



Document public

Elaboration des dispositifs de suivis hydrologique, hydrogéologique et hydrochimique du plateau de Grand Ilet (Salazie)

Rapport final

BRGM/RP-60756-FR
Octobre 2012

PO FEDER 2007-2013 - Mesure 3-20
Soutenir la Recherche et Développement
sur les phénomènes de risque naturel

Module 2 - Détection et suivi des mouvements de terrain de grande ampleur

MvtTerre 2

Détection, suivi et modélisation des Mouvements de Terrain de grande ampleur dans les cirques de La Réunion



Elaboration des dispositifs de suivis hydrologique, hydrogéologique et hydrochimique du plateau de Grand Ilet (Salazie)

Rapport final

BRGM/RP- 60756-FR
Octobre 2012

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Recherche du BRGM PDR09REU01

Belle P., Aunay B., Barbier B.

Vérificateur :

Nom : C. LAMOTTE

Date : 11/07/2012

Original signé

Approbateur :

Nom : S. BES DE BERG

Date : 04/09/12

Signature :



En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique,
l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

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

Mots clés : Hydrologie, hydrogéologie, glissement de terrain, risques naturels, piézométrie, seuil de mesure hydrologique, conductivité, jaugeage, tarage.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante : Belle P., Aunay B., Barbier B. (2012) - Elaboration des dispositifs de suivis hydrologique, hydrogéologique et hydrochimique du plateau de Grand Ilet (Salazie). Rapport BRGMP RP- 60756-FR

© BRGM, 2012, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Dans le cadre de la mesure 3-20 "Soutenir la Recherche et Développement sur les phénomènes de risques naturels", MvTerre-2 est un projet de recherche cofinancé par le PO FEDER 2007-2013, le FIDOM, la Région Réunion et le BRGM.

L'île de La Réunion se singularise par la coexistence de plusieurs paramètres majeurs de prédisposition aux mouvements de terrains de grande ampleur (supérieurs au million de m³) : (i) un relief très marqué avec un point culminant à 3 069 m, des escarpements exceptionnels pouvant atteindre 1 500 m de dénivelé pour une pente moyenne excédant 70°, des vallées et des cirques naturels très encaissés ; (ii) géologie jeune avec un édifice volcanique s'étant développé il y a moins de 3 millions d'années ; (iii) climat tropical humide, la Réunion détenant tous les records mondiaux de précipitation entre 12 heures (1170 mm) et 15 jours (6083 mm).

Face à une prise de conscience de plus en plus marquée de l'aggravation des risques, en particulier dans un contexte soumis aux changements climatiques, et fort de ces premiers éléments de connaissance qui attestent du caractère exceptionnel de l'environnement réunionnais, le BRGM, en partenariat avec l'Europe, l'Etat Français, la Région Réunion, et le Département de la Réunion, ont engagé en 2002 un premier programme de recherche sur la compréhension et le suivi des mouvements de terrain de grande ampleur dans les cirques et les grandes ravines de la Réunion : programme MvTerre-1¹.

Le projet MvTerre-2 s'organise autour de trois objectifs principaux répartis au sein des trois cirques :

- > **M1 - Analyse des paramètres géomorphologiques de prédisposition aux mouvements de terrain.** Il s'agit d'établir les relations entre la géologie, le relief, l'hydrologie, l'hydrogéologie et les mouvements de terrain de grande ampleur. La finalité est d'affiner les paramètres de prédisposition géomorphologiques guidant le développement et la poursuite des mouvements de grande ampleur afin de mieux hiérarchiser l'aléa lié aux mouvements de grande ampleur dans les cirques.
- > **M2 - Poursuite de la détection et du suivi des mouvements de terrain de grande ampleur.** Il s'agit de compléter l'instrumentation et le suivi des glissements de terrain au travers de différentes méthodes : GPS fixe, réseau géodésique, et de mettre en perspective ces mesures avec d'autres données

¹ Le BRGM, en partenariat avec l'Europe, l'Etat Français, la Région Réunion, et le Département de la Réunion, ont engagé en 2002 un premier programme de recherche sur la compréhension et le suivi des mouvements de terrain de grande ampleur dans les cirques et les grandes ravines de la Réunion. Les principaux résultats de ce projet figurent en introduction du présent rapport.

d'entrée : débit des sources, piézométrie, méthodes de télédétection radar satellitaire...).

- > **M3 - L'étude et la modélisation du comportement des mouvements de grande ampleur.** Il s'agit d'analyser l'ensemble des données acquises dans les autres modules du projet. La finalité est de réaliser un modèle numérique de comportement sur le site de Grand-Ilet, visant à simuler les comportements réellement observés. Plusieurs approches de modélisation seront mises en œuvre. Le principal intérêt de ce type de modèle est de pouvoir ensuite faire varier les paramètres d'entrée (pluviométrie principalement, mais aussi les paramètres de résistance au cisaillement des matériaux ou érosion des terrains en pied de glissement, etc.) afin d'examiner les conséquences en matière de circulation des eaux souterraines, de déplacement ou de stabilité. Des tendances pourront ainsi être dégagées, celles-ci pouvant ultérieurement servir de base pour des projets opérationnels d'aménagement ou de surveillance.

Ce présent rapport vise à décrire les différents réseaux installés pour la compréhension du rôle de l'eau dans la dynamique du glissement de terrain de Grand-Ilet. Pour mémoire, le glissement de Grand-Ilet (cirque de Salazie) constitue un site d'exception pour l'étude et la compréhension des glissements de terrain de grande ampleur. L'un des objectifs du programme MvTerre-2 étant de mieux comprendre le fonctionnement hydrogéologique du glissement de Grand Ilet pour mieux définir le rôle de l'eau souterraine dans le contrôle des vitesses de déplacement, ce site fait donc l'objet d'une importante instrumentation.

Ces réseaux sont de différents types afin de répondre à des problématiques d'analyses distinctes. Toutefois, le déterminisme qui a conduit à l'élaboration de ces réseaux est celui adopté pour une étude hydrogéologique complète :

- La quantité de précipitations influant directement sur les déplacements du glissement de Grand-Ilet, le BRGM s'est équipé d'un pluviomètre au cours du projet MvTerre-1 (site du réservoir). Le **suivi quantitatif des précipitations** est assuré par Météo-France ;
- L'évolution temporelle du signal isotopique moyen permet de caractériser précisément les flux entrants dans le glissement de Grand-Ilet afin d'en déduire des informations pertinentes relatives à la compréhension des écoulements souterrains (altitude de recharge, évolution et origine des flux...). Le **suivi isotopique des précipitations** consiste en l'analyse mensuelle des isotopes stables de l'eau ($^2\text{H}/^1\text{H}$ et $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$). Un collecteur d'eau de pluie a été installé selon les préconisations de l'AEIA-OMM² (site du réservoir). Les prélèvements

² Agence International pour l'Energie Atomique en coopération avec l'organisation Météorologique Mondiale

sont réalisés par le BRGM-Réunion et les analyses effectuées par le laboratoire MMA³ au BRGM-Orléans. ;

- Les eaux superficielles influencent la recharge des eaux souterraines, qui elle-même contrôle en partie la dynamique des mouvements de terrain. Le **suivi quantitatif des eaux superficielles** consiste en l'enregistrement des hauteurs d'eau des ravines de Grand-Ilet. Ces hauteurs d'eau peuvent être converties en débit à partir de courbe de tarages. Le réseau comprend quatre seuils construits (sources Pont-de-Chien, Clain, Bielle 2 et Bélier) entre fin 2010 et mi 2011 et trois vasques naturelles (source Fenêtre, ravine Blanche et ravine Roche-à-Jacquot) ne nécessitant pas de travaux de maçonnerie. Ces sept sites sont équipés de sondes de pression enregistrant la hauteur d'eau toutes les 15 minutes. Les données sont récupérées mensuellement par le BRGM Réunion. Des jaugeages sont réalisés ponctuellement afin d'élaborer les courbes de tarage de chaque site équipés ;
- Le niveau piézométrique des eaux souterraines contrôle en partie la dynamique des mouvements de terrain. Le **suivi quantitatif des eaux souterraines** consiste en l'enregistrement de la hauteur d'eau, de la température et la conductivité des trois piézomètres (cimetièrre-12268X0128, étable-12268X0127 et abattoir-12268X0126) recoupant la zone saturée à Grand-Ilet. Leur profondeur initiale avoisinait⁴ 100 mètres de profondeur. Ces trois sites sont équipés de sondes enregistrant les paramètres de pression, température et conductivité toutes les 15 minutes. Chaque mois, les données sont récupérées et contrôlées par une mesure manuelle ;
- Le **suivi qualitatif des eaux souterraines** se décomposent en deux protocoles d'acquisition :
 - Afin d'identifier si les déplacements peuvent être corrélés avec des variations de la physico-chimie des eaux souterraines, des analyses hydrochimiques sont effectuées. Elles consistent en l'analyse des éléments majeurs et de la silice au pas de temps mensuel des sources Clain, Fenêtre, Pont-de-Chien et STG1 ;
 - Afin d'apporter un éclairage géochimique sur les contextes hydrogéologiques des aquifères, deux campagnes de prélèvement hydrochimiques ont été effectuées.

Les premiers résultats obtenus au cours de la saison des pluies 2011 montrent l'intérêt des stratégies adoptées pour la compréhension du fonctionnement hydrogéologique du glissement de Grand Ilet.

³ Métrologie, Monitoring, Analyse

⁴ Actuellement, ces piézomètres sont cisailés en profondeur.

Sommaire

1. Introduction	11
2. Contexte du suivi hydrologique du plateau de Grand Ilet.....	15
2.1. CONTEXTE GENERALE DE L'ETUDE	15
2.2. ETAT DE L'ART DE L'HYDROGEOLOGIE DU SECTEUR D'ETUDE	17
3. Suivi des précipitations	21
3.1. PLUVIOMETRE METEOFRANCE.....	21
3.1.1. Données disponibles	21
3.1.2. Correction des lacunes.....	21
3.2. COLLECTEUR D'EAU DE PLUIE	23
3.2.1. Contexte d'installation	23
3.2.2. Dispositif et protocole mis en place	24
3.2.3. Prélèvements de janvier à mai 2011	25
4. Equipement des sources	27
4.1. SOURCES OU POINTS D'EAU EQUIPES.....	27
4.2. PROTOCOLE DE SUIVI DES SOURCES	27
4.3. COMPENSATION DES MESURES DE HAUTEUR D'EAU DE LA PRESSION ATMOSPHERIQUE	29
4.3.1. Théorie de la mesure	29
4.4. SEUILS DE MESURE HYDROLOGIQUE.....	31
4.4.1. Seuil Pont-de-Chien	31
4.4.2. Seuil Clain.....	42
4.4.3. Seuil Bielle 2	51
4.4.4. Seuil Bélier	55
4.5. EQUIPEMENT DE VASQUES NATURELLES.....	58
4.5.1. Présentation générale	58
4.5.2. Source Fenêtre	58
4.5.3. Ravine Roche-à-Jacquot (source Nourry)	58
4.5.4. Source Ravine Blanche.....	59

5. Suivi piézométrique.....	61
5.1. PRESENTATION.....	61
5.2. SUIVI DU PIEZOMETRE PZA3 - ABATTOIR	64
5.3. SUIVI DU PIEZOMETRE PZB3 – ETABLE.....	66
5.4. SUIVI DU PIZOMETRE PZE2 – CIMETIERE	68
5.5. SYNTHESE	70
6. Hydrochimie des eaux souterraines	73
6.1. CAMPAGNES SPATIALES	73
6.1.1.Présentation	73
6.1.2.Bilan de la première campagne (étiage 2011)	74
6.2. CAMPAGNES TEMPORELLES	75
6.2.1.Prélèvements mensuels pour analyse des éléments majeurs.....	75
6.2.2.Mesures mensuelles des paramètres physico-chimiques	77
6.3. SUIVI EN CONTINU DE LA MINERALISATION	78
7. Conclusions.....	79
8. Bibliographie	81

Liste des figures

Figure 1 : Reseau géodésique du glissement de Grand-Ilet.....	16
Figure 2 : Coupe géologique schématique du plateau de Grand Ilet (modifiée d'après Garnier 2008).....	19
Figure 3 : Schéma conceptuel hydrogéologique du Plateau de Grand Ilet.....	19
Figure 4 : Localisation et débit des sources sur le secteur de Grand Ilet	20
Figure 5 : Localisation des pluviomètres autour du secteur de Grand Ilet	22
Figure 6 : Collecteur d'eau de pluie de Grand Ilet et pluviomètre MétéoFrance	23
Figure 7 : Entonnoir PVC du collecteur	24
Figure 8 : Emplacements de la sonde BaroDiver utilisée pour la compensation des mesures de hauteur d'eau de la pression atmosphérique	30
Figure 9 : Caractéristiques du seuil Pont-de-Chien.....	32
Figure 10 : Seuil Pont-de-Chien lors de l'événement pluvieux du 28 janvier 2011.....	33

Figure 11 : Domaines d'application des formules de débit selon la nature des sections d'écoulement pour Pont-de-Chien	34
Figure 12 : Déversoir triangulaire à mince paroi avec contraction latérale (Réméniéras, 1986)	35
Figure 13 : Déversoir rectangulaire en mince paroi (Réméniéras, 1986)	36
Figure 14 : Abaque des constantes pour déversoir rectangulaire de type mince paroi (Réméniéras, 1986)	37
Figure 15 : Courbe de tarage théorique du seuil Pont-de-Chien	38
Figure 16 : Courbe de tarage théorique du seuil Pont-de-Chien et mesures de terrain (erreur de lecture de la hauteur d'eau sur le régllet fixée à 5 mm, erreur sur la mesure de débit fixée à 10%)	38
Figure 17 : Evolution temporelle du débit à la station Pont-de-Chien sur la période de janvier à avril 2011	40
Figure 18 : Débit à la station Pont-de-Chien du 27/01/12 au 06/02/11	41
Figure 19 : Caractéristiques du seuil Clain	43
Figure 20 : Domaines d'application des formules de débit selon la nature des sections d'écoulement pour Clain	44
Figure 21 : Courbe de tarage théorique du seuil Clain	46
Figure 22 : Courbe de tarage théorique du seuil Clain et mesures de terrain (erreur de lecture de la hauteur d'eau sur le régllet fixé à 5 mm, erreur sur la mesure de débit fixée à 10%)	47
Figure 23 : Courbe de tarage du seuil Clain	48
Figure 24 : Evolution temporelle du débit à la station Clain sur la période de janvier à mai 2011	49
Figure 25 : Débit de la source Clain sur la période du 17 au 24 janvier 2011	50
Figure 26 : Caractéristiques du seuil Bielle 2	52
Figure 27 : Courbe de tarage théorique du seuil Bielle 2 et jaugeages des débits	54
Figure 28 : Caractéristiques du seuil Bélier	56
Figure 29 : Courbe de tarage théorique du seuil Bélier et mesures de débit	57
Figure 30 : Carte de localisation des piézomètres de 100 m du plateau de Grand Ilet suivis dans le cadre du projet MvTerre2	62
Figure 31 : Période d'installation des sondes et paramètres suivis dans les piézomètres de 100 mètres (pas de temps d'acquisition des sondes de 30 minutes)	63
Figure 32 : Piézométrie, conductivité et température dans le piézomètre de l'abattoir PZA3	65
Figure 33 : Piézométrie, conductivité et température dans le piézomètre de l'étable PZB3	67
Figure 34 : Piézométrie, conductivité et température dans le piézomètre du cimetière PZE2	69
Figure 35 : Piézométrie dans les trois piézomètres de Grand Ilet depuis janvier 2010	71

Figure 36 : Localisation des points de prélèvement pour les campagnes mensuelles	76
Figure 37 : Evolution temporelle de la conductivité et de la température de 6 émergences du secteur de Grand Ilet	78
Figure 38 : Hauteur d'eau dans le seuil Clain compensée de la pression atmosphérique	95
Figure 39 : Hauteur d'eau au dessus de la sonde Baro Pont-de-Chien après compensation par la sonde Baro Abattoir	96

Liste des tableaux

Tableau 1 : Détails des prélèvements effectués depuis la mise en service du collecteur (prélèvement systématique à la date de fin)	25
Tableau 2 : Caractéristiques des piézomètres de Grand-Ilet	61
Tableau 3 : Type d'analyses en fonction des éléments analysés	73
Tableau 4 – Points prélevés lors de la 1ère campagne spatiale (étiage 2011)	74

Liste des annexes

Annexe 1 Coupe technique du piézomètre PZA 3 et position des sondes Diver CTD	83
Annexe 2 Coupe technique du piézomètre PZB 3 et position des sondes Diver CTD	87
Annexe 3 Coupe technique du piézomètre PZE 2 et position des sondes Diver CTD	91
Annexe 4 Evaluation de la compensation pour les sondes MicroDiver	95
Annexe 5 Historique du matériel installé dans les piézomètres	97
Annexe 6 Protocole de prélèvement des échantillons d'eau en vue d'une analyse hydrochimique	99

1. Introduction

Face à une prise de conscience de plus en plus marquée de l'aggravation des risques, en particulier dans un contexte soumis aux changements climatiques, et fort de ces premiers éléments de connaissance qui attestent du caractère exceptionnel de l'environnement réunionnais, le BRGM, en partenariat avec l'Europe, l'Etat Français, la Région Réunion, et le Département de la Réunion, ont engagé en 2002 un premier programme de recherche sur la compréhension et le suivi des mouvements de terrain de grande ampleur dans les cirques et les grandes ravines de la Réunion : **programme MvTerre-1**.

Ce programme, qui s'est achevée en 2008 a permis de progresser dans la connaissance des mouvements de grande ampleur sur les points suivants :

- cartographie géologique des trois cirques de la Réunion, complétée par des datations de roches et des études de paléo-climatologie, outils indispensable pour :
 - o identifier et hiérarchiser les différentes étapes de démantèlement des flancs de l'île ayant conduit à l'apparition des cirques. L'analyse des phénomènes passés permet de mieux appréhender les évènements présents ;
 - o identifier et caractériser des paramètres géologiques de prédisposition aux mouvements de grande ampleur ;
- identification et suivi de mouvements de grande ampleur sur l'ensemble des trois cirques et des grandes ravines par techniques spatiales. Ce module du projet avait pour objectif de tester différentes méthodes d'acquisition et d'analyse pour le contexte réunionnais afin de déterminer une technique adaptée aux besoins ;
- suivi des déplacements et des précipitations dans les zones instables par la mise en place et l'exploitation de dispositifs de mesures de mouvement d'une part (2 GPS permanents, une centaine de bornes géodésiques, 2 extensomètres) et de deux pluviomètres d'autre part. Il s'agit d'analyser les éléments suivants :
 - o distribution spatiale des mouvements ;
 - o relations pluies – déplacement (amorces de mouvements, vitesse, etc.).

Ainsi, le projet MvTerre-1, bien qu'il ait permis d'avancer de façon substantielle dans la connaissance et la compréhension des mouvements de grande ampleur, met en évidence la nécessité d'être poursuivi, d'une part en réalisant les modules principaux qui n'ont pu être achevés ou engagés, et d'autre part en affinant les résultats par poursuite de l'acquisition et de l'analyse, en s'appuyant sur les enseignements des premières années d'étude. De plus, les dernières années ayant démontré l'inéluctabilité des changements climatiques rapides, la connaissance des grands phénomènes instables et dévastateurs, se révèle d'autant plus capitale pour mieux les combattre et/ou s'y adapter.

Pour cette raison, il a été proposé, dans le cadre d'un partenariat Europe, État Français, Région Réunion et BRGM, d'engager un programme complémentaire MvTerre-2 sur la période 2009-2012 afin d'achever les modules principaux déjà engagés et d'affiner les résultats par la poursuite de l'acquisition et de l'analyse.

Dans le cadre de la mesure 3-20 "Soutenir la Recherche et Développement sur les phénomènes de risque naturel", MvTerre-2, projet de recherche cofinancé par le PO FEDER 2007-2013, le FIDOM et la Région Réunion, a donc été engagé.

Il s'organise autour de trois objectifs principaux :

- > **Module 1 - Analyse des paramètres géomorphologiques de prédisposition.** Il s'agit d'établir les relations entre la géologie, le relief, l'hydrologie, l'hydrogéologie et les mouvements de grande ampleur. La finalité est d'affiner les paramètres de prédisposition géomorphologiques guidant le développement et la poursuite des mouvements de grande ampleur afin de mieux hiérarchiser l'aléa lié aux mouvements de grande ampleur dans les cirques.
- > **Module 2 - La poursuite de la détection et du suivi des mouvements de terrain de grande ampleur** visent à compléter l'instrumentation et le suivi des glissements de terrain (GPS fixe, réseau géodésique, débit des sources, piézométrie, méthodes spatiales...).
- > **Module 3 - L'étude et la modélisation du comportement des mouvements de grande ampleur.** Il s'agit d'analyser l'ensemble des données acquises dans les autres modules du projet. La finalité est de réaliser un modèle numérique de comportement sur le site de Grand-Ilet, visant à simuler les comportements réellement observés. Plusieurs approches de modélisation seront mises en œuvre. Le principal intérêt de ce type de modèle est de pouvoir ensuite faire varier les paramètres d'entrée (pluviométrie principalement, mais aussi paramètres de résistance au cisaillement des matériaux ou érosion des terrains en pied de glissement, etc.) afin d'examiner les conséquences en matière de circulation des eaux souterraines, de déplacement ou de stabilité. Des tendances pourront ainsi être dégagées, celles-ci pouvant ultérieurement servir de base pour des projets opérationnels d'aménagement ou de surveillance.

Dans le cadre du projet MvTerre-2, le glissement de Grand Ilet a été sélectionné comme site pilote pour l'étude des mécanismes régissant le fonctionnement des glissements de terrain de grande ampleur. Sur ce site, un suivi des déplacements par GPS permanents est couplé à un dispositif de suivis hydrologique, hydrogéologique et hydrochimique (mise en place de stations permanentes sur les piézomètres et aux exutoires des aquifères du plateau). L'objectif est de mieux comprendre le fonctionnement hydrique du glissement de Grand Ilet pour mieux définir le rôle de l'eau souterraine dans le contrôle des vitesses de déplacement.

Le présent rapport propose le bilan de l'état des lieux des dispositifs de suivi des eaux (précipitations, eau de surface, eau souterraine). La présentation de quelques résultats préliminaires y est intégrée.

Après avoir décrit le contexte de l'étude, les équipements mis en place pour le suivi des sources, des piézomètres et des précipitations sont présentés.

Les moyens mis en œuvre pour l'étude de l'hydrochimie des eaux souterraines sur le secteur d'étude sont ensuite détaillés.

2. Contexte du suivi hydrologique du plateau de Grand Ilet

2.1. CONTEXTE GENERALE DE L'ETUDE

Le glissement de terrain de Grand Ilet, situé dans le cirque de Salazie à la Réunion, est un site pilote déjà étudié par plusieurs études et dont l'analyse a été approfondie dans le cadre du projet de recherche MvTerre-1⁵. Il avait alors fait l'objet d'un suivi géodésique, grâce à des stations GPS permanentes réparties sur le glissement, et d'un suivi des précipitations.

Il a été mis en évidence que le plateau de Grand Ilet montre un mouvement dirigé vers le nord-est. D'une manière générale, les vitesses de déplacement, variant de quelques cm/an à plus de 50 cm/an, sont décroissantes vers le sud-ouest.

Les simulations réalisées avec le logiciel Tempo (Pinault *et al.* 2001a; Pinault *et al.* 2001b; Pinault & Schomburgk 2006) ont permis de caractériser l'existence d'une relation pseudo-linéaire entre précipitations annuelles et déplacements cumulés et la nécessité de dépasser un seuil de précipitations de 2400 mm sur une saison des pluies pour générer une accélération des vitesses (Bellanger & Aunay, 2008).

Dans le cadre du module 2 du projet MvTerre-2, le dispositif de suivi des déplacements a été enrichi pour une meilleure compréhension de la dynamique du glissement. Une quarantaine de bornes géodésiques se trouvent désormais sur le glissement actif de Grand-Ilet, ainsi que 3 stations GPS permanentes (Figure 1). Le rapport BRGM/RP-59019-FR (Barbier et Aunay, 2011) présente le détail du dispositif actuel.

⁵ Projet cofinancé par le Brgm, l'Europe, l'Etat, le Département de La Réunion et la Région Réunion.

