OFFICE DE L'EAU RÉUNION

MODELISATION NUMERIQUE DU SYSTEME AQUIFERE ASSOCIE À LA PLAINE ALLUVIALE DU MAT

Terry CORDONNIER, Julien BONNIER

Juin 2013

TABLE DES MATIERES

I INTRODUCTION 6

I.1 CONTEXTE REGLEMENTAIRE ET MOTIVATION DE L'ETUDE 6
I.2 ETUDES DE REFERENCES DISPONIBLES 7

II PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE 8

II.1 CONTEXTE GEOGRAPHIQUE 8
II.2 CONTEXTE CLIMATIQUE ET PLUVIOMETRIQUE 8
II.3 CONTEXTE HYDROLOGIQUE 10
II.3.1 La Rivière du Mât 10
II.3.2 La Rivière Saint-Jean 11
II.3.3 Le Bras-Panon 11
II.3.4 La Rivière des Roches 11
II.3.5 Les sources et les cours d'eau non pérennes 12
II.4 CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE 12

III INVENTAIRE ET INTERPRETATION DES DONNEES DISPONIBLES 14

III.1 DONNEES CLIMATIQUES 14
III.1.1 Pluviométrie 14
III.1.2 Évapotranspiration 14
III.2 DONNEES GEOLOGIQUES 15
III.2.1 La carte géologique 15
III.2.2 Coupes géologiques de forages et données hydrodynamiques 16
III.2.3 Les études géophysiques 18
III.3 DETERMINATION DU FONCTIONNEMENT DES NAPPES DE LA PLAINE ALLUVIALE 20
III.3.1 La nappe alluviale 22
III.3.2 La nappe inférieure ou nappe de base 23
III.4 DETERMINATION DES CONDITIONS D'ALIMENTATION DES SYSTEMES AQUIFERES 26
III.4.1 Alimentation de la nappe par les circulations souterraines 26
III.4.2 Alimentation de la nappe par les infiltrations de la Rivière du Mât 32
III.5 INTERPRETATION DES DONNEES DE SALINITE 33
III.5.1 Suivi de la salinité 33
III.5.2 Analyse des « Logs de conductivité » 34

IV ÉLABORATION DU MODELE MATHEMATIQUE DE LA PLAINE DU MAT 35

IV.1 PRESENTATION DU MODELE CONCEPTUEL 35
IV.1.1 Extension et construction du modèle 35
IV.1.2 Paramètres hydrodynamiques du modèle et débits prélevés 37
IV.2 CALAGE EN REGIME PERMANENT 41
IV.2.1 Calage des perméabilités 41
IV.2.2 Calage de l'intrusion saline 43
IV.2.3 Bilan en eau de la nappe 44
IV.2.4 Analyse de sensibilité du calage 45
IV.3 CALAGE EN REGIME TRANSITOIRE – CYCLE HYDROLOGIQUE MOYEN – ANNEE 2007 45
IV.4 CALAGE EN REGIME TRANSITOIRE – CYCLE HYDROLOGIQUE HUMIDE – ANNEE 1993 48
IV.5 CALAGE EN REGIME TRANSITOIRE – CYCLE HYDROLOGIQUE SEC – ANNEE 2001 51
IV.6 CALAGE EN REGIME TRANSITOIRE – PERIODE 2002-2007 53
IV.7 CONCLUSION SUR LE CALAGE DU MODELE 55

V SCENARII DE SIMULATION 56

V.1 SCENARIO 1: MODIFICATION DES PRELEVEMENTS SOUTERRAINS 56
V.2 SCENARIO 2 : MISE EN SERVICE DES PRISES ILO 57

VI CONCLUSIONS 59

VI.1 SYNTHESE 59
VI.2 PISTES D'AMELIORATION DU MODELE 61

Liste des figures

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude 8
Figure 2 : Pluviométrie annuelle – Normales 1981-2010 9
Figure 3 : Température moyenne annuelle – Carte de répartition (2010) 9
Figure 4 : Carte des rivières et des sources au Nord-Est de La Réunion 10
Figure 5 : Localisation des sondages et forages supérieur à 20 mètres (BSS, BRGM) 16
Figure 6 : Coupe géologiques SO-NE sur la Plaine alluviale de la Rivière du Mât 17
Figure 7 : Coupe géologiques NO-SE sur la Plaine alluviale de la Rivière du Mât 17
Figure 8 : Interprétation des coupes géoélectriques réalisées pour le Conseil Général (Horizons, 1995) 19
Figure 9 : Réseau de suivi piézométrique de l'Office de l'Eau – fond géologique 20
Figure 10 : Chroniques piézométriques sur le secteur de la Plaine du Mât (1990 – 2012) 21
Figure 11 : Variations piézométriques de la nappe alluviale dans le secteur de la Plaine du Mât (2005 – 2012) 22
Figure 12 : Variations piézométriques de la nappe alluviale dans le secteur de la Plaine du Mât (2011) 23
Figure 13 : Variations piézométriques de la nappe de base dans le secteur de la Plaine du Mât (1993 – 2009) 24
Figure 14: Variations piézométriques de la nappe de base corrélées au débit de la rivière (2004 – 2010) 25
Figure 15: Variations piézométriques de la nappe de base corrélées à la pluviométrie (2004 – 2010) 25
Figure 16: Variations piézométriques de la nappe de base dans le secteur de la Plaine du Mât (2006) 26
Figure 17 : Unités hydrologiques du Nord de La Réunion 27
Figure 18 : Chronique pluviométrique de la station Bras-Panon (1992-2010) 28
Figure 19 : Chronique pluviométrique de la station Menciol (1992-2010) 28
Figure 20 : Répartition des pluies, de l'ETP et de l'infiltration profonde pour une année moyenne (2002) – Unité hydrologique de Bras-Panon 30
Figure 21 : Répartition des pluies, de l'ETP et de l'infiltration profonde pour une année moyenne (2002) – Unité hydrologique de la Grande Rivière Saint-Jean 31
Figure 22 : Chronique de débit et d'infiltrations de la Rivière du Mât (1997 – 2012) 33
Figure 23: Evolution des concentrations en chlorures sur le secteur de la Plaine du Mât 34
Figure 24 : Extension de la zone de modélisation sur fond géologique 35
Figure 25 : Représentation du maillage et de la structure de « l'unité » de modélisation 36
Figure 26 : Conditions aux limites du modèle 37
Figure 27 : Représentation des zones d'alimentations en limite Sud 39
Figure 28 : Carte piézométrique simulée du cône alluvial de la Rivière du Mât 42
Figure 29 : Carte des salinités simulées en surface 43
Figure 30: Coupe n°1 Ouest - Est d'invasion du sel à travers la plaine alluviale du Mât 43
Figure 31: Coupe n°2 Ouest - Est d'invasion du sel à travers la plaine alluviale du Mât 43
Figure 32: Coupe n° 3 Ouest - Est d'invasion du sel à travers la plaine alluviale du Mât 44
Figure 33: Coupe n°4 Ouest - Est d'invasion du sel à travers la plaine alluviale du Mât 44
Figure 34 : Chronique pluviométrique journalière du poste MENCIOL (METEO-FRANCE, 2007) 46
Figure 35 : Comparaison des chroniques observées et simulées – Ravine-Creuse n°2 – 2007 47
Figure 36 : Comparaison des chroniques observées et simulées – P14 Champ-Borne – 2007 47
Figure 37 : Comparaison des chroniques observées et simulées – Paniandy – 2007 48
Figure 38 : Comparaison des chroniques observées et simulées – Ravine-Creuse – 1993 49
Figure 39 : Comparaison des chroniques observées et simulées – P14 Champ Borne - 1993 49
Figure 40 : Comparaison des chroniques observées et simulées – Paniandy - 1993 50
Figure 41 : Comparaison des chroniques observées et simulées – Puits Robert Cambuston – 1993 50
Figure 42 : Comparaison des chroniques observées et simulées – Ravine Creuse n°2– 2001 51
Figure 43 : Comparaison des chroniques observées et simulées – P14 Champ Borne – 2001 52
Figure 44 : Comparaison des chroniques observées et simulées – Puits Robert Cambuston – 2001 52
Figure 45 : Comparaison des chroniques observées et simulées – Paniandy – 2001 53
Figure 46 : Comparaison des chroniques observées et simulées – Ravine Creuse – 2002-2007 53
Figure 47 : Comparaison des chroniques observées et simulées – P14 Champ Borne – 2002-2007 54
Figure 48 : Comparaison des chroniques observées et simulées – Puits Robert Cambuston – 2002-2007 54
Figure 49 : Comparaison des chroniques observées et simulées – Paniandy – 2002-2007 55
Figure 50 : Débit résiduel de la Rivière du Mât à l'aval des prises ILO (année sèche de référence - 1990) 57

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les postes pluviométriques du secteur d'étude *14*
Tableau 2 : Chroniques annuelles des postes pluviométriques (mm/an) *14*
Tableau 3 : Données d'évapotranspiration pour la zone nord et est de la Réunion *15*
Tableau 4 : Sites de mesures piézométriques de l'Office de l'Eau *20*
Tableau 5: Surface des différentes unités hydrologiques *26*
Tableau 6 : Bilans hydrologiques du bassin versant de la Rivière Bras-Panon *29*
Tableau 7 : Bilans hydrologiques du bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean *30*
Tableau 8 : Apports et infiltrations de la Rivière du Mât entre les prises ILO et l'embouchure *32*
Tableau 9 : Résultats de l'interprétation des pompages d'essais *38*
Tableau 10 : Alimentation souterraine au sein du massif basaltique en limite Sud *39*
Tableau 11 : Volumes d'exploitations des forages AEP de la commune de Saint-André *40*
Tableau 12 : Perméabilités obtenues à l'issue du calage *41*
Tableau 13 : Comparaison des niveaux mesurés et simulés des points de calage *42*
Tableau 14 : Bilan des flux entrant et sortant du modèle (m^3/j) *44*
Tableau 15 : Analyse de sensibilité du calage en Régime Permanent du modèle *45*
Tableau 16 : Emmagasinement des zones de valeur homogène *46*
Tableau 17 : Augmentation des prélèvements sur les ouvrages d'exploitation actuels (m^3/an) *57*
Tableau 18 : Résultats des piézométries obtenues en fonction de l'augmentation des prélèvements *57*
Tableau 19 : Résultats des piézométries obtenues après simulation de la mise en service des prises ILO et de l'arrêt d'alimentation de la rivière par le Bras des Lianes et le Bras de Caverne *58*

Préambule

Ce travail réalisé par l'Office de l'Eau Réunion est effectué afin de faire un état des lieux des connaissances hydrogéologiques des systèmes aquifères associés à la Rivière du Mât, et de développer un outil de modélisation informatique de leurs fonctionnements hydrodynamiques.

Il s'agit, d'après les données disponibles et notre connaissance du secteur :

- De modéliser les écoulements souterrains de la nappe inférieure et l'invasion saline observée,
- D'évaluer les ressources en eaux disponibles,
- D'envisager des perspectives d'évolutions des modes de gestion de ces aquifères littoraux.

Ce rapport présente quatre parties :

- La description générale de la zone d'étude,
- L'interprétation des données disponibles,
- L'élaboration du modèle à densité variable représentatif des écoulements souterrains,
- L'analyse de scénarii de gestion de la masse d'eau.

I Introduction

I.1 Contexte réglementaire et motivation de l'étude

L'île de la Réunion se trouve dans un contexte de fort développement démographique. Au 1er janvier 2009, la population réunionnaise s'élevait à 816 364 habitants. Entre 1990 et 2009, elle a augmenté de 219 000 personnes et devrait croître d'autant à l'horizon 2040 (données INSEE 2012). Par conséquent, l'exploitation des ressources en eau devrait également augmenter.

Les nappes littorales sont des ressources sensibles aux phénomènes de salinisation. Elles se trouvent également en aval des bassins versants et concentrent ainsi les polluants. La dégradation de la qualité physico-chimique de ces aquifères peut être le facteur limitant leur exploitation. Pour cela, la qualité des eaux, les volumes disponibles et les modalités de circulation sont des éléments à évaluer afin de définir des politiques de gestion adaptées aux besoins de la population.

Les systèmes aquifères associées à la Plaine alluviale du Mât sur les communes de Saint-André et Bras-Panon sont des ressources souterraines stratégiques sur la façade Est de l'île. La mise en service des futures prises ILO en 2014-2015 dans le cirque de Salazie pourrait potentiellement modifier le régime d'infiltration du cours d'eau et ses relations avec les eaux souterraines.

Le SDAGE de la Réunion 2010 – 2015 est le document de référence pour la gestion de l'eau sur le département de la Réunion.

S'inscrivant principalement dans l'**Orientation fondamentale 1** de ce dernier, la modélisation numérique des aquifères côtiers de La Réunion est présentée par deux orientations du SDAGE :

> **Orientation 1.1 :** Assurer l'équilibre ressources/besoins pour les différents usages en préservant le milieu naturel
>
> **Disposition 1.1.4** : Les acteurs de l'eau mettront en place les outils de modélisation nécessaires à l'implantation de nouveaux prélèvements souterrains afin de garantir l'équilibre quantitatif global des masses d'eau
>
> **Orientation 1.5** : Améliorer les connaissances relatives aux ressources disponibles
>
> **Disposition 1.5.1** : Les acteurs publics s'investissent particulièrement dans l'analyse des capacités de renouvellement des nappes : actualisation et amélioration des modèles existants (écoulements, biseaux salés,..).

L'objectif de cette étude de modélisation est multiple. Une estimation des potentialités d'exploitation des nappes contribue à la définition de l'évolution des conditions de mobilisation de la ressource compte tenu de l'état actuel des connaissances. L'étude concoure également à établir un « état 0 » avant la mise en service des prises ILO, afin de pouvoir évaluer l'influence de celles-ci sur les ressources souterraines. Enfin, elle pourra aussi donner des informations sur l'état des intrusions salines sur ce secteur.

Une fois élaboré, cet outil servira de base à des modélisations plus fines du système au fur et à mesure de l'acquisition de nouvelles données.

I.2 Etudes de références disponibles

Sur la zone d'étude il existe deux modèles mathématiques d'écoulement qui tiennent compte des problèmes de salinisation des aquifères de manière simplifiée :

- « Etude par modèle mathématique de l'aquifère inférieur de la région de Saint-André », ARMINES (P. Combes, E. Ledoux), 1994

- « Modèle mathématique de l'aquifère inférieur de la région de Saint-André », Observatoire Réunionnais de l'Eau, 1999

Le premier, a été réalisé par le bureau d'étude **ARMINES** à la demande du Conseil Général en avril 1994. Développé avec le logiciel Newvar il utilise la méthode des différences finies sur un maillage de type emboîté et affiné localement. Il concerne la modélisation de la nappe de base et a permis d'approcher un schéma de mobilisation de la ressource sur le secteur d'étude compris globalement sur la Plaine alluviale de la Rivière du Mât.

Malgré les approximations sur de nombreux paramètres (côte du toit et du mur de l'aquifère, perméabilité du réservoir, alimentation du système aquifère, etc..) le modèle restitue convenablement les observations effectuées sur la majorité des piézomètres d'observations. Il a permis de montrer, que l'aquifère de base de la Plaine du Mât constitue une ressource en eau pouvant être exploitée globalement à un débit de l'ordre de 500 L/s (1 800 m3/h). Cependant, le modèle n'avait pas vocation de définir à l'échelle du forage la ressource disponible.

Concernant le second modèle, réalisé par **l'Observatoire Réunionnais de l'Eau** en 1999, il s'agit d'apprécier la validité du précédent, de juger de ses possibilités de répondre à de nouveaux problèmes et d'envisager des perspectives d'évolutions potentielles. Le modèle confirme que les grands ordres de grandeur des piézométries mesurées sont respectés mais que les niveaux atteints pendant les cycles secs de 1992 et humides de 1993 n'ont pas été pris en compte pour la validation.

Par conséquent, l'Observatoire Réunionnais de l'Eau estime que l'incertitude sur le potentiel d'exploitation de la nappe de base est de +/- 20%.

II Présentation de la zone d'étude

II.1 Contexte géographique

La zone d'étude se situe au Nord-Est de La Réunion. Elle s'étend sur les communes de Sainte-Suzanne, Saint-André, Bras-Panon, Salazie et Saint-Benoît. La morphologie générale du secteur d'étude correspond à la zone littorale comprise entre le trait de côte à l'Est et la base des planèzes à l'Ouest.

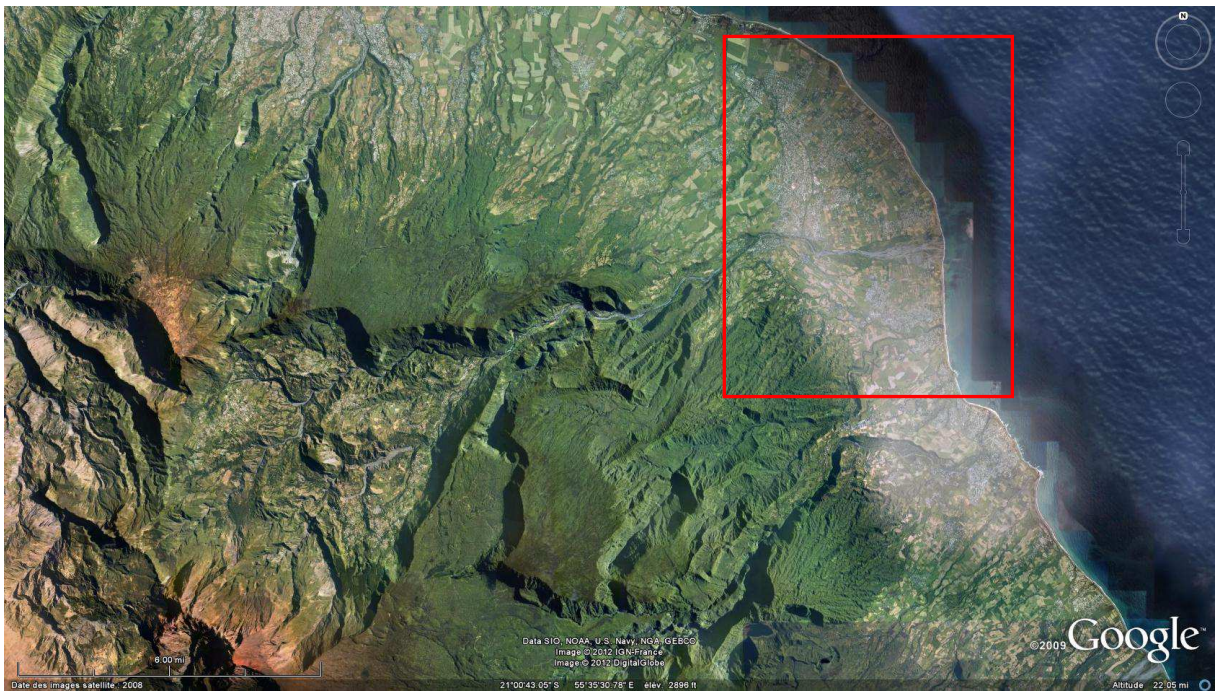


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

II.2 Contexte climatique et pluviométrique

Situé à proximité immédiate du tropique du Capricorne dans le Sud-Ouest de l'Océan Indien, l'île de La Réunion est caractérisée par un climat tropical. Cependant, plus de 300 microclimats sont recensés sur l'île. L'alternance de deux saisons est assez bien marquée avec un « été » chaud et humide de novembre à avril et un « hiver » plus frais et plus sec de mai à octobre.

A l'Est, la côte au vent reçoit tout au long de l'année les entrées maritimes en provenance de l'Océan Indien. C'est la partie la plus arrosée de l'île. Les précipitations importantes varient selon la saison et avec l'altitude. Les températures « tropicales » évoluent de la même façon dans l'espace et dans le temps.

