encore utilisé aujourd'hui ce qui rend difficile l'amélioration de la compréhension des systèmes hydrogéologiques par cette molécule. Cependant, la détection en novembre 2019 sur l'eau de la source Cimetière met en évidence la vulnérabilité des eaux de son bassin d'alimentation.

Les sources Capitaine au Gros Morne, La Jacques au François, Cimetière à Sainte-Marie et Morne Honoré à Rivière-Salée présentent des contaminations en pesticide et confirment les risques qui avait été estimés à l'échelle des bassins d'alimentation en 2017. Elles ne présentent plus d'intérêt à être suivies.

En revanche, les sources Méricette au François, Bodard au Lamentin et Caplet au Morne Vert ne présentent aucune contamination malgré les risques sur leur bassin d'alimentation. Elles devraient continuer à être suivies au cours des prochaines années.



## 6. Bibliographie

Allier D., Pinson S., Leclerc B. (2010) Caractérisation de la vulnérabilité et des risques de pollution des sources de Martinique. BRGM/RP-58105-FR, 92 pages, 34 illustrations, 12 tableaux, 4 annexes.

Oster, H., Sonntag, C., & Münnich, K. O. (1996). Groundwater age dating with chlorofluorocarbons. *Water Resources Research*, 32(10), 2989–3001. <https://doi.org/10.1029/96WR01775>

Plummer, L., Busenberg, E., & Cook, P. (2006). Use of Chlorofluorocarbons in Hydrology. *International Atomic Energy Agency*.

Taïlamé A.-L., Nascimento L. (2017) – Surveillance de la qualité des sources dites de « bord de route ». Rapport BRGM/RP-64987-FR, 79 p., 19 ill., 6 ann.

Vittecoq B., Gourcy L., Baran N., 2007, 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 illustration

### **Guide et normes relatifs aux prélèvements :**

Norme AFNOR NF EN ISO 5667-3 "Qualité de l'eau – Echantillonnage - Partie 3 : Conservation et manipulation des échantillons d'eau" (*juin 2004 et mise à jour en juin 2018*) ;

Guide AFNOR FD T 90-523-3 « Qualité de l'Eau – Guide de prélèvement pour le suivi de qualité des eaux dans l'environnement – Partie 3 : Prélèvement d'eau souterraine » (*janvier 2009*) et le fascicule de documentation AFNOR NF X31-615 partie « Prélèvements et échantillonnage des eaux souterraines dans des forages de surveillance pour la détermination de la qualité des eaux souterraines » (*décembre 2000 et mis à jour en décembre 2017*).

<http://www.aquaref.fr/guide-des-prescriptions-techniques-surveillance-des-milieus-aquatiques-continentaux>





***Annexe 1***  
***Listes des paramètres organiques (1 & 2) et***  
***inorganiques (3)***



# 1.

Code Sandre	Paramètre	Unité	LQ
6519	Cafeine	µg/L	0.02
7527	Chlordecol	µg/L	0.01
1830	Desethyl Deisopropylatrazine (DEDIA)	µg/L	0.1
3159	Desethyl-Atrazine-2-Hydroxy ( DEA 2 Hydroxy) - CMO_MT73	µg/L	0.01
6854	Metolachlore ESA	µg/L	0.02
6853	Metolachlore OXA	µg/L	0.05
6695	Parabenmethyl	µg/L	0.05
5354	Paracetamol	µg/L	0.02
6693	Propylparaben	µg/L	0.01
5537	Somme HCH	µg/L	0.01
6989	Triclocarban	µg/kg MS	0.02
2847	1-(4-IsopropylPhenyl)Uree (IPPU)	µg/L	0.02
1102	Aldicarbe	µg/L	0.050
1103	Aldrine (*)	µg/L	0.010
1104	Amétryne (*)	µg/L	0.020
1907	AMPA (Acide Amino Méthyl Phosphonique ) (*)	µg/L	0.03
1965	Asulam	µg/L	0.100
1107	Atrazine (*)	µg/L	0.020
1584	Biphenyl (*)	µg/L	0.01
2766	Bisphénol A	µg/L	0.02
1686	Bromacil (*)	µg/L	0.050
1129	Carbendazime	µg/L	0.100
1866	Chlordécone (*)	µg/L	0.010
6577	Chlordecone 5b Hydro	µg/L	
1464	Chlorfenvinphos (*)	µg/L	0.020
2738	Desméthylisoproturon (IPPMU) (*)	µg/L	0.01
1173	Dieldrine (*)	µg/L	0.010
1177	Diuron (*)	µg/L	0.020
1181	Endrine (*)	µg/L	0.010
1190	Fenthion	µg/L	0.040
1676	Flufénoxuron (*)	µg/L	0.050
1526	Glufosinate (*)	µg/L	0.03
1506	Glyphosate (*)	µg/L	0.03
1200	HCH Alpha (*)	µg/L	0.010
1201	HCH Beta (*)	µg/L	0.010
1202	HCH Delta (*)	µg/L	0.010
2046	HCH Epsilon (*)	µg/L	0.010



## 2.

Code Sandre	Paramètre	Unité	LQ
1748	Heptachlore Exo Epoxyde (*)	µg/L	0.01
1405	Hexaconazole (*)	µg/L	0.05
1673	Hexazinone (*)	µg/L	0.050
1954	Hydroxyterbutylazine (*)	µg/L	0.020
1704	Imazalil	µg/L	0.020
1911	Imazamétabenz-Méthyl (*)	µg/L	0.050
1877	Imidaclopride (*)	µg/L	0.050
1208	Isoproturon (*)	µg/L	0.040
1209	Linuron (*)	µg/L	0.020
1214	Mecoprop (MCP) (*)	µg/L	0.020
2076	Mésotrione (*)	µg/L	0.01
1706	Métalaxyle (*)	µg/L	0.020
1511	Méthoxychlore (*)	µg/L	0.020
1221	Métolachlore (R+S) (*)	µg/L	0.020
1222	Métoxuron (*)	µg/L	0.040
1227	Monolinuron (*)	µg/L	0.020
1228	Monuron (*)	µg/L	0.020
6598	Nonylphénols (*)	µg/L	0.040
1244	PCB138 (*)	µg/L	0.005
1709	Piperonyl Butoxide (*)	µg/L	0.040
1532	Propanil (*)	µg/L	0.040
1257	Propiconazole (*)	µg/L	0.05
1535	Propoxur (*)	µg/L	0.040
1263	Simazine (*)	µg/L	0.020
1694	Tébuconazole (*)	µg/L	0.060
1268	Terbutylazine (*)	µg/L	0.020
1713	Thiabendazole	µg/L	0.020
1143	2,4' DDD (*)	µg/L	0.010
1141	2,4-D (*)	µg/L	0.02
1212	2,4-MCPA (*)	µg/L	0.020
1958	4 Nonylphénols Ramifiés	µg/L	0.040
5474	4-n-Nonylphenol	µg/L	0.040
1198	Heptachlore Epoxyde (Somme des isomères) (*)	µg/L	0.01
1203	HCH Gamma (Lindane) (*)	µg/L	0.010
1197	Heptachlore (*)	µg/L	0.010
1749	Heptachlore Endo Epoxyde (*)	µg/L	0.01