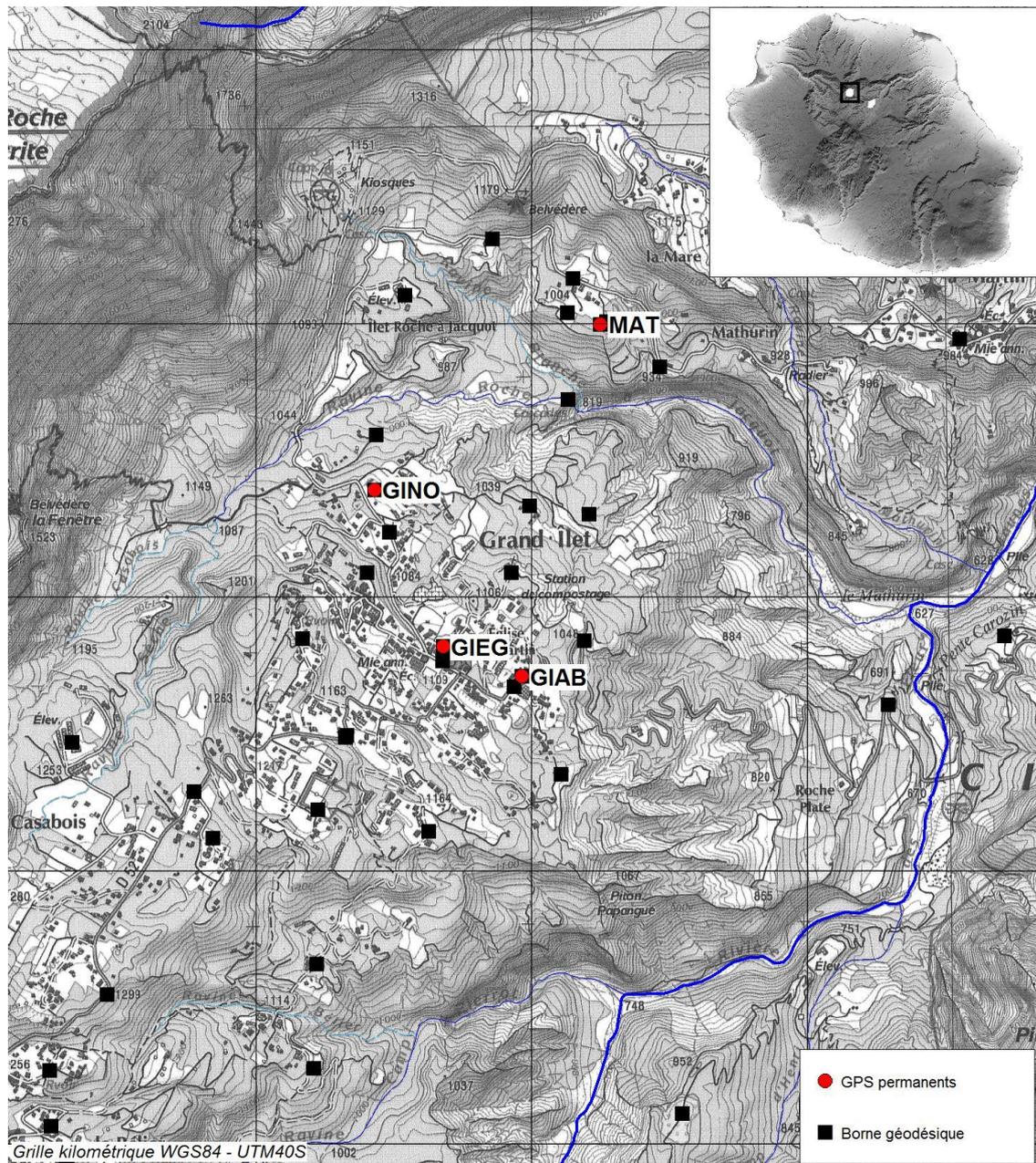


Figure 1 : Réseau géodésique du glissement de Grand-Ilet

Par ailleurs, ce suivi des déplacements et des précipitations a été associé début 2011 au suivi quantitatif continu des eaux souterraines (mise en place de stations de suivi permanentes sur les piézomètres et aux exutoires des aquifères du plateau). L'objectif est de mieux comprendre le fonctionnement hydrogéologique du glissement de Grand Ilet pour mieux définir le rôle de l'eau souterraine dans le contrôle des vitesses de déplacement.

2.2. ETAT DE L'ART DE L'HYDROGEOLOGIE DU SECTEUR D'ETUDE

L'aquifère principal du plateau de Grand Ilet (Figure 3) est constitué de brèches d'avalanches de débris (Lacoste & Daessle, 2003) dénommé « l'unité intermédiaire » (Pinchinot, 1984) dont la proportion matrice/bloc est variable selon les secteurs (Arnaud, 2005 ; Lacquement & Nehlig, 2008). La perméabilité de ces formations est supposée augmenter localement par des réseaux de fissures (Figure 2) liées aux mouvements de terrain (zones de cisaillement) (Lacoste & Daessle, 2003 ; Garnier, 2008). Un substratum volcanique altéré, considéré comme très peu perméable, constitue le mur de l'aquifère des brèches.

L'existence d'une nappe pérenne dans les brèches a été démontrée. Il est considéré comme un aquifère dit "de fond de cirque" ayant une inertie moyenne : un faible débit est maintenu en période d'étiage grâce à une capacité de stockage suffisamment développée (Moulin & Lebon, 2002 ; Lacoste & Daessle, 2003).

Les formations de démantèlement les plus récentes, constituant les dépôts superficiels du plateau de Grand Ilet, sont également aquifères (Figure 3). Leurs exutoires sont taris en période d'étiage mais des écoulements temporaires à fugaces apparaissent en périodes de fortes pluies, témoignant de l'existence de petites nappes à faible inertie (Pinchinot, 1984 ; Lacoste & Daessle, 2003).

Des brèches localement très argileuses, situées à la base de l'unité « intermédiaire », constituent un niveau moins perméable permettant l'émergence de plusieurs sources dans la zone nord-est du plateau. La présence d'émergences au sein de l'unité intermédiaire indique l'existence de contrastes de perméabilité dans cette unité (Figure 3). La source Clain, caractéristique de ce type de contexte, possède le débit le plus important de l'ensemble des sources du plateau (Figure 4).

Des distinctions géologiques différentes sont proposées dans les travaux plus récents de Lacquement et Nehlig (2008) : l'aquifère principal serait localisé dans la formation de démantèlement des « brèches de Grand Ilet ». Il s'agit d'une formation bréchique de

couleur noire, à support matriciel, à jigsaw-cracks⁶ et à blocs cataclasés très riches en zéolithe. A l’affleurement, cette formation présente un degré élevé d’altération.

Cette formation est ponctuellement sous-jacente aux colluvions de Grand-Ilet, à l’avalanche de débris de Mare à Poule d’eau ou aux dépôts de coulées de débris de Camp Pierrot.

Au total, 27 sources sont recensées actuellement sur le secteur d’étude (Figure 4). Six sources de pied de rempart (sources 1-6) sont distinguées des 21 sources émergeant du plateau (sources 7-27). Leur débit à l’étiage varie de quelques litres par seconde à plusieurs dizaines de litres par secondes (Figure 4).

⁶ Fracturation en puzzle de blocs contenus dans une matrice bréchique et caractéristiques des avalanches de débris.

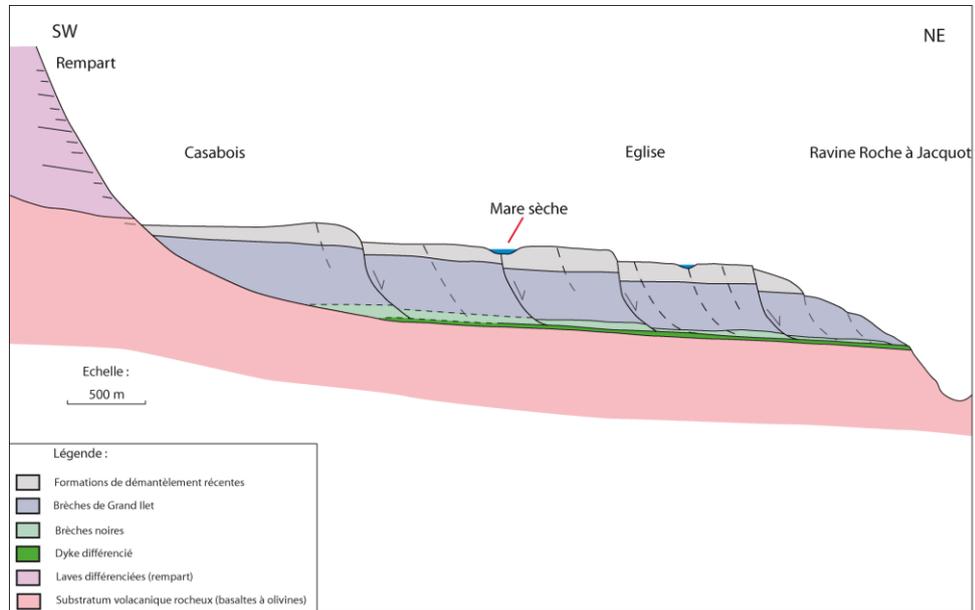


Figure 2 : Coupe géologique schématique du plateau de Grand Ilet (modifiée d'après Garnier 2008)

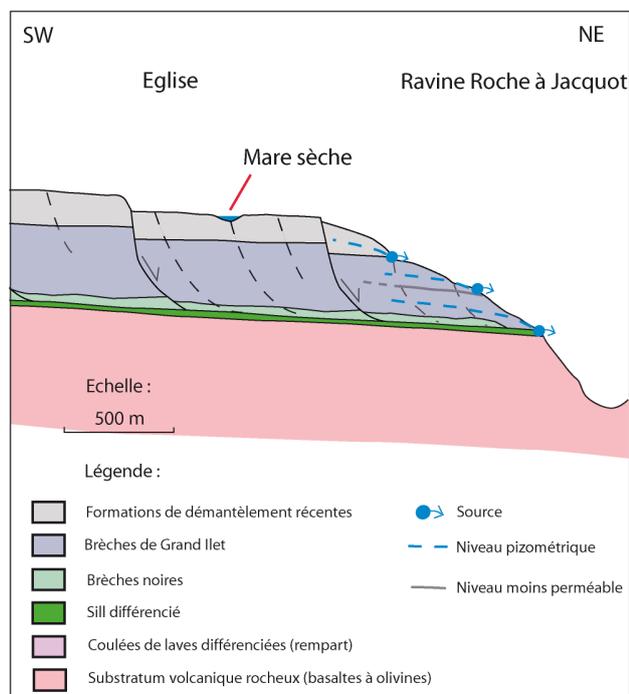


Figure 3 : Schéma conceptuel hydrogéologique du Plateau de Grand Ilet

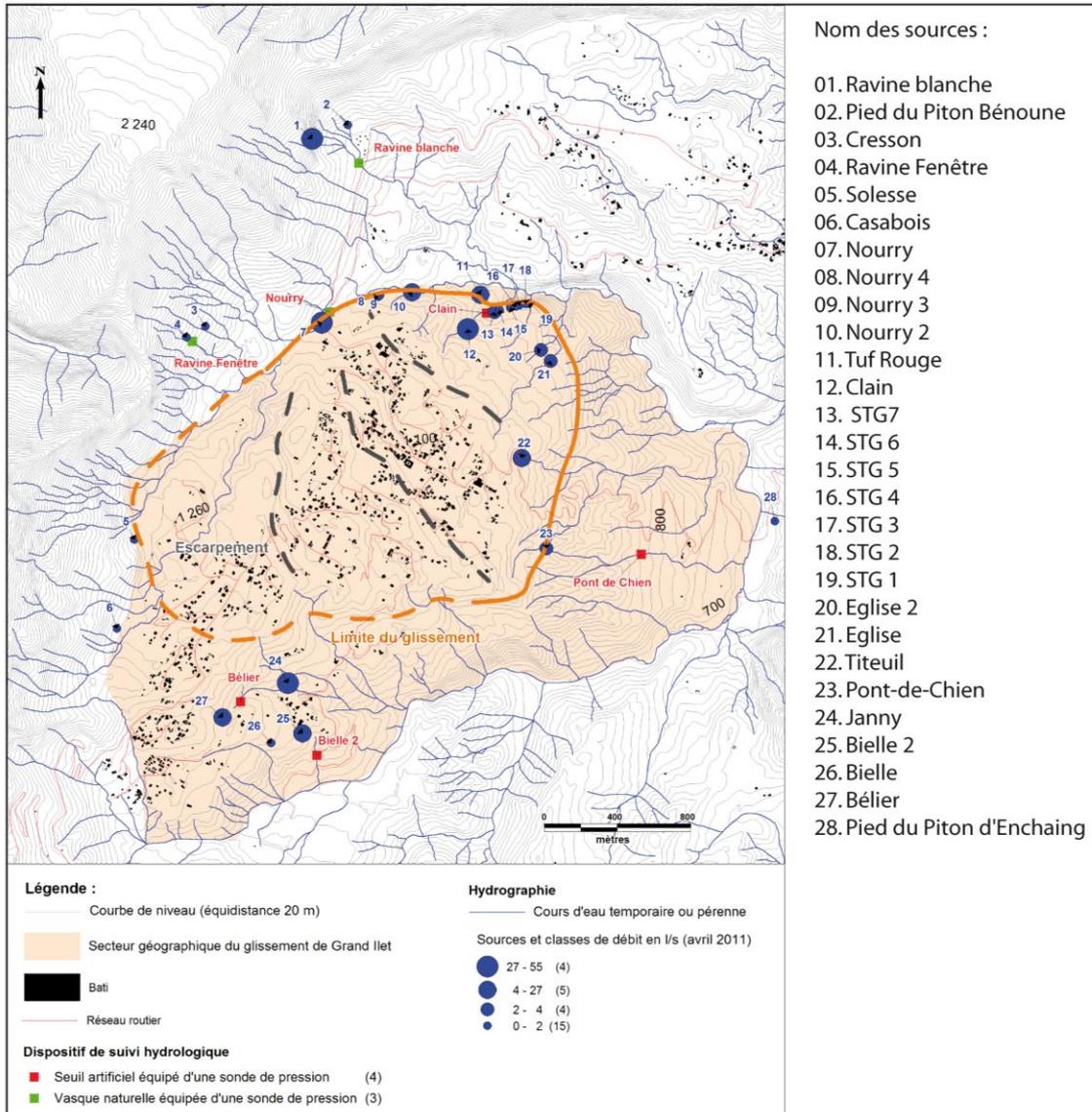


Figure 4 : Localisation et débit des sources sur le secteur de Grand Ilet

3. Suivi des précipitations

3.1. PLUVIOMETRE METEOFRANCE

Pour le suivi quantitatif des précipitations un pluviomètre à auget basculeur a été installé par le BRGM sur le plateau de Grand Ilet (en collaboration avec MétéoFrance et dans le cadre du projet MvTerre1). Il est positionné dans la partie nord du plateau, à côté du réservoir d'eau (Figure 5).

3.1.1. Données disponibles

Les données sont acquises au pas de temps de 6 minutes par MétéoFrance. Les cumuls journaliers sont ensuite calculés à partir de cette donnée de base. Le BRGM dispose actuellement des précipitations au pas de temps journalier depuis janvier 2003 pour cette station.

3.1.2. Correction des lacunes

Sur la période janvier 2011 à juin 2011, plusieurs lacunes d'enregistrement sont présentes. Le pluviomètre a notamment été bouché lors des épisodes pluvieux exceptionnels des 28, 29, 30 et 31 janvier 2011.

Afin de compléter les chroniques, les données sont estimées ponctuellement par MétéoFrance sur la base des connaissances de terrain des techniciens et des images radar disponibles. Elles ne sont pas calculées à partir d'un modèle numérique.

La création d'un modèle de répartition spatiale des pluies, s'appuyant sur les données collectées aux stations alentours (Figure 5), serait un moyen efficace de contrôler ces valeurs, en vue de l'utilisation des chroniques de précipitations pour cette étude. Il n'est pas prévu d'élaborer un tel modèle.



Figure 5 : Localisation des pluviomètres autour du secteur de Grand Ilet

3.2. COLLECTEUR D'EAU DE PLUIE

3.2.1. Contexte d'installation

Un collecteur d'eau de pluie a été installé au début du mois de septembre 2010 dans l'enceinte clôturée de la station pluviométrique de Grand Ilet (Figure 6). Un prélèvement de l'eau du collecteur est effectué mensuellement pour l'analyse des rapports isotopiques ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^2\text{H}/^1\text{H}$).

L'objectif de ces prélèvements est de connaître l'évolution temporelle du signal isotopique moyen mensuel des précipitations afin que celui-ci soit comparé aux analyses isotopiques des eaux des sources émergeant du glissement de Grand Ilet.

La localisation du collecteur d'eau de pluie est justifiée par la proximité d'un pluviomètre permettant de contrôler l'absence d'évaporation ou de perte dans le collecteur (les lames d'eau mensuelles précipitées mesurées par le pluviomètre sont comparées aux volumes récoltés dans le collecteur).



Figure 6 : Collecteur d'eau de pluie de Grand Ilet et pluviomètre MétéoFrance

3.2.2. Dispositif et protocole mis en place

Le protocole de prélèvement utilisé se base sur celui du programme AIEA-OMM⁷ sur la composition isotopique des précipitations. D'après ce programme, il est primordial d'éviter l'évaporation afin d'obtenir des données de qualité.

Un entonnoir en PVC, fixé au sommet de la cuve permet la collecte des eaux de pluie (Figure 7). Son dimensionnement a été réalisé en fonction du volume du collecteur (300 litres) afin de pouvoir contenir l'équivalent d'un mois pluvieux au cours de la saison des pluies. L'entonnoir est séparé du collecteur par une grille à maille fine faisant office de filtre.



Figure 7 : Entonnoir PVC du collecteur

De l'huile de paraffine médicale est ajoutée à l'intérieur de la cuve pour éviter toute évaporation de l'eau dans le collecteur, ce type de phénomène ayant effet de modifier les rapports en $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^2\text{H}/^1\text{H}$.

Lors des prélèvements mensuels, l'eau de pluie contenu dans le bac est intégralement vidangée et son volume mesuré. L'huile de paraffine est également soutirée puis réinjectée dans le collecteur après avoir été séparée des éventuelles eaux de pluie résiduelles.

Deux échantillons sont systématiquement prélevés. Ils sont conditionnés dans des flacons de polyéthylène haute densité de 60 ml (simple bouchon) et fermés hermétiquement par ajout de Parafilm autour de bouchon. Ils sont ensuite stockés en

⁷ Agence International pour l'Energie Atomique en coopération avec l'Organisation Météorologique Mondiale

réfrigérateur (température inférieure à 10°C) afin d'assurer leur bonne conservation avant analyse (stabilité la chimie de l'eau).

Ces analyse sont effectuées tous les 6 mois au laboratoire du BRGM / MMA à Orléans.

3.2.3. Prélèvements de janvier à mai 2011

Les volumes d'eau mensuels mesurés dans le collecteur ont été comparés avec les lames d'eau enregistrées par le pluviomètre (Tableau 1).

Nom du prélèvement	Date début	Date fin	Volume d'eau	Lame d'eau collecteur (mm)	Lame d'eau pluviomètre (mm)	Nb de valeur estimée
P1 (2x)	08/09/2010 12:00	28/10/2010 11:00	2.5	44	55.8	0
P2 (2x)	28/10/2010 11:00	01/12/2010 17:30	3.75	65	62.1	0
P3 (2x)	01/12/2010 17:30	11/01/2011 17:00	11.6	203	122.7	2
P4 (2x)	11/01/2011 17:00	17/02/2011 14:00	105.8	1848	968.1	11
P5 (2x)	17/02/2011 14:00	17/03/2011 14:00	12.11	212	129.5	1
P6 (2x)	17/03/2011 14:00	20/04/2011 15:00	13.01	227	159.4	2
P7 (2x)	20/04/2011 15:00	20/05/2011 15:30	11.7	204	105.8	0

Tableau 1 : Détails des prélèvements effectués depuis la mise en service du collecteur (prélèvement systématique à la date de fin)

Dans la majorité des cas, la lame d'eau calculée à partir du volume d'eau du collecteur est plus importante que celle enregistrée par le pluviomètre MétéoFrance. L'écart en pourcentage entre ces deux valeurs n'étant pas constant, cette différence ne peut être due à un défaut du calcul de la lame d'eau à partir du volume.

Il pourrait être en partie attribué aux erreurs d'estimation des données journalières manquantes par MétéoFrance. Un écart important est cependant toujours remarqué pour les mois où aucune valeur n'est estimée. Cet écart est la conséquence d'une étanchéité imparfaite de la base de l'entonnoir du pluviomètre. Une réparation a été effectuée en décembre 2011. Après cette date, les volumes mensuels précipités mesurés par le pluviomètre et le collecteur sont identiques. Ce constat permet de valider l'efficacité de l'huile de paraffine pour empêcher l'évaporation dans le collecteur.

4. Equipement des sources

4.1. SOURCES OU POINTS D'EAU EQUIPES

Trois types d'émergences ont été sélectionnés pour ce suivi.

Les sources Clain, Nourry, Bélier et Bielle 2 sont des sources émergeant sur le pourtour du glissement de Grand Ilet et dont le débit d'étiage est soutenu en saison sèche. La source Clain draine directement le glissement de terrain de Grand-Ilet. La source Nourry est en bordure Nord du glissement, son débit pourrait être influencé par les flux du rempart et du glissement de Grand-Ilet. Les sources Bélier et Bielle 2 drainent la partie sud-ouest de Grand-Ilet.

La source Pont-de-Chien émerge également du glissement mais montre un tarissement complet en fin de saison sèche (observations réalisées fin 2010 et fin 2011). En fonction de la saison et de la charge hydraulique de l'aquifère de Grand-Ilet, la zone d'émergence de cette source évolue sur plusieurs centaines de mètres le long de la ravine. Cette source draine le glissement de terrain de Grand-Ilet.

Les sources Fenêtre et Ravine Blanche sont des sources de pied de rempart dont le régime de fonctionnement est actuellement mal caractérisé. Ces sources n'alimentent pas directement le glissement de Grand-Ilet mais illustrent le signal « rempart » pour la recharge de l'aquifère de Grand-Ilet.

4.2. PROTOCOLE DE SUIVI DES SOURCES

Au total, les débits de sept sources sont donc actuellement suivis avec un pas de temps de 10 minutes par l'intermédiaire de la mesure des niveaux d'eau (sonde de pression - Schlumberger Water Services). Les différents sites suivis sont localisés sur la figure ci-après (Figure 4 et Figure 8).

- Quatre sources (Clain, Pont-de-Chien, Bélier et Bielle 2) ont été équipées de seuils de mesure hydrologique pour le suivi de leur débit entre fin 2010 et début 2011. Ce sont des ouvrages maçonnés dont les caractéristiques seront détaillées dans la partie suivante. Le niveau d'eau dans ces seuils est mesuré avec un pas de temps de 10 minutes à l'aide de sondes de pression MicroDiver (Schlumberger Water Services - plage de mesure 0-10 mètres) non-compensées de la pression atmosphérique. Ces installations font l'objet de curages mensuels pour limiter l'ensablement pouvant être à l'origine du détarage des stations.
- Les débits de trois autres sources (Fenêtre, Ravine Blanche et Nourry) sont suivis par l'intermédiaire de la mesure du niveau d'eau dans des vasques

naturelles. Ce suivi est assuré par des sondes de pression de type MicroDiver (plage de mesure 0-10 mètres) non-compensées de la pression atmosphérique.

Dans le but de compenser les mesures des sondes de pression MicroDiver de la pression atmosphérique, une sonde BaroDiver a été mise en place sur le site d'étude, avec un pas de temps d'acquisition de 10 minutes. Elle a été installée dans le tube du piézomètre de l'abattoir afin de limiter les variations de température journalière.

Pour chaque station, la relation entre hauteur d'eau et débit doit être établie. Ainsi, des mesures de débit sont régulièrement réalisées sur le terrain. Trois méthodes différentes sont utilisées, adaptées à la valeur des débits et aux caractéristiques des sites :

- Jaugeage au micromoulinet (modèle OTT type C2) pour la mesure des débits de crues des seuils à paroi épaisse ;
- Jaugeage au sel avec injection instantanée (mesure de la conductivité en aval du point d'injection avec sonde CTD Diver (résolution 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ - pas de temps d'acquisition 1 seconde). La concentration de la solution injectée est adaptée à la valeur du débit estimé. Cette méthode est employée pour la mesure des débits dans les cours d'eau à écoulement turbulent dans les cas où une mesure capacitive ne peut être mise en œuvre ;
- Jaugeage capacitif, pour la mesure des débits inférieurs à 20 l/s dans le cadre de cette étude.

