



ETUDE DES CIRCULATIONS D'EAU DES SYSTEMES HYDRIQUES DU SECTEUR SAINT-DENIS/SAINTE-MARIE

RAPPORT INTERMEDIAIRE N°3

NOVEMBRE 2008



TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION	4
2	MODIFICATION DU REGIME D'INFILTRATION DU TRONÇON AVAL DE LA RIVIERE DES PLUIES.....	5
3	MISE EN ŒUVRE DU SUIVI DE LA SOURCE DE LA CASCADE DU CHAUDRON	7
4	SUIVI DE L'IMPACT DU REJET DE LA NOUVELLE VENUE D'EAU DE LA GALERIE SALAZIE AMONT SUR LA RIVIERE DES PLUIES	9
4.1	IMPACT DU REJET DE LA GALERIE AMONT SUR LE PH DE LA RIVIERE DES PLUIES.....	10
4.2	IMPACT DU REJET DE LA GALERIE AMONT SUR LA TEMPERATURE DE LA RIVIERE DES PLUIES.....	11
4.3	IMPACT DU REJET DE LA GALERIE AMONT SUR LA CONDUCTIVITE DE LA RIVIERE DES PLUIES	12
4.4	IMPACT DU REJET DE LA GALERIE AMONT SUR LA CONCENTRATION EN OXYGENE DISSOUS DANS LA RIVIERE DES PLUIES.....	13
5	POURSUITE DE LA SURVEILLANCE RENFORCEE DES HYDROSYSTEMES ASSOCIES AUX VENUES D'EAU DE LA GALERIE SALAZIE	14
5.1	SUIVIS DES VOLUMES RUISSELES, DES PRECIPITATIONS ET DE L'EVAPOTRANSPIRATION SUR LE BASSIN VERSANT EXPERIMENTAL DE LA RAVINE MERE CANAL	14
5.2	SUIVI DES NIVEAUX PIEZOMETRIQUES DE LA NAPPE DE BASE LITTORALE	17
6	CONCLUSIONS	18

TABLE DES ILLUSTRATIONS

FIGURES

FIGURE 1 : RELATION ENTRE LE DEBIT DE LA RIVIERE DES PLUIES AU PONT DOMENJOD ET LES INFILTRATIONS.....	5
FIGURE 2 : COMPARAISON ENTRE LE DEBIT D'EXHAURE DE LA GALERIE SALAZIE AMONT, LE DEBIT DE LA RIVIERE DES PLUIES ET LES VARIATIONS INTERANNUELLES DES INFILTRATIONS SUR LE TRONÇON AVAL.....	7
FIGURE 3 : VARIATIONS DE LA CONDUCTIVITE, DE LA TEMPERATURE ET DU NIVEAU DE LA SOURCE DE LA CASCADE DU CHAUDRON.....	8
FIGURE 4 : LOCALISATION DES POINTS DE SUIVI DE L'IMPACT DU REJET DE LA GALERIE SALAZIE AMONT SUR LA RIVIERE DES PLUIES	9
FIGURE 5 : EVOLUTION LONGITUDINALE DU PH DE LA RIVIERE DES PLUIES.....	10
FIGURE 6 : EVOLUTION LONGITUDINALE DE LA TEMPERATURE DE LA RIVIERE DES PLUIES	11
FIGURE 7 : EVOLUTION LONGITUDINALE DE LA CONDUCTIVITE DE LA RIVIERE DES PLUIES	12
FIGURE 8 : EVOLUTION LONGITUDINALE DES TENEURS EN OXYGENE DISSOUS (%) DE LA RIVIERE DES PLUIES	13
FIGURE 9 : EVOLUTION LONGITUDINALE DES TENEURS EN OXYGENE DISSOUS (MG/L) DE LA RIVIERE DES PLUIES	13
FIGURE 10 : VARIATION DE LA HAUTEUR D'EAU EN 2008 SUR LA STATION LIMNIMETRIQUE DE LA RAVINE MERE CANAL	14
FIGURE 11 : PRECIPITATIONS MOYENNES JOURNALIERES ENREGISTREES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RAVINE MERE CANAL.....	15
FIGURE 12 : EVAPOTRANSPIRATION MOYENNES JOURNALIERES ENREGISTREES SUR LE BASSIN VERSANT DE LA RAVINE MERE CANAL.....	15
FIGURE 13 : INFILTRATIONS MOYENNES MENSUELLES MESUREES SUR LE BASSIN DE LA RAVINE MERE CANAL EN 2006 ET 2007	16
FIGURE 14 : SUIVI DES NIVEAUX PIEZOMETRIQUES DE LA NAPPE DE BASE LITTORALE	17

1 Introduction

En 2002, le Département a confié à l'Office de l'Eau une étude préliminaire visant à caractériser l'impact potentiel de la Galerie Salazie Amont sur la ressource en eau du secteur de la Rivière des Pluies. Le principal résultat de cette étude est que le drainage des venues d'eau par la galerie n'a pas entraîné de baisse significative de la piézométrie de la nappe de base littorale. Par ailleurs, l'étude a permis de caractériser le régime d'infiltration sur le tronçon aval de la Rivière des Pluies.

En 2005, l'Office de l'Eau a été chargé de réaliser une étude sur les circulations d'eau (rivières, galerie Salazie, etc.) des systèmes hydriques du secteur Saint-Denis/Sainte-Marie. Cette étude a été validée par le Conseil d'Administration du 20 juillet 2005. Elle est co-financée par l'Office de l'Eau (50%) et le Département de La Réunion (50%) sur la période 2006-2008.

Ses objectifs sont de caractériser :

- l'influence des prélèvements d'eau souterraine sur les aquifères ;
- l'évolution quantitative de la nappe de base littorale ;
- l'état du biseau salé, des teneurs en chlorure, avec en particulier l'évolution de la conductivité et du fond chimique de la nappe de base littorale ;
- l'influence de la marée sur les niveaux piézométriques ;
- la pluviométrie et l'infiltration en ravine sur un bassin versant témoin ;
- les échanges nappes - rivières.

L'étude est actuellement dans sa troisième année. Le suivi quantitatif et qualitatif des hydrosystèmes associés aux venues d'eau recoupées dans la Galerie Salazie Amont se poursuit pour répondre aux objectifs de l'étude.

Ce rapport intermédiaire fait le point sur ce qui a été engagé pendant la troisième année. Il présentera dans une première partie les résultats des derniers bilans hydrométriques réalisés sur le tronçon aval de la Rivière des Pluies. La deuxième partie interprètera les données acquises à la source de la cascade du Chaudron puis la troisième partie fera la synthèse de l'impact du rejet des eaux de la Galerie Salazie Amont sur la rivière des Pluies. Enfin, une quatrième partie rappellera les suivis destinés à la surveillance des hydrosystèmes associés aux venues d'eau de la galerie Salazie.

2 Modification du régime d'infiltration du tronçon aval de la rivière des Pluies

A / RAPPELS SUR LE CONTEXTE HYDROLOGIQUE ET LES ETUDES PRECEDENTES :

- Les bilans hydrométriques réalisés sur la Rivière des Pluies ont montré une zone d'infiltration entre le pont Domenjod et l'embouchure. Ces infiltrations sont mesurées en faisant la différence entre le débit sous le pont Domenjod et celui relevé à l'embouchure. De novembre 1990 à septembre 2001, le cours d'eau était marqué par des assecs réguliers à l'étiage sur sa partie aval.
- A partir d'octobre 2001, le rejet dans la Rivière des Pluies des venues d'eau interceptées par la Galerie Salazie Amont a pérennisé l'écoulement et assuré la continuité hydraulique de la rivière jusqu'à l'océan pendant la saison sèche.
- En 2002, l'étude réalisée par l'Office de l'Eau avait décrit la relation suivante :
"L'infiltration totale à l'étiage sur le cours aval de la Rivière des Pluies semble atteindre un palier au alentour de 420 litre par seconde. Cette valeur correspondrait à la capacité maximale d'infiltration du cours aval de la Rivière des Pluies."
- En mars 2007, une nouvelle venue d'eau a été identifiée dans la Galerie Salazie Amont dans un forage de reconnaissance horizontal. La galerie a atteint la zone aquifère en octobre 2007. Depuis janvier 2008, le débit cumulé rejeté dans la Rivière des Pluies est supérieur à 650 litre par seconde.

B / EVOLUTION DU REGIME D'INFILTRATION SUR LE TRONCON AVAL

Les jaugeages réalisés en 2008 ont montré une modification du régime d'infiltration du tronçon aval de la Rivière des Pluies.