### 3.

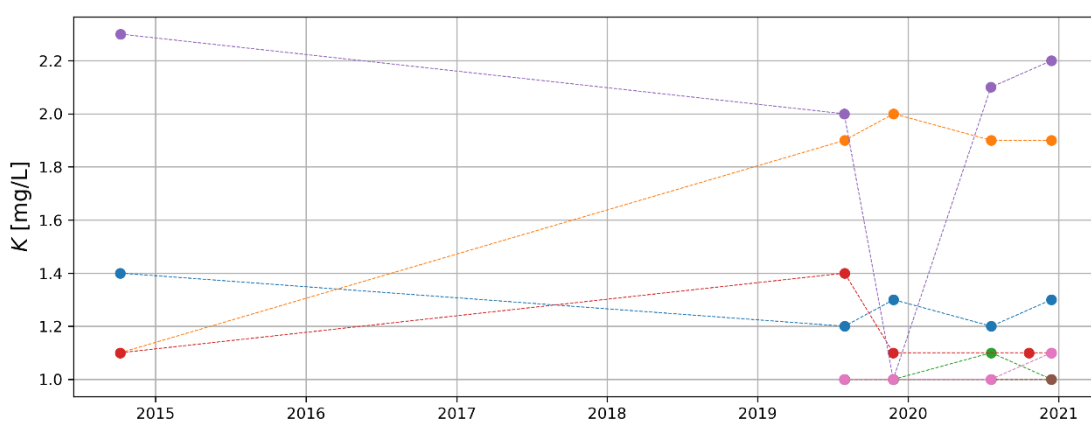
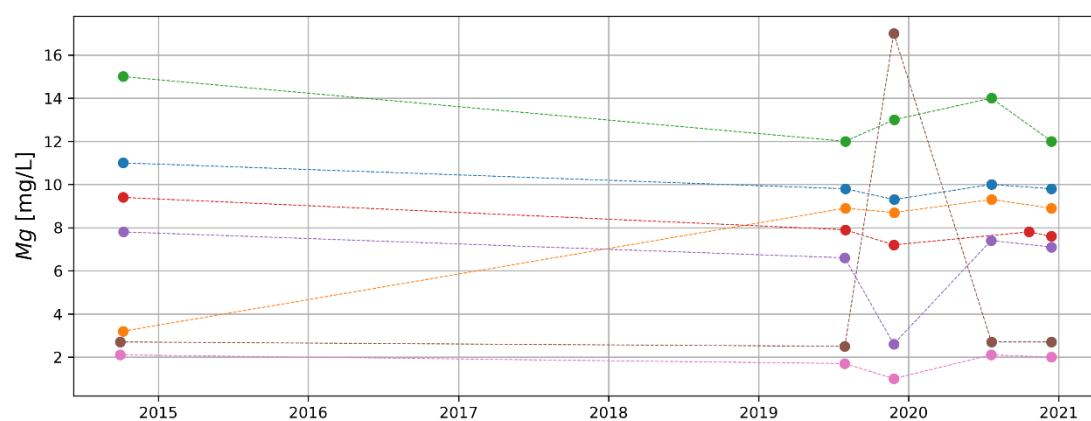
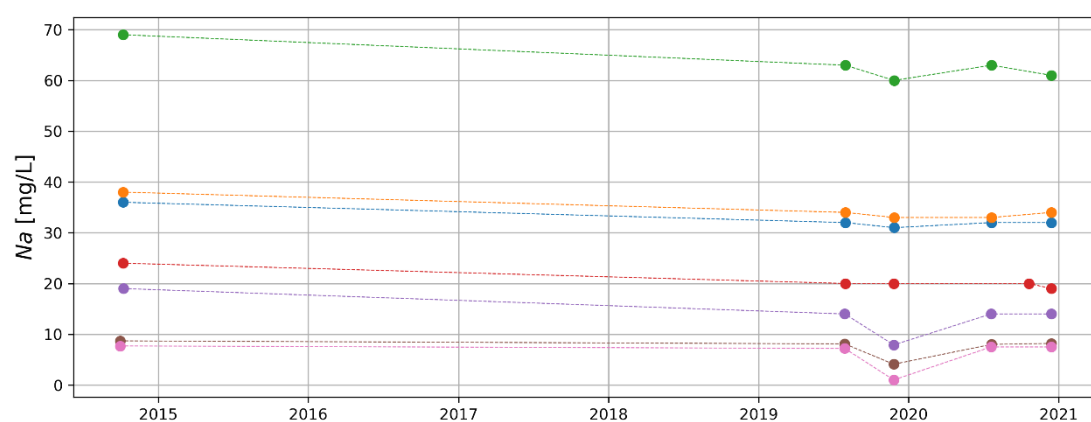
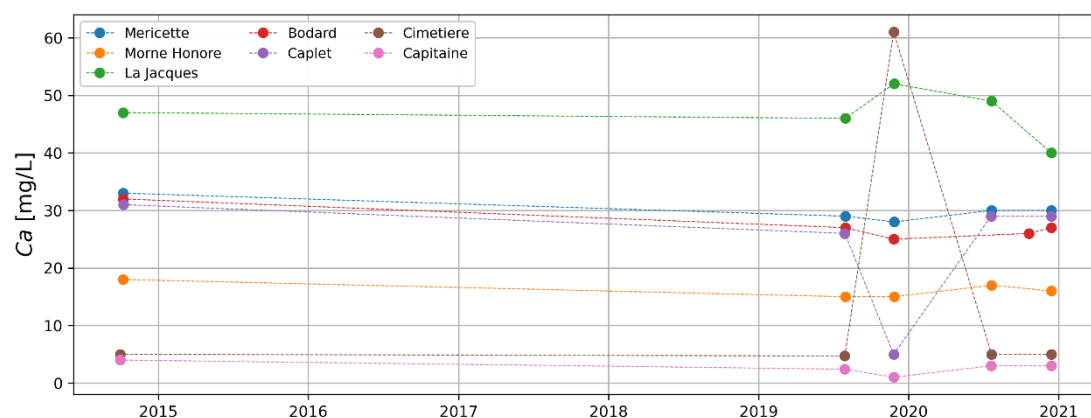
Code Sandre	Paramètre	Unité	LQ
1335	Ammonium (*)	mg(NH <sub>4</sub> )/ L	0.05
1327	Bicarbonates dissous (Hydrogenocarbonates)	mg/L	24
1328	Carbonates (Dissous)	mg/L	12
1339	Nitrites (*)	mg(NO <sub>2</sub> )/ L	0.01
1339	Nitrites	mg(N)/L	0.003
1433	Orthophosphates	mg(PO <sub>4</sub> )/ L	0.015
1433	Orthophosphates (*)	mg(P)/L	0.005
1346	T.A Dissous (*)	Degré français	2
1347	T.A.C. Dissous	Degré français	2
1841	Carbone organique dissous (Eau) COD (*)	mg(C)/L	0.1
1374	Calcium (Ca) (*)	mg/L	1
1372	Magnésium (Mg) (*)	mg/L	1
1375	Sodium (Na) (*)	mg/L	1.0
1367	Potassium (K) (*)	mg/L	1
1337	Chlorures (Cl) (*)	mg/L	1
1340	Nitrates (*)	mg(NO <sub>3</sub> )/ L	0.5
1340	Nitrates	mg(N)/L	0.11
1338	Sulfates (*)	mg/L	1
7073	Fluorures (*)	mg/L	0.05
1399	Chlore total (labo)	mg/L	0.05
1350	Phosphore dissous (P)	mg(P)/L	0.01
1342	Silicates dissous (SiO <sub>2</sub> )	mg(SiO <sub>2</sub> )/ L	0.05
5429	Silicium dissous (Si) (*)	mg(Si)/L	0.025
1393	Fer dissous (Fe)	µg(Fe)/L	5
1394	Manganèse dissous (Mn)	µg(Mn)/L	5

