



# Surveillance de la qualité des sources dites de « bord de route » en Martinique

Rapport final  
BRGM/RP-64987-FR  
Décembre 2017





# Surveillance de la qualité des sources dites de « bord de route » en Martinique

Rapport final  
BRGM/RP-64987-FR

Décembre 2017

Étude réalisée dans le cadre du projet  
de Service public du BRGM 13RGH0490

A.L Taïlamé, L. Nascimento

**Vérificateur :**

Nom : A. Winckel

Hydrogéologue

Date : 13/10/2017

**Approbateur :**

Nom : B. Vittecoq

Directeur BRGM Martinique

Date : 19/12/2017

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008.

**Mots clés** : Sources, bords de route, qualité, pressions anthropiques, risques, produits phytosanitaires, nitrates, bactériologie, bassins d'alimentation, exutoire, analyses, seuil DCE.

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

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

© BRGM, 2017. Ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

## Synthèse

L'Agence Régionale de la Santé (ARS), l'Office de l'EAU (ODE), et le BRGM ont cofinancé une convention de recherche et développement partagés pour l'élaboration d'un protocole de surveillance adapté au suivi de la qualité des sources dites « de bord de route » en Martinique, c'est-à-dire, des sources facilement accessibles et connues pour être utilisées et/ou consommées par la population.

Une étude a été menée de 2004 à 2009 par l'ARS 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, soient 109, ne respectaient pas les critères fixés par le code de la santé publique pour les eaux destinées à la consommation humaine et ont donc été classées comme non potables.

L'ARS, l'ODE et le BRGM se sont ensuite associés pour caractériser la vulnérabilité et les risques de pollution de 160 sources (BRGM/RP-58105-FR, 2010). Un nouvel atlas a été réalisé présentant les résultats à l'échelle du bassin d'alimentation pour chaque source inventoriée.

L'objectif de la présente étude est de dimensionner un protocole de suivi adapté pour 20 sources présentant les plus forts enjeux car fortement consommées par la population et présentant un risque de pollution par les produits phytosanitaires. Une fois sélectionnées, il a été réalisé sur les 20 sources :

- de nouvelles analyses bactériologiques et chimiques ;
- une révision de la délimitation des bassins d'alimentation définis dans l'étude de 2010 ;
- une évaluation des pressions qui s'exercent sur les bassins d'alimentation et la concordance avec les résultats d'analyses ;
- des recommandations pour un protocole de suivi adapté aux sources.

Il ressort de cette étude que la réalisation automatisée de calculs de bassins d'alimentation à partir de modèles numériques de terrain ne permet pas d'obtenir systématiquement une délimitation cohérente. Elle doit prendre en compte les données topographiques, mais aussi géologiques, hydrologiques et hydrogéologiques. Onze bassins d'alimentation ont ainsi été redéfini manuellement.

Globalement, les cartes des risques à partir des nouveaux bassins d'alimentation concordent avec les résultats d'analyses pour les produits phytosanitaires, les nitrates et la bactériologie malgré leur forte variabilité. La méthode d'évaluation apparaît donc pertinente.

Une surveillance biannuelle (basses eaux et hautes eaux) est proposée pour les sources non contaminées aux pesticides mais dont les bassins d'alimentation présentent un risque de pollution. En effet, la complexité des circulations souterraines et des mécanismes et cinétiques de dégradation des polluants ne permettent pas de garantir sur du long terme, la bonne qualité des sources dont le bassin d'alimentation est à risque.

Sept sources sont concernées par ce suivi, il s'agit des sources Bodard au Lamentin, Capitaine au Gros Morne, Caplet au Morne Vert, Cimetière à Sainte-Marie, La Jacques au François, Méricette au François et Morne Honoré à Rivière Pilote. Des mesures de datations de ces eaux sont également à envisager pour caractériser les temps de transferts. Outre la surveillance, il est également recommandé de réaliser une nouvelle campagne de communication afin de tenir informé la population des nouveaux résultats d'analyses.



## Sommaire

<b>1. Introduction .....</b>	<b>9</b>
<b>2. Sélection des 20 sources dites de « bord de route ».....</b>	<b>11</b>
2.1. CONSULTATION DES MAIRIES .....	11
2.2. MÉTHODE DE SÉLECTION .....	11
<b>3. Prélèvements et analyses.....</b>	<b>15</b>
3.1. CONDITIONS CLIMATIQUES.....	15
3.2. ÉCHANTILLONNAGE ET MESURES <i>IN SITU</i> .....	16
3.3. LES RÉSULTATS D'ANALYSES DE L'ANNEE 2014.....	17
<b>4. Validation des Bassins d'Alimentation des Sources (BAS) .....</b>	<b>21</b>
4.1. CALCUL DU BILAN HYDRIQUE .....	21
4.1.1. Rappel sur la méthode de calcul du bilan hydrique .....	21
4.1.2. Rappel de la méthodologie de spatialisation (Vittecoq <i>et al.</i> , 2007) .....	22
4.1.3. Surface théorique des Bassin d'Alimentation des Sources (BAS) (issue des débits) .....	23
4.2. DÉLIMITATION DES BASSINS D'ALIMENTATION DES SOURCES (BAS) ...	24
4.2.1. Méthode de calcul automatisé de 2010 .....	24
4.2.2. Nouveaux calculs automatisés en 2017 .....	25
4.2.3. Comparaison des résultats.....	26
4.3. CONCLUSION SUR LES BASSINS D'ALIMENTATION DES SOURCES .....	28
<b>5. Validation des pressions anthropiques.....</b>	<b>31</b>
5.1. NITRATES .....	31
5.2. BACTÉRIOLOGIE .....	33
5.3. PRODUITS PHYTOSANITAIRES.....	33
5.4. CONCLUSION .....	35
<b>6. Protocole de surveillance.....</b>	<b>37</b>
<b>7. Conclusion .....</b>	<b>39</b>
<b>8. Bibliographie .....</b>	<b>41</b>

## Liste des illustrations

Illustration 1 : Priorisation des sources pour leur sélection .....	12
Illustration 2 : Priorisation attribuée à chaque source sélectionnée .....	12
Illustration 3 : Localisation des sources dites « de bord de route » .....	13
Illustration 4: Précipitations journalières enregistrées pour 6 stations pluviométriques du 16 septembre au 8 octobre 2014 (Source : Conseil Général de la Martinique) .....	15
Illustration 5 : Prélèvements d'eau et mesures des paramètres physico-chimiques in situ à la source Desmarinières à Rivière Salée .....	16
Illustration 6 : Tableau récapitulatif des résultats d'analyses de 2014 .....	19
Illustration 7 : Bilan hydrique à l'échelle de la maille (réservoir 1 & 2) .....	21
Illustration 8 : Tableau de principe du modèle hydrologique global (réservoir 1 & 2) .....	22
Illustration 9 : Cartes de la pluie efficace moyenne et de l'infiltration moyenne en mm à l'échelle de la maille.....	23
Illustration 10: Surfaces théoriques des BAS des sources.....	24
Illustration 11 : Bassins versants topographiques et hydrogéologiques (source : Vernoux et al., 2007) .....	25
Illustration 12 : Bassins versants d'alimentation de la source Casinel Saint Jacques – Sainte Marie.....	27
Illustration 13 : Bassins versants d'alimentation de la source Caplet au Morne Vert .....	28
Illustration 14 : Récapitulatif des modifications possibles sur les bassins d'alimentation des sources .....	29
Illustration 15 : Comparaison entre risque et contamination par les nitrates .....	32
Illustration 16: Comparaison entre risque et contamination bactériologique.....	33
Illustration 17: Comparaison entre risque et contamination par les pesticides .....	34
Illustration 18: Carte des contaminations relevées en 2014.....	36
Illustration 19 : Récapitulatif des suivis préconisés pour chaque source .....	37

## Liste des annexes

Annexe 1 Tableau de recensement des sources envoyé aux communes par l'ARS .....	43
Annexe 2 Paramètres physico-chimique mesurés durant la campagne de prélèvement .....	47
Annexe 3 Produits phytosanitaires recherchés dans les sources .....	51
Annexe 4 Bilan hydrologique moyen 1991-2010 calculé pour chaque UR (hors stocks) .....	55
Annexe 5 Débits théoriques des Bassins d'Alimentation des Sources calculés .....	59
Annexe 6 Bassins d'alimentations des sources .....	61

# 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, présenter des contaminations diverses et pourtant ces sources ne sont quasiment jamais contrôlées.

Une étude a été menée de 2004 à 2009 par l'ARS 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, soient 109, ne respectaient pas les critères fixés par le code de la santé publique pour les eaux destinées à la consommation humaine et ont donc été classées comme non potables. L'absence de contrôle régulier sur les 19 autres sources ne permet pas de garantir leur qualité, leur consommation est donc déconseillée.

En 2010, l'ARS, l'ODE et le BRGM se sont associés pour caractériser la vulnérabilité et les risques de pollution de 160 sources en Martinique (BRGM/RP-58105-FR). Cet atlas présente les résultats à l'échelle du bassin d'alimentation pour chaque source inventoriée.

Dans le cadre de cette étude, il a été réalisé :

- une sélection de 20 sources présentant un enjeu sanitaire (parmi les 160 inventoriées en 2010), en concertation avec les partenaires et à partir de la base de données existantes ;
- des analyses bactériologiques et chimiques sur les 20 sources réalisées en 2014 ;
- une confrontation des Bassins d'Alimentation de chaque Source (BAS) évalués en 2010, avec les nouvelles délimitations cartographiques ;
- une mise à jour des pressions anthropiques cartographiées s'exerçant sur les bassins d'alimentation de chaque source, vérifiées par des visites de terrain et confrontées à l'ensemble des résultats d'analyses.

Enfin, le dernier objectif de cette étude est de proposer un protocole de surveillance adapté aux 20 sources sélectionnées.



## 2. Sélection des 20 sources dites de « bord de route »

### 2.1. CONSULTATION DES MAIRIES

L'ARS s'est chargé de la consultation de l'ensemble des mairies du département afin de recenser les sources de chaque commune de manière la plus exhaustive possible, en indiquant des informations concernant leur environnement immédiat (aménagement, propriété...) et la consommation qui en découle. L'Annexe 1 présente le tableau de recensement des sources envoyé aux communes par l'ARS. L'implication des mairies a pour but d'obtenir une meilleure connaissance des sources les plus consommées par la population et de cibler les stations présentant un intérêt / besoin de surveillance qualitative. Néanmoins, peu de communes ont répondu à la sollicitation (8 sur 27 consultées), la méthodologie de priorisation des sources a ensuite été mise à jour au cours du premier comité de pilotage le 16 juillet 2014.

Les communes ayant montré un intérêt particulier pour les résultats et ayant proposé une collaboration active dans le bon déroulement de cette étude, ont été, dans la mesure du possible, privilégiées. Il s'agit des communes de Sainte-Marie, Sainte-Luce, Fond Saint Denis, Marigot, Saint Joseph, Ducos, Rivière Salée et Gros Morne.

### 2.2. MÉTHODE DE SÉLECTION

Deux facteurs ont été définis comme primordiaux pour la sélection des 20 sources :

- Une forte consommation par la population ;
- Un risque phytosanitaire important.

Les risques bactériologiques et nitrates ont été écartés de la méthode de sélection en raison de leur variabilité trop importante au cours du temps.

En 2010, au cours de l'étude de vulnérabilité a été attribué une note de 0 à 4 aux sources déjà analysées traduisant leur état de contamination par les produits phytosanitaires :

- note 0 : absence de contamination ( $< LQ$ ) ;
- note 1 : présence de produits phytosanitaires (0 à 0,1  $\mu g/l$ ) ;
- note 2 : contamination avérée (0,1 à 1  $\mu g/l$ ) ;
- note 3 : contamination importante (1 à 10  $\mu g/l$ ) ;
- note 4 : contamination très importante ( $> 10 \mu g/l$ ).

Après comparaison des risques théoriques de contamination avec les analyses réalisées sur l'ensemble des bassins d'alimentation, il est apparu que la méthode d'évaluation des risques était globalement pertinente :

- Les contaminations en nitrates sont détectées dans 73 % des cas (sources anthropisées  $[NO_3^-] > 10 \text{ mg/l}$ );
- Les contaminations bactériologiques sont détectées dans 69 % des cas ;
- Les contaminations par les produits phytosanitaires sont détectées dans 65 % des cas.

Pour ces trois paramètres, la différence entre contamination avérée et risque peut venir des incertitudes sur la délimitation du bassin d'alimentation de la source.

La priorisation des sources a été définie uniquement en fonction des risques phytosanitaires s'exerçant sur le bassin d'alimentation et des résultats d'analyses déjà inventoriés, selon l'organigramme de l'illustration 1.

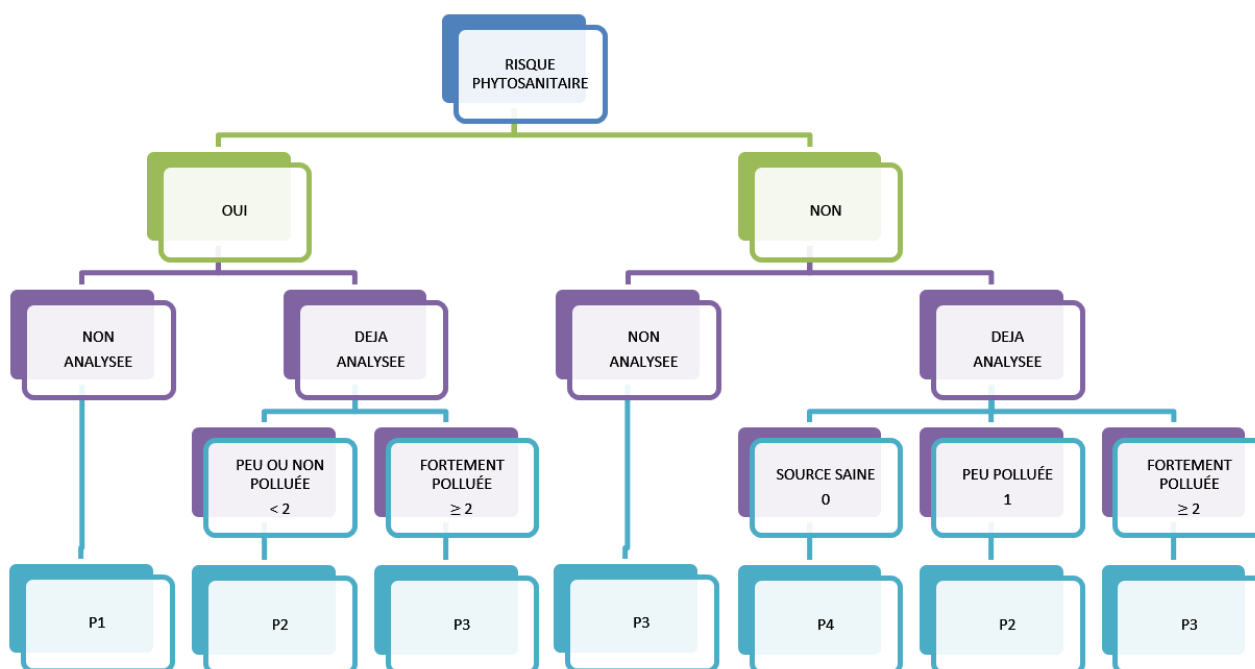


Illustration 1 : Priorisation des sources pour leur sélection

En suivant cette classification, il a été possible de valider 5 sources de priorité 1, 4 sources de priorité 2 et 10 sources de priorité 3, avec en plus la source de l'Alma à Fond Saint Denis qui rentre dans les critères de source fortement consommée par la population. L'illustration 2 présente les priorités appliquées à chaque source et l'illustration 3 leur répartition sur l'île.

Code BSS	Commune	Nom de la Source	X (WGS84)	Y (WGS84)	Priorité COPIL
1168ZZ0047	Ajoupa Bouillon	Trianon	701485	1637646	P1
1169ZZ0094	Lorrain	Annonay	708457	1637760	P2
1169ZZ0146	Sainte Marie	Casinel Saint Jacques	712978	1635140	P3
1169ZZ0168	Lorrain	Linval	707316	1637714	P1
1173ZZ0068	Morne Vert	Attila	701532	1627253	P3
1173ZZ0076	Fond Saint Denis	Alma	704716	1627593	P4
1173ZZ0077	Bellefontaine	Roumeau	698662	1623224	P3
1173ZZ0079	Fond Saint Denis	Dandam	701180	1629932	P3
1173ZZ0108	Fort de France	Médaille	705586	1625910	P3
1173ZZ0119	Morne Vert	Caplet	700576	1627110	P3
1174ZZ0089	Saint Joseph	Cœur Bouliki	707965	1626096	P3
1174ZZ0135	Gros Morne	Capitaine	710991	1629808	P1
1174ZZ0139	Sainte Marie	Cimetière	712310	1630728	P1
1179ZZ0282	Lamentin	Frédée	720405	1616412	P2
1179ZZ0285	Lamentin	Bodard	720330	1616767	P2
1179ZZ0309	François	La Jacques	722510	1618620	P1
1179ZZ0317	François	Méricette	721758	1617284	P3
1179ZZ0314	Robert	Tigon	722018	1619392	P2
1182ZZ0168	Rivière Salée	Morne Honoré	723948	1605768	P3
1182ZZ0169	Rivière Salée	Desmarinières	722427	1604712	P3

Illustration 2 : Priorisation attribuée à chaque source sélectionnée

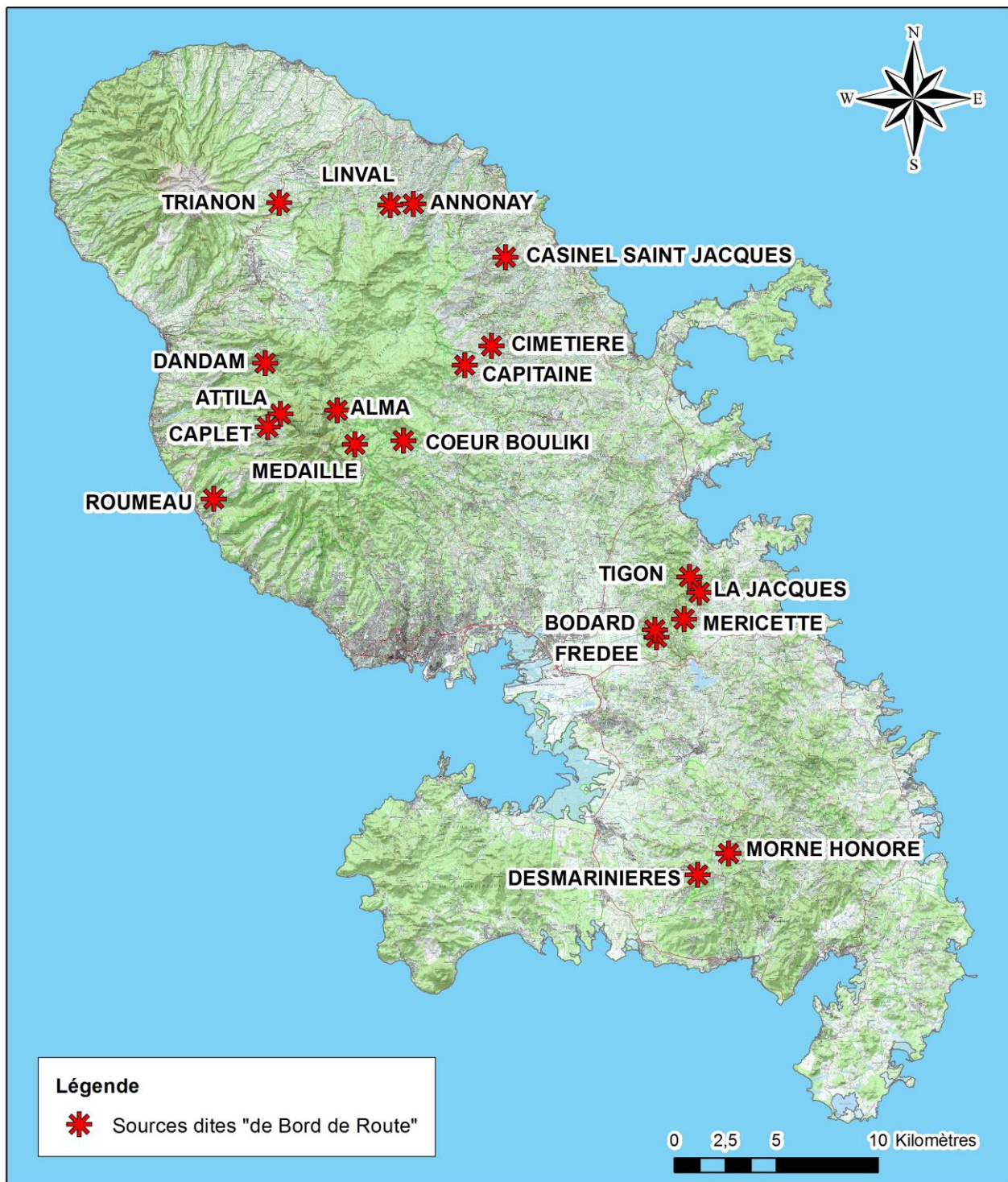


Illustration 3 : Localisation des sources dites « de bord de route »



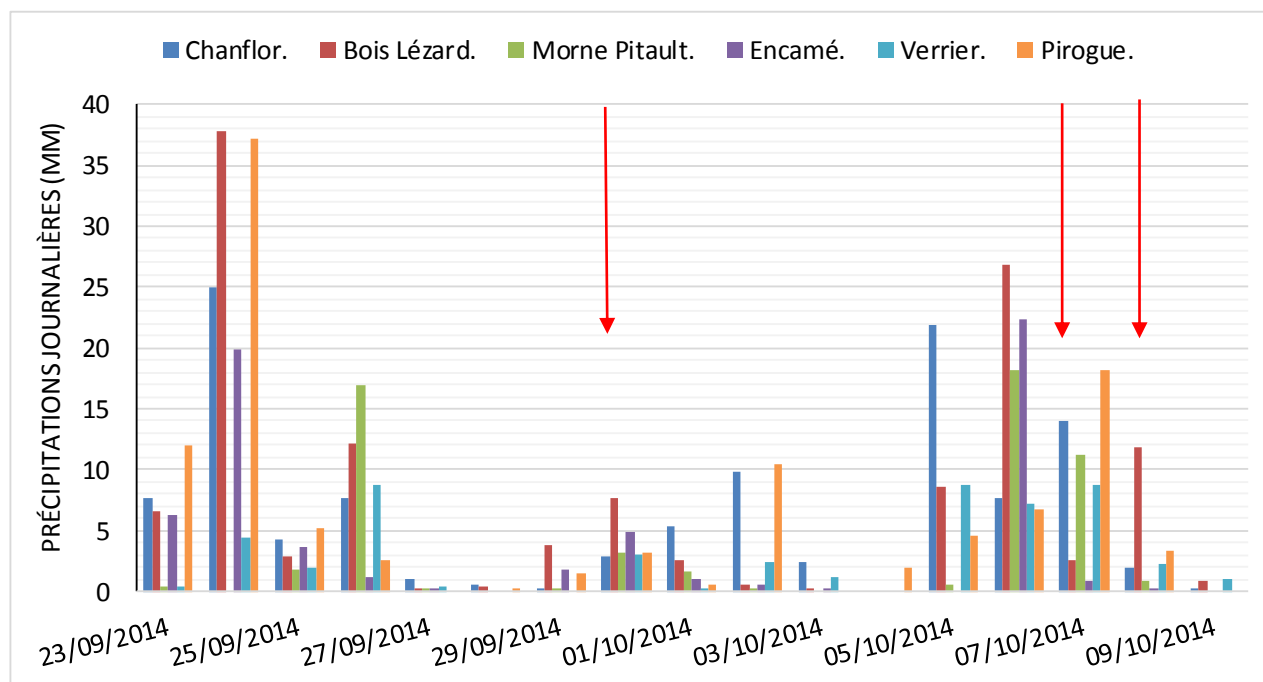
### 3. Prélèvements et analyses

#### 3.1. CONDITIONS CLIMATIQUES

Les prélèvements sur les 20 sources sélectionnées ont été effectués le 30 septembre puis le 7 et 8 octobre 2014.