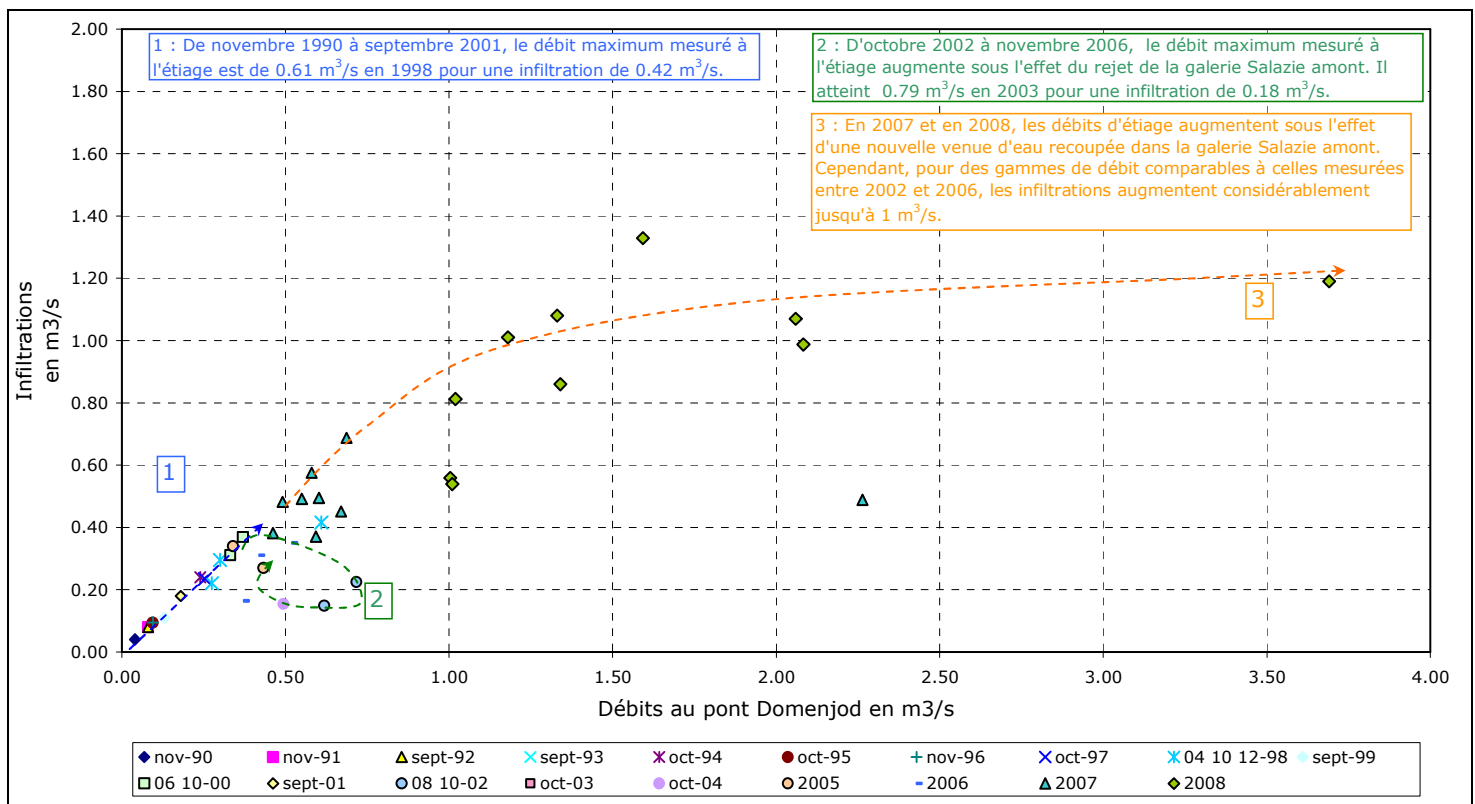


Figure 1 : Relation entre le débit de la rivière des Pluies au pont Domenjod et les infiltrations

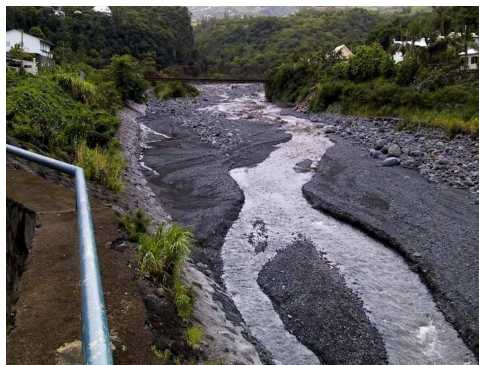
La figure 1 montre qu'entre 1990 et 2001, une relation linéaire existe entre les infiltrations et le débit de la rivière des Pluies. Sur la période concernée, les infiltrations atteignent un maximum de 420 litres par seconde en avril 1998 pour un débit de la rivière de 600 litre par seconde, sachant que les données ne sont disponibles qu'à l'étiage.

La relation entre les infiltrations et le débit de la rivière des Pluies change à partir de 2002. Pour un débit de la rivière de 600 litre par seconde les infiltrations ne sont plus que de 150 litres par seconde soit 250 litres de moins qu'en 1998. Cette tendance à la baisse se confirme jusqu'en 2006. Elle est très certainement liée à un colmatage du lit de la rivière des Pluies.

L'hypothèse la plus vraisemblable tient compte de l'effondrement de mars 2002 au niveau du site du Grand Eboulis. En effet, cet éboulement a entraîné la formation d'un barrage naturel qui a cédé le 08 mars 2002 en provoquant une importante coulée boueuse (cf. photos ci-dessous).



08/03/02 – 13h36



08/03/02 – 13h38



08/03/02 – 13h39

En 2007, un jaugeage réalisé pendant la décrue suivant le cyclone Gamède a permis de mesurer des infiltrations de 500 litres par seconde pour un débit de 2 300 litres par seconde au pont Domenjod. Par la suite, les jaugeages effectués traduisent une augmentation des infiltrations. Cette tendance se confirme en 2008 où les infiltrations atteignent 1 300 litres par seconde en avril et restent globalement au dessus de 600 litres par seconde.

L'augmentation du potentiel d'infiltration du tronçon aval de la rivière peut s'expliquer par un décolmatage du lit de la Rivière des Pluies sur le tronçon aval, sous l'effet des précipitations apportées par le cyclone Gamède.

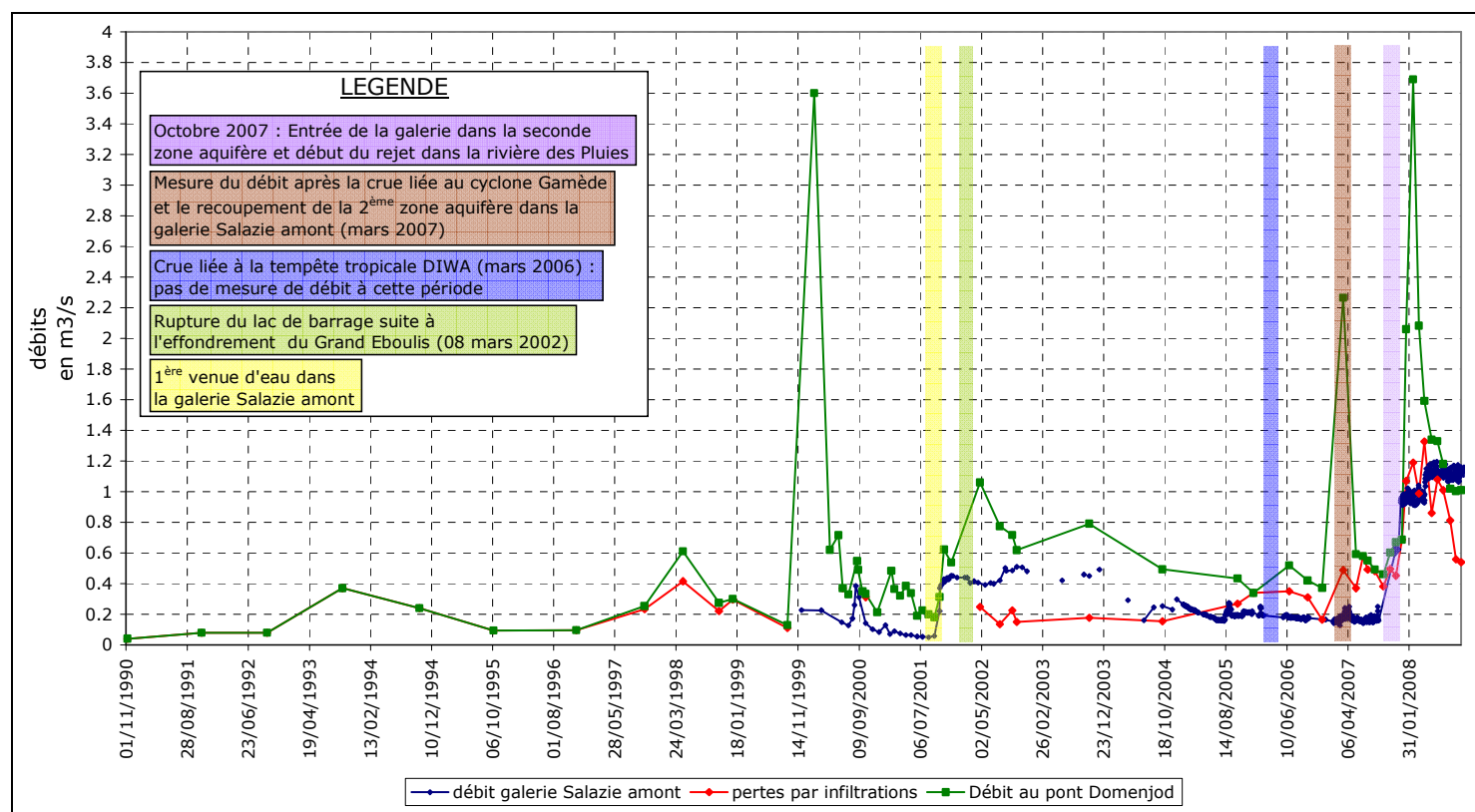
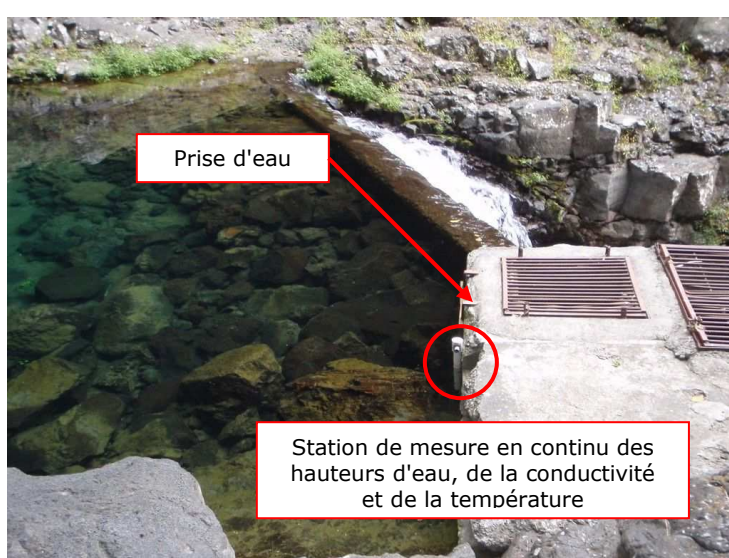
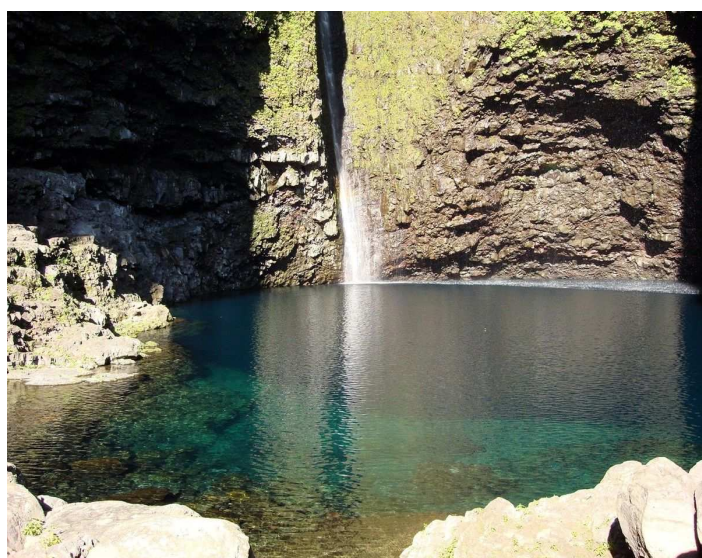