Les courbes de tarage obtenues sont présentées pour chaque seuil dans la suite du rapport. Elles sont comparées aux courbes de tarage théoriques calculées.

4.3. COMPENSATION DES MESURES DE HAUTEUR D'EAU DE LA PRESSION ATMOSPHERIQUE

4.3.1. Théorie de la mesure

La compensation atmosphérique des mesures des sondes MicroDiver correspond à une soustraction simple de la pression atmosphérique enregistrée par la sonde BaroDiver à la pression enregistrée par les sondes MicroDiver. Le résultat de cette soustraction correspond à la hauteur d'eau au-dessus du MicroDiver.

La pression mesurée par le MicroDiver et le BaroDiver n'étant pas parfaitement synchronisée, le logiciel DiverOffice réalise une interpolation linéaire entre les points de mesure avant d'effectuer la soustraction.

Pour le cas du secteur d'étude de Grand Ilet où des différences altitudinales importantes et des contrastes journaliers de température existent entre les sites d'installation des sondes, un coefficient de correction doit être apporté à la valeur de hauteur d'eau après compensation. Cette correction est la conséquence de la diminution de la pression atmosphérique lorsque l'altitude augmente. A l'échelle d'un territoire comme celui de La Réunion, la variation de ce gradient altitudinal dans le temps est importante de par son relief particulièrement accidenté à l'origine de l'existence de nombreux microclimat (Robert, 1986). A l'échelle du secteur d'étude (distance maximale entre site de mesure et BaroDiver de 1,9 km, Figure 8), ce gradient pourra être considéré comme constant dans le temps.

Les sondes Micro et BaroDiver sont également munies de capteurs à semi-conducteurs pour la mesure de la température. La valeur mesurée est utilisée par la sonde pour compenser simultanément les effets de la température sur le capteur de pression et les autres composants électroniques. Cette compensation peut cependant être biaisée pour des températures supérieures à 30°C, et dans les cas où les amplitudes de variation journalière de la température de l'air sont conséquentes.

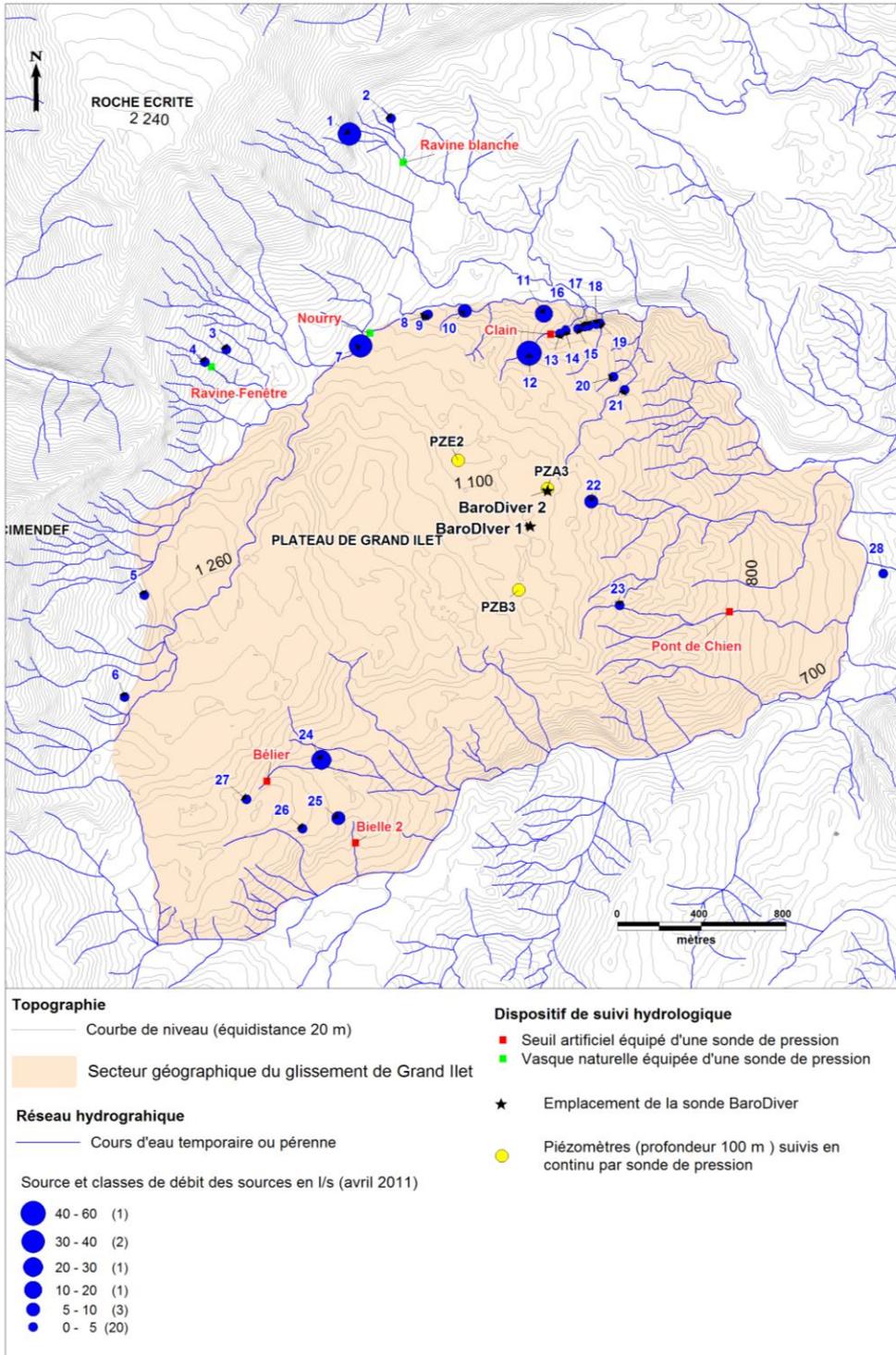


Figure 8 : Emplacements de la sonde BaroDiver utilisée pour la compensation des mesures de hauteur d'eau de la pression atmosphérique

4.4. SEUILS DE MESURE HYDROLOGIQUE

4.4.1. Seuil Pont-de-Chien

a) *Présentation du site*

Le seuil Pont-de-Chien est installé dans une ravine du secteur sud-ouest du plateau de Grand Ilet (Figure 4 et Figure 8). L'émergence d'une source dans la ravine quelques centaines de mètres en amont permet de soutenir le débit du cours d'eau durant environ 4 mois après la fin de la saison des pluies. Le tarissement complet du cours d'eau a été observé au cours de la saison sèche 2010. La surface du bassin versant hydrologique en amont du seuil est de 0.21 km².

b) *Caractéristiques du seuil et dispositif de mesure*

Le seuil a été construit par l'entreprise LTPOI sur la période du 6 au 13 décembre 2010. Pour le suivi des faibles débits (faible hauteur d'eau dans le seuil), une section d'écoulement en mince paroi taillée en V est placée au centre du dispositif. Il a été découpé dans une tôle acier de 5 mm d'épaisseur, chanfreinée à 45° sur le côté aval de l'échancrure (préconisations Réméniéras, 1986).

Pour les débits plus importants (supérieurs à 6,5 l/s), la section d'écoulement s'étend sur une plus grande largeur, passant d'un déversoir de type mince paroi à un déversoir à paroi épaisse (Figure 10). Une sonde de pression non-compensée de la pression atmosphérique de type MicroDiver permet de mesurer la hauteur d'eau dans le seuil à un pas de temps fixe de 10 minutes. La mesure est effectuée en rive gauche de la retenue, environ 1 mètre en amont du déversoir.



Figure 9 : Caractéristiques du seuil Pont-de-Chien



Figure 10 : Seuil Pont-de-Chien lors de l'événement pluvieux du 28 janvier 2011

c) Tarage

Sur la période de janvier à juin 2011, cinq mesures de débit ont pu être réalisées pour cinq hauteurs d'eau différentes.

En raison de la vitesse de décrue importante suite aux épisodes de fortes pluies, aucune mesure de débit n'a pu être effectuée pour les hauteurs d'eau correspondant à un écoulement par-dessus le déversoir à paroi épaisse.

Il est cependant possible d'établir une courbe de tarage théorique à l'aide de formules disponibles dans la littérature. En raison de la combinaison de section d'écoulement de type mince paroi (basses eaux) et seuil épais (hautes eaux), plusieurs formules de débit adaptées à chaque type de section doivent être utilisées (Figure 11).

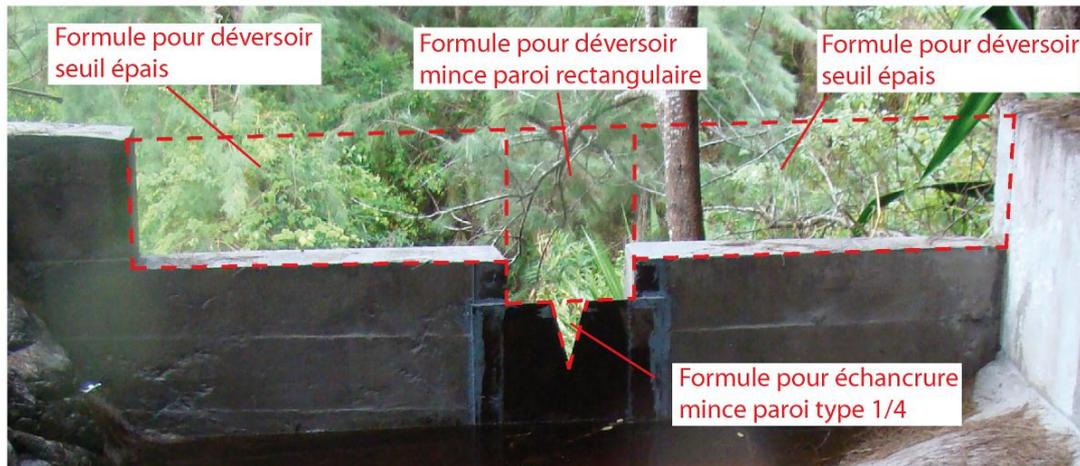


Figure 11 : Domaines d'application des formules de débit selon la nature des sections d'écoulement pour Pont-de-Chien

- Echanture triangulaire de type $\frac{1}{4}$ ($28,4^\circ$)

Pour cette section, la formule de débit proposée par l'Organisation Internationale de la Normalisation est utilisée (Audinet, 1995).

$$Q = C_e \times \left(\frac{8}{15} \right) \times \sqrt{2g} \times \tan(\alpha / 2) \times h^{5/2}$$

Avec :

Q le débit en m^3/s

C_e le coefficient de débit fonction de α , h/p , p/B : $0,68 < C_e < 0,61$ (voir Figure 12 pour B , h et p)

g l'accélération de la pesanteur en m^2/s

α l'angle formé par les parois de l'échanture en degré (2.84° pour Pont de Chien)

h la hauteur de la surface du liquide amont par rapport au bas de l'échanture en m, mesurée en amont de la zone de déversement.

Le débit se déversant par cette section sera considéré comme constant pour les hauteurs d'eau supérieures à 0,195 m au-dessus de la base de V. Cette approximation permet de simplifier le calcul de la courbe de tarage théorique en générant une erreur négligeable sur le calcul du débit total.

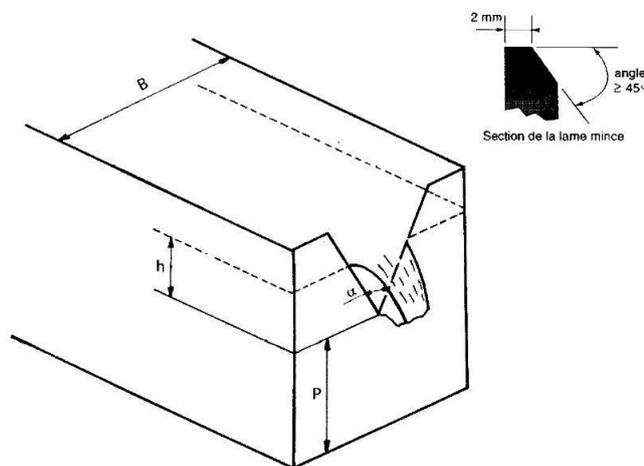


Figure 12 : Déversoir triangulaire à mince paroi avec contraction latérale (Réméniéras, 1986)

- Déversoir mince paroi rectangulaire

Pour cette section, la formule générale de Kindsvater-Carter, recommandée par l'Organisation Internationale de Normalisation est utilisée (Audinet, 1995).

$$Q = Ce \times \left(\frac{2}{3}\right) \times \sqrt{2g} \times be \times he^{5/2}$$

Avec :

Q le débit en m^3/s

Ce le coefficient de débit fonction de α , h/p , p/B

g l'accélération de la pesanteur en m^2/s

be la largeur fictive de l'échancrure en m

he la hauteur de la surface du liquide amont par rapport au bas de l'échancrure en m

be = $b + k_b$ si b est la largeur du déversoir

he = $h + k_h$ si h est la charge mesurée (on prend $he = h + 0,001m$)

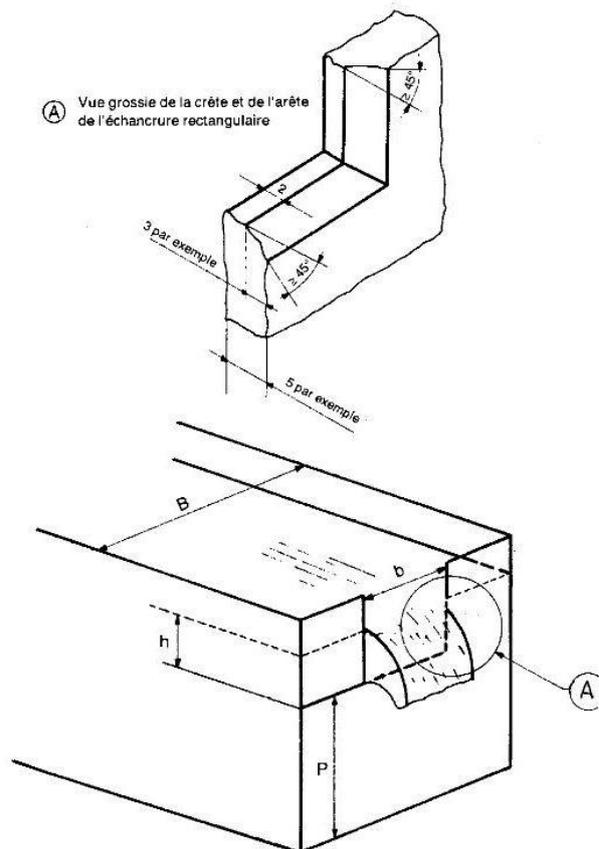


Figure 13 : Déversoir rectangulaire en mince paroi (Réméniéras, 1986)

Pour ce type de déversoir à contraction latérale (Figure 13), C_e et k_b sont fonction du rapport b/B de contraction (b la largeur de l'échancrure et B la largeur du canal). Les valeurs sont obtenues à partir des abaques suivants (Figure 14).

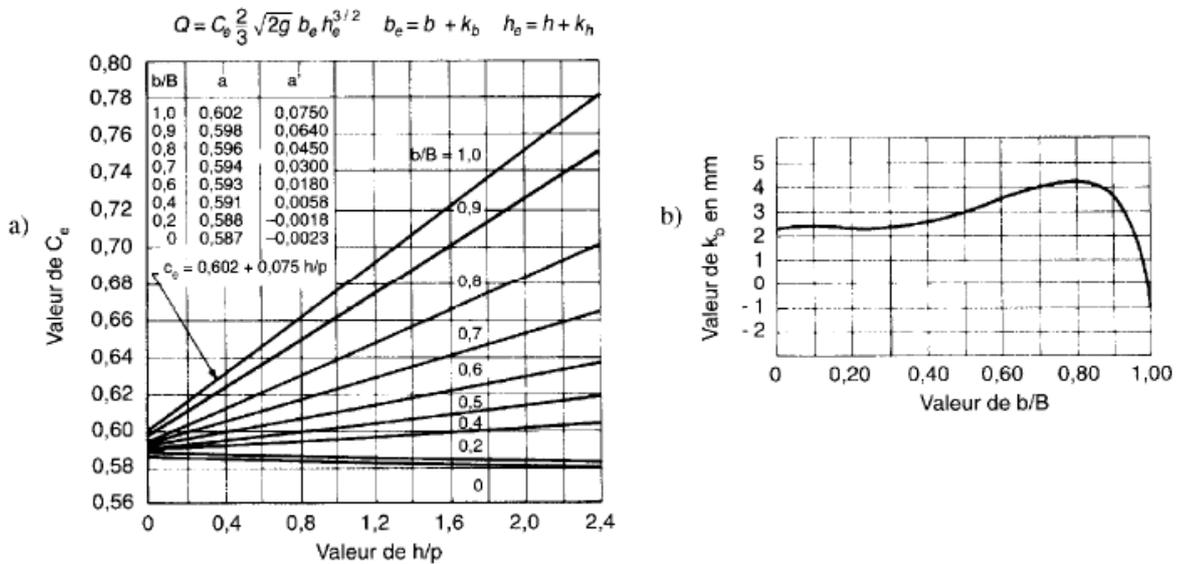


Figure 14 : Abaque des constantes pour déversoir rectangulaire de type mince paroi (Réméniéras, 1986)

- Déversoir à seuil épais

La formule fondamentale pour calculer les débits de ce type de déversoir est la suivante (Réméniéras, 1986) :

$$Q = ml \sqrt{2g} \times H^{5/2}$$

Avec :

m coefficient variant selon l'épaisseur de la paroi du seuil (pour une paroi d'épaisseur 0,2 m, $m \approx 0.36$)

l la largeur du seuil

H la hauteur d'eau en amont du déversoir par rapport au seuil

L'utilisation des formules appropriées sur les sections définies sur la Figure 11 permet de calculer la courbe de tarage suivante (Figure 15).

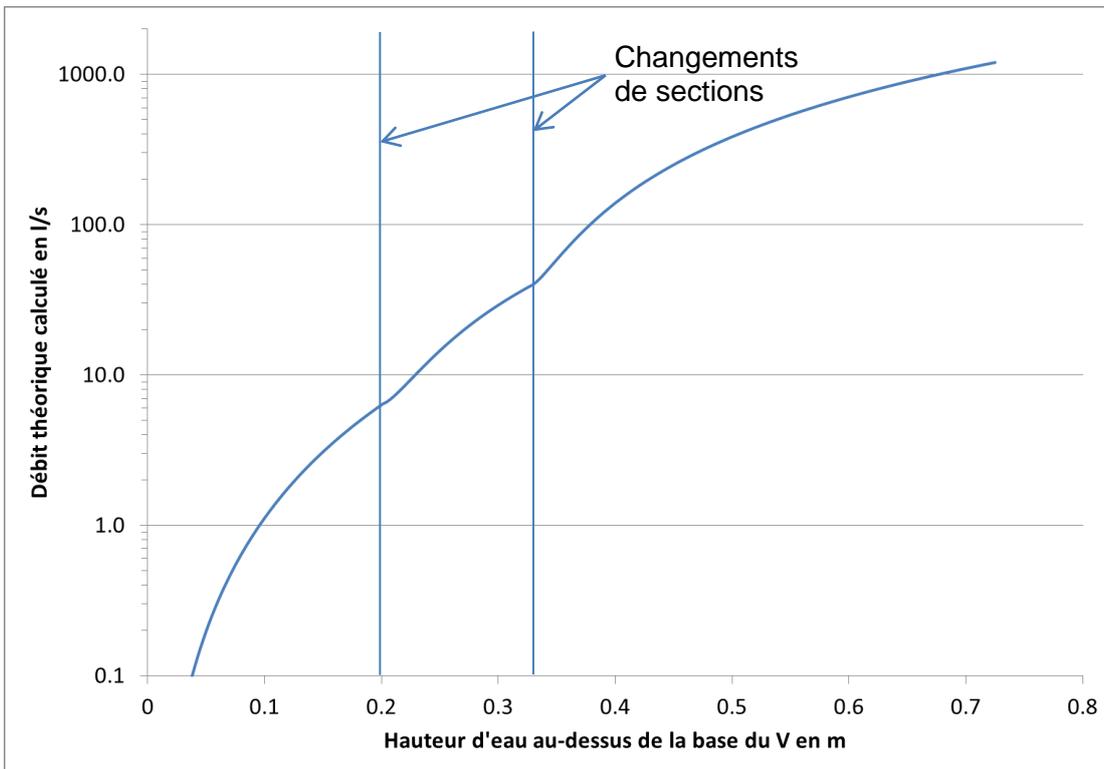


Figure 15 : Courbe de tarage théorique du seuil Pont-de-Chien

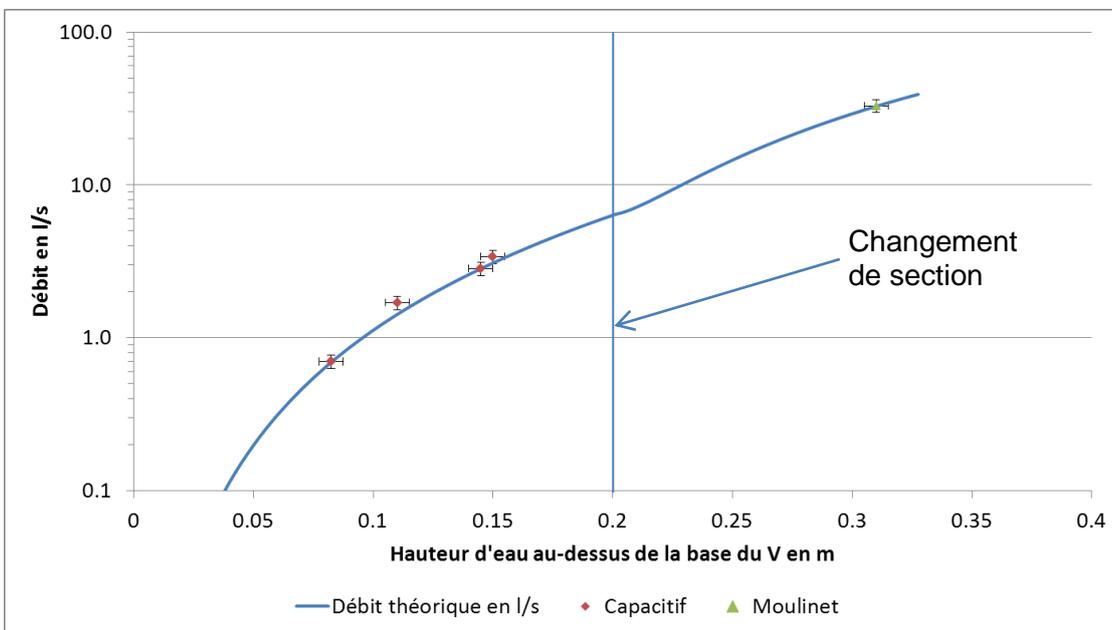


Figure 16 : Courbe de tarage théorique du seuil Pont-de-Chien et mesures de terrain (erreur de lecture de la hauteur d'eau sur le régllet fixée à 5 mm, erreur sur la mesure de débit fixée à 10%).

Les cinq mesures de débit effectuées en basses eaux (4 jaugeages capacitifs et un jaugeage au micromoulinet) s'alignent relativement bien sur la courbe de tarage théorique (Figure 16). Les résultats obtenus avec les mesures de débit réalisées sur le terrain semblent cohérents avec la courbe de tarage calculée, pour les hauteurs d'eau inférieures à 32,5 cm au-dessus de la base du V.

La pertinence de cette loi établie reste cependant à valider par des mesures complémentaires pour des débits de crues lors de la prochaine saison des pluies mais aussi par d'autres mesures à l'étiage.

d) Résultats du suivi quantitatif de la saison des pluies 2011

Suite à sa construction en décembre 2010, le seuil a enregistré une crue suite aux épisodes pluvieux intenses des 28, 29, 30 et 31 janvier 2011. Pour obtenir la chronique de débit présentée sur la figure suivante (Figure 17), la chronique de pression de la sonde MicroDiver a été compensée de la pression atmosphérique et la correction altitudinale a été réalisée. La formule théorique établie pour la conversion hauteur d'eau / débit a ensuite été appliquée. La validité de cette formule pour les débits de crue n'ayant pas encore été évaluée par des mesures de terrain, le risque que les débits supérieurs à 35 l/s soient fortement éloignés des débits réels est important.