L'Illustration 4 présente un relevé pluviométrique journalier enregistrées sur 6 stations à proximité des bassins d'alimentation des sources.

D'une manière générale, les pluies ont été plus soutenues au début des campagnes de prélèvement. Sur la période allant du 23 septembre au 9 octobre, toutes stations confondues, la moyenne pluviométrique est de 5 mm/jour. Le maximum est atteint avec 37,8 mm sur la station de Bois Lézard le 24 septembre.



*Illustration 4: Précipitations journalières enregistrées pour 6 stations pluviométriques du 16 septembre au 8 octobre 2014 (Source : Conseil Général de la Martinique)*

Malgré les pluies enregistrées durant les jours d'échantillonnage, aucun prélèvement n'a été impacté par les précipitations, l'effet de dilution peut donc être écarté.

### 3.2. ÉCHANTILLONNAGE ET MESURES *IN SITU*

Le BRGM s'appuie sur les recommandations techniques du guide Aquaref relatif aux prélèvements des eaux souterraines. L'échantillonnage a été réalisé au plus près de l'émergence, le débit a été évalué dès que possible et le remplissage du flaconnage fourni par le laboratoire d'analyse du BRGM, a été réalisé sans matériel intermédiaire.

Selon le paramètre à analyser, les flacons ont été filtrés à 0,45 µm et acidifiés sur site, puis les échantillons ont été conservés à  $5 \pm 3^{\circ}\text{C}$  et expédiés par voie aérienne au laboratoire d'analyse dans les 48h.

L'illustration 5 montre le matériel employé pour l'échantillonnage, les boîtiers de mesure de paramètres *in situ* et les conditions de transport des flacons.



*Illustration 5 : Prélèvements d'eau et mesures des paramètres physico-chimiques in situ à la source Desmarinières à Rivière Salée*

Parmi les sources échantillonnées, les conductivités rencontrées varient entre 76 µS/cm (Source Capitaine au Gros Morne) et 639 µS/cm à la source La Jacques au François avec une médiane de 168 µS/cm pour ces 20 stations.

Le pH, la température et le potentiel redox sont des paramètres qui présentent peu de variation, avec respectivement une moyenne de 6,6 pour le pH, 25,3 °C et 196 mV.

Les valeurs en oxygène dissous sont peu représentatives compte tenu des conditions de mesure. Comme le montre l'illustration 5, l'aménagement des sources ne permet pas d'éviter l'effet chute d'eau qui engendre naturellement une modification de l'oxygène dissous de l'eau des sources.

Enfin, les mesures de débits ont été évaluées quand les conditions le permettaient. Le débit maximum a été rencontré à la source Attila au Morne Vert avec 2,67 L/s. Le tableau en Annexe 2 récapitule l'ensemble des données mesurées.

### 3.3. LES RÉSULTATS D'ANALYSES DE L'ANNEE 2014

Au niveau Européen la qualité de l'eau potable est encadrée par la Directive européenne 98/83 du 3 novembre 1998 et le décret 2001-1220, qui fixe les limites et références de qualité pour l'eau potable. En France, les normes applicables sont définies dans l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine. Cet arrêté fixe la valeur seuil en nitrates à 50 mg/l. En revanche, les teneurs supérieures à 10 mg/l laissent supposer un impact anthropique.

Sur l'ensemble des 20 sources analysées dans le cadre de cette étude, aucune ne présente un dépassement de cette valeur, les résultats d'analyses montrent que :

- 5 sources ont des teneurs inférieures à la limite de quantification (LQ = 1 mg/l) ;
- 12 sources ont des teneurs inférieures à 10 mg/l ;
- 3 sources ont des teneurs supérieures à 10 mg/l.

Cette dernière catégorie concerne les sources : La Jaques au François, Casinel Saint Jacques à Sainte Marie et Trianon à Ajoupa Bouillon avec un maximum atteint de 17 mg/l.

L'eau potable doit être exempte de bactéries et de virus pathogènes. Les Escherichia Coli et Entérocoques sont de bons indicateurs de potabilité et les eaux potables ne doivent pas en contenir. Sur l'ensemble des sources les résultats d'analyses montrent que :

- 9 sources présentent des valeurs inférieures à limite de quantification (LQ = 15/100 ml) en Escherichia Coli et en Entérocoques intestinaux. ;
- tandis que les 11 autres sources présentent des valeurs supérieures ou égales à 15/100 ml en Escherichia Coli et/ou en Entérocoques intestinaux, avec comme station la plus impactée celle de la source Bodard au Lamentin avec respectivement 495/100 ml et 312/100 ml.

Notons que ces deux bactéries ont la qualité de “ germes précurseurs ”. La présence de ces germes dans l'eau signale un risque de contamination biologique, mais ne signifie pas systématiquement que s'y trouvent des virus ou bactéries pathogènes.

D'après l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine, les concentrations pour chaque produit phytosanitaire ne doivent pas dépasser 0,1 µg/l. Pour les deux paramètres Dieldrine et Heptachlore cette valeur est de 0,03 µg/l. De plus, la somme des concentrations ne doit pas être supérieure à 0,5 µg/l en un même point.

Parmi les produits phytosanitaires recherchés (cf. Annexe 3), seuls le bromacil, le diuron, l'atrazine et la chlordécone ont été détectés. Sur l'ensemble des 20 sources analysées :

- 14 sources ne présentent aucun dépassement de limite de quantification (LQ = 0,1 µg/l) ;
- 5 sources présentent des valeurs supérieures à la LQ pour certains pesticides et pour la somme des pesticides, mais néanmoins inférieures aux valeurs de potabilité. Il s'agit de Annonay au Lorrain, Casinel Saint-Jacques à Sainte Marie, Frédée au Lamentin, Tigon au Robert et Trianon à Ajoupa Bouillon.
- La source Linval au Lorrain connaît un dépassement de la valeur seuil DCE pour la molécule chlordécone avec une concentration de 0,69 µg/l.

L'illustration 6 présente l'ensemble des résultats d'analyses pour les 20 sources sélectionnées.

Code BSS	Commune	Nom	Nitrates (mg/L)	Bactériologie (/100ml)		Paramètres organiques détectés	Valeurs (µg/L)
				Escherichia coli	Entérocoques intestinaux		
1168ZZ0047	Ajoupa Bouillon	Trianon	17	30	15	bromacil, diuron, atrazine	0,05 / 0,03 / 0,02
1169ZZ0094	Lorrain	Annonay	9,1	126	-	chlordécone	0,04
1169ZZ0146	Sainte Marie	Casinel Saint Jacques	13	-	-	chlordécone	0,025
1169ZZ0168	Lorrain	Linval	6,4	-	-	chlordécone	0,69
1173ZZ0068	Morne Vert	Attila	-	-	-	-	-
1173ZZ0076	Fond Saint Denis	Alma	-	-	-	-	-
1173ZZ0077	Bellefontaine	Roumeau	6,2	-	-	-	-
1173ZZ0079	Fond Saint Denis	Dandam	1,9	-	-	-	-
1173ZZ0108	Fort de France	Médaille	-	15	15	-	-
1173ZZ0118	Morne Vert	Caplet	3,1	15	-	-	-
1174ZZ0089	Saint Joseph	Cœur Bouliki	-	-	-	-	-
1174ZZ0135	Gros Morne	Capitaine	6,6	234	46	-	-
1174ZZ0139	Sainte Marie	Cimetière	4,5	-	-	-	-
1179ZZ0282	Lamentin	Frédée	6	46	30	chlordécone	0,03
1179ZZ0285	Lamentin	Bodard	3,5	495	312	-	-
1179ZZ0309	François	La Jacques	13	-	15	-	-
1179ZZ0317	François	Méricette	6,8	213	61	-	-
1179ZZ0322	Robert	Tigon	-	-	-	chlordécone	0,05
1182ZZ0168	Rivière Salée	Morne Honoré	3,6	-	15	-	-
1182ZZ0169	Rivière Salée	Desmarinières	3,9	15	30	-	-

Légende Nitrate
50 mg/l Valeur seuil DCE
- Valeur inférieur à la LQ

Légende Bactériologie
≥ 15 Valeur supérieur à la LQ
- Valeur inférieur à la LQ

Légende pesticide
0,1 µg/l Valeur supérieur au seuil DCE
Valeur supérieur au seuil de détection
- Valeur inférieur à la LQ

Illustration 6 : Tableau récapitulatif des résultats d'analyses de 2014



## 4. Validation des Bassins d’Alimentation des Sources (BAS)

### 4.1. CALCUL DU BILAN HYDRIQUE

Le modèle hydrologique global développé dans le cadre de l’étude du système d’information géographique sur les eaux souterraines (rapport BRGM/RP-55099-FR) a été mis à jour en 2013 avec l’acquisition des données piézométriques du réseau de surveillance depuis 2006.

#### 4.1.1. Rappel sur la méthode de calcul du bilan hydrique

*Le modèle à trois réservoirs est utilisé pour décrire les transferts « verticaux » au sein des Unités Hydrologiques (UH). La particularité est que, contrairement à l’usage, on ne travaille pas ici à l’échelle du bassin versant pour les trois réservoirs, mais on introduit un changement d’échelle entre les deux premiers réservoirs (sol, et Zone non saturée-ZNS) et le réservoir nappe. L’île a ainsi été discrétisée en 1096 mailles de 1 km<sup>2</sup>, pour chacune desquelles le bilan hydrique du sol, l’infiltration et le ruissellement sont calculés (Illustration 7 & Illustration 8 : 2 premiers réservoirs).*

Un bilan hydrologique moyen sur la période allant de 1991 à 2010 calculé pour chaque UR est présenté en Annexe 4.

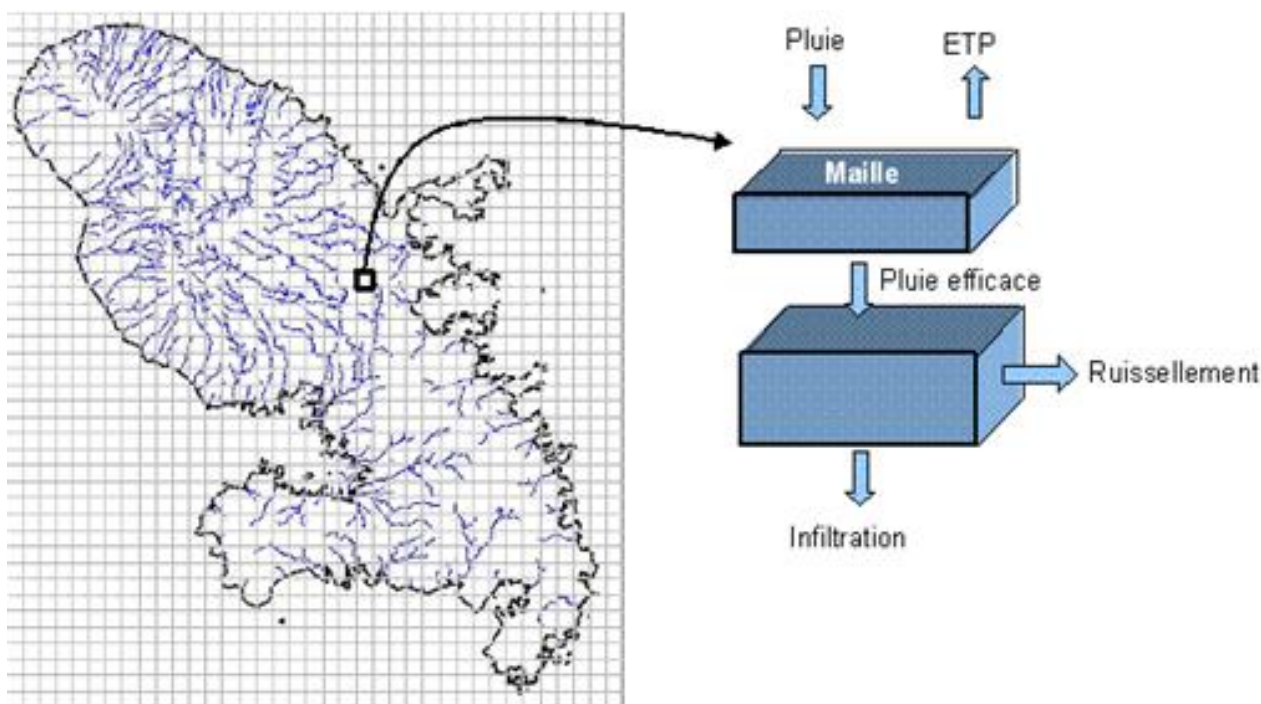


Illustration 7 : Bilan hydrique à l’échelle de la maille (réservoir 1 & 2)

CALCUL	ÉQUATIONS	DONNÉES EN ENTRÉE
<b>Pluie efficace (Peff)</b>	$ETR^n = \min (ETP^n ; P^n + RU^n)$	Précipitations journalières et carte spatialisée des moyennes annuelles
	$Peff^n = P^n - ETR^n + RU^n - RU_{max}$	
	Si $Peff^n \leq 0$ alors $Peff^n = 0$	ETP journalière (Lamentin) et carte des iso-ETP
	$RU^{n+1} = \min (RU_{max} ; P^n + RU^n - ETR^n)$	Réserve utile maximale des sols
<b>Ruissellement (R) et Infiltration (I)</b>		Coefficients cultureaux
	$\frac{dH}{dt} = Peff(t) - \tau_1 \cdot H(t)$	$\alpha$ , Coefficient de ruissellement dépendant :
	$R(t) = \alpha \cdot \tau_1 \cdot H(t)$	- d'un coefficient de pente
	$I(t) = (1 - \alpha) \cdot \tau_1 \cdot H(t)$	- et d'un coefficient de sol
		$\tau_1$ Constante de temps du réservoir intermédiaire ( $j^{-1}$ )

Illustration 8 : Tableau de principe du modèle hydrologique global (réservoir 1 &amp; 2)

#### 4.1.2. Rappel de la méthodologie de spatialisation (Vittecoq et al., 2007)

L'île a été découpée en 14 Zones Pluviométriquement Homogènes (ZPH) (Mobèche, 2003). Pour chacune, un pluviomètre de référence a été choisi. Les pluviomètres pour lesquels la pluie moyenne annuelle calculée à partir des chroniques disponibles ne correspondait pas avec la carte des isohyètes ont été éliminés. On affecte ensuite à toutes les mailles situées dans une même ZPH la chronique du pluviomètre de référence de cette zone, corrigée par un coefficient multiplicatif pour tenir compte entre autre de l'altitude. Pour chaque maille, ce coefficient correcteur est égal au rapport entre la pluviométrie moyenne annuelle de la maille fournie par la carte des isohyètes discrétisée et la pluviométrie moyenne annuelle mesurée au pluviomètre de référence.

En 2013, des améliorations ont été apportées au modèle. La méthode de spatialisation visant à obtenir une pluie quotidienne par maille d'un km<sup>2</sup> est restée la même, mais grâce aux nouvelles données fournies par Météo France sur la période 1981-2010, elle a gagné en fiabilité et montrent que tous les bilans restent corrects avec une erreur relative inférieure à 0,5 % (Arnaud, 2014).

Les cartes de la pluviométrie, de la pluie efficace et de l'infiltration moyenne (Illustration 9) à l'échelle de la maille de 1 km<sup>2</sup> sur l'ensemble de la Martinique illustrent les valeurs associées à chaque bassin versant des sources permettant le calcul de leur surface théorique (cf. Annexe 5).

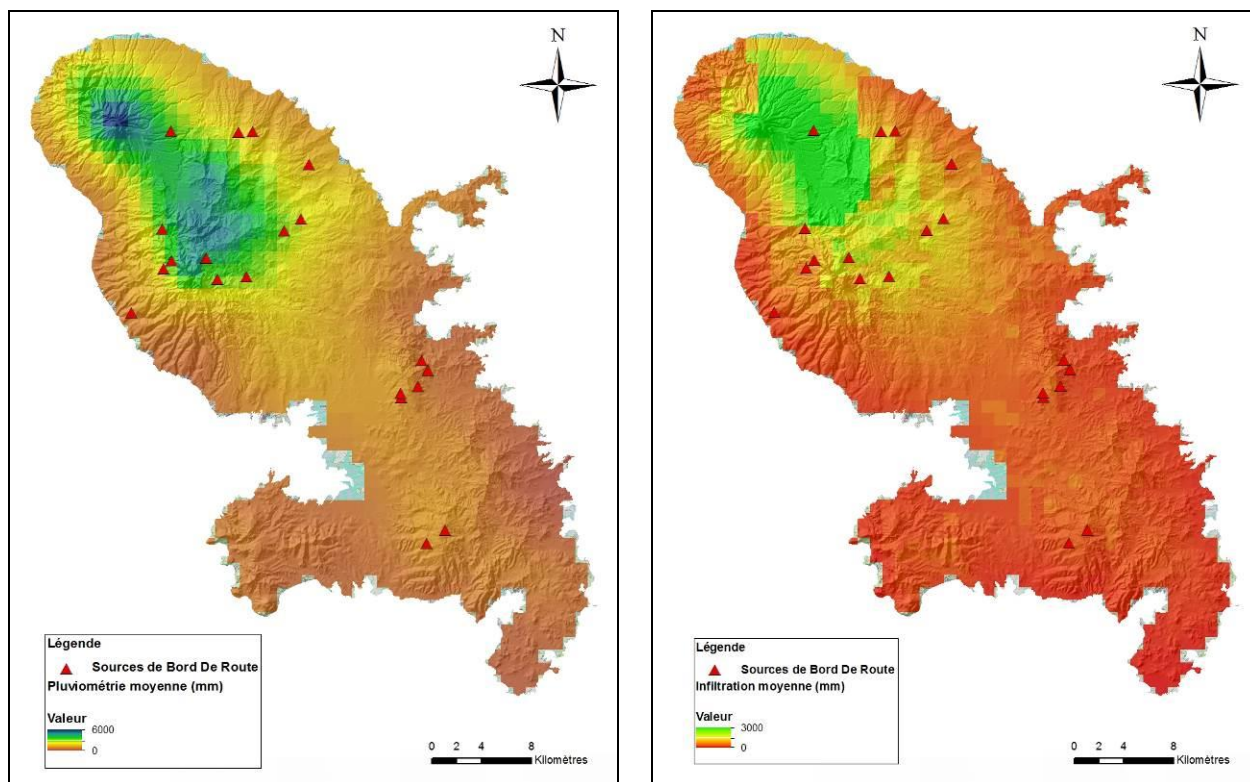


Illustration 9 : Cartes de la pluie efficace moyenne et de l'infiltration moyenne en mm à l'échelle de la maille

#### 4.1.3. Surface théorique des Bassin d'Alimentation des Sources (BAS) (issue des débits)

Le débit des sources mesuré lors de la campagne de prélèvement permet d'obtenir une indication de la surface théorique de son bassin d'alimentation à partir de l'infiltration moyenne observée sur le secteur.