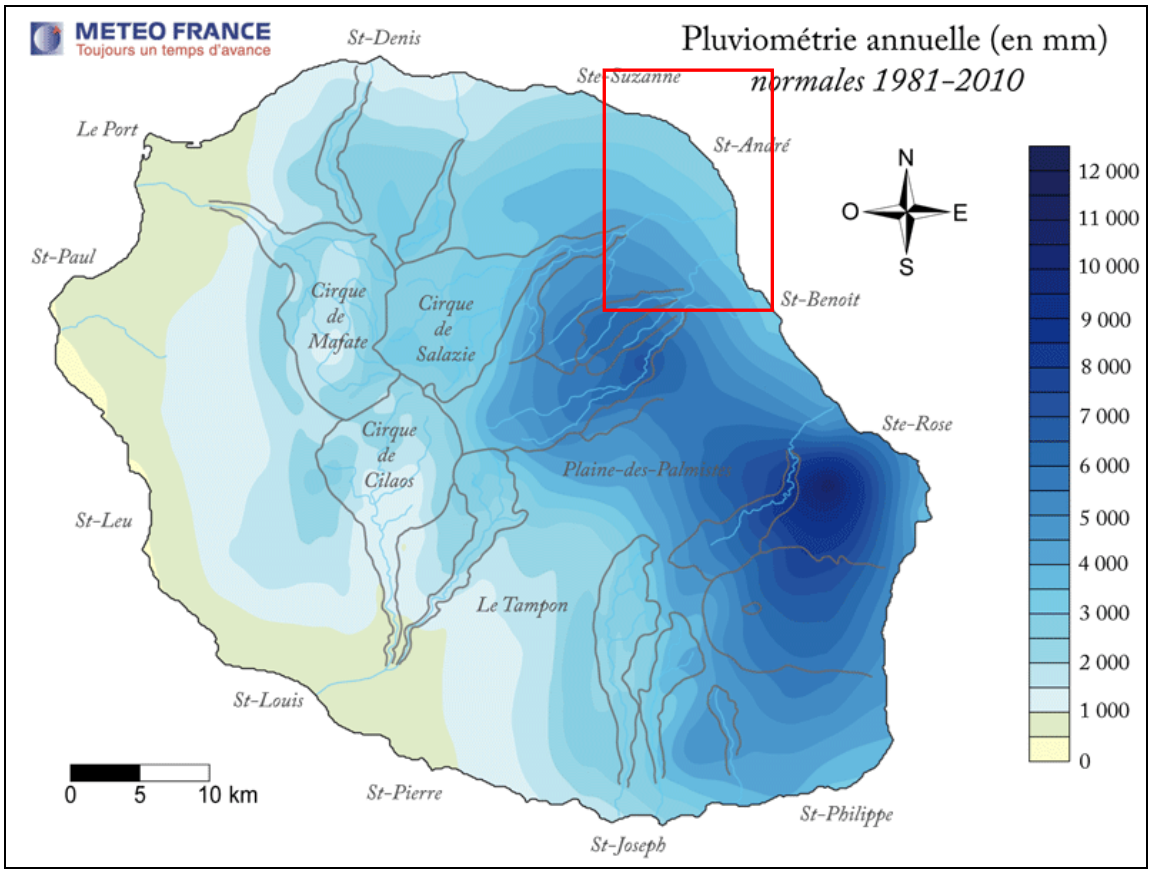


Figure 2 : Pluviométrie annuelle – Normales 1981-2010

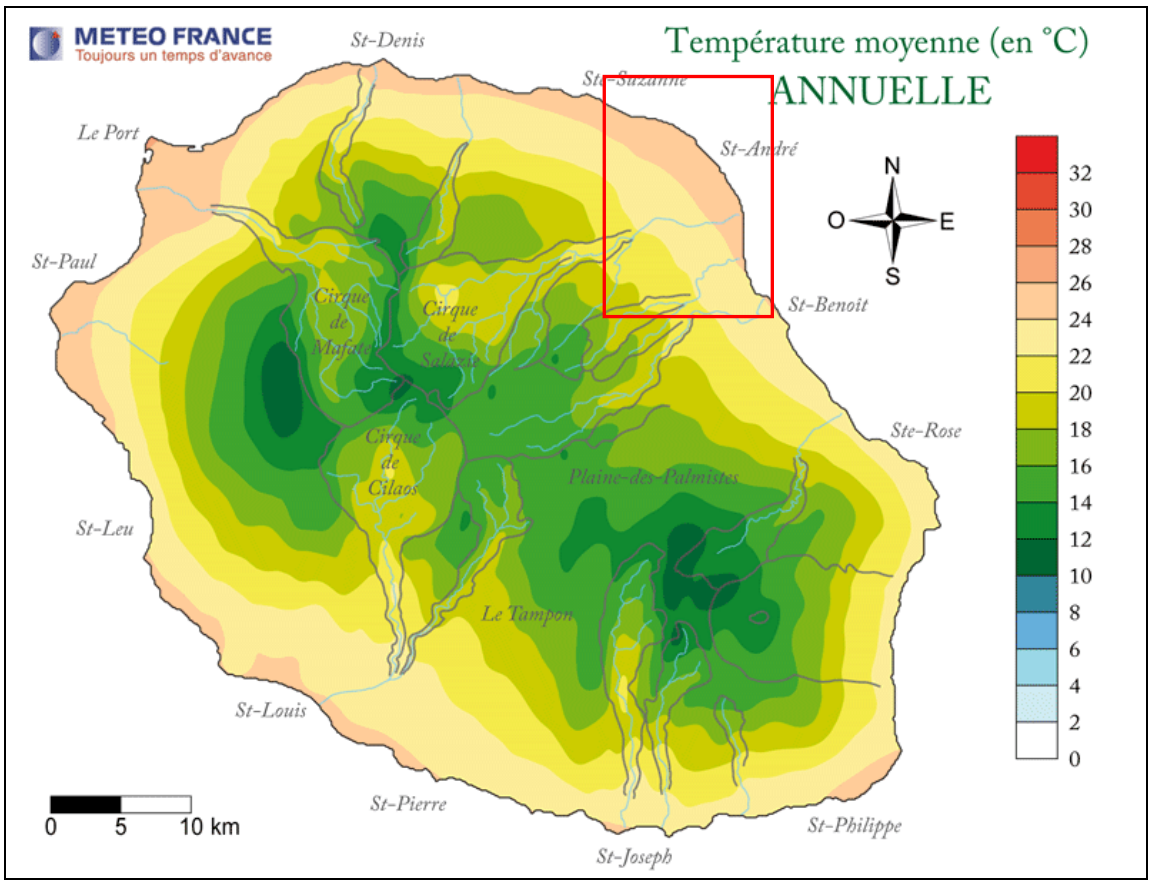


Figure 3 : Température moyenne annuelle – Carte de répartition (2010)

La figure 2 présente les normales pluviométriques sur la période 1981 - 2010. Cette carte illustre bien l'inégale répartition spatiale des précipitations. La zone d'étude est concernée par des cumuls annuels compris entre 2 500 mm et 6 000 mm.

Les températures moyennes annuelles au niveau du littoral sont relativement élevées. Elles sont présentées sur la figure 3. Sur la zone d'étude, elles varient de 18°C à 28°C.

II.3 Contexte hydrologique

La figure 4 présente le réseau hydrographique sur le quart Nord-Est de La Réunion ainsi que les nombreuses sources associées.

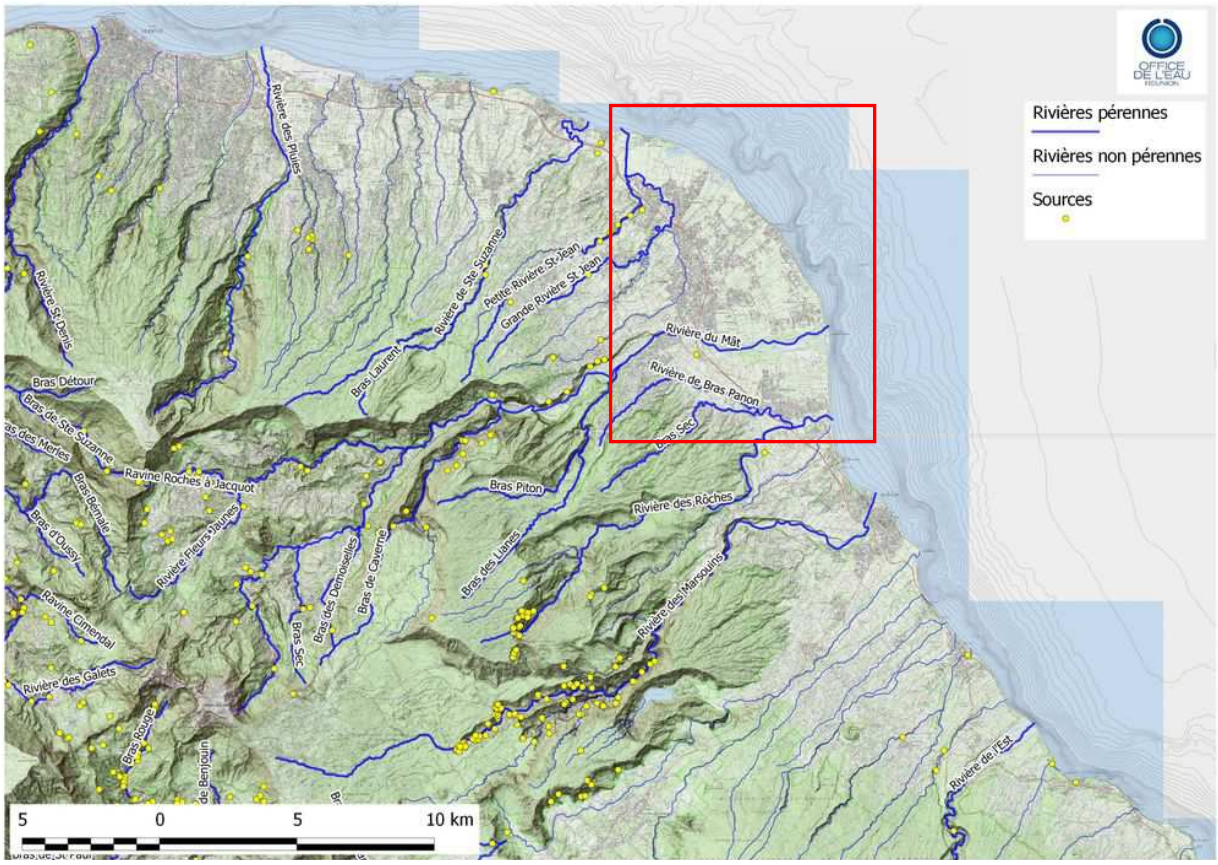


Figure 4 : Carte des rivières et des sources au Nord-Est de La Réunion

La zone d'étude, est traversée par un réseau de rivières pérennes et de cours d'eau temporaires relativement dense. La Rivière du Mât traverse la plaine alluviale d'Ouest en Est alors que les autres cours d'eaux principaux (Bras-Sec, Bras-Panon, Rivière des Roches et la Rivière Saint-Jean) s'écoulent sur les planèzes en bordure du cône alluvial en longeant le contact basalte – alluvions jusqu'à la mer.

II.3.1 La Rivière du Mât

Elle prend sa source dans le cirque de Salazie au pied du Piton des Neiges et draine tous les écoulements à l'intérieur de ce cirque. Son affluent principal à l'intérieur du cirque est la Rivière Fleurs Jaunes. Elle est également rejointe par de nombreux cours d'eau dont certains prennent leurs sources sur la forêt de Bélouve et la forêt départementale de la Plaine des Lianes :

- Bras sec,
- Bras des Demoiselles,
- Bras de Caverne (forêt de Bélouve),
- Bras des Lianes (Forêt de la Plaine des Lianes).

La superficie de son bassin d'alimentation est d'environ 144.5 km².

Plusieurs bilans hydrométriques, depuis 1993, permettent de détailler le fonctionnement de la Rivière du Mât :

- De la confluence Fleurs Jaunes - Rivière du Mât au pont de la R.N.2 : une zone d'apport comprenant deux affluents (Bras des Lianes et Bras de Caverne) et des apports diffus (sources de pied rempart, apports souterrains,..).

- Du pont de la R.N.2 à l'embouchure : une zone où l'infiltration est dominante. Cette infiltration constitue une part des apports de la nappe alluviale de la Rivière du Mât.

Le bilan hydrologique de la Rivière du Mât effectué en octobre 2002 est présenté en annexe 1.

II.3.2 La Rivière Saint-Jean

La Rivière Saint-Jean composée d'un grand et d'un petit bras prend sa source dans les hauteurs de la Plaine des Fougères, vers 1 000 m d'altitude, en bordure de remparts du cirque de Salazie.

La superficie de son bassin d'alimentation jusqu'au niveau de la confluence entre le grand et le petit bras est de 34.9 km².

Un bilan hydrologique de la Rivière Saint-Jean est présenté en annexe 1.

II.3.3 Le Bras-Panon

Ce cours d'eau se situe sur la partie sud-ouest du secteur étudié. Il prend sa source sur la Plaine des Lianes, à proximité de Bellevue les hauts à environ 600 m d'altitude. Son principal affluent est le Bras Sec qui prend sa source plus au sud vers 800 m d'altitude.

La superficie de son bassin versant est de 21.6 km² jusqu'à la confluence avec le Bras Sec.

Un bilan hydrologique du Bras-Panon est présenté en annexe 1.

II.3.4 La Rivière des Roches

C'est une rivière qui draine une partie importante du secteur est de l'île. Elle traverse une grande partie de la Foret départementale du piton Papangue. Elle prend sa source sur le Plateau Mazerin à plus de 1900 m d'altitude.

Elle est rejointe par de nombreux affluents et la superficie de son bassin versant est de 40.2 km² jusqu'au pont de la RN2.

Un bilan hydrologique de la Rivière des Roches est présenté en annexe 1.

II.3.5 Les sources et les cours d'eau non pérennes

A de très rares exceptions, la plupart des cours d'eau temporaire sont en réalité des affluents de rivières pérennes sur ce secteur. Ce type de cours d'eau se retrouve généralement en amont des bassins versants de la rivière pérenne à laquelle ils sont liés, comme par exemple pour la Grande Rivière Saint-Jean, la Rivière des Roches ou encore la Rivière des Marsouins.

Les résurgences sont pour la plupart réparties dans le fond du lit des rivières et contribuent à leur alimentation. Elles se retrouvent essentiellement sur les parties amont des bassins versants et sont visibles dans les profondes incisions du massif volcanique provoquées par l'érosion des rivières.

II.4 Contexte géologique et hydrogéologique

La géologie de la zone d'étude a été définie dans un premier temps avec la carte géologique au 1/50000ème (annexe 2). Les terrains à l'affleurement sont relativement différents. Des alluvions de natures et d'âges différents se retrouvent principalement en bordure littorale et des basaltes de phases II, III et IV sur les planèzes qui correspondent au flanc du volcan bouclier lors de sa mise en place.

Les terrains du bouclier ancien (phase I et II) ont été profondément érodés lors d'une période de répit de l'activité volcanique longue de 80 000 ans. Sur la zone littorale, des alluvions anciennes ont été déposées aux débouchés des paléovallées creusées dans le bouclier ancien. Puis ces terrains ont été recouverts, suite à un regain d'activité, par des coulées plus récentes du Piton des Neiges (phases III et IV), comblant les paléovallées et recouvrant tout le massif selon la même alternance coulées massives / scories de basaltes alcalins.

La plaine alluviale associée à la Rivière du Mât est constituée par un épais tapis de matériaux détritiques hétérogènes, typiques des cônes alluvionnaires qui repose sur un substratum volcanique reconnu par forages. Son extension est limitée de part et d'autres par les planèzes du Piton des Neiges. Celle en rive droite, au niveau de la Plaine des Lianes, possède un relief accidenté marqué par de nombreuses ravines. Les terrains sont attribués aux formations indifférenciées de phase II. En rive gauche, sur la Plaine des Fougères, le relief est plus régulier et les terrains sont représentés par des coulées plus récentes de phase IV.

Les formations volcaniques ont été recoupées par plusieurs forages :

- En rive droite à l'amont (forage Bengalis, 12272X0064/FORAGE) les alluvions surmontent des basaltes altérés puis des basaltes à olivine, vacuolaire scoriacé de phase II à environ 170 m de profondeur (-60 mNGR). Un paléosol limono-argileux de 3 mètres d'épaisseur est intercalé entre les formations basaltiques et alluvionnaires.
  A l'aval (forage Ma Pensée, 12273X0019/P19), les alluvions reposent sur une coulée boueuse d'une dizaine de mètres d'épaisseur à 64 mètres de profondeur (-50 mNGR) qui repose elle-même sur des formations basaltiques de phase III plus ou moins scoriacées et altérées à partir de -75 mNGR.
  Entre ces deux points le substratum basaltique n'a pas été identifié jusqu'à -212 mNGR (forage Paniandy, 12273X0010/F et Carreau Morin, 12272X0192/F). Cependant, les conditions de réalisation de l'ouvrage ont sûrement faussé l'interprétation de la coupe géologique de forage.

- En rive gauche à l'amont (forage Ravine Creuse, 12273X0011/F) les formations basaltiques ont été recoupées à 116 mètres de profondeur (-45 mNGR) sous un épais tapis d'alluvions intercalé par une coulée boueuse de plus de 10 mètres d'épaisseur. A l'aval (forage P14 Champ Borne,

12273X0009/P14) des formations d'alternance de basalte sains et de formations scoriacées sont identifiées à 124 mètres de profondeur (-100 mNGR). Ces horizons basaltiques sont surmontés par des alluvions globalement imperméables intercalés par un paléosol de quelques mètres à partir de -60 mNGR.

Les formations alluvionnaires remplissent tout le secteur de la plaine alluviale. La géométrie de cet ensemble est mal connue mais son épaisseur peut être considérable (280 m au forage Paniandy, 167m au forage Bengalis, 124m au forage P14 Champ Borne,..). La nature de ces formations est assez hétérogène, avec des alternances et des mélanges d'alluvions perméables, imperméables, limoneuses, graveleuses, avec des éléments basaltiques plus ou moins altérés. Des traces de coulées boueuses et de paléosols sont observées, intercalées à travers les dépôts alluvionnaires.

Le contexte hydrogéologique de ce secteur est relativement mal connu, vu le faible nombre d'ouvrages de reconnaissance sur le secteur. Néanmoins, les différents forages profonds ont systématiquement mis en évidence deux nappes superposées.

La nappe inférieure peut être assimilée à la nappe de base. Les nappes rencontrées plus en surface ne sont pas continues et représentent un ensemble plus ou moins bien connecté de nappes perchées dont les relations avec la nappe de base sont mal connues. Enfin, une nappe alluviale liée à la Rivière du Mât, dont les variations sont plurimétriques, a été mise en évidence par deux forages (S3 Citronniers et S2 Rivière du Mât).

La structure hydrogéologique de la Plaine du Mât peut être conceptualisée avec :

- Une **nappe de base** bien identifiée dans la plaine de part et d'autres de la Rivière du Mât
- Des **nappes supérieures** (perchées) plus ou moins bien connectées entre elles et avec la nappe de base,
- Une **nappe alluviale** directement liée à la Rivière du Mât.

La figure 10 du paragraphe III.3 illustre ce complexe de nappes superposées en mettant en évidence les niveaux piézométriques différents des ouvrages sur ce secteur. Deux familles de piézomètres se distinguent :

- Une famille présentant des variations plurimétriques et un cycle hautes eaux / basses eaux (HE/BE) bien marqué,
- Une seconde famille avec des piézométries moins importantes, et des variations annuelles de faibles amplitudes.

III Inventaire et interprétation des données disponibles

Les données recueillies traitant du domaine d'étude permettent d'établir un modèle conceptuel hydrogéologique du système aquifère associé à la Rivière du Mât. Les données nécessaires à cette approche sont les suivantes :

- Topographie du secteur,
- Formations et structures géologiques (carte, coupes et études),
- Données climatiques (pluviométrie et évapotranspiration),
- Données hydrométriques (débit et infiltration des cours d'eau),
- Données piézométriques (mesures instantanées, moyennes journalières),
- Exploitation des aquifères.

III.1 Données climatiques

III.1.1 Pluviométrie

Sur la zone d'étude, 8 postes pluviométriques ont été utilisés (tableaux 1 et 2, Figure 17), suivis pour la plupart par Météo France. Pour certains d'entre eux la durée des chroniques est de plusieurs dizaines d'années.