• Observations

La mise en eau suite aux fortes pluies a été rapide. Une visite de terrain a été effectuée lors des épisodes pluvieux de janvier 2011. Des variations de niveau d'eau dans le seuil de plusieurs centimètres en quelques minutes ont été constatées.

Lors des montées de crues, les débits passent de quelques litres par seconde à plusieurs centaines de litres par seconde en 2 à 3 heures (Figure 18). Les vitesses de décrues sont élevées, les débits ne mettant que quelques heures pour revenir au débit initial.

Le signal périodique journalier visible sur les chroniques est la conséquence de la compensation incomplète de la pression atmosphérique. Le problème est abordé dans le détail en annexe 4.

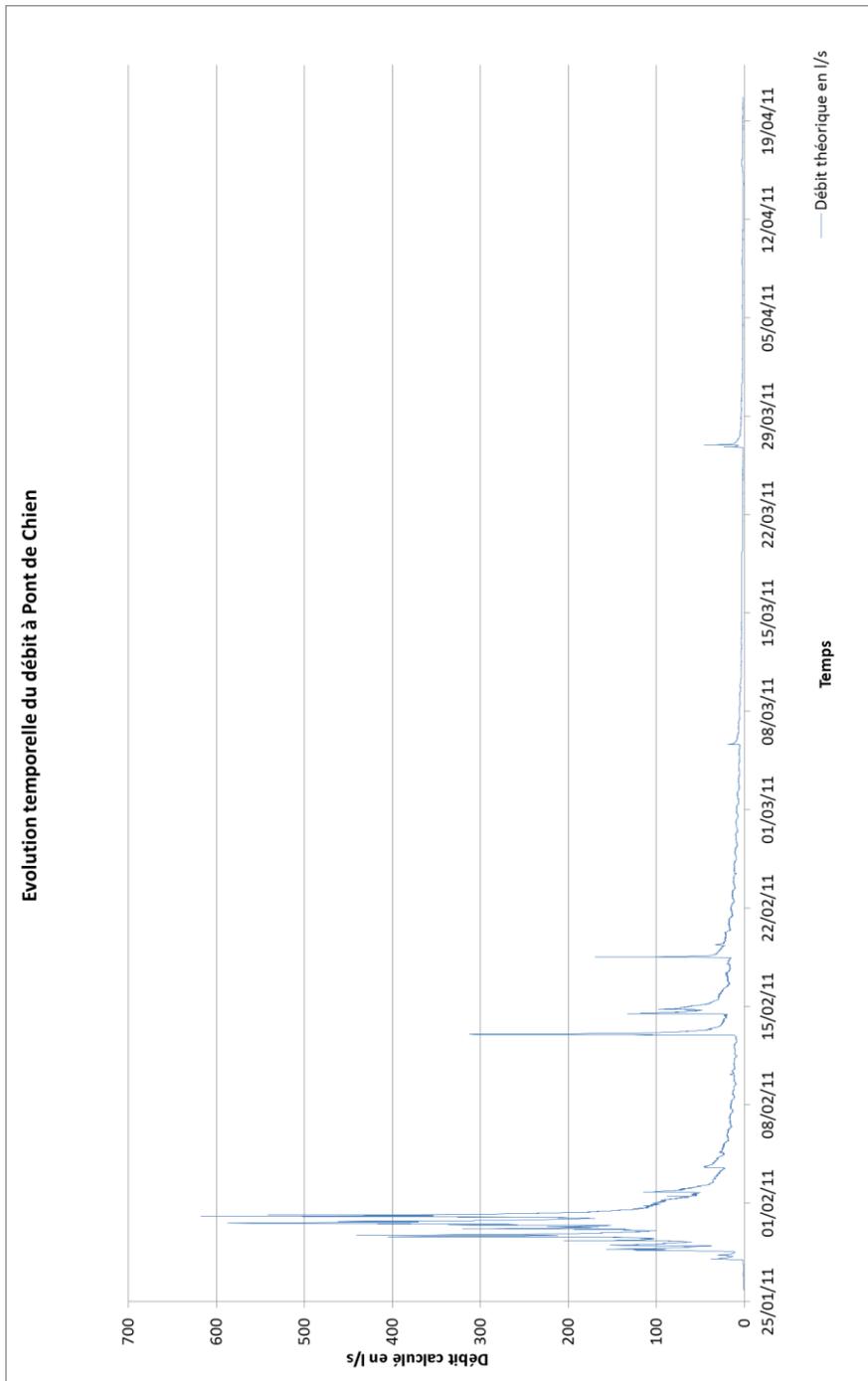


Figure 17 : Evolution temporelle du débit à la station Pont-de-Chien sur la période de janvier à avril 2011

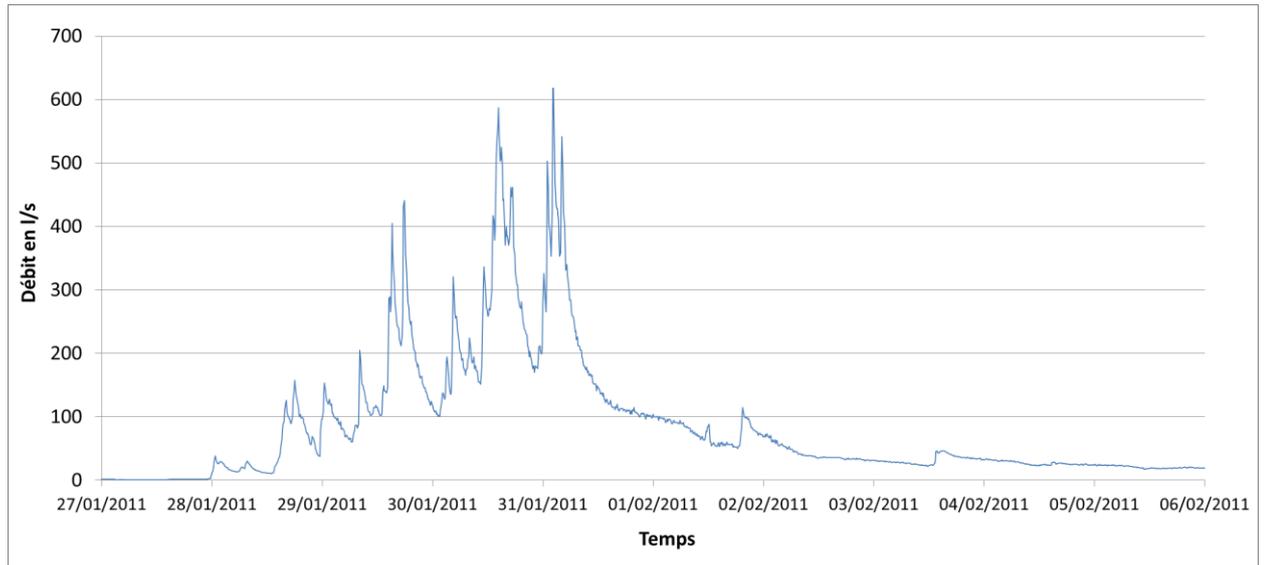


Figure 18 : Débit à la station Pont-de-Chien du 27/01/12 au 06/02/11

4.4.2. Seuil Clain

a) *Présentation du site*

Le seuil Clain est installé dans une ravine à l'est du plateau de Grand Ilet (Figure 4). La source suivie émerge dans le fond de la ravine à quelques centaines de mètres en amont du seuil. La surface du bassin versant de la ravine en amont du seuil est d'environ 0,064 km².

b) *Caractéristiques du seuil et dispositif de mesure*

Le seuil a été construit par l'entreprise LTPOI entre le 6 et le 13 décembre 2010. En raison du débit d'étiage relativement important de cette émergence (mesuré à environ 20 l/s le 11/01/2011), une section d'écoulement de type rectangulaire en mince paroi a été sélectionnée et disposée au centre du dispositif (Figure 19). Il a été découpé dans une tôle acier de 5 mm d'épaisseur, chanfreinée à 45° sur le côté aval de l'échancrure (préconisation Réméniéras, 1986). Pour les débits plus importants, la section s'élargie avec une section d'écoulement de type paroi épaisse (Figure 19). Une sonde de pression non-compensée de la pression atmosphérique de type MicroDiver permet de mesurer la hauteur d'eau dans le seuil à un pas de temps fixe de 10 minutes. La mesure est réalisée en rive gauche de la retenue, environ 0,5 m en amont du déversoir.

Il est noté que ce seuil ne permet pas de jauger l'intégralité des eaux d'exhaure de la source du fait qu'il repose sur des alluvions meubles favorisant les écoulements souterrains.



Figure 19 : Caractéristiques du seuil Clain

c) *Tarage*

Sur la période de janvier à juin 2011, cinq mesures de débit ont pu être réalisées pour cinq hauteurs d'eau différentes.

Une courbe de tarage théorique a été établie à l'aide de formules empiriques pour le seuil Clain. Etant donné la combinaison de section d'écoulement de type mince paroi (basses eaux) et seuil épais (hautes eaux), plusieurs formules de débit adaptées à chaque type de section sont utilisées (Figure 20).

Les seuils ont été dimensionnés pour que les conditions d'application de ces formules soient respectées. Le déversoir en mince paroi est dit avec « contraction latérale » car l'échancrure est pratiquée dans la mince paroi. La sonde de pression est positionnée suffisamment en amont du seuil pour que la mesure ne soit pas perturbée par les pertes de charges liées à l'accélération des vitesses d'écoulement au niveau du déversoir.

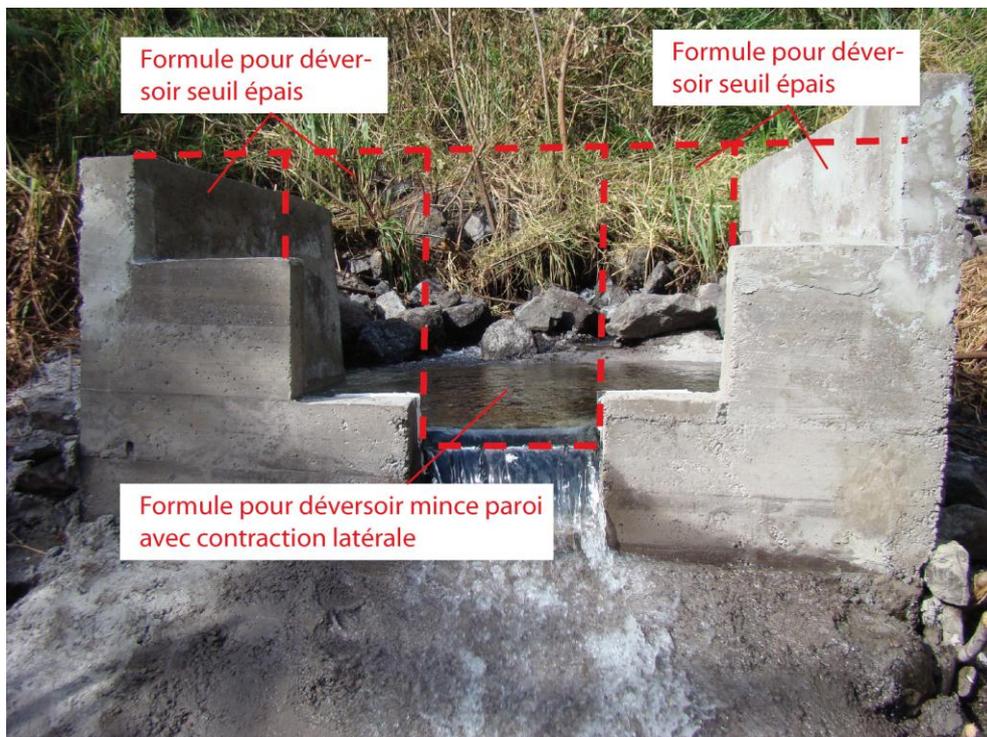


Figure 20 : Domaines d'application des formules de débit selon la nature des sections d'écoulement pour Clain

- Déversoir mince paroi rectangulaire avec contraction latérale

Pour cette section, la formule générale de Kindsvater-Carter, recommandée par l'Organisation Internationale de Normalisation est utilisée (Audinet, 1995).

$$Q = C_e \times \left(\frac{2}{3}\right) \times \sqrt{2g} \times b_e \times h_e^{5/2}$$

Avec :

Q le débit en m^3/s

C_e le coefficient de débit fonction de α , h/p , p/B

g l'accélération de la pesanteur en m^2/s

b_e la largeur fictive de l'échancrure en m

h_e la hauteur de la surface du liquide amont par rapport au bas de l'échancrure en m

b_e = $b + k_b$ si b est la largeur du déversoir

h_e = $h + k_h$ si h est la charge mesurée (on prend $h_e = h + 0,001m$)

Pour ce type de déversoir à contraction latérale, C_e et k_b sont fonction du rapport b/B de contraction (b la largeur de l'échancrure et B la largeur du canal). Les valeurs sont obtenues grâce aux abaques suivants (Figure 30).

- Déversoir à seuil épais

La formule fondamentale pour calculer les débits de ce type de déversoir est la suivante (Réméniéras, 1986) :

$$Q = ml\sqrt{2g} \times H^{5/2}$$

Avec :

m coefficient variant selon l'épaisseur de la paroi du seuil (pour une paroi d'épaisseur 0,2 m, $m \approx 0.36$)

l la largeur du seuil

H la hauteur d'eau en amont du déversoir par rapport au seuil

Au cours de la période de suivi de décembre 2010 à juin 2011, les hauteurs d'eau correspondant aux débits les plus importants n'ont pas permis un écoulement au-dessus du seuil à paroi épaisse. Dans les cas où la hauteur d'eau au-dessus de la mince paroi a été supérieure à 20 cm (maximum de 22 cm atteint en amont de la mince paroi), l'accélération des vitesses d'écoulement au niveau du déversoir a été suffisamment importante pour empêcher un écoulement au-dessus du seuil à paroi épaisse.

Pour les hauteurs d'eau au-dessus de la mince paroi comprises entre 0 et 22 cm, l'écoulement au-dessus du seuil épais ne sera donc pas pris en compte dans le calcul théorique du débit.

La courbe de tarage obtenue est représentée sur la figure suivante (Figure 21):

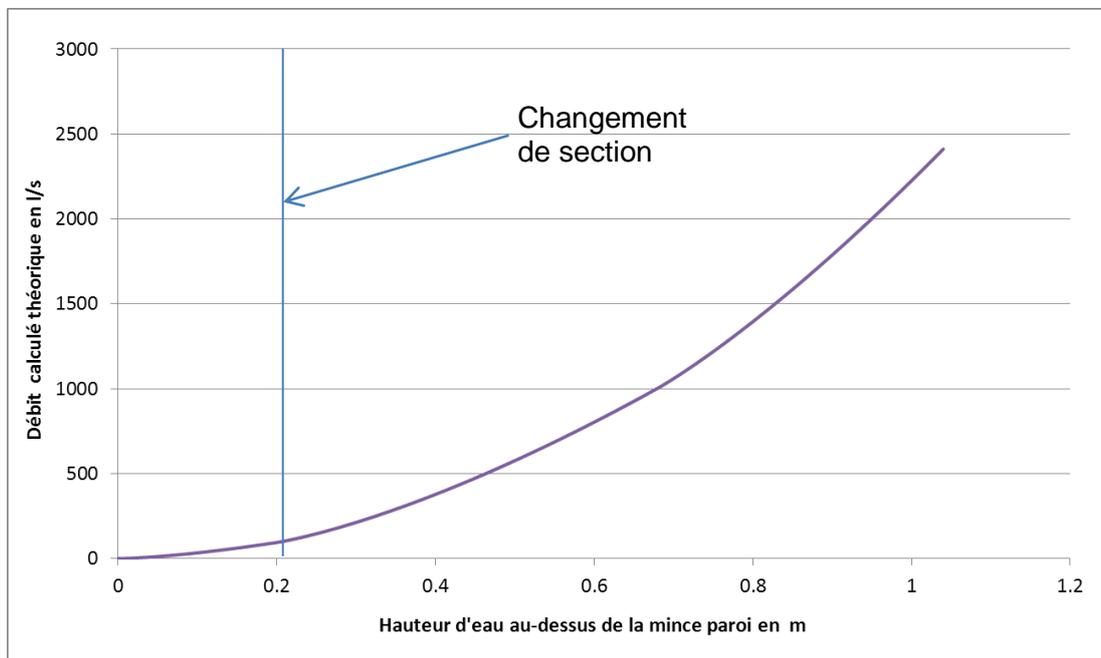


Figure 21 : Courbe de tarage théorique du seuil Clain

Au total, cinq mesures de débit ont été réalisées sur la période de suivi. Un décalage important est mis en évidence entre les valeurs mesurées sur le terrain avec les débits calculés (Figure 22). Les différentes mesures de débits s'alignent cependant sur une courbe dont la pente apparaît sensiblement plus faible que celle de la courbe de tarage théorique.

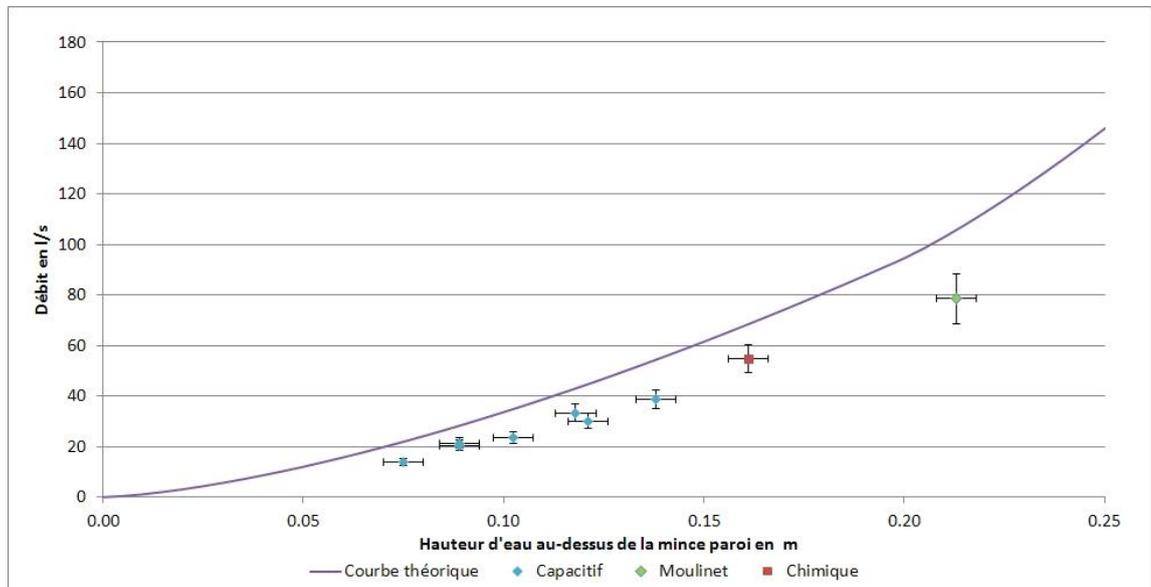


Figure 22 : Courbe de tarage théorique du seuil Clain et mesures de terrain (erreur de lecture de la hauteur d'eau sur le régllet fixé à 5 mm, erreur sur la mesure de débit fixée à 10%).

Les conditions d'application des formules empiriques de calcul de débit pourraient ne pas être respectées pour ce seuil, ce qui expliquerait cette divergence. Des mouvements d'eau sont observés dans la retenue en amont du déversoir : sa longueur est en effet relativement faible par rapport au débit arrivant dans la retenue. De plus, il est possible que le fond du seuil soit légèrement déclive vers l'aval. L'effet de cette pente sur le régime d'écoulement dans le seuil pourrait être à l'origine du décalage entre les deux courbes.

Des mesures de débit complémentaires seront cependant nécessaires confirmer ces premiers résultats.

Au regard de l'écart entre courbe de tarage théorique et mesure de terrain, la formule théorique de conversion hauteur d'eau / débit ne sera pas utilisée dans un premier temps. Pour ce faire, nous utiliserons une droite d'ajustement de type puissance (Figure 23). Sur la base des cinq jaugeages existants, cette droite d'ajustement permet d'avoir une égale répartition des points de part et d'autre de la courbe, et de minimiser les écarts à la courbe suivant les débits (dans le sens vertical).

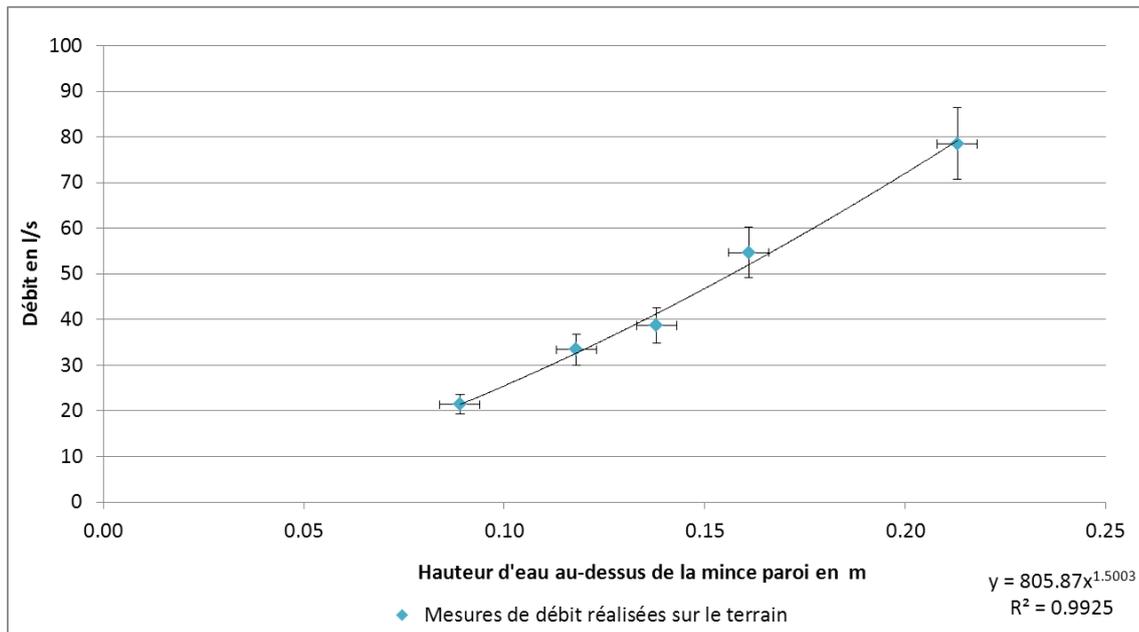


Figure 23 : Courbe de tarage du seuil Clain

d) Résultats du suivi de la saison des pluies 2011

En utilisant l'équation de la courbe de tarage obtenu, la chronique de hauteur d'eau du seuil Clain est convertie en chronique de débit (Figure 24).

Des travaux de perfectionnement ont été réalisés sur le seuil du 17 au 21 mars, engendrant des perturbations importantes du niveau d'eau dans le seuil. Les mesures ont donc été recalculées sur cette période par interpolation linéaire de la courbe de décroissance de la hauteur d'eau dans le seuil sur la période du 15/02/11 au 15/04/11.

• Observations

Suite aux fortes pluies des 28, 29, 30 et 31 janvier 2011, le débit de l'émergence est passé de 20 à 80 l/s environ 0,5 jours après le début de l'épisode pluvieux. Une seconde augmentation du débit de 70 à 80 l/s a été enregistrée, moins rapide que la première suite aux pluies du 12/02/11. Le débit a ensuite diminué à vitesse constante de 80 à 30 l/s entre le 15 février et le 15 mai.

Une périodicité journalière est bien visible (Figure 25), avec une amplitude moyenne d'environ 4 l/s. L'origine de cette périodicité, associée à une compensation incomplète de la pression atmosphérique, est discutée en annexe 4.