La comparaison de la superficie théorique ainsi calculée avec la superficie des BAS automatisés permet d'évaluer, de façon très simplifiée, la cohérence des surfaces. Compte tenu du peu de mesures de débits et de la prise en compte de valeur de pluie efficace et infiltration annuelles, cette approche n'est qu'une indication à confronter au dire d'expert pour évaluer la pertinence de la délimitation automatique.

L'Illustration 10 présente la surface théorique du bassin d'alimentation estimée à partir des mesures de débits des sources.

Source de Bord de Route 2014				Valeurs à la source		
Code BSS	Commune	Nom	Débit mesuré (l/s)	Pluie efficace moy (mm)	Infiltration moy (mm)	Surface théorique du BAS (ha)
1168ZZ0047	Ajoupa Bouillon	Trianon	1,14	3981	1659	2,17
1169ZZ0094	Lorrain	Annonay	0,24	1378	242	3,13
1169ZZ0146	Sainte Marie	Casinel Saint Jacques	0,22	1225	226	3,10
1169ZZ0168	Lorrain	Linval	/	1378	437	/
1173ZZ0068	Morne Vert	Attila	2,66	3212	343	24,46
1173ZZ0076	Fond Saint Denis	Alma	0,15	3711	665	0,69
1173ZZ0077	Bellefontaine	Roumeau	/	528	118	/
1173ZZ0079	Fond Saint Denis	Dandam	0,33	2727	362	2,90
1173ZZ0108	Fort de France	Médaille	1,50	2537	418	11,32
1173ZZ0119	Morne Vert	Caplet	0,20	2655	302	2,09
1174ZZ0089	Saint Joseph	Cœur Bouliki	0,62	2379	519	3,74
1174ZZ0135	Gros Morne	Capitaine	0,89	2534	424	6,61
1174ZZ0139	Sainte Marie	Cimetière	1,60	2295	537	9,40
1179ZZ0282	Lamentin	Frédée	0,32	501	124	8,14
1179ZZ0285	Lamentin	Bodard	0,09	502	124	2,26
1179ZZ0309	François	La Jacques	/	236	84	/
1179ZZ0317	François	Méricette	0,17	488	78	6,74
1179ZZ0322	Robert	Tigon	/	257	72	/
1182ZZ0168	Rivière Salée	Morne Honoré	0,04	455	109	1,29
1182ZZ0169	Rivière Salée	Desmarinières	0,09	526	123	2,18

Illustration 10: Surfaces théoriques des BAS des sources

## 4.2. DÉLIMITATION DES BASSINS D'ALIMENTATION DES SOURCES (BAS)

### 4.2.1. Méthode de calcul automatisé de 2010

Une source est l'exutoire vers lequel convergent l'ensemble des écoulements souterrains. Cet ensemble, appelé bassin versant (BV) hydrogéologique, peut être différent du bassin versant topographique (cf. Illustration 11).

Le bassin versant hydrogéologique correspond aux écoulements souterrains qui convergent vers un point bas, dans la présente étude, une source.

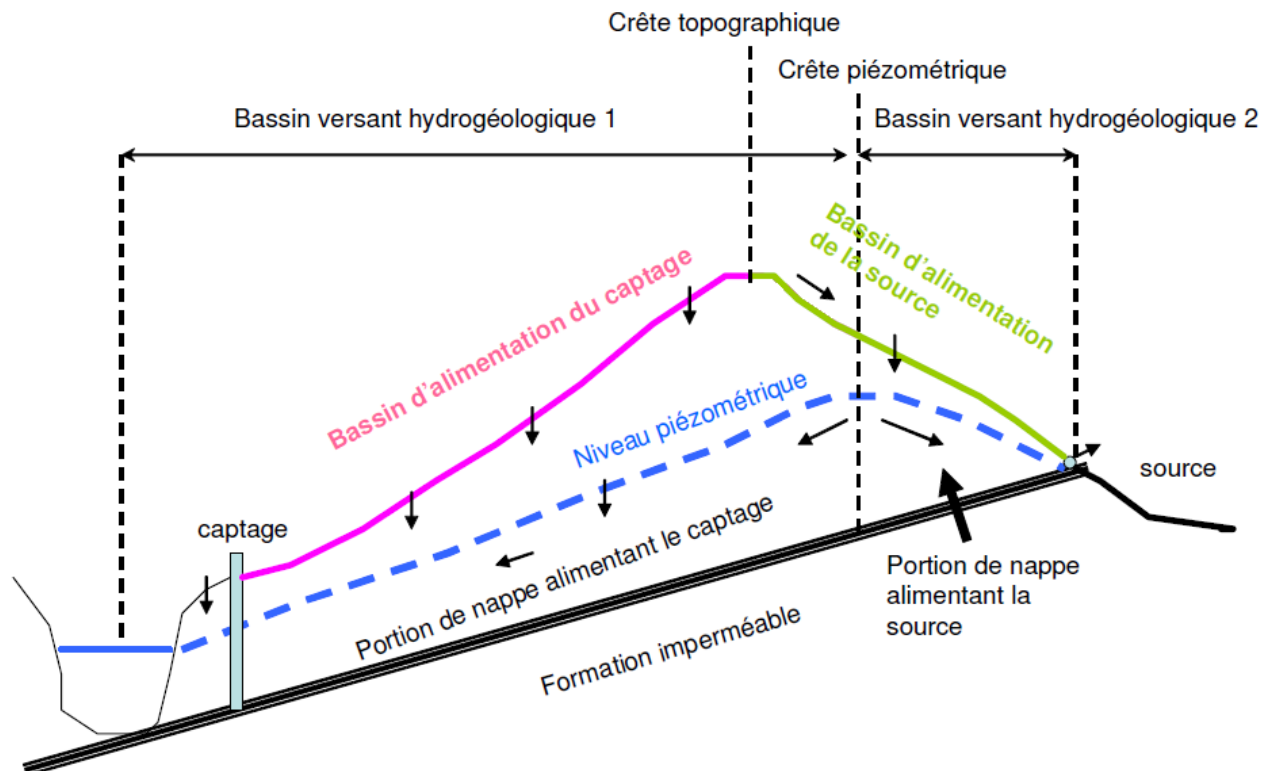


Illustration 11 : Bassins versants topographiques et hydrogéologiques (source : Vernoux et al., 2007)

L'étude du Système d'Information des Eaux Souterraines de la Martinique (SIESMAR) a démontré une bonne concordance entre bassins versants topographiques et bassins versants hydrogéologique en montrant une forte corrélation entre l'altitude du niveau piézométrique et l'altitude du sol (Vittecoq et al., 2007).

Cette hypothèse a permis la délimitation des bassins versants à l'échelle de l'unité régionale en 2007 ainsi que la délimitation des bassins d'alimentation des sources en 2010, à partir du modèle numérique de terrain (MNT) au pas de 20 m.

Néanmoins, les formations géologiques et leur perméabilité jouent un rôle important dans la surface d'alimentation des sources et, de façon générale, un calcul automatique doit le plus souvent être accompagné d'une analyse critique des données du secteur pouvant nécessiter un redécoupage manuel.

#### 4.2.2. Nouveaux calculs automatisés en 2017

Le programme national Litto3D® a permis la production en 2012 d'un modèle numérique altimétrique de référence plus précis que le MNT utilisé en 2010. De nouveaux tests de calculs des bassins d'alimentation ont été réalisés sur quelques sources. Néanmoins la grande résolution du Litto 3D (pas de 1m) n'a pas généré de BAS concluants. Les BAS ont donc été recalculés sur la base du MNT 20 m selon trois critères :

- BAS0 : calcul du bassin versant prenant le point source comme exhaure ;
- BAS50 : calcul du bassin versant prenant comme point d'exhaure celui qui est le plus approprié dans un rayon de 50 m du point source ;

- BAS75 : calcul du bassin versant en prenant comme point d'exhaure celui qui est le plus approprié dans un rayon de 75 m du point source.

L'objet de la présente étude n'était pas de recalculer les bassins d'alimentation des sources mais de proposer une analyse critique de la méthode de calcul des bassins versants initiaux.

#### **4.2.3. Comparaison des résultats**

Les résultats des nouvelles délimitations (BAS0, BAS50 et BAS75) et de celle élaborée en 2010 (BAS2010) illustrent les limites du découpage des bassins d'alimentation lorsque les calculs sont automatisés. Dans certains cas, une délimitation manuelle a été réalisée (BASManuel) permettant de se rapprocher des réalités topographiques, géologiques et des surfaces d'alimentation probables au regard du débit mesuré.

Au total, 11 sources sont concernées par une re-délimitation manuelle, il s'agit par ordre de code BSS des sources : Trianon, Linval, Alma, Roumeau, Médaille, Caplet, Cœur Bouliki, Capitaine, Cimetière, Frédée et Bodard. L'ensemble des BAS sont présentés en Annexe 6.

Deux exemples ont été choisis pour montrer les différents scénarii rencontrés.

##### **a) Source Casinel Saint Jacques à Sainte Marie**

Pour la source Casinel Saint Jacques à Sainte-Marie, les quatre délimitations automatiques réalisées sont présentées en Illustration 12.

BAS2010 en noir présente un exutoire qui ne concorde pas avec la localisation de la source. De plus, la surface théorique évaluée montre que celui-ci paraît sous dimensionné avec 1,44 ha d'emprise contre une surface théorique de 3,1 ha. Cette délimitation n'est pas retenue comme bassin d'alimentation de la source.

Les nouvelles délimitations BAS0, BAS50 et BAS75, présentent de grande similitude d'emprise, cependant les bassins versants calculés dans un rayon de 50 et 75 m de la source sont à écarter, avec un exutoire qui ne concorde pas avec la localisation de celle-ci.

Le débit mesuré à la source de 0,22 L/s correspond à une surface de 3,1 ha, cette surface théorique coïncide avec la délimitation de BAS0 et est retenu comme BAS de la source Casinel Saint Jacques.

D'après l'emprise du bassin topographique BAS0, la recharge se fait principalement dans les 1<sup>er</sup>ol une coulée de basalte porphyrique à augite et olivine.

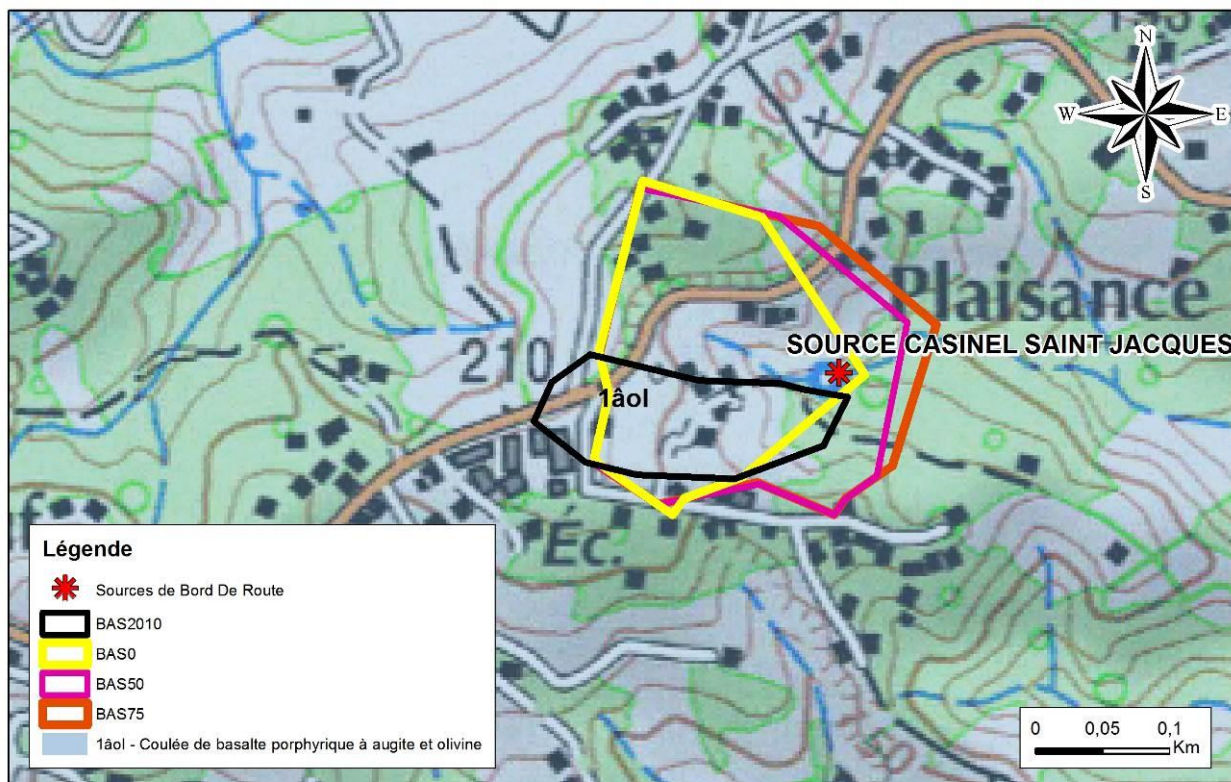


Illustration 12 : Bassins versants d'alimentation de la source Casinel Saint Jacques – Sainte Marie

## b) La source Caplet au Morne Vert

L'illustration 13 présente les 4 délimitations du bassin d'alimentation automatisées ainsi que celle réalisée manuellement (BASManuel en bleu) de la source Caplet au Morne Vert.

Dans cet exemple, les 4 BAS automatisés sont globalement similaires, avec une superficie importante, supérieure à 73 ha. Ils ne peuvent être retenus car ils intègrent en plus du BAS de la source, le bassin versant topographique de la rivière Beauvallon.

En conséquence, il a été réalisé une délimitation manuelle du bassin d'alimentation de la source correspondant à la surface topographique du bassin versant. Avec une surface de 2,24 ha, BASManuel s'approche de la surface théorique de 2,09 ha issu du débit mesuré de 0,2 L/s.

D'après l'emprise de BASManuel, la source se situe non loin du contact conglomérat 9C du volcanisme des Pitons du Carbet et andésites 2 $\alpha$  (coulées massives d'andésites porphyrique sombre à hypersthène et augite, ~2,2ma de la 2<sup>ème</sup> phase du Morne Jacob).

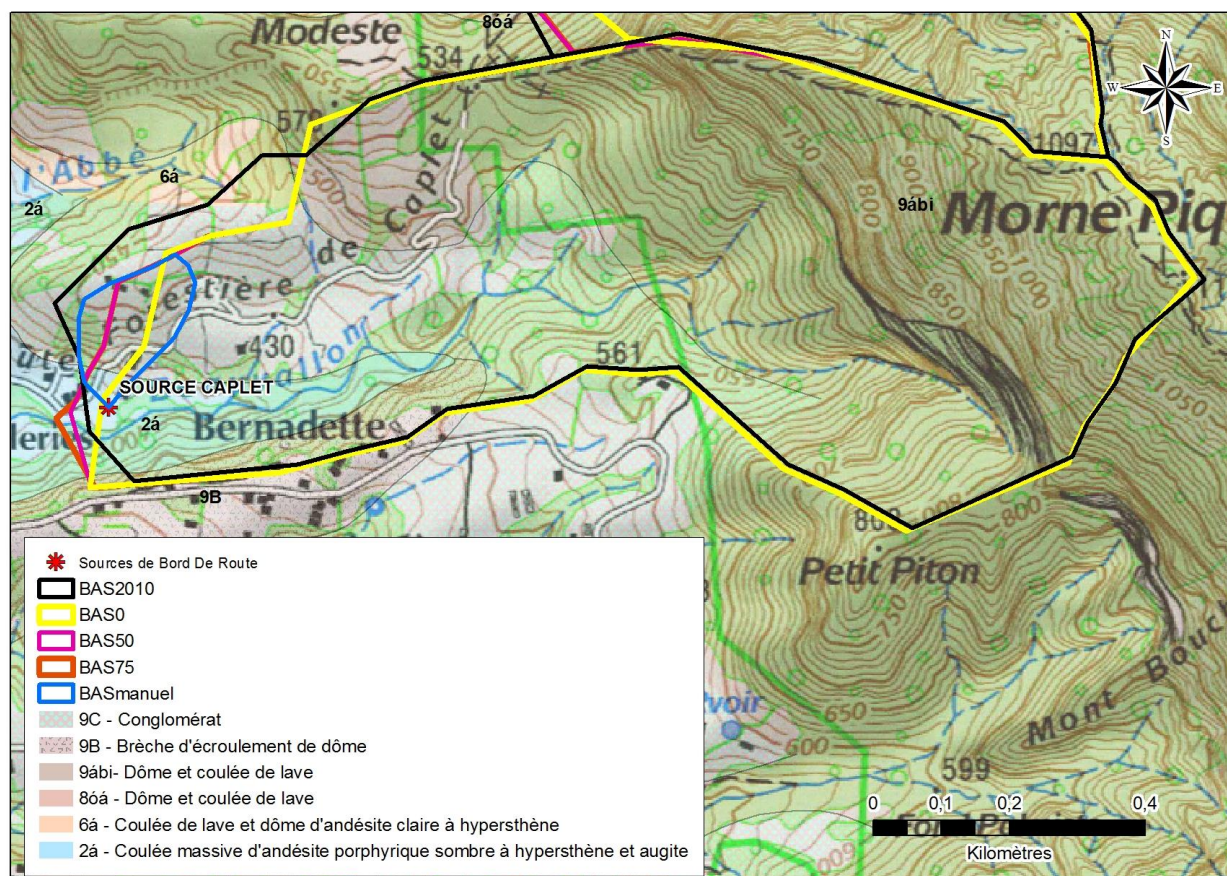


Illustration 13 : Bassins versants d'alimentation de la source Caplet au Morne Vert

#### 4.3. CONCLUSION SUR LES BASSINS D'ALIMENTATION DES SOURCES

La confrontation des différents résultats de délimitation automatisée, les calculs des surfaces théoriques issues des débits mesurés ainsi que l'analyse géologique et topographique ont permis de révéler les éventuelles incohérences et de sélectionner les BAS les plus pertinents. Le tableau en Illustration 14 présente les bassins d'alimentation les plus probables pour chacune des sources.

Code BSS	Commune	Nom	BAS retenu
1168ZZ0047	Ajoupa Bouillon	Trianon	BAS Manuel
1169ZZ0094	Lorrain	Annonay	BAS 0
1169ZZ0146	Sainte Marie	Casinel Saint Jacques	BAS 0
1169ZZ0168	Lorrain	Linval	BAS Manuel
1173ZZ0068	Morne Vert	Attila	BAS 2010
1173ZZ0076	Fond Saint Denis	Alma	BAS Manuel
1173ZZ0077	Bellefontaine	Roumeau	BAS Manuel
1173ZZ0079	Fond Saint Denis	Dandam	BAS 50
1173ZZ0108	Fort de France	Médaille	BAS Manuel
1173ZZ0119	Morne Vert	Caplet	BAS Manuel
1174ZZ0089	Saint Joseph	Cœur Bouliki	BAS Manuel
1174ZZ0135	Gros Morne	Capitaine	BAS Manuel
1174ZZ0139	Sainte Marie	Cimetière	BAS Manuel
1179ZZ0282	Lamentin	Frédée	BAS Manuel
1179ZZ0285	Lamentin	Bodard	BAS Manuel
1179ZZ0309	François	La Jacques	BAS 2010
1179ZZ0317	François	Méricette	BAS 50
1179ZZ0322	Robert	Tigon	BAS 0
1182ZZ0168	Rivière Salée	Morne Honoré	BAS 2010
1182ZZ0169	Rivière Salée	Desmarinières	BAS 0

*Illustration 14 : Récapitulatif des modifications possibles sur les bassins d'alimentation des sources*

Il apparaît que sur les 20 bassins d'alimentation automatisés en 2010, 3 s'avèrent cohérents avec les tests réalisés et ont été validés ; il s'agit des sources Attila, La Jacques et Morne Honoré. Les 17 sources restantes ont donc été révisées :

- 4 sources ont une délimitation qui correspond au calcul du bassin versant en un point unique : BAS0 ;
- 2 sources ont une délimitation qui correspond au calcul du bassin versant prenant comme point d'exhaure celui qui est le plus approprié dans un rayon de 50 m (BAS50) ;
- Aucune source n'a révélé une délimitation correspondant au calcul du bassin versant prenant comme point d'exhaure celui qui est le plus approprié dans un rayon de 75 m (BAS75) ;
- Enfin, pour 11 sources les bassins d'alimentation ont été redessinés (BASManuel) car aucun bassin automatisé n'était concluant.

Les différents bassins d'alimentations des sources sont présentés en Annexe 6.

En conclusion, il est délicat de s'appuyer uniquement sur les modèles numériques de terrain pour définir les bassins d'alimentation de sources. Leur délimitation doit prendre en compte l'ensemble des données topographiques, géologiques, hydrologiques, hydrogéologiques et être réalisée dans la mesure du possible au cas par cas.



