

Mise en place d'un réseau de suivi des aquifères d'altitude de La Réunion (RAA)



Anli BOURHANE, Julien BONNIER, Valérie PAYET

Août 2017

Sommaire

1	Introduction.....	10
2	Présentation du réseau de suivi	11
3	La Plaine des Chicots et la planèze du Maido	13
3.1	La station 14013 Cascade Chaudron	14
3.1.1	Contexte géologique et hydrogéologique	14
3.1.2	Suivi des paramètres hydrogéologiques	15
3.1.3	Caractérisation hydrochimique.....	17
3.2	La station 14245 Bras Guillaume	18
3.2.1	Contexte géologique et hydrogéologique	18
3.2.2	Suivi des paramètres hydrogéologiques	19
3.2.3	Caractérisation hydrochimique.....	20
3.3	La station 16019 Bassin Malheur	21
3.3.1	Contexte géologique et hydrogéologique	21
3.3.2	Suivi des paramètres hydrogéologiques	22
3.3.3	Caractérisation hydrochimique.....	23
4	Le plateau de Bélouve et la plaine des Lianes	24
4.1	Contexte géologique et hydrogéologique du Trou de fer	25
4.2	La station 25800 Trou de fer – Bras de Caverne – Cassé 1	26
4.2.1	Suivi des paramètres hydrogéologiques	26
4.2.2	Caractérisation hydrochimique.....	27
4.3	La station 25806 Trou de fer – Bras de Caverne – Cassé 2	28
4.3.1	Suivi des paramètres hydrogéologiques	28
4.3.2	Caractérisation hydrochimique.....	29
4.4	La station 25801 Trou de fer – Bras de Caverne – Cassé 3	30
4.4.1	Suivi des paramètres hydrogéologiques	30
4.4.1	Caractérisation hydrochimique.....	31
4.5	La station 25802 Trou de fer – Ravine Mazerin – Cassé 3	32
4.5.1	Suivi des paramètres hydrogéologiques	32
4.5.1	Caractérisation hydrochimique.....	33

4.6	La station 26075 Bras Piton	34
4.6.1	Contexte géologique et hydrogéologique	34
4.6.2	Suivi des paramètres hydrogéologiques	35
4.6.1	Caractérisation hydrochimique	36
4.7	La station 26801 Bras des Lianes	37
4.7.1	Suivi des paramètres hydrogéologiques	37
4.7.1	Caractérisation hydrochimique	38
5	Le plateau de Bébour et la Plaine des Cafres	39
5.1	Contexte géologique et hydrogéologique de Bébour	40
5.2	La station 25803 Takamaka Marsouins Cassé 2	41
5.2.1	Suivi des paramètres hydrogéologiques	41
5.2.1	Caractérisation hydrochimique	42
5.3	La station 25804 Takamaka Marsouins source	43
5.3.1	Suivi des paramètres hydrogéologiques	43
5.3.2	Caractérisation hydrochimique	44
5.4	La station 25805 Takamaka Marsouins Cassé 3	45
5.4.1	Suivi des paramètres hydrogéologiques	45
5.4.1	Caractérisation hydrochimique	46
5.5	Hydrogéologie des sources du Bras de Sainte-Suzanne	47
5.6	La station 41014 Pont du Diable	48
5.6.1	Suivi des paramètres hydrogéologiques	48
5.6.1	Caractérisation hydrochimique	49
5.7	La station 41007 Hirondelles	50
5.7.1	Suivi des paramètres hydrogéologiques	50
5.7.1	Caractérisation hydrochimique	51
5.8	La station 41019 Edgar Avril	52
5.8.1	Suivi des paramètres hydrogéologiques	52
5.8.1	Caractérisation hydrochimique	53
6	Le massif du Piton de La Fournaise	54
6.1.1	Contexte géologique et hydrogéologique	54

6.2	La station 43016 Galerie de la Rivière de l'Est.....	57
6.2.1	Suivi des paramètres hydrogéologiques	57
6.2.1	Caractérisation hydrochimique.....	58
6.3	La station 46091 Cap Blanc – Ravine des Sept Bras.....	59
6.3.1	Suivi des paramètres hydrogéologiques	59
6.3.1	Caractérisation hydrochimique.....	60
6.4	La station 46078 Grand Galet	61
6.4.1	Suivi des paramètres hydrogéologiques	61
6.4.1	Caractérisation hydrochimique.....	62
6.5	La station 46005 Cazala	63
6.6	La station 44003 Anse des Cascades.....	64
6.6.1	Contexte géologique et hydrogéologique	64
6.6.1	Suivi des paramètres hydrogéologiques	65
6.6.2	Caractérisation hydrochimique.....	66
7	Synthèse des données disponibles	67
7.1	Suivi des paramètres hydrogéologiques	67
7.2	Caractérisation hydrochimique	68
7.2.1	Analyse des niveaux de minéralisation moyenne	68
7.2.2	Caractérisation des gammes de conductivités	69
7.2.3	Caractérisation des domaines hydrogéologiques.....	70
7.2.4	Analyse des éléments alcalins.....	71
7.2.5	Analyse des éléments alcalino-terreux	72
7.3	Perspectives	73
7.3.1.	Gestion et définition du réseau pérenne	73
7.3.2.	Valorisation des données.....	74
8	Références bibliographiques	75

Liste des figures

Figure 2.1 : Réseau de suivi des aquifères d'altitude de La Réunion.	11
Figure 3.1 : Localisation des stations instrumentées dans le secteur Nord-Ouest	13
Figure 3.2 : Contexte géologique et hydrogéologique de la Cascade Chaudron	14
Figure 3.3 : Suivi des paramètres hydrogéologiques à la Cascade Chaudron depuis 2008	15
Figure 3.4 : Suivi des paramètres hydrogéologiques à la Cascade Chaudron depuis 2013	16
Figure 3.5 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 14013 Cascade Chaudron	17
Figure 3.6 : Coupe géologique de la galerie du Bras Guillaume (Daesslé et Pommé, 1987)	18
Figure 3.7 : Suivi des paramètres hydrogéologiques à la galerie Bras Guillaume.....	19
Figure 3.8 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 14245 Galerie Bras Guillaume ...	20
Figure 3.9 : Coupe géologique transversale interprétative de la Ravine Saint-Gilles, selon Join et Coudray (1992).	21
Figure 3.10 : Suivi des paramètres hydrogéologiques au Bassin Malheur	22
Figure 3.11 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 16019 Bassin Malheur	23
Figure 4.1 : Localisation des stations d'observation à Bélouve et Plaine des Lianes	24
Figure 4.2 : Coupe longitudinale du Bras de Caverne et observations géologiques d'après Antéa (2004)	25
Figure 4.3 : Suivi des paramètres hydrogéologiques au Bras de Caverne - Cassé 1.....	26
Figure 4.4 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 25800 Bras de Caverne cassé 1.	27
Figure 4.5 : Suivi des paramètres hydrogéologiques au Bras de Caverne - Cassé 2.....	28
Figure 4.6 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 25806 Bras de Caverne cassé 2.	29
Figure 4.7 : Suivi des paramètres hydrogéologiques au Bras de Caverne - Cassé 3.....	30
Figure 4.8 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 25801 Bras de Caverne cassé 3.	31
Figure 4.9 : Suivi des paramètres hydrogéologiques à la Ravine Mazerin - Cassé 3.....	32
Figure 4.10 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 25802 Ravine Mazerin cassé 3.	33
Figure 4.11 : Typologie des émergences des principales sources du complexe aquifère Plateau de Mazerin - Trou Malais - Camp de Marseille, d'après Frissant et al., (2007)....	34
Figure 4.12 : Suivi des paramètres hydrogéologiques au Bras Piton	35
Figure 4.13 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 26075 Bras Piton	36
Figure 4.14 : Suivi des paramètres hydrogéologiques au Bras des Lianes	37
Figure 4.15 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 26801 Bras des Lianes	38
Figure 5.1 : Localisation des stations d'observation dans le secteur de Bébour	39
Figure 5.2 : Schéma conceptuel du fonctionnement hydrogéologique du plateau de Bébour, au droit de la Rivière des Marsouins à Takamaka, d'après ANTEA (2009).....	40

Figure 5.3 : Suivi des paramètres hydrogéologiques à la station 25803 Marsouins Cassé 2	41
Figure 5.4 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 25803 Marsouins cassé 2.....	42
Figure 5.5 : Suivi des paramètres hydrogéologiques à la station 25804 Marsouins source	43
Figure 5.6 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 25804 Marsouins Source	44
Figure 5.7 : Suivi des paramètres hydrogéologiques à Takamaka Marsouins Cassé 3	45
Figure 5.8 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 25805 Marsouins cassé 3.....	46
Figure 5.9 : Suivi des paramètres hydrogéologiques au Pont du Diable	48
Figure 5.10 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 41014 Pont du Diable.....	49
Figure 5.11 : Suivi des paramètres hydrogéologiques à la source des Hirondelles	50
Figure 5.12 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 41007 Hirondelles.....	51
Figure 5.13 : Suivi des paramètres hydrogéologiques à la source Edgar Avril	52
Figure 5.14 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 41019 Edgar Avril	53
Figure 6.1 : Coupes géologiques du massif de La Fournaise, d'après Join et al. (2005) ..	54
Figure 6.2 : Localisation des stations d'observation sur le massif de La Fournaise	55
Figure 6.3 : Carte piézométrique du massif de la Fournaise d'après Join et al. (2005) ...	56
Figure 6.4 : Suivi des paramètres hydrogéologiques à la galerie de la Rivière de l'Est ...	57
Figure 6.5 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 43016 Rivière de l'Est	58
Figure 6.6 : Suivi des paramètres hydrogéologiques à Cap Blanc - Ravine des Sept Bras	59
Figure 6.7 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 46091 Cap Blanc	60
Figure 6.8 : Suivi des paramètres hydrogéologiques à la cascade Grand Galet	61
Figure 6.9 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 46078 Grand Galet	62
Figure 6.10 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 46005 Source Cazala	63
Figure 6.11 : Distribution des débits des sources du massif de La Fournaise. La taille du point est proportionnelle au débit de la source. Les flèches colorées correspondent aux débits modélisés, la taille des flèches étant proportionnelle au débit (Join et al. 2005). Les flèches noires indiquent les sorties d'eau douce en mer repérées par thermographie infrarouge (Clerc et al. 1986).....	64
Figure 6.12 : Suivi des paramètres hydrogéologiques à l'Anse des Cascades.....	65
Figure 6.13 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 44003 Anse des Cascades.....	66
Figure 7.1 : Comparaison de la conductivité électrique des stations du réseau RAA.....	68
Figure 7.2 : Gammes de variation de la conductivité électrique sur les stations du réseau RAA. Les conductivités moyennes sont notées en blanc.	69
Figure 7.3 : Domaines hydrogéologiques des sources et galeries du réseau RAA.....	70
Figure 7.4 : Evolution des alcalins dans les sources et galeries du réseau RAA	71
Figure 7.5 : Evolution des alcalino-terreux dans les sources et galeries du réseau RAA..	72

Liste des tableaux

Tableau 2.1 : Sites instrumentés, masses d'eau associées et analyses chimiques réalisées	12
Tableau 5.1 : Débits moyens des principales sources du Bras de Sainte-Suzanne	47
Tableau 7.1 : Tableau de synthèse des données acquises sur le réseau RAA	73

Avant-propos

Les auteurs adressent leurs remerciements à Jean-Lambert Join et Valentin Wendling (Université de La Réunion) pour la relecture attentive du rapport et leurs nombreuses remarques sur le fond et la forme du document.

Photo de couverture : La Rivière Langevin à la Cascade Grand Galet © G. Victoire – Office de l'eau Réunion

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante : Bourhane A., Bonnier J., Payet V., (2017) Mise en place d'un réseau de suivi des aquifères d'altitude de La Réunion (RAA) – Office de l'eau Réunion. 76 pages.

© Ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse de l'Office de l'eau Réunion.

1 Introduction

Les besoins en eau dans les régions des Hauts de La Réunion sont amenés à croître dans les prochaines décennies parallèlement à la démographie (INSEE 2010)¹. Selon le dossier de presse du Département de La Réunion relatif à la nouvelle gouvernance des Hauts en date du 23/02/2015², ces territoires connaissent une démographie dynamique avec un taux de croissance annuel de 1,8 % (contre 1,5 % pour l'ensemble de l'île).

Ainsi, l'alimentation en eau potable de ces nouveaux habitants reste un défi pour les acteurs de l'aménagement du territoire. La prospection de nouvelles ressources en domaine d'altitude paraît indispensable afin de prévenir les déficits en eau et de planifier de façon plus adaptée les politiques de gestion des eaux. Par ailleurs, contrairement aux aquifères côtiers, ces ressources d'altitude présentent souvent une meilleure qualité chimique en raison de la rareté des pressions polluantes. Enfin, ces nappes d'altitude sont favorables à une distribution de l'eau de manière gravitaire et permettent ainsi une exploitation moins énergivore.

La présence d'un potentiel hydrogéologique intéressant dans ces régions a été confirmée par plusieurs études qui ont permis i) d'améliorer les connaissances géologiques et hydrogéologiques des aquifères d'altitude et ii) d'identifier les modalités d'exploitation de leurs ressources en eau souterraine (BRGM/RP-53865-FR, 2005³ ; BRGM/RP-55327-FR, 2007⁴ ; BRGM/RP-57185-FR, 2009⁵ ; BRGM/RP-59245-FR, 2012⁶).

Depuis 2013, l'Office de l'eau a instrumenté un réseau de suivi à haute fréquence des aquifères d'altitude (RAA). Ce réseau permet déjà de i) contrôler l'évolution temporelle de paramètres quantitatifs et qualitatifs et ii) d'améliorer la connaissance sur le fonctionnement hydrogéologique de ces hydro-systèmes. Le réseau expérimental mis en place est constitué de 20 points d'observation repartis de façon à acquérir des données représentatives de l'évolution de la ressource sur 6 secteurs stratégiques : le Nord-Ouest (Plaine des Chicots et plaine du Maido), le plateau de Bélouve, le plateau de Bébou, la Plaine des Lianes, la Plaine des Cafres et le Piton de la Fournaise.

L'élaboration d'un tel réseau s'intègre également dans la Directive cadre sur l'eau qui prévoit notamment le suivi de l'évolution des faciès géochimiques des eaux souterraines représentatives de différentes « unités aquifères ». A l'échelle de l'île, plusieurs phénomènes contribuent à l'acquisition des faciès hydro-chimiques des eaux souterraines. D'un point de vue géochimique, les eaux possèdent la signature :

- des précipitations,
- de l'interaction avec les sols puis avec les roches non saturées,
- des roches altérées,
- de l'hydrothermalisme,
- de la pollution anthropique.

Le présent rapport fait état des résultats de la phase expérimentale du suivi en continu des aquifères d'altitude. Les données présentées pour chaque station concernent les chroniques de hauteurs d'eau, de la température de l'eau et de la conductivité électrique. D'une manière générale, l'analyse des résultats obtenus dans les secteurs Nord et Ouest indique que les premiers événements pluvieux saisonniers induisent des phénomènes de remobilisation d'une eau souterraine ancienne, plus minéralisée. A l'inverse, les données des secteurs Est et Sud suggèrent globalement des infiltrations fréquentes d'eau douce météorique venant diluer régulièrement l'eau souterraine.

¹ http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?reg_id=24&ref_id=19421

² www.cg974.fr/index.php/Telecharger-document/Gouvernance-des-hauts.html

³ <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-53865-FR.pdf>

⁴ <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-55327-FR.pdf>

⁵ <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-57185-FR.pdf>

⁶ <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-59245-FR.pdf>

2 Présentation du réseau de suivi

Le réseau de suivi en continu et à haute fréquence des aquifères d'altitude de La Réunion (RAA) est composé de 20 stations de mesures réparties sur l'ensemble de l'île et permettant de suivre 11 systèmes aquifères (Figure 2.1).

Ces sites sont instrumentés à l'aide de sondes autonomes assurant des mesures automatiques multi-paramètres (pression atmosphérique et hydrostatique, température de l'air et de l'eau et conductivité électrique de l'eau). Le pas d'acquisition des données est fixé à 12 minutes sur l'ensemble du réseau. Sur les cartes de localisation, les stations d'observation sont désignées par leur code Office de l'eau.

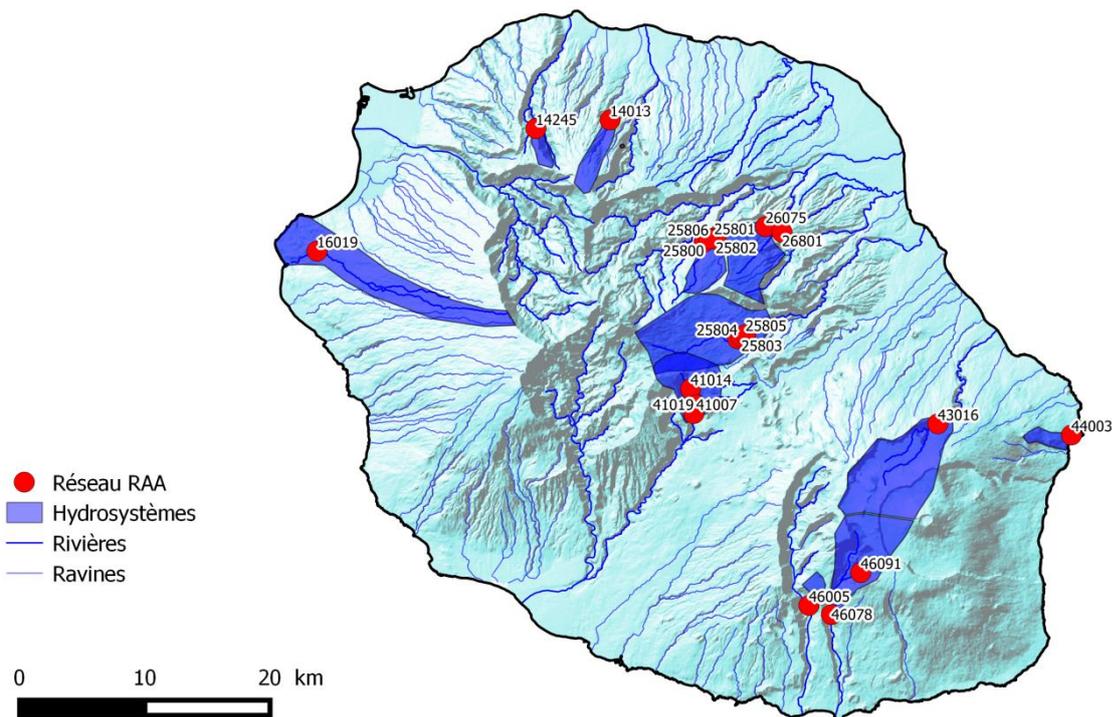


Figure 2.1 : Réseau de suivi des aquifères d'altitude de La Réunion.

Des prélèvements pour analyses chimiques sont également réalisés sur l'ensemble des sites en fin de saison des pluies (analyse des éléments majeurs sur toutes les stations) et à l'étiage (éléments majeurs sur toutes les stations et micropolluants pour 9 stations).

Le tableau suivant répertorie les sites instrumentés, les types d'analyses réalisés, les systèmes aquifères correspondant et les masses d'eau DCE concernées (Tableau 2.1).

Code Office	Hydro-système suivi	Masse d'eau DCE concernée	Nom de la station	Analyses	
16019	Planèze du Maido	LG111 - Formations aquitardes des brèches de Saint-Gilles	Bassin Malheur	EM	
14245	Plaine des Chicots	LG114 - Formations volcaniques de la Roche Ecrite - Plaine des Fougères	Bras Guillaume	EM	
14013			Cascade du Chaudron	EM+MP	
44003	Piton de la Fournaise	LG104 - Formations volcaniques du littoral de la Fournaise	Anse des Cascades	EM+MP	
22079	Plateau de Bélouve	LG115 - Formations volcaniques de Bélouve, Bébour et Plaine des Lianes	Bras de Caverne amont confluence Rivière du Mât	EM+MP	
25800			Bras de Caverne Cassé 1	EM	
25806			Bras de Caverne Cassé 2	EM	
25801			Bras de Caverne Cassé 3	EM	
25802			Ravine Mazerin Cassé 3	EM	
26075	Plaine des Lianes	LG115 - Formations volcaniques de Bélouve, Bébour et Plaine des Lianes	Bras Piton	EM+MP	
26801			Bras des Lianes	EM+MP	
25804	Plateau de Bébour	LG115 - Formations volcaniques de Bélouve, Bébour et Plaine des Lianes	Takamaka Marsouins Source	EM	
25803			Takamaka Marsouins Cassé 2	EM	
25805			Takamaka Marsouins Cassé 3	EM	
41007			LG119 - Formations volcaniques de la Plaine des Cafres et du Dimitile	Hirondelles	EM+MP
41014				Pont du Diable	EM
41019	Edgar Avril	EM			
43016	Piton de la Fournaise	LG117 - Formations volcaniques du massif sommital de la Fournaise	Galerie de la Rivière de l'Est	EM+MP	
46091			Cap Blanc - Ravine 7 Bras	EM	
46078			Cascade Grand Galet	EM+MP	
46005			Source Cazala	EM+MP	

EM : éléments majeurs
MP : micropolluants

Tableau 2.1 : Sites instrumentés, masses d'eau associées et analyses chimiques réalisées

Les analyses annuelles des micropolluants comprennent les pesticides, les hydrocarbures et les composés organiques volatils.

Les interprétations proposées se focalisent sur les aspects hydrodynamiques et physico-chimiques susceptibles de rendre compte du fonctionnement hydrogéologique des hydro-systèmes du domaine d'altitude.

3 La Plaine des Chicots et la planèze du Maido

Dans le secteur Nord-Ouest de l'île, trois stations d'observation ont été instrumentées en aval hydraulique de la Plaine des Chicots et la planèze du Maido :

- La Cascade Chaudron sur la Ravine Chaudron,
- Le Bras Guillaume sur la Rivière Saint-Denis,
- Le Bassin Malheur sur la Ravine Saint-Gilles.

Le comportement hydrogéologique observé sur ces sites se caractérise par une arrivée d'eau souterraine plus minéralisée consécutive aux premières précipitations marquant la saison des pluies.

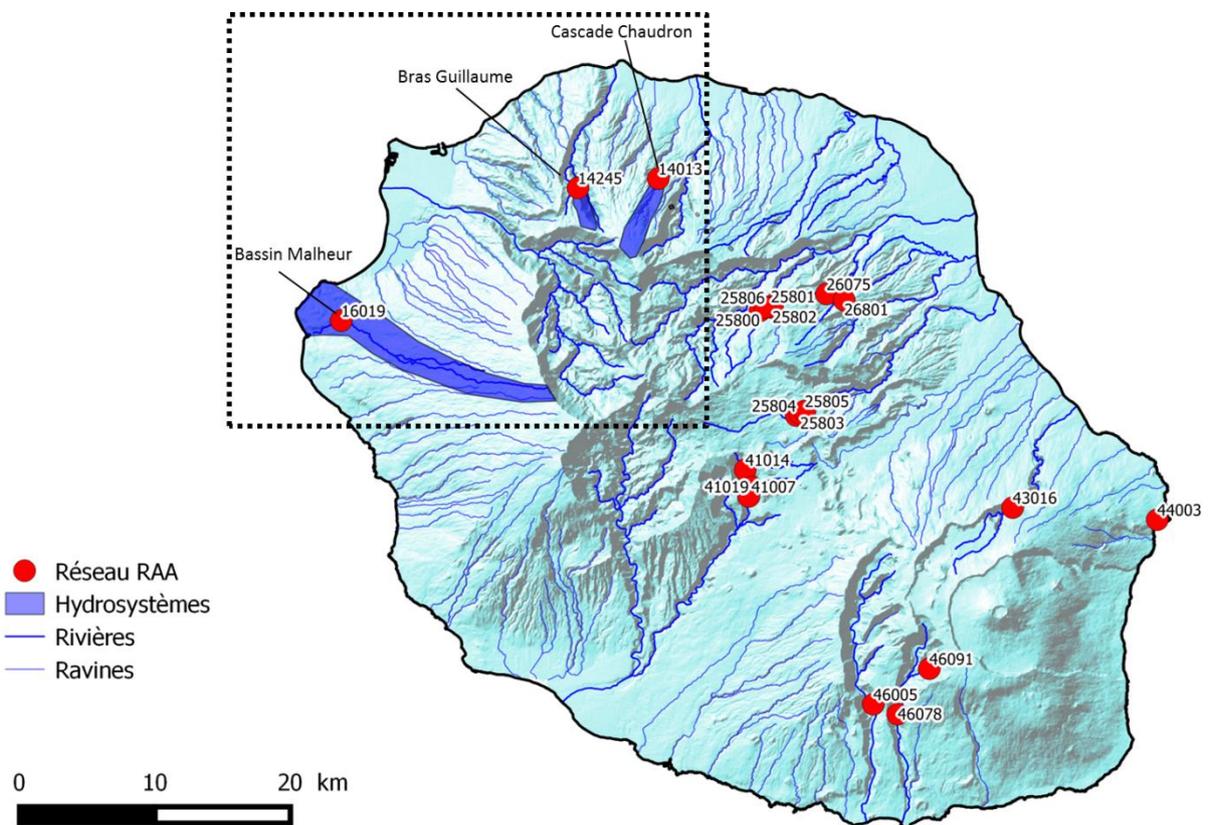


Figure 3.1 : Localisation des stations instrumentées dans le secteur Nord-Ouest

3.1 La station 14013 Cascade Chaudron

3.1.1 Contexte géologique et hydrogéologique

Le bassin versant situé à l'amont de la Cascade Chaudron s'étend sur les formations géologiques des phases II, III et IV du Piton des Neiges. D'après la notice de la carte géologique (BRGM), ces terrains se composent essentiellement de :

- basaltes aphyriques, basaltes à olivines et océanites qui se sont mis en place par empilements de bancs d'épaisseur décimétrique à métrique (phase II)
- basaltes différenciés : hawaïtes, mugéarites et tufs (phase III et IV).

La Ravine du Chaudron se trouve dans le Nord de l'île, sur la commune de Saint-Denis, à l'aval hydraulique de la Roche écrite et de la Plaine des Chicots. Elle prend sa source sur la plaine des Chicots à environ 1 900 mètres d'altitude. Son bassin versant est allongé et encaissé. Il est marqué par un à pic de 500 mètres de dénivelé qui fait passer le lit de la ravine de 900 m NGR à 400 m NGR au niveau de la Cascade Chaudron (Figure 3.2). Les sources de la Cascade Chaudron jaillissent au droit des formations géologiques de la phase II. Elles sont pérennes et leur débit d'étiage est supérieur à 100 L/s. Elles arrivent dans un bassin d'environ 40 mètres de diamètre situé à 400 m NGR d'altitude. D'après une mesure réalisée par l'Office de l'eau, la profondeur du bassin à l'aplomb du cassé est de 18 m. Le débit de débordement du bassin est capté par la ville de Saint-Denis pour l'alimentation en eau potable de la commune.

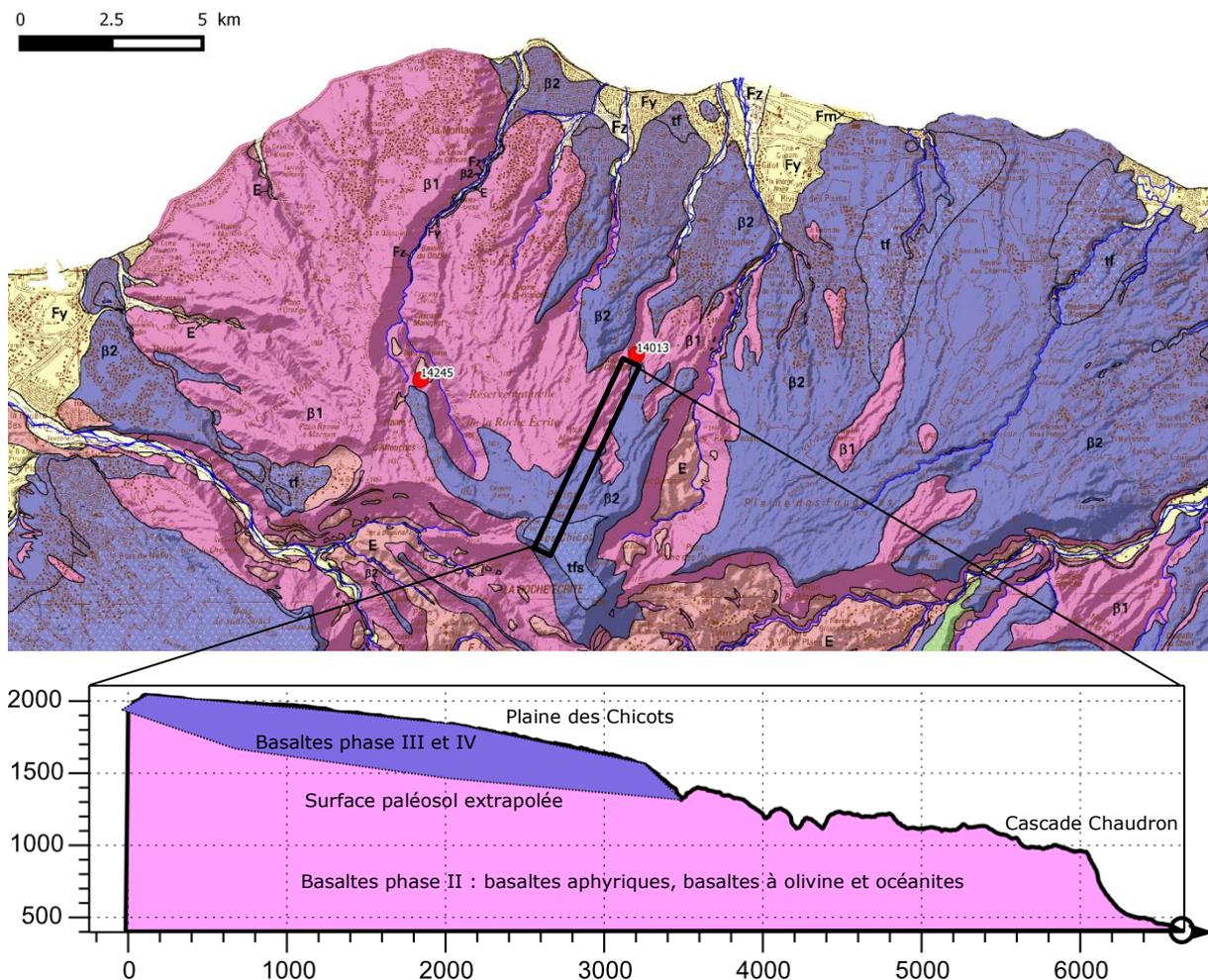


Figure 3.2 : Contexte géologique et hydrogéologique de la Cascade Chaudron

3.1.2 Suivi des paramètres hydrogéologiques

Le suivi du site de la Cascade Chaudron a commencé en 2007 dans le cadre du Projet ECSHY⁷ relatif à l'étude des circulations d'eau des systèmes hydriques des secteurs des hauts de Saint-Denis et de Sainte-Marie (Bonnier 2010).

Les observations réalisées dans le cadre du suivi des aquifères d'altitude depuis 2013 sont en continuité avec les résultats de l'étude précédente (Figure 3.3).

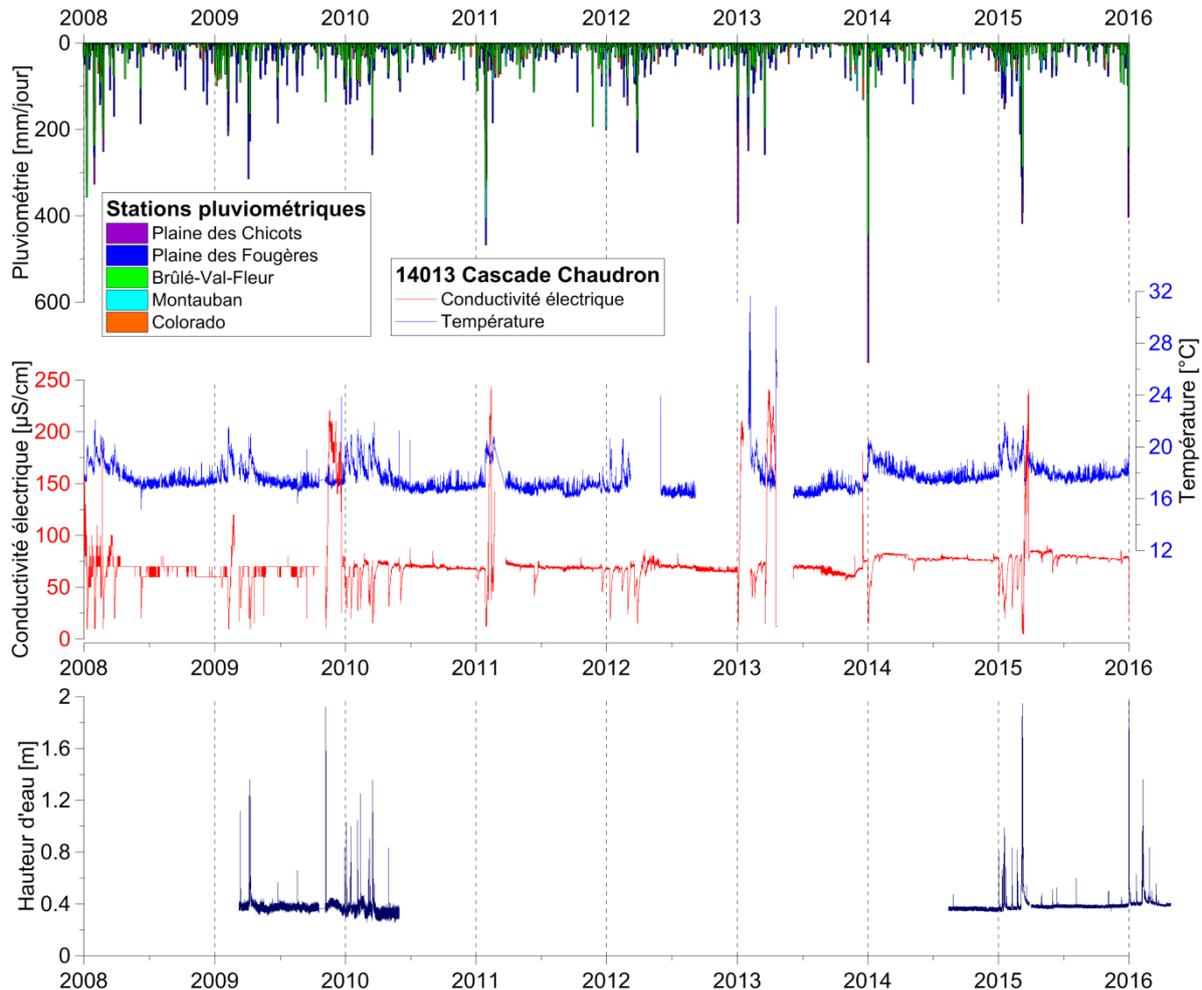


Figure 3.3 : Suivi des paramètres hydrogéologiques à la Cascade Chaudron depuis 2008

A l'échelle pluriannuelle, il apparaît une perturbation cyclique des paramètres quantitatifs et physico-chimiques de l'eau, en relation avec la pluviométrie. D'une façon générale, les événements pluviométriques majeurs induisent une infiltration rapide d'eau météorique qui provoque de manière chronologique :

- une augmentation de la hauteur d'eau dans le bassin en aval de la cascade,
- une baisse rapide de la conductivité électrique associée à un pic de température,
- un pic plus ou moins tardif de la conductivité électrique.

⁷ http://www.eaureunion.fr/fileadmin/user_upload/Etudes/ETUDE_00730.PDF

La baisse de conductivité associée au pic de température exprime le ruissellement rapide de l'eau météorique. L'augmentation de la conductivité électrique de l'eau traduit une augmentation de la minéralisation. Cette dernière observation suggère une arrivée d'eau souterraine plus ancienne, ayant séjourné plus longuement dans l'encaissant basalitique, de manière à pouvoir acquérir une minéralisation plus importante par enrichissement progressif en éléments dissous. Ce volume d'eau stocké dans le réservoir géologique serait alors régulièrement remobilisé sous la pression de l'infiltration de l'eau météorique en début de saison des pluies.

L'analyse des données à l'échelle annuelle montre que ce comportement hydrogéologique est observé uniquement durant les épisodes pluvieux les plus marquants de la saison des pluies (Figure 3.4).

