



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

Rapport final
BRGM/RP-64987-FR-v2
Décembre 2017

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

Rapport final
BRGM/RP-64987-FR-v2

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

| | |
|---|-----------|
| 1. Introduction | 9 |
| 2. Sélection des 20 sources dites de « bord de route » | 11 |
| 2.1. CONSULTATION DES MAIRIES | 11 |
| 2.2. MÉTHODE DE SÉLECTION | 11 |
| 3. Prélèvements et analyses | 15 |
| 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 |
| 4. Validation des Bassins d'Alimentation des Sources (BAS) | 21 |
| 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 |
| 5. Validation des pressions anthropiques | 31 |
| 5.1. NITRATES | 31 |
| 5.2. BACTÉRIOLOGIE | 33 |
| 5.3. PRODUITS PHYTOSANITAIRES..... | 33 |
| 5.4. CONCLUSION | 35 |
| 6. Protocole de surveillance | 37 |
| 7. Conclusion | 39 |
| 8. Bibliographie | 41 |

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 bassin 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 µg/l) ;
- note 2 : contamination avérée (0,1 à 1 µg/l) ;
- note 3 : contamination importante (1 à 10 µg/l) ;
- note 4 : contamination très importante (> 10 µg/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 [NO₃]⁻ > 10 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.

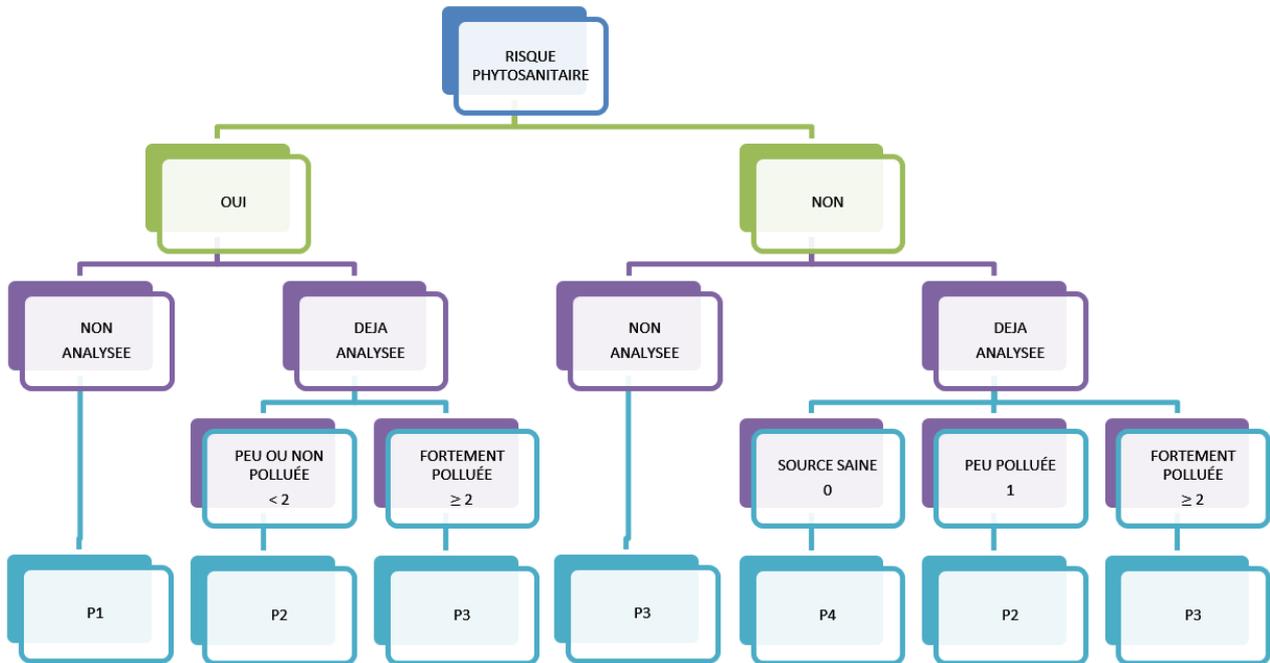


Illustration 1 : Priorisation des sources pour leur sélection

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 COFIL |
|------------|------------------|-----------------------|-----------|-----------|----------------|
| 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

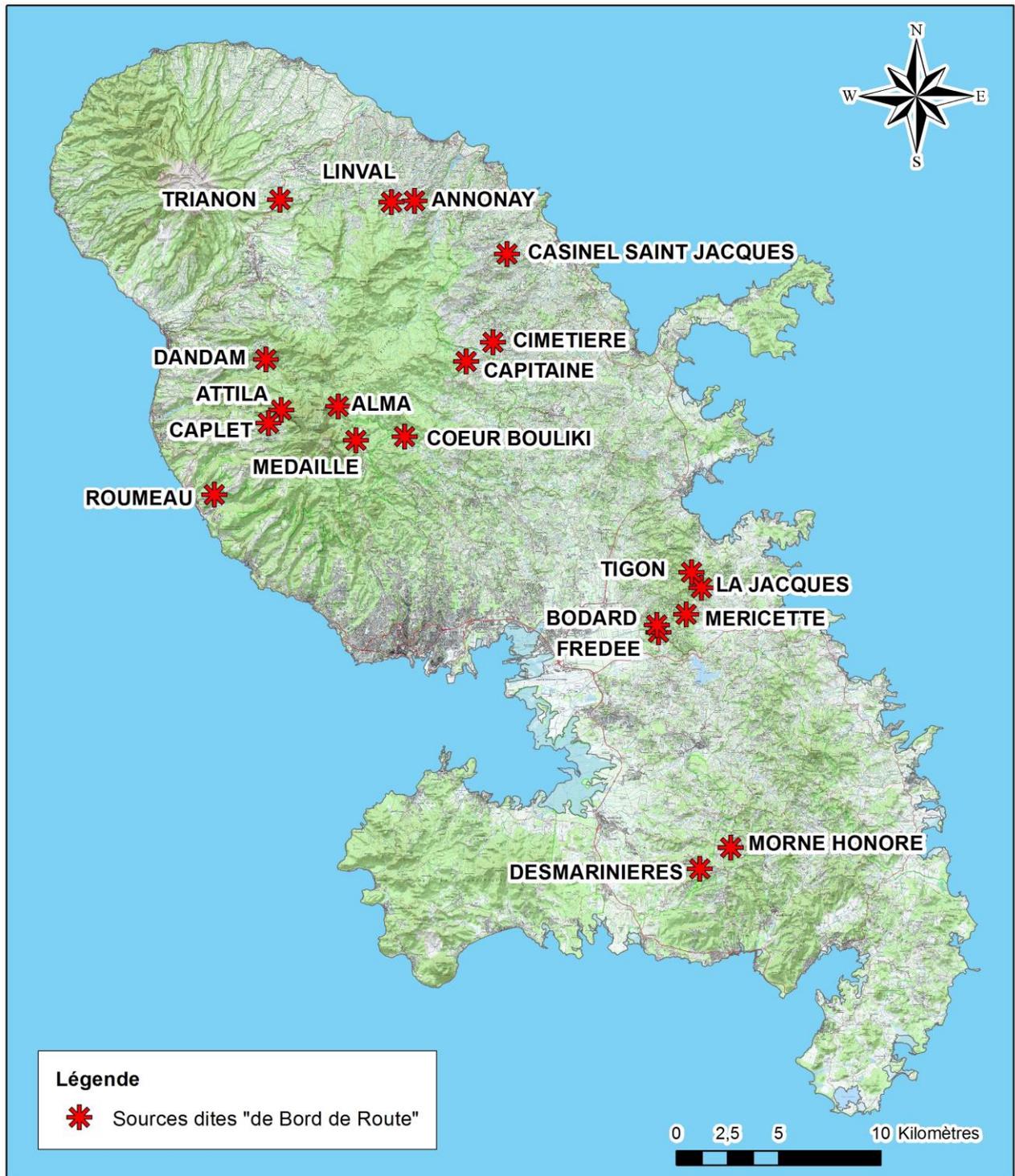


Illustration 3 : Localisation des sources dites « de bord de route »

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.

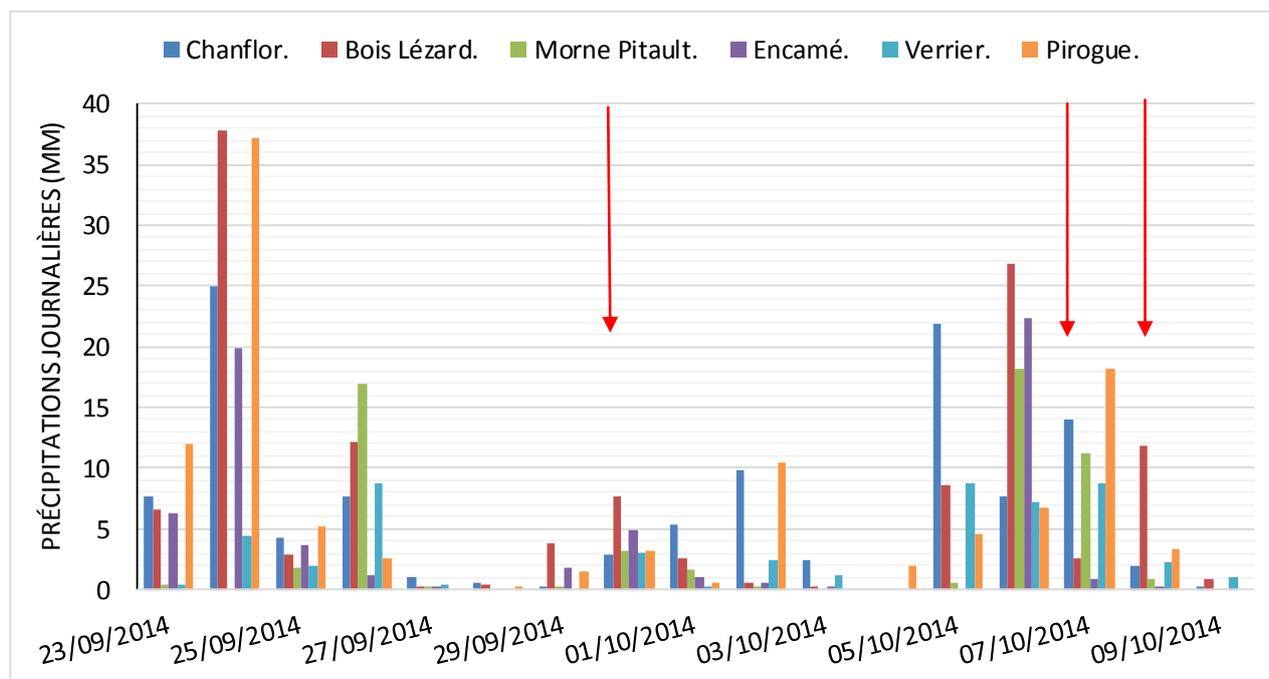


Illustration 4: Précipitations journalières enregistrées pour 6 stations pluviométriques du 16 septembre au 8 octobre 2014 (Source : Conseil Général de la Martinique)

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 km², 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.