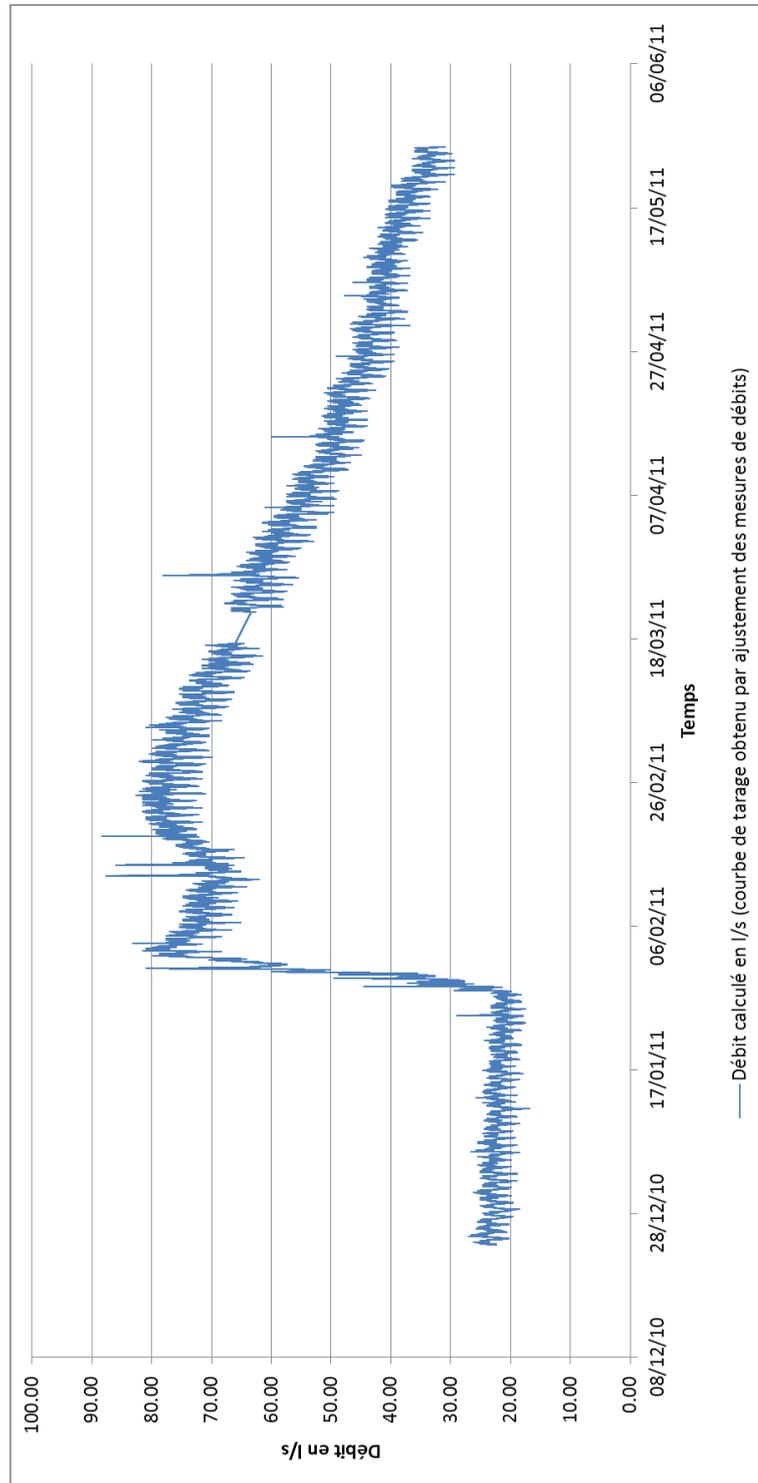


Figure 24 : Evolution temporelle du débit à la station Clain sur la période de janvier à mai 2011

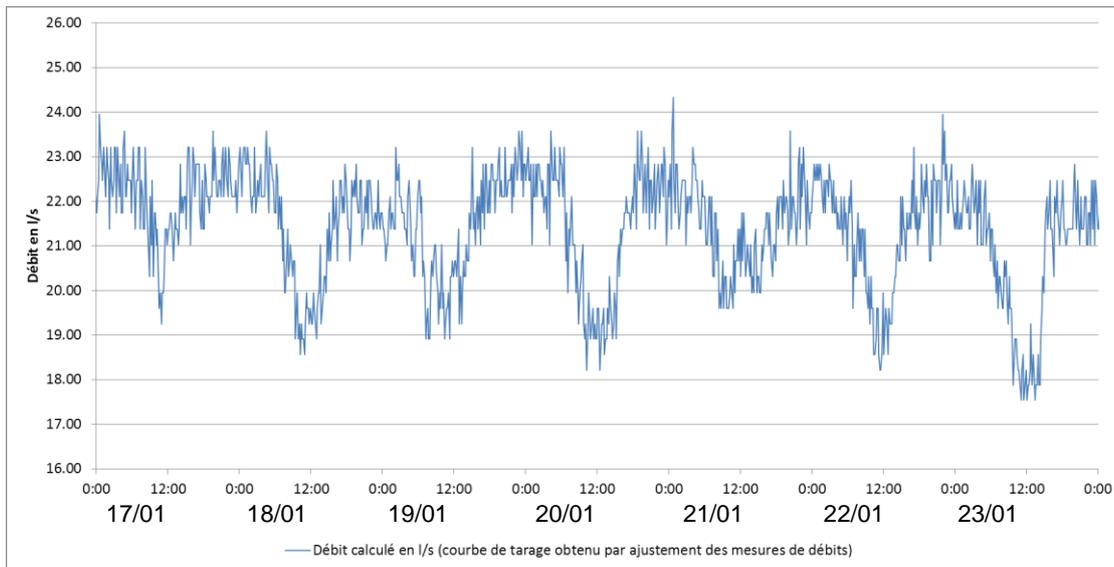


Figure 25 : Débit de la source Clain sur la période du 17 au 24 janvier 2011

4.4.3. Seuil Bielle 2

a) Présentation du site

Le seuil Bielle 2 est installé environ 100 m en aval de la source Bielle 2, dans la partie sud du plateau de Grand Ilet (Figure 4). La surface du bassin versant en amont est très faible ($< 0.1 \text{ km}^2$) de par la proximité de l'émergence et l'encaissement de la ravine. Il a été mis en service le 21 avril 2011, suite à sa construction par le BRGM.

b) Caractéristiques du seuil et dispositif de mesure

Le dispositif de mesure est constitué d'un ouvrage en béton permettant la formation d'une retenue. La section d'écoulement de ce seuil est un déversoir de type triangulaire mince paroi. Il a été découpé dans une tôle acier de 5 mm d'épaisseur, chanfreinée à 45° sur le côté aval de l'échancrure (préconisation Réméniéras, 1986).

Le niveau d'eau dans la retenue est mesuré à un pas de temps de 10 minutes en rive gauche de celle-ci, 0,4 mètre en amont du déversoir. La sonde utilisée est une sonde de pression non-compensée de la pression atmosphérique de type MicroDiver.

Les dimensions de l'ouvrage sont présentées sur la figure suivante (Figure 26).



Figure 26 : Caractéristiques du seuil Bielle 2

c) Tarage

Pour l'utilisation de la formule théorique de calcul du débit, nous considérerons que le lit et les parois d'approche sont suffisamment éloignés de l'échancrure. Le résultat sera ensuite comparé avec les mesures de débit réalisées sur le terrain.

- Echancrure triangulaire de type 90°

Pour cette section, la formule de débit proposée par l'Organisation Internationale de la Normalisation est utilisée (Audinet, 1995).

$$Q = C_e \times \left(\frac{8}{15}\right) \times \sqrt{2g} \times h^{5/2}$$

Avec :

Q le débit en m³/s

C_e le coefficient de débit fonction de α , h/p , p/B : $0,68 < C_e < 0,61$

g l'accélération de la pesanteur en m²/s

α l'angle formé par les parois de l'échancrure en degré

h la hauteur de la surface du liquide amont par rapport au bas de l'échancrure en m, mesurée en amont de la zone de déversement.

Etant donné la taille du bassin versant en amont du déversoir, il est peu probable que le déversoir soit débordé lors de fortes pluies. La courbe de tarage théorique sera donc calculée uniquement sur la section d'écoulement du seuil en V (lame d'eau maximale de 20 centimètres au-dessus de la base du V).

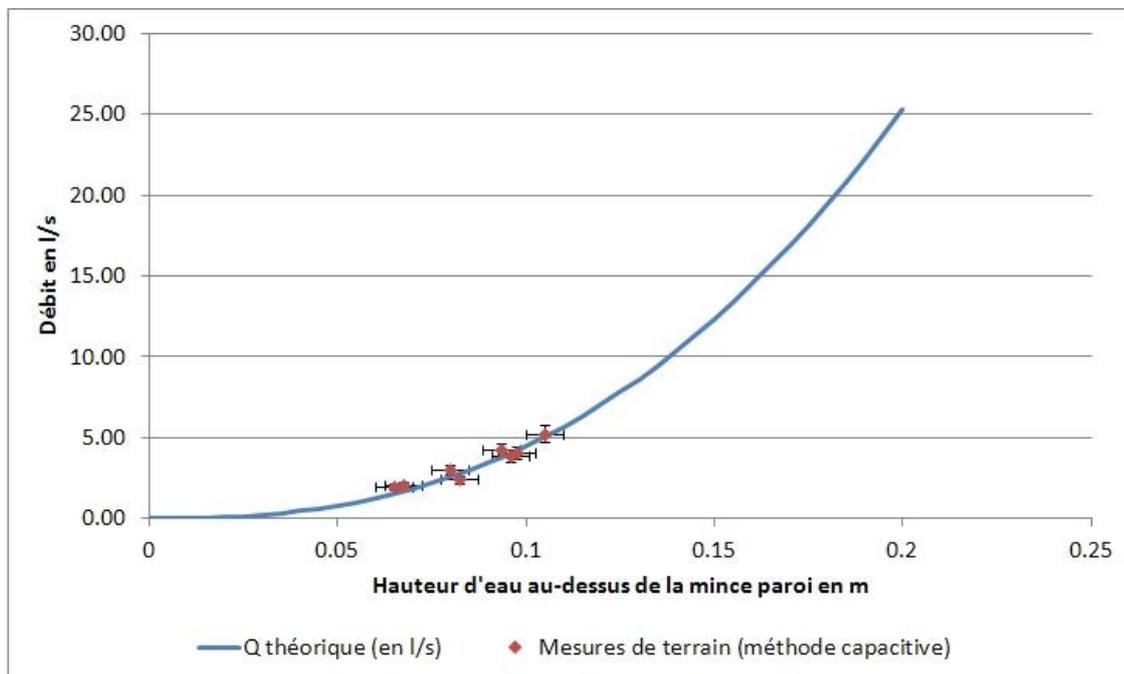


Figure 27 : Courbe de tarage théorique du seuil Bielle 2 et jaugeages des débits

Les trois mesures de débit réalisées sont en très bonne cohérence avec les débits calculés en période de basses eaux (Figure 27). Des mesures de débits en crue devront être réalisées pour valider la courbe de tarage en hautes eaux.

4.4.4. Seuil Bélier

a) Présentation du site

Le seuil Bélier est installé à 50 mètres en aval de la source Bélier, dans la partie sud du plateau de Grand Ilet (Figure 4). Il s'agit d'un ouvrage maçonné, construit au début du mois d'avril 2011 par le BRGM. Il a été mis en service le 11 avril 2011.

b) Caractéristiques du seuil et dispositif de mesure

Le dispositif de mesure de ce seuil est identique à celui du seuil Bielle 2. Il est constitué d'un ouvrage en béton permettant la formation d'une retenue. La section d'écoulement de ce seuil est un déversoir de type triangulaire mince paroi (Figure 28). Il a été découpé dans une tôle acier de 5 mm d'épaisseur, chanfreinée à 45° sur le côté aval de l'échancrure (préconisation Réméniéras, 1986).

Le niveau d'eau dans la retenue est mesuré à un pas de temps de 10 minutes en rive droite de celle-ci, 1,5 mètre en amont du déversoir. La sonde utilisée est une sonde de pression non-compensée de la pression atmosphérique de type MicroDiver.

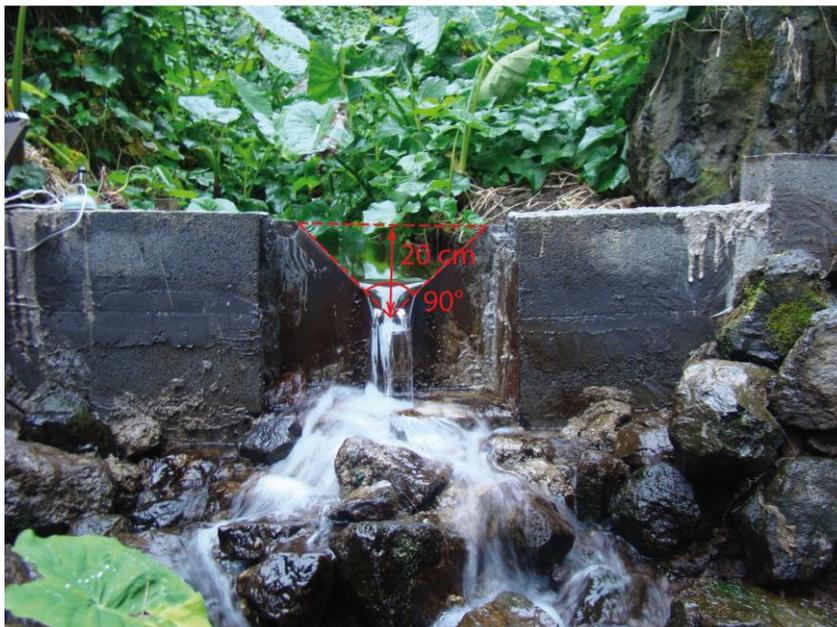
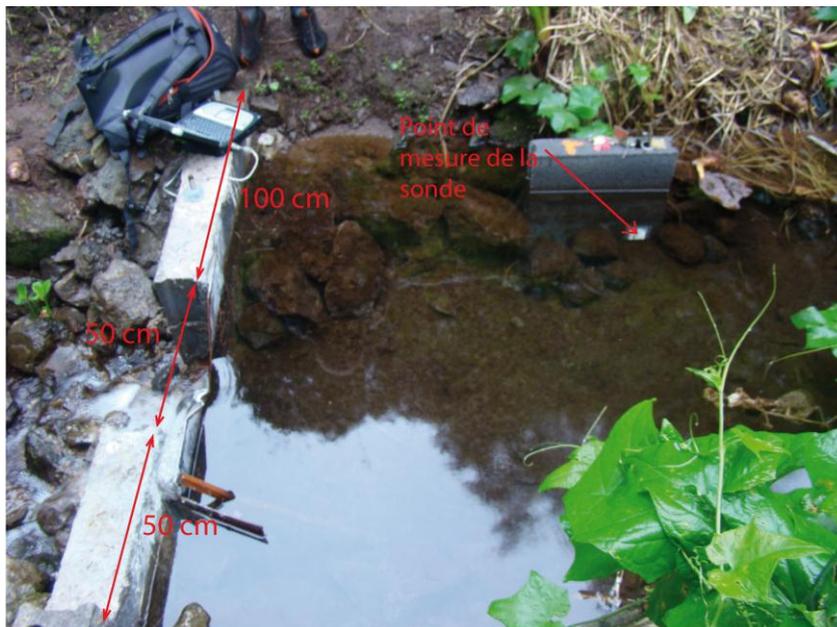


Figure 28 : Caractéristiques du seuil Bélier

c) Tarage

La mince paroi de ce seuil étant identique à celle du seuil Bielle 2 présenté précédemment, les équations utilisées sont identiques. Il faudra se reporter à la partie précédente traitant du seuil Bielle 2 pour la formule utilisée.

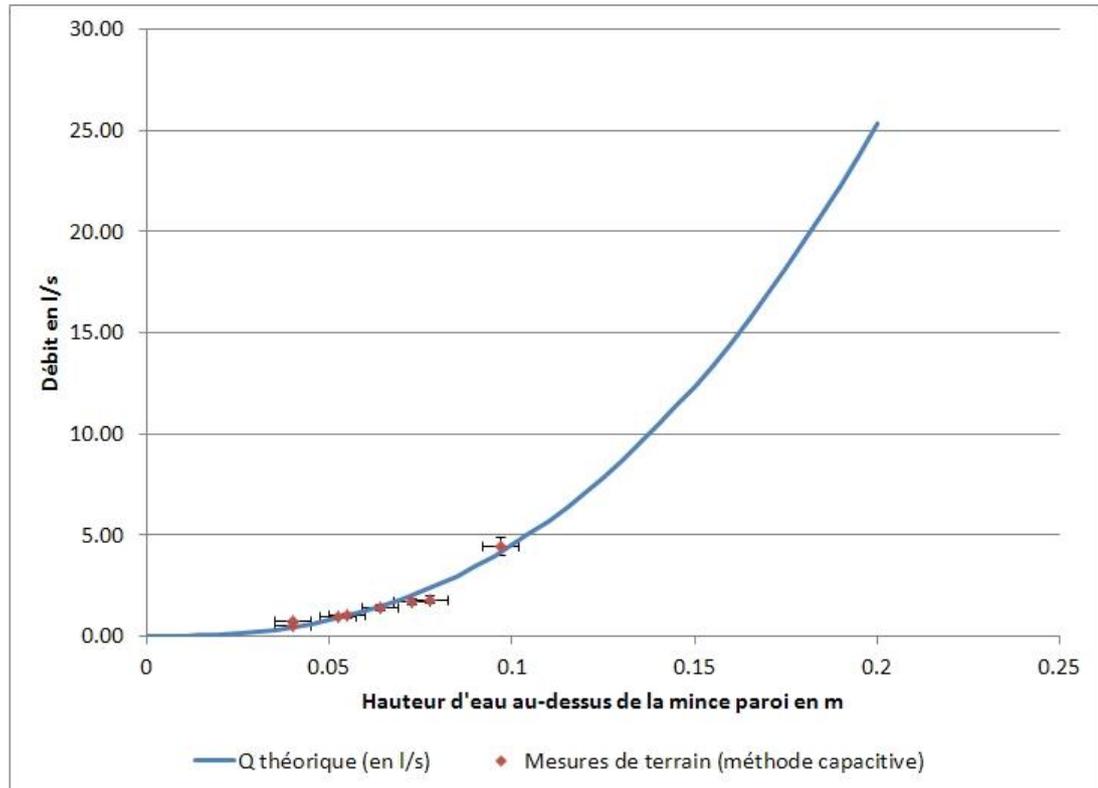


Figure 29 : Courbe de tarage théorique du seuil Béliet et mesures de débit

On constate que les mesures de débit réalisées sur le terrain sont en adéquation avec la courbe de tarage théorique pour les faibles débits (Figure 29).

Des mesures complémentaires en haute et basses eaux seront toutefois nécessaires pour compléter l'évaluation de cette courbe.

Pour ce seuil, le dispositif d'installation de la sonde de pression a été endommagé, très certainement en raison de la proximité d'un sentier fréquenté. La sonde de pression a été repositionnée sous un bloc afin d'éviter ce type d'aléa.

4.5. EQUIPEMENT DE VASQUES NATURELLES

4.5.1. Présentation générale

En complément du suivi par seuils de mesures hydrologiques maçonnés, des vasques naturelles en aval de trois autres émergences ont été équipées (Figure 4). L'objectif de ce type d'installation est de permettre un suivi qualitatif des variations de débit sans procéder à la construction coûteuse de seuils. De plus, ce genre d'installation n'impacte pas l'environnement.

Le type de dispositif adopté est constitué d'un tube carré en acier, fixé sur une des berges de la vasque sélectionnée. Deux tiges filetées, sur lesquelles est ensuite boulonné le tube acier, sont préalablement scellées (scellement chimique de type Sica Anchorfix). Une sonde de pression non-compensée de la pression atmosphérique de type MicroDiver est ensuite immergée à l'intérieur du tube. L'effet de la pression atmosphérique sera compensé par la sonde BaroDiver installée à Grand-Ilet.

En raison de la géométrie complexe de la section d'écoulement des vasques équipées, l'élaboration d'une courbe de tarage théorique n'est pas envisageable. Des mesures de débit sont régulièrement effectuées afin d'établir des courbes de tarage réelles.

4.5.2. Source Fenêtre

La source fenêtre émerge dans le rempart entre le Cimendef et la Roche Ecrite au nord-est du plateau de Grand Ilet (Figure 4 – p. 20). La vasque équipée est située en bordure du sentier permettant d'accéder à la Fenêtre, en amont d'un captage. Comme la vasque captée n'est pas en relation hydraulique avec la vasque suivie, les prélèvements n'ont pas d'influence sur le suivi.

La méthode capacitive est utilisée pour les mesures de débit. Elle est généralement effectuée au niveau de la cascade à l'exutoire de la vasque suivie (en amont du captage).

4.5.3. Ravine Roche-à-Jacquot (source Nourry)

La source Nourry émerge dans le lit de la ravine Roche-à-Jacquot au nord du plateau de Grand Ilet (Figure 4 - Figure 8). La vasque équipée se situe juste en aval de ce pont, où une retenue d'environ 20 m² est formée par des blocs bétonnés.

Il est important de noter que les caniveaux existants le long de la route menant à Mare-à-Martin se déversent dans cette vasque lors des épisodes pluvieux. La surface du bassin versant drainé par ces caniveaux, limité à la chaussée et à une partie du rempart de la Roche Ecrite est d'environ 0,16 km². Cette surface constitue 5 % de la surface totale du bassin versant en amont de la sonde (3,1 km²). L'apport de ces buses est donc mineur en termes de débit. Seule la composante rapide par ruissellement sur la chaussée pourra éventuellement perturber le signal enregistré dans la vasque lors d'épisodes pluvieux. Il pourra donc le cas échéant être corrigé.

4.5.4. Source Ravine Blanche

La source Ravine blanche émerge en pied de rempart au nord du plateau de Grand Ilet sous le massif de la Roche Ecrite. Elle est captée en aval par deux prises d'eau à des altitudes différentes. Ces deux captages sont gérés par la CISE.

La première prise d'eau (amont - Ravine Blanche 1) se situe directement en aval de l'émergence au pied du rempart. Le débit de prélèvement estimé par la CISE à ce niveau est de 30 m³/h et est apparemment constant dans le temps.

La seconde prise d'eau (aval - Ravine Blanche 2) se situe plus en aval en bordure de la route joignant Mare-à-Martin à Grand Ilet. Le débit prélevé est d'environ 35 m³/h, également constant dans le temps.

Le dispositif de suivi a été installé à 80 mètres en amont de la prise Ravine Blanche 2 (Figure 4 - Figure 8). Afin de limiter les impacts sur la qualité de l'eau captée à cette prise, les jaugeages sont effectués juste en aval du captage, par méthode capacitive. Le débit de prélèvement à Ravine blanche 2 est ensuite ajouté au débit mesuré.

5. Suivi piézométrique

5.1. PRESENTATION

Le plateau de Grand Ilet est équipé d'un réseau de 8 piézomètres, répartis essentiellement sur sa partie est. Ils ont été réalisés dans le cadre de la mission d'expertise géologique pour « la finalisation des études préliminaires sur le plateau de Grand Ilet et de travaux de correction torrentielle de la Ravine de la Roche-à-Jacquot » entre 2004 et 2006. Sur les 8 piézomètres, trois ont été réalisés pour atteindre une profondeur de 100 mètres (Figure 30) et 5 ont une profondeur de 30 mètres. Les piézomètres de 100 mètres (PZA3, PZE2 et PZB3) sont crépinés sur les 50 derniers mètres (Figure 30 1 à 3). Les diamètres intérieur et extérieur du tubage sont de 104 et 114 mm.

Plusieurs campagnes de mesures en saison sèche et en saison des pluies au cours de l'année 2009 ont montré que les piézomètres de 30 mètres étaient secs tout au long de l'année. Par conséquent, ils n'ont pas été sélectionnés pour faire l'objet d'un suivi dans le cadre de ce projet. Par ailleurs, le suivi en continu des piézomètres de 100 mètres a été envisagé en raison de l'existence d'un niveau piézométrique dans ces ouvrages tout au long de l'année.

Les données de suivi de la piézométrie, de la conductivité et de la température sont présentées ci-après de manière brute. L'interprétation des données sera réalisée ultérieurement. Ainsi, quelques artéfacts relatifs à des problèmes techniques ne sont pas discutés dans le présent rapport.

Nom	Lieu-dit	Indice BSS	Altitude (m NGR)	Equipement	Prof. initiale	Prof. réelle ⁸
PZA3	Abattoir	12268X0126/PZA3	1 083.8	Sondes CTD	100	93
PZA		12268X0121/PZA		-	30	30
PZB3	Etable	12268X0127/PZB3	1 109.6	Sondes CTD	100	86
PZB		12268X0122/PZB		-	30	30
PZE2	Cimetière	12268X0128/PZE2	1 074.9	Sondes CTD	100	67
PZE1		12268X0125/PZE1		-	30	30
PZD	Réservoir	12268X0124/PZD	1 183.8	-	30	30
PZC	Amont Clain	12268X0123/PZC	1 042.7	-	30	30

Tableau 2 : Caractéristiques des piézomètres de Grand-Ilet

⁸ Profondeur au-delà de laquelle il n'est plus possible de descendre un appareil de mesure (piézomètre cisailé).