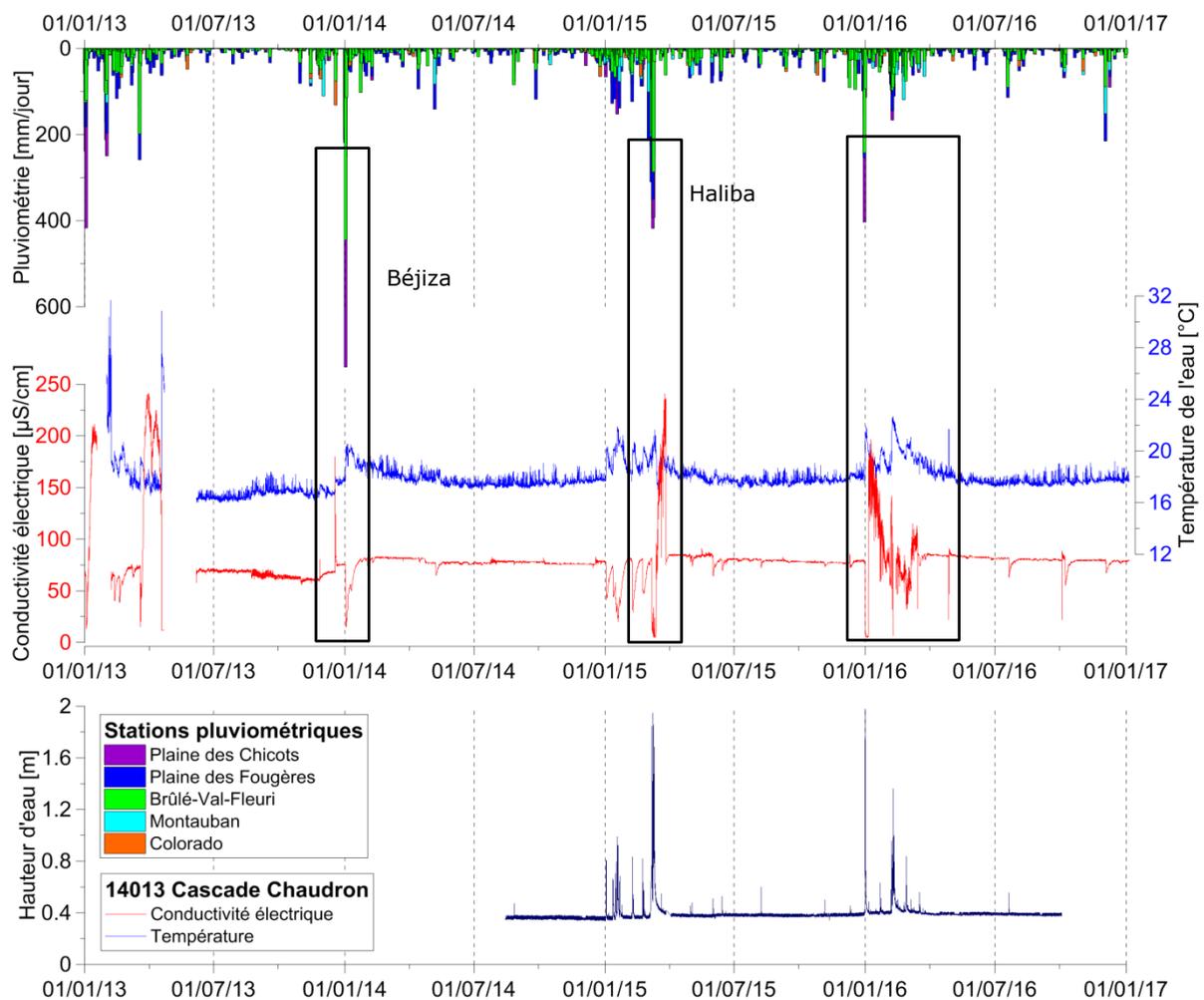


Figure 3.4 : Suivi des paramètres hydrogéologiques à la Cascade Chaudron depuis 2013

3.1.3 Caractérisation hydrochimique

Les analyses chimiques réalisées sur ce site indiquent une eau à faciès hydrochimique bicarbonaté calcique et magnésien (Figure 3.5). Cette signature chimique traduit une forte interaction avec l'encaissant géologique, probablement associée à un temps de résidence relativement long. Le faciès ne montre pas d'évolution significative dans le temps. En revanche, des variations légères peuvent être observées dans les teneurs en chlorures et sulfates.

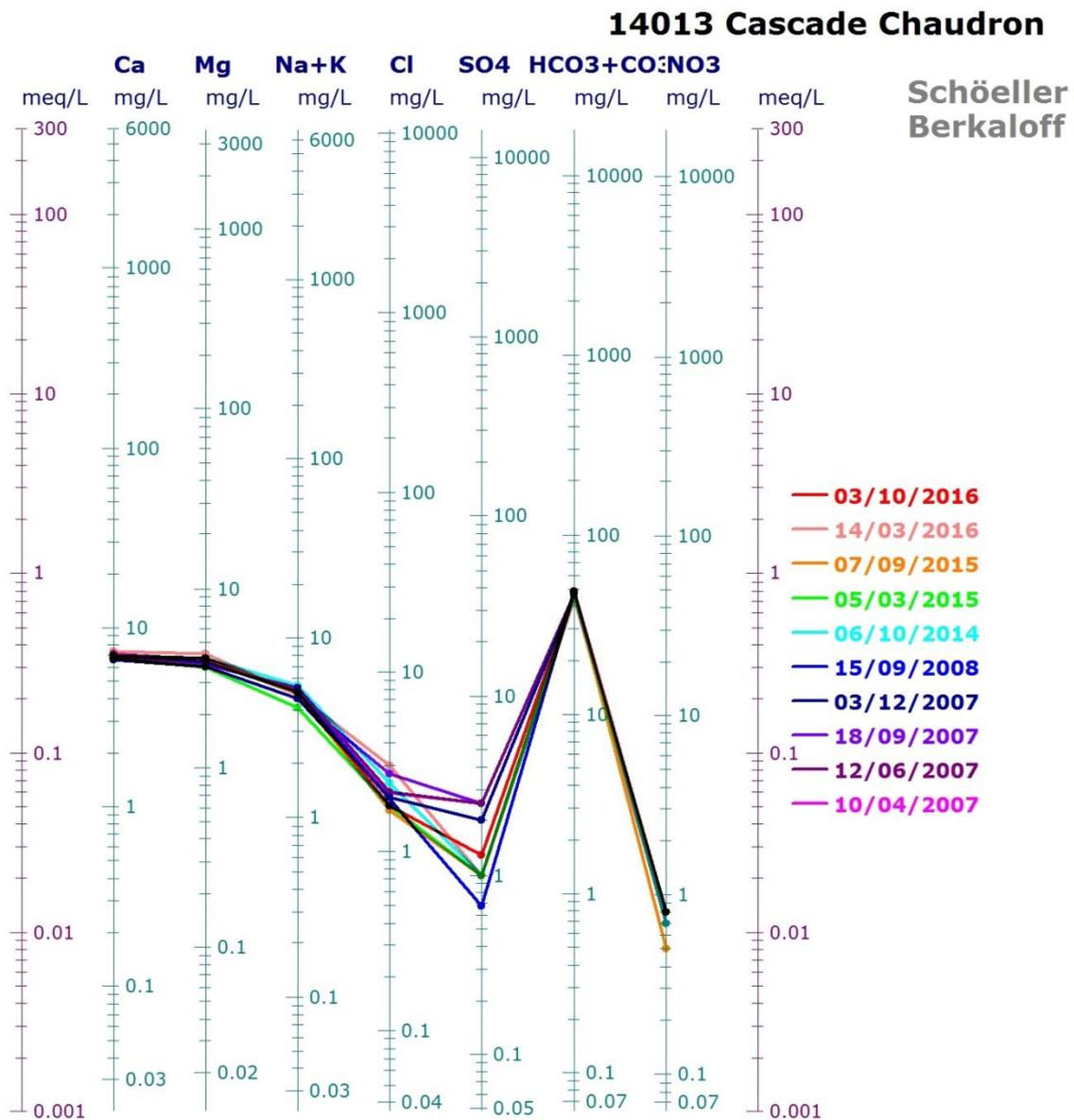


Figure 3.5 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 14013 Cascade Chaudron

3.2 La station 14245 Bras Guillaume

3.2.1 Contexte géologique et hydrogéologique

Le bassin versant de la galerie du Bras Guillaume recoupe des formations basaltiques et des tufs pyroclastiques des phases II et IV du Piton des Neiges (Figure 3.6). La structure de ces formations est caractérisée par des intercalations d'horizons massifs et scoriacés. Selon les observations de Daesslé et Pommé (1987), les coulées de laves rencontrées dans la galerie se composent chronologiquement par :

- une série de basaltes zéolitisés, observables dans le lit de la Rivière Saint-Denis et du Bras Guillaume,
- une épaisse série de basaltes massifs à phénocristaux d'olivine (phase II), et
- un recouvrement de tufs pyroclastiques.

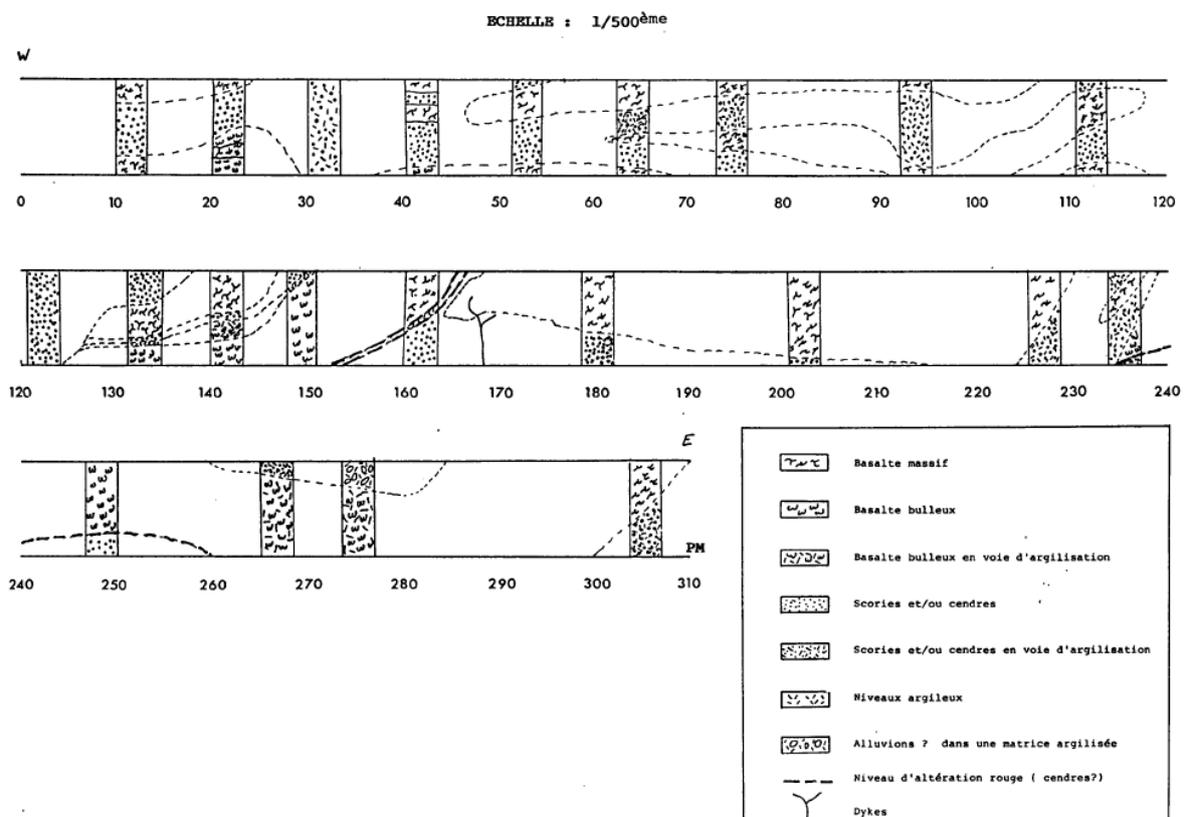


Figure 3.6 : Coupe géologique de la galerie du Bras Guillaume (Daesslé et Pommé, 1987)

Les formations basaltiques de la zone étudiée comprennent aussi une intense fracturation à grande échelle. Les directions majeures de ces fracturations (N25, N120 et N150) correspondent à des zones d'extension (ouverture fissurale) avec remplissage par injection de dykes. Une éventuelle extension en profondeur de ces fracturations n'a pas été prouvée. Néanmoins, cette hypothèse laisse présager la présence de zones de drainance, d'alimentation ou de circulation préférentielle des eaux souterraines.

3.2.2 Suivi des paramètres hydrogéologiques

La station du Bras Guillaume fait l'objet d'un suivi en continu depuis décembre 2013. L'acquisition des données se fait avec la collaboration de Véolia dont les agents interviennent régulièrement sur le captage d'eau potable implanté au niveau du site.

Les observations réalisées sur ce site confirment un comportement hydrogéologique similaire à celui décrit précédemment. A l'instar des résultats obtenus sur la Cascade Chaudron, les données recueillies au Bras Guillaume suggèrent que l'infiltration des précipitations enregistrées sur la Plaine des Chicots provoque une mise en circulation d'eau plus évoluée chimiquement. Cependant, une décharge en deux temps peut être observée au Bras Guillaume suite aux événements pluvieux de mars 2015 associés à la tempête tropicale Haliba (Figure 3.7) :

- un premier pic rapide de température et de conductivité électrique intervient dans la même semaine que les précipitations (la semaine du 9 mars).
- un deuxième pic de température et de conductivité électrique est enregistré deux semaines après les précipitations (à partir du 1^{er} avril). Ce pic tardif est plus étalé dans le temps et s'exprime sur plusieurs mois.
- cette dernière observation suggère la présence d'un milieu souterrain à double porosité permettant l'évacuation de la recharge en deux temps.
- la même observation peut être faite suite aux précipitations du 1^{er} janvier 2016.

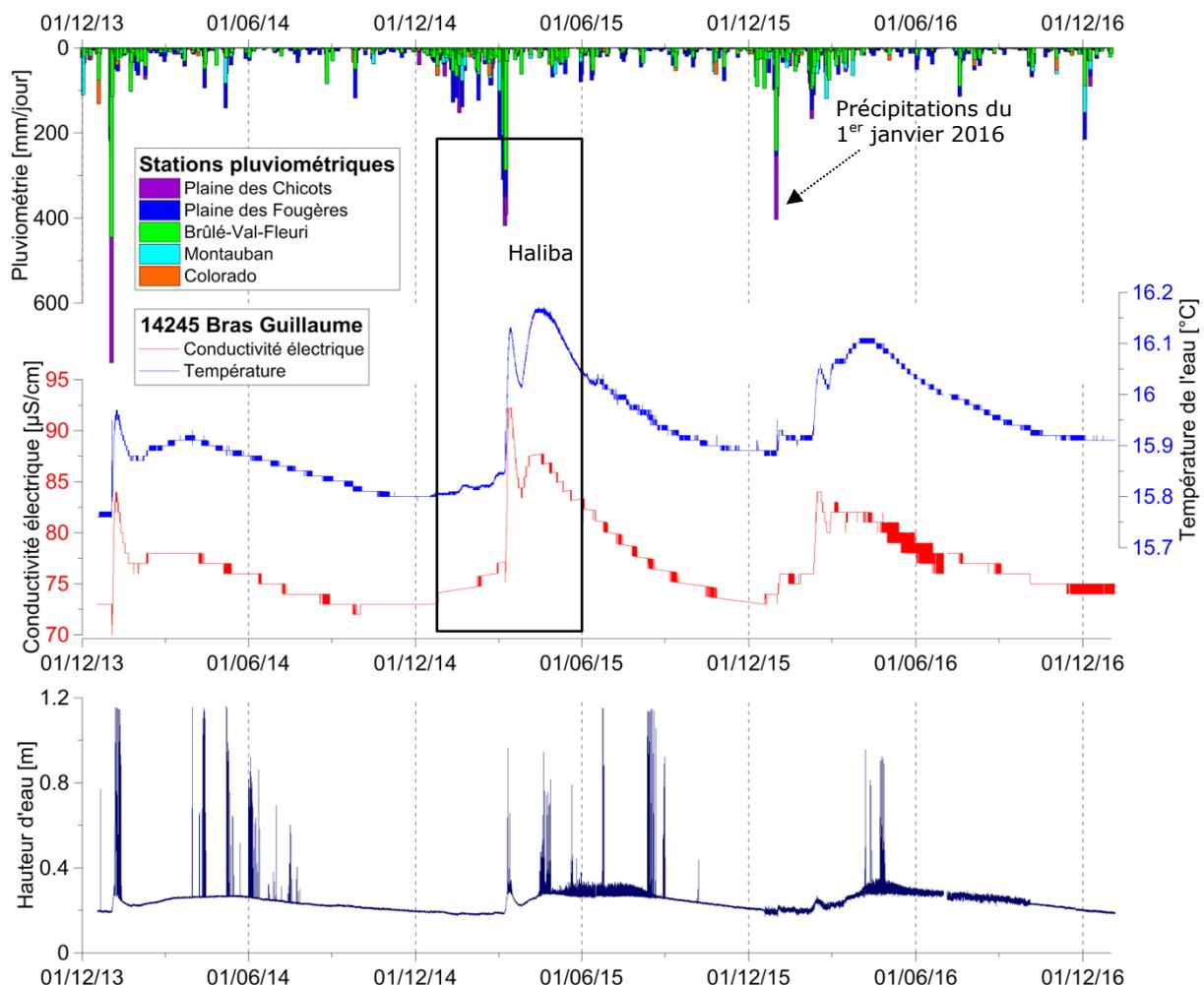


Figure 3.7 : Suivi des paramètres hydrogéologiques à la galerie Bras Guillaume

3.2.3 Caractérisation hydrochimique

Les analyses chimiques réalisées sur ce site indiquent une eau à faciès hydrochimique bicarbonaté magnésien et calcique, évoluant très peu dans le temps (Figure 3.8). Cette signature chimique supporte ici l'hypothèse d'un temps de résidence suffisamment long pour mettre en solution les cations Calcium et Magnésium. Une légère augmentation des sulfates et nitrates peut être observée depuis 1987 : entre 1987 et 2015, les teneurs en sulfates et nitrates passent respectivement de 0.5 à 2.5 mg/L et de 0.2 à 1.5 mg/L. A l'échelle annuelle, les teneurs en sulfates semblent plus élevées après la période des pluies que durant l'été (voir les analyses de 2015). Cette tendance n'a pas été observée dans l'évolution temporelle des teneurs en nitrates.

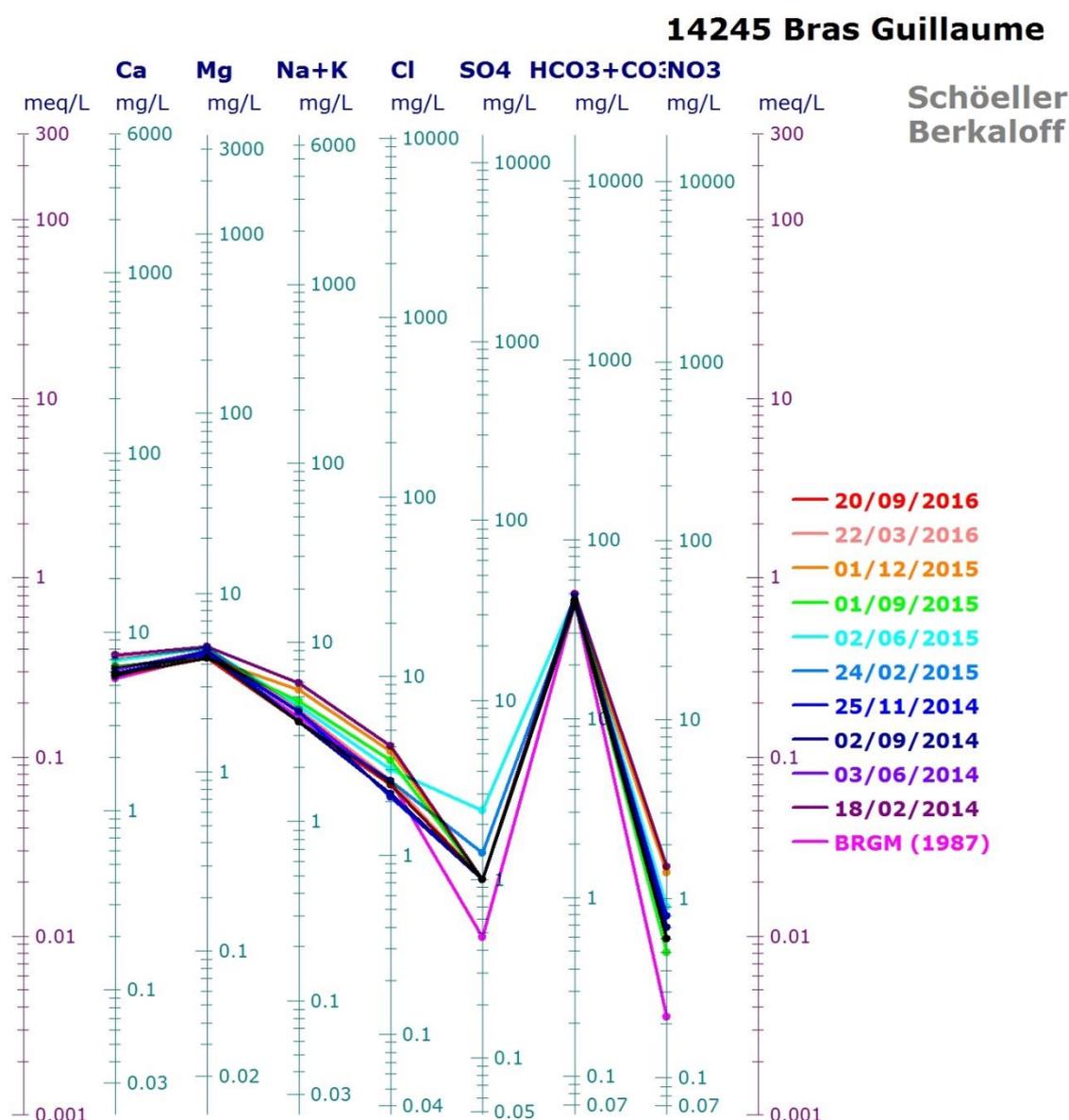


Figure 3.8 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 14245 Galerie Bras Guillaume

3.3 La station 16019 Bassin Malheur

3.3.1 Contexte géologique et hydrogéologique

Les formations géologiques rencontrées dans ce secteur appartiennent au massif du Piton des Neiges et comprennent :

- des coulées de laves anciennes constituées de basaltes à olivines et d'océanites (phase II),
- les brèches d'avalanches de débris de Saint-Gilles (Bret et al. 2003),
- des coulées de laves récentes plus différenciées (phase III), et
- des épandages de tufs pyroclastiques (phase IV).

Les brèches d'avalanches de débris sont peu perméables comparées aux formations laviques. Elles contribuent de par leur nature imperméable aux émergences du bassin Malheur et du bassin des Aigrettes dans la Ravine de Saint-Gilles (Join and Coudray 1992).

Les reconnaissances géologiques réalisées par Join et Coudray (1992) ont montré que les écoulements se produisaient à la base des formations laviques, dans les formations d'océanites (phase II) remplissant le lit de la paléo-vallée creusée dans les brèches (ou tufs de Saint-Gilles). Ces formations de remplissage constituent l'aquifère principal alimentant les sources de la Ravine Saint-Gilles.

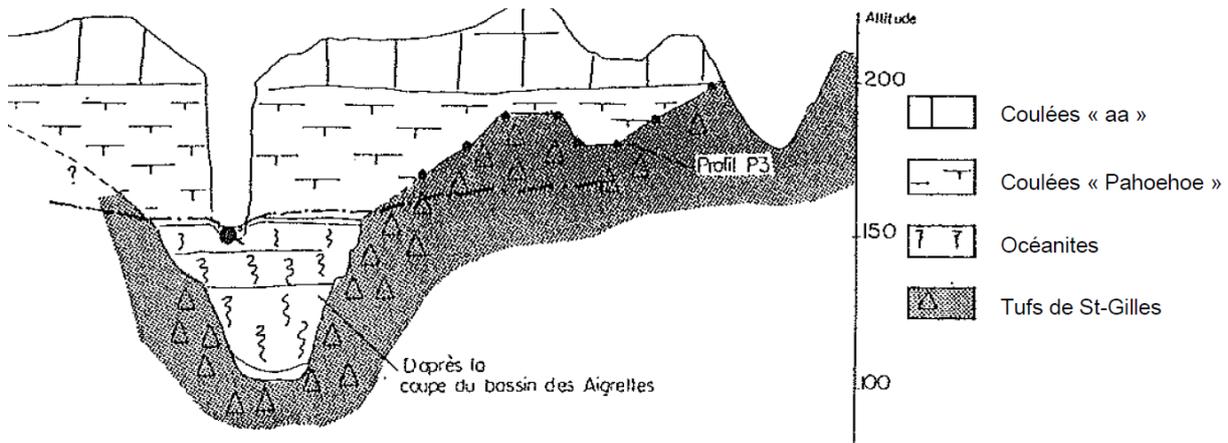


Figure 3.9 : Coupe géologique transversale interprétative de la Ravine Saint-Gilles, selon Join et Coudray (1992).

3.3.2 Suivi des paramètres hydrogéologiques

La station d'observation du Bassin Malheur (Ravine Saint-Gilles) est instrumentée depuis septembre 2013. La ressource surveillée au droit de ce site est également exploitée pour l'alimentation en eau potable.

Les observations réalisées au Bassin Malheur sont accord avec les résultats obtenus sur les deux stations précédentes. Les précipitations les plus importantes survenues sur la planèze du Maïdo en 2014, 2015 et 2016 génèrent un comportement hydrogéologique similaire à celui décrit précédemment, à savoir :

- une baisse rapide de la conductivité électrique induite par l'infiltration rapide d'eau de pluie associée à un pic de température de l'eau.
- un pic de conductivité électrique plus ou moins tardif exprimant la remobilisation d'une eau souterraine plus minéralisée stockée dans le massif (Figure 3.10).

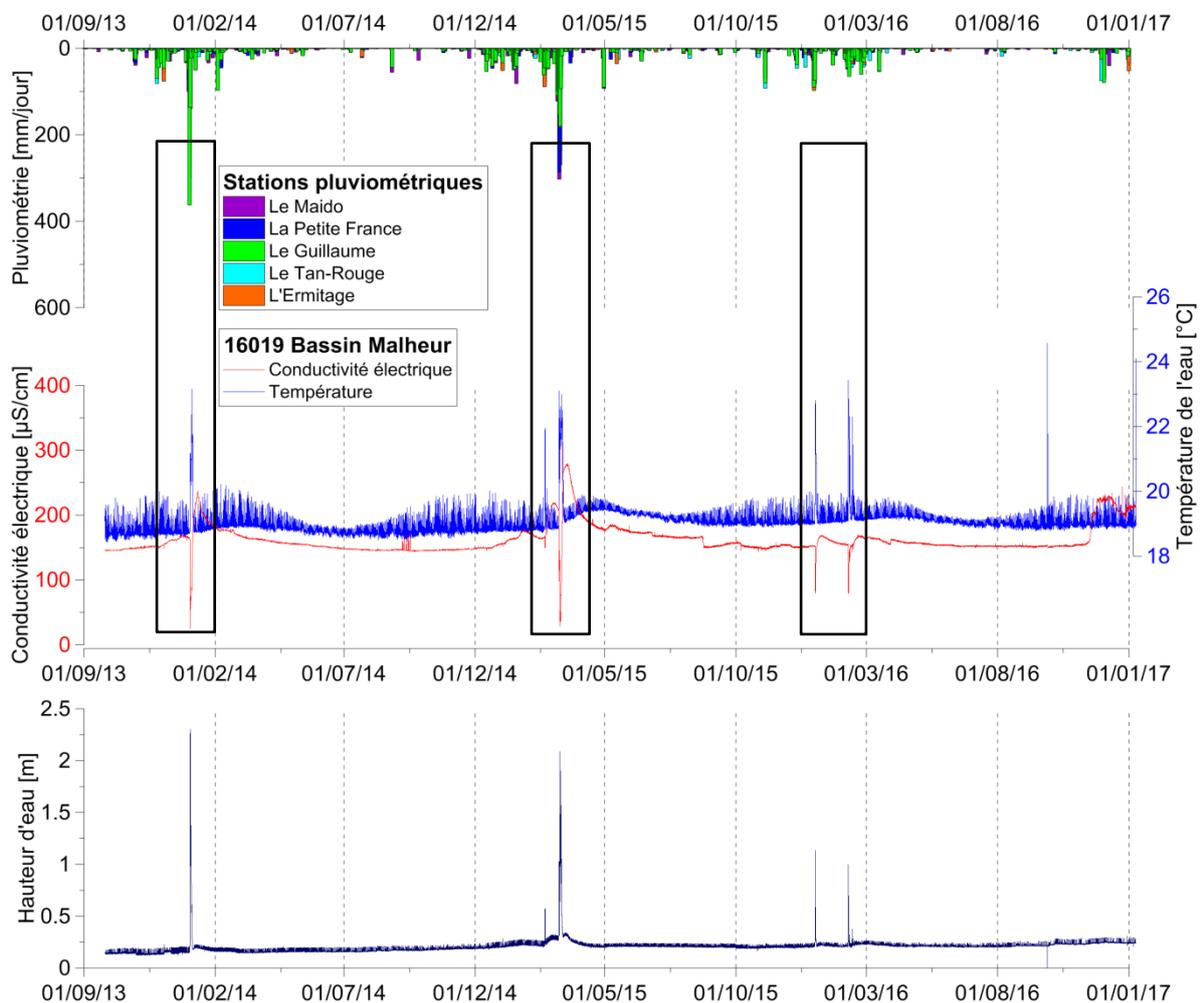


Figure 3.10 : Suivi des paramètres hydrogéologiques au Bassin Malheur

En somme, les trois stations d'observation du secteur Nord-Ouest affichent un comportement hydrogéologique similaire caractérisé par une remobilisation d'eau souterraine plus minéralisée en saison des pluies. Les stocks d'eau souterraine dans cette région moins arrosée seraient donc renouvelés en grande partie par ces événements hydro-climatiques saisonniers.

3.3.3 Caractérisation hydrochimique

Les analyses chimiques réalisées sur ce site indiquent une eau à faciès hydrochimique bicarbonaté sodique. La période allant de 1998 à 2015 semble marquée par :

- un faible enrichissement des éléments Na, K, Cl, SO₄, HCO₃ et NO₃ ;
- un léger appauvrissement du magnésium Mg.

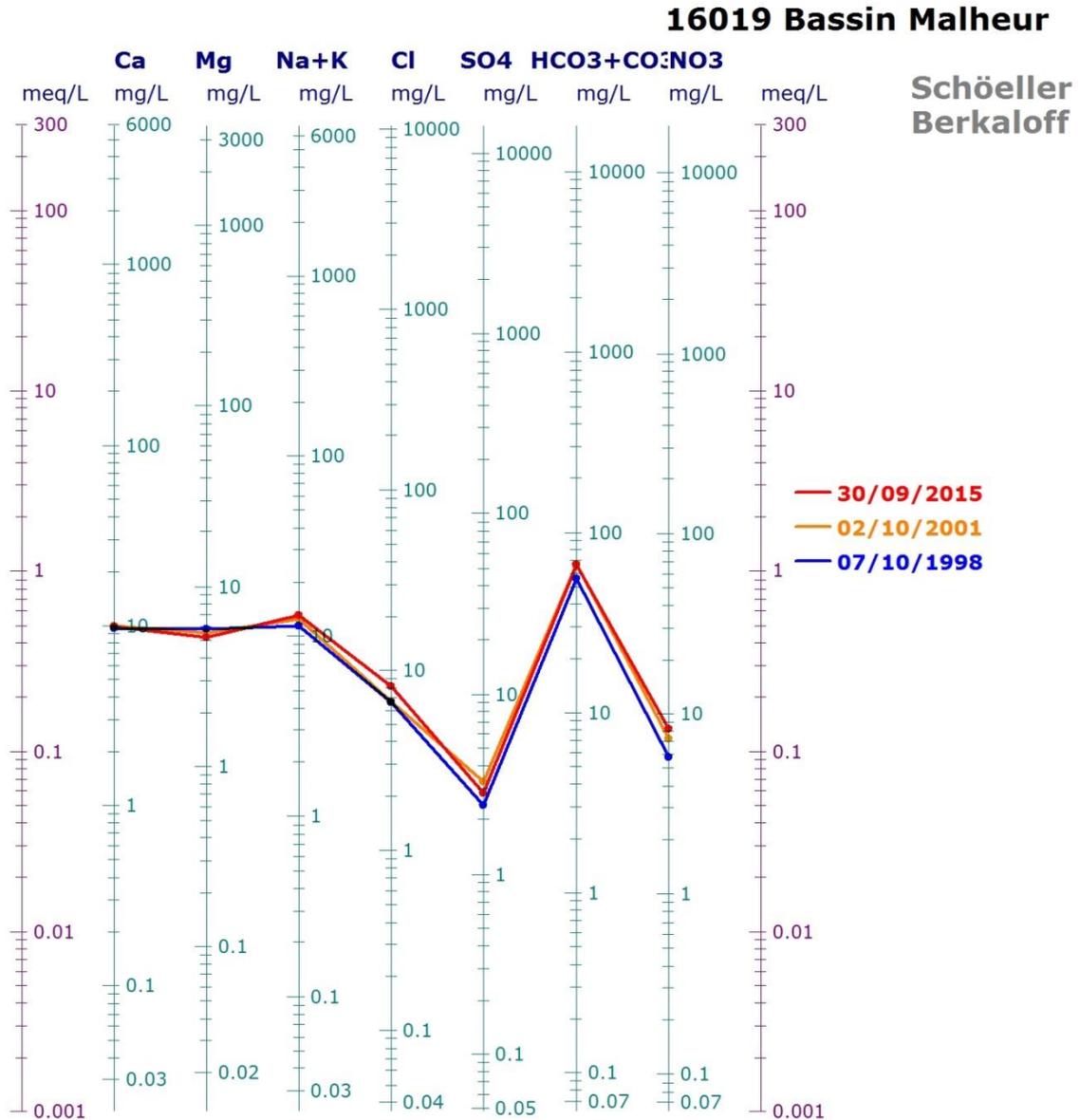


Figure 3.11 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 16019 Bassin Malheur

4 Le plateau de Bélouve et la plaine des Lianes

Six stations d'observation sont instrumentées dans les secteurs de Bélouve et de la plaine des Lianes, dont :

- 4 dans les canyons du Trou de fer,
- 1 au Bras des Lianes, en amont du captage
- 1 au Bras Piton, en amont du captage.

Le comportement hydrogéologique observé sur ces stations se caractérise par des recharges d'eau douce très fréquentes et réparties sur toute l'année, permettant le maintien de niveaux de minéralisation relativement bas. Cependant, des circulations plus lentes et plus minéralisées peuvent être masquées par les pluies fréquentes.

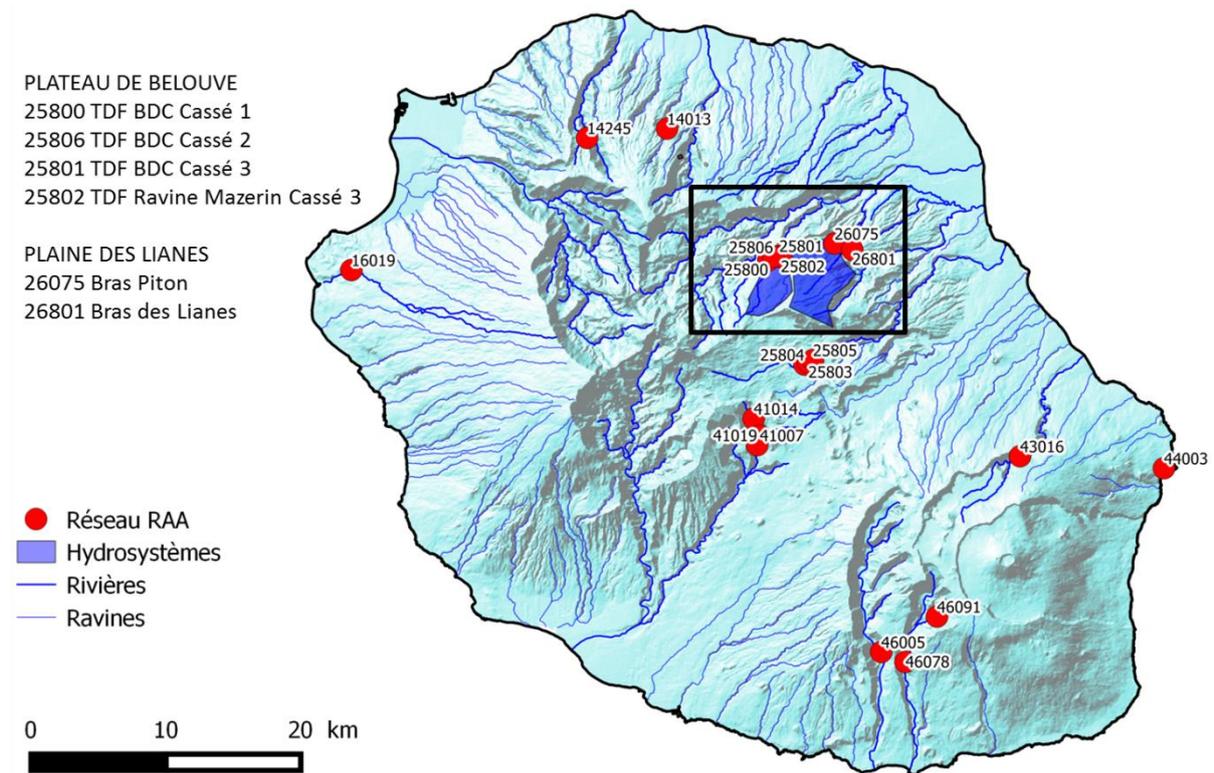


Figure 4.1 : Localisation des stations d'observation à Bélouve et Plaine des Lianes

4.1 Contexte géologique et hydrogéologique du Trou de fer

Le plateau de Bélouve est localisé au Sud-Est de la commune de Salazie et s'étend à une altitude de 1400 m NGR. Les prospections géophysiques réalisées par ANTEA (2004) ont mis en évidence une structure tabulaire imagée jusqu'à 400 m de profondeur.