Station pluviométrique	Altitude (mNGR)	Chronique
BOIS-ROUGE	3	1992-2010
BEAUVALLON	16	1992-2010
LE COLOSSE	16	1992-2002 ; 2004-2009
MENCIOL	181	1992-2010
BRAS-PANON	480	1993-2002 ; 2004-2005 ; 2007-2009
BELOUVE	1500	1992-2002 ; 2004-2009
BRAS-PISTOLET	555	2003-2005 ; 2008-2009
TAKAMAKA-12	660	1992-2002 ; 2004-2009

Tableau 1 : Les postes pluviométriques du secteur d'étude

	BELOUVE	TAKAMAKA-12	BRAS-PANON	BEAUVALLON	LE COLOSSE	MENCIOL	BRAS-PISTOLET	BOIS-ROUGE
1992	2038.5	5317	2852.6	1898.3	1432	2653.3	-	1456.5
1993	4750.5	7349	7563.8	5442	3240.8	5130.7	-	3505
1994	2249.7	5811	3688.6	2031.6	1540.3	2744.9	-	1675
1995	3479	7115	4708.6	3610	1244.8	4586	-	3017.5
1996	3040	5833.2	3941.5	2517.8	1216.4	3054.5	-	1822.5
1997	2677	7044	4702	3066	1760.8	3651.5	-	2122.8
1998	4369	8248	5392.4	3722.7	3271.8	5011.5	-	2912.8
1999	2463	6037.5	3856	2803.5	1721	2962	-	1673
2000	3402	5744.5	3913.6	2981	1804	3464.5	-	1569.5
2001	2079	5520	3746.6	3024.9	1877.5	3017.2	-	1614.8
2002	4431.1	8536.8	4822.6	3209	2412.7	3740.6	478.6	2098.8
2003	-	-	-	378	-	3508.8	5004.2	2546.8
2004	3958	8397.4	5306	3834.2	2894.6	3453.4	5177.2	2932.8
2005	3187.6	6847.5	5490.4	3612.6	2970.6	3441.6	5133.8	2969.3
2006	4957.4	7156.6	5042.6	3164.3	2872.3	2963.1	2810.9	2624.7
2007	6157.5	7131.8	4423.6	2852.8	2484.1	2807.2	1440.2	2518.7
2008	4512	8422.5	5253.4	3223.2	2741	2794	4860.6	2676.5
2009	3665.6	6227.3	4594.2	3099.2	2655.1	2691.4	4090.2	2409.3
2010	2116.6	3889.6	2940.2	1882.8	1752.4	1940.4	2278.2	1668.8

Tableau 2 : Chroniques annuelles des postes pluviométriques (mm/an)

III.1.2 Évapotranspiration

Les données d'évapotranspiration potentielle ont été calculées par le CIRAD pour la zone Nord et Est de la Réunion. Des valeurs par décades sont définies auxquelles il faut retrancher un gradient d'altitude suivant l'emplacement de la station étudiée (Tableau 3).

ETP_CIRAD (zone NORD et EST)			
Mois	**Décade**	**ET0 Nord_Est (mm/j)**	**Gradient Nord_Est (/100m)**
Janvier	1	4.88	-0.18
	2	4.98	-0.15
	3	4.8	-0.14
Fevrier	4	4.85	-0.19
	5	4.53	-0.15
	6	4.55	-0.14
Mars	7	4.68	-0.17
	8	4.31	-0.16
	9	4.42	-0.16
Avril	10	4.2	-0.15
	11	3.74	-0.13
	12	3.64	-0.15
Mai	13	3.32	-0.12
	14	3.17	-0.1
	15	2.98	-0.11
Juin	16	2.93	-0.1
	17	2.86	-0.11
	18	2.72	-0.1
Juillet	19	2.77	-0.11
	20	2.84	-0.11
	21	3.02	-0.12
Aout	22	3.06	-0.11
	23	3.31	-0.12
	24	3.42	-0.14
Septembre	25	3.8	-0.13
	26	3.73	-0.12
	27	4.21	-0.15
Octobre	28	4.4	-0.16
	29	4.07	-0.15
	30	4.5	-0.17
Novembre	31	4.6	-0.17
	32	5	-0.19
	33	4.91	-0.15
Decembre	34	4.81	-0.19
	35	4.63	-0.16
	36	4.89	-0.17

Tableau 3 : Données d'évapotranspiration pour la zone nord et est de la Réunion

III.2 Données géologiques

Les données recensées sur le secteur d'étude sont :

- La carte géologique de la Réunion au 1/50000ème (BRGM),
- Les coupes géologiques de forage (BSS),
- Les études géologiques et géophysiques.

III.2.1 La carte géologique

La géologie de la zone d'étude a pu être définie dans un premier temps à partir de la carte géologique de la Réunion au 1/50000ème présentée en annexe 2.

Globalement, au débouché du cirque de Salazie, la Rivière du Mât a contribué à la formation d'une importante plaine alluviale qui s'étale de Sainte-Suzanne au Nord jusqu'à la Rivière des Roches au Sud.

La couverture de terrains différenciés (phase III-IV) semble plus importante sur la Plaine des Fougères que sur la Plaine des Lianes. Les terrains constituant les planèzes sont

entaillés par un réseau hydrographique dense qui draine une surface considérable avant d'atteindre l'océan.

III.2.2 Coupes géologiques de forages et données hydrodynamiques

Le BRGM gère la Banque de données du sous-sol (BSS) qui a pour objectif de répertorier tous les ouvrages existants dont la profondeur est supérieure à 10m.

Plusieurs ouvrages ont permis d'affiner les connaissances du sous-sol sur le secteur. Leurs coupes de forage et l'interprétation d'essais de pompages ont permis d'affiner les connaissances du sous-sol sur le secteur, d'appréhender sa géométrie, son fonctionnement hydrogéologique et ses caractéristiques hydrodynamiques. La figure 5 présente la répartition des ouvrages répertoriés dans la BSS, dont certains ont permis la réalisation de coupes géologiques sériées sur le secteur de la Plaine du Mât (figues 6 et 7).

L'annexe 3 présente les caractéristiques techniques, hydrogéologiques et hydrodynamiques de chaque ouvrage.

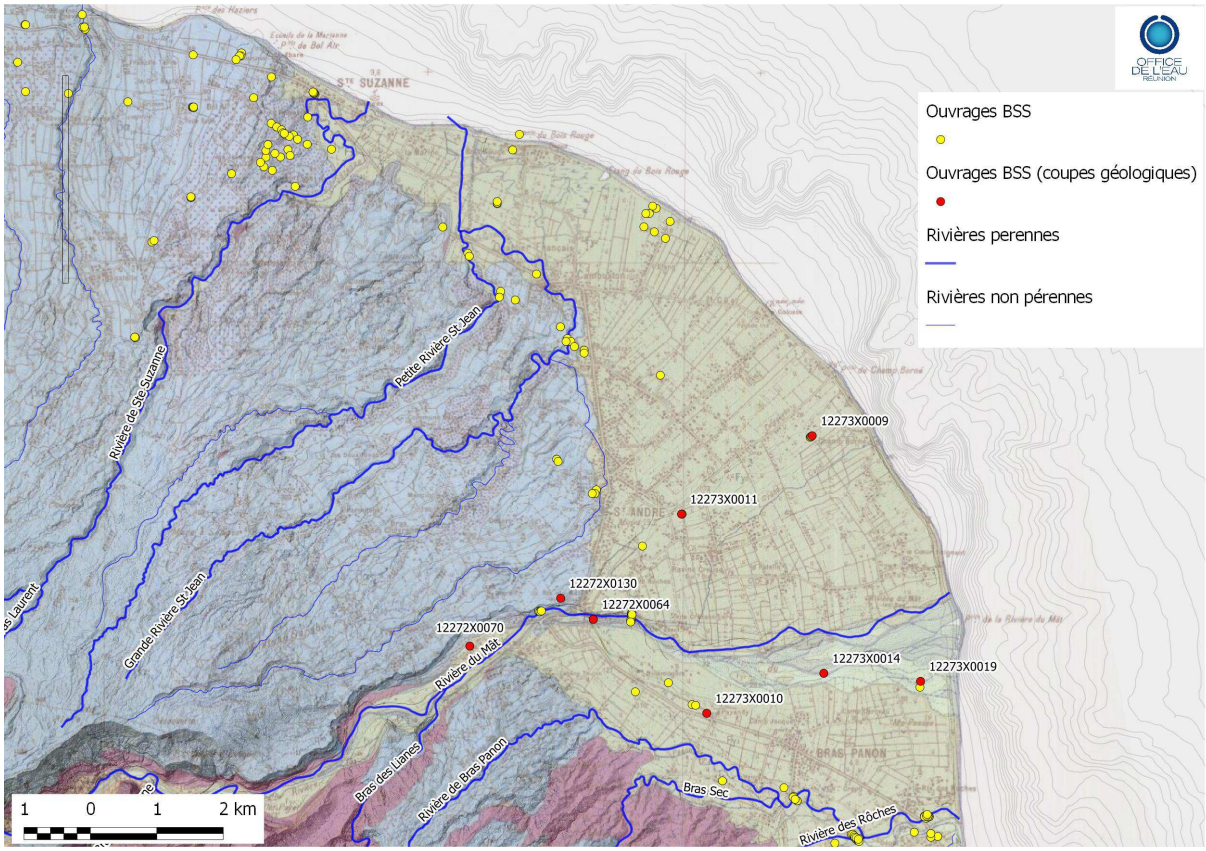


Figure 5 : Localisation des sondages et forages supérieur à 20 mètres (BSS, BRGM)

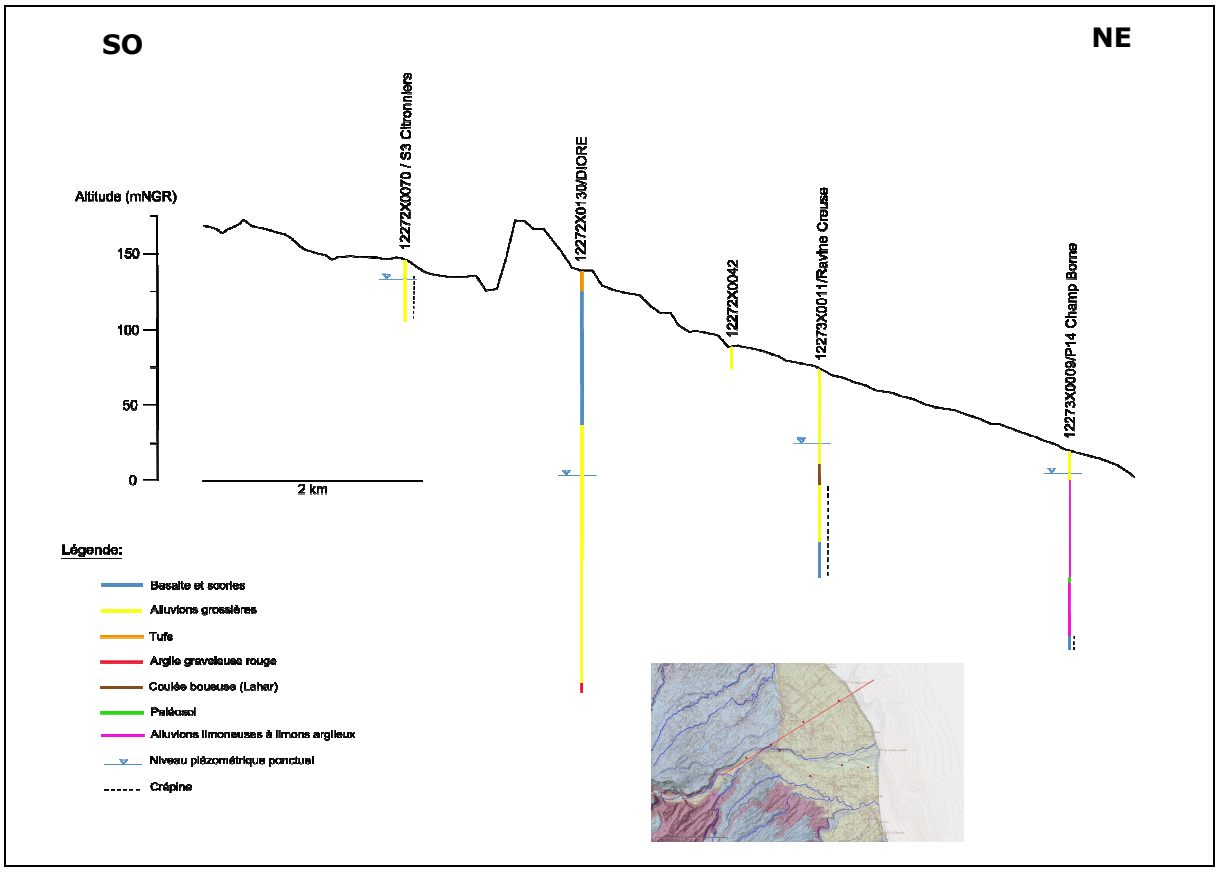


Figure 6 : Coupe géologiques SO-NE sur la Plaine alluviale de la Rivière du Mât

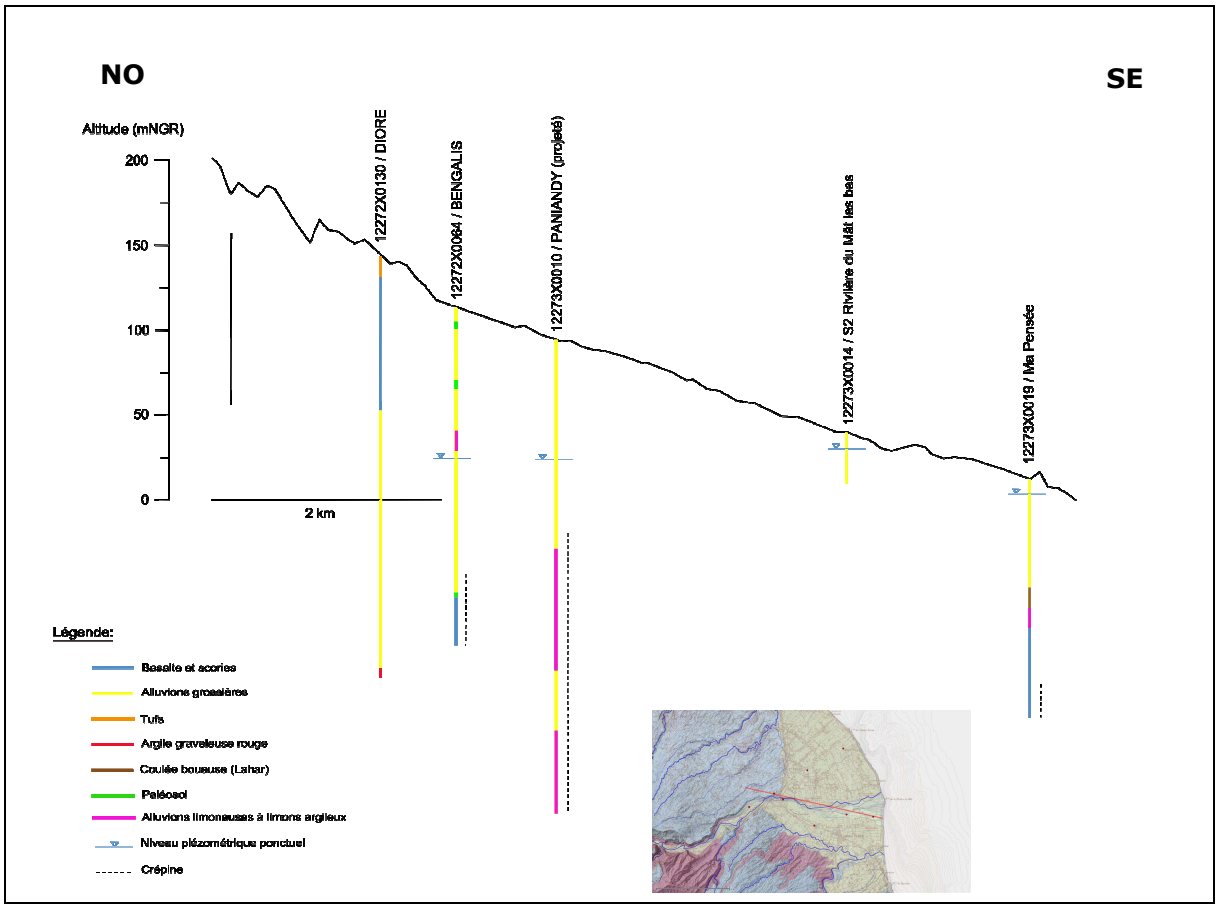


Figure 7 : Coupe géologiques NO-SE sur la Plaine alluviale de la Rivière du Mât

Les deux coupes sériées ci-dessus (figures 6 et 7) illustrent l'hétérogénéité structurale importante de la plaine alluviale. Des épaisseurs considérables d'alluvions grossières sont recoupées sur la plupart des forages profonds et sont intercalées par des formations plus ou moins imperméables de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres.

Localement, d'épaisses séries d'alluvions limoneuses (Paniandy et P14 Champ borne) de plusieurs dizaines de mètres ont été mises en évidences.

De manière générale, les formations basaltiques ont été recoupées sous les séries De manière générale, les formations basaltiques ont été recoupées sous les séries alluvionnaires, sauf à l'amont en rive gauche (Dioré) où une épaisse série basaltique surmonte une centaine de mètres d'alluvions. Cet empilement particulier prouve que l'activité volcanique du Piton des Neiges a été contemporaine des dépôts d'alluvions sur ce secteur de l'île. Localement des alluvions plus limoneuses, des argiles, des coulées boueuses, voir la formation de paléosols ont été mis en évidence ce qui atteste d'une mise en place longue et complexe du cône alluvial.

L'histoire de la formation de cette plaine alluviale, où l'alternance de période de dépôts et de périodes d'érosion aboutit aujourd'hui à une structure géométrique très hétérogène d'un point de vue hydrodynamique, à travers laquelle les circulations souterraines sont nécessairement non uniformes et difficiles à appréhender de manière précise. Les niveaux piézométriques relevés permettent de distinguer une nappe inférieure (nappe de base) ayant un gradient hydraulique faible et localement des nappes supérieures qui peuvent être assimilées :

- soit à des nappes perchées
- soit à une nappe alluviale pour des ouvrages à proximité immédiate de la rivière (S3 Citronniers et S2 Rivière du Mât les bas).

III.2.3 Les études géophysiques

Les études géophysiques sont très intéressantes, en complément des coupes géologiques de forages, pour préciser la cartographie « en grand » du toit et du mur du réservoir aquifère, et des structures particulières susceptibles d'exister.

Les campagnes géophysiques recensées sur le secteur sont les suivantes :

- Etude du cône alluvial de la Rivière du Mât – Reconnaissance géophysique par sondages électriques et gravimétrie (Note de synthèse) – CG974,

- Nappe alluviale Rivière du Mât – Étude géophysique – CEBTP, 1989.

Les reconnaissances géophysiques réalisées sur le cône alluvial de la Rivière du Mât confirment la complexité du contexte géologique à la fois dans sa structure et dans l'organisation des différentes entités géologiques. Les forages existants ne donnent qu'une image très partielle de la géométrie des différentes couches géologiques du secteur étudié.

La structure géométrique de ce secteur, issue de l'interprétation des campagnes géophysiques, peut se schématiser de la façon suivante :

- Les versants sont constitués par un empilement d'une épaisse série de basalte de phase II, recouvert par les formations de phase III et IV du Piton des Neiges,

- Au pied des versants, les alluvions (et colluvions) très hétérogènes, d'une épaisseur pouvant dépasser plusieurs centaines de mètres (Paniandy), reposent sur des basaltes de phase II ou de phase III,

- L'hétérogénéité des formations de la plaine alluviale est marquée par l'alternance d'alluvions plus ou moins grossières, localement intercalées par des coulées boueuses ou des Tufs.

Deux systèmes aquifères ont été identifiés :

- Une ou plusieurs nappes superficielles, plus ou moins connectées entre elles, au sein des formations alluvionnaires,

- La nappe de base située dans les alluvions et/ou dans les basaltes.

D'autres études géophysiques réalisées sur le secteur compris entre Sainte-Marie et Sainte-Suzanne, permettent par analogie et extrapolation d'imaginer la structure géométrique des formations de la planèze en rive gauche de la Rivière du Mât :

- Recherche en eau dans la région de Sainte-Suzanne – HORIZONS, 1995,

- Sainte-Suzanne, secteur Bel Air – Prospection géophysique complémentaire, synthèse hydrogéologique – HORIZONS, 1999,

- Étude géophysique du complexe aquifère littoral et du substratum général de la nappe de base – COMPAGNIE GÉNÉRALE DE GÉOPHYSIQUE, 2002.

La figure 8 représente le schéma interprété du sous-sol en bordure littorale de l'étude de 1995 citée précédemment. Elle illustre le plongement des formations de phases II vers l'Est, surmontées par des formations de laves différenciées (phase III et IV). Cette couverture de matériel plus jeune est elle-même intercalée par un ensemble de formations plutôt imperméables (Tufs, basalte altérés de phase III, coulées boueuses) qui plonge et s'épaissit vers l'Est.