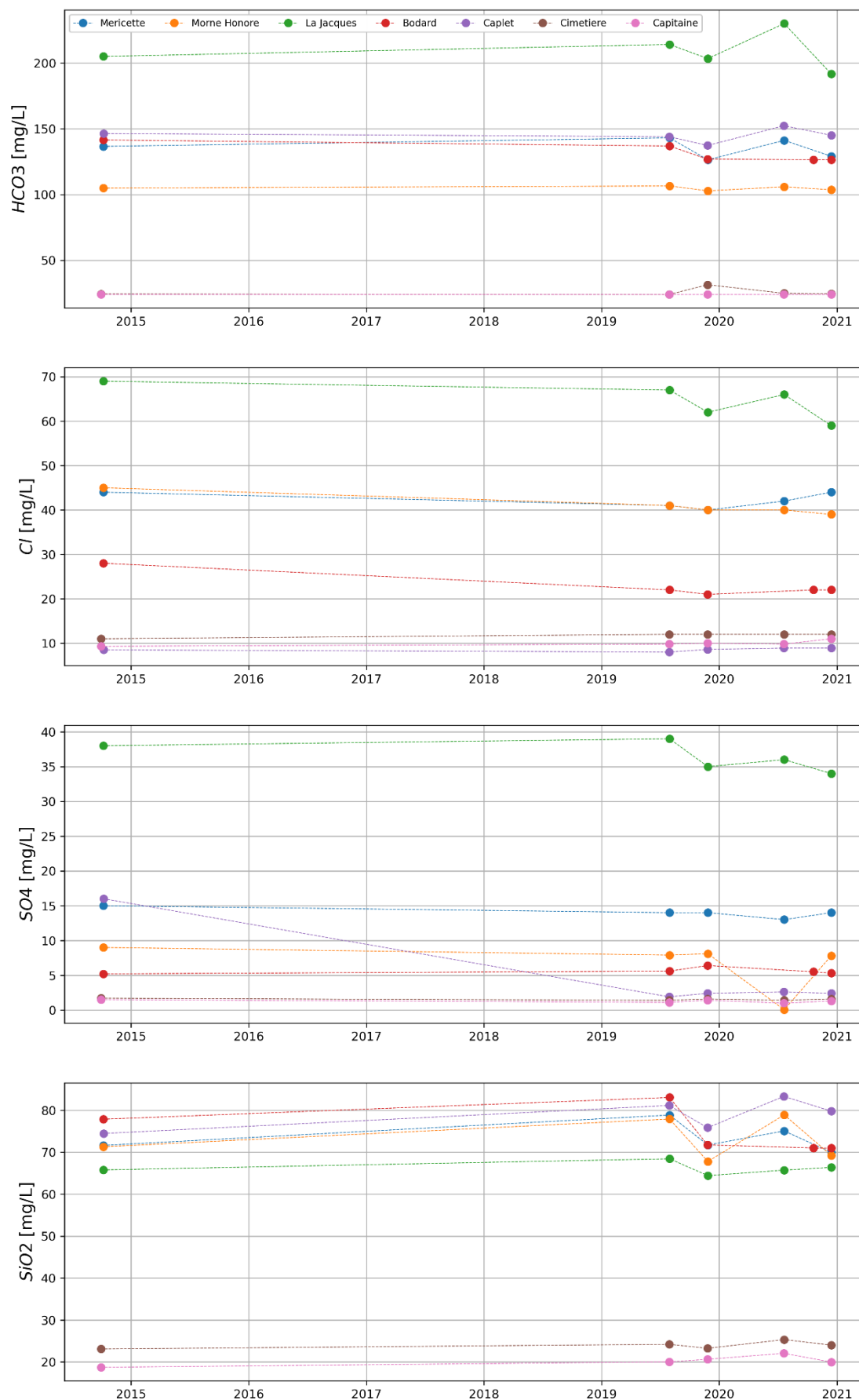




***Annexe 2***  
***Chroniques géochimiques (éléments majeurs) des***  
***sources bord de route***



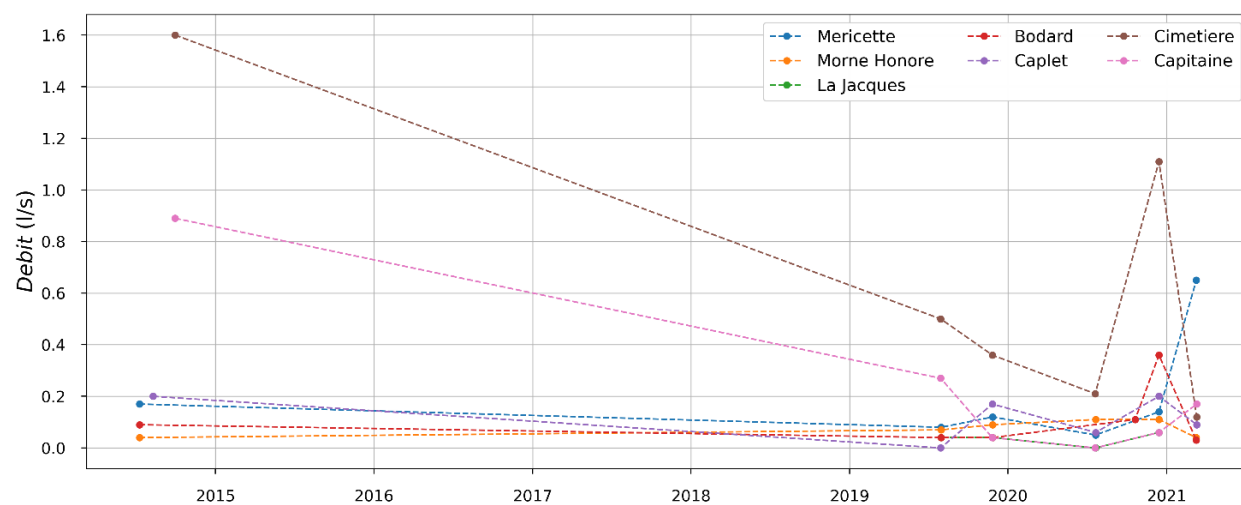




## ***Annexe 3***

### ***Chroniques des débits des sources bord de route***









**Annexe 4 :**  
***Tableau récapitulatif des analyses en composés  
inorganiques réalisées durant les campagnes de 2019  
à 2020***