Cette structure paraît relativement homogène et inclinée vers le Nord-Est. Trois niveaux aquifères ont été identifiés, les deux premiers étant supposés peu productifs.

- Le premier niveau aquifère est observé entre 1360 et 1300 m NGR avec des émergences dont le débit est fluctuant,
- La deuxième ligne d'émergence est observée vers 1200 m NGR, au contact entre coulées et scories. Le débit des émergences est important,
- Le dernier réservoir est observé vers 1100 m NGR et comporterait une puissance de 40 m. Il est constitué d'alternances massives et scoriacées. Les principales émergences proviennent de ce niveau : les sources du Voile de la Mariée et les sources principales du Trou de Fer (Frissant et al. 2005).

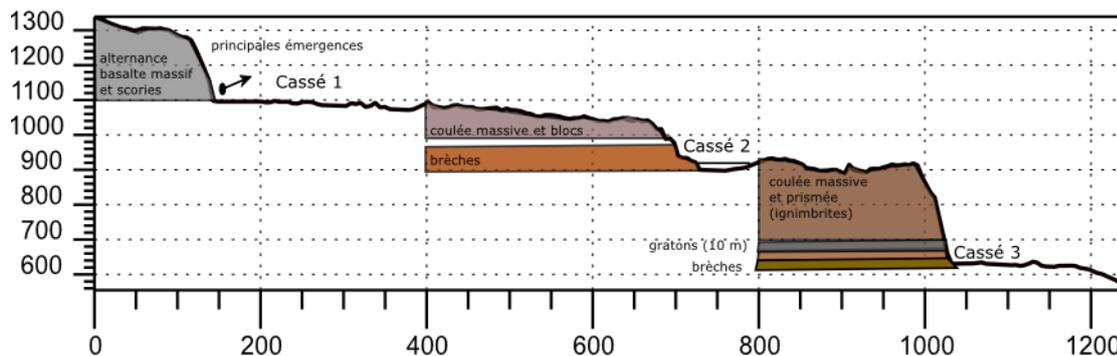


Figure 4.2 : Coupe longitudinale du Bras de Caverne et observations géologiques d'après Antéa (2004)

4.2 La station 25800 Trou de fer – Bras de Caverne – Cassé 1

4.2.1 Suivi des paramètres hydrogéologiques

Cette station est instrumentée depuis décembre 2014. L'analyse des données indique une recharge régulière tout au long de l'année assurée par les précipitations enregistrées sur le plateau de Bélouve notamment. Les phénomènes de recharge se traduisent par :

- une augmentation rapide des hauteurs d'eau au droit du capteur de pression,
- une baisse rapide des conductivités électriques et de la température intervenant suite à l'évènement pluvieux (Figure 4.3),
- un retour lent vers l'état normal, interrompu par l'évènement pluvieux suivant.

Ce type de fonctionnement permet :

- le renouvellement régulier des stocks d'eau souterraine et
- le maintien de niveaux de conductivités électriques relativement bas (inférieurs à 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

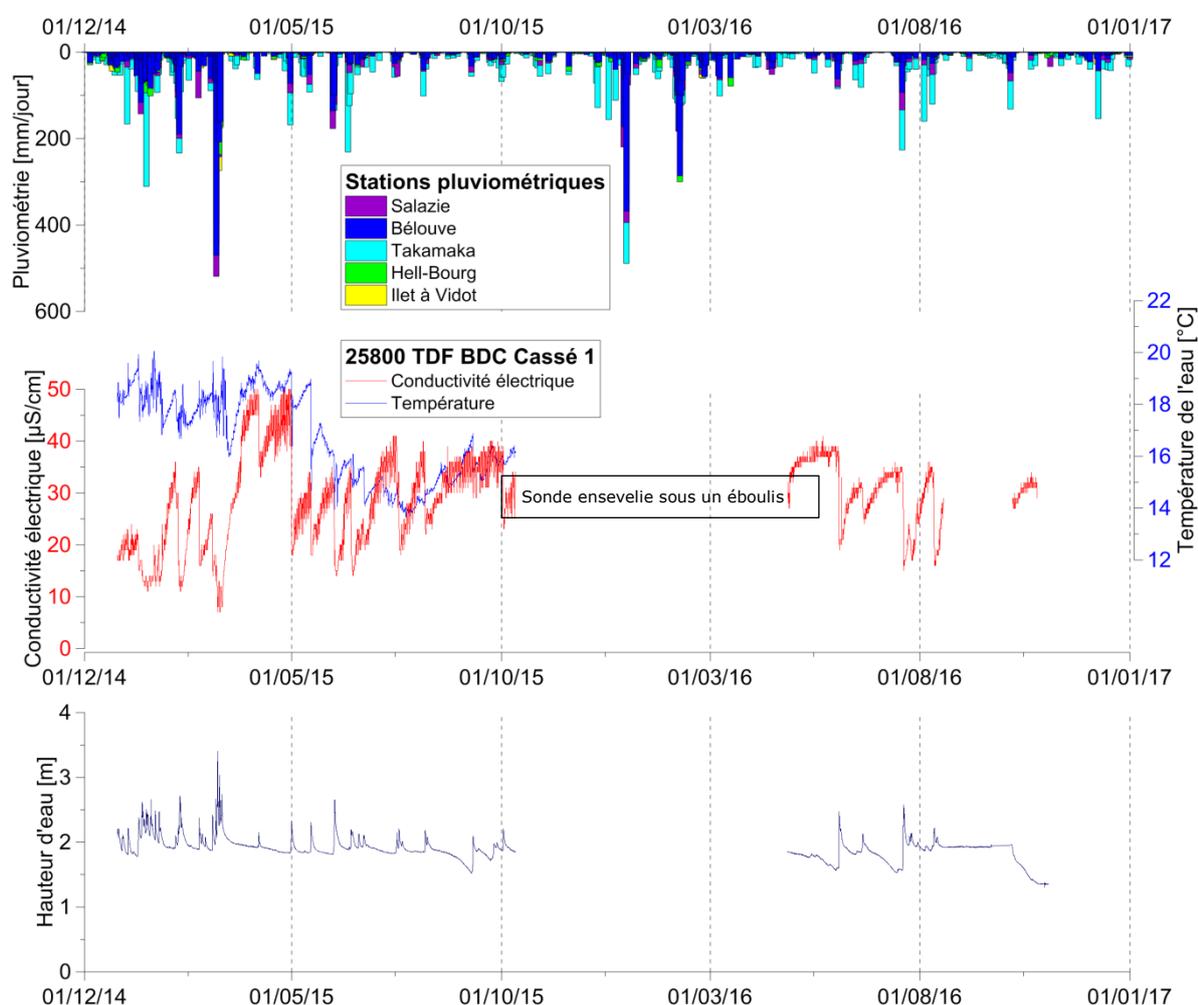


Figure 4.3 : Suivi des paramètres hydrogéologiques au Bras de Caverne - Cassé 1

4.2.2 Caractérisation hydrochimique

Les analyses chimiques réalisées sur ce site indiquent une eau à faciès hydrochimique bicarbonaté sodique et calcique, avec de très légères variations des concentrations dans le temps.

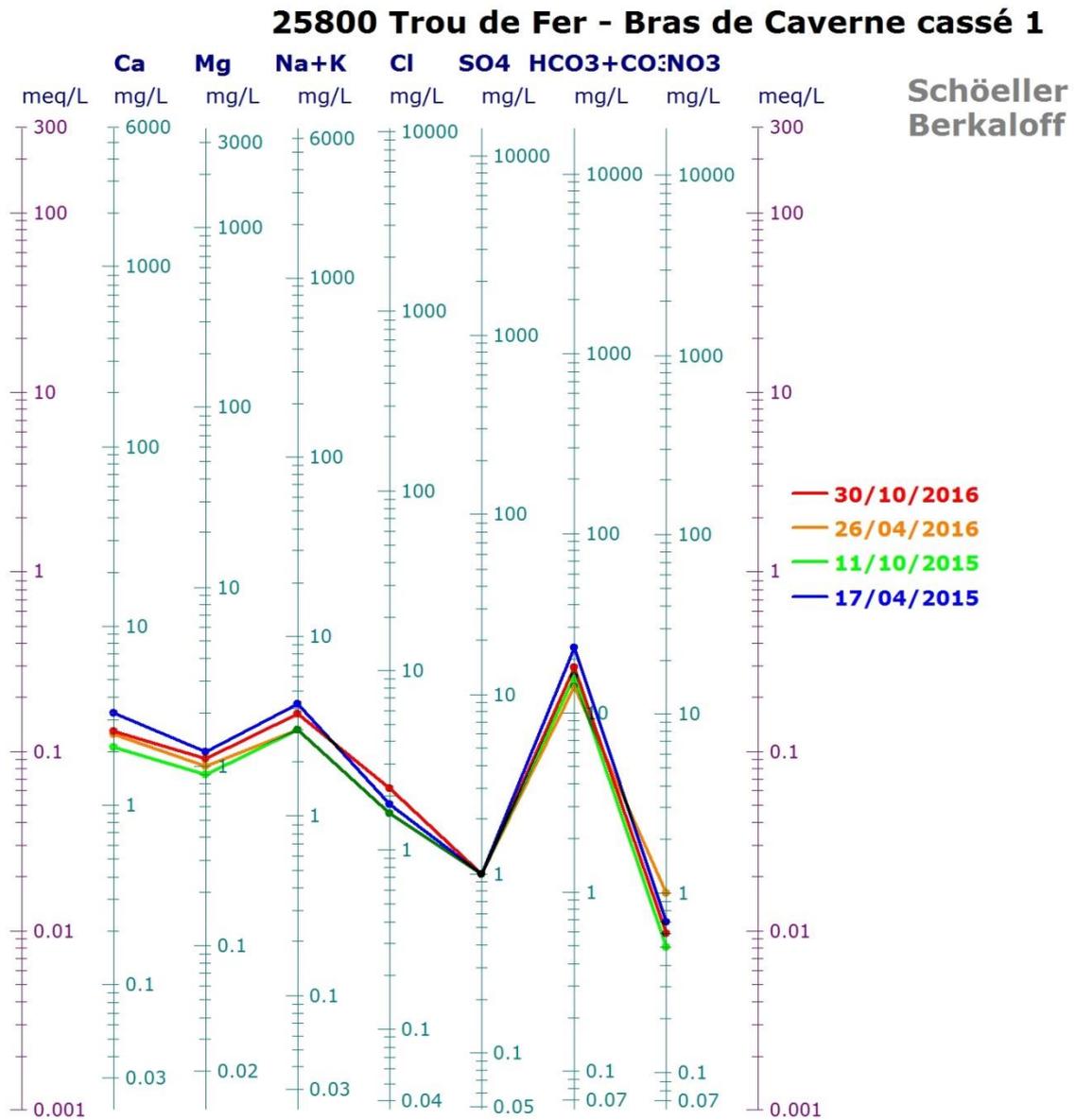


Figure 4.4 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 25800 Bras de Caverne cassé 1

4.3 La station 25806 Trou de fer – Bras de Caverne – Cassé 2

4.3.1 Suivi des paramètres hydrogéologiques

Cette station d'observation est instrumentée depuis septembre 2014. L'analyse des données confirme les résultats obtenus sur la station précédente, avec un comportement hydrogéologique similaire (Figure 4.5). Cependant, les niveaux de conductivité électrique enregistrés sur cette station sont deux fois plus élevés que sur la précédente. Le cassé 2 se trouve plus bas en altitude (900 m NGR) et draine la totalité de l'aquifère, d'où très certainement la plus forte minéralisation observée sur ce site (Figure 4.2).

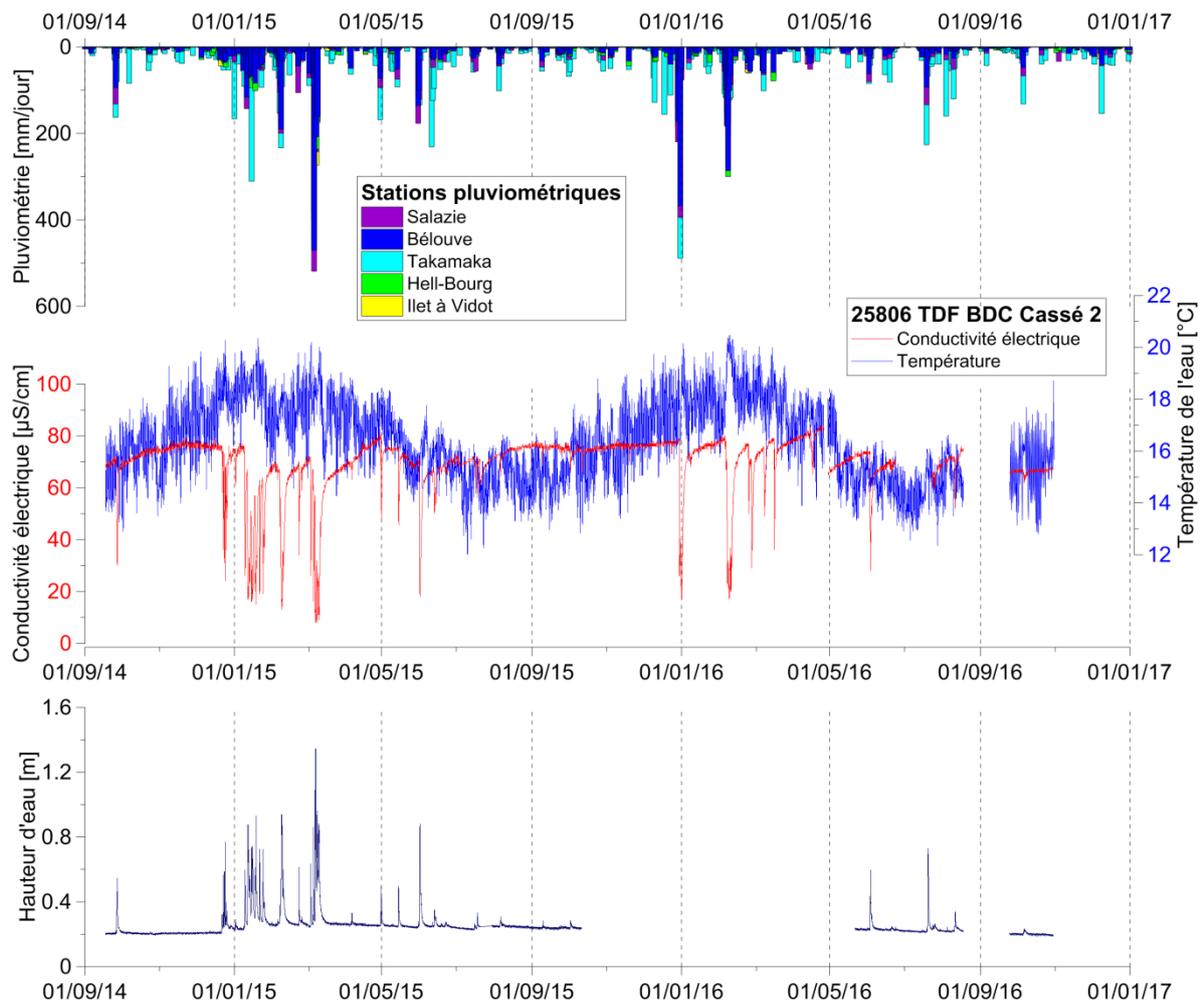


Figure 4.5 : Suivi des paramètres hydrogéologiques au Bras de Caverne - Cassé 2

4.3.2 Caractérisation hydrochimique

Les analyses chimiques réalisées pour ce site indiquent la présence d'une eau au faciès hydrochimique bicarbonaté sodique et calcique, comme observé déjà sur le cassé 1. Les concentrations en éléments majeurs restent relativement constantes, à l'exception des chlorures qui ont affiché une légère hausse en avril 2015 (2.7 mg/L), en fin de saison des pluies, une tendance pouvant être associée à une origine météorique.

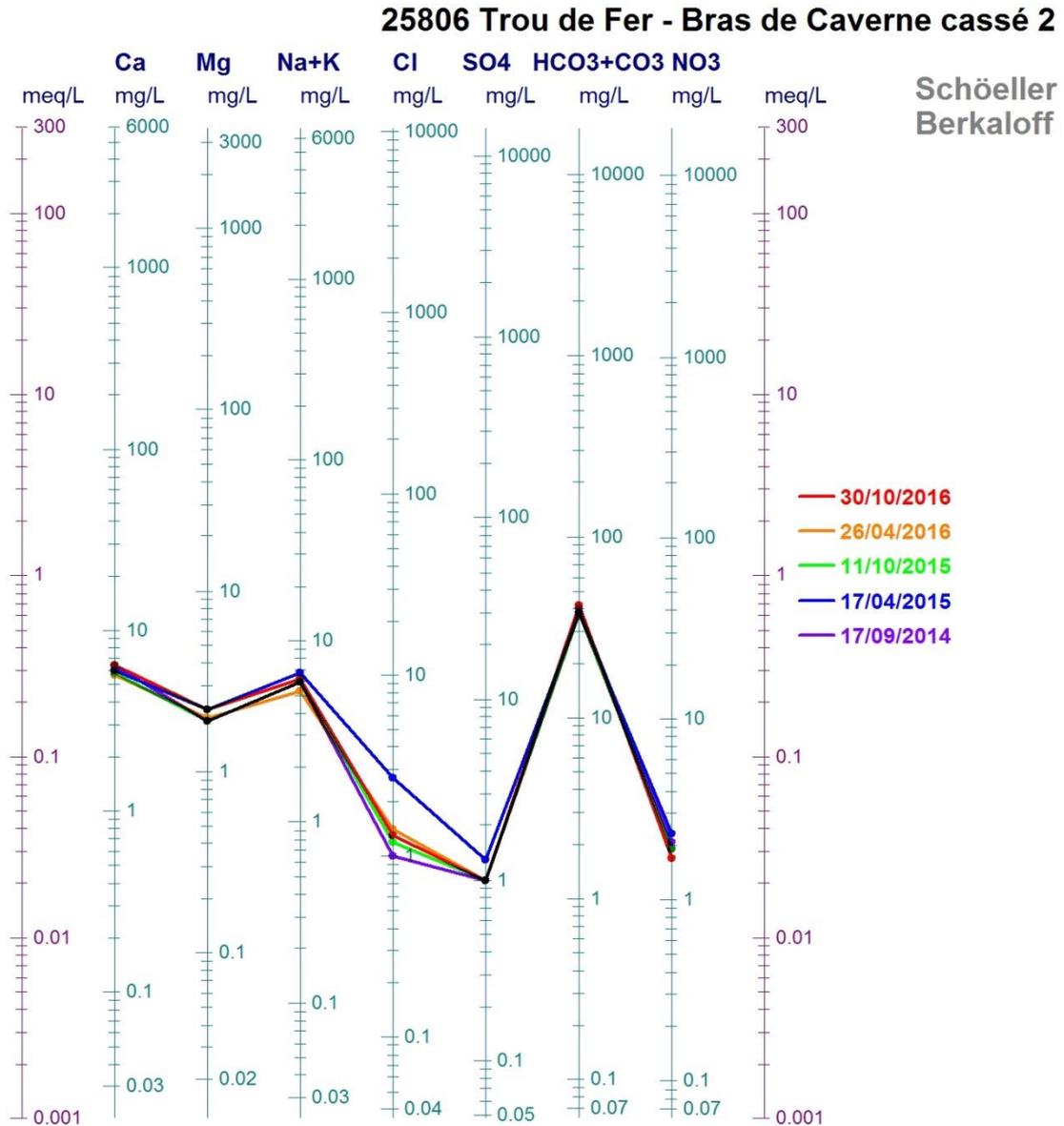


Figure 4.6 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 25806 Bras de Caverne cassé 2

4.4 La station 25801 Trou de fer – Bras de Caverne – Cassé 3

4.4.1 Suivi des paramètres hydrogéologiques

Cette station d'observation est instrumentée depuis septembre 2014. Les données sont en accord avec les résultats obtenus sur les stations précédentes : leur analyse révèle un comportement hydrogéologique similaire (Figure 4.7). Cependant, une légère tendance à la hausse des conductivités électriques peut être observée à partir du 1^{er} juillet 2015. Cette augmentation de la minéralisation peut être associée i) soit au tarissement progressif du cours d'eau observé pendant cette période d'étiage, soit à une arrivée d'eau souterraine plus minéralisée. Cette évolution est interrompue par les précipitations intervenues au 1^{er} janvier 2016.

L'augmentation progressive de la conductivité électrique entre le cassé 1 et 3 est en accord avec les mesures réalisées le 09 décembre 2003 par Antéa (Fontanet et Antémi, 2004) à savoir, 37 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au cassé 1, 79 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au cassé 2 et 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au cassé 3.

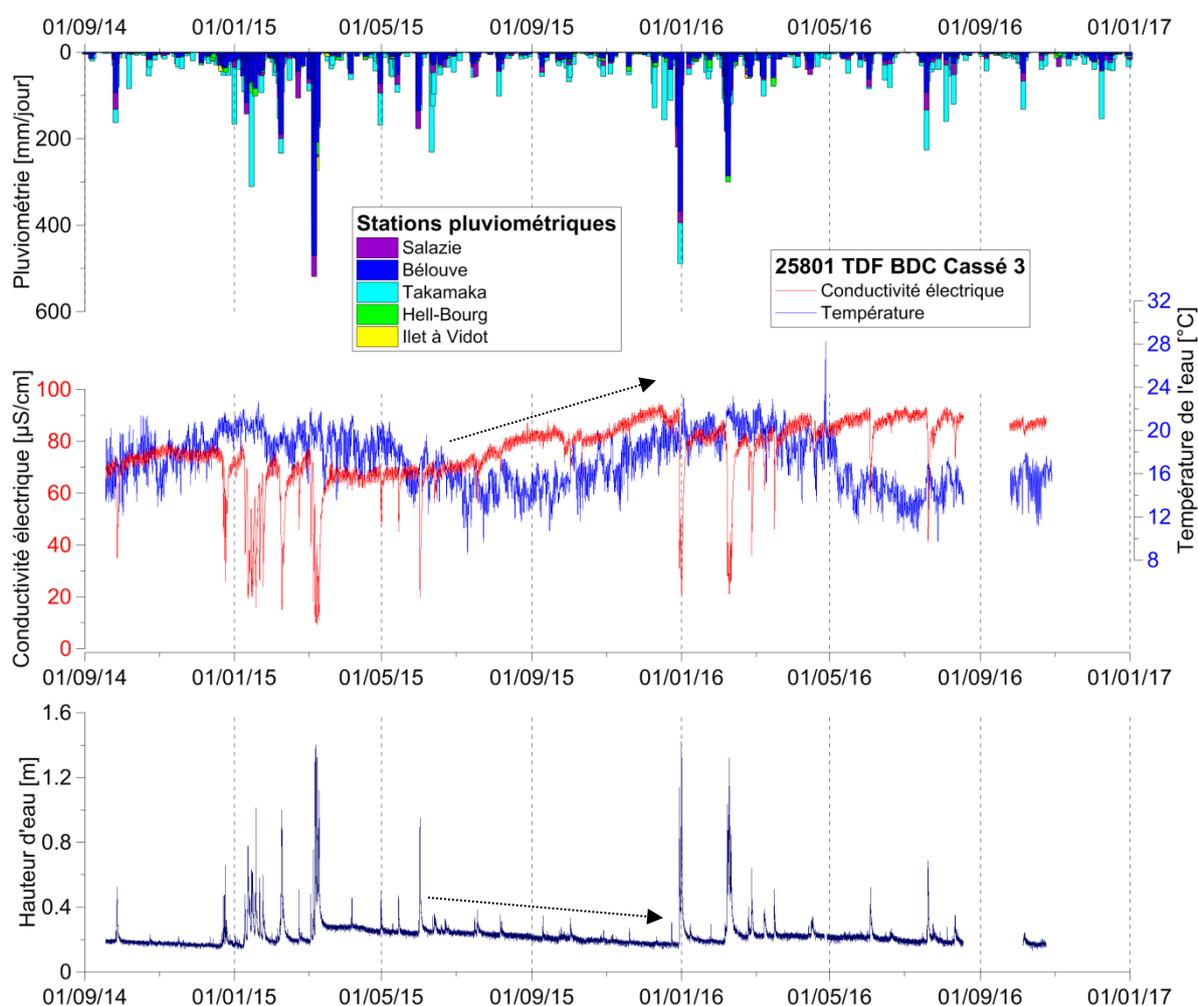


Figure 4.7 : Suivi des paramètres hydrogéologiques au Bras de Caverne - Cassé 3

4.4.1 Caractérisation hydrochimique

A l'instar des cassés 1 et 2, les analyses chimiques réalisées pour le cassé 3 indiquent une eau à faciès hydrochimique bicarbonaté calcique et sodique. Les teneurs en éléments majeurs restent constantes, sauf les chlorures qui affichent une légère hausse en avril 2016 (1.8 mg/L), cet élément étant probablement d'origine météorique sur ce site.

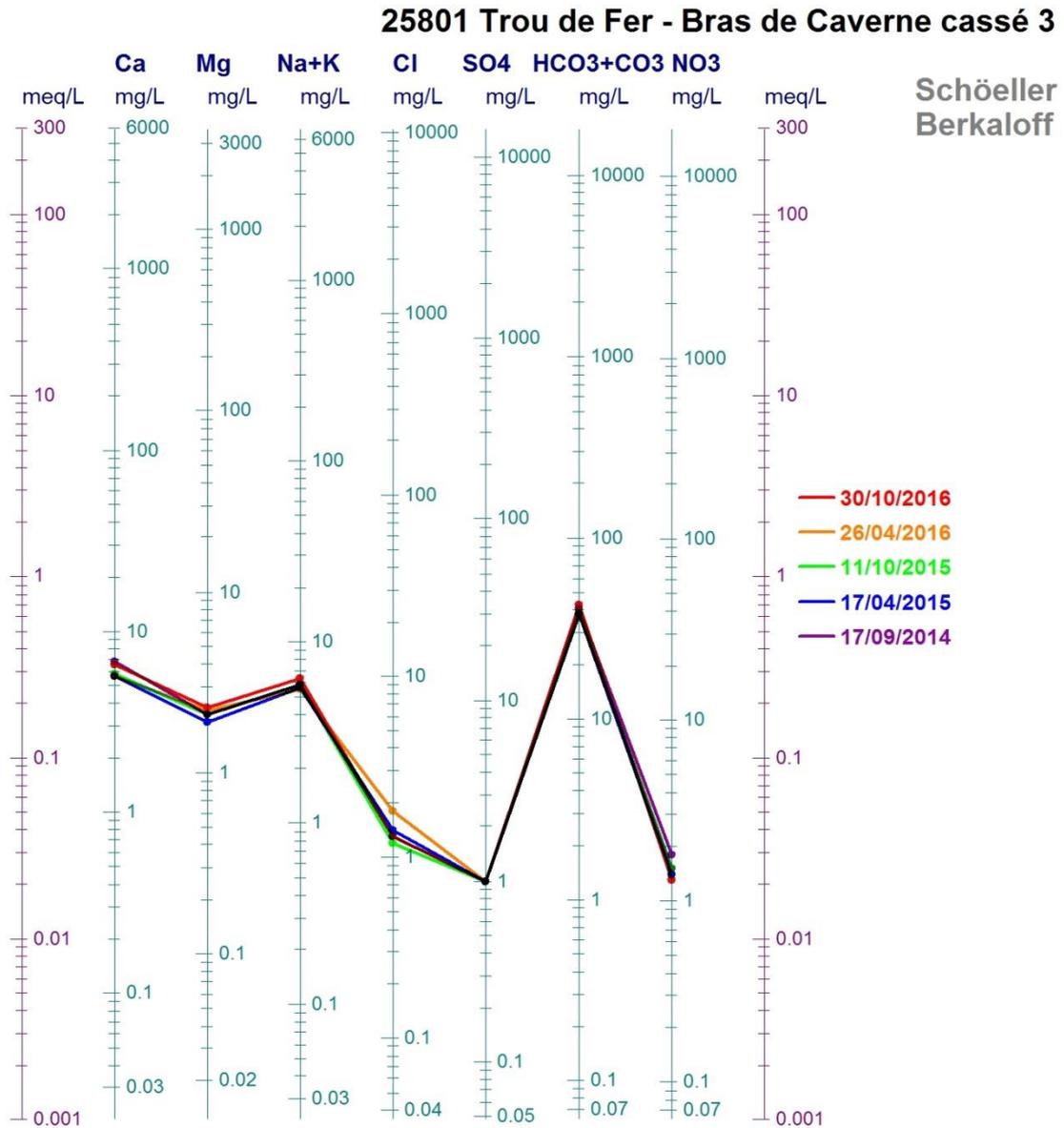


Figure 4.8 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 25801 Bras de Caverne cassé 3

4.5 La station 25802 Trou de fer – Ravine Mazerin – Cassé 3

4.5.1 Suivi des paramètres hydrogéologiques

Cette station d'observation est instrumentée depuis avril 2015. L'analyse des données confirme les résultats obtenus sur les stations précédentes, avec un comportement hydrogéologique caractéristique de ce secteur très arrosé (Figure 4.9).

Par ailleurs, les niveaux de conductivité électrique enregistrés sur cette station sont très proches de ceux mesurés sur les cassés 2 et 3 du Bras de Caverne.

Ces observations suggèrent que les deux cours d'eau drainent le même hydro-système : l'aquifère du plateau de Bélouve.

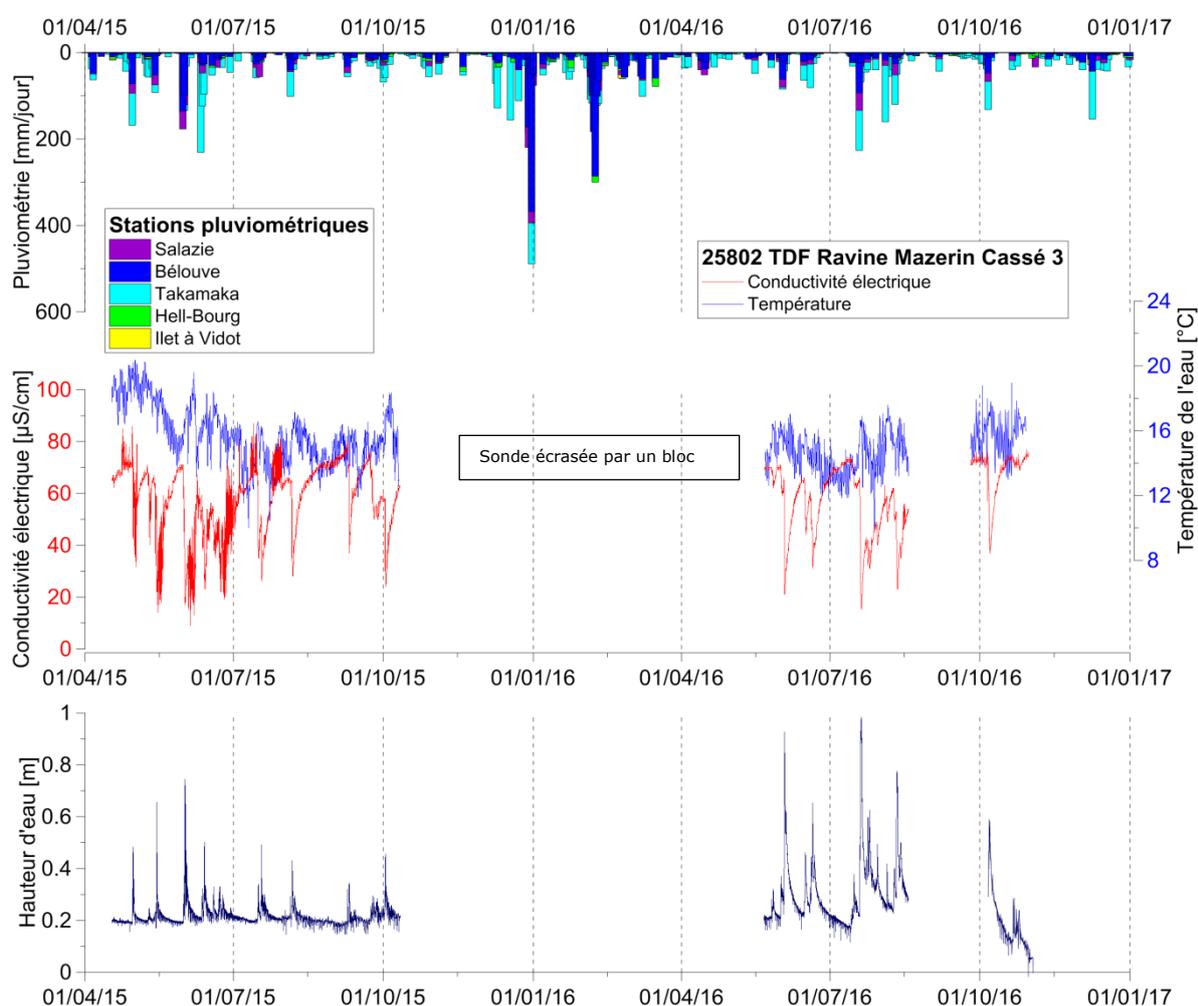


Figure 4.9 : Suivi des paramètres hydrogéologiques à la Ravine Mazerin - Cassé 3

4.5.1 Caractérisation hydrochimique

Les analyses chimiques mettent en évidence une eau à faciès hydrochimique bicarbonaté sodique et calcique caractéristique des écoulements transitant dans le massif du Trou de Fer. L'appauvrissement en Magnésium indique des temps de trajet relativement courts dans le réservoir géologique, en comparaison aux émergences de la Plaine des Chicots.

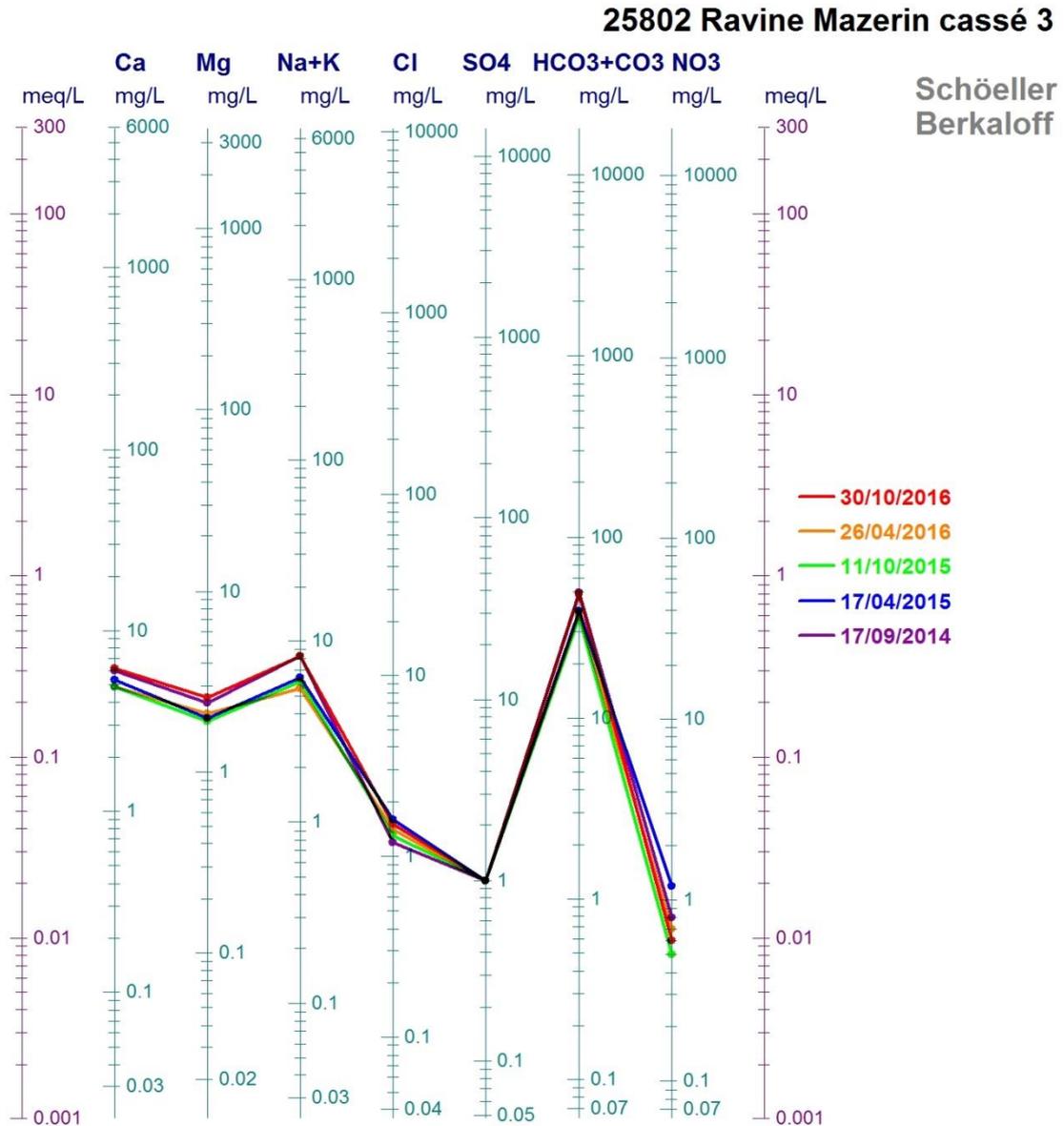


Figure 4.10 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 25802 Ravine Mazerin cassé 3

4.6 La station 26075 Bras Piton

4.6.1 Contexte géologique et hydrogéologique

Le Bras Piton et le Bras des Lianes drainent les eaux souterraines du plateau de Mazerin et de la Plaine des Lianes. L'aquifère principal est constitué des formations basaltiques de phase IV du Piton des Neiges. La quasi-totalité des émergences du plateau de Mazerin est localisée au contact des phases II et IV (Figure 4.11). Selon Frissant et al. (2007), le principal substratum hydrogéologique de cette unité est constitué des formations basaltiques de phase II (émergence de type A). Néanmoins, certaines émergences sont observées au droit d'un rétrécissement des formations de phase IV en relation avec le mode de mise en place des coulées, le substratum hydrogéologique restant le toit des phases II (émergence de type B). Enfin, certaines émergences peuvent être associées à l'existence d'un niveau imperméable au sein de la phase IV (émergence de type C).