## 5. Validation des pressions anthropiques

Les pressions anthropiques ont été établies en 2010 à partir des cartes des intrants agricoles : nitrates, produits phytosanitaires et chlordécone (issues du SIESMAR, Pinson *et al.* 2008), et de l'urbanisation (bâti et réseau routier).

Les cartes des risques sont issues du croisement entre les différentes cartes de pressions et la carte simplifiée de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines en Martinique.

Une comparaison des cartes de risques avec les résultats d'analyses de 2010 avait été réalisée sur les 127 sources étudiées, afin d'évaluer la pertinence de la méthode et de l'extrapoler aux sources n'ayant pas de données. Globalement, la méthode d'évaluation des risques est apparue pertinente.

L'étude de 2010 montre qu'en nitrates, 73 % des cartes de risques concordaient avec les analyses (pour 121 sources) ; en phytosanitaires, sur 77 sources mesurées 65% sont en adéquation avec l'étude cartographique ; enfin en bactériologie, 69 % des analyses correspondent aux cartes de risques sur les 127 sources étudiées.

Les nouvelles analyses des 20 sources sélectionnées et la révision des bassins d'alimentation permettront d'apporter des explications face aux incohérences rencontrées antérieurement et de confirmer la pertinence de la méthodologie employée.

### 5.1. NITRATES

Suivant leur origine et la saisonnalité, les eaux souterraines non polluées peuvent présenter un taux de nitrates variable, pouvant aller de 1 à 15 mg/l. Toutefois, on considèrera ici, un fond géochimique naturel des eaux n'excédant pas 10 mg/l. Dans ce contexte, une source sera considérée comme anthropisée si sa teneur en nitrates est strictement supérieure à ce seuil. L'illustration 15 présente le risque nitrates appliqué à chaque bassin d'alimentation retenu ainsi que les concentrations déjà recensées sur chaque source.

Code BSS	Commune	Nom de la Source	NITRATES	
			Risque BAS retenu	Concentration déjà mesurée
1168ZZ0047	Ajoupa Bouillon	Trianon	OUI	>10 mg/L
1169ZZ0094	Lorrain	Annonay	OUI	<10 mg/L
1169ZZ0146	Sainte Marie	Casinel Saint Jacques	OUI	>10 mg/L
1169ZZ0168	Lorrain	Linval	OUI	>10 mg/L
1173ZZ0068	Morne Vert	Attila	NON	<10 mg/L
1173ZZ0076	Fond Saint Denis	Alma	NON	<10 mg/L
1173ZZ0077	Bellefontaine	Roumeau	NON	<10 mg/L
1173ZZ0079	Fond Saint Denis	Dandam	NON	<10 mg/L
1173ZZ0108	Fort de France	Médaille	NON	<10 mg/L
1173ZZ0119	Morne Vert	Caplet	OUI	<10 mg/L
1174ZZ0089	Saint Joseph	Cœur Bouliki	NON	< LQ
1174ZZ0135	Gros Morne	Capitaine	OUI	<10 mg/L
1174ZZ0139	Sainte Marie	Cimetière	OUI	<10 mg/L
1179ZZ0282	Lamentin	Frédée	OUI	<10 mg/L
1179ZZ0285	Lamentin	Bodard	OUI	<10 mg/L
1179ZZ0309	François	La Jacques	OUI	>10 mg/L
1179ZZ0317	François	Méricette	OUI	<10 mg/L
1179ZZ0322	Robert	Tigon	OUI	<10 mg/L
1182ZZ0168	Rivière Salée	Morne Honoré	OUI	<10 mg/L
1182ZZ0169	Rivière Salée	Desmarinières	NON	<10 mg/L

< LQ Inférieur à la limite de quantification

*Illustration 15 : Comparaison entre risque et contamination par les nitrates*

L'ensemble des sources étudiées dans cette étude ne présente pas de risque vis-à-vis des concentrations en nitrates (la limite de qualité pour une eau destinée à la consommation humaine exige une concentration en nitrates inférieure à 50 mg/L).

Avec une concentration de 17 mg/l relevé en 2014, la source Trianon à Ajoupa Bouillon est la seule source pouvant potentiellement présenter une influence anthropique, la proximité des plantations de bananes et d'ananas à l'amont pouvant expliquer cette concentration. A noter qu'en décembre 2008, la valeur en nitrates enregistrée n'était que de 5,3 mg/l. Cette variabilité des concentrations en nitrates peut s'expliquer par une variabilité des apports et des usages en nitrates sur les cultures situées en amont. Les temps de transfert sol-nappes n'étant pas connu sur ce secteur, l'augmentation des concentrations observée entre 2008 et 2014 sera à surveiller lors des prochaines analyses.

La comparaison avec les risques théoriques sur les 20 bassins retenus confirme que la méthode d'évaluation fonctionne dans 55% des cas. Les neuf sources pour lesquelles un risque théorique de pollution en nitrates a été identifié (Annonay, Caplet, Capitaine, Cimetière, Frédée, Bodard, Méricette, Tigon et Morne Honoré) mais pour lesquelles les analyses montrent des concentrations < 10 mg/L invitent à considérer deux hypothèses :

- soit le temps de transfert sol-nappe est long et dans ce cas une augmentation des concentrations en nitrates est à prévoir dans les années à venir ;

- soit peu de nitrates sont utilisés sur les cultures situées en amont.

## 5.2. BACTÉRIOLOGIE

Il est considéré qu'une source est contaminée dès qu'il y a détection d'*Escherichia Coli* et/ou entérocoques intestinaux. L'illustration 16 présente les détections déjà recensées durant les campagnes de 2010 et 2014 pour chaque source ainsi que le risque appliqué à chaque BAS retenu.

Code BSS	Commune	Nom de la Source	BACTERIOLOGIE	
			Risque BAS retenu	Détection déjà mesurée
1168ZZ0047	Ajoupa Bouillon	Trianon	OUI	OUI
1169ZZ0094	Lorrain	Annonay	OUI	OUI
1169ZZ0146	Sainte Marie	Casinel Saint Jacques	OUI	OUI
1169ZZ0168	Lorrain	Linval	OUI	OUI
1173ZZ0068	Morne Vert	Attila	NON	NON
1173ZZ0076	Fond Saint Denis	Alma	NON	NON
1173ZZ0077	Bellefontaine	Roumeau	OUI	OUI
1173ZZ0079	Fond Saint Denis	Dandam	NON	NON
1173ZZ0108	Fort de France	Médaille	OUI	OUI
1173ZZ0119	Morne Vert	Caplet	OUI	OUI
1174ZZ0089	Saint Joseph	Cœur Bouliki	NON	NON
1174ZZ0135	Gros Morne	Capitaine	OUI	OUI
1174ZZ0139	Sainte Marie	Cimetière	OUI	NON
1179ZZ0282	Lamentin	Frédée	OUI	OUI
1179ZZ0285	Lamentin	Bodard	OUI	OUI
1179ZZ0309	François	La Jacques	OUI	OUI
1179ZZ0317	François	Méricette	OUI	OUI
1179ZZ0322	Robert	Tigon	OUI	OUI
1182ZZ0168	Rivière Salée	Morne Honoré	OUI	OUI
1182ZZ0169	Rivière Salée	Desmarinières	OUI	OUI

Illustration 16: Comparaison entre risque et contamination bactériologique

Le risque est défini en considérant la pression urbaine comme facteur de pollution (eau stagnante, réservoir défectueux) mais aussi la pression agricole (épandage de lisier, contamination par déjection animale...). La comparaison des résultats de 2010 et 2014 montre que 4 sources ne présentent plus de contamination, il s'agit de Casinel Saint Jacques, Linval, Roumeau et Tigon, contrairement à la source de la Médaille non contaminée à l'époque. En effet, ce paramètre étant très sensible et variable, il n'est pas pertinent de définir une tendance d'évolution.

Pour les 20 bassins d'alimentation retenus, 95% des résultats d'analyses sont en adéquation avec les risques définis. Seule l'analyse cartographique de la source Cimetière montre un risque bactériologique sans résultats positifs. Notons, que très peu d'analyses ont été réalisées sur cette source.

### 5.3. PRODUITS PHYTOSANITAIRES

Au cours de l'étude des risques de pollution par les produits phytosanitaires (Arnaud *et al.*, 2013) les cartographies de sept molécules ont été établies : 2,4 D, chlordécone, diuron, glyphosate, oxamyl, propiconazole et S-métolachlore. Cette étude permet de cibler les molécules à risque dans chacun des bassins d'alimentation des sources.

L'Illustration 17 présente les détections déjà recensées pour chaque source ainsi que le risque appliqué à chaque bassin d'alimentation retenu.

Code BSS	Commune	Nom de la Source	PESTICIDES	
			Risque BAS retenu	Détection déjà mesurée
1168ZZ0047	Ajoupa Bouillon	Trianon	OUI	OUI
1169ZZ0094	Lorrain	Annonay	OUI	OUI
1169ZZ0146	Sainte Marie	Casinel Saint Jacques	NON	OUI
1169ZZ0168	Lorrain	Linval	OUI	OUI
1173ZZ0068	Morne Vert	Attila	NON	NON
1173ZZ0076	Fond Saint Denis	Alma	NON	NON
1173ZZ0077	Bellefontaine	Roumeau	NON	NON
1173ZZ0079	Fond Saint Denis	Dandam	NON	NON
1173ZZ0108	Fort de France	Médaille	NON	NON
1173ZZ0119	Morne Vert	Caplet	OUI	NON
1174ZZ0089	Saint Joseph	Cœur Bouliki	NON	NON
1174ZZ0135	Gros Morne	Capitaine	OUI	NON
1174ZZ0139	Sainte Marie	Cimetière	OUI	NON
1179ZZ0282	Lamentin	Frédée	OUI	OUI
1179ZZ0285	Lamentin	Bodard	OUI	NON
1179ZZ0309	François	La Jacques	OUI	NON
1179ZZ0317	François	Méricette	OUI	NON
1179ZZ0322	Robert	Tigon	OUI	OUI
1182ZZ0168	Rivière Salée	Morne Honoré	OUI	NON
1182ZZ0169	Rivière Salée	Desmarinières	NON	NON

*Illustration 17: Comparaison entre risque et contamination par les pesticides*

Aucune analyse de pesticides n'avait jusqu'alors été réalisée sur la source Trianon. Les résultats de la campagne de prélèvements 2014 montrent des valeurs supérieures aux limites de quantification mais néanmoins en dessous des valeurs seuils de potabilité (0,1 µg/L) pour les pesticides tels que le bromacil, le diuron et l'atrazine.

Pour les 20 bassins retenus, 60% des résultats d'analyses sont en adéquation avec les risques définis. Les corrélations sont plutôt bonnes pour la chlordécone, notamment aux sources Annonay, Frédée, Linval, Tigon et Trianon qui dépassent la limite de quantification. Avec une concentration de 0,69 µg/l en chlordécone, la source Linval ne respecte pas les seuils de potabilité appliqués aux produits phytosanitaires. Pour la source Casinel Saint Jacques à Sainte Marie qui présente des traces de chlordécone sans risque avéré dans le BAS, l'hypothèse la plus probable est l'usage de chlordécone hors zone agricole (potager / jardin familial).

Pour les huit sources présentant un risque de pollution, sans détection de produits phytosanitaires, deux hypothèses sont à envisager :

- soit le temps de transfert sol-nappe est long et dans ce cas une augmentation des concentrations est à prévoir dans les années à venir ;
- soit peu ou pas de produits phytosanitaires sont employés sur les cultures situées en amont.

Notons que toutes les zones à risque pesticides ont été prises en compte, alors qu'il était évalué dans certain cas comme faible.

L'étude cartographique d'évaluation des risques phytosanitaires est donc une approche simplifiée globalement satisfaisante pour estimer les pressions supposées sur les eaux souterraines qui doivent ensuite être confirmée par des analyses.

## 5.4. CONCLUSION

Globalement, les cartes des risques concordent avec les analyses réalisées pour les nitrates, la bactériologie et les produits phytosanitaires, la méthode d'évaluation des risques apparaît donc pertinente. Cependant, les risques bactériologiques sont particulièrement variables et restent difficiles à évaluer.

La révision des bassins d'alimentations des sources a permis d'affiner leur emprise géographique et de minimiser les « discordances » entre risques de contamination et résultats d'analyses. L'illustration 18 récapitule l'ensemble des contaminations constatées lors de la campagne d'analyse de 2014.

Sur les 20 sources sélectionnées, 8 sources respectent les exigences des normes de potabilités. Parmi elles :

- Les sources : Alma, Attila et Cœur Bouliki ne présentent aucune détection des paramètres produits phyto sanitaires et bactériologiques ;
- Les sources Dandam, Roumeau et Cimetière présentent des valeurs en nitrates inférieures à 10 mg/l ;
- Enfin, Casinel Saint Jacques et Tigon ont des concentrations en chlordécone inférieures à 0,1 µg/l.

Au niveau bactériologique, la présence d'*Escherichia coli* et d'entérocoques décline automatiquement la qualité de la source, 11 sources ne respectent pas ce critère des eaux destinées à la consommation humaine, il s'agit des sources Annonay, Bodard, Capitaine, Caplet, Desmarinières, Frédée, La Jacques, Médaille, Méricette, Morne Honoré, et Trianon.

Enfin, seule la source Linval présente une concentration en chlordécone supérieure à la norme DCE (0,1 µg/l).

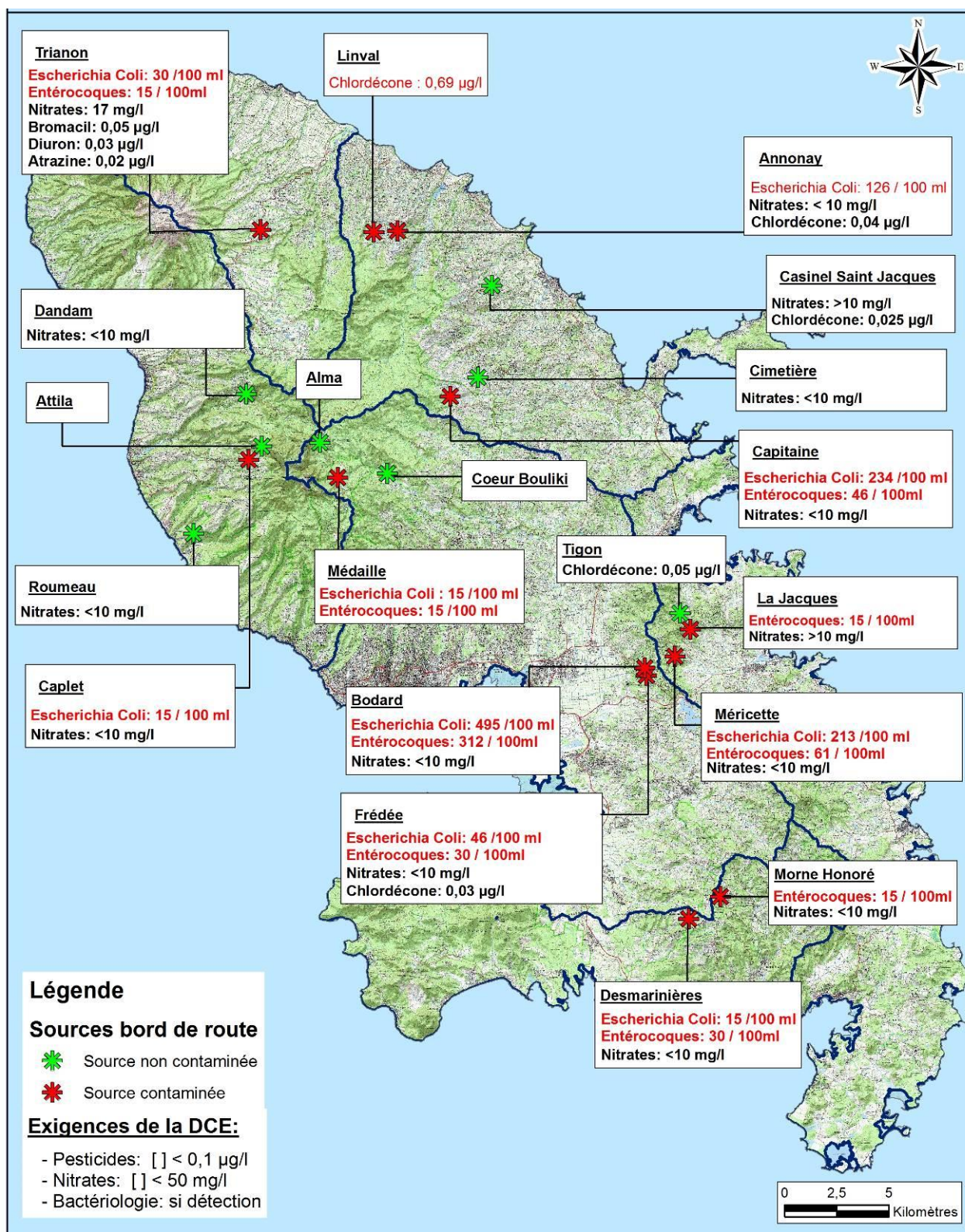


Illustration 18: Carte des contaminations relevées en 2014

## 6. Protocole de surveillance

Au regard des résultats d'analyses et des pressions exercées sur les bassins d'alimentation des sources, le tableau suivant (Illustration 19) récapitule l'ensemble des valeurs déjà enregistrées sur chaque source et celles pour lesquelles un suivi est préconisé.

Code BSS	Commune	Nom de la Source	Nitrates	Bactériologiques	Pesticides	Suivi Biannuel
1168ZZ0047	Ajoupa Bouillon	Trianon	>10 mg/L			
1169ZZ0094	Lorrain	Annonay				
1169ZZ0146	Sainte Marie	Casinel Saint Jacques	>10 mg/L			
1169ZZ0168	Lorrain	Linval	>10 mg/L			
1173ZZ0068	Morne Vert	Attila				
1173ZZ0076	Fond Saint Denis	Alma				
1173ZZ0077	Bellefontaine	Roumeau				
1173ZZ0079	Fond Saint Denis	Dandam				
1173ZZ0108	Fort de France	Médaille				
1173ZZ0119	Morne Vert	Caplet				X
1174ZZ0089	Saint Joseph	Cœur Bouliki				
1174ZZ0135	Gros Morne	Capitaine				X
1174ZZ0139	Sainte Marie	Cimetière				X
1179ZZ0282	Lamentin	Frédée				
1179ZZ0285	Lamentin	Bodard				X
1179ZZ0309	François	La Jacques	>10 mg/L			X
1179ZZ0317	François	Méricette				X
1179ZZ0322	Robert	Tigon				
1182ZZ0168	Rivière Salée	Morne Honoré				X
1182ZZ0169	Rivière Salée	Desmarinières				

	Valeur inférieur à la LQ
	Valeur supérieur à la LQ
	Valeur supérieur au seuil DCE

X Suivi conseillé

*Illustration 19 : Récapitulatif des suivis préconisés pour chaque source*

Compte tenu de l'importante variabilité des nitrates et des germes précurseurs aux contaminations bactériologiques, ces deux paramètres ne sont pas considérés comme suffisamment stables pour pouvoir baser un protocole de surveillance. Leur détection ponctuelle induit un risque potentiel sur du long terme.

La forte rémanence des produits phytosanitaires et notamment des pesticides organochlorés (chlordécone) dans les milieux, laisse supposer une contamination durable des sources concernées. Un suivi des phytosanitaires sur les sources connues pour leur contamination n'est pas jugé nécessaire, cette contamination étant à considérer sur du long terme.

Toutefois, une surveillance est proposée pour les sources non contaminées aux pesticides mais dont les bassins d'alimentation présentent un risque de pollution. Au total, 7 sources sont concernées, il s'agit des sources Bodard au Lamentin, Capitaine au Gros Morne, Caplet au Morne Vert, Cimetière à Sainte-Marie, La Jacques au François, Méricette au François et Morne Honoré à Rivière Pilote. La méconnaissance et la complexité des circulations souterraines et des

mécanismes et cinétiques de dégradation des polluants au sein des différents systèmes aquifères ne permet pas de garantir la bonne qualité des sources à risque sur du long terme. Il est préconisé de réaliser les prélèvements deux fois par an en période de basses eaux ainsi qu'en période de hautes eaux afin de caractériser au mieux la pollution. Des mesures de datations des eaux de ces sources permettraient de caractériser les temps de transferts et sont donc également à envisager.

## 7. Conclusion

Le dimensionnement d'un protocole de surveillance adapté aux sources dites de « bord de route » a débuté par la sélection de 20 sources, parmi les 126 inventoriées en 2010, présentant les plus forts enjeux car fortement consommées par la population avec un risque de pollution par les produits phytosanitaires.

Une révision des bassins d'alimentation définis dans l'étude de 2010 (appelés BAS2010) a été réalisée. Elle a conduit à 3 nouveaux tests de délimitation automatiques, en prenant comme exutoire un point unique à la source (BAS0), ainsi que dans des périmètres de 50 m (BAS50) et 75 m (BAS75) autour de la source. La réalisation automatisée de calculs de bassins d'alimentation à partir de modèles numériques de terrain haute résolution ne permet pas d'obtenir systématiquement une meilleure délimitation. Il est ainsi nécessaire de prendre en compte, l'ensemble des données topographiques, mais aussi géologiques, hydrologiques et hydrogéologiques et de réaliser cette délimitation au cas par cas. C'est pourquoi dans les cas les moins concluants, les bassins d'alimentation de la source ont été redessinés manuellement (BASManuel). Au total, sur les 20 bassins d'alimentations, 17 bassins ont été révisés par rapport à 2010.