Figure 2 : Comparaison entre le débit d'exhaure de la Galerie Salazie Amont, le débit de la Rivière des Pluies et les variations interannuelles des infiltrations sur le tronçon aval

3 Mise en œuvre du suivi de la source de la cascade du Chaudron

La source pérenne de la cascade du Chaudron est captée toute l'année par la commune de Saint-Denis pour l'alimentation en eau potable. D'après les données acquises par l'Observatoire Réunionnais de l'Eau entre 1993 et 1998, les débits de la source peut atteindre à l'étiage 220 litres par seconde.



Cette source se trouve dans la zone d'influence potentielle de la Galerie Salazie Aval et elle représente un point très intéressant de suivi de la ressource en eau du secteur nord de La Réunion. Un équipement de suivi en continu de la conductivité et des hauteurs d'eau de la source est installé dans le bassin de la source depuis novembre 2007. La figure 3 présente les données recueillies par le capteur.

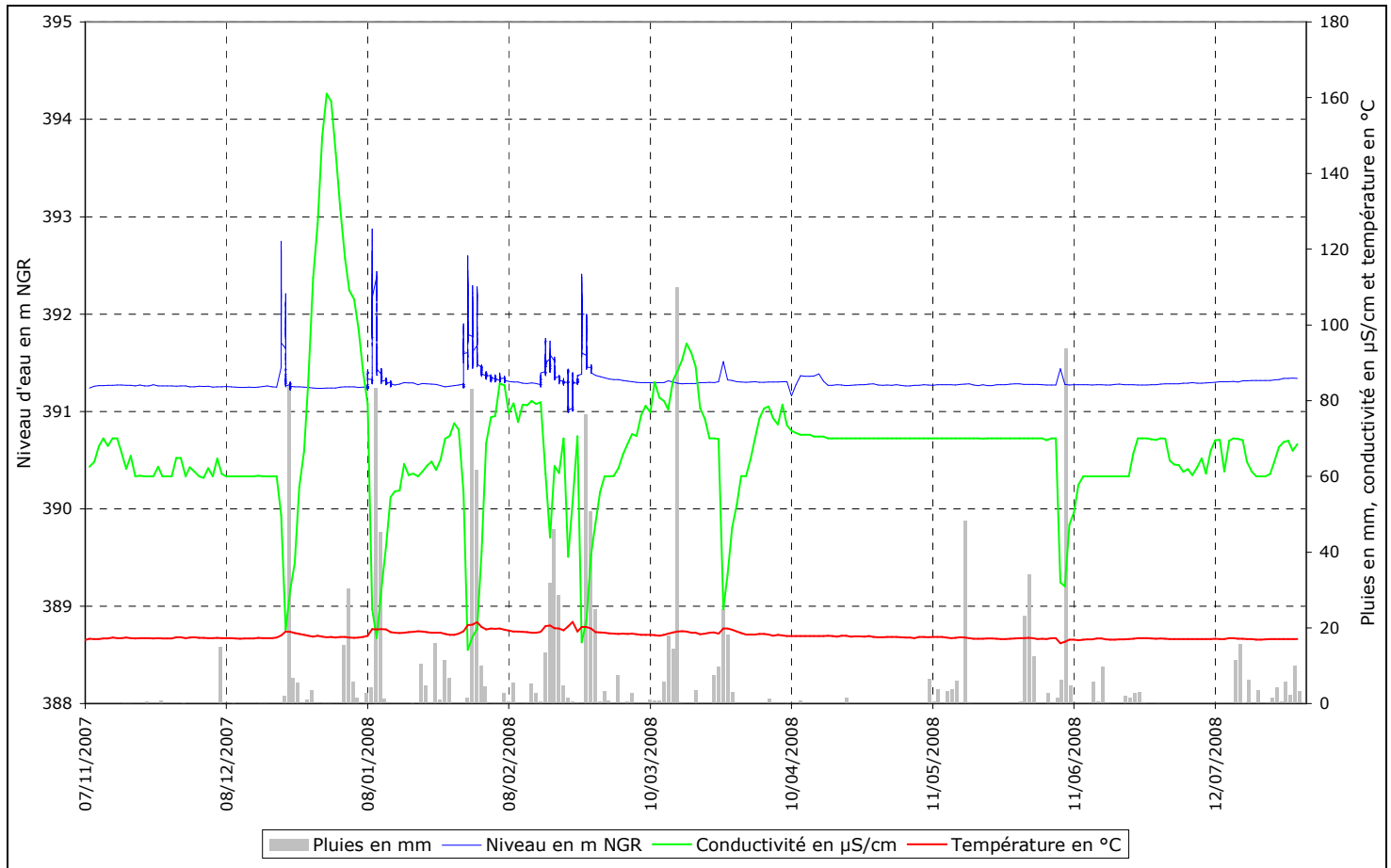


Figure 3 : Variations de la conductivité, de la température et du niveau de la source de la cascade du Chaudron

Sur l'année hydrologique 2007-2008, la conductivité moyenne est de 65 µS/cm. Après les premières précipitations importantes du 21-22 décembre 2007, la conductivité dans le bassin chute rapidement pour atteindre 19 µS/cm le 22/12/07 tandis que le niveau d'eau dans le bassin augmente de 1.50 m en une journée. La conductivité augmente ensuite jusqu'à 161 µS/cm le 30/12/07.

La figure 3 montre que les précipitations abaissent la conductivité du bassin en une journée et mettent en charge le système aquifère. Cela remet en circulation des eaux plus anciennes qui font remonter la conductivité du bassin en neuf jours. La phase ascendante est stoppée par de nouvelles précipitations qui entraînent une nouvelle chute de la conductivité dans le bassin. Ce scénario se répète pour chaque précipitation avec toutefois une diminution de l'amplitude des variations de conductivité.

Après la saison des pluies, la conductivité se stabilise autour de 70 µS/cm sans grande variation notable.

4 Suivi de l'impact du rejet de la nouvelle venue d'eau de la Galerie Salazie Amont sur la Rivière des Pluies

La Galerie Salazie Amont traverse une nouvelle zone aquifère particulièrement productrice et compartimentée depuis le mois d'octobre 2007 (pm 3040). Globalement, le pH et la température de cette zone sont élevés (pH de l'ordre de 9.8 et température d'environ 28°C) tandis que les teneurs en oxygène dissous sont faibles (environ 50%).

Les eaux drainées sont rejetées dans la Rivière des Pluies. Les débits associés sont importants (supérieur ou égal à 650 litres par seconde) et dépassent le débit d'étiage de la Rivière des Pluies (de l'ordre de 380 litres par seconde). Un suivi spécifique a été mis en œuvre pour évaluer l'impact du rejet sur les caractéristiques physico-chimiques de la rivière des Pluies, notamment les paramètres température, oxygène dissous et pH.

L'évolution longitudinale des caractéristiques physico-chimique de la Rivière des Pluies est suivie sur 14 points de mesures pour les paramètres suivants : conductivité, pH, température, oxygène dissous (% et mg/l). A partir du planning prévisionnel d'avancement de la Galerie Salazie Amont, les campagnes de mesures ont été programmées une fois par semaine entre le 31/10/2007 et la fin du mois de février 2008 puis une fois par mois jusqu'à la fin de l'année 2008.

La carte suivante présente le positionnement des points sur le linéaire de la rivière.