Contenu des altitudes d'émergence élevées (supérieures à 900 m NGR), ces sources enregistrent des temps de circulation relativement courts dans le réservoir géologique, ce qui explique en partie leurs faibles niveaux de minéralisation (moins de 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

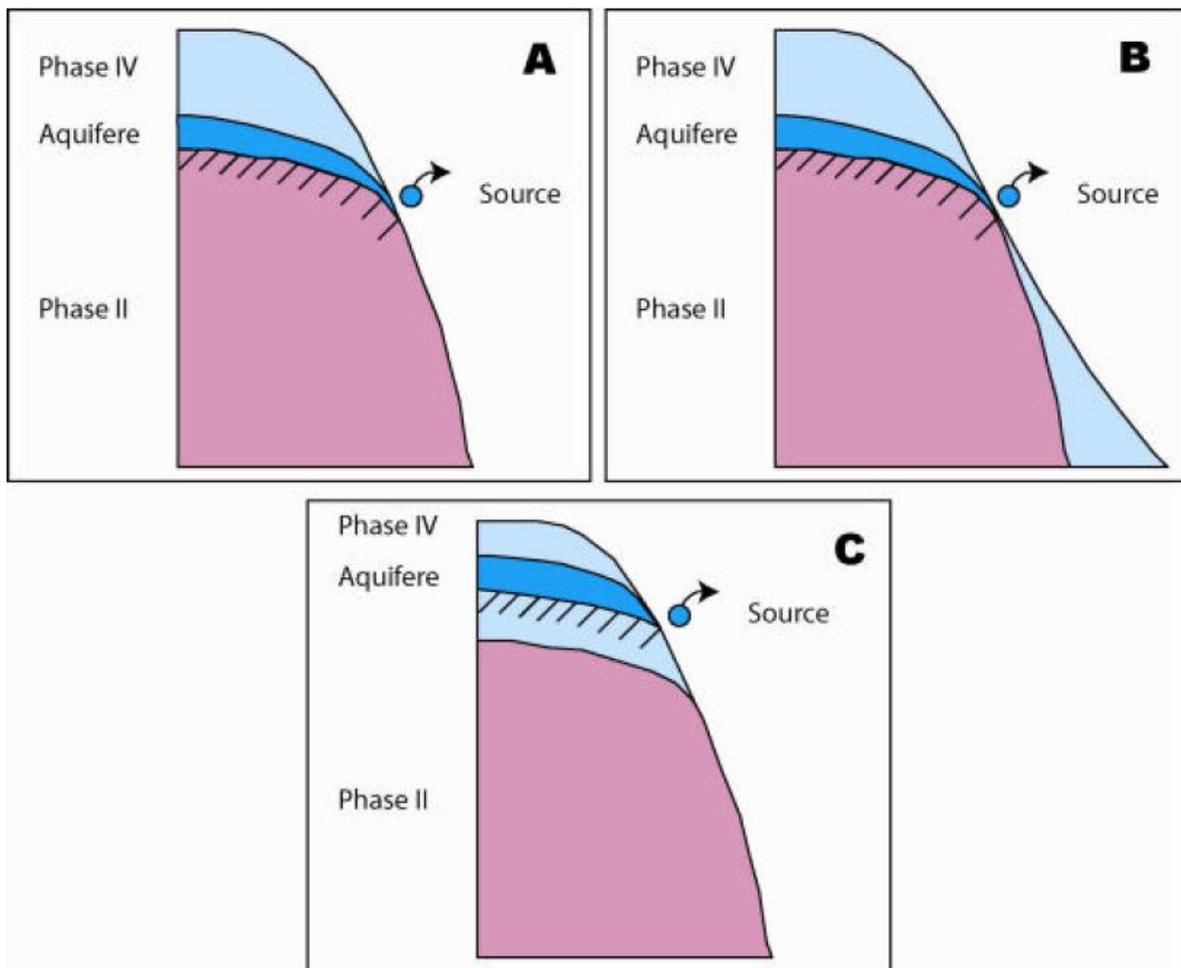


Figure 4.11 : Typologie des émergences des principales sources du complexe aquifère Plateau de Mazerin - Trou Malais - Camp de Marseille, d'après Frissant et al., (2007).

4.6.2 Suivi des paramètres hydrogéologiques

Cette station d'observation est instrumentée depuis novembre 2013. Les données enregistrées sont en accord avec les résultats obtenus sur les stations précédentes. Leur analyse confirme le comportement hydrogéologique caractéristique de ces secteurs très arrosés (Figure 4.12).

La recharge relativement importante, répartie sur toute l'année et les temps de trajet souterrain relativement courts expliquent les faibles niveaux de conductivités électriques observées sur cette station (moins de 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

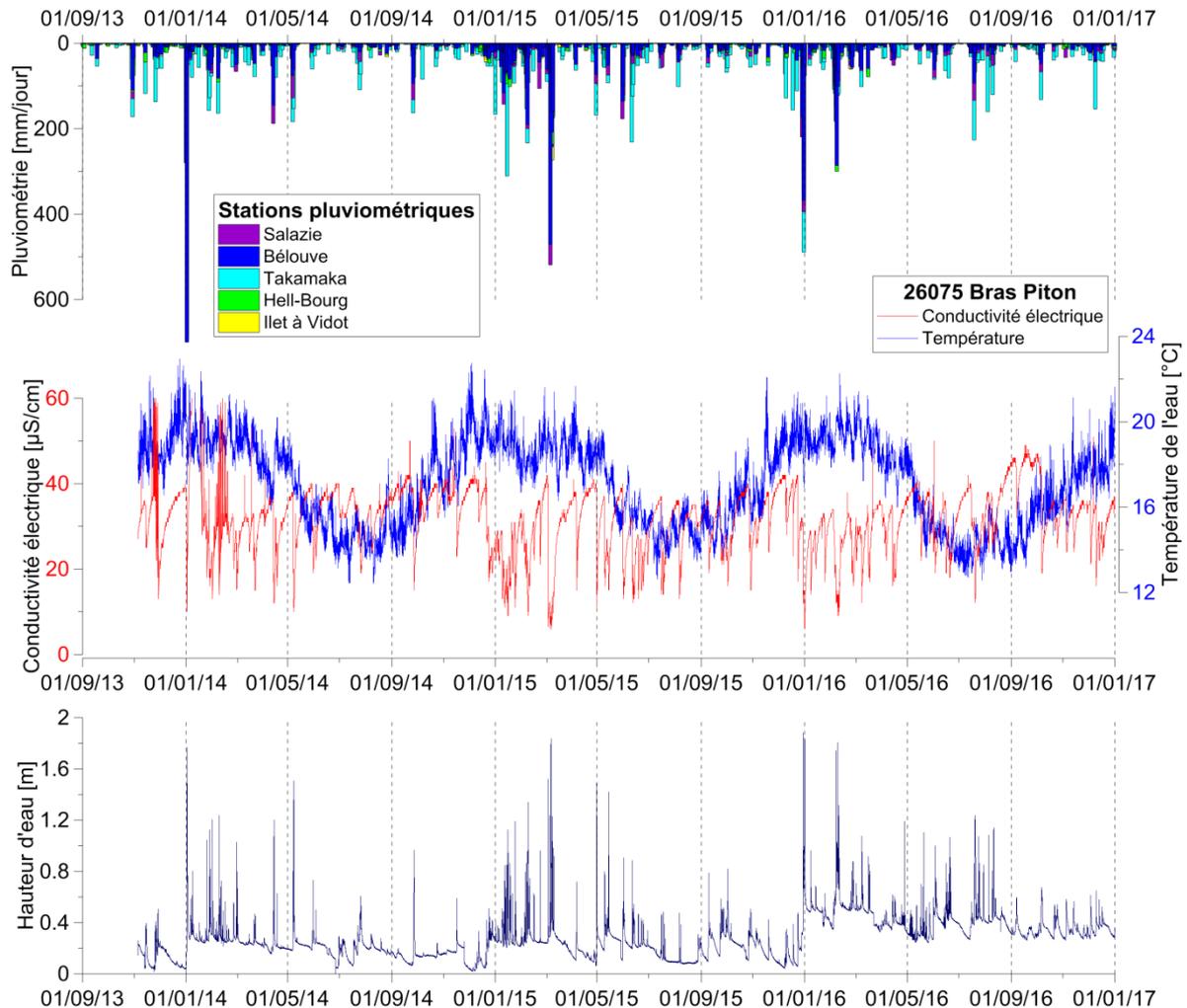


Figure 4.12 : Suivi des paramètres hydrogéologiques au Bras Piton

4.6.1 Caractérisation hydrochimique

Les analyses chimiques mettent en évidence une eau à faciès hydrochimique bicarbonaté sodique, caractéristique ici des écoulements rapides du massif de Mazerin. La chimie de ces sources est marquée par un appauvrissement en Calcium et Magnésium, révélateur d'un temps de trajet relativement court au sein du massif.

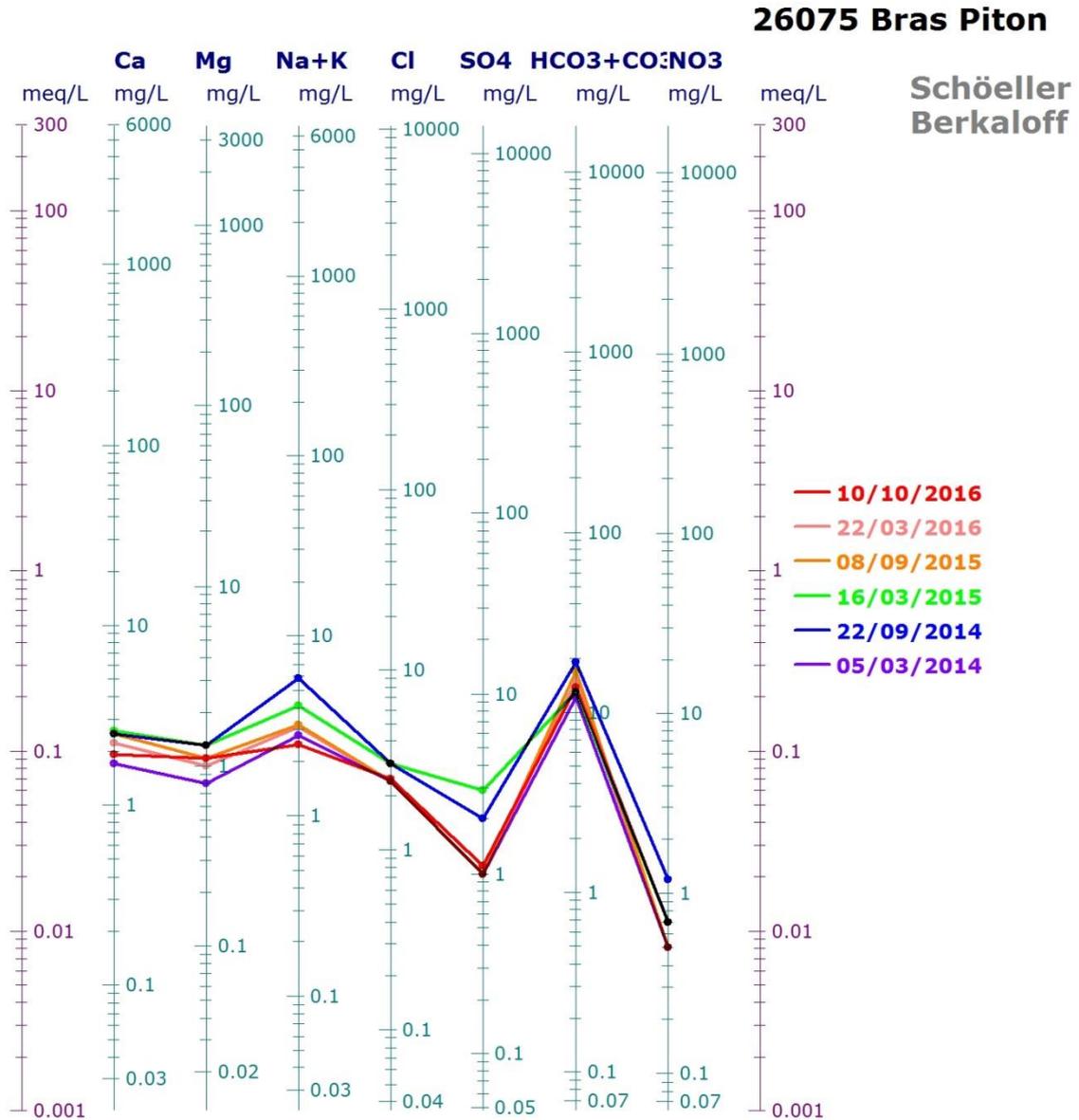


Figure 4.13 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 26075 Bras Piton

4.7 La station 26801 Bras des Lianes

4.7.1 Suivi des paramètres hydrogéologiques

Cette station d'observation est instrumentée depuis novembre 2013. L'analyse des données confirme les résultats obtenus sur les stations précédentes : le comportement hydrogéologique est contrôlé par les écoulements d'eau douce météorique, d'une part et par les circulations souterraines plus rapides d'autre part (Figure 4.14).

Les niveaux de conductivité électrique enregistrés sur cette station sont très proches de ceux mesurés sur le Bras Piton (inférieurs à 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Cette observation suggère que les deux cours d'eau drainent le même hydro-système : le Massif du Mazerin.

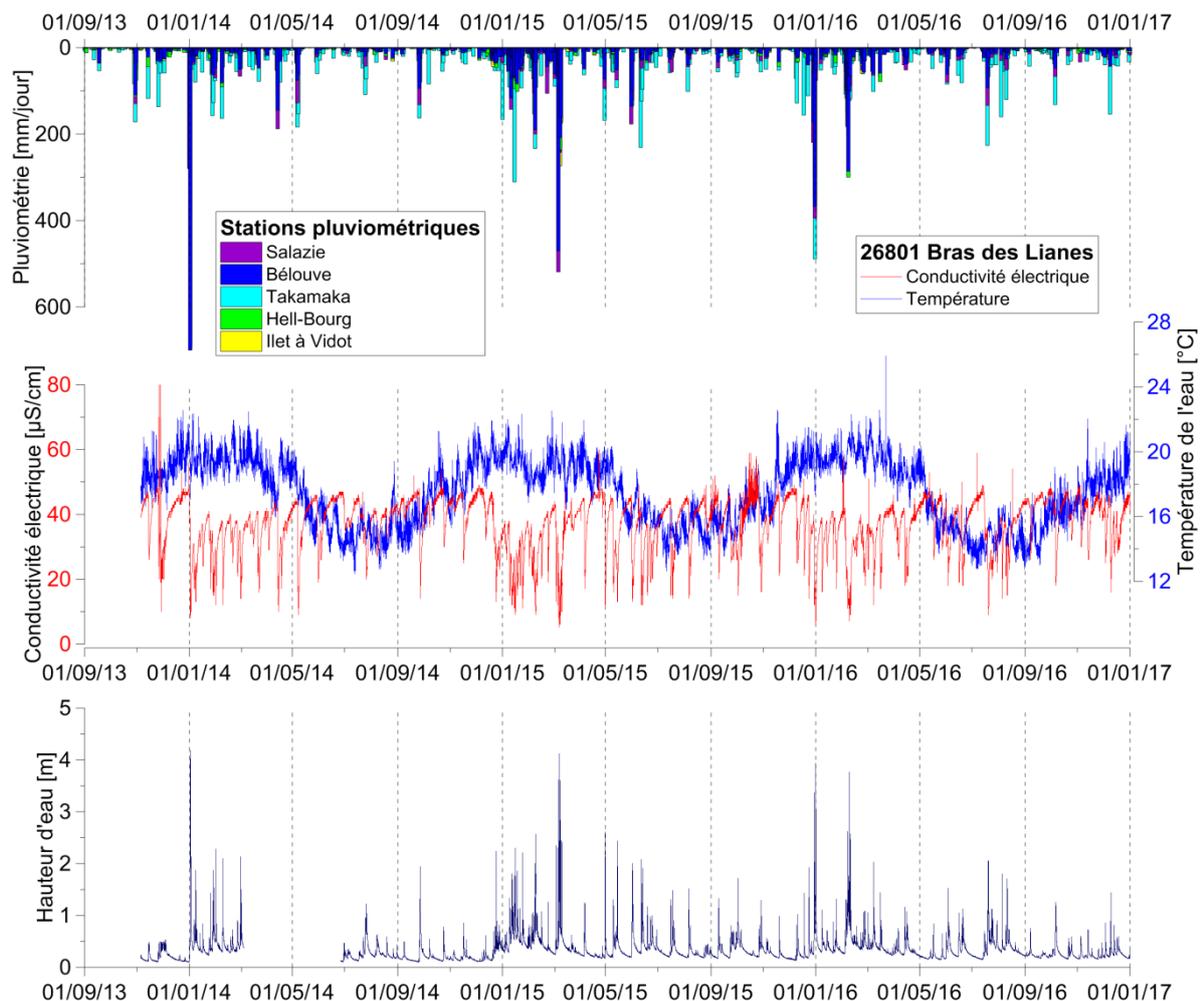


Figure 4.14 : Suivi des paramètres hydrogéologiques au Bras des Lianes

4.7.1 Caractérisation hydrochimique

Les analyses chimiques mettent en évidence une eau à faciès hydrochimique bicarbonaté calcique. L'enrichissement en Calcium peut s'expliquer par le temps de trajet plus long et l'éloignement par rapport à la zone d'émergence principale.

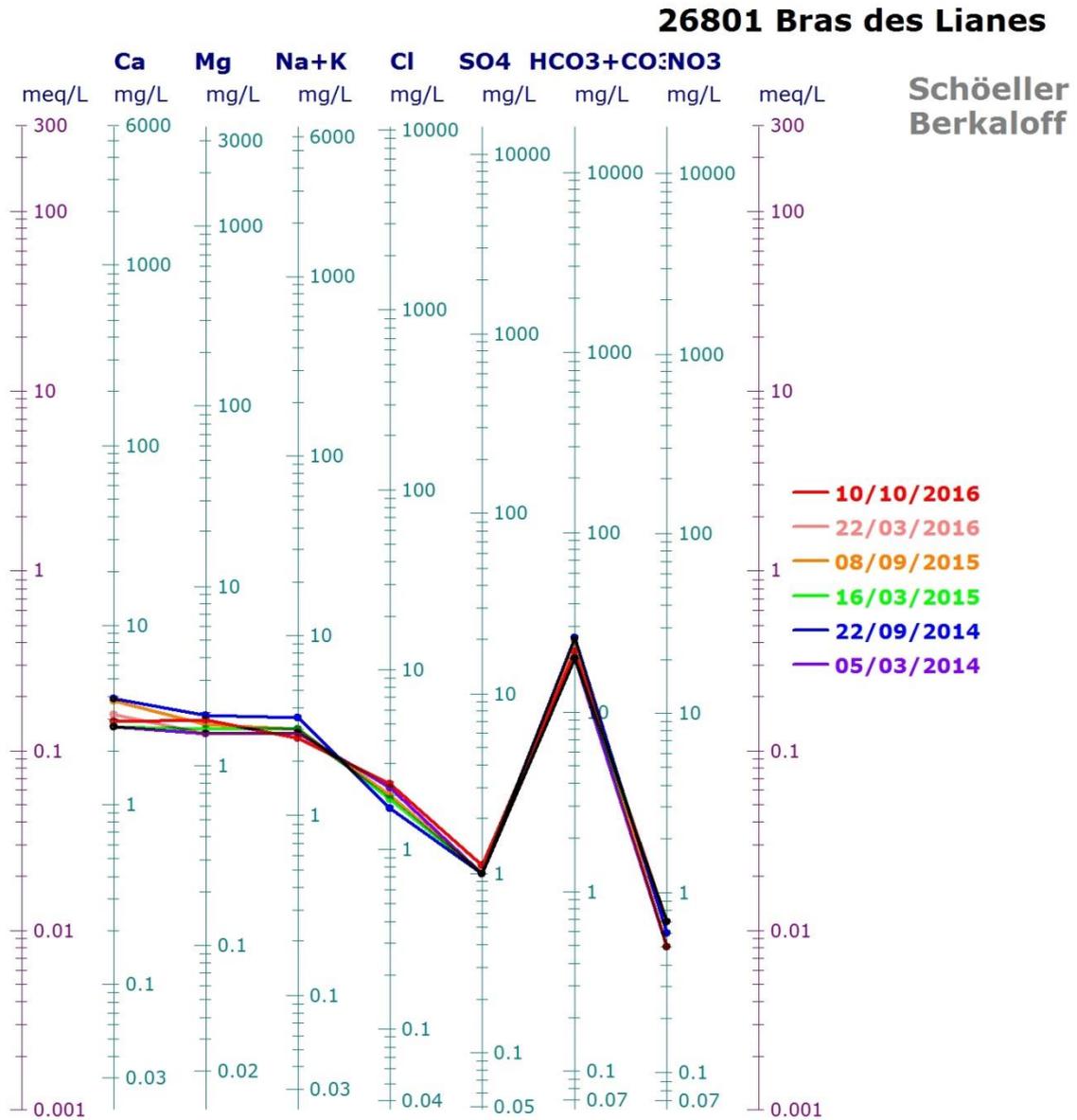


Figure 4.15 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 26801 Bras des Lianes

5 Le plateau de Bébou et la Plaine des Cafres

Six stations d'observation sont instrumentées afin de suivre les aquifères du Plateau de Bébou et de la partie ouest de la Plaine des Cafres, selon la répartition suivante :

- 3 dans la Rivière des Marsouins à Takamaka,
- 3 dans le Bras Sainte Suzanne (sources Pont du Diable, Edgar Avril et Hirondelles)

Le comportement hydrogéologique observé sur ces stations se caractérise par des recharges d'eau douce très fréquentes et réparties sur toute l'année, permettant le maintien de niveaux de minéralisation relativement bas. Des circulations souterraines d'eau minéralisée se manifestent néanmoins sur les conductivités électriques.

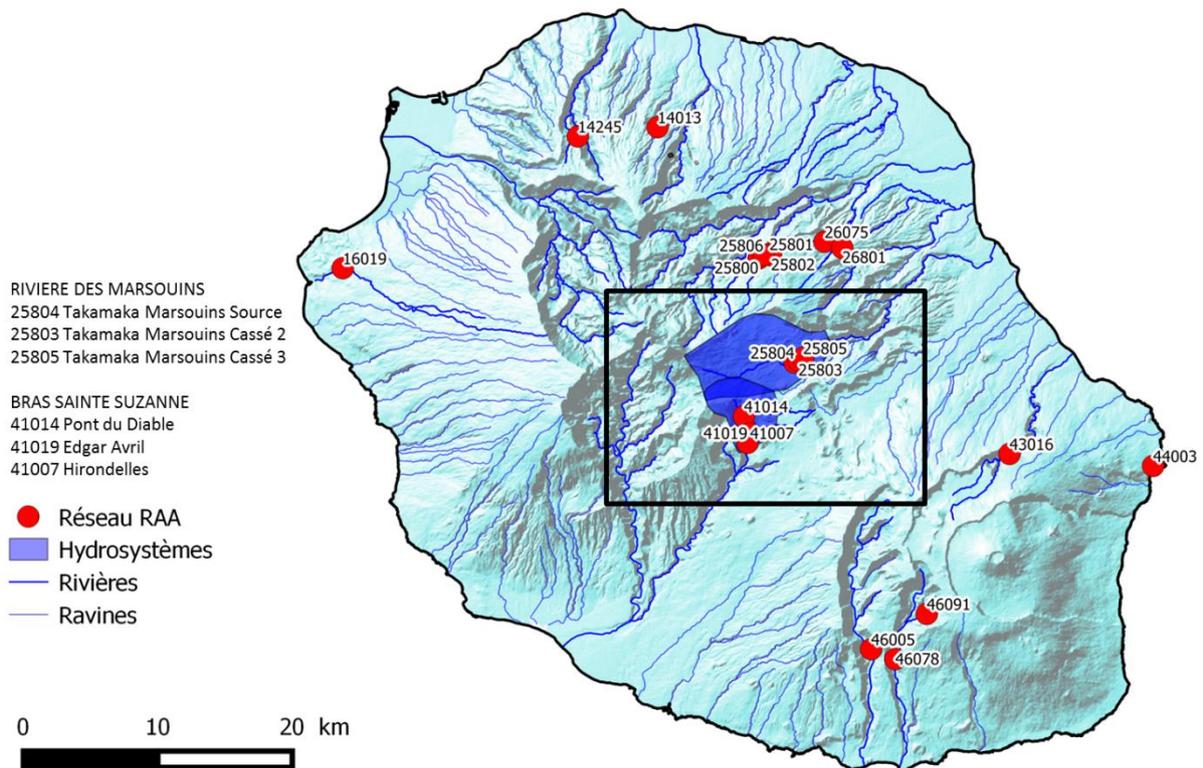


Figure 5.1 : Localisation des stations d'observation dans le secteur de Bébou

5.1 Contexte géologique et hydrogéologique de Bébour

Le secteur Bébour - Bélouve - Plaine des Marsouins est considéré comme le quatrième cirque de La Réunion (paléo-cirque des Marsouins) qui a été comblé par les formations volcaniques du Piton des Neiges (Rocher 1988).

D'après Rocher (1988), le remplissage du paléo-cirque des Marsouins par les séries différenciées se serait fait en trois stades :

- le premier stade, entre 350 000 et 220 000 ans (coulées de Phase III),
- le deuxième stade, entre 180 000 et 70 000 ans (Phase IV de Billard), avec notamment la mise en place des ignimbrites vers 140 000 ans,
- le troisième stade, entre 70 000 et 22 000 ans, qui s'est traduit par la mise en place du dôme-coulée trachytique (entre le plateau de Bébour et de Bélouve), et les dépôts pyroclastiques recouvrant le plateau de Bélouve (datés à 21 900 ans).

Selon les reconnaissances géologiques de terrain (ANTEA 2007), la coupe géologique du plateau de Bébour est constituée des unités suivantes :

- une première unité avec alternance de niveaux scoriacés et de basaltes avec la présence de cristaux de feldspath et/ou pyroxène. L'épaisseur de cette unité est d'environ 150 m,
- un niveau de « cuisson » et/ou paléosol,
- une alternance de coulées massives et niveaux scoriacés. L'épaisseur de ce niveau est d'environ 130 m,
- un niveau de cendres de 1 à 2 m d'épaisseur,
- des brèches polygéniques,
- des ignimbrites.

Les formations différenciées supérieures (alternances de coulées et de niveaux scoriacés) sont perméables et peuvent être localement le siège de nappes perchées.

En revanche, les brèches et les formations d'ignimbrites peuvent être considérées comme un substratum hydrogéologique imperméable. Cependant, il n'existe aucune donnée sur l'extension de ce substratum au droit du plateau de Bébour.

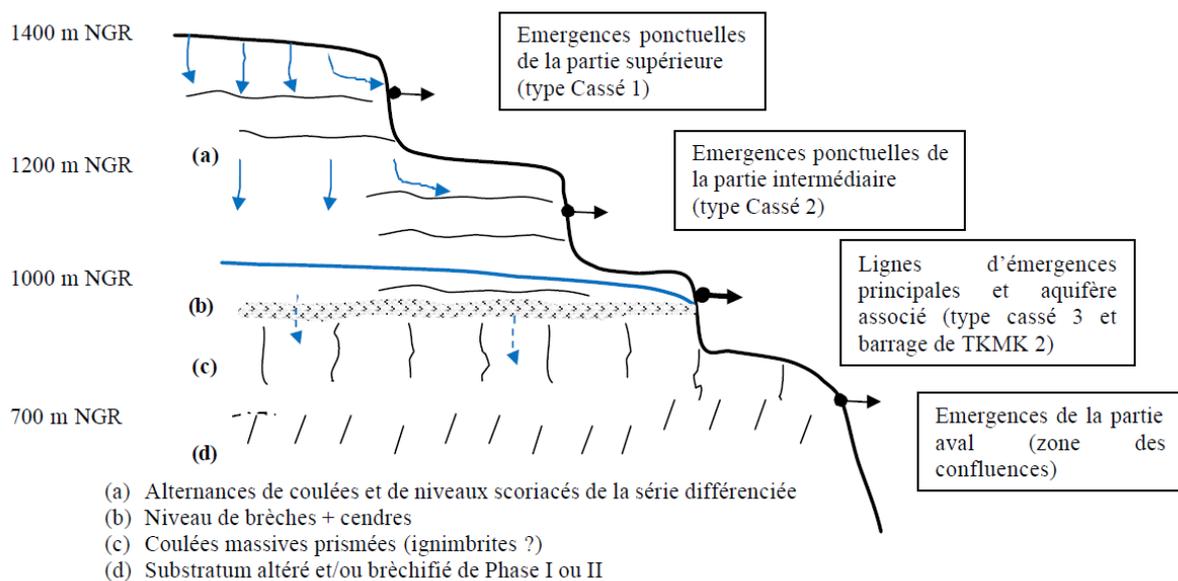


Figure 5.2 : Schéma conceptuel du fonctionnement hydrogéologique du plateau de Bébour, au droit de la Rivière des Marsouins à Takamaka, d'après ANTEA (2009).

5.2 La station 25803 Takamaka Marsouins Cassé 2

5.2.1 Suivi des paramètres hydrogéologiques

Cette station d'observation est instrumentée depuis septembre 2014. L'aquifère drainé par cette émergence est constitué d'une alternance de coulées basaltiques massives et de niveaux scoriacés de la série différenciée. L'analyse des données confirme les résultats obtenus sur les stations des secteurs de Trou de Fer et du Plateau de Mazerin. Les données affichent un comportement hydrogéologique contrôlé par i) les écoulements d'eau douce météorique et ii) les circulations d'eau souterraine plus minéralisée (Figure 5.3).

Par ailleurs, une tendance à la baisse des conductivités électriques peut être observée depuis le 1^{er} janvier 2016. Sur cette station, les niveaux de conductivités électriques mesurés sont réduits de moitié : ils passent de 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en janvier à 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en avril.

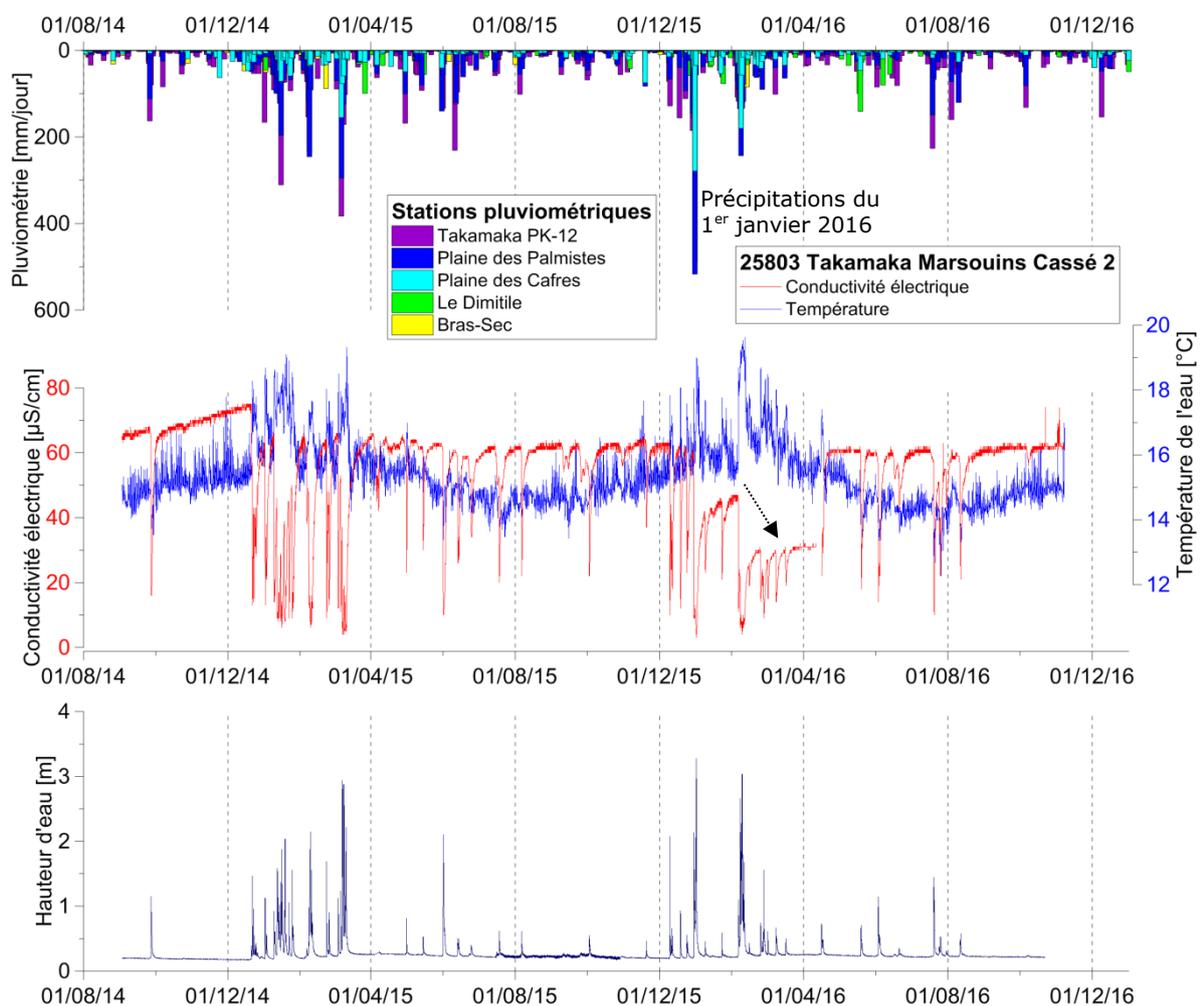


Figure 5.3 : Suivi des paramètres hydrogéologiques à la station 25803 Marsouins Cassé 2

5.2.1 Caractérisation hydrochimique

Les analyses chimiques mettent en évidence une eau à faciès hydrochimique bicarbonaté sodique. L'appauvrissement en Magnésium et Calcium peut s'expliquer par un temps de transfert plus court, lié à la proximité par rapport à la zone des émergences de la partie supérieure (cassé 1).