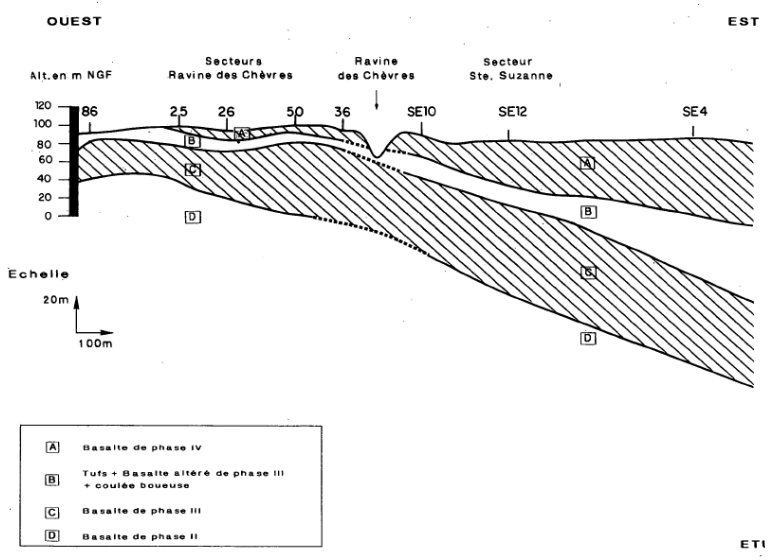


Figure 8 : Interprétation des coupes géoélectriques réalisées pour le Conseil Général (Horizons, 1995)

III.3 Détermination du fonctionnement des nappes de la plaine alluviale

L'Office de l'Eau Réunion dispose d'un réseau de suivi piézométrique qui permet d'approcher le comportement souterrain des écoulements. Pour la plupart des ouvrages les chroniques de données acquises sont supérieures à 10 ans à des pas de temps plus ou moins court allant de relevés mensuels à des données journalières.

La figure 9 et le tableau 4 présentent leurs emplacements, leurs caractéristiques ainsi que la durée de leur chronique.

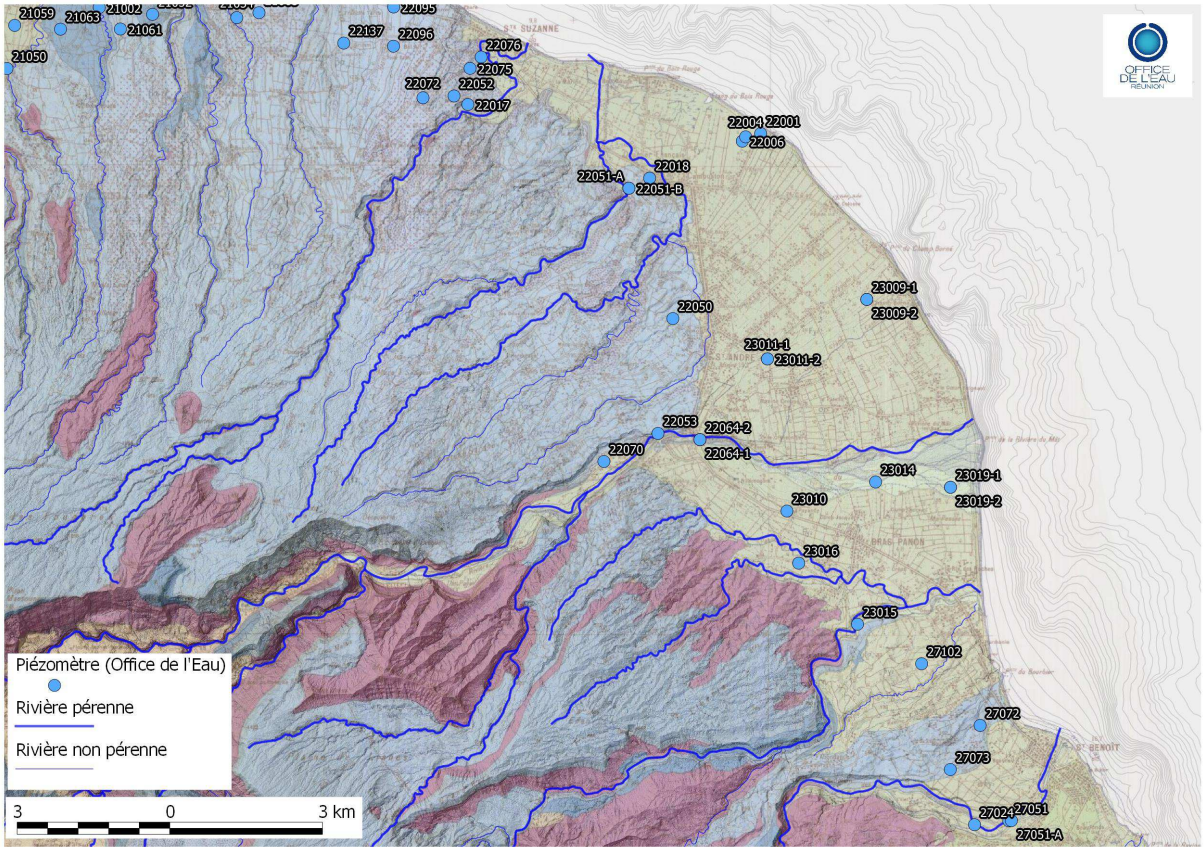


Figure 9 : Réseau de suivi piézométrique de l'Office de l'Eau – fond géologique

Code office	Code bss	Nom usuel	Commune	Chronique	type de suivi
23010	12273X0010/F	Forage Paniandy	Bras Panon	1993-1996	instantanée
23014	12273X0014/S2	S2 Rivière du Mât les Bas	Bras Panon	1991-2012	continue
23016	12273X0016/S5	Piézo S5 le Refuge	Bras Panon	2003-2006	instantanée
22064-1	12272X0167/S1	Piezo S1 Bengalis	Bras Panon	1992-2011	instantanée
22064-2	12272X0064/FORAGE	Forage Bengalis , n°2	Bras Panon	1993-2010	continue
22001	12272X0001/F	Puits Robert Cambuston	Saint-André	1990-2003	continue
22004	12272X0004/F	Puits Taïllé chemin de l'Etang Cambuston	Saint-André	1988-1991	instantanée
22006	12272X0006/F	Puits Checkouri chemin de l'Etang Cambuston	Saint-André	1988-1991	instantanée
22050	12272X0050/F2-BIS	Forage F2-BIS d'exploitation Terre Rouge	Saint-André	1989-1997	instantanée
22070	12272X0070/S3	S3 Citronniers	Saint-André	1991-2012	continue
23009-1	12273X0067/P14A	Piézo P14-A Champ Borne	Saint-André	1990-2012	instantanée
23009-2	12273X0009/P14	P14 Champ Borne n°2	Saint-André	1990-2012	continue
23011-1	12273X0068/F1	Forage F1 Ravine Creuse n°1	Saint-André	1992-2008	instantanée
23011-2	12273X0011/F	Forage Ravine Creuse , n°2	Saint-André	1992-2008	continue
23015	12273X0015/S4	Forage S4 ch. la Paix Rivière des Roches	Saint-Benoît	1991-2003	instantanée
22051-B	12272X0051/F1-BIS	Forage F1-BIS Sainte Vivienne (aval) Quartier Français	Sainte-Suzanne	1986-1989	instantanée

Tableau 4 : Sites de mesures piézométriques de l'Office de l'Eau

Le comportement hydrogéologique de la Plaine du Mât a été décrit en 1999 (Rapport ORE, 1999) et peux être conceptualisé avec :

- **une nappe de base** bien identifiée dans la plaine de part et d'autre de la Rivière du Mât, avec une extension au Sud qui atteint la Rivière des Roches et au Nord avec une limite dans le secteur de Cambuston. Son extension en mer est probable au Nord du fait des piézométries élevées proches de la côte (P14 Champ Borne) même si une autre interprétation est possible en considérant une diminution des perméabilités limitant l'écoulement vers la mer. Les informations issues du forage Ravine Creuse montrent que, sur ce secteur amont, des discontinuités apparaissent avec l'existence de formations basaltiques de phase III mais l'alimentation y semble bien marquée. Quant à la planèze rive droite, l'alimentation y semble faible et l'extension de la nappe (en tant qu'entité homogène) limitée au pied de la planèze. Dans l'axe de la rivière, les forages Bengalis et Dioré semblent délimiter un autre secteur en continuité avec la nappe de base et séparé par une zone qui pourrait être marquée soit par une discontinuité géologique soit par une zone de baisse de perméabilité.

- **des nappes supérieures**. Il existe localement des nappes phréatiques discontinues (Cambuston, l'étang, Champ Borne, Ma Pensée) et une nappe supérieure provenant de la planèze rive gauche présente entre le forage Terre Rouge et Ravine Creuse en relation avec la nappe inférieure et qui contribue certainement à alimenter cette dernière. En rive droite, une nappe supérieure peu productive dont les relations avec la nappe de base semblent peu prononcées a été identifiée. De manière générale, les connaissances de ces nappes « perchées » sont peu avancées.

- **une nappe alluviale** dans le secteur du S3 Citronniers et à l'aval dans les alluvions récentes. Elle est alimentée par les pertes de la rivière mises en évidence entre la RN2 et l'embouchure.

La figure 10 illustre ce complexe de nappes superposées en mettant en évidence les niveaux piézométriques différents des ouvrages sur ce secteur.

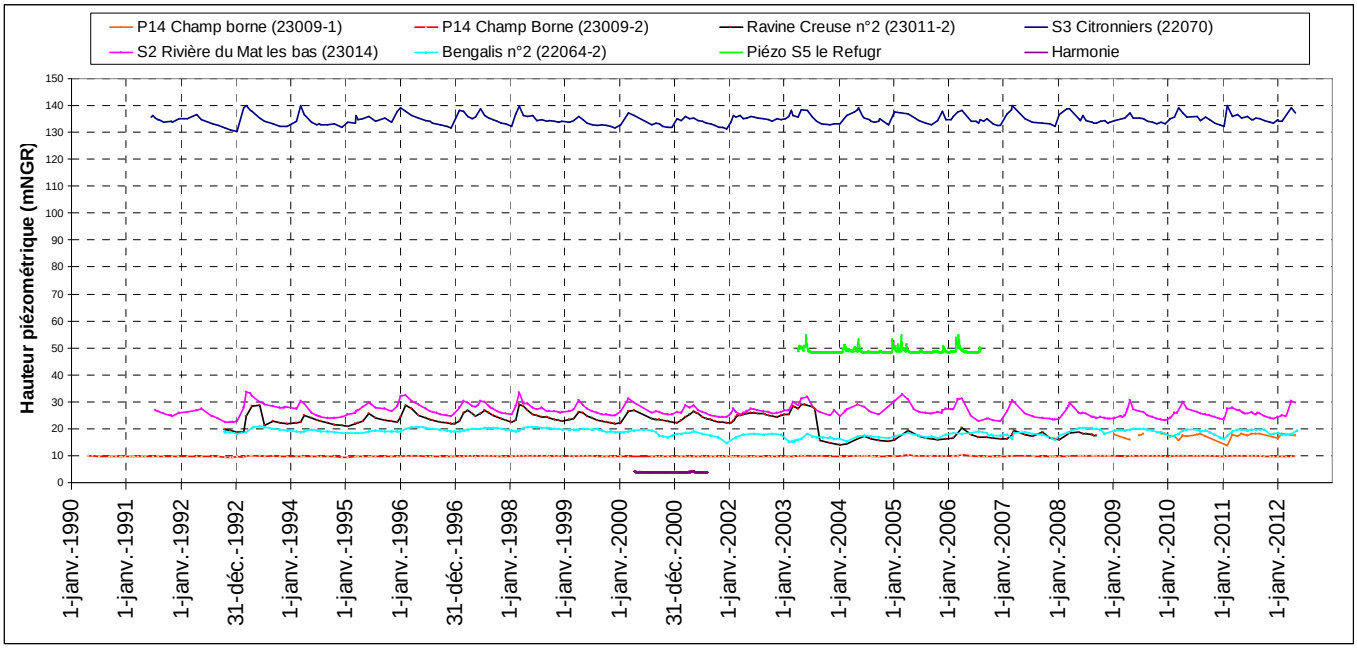


Figure 10 : Chroniques piézométriques sur le secteur de la Plaine du Mât (1990 – 2012)

III.3.1 La nappe alluviale

Le suivi de la nappe alluviale de la Plaine du Mât est effectué par deux piézomètres :

- S3 Citronniers (12272X0070) : Ce piézomètre se situe à proximité de la Rivière du Mât, à la sortie des gorges, juste en amont du début du cône alluvial de la rivière. A cet endroit, la nappe alluviale est restreinte latéralement. Les crépines se situent entre 136.6 et 108.35 mNGR.

- S2 Riv. Du Mât les bas (12273X0014/S2) : Ce piézomètre se situe plus en aval. A son niveau, la nappe alluviale est plus étalée latéralement. Il se situe aussi à proximité du cours d'eau. La crépine se situe entre 34.74 et 12.24 mNGR.

Afin de pouvoir comparer les variations des deux piézomètres, les valeurs piézométriques de S3 citronnier ont été abaissées artificiellement de 110 mètres (figure 11).

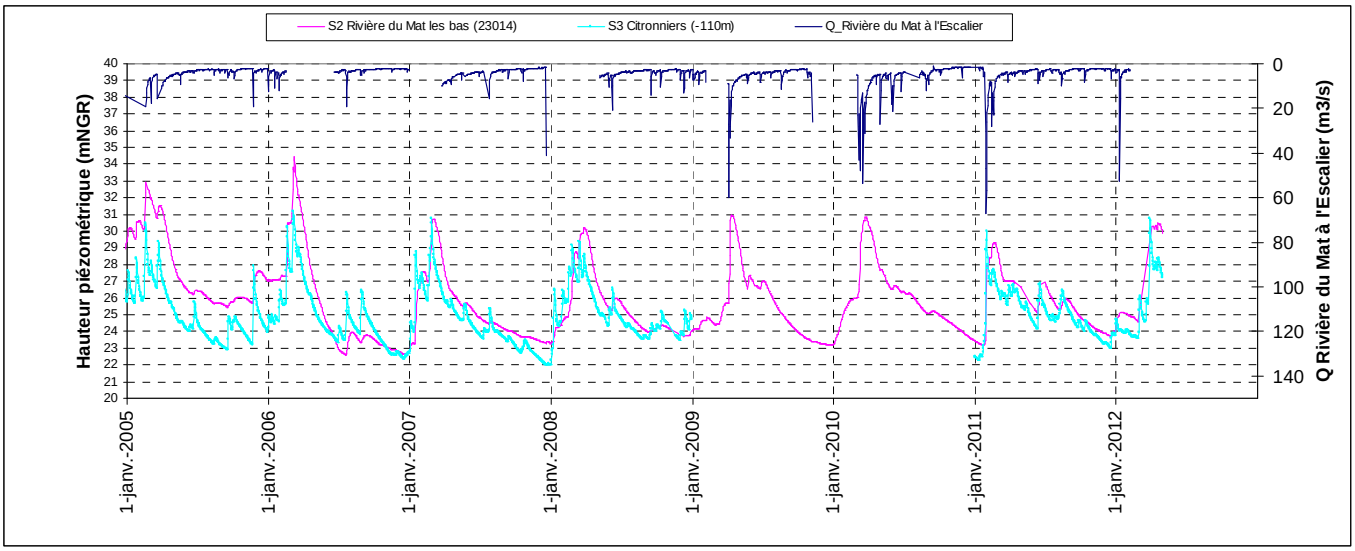


Figure 11 : Variations piézométriques de la nappe alluviale dans le secteur de la Plaine du Mât (2005 – 2012)

Les deux piézomètres ont une amplitude similaire d'ordre pluri métrique. Leurs variations sont très fortement corrélées avec les variations de débit de la Rivière du Mât. Le niveau du piézomètre S3 Citronniers monte et redescend plus rapidement que S2 Rivière du Mât les bas. Ceci s'explique par sa proximité à la rivière et une perméabilité plus grande. S3 Citronniers semble plus dépendant des variations hydrologiques de la Rivière du Mât que S2 Rivière du Mât les bas.

Globalement, ces deux piézomètres qui suivent l'évolution des niveaux piézométriques de la nappe alluviale ont des réponses assez proches.

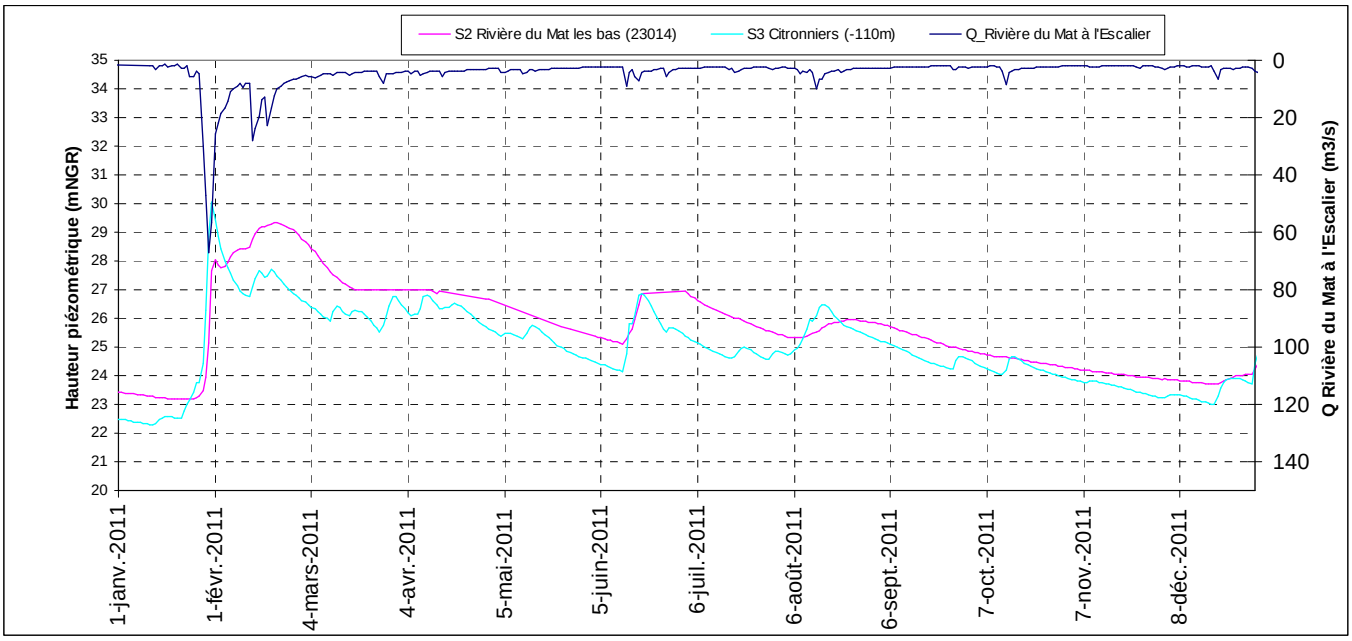


Figure 12 : Variations piézométriques de la nappe alluviale dans le secteur de la Plaine du Mât (2011)

La figure 12 confirme le fait que le piézomètre S3 Citronniers est en relation plus directe avec la rivière que S2 Rivière du Mât les Bas. En effet, les petites variations visibles sur la chronique de S3 confirment une réponse plus rapide de son niveau piézométrique aux variations de débit de la rivière.

A l'inverse, la chronique du piézomètre S2 Rivière du Mât présente un décalage de plusieurs jours entre les pics de crue de la rivière et les maximums piézométriques. La réponse est également plus inertielle.

III.3.2 La nappe inférieure ou nappe de base

Le suivi de la nappe de base est effectué à l'aide de trois piézomètres :

- P14 Champ Borne (12273X0009/P14) : Ce piézomètre se situe en rive gauche de la Rivière du Mât, à proximité du littoral. Il présente des amplitudes de variations de quelques dizaines de centimètres. La crépine se situe entre –100.03 et –106.33 mNGR.

- Bengalis (12272X0064/FORAGE) : Ce piézomètre se situe en rive droite de la Rivière du Mât, à proximité de cette dernière, ses amplitudes de variations sont plus importantes de l'ordre de 2 à 3 m. La crépine se situe entre –41.6 et –85.1 mNGR.

- Ravine Creuse n°2 (12273X0011/F) : Ce piézomètre se situe en rive gauche de la Rivière du Mât, à environ 3 kilomètres du littoral. L'amplitude des variations piézométriques est similaire au forage Bengalis de l'ordre de 3 à 4 mètres mais sont moins étalées dans le temps et semblent plus réactives en fonction des précipitations. La crépine se situe entre –27.62 et –68.62 mNGR.