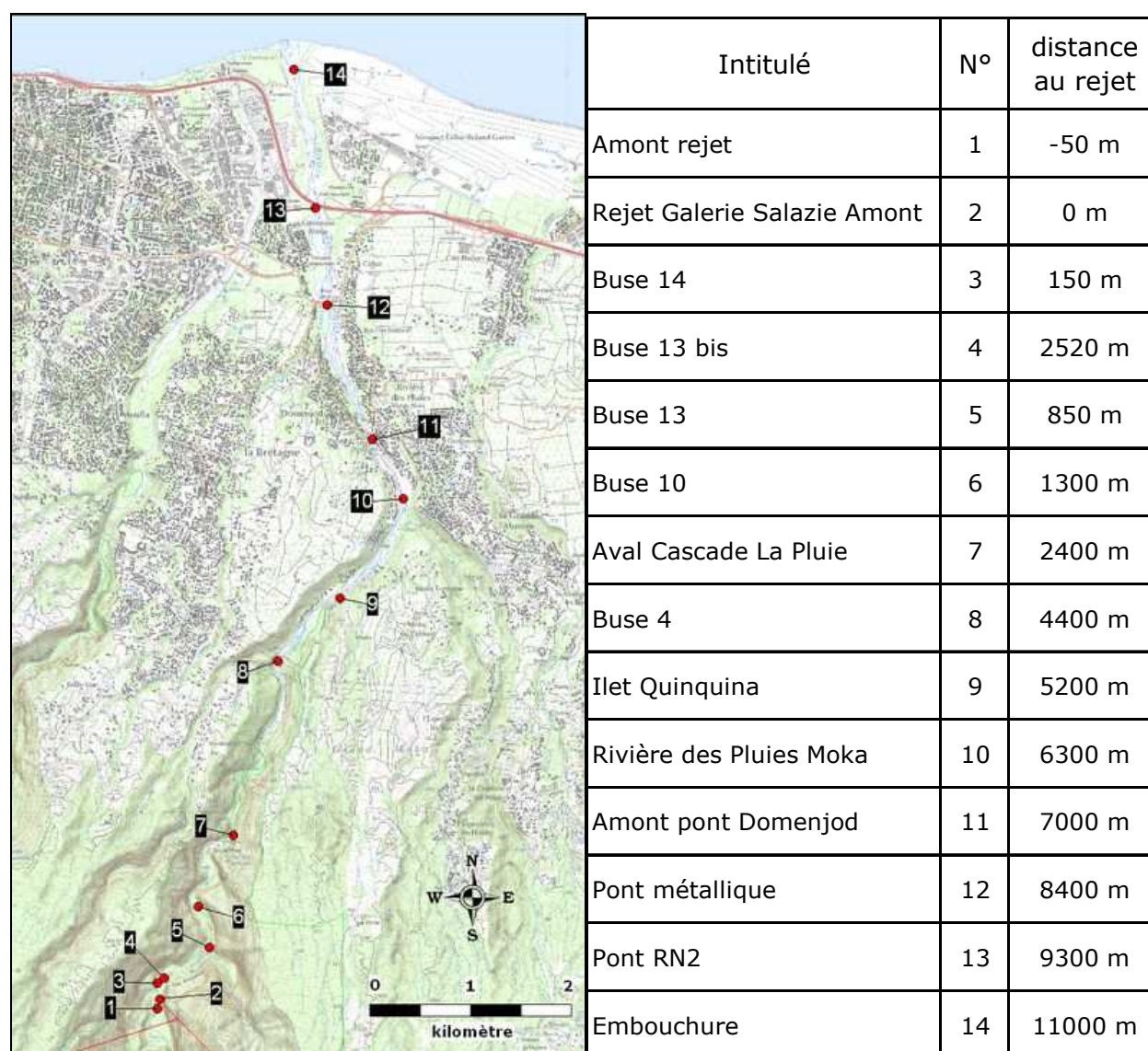


Figure 4 : Localisation des points de suivi de l'impact du rejet de la Galerie Salazie Amont sur la Rivière des Pluies

4.1 Impact du rejet de la galerie amont sur le pH de la rivière des Pluies

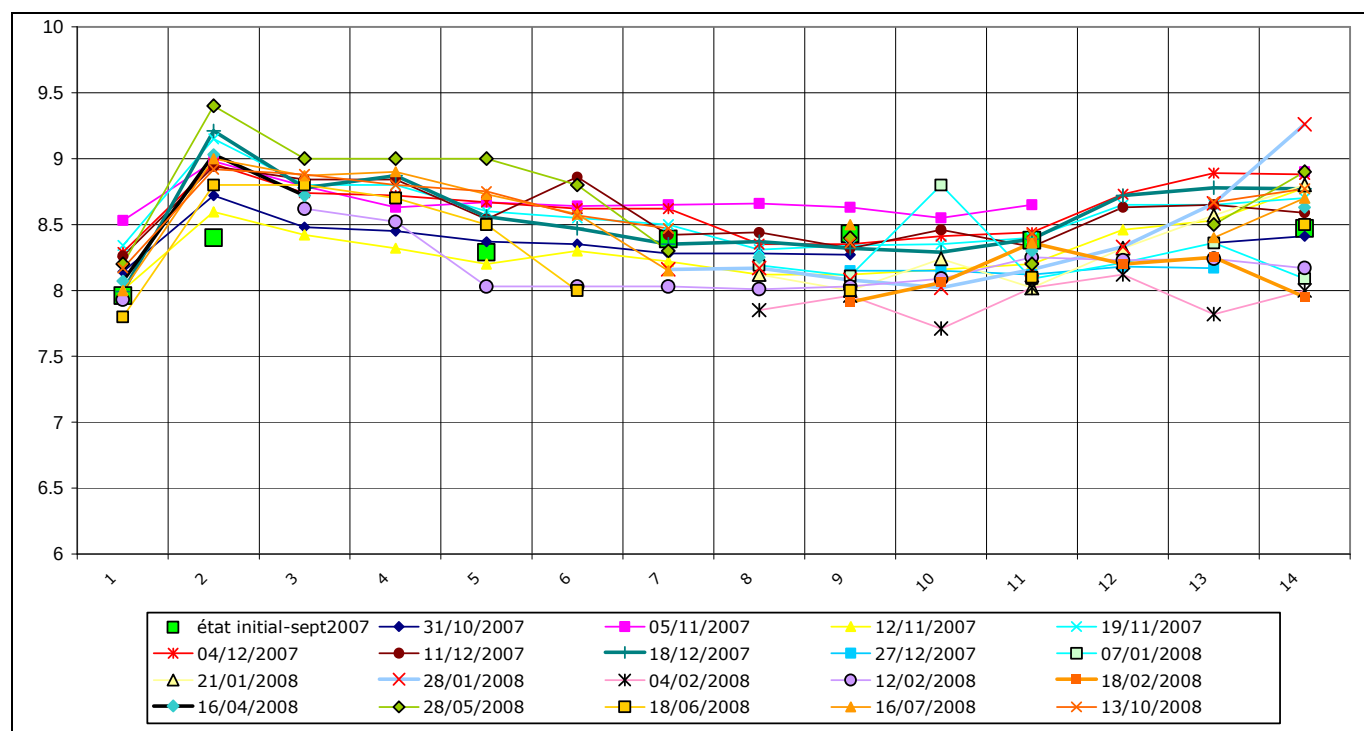


Figure 5 : Evolution longitudinale du pH de la Rivière des Pluies

La figure 5 montre que le pH du rejet de la galerie amont est supérieur à celui du pH de la rivière. Le rejet implique à l'aval une légère augmentation du pH de la rivière (environ 0.5 unité). L'impact reste limité spatialement avec un retour partiel à l'équilibre au niveau de la buse 13 (point 5), soit 1000 m à l'aval du rejet. Les valeurs impactées restent inférieures à 9 et dans la même gamme que celles mesurées en septembre 2007 (état initial).