Source	Paramètres	Ammonium Dissous (*)	Bicarbonates dissous (Hydrogenocarbonates)	Carbonates (Dissous)	T.A Dissous (*)	T.A.C. Dissous	Carbone organique dissous (Eau) COD	Calcium (Ca) (*)	Magnésium (Mg) (*)	Sodium (Na) (*)	Potassium (K) (*)	Chlorures (Cl) (*)
	Unité	mg(NH4)/ L	mg/L	mg/L	Degré français	Degré français	mg(C)/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Capitaine	oct-14		<24	<12			0.47	4	2.1	7.7		
	juil-19	<0.05	<24.0	<12.0	<2.0	<2.0	0.44	2.4	1.7	7.2	<1.0	9.8
	nov-19	<0.05	<24.0	<12.0	<2.0	<2.0	0.38	<1	<1.0	<1.0	<1.0	10
	juil-20	<0.05	<24.0	<12.0	<2.0	<2.0	1.5	3	2.1	7.5	<1.0	9.8
	déc-20	<0.05	<24.0	<12.0	<2.0	<2.0	1.0	3	2.0	7.5	1.1	11
Cimetière	oct-14		24.4	<12	<2.0	2	0.23	5	2.7	8.7		
	juil-19	<0.05	<24.0	<12.0	<2.0	<2.0	0.51	4.7	2.5	8.1	<1.0	12
	nov-19	<0.05	31.4	<12.0	<2.0	2.6	<0.10	61	17	4.1	<1.0	12
	juil-20	<0.05	24.9	<12.0	<2.0	2.0	1.3	5	2.7	8.2	<1.0	12
	déc-20	<0.05	24.5	<12.0	<2.0	2.0	0.63	5	2.7	8.0	<1.0	12
Caplet	oct-14		146.4	<12	<2.0		0.49	31	7.8	19		
	juil-19	<0.05	144.0	<12.0	<2.0	11.8	0.74	26	6.6	14	2.0	8.0
	nov-19	<0.05	137.3	<12.0	<2.0	11.3	0.22	5	2.6	7.9	<1.0	8.6
	juil-20	<0.05	152.3	<12.0	<2.0	12.5	1.5	29	7.4	14	2.1	8.9
	déc-20	<0.05	145.1	<12.0	<2.0	11.9	0.63	29	7.1	14	2.2	8.9
La Jacques	oct-14		205	<12	<2.0	16.8	0.8	47	15	69		
	juil-19	<0.05	214.1	<12.0	<2.0	17.6	1.1	46	12	63	<1.0	67
	nov-19	<0.05	203.4	<12.0	<2.0	16.7	0.69	52	13	60	<1.0	62
	juil-20	<0.05	230.0	<12.0	<2.0	18.9	1.5	49	14	63	1.1	66
	déc-20	<0.05	191.7	<12.0	<2.0	15.7	1.1	40	12	61	<1.0	59
Bodard	oct-14		141.5	<12	<2.0	11.6	0.54	32	9.4	24		
	juil-19	0.06	136.9	<12.0	<2.0	11.2	0.51	27	7.9	20	1.4	22
	nov-19	0.08	126.9	<12.0	<2.0	10.4	0.30	25	7.2	20	1.1	21
	oct-20	<0.05	126.8	<12.0	<2.0	10.4	1.4	27	7.6	19	1.1	22
	déc-20	<0.05	126.5	<12.0	<2.0	10.4	0.86	26	7.6	20	1.1	22
Méricette	oct-14		136.6	<12	<2.0	11.2	0.7	33	11	36		
	juil-19	<0.05	143.1	<12.0	<2.0	11.7	0.35	29	9.8	32	1.2	41
	nov-19	0.07	126.4	<12.0	<2.0	10.4	1.2	28	9.3	31	1.3	40
	juil-20	<0.05	141.2	<12.0	<2.0	11.6	1.5	30	10	32	1.2	42
	déc-20	<0.05	129.1	<12.0	<2.0	10.6	0.43	30	9.8	32	1.3	44
Morne Honoré	oct-14		104.9	<12	<2	8.6	0.54	18	3.2	38		
	juil-19	0.05	106.5	<12.0	<2.0	8.7	0.40	15	8.9	34	1.9	41
	nov-19	<0.05	102.8	<12.0	<2.0	8.4	0.35	15	8.7	33	2.0	40
	juil-20	<0.05	105.9	<12.0	<2.0	8.7	1.4	17	9.3	33	1.9	40
	déc-20	<0.05	103.6	<12.0	<2.0	8.5	0.50	16	8.9	34	1.9	39

Source	Paramètres	Nitrates (*)	Nitrates	Nitrites Dissous	Sulfates (*)	Orthophosphate (*)	Orthophosphate (*)	Fluorures (*)	Chlore total (labo)	Phosphore dissous (P)	Silicates dissous (SiO2)	Silicium dissous (Si) (*)	Fer dissous (Fe)	Manganèse dissous (Mn)
	Unité	mg(NO3)/ L	mg(N)/L	mg/L	mg/L	mg(PO4)/ L	mg(P)/L	mg/L	mg/L	mg(P)/L	mg(SiO2)/ L	mg(Si)/L	µg(Fe)/L	µg(Mn)/ L
Capitaine	oct-14	6.6			1.5			<0.050			18.74	8.76		
	juil-19	6.4	1.5	<0.01	1.1	<0.030	<0.10	<0.050	<0.05	<0.01	20.04	9 365	18	9
	nov-19	4.1	0.92	<0.01	1.4	<0.030	<0.10	<0.25	<0.05	<0.01	20.65	9 649	1077	155
	juil-20	2.0	0.44	2.0	1.0	<0.0150	<0.005	<0.25	<0.05	<0.01	22.07	10 314	61	222
	déc-20	5.1	1.2	5.1	1.3	<0.0150	<0.00500	<0.05	<0.05	<0.01	19.99	9 342	11	72
Cimetière	oct-14		4.5		1.7			<0.050			23.1	10.8		
	juil-19	4.4	0.99	<0.01	1.4	<0.03	<0.10	<0.050	<0.05	<0.01	24.22	11 318	<5	<5
	nov-19	4.8	1.1	<0.01	1.6	0.060	0.18	<0.050	<0.05	<0.01	23.26	10 871	<5	<5
	juil-20	4.7	1.1	4.7	1.4	<0.0150	<0.005	<0.05	<0.05	<0.01	25.35	11 845	<5	<5
	déc-20	4.4	1.0	4.4	1.6	<0.0150	<0.00500	<0.050	<0.05	<0.01	24.03	11 231	<5	<5
Caplet	oct-14		3.1		16			0.05			74.46	34.79		
	juil-19	1.2	0.27	<0.01	1.9	<0.03	<0.10	<0.050	<0.05	0.02	81.14	37 915	<5	<5
	nov-19	1.9	0.42	<0.01	2.4	0.03	<0.10	<0.25	<0.05	0.01	75.84	35 438	7	<5
	juil-20	<0.50	0.11	<0.50	2.6	0.218	0.0710	<0.25	<0.05	<0.01	83.30	38 923	<5	5
	déc-20	2.5	0.56	2.5	2.4	0.0368	0.0120	<0.050	<0.05	0.01	79.79	37 284	<5	<5
La Jacques	oct-14	13			38			0.065			65.78	30.74		
	juil-19	7.8	1.8	<0.01	39	0.097	0.30	0.10	<0.05	0.09	68.43	31 978	6	<5
	nov-19	7.1	1.6	<0.01	35	0.140	0.43	<0.25	<0.05	0.10	64.42	30 101	9	22
	juil-20	8.3	1.9	8.3	36	0.355	0.116	<0.25	<0.05	0.10	65.73	30 715	<5	6
	déc-20	6.9	1.6	6.9	34	0.320	0.104	<1.25	<0.05	0.08	66.38	31 021	<5	13
Bodard	oct-14	3.5			5.2			<0.050			77.86	36.38		
	juil-19	4.2	0.96	<0.01	5.6	0.209	0.64	<0.050	<0.05	0.19	83.05	38 808	<5	7
	nov-19	3.7	0.84	<0.01	6.4	0.209	0.64	<0.25	<0.05	0.15	71.74	33 524	19	<5
	oct-20	4.2	0.94	4.2	5.3	0.509	0.166	<0.050	<0.05	0.17	70.99	33 174	<5	<5
	déc-20	4.2	0.95	4.2	5.5	0.437	0.143	<0.050	<0.05	0.14	71.01	33 183	<5	<5
Méricette	oct-14	6.8			15			<0.050			71.62	33.47		
	juil-19	6.2	1.4	<0.01	14	0.104	0.32	<0.050	<0.05	0.10	78.85	36 846	<5	<5
	nov-19	5.9	1.3	<0.01	14	0.163	0.50	<0.25	<0.05	0.11	33.51	71 710	60	<5
	juil-20	5.8	1.3	5.8	13	0.319	0.104	<0.25	<0.05	0.08	75.06	35 076	<5	<5
	déc-20	5.4	1.2	<0.01	14	0.344	0.112	<0.050	<0.05	0.11	69.98	32 703	<5	<5
Morne Honoré	oct-14	3.6			9			0.05			71.29	33.31		
	juil-19	6.0	1.4	0.01	7.9	0.048	0.15	<0.050	<0.05	0.06	77.91	36 405	6	<5
	nov-19	7.3	1.6	<0.01	8.1	0.114	0.35	<0.25	<0.05	0.08	67.79	31 679	<5	<5
	juil-20	7.4	1.7	7.4	8.1	0.172	0.0561	<0.25	<0.05	0.05	78.89	36 866	<5	<5
	déc-20	6.2	1.4	6.2	7.8	0.240	0.0784	0.05	<0.05	0.07	69.24	32 355	<5	<5