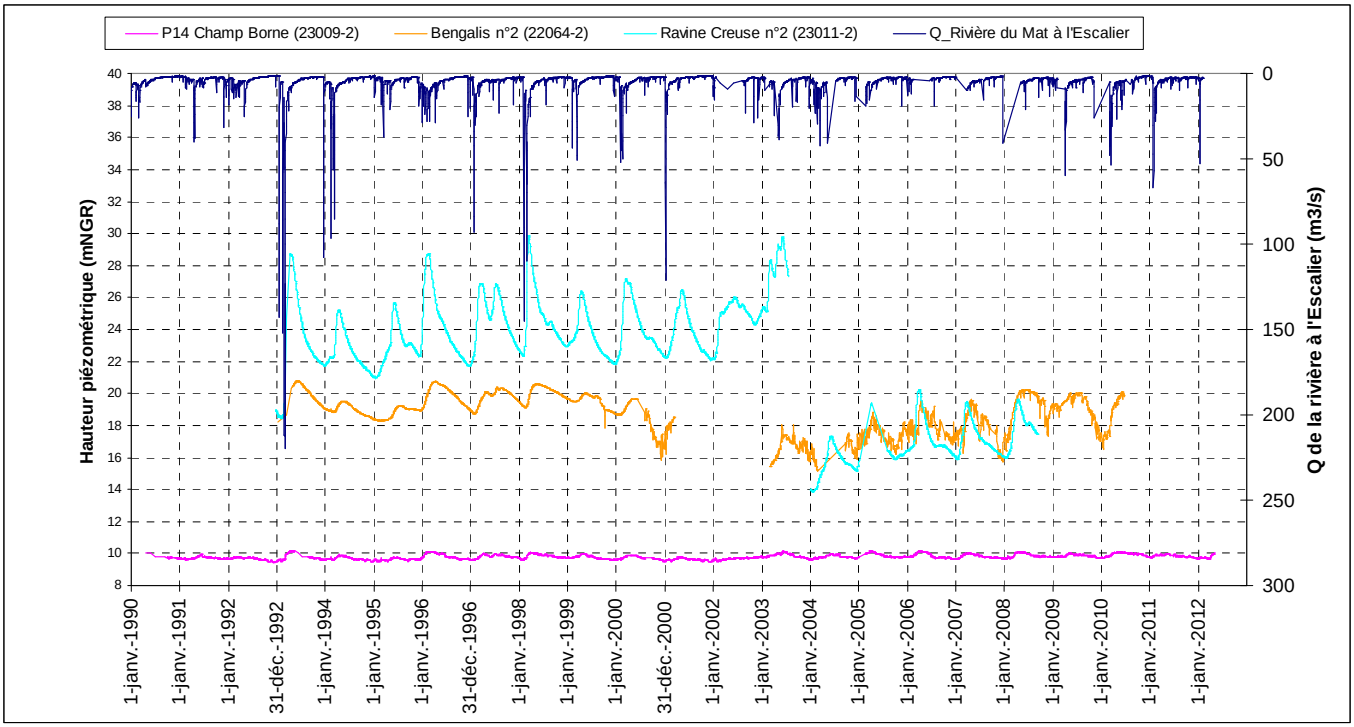


Figure 13 : Variations piézométriques de la nappe de base dans le secteur de la Plaine du Mât (1993 – 2009)

Les figures 13, 14, 15 et 16 présentent les variations piézométriques des ouvrages qui interceptent la nappe de base à des échelles de temps différentes. Les trois ouvrages ont des variations relativement distinctes.

P14 Champ Borne se situe à quelques centaines de mètre de la mer et est assez éloigné de la rivière. De plus, comme vu précédemment, il exploite un aquifère basaltique surmonté par plus de 100 m d'alluvions limoneuses. Ses variations piézométriques de quelques centimètres, sont assez faibles en comparaison des variations métriques des deux autres ouvrages.

Le forage Ravine Creuse n°2 a fait l'objet d'une remise en exploitation en fin d'année 2003, ce qui a entraîné un développement de l'ouvrage pendant les pompages d'essais. A partir de cette date, ses variations sont assez proches de celles du forage Bengalis n°2.

De la même façon, à partir de l'année 2000, les variations du forage Bengalis n°2 sont moins linéaires et attestent probablement d'un décolmatage de ses crépines.

Depuis 2004, la chronique de débit de la Rivière du Mât est incomplète à chaque saison humide. Ces absences de mesures sont dues à des variations de la section du cours d'eau lors d'évènement pluvieux importants.

Il est donc difficile de relier l'évolution piézométrique de la nappe de base avec le débit mesuré à l'Escalier. Cependant, lorsqu'on la corrèle à la chronique pluviométrique mesurée à la station METEOFRANCE du « Colosse », la relation montre que le forage Ravine Creuse n°2 réagit plus rapidement que le forage Bengalis, qui se trouve à proximité de la rivière.

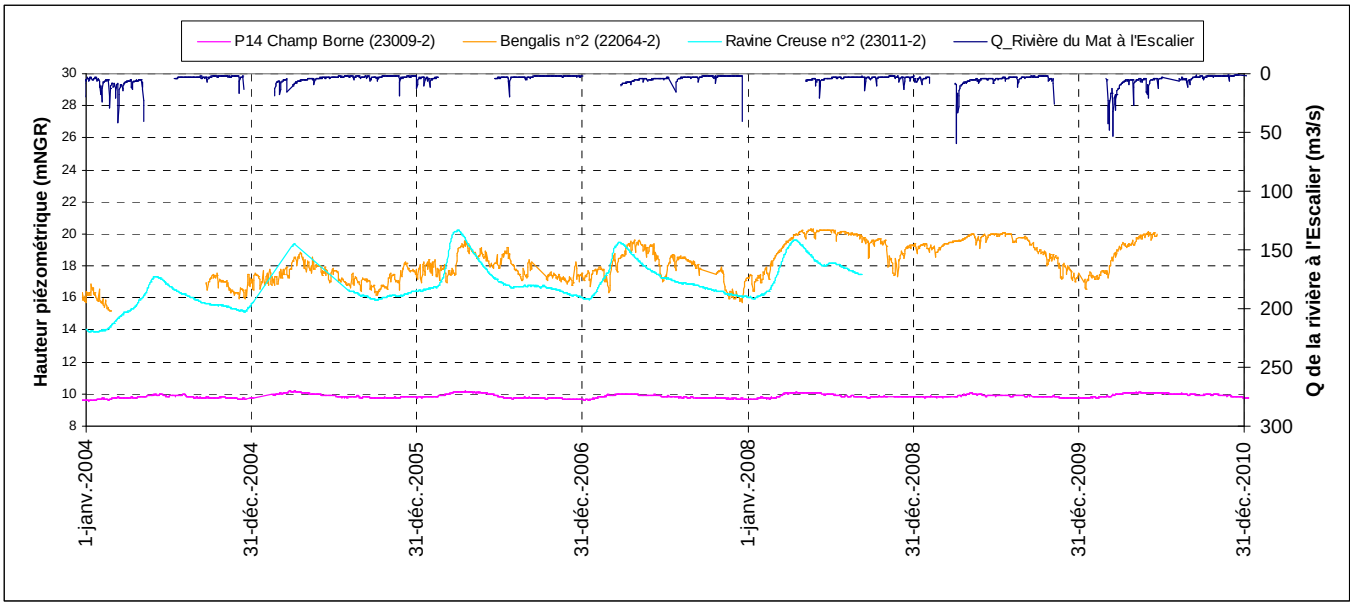


Figure 14: Variations piézométriques de la nappe de base corrélées au débit de la rivière (2004 – 2010)

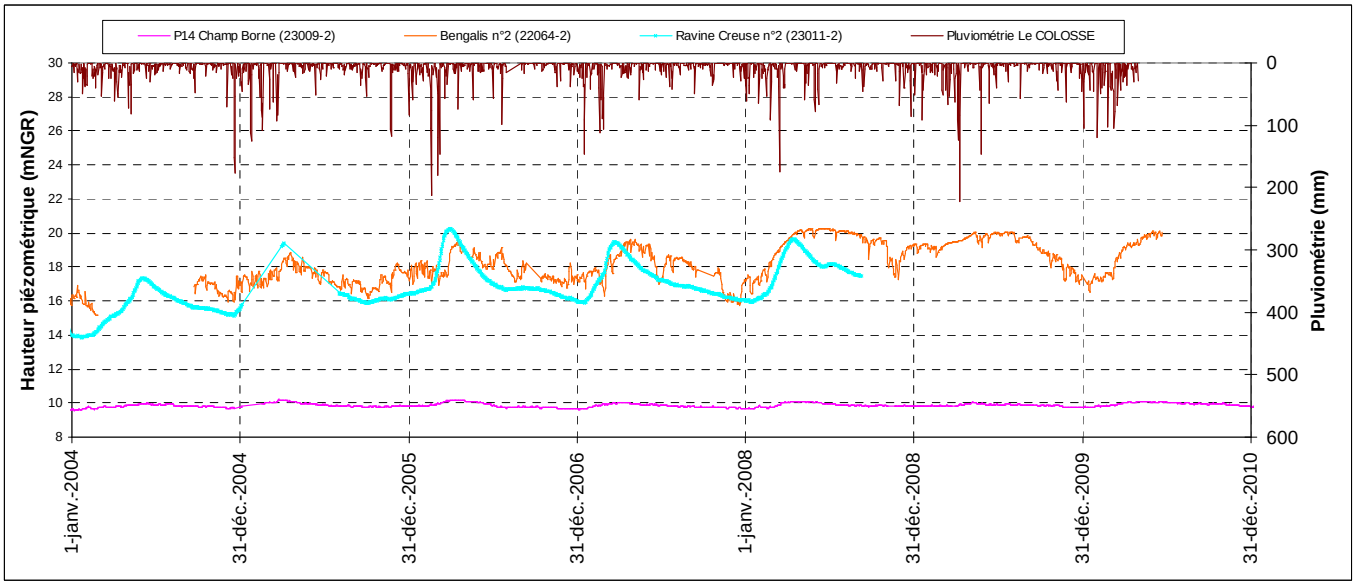


Figure 15: Variations piézométriques de la nappe de base corrélées à la pluviométrie (2004 – 2010)

Une augmentation des niveaux des forages Bengalis n°2 et Ravine Creuse n°2 est observée entre 2004 et 2010, alors que le niveau piézométrique de P14 Champ Borne est très stable sur cette même période.

Les amplitudes des forages Bengalis et Ravine Creuse sont plus importantes que celles de P14 Champ Borne. Cependant, les variations des niveaux piézométriques des trois forages suivent les mêmes tendances. Sur un cycle annuel de basse eaux / hautes eaux la réponse des ouvrages aux impulsions pluviométriques sont de l'ordre d'un mois (pluviomètre du Colosse).

Les micros variations observées sur la chronique de Bengalis n°2 (figure 16) attestent de la réponse rapide de ce piézomètre aux précipitations ou au débit de la rivière.

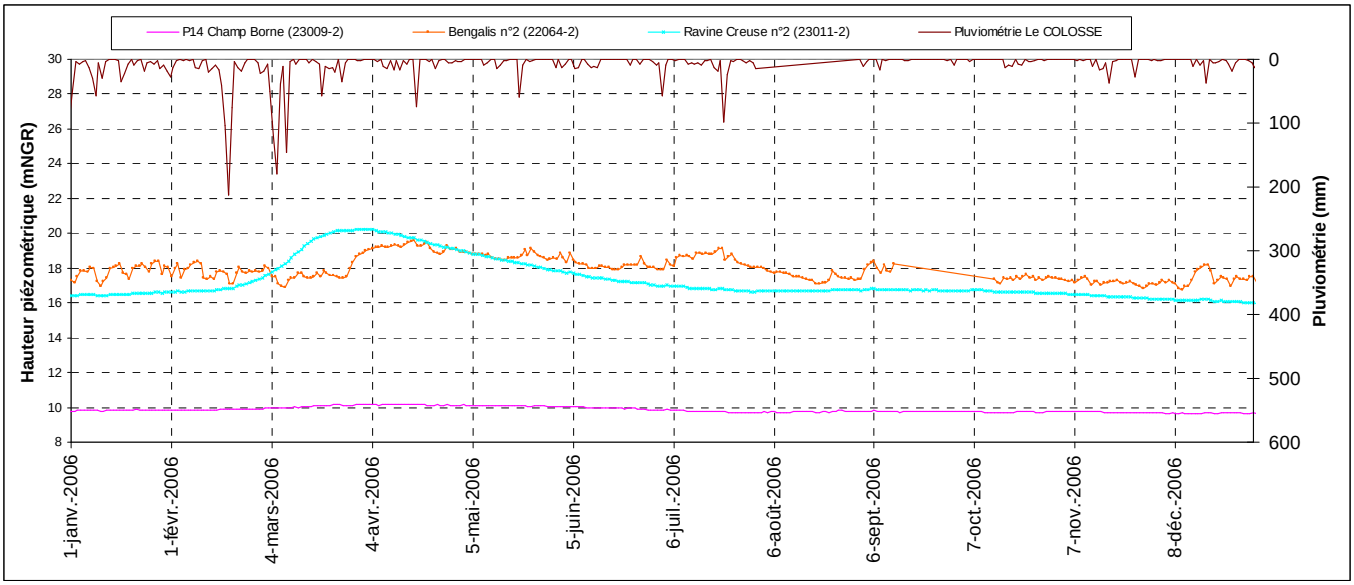


Figure 16: Variations piézométriques de la nappe de base dans le secteur de la Plaine du Mât (2006)

III.4 Détermination des conditions d'alimentation des systèmes aquifères

III.4.1 Alimentation de la nappe par les circulations souterraines

Au niveau topographique, cinq grandes unités hydrologiques peuvent être identifiées sur la zone avec des bassins versants bien distincts (Figure 17 et tableau 5). Chacune d'entre elles est associée à une rivière ou un réseau de rivière pérenne.

Unité hydrologique	Surface (km²)
Grande Rivière Saint-Jean	34.9
Rivière du Mât	144.5
Bras-Panon	21.63
Rivière des Roches	40.22
Rivière Sainte-Suzanne	30.91

Tableau 5: Surface des différentes unités hydrologiques

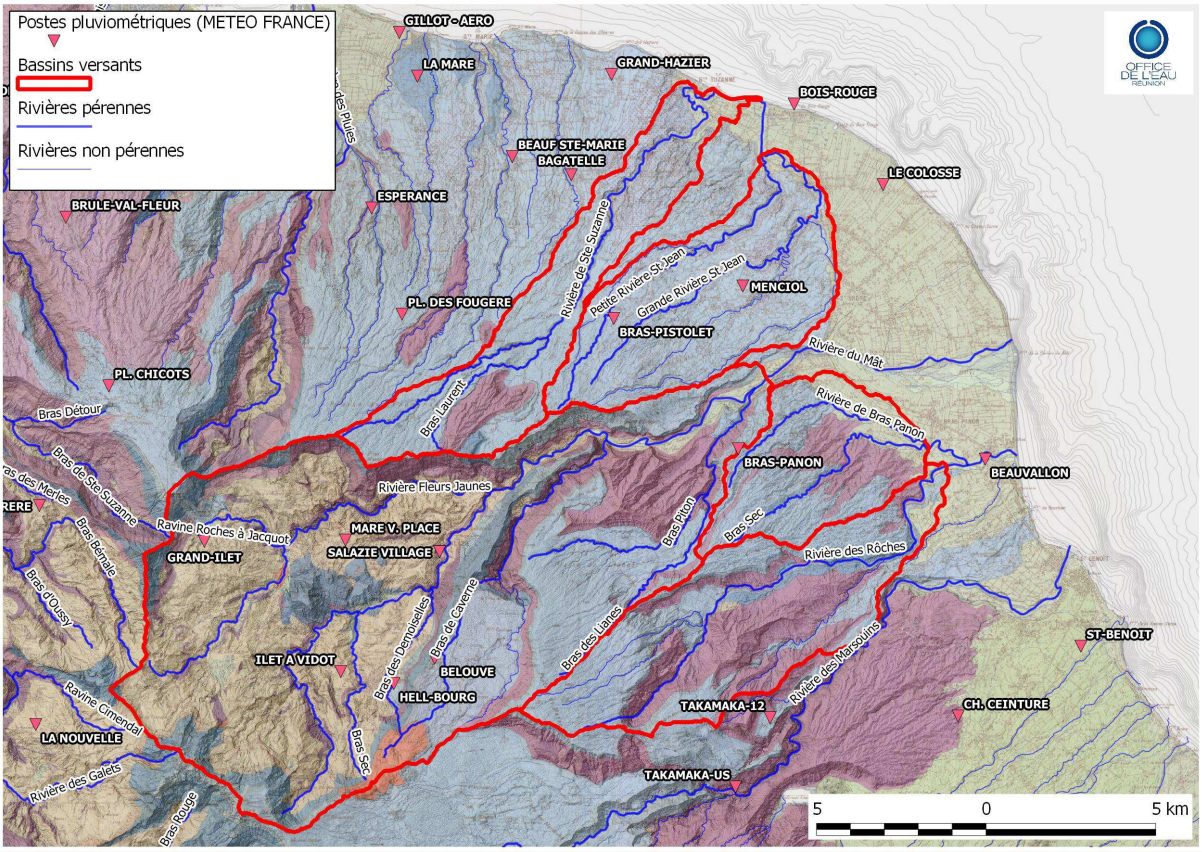


Figure 17 : Unités hydrologiques du Nord de La Réunion

Le cirque de Salazie étant quasiment imperméable, les infiltrations au sein de l'unité hydrologique qui lui correspondent, participent peu voir pas du tout à l'alimentation du système aquifère côtier. En revanche, ces écoulements contribuent à l'alimentation de la Rivière du Mât.

Les infiltrations au sein de l'unité hydrologique de la Rivière des Roches, comme celles de l'unité hydrologique de la Rivière Sainte-Suzanne, alimentent certainement les bordures Nord et Sud du cône alluvial mais ne sont pas les principales unités d'alimentation d'un point de vue topographique. Par conséquent, et n'ayant aucun argument hydrogéologique prouvant le contraire, elles ne sont pas prises en compte dans cette étude.

L'alimentation du système aquifère côtier, due aux infiltrations, se fait donc essentiellement grâce aux circulations à travers les planèzes en bordure du cône alluvial et aux pertes du tronçon aval de la Rivière du Mât. Les infiltrations des unités hydrologiques de la Grande Rivière Saint-Jean et de Bras-Panon sont essentiellement responsables de l'alimentation souterraine de la nappe de base dans ce secteur.

L'aire d'alimentation retenue a une superficie totale de 56.53 km².

Des bilans hydrologiques ont été réalisés pour une année moyenne (2002) et pour des années de références sèches (2001 et 2009) et humide (1998) afin de déterminer la part des précipitations qui alimente les nappes souterraines. La définition de ces années de référence peut être illustrée par les chroniques pluviométriques des stations météorologiques de Bras-Panon et Menciol qui sont assez bien représentatives de la pluviométrie sur les planèzes dans la zone d'étude (figures 18 et 19).