4.2 Impact du rejet de la galerie amont sur la température de la rivière des Pluies

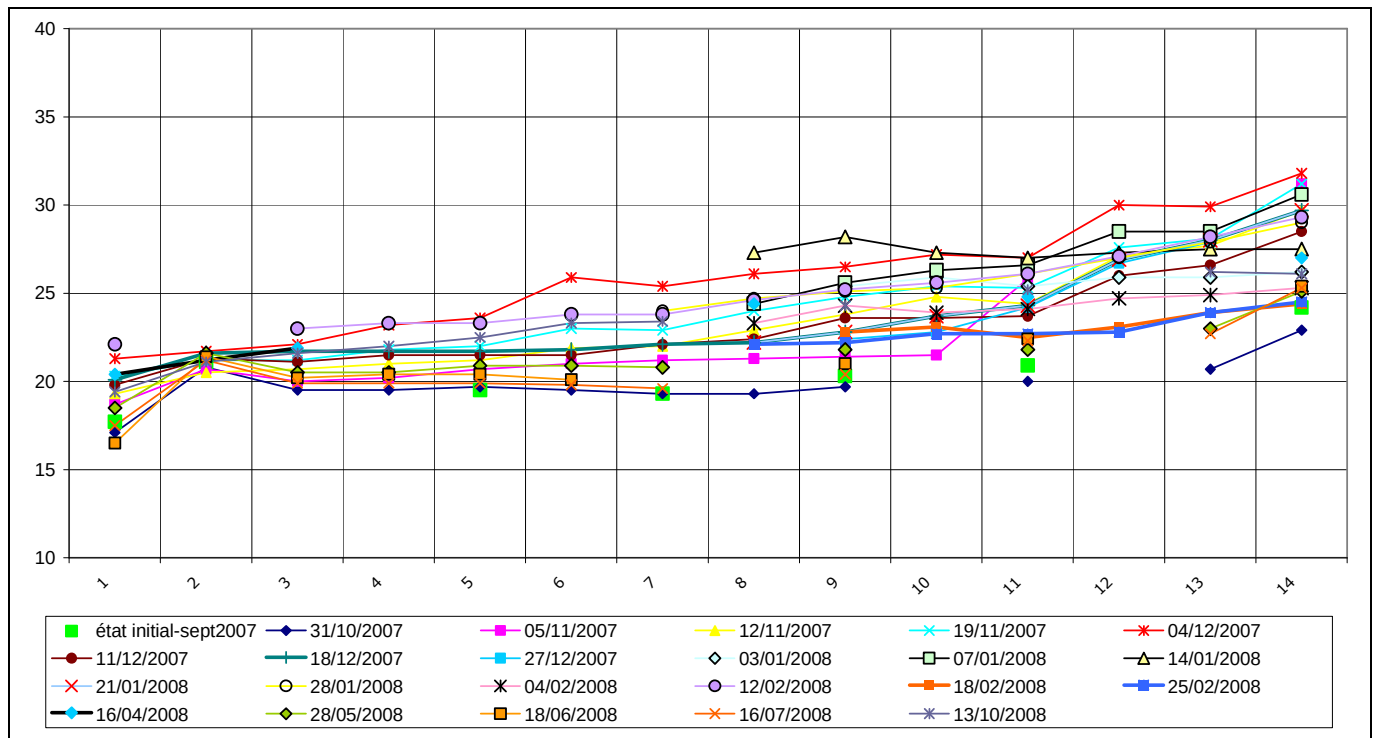


Figure 6 : Evolution longitudinale de la température de la Rivière des Pluies

La figure 6 montre que la température du rejet est globalement plus élevée que celle de la Rivière des Pluies. Ce contraste entraîne une hausse significative de la température de la rivière immédiatement à l'aval du rejet (5°C le 31 octobre 2007 et d'environ 2 à 3°C les 05 et 12 novembre 2007). Globalement la température ne redescend pas à son niveau initial d'une part à cause du rejet mais également sous l'influence de plusieurs facteurs naturels : augmentation de l'ensoleillement, diminution de l'altitude et, à partir de l'amont du pont Domenjod, diminution du débit de la rivière (zone d'infiltration).

A partir du 19 novembre 2007, le contraste de température diminue à la faveur de la saison chaude et du réchauffement naturel de l'eau de la Rivière des Pluies.

A partir d'avril 2008, le contraste thermique s'accroît de nouveau pendant la saison sèche avec 4°C d'écart mesuré en juin 2008. En octobre 2008 l'écart est de 2°C.

4.3 Impact du rejet de la galerie amont sur la conductivité de la rivière des Pluies

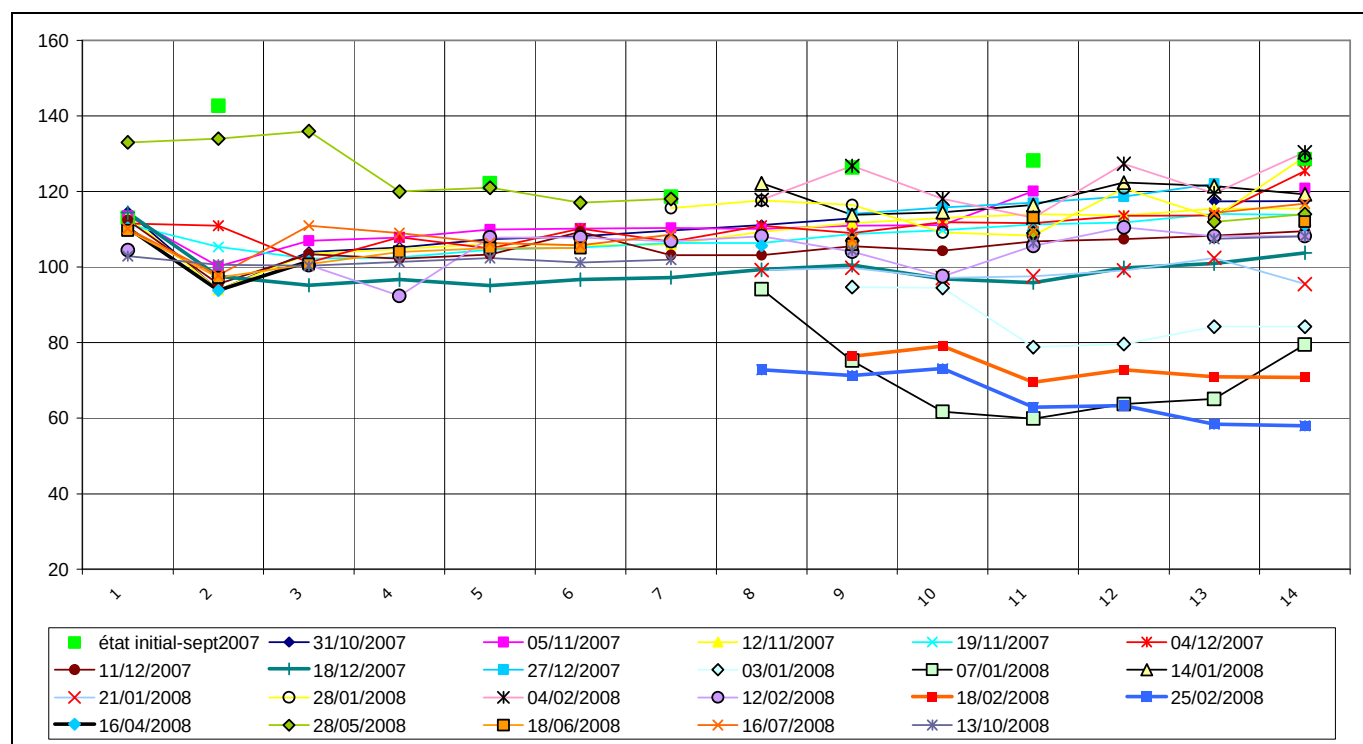


Figure 7 : Evolution longitudinale de la conductivité de la Rivière des Pluies

En septembre 2007, la conductivité du rejet de la galerie Salazie amont s'élevait à 140 $\mu\text{S/cm}$. A cette époque, le débit d'exhaure de la galerie Salazie amont avait pour origine principale l'eau drainée au pm 1238 dont la conductivité est d'environ 120 $\mu\text{S/cm}$.

Depuis le 31 octobre 2007, les valeurs de conductivité du rejet sont plus faibles, de l'ordre de 95-100 $\mu\text{S/cm}$. Cette diminution est sous l'influence de la nouvelle venue d'eau rencontrée au pm 3060. A l'aval du rejet, la conductivité de la rivière diminue légèrement d'environ 10 $\mu\text{S/cm}$ en moyenne. Les faibles conductivités mesurées en janvier et en février sont très certainement associées aux crues de la rivière des Pluies. Il est intéressant de constater que ces événements font varier beaucoup la conductivité de la rivière.

Globalement, le rejet de la galerie Salazie amont n'entraîne pas de modification significative de la conductivité. Par contre, le suivi révèle que les crues entraînent des modifications importantes de ce paramètre.

4.4 Impact du rejet de la galerie amont sur la concentration en oxygène dissous dans la rivière des Pluies

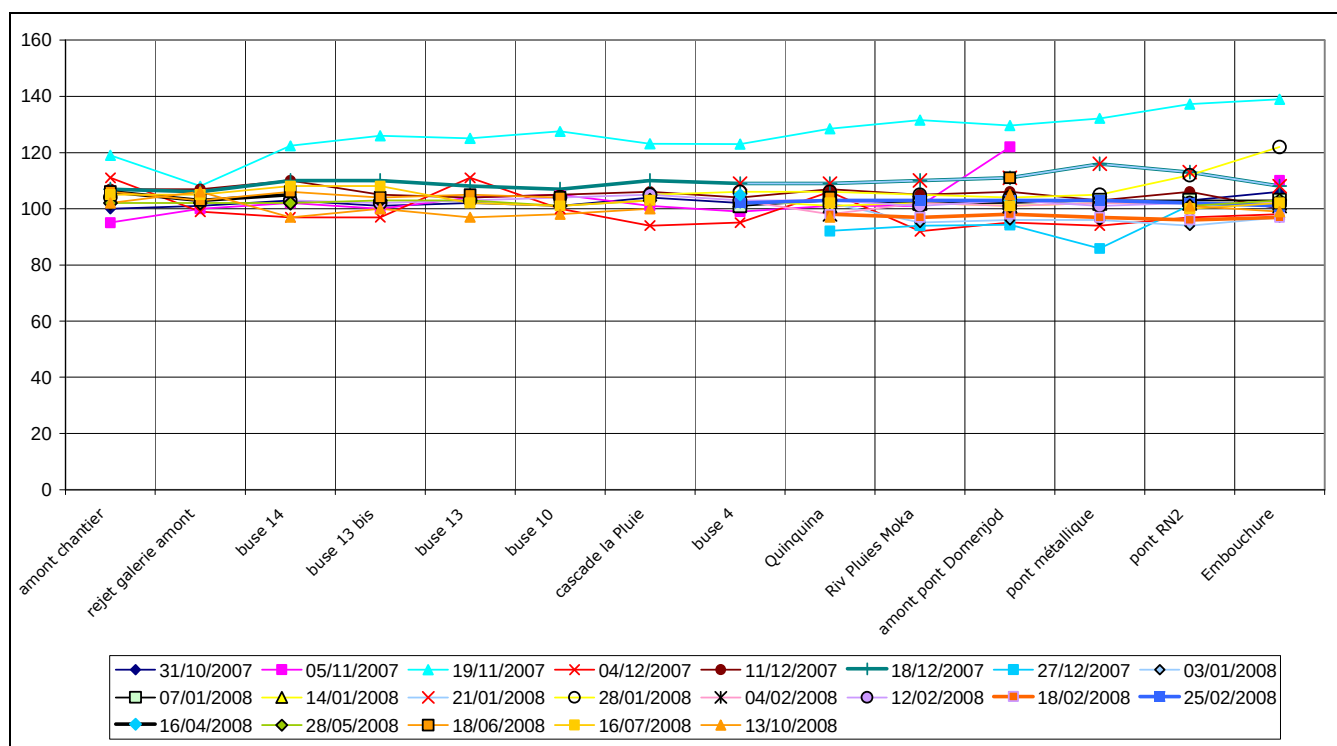


Figure 8 : Evolution longitudinale des teneurs en oxygène dissous (%) de la Rivière des Pluies