Valeurs < LQ
Valeurs > LQ
Valeurs ≥ Lq
Pas de donnée

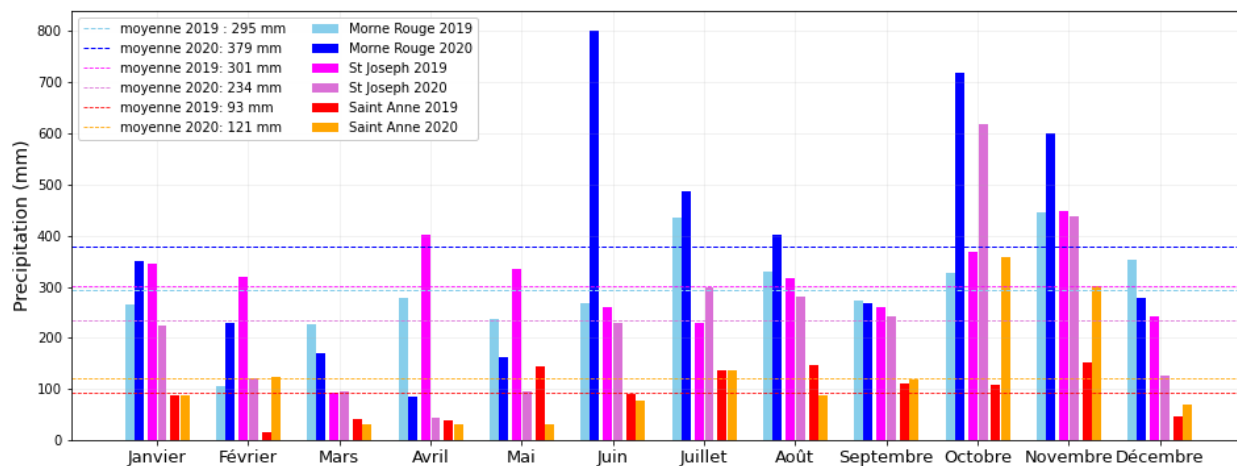
L'accréditation atteste de la compétence du laboratoire pour les essais couverts par l'accréditation qui sont identifiés par une étoile (\*)

**Annexe 5**

***Histogrammes des pluies mensuelles de 2019 et 2020  
des stations pluviométriques de Morne-Rouge, de  
Saint-Joseph et de St-Anne (Météo France)***



Les trois histogrammes montrent les précipitations mensuelles enregistrées sur la station météorologique de Morne rouge (à proximité des sources : Cimetière, Capitaine et Caplet), sur la station météorologique de Saint Joseph (à proximité des sources : La Jacques, Méricette et Bodard) et sur la station de météorologique de Saint-Anne relativement proche de Morne Honoré.