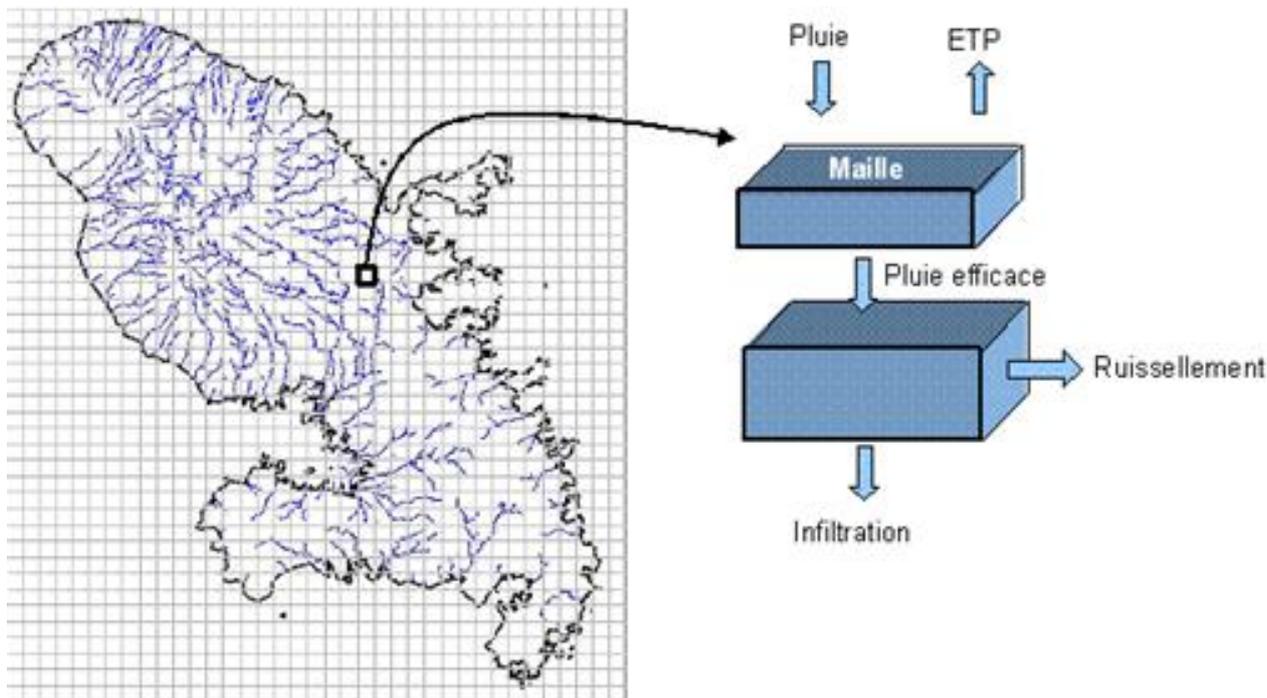


Illustration 7 : Bilan hydrique à l’échelle de la maille (réservoir 1 & 2)

| CALCUL | ÉQUATIONS | DONNÉES EN ENTRÉE |
|---------------------------------------|--|--|
| Pluie efficace (Peff) | $ETR^n = \min (ETP^n ; P^n + RU^n)$ $Peff^n = P^n - ETR^n + RU^n - RU_{max}$ | Précipitations journalières et carte spatialisée des moyennes annuelles |
| | Si $Peff^n \leq 0$ alors $Peff^n = 0$ $RU^{n+1} = \min (RU_{max} ; P^n + RU^n - ETR^n)$ | ETP journalière (Lamentin) et carte des iso-ETP |
| | | Réserve utile maximale des sols |
| | | Coefficients cultureaux |
| Ruissellement (R) et Infiltration (I) | $\frac{dH}{dt} = Peff(t) - \tau_1 \cdot H(t)$ | α , Coefficient de ruissellement dépendant : - d'un coefficient de pente - et d'un coefficient de sol |
| | $R(t) = \alpha \cdot \tau_1 \cdot H(t)$ | |
| | $I(t) = (1 - \alpha) \cdot \tau_1 \cdot H(t)$ | τ_1 Constante de temps du réservoir intermédiaire (j^{-1}) |

Illustration 8 : Tableau de principe du modèle hydrologique global (réservoir 1 & 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 km² 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 km² 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).

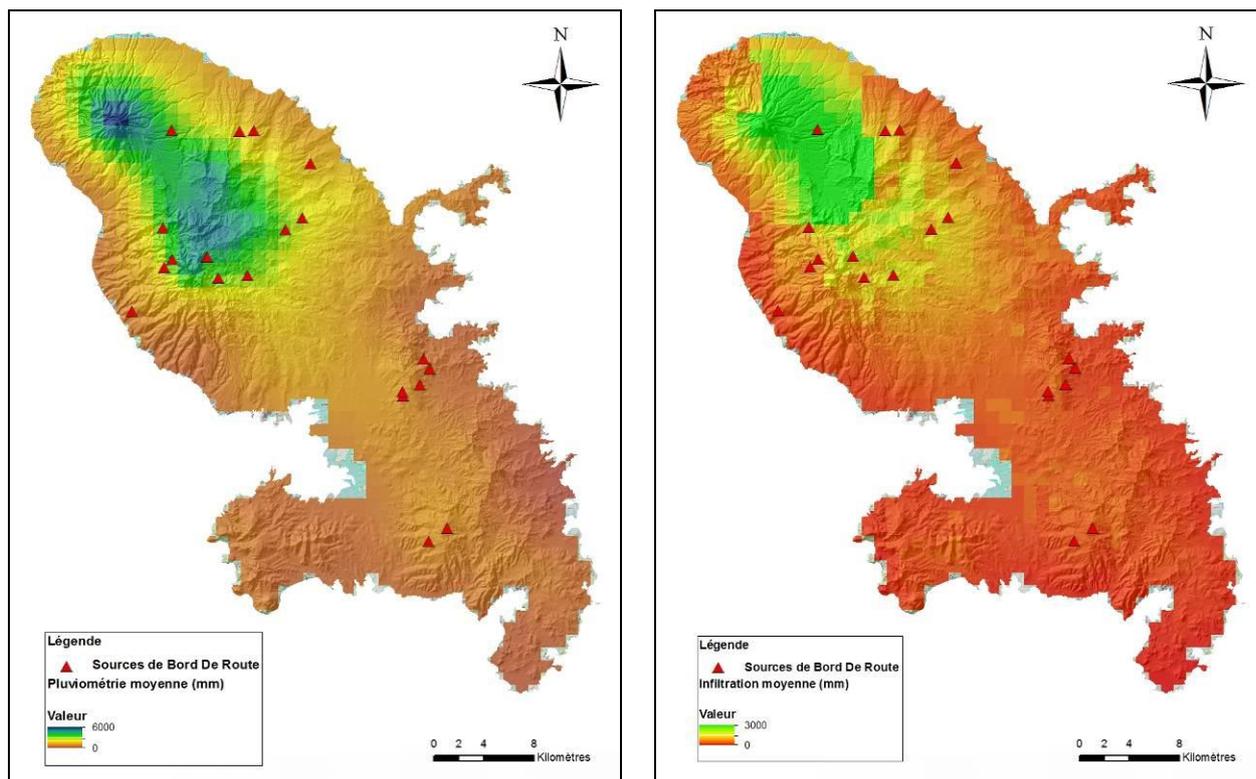


Illustration 9 : Cartes de la pluie efficace moyenne et de l'infiltration moyenne en mm à l'échelle de la maille

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.

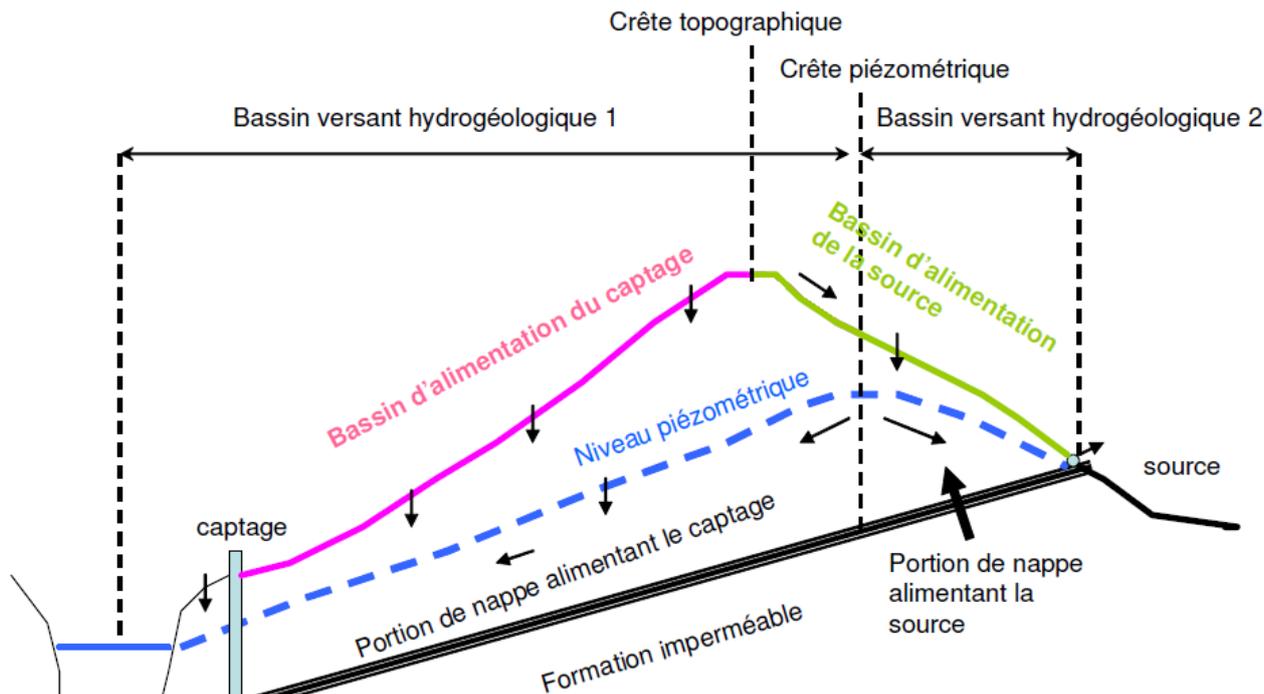


Illustration 11 : Bassins versants topographiques et hydrogéologiques (source : Vernoux et al., 2007)

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^{er}ol une coulée de basalte porphyrique à augite et olivine.

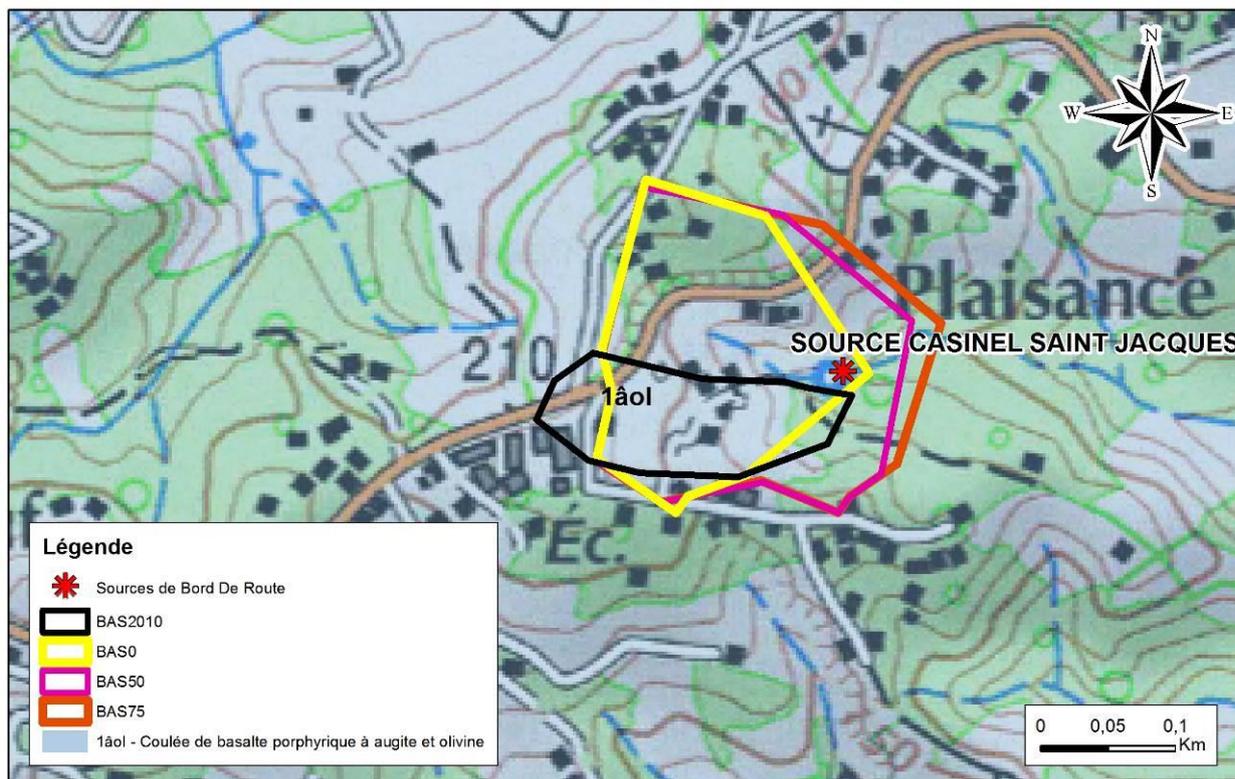


Illustration 12 : Bassins versants d'alimentation de la source Casinel Saint Jacques – Sainte Marie

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 α (coulées massives d'andésites porphyrique sombre à hypersthène et augite, ~2,2ma de la 2^{ème} phase du Morne Jacob).