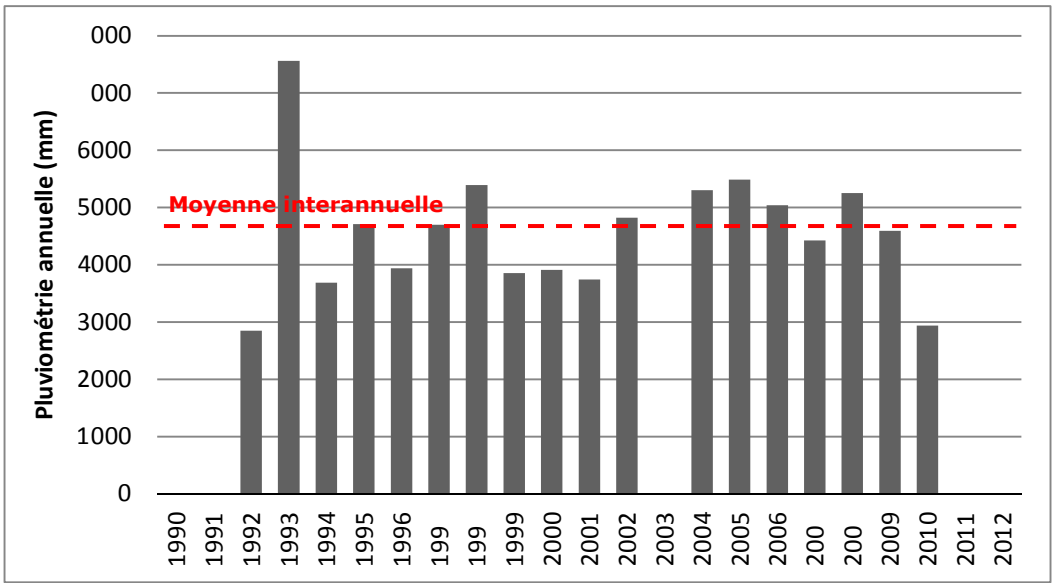


Figure 18 : Chronique pluviométrique de la station Bras-Panon (1992-2010)

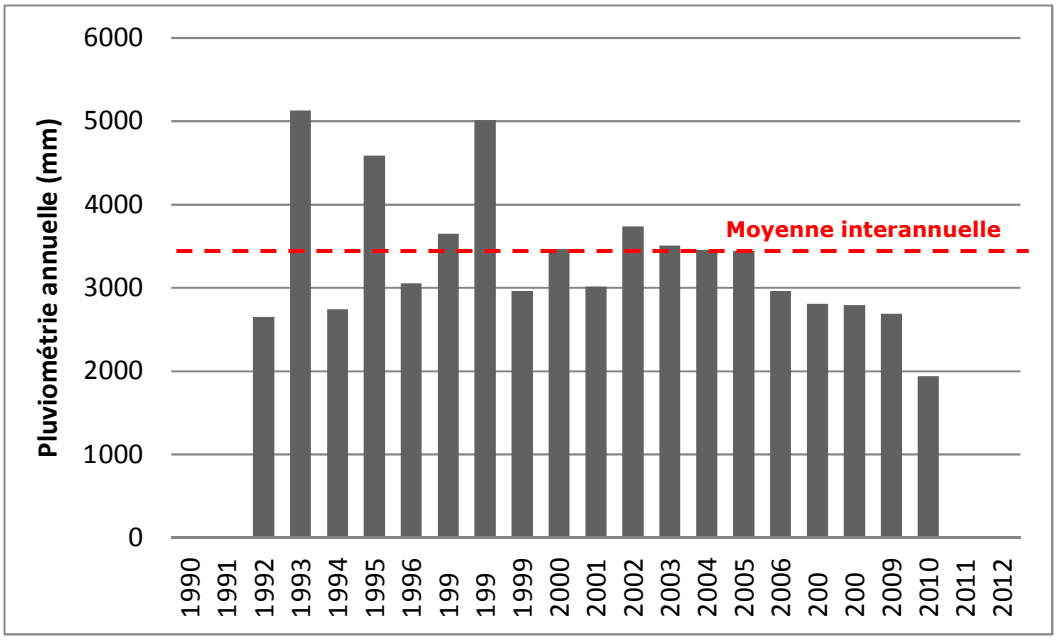


Figure 19 : Chronique pluviométrique de la station Menciol (1992-2010)

Les données pluviométriques de 2002 étant disponibles pour l'ensemble des 8 postes pluviométriques de la zone d'étude, une évaluation relativement fine de la pluviométrie journalière sur chaque unité hydrologique a pu être effectuée.

En revanche, concernant les cycles hydrologiques « extrêmes » de référence (1998, 2001 et 2009), les données pluviométriques sont disponibles seulement pour une partie des stations de mesure concernées.

Concernant ces années de référence, les calculs sont réalisés selon les données disponibles du poste pluviométrique le plus représentatif de l'unité hydrologique concernée. Par conséquent, ces calculs d'infiltrations sont d'une précision moindre que pour l'année moyenne de référence (2002).

De cette façon :

- Les volumes d'infiltrations de l'unité hydrologique de la Grande Rivière Saint-Jean, lors de cycles hydrologiques « extrêmes », ont été calculés selon la pluviométrie du poste « MENCIOL » (2009 et 1998),

- Les volumes d'infiltrations de l'unité hydrologique de Bras-Panon, lors de cycles hydrologiques « extrêmes », ont été calculés selon la pluviométrie du poste « BRAS-PANON » (2001 et 1998).

L'hypothèse retenue pour la réalisation des bilans hydrologiques est que les précipitations s'infiltrent jusqu'à une limite journalière de 50 mm/j à l'aplomb de formations de phase II du Piton des Neiges, ou 80 mm/j à l'aplomb de formations de phases III et IV du Piton des Neiges. Au-delà de ces seuils, tout le reste des précipitations ruisselle jusqu'à la mer.

Les bilans hydrologiques ont donc été calculés avec un seuil de 50 mm/j pour l'unité hydrologique de Bras-Panon et avec un seuil de 80 mm/j pour l'unité hydrologique de la Grande Rivière Saint-Jean.

Le stock d'eau infiltré à la suite d'évènements pluvieux constitue la « réserve utile (**Ru**) ». Une partie de ce stock d'eau infiltré sera repris par l'évapotranspiration alors que le reste, la « réserve hydrologique (**Rh**) » servira à réalimenter les nappes souterraines.

Ainsi, les bilans hydrologiques ont été établis de la manière suivante :

$$\textbf{(1)} \quad Ru = P - R$$

$$\textbf{(2)} \quad Rh = Ru - ETR$$

Avec : P : Précipitations
R : Ruissellement (seuil 50 ou 80 mm/j)
Ru : Réserve utile
ETR : Evapotranspiration réelle
Rh : Réserve hydrologique

o **Bilans hydrologiques de l'unité de Bras-Panon**

BV Bras Panon						
Année	PLUIE (mm/an)	RUISSELLEMENT (mm/an)	INFILTRATIONS (Ru) (mm/an)	ETP_Est_1500m (mm/an)	INFILTRATIONS (Rh) (mm/an)	Volume annuel infiltré (m^3)
2002	4464.4	1019.8	3444.6	735.7	2708.9	58593321
2001	3746.6	487.0	3259.6	719.8	2539.8	54935528
1998	5392.4	1904.6	3487.8	722.9	2764.9	59805090

Tableau 6 : Bilans hydrologiques du bassin versant de la Rivière Bras-Panon

Le tableau 6 indique que le bassin versant de la Rivière Bras-Panon a une forte composante ruissellement. Lors d'une année sèche les infiltrations représentent 68% de la pluviométrie annuelle (2001), contre 61% lors d'une année moyenne (2002), et seulement 51% lors d'une année humide (1998).

La répartition des pluies, de l'ETP et de l'infiltration profonde, pour l'année moyenne de référence pour chacune des deux unités hydrologiques, est présentée sur les figures 20 et 21.

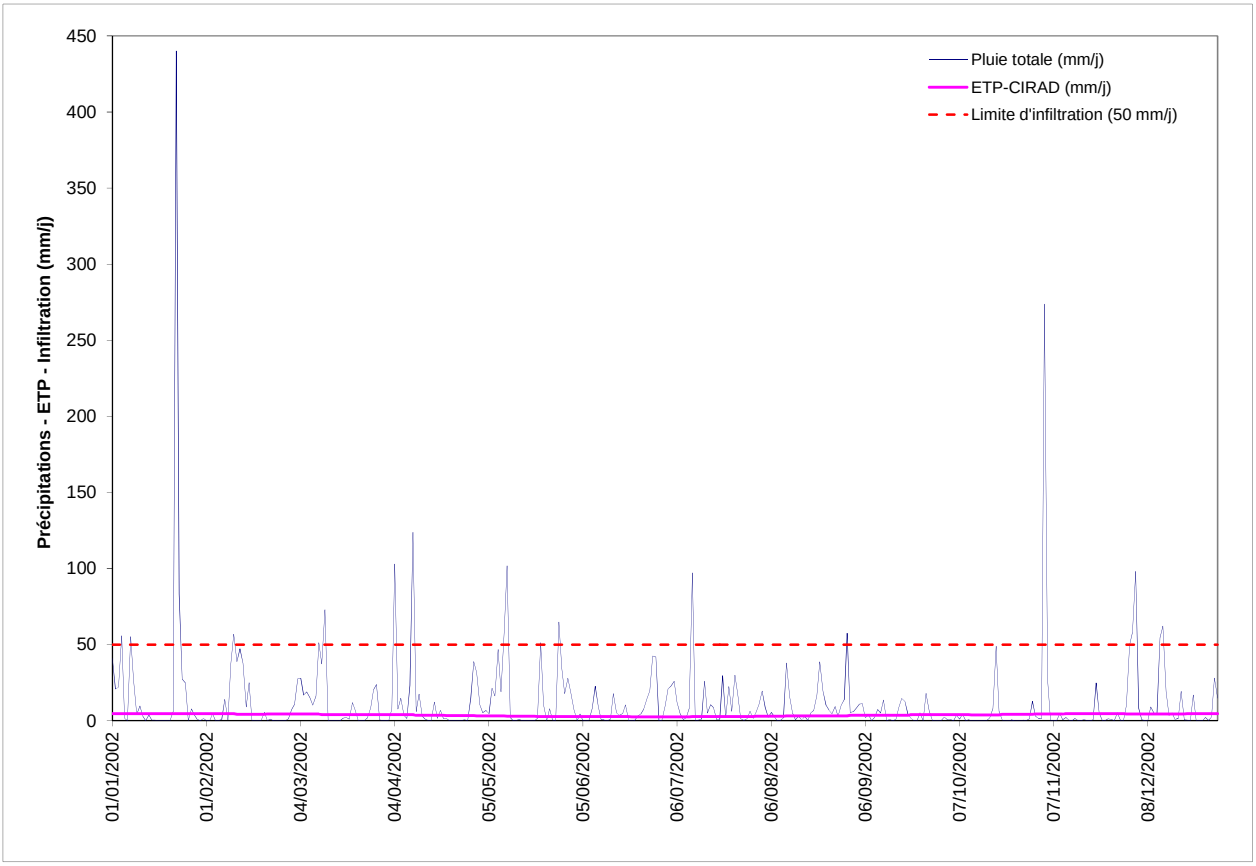


Figure 20 : Répartition des pluies, de l'ETP et de l'infiltration profonde pour une année moyenne (2002) – Unité hydrologique de Bras-Panon

o **Bilans hydrologiques de l'unité de la Grande Rivière Saint-Jean**

BV Grande Rivière Saint-Jean						
Année	**PLUIE (mm/an)**	**RUISSELLEMENT (mm/an)**	**INFILTRATIONS_Ru (mm/an)**	**ETP_Est_1500m (mm/an)**	**INFILTRATIONS_Rh (mm/an)**	**Volume annuel infiltré (m^3)**
2002	4141.4	664.7	3476.6	675.9	2800.7	97745426
2009	2691.4	240.6	2450.8	577.6	1873.2	65373319
1998	5011.5	1179.5	3832.0	624.1	3207.9	111956548

Tableau 7 : Bilans hydrologiques du bassin versant de la Grande Rivière Saint-Jean

Avec 68% d'infiltrations pour une année moyenne (2002), 70% pour une année sèche (2009) et 64% pour une année humide (1998), les infiltrations profondes de l'unité hydrologique de la Grande Rivière Saint-Jean sont plus stables que celles l'unité hydrologique de Bras-Panon (tableau 7).

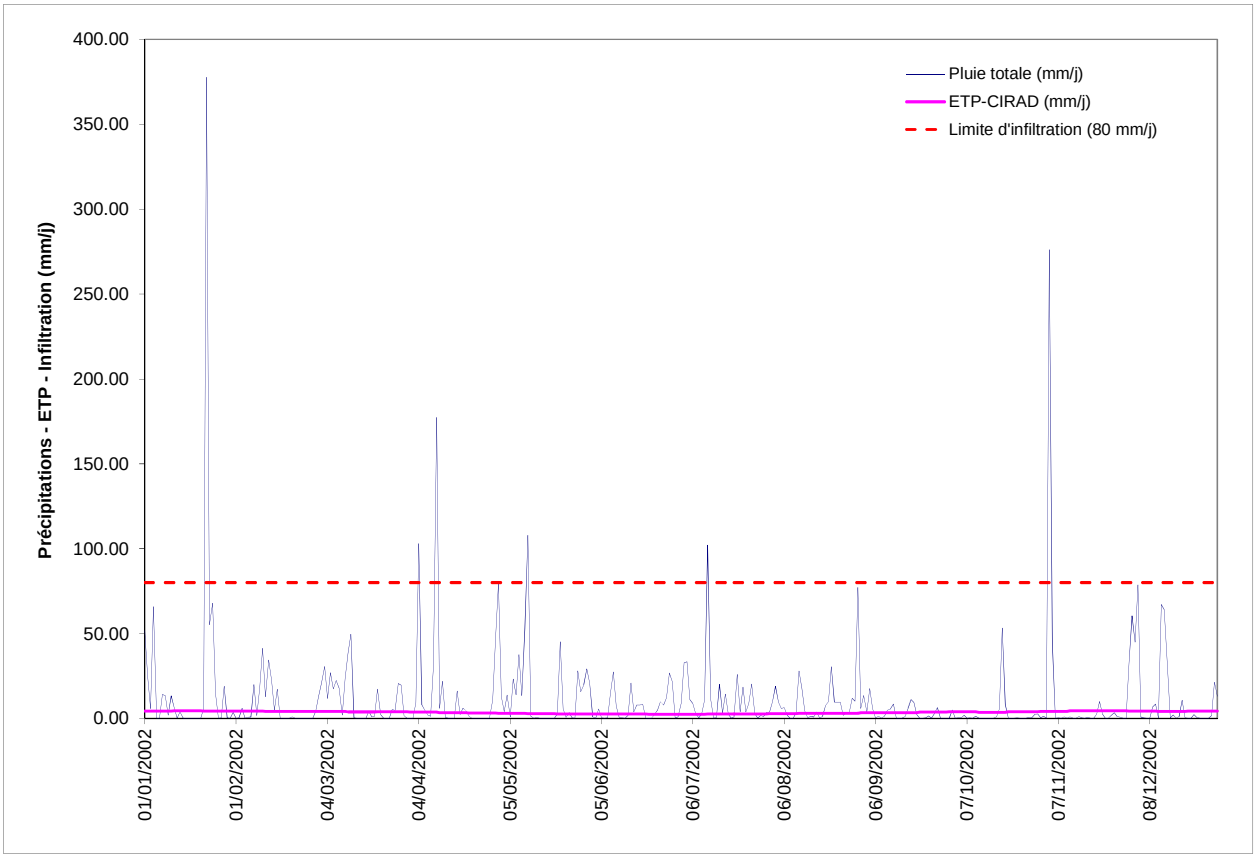
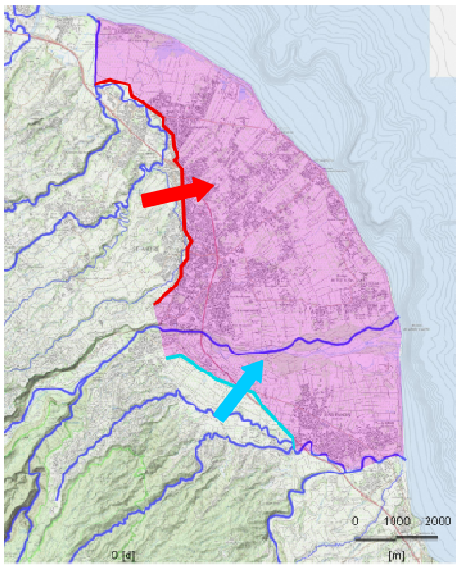


Figure 21 : Répartition des pluies, de l'ETP et de l'infiltration profonde pour une année moyenne (2002) – Unité hydrologique de la Grande Rivière Saint-Jean

o **Résultats des bilans hydrologiques : débits d'alimentation souterrains**



Comme cela a été expliqué précédemment, l'alimentation souterraine de la nappe de base provient essentiellement du bassin versant du Bras-Panon et de celui de la Grande Rivière Saint-Jean. L'évaluation de l'alimentation globale de cette nappe a été faite en additionnant les volumes infiltrés calculés dans les bilans hydrologiques.

En année moyenne (2002) le débit moyen s'infiltrant dans la nappe de base est de **4954 l/s** sur une surface totale de 46.53 km², soit **106.5 l/s/km²**.

Pour une année sèche de référence (2001 – 2009), le débit moyen calculé est de **3812 l/s**, soit **81.9 l/s/km².**

Pour une année humide de référence (1998), le débit moyen calculé est de **5443 l/s**, soit **117 l/s/km².**

III.4.2 Alimentation de la nappe par les infiltrations de la Rivière du Mât

Sur le secteur d'étude, la deuxième source d'alimentation du système aquifère de la Plaine du Mât est représentée par les infiltrations dans le cône alluvial de la Rivière du Mât.

De nombreux bilans hydrométriques ont été réalisés sur cette rivière depuis 1997. Ils permettent de détailler son fonctionnement :

- De la confluence Fleurs Jaunes - Rivière du Mât au pont de la R.N.2 : une zone d'apport comprenant deux affluents principaux (Bras des Lianes et Bras de Caverne) et des apports diffus (sources de pied rempart, apports souterrains),

- Du pont de la R.N.2 à l'embouchure : une zone où l'infiltration est dominante.

Le bilan hydrométrique de l'année 2002 est présenté en annexe 1.

	Débit (l/s)					
Date	Amont prises ILO	Station "Escalier"	Station "pont RN 2"	Embouchure	Apports (partie amont)	Infiltrations (partie aval)
10/07/1997	-	-	7170	6300	-	870
04/11/1998	-	-	3220	2450	-	770
18/11/1999	-	-	2260	1461	-	799
08/11/2000	-	-	3160	2720	-	440
17/10/2001	-	-	2780	1880	-	900
24/10/2002	-	-	3660	2600	-	1060
10/07/2003	-	-	6640	5480	-	1160
23/10/2003	-	-	3780	3360	-	420
03/11/2005	-	-	4290	3420	-	870
11/10/2006	-	-	3510	2770	-	740
25/03/2009	-	-	7500	6840	-	660
22/04/2009	-	-	9930	9210	-	720
13/05/2009	4370	5020	6430	5880	2060	550
16/06/2009	3467	3978	6030	4786	2563	1244
15/07/2009	2961	3566	5927	5162	2966	765
23/09/2009	2072	2467	3750	2952	1678	798
21/10/2009	1822.7	2067	3111	2288	1288.3	823
25/11/2009	2414.8	2640	3433	2679	1018.2	754
16/12/2009	2388	2667	3748	2993	1360	755
20/01/2010	8390	9190	11800	10797	3410	1003
14/04/2010	5090	6530	8880	7770	3790	1110
16/06/2010	3660	4480	7410	6490	3750	920
21/07/2010	2798	3352	5580	4563	2782	1017
20/10/2010	1858	2291	3585	2724	1727	861
17/11/2010	1948	2240	3750	2938	1802	812
21/12/2010	1724	1805	2611	1788	887	823
09/03/2011	4250	4440	6207	5794	1957	413
13/04/2011	2970	3550	6318	5405	3348	913
04/05/2011	2382	3021	4423	3879	2041	544
07/09/2011	1978	2469	4491	3610	2513	881
12/03/2012	5500	6097	8672	8780	3172	-108
				moyenne	**2260.4**	**810.8**
				médiane	**2060.0**	**817.5**

Tableau 8 : Apports et infiltrations de la Rivière du Mât entre les prises ILO et l'embouchure

Le tableau 8 présente les mesures disponibles depuis 1997 ainsi que les valeurs d'apports et des infiltrations calculées entre les prises ILO, au niveau de la confluence entre la Rivière du Mât et la Rivière Fleurs Jaunes, et l'embouchure.