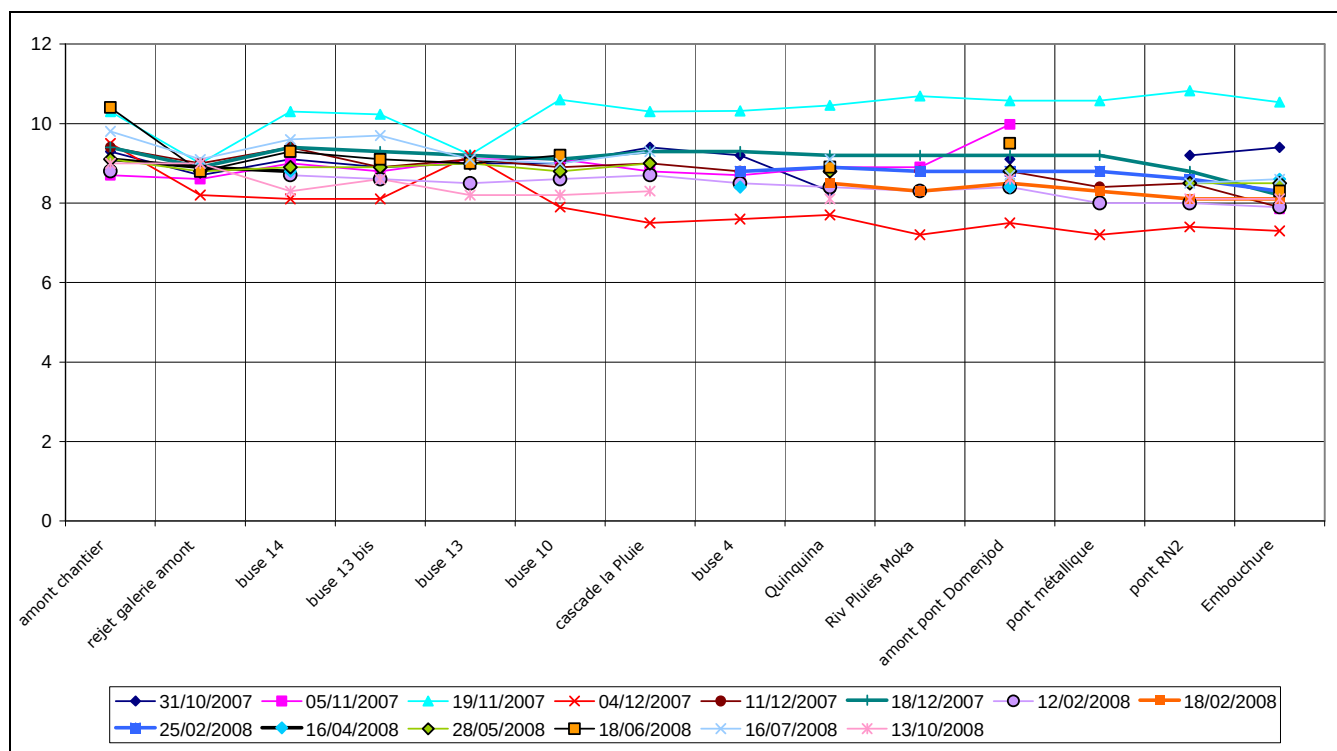


Figure 9 : Evolution longitudinale des teneurs en oxygène dissous (mg/L) de la Rivière des Pluies

Les figures 8 et 9 montrent que la Rivière des Pluies est saturée en oxygène à l'amont du rejet du chantier de basculement des eaux. La qualité du rejet de la galerie est bonne, elle présente des pourcentages et des concentrations en oxygène dissous identiques aux valeurs relevées dans la rivière des Pluies.

Le rejet de la galerie Salazie amont n'entraîne pas de modification significative de la teneur en oxygène dissous.

5 Poursuite de la surveillance renforcée des hydrosystèmes associés aux venues d'eau de la galerie Salazie

La surveillance des niveaux piézométriques de la nappe de base littorale et des infiltrations sur les planèzes d'altitude se poursuit en 2008. Les données acquises seront interprétées au début de l'année 2009 pour clore la troisième année de l'étude.

Les figures 10, 11, 12 et 13 présentent les chroniques de données en cours d'acquisition pour la troisième année de l'étude.

5.1 Suivis des volumes ruisselés, des précipitations et de l'évapotranspiration sur le bassin versant expérimental de la ravine Mère Canal

En 2006, un bassin versant expérimental a été mis en place pour estimer les infiltrations sur la plaine des Fougères (planèze de la commune de Sainte-Marie) à l'aplomb de la Galerie Salazie Amont. Il est constitué d'une station d'enregistrement en continu des hauteurs d'eau et d'une station météorologique destinée au calcul de l'évapotranspiration.

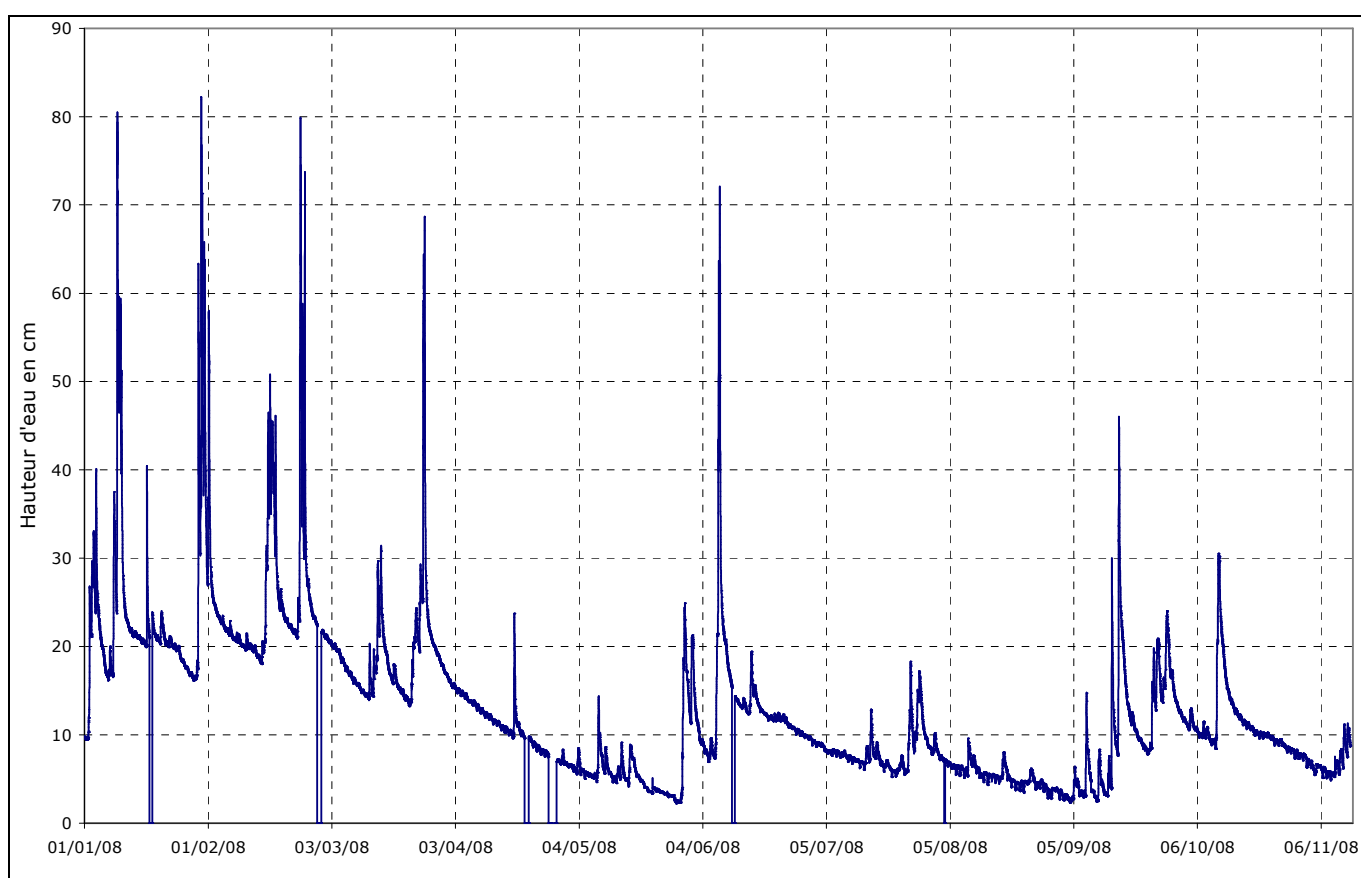


Figure 10 : Variation de la hauteur d'eau en 2008 sur la station limnimétrique de la ravine Mère Canal