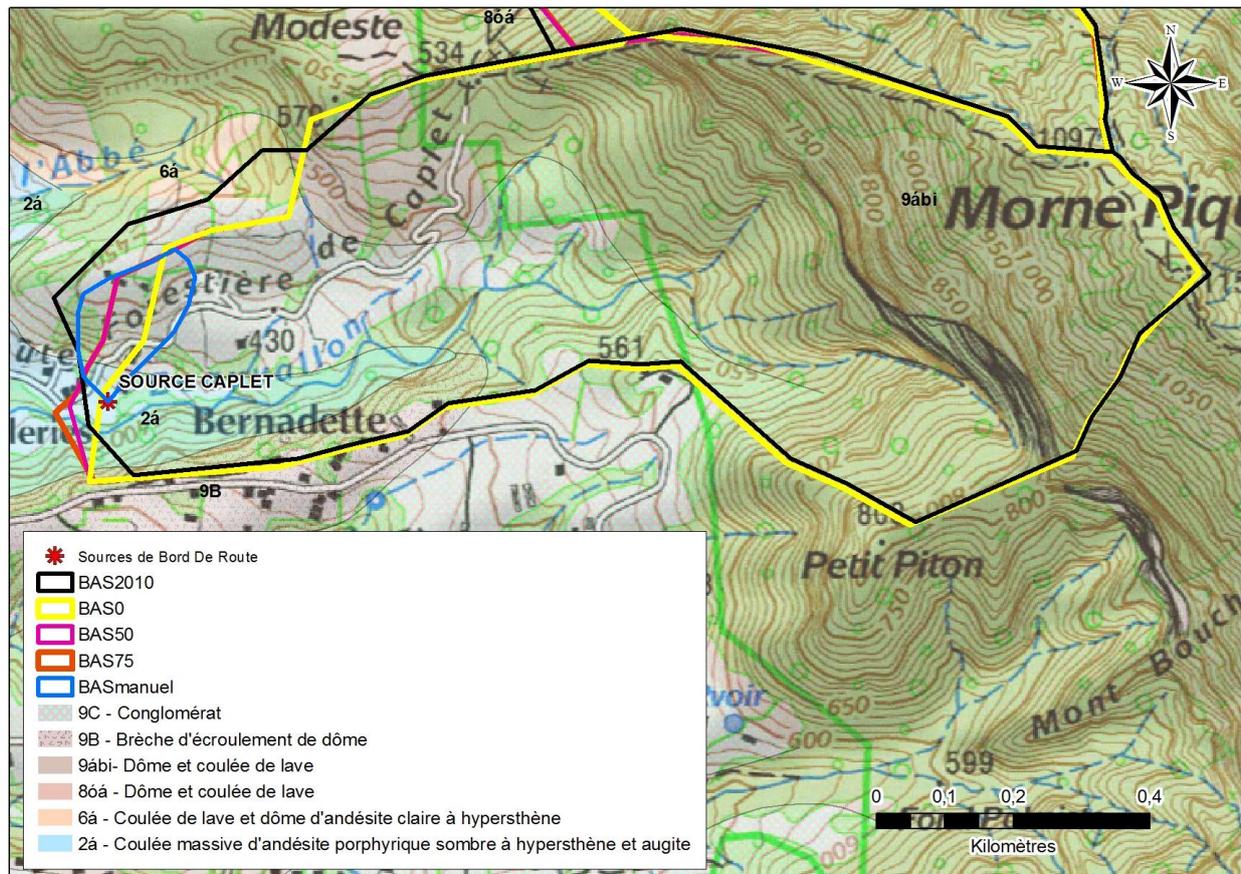


Illustration 13 : Bassins versants d'alimentation de la source Caplet au Morne Vert

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 | BASManuel |
| 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, Frédéric, 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 déclassent 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).

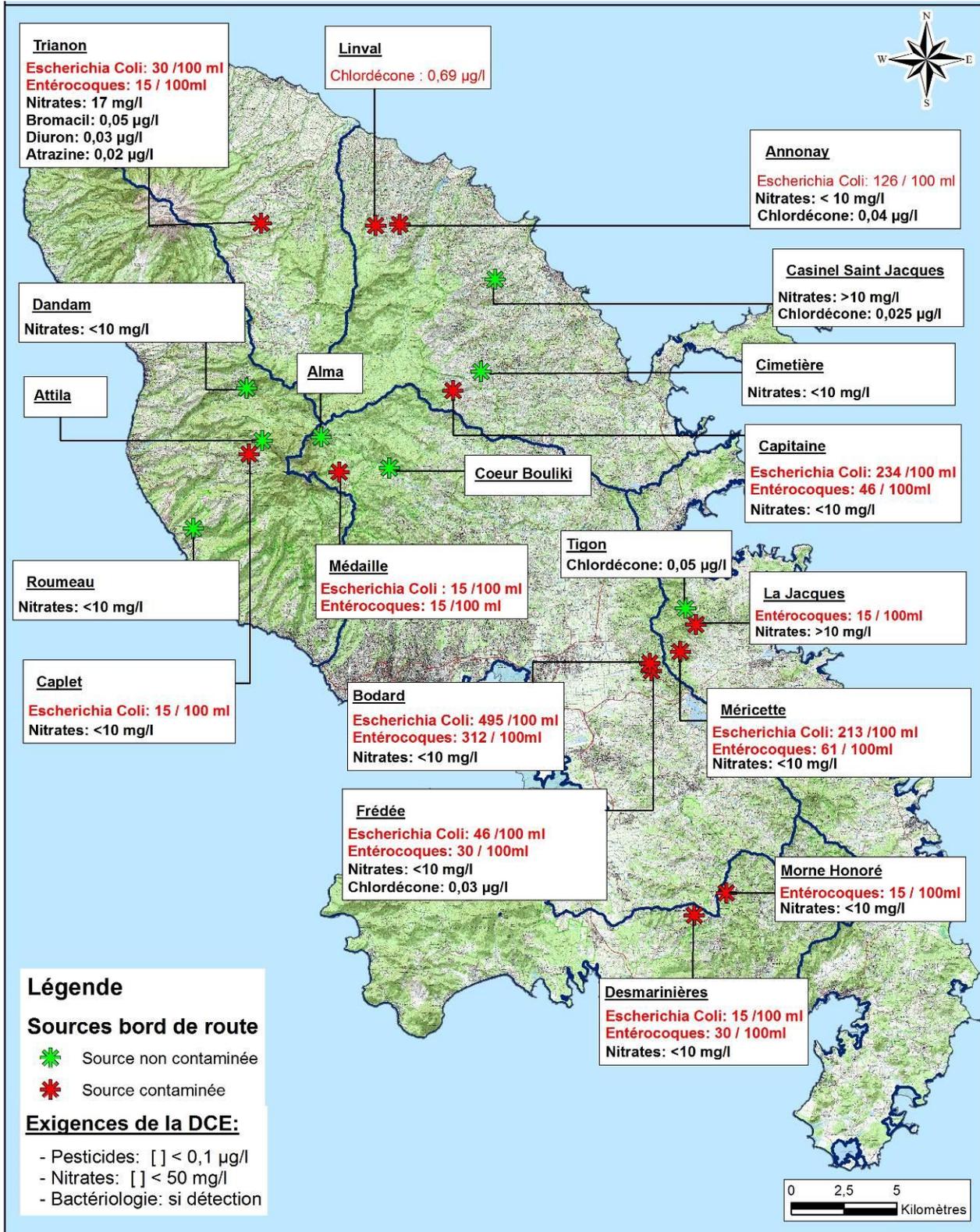


Illustration 18: Carte des contaminations relevées en 2014

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 Biennuel |
|------------|------------------|-----------------------|----------|------------------|------------|----------------|
| 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., Dörfliger 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

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 | Roumeau | 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

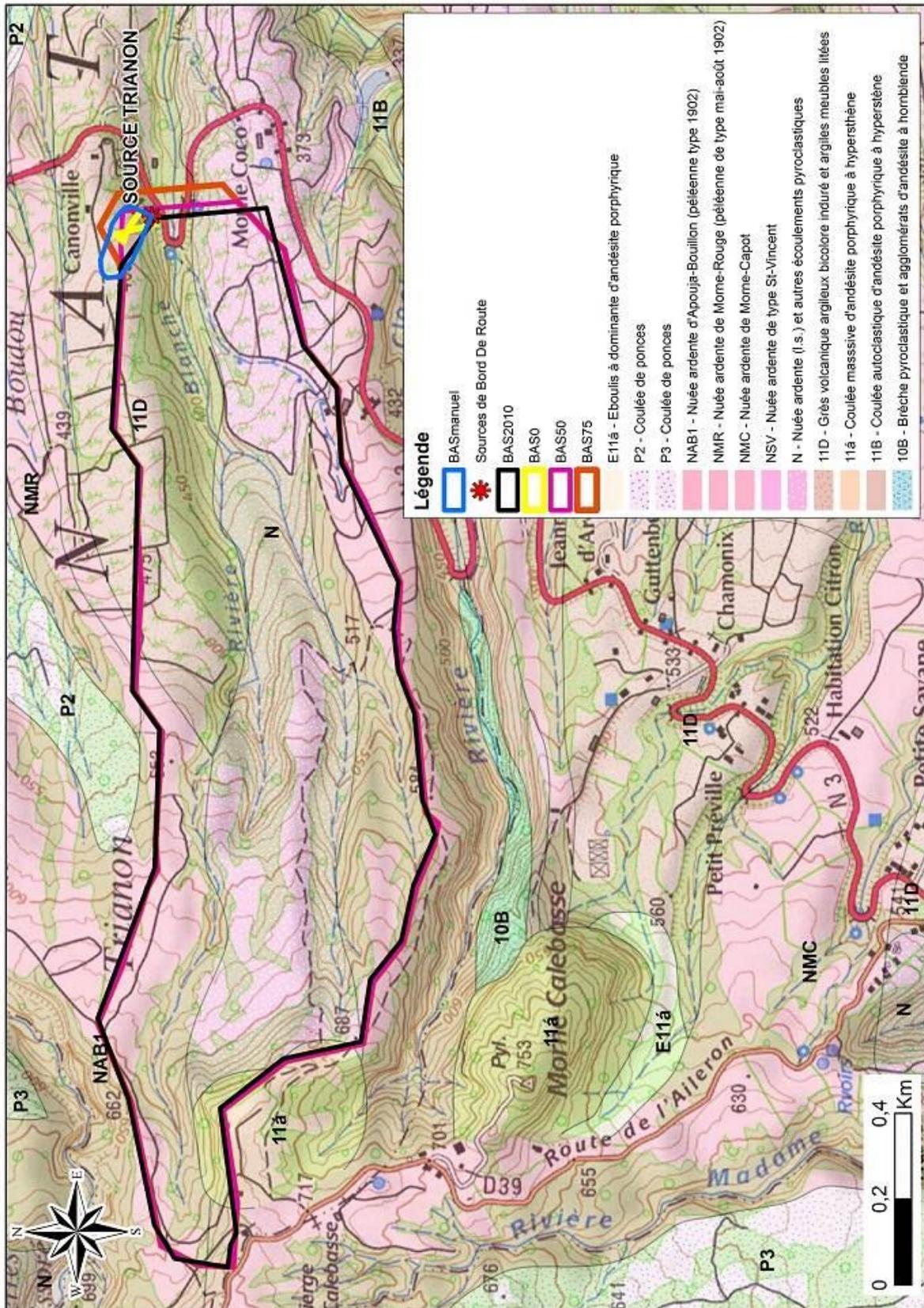
Débits théoriques des Bassins d’Alimentation des Sources calculés

| | | Surface (km ²) | 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 (km ²) | 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 |