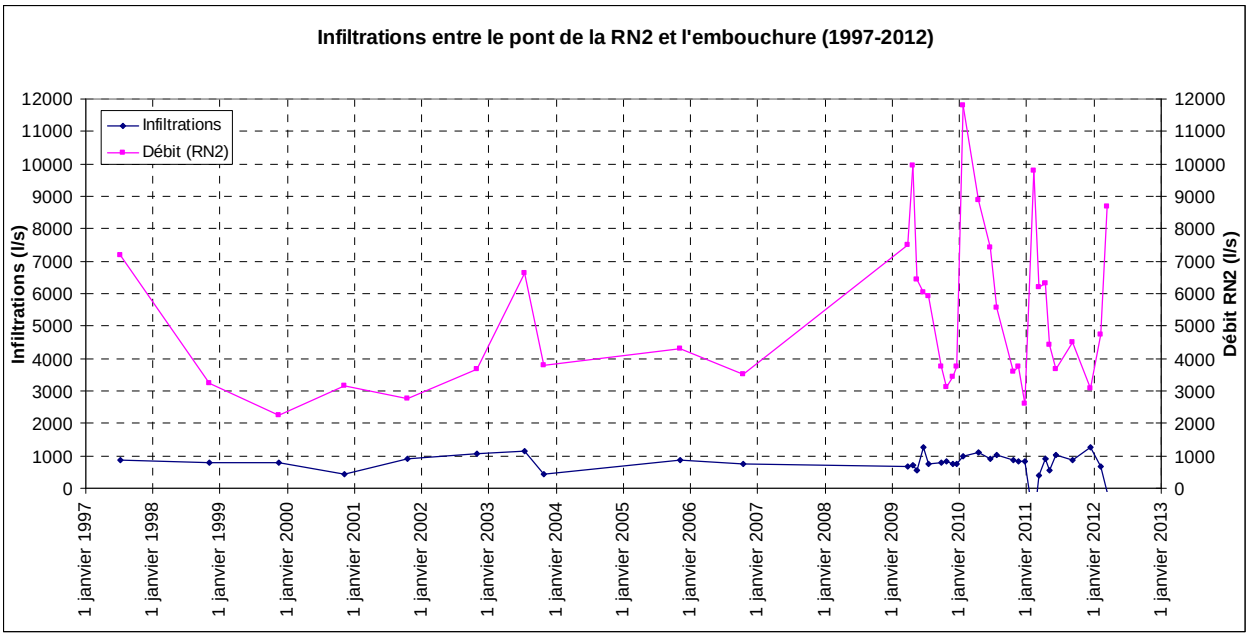


Figure 22 : Chronique de débit et d'infiltrations de la Rivière du Mât (1997 – 2012)

Comme le montre la figure 22 et le tableau 8, les valeurs d'infiltrations maximums mesurées sont de l'ordre de 1200 l/s. Cependant, il est probable que les volumes infiltrés soient plus importants pour des débits plus forts.

La moyenne des mesures d'infiltrations sur le cône alluvial, d'après les campagnes de jaugeages de l'Office de l'Eau, est de **810 l/s**. Cette valeur sera utilisée par la suite pour la modélisation.

III.5 Interprétation des données de salinité

III.5.1 Suivi de la salinité

Le risque de salinisation des aquifères dans ce secteur est assez faible. En effet, la pluviométrie importante de la zone Est induit une recharge des nappes souterraines suffisante pour maintenir des niveaux piézométriques qui limitent les intrusions salines.

Les forages d'observations sont peu nombreux mais aucun d'entre eux n'a mis en évidence une contamination des eaux souterraines par des invasions marines.

En 2015, la mise en service des prises d'irrigation sur la Rivière du Mât va réduire le débit de ce cours d'eau. Sur sa partie aval, le cours d'eau alimente les nappes souterraines et il est donc possible que les infiltrations diminuent également avec une modification de l'équilibre eau douce – eau salée.

La figure 23 présente les résultats obtenus à partir de l'analyse des concentrations en ions chlorures sur la Plaine du Mât. Globalement, elles restent bien en dessous de la limite de distribution pour l'eau potable (200 mg/L).

Depuis 1992, elles montrent une diminution des concentrations et également de l'amplitude des variations sur le forage F1-bis Sainte-Vivienne. Les valeurs se stabilisent en mai 2007 entre 14 et 15 mg/l et affichent une très légère tendance à la hausse (15.5 mg/l) en juillet 2011.

Les forages Dioré et S2 Rivière du Mât (non exploité) présentent de faibles concentrations en ions chlorures (6 à 7 mg/l en moyenne) mais de fortes fluctuations (de 4 à 15 mg/l).

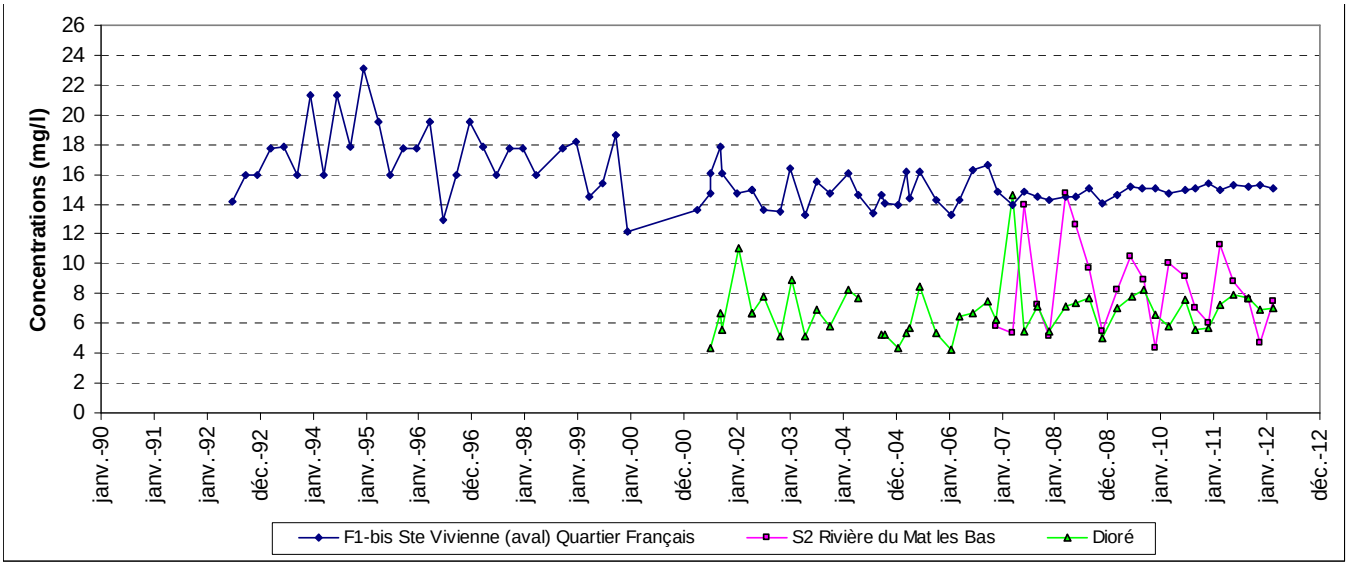


Figure 23: Evolution des concentrations en chlorures sur le secteur de la Plaine du Mât

III.5.2 Analyse des « Logs de conductivité »

L'étude des intrusions salines se fait également au travers des « logs de conductivité » afin de caractériser l'évolution en profondeur des concentrations en chlorures d'un forage.

Sur le secteur d'étude, cinq forages ont fait l'objet d'une réalisation d'au moins un log de conductivité (cf. annexe 4). Certains contribuent à l'analyse des intrusions salines dans la nappe de base et d'autres à celle de la nappe alluviale. Soit :

- nappe de base : P14 Champ Borne, Bengalis n°2, Paniandy et P19 Ma Pensée,
- nappe alluviale : S2 Rivière du Mât les bas.

Comme évoqué précédemment, l'état de salinisation du système aquifère est très faible. La conductivité maximale mesurée ne dépasse pas **350 µS/cm** sur chacune des deux nappes, soit des concentrations en chlorure inférieures à **0.1 g/l**.

Plus particulièrement, la conductivité de l'ouvrage P14 Champ Borne, situé à moins d'1 km de la côte, ne dépasse pas 300 µS/cm à -85 mNGR.

IV Élaboration du modèle mathématique de la Plaine du Mât

IV.1 Présentation du modèle conceptuel

IV.1.1 Extension et construction du modèle

Le secteur modélisé représente l'ensemble du cône alluvial de la Rivière du Mât, sur la bordure Nord-Est de l'île de La Réunion.

Son extension est basée sur des critères géologiques et sur la connaissance des bassins versants hydrologiques du secteur.

La limite Est est représentée par le trait de côte. Les limites Nord, Sud et Ouest sont représentées respectivement par la partie aval de la Rivière Saint-Jean, la partie aval de la Rivière Bras-Panon et par les bordures des unités hydrologiques de ces deux cours d'eau au niveau des planèzes (figure 24).

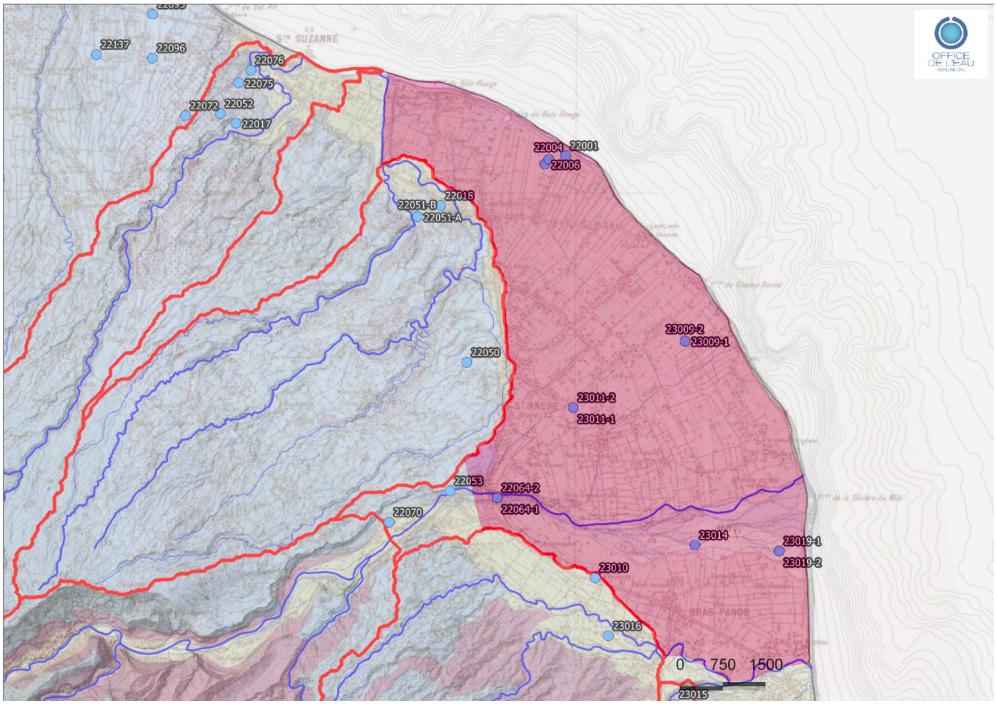


Figure 24 : Extension de la zone de modélisation sur fond géologique

Le maillage en éléments finis représenté sur la figure 25 a été raffiné au niveau de la Rivière du Mât et des sites piézométriques de suivi de l'Office de l'Eau recensés sur le secteur. Au total le modèle comprend 60768 éléments et 36218 nœuds.

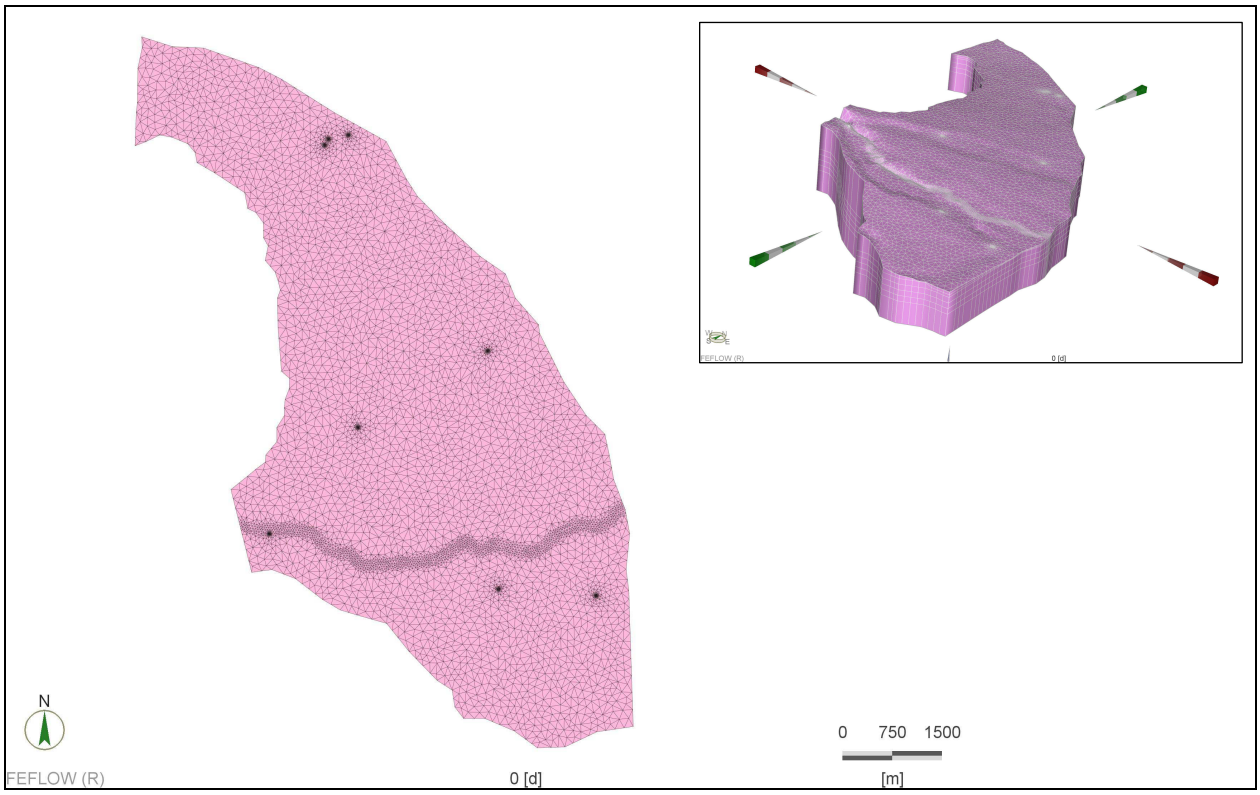


Figure 25 : Représentation du maillage et de la structure de « l'unité » de modélisation

o **Couches, zones de géométries et limites du modèle**

Le modèle comprend 6 couches afin de pouvoir représenter la structure du réservoir de manière convenable sans pour autant rendre les calculs trop complexes lors des simulations.

La géométrie des couches est basée sur la différenciation lithologique des formations géologiques reconnues sur le secteur. L'attribution des paramètres caractéristiques (perméabilité, transmissivité, porosité, emmagasinement…) de chacune de ces formations est effectuée en fonction des connaissances géologiques et hydrogéologiques et de différentes hypothèses sur la structure du massif en profondeur.

Pour cela des zones de géométries de mêmes paramètres ont été définies. Elles sont présentées en annexe 6. L'attribution des différentes zones de géométries est la suivante :

- L'empilement complexe de formations alluvionnaires et détritiques est représenté sur les couches 1 à 5 (de haut en bas),
- Les horizons semi-perméables, mis en évidence sur le forage P14 Champ-Borne, sont représentés sur les couches 3 à 6 à proximité de ce forage,
- Autour du forage Ravine Creuse jusqu'au secteur de Cambuston une zone de très faible perméabilité sur les couches 4 à 5,
- Sur la couche 6, le socle basaltique, considéré comme un milieu transmissif, hétérogène et fissuré.

o **Conditions aux limites**

Les conditions aux limites du modèle ont été définies de la manière suivante (cf. figure 26) :

- deux limites à flux imposés pour les alimentations issues des planèzes (couches 3 à 6) et une pour les infiltrations du cours d'eau (couche 1),
- une limite à potentiel imposé en bordure côtière pour fixer le niveau 0 du modèle (couches 1 à 6),
- deux limites à flux nuls en bordure Nord et Sud pour fermer le modèle.

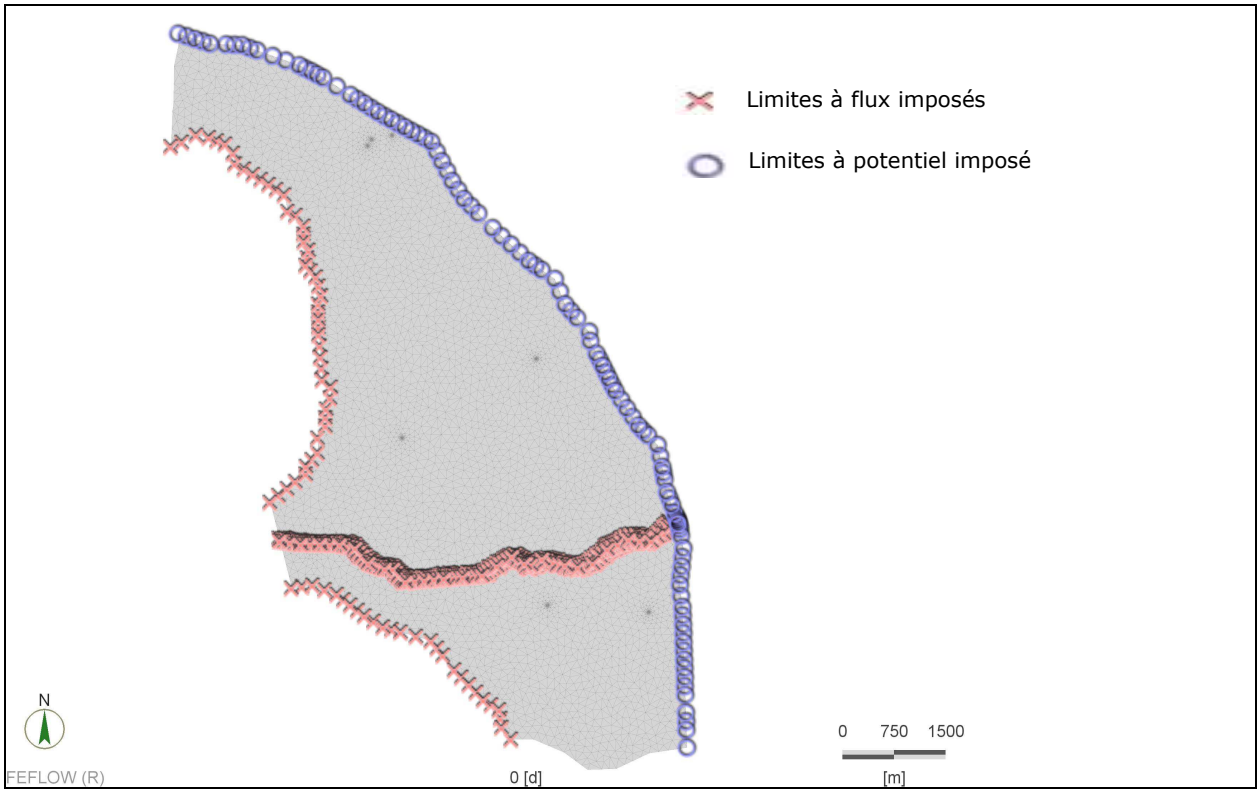


Figure 26 : Conditions aux limites du modèle

IV.1.2 Paramètres hydrodynamiques du modèle et débits prélevés

Les paramètres hydrodynamiques introduits dans le modèle correspondent aux paramètres liés à la nature des formations géologiques de la zone d'étude mais aussi aux valeurs d'alimentation et d'exploitation du système.

Ils sont définis par :

- Les couches et les zones de géométries correspondantes,
- Les valeurs de flux entrant issus de l'infiltration des bassins d'alimentation en amont hydraulique du modèle,
- Les infiltrations de la Rivière du Mât,
- Les valeurs de flux sortant par exploitation du système.

o **Les perméabilités**

Les valeurs de transmissivité issues de l'interprétation des pompages d'essais sont récapitulées dans le tableau 9. Ces valeurs, associées aux connaissances des terrains, ont permis d'attribuer des valeurs de perméabilités de références à chaque type de formation lors de la phase de calage du modèle en régime permanent.

Code BSS	Nom usuel	Crépine (mNGR)		Hydrogéologie		formations captées
		Haute	Basse	K_(m/s)	T_(m^2/s)	
12272X0070	S3 CITRONNIERS	137.35	106.35	$5,484*10^{-3}$	$1.7*10^{-2}$	Alluvions (blocs, galets, graviers et sable)
12273X0014	S2 RIVIERE du MAT LES BAS	34.74	12.24	$1,33*10^{-3}$	$3*10^{-2}$	Alluvions (blocs, galets, graviers et sable)
12273X0015	S4 CHEMIN DE LA PAIX	1.35	-60.8	$8,045*10^{-4}$	$5*10^{-2}$	Basalte fissuré + basalte altéré ou alluvions anciennes
12273X0019	P19 MA PENSÉE	-105.8	-125.8	$4,75*10^{-3}$	$9.5*10^{-2}$	Basalte fissuré plus ou moins sains
12273X0011	RAVINE CREUSE	-8.62	-68.62	$5,0*10^{-4}$	$3*10^{-2}$	Alluvions grossières limoneuses + basalte compact ou vacuolaire et scories
12272X0064	BENGALIS	-39.6	-88.1	$2,68*10^{-3}$	$1.3*10^{-2}$	Basalte altéré + basalte à olivine, vacuolaire scoriacé
12273X0010	PANIANDY	-5.08	-190.08	$1,62*10^{-3}$	$3*10^{-3}$	Alluvions limoneuses + éléments basaltiques +/- altérés

Tableau 9 : Résultats de l'interprétation des pompages d'essais

Les valeurs de perméabilités de l'ensemble des ouvrages présentés dans ce tableau sont relativement proches malgré que les forages interceptent des horizons de natures relativement différentes.