Les pressions qui s'exercent sur les bassins d'alimentation retenus ont été comparés aux résultats d'analyses de la campagne de prélèvement en 2014 mais aussi à ceux réalisés antérieurement. La réévaluation des bassins d'alimentations des sources a permis de mieux approcher l'emprise géographique des risques de contamination et d'expliquer les différences avec les résultats d'analyses. Globalement, les cartes des risques concordent avec les analyses réalisées pour les nitrates, la bactériologie et les produits phytosanitaires. La méthode d'évaluation des risques apparaît donc pertinente.

Une surveillance biannuelle (basses eaux et hautes eaux) est proposée à minima pour les sources non contaminées aux pesticides mais dont les bassins d'alimentation présentent un risque de pollution (celles contaminées aux pesticides organochlorés sont écartées car considérées comme polluées sur du long terme). La complexité des circulations souterraines et des mécanismes et cinétiques de dégradation des polluants au sein des aquifères ne permet pas de garantir la bonne qualité des sources dont le bassin d'alimentation est à risque. Sept sources sont concernées par ce suivi, il s'agit des sources Bodard au Lamentin, Capitaine au Gros Morne, Caplet au Morne Vert, Cimetière à Sainte-Marie, La Jacques au François, Méricette au François et Morne Honoré à Rivière Pilote. Des mesures de datations de ces eaux sont également à envisager pour caractériser les temps de transferts.

Outre la poursuite de la surveillance, il est recommandé de réaliser une nouvelle campagne de communication afin de tenir informé la population des nouveaux résultats d'analyses.



## 8. 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.

**Allier D., Vittecoq B. et Mardhel V.** (2008) - Evaluation de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines de Martinique. BRGM/RP-56283-FR.

**Arnaud L., Lanini S** (2014) - Impact du changement climatique sur les ressources en eau de Martinique. Rapport BRGM/RP-62676-FR

**ARS, ODE** (2010) - Atlas des sources de la Martinique Sous' Martinik – Plan Chlordécone 2008-2010

**Baran N., Arnaud L.** (2013) – Cartographie du risque de contamination des eaux souterraines par les produits phytosanitaires en Martinique. BRGM/RP-61976-FR

**Pinson S, Vittecoq B., Allier D. et Mardhel V.** (2008) - Système d'information sur les eaux souterraines de Martinique : synthèse cartographique. BRGM/RP-56242-FR.

**Vernoux J.F., Wuilleumier A., Dörfli N.** (2007). Délimitation des bassins d'alimentation des captages et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses - Guide méthodologique. BRGM/RP-55874-FR.

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

**Westercamp D., Pelletier B., Thibaut P.M., Traineau H.** (1989) - Carte géologique (1/50000) de la Martinique. Notice explicative par

**Westercamp D., Andreieff P., Bouysse P., Cottez S., Battistini R.** (1989)



## **Annexe 1**

### **Tableau de recensement des sources envoyé aux communes par l'ARS**



**Contact : Magali JULIEN - 0596 39 42 82**  
**A retourner avant le 15 février 2014 à ARS Martinique – CS 80656 – FORT DE FRANCE CEDEX**

[illegible]

- Les coordonnées GPS doivent être relevées selon la projection RRAF91, sinon, le système de projection doit être précisé.
- Source consommée : Oui / Non
- Analyse antérieure : Oui / Non. Il s'agit de savoir si la source a déjà fait l'objet d'analyse.
- Accessibilité : Route / Trace / Chemin pédestre
- Propriété : Publique / Privée
- Aménagée : Oui / Non. Il s'agit de savoir si la source est captée ou non.
- Environnement proche : Agricole / Urbain / Naturel / Industriel



## **Annexe 2**

# **Paramètres physico-chimique mesurés durant la campagne de prélèvement**



Code BSS	Commune	Nom	Date de prélèvement	Conductivité (µS/cm)	T (°C)	pH	Eh (mV)	O2(%)	O2 (mg/l)	Débit (m3/s)
1168ZZ0047	Ajoupa Bouillon	Trianon	08/10/2014	177,1	24,1	7,1	170	95,5	7,69	1,14E-03
1169ZZ0094	Lorrain	Annonay	08/10/2014	127,1	25,6	6,2	213	98,4	7,8	2,42E-04
1169ZZ0146	Sainte Marie	Saint Jacques	30/09/2014	158,2	27,1	6,5	215	95,4	7,44	2,22E-04
1169ZZ0168	Lorrain	Linval	30/09/2014	136,9	26,5	6,5	136	98,5	7,77	/
1173ZZ0068	Morne Vert	Attila	08/10/2014	131	21,5	7,4	128	101	8,4	2,67E-03
1173ZZ0076	Fond Saint Denis	Alma	08/10/2014	99,5	21,8	6,6	229	91,4	7,47	1,45E-04
1173ZZ0077	Bellefontaine	Rouneau	08/10/2014	423	28,5	7,8	146	102	7,76	/
1173ZZ0079	Fond Saint Denis	Dandam	08/10/2014	146,8	24,3	6,7	165	97	7,79	3,33E-04
1173ZZ0108	Fort de France	Médaille	08/10/2014	125,1	22,5	6,8	295	87	7,1	1,60E-03
1173ZZ0118	Morne Vert	Caplet	08/10/2014	264	25,8	6,0	190	73	5,68	2,00E-04
1174ZZ0089	Saint Joseph	Cœur Bouliki	30/09/2014	78,2	24,6	6,0	267	90,3	7,35	6,15E-04
1174ZZ0135	Gros Morne	Capitaine	30/09/2014	76,6	24,7	6,2	153	93,7	7,45	8,89E-04
1174ZZ0139	Sainte Marie	Cimetière	30/09/2014	98,6	25,4	5,7	224	76	6,09	1,60E-03
1179ZZ0282	Lamentin	Frédée	07/10/2014	388	26,3	6,8	142	77,4	6,17	3,20E-04
1179ZZ0285	Lamentin	Bodard	07/10/2014	321	26,4	6,7	200	69,8	5,54	8,00E-05
1179ZZ0309	François	La Jacques	07/10/2014	639	26	6,5	167	61,3	4,88	/
1179ZZ0317	François	Méricette	07/10/2014	398	26,3	6,3	257	50,9	4,06	1,67E-04
1179ZZ0322	Robert	Tigon	07/10/2014	503	26,1	6,3	166	68	5,47	/
1182ZZ0168	Rivière Salée	Morne Honoré	07/10/2014	333	25,5	6,6	209	73,3	5,86	4,44E-05
1182ZZ0169	Rivière Salée	Desmarinières	07/10/2014	249	26,4	6,4	249	78,6	6,2	8,51E-05



## **Annexe 3**

# **Produits phytosanitaires recherchés dans les sources**



Molécules	Nbre de sources, avec présence de la molécule
Chlordécone	49
Lindane +	29
Diuron +	14
Atrazine +	10
Dieldrine	8
Aldicarbe+	6
Bromacil	4
Hexazinone	4
Glyphosate +	4
Métalaxyle	2
Heptachlore +	1
Imidaclopride	1
Linuron	1
Métolachlore	1
Propiconazole	1
Simazine	1
Thiabendazole	1

+ les métabolites et énantiomères sont comptabilisés



## **Annexe 4**

### **Bilan hydrologique moyen 1991-2010 calculé pour chaque UR (hors stocks)**



		Valeurs moyennes annuelles (période 1991-2010) simulées								Pour info	
	Surface (km2)	Volume pluie efficace (m3)	Infiltration (m3)	Ruissellement (m3)	Stock ds ZNS (m3)	Stock ds nappe (m3)	Volume des fuites en mer (m3)	Volume écoulé à l'exutoire (m3)	Prélèvements (m3)	Pluie efficace moyenne annuelle (mm)	Débit moyen annuel (m3/s)
	Nb. De mailles										
Sainte Anne	60	1,01E+07	2,16E+06	7,97E+06	-1,09E+05	-1,12E+06	1,32E+06	8,78E+06	0,00E+00	169	0,28
Marin	10	3,26E+06	6,69E+05	2,60E+06	-1,01E+05	-1,93E+05	4,78E+05	2,77E+06	0,00E+00	326	0,09
Robert	25	1,19E+07	2,35E+06	9,59E+06	-8,71E+05	-1,49E+06	1,12E+06	1,08E+07	0,00E+00	476	0,34
Vauclin	44	1,31E+07	2,57E+06	1,05E+07	-9,91E+04	-5,89E+05	8,02E+05	1,23E+07	0,00E+00	297	0,39
François	44	1,54E+07	3,20E+06	1,22E+07	-4,73E+05	-9,16E+05	1,03E+06	1,44E+07	0,00E+00	349	0,46
Rivière Pilote	40	1,82E+07	3,64E+06	1,46E+07	-2,92E+05	-5,43E+05	2,16E+05	1,80E+07	0,00E+00	455	0,57
Anses d'Arlets	18	4,98E+06	8,89E+05	4,09E+06	0,00E+00	-4,04E+05	6,82E+05	4,29E+06	0,00E+00	276	0,14
Trois Ilets	32	1,18E+07	2,26E+06	9,55E+06	-3,79E+02	-7,07E+05	7,42E+05	1,11E+07	0,00E+00	369	0,35
Diamant	21	6,05E+06	2,14E+06	3,91E+06	0,00E+00	-8,43E+05	1,06E+06	4,97E+06	0,00E+00	288	0,16
Sainte Luce	43	1,19E+07	2,44E+06	9,48E+06	-2,96E+05	-5,92E+05	6,53E+05	1,13E+07	0,00E+00	277	0,36
Champflore / Capot	58	1,88E+08	9,08E+07	9,75E+07	-3,49E+06	-1,20E+07	9,08E+05	1,74E+08	1,32E+07	3243	5,53
Conil Nord	17	4,30E+07	5,73E+06	3,73E+07	-1,35E+06	-7,72E+05	8,60E+05	4,22E+07	0,00E+00	2529	1,34
Pelée Nord	39	7,63E+07	3,56E+07	4,08E+07	-2,29E+06	-6,08E+06	4,26E+06	7,21E+07	1,13E+05	1956	2,29
Conil Sud	9	1,34E+07	1,98E+06	1,15E+07	-4,33E+05	-3,86E+05	5,15E+05	1,29E+07	0,00E+00	1491	0,41
Lorrain - Marigot	57	1,37E+08	2,40E+07	1,13E+08	-1,95E+06	-4,27E+06	1,68E+06	1,34E+08	1,75E+06	2407	4,25
Caravelle	17	6,41E+06	1,37E+06	5,06E+06	-4,16E+05	-4,01E+05	0,00E+00	6,45E+06	0,00E+00	377	0,20
Sainte Marie	45	7,36E+07	1,42E+07	5,95E+07	-9,93E+05	-2,43E+06	2,12E+06	7,15E+07	0,00E+00	1636	2,27
Galion	61	8,21E+07	1,64E+07	6,60E+07	-4,30E+06	-3,17E+06	2,45E+06	7,98E+07	0,00E+00	1346	2,53
Pelée Ouest	69	1,35E+08	3,93E+07	9,54E+07	-3,53E+06	-5,80E+06	1,94E+07	1,13E+08	2,53E+06	1950	3,58
Carbet	59	9,87E+07	1,49E+07	8,40E+07	-1,81E+06	-1,77E+06	1,94E+06	9,68E+07	1,23E+05	1673	3,07
Petit Bourg	84	5,01E+07	1,03E+07	3,99E+07	-1,15E+06	-1,73E+06	7,17E+05	4,94E+07	0,00E+00	597	1,57
Schoelcher - Case Pilote	40	4,46E+07	7,06E+06	3,77E+07	-1,98E+06	-1,11E+06	2,13E+06	3,76E+07	5,02E+06	1115	1,19
Fort de France	76	7,18E+07	1,45E+07	5,74E+07	-3,48E+06	-2,61E+06	1,61E+06	6,64E+07	4,03E+06	944	2,11
Lézarde	128	1,96E+08	3,68E+07	1,60E+08	-5,79E+06	-6,97E+06	1,47E+06	1,69E+08	2,59E+07	1534	5,36



## **Annexe 5**

# **Débits théoriques des Bassins d’Alimentation des Sources calculés**

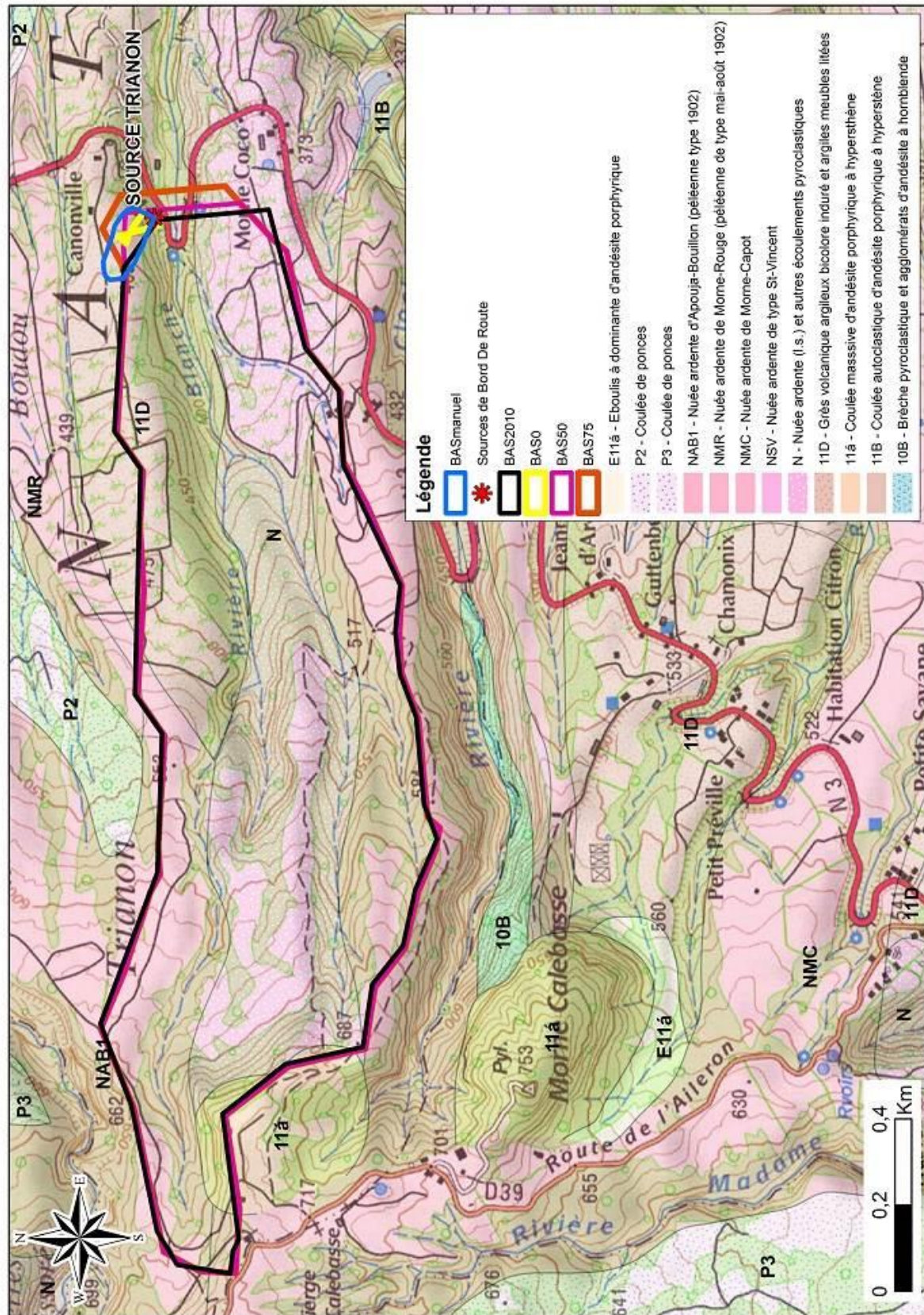
		Surface (km²)	Volume pluie efficace (m3)	Infiltration (m3)	Ruissellement (m3)	Volume des fuites en mer (m3)	Infiltration- Fuites en mer (m3/s)	Code BSS	Commune	Nom	Débit mesuré (m3/s)	BAS 2010 (km2)	BAS0 (km²)	BAS50 (km2)	BAS75 (km2)	Q théorique BAS2010 (m3/s)	Q théorique BAS0 (m3/s)	Q théorique BAS50 (m3/s)	Q théorique BAS75 (m3/s)
BV11	Champflore / Capot	58	1,88E+08	9,08E+07	9,75E+07	9,08E+05	2,85E+00	1168ZZ0047	Ajoupa Bouillon	Trianon	1,14E-03	1,2E+00		1,2E+00	1,2E+00	5,78E-02		5,85E-02	5,92E-02
BV15	Lorrain - Marigot	57	1,37E+08	2,40E+07	1,13E+08	1,68E+06	7,09E-01	1169ZZ0094	Lorrain	Annonay	2,40E-04	1,8E-01	3,9E-02	1,4E-01	1,9E-01	2,21E-03	4,90E-04	1,76E-03	2,33E-03
BV17	Sainte Marie	45	7,36E+07	1,42E+07	5,95E+07	2,12E+06	3,83E-01	1169ZZ0146	Sainte Marie	Saint Jacques	2,22E-04	1,4E-02	3,1E-02		4,5E-02	1,23E-04	2,65E-04		3,82E-04
BV15	Lorrain - Marigot	57	1,37E+08	2,40E+07	1,13E+08	1,68E+06	7,09E-01	1169ZZ0168	Lorrain	Linval	Réservoir	9,7E-02		1,1E-02	4,0E+00	1,21E-03		1,36E-04	4,97E-02
BV20	Carbet	59	9,87E+07	1,49E+07	8,40E+07	1,94E+06	4,10E-01	1173ZZ0068	Morne Vert	Attila	2,66E-03	2,6E-01	2,5E-01	2,7E-01	2,7E-01	1,84E-03	1,76E-03	1,85E-03	1,86E-03
BV24	Lézarde	128	1,96E+08	3,68E+07	1,60E+08	1,47E+06	1,12E+00	1173ZZ0076	Fond Saint Denis	Alma	1,45E-04	8,7E-02		9,5E-02	1,7E-01	7,58E-04		8,29E-04	1,49E-03
BV20	Carbet	59	9,87E+07	1,49E+07	8,40E+07	1,94E+06	4,10E-01	1173ZZ0077	Bellefontaine	Roumeau	Réservoir	6,0E-02				4,19E-04			
BV20	Carbet	59	9,87E+07	1,49E+07	8,40E+07	1,94E+06	4,10E-01	1173ZZ0079	Fond Saint Denis	Dandam	3,33E-04	1,5E-01		8,4E-02	8,5E-02	1,02E-03		5,86E-04	5,93E-04
BV24	Lézarde	128	1,96E+08	3,68E+07	1,60E+08	1,47E+06	1,12E+00	1173ZZ0108	Fort de France	Médaille	1,50E-03	6,0E-02		5,9E-02	6,9E-02	5,21E-04		5,16E-04	6,03E-04
BV20	Carbet	59	9,87E+07	1,49E+07	8,40E+07	1,94E+06	4,10E-01	1173ZZ0119	Morne Vert	Caplet	2,00E-04	7,7E-01	7,3E-01	7,4E-01	7,5E-01	5,34E-03	5,08E-03	5,18E-03	5,18E-03
BV24	Lézarde	128	1,96E+08	3,68E+07	1,60E+08	1,47E+06	1,12E+00	1174ZZ0089	Saint Joseph	Cœur Bouliki	6,15E-04	1,6E-01		1,3E-02	1,5E-02	1,39E-03		1,15E-04	1,33E-04
BV18	Galion	61	8,21E+07	1,64E+07	6,60E+07	2,45E+06	4,41E-01	1174ZZ0135	Gros Morne	Capitaine	8,89E-04	4,2E-02		1,1E-02	1,2E-02	3,06E-04		8,17E-05	8,71E-05
BV17	Sainte Marie	45	7,36E+07	1,42E+07	5,95E+07	2,12E+06	3,83E-01	1174ZZ0139	Sainte Marie	Cimetière	1,60E-03	1,5E-02				1,31E-04			
BV24	Lézarde	128	1,96E+08	3,68E+07	1,60E+08	1,47E+06	1,12E+00	1179ZZ0282	Lamentin	Frédée	3,20E-04	6,2E-01	1,2E-01	1,3E-01	1,3E-01	5,42E-03	1,01E-03	1,11E-03	1,12E-03
BV24	Lézarde	128	1,96E+08	3,68E+07	1,60E+08	1,47E+06	1,12E+00	1179ZZ0285	Lamentin	Bodard	8,88E-05	6,2E-01				5,42E-03			
BV5	François	44	1,54E+07	3,20E+06	1,22E+07	1,03E+06	6,91E-02	1179ZZ0309	François	La Jacques	Robinet	9,0E-02	8,9E-03	1,1E-02	1,4E-02	1,42E-04	1,40E-05	1,67E-05	2,14E-05
BV5	François	44	1,54E+07	3,20E+06	1,22E+07	1,03E+06	6,91E-02	1179ZZ0317	François	Méricette	1,67E-04	2,7E-01		1,4E-01	1,4E-01	4,21E-04		2,16E-04	2,27E-04
BV3	Robert	25	1,19E+07	2,35E+06	9,59E+06	1,12E+06	3,92E-02	1179ZZ0322	Robert	Tigon	Robinet	2,3E-01	1,9E-01	1,9E-01	2,0E-01	3,55E-04	2,95E-04	3,03E-04	3,06E-04
BV6	Rivière Pilote	40	1,82E+07	3,64E+06	1,46E+07	2,16E+05	1,08E-01	1182ZZ0168	Rivière Salée	Morne Honoré	4,44E-05	5,0E-02			1,5E-01	1,37E-04			4,08E-04
BV10	Sainte Luce	43	1,19E+07	2,44E+06	9,48E+06	6,53E+05	5,66E-02	1182ZZ0169	Rivière Salée	Desmarinières	8,50E-05	1,1E-01	3,9E-02	4,8E-02	3,0E-01	1,42E-04	5,09E-05	6,34E-05	3,97E-04