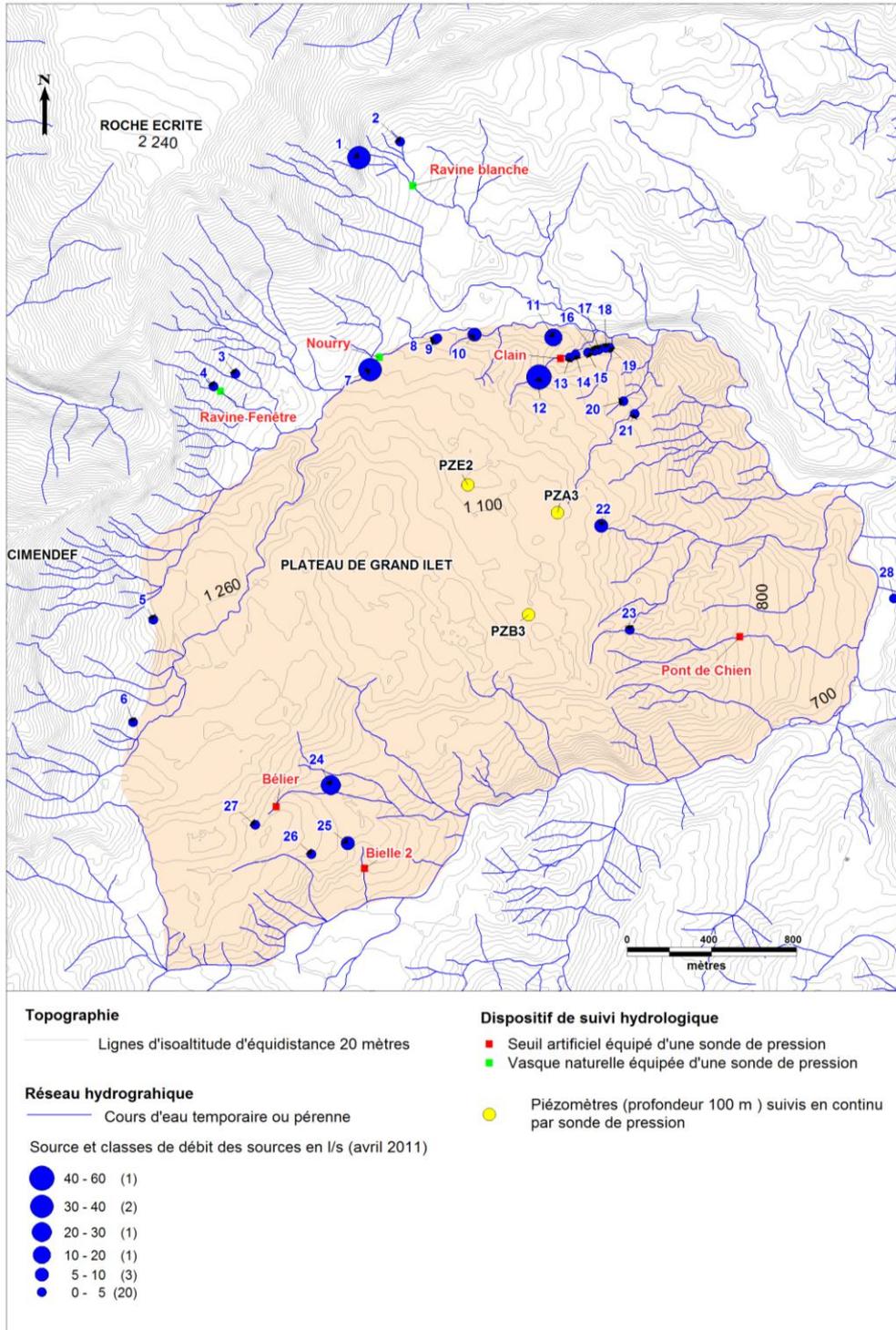


Figure 30 : Carte de localisation des piézomètres de 100 m du plateau de Grand Ilet suivis dans le cadre du projet MvTerre2

Deux phases de suivi en continu doivent être distinguées :

- 1^{ère} phase de suivi en continu

Début 2010, plusieurs sondes permettant le suivi des niveaux piézométriques en continu ont été installées. Cette première phase avait pour but d'affiner l'estimation des amplitudes de variations des niveaux piézométriques au cours d'un cycle hydrologique, tout en démarrant l'acquisition à un pas de temps de 30 minutes sur deux des trois piézomètres.

- 2nd phase de suivi en continu

Au début du mois de décembre 2010, de nouvelles sondes de pression et conductivité de type Diver CTD ont été installées dans ces trois piézomètres. Par piézomètre, deux sondes sont positionnées à deux profondeurs différentes, en vis-à-vis des crépines. Ce dispositif permet de suivre la conductivité des eaux souterraines à des profondeurs différentes. Certaines sondes ont par ailleurs été interchangeables pour les besoins de l'étude (Figure 31).

Piézomètre	Période																			
	2009	2010											2011							
	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7
PZA 3	CTD Diver 0-10 m, 0-30 mS												CTD Diver 0-50 m, 0-120 mS			CTD Diver 0-50 m, 0-30 mS				
													CTD Diver 0-100 m, 0-120 mS			CTD Diver 0-50 m, 0-30 mS				
PZB 3													CTD Diver 0-50 m, 0-120 mS			CTD Diver 0-50 m, 0-30 mS				
													CTD Diver 0-100 m, 0-120 mS			CTD Diver 0-100 m, 0-30 mS				
PZE 2	OTT Orphimède 0-13 m												CTD Diver 0-50 m, 0-120 mS			CTD Diver 0-10 m, 0-30 mS				
													CTD Diver 0-100 m, 0-120 mS			CTD Diver 0-100 m, 0-30 mS				

Figure 31 : Période d'installation des sondes et paramètres suivis dans les piézomètres de 100 mètres (pas de temps d'acquisition des sondes de 30 minutes)

Le détail des installations est présenté dans la suite de cette partie. Les coupes techniques des trois piézomètres de 100 mètres sont disponibles en annexe. Les positions des sondes installées au cours de la seconde phase de suivi y sont également figurées (Annexes 1 à 3).

Chaque piézomètre fait l'objet d'un relevé mensuel pour le contrôle du bon fonctionnement des sondes et le recueil des données enregistrées. Une mesure piézométrique manuelle est systématiquement effectuée.

Tous les ouvrages ont été nivelés à l'aide d'un GPS différentiel de haute précision.

5.2. SUIVI DU PIEZOMETRE PZA3 - ABATTOIR

De décembre 2009 à décembre 2010, un premier cycle hydrologique complet a pu être suivi dans ce piézomètre. Au cours de la saison des pluies 2010, le niveau piézométrique a connu une hausse totale de 9 mètres (Figure 32). Cette hausse de la piézométrie s'est faite par l'intermédiaire d'au moins deux augmentations successives le 14 janvier et le 17 mars. Sur la période du 7 février au 17 mars, les données n'ont pas été enregistrées dans ce piézomètre et ont du faire l'objet d'une interpolation linéaire pour compléter la chronique.

Une décroissance lente de la piézométrie a ensuite été observée du 28 mars au 26 janvier, passant de 1019,42 à 1010,24 m NGR. Au cours de la saison des pluies 2011, une hausse de la piézométrie de 5,5 mètres a été enregistrée sur la période du 30 janvier au 25 février. Une baisse régulière du niveau piézométrique a été observée après le 25 février.

Aucune variation périodique journalière n'a été mise en évidence suite à l'analyse visuelle des chroniques.

D'une manière générale, les périodes de basses eaux semblent être caractérisées par des conductivités plus fortes (proches de 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et plus constantes qu'en période de hautes eaux (Figure 32).

En hautes eaux, des variations de la conductivité et de la température sont observées. Un phénomène particulier commun aux deux saisons des pluies et enregistré par les deux sondes (positionnées à des profondeurs différentes) est remarqué lors du début de la phase de diminution de la piézométrie : une hausse de la température de l'eau du piézomètre synchrone d'une diminution de la conductivité est enregistrée, suivies d'une stabilisation de la conductivité à une valeur proche de 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (minima de conductivité enregistré dans ce piézomètre) et de la température (Figure 32).

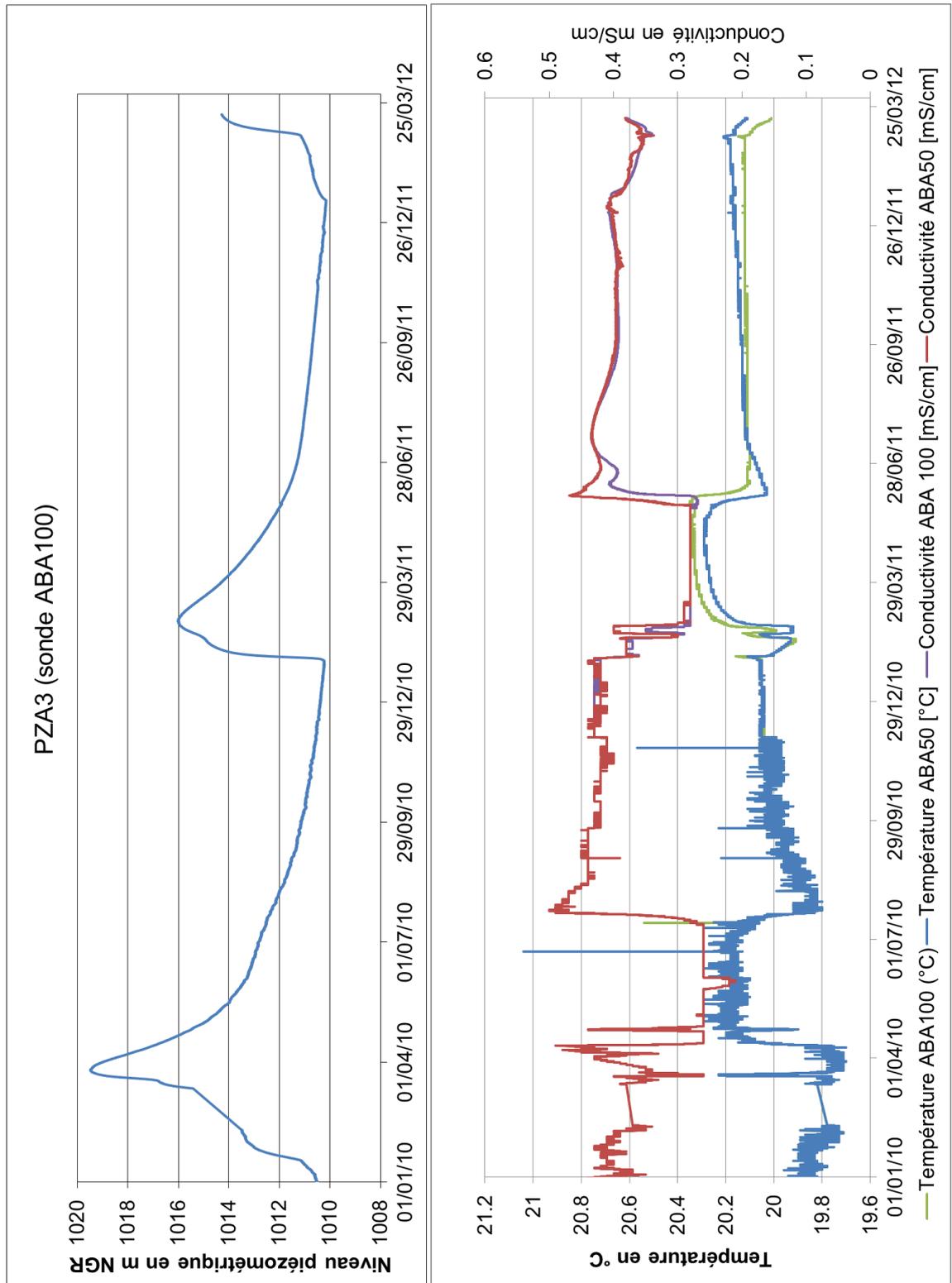


Figure 32 : Piézométrie, conductivité et température dans le piézomètre de l'abattoir PZA3

5.3. SUIVI DU PIEZOMETRE PZB3 – ETABLE

Une baisse irrégulière de la piézométrie est observée entre décembre 2010 et janvier 2011. Une accélération de la vitesse de décroissance est en effet enregistrée entre le 17 décembre et le 29 décembre 2010 avec une baisse de 6 mètres en 8 jours. Une vitesse de décroissance sensiblement identique à celle d'avant l'accélération est ensuite observée jusqu'au 28 janvier 2011 (Figure 33).

Aucune variation périodique journalière n'a été mise en évidence suite à l'analyse visuelle des chroniques.

Suite aux épisodes pluvieux intenses de janvier 2011, la piézométrie a connu une hausse de 17,77 mètres entre le 28 janvier et le 2 février. De manière synchrone à cette hausse, une augmentation progressive de la conductivité de l'eau de la nappe est enregistrée, passant de 380 à 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$ entre le 28 janvier et le 9 février (enregistrée par les deux sondes positionnées à deux profondeurs différentes). Ce phénomène est accompagné d'une baisse brutale de la température de 0,4 °C.

Après le 9 février, la conductivité a diminué régulièrement pour se stabiliser à une valeur de 380 $\mu\text{S}/\text{cm}$ le 26 février.

En raison de la similarité de l'évolution de la température et de la conductivité enregistrée par les deux sondes CTD, la sonde la moins profonde a été retirée du piézomètre en décembre 2011.

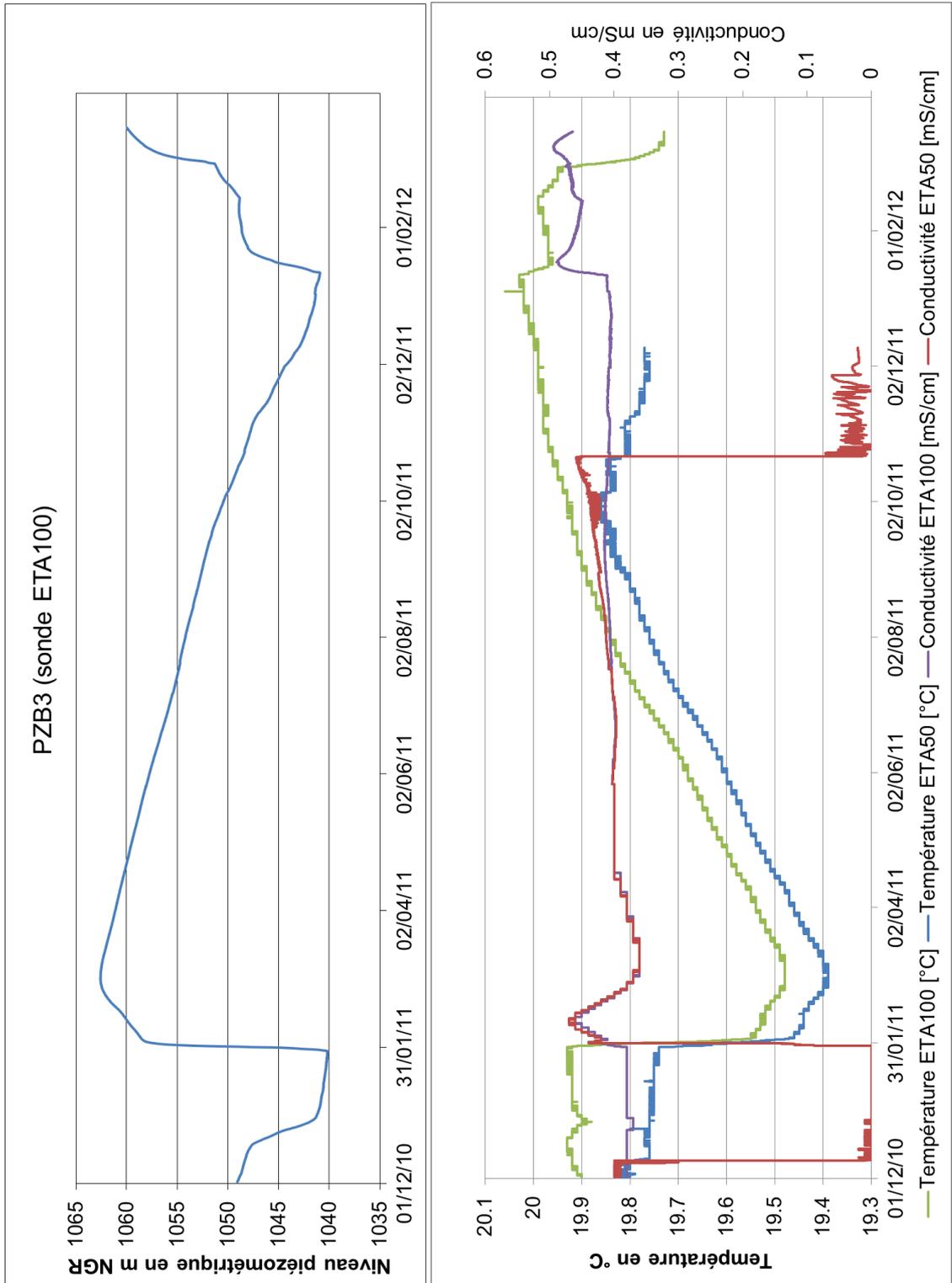


Figure 33 : Piézométrie, conductivité et température dans le piézomètre de l'étable PZB3.

5.4. SUIVI DU PIZOMETRE PZE2 – CIMETIERE

Sur la période allant de décembre 2009 à décembre 2010, un premier cycle hydrologique complet a pu être suivi dans ce piézomètre, comme pour le piézomètre PZA3. Au cours de la saison des pluies 2010, le niveau piézométrique a connu une hausse totale de 5 mètres (Figure 34). Cette hausse de la piézométrie s'est faite par l'intermédiaire d'au moins deux augmentations successives le 14 janvier et le 17 mars.

Une décroissance lente de la piézométrie a ensuite été observée du 28 mars au 26 janvier, passant de 1042,3 à 1036,5 m NGF. Au cours de la saison des pluies 2011, une hausse de la piézométrie de 4,2 mètres a été enregistrée sur la période du 30 janvier au 25 février. Une baisse régulière du niveau piézométrique est observée après le 25 février.

Aucune variation périodique journalière n'a été mise en évidence suite à l'analyse visuelle des chroniques.

La sonde Diver CTD installée à 39,92 m de profondeur a connu un dysfonctionnement de la mesure de la conductivité depuis le 01/12/10. Les données de conductivité sur cette période ne seront pas utilisées. Cette sonde a donc été retirée du piézomètre en octobre 2011.

Pour la sonde positionnée à une profondeur de 66 m, cette stabilité à une valeur de 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ est observée sur toute la période d'enregistrement, à l'exception d'un pic bref de conductivité à 270 $\mu\text{S}/\text{cm}$ associé à une diminution de la température de 0,6 °C le 30/01/11.

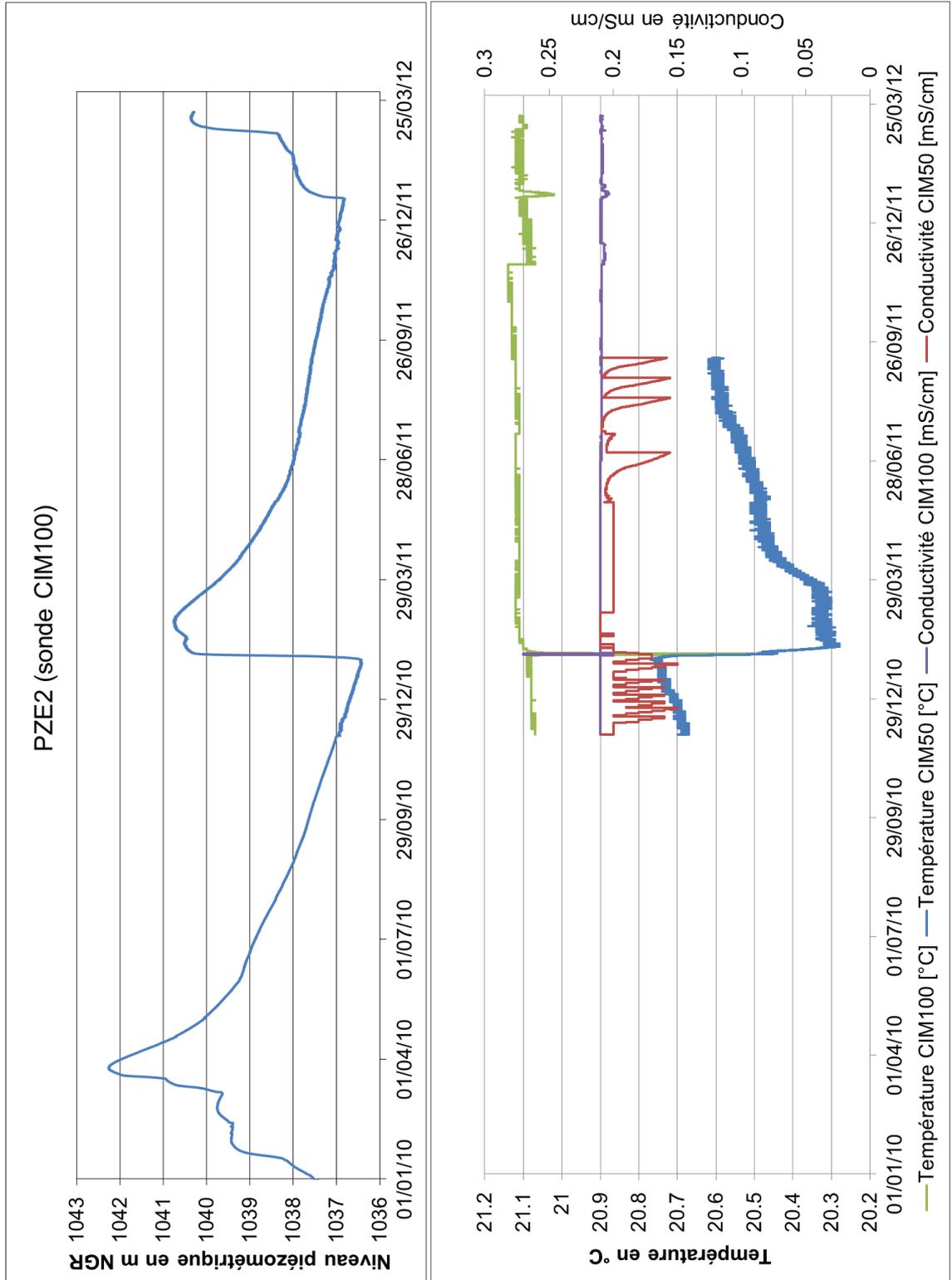


Figure 34 :Piézométrie, conductivité et température dans le piézomètre du cimetière PZE2.

5.5. SYNTHÈSE

Suite à cette première phase, il est montré que le dispositif mis en place permet un suivi optimal des piézomètres du secteur de Grand Ilet. Les données récoltées s'avèrent particulièrement riches, et seront cruciales pour la compréhension du fonctionnement hydrogéologique du glissement (Figure 35). Les interprétations des phénomènes hydrogéologiques observés ne seront pas détaillées dans ce rapport. Elles feront l'objet d'une prochaine analyse.