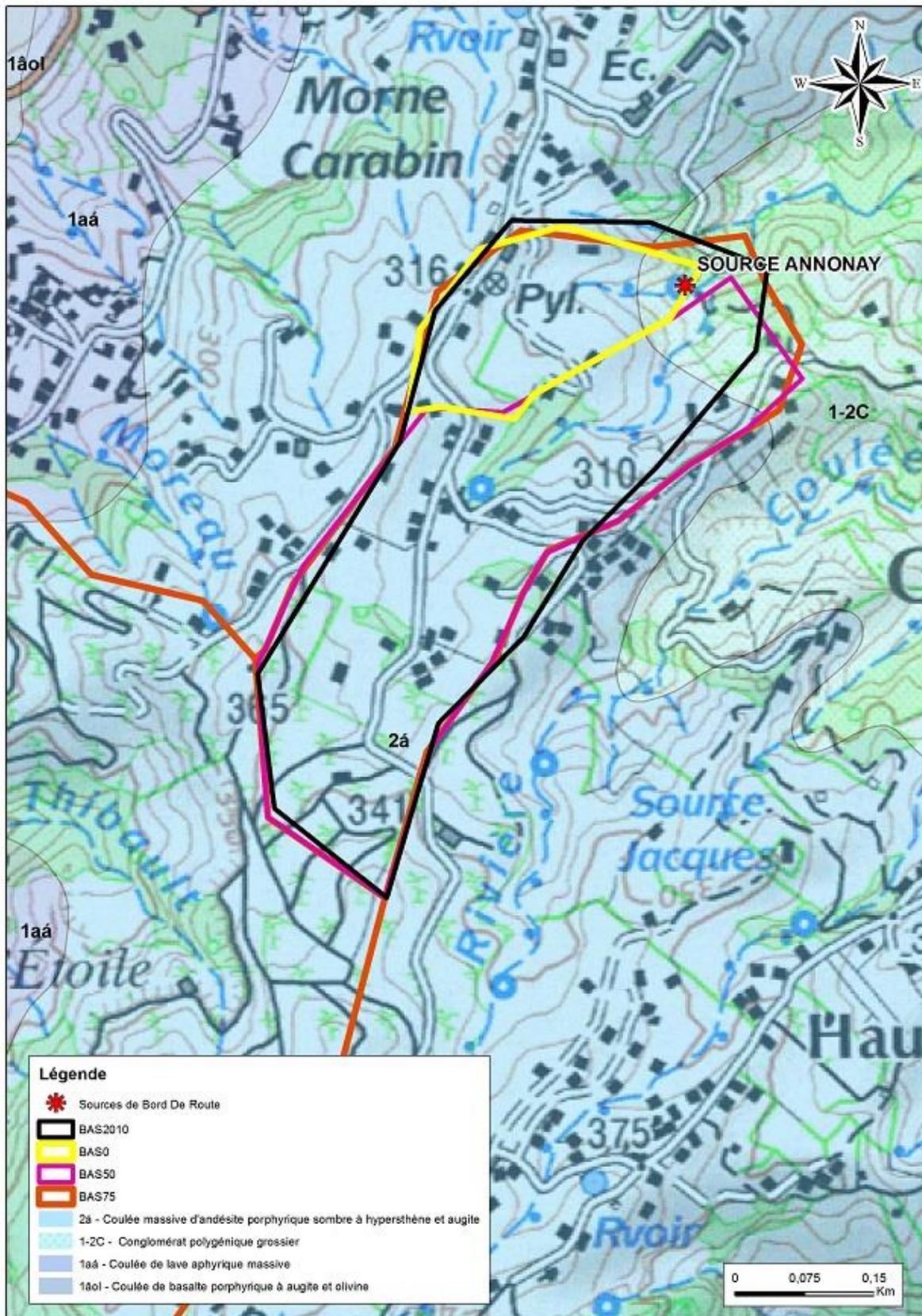
Annexe 6

Bassins d'alimentations des sources

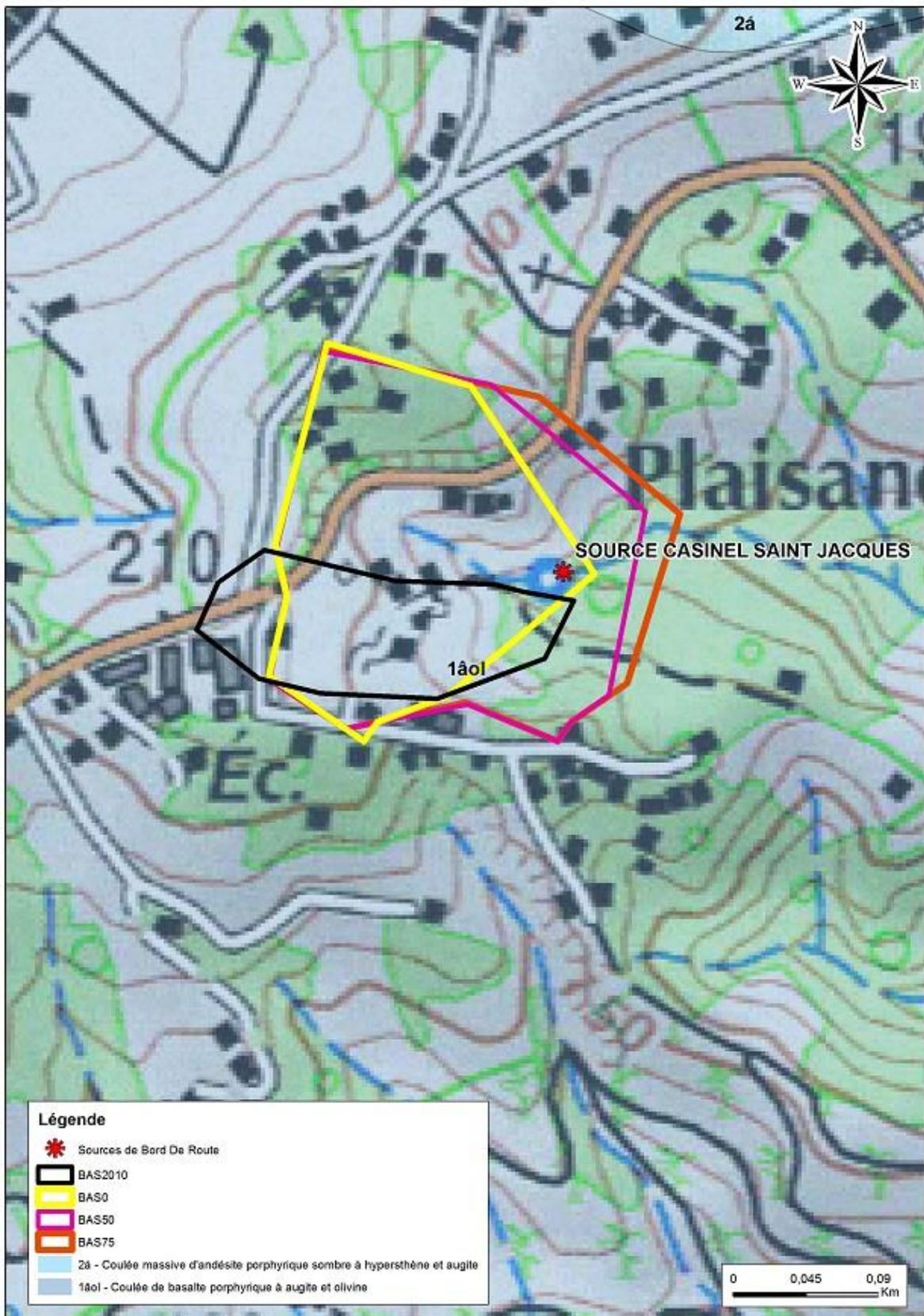
Le bassin d'alimentation retenu pour la source Trianon à Ajoupa Bouillon est le BAS Manuel.



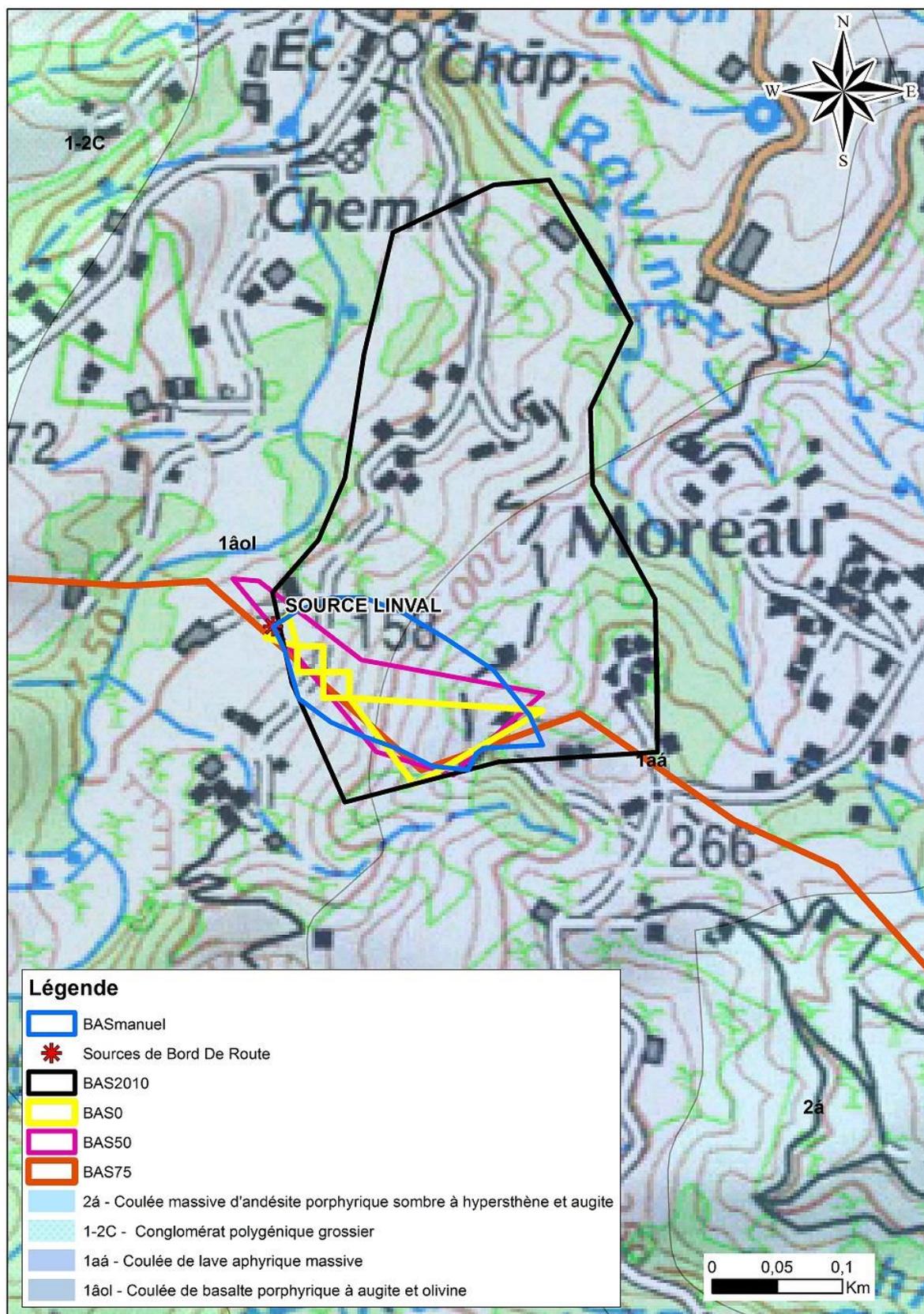
Le bassin d'alimentation retenu pour la source Annonay au Lorrain est le BAS 0.