## **Annexe 6**

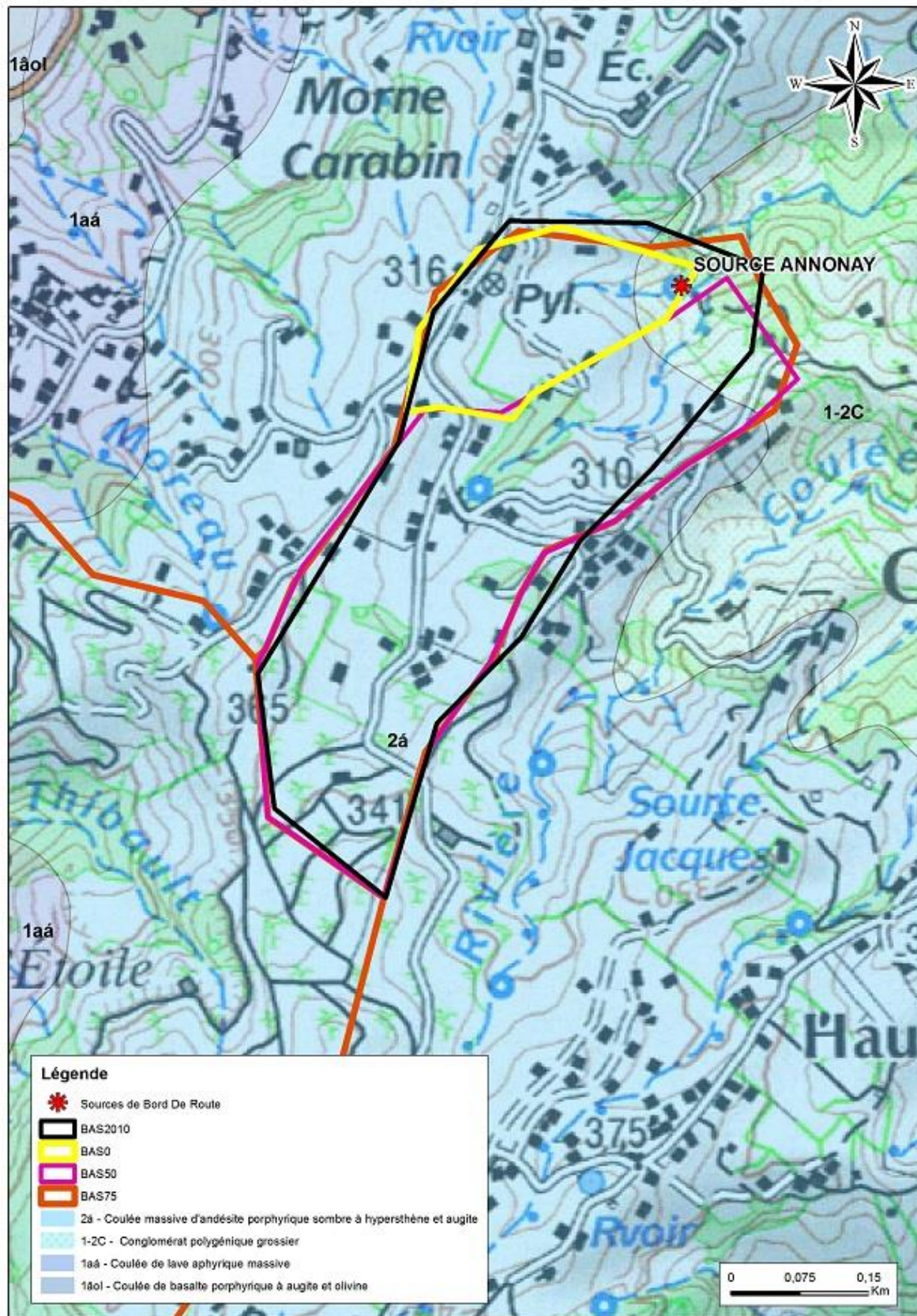
# **Bassins d'alimentations des sources**



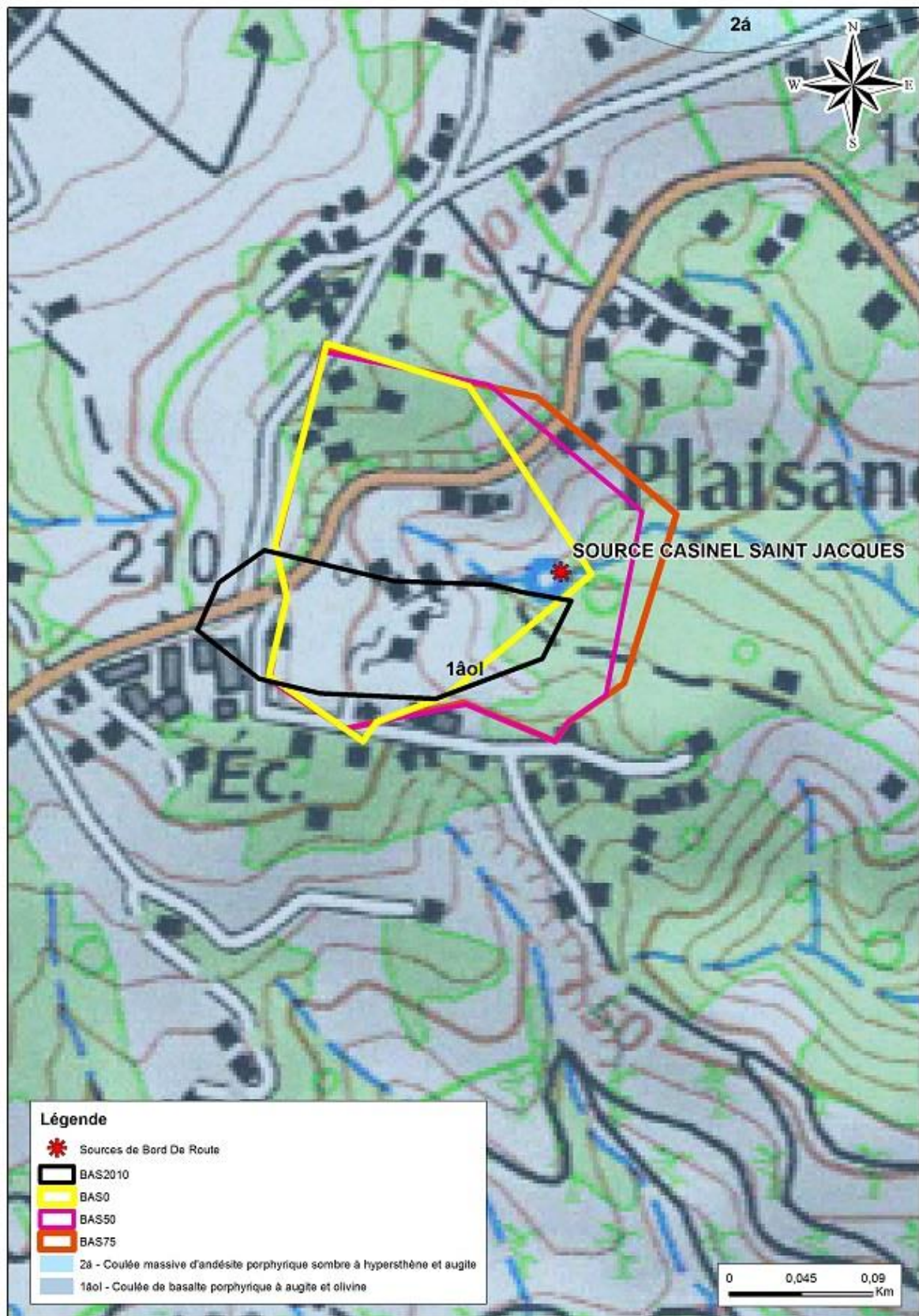
Le bassin d'alimentation retenu pour la source Trianon à Ajoupa Bouillon est le BAS Manuel.



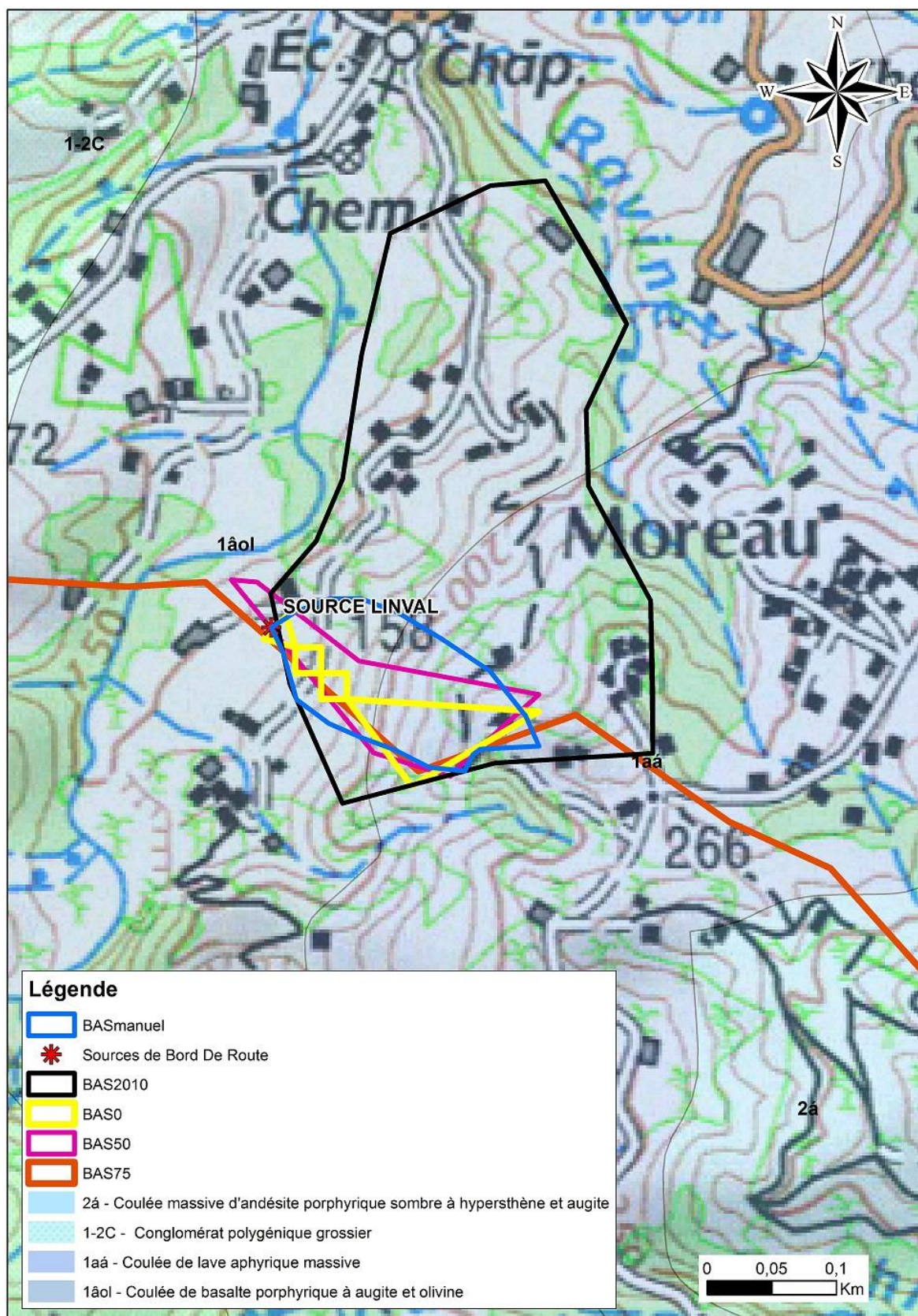
Le bassin d'alimentation retenu pour la source Annonay au Lorrain est le BAS 0.



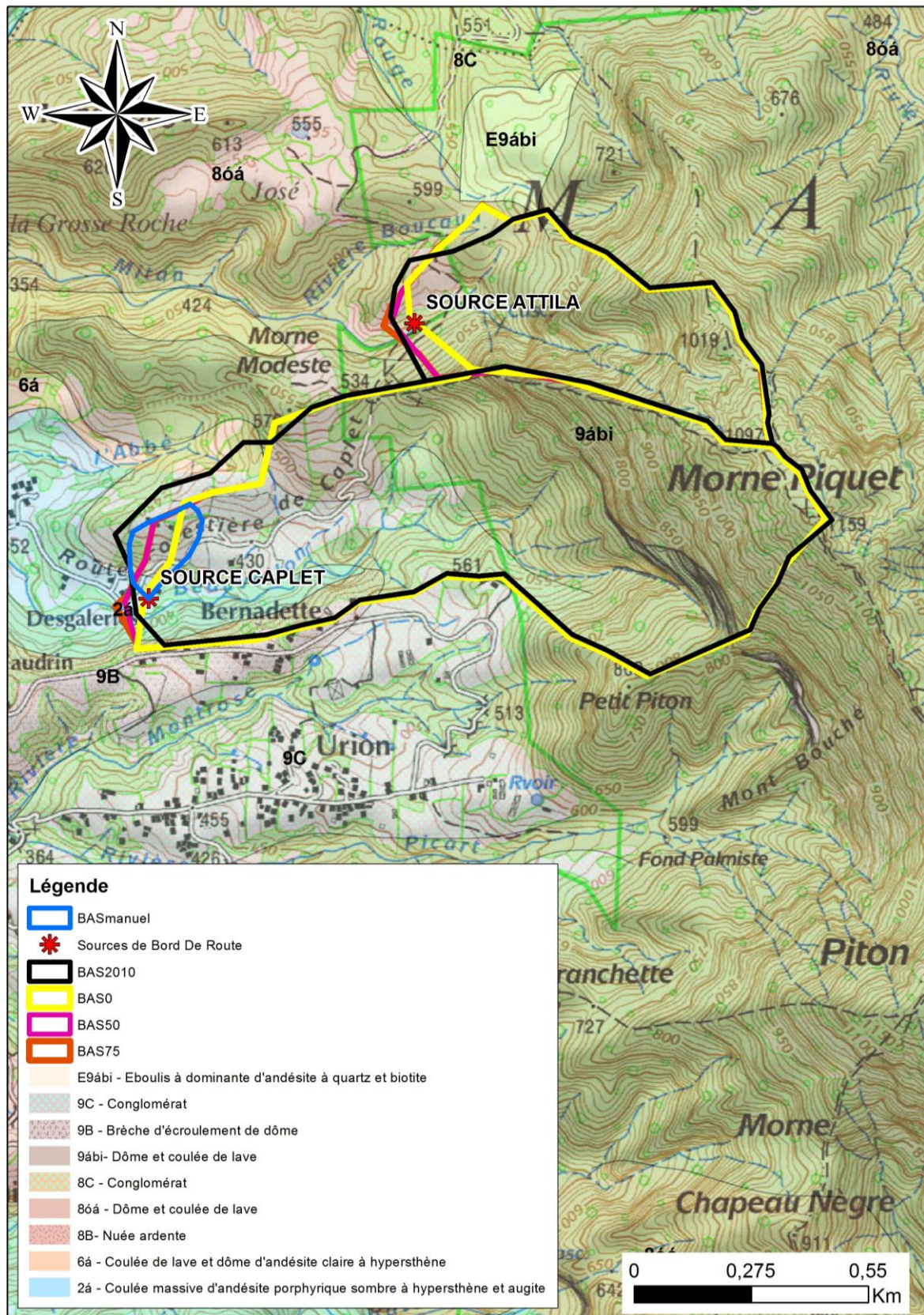
Le bassin d'alimentation retenu pour la source Casinel Saint Jacques à Sainte-Marie est le BAS 0.



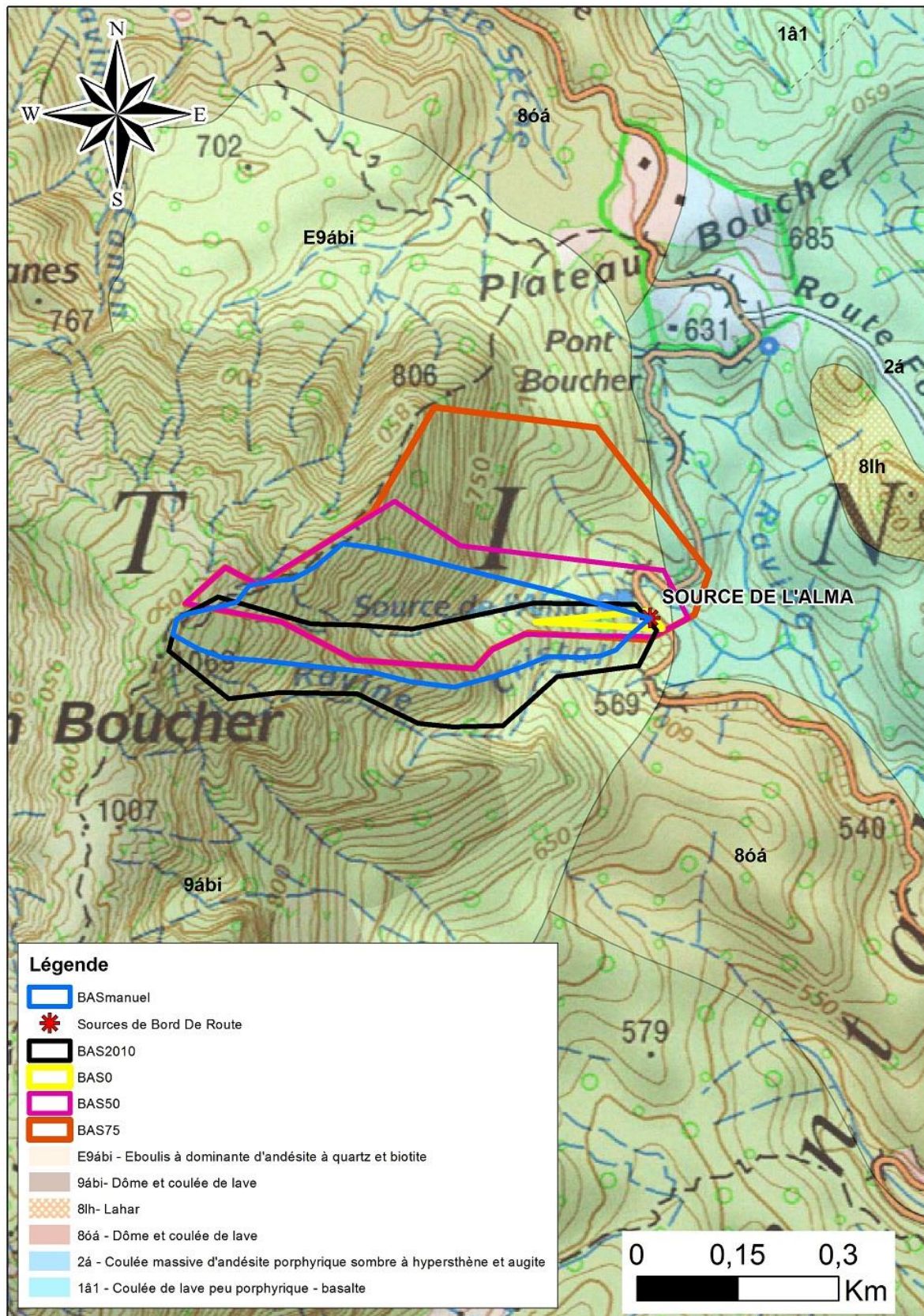
Le bassin d'alimentation retenu pour la source Linval au Lorrain est le BAS Manuel.