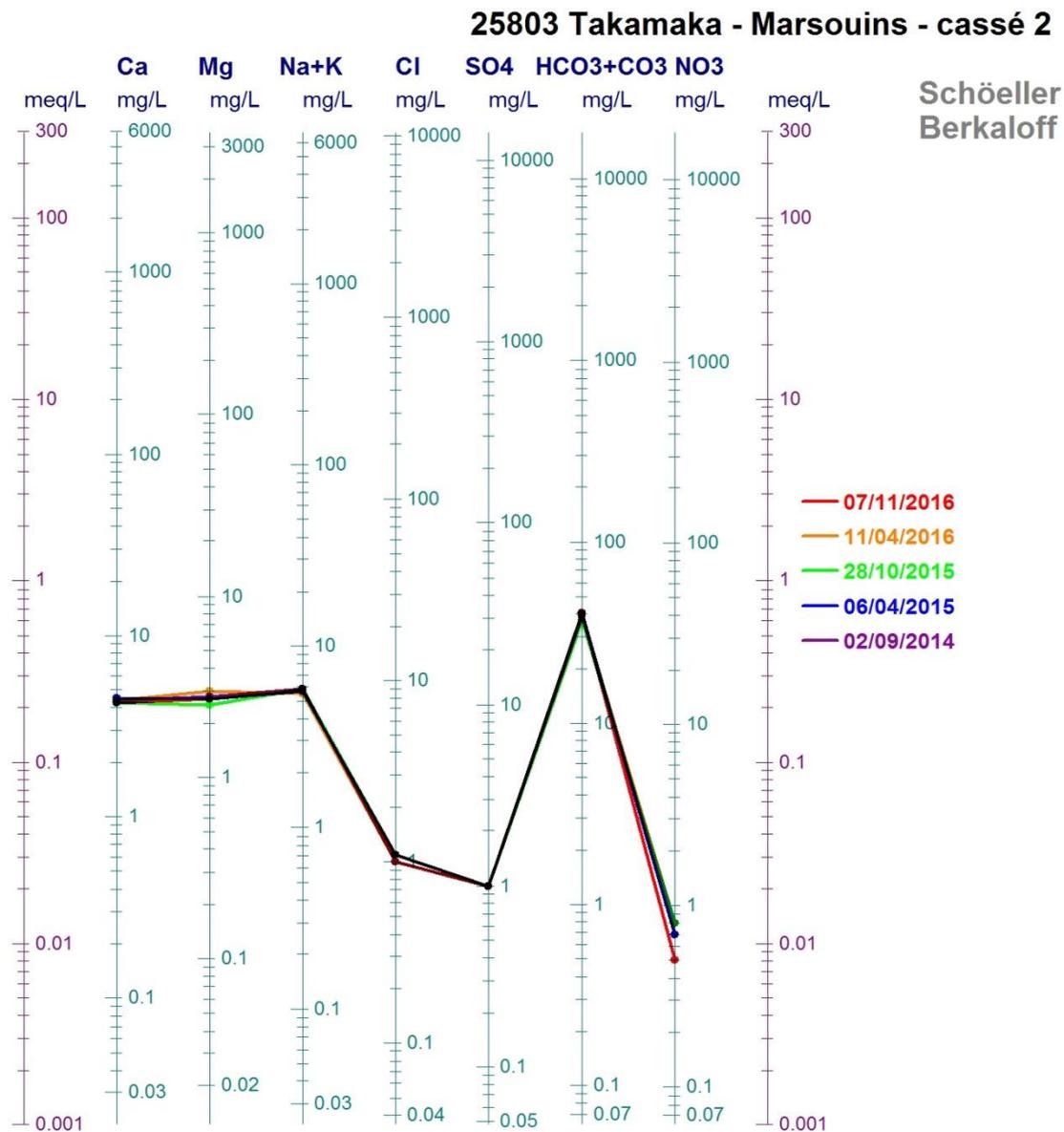


Figure 5.4 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 25803 Marsouins cassé 2

5.3 La station 25804 Takamaka Marsouins source

5.3.1 Suivi des paramètres hydrogéologiques

Cette station d'observation est instrumentée depuis septembre 2014. La source suivie est localisée en rive droite, entre les cassés 2 et 3. Le comportement hydrogéologique est contrôlé par i) des circulations lentes plus minéralisées et ii) les écoulements d'eau douce météorique (Figure 5.5).

Les évènements pluvieux les plus marquants entraînent :

- une hausse rapide des hauteurs d'eau,
- un pic rapide de la température de l'eau,
- une décroissance rapide de la conductivité électrique,

Un retour lent vers un état normal est systématiquement observé sur les chroniques de conductivité électrique. Cette phase transitoire est souvent interrompue par l'évènement pluvieux suivant.

En dehors des perturbations associées aux précipitations, la minéralisation de l'eau reste relativement constante, avec des conductivités électriques variant entre 85 et 95 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

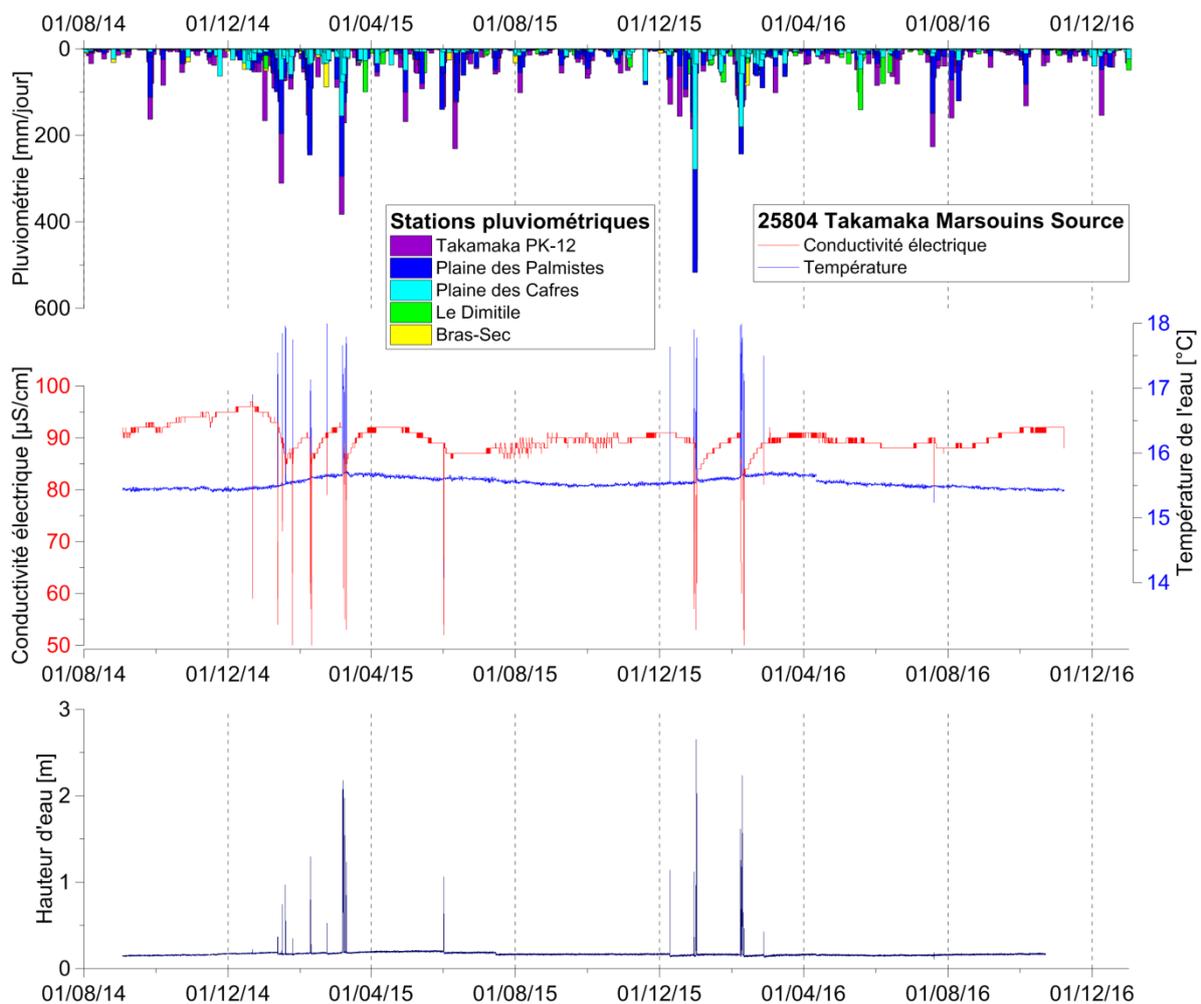


Figure 5.5 : Suivi des paramètres hydrogéologiques à la station 25804 Marsouins source

5.3.2 Caractérisation hydrochimique

Les analyses chimiques mettent en évidence une eau à faciès hydrochimique bicarbonaté magnésien. L'enrichissement en magnésium peut s'expliquer par i) un temps de transit plus long et ii) une remobilisation probable d'une eau souterraine plus minéralisée, ayant réagi plus longtemps avec l'encaissant basaltique riche en minéraux ferromagnésiens (olivines, pyroxènes, amphiboles...).

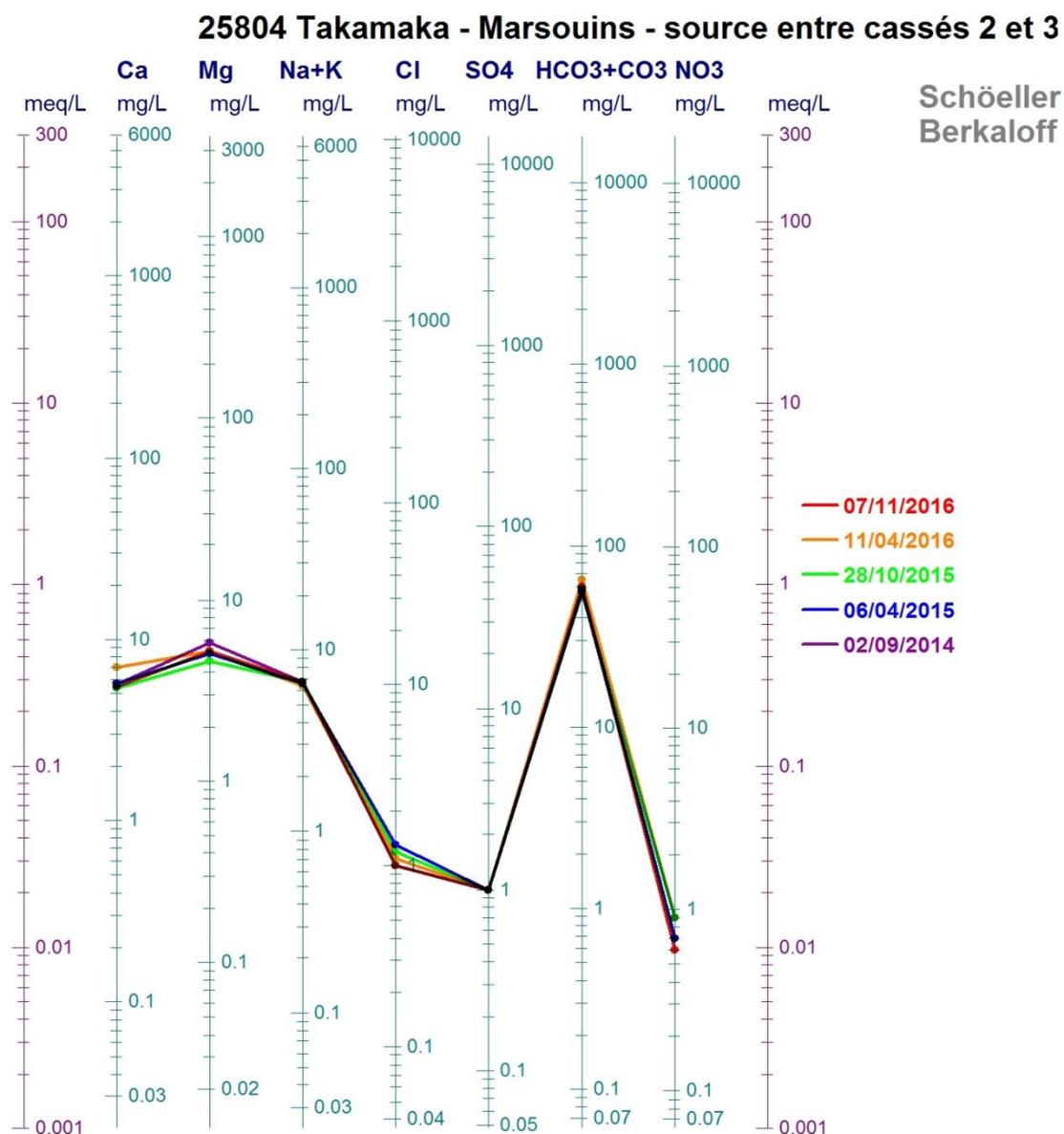


Figure 5.6 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 25804 Marsouins Source

5.4 La station 25805 Takamaka Marsouins Cassé 3

5.4.1 Suivi des paramètres hydrogéologiques

Cette station d'observation est instrumentée depuis septembre 2014. Les mesures réalisées en bas du cassé 3 permettent de suivre les émergences localisées à la base des alternances de basaltes massifs et scoriacés. Les données enregistrées ici restent en cohérence avec les résultats obtenus sur la station précédente et affichent un comportement hydrogéologique similaire (Figure 5.7). En revanche, la tendance à la baisse observée sur le cassé 2 et associée aux précipitations de la saison des pluies 2016 n'est pas visible sur le cassé 3. En effet, au droit de cette station, le signal de conductivité électrique retrouve son niveau initial (70 $\mu\text{S}/\text{cm}$) en avril 2016.

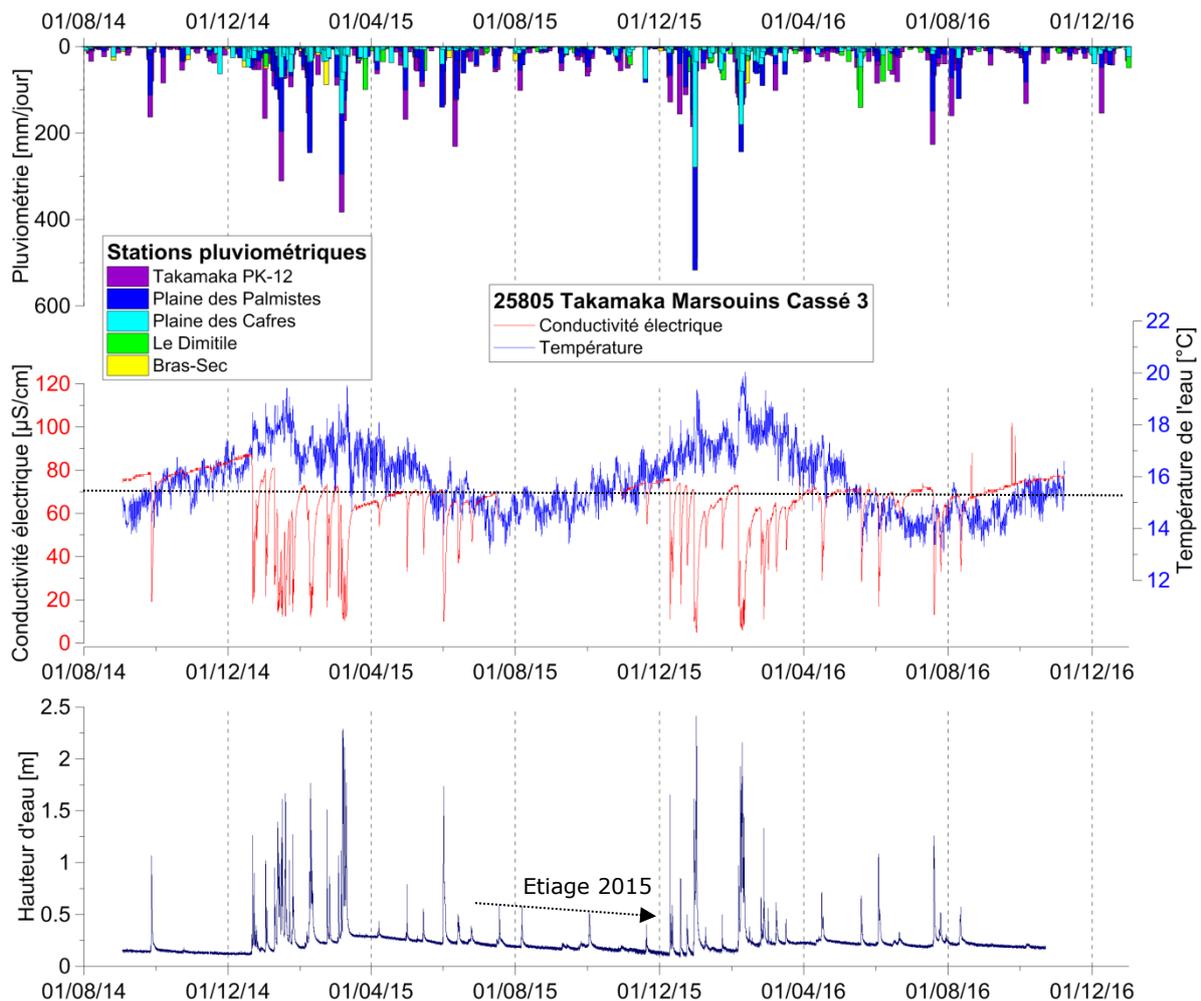


Figure 5.7 : Suivi des paramètres hydrogéologiques à Takamaka Marsouins Cassé 3

5.4.1 Caractérisation hydrochimique

Les analyses chimiques mettent en évidence une eau à faciès hydrochimique bicarbonaté magnésien. Comme observé sur les échantillons du site précédent, l'enrichissement en magnésium peut s'expliquer par i) un temps de transit plus long et ii) une remobilisation probable d'une eau souterraine plus minéralisée, le site de mesure étant positionné à la base des formations aquifères de basaltes massifs et scoriacés.

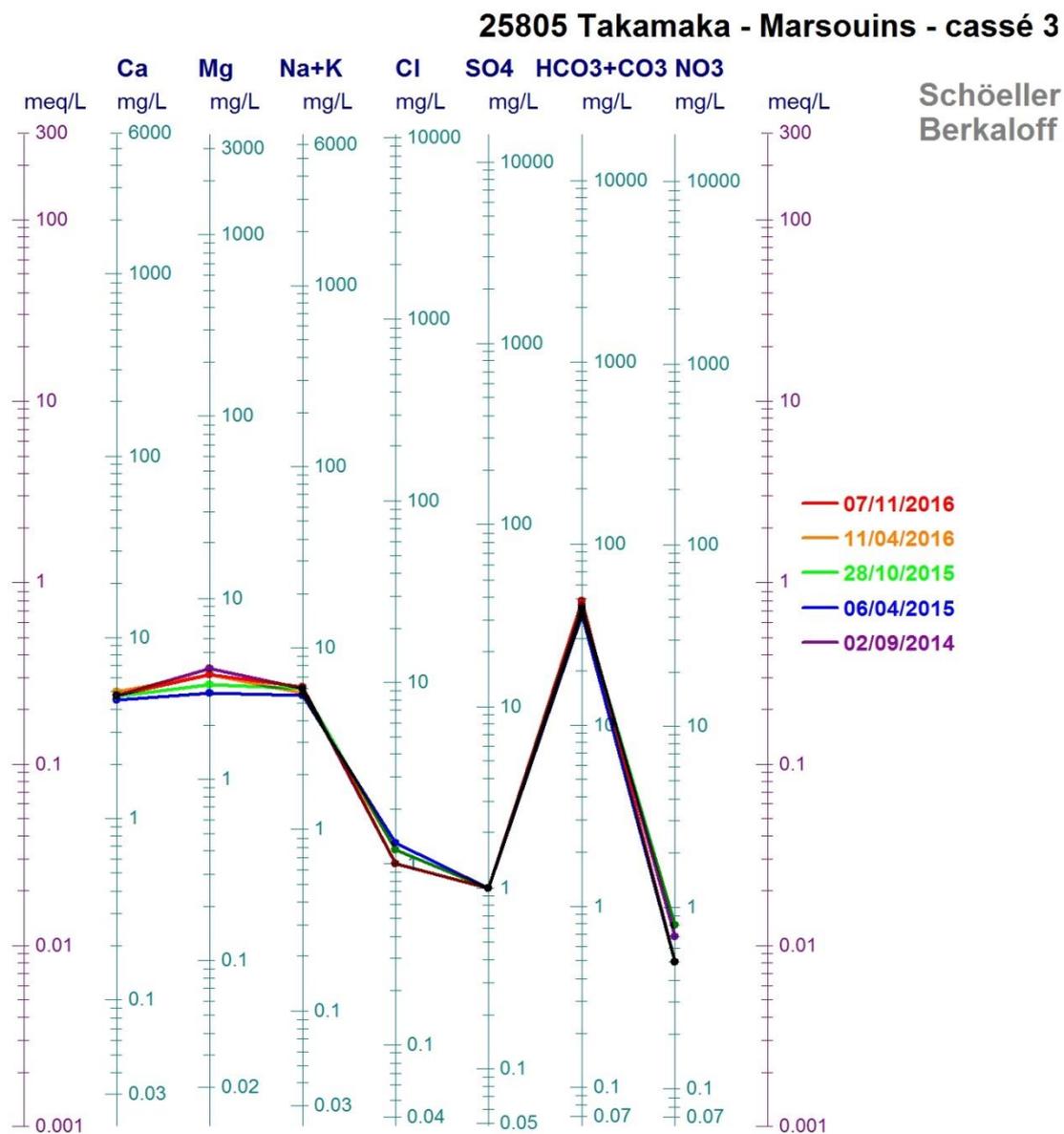


Figure 5.8 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 25805 Marsouins cassé 3

5.5 Hydrogéologie des sources du Bras de Sainte-Suzanne

L'analyse des chroniques hydrométriques de l'Office de l'eau montrent que les sources du Bras de Sainte-Suzanne (Pont du Diable, Hirondelles, Edgar Avril, Citrons, Ilet Canne...) se caractérisent par un débit d'étiage constant et relativement élevé (plusieurs dizaines à centaines de litres par seconde). A titre d'exemple, les débits du Pont du Diable varient entre 160 et 210 L/s pour 75% des valeurs mesurées (28 observations) pour des extrêmes de 130 à 240 L/s.

Les autres sources présentent une dynamique similaire (**Tableau 5.1**) :

Source	Débit moyen [L/s]	Nombre d'observations
Pont du Diable	185	28
Hirondelles	165	25
Edgar Avril	210	14
Citrons	66	13
Ilet Canne	67	12

Tableau 5.1 : Débits moyens des principales sources du Bras de Sainte-Suzanne

Cette inertie apparente peut être expliquée par la forte épaisseur de la zone non saturée (600-800 m) qui tamponne l'effet des précipitations et confère aux sources un débit relativement constant tout au long de l'année. Les relations entre le plateau de Bébour et ces sources paraissent évidentes afin d'expliquer leurs débits élevés. Hormis le calcul d'un débit spécifique, aucun autre argument ne permet de confirmer cette hypothèse (Aunay et al. 2009; RP-57185-FR)⁸. De la même manière, les relations entre la Plaine des Cafres et les sources de l'amont du Bras de Sainte-Suzanne ne sont étayées que par un calcul de bilan hydrologique considérant uniquement les limites d'un bassin versant superficiel hypothétique (Bourhane et al. 2015)⁹.

Enfin, d'après Aunay et al. (2012)¹⁰, les critères géologiques ne peuvent être utilisés pour discerner les flux souterrains vers le Bras de Sainte-Suzanne dans la mesure où la configuration des remparts reste similaire entre le Coteau Maigre au Nord et les remparts de La Petite Plaine à l'Est (formations basaltiques de la série différenciée recouvrant les océanites). Cependant, ces auteurs affirment qu'un bassin versant souterrain se développerait très probablement sous le Coteau Maigre vers le Plateau de Bébour. Les flux drainés par ce bassin versant engendreraient des débits importants et relativement constants pour alimenter en continu les sources du secteur.

Compte tenu du comportement inertiel de l'hydro-système, les volumes d'eau transitant dans cet aquifère doivent comporter un temps de transfert suffisamment long pour leur permettre d'acquérir une minéralisation relativement importante, comme en témoigne les valeurs de conductivités électriques mesurées (70 μ S/cm en moyenne à la source des Hirondelles et au Pont du Diable).

⁸ <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-57185-FR.pdf>

⁹ http://www.eaureunion.fr/fileadmin/user_upload/Etudes/ETUDE_00982.PDF

¹⁰ <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-59245-FR.pdf>

5.6 La station 41014 Pont du Diable

5.6.1 Suivi des paramètres hydrogéologiques

Cette station d'observation est instrumentée depuis janvier 2014. Les données enregistrées restent en cohérence avec les résultats obtenus sur les stations précédentes et affichent un comportement hydrogéologique similaire (Figure 5.9). Les circulations d'eau de pluie sont accompagnées ici d'écoulements souterrains relativement lents et plus minéralisés.

D'une manière générale, une cyclicité annuelle peut être observée. Elle est caractérisée par une baisse des conductivités en période des pluies, suivie d'une hausse durant la saison sèche. L'impact des précipitations de la saison des pluies 2016 se manifeste par une baisse de la minéralisation de l'eau initiée depuis fin décembre 2015. Les valeurs des conductivités électriques passent de 85 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en décembre 2015 à moins de 70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en juin 2016. Une légère augmentation des conductivités électriques peut être observée en fin d'année 2016.

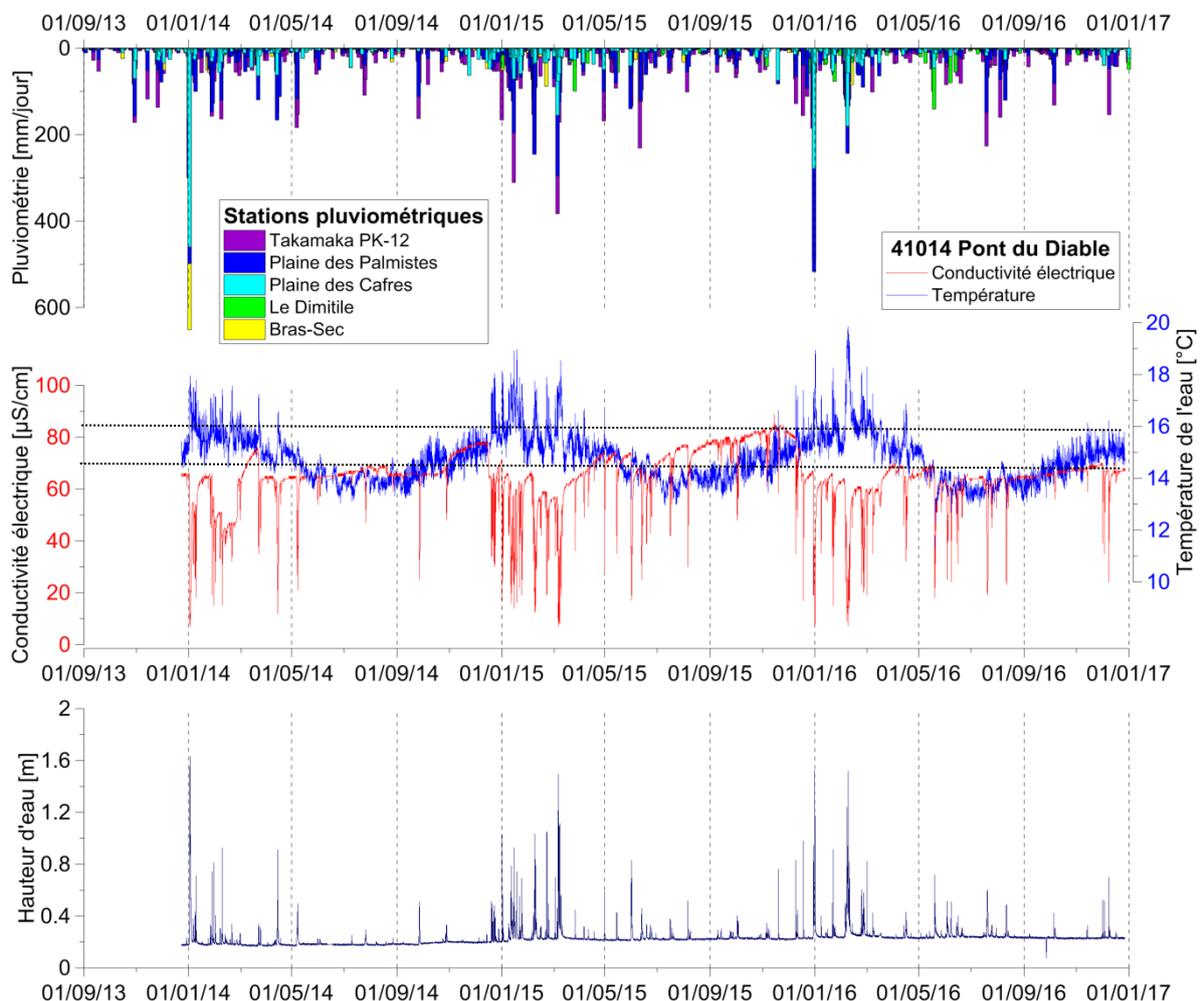


Figure 5.9 : Suivi des paramètres hydrogéologiques au Pont du Diable

5.6.1 Caractérisation hydrochimique

Les analyses chimiques mettent en évidence une eau à faciès hydrochimique bicarbonaté sodique et potassique. Cette signature géochimique est caractéristique des eaux ayant circulé dans un encaissant géologique de nature volcanique, riche en éléments alcalins Sodium et Potassium, en l'occurrence ici, les formations aquifères de basaltes massifs et scoriacés de la série différenciée. Cependant, le temps de résidence dans le réservoir géologique n'a pas été suffisamment long pour engendrer un enrichissement en éléments alcalino-terreux Calcium et Magnésium.

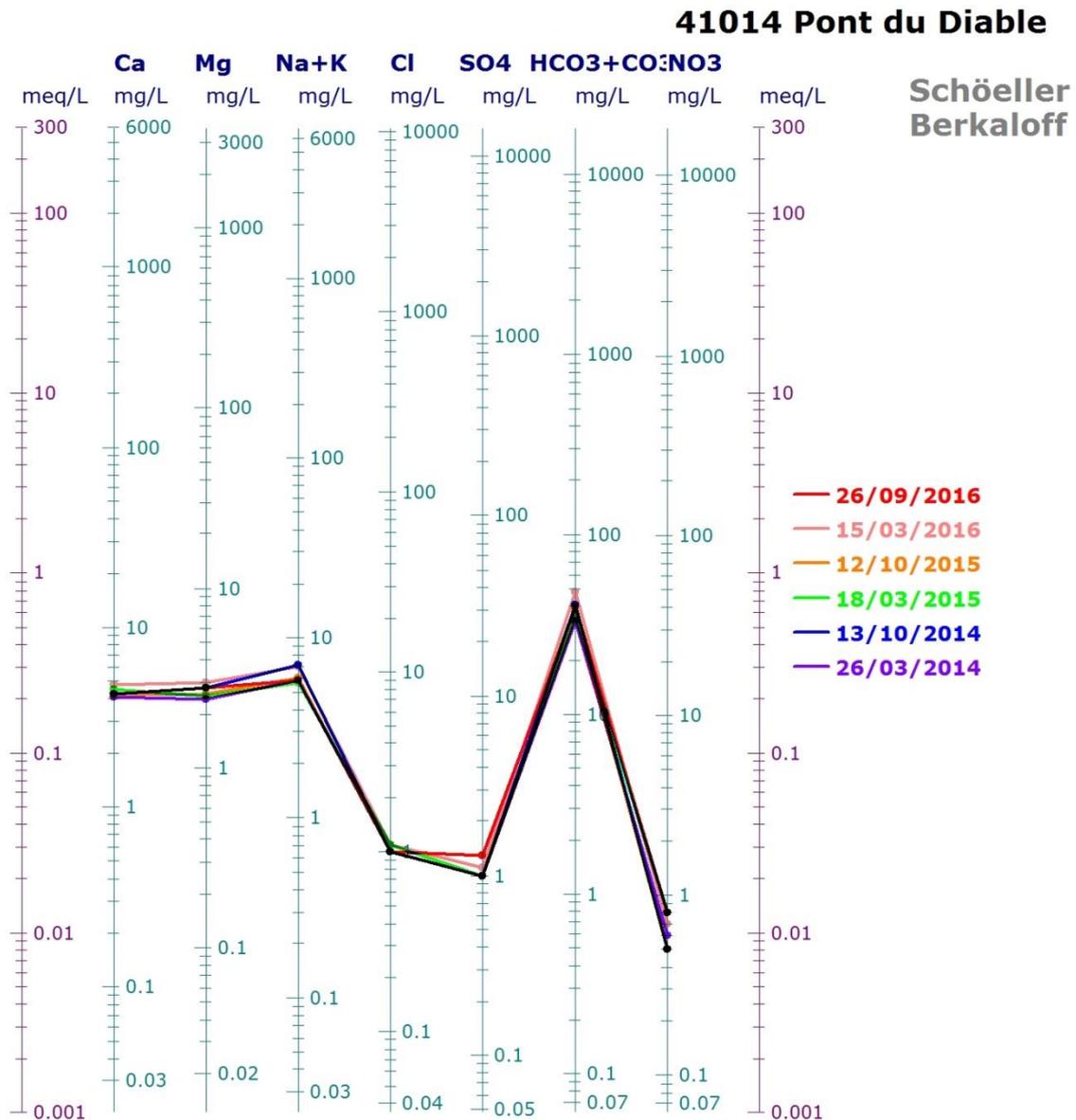


Figure 5.10 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 41014 Pont du Diable

5.7 La station 41007 Hironnelles

5.7.1 Suivi des paramètres hydrogéologiques

Cette station d'observation est instrumentée depuis janvier 2014. Les données enregistrées restent en cohérence avec les résultats obtenus sur les stations précédentes et affichent un comportement hydrogéologique similaire (Figure 5.11).

En 2015, le passage de la dépression tropicale Haliba (09/03/2015) se traduit par un pic des conductivités enregistrées. Cette perturbation du signal s'étale sur une semaine après les précipitations. Le signal de conductivité électrique enregistré en 2016 se caractérise par une tendance à la hausse entre les mois de mars et mai, avant d'afficher un retour à la normale à la fin du mois de juin (avec des valeurs inférieures à 80 $\mu\text{S/cm}$).

Par ailleurs, l'allure particulièrement accidentée du signal peut être expliquée soit par l'impact des précipitations très fréquentes, soit par une différence de sensibilité des capteurs utilisés en roulement sur ce site.

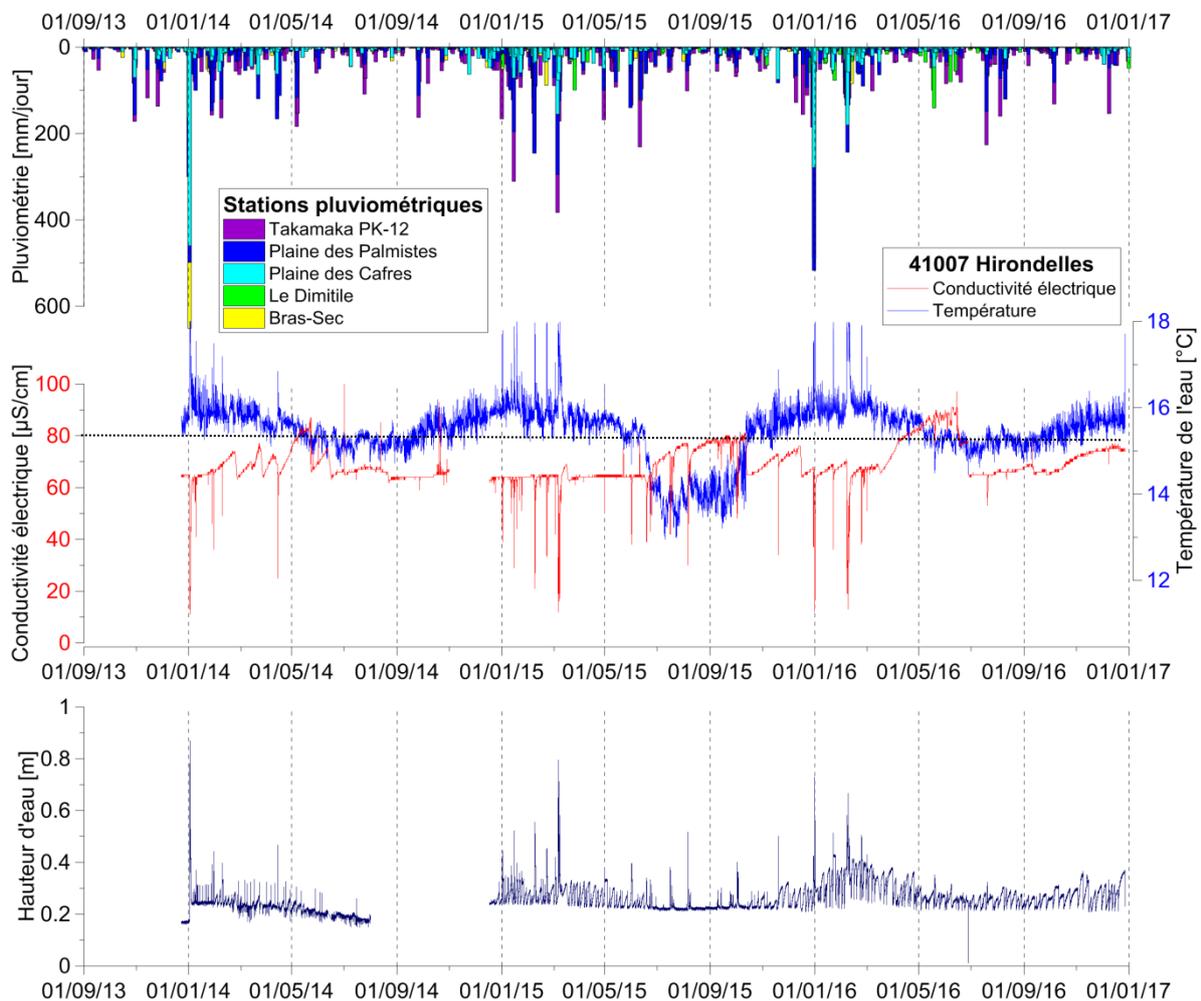


Figure 5.11 : Suivi des paramètres hydrogéologiques à la source des Hironnelles

5.7.1 Caractérisation hydrochimique

Les analyses chimiques mettent en évidence une eau à faciès hydrochimique bicarbonaté calcique. L'analyse réalisée en fin de saison des pluies 2015 (18/03/2015) indique un faciès bicarbonaté sodique et un enrichissement ponctuel en chlorures et sodium.