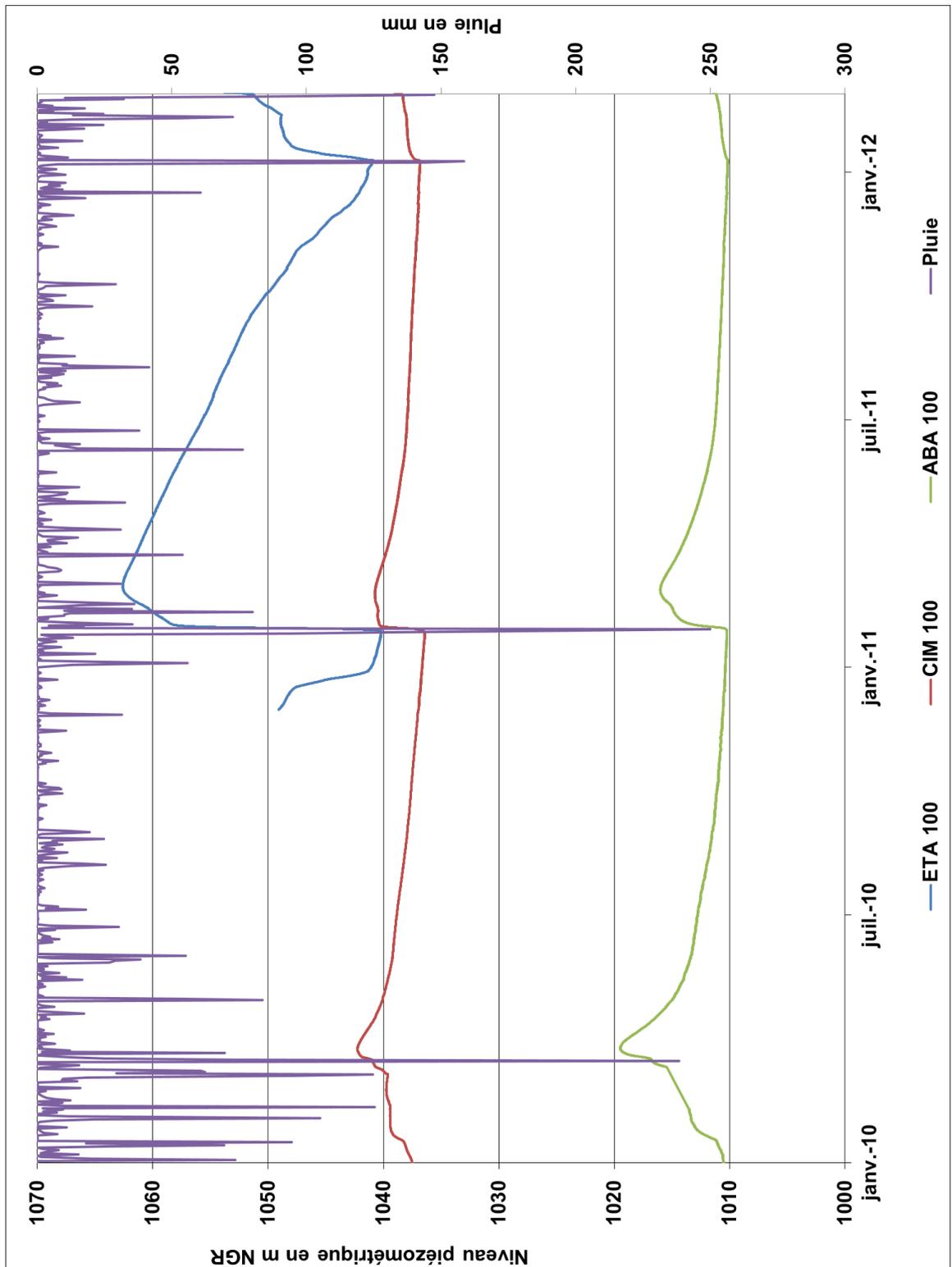


Figure 35 : Piézométrie dans les trois piézomètres de Grand Ilet depuis janvier 2010.

6. Hydrochimie des eaux souterraines

6.1. CAMPAGNES SPATIALES

6.1.1. Présentation

Deux campagnes spatiales de prélèvements seront réalisées dans le cadre du projet MvTerre-2. La première campagne a eu lieu à la fin du dernier trimestre 2011 au cours de l'été 2011. Une seconde campagne sera réalisée en fin de saison des pluies au cours du second trimestre 2012. Une vingtaine de points d'eau seront prélevés lors de ces campagnes. Le nombre définitif de prélèvements évolue en fonction des contrastes des mesures physico-chimique réalisées sur le terrain.

Ces campagnes ont pour objectif d'apporter un éclairage géochimique sur les contextes hydrogéologiques des aquifères en replaçant les émergences du plateau de Grand-Ilet dans une hydrochimie à l'échelle du cirque de Salazie.

Les éléments majeurs, les traces, les isotopes de l'oxygène et de l'hydrogène sont analysés dans le cadre de ces campagnes (Tableau ci-dessous).

	Type d'analyse	Eléments analysés
Majeurs (Cations et anions)	ICPAES	Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , (CO ₃ ⁼ , HCO ₃ ⁻), Cl ⁻ , SO ₄ ⁼ , NO ₃ ⁻ Alcalinite, Silice
Traces (analyse infratraces)	ICPMS	Mn, Fe, Sr, Al, B
Isotopes		¹⁸ O/ ¹⁶ O, ² H/ ¹ H, ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr

Tableau 3 : Type d'analyses en fonction des éléments analysés

6.1.2. Bilan de la première campagne (étiage 2011)

N.	Nom	Index BSS	Lieu	Type point d'eau	Date de préél.	Anions, cations et Infrarouges	Isotopes 2H, 18O et 86 Sr	Remarque
1	Grand Fond	12275X0112	Hell-bourg	Rempart	01/12/11	x		Prélèvement au pied du rempart en amont des captages
2	Source Manouil	12275X0014	Hell-bourg	Thermo-minérale	01/12/11	x	x	Attention précipitation en fond de facon. Prélèvement de l'émergence amont en rive gauche
3	STG1_HB	12275X0113	Hell-bourg	Fond de cirque	01/12/11	x		Au niveau du griffon (toit des argiles plastiques)
4	STG2_HB	12275X0114	Hell-bourg	Fond de cirque	01/12/11	x	x	Emergence avec Q de 5 l/s environ (la plus importante à l'exutoire du glissement d'Hell-bourg). Griffon non localisé
5	Pied du Pton d'Enchaing	12275X0063	Centre Salazie	Fond de cirque	28/11/11	x		Prélèvement au niveau du griffon (émergence rive gauche)
6	Fenêtre	12268X0029	Grand Ilet	Rempart	28/11/11	x		Prélèvement environ 20 m en aval du griffon (au-dessus de la vasque équipée)
7	Ravine blanche Grand Ilet	12268X0001	Grand Ilet	Rempart	28/11/11	x	x	Attention température élevée car prélèvement à mdt environ 50 m en aval de la zone d'émergence
8	PDC GI	12268X0134	Grand Ilet	Fond de cirque	29/11/11	x	x	Prélèvement dans bras rive droite, remontée sur environ 500 m en amont du seuil (ravine Pont de Chien rive gauche à sec)
9	Titeuil	12268X0135	Grand Ilet	Fond de cirque	29/11/11	x		Remontée sur 300 m en amont de la cascade (faible distance au griffon)
10	Eglise GI	12268X0132	Grand Ilet	Fond de cirque	28/11/11	x		Prélèvement au griffon
11	Clain GI	12268X0131	Grand Ilet	Fond de cirque	22/11/11	x	x	Prélèvement environ 200 m en aval du griffon
12	STG1_GI	12268X0170	Grand Ilet	Fond de cirque	22/11/11	x	x	Prélèvement au griffon
13	Tuf Rouge 1	12268X0136	Grand Ilet	Thermo-minérale	22/11/11	x		Prélèvement au griffon
14	Nourry 1	12268X0129	Grand Ilet	Fond de cirque	24/11/11	x		Prélèvement au griffon
15	PTE Nourry	12268X0130	Grand Ilet	Fond de cirque	22/11/11	x		Prélèvement au griffon
16	Nourry 3	12268X0171	Grand Ilet	Fond de cirque	24/11/11	x		Prélèvement au griffon
17	Bélier	12268X0133	Grand Ilet	Fond de cirque	23/11/11	x		Prélèvement au griffon
18	Janny	12268X0004	Grand Ilet	Fond de cirque	23/11/11	x		Prélèvement au griffon
19	Bielle 1	12268X0137	Grand Ilet	Fond de cirque	23/11/11	x		Prélèvement au griffon
20	Bielle 2	12268X0169	Grand Ilet	Fond de cirque	23/11/11	x		Prélèvement au griffon
21	Pton Gabou	12275X0115	Hell-Bourg	Fond de cirque	29/11/11	x		Prélèvement au griffon
22	Pézomètre cimetière	12268X0128	Grand Ilet	Pézomètre	10/12/11	x	x	Pompage
23	Pézomètre étable	12268X0127	Grand Ilet	Pézomètre	10/12/11	x	x	Tube préleveur
24	Pézomètre abattoir	2268X0126	Grand Ilet	Pézomètre	10/12/11	x	x	Tube préleveur

Tableau 4 – Points prélevés lors de la 1ère campagne spatiale (étiage 2011)

6.2. CAMPAGNES TEMPORELLES

Une campagne temporelle de suivi hydrochimique des eaux souterraines est réalisée en parallèle sur le secteur de Grand Ilet.

Des prélèvements mensuels pour analyse des éléments majeurs sont effectués sur 4 sources.

Les paramètres physico-chimiques (conductivité, température et pH) de l'ensemble des sources font l'objet de campagnes de mesures mensuelles. De plus, ces paramètres sont mesurés systématiquement en complément de ces campagnes de mesure lors de la présence des agents sur ces sites.

6.2.1. Prélèvements mensuels pour analyse des éléments majeurs

Les sources STG1, Clain, Fenêtre et Pont-de-Chien sont échantillonnées dans le cadre de cette campagne temporelle (Figure 36).

Elles ont été sélectionnées pour les contextes d'émergences particuliers qu'elles représentent⁹ :

- La source Clain représente les émergences au sein de l'unité intermédiaire ayant des débits d'étiage relativement importants
- La source Fenêtre représente les émergences de pied de rempart en amont des aquifères des brèches de fond de cirque
- La source Pont-de-Chien est caractéristique des émergences des formations superficielles du plateau de Grand Ilet, avec une inertie faible et un débit d'étiage très faible.
- La source STG1 caractérise les sources de tête de glissement au niveau de la cascade Micheline, au contact unité intermédiaire / « substratum ».

De plus, les niveaux d'eau des sources Clain, Pont-de-Chien et Fenêtre étant suivis en continu, l'évolution temporelle de la chimie des eaux pourra être comparée aux variations temporelles des hauteurs d'eau.

⁹ La typologie des sources est issue du schéma conceptuel hydrogéologique (Figure 3 p. 17). Cette typologie pourra évoluer au cours du projet MvTerre-2 en fonction des résultats des analyses hydrochimiques et des diverses investigations de terrain.

Dans le cas d'événement pluvieux exceptionnels, il est prévu d'affiner le pas de temps des prélèvements mensuels afin d'enregistrer précisément l'évolution temporelle de la chimie des eaux en fonction des plus fortes accélérations de déplacement.

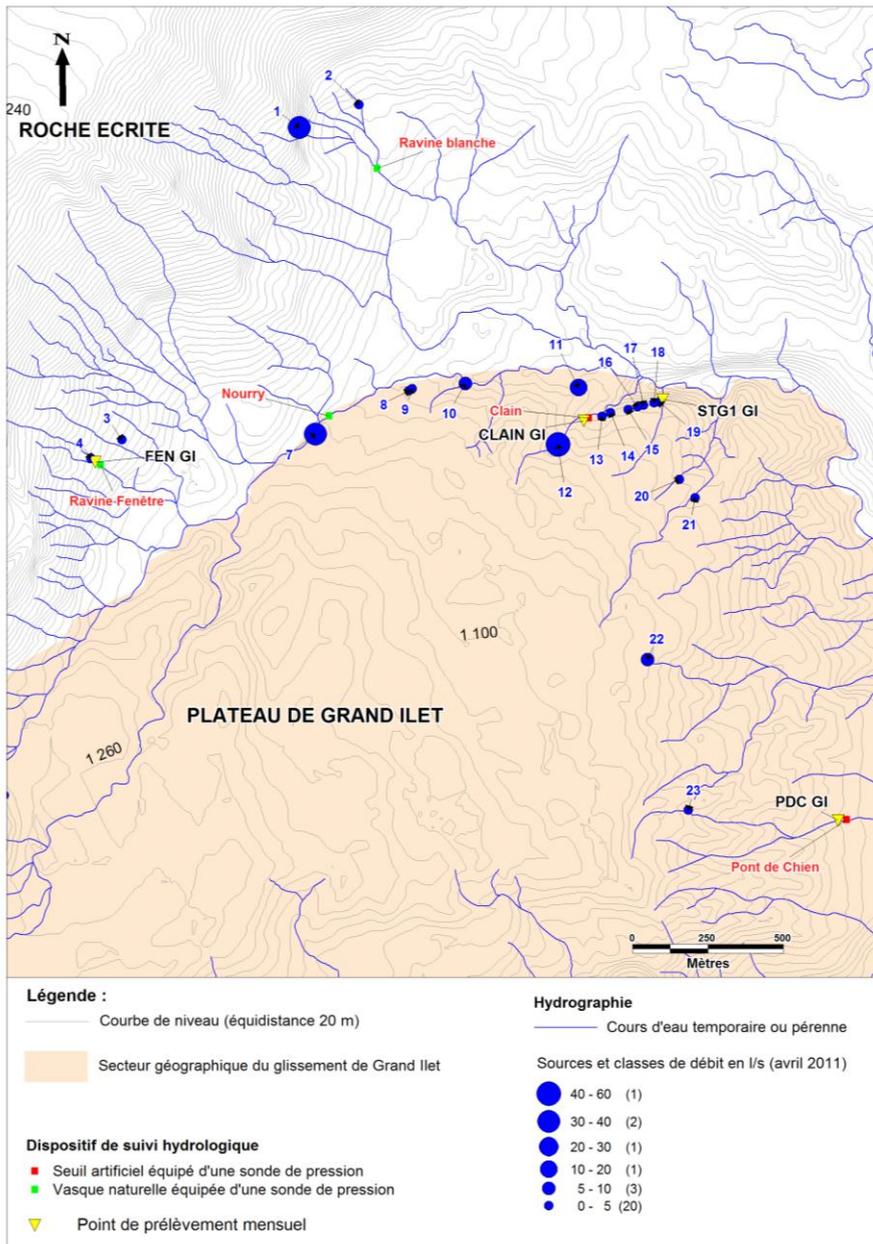


Figure 36 : Localisation des points de prélèvement pour les campagnes mensuelles

6.2.2. Mesures mensuelles des paramètres physico-chimiques

Les eaux des émergences du secteur de Grand Ilet font l'objet d'un suivi mensuel de leurs paramètres physico-chimiques in-situ. Une campagne de mesure est répartie sur deux jours, et est le plus souvent associée à la campagne de tarage des seuils.

L'objectif principal de ces campagnes est d'obtenir des informations sur l'évolution temporelle de la minéralisation des eaux de l'ensemble des émergences (conductivité). Pour les sources prélevées mensuellement, cette évolution temporelle de la conductivité pourra être mise en relation avec les variations des teneurs en éléments majeurs.

Comme pour les campagnes de prélèvements mensuels présentées précédemment, l'appareil utilisé est un Mettler Toledo SevenGo Duo proTM. Les paramètres mesurés sont le pH, la conductivité et la température (sonde pH et conductivité automatiquement compensées en température, température relevée mesurée par la sonde pH).

Les sondes pH et conductivité sont étalonnées sur le terrain avant les premières mesures.

A l'exception des sources Clain, Pont-de-Chien, Titeuil et Ravine Blanche (Figure 4) pour lesquelles les mesures sont effectuées à plusieurs centaines de mètres en aval des émergences, les paramètres physico-chimiques des autres sources sont mesurés directement à l'émergence.

Des mesures supplémentaires, permettant de réduire le pas de temps de suivi, sont réalisées en particulier en saison des pluies pour les émergences dont le débit est suivi en continu. Pour exemple, les chroniques de conductivité et température de six émergences sélectionnées sur le secteur de Grand Ilet sont présentées ci-dessous (Figure 37).

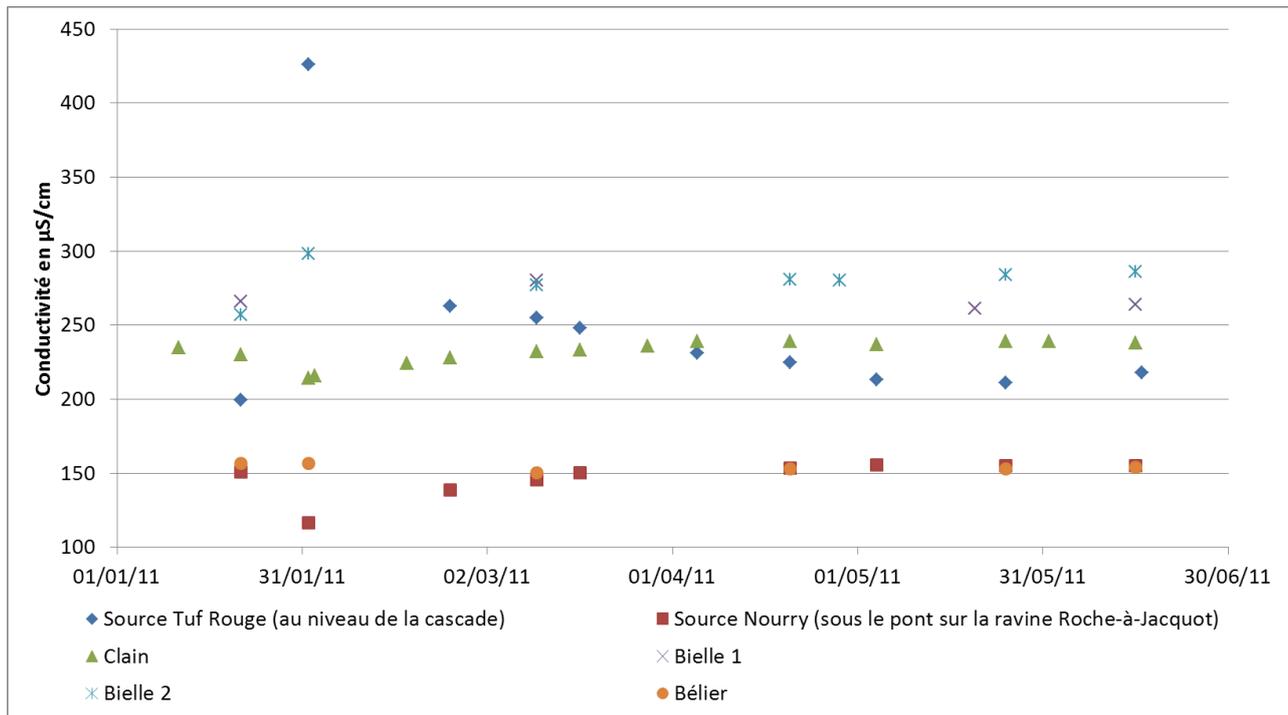


Figure 37 : Evolution temporelle de la conductivité et de la température de 6 émergences du secteur de Grand Ilet

6.3. SUIVI EN CONTINU DE LA MINERALISATION

Afin de caractériser finement l'évolution temporelle de la minéralisation des eaux, des sondes CTD-Diver ont été installées au cours du dernier trimestre 2011 sur les points d'eau suivants :

- Source Clain
- Source Pont de Chien
- Source Titeuil

Toutes ces sources sont situées en aval hydraulique du glissement de terrain de Grand-Ilet.

Ces données en continu permettront de mettre en relation les variations de la chimie des eaux d'exhaure du glissement (information mensuelle) avec la minéralisation totale et la température (suivi en continu).

7. Conclusions

Un dispositif complet et opérationnel de suivi des débits des émergences sélectionnées sur le plateau de Grand Ilet a été mis en place entre décembre 2010 et fin 2011. Au total, les débits de 7 sources sont actuellement suivis à un pas de temps de 10 minutes. Les courbes de tarage théoriques établies sont validées pour les débits en basses et moyennes eaux sur la majorité des stations, à l'exception de celle de Clain. Des mesures de débit lors d'épisodes de crue restent à effectuer.

Trois piézomètres de 100 mètres de profondeur ont été équipés de sondes mesurant la conductivité, la température et le niveau d'eau. Par piézomètre, deux sondes sont installées à des profondeurs différentes en vis-à-vis des parties crépinées des tubages. L'artefact de compensation de la pression atmosphérique des sondes, caractérisée lors du suivi des sources, est également mis en évidence sur les six premiers mois du suivi.

Pour le suivi de la qualité des eaux souterraines du plateau, une première campagne spatiale de prélèvements a été réalisée sur 24 points d'eau dans le cirque de Salazie. La prochaine campagne spatiale est programmée en fin du premier trimestre 2012.

Par ailleurs, 4 émergences (Pont de Chien, STG1, Clain, Fenêtre) font l'objet d'un suivi mensuel depuis avril 2011 pour l'analyse des teneurs en éléments majeurs. De plus, les paramètres physico-chimiques de l'ensemble des émergences du secteur de Grand Ilet sont mesurés au pas de temps mensuel depuis janvier 2011.

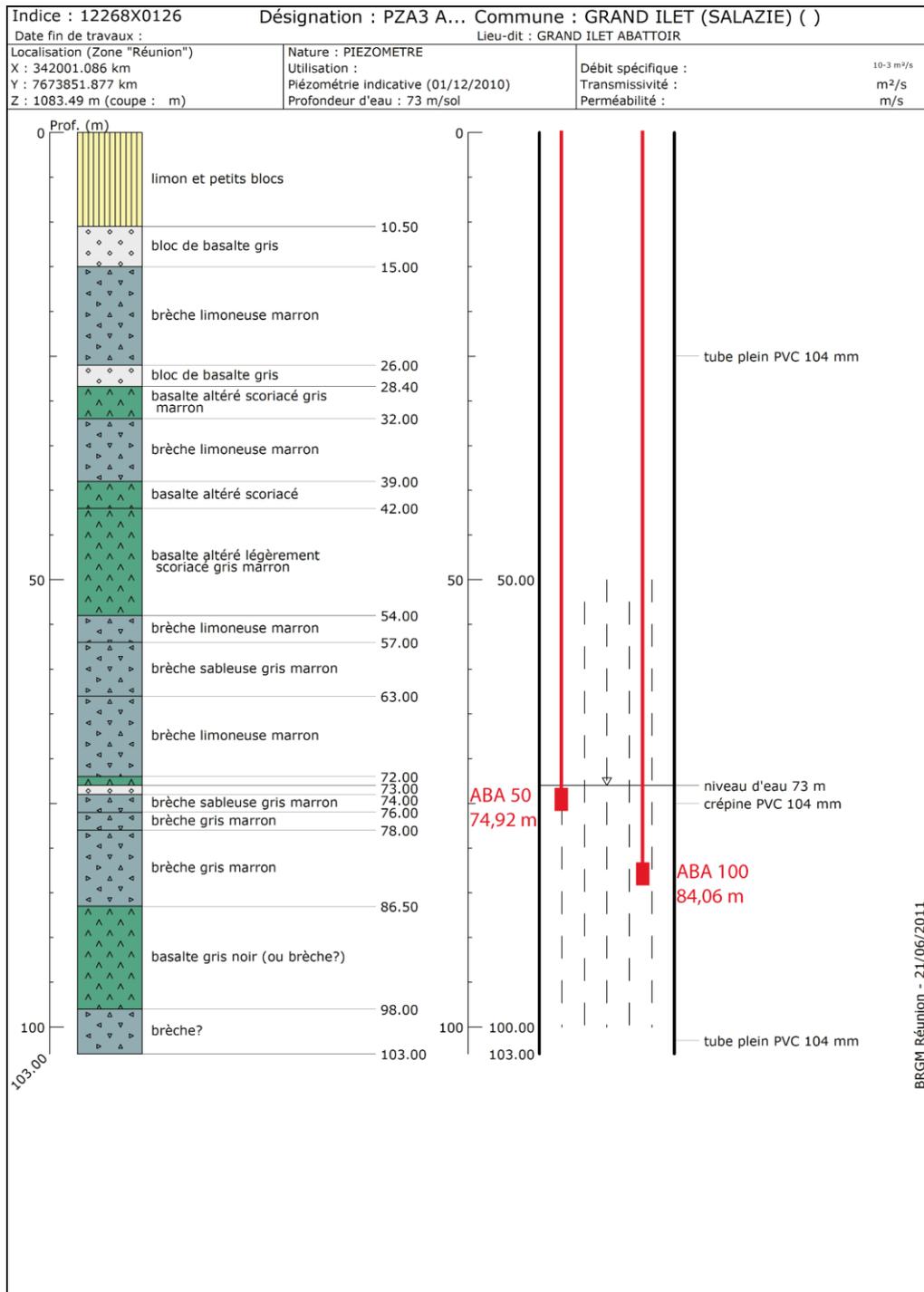
Le collecteur mis en place pour le suivi mensuel isotopique des précipitations est opérationnel. Le contrôle de son bon fonctionnement par le pluviomètre de Grand Ilet est effectif.