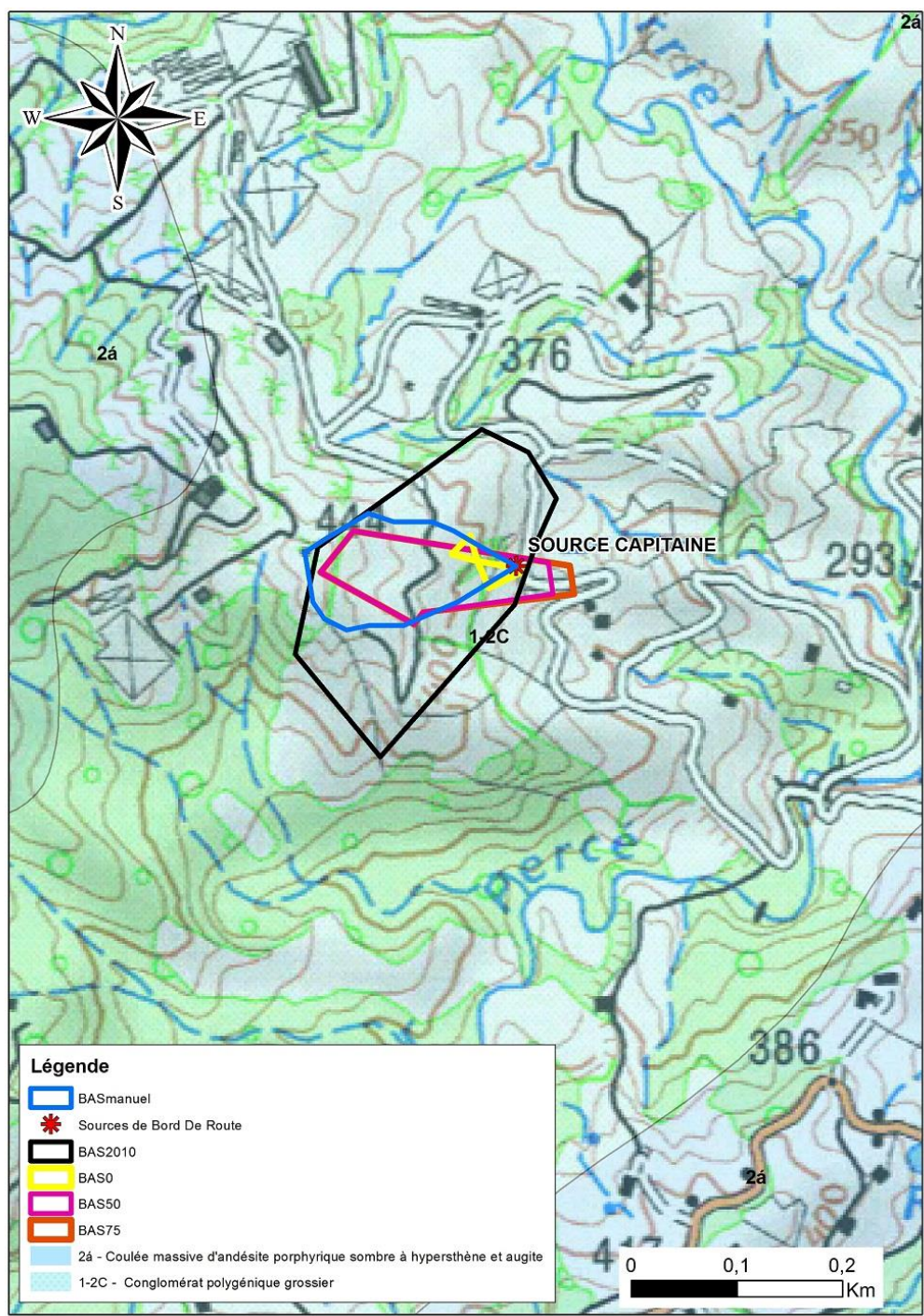


## ***Annexe 6***

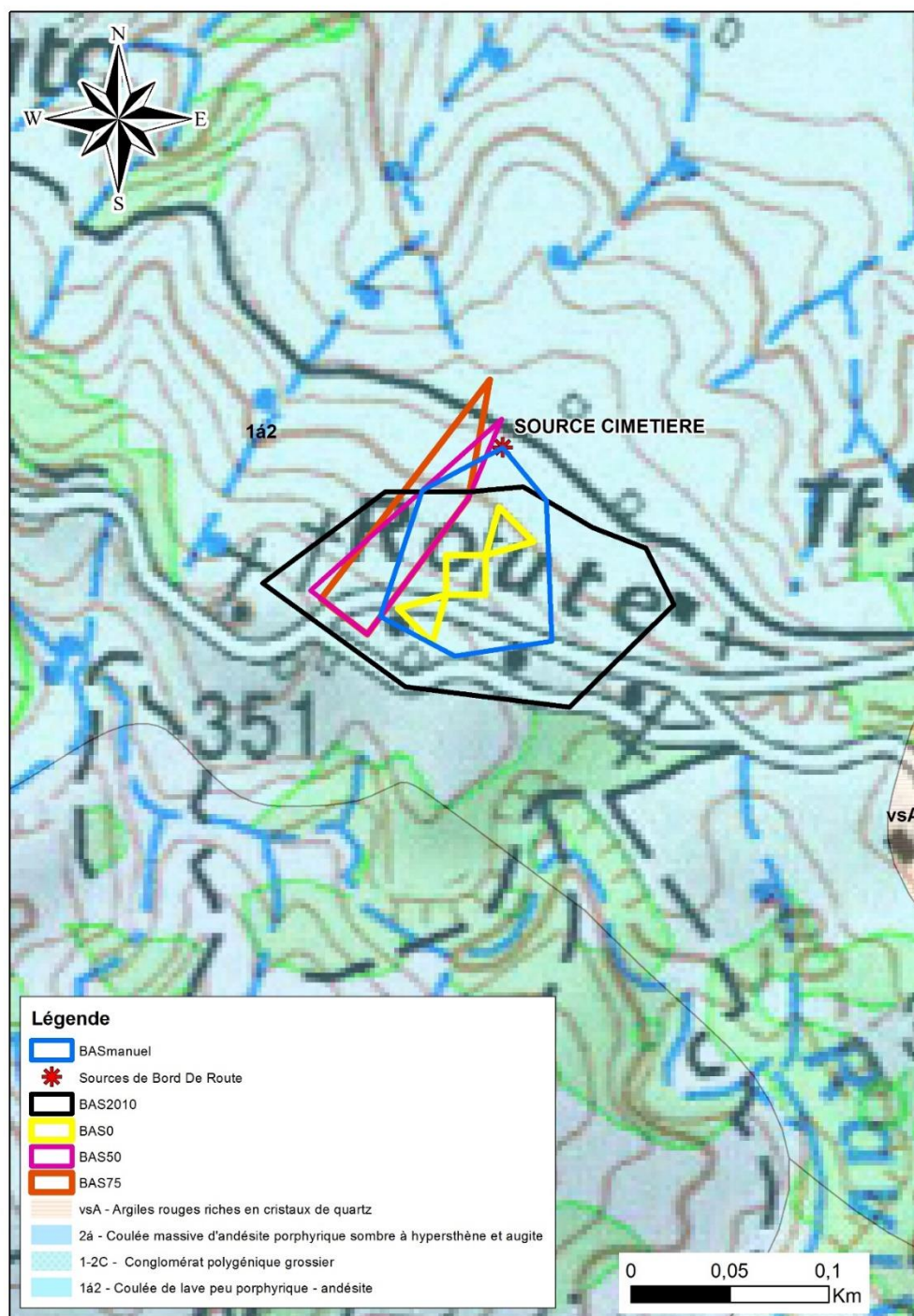
### ***Bassin d'alimentation des sources***



Le bassin d'alimentation retenu pour la source Capitaine au Gros-Morne est le BAS Manuel.

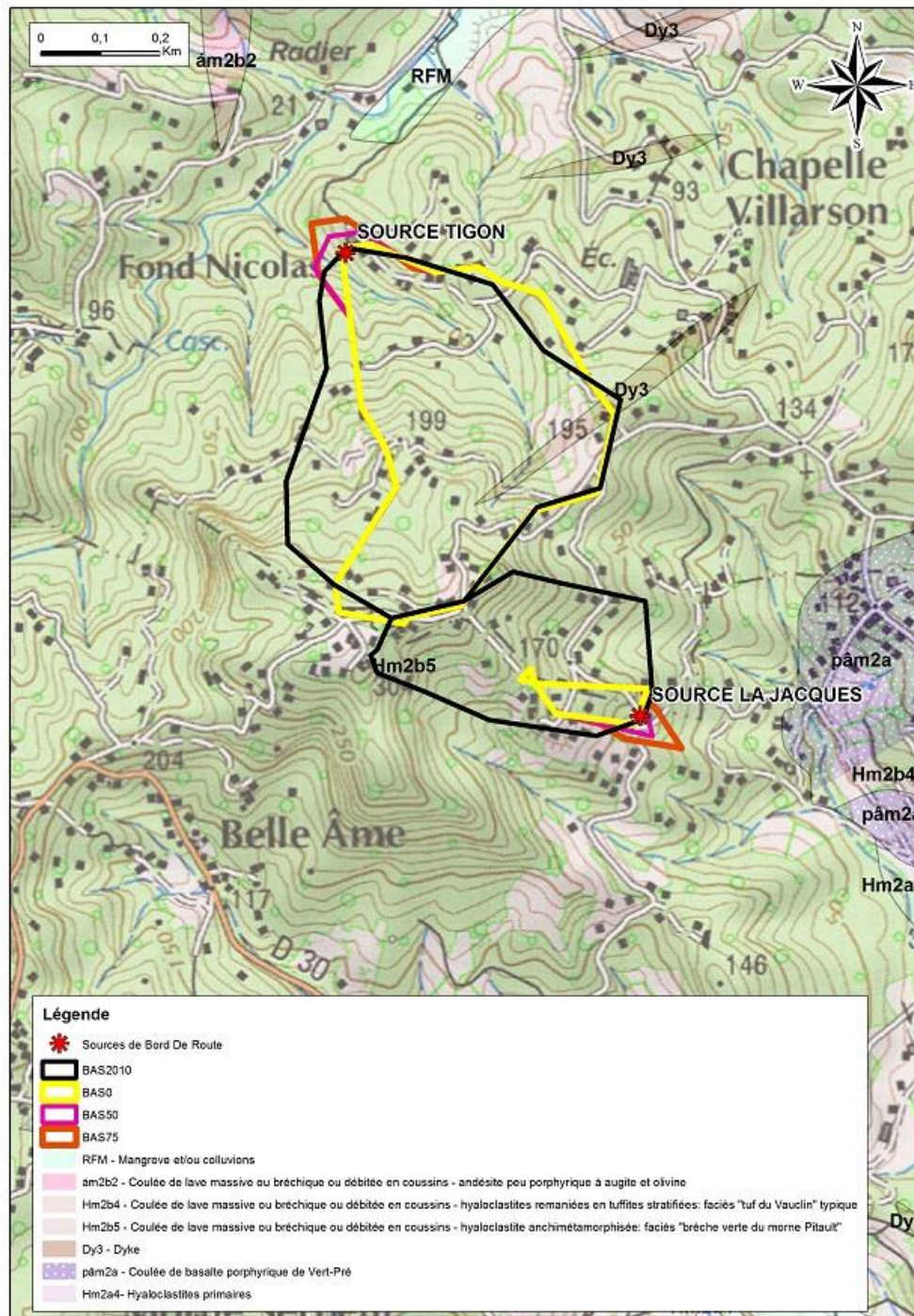


Le bassin d'alimentation retenu pour la source Cimetière à Sainte-Marie est le BAS Manuel.