Cette modification de la signature géochimique peut être associée à l'impact de la tempête tropicale Haliba qui a touché l'île de La Réunion une semaine auparavant (09/03/2015). Ce pic de minéralisation consécutif aux épisodes pluvieux intenses est visible sur le signal de conductivité électrique décrit précédemment. Les infiltrations accompagnant les précipitations ont été suffisamment importantes pour engendrer ;

- i) un apport en chlorures, probablement d'origine anthropique et
- ii) un enrichissement en Sodium, Potassium et Magnésium, associé probablement à la remobilisation d'une eau plus ancienne et plus minéralisée, ayant réagi plus longtemps avec un encaissant basaltique riche en minéraux ferromagnésiens.

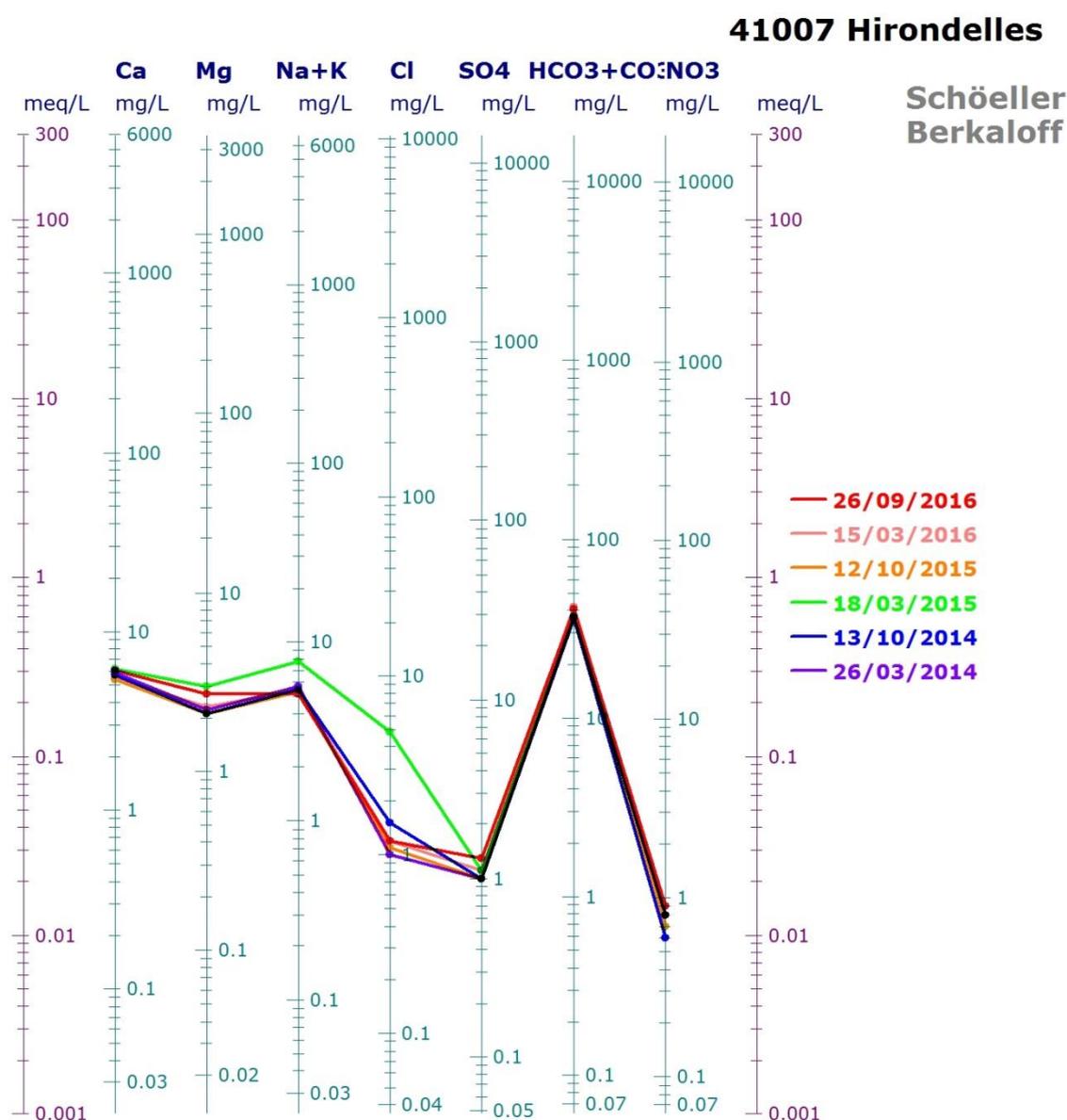


Figure 5.12 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 41007 Hironnelles

5.8 La station 41019 Edgar Avril

5.8.1 Suivi des paramètres hydrogéologiques

Cette source est instrumentée depuis janvier 2014. Les données enregistrées concordent avec les résultats obtenus sur les stations précédentes (Figure 5.13).

Cependant, l'amplitude des variations associées uniquement aux précipitations reste très limitée par rapport aux fluctuations qui paraissent déconnectées de la pluviométrie. Aussi, la caractérisation du comportement hydrogéologique demeure incertaine.

Une augmentation inhabituelle des conductivités électriques est tout de même observée en début d'année 2016, avec des valeurs excédant 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Cette observation peut être expliquée par i) un phénomène de remobilisation d'une eau plus minéralisée ou ii) un dysfonctionnement du capteur de conductivité électrique installé durant cette période.

Les hauteurs d'eau ne sont pas représentées sur la figure ci-dessous car les données de pression indiquent un dysfonctionnement du capteur.

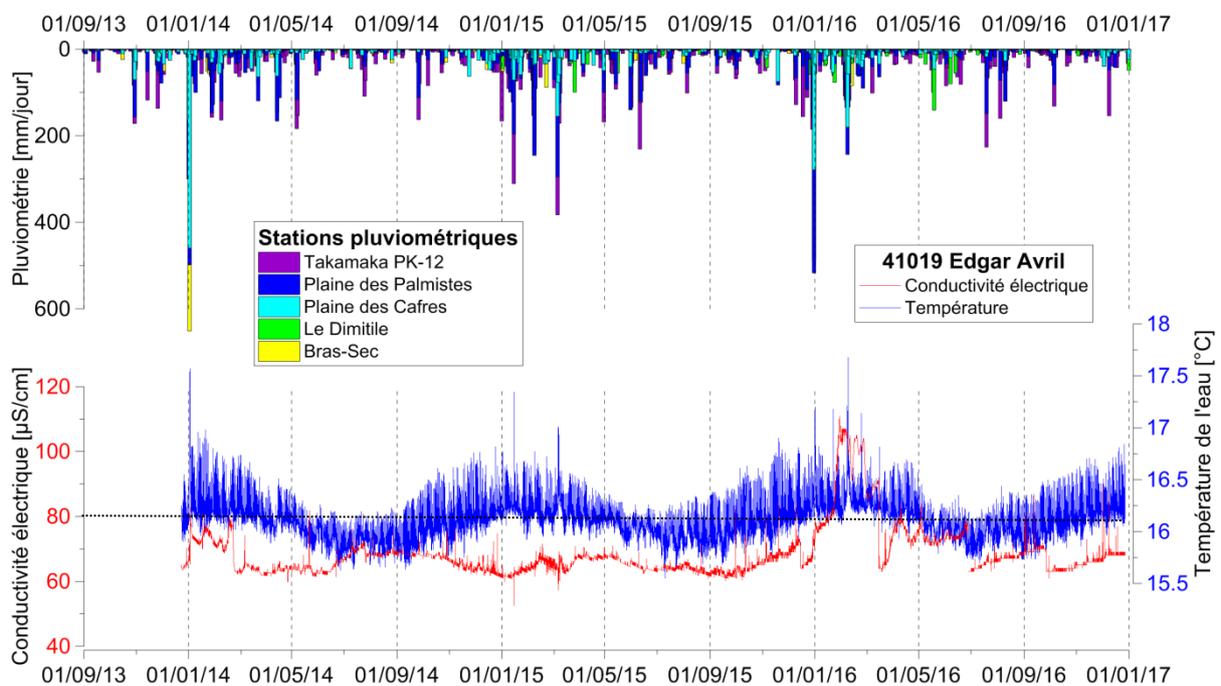


Figure 5.13 : Suivi des paramètres hydrogéologiques à la source Edgar Avril

5.8.1 Caractérisation hydrochimique

Les analyses chimiques mettent en évidence une eau à faciès hydrochimique bicarbonaté calcique. Comme observé sur la source des Hirondelles, l'enrichissement en Calcium indique un temps de séjour relativement long de l'eau souterraine dans l'encaissant géologique. En effet, la mise en solution de l'élément Calcium contenu principalement dans les feldspaths plagioclases nécessite un temps de résidence suffisamment long.

Ce constat permet de supposer que les émergences observées à Edgar Avril et aux Hirondelles comportent un temps de transfert plus long que celle observée au Pont du Diable, relativement appauvri en Calcium.

Enfin, contrairement à la station des Hirondelles, l'analyse chimique réalisée en fin de saison des pluies 2015 (18/03/2015) n'indique pas d'impact significatif de la tempête tropicale Haliba sur la chimie de la source Edgar Avril (Figure 5.14).

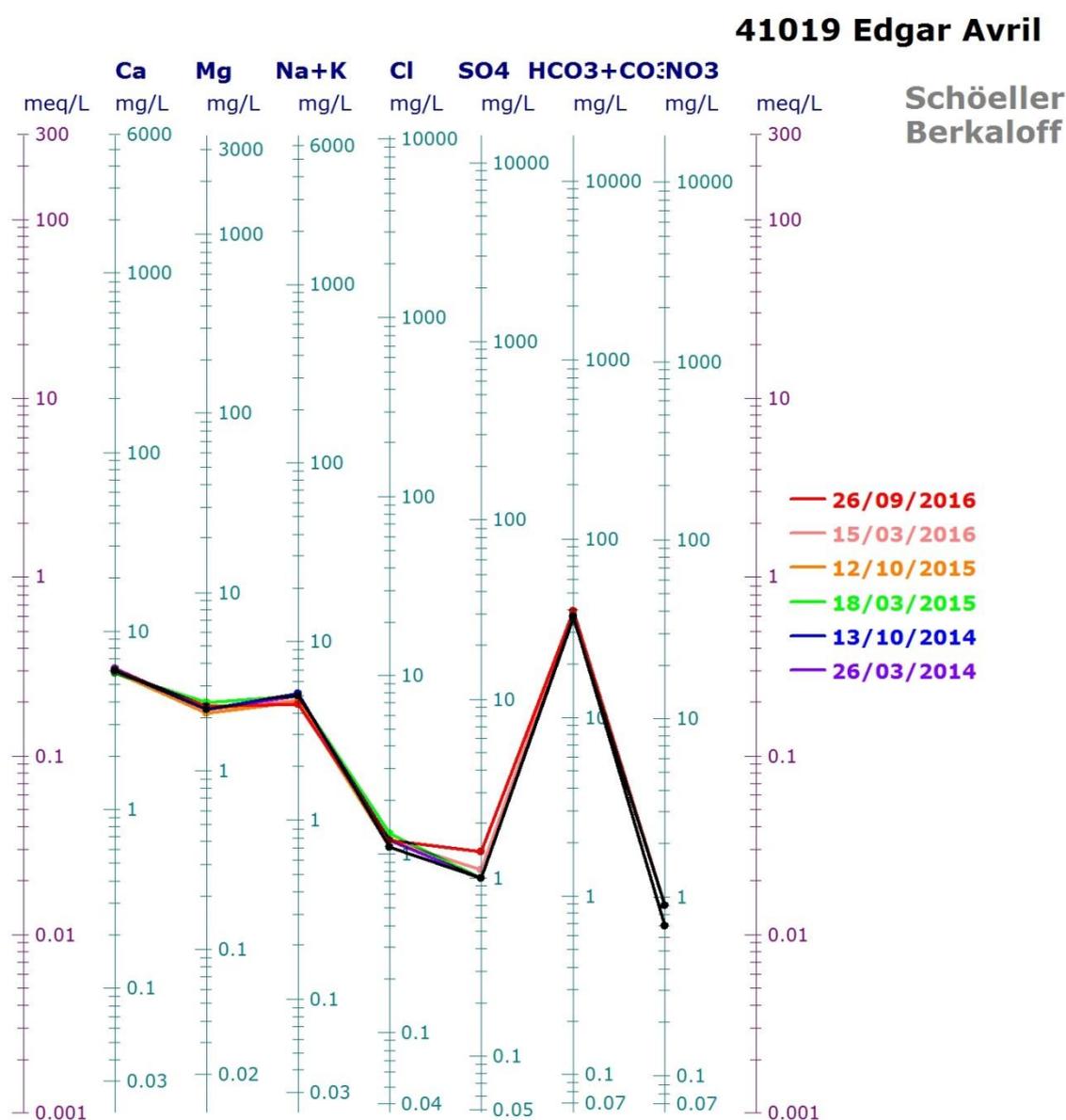


Figure 5.14 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 41019 Edgar Avril

6 Le massif du Piton de La Fournaise

6.1.1 Contexte géologique et hydrogéologique

La géologie du massif de La Fournaise se caractérise par une accumulation de coulées basaltiques dont la perméabilité décroît avec l'âge et la profondeur. Bachelery et Lenat (1993) ont distingué deux groupes principaux de coulées volcaniques :

- Le bouclier volcanique ancien (Unité I) date d'il y a au moins 500 000 ans et affleure dans la partie Ouest de l'édifice volcanique.
- Le bouclier volcanique récent (Unités II, III et IV) s'est mis en place depuis 150 000 ans et occupe la partie Est de l'édifice. Il a été affecté par la formation de trois caldéras : le Morne Langevin (150 000 ans), la Plaine des Sables (65 000 ans) et l'Enclos Fouqué (5000 ans).

La synthèse des données issues de plusieurs sondages électromagnétiques profonds a permis d'esquisser un schéma conceptuel simplifié de la structure interne du massif de La Fournaise (Courteaud et al. 1997; Lénat et al. 2000; Folio 2001a) :

- Une couche superficielle résistante a été associée aux séries volcaniques récentes non saturées (Unités III et IV). La perméabilité moyenne de cette formation a été estimée à 10^{-2} m/s (Join et al. 2005). Une couche moyennement résistante a été associée à la partie saturée de la formation superficielle. Les épaisseurs moyennes de ces unités sont de 150 m pour l'Unité IV et 300 m pour l'Unité III.
- Une couche conductrice correspond aux séries volcaniques anciennes saturées (Unités I et II). Les principales sources du massif de La Fournaise sont issues de ces formations. Les perméabilités moyennes sont estimées à 10^{-4} m/s pour l'Unité II et 10^{-6} m/s pour l'Unité I. L'épaisseur moyenne de l'Unité II varie entre 400 et 500 m. L'épaisseur de l'Unité I varie en fonction de la position du front d'altération hydrothermale.
- Une couche fortement conductrice est associée à un substratum saturé et altéré. Cette formation n'a pas été observée en surface.

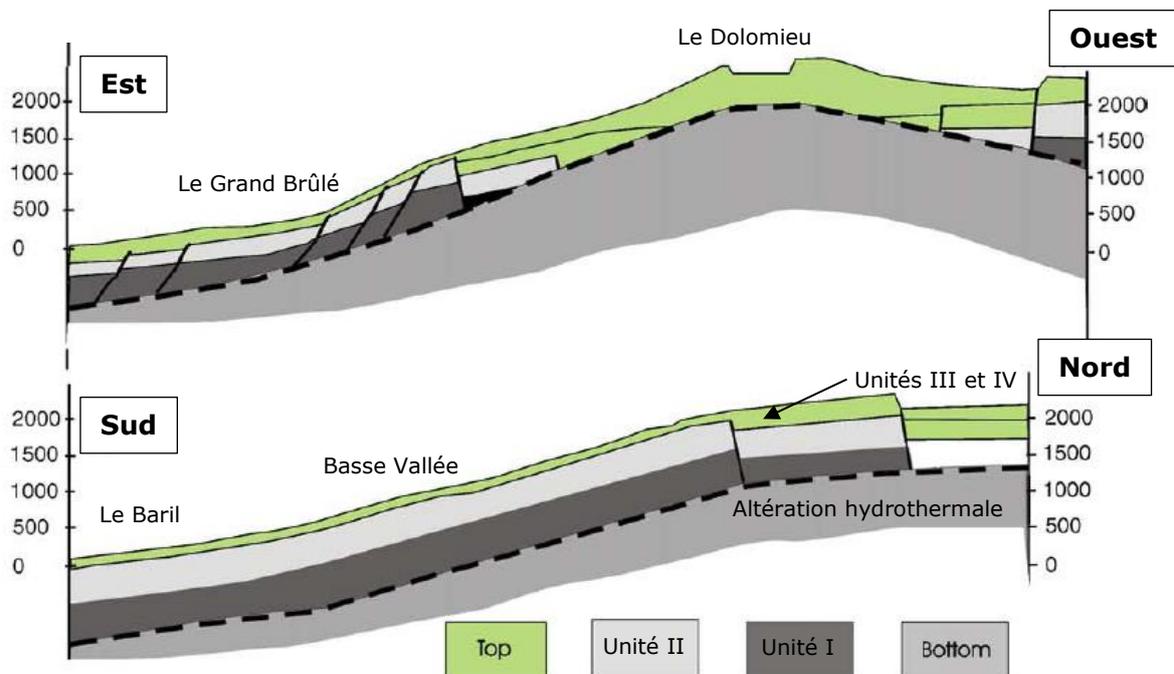


Figure 6.1 : Coupes géologiques du massif de La Fournaise, d'après Join et al. (2005)

Le massif du Piton de La Fournaise se trouve dans le secteur le plus arrosé de l'île, avec des cumuls pluviométriques annuels moyens excédant 10 m/an sur les stations de Bellecombe et Commerson. Les ressources en eau souterraine de ce massif volcanique récent sont étudiées depuis plus de 20 ans. Les premiers travaux sur le fonctionnement de ces hydro-systèmes complexes révèlent un comportement hydrogéologique largement contrôlé par l'infiltration d'eau météorique au cœur du massif. Pour l'ensemble de la zone, la recharge du Piton de La Fournaise est estimée à 2 300 Mm³ par an, pour une superficie de 470 km² (Barcelo 1996)¹¹.

Sur l'ensemble du massif du Piton de La Fournaise, malgré les précipitations abondantes, seulement trois cours d'eau présentent un écoulement permanent atteignant la mer : la Rivière de l'Est, la Rivière Langevin et la Rivière des Remparts. Ces cours d'eau se sont mis en place dans les vallées les plus profondément incisées au sein du massif. Sur les flancs du volcan, le ruissellement est observé seulement durant les événements pluvieux les plus intenses. Barcelo (1996) a montré que ces événements exceptionnels sont associés à des infiltrations importantes localisées dans les lits des rivières et contribuant ponctuellement à la recharge des aquifères.

Dans le cadre de cette étude, cinq stations d'observation sont instrumentées dans les trois cours d'eau permanents et les points d'émergence du massif (Figure 6.2) :

- la galerie de la Rivière de l'Est,
- l'Anse des Cascades,
- la source Cazala,
- la cascade de Grand Galet,
- la Ravine des Sept Bras à Cap Blanc

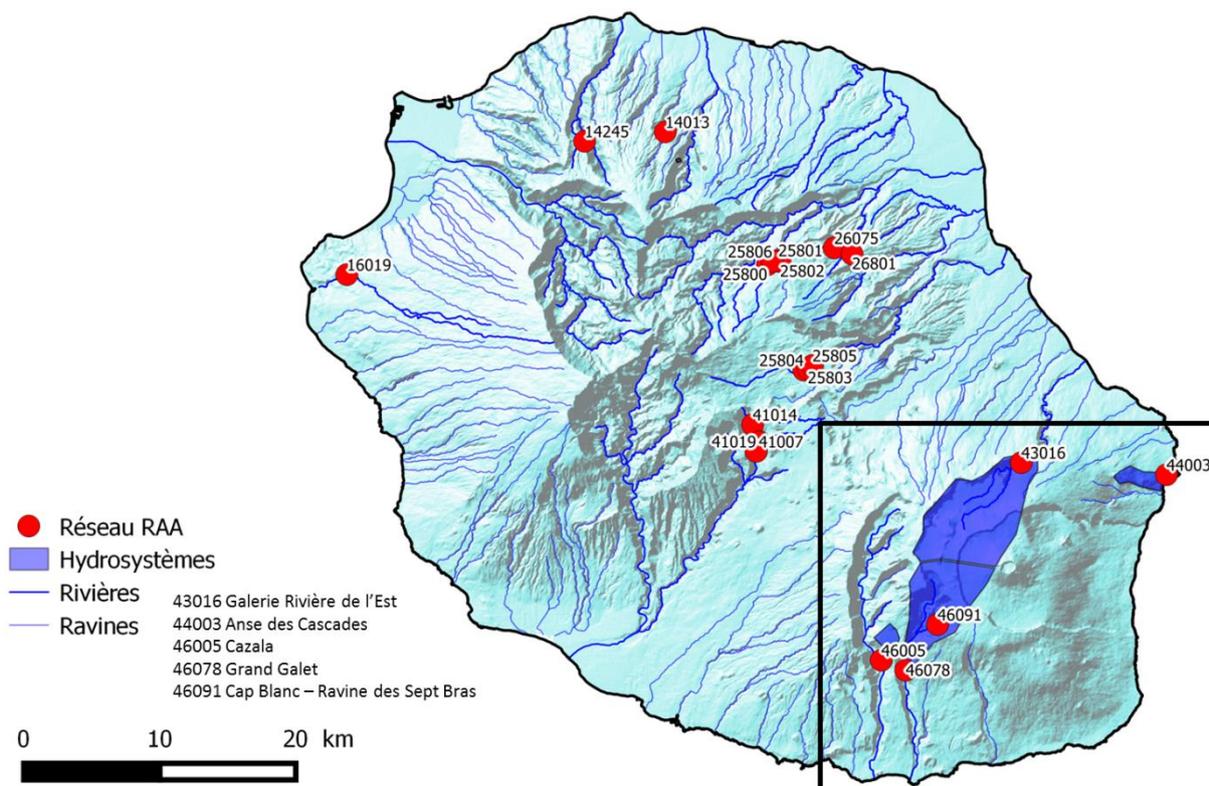


Figure 6.2 : Localisation des stations d'observation sur le massif de La Fournaise

¹¹ <http://www.theses.fr/1996MON20115>

Barcelo et Coudray (1996)¹² ont calculé le bilan hydrologique du massif de la Fournaise. Les précipitations moyennes annuelles sont estimées à 6,2 m. L'évaporation et le ruissellement sont évalués chacun autour de 1 m, ce qui correspond à l'incertitude de la pluviométrie. La recharge annuelle avoisine 4,2 m, soit environ 68% des précipitations annuelles. Cette alimentation exceptionnelle expliquerait la localisation des sources à des altitudes aussi élevées et l'importance des volumes d'eau disponibles au cœur du massif. Le modèle hydrogéologique tridimensionnel réalisé par Folio (2001-a)¹³ situe l'altitude du toit de la nappe de base dans la zone centrale du massif à 1900 m NGR. Cette situation permettrait d'atteindre la ressource par galeries drainantes (Pennober et al. 2004)¹⁴.

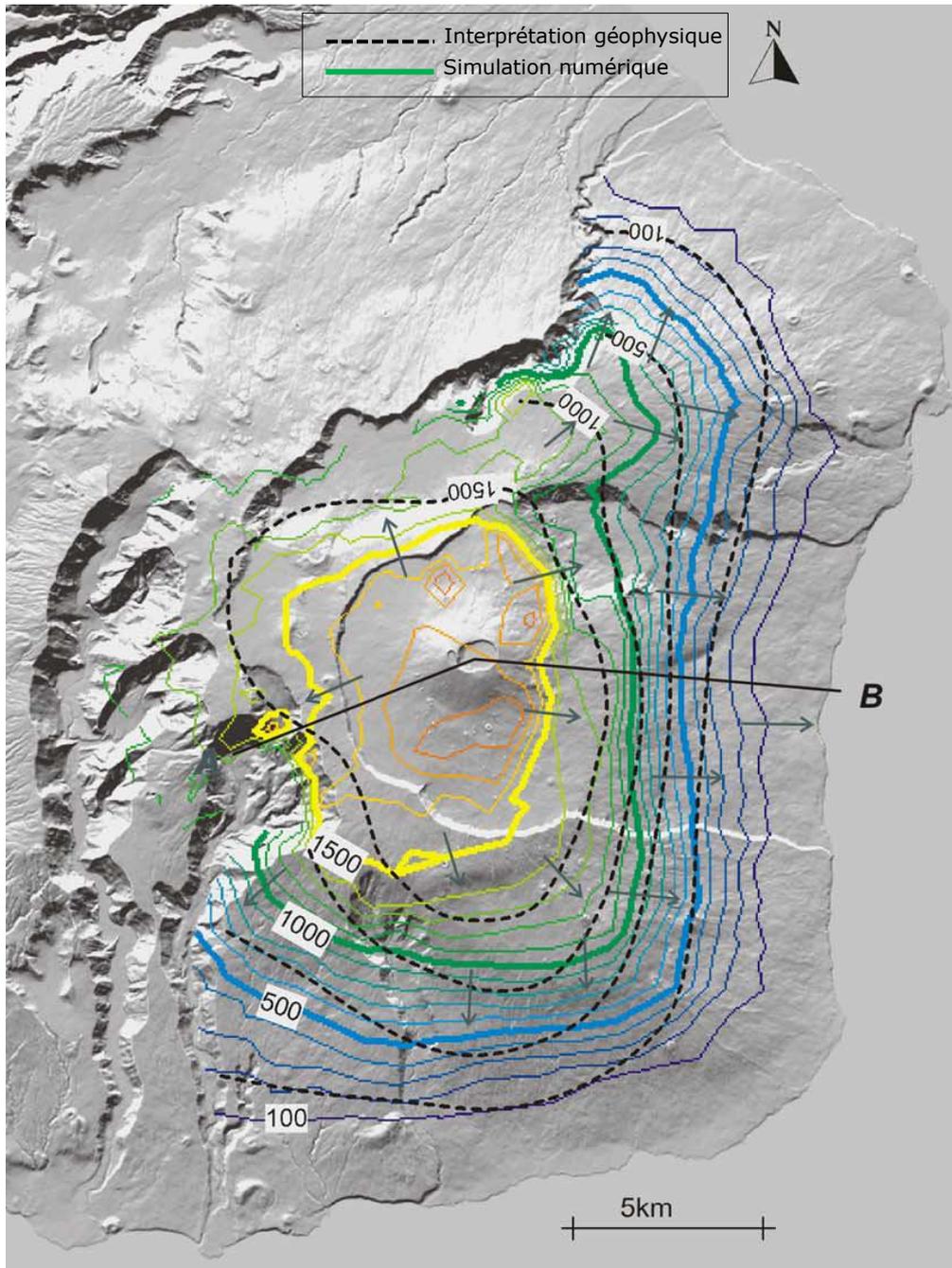


Figure 6.3 : Carte piézométrique du massif de la Fournaise d'après Join et al. (2005)

¹² <http://www.erudit.org/revue/rseau/1996/v9/n4/705262ar.html?vue=resume>

¹³ <http://www.theses.fr/2001LARE0022>

¹⁴ <https://cybergeo.revues.org/3298>

6.2 La station 43016 Galerie de la Rivière de l'Est

6.2.1 Suivi des paramètres hydrogéologiques

Cette station d'observation est instrumentée depuis avril 2014. Le site suivi est localisé dans une galerie drainant l'aquifère de base du Piton de la Fournaise. L'analyse des données révèle un comportement hydrogéologique similaire à celui observé sur les stations des secteurs de Bélouve et de Bébour, à savoir ; i) l'impact très marqué des écoulements d'eau douce météorique (Figure 6.4), ii) la mise en circulation permanente d'une eau souterraine ancienne, plus minéralisée.

Les évènements pluvieux majeurs entraînent :

- une hausse rapide des hauteurs d'eau,
- une baisse des hauteurs d'eau en raison de la fermeture des vannes pendant les crues en amont de la galerie EDF.
- un pic rapide de la température de l'eau,
- une décroissance rapide de la conductivité électrique.

Par ailleurs, les niveaux de conductivité électrique mesurés sur cette station (150 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en moyenne) sont plus élevés que ceux mesurés au droit des stations situées sur le flanc Est du Piton des Neiges (secteurs de Bélouve et Bébour).

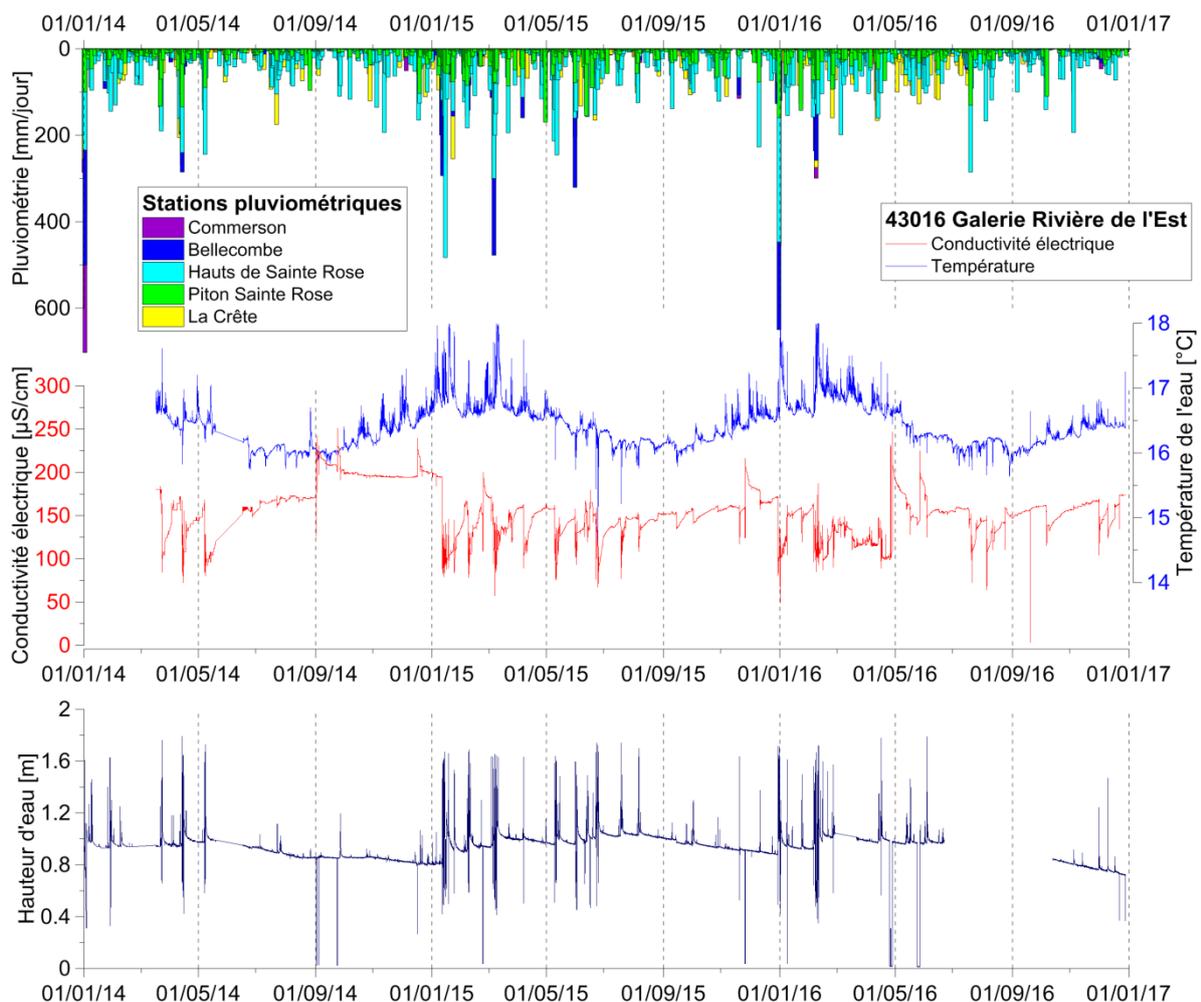


Figure 6.4 : Suivi des paramètres hydrogéologiques à la galerie de la Rivière de l'Est

6.2.1 Caractérisation hydrochimique

Les analyses chimiques mettent en évidence une eau à faciès hydrochimique bicarbonaté magnésien bien marqué. L'enrichissement en Magnésium traduit un temps de résidence relativement long de l'eau souterraine dans l'encaissant géologique. En effet, la mise en solution du Magnésium contenu principalement dans les minéraux ferromagnésiens (beaucoup plus résistants à l'hydrolyse que les feldspaths plagioclases ou potassiques) nécessite une interaction eau-roche beaucoup plus importante.

Une forte hausse des teneurs en éléments majeurs a été observée pendant les étiages de 2014 et 2015. Cette observation suggère un phénomène de purge du massif volcanique qui s'opèrerait régulièrement durant l'étiage dans ce secteur. Toutefois, ce phénomène n'a pas été observé durant l'étiage de 2016. Par ailleurs, les plus faibles concentrations ont été mesurées à la fin de la saison des pluies de 2015 (11/03/2015), soit deux jours après le passage de la dépression tropicale Haliba (09/03/2015) : les fortes précipitations auraient eu comme conséquence une légère dilution de l'eau souterraine stockée dans le massif volcanique (Figure 6.5).

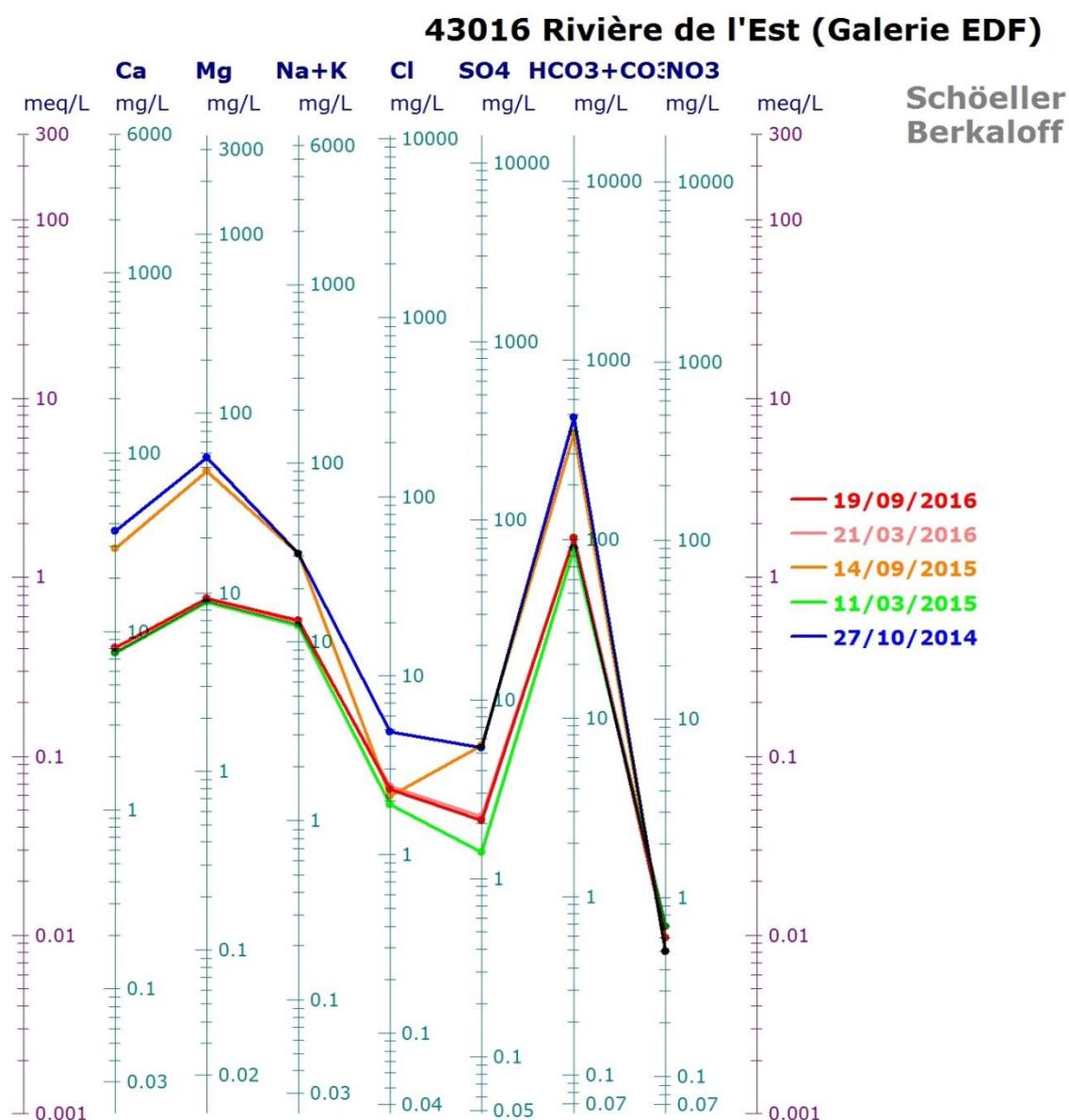


Figure 6.5 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 43016 Rivière de l'Est

6.3 La station 46091 Cap Blanc – Ravine des Sept Bras

6.3.1 Suivi des paramètres hydrogéologiques

Cette station d'observation est instrumentée depuis septembre 2013. L'analyse des données révèle un comportement hydrogéologique similaire à celui observé sur la station précédente, marqué par i) un impact des infiltrations d'eau météorique (Figure 6.6) et ii) une mise en circulation d'eau souterraine minéralisée.