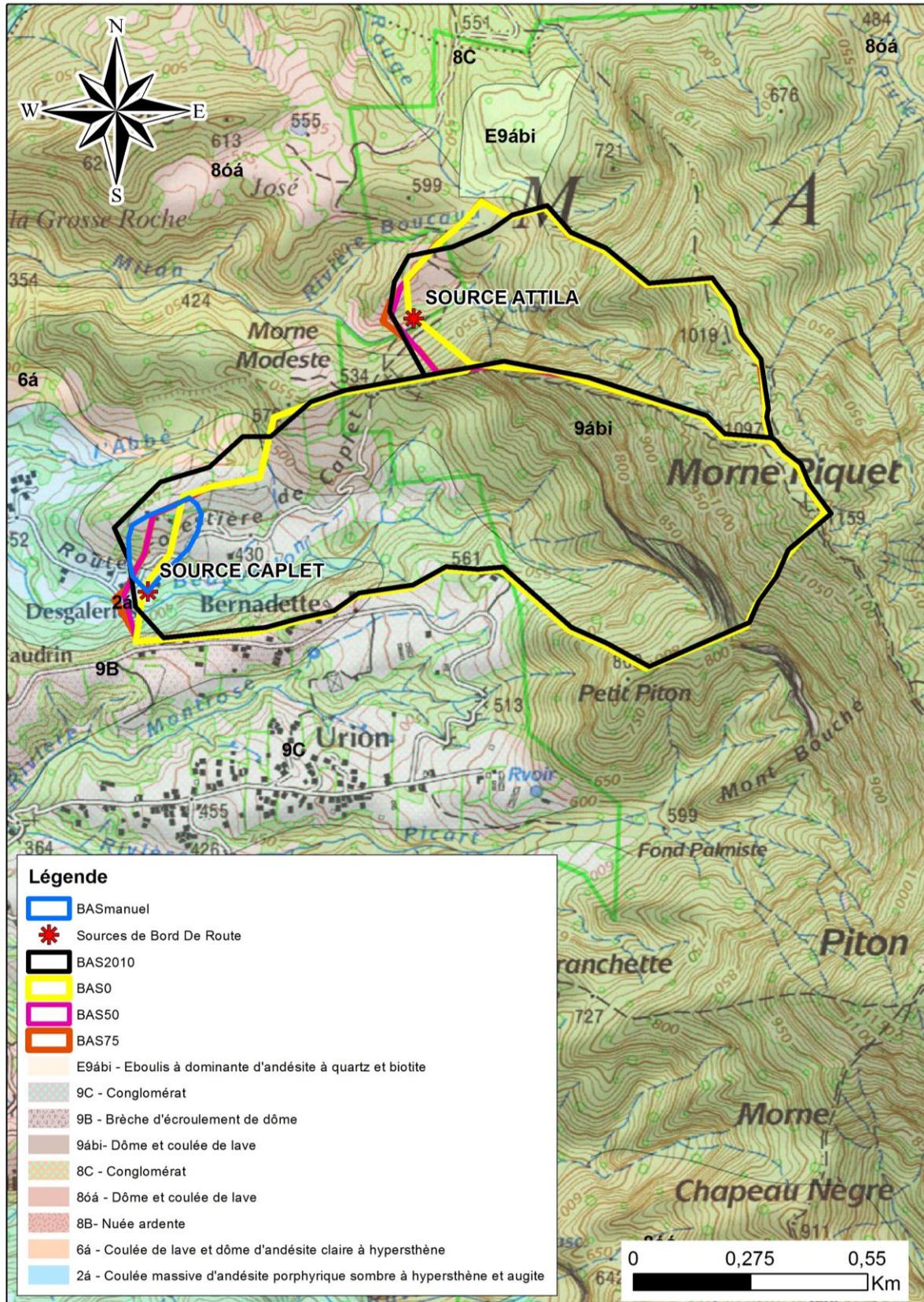
Le bassin d'alimentation retenu pour la source Casinel Saint Jacques à Sainte-Marie est le BAS 0.



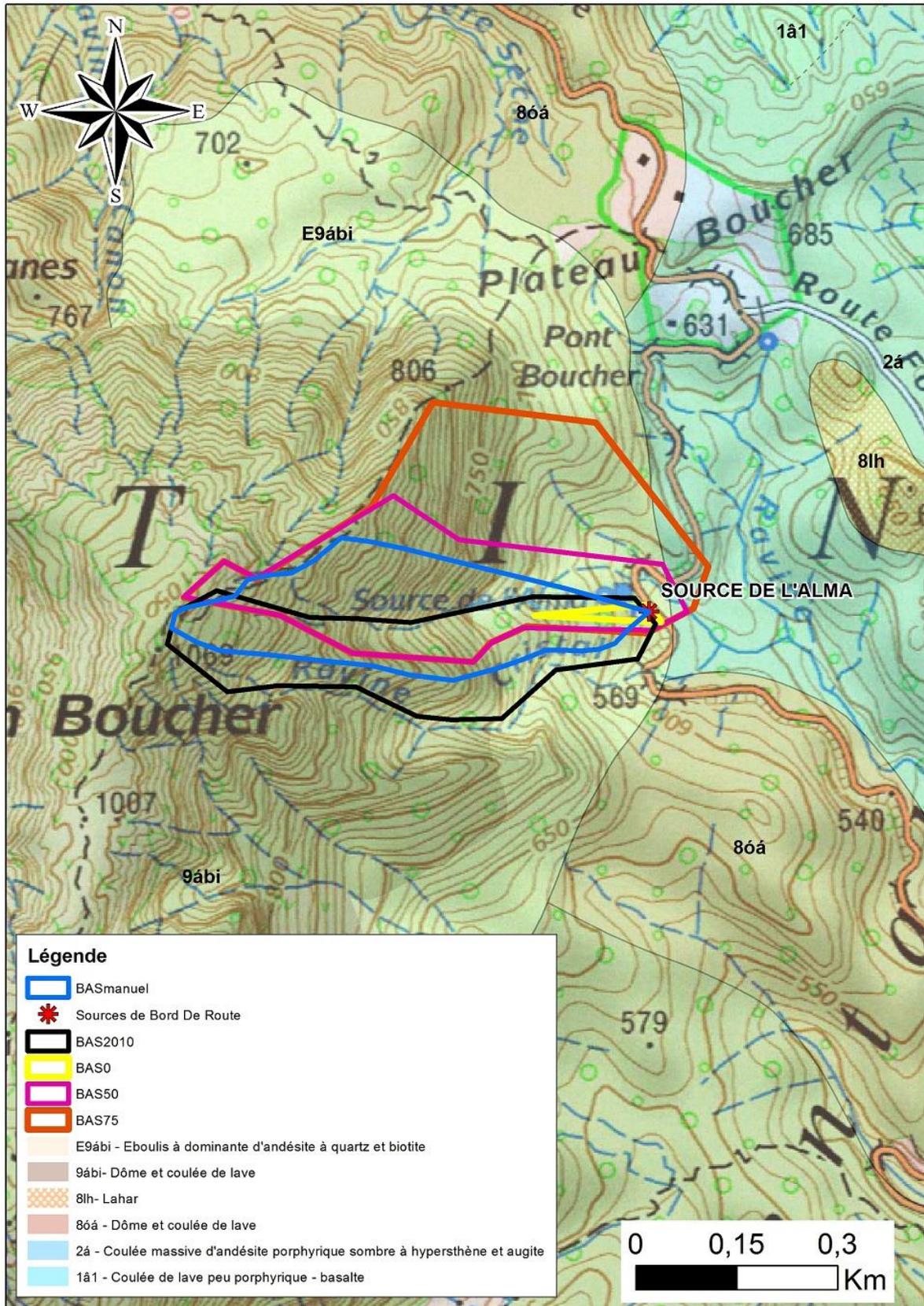
Le bassin d'alimentation retenu pour la source Linval au Lorrain est le BAS Manuel.



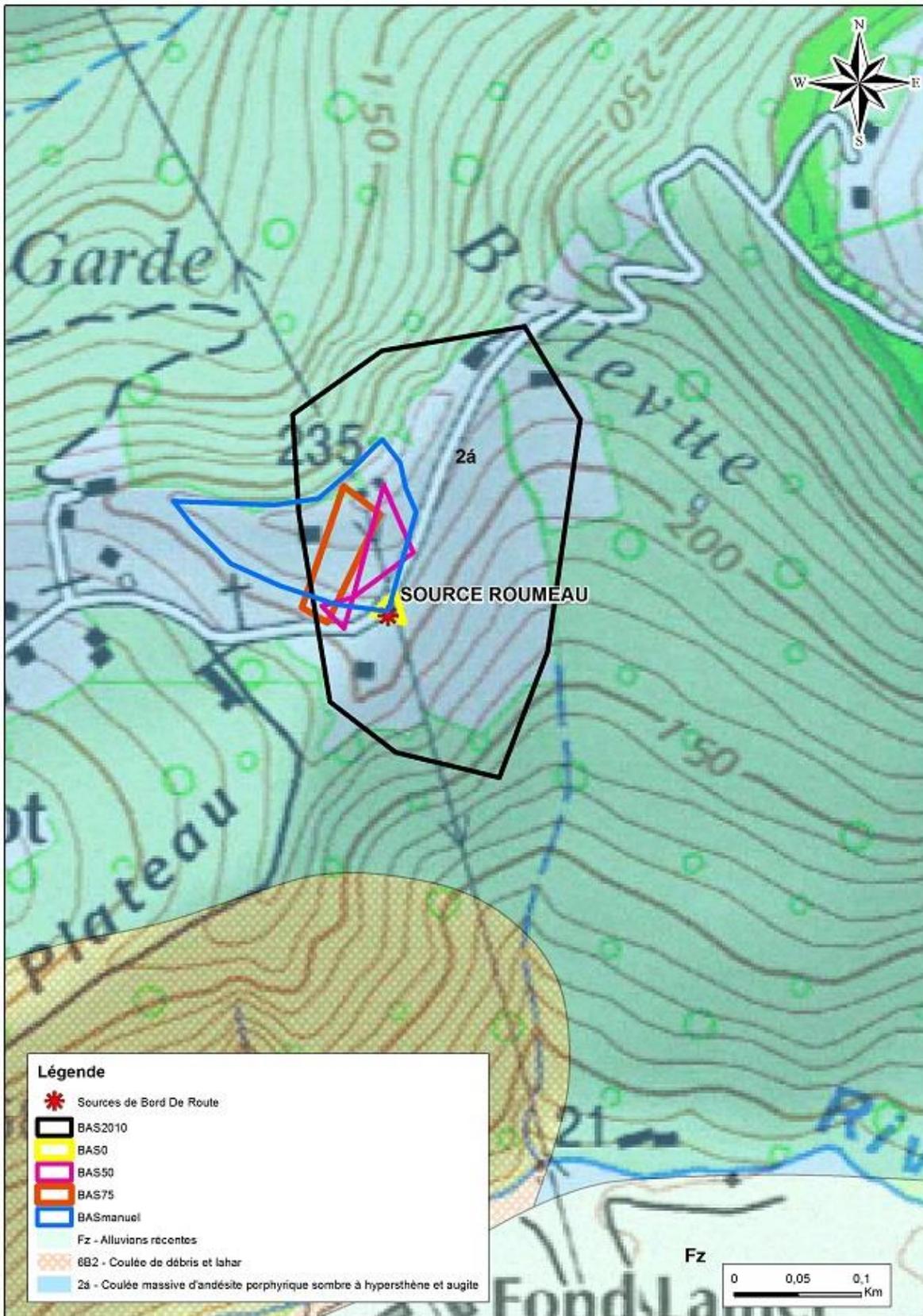
Les bassins d'alimentation retenus au Morne-Vert sont pour la source Attila le BAS 2010 et la source Caplet le BAS Manuel.



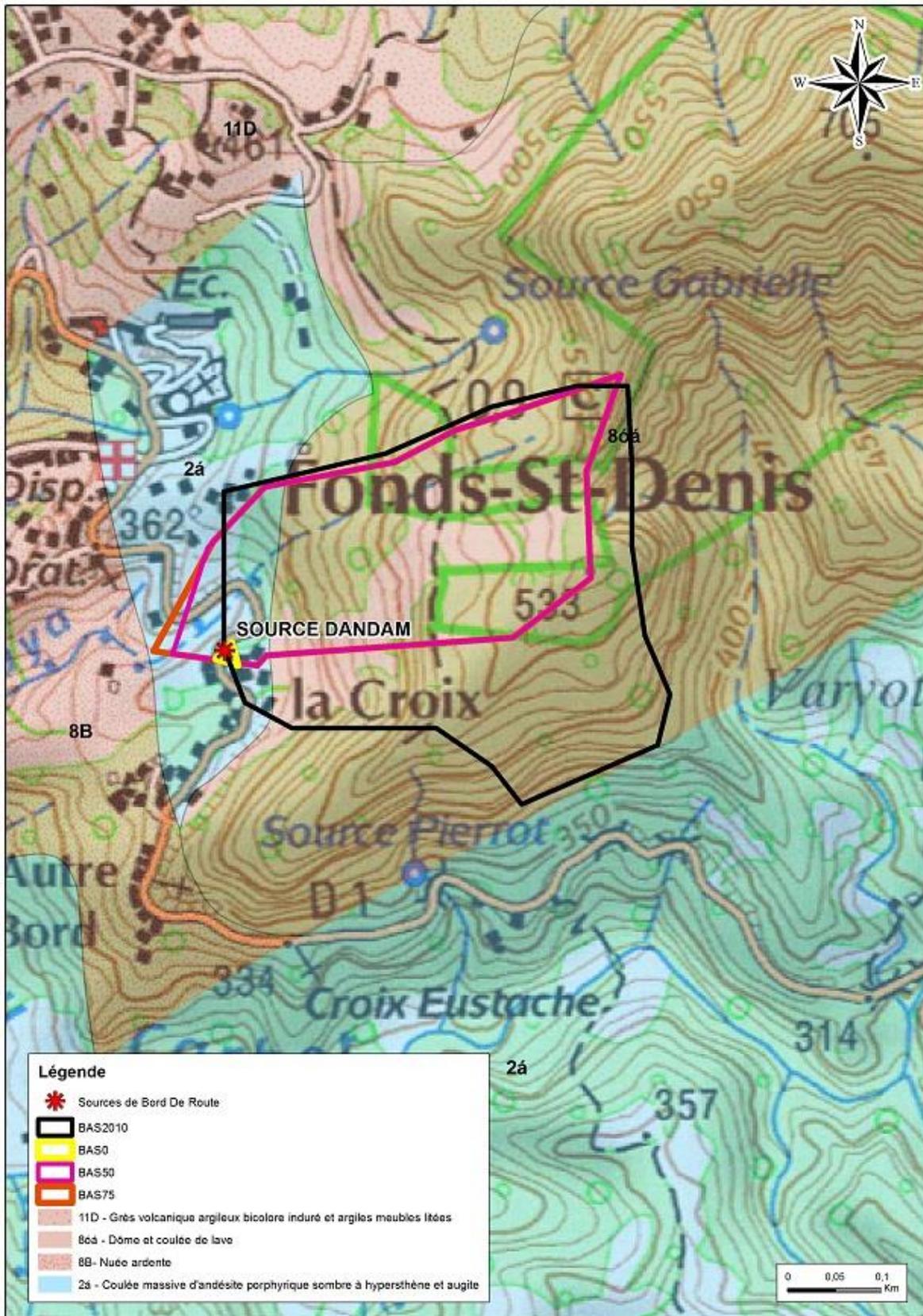
Le bassin d'alimentation retenu pour la source de l'Alma à Fond-Saint-Denis est le BAS Manuel.