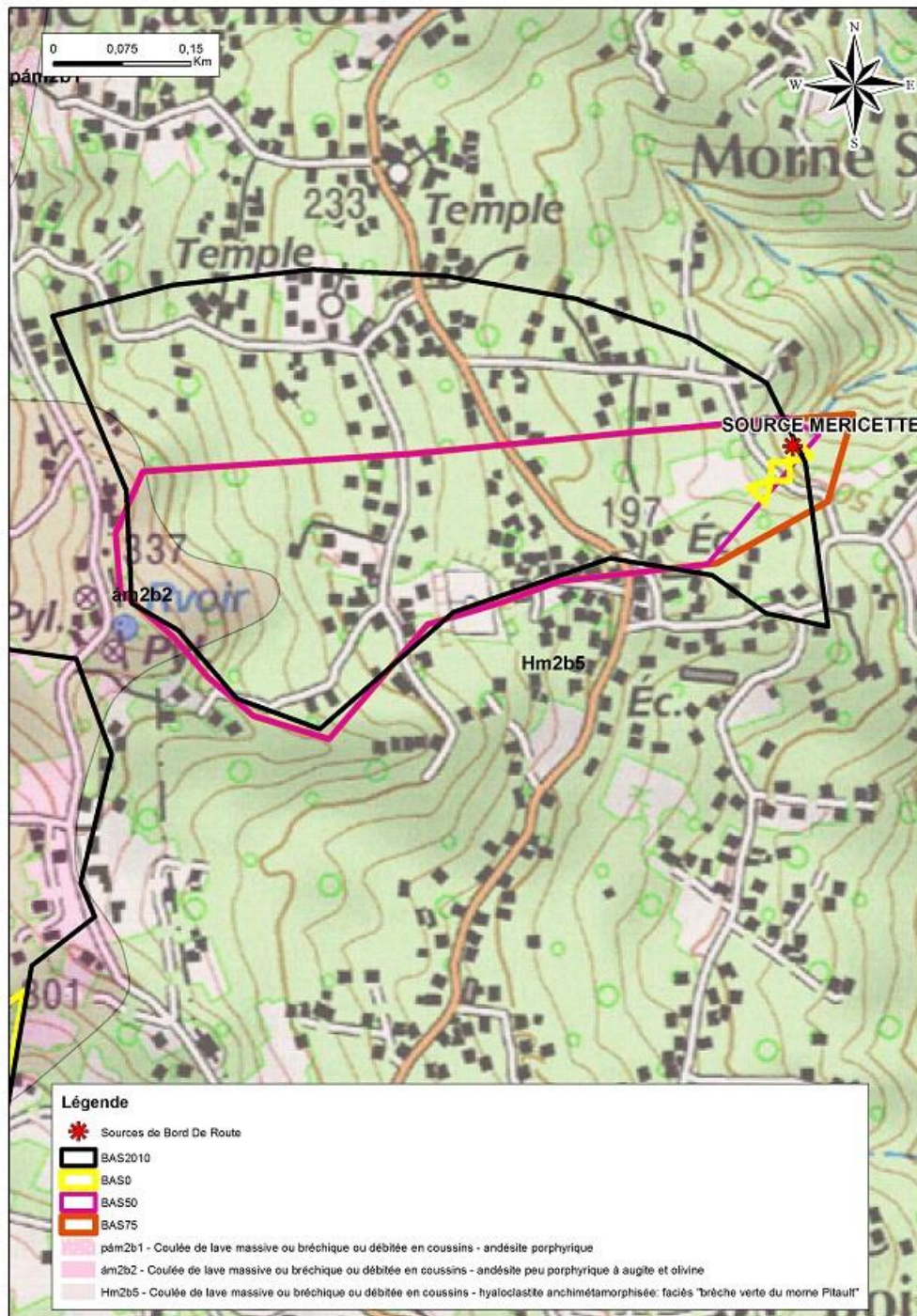




Le bassin d'alimentation retenu est pour La Jacques au François le BAS 2010.

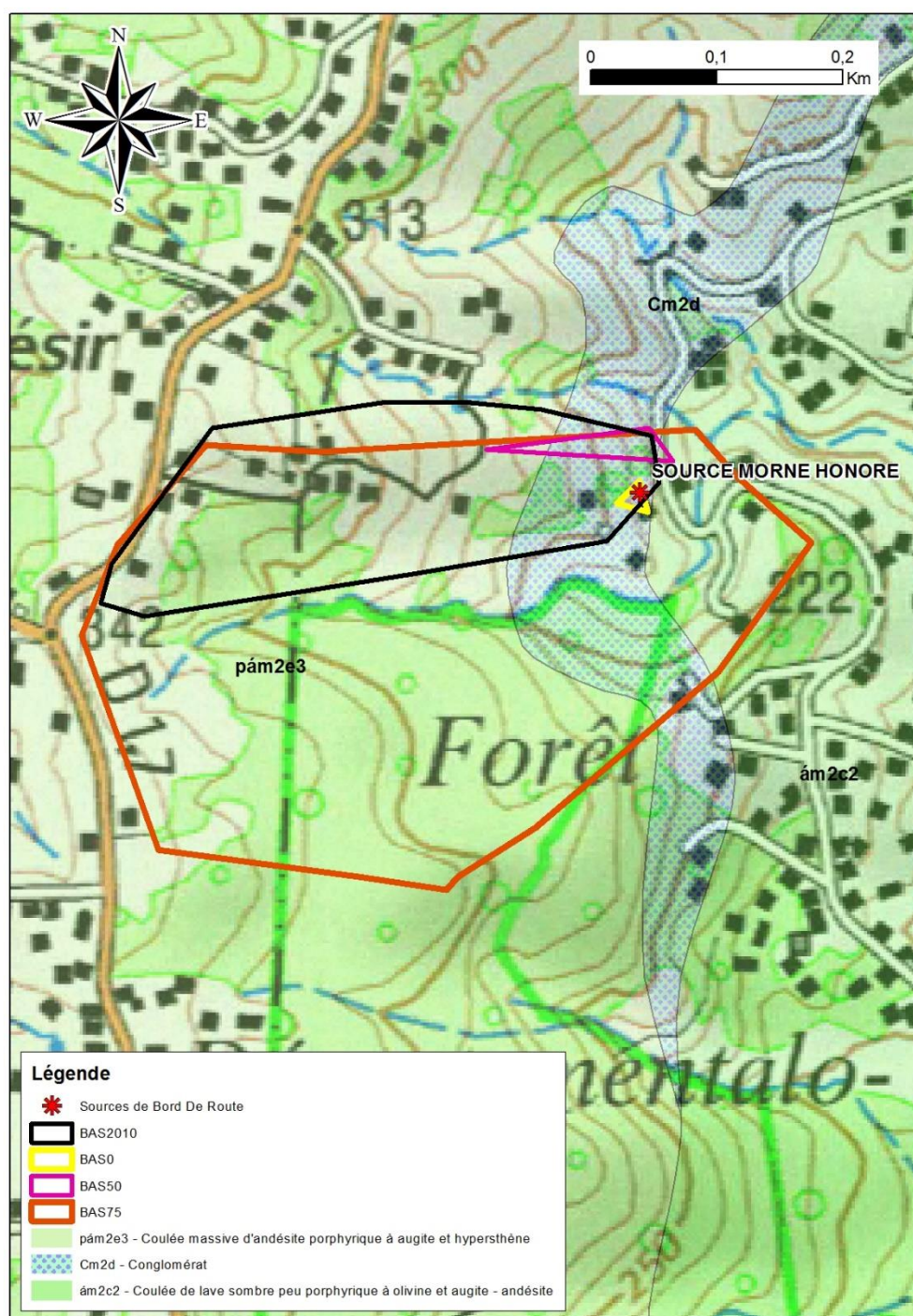


Le bassin d'alimentation retenu pour la source Méricette au François est le BAS 50.