Les niveaux de conductivité électrique (100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en moyenne) sont plus faibles que ceux enregistrés sur la station précédente, probablement en raison de l'altitude plus élevée de celle-ci (1000 m) et donc d'un temps de trajet plus court pour les infiltrations.

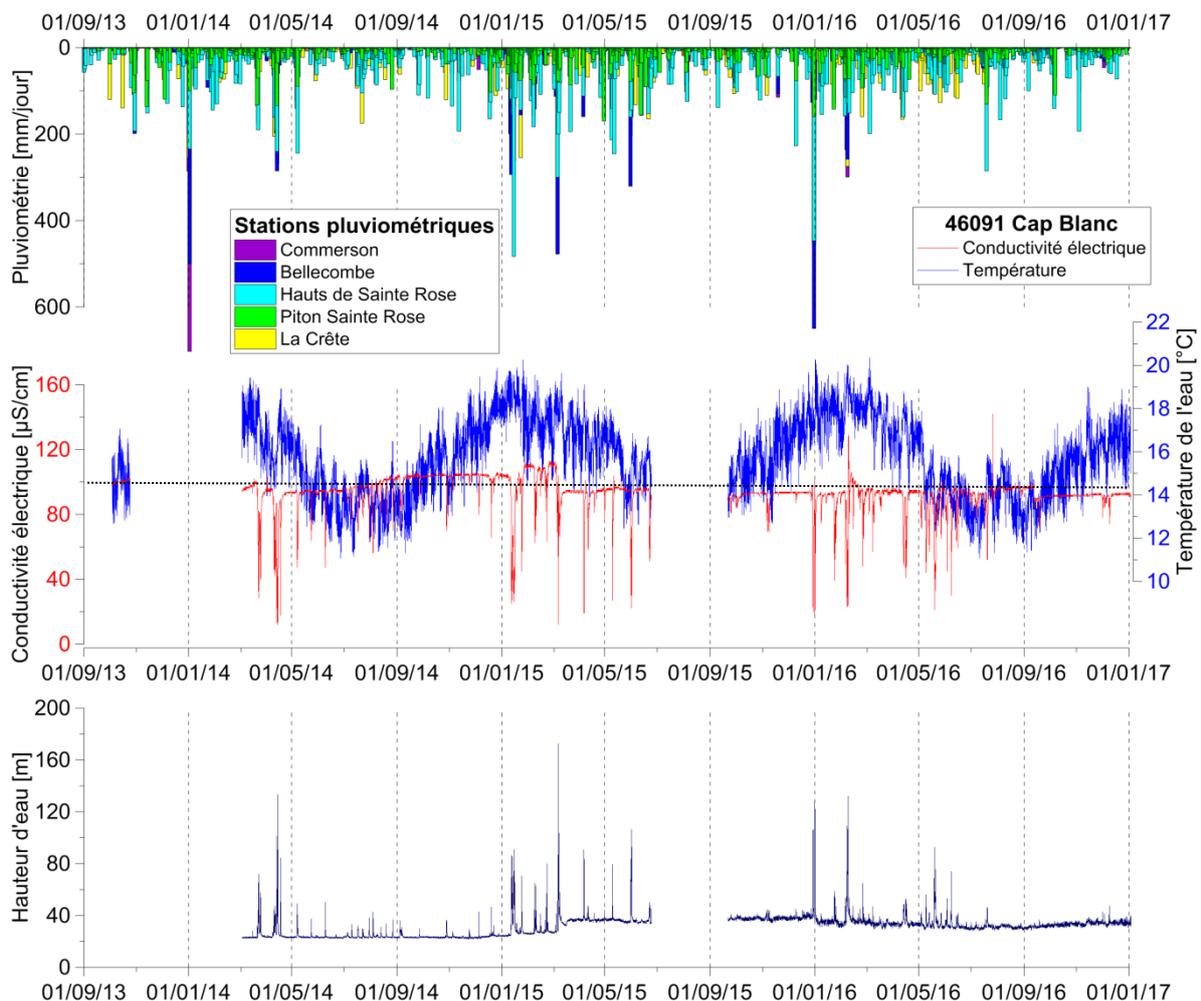


Figure 6.6 : Suivi des paramètres hydrogéologiques à Cap Blanc - Ravine des Sept Bras

6.3.1 Caractérisation hydrochimique

Les analyses chimiques mettent en évidence une eau à faciès hydrochimique bicarbonaté sodique. L'appauvrissement en Calcium et Magnésium traduit ici soit un trajet souterrain relativement court, soit une vitesse de circulation importante. Compte tenu de l'altitude élevée (1000 m) et de la piézométrie de la nappe de base estimée à 1500 m dans le secteur de Cap Blanc, la Ravine des Sept Bras draine une épaisseur de zone saturée plus faible (environ 500 m), d'où un temps de transfert plus court.

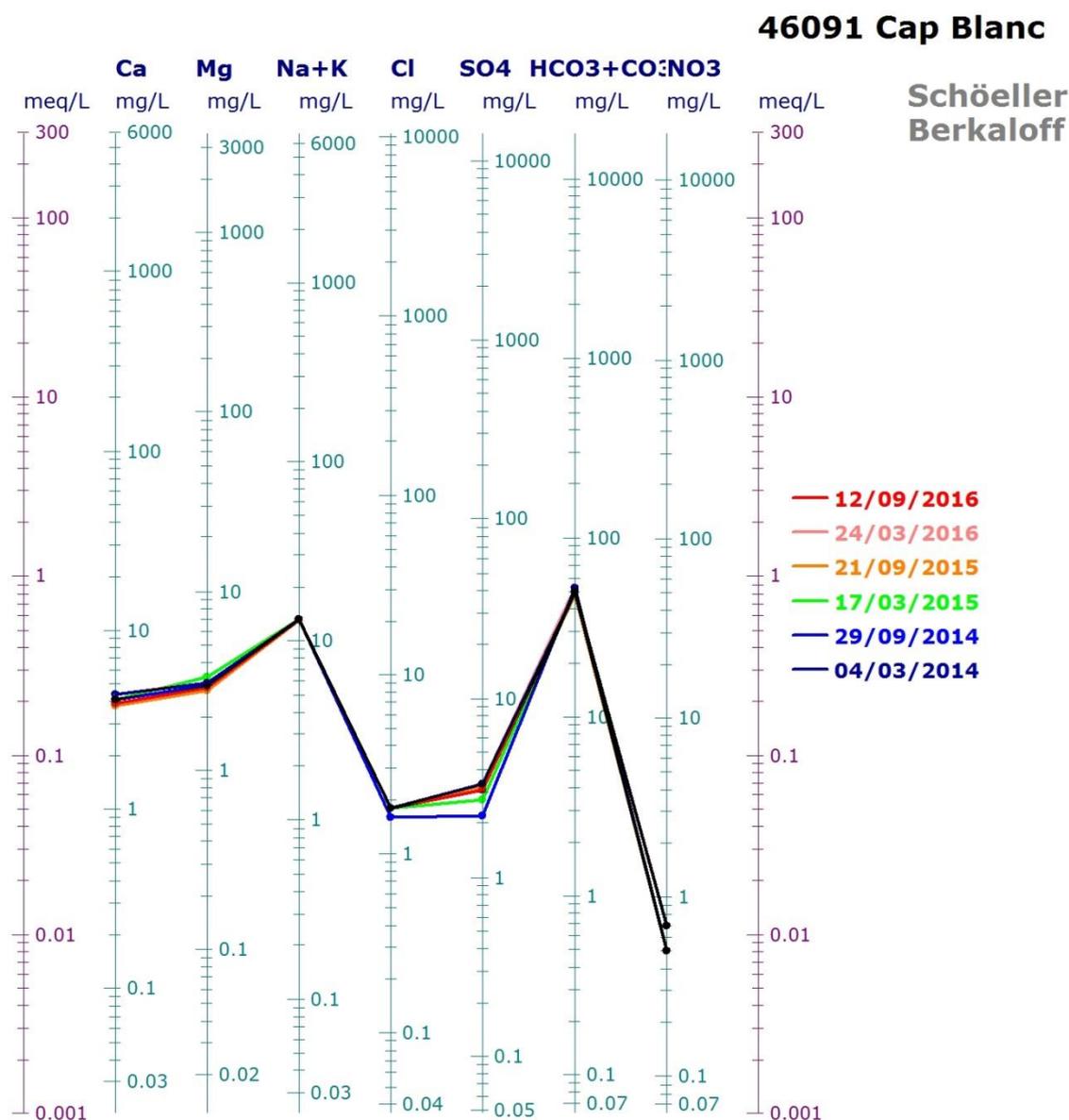


Figure 6.7 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 46091 Cap Blanc

6.4 La station 46078 Grand Galet

6.4.1 Suivi des paramètres hydrogéologiques

Les émergences de la Rivière Langevin résultent d'écoulements souterrains à travers le massif de La Fournaise. La station d'observation de Grand Galet est instrumentée depuis septembre 2013. L'analyse des données révèle un comportement hydrogéologique similaire à celui observé sur les stations précédentes, à savoir un impact i) des circulations d'eau souterraine plus minéralisée et ii) des infiltrations d'eau météorique. Ces phénomènes hydrologiques influencent à la fois les hauteurs d'eau, la température de l'eau et les conductivités électriques (Figure 6.8).

Par ailleurs, cet impact paraît plus marqué lorsque les précipitations sont localisées sur le flanc sud du massif au niveau des stations de Bellecombe, de Commerson et de la Crête. En dehors des perturbations associées à la pluviométrie, les conductivités électriques restent supérieures à 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sur toute la période du suivi. L'évolution des niveaux d'eau indique un tarissement relativement rapide en l'absence de précipitations.

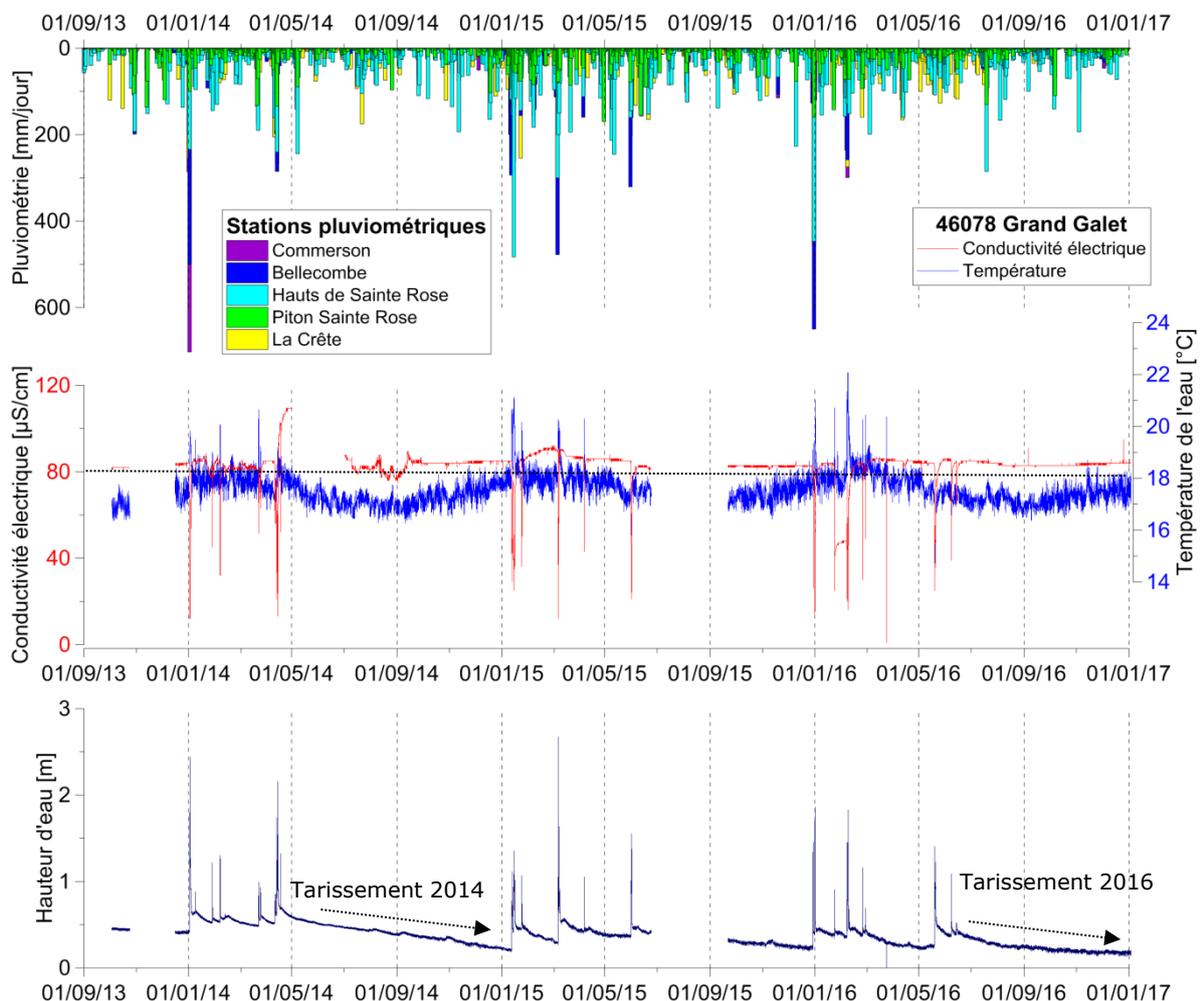


Figure 6.8 : Suivi des paramètres hydrogéologiques à la cascade Grand Galet

6.4.1 Caractérisation hydrochimique

Les analyses chimiques mettent en évidence une eau à faciès hydrochimique bicarbonaté sodique. Comme observé sur la Ravine des Sept Bras, l'appauvrissement en Calcium et Magnésium traduit ici soit un trajet souterrain relativement court, soit une vitesse de circulation importante. Compte tenu de la piézométrie de la nappe de base estimée à 600 m NGR dans le secteur de Grand Galet, cette émergence doit drainer une épaisseur de zone saturée relativement faible (environ 100 m), d'où un temps de transfert plus court.

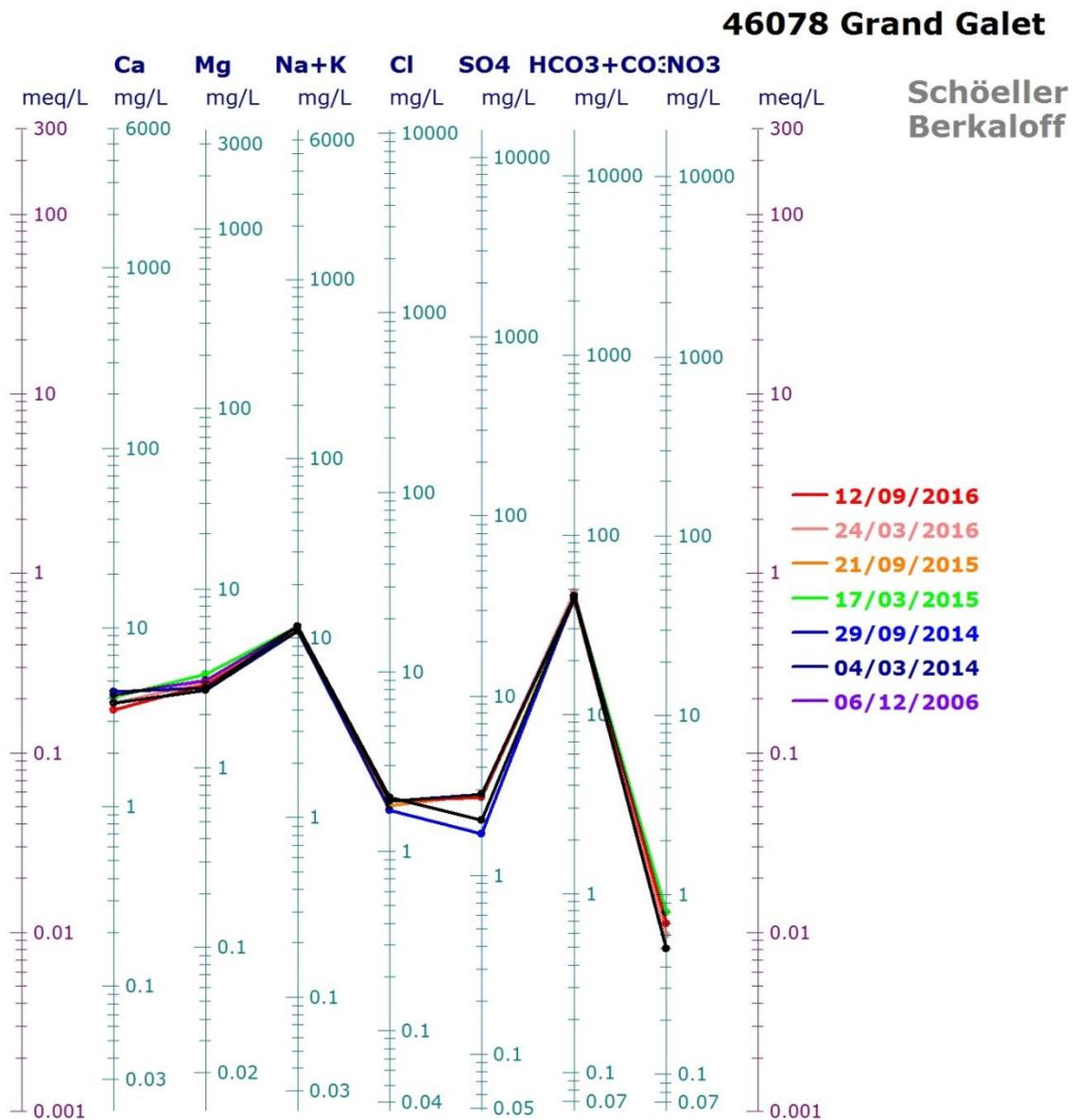


Figure 6.9 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 46078 Grand Galet

6.5 La station 46005 Cazala

Les émergences de la Rivière des Remparts résultent d'écoulements souterrains à travers le massif de la Fournaise. La station d'observation de la source Cazala est instrumentée depuis décembre 2014.

L'analyse des données ne permet pas d'observer le comportement hydrogéologique décrit au droit des stations précédentes. Le suivi des paramètres hydrogéologiques n'est pas représenté ici en raison de plusieurs difficultés de positionnement des capteurs. Toutefois, une conductivité électrique moyenne de 85 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a pu être mesurée durant la période du suivi. A l'instar de la station précédente, les analyses chimiques réalisées ici révèlent un faciès hydrochimique bicarbonaté sodique typique des émergences observées sur le flanc Sud-Ouest du massif de La Fournaise.

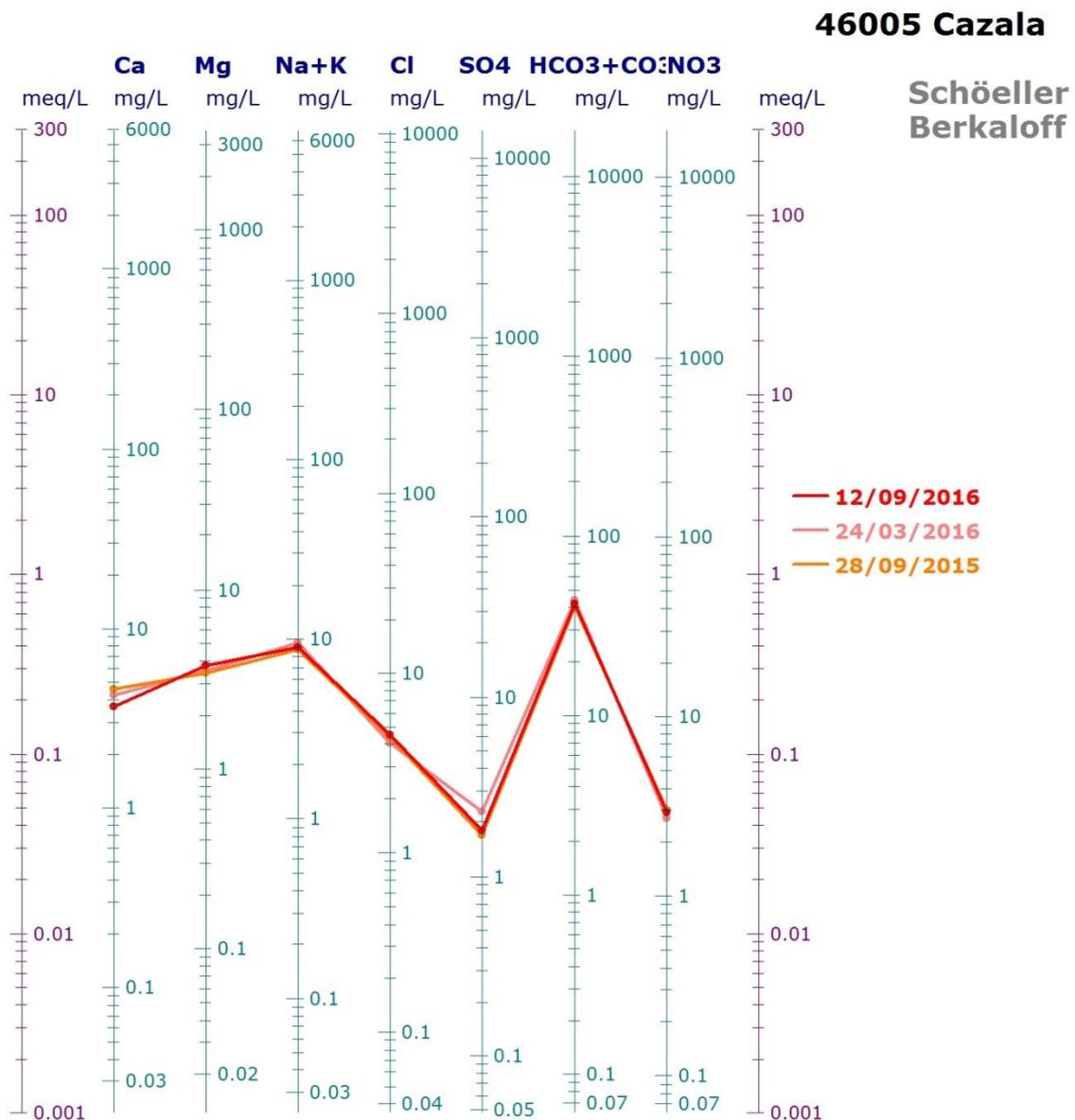


Figure 6.10 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 46005 Source Cazala

6.6 La station 44003 Anse des Cascades

6.6.1 Contexte géologique et hydrogéologique

Cette station d'observation de l'Anse des Cascades est instrumentée depuis novembre 2014. Le site suivi est localisé au droit d'une falaise côtière, en périphérie du massif du Piton de la Fournaise. Les sources apparaissent sur un front d'environ 300 m, au milieu d'une ancienne falaise littorale, haute d'une centaine de mètres. Les émergences se manifestent au toit des niveaux scoriacés altérés de l'Unité III. Leur débit est estimé à plusieurs m³/heure (Auterives et al. 2012). Ces sources constituent le point d'émergence le plus important identifié dans la zone littorale du massif de La Fournaise (Figure 6.11).

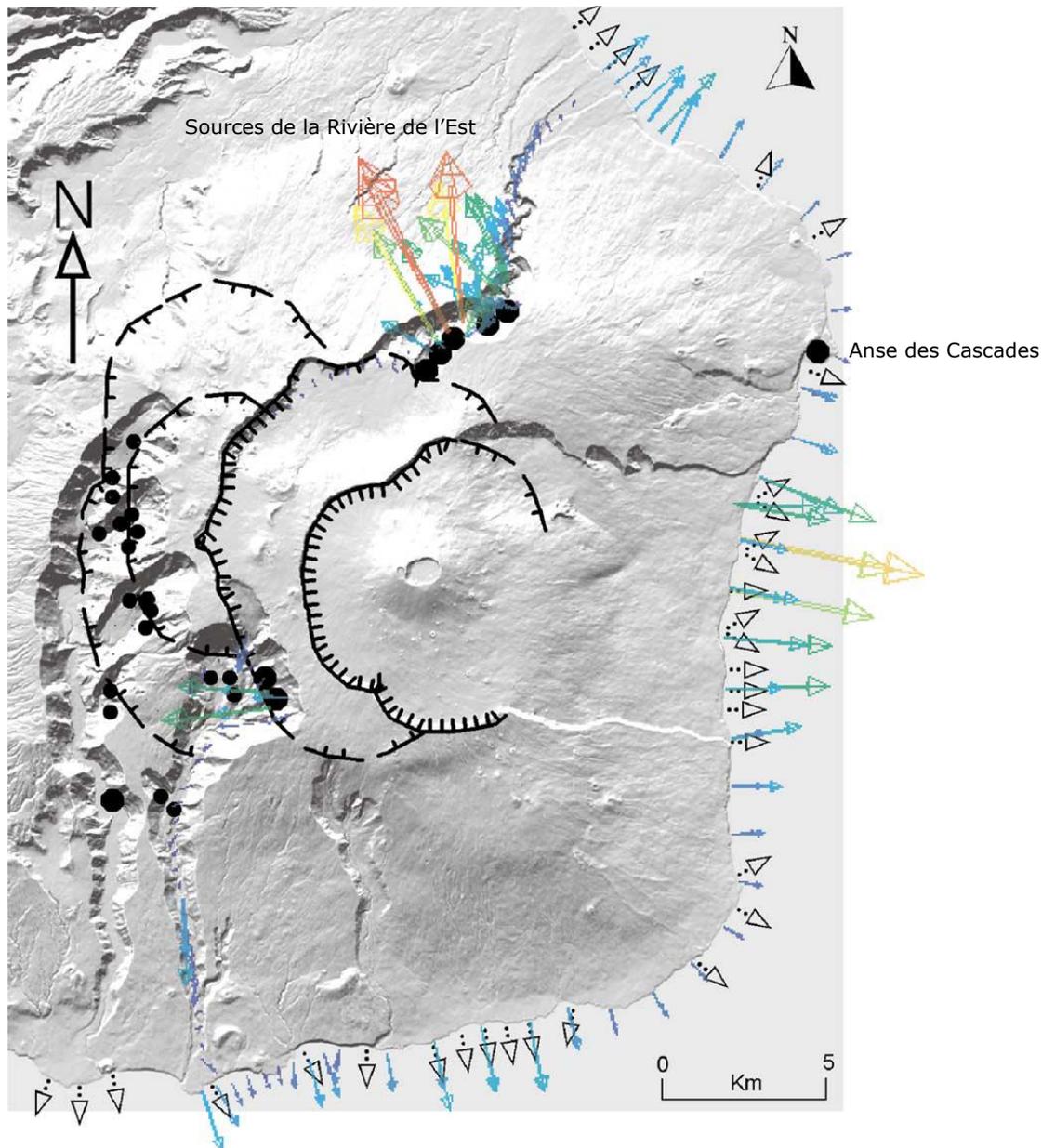


Figure 6.11 : Distribution des débits des sources du massif de La Fournaise. La taille du point est proportionnelle au débit de la source. Les flèches colorées correspondent aux débits modélisés, la taille des flèches étant proportionnelle au débit (Join et al. 2005). Les flèches noires indiquent les sorties d'eau douce en mer repérées par thermographie infrarouge (Clerc et al. 1986).

6.6.1 Suivi des paramètres hydrogéologiques

L'analyse des données révèle un comportement hydrogéologique similaire à celui observé sur les stations situées sur le flanc Nord-Ouest du Piton des Neiges : il apparaît que les infiltrations d'eau de pluies génèrent une remobilisation d'eau minéralisée (Figure 6.12). Ce phénomène peut être observé lorsque les précipitations sont localisées dans les Hauts de Sainte Rose et à Piton Sainte Rose.

En effet, au droit de l'Anse des Cascades, les évènements pluvieux majeurs entraînent :

- une hausse rapide des hauteurs d'eau,
- une baisse rapide de la conductivité électrique,
- un pic plus ou moins tardif de la conductivité électrique.

L'impact des précipitations sur la température de l'eau reste négligeable sur cette station. Par ailleurs, les conductivités électriques mesurées en dehors des phases d'infiltration d'eau de pluie restent supérieures à 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

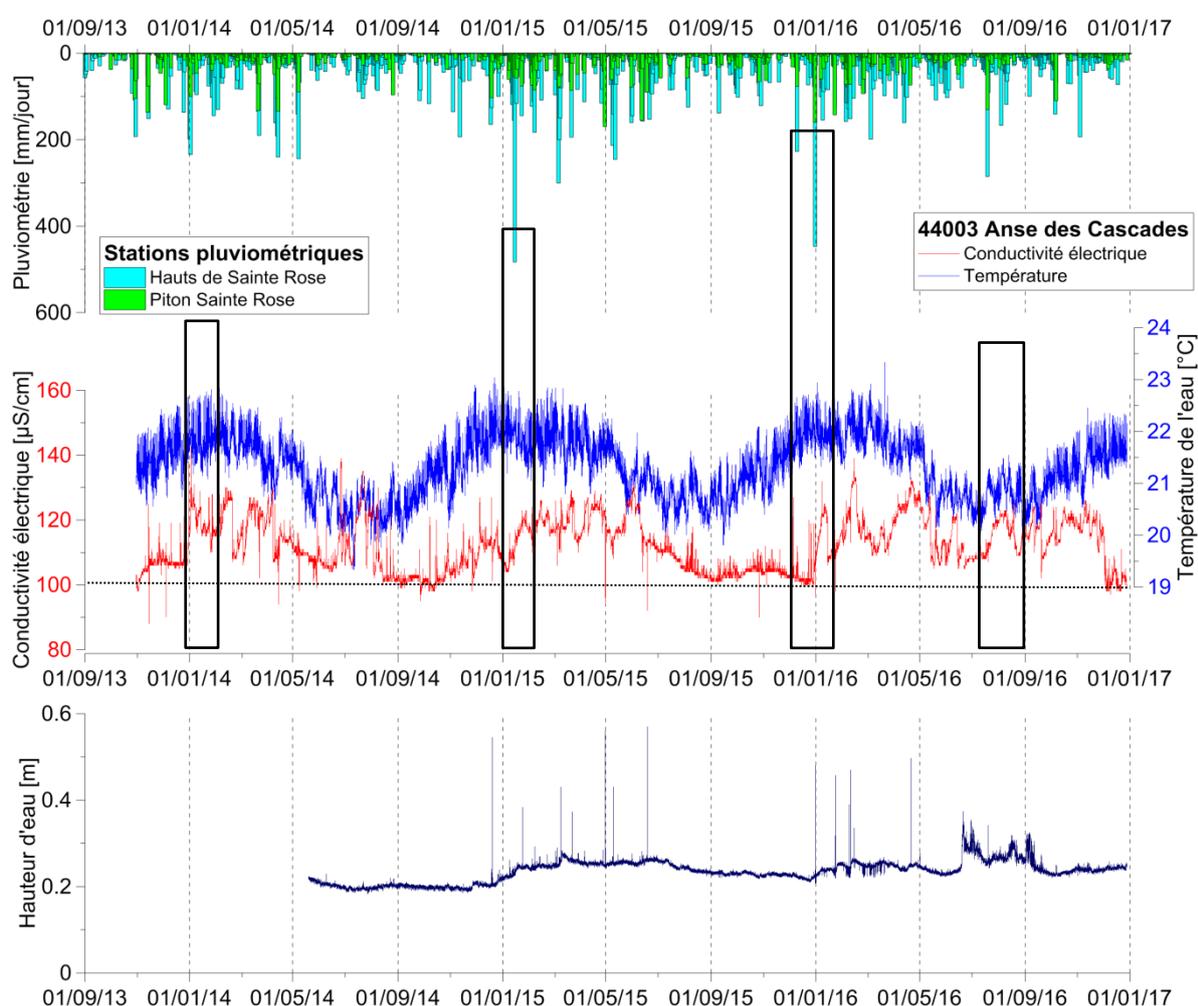


Figure 6.12 : Suivi des paramètres hydrogéologiques à l'Anse des Cascades

6.6.2 Caractérisation hydrochimique

Les analyses chimiques mettent en évidence une eau à faciès hydrochimique bicarbonaté sodique, calcique et magnésien. Cette signature chimique indique un temps de résidence plus long et donc, une importante interaction géochimique avec l'encaissant géologique. Cette observation peut s'expliquer par l'éloignement de ces sources par rapport aux principales zones d'infiltration de l'eau souterraine.

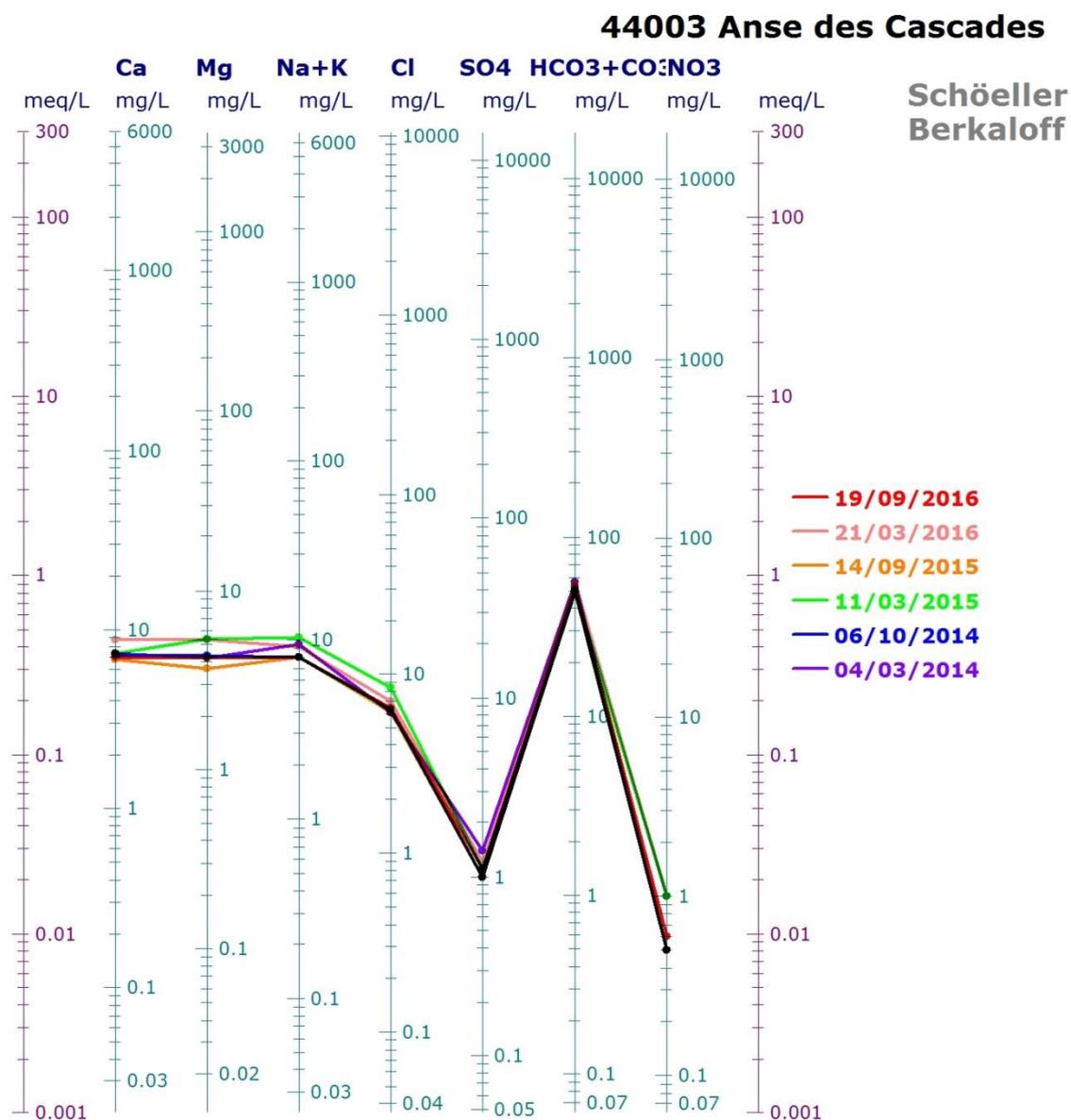


Figure 6.13 : Faciès hydrochimique de l'eau à la station 44003 Anse des Cascades

7 Synthèse des données disponibles

7.1 Suivi des paramètres hydrogéologiques

L'analyse des signaux recueillis sur l'ensemble du réseau d'observation des aquifères d'altitude permet de distinguer deux types de comportements hydrogéologiques associés à l'infiltration d'eau météorique :

- i) une recharge d'eau météorique qui dilue la nappe et provoque une baisse des conductivités électriques. Ce phénomène est visible sur toutes les stations au moment des pluies.
- ii) une remobilisation d'eau souterraine minéralisée induisant un pic plus ou moins tardif des conductivités électriques. Ces phénomènes de mise en circulation sont également visibles sur toutes les stations, mais avec un plafonnement rapide ou une augmentation significative.