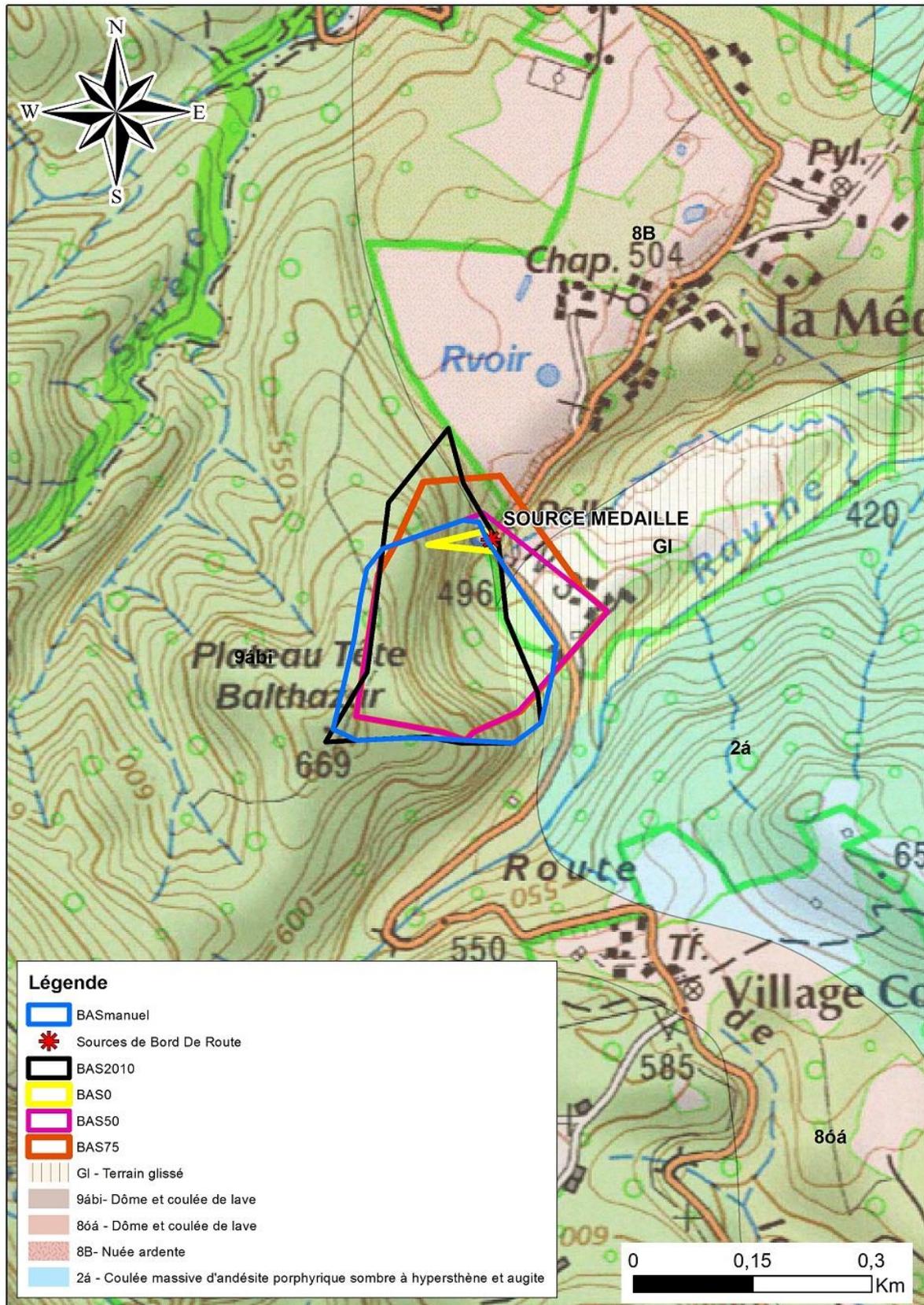
Le bassin d'alimentation retenu pour la source Roumeau à Bellefontaine est le BAS Manuel.



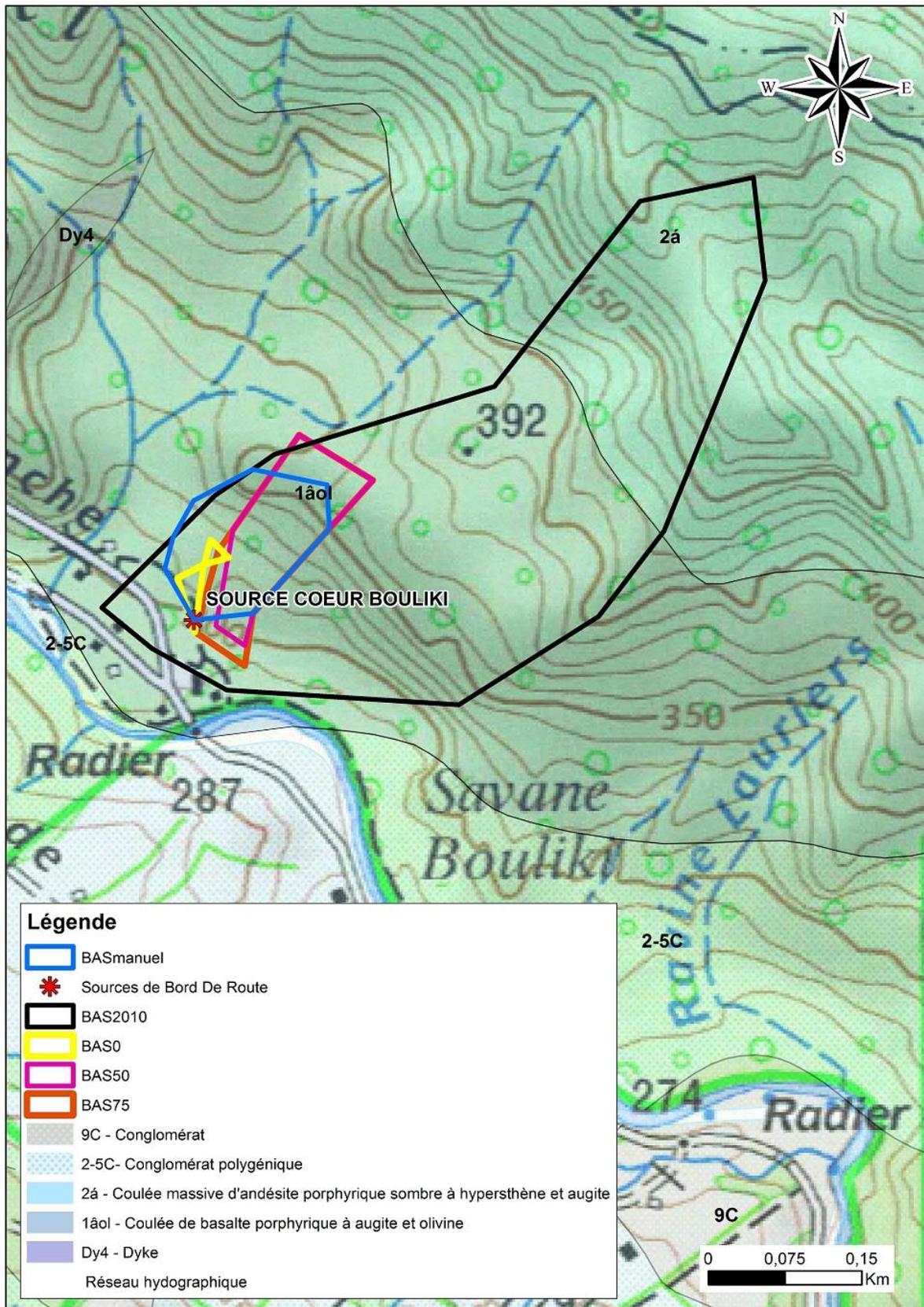
Le bassin d'alimentation retenu pour la source Dandam à Fond-Saint-Denis est le BAS 50.



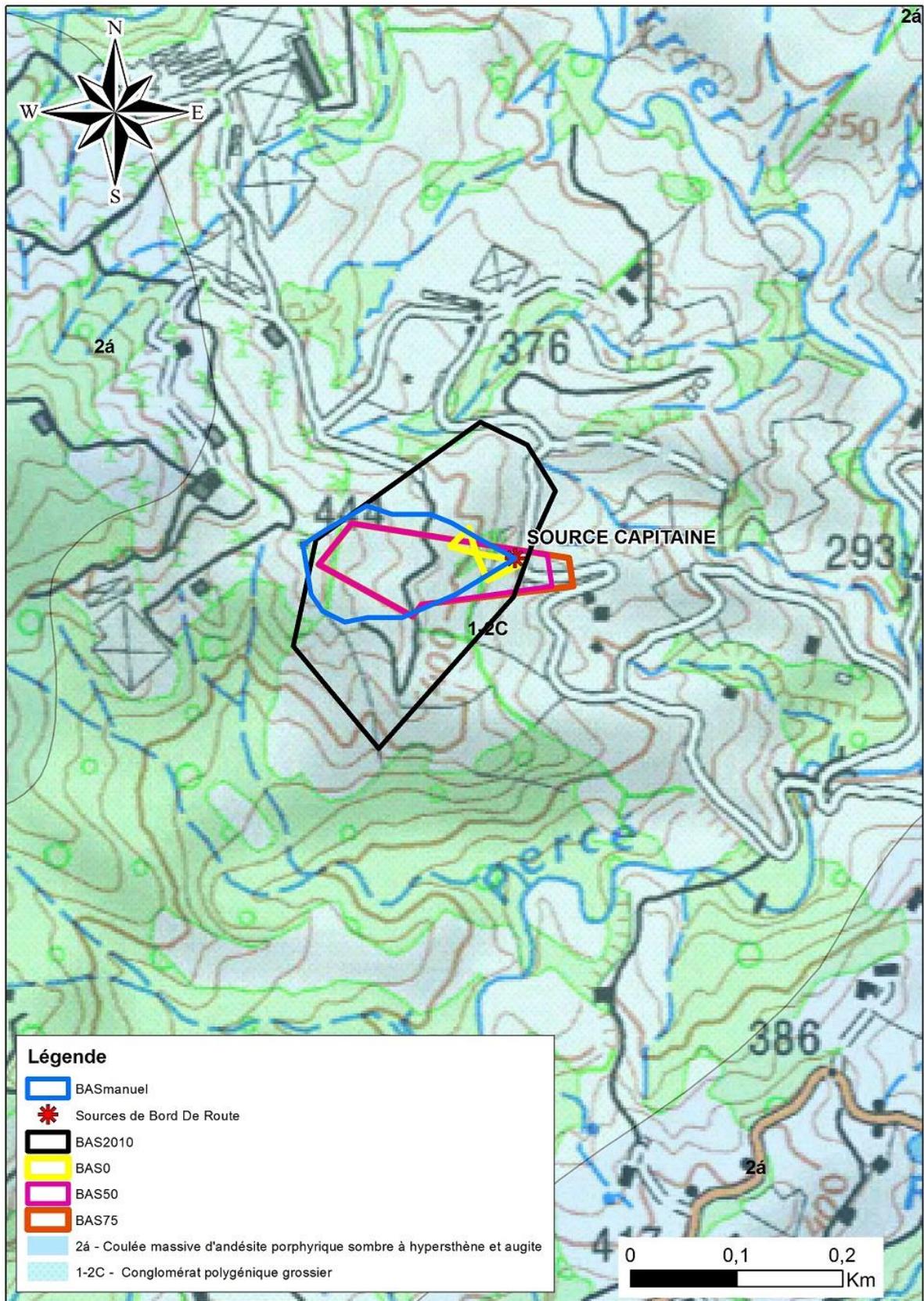
Le bassin d'alimentation retenu pour la source La Médaille à Fort-de-France est le BAS Manuel.