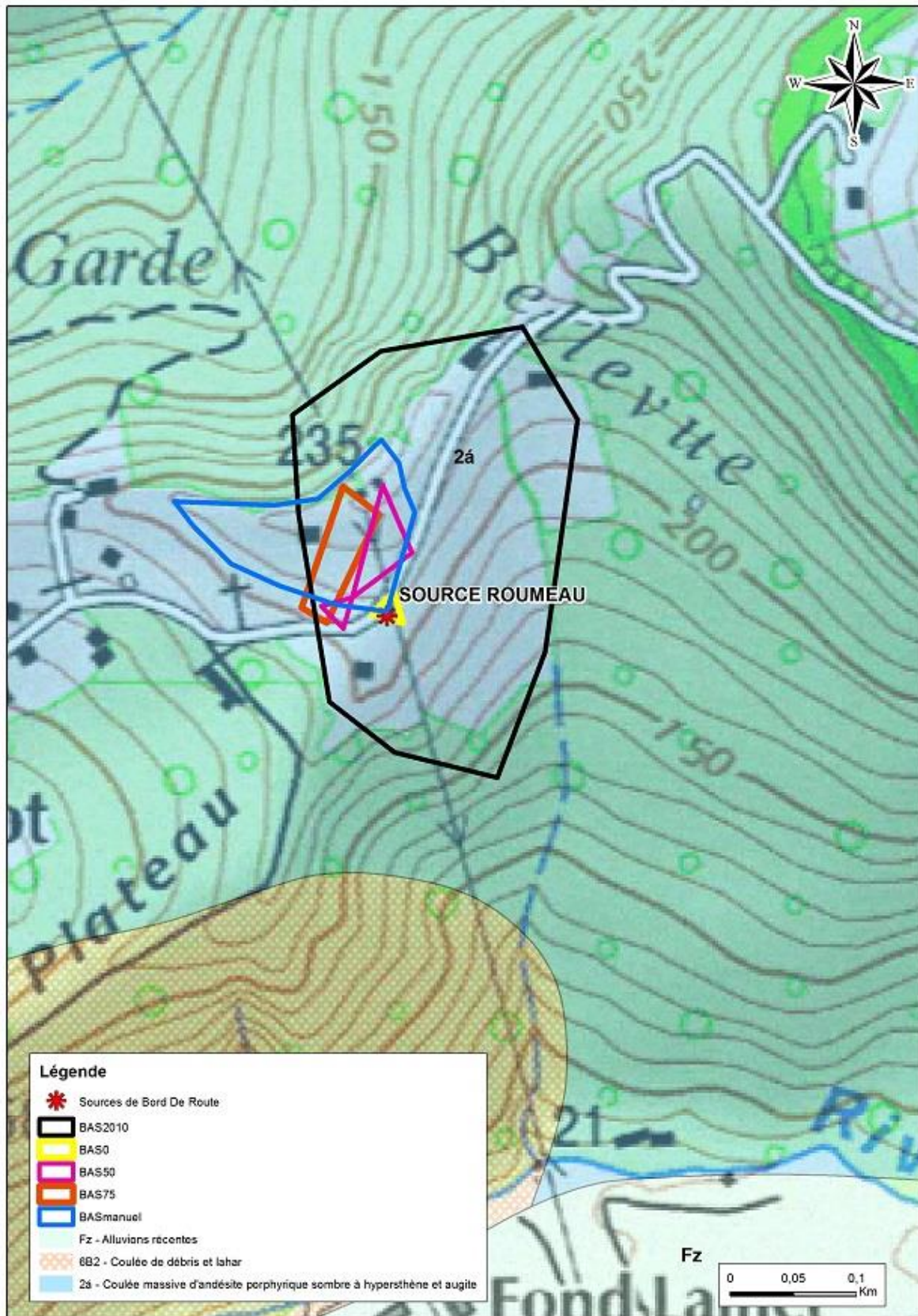
Les bassins d'alimentation retenus au Morne-Vert sont pour la source Attila le BAS 2010 et la source Caplet le BAS Manuel.



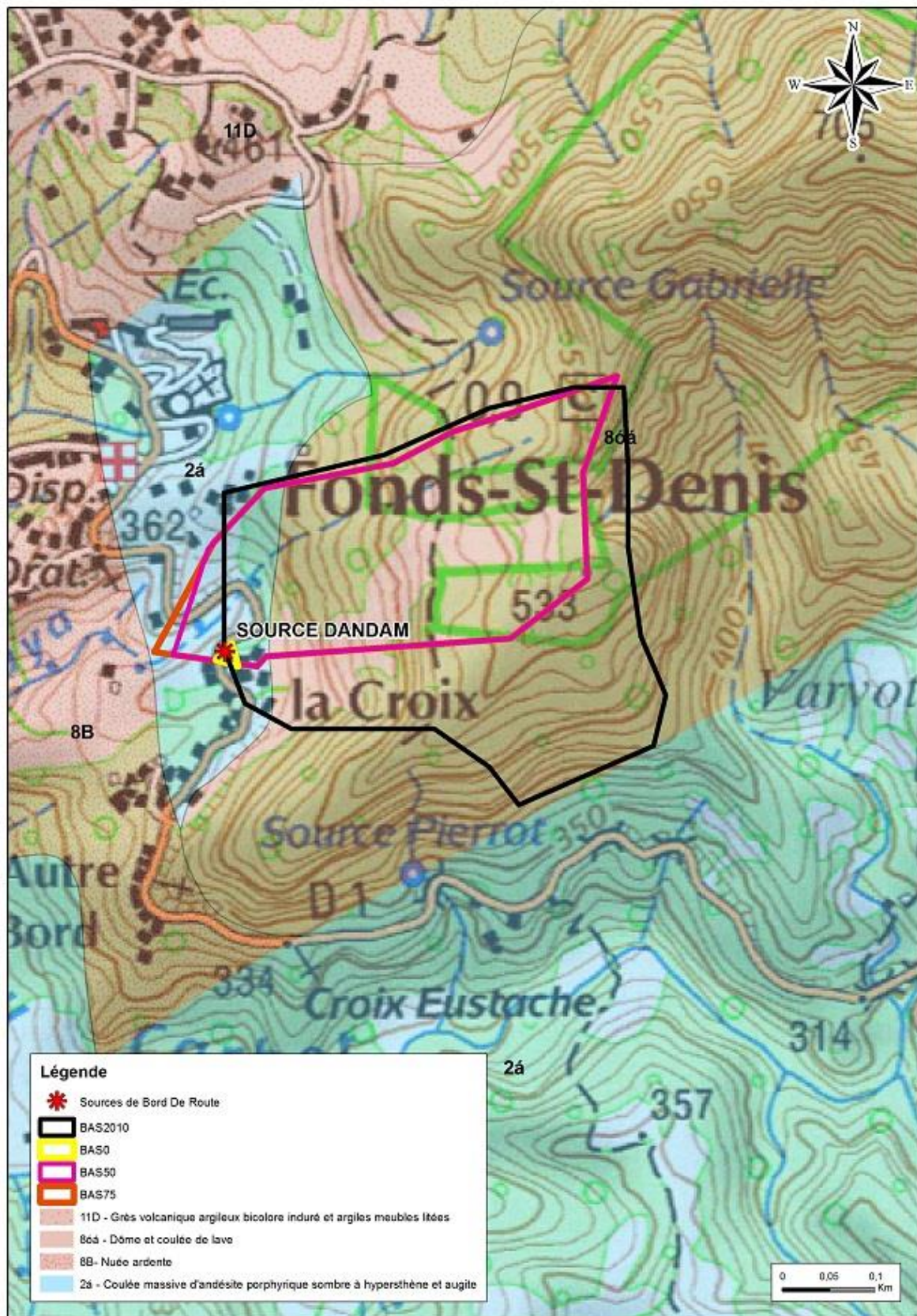
Le bassin d'alimentation retenu pour la source de l'Alma à Fond-Saint-Denis est le BAS Manuel.



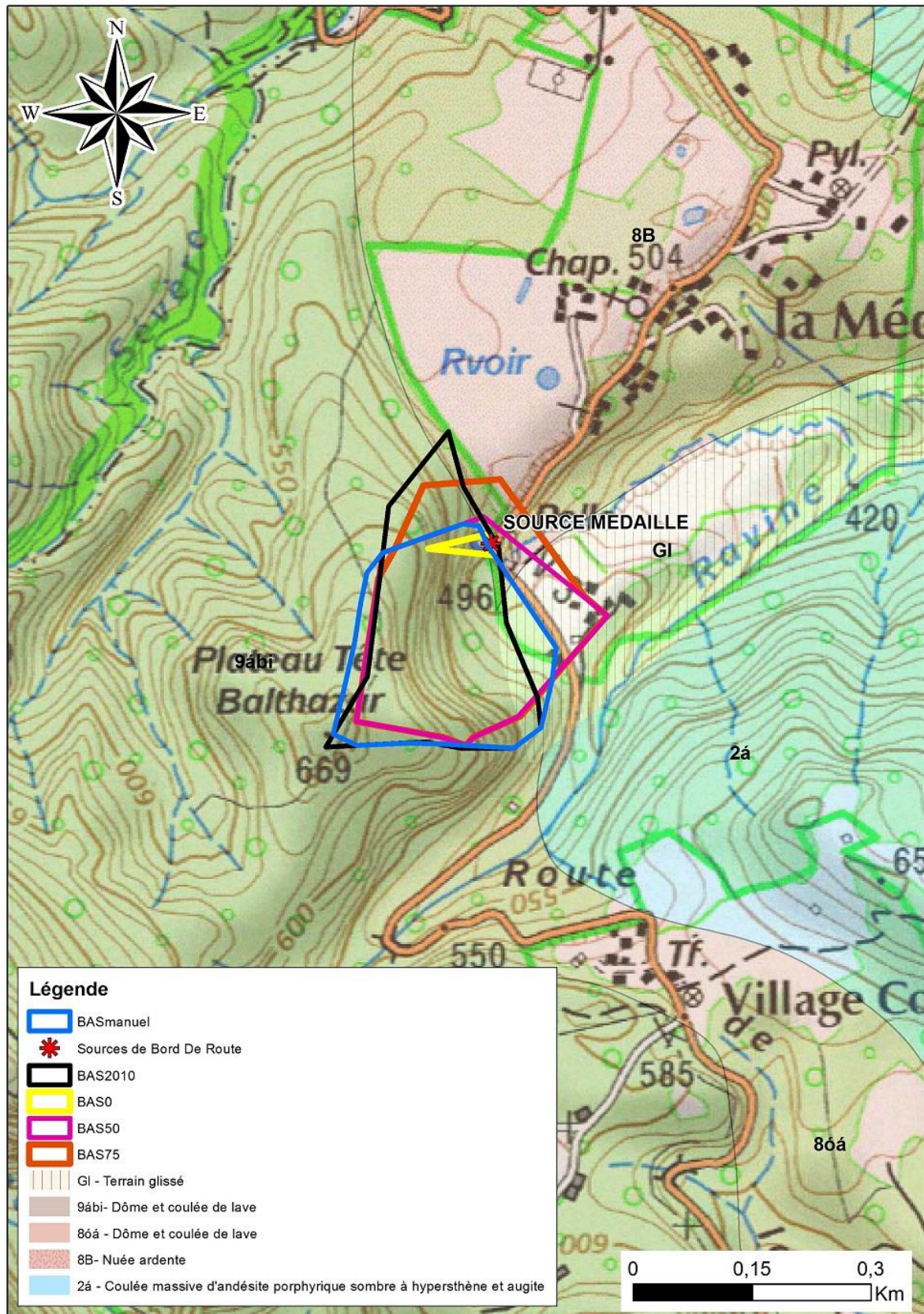
Le bassin d'alimentation retenu pour la source Roumeau à Bellefontaine est le BAS Manuel.



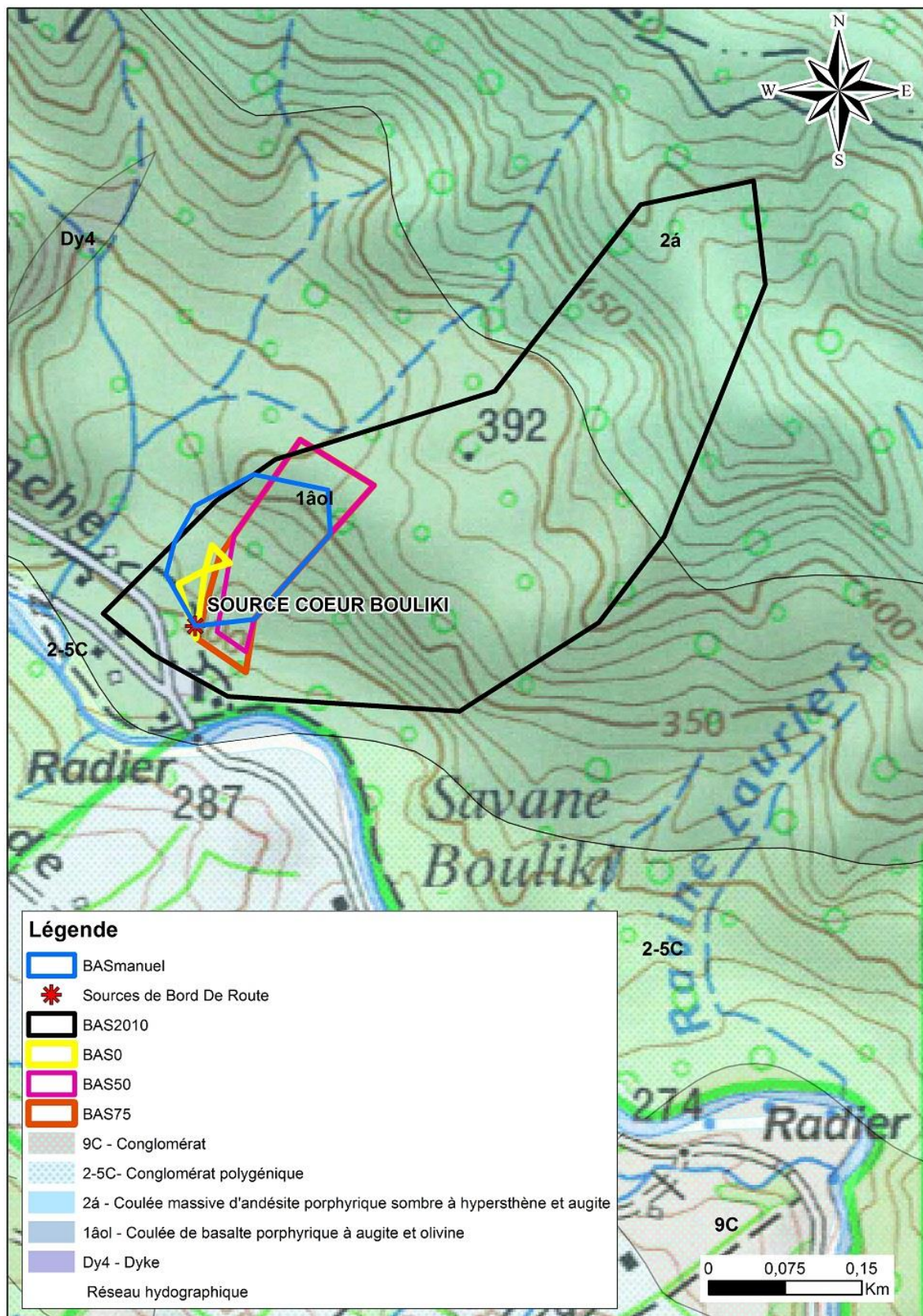
Le bassin d'alimentation retenu pour la source Dandam à Fond-Saint-Denis est le BAS 50.



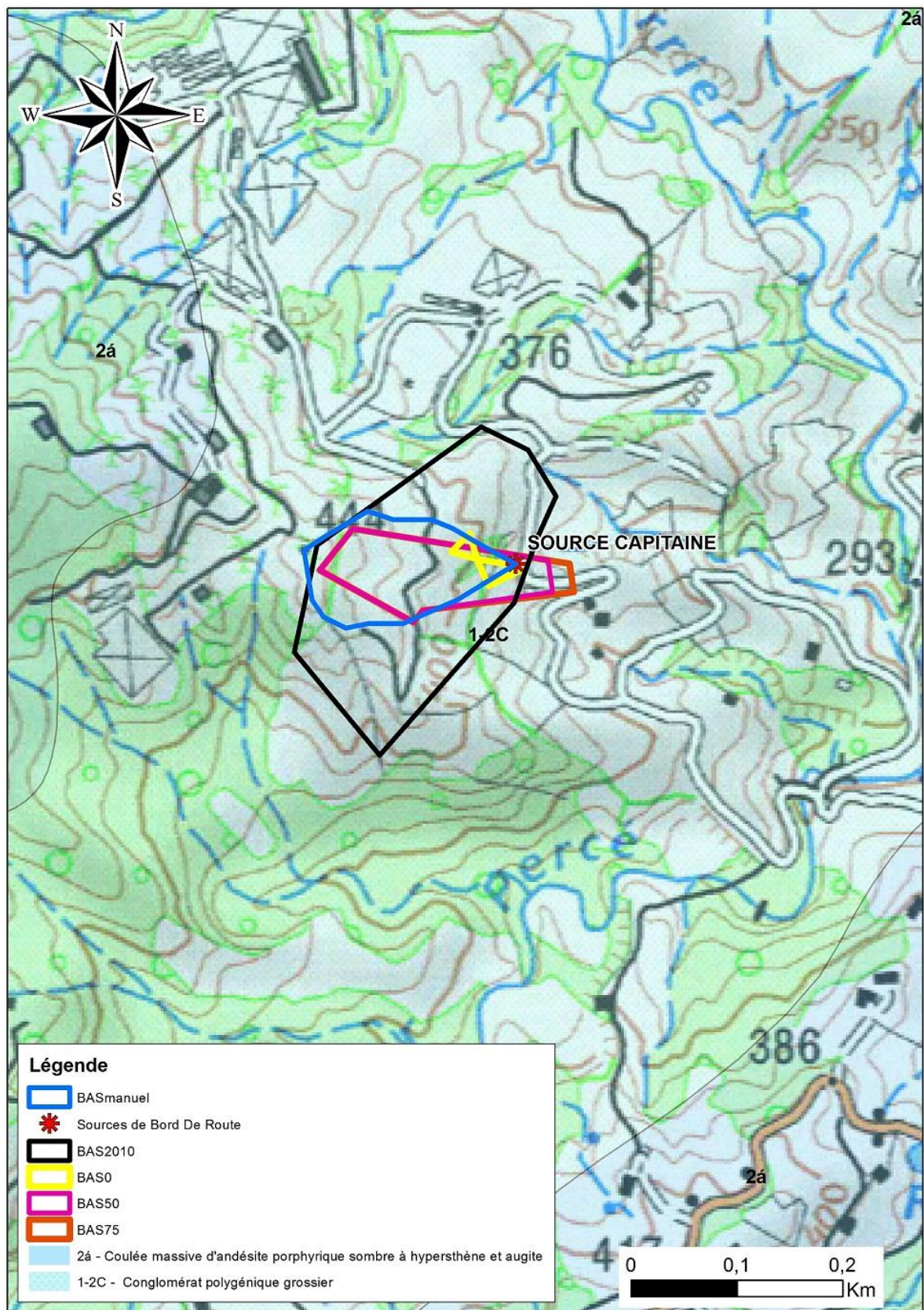
Le bassin d'alimentation retenu pour la source La Médaille à Fort-de-France est le BAS Manuel.



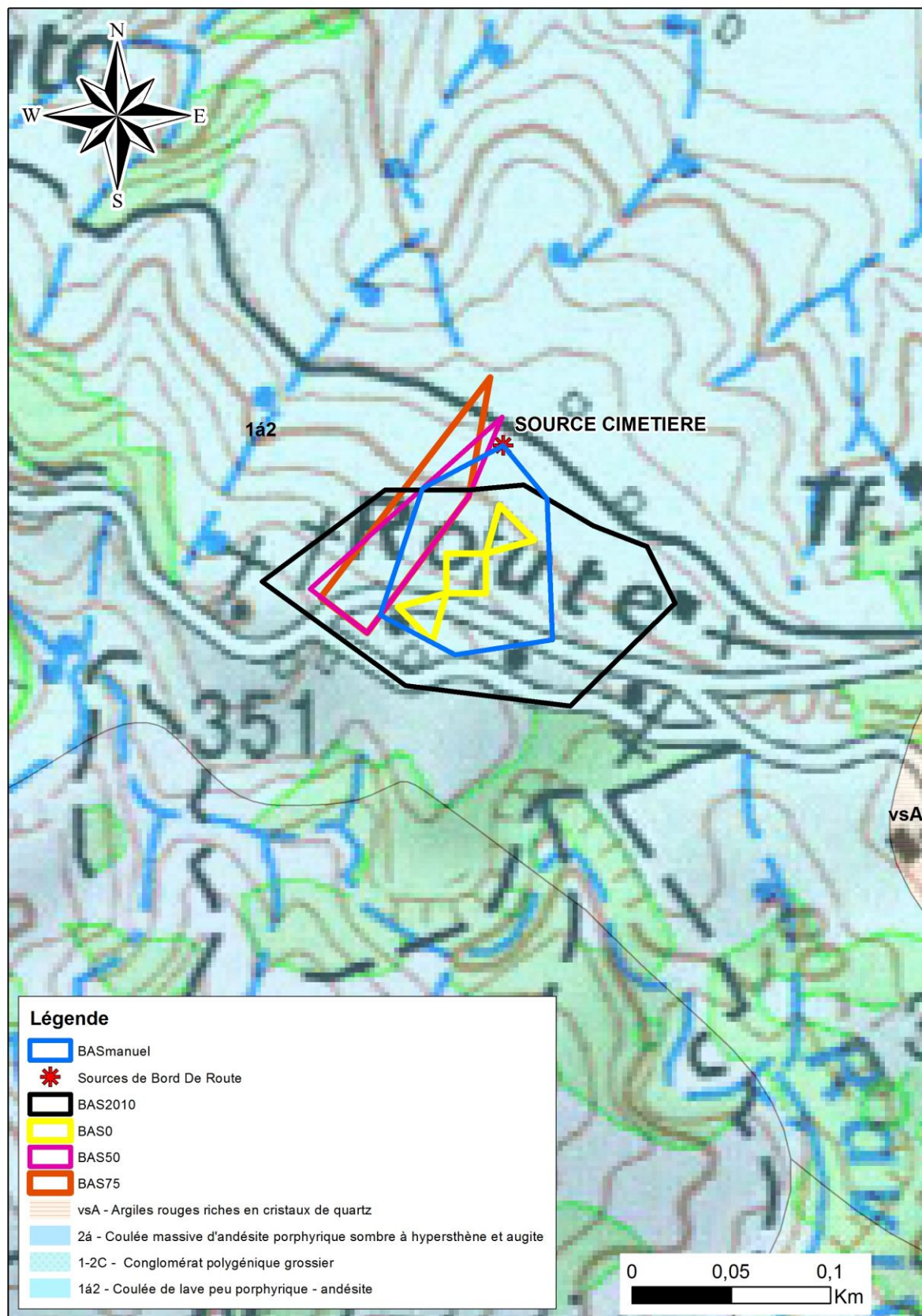
Le bassin d'alimentation retenu pour la source Cœur Bouliki à Saint-Joseph est le BAS Manuel.