L'infiltration d'eau de pluie diluant la nappe est surtout observée sur les stations d'observation situées au centre et à l'Est de l'île. Ce fonctionnement correspondrait à des aquifères bénéficiant d'une alimentation régulière, favorable à un renouvellement rapide de l'eau souterraine.

Les cours d'eau correspondant drainent :

- les aquifères de Bélouve (stations du Trou de fer),
- les aquifères du massif de Mazerin (au Bras des Lianes et au Bras Piton),
- les aquifères du Plateau de Bébour (les sources de la Rivière des Marsouins à Takamaka et les émergences du Bras de Sainte Suzanne)
- les aquifères de la partie centrale du massif de la Fournaise.

Les aquifères appartenant à ce groupe pourraient constituer des réserves stratégiques d'eau souterraine, exploitables de façon durable pour l'approvisionnement des Hauts. Toutefois, il convient de noter que ces hydrosystèmes répondent rapidement à une diminution de la recharge par les précipitations.

La remobilisation d'eau souterraine plus minéralisée est observée le plus souvent au niveau des stations situées sur le flanc Nord-Ouest du Piton des Neiges (Plaine des Chicots et Planèze du Maido). Ce fonctionnement indiquerait une recharge saisonnière caractérisée par une mise en circulation de l'eau ancienne et minéralisée stockée dans les massifs les moins exposés aux précipitations et/ou plus compartimentés.

Ce type de comportement est observé notamment au niveau des résurgences drainant :

- les aquifères de la Plaine des Chicots (la Ravine Chaudron et le Bras Guillaume),
- les aquifères de la planèze du Maido (à la Ravine Saint-Gilles),

Les aquifères d'altitude appartenant à ce dernier groupe paraissent moins assujettis aux variations climatiques à court terme tels que les cycles secs susceptibles de faire baisser la recharge saisonnière. En revanche, les circulations d'eau minéralisées peuvent modifier ponctuellement la qualité de la ressource en raison des pics de conductivités pendant les événements pluvieux les plus intenses.

7.2 Caractérisation hydrochimique

7.2.1 Analyse des niveaux de minéralisation moyenne

La température et la conductivité électrique sont mesurées sur le terrain au moment des prélèvements d'eau. L'analyse des valeurs de conductivités électriques des stations de mesure du réseau RAA permet de distinguer trois groupes d'émergences :

- Les sources considérées comme très faiblement minéralisées. Les conductivités électriques mesurées n'excèdent pas 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sinon très ponctuellement. Les sources appartenant à ce groupe drainent les aquifères du Massif de Mazerin (Bras Piton et Bras des Lianes),
- Les sources affichant un niveau de minéralisation intermédiaire. Leurs conductivités électriques varient entre 40 et 120 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ces émergences drainent les aquifères du Plateau de Bébour, la Plaine des Chicots et les formations récentes saturées du massif de La Fournaise (Phase II et III).
- Les sources supposées fortement minéralisées. Leur conductivité électrique est supérieure à 120 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ces émergences drainent les aquifères de la planèze du Maido (Bassin Malheur) et les formations anciennes du massif de La Fournaise (Galerie EDF à la Rivière de l'Est).

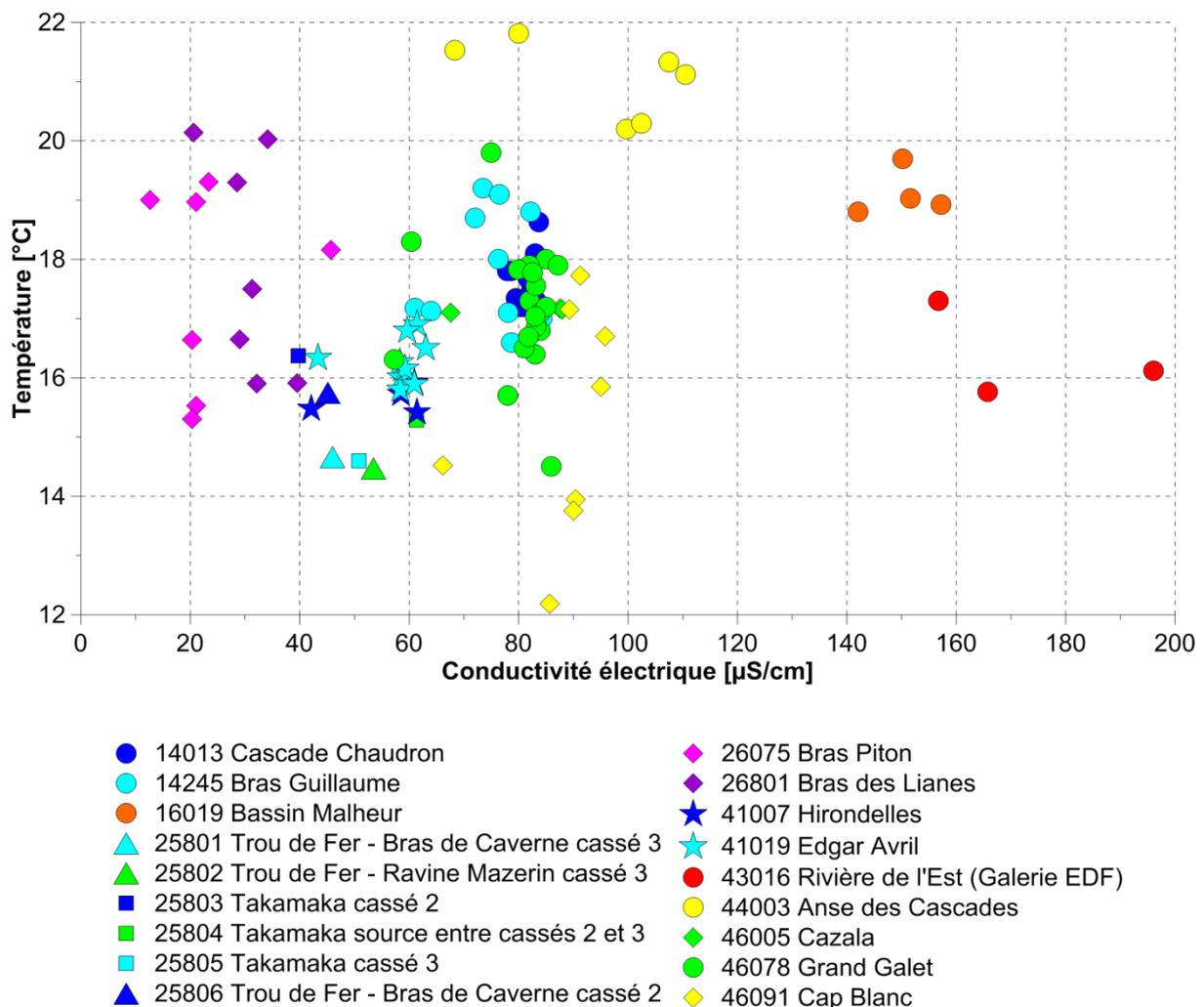


Figure 7.1 : Comparaison de la conductivité électrique des stations du réseau RAA

7.2.2 Caractérisation des gammes de conductivités

L'analyse des données acquises en continu montre de larges variations des niveaux de conductivités électriques mesurés. D'une manière générale, les amplitudes de variation les plus importantes concernent les stations drainant une masse d'eau souterraine évoluée (Figure 7.2) :

- La station Bassin Malheur qui draine l'aquifère de la Ravine Saint-Gilles (conductivité moyenne : 162 $\mu\text{S}/\text{cm}$, amplitude de variation : 288 $\mu\text{S}/\text{cm}$)
- Les stations de la Galerie Rivière de l'Est et de Cap Blanc qui drainent l'aquifère principal du massif de la Fournaise (conductivités moyennes respectives : 154 et 93 $\mu\text{S}/\text{cm}$, amplitudes de variation respectives : 243 et 120 $\mu\text{S}/\text{cm}$).
- La station de la Cascade Chaudron drainant l'aquifère de la Plaine des Chicots (conductivité moyenne : 70 $\mu\text{S}/\text{cm}$, amplitude de variation : 234 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Les émergences drainant des hydro-systèmes de taille plus réduite dans lesquels les transferts sont plus rapides affichent des gammes de variation plus faibles (inférieures à 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Ces variations sont principalement dues à des infiltrations d'eau météorique qui viennent diluer les stocks d'eau souterraine.

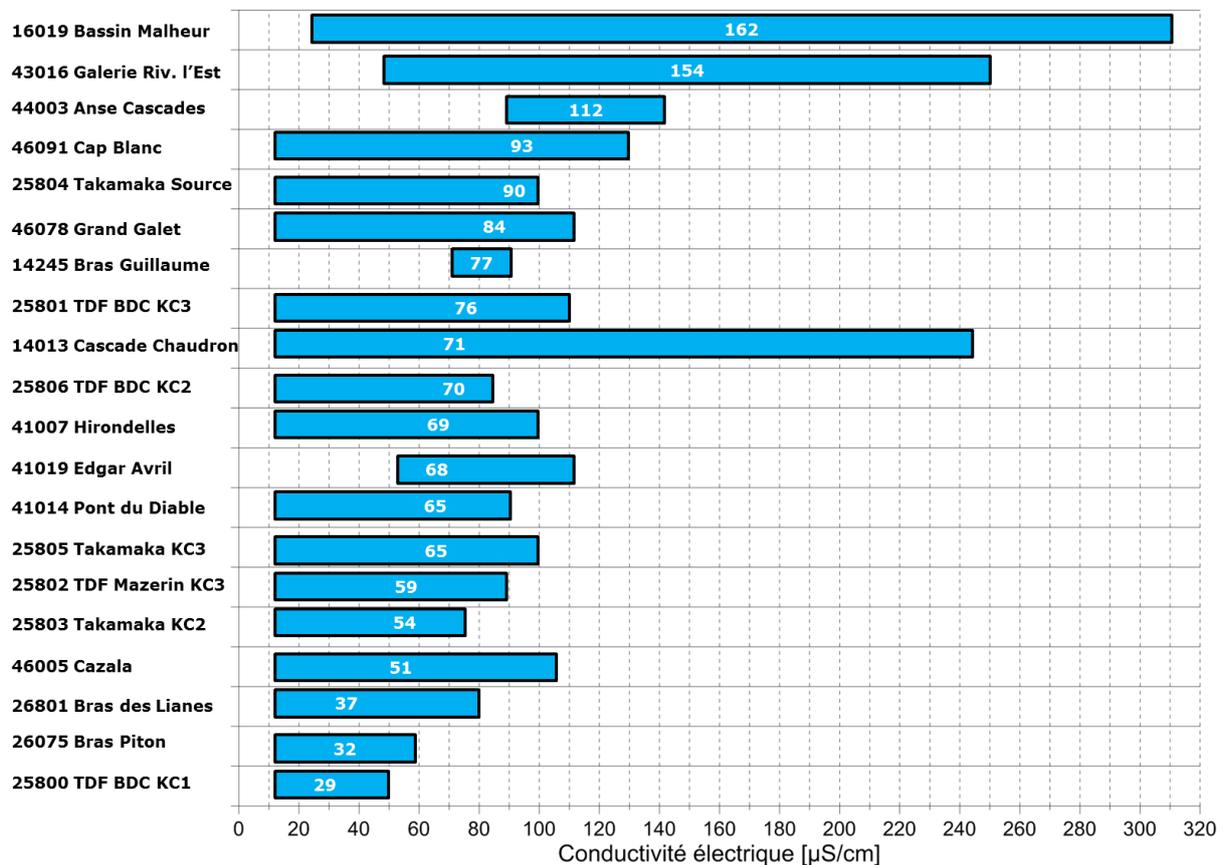


Figure 7.2 : Gammes de variation de la conductivité électrique sur les stations du réseau RAA. Les conductivités moyennes sont notées en blanc.

7.2.3 Caractérisation des domaines hydrogéologiques

Selon Join (1991), le rapport des teneurs en chlorures et Sodium renseigne sur i) les temps de transfert des eaux souterraines et ii) le domaine hydrogéologique des sources à l'échelle l'île de La Réunion. La classification proposée repose sur le postulat que l'apport en chlorures se fait uniquement par les pluies, sous l'influence des apports maritimes. Au cours de son cheminement souterrain, la concentration en ions chlorures de l'eau n'évolue plus avec la profondeur car le Chlore contenu dans les roches volcaniques n'est pas disponible pour la dissolution (Grünberger 1989).

En revanche, la présence de Sodium dans l'eau est issue de l'hydrolyse des feldspaths sodiques. En effet, ces minéraux sont significativement présents tout au long de la série de différenciation magmatique et contribuent à la minéralisation de l'eau souterraine. L'analyse des rapports chlorures/Sodium indique une appartenance de l'ensemble des émergences du réseau RAA aux domaines profond et intermédiaire (Figure 7.3).

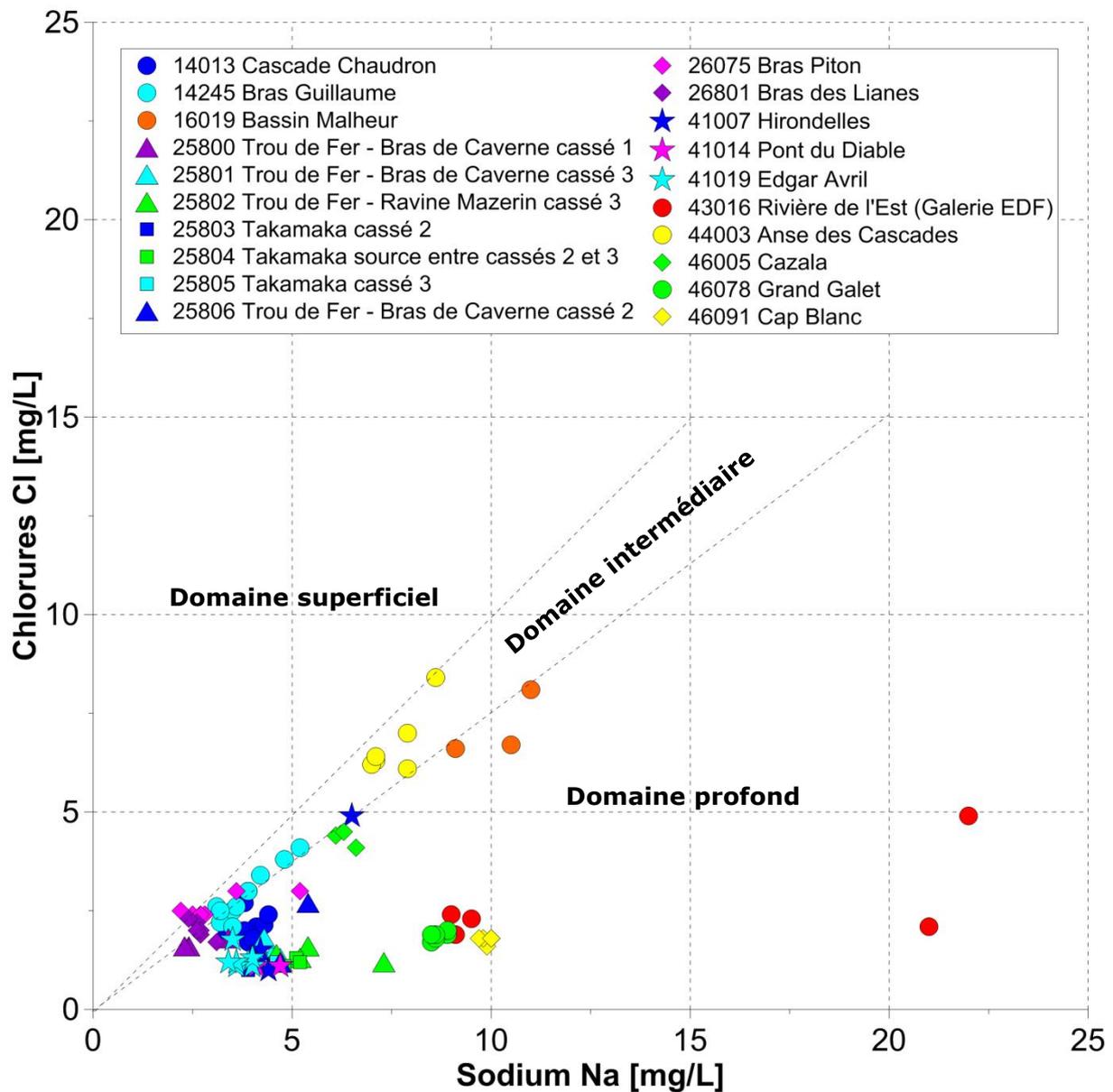


Figure 7.3 : Domaines hydrogéologiques des sources et galeries du réseau RAA

7.2.4 Analyse des éléments alcalins

Dans les environnements volcaniques, plus le parcours de l'eau souterraine est long, plus celle-ci interagit avec des roches riches en feldspaths alcalins (sodiques et potassiques) et plus elle s'enrichit en Sodium et Potassium. Cependant, cette hypothèse n'a jamais été validée par des données précises de datation des eaux.

L'analyse du diagramme binaire Sodium/Potassium des échantillons d'eau de l'ensemble des stations met en évidence un enrichissement en éléments alcalins (Na, K) dans les émergences drainant la nappe de base du massif de La Fournaise (Figure 7.4). Au niveau de ce massif, les teneurs en Sodium sont supérieures 6 mg/L, les valeurs les plus élevées ayant été observées dans la galerie de la Rivière de l'Est. Pour le Piton des Neiges, les concentrations les plus élevées en éléments alcalins sont observées sur le flanc Ouest de ce massif, à la station du Bassin Malheur.

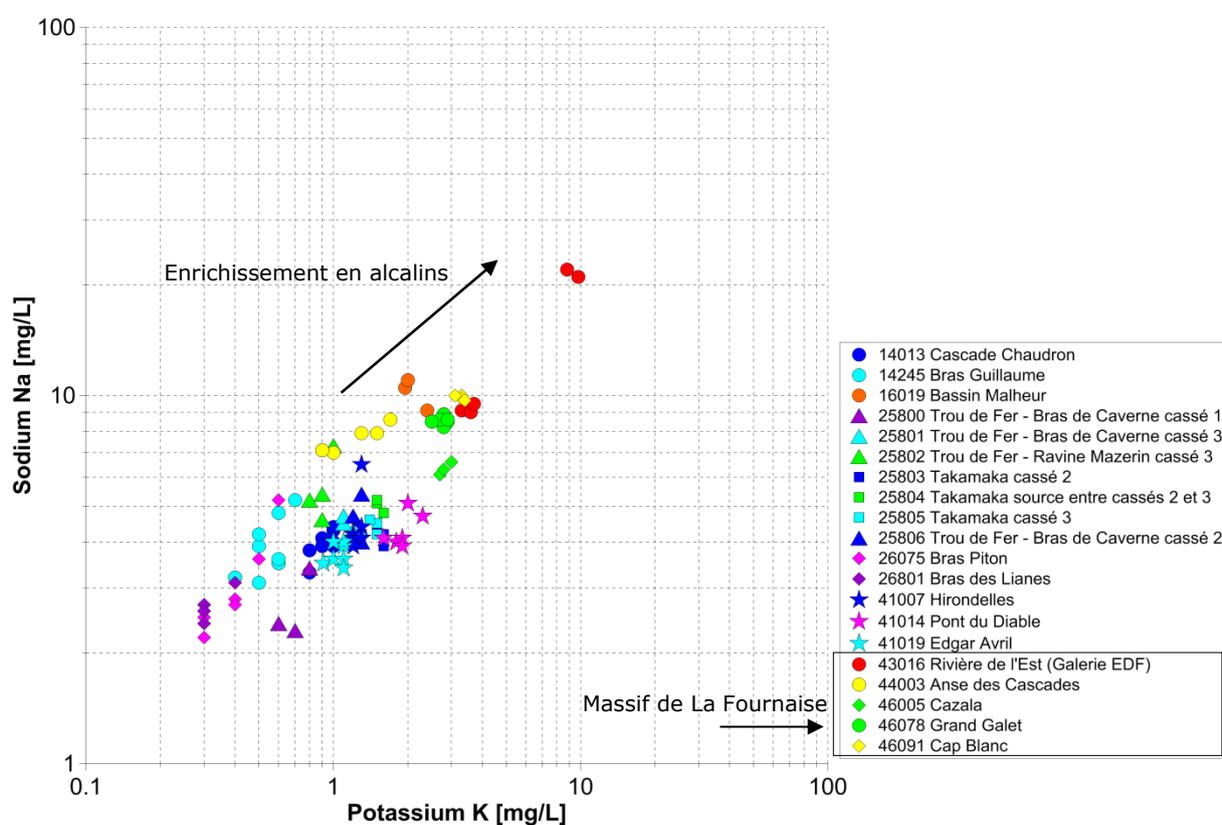


Figure 7.4 : Evolution des alcalins dans les sources et galeries du réseau RAA

7.2.5 Analyse des éléments alcalino-terreux

En milieu volcanique, les éléments alcalino-terreux dans l'eau sont issus de l'hydrolyse des feldspaths plagioclases (pour le Calcium) et des minéraux ferromagnésiens (pour le Magnésium). Ces minéraux étant plus résistants à l'hydrolyse, leur présence en fortes quantités dans l'eau souterraine traduit un temps de transfert plus long et donc, une interaction prolongée entre l'eau souterraine et l'encaissant géologique (Figure 7.5).

L'analyse du diagramme Mg/Ca des sources et galeries indique que ;

- les émergences les plus appauvries en alcalino-terreux se trouvent à des altitudes élevées et drainent les massifs de Mazerin, Trou de Fer et Bébour,
- les sources situées en amont des cours d'eau sont généralement plus appauvries que celles situées en aval : l'eau se minéralise tout le long de son trajet,
- les émergences les plus enrichies sont localisées dans les galeries (Rivière de l'Est et Bras Guillaume), les émergences de la partie Nord-Ouest du Piton des Neiges (les cascades Chaudron et Bassin Malheur) et la partie littorale du massif de La Fournaise (l'Anse des Cascades).

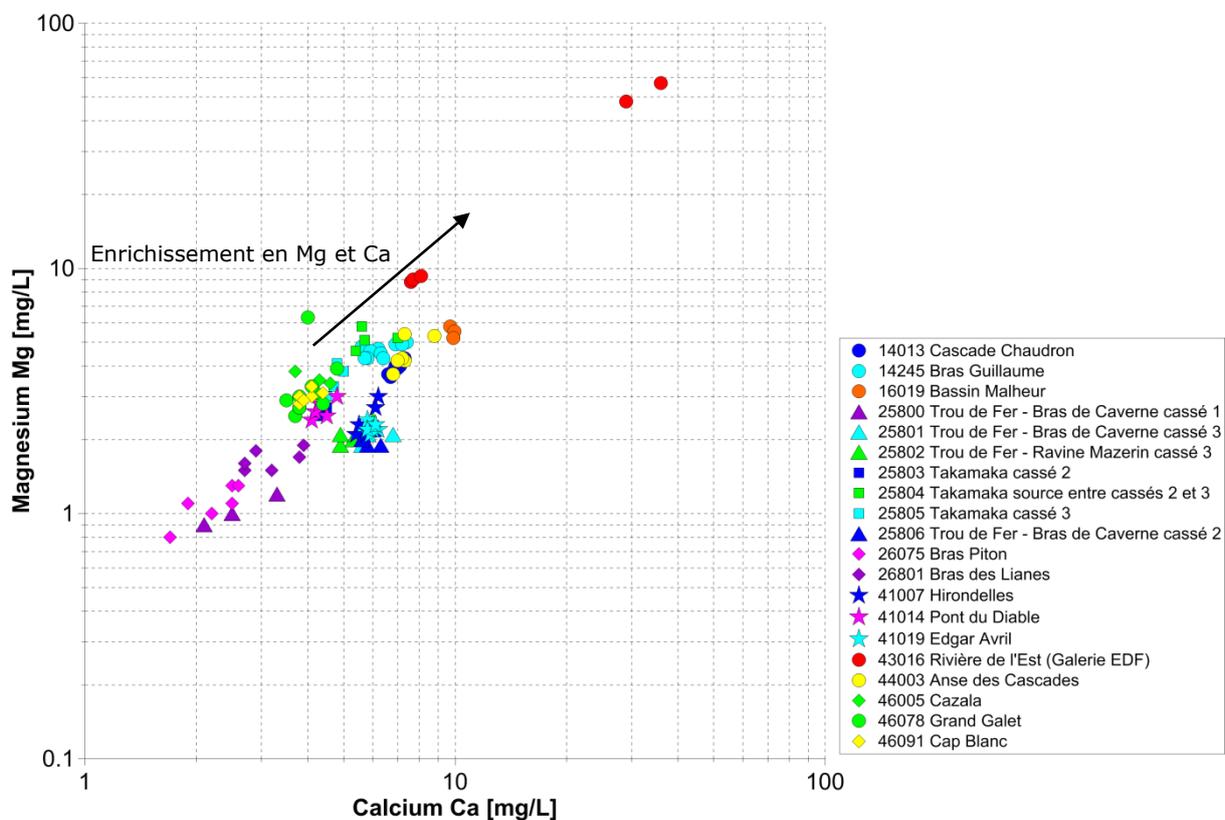


Figure 7.5 : Evolution des alcalino-terreux dans les sources et galeries du réseau RAA

7.3 Perspectives

7.3.1. Gestion et définition du réseau pérenne

Plusieurs difficultés de mise en œuvre du suivi sont rencontrées sur les stations 41019 Edgar Avril et 46005 Cazala. Ces difficultés sont liées à un encrassement des sondes ou à une sortie des capteurs hors de l'eau sur de longues périodes (lien possible avec le remplissage de la bêche). Le capteur de pression a été remplacé sur le site d'Edgar Avril. Les capteurs ont été repositionnés sur le site de Cazala afin de s'assurer de leur maintien en état d'immersion.

Le tableau ci-dessous récapitule les principales observations réalisées sur les stations du réseau de suivi des aquifères d'altitude (RAA) sur le plan physico-chimique. Les stations d'observation retenues pour constituer le réseau pérenne sont notées en gras.

Code Office	Hydro-système suivi	Nom station	Faciès chimique
16019	Planèze du Maido	Bassin Malheur	Bicarbonaté sodique
14245	Plaine des Chicots	Bras Guillaume	Bicarbonaté calcique et magnésien
14013		Cascade du Chaudron	Bicarbonaté calcique et magnésien
44003	Piton de la Fournaise	Anse des Cascades	Bicarbonaté calcique et magnésien
25800	Plateau de Bélouve	Bras de Caverne Cassé 1	Bicarbonaté sodique et calcique
25806		Bras de Caverne Cassé 2	Bicarbonaté sodique et calcique
25801		Bras de Caverne Cassé 3	Bicarbonaté sodique et calcique
25802		Ravine Mazerin Cassé 3	Bicarbonaté sodique et calcique
26075	Plaine des Lianes	Bras Piton	Bicarbonaté sodique
26801		Bras des Lianes	Bicarbonaté calcique
25804	Plateau de Bébour	Takamaka Marsouins Source	Bicarbonaté magnésien
25803		Takamaka Marsouins Cassé 2	Bicarbonaté sodique
25805		Takamaka Marsouins Cassé 3	Bicarbonaté magnésien
41007	Plaine des Cafres	Hirondelles	Bicarbonaté calcique
41014		Pont du Diable	Bicarbonaté sodique
43016	Piton de la Fournaise	Galerie de la Rivière de l'Est	Bicarbonaté magnésien
46091		Cap Blanc – Ravine des 7 Bras	Bicarbonaté sodique
46078		Cascade Grand Galet	Bicarbonaté sodique
46005		Source Cazala	Bicarbonaté sodique
41019	Plaine des Cafres	Source Edgar Avril	Bicarbonaté calcique

Estimation des temps de transfert

vert : temps de transfert court

jaune : temps de transfert intermédiaire

orange : temps de transfert long

Tableau 7.1 : Tableau de synthèse des données acquises sur le réseau RAA

7.3.2. Valorisation des données

Le potentiel hydrogéologique des aquifères de la Plaine des Palmistes et du plateau de Bébour a été reconnu par modélisation hydrodynamique (Folio 2001-b) et investigation géophysique (ANTEA 2008). Les données recueillies à travers le réseau de suivi des aquifères d'altitude pourront servir à alimenter les divers outils de simulation qui seront implémentés dans les secteurs des Hauts, dans une perspective d'exploitation de la ressource, notamment :

- les modèles hydrodynamiques prévus sur les plateaux de Bélouve et Bébour, afin de i) caler le fonctionnement hydrogéologique des aquifères d'altitude, ii) évaluer l'impact des variations climatiques sur la recharge, iii) préciser les termes du bilan hydrologique et iv) estimer les volumes d'eau disponibles pour l'exploitation.

- les modèles hydrologiques de type pluie-débits-conductivité électrique prévus sur les sites caractérisés par une remobilisation d'eau minéralisée, à savoir : le Bassin Malheur dans la Ravine Saint-Gilles, le Bras Guillaume, la Cascade Chaudron à la Ravine du Chaudron et la source de l'Anse des Cascades.
Les résultats de ces modèles permettront i) une évaluation des stocks d'eau disponibles dans les réservoirs géologiques concernés, ii) une définition des modalités de recharge des nappes d'altitude et iii) une précision des temps de transfert dans ces systèmes hydrogéologiques.

A terme, le réseau existant pourra être renforcé par la mise en place d'un réseau d'observation des caractéristiques physico-chimiques et isotopiques des eaux de pluie. Ces types de données permettront i) la caractérisation de la composition isotopique de l'eau météorique et souterraine (tritium ; CFC-SF6 ; Carbone 14) et ii) renseigneront notamment sur les périodes de renouvellement des stocks et l'âge des eaux souterraines dans les aquifères d'altitude de La Réunion.

8 Références bibliographiques

- ANTEA (2004) Prospection hydrogéologique et géophysique du plateau de Bélouve - Rapport 33569/B. ANTEA Group - Agence de La Réunion, La Réunion
- ANTEA (2007) Prospection hydrogéologique et géophysique au droit du plateau de Bébour, Rapport n°47664/A. ANTEA Group - Agence de La Réunion, La Réunion
- ANTEA (2009) Programme départemental de recherche en eau (PDRE) 2004-2005 : Réalisation de forages de reconnaissance, Rapport de forage de Bélouve - Rapport 54351/A. ANTEA Group - Agence de La Réunion, La Réunion
- ANTEA (2008) Prospection hydrogéologique et géophysique au droit du plateau de Bébour. Rapport 47664 I B. ANTEA Group - Agence de La Réunion, La Réunion
- Aunay B, Dewandel B, Ladouche B, et al (2012) Identification des modalités d'exploitation des ressources en eaux souterraines du domaine d'altitude de l'Est de La Réunion - Phase 3 (Secteur des Plaines) Rapport Final. BRGM/RP-59245-FR. BRGM, La Réunion
- Aunay B, Lachassagne P, Stollsteiner P (2009) Identification des modalités d'exploitation des ressources en eaux souterraines du domaine d'altitude de l'Est de La Réunion - Phase 2. Rapport final. BRGM/RP-57185-FR. BRGM, La Réunion
- Auterives C, Petit V, Lucas C, Brach M (2012) Etat qualitatif des émergences de La Réunion. Phase 2: test et validation du réseau de mesure. Rapport final. BRGM/RP-61489-FR. BRGM, La Réunion
- Bachelery P, Lenat J-F (1993) Le Piton de la Fournaise. Mem Soc Geol Fr 221-229.
- Barcelo A (1996) Analyse des mécanismes hydrologiques en domaine volcanique insulaire tropical à relief jeune. Apports à la connaissance du bilan hydrique. Massif du Piton de la Fournaise (île de la Réunion). Thèse de Doctorat, Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc
- Barcelo A, Coudray J (1996) Nouvelle carte des isohyètes annuelles et des maxima pluviométriques sur le massif du Piton de la Fournaise (Ile de la Réunion). Rev Sci Eau 9:457. doi: 10.7202/705262ar
- Bonnier J (2010) Etude des circulations d'eau des systèmes hydriques du secteur Saint-Denis/Sainte-Marie - Projet ECSHY. Office de l'eau Réunion, La Réunion
- Bourhane A, Bonnier J, Belle P, Fadhula S (2015) Modélisation numérique de la masse d'eau de Pierrefonds - Rapport final - Etude 00982. 106 p. Office de l'eau Réunion, La Réunion
- Bret L, Join J-L, Legal X, et al (2003) Argiles et zéolites dans l'altération d'un volcan bouclier en milieu tropical (Le Piton des Neiges, La Réunion) Clays and zeolites in the weathering of a basaltic tropical shield volcano ([`]Le Piton des Neiges', Reunion Island). Comptes Rendus Geosci 335:1031-1038.
- Clerc JM, Mairine P, Burkhalter R, Coudray J (1986) Télédétection des émergences d'eaux douces sur le littoral de l'île de la Réunion par thermographie infrarouge aéroportée. Rapport interne, La Réunion, 173 p. Reunion Island

- Courteaud M, Ritz M, Robineau B, et al (1997) New geological and hydrogeological implications of the resistivity distribution inferred from audiomagnetotellurics over La Fournaise young shield volcano (Reunion Island). *J Hydrol* 203:93–100.
- Daesslé M, Pommé J-B (1987) Evaluation de la ressource renouvelable des nappes perchées - Galerie du Bras Guillaume - Commune de Saint-Denis. BRGM, La Réunion
- Folio J-L (2001a) Distribution de la perméabilité dans le massif du Piton de la Fournaise : apport à la connaissance du fonctionnement hydrogéologique d'un volcan-bouclier. Thèse de Doctorat, Université de La Réunion
- Folio J-L (2001b) Simulation des écoulements souterrains dans la Petite Plaine. Oréole N°38 p5.
- Frissant N, Lachassagne P, Jaques E (2007) Etude des modalités d'exploitation des aquifères du domaine d'altitude de l'Est de La Réunion - phase 1. Rapport final. BRGM/RP-55327-FR. BRGM, La Réunion
- Frissant N, Petit V, Bonnier J (2005) Quantification des volumes d'eau souterraine mobilisables sur les micro-régions Nord et Est de la Réunion. Rapport final. BRGM/RP-53865-FR. BRGM, La Réunion
- Grünberger O (1989) Etude géochimique et isotopique de l'infiltration sous climat tropical contrasté, massif du piton des neiges, Ile de la Réunion. Université Paris Sud - Paris XI
- Join J-L (1991) Caractérisation hydrogéologique du milieu volcanique insulaire. Piton des neiges, île de la Réunion = Hydrogeologic characterization of insular volcanic terrains. Piton des neiges, Reunion Island. Thèse de Doctorat, Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc
- Join J-L, Coudray J (1992) Caractérisation d'un écoulement chenalisé dans un aquifère de brèches volcaniques peu perméables. *Hydrogéologie* 163–172.
- Join J-L, Folio J-L, Robineau B (2005) Aquifers and groundwater within active shield volcanoes. Evolution of conceptual models in the Piton de la Fournaise volcano. *J Volcanol Geotherm Res* 147:187–201.
- Lénat J-F, Fitterman D, Jackson DB, Labazuy P (2000) Geoelectrical structure of the central zone of Piton de la Fournaise volcano (Réunion). *Bull Volcanol* 62:75–89. doi: 10.1007/s004459900058
- Pennober G, Odon O, Join J-L, Folio J-L (2004) Approche par analyse spatiale de la faisabilité de captage d'eau souterraine sur le Massif du Piton de la Fournaise (île de La Réunion - France - Océan Indien). *Cybergeog Eur J Geogr*. doi: 10.4000/cybergeog.3298
- Rocher P (1988) Contexte volcanique et structural de l'hydrothermalisme récent dans le massif du Piton des neiges (île de La Réunion): étude détaillée du cirque de Salazie. Ph.D Thesis, Université de Paris-Sud