8. Bibliographie

- Arnaud N., **2005**. Les processus de démantèlement des volcans, le cas d'un volcan bouclier en milieu océanique : le Piton des Neiges. *Thèse, Université de la Réunion*
- Audinet M., **1995**. Hydrométrie appliquée aux cours d'eau, Editions Eyrolles.
- Bellanger A., Aunay B., **2008**. Suivi des glissements de Hell-Bourg et de Grand Ilet par les stations GPS permanentes. Rapport final. BRGM/RP-56708-FR
- Garnier C., **2008**. Etude du glissement de terrain de grande ampleur de Grand Ilet, Cirque de Salazie - Ile de la Réunion. *BRGM RP-56706-FR*, 74 p.
- Lacoste V. & Daessle M., **2003**. Etude hydrogéologique et géophysique de Grand Ilet. *Hydroexpert RP03H009b*, 44 p.
- Lacquement F. & Nehlig P., **2008**. Notice des cartes géologiques des cirques du Piton des Neiges (Ile de la Réunion, France). *BRGM RP-56730-FR*, 96 p.
- Moulin M. & Lebon D., **2002**. Synthèse hydrogéologique du cirque de Salazie (Ile de la Réunion). *BRGM RP-51450-FR*, 91 p.
- Pinault JL, Pauwels H, Cann C **2001a**. Inverse modelling of the hydrological and the hydrochemical behavior of hydrosystems: Application to nitrate transport and denitrification. *Water Resour Res* 37:2179–2190. doi: 10.1029/2001WR900017
- Pinault JL, Plagnes V, Aquilina L, Bakalowicz M **2001b**. Inverse modelling of the hydrological and the hydrochemical behavior of hydrosystems: Characterization of karst system functioning. *Water Resour Res* 37:2191–2204. doi: 10.1029/2001WR900017
- Pinault JL, Schomburgk S **2006**. Inverse modelling for characterizing surface water/groundwater exchanges. *Water Resour Res*. doi: 10.1029/2005WR004587
- Pinchinot H., **1984**. Etude géologique des formations superficielles et du proche substratum à Grand Ilet (Cirque de Salazie, La Réunion). Application à la cartographie du risque de mouvements de versants. *Thèse, Université scientifique et médicale de Grenoble*
- Réméniéras G., **1986**. L'hydrologie de l'ingénieur. *Collection de la Direction des Etudes et Recherches d'électricité de France*, Editions Eyrolles.
- Robert R., **1986**. Climat et hydrologie à la Réunion. Etude typologique et régionale des pluies et de l'écoulement. *Thèse, Université Paul Valéry Montpellier I*.

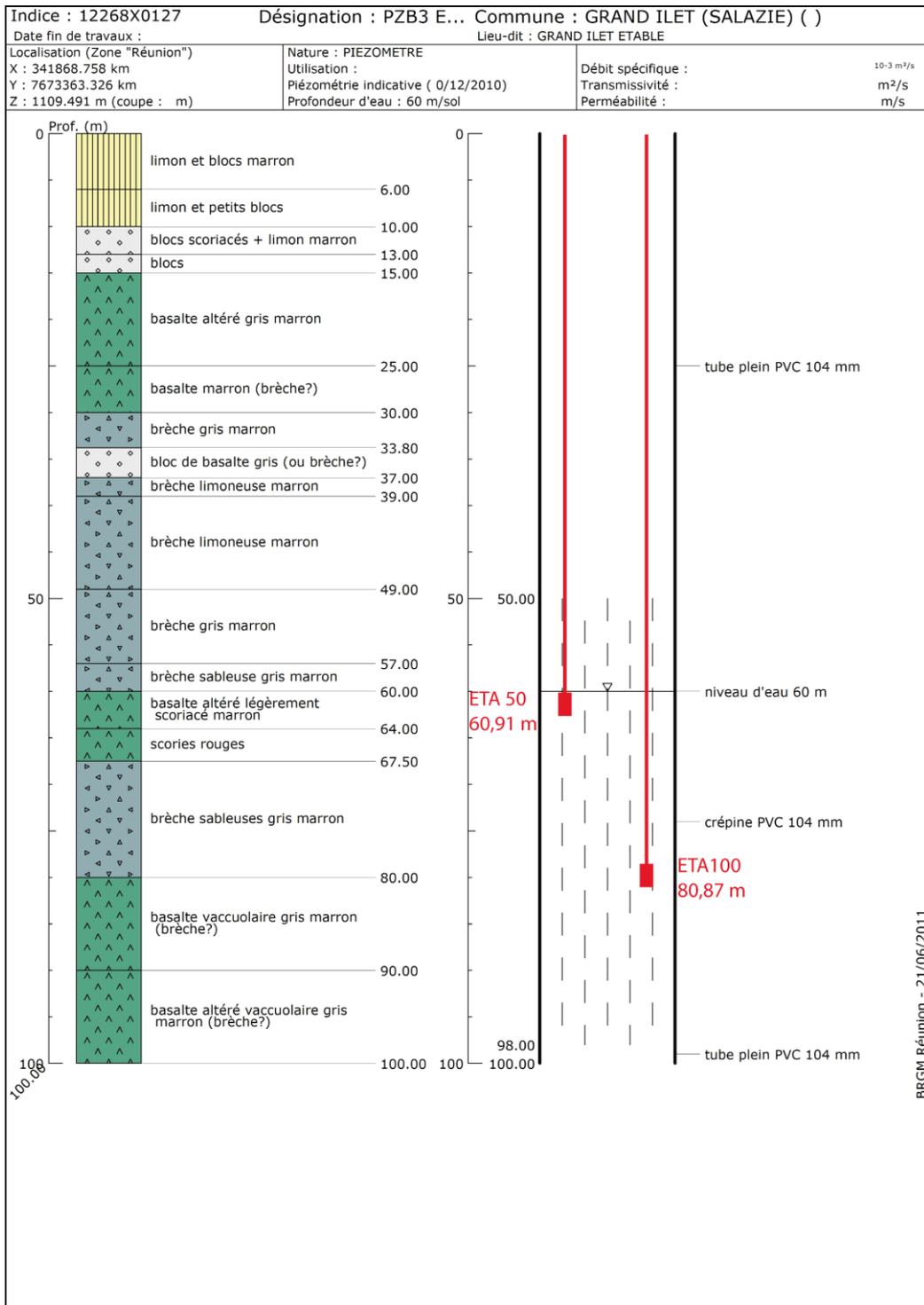
Annexe 1

Coupe technique du piézomètre PZA 3 et position des sondes Diver CTD



Annexe 2

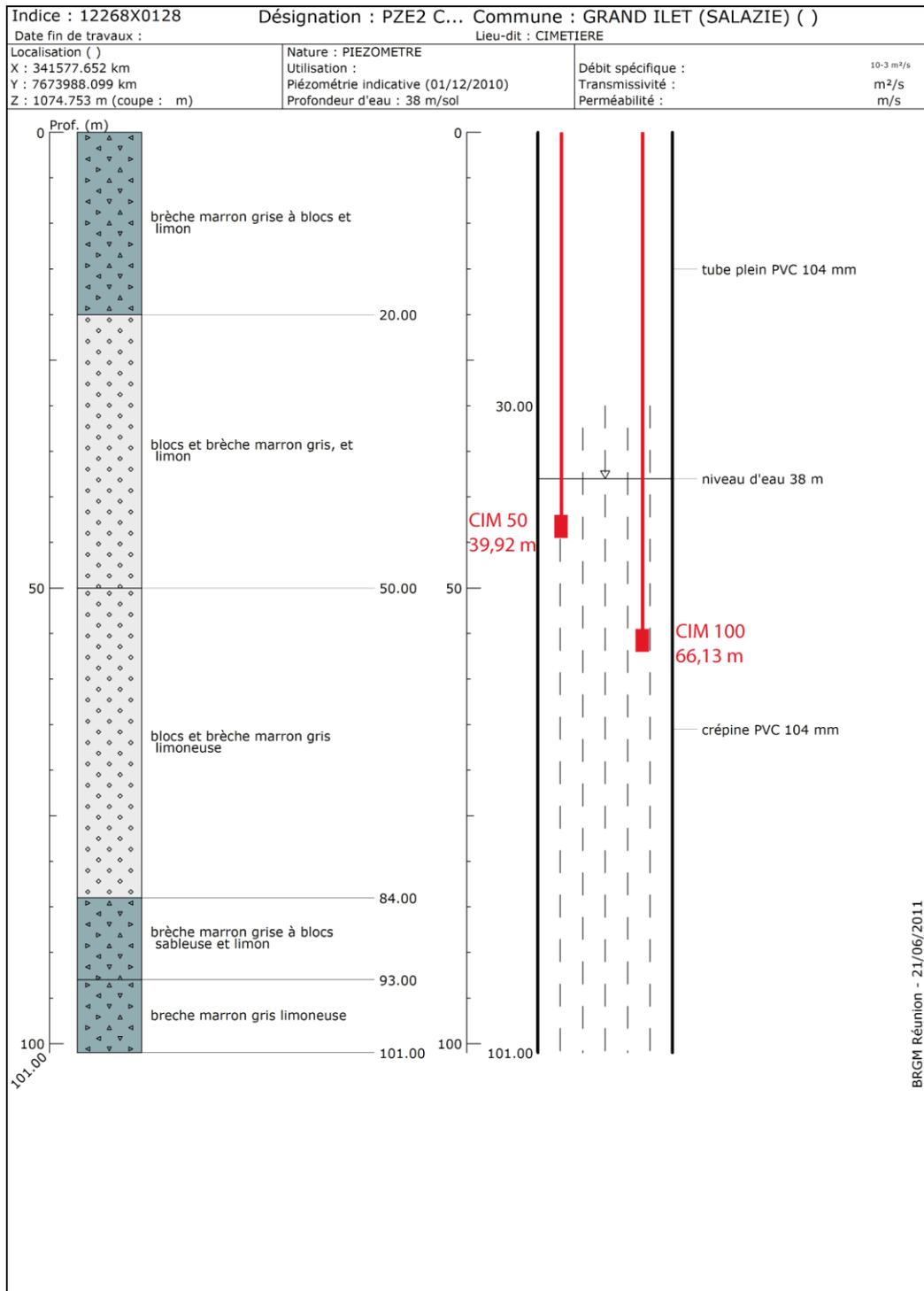
Coupe technique du piézomètre PZB 3 et position des sondes Diver CTD



*

Annexe 3

Coupe technique du piézomètre PZE 2 et position des sondes Diver CTD



BRGM Réunion - 21/06/2011

Annexe 4

Evaluation de la compensation pour les sondes MicroDiver

Pour les 7 sondes MicroDiver installées pour le suivi des débits des sources, un signal périodique journalier de la hauteur d'eau est visible sur les chroniques après compensation de la pression atmosphérique (Figure 38).

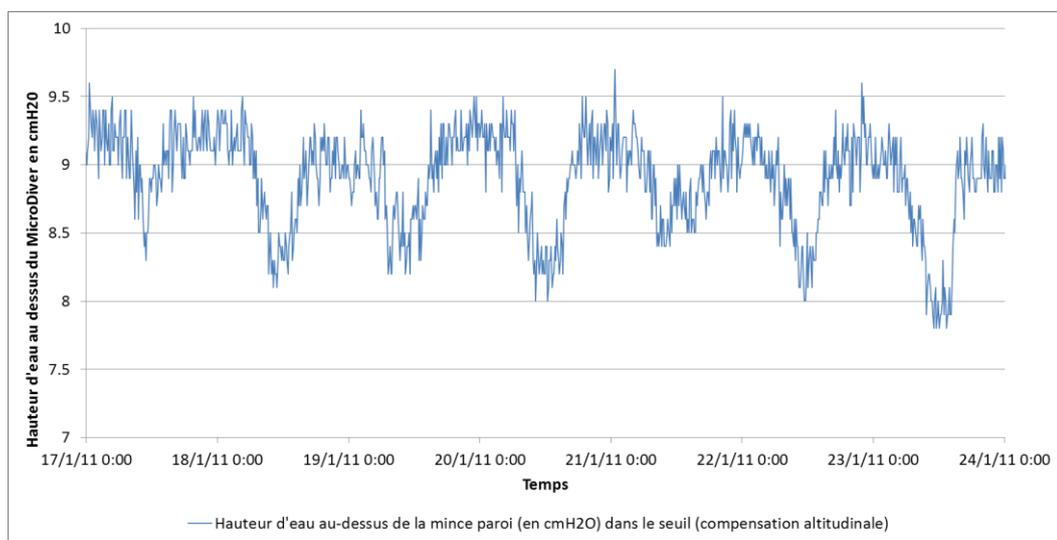


Figure 38 : Hauteur d'eau dans le seuil Clain compensée de la pression atmosphérique

Deux origines principales à ces variations peuvent être envisagées :

- Dans le cas d'un système aquifère captif, les variations de la pression atmosphérique peuvent être à l'origine de variations journalières de la charge dans l'aquifère (augmentation de la pression atmosphérique = augmentation de la pression dans l'aquifère par compaction des terrains le constituant) et donc du débit d'une source à l'exutoire de celui-ci.
- La pression atmosphérique variant quotidiennement en raison des variations journalières de température, une compensation incomplète de la pression atmosphérique sur la mesure de pression de la sonde non-compensée peut également être à l'origine d'un tel signal.

La sonde barométrique installée à Grand Ilet subissant des écarts de température important (supérieurs à 10°C) avec des maximums supérieurs à 30°C en journée, il est possible qu'une partie des variations de pression enregistrées soient dues à une mauvaise compensation de la pression atmosphérique.

Un premier test a été réalisé en installant une deuxième sonde BaroDiver à proximité du seuil Pont-de-Chien (sonde Baro Pont-de-Chien) dans un site ombragé. Dans un cas idéal, la compensation de la chronique de pression enregistrée par la sonde BaroDiver à Pont-de-Chien par celle enregistré à BaroDiver 1 (Figure 8) devrait donner une pression constante (hauteur d'eau nulle constante au-dessus du capteur).

Le résultat de cette compensation montre une pression affectée d'une périodicité journalière (Figure 39) : un défaut de compensation par la sonde BaroDiver 1 (Baro Abattoir) est donc bien mis en évidence.

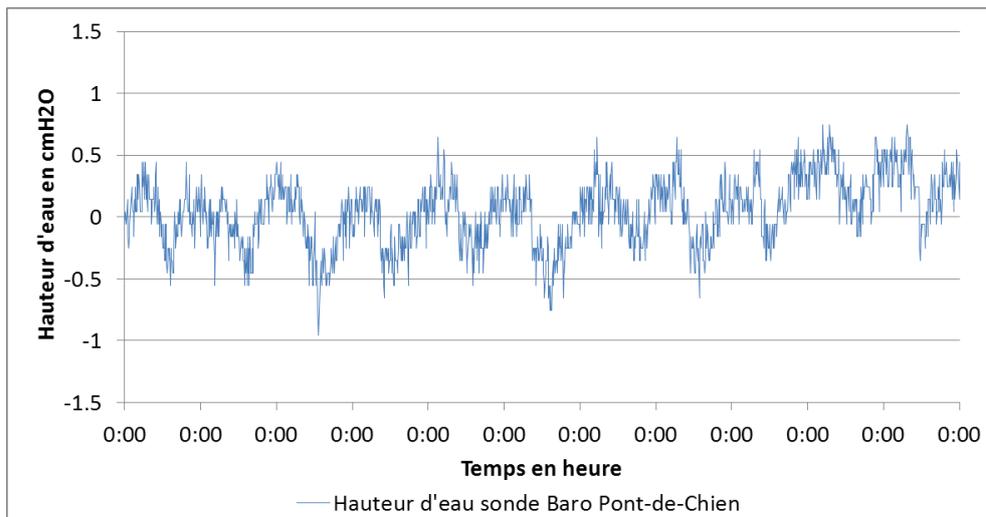


Figure 39 : Hauteur d'eau au dessus de la sonde Baro Pont-de-Chien après compensation par la sonde Baro Abattoir

Pour pallier à ce problème, la sonde BaroDiver 1 a été déplacée sur le site BaroDiver 2 (Figure 8), dans un piézomètre à 20 m de profondeur (hors d'eau) où les variations journalières de température seront plus limitées. Suite à cette modification, l'amplitude des variations de pression journalière après compensation apparaît plus faible, mais persiste sur l'ensemble des seuils du secteur. Le biais induit par la compensation de la pression atmosphérique n'est donc pas complètement corrigé par le repositionnement de la sonde BaroDiver.

Les chroniques devront être filtrées avant leur utilisation.

Annexe 5

Historique du matériel installé dans les piézomètres

Piézomètre PZA3 - Abattoir

Type de sonde	Période		Numéro de série	Caractéristiques de la sonde				Profondeur de la sonde en m
	du	au		Paramètres suivis	Gamme de mesure	Résolution	Précision	
Diver CTD Capteur de pression non-compensé de la Patm	24/12/09	01/12/10	N01-60192 312	Hauteur d'eau	0-10 m	0.2 cm H2O	0.2% ER	74.27
				Conductivité	0-30 mS/cm	10 µS/cm	1 % de la lecture	
				Température	de -20°C à 100°C	0.01 °C	0.2°C	
Diver CTD Capteur de pression non-compensé de la Patm	01/12/10	27/05/11	J8985	Hauteur d'eau	0-100 m	2 cm H2O	0.2% ER	84.06
				Conductivité	0-120 mS/cm	10 µS/cm	1 % de la lecture	
				Température	de -20°C à 100°C	0.01 °C	0.2°C	
Diver CTD Capteur de pression non-compensé de la Patm	27/05/11	-	G7908	Hauteur d'eau	0-50 m	1 cm H2O	0.2% ER	84.06
				Conductivité	0-30 mS/cm	1 µS/cm	1 % de la lecture	
				Température	de -20°C à 100°C	0.01 °C	0.2°C	
Diver CTD Capteur de pression non-compensé de la Patm	01/12/10	27/05/11	J7719	Hauteur d'eau	0-50 m	1 cm H2O	0.2% ER	74.92
				Conductivité	0-120 mS/cm	10 µS/cm	1 % de la lecture	
				Température	de -20°C à 100°C	0.01 °C	0.2°C	
Diver CTD Capteur de pression non-compensé de la Patm	27/05/11	-	J7719	Hauteur d'eau	0-50 m	1 cm H2O	0.2% ER	74.92
				Conductivité	0-30 mS/cm	1 µS/cm	1 % de la lecture	
				Température	de -20°C à 100°C	0.01 °C	0.2°C	

Piézomètre PZB3 – étable

Type de sonde	Période		Numéro de série	Caractéristiques de la sonde				Profondeur de la sonde en m
	du	au		Paramètres suivis	Gamme de mesure	Résolution	Précision	
Diver CTD Capteur de pression non-compensé de la Patm	01/12/10	27/05/11	G7870	Hauteur d'eau	0-50 m	1 cm H2O	0.2% ER	60.91
				Conductivité	0-120 mS/cm	10 µS/cm	1 % de la lecture	
				Température	de -20°C à 100°C	0.01 °C	0.2°C	
Diver CTD Capteur de pression non-compensé de la Patm	27/05/11	-	G7870	Hauteur d'eau	0-50 m	1 cm H2O	0.2% ER	60.91
				Conductivité	0-30 mS/cm	1 µS/cm	1 % de la lecture	
				Température	de -20°C à 100°C	0.01 °C	0.2°C	
Diver CTD Capteur de pression non-compensé de la Patm	01/12/10	27/05/11	J9032	Hauteur d'eau	0-100 m	2 cm H2O	0.2% ER	80.87
				Conductivité	0-120 mS/cm	10 µS/cm	1 % de la lecture	
				Température	de -20°C à 100°C	0.01 °C	0.2°C	
Diver CTD Capteur de pression non-compensé de la Patm	27/05/11	-	J9032	Hauteur d'eau	0-100 m	2 cm H2O	0.2% ER	80.87
				Conductivité	0-30 mS/cm	1 µS/cm	1 % de la lecture	
				Température	de -20°C à 100°C	0.01 °C	0.2°C	

Piézomètre PZE2 – cimetière

Type de sonde	Période		Numéro de série	Caractéristiques de la sonde				Profondeur de la sonde en m
	du	au		Paramètres suivis	Gamme de mesure	Résolution	Précision	
OTT Orphimède (sonde bulle à bulle)	24/12/09	01/12/10	?	Hauteur d'eau	0-13 m	0.01 m	1 cm	40
Diver CTD Capteur de pression non-compensé de la Patm	01/12/10	27/05/11	G7908	Hauteur d'eau	0-50 m	1 cm H2O	0.2% ER	39.92
				Conductivité	0-120 mS/cm	10 µS/cm	1 % de la lecture	
				Température	de -20°C à 100°C	0.01 °C	0.2°C	
Diver CTD Capteur de pression non-compensé de la Patm	27/05/11	-	J8947	Hauteur d'eau	0-10 m	0.2 cm H2O	0.2% ER	39.92
				Conductivité	0-30 mS/cm	1 µS/cm	1 % de la lecture	
				Température	de -20°C à 100°C	0.01 °C	0.2°C	
Diver CTD Capteur de pression non-compensé de la Patm	01/12/10	27/05/11	J9037	Hauteur d'eau	0-100 m	2 cm H2O	0.2% ER	66.13
				Conductivité	0-120 mS/cm	10 µS/cm	1 % de la lecture	
				Température	de -20°C à 100°C	0.01 °C	0.2°C	
Diver CTD Capteur de pression non-compensé de la Patm	27/05/11	-	J9037	Hauteur d'eau	0-100 m	2 cm H2O	0.2% ER	66.13
				Conductivité	0-30 mS/cm	1 µS/cm	1 % de la lecture	
				Température	de -20°C à 100°C	0.01 °C	0.2°C	

Annexe 6

Protocole de prélèvement des échantillons d'eau en vue d'une analyse hydrochimique

Campagne spatiale

Les échantillons sont filtrés sur le terrain à 0.45 μm à l'aide d'une seringue 60 ml. Ils sont ensuite conditionnés dans des flacons polyéthylène simple bouchon.

Les échantillons prélevés pour les anions et les cations sont conditionnés dans des flacons polyéthylène haute densité de 125 ml. Pour les cations, l'échantillon est acidifié (acide sulfurique HNO_3) : la valeur du pH est contrôlé à l'aide de bandelettes colorimétriques. La valeur du pH doit être inférieure à 2 pour une bonne conservation des échantillons.

Les échantillons prélevés pour les isotopes sont conditionnés dans des flacons polyéthylène haute-densité 60 ml (simple bouchon) dont l'étanchéité de la fermeture est assurée par du Parafilm.

Les mesures in-situ effectuées lors des prélèvements sont les suivantes :

- pH
- Conductivité
- Température
- Oxygène dissous
- Potentiel d'oxydo-réduction

Les appareils font l'objet d'étalonnages réguliers au cours des campagnes de prélèvement (au minimum une fois par jour pour la sonde pH). La dérive de la sonde pour la mesure du potentiel d'oxydo-réduction sera également contrôlée régulièrement.

L'ensemble des analyses est effectuée par le laboratoire MMA du BRGM à Orléans. Les échantillons sont conservés en glacière (sur le terrain et au cours du transport) et au réfrigérateur pour éviter toute évolution de leur chimie entre leur prélèvement et leur analyse.

Campagne temporelle

La campagne de prélèvement s'effectue sur un temps total de 4 heures. Les échantillons sont conditionnés dans des flacons en polyéthylène double bouchon de 500 ml durant leur transport de la zone de prélèvement vers le laboratoire. Deux flacons sont prélevés par émergence. Lors du prélèvement, les paramètres physico-chimiques tels que le pH, la température, la conductivité et le potentiel d'oxydo-réduction sont mesurés in-situ. Les sondes sont systématiquement étalonnées le matin avant le premier prélèvement.

Les mesures de pH et conductivité sont automatiquement compensées de la température par l'appareil utilisé (Mettler Toledo SevenGo Duo proTM). La température relevée est celle mesurée par la sonde pH.

Les échantillons sont ensuite conservés en glacière durant leur transport jusqu'au laboratoire de l'Université de la Réunion (Saint-Denis). Aucune filtration ni acidification n'est effectuée sur le terrain.

Ces opérations sont réalisées en laboratoire le même jour que les prélèvements, ainsi que le dosage de l'alcalinité. La filtration se fait à l'aide d'un filtre de type Bushman avec des filtres à 0,45 µm. Les échantillons sont ensuite reconditionnés. Par point de prélèvement, 1 flacon de 500 ml en polyéthylène double bouchon est conservé pour l'analyse des anions. Pour les cations, deux piluliers de 50 ml sont acidifiés (ajout de 3 gouttes d'acide chloridrique HCl à 0,1 mol/l). Les flacons sont ensuite conservés en réfrigérateur avant leur analyse.

Les éléments majeurs seront analysés tous les six mois au laboratoire de l'Université par la méthode de chromatographie ionique (Dionex).



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

BRGM Réunion
5, rue Sainte-Anne
BP906
97478 Saint-Denis
Tél. : 02 62 21 22 14