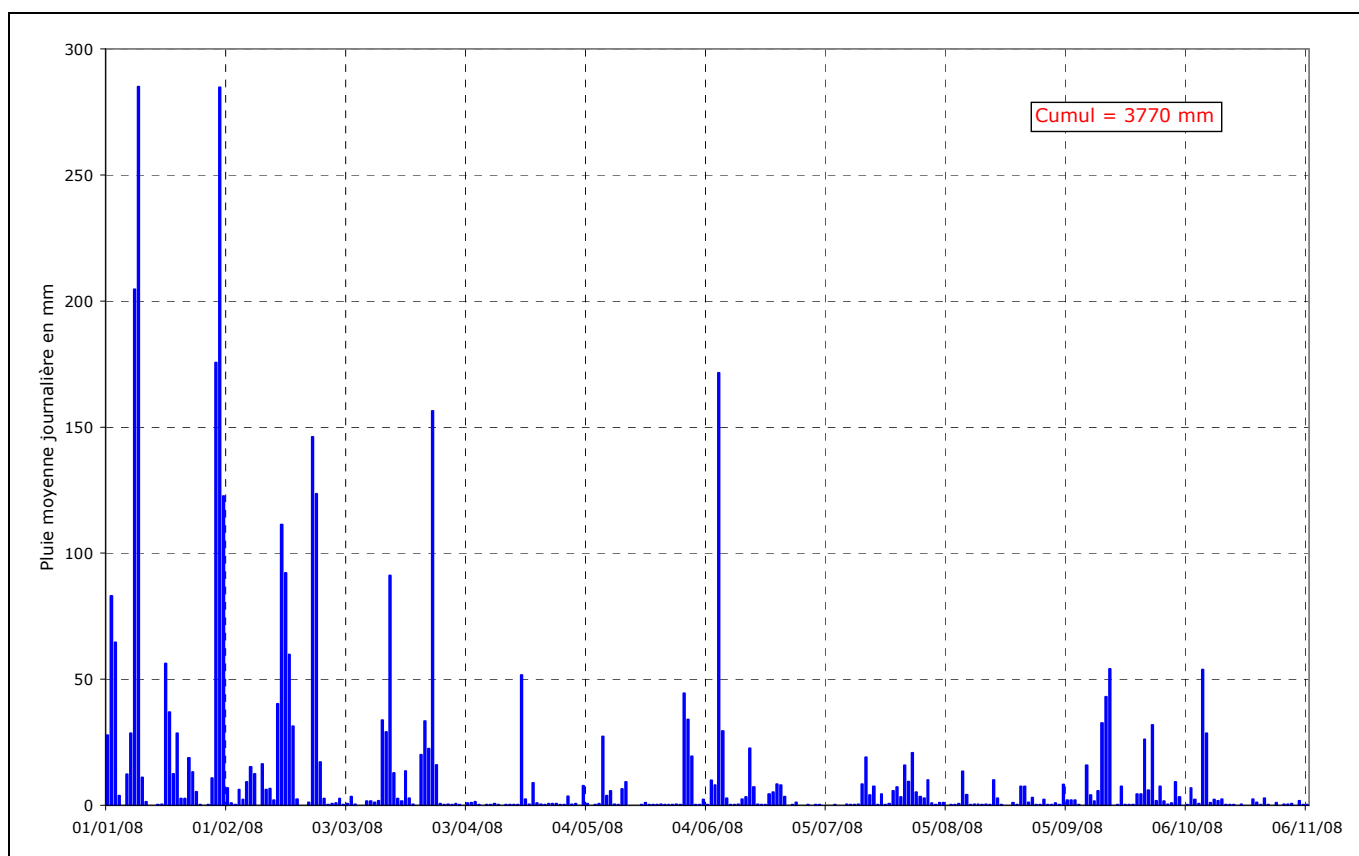


Figure 11 : Précipitations moyennes journalières enregistrées sur le bassin versant de la ravine Mère Canal

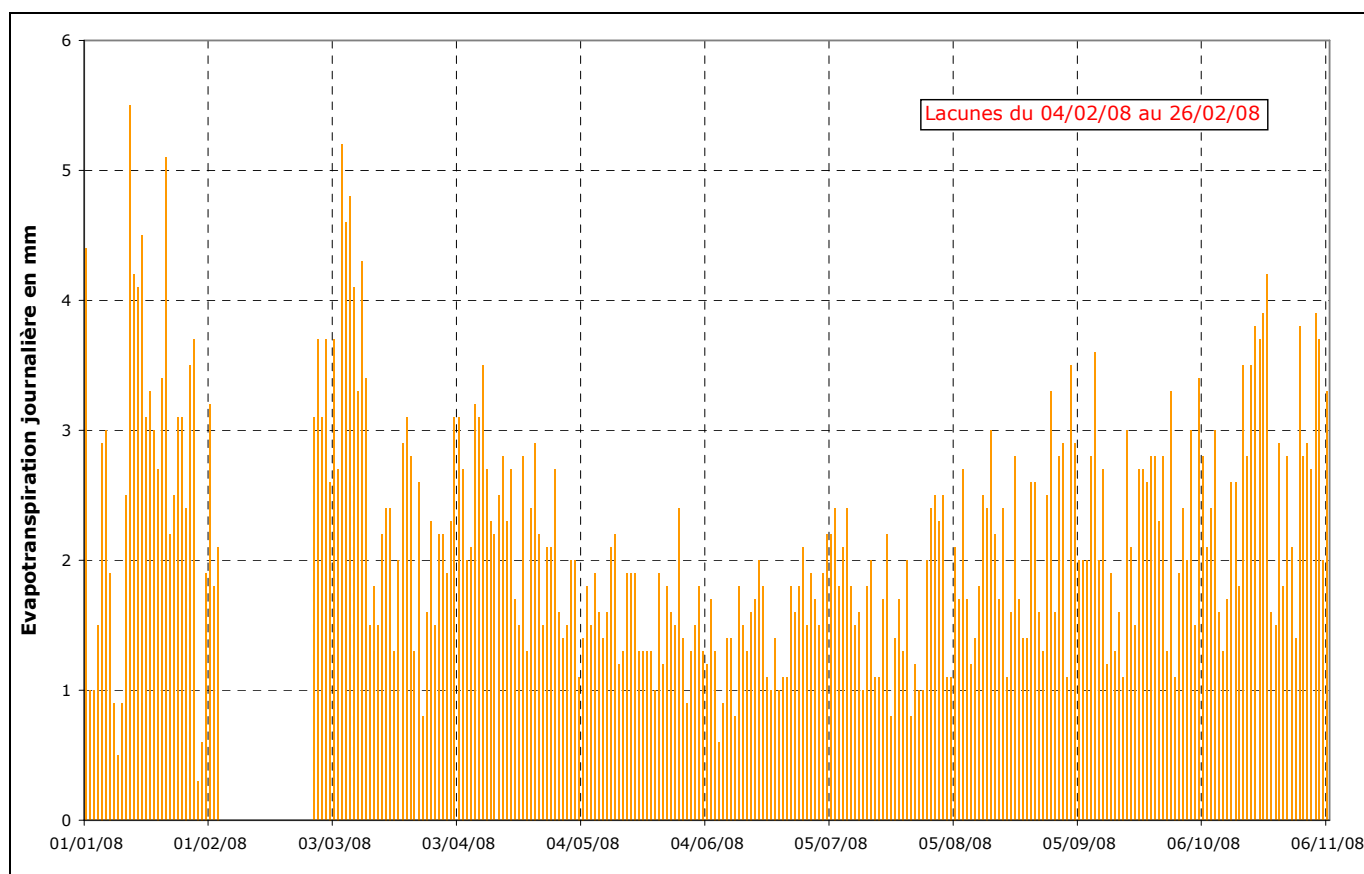


Figure 12 : Evapotranspiration moyennes journalières enregistrées sur le bassin versant de la ravine Mère Canal

D'après les données acquises en 2006 et en 2007, les formules théoriques surestiment l'évapotranspiration (cf. tableau ci-dessous).

	ETP Station Gillot en mm (altitude 8 mNGR)	ETP en mm calculée pour une altitude de 1250 m NGR à partir de ETP Gillot	ETP station Mère Canal en mm (altitude 1250 mNGR)
2006	1860	1189	780
2007	1900	1229	790

Elles montrent également que l'essentiel des infiltrations a lieu pendant les périodes de crue en 2006 et 2007 (cf. figure 13).