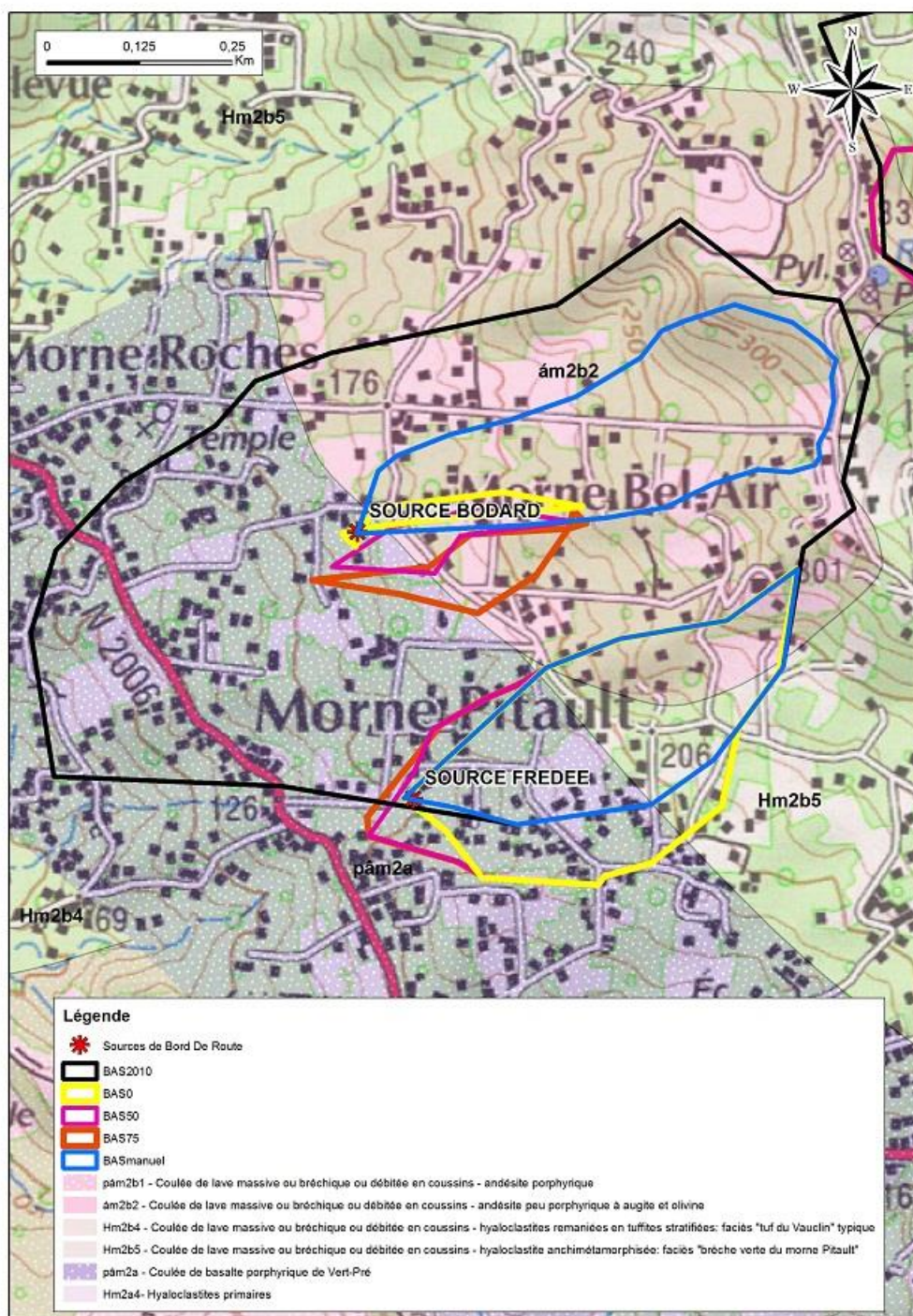




Le bassin d'alimentation retenu pour la source Morne Honoré à Rivière Pilote est le BAS 2010.

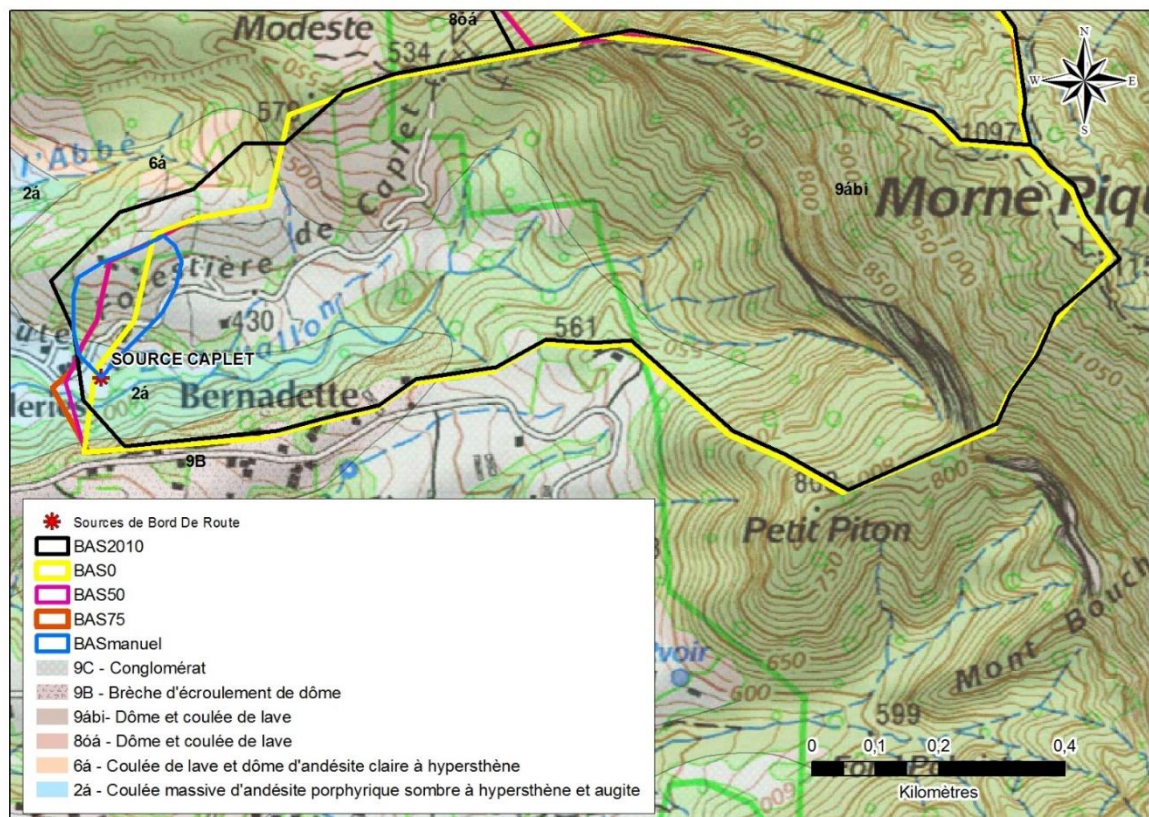


Le bassin d'alimentation retenu pour la source Bodard au Lamentin est le BAS Manuel





Le bassin d'alimentation retenu pour la source Caplet à Morne Vert est le manuel.









**RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

**Centre scientifique et technique**

3, avenue Claude-Guillemin

BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34

**Direction régionale ou UTAM**

Adresse

Tél. :

**[www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)**



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**