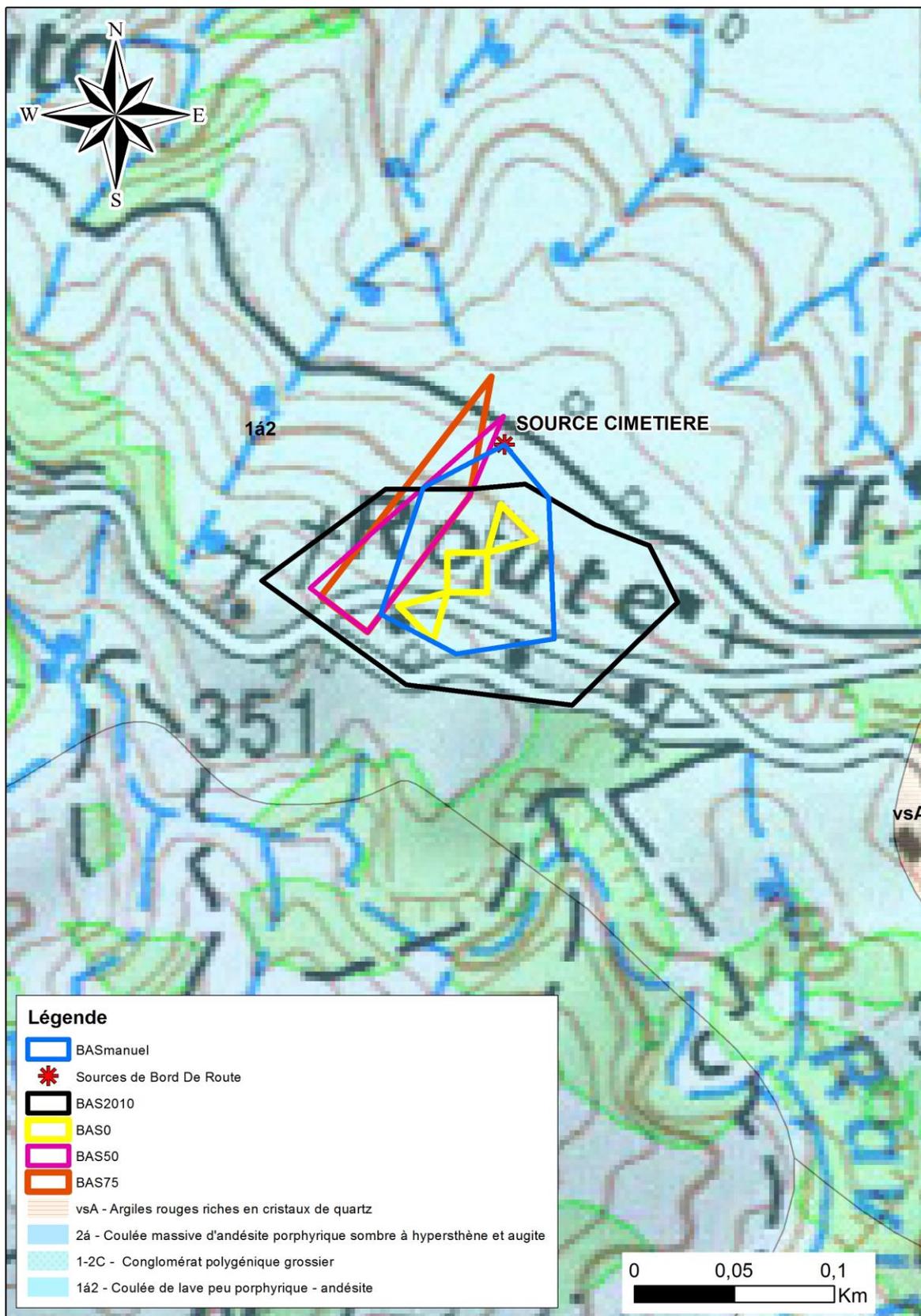
Le bassin d'alimentation retenu pour la source Cœur Bouliki à Saint-Joseph est le BAS Manuel.



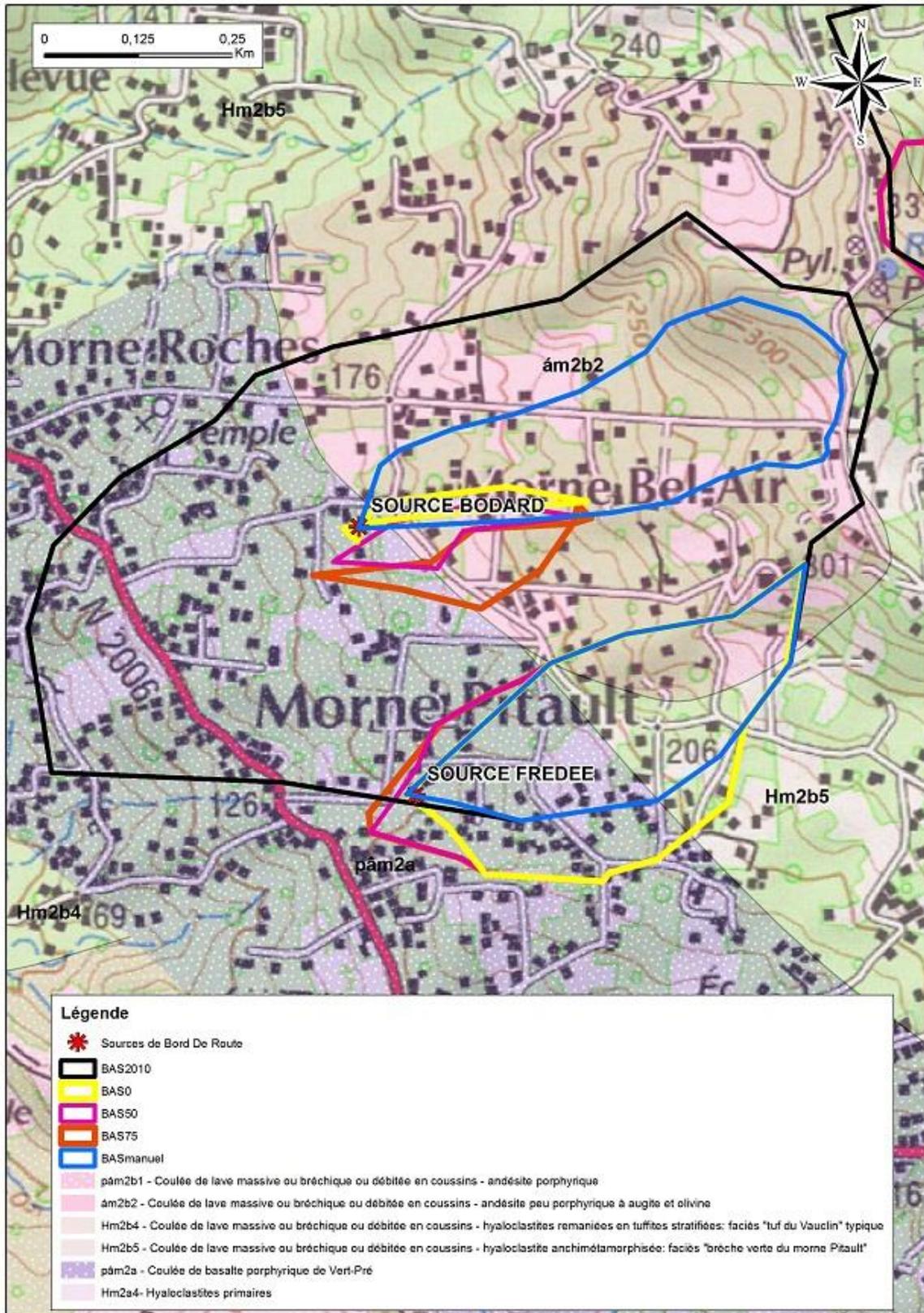
Le bassin d'alimentation retenu pour la source Capitaine au Gros-Morne est le BAS Manuel.



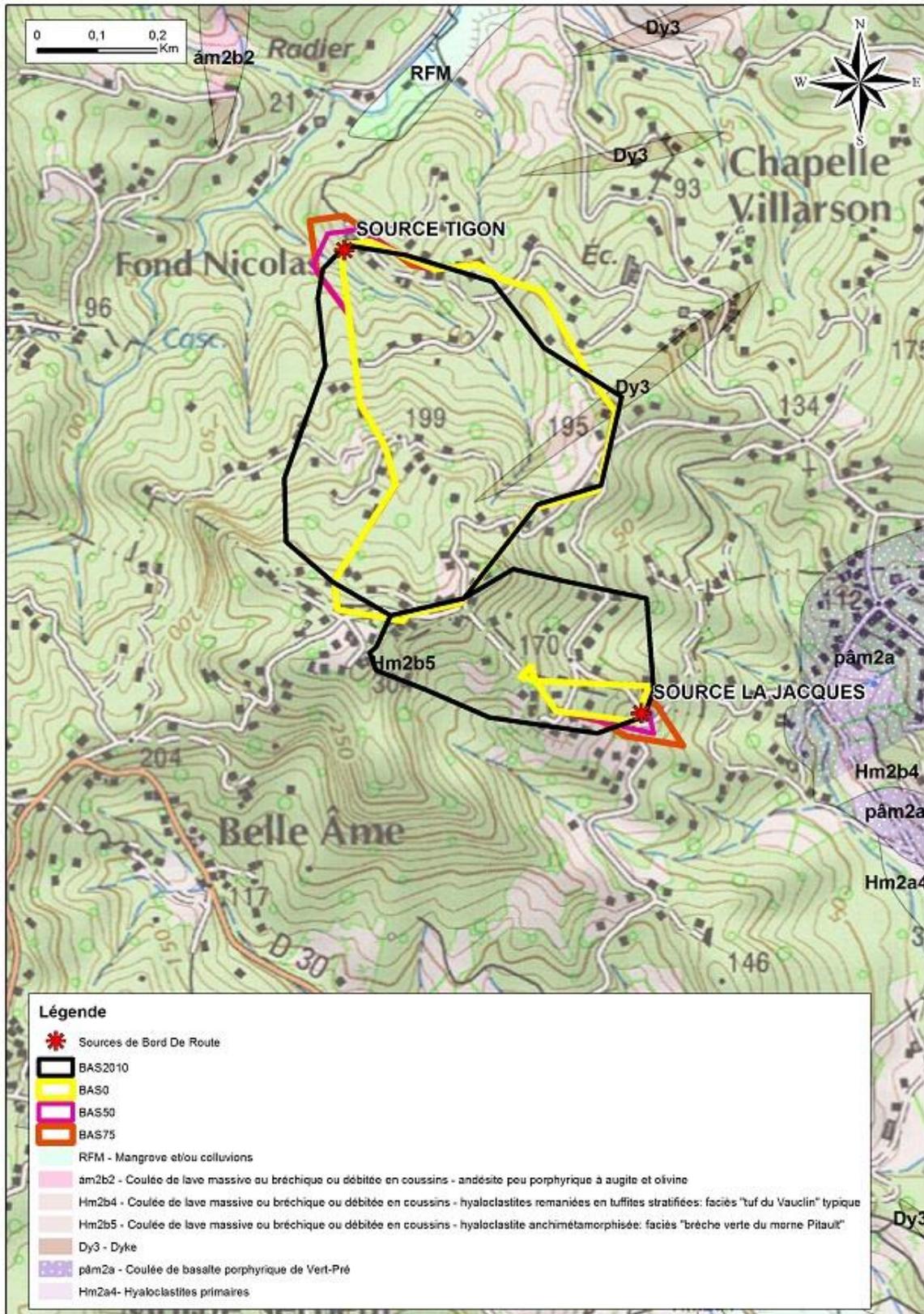
Le bassin d'alimentation retenu pour la source Cimetière à Sainte-Marie est le BAS Manuel.