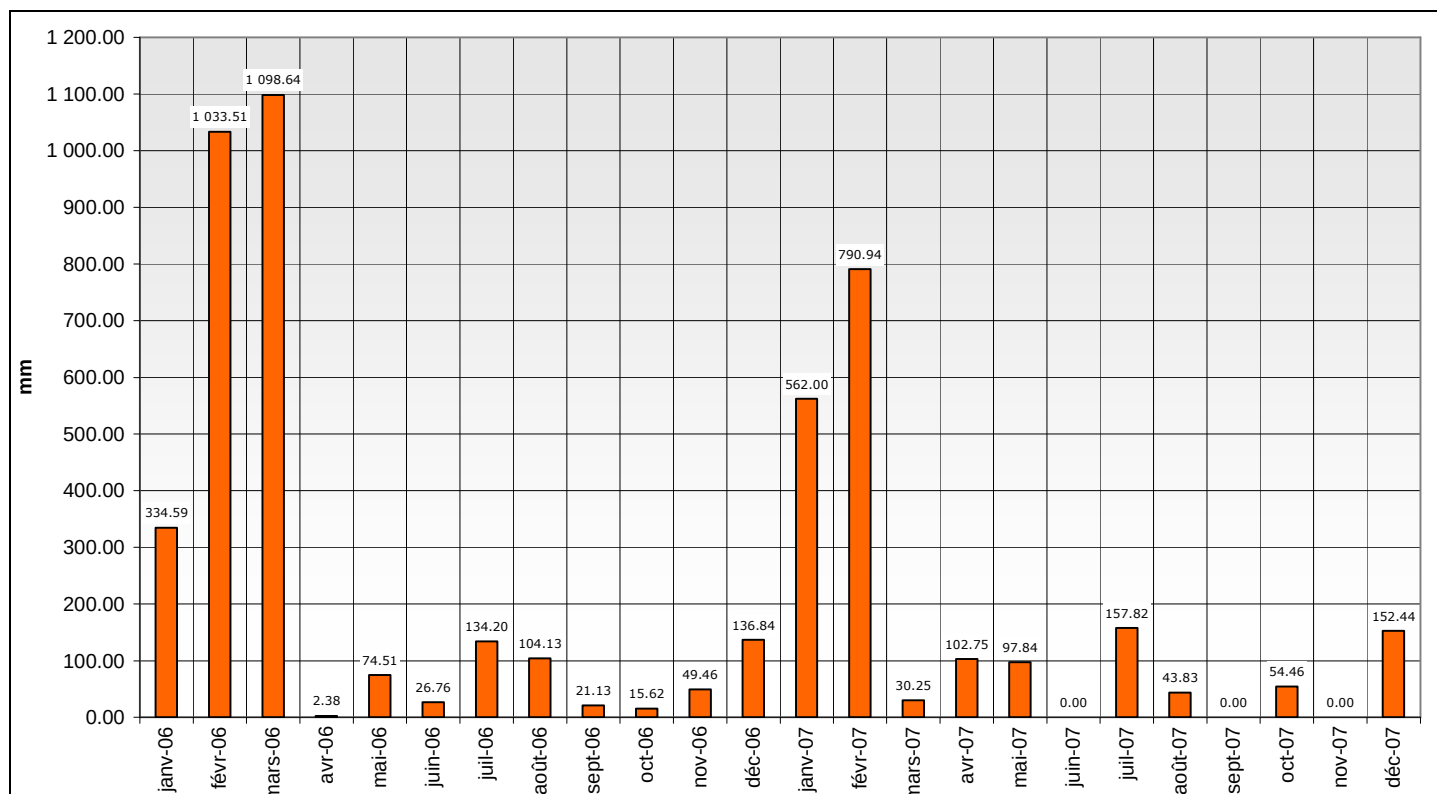


Figure 13 : Infiltrations moyennes mensuelles mesurées sur le bassin de la ravine Mère Canal en 2006 et 2007

Au pas de temps mensuel, l'infiltration est élevée pendant les mois à forte pluviosité. Pendant les mois de janvier, février, mars des années 2006 et 2007, les infiltrations représentent respectivement 80% et 70% des infiltrations totales sur le bassin versant. Deux facteurs permettent d'expliquer ce phénomène :

- **la végétation** : Pendant la saison des pluies, le couvert végétal dense et épais se gorge d'eau à la manière d'une éponge. La part de ruissellement est réduite au profit de l'infiltration. Cela évite que l'essentiel des précipitations ne soient évacuées vers l'océan ;
- **la géomorphologie** : Des reconnaissances de terrain ont montré que le linéaire de la ravine Mère-Canal est découpé par de nombreux escarpements suivis à l'aval par des bassins tapissés de galets et de blocs très grossiers. Ces zones en forme de marmite ralentissent les écoulements. Elles sont remplies de matériaux très perméables qui favorisent très certainement les infiltrations. A ce jour, aucun jaugeage n'a pu être réalisé en période de hautes eaux compte tenu de la dangerosité d'accès et de l'isolement des sites de mesure. Entre les escarpements, la ravine s'écoule sur le substratum basaltique lisse peu propice aux infiltrations.

5.2 Suivi des niveaux piézométriques de la nappe de base littorale

Le réseau de suivi des fluctuations piézométriques de la nappe de base littorale est composé de :

- 27 points de mesure du niveau d'eau (6 en instantané et 21 en continu) ;
- 5 points de suivi de la conductivité en continu ;
- 2 points de suivi des débits d'exploitation de forages agricoles ;
- 1 point de suivi des variations du niveau de l'océan ;
- 1 point de mesure de la conductivité dans la galerie Salazie amont (pm 1238).

Les points sont répartis sur les communes de Saint-Denis et de Sainte-Marie. L'essentiel du suivi porte sur des ouvrages en exploitation et sur des piézomètres. La source de la cascade du Chaudron est également suivie en continu (conductivité et niveau).

La mesure de conductivité réalisée dans la galerie Salazie amont est rendue difficile par l'humidité. La chronique de donnée s'est arrêtée en novembre 2007. Par la suite, les manipulations réalisées pour la maintenance du tunnelier ont retardé la remise en service de l'enregistrement qui est prévue pour le 19/11/08. Des mesures ponctuelles ont été réalisées pendant l'intervalle. Elles montrent que la conductivité de l'aquifère au pm 1238 est stabilisée autour de 107 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

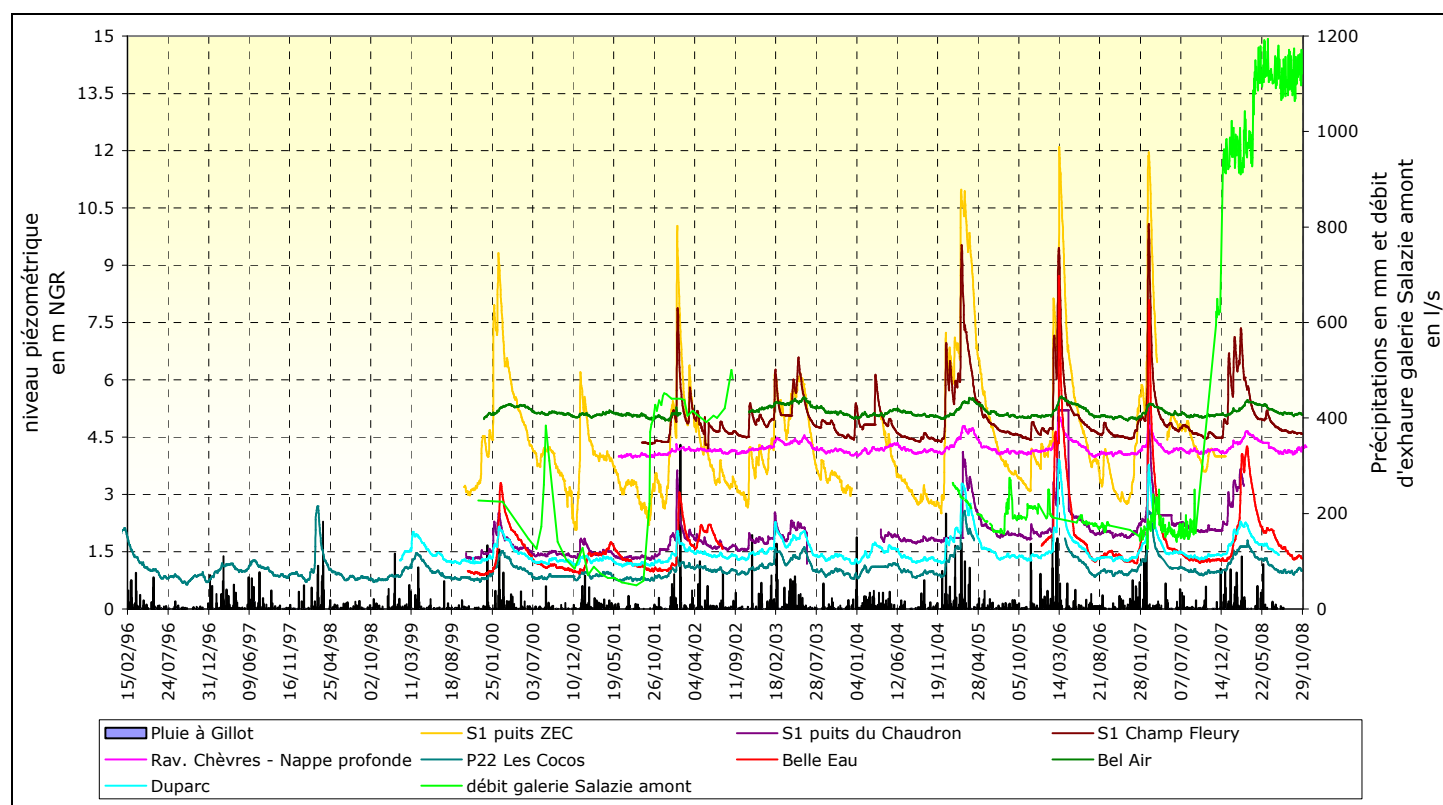


Figure 14 : Suivi des niveaux piézométriques de la nappe de base littorale

A l'heure actuelle, les données acquises sur le secteur d'étude depuis 1996 ne montrent pas de baisse notable du niveau de la nappe de base littorale.

6 Conclusions

Les jaugeages réalisés sur la Rivière des Pluies montrent une succession de colmatage/décolmatage du tronçon aval de la rivière :

- colmatage du lit en avril 2002 entraînant une diminution significative des infiltrations ;
- décolmatage du lit en 2007, sous l'effet du cyclone Gamède, associé à une hausse importante du potentiel d'infiltration de la rivière.

La source de la cascade du Chaudron a été intégrée dans les réseaux de suivi de l'Office de l'eau. Du matériel d'enregistrement en continu des hauteurs d'eau, de la température et de la conductivité a été mis en place en novembre 2007. Le suivi a permis d'enregistrer l'influence des précipitations sur la source avec notamment une mise en circulation d'eau plus conductrice (70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en étiage contre 162 $\mu\text{S}/\text{cm}$ après les premières pluies de décembre 2007).

Dans le cadre de l'avenant n°1 à la convention, un suivi de l'impact du rejet de la nouvelle venue d'eau de la galerie Salazie amont dans la rivière des Pluies a débuté en octobre 2007. Il s'intéresse aux variations longitudinales des paramètres suivants :

- pH ;
- température ;
- oxygène dissous ;
- conductivité.

Après une année de suivi, les mesures montrent que le rejet modifie surtout la température de l'eau de la rivière notamment en saison sèche où les eaux sont naturellement plus froides. Un léger impact sur le pH est visible à l'aval immédiat du rejet mais les eaux semblent s'équilibrer relativement rapidement à 1 km à l'aval. L'impact sur la conductivité et les teneurs en oxygène dissous dans la rivière des Pluies est moins marqué.

La surveillance des niveaux piézométriques de la nappe de base littorale et des infiltrations sur les planèzes d'altitude se poursuit en 2008. Les données acquises seront interprétées au début de l'année 2009 pour clore la troisième année de l'étude.