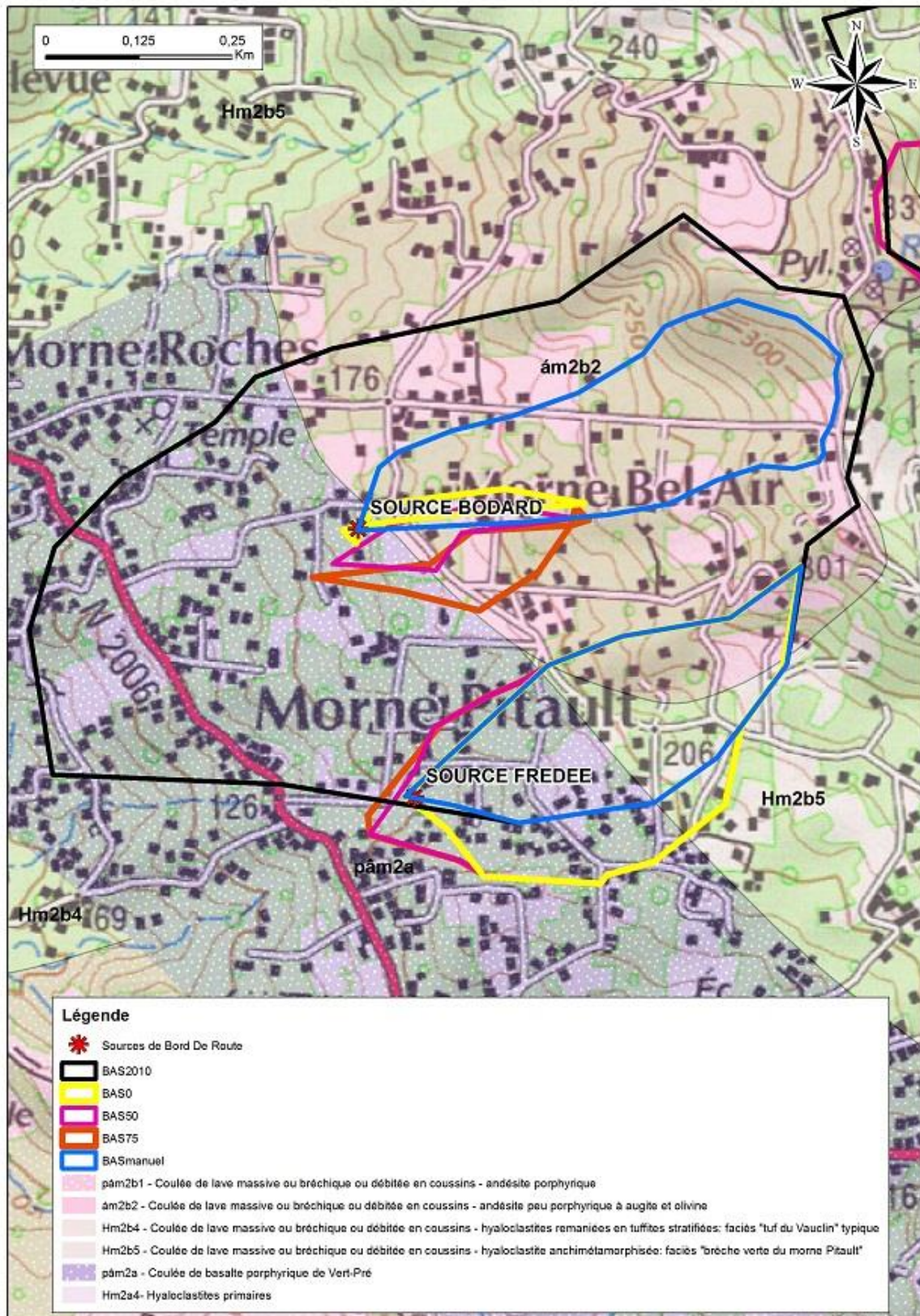
Le bassin d'alimentation retenu pour la source Capitaine au Gros-Morne est le BAS Manuel.



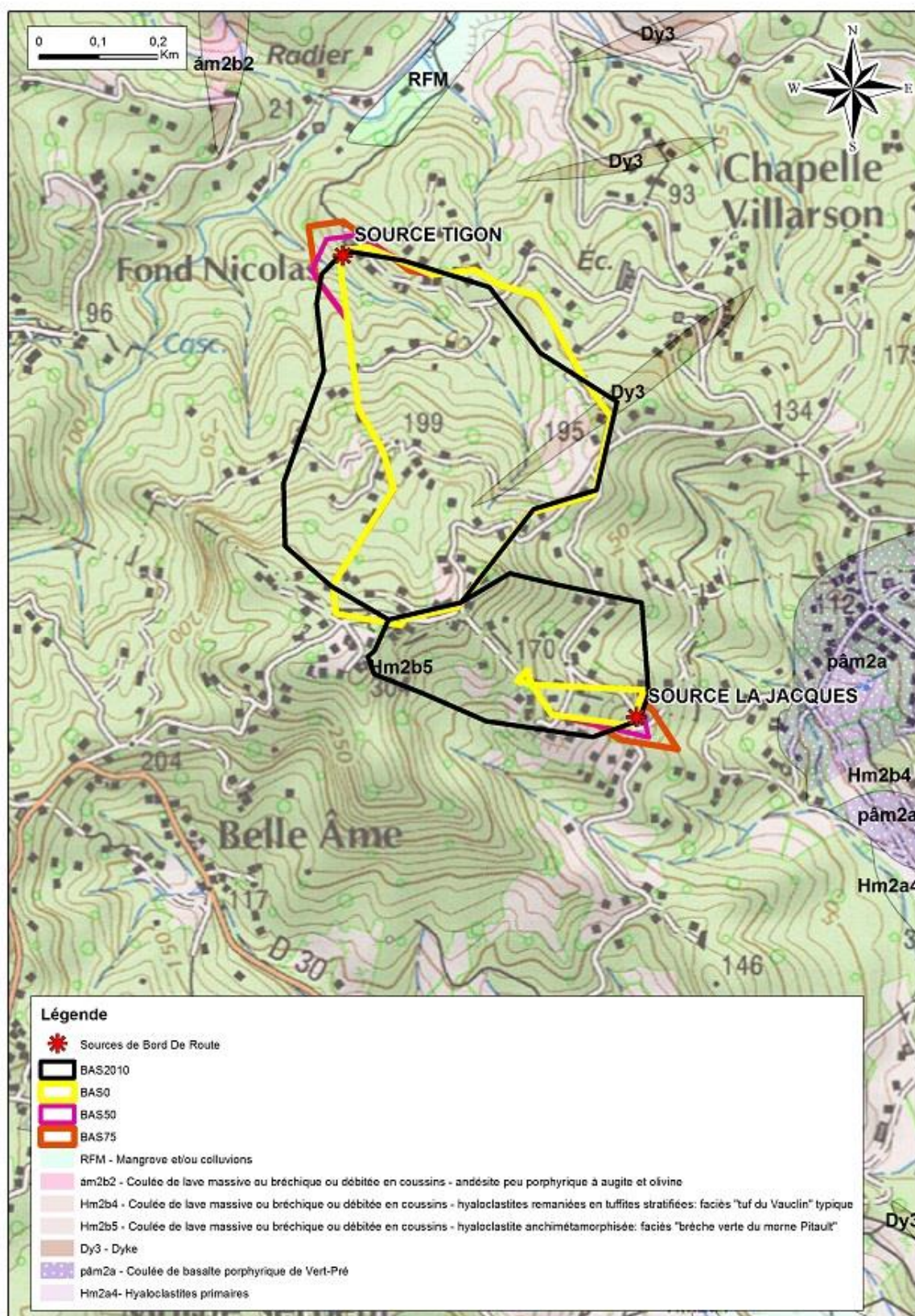
Le bassin d'alimentation retenu pour la source Cimetière à Sainte-Marie est le BAS Manuel.



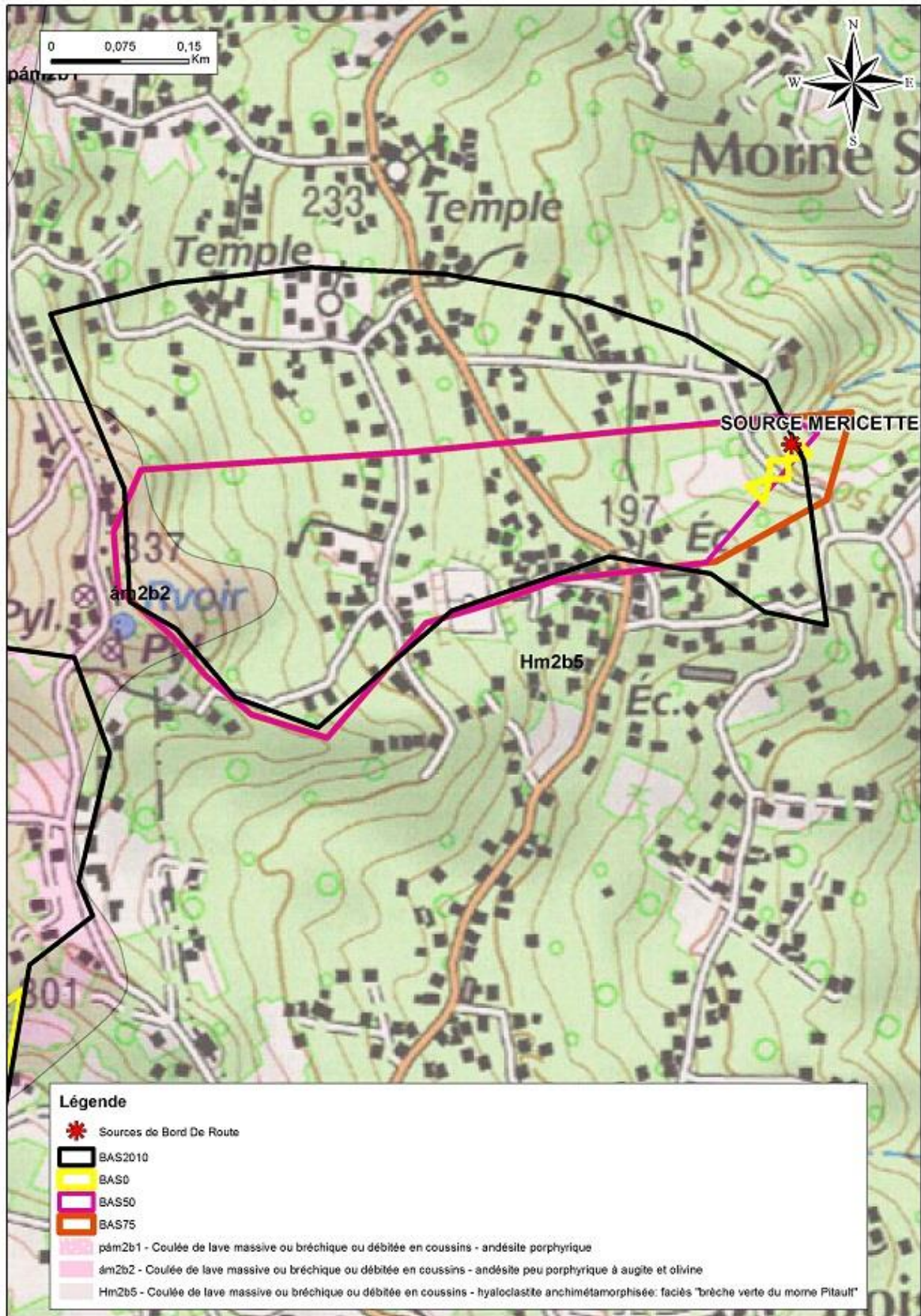
Les bassins d'alimentation retenus sont pour la source Frédée au Lamentin le BAS Manuel et pour la source Bodard au Lamentin le BAS Manuel.



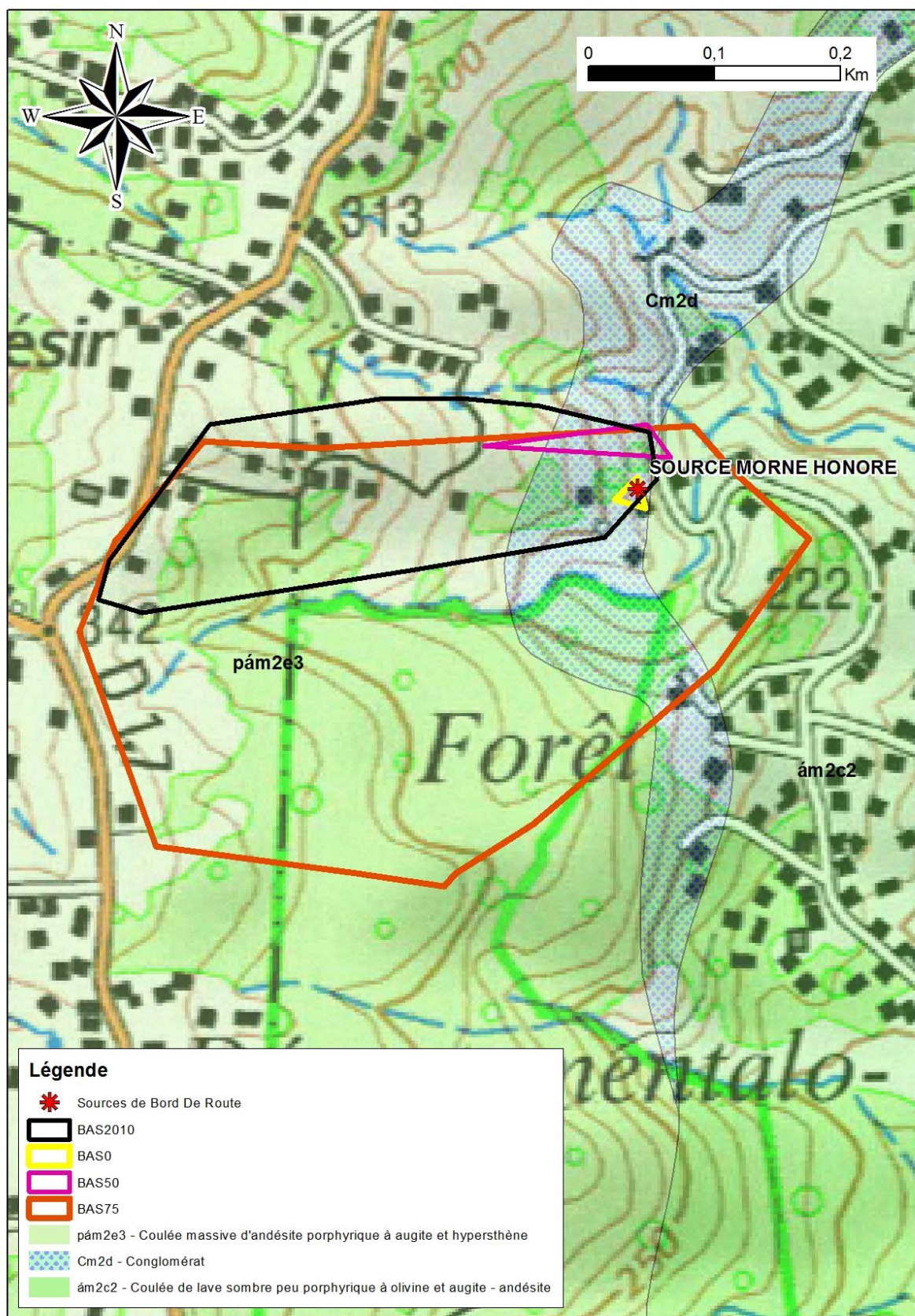
Les bassins d'alimentation retenus sont pour La Jacques au François le BAS 2010 et la source Tigon au Robert le BAS 0.



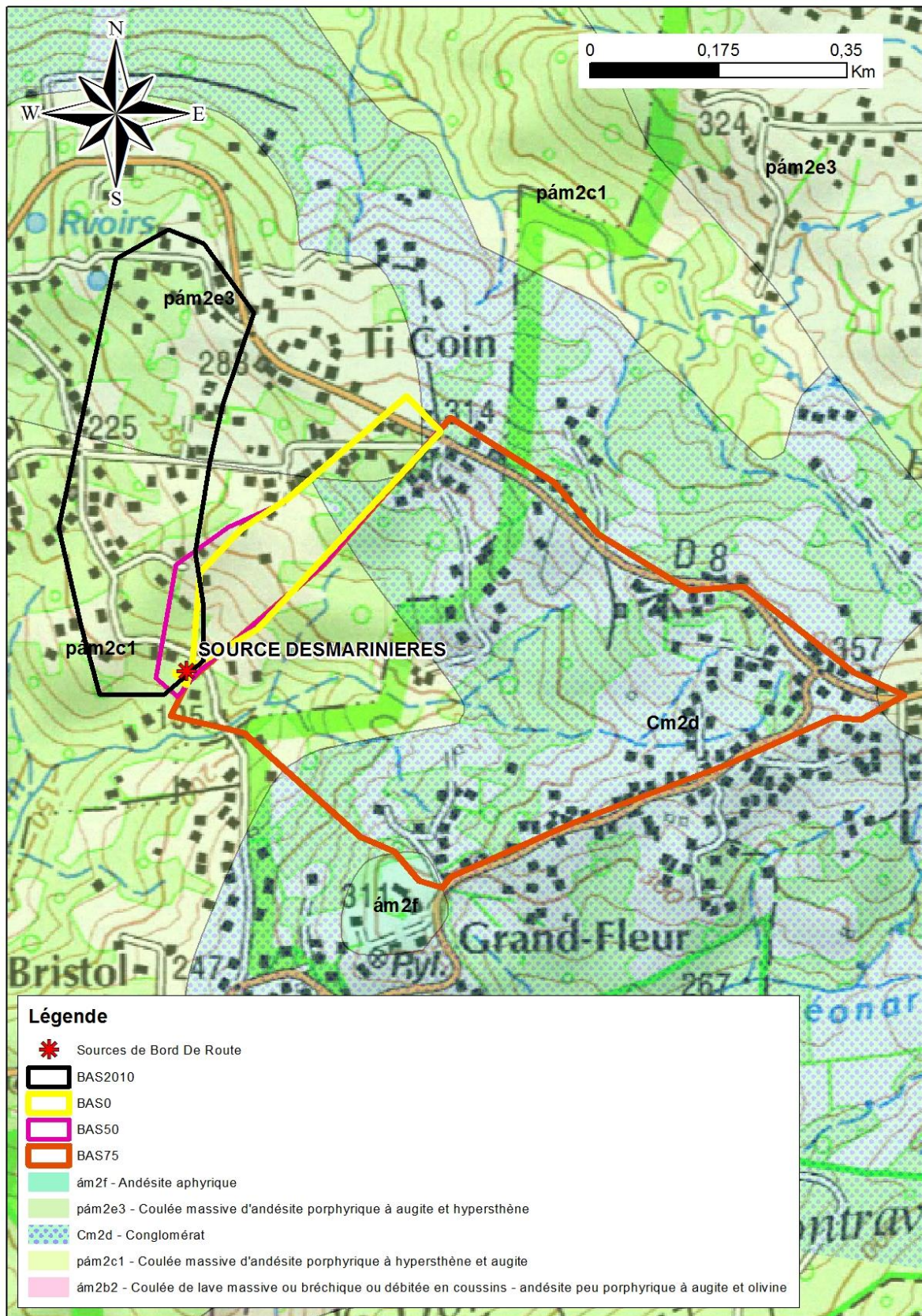
Le bassin d'alimentation retenu pour la source Méricette au François est le BAS 50.



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 Desmarinières à Rivière Salée est le BAS 0.







**Centre scientifique et technique**  
3, avenue Claude-Guillemain  
BP 6009  
45060 – Orléans Cedex 2 – France  
Tél. : 02 38 64 34 34

**Direction régionale de Martinique**  
4 lot. Miramar  
Route Point des Nègres  
97200 – Fort De France - Martinique  
Tél. : 05 96 71 17 70