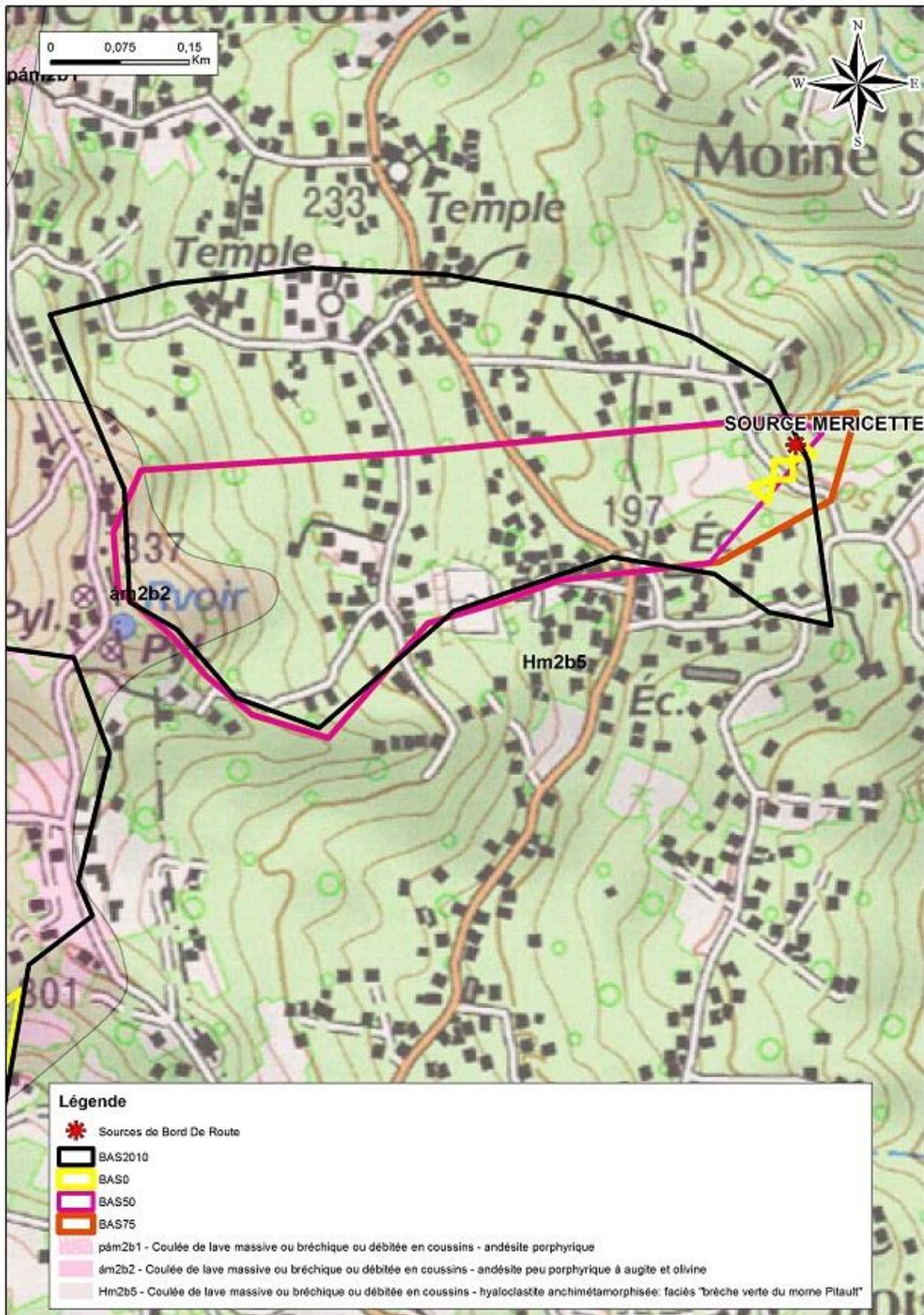
Les bassins d'alimentation retenus sont pour la source Frédée au Lamentin le BAS Manuel et pour la source Bodard au Lamentin le BAS Manuel.



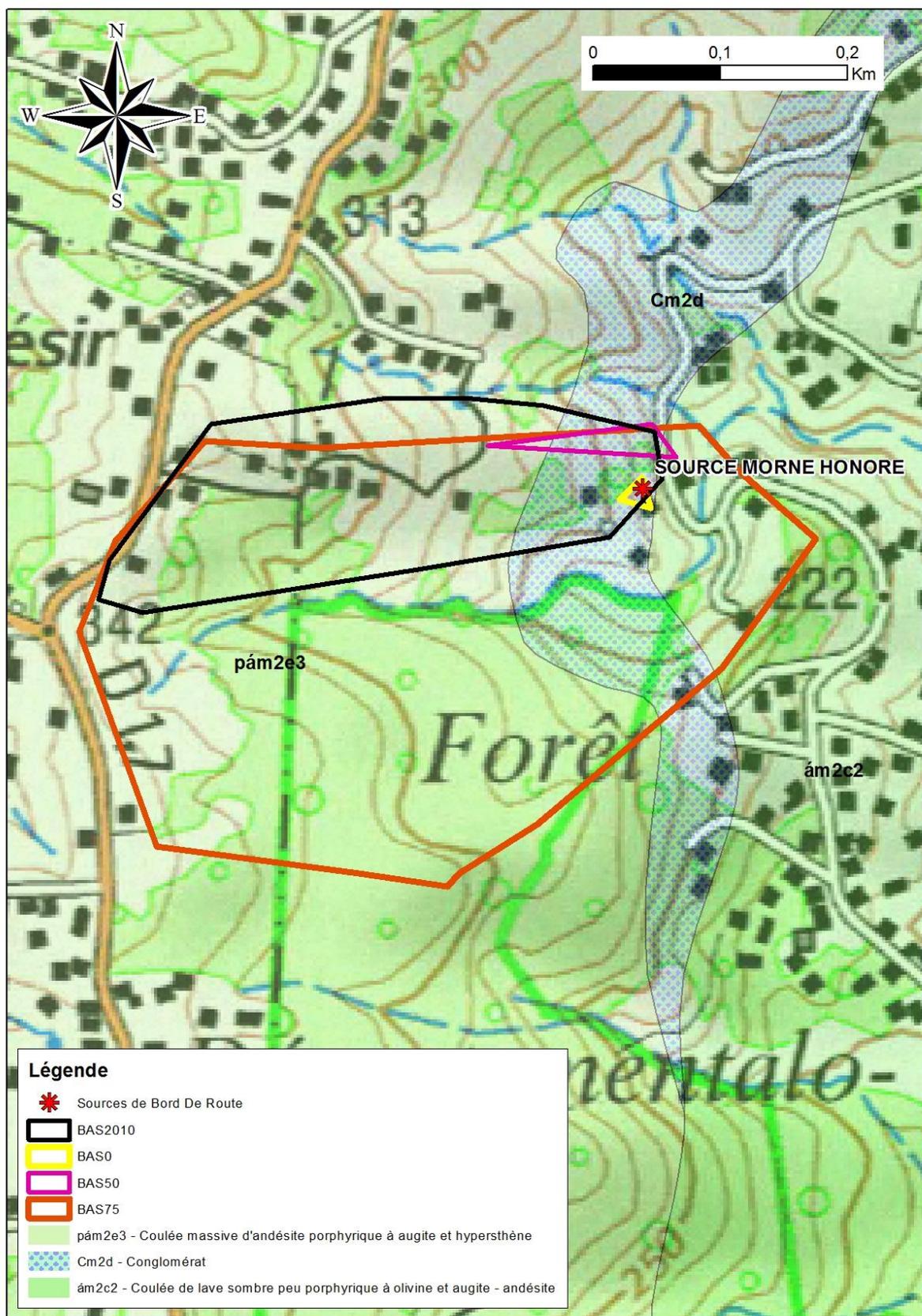
Les bassins d'alimentation retenus sont pour La Jacques au François le BAS 2010 et la source Tigon au Robert le BAS 0.



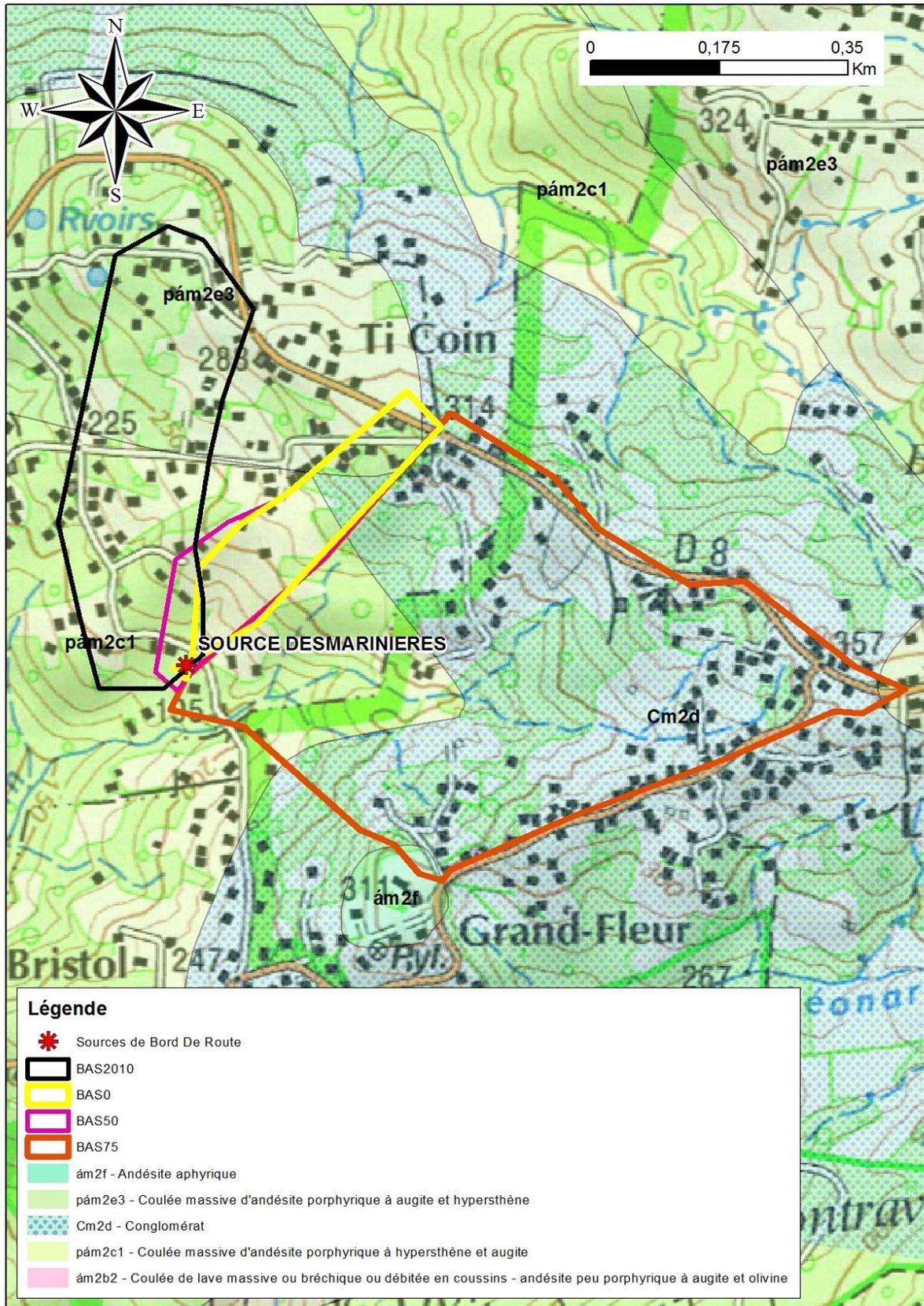
Le bassin d'alimentation retenu pour la source Méricette au François est le BAS 50.



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-Guillemin
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