Il est difficile de tirer des informations générales sur les perméabilités et transmissivités des différentes formations composant le cône alluvial du fait du manque d'ouvrages disponibles et de la complexité des formations.

o **La porosité**

La porosité efficace gouverne l'écoulement de l'eau au sein d'un massif. Elle intervient aussi dans l'équation de transport du sel et dans le bilan de masse qui en découle. Dans cette étude, en accord avec la littérature, une valeur unique de 25% a été appliquée à tout le modèle.

o **Alimentation du système aquifère**

Trois sources principales d'alimentation de la nappe de base sur la zone d'étude ont été définies. Une d'origine souterraine provenant des infiltrations sur les planèzes en amont hydraulique de la zone d'étude. Une seconde source d'alimentation représentée par les infiltrations le long de la Rivière du Mât et enfin la part des précipitations de la plaine alluviale qui s'infiltrent en profondeur.

1- Alimentation souterraine par infiltration sur les planèzes

Les valeurs de l'alimentation souterraine par les massifs basaltiques des planèzes en limite Ouest du modèle sont fournies dans le tableau 10. Elles sont issues des bilans hydrologiques présentés au paragraphe III.4.1. La figure 27 représente la part d'alimentation de l'unité hydrologique de Bras-Panon et celle de l'unité hydrologique de la Rivière Saint-Jean.

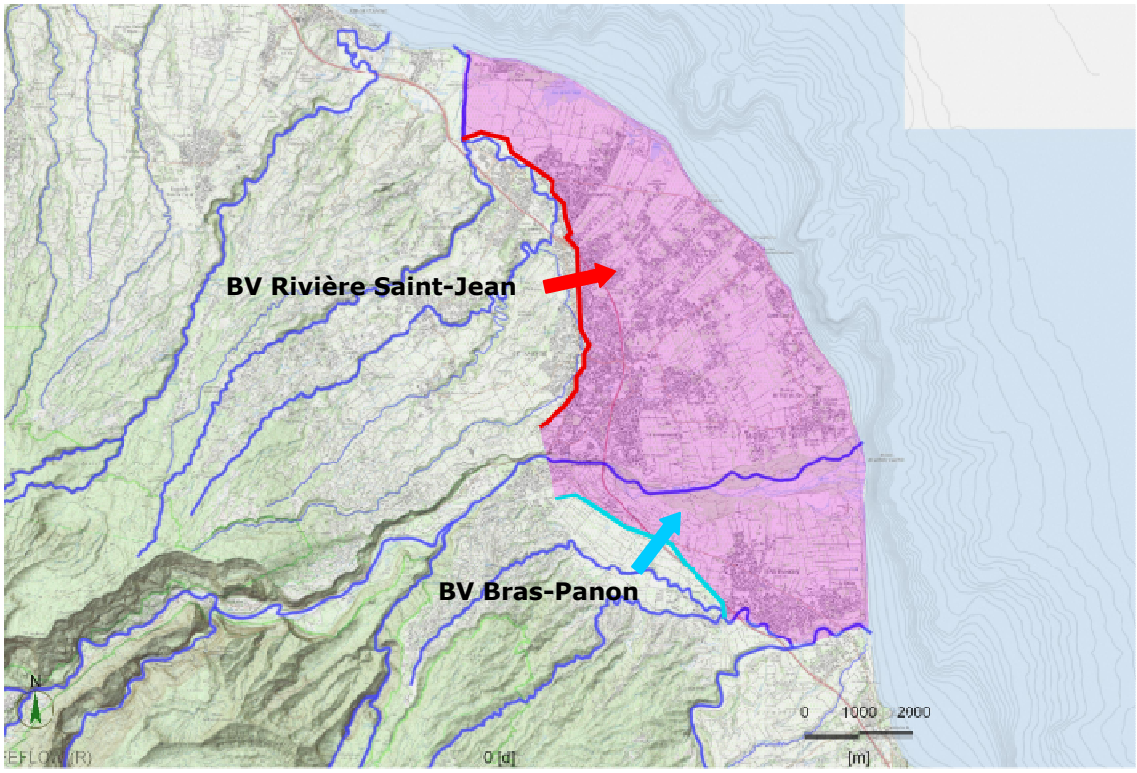


Figure 27 : Représentation des zones d'alimentations en limite Sud

Unité hydrologique	Cycle hydrologique	Volume annuel (m^3)	Vitesse / nœuds (m/j)	couches
Bras-Panon	sec	54935528	0.207595	3 à 6
	moyen	58593321	0.221417	
	humide	59805090	0.225996	
Rivière Saint-Jean	sec	65373319	0.143783	
	moyen	97745426	0.214983	
	humide	111956548	0.246239	

Tableau 10 : Alimentation souterraine au sein du massif basaltique en limite Sud

2- Infiltrations du cône alluvial de la Rivière du Mât

La valeur d'infiltrations de la Rivière du Mât utilisée est de **810 l/s**. Cette valeur est issue des bilans hydrométriques réalisés par l'Office de l'Eau (cf. tableau 8)

3- Alimentation par les précipitations à l'aplomb du modèle

Une part importante de l'alimentation du système provient de l'infiltration des précipitations directement sur le secteur d'étude. Une valeur de **3 426 mm/an** a été utilisée pour le calage du modèle en régime permanent. Elle correspond à la moyenne des précipitations annuelles du poste pluviométrique MENCIOL sur une chronique de plus de 15 ans.

- **Exploitation du système aquifère**

Sur le secteur d'étude, 4 forages sont exclusivement destinés à l'alimentation en eau potable. Ils exploitent tous la nappe de base étudiée dans la présente étude et se situent sur la commune de Saint-André.

Les volumes prélevés sont présentés dans le tableau 11. Depuis 2005, l'exploitation totale de cette nappe n'est pas stable et ne présente pas non plus d'évolution linéaire.

Année	Code BSS	Nom usuel	Volume produit (m^3)	Volume total annuel (m^3)
2005	12272X0130	FORAGE DIORE	2 007 960	2 285 830
	12295X0048/P-25	FORAGE TERRE-ROUGE	277 870	
2006	12272X0130	FORAGE DIORE	1 555 970	1 962 850
	12295X0048/P-25	FORAGE TERRE-ROUGE	406 880	
2007	12272X0130	FORAGE DIORE	1 370 350	1 746 063
	12272X0050/F2-BIS	FORAGE TERRE ROUGE 2	114 723	
	12295X0048/P-25	FORAGE TERRE-ROUGE	260 990	
2008	12272X0130	FORAGE DIORE	439 970	868 300
	12272X0050/F2-BIS	FORAGE TERRE ROUGE 2	404 580	
	12295X0048/P-25	FORAGE TERRE-ROUGE	23 750	
2009	12272X0130	FORAGE DIORE	522 370	1 279 390
	12272X0050/F2-BIS	FORAGE TERRE ROUGE 2	489 620	
	12295X0048/P-25	FORAGE TERRE-ROUGE	267 400	
2010	12272X0130	FORAGE DIORE	1 169 550	2 106 901
	12272X0050/F2-BIS	FORAGE TERRE ROUGE 2	593 121	
	12295X0048/P-25	FORAGE TERRE-ROUGE	344 230	
2011	12272X0130	FORAGE DIORE	523 490	1 601 303
	12273X0068/F1	FORAGE RAVINE CREUSE	718 639	
	12272X0050/F2-BIS	FORAGE TERRE ROUGE 2	206 154	
	12295X0048/P-25	FORAGE TERRE-ROUGE	153 020	

Tableau 11 : Volumes d'exploitations des forages AEP de la commune de Saint-André

Les volumes d'exploitation minimums et maximums prélevés respectivement en 2008 et 2005 représentent moins de 2% des volumes d'alimentation de la nappe calculés pour une année moyenne (2002) d'après les bilans hydrologiques (paragraphe III.4.1).

Seul le forage de Ravine Creuse n°2 se trouve sur le secteur modélisé. Les trois autres forages se situent à l'extérieur du modèle.

Afin de prendre en considération un volume maximal d'exploitation de la nappe, les prélèvements de 2011 du forage Ravine Creuse seront directement introduits dans le modèle. D'autre part, les volumes d'exploitation de 2005 des trois autres forages seront retranchés aux volumes d'alimentation souterraine du modèle.

- **Paramètres liés à la prise en compte de la Salinité**

La salinité de l'Océan Indien est fixée à 36 g/L. Le coefficient de diffusion moléculaire du chlorure de sodium dans l'eau régit la diffusion du sel de mer dans la nappe. Sa valeur est fixée à 1.10^{-9} m²/s selon les valeurs communément admises.

Les dispersivités longitudinales et transversales α_L et α_T gouvernent la largeur de la zone de mélange au contact « eau douce – eau salée ». Il est communément admis que le rapport α_L / α_T doit être égal à 10. Elles sont donc fixées respectivement à 100 et 10 mètres. La porosité totale qui entre en jeu dans les transferts de masse est de 30%.

La présence d'eau salée nécessite une correction des charges hydrauliques au droit de l'introduction du sel soit sur la bordure Est du modèle. Cette correction de charge se fait grâce à la formule suivante :

$$\mathbf{H_{corrigée} = - H_{théo} \times 0.02543}$$

Les détails de cette formule, faisant intervenir les masses volumiques et les concentrations de l'eau douce et de l'eau salée ainsi qu'un « *density ratio* » sont présentés en annexe 8.

- **La marée**

Dans un modèle d'écoulement en bordure littorale, l'introduction du paramètre de la variation du niveau marin en condition aval du système est indispensable.

Effectivement, l'évolution des aquifères côtiers de La Réunion est en partie régie par l'oscillation du niveau marin qui constitue le niveau d'équilibre des nappes. Comme cela a été démontré sur le secteur de Saint-Pierre, les aquifères sur la côte Est de la Réunion doivent également réagir à la variation du niveau marin.

Cependant, l'absence de données marégraphiques des années modélisées sur ce secteur (1998, 2001, 2002, 2009) ne permet pas d'étudier l'influence de ce phénomène sur les variations piézométriques des forages d'observation.

IV.2 Calage en régime permanent

La prise en compte du biseau salé nécessite de mettre en place ce que l'on appelle un modèle couplé, soit un calage simultané à la fois sur les niveaux piézométriques et sur l'intrusion de sel dans la nappe.

L'objectif du calage en régime permanent est d'estimer les perméabilités des grands ensembles représentant les formations géologiques principales du secteur de façon à reproduire au mieux les tendances piézométriques observées ainsi que les tendances à l'envahissement progressif par le sel au sein de la nappe.

Contrairement aux limites du modèle en bordure côtière, la surface du fond marin de l'île se prolonge sous le niveau de la mer selon une pente de 20 à 25 %. Dans cette étude, la limite Est du modèle ne prend pas en compte la bathymétrie réelle du fond océanique. Elle est verticale de 0 mNGR à environ -200 mNGR au niveau du trait de côte.

IV.2.1 Calage des perméabilités

Le calage en régime permanent représente le calage de référence qui permet ensuite de travailler en régime transitoire. Le tableau 12 ci-dessous présente le jeu de perméabilités le plus pertinent permettant d'obtenir la piézométrie souhaitée, ainsi que les valeurs de perméabilités issues des pompages d'essais pour chacune des grandes entités géologiques définies précédemment.

Formations	Perméabilités issues des pompages d'essais (m/s)	Perméabilités issues du Calage en Régime Permanent (m/s)
basalte fissuré	$2.78.10^{-3}$	3.10^{-3}
alluvions imperméable (+ paléosol)	-	5.10^{-11}
alluvions grossières limoneuses	5.10^{-4}	4.10^{-4} à 5.10^{-4}
Coulée boueuse	-	5.10^{-8}

Tableau 12 : Perméabilités obtenues à l'issue du calage

Les perméabilités issues du calage restent du même ordre de grandeur que celles tirées de l'interprétation des pompages d'essais. Pour les formations dont la perméabilité n'avait pu être estimée, des valeurs cohérentes avec les connaissances des terrains ont été obtenues.

Le complexe «alluvionnaires imperméables et paléosol » mis en évidence sur le forage P14 Champ Borne a nécessité l'attribution d'une perméabilité extrêmement faible (5.10^{-11} m/s) pour le calage du modèle.

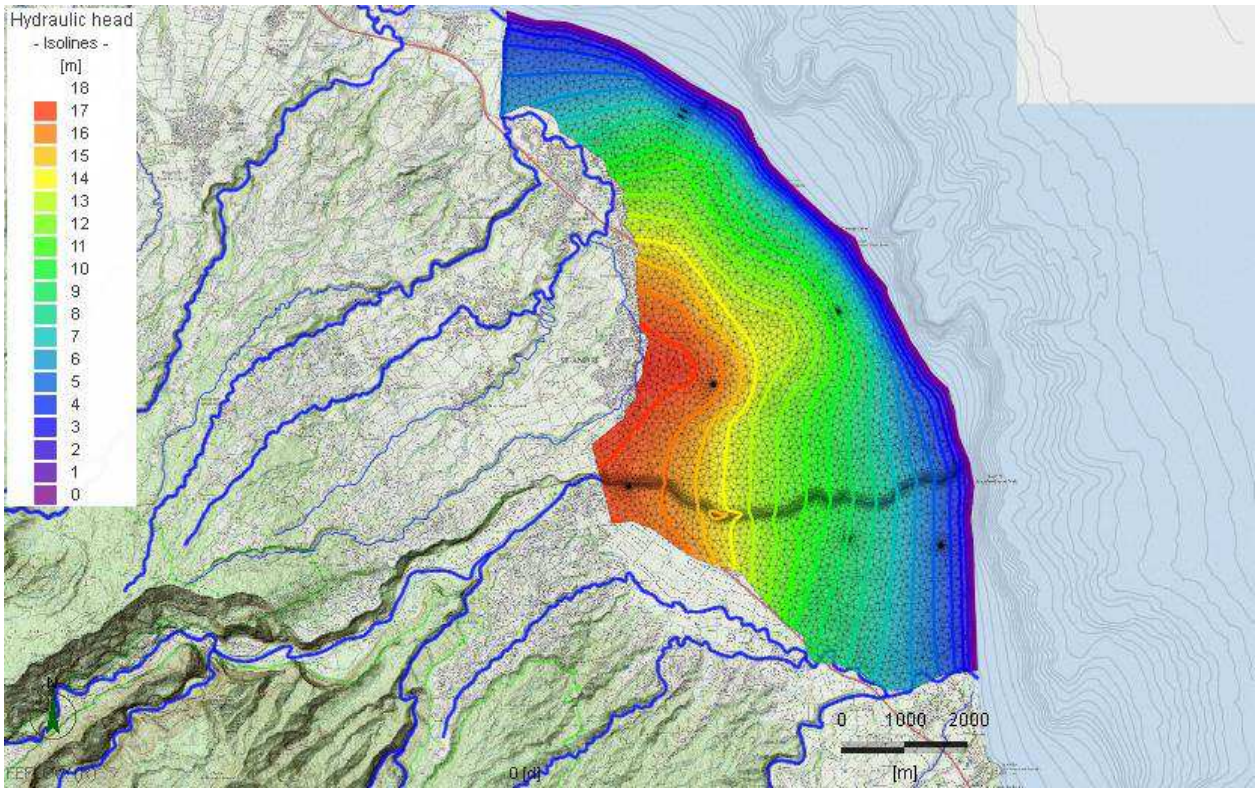


Figure 28 : Carte piézométrique simulée du cône alluvial de la Rivière du Mât

Sur la figure 28, l'alimentation importante de la planèze en rive gauche de la Rivière du Mât est bien visible.

La diminution de perméabilité des terrains en bordure littorale est également bien représentée par un resserrement des lignes piézométriques qui indique un gradient hydraulique beaucoup plus fort que sur le reste de la plaine alluviale.

Le tableau 13 montre que les résultats de la modélisation en régime permanent sont cohérents avec les niveaux piézométriques observés.

Les niveaux mesurés sont des moyennes des valeurs mesurées avant le début de la saison humide du nouveau cycle hydrologique. Elles correspondent à une valeur représentative de la piézométrie d'étiage de la nappe.

Code BSS	Nom usuel	Piézométrie mesurée (mNGR)	Piézométrie simulée (mNGR)
12273X0011/F	Ravine Creuse	16.47	16.33
12273X0009/P14	P14 Champ Borne	9.58	9.71
12273X0010/F	Paniandy	13.50	13.54
12272X0001/F	Puits Robert Cambuston	2.97	3.03

Tableau 13 : Comparaison des niveaux mesurés et simulés des points de calage

IV.2.2 Calage de l'intrusion saline

Les résultats de simulations des intrusions salines sont présentés sur les figures 29 à 33.

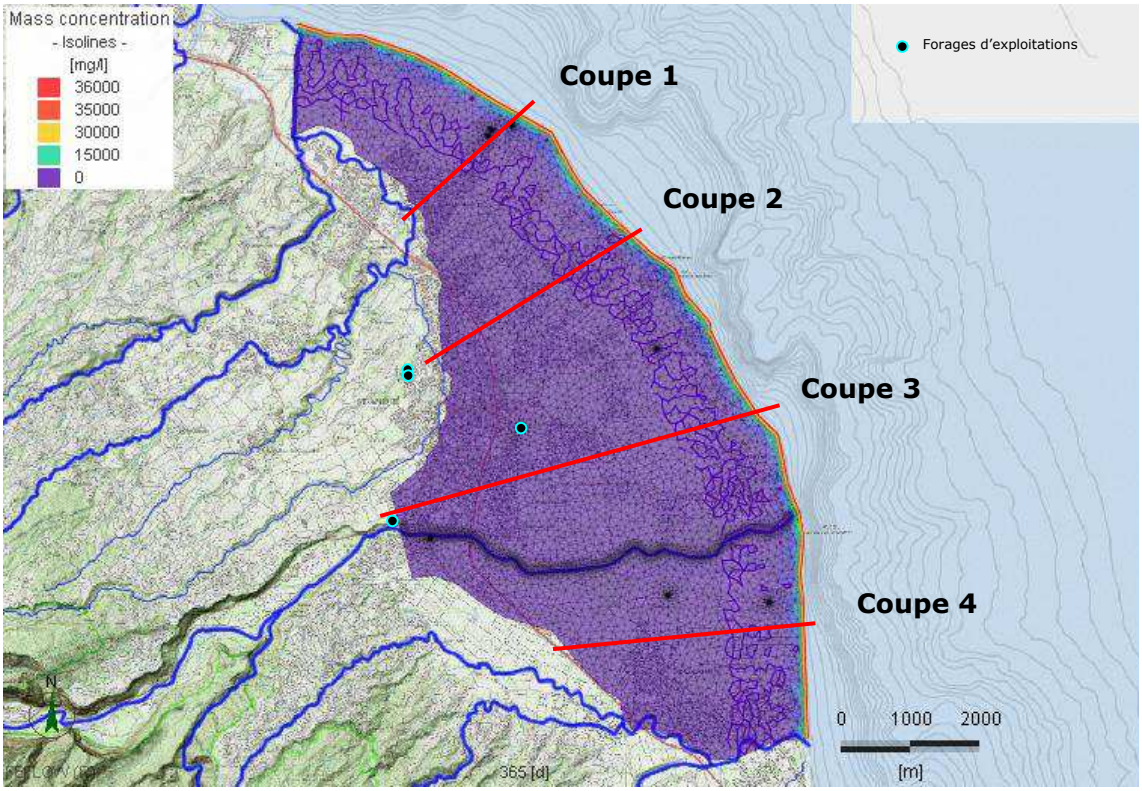


Figure 29 : Carte des salinités simulées en surface

La figure 29 montre que les intrusions salines sont très faibles sur l'ensemble du modèle. La limite de 200 mg/l se retrouve à peine à quelques centaines de mètres du rivage. Ce résultat confirme bien les analyses de terrains qui n'ont pas montré de pollution de la nappe de base par les eaux marines (cf. III.5 Interprétation des données de salinité).

Cependant, en absence du fonctionnement des prises ILO et selon les modalités de gestion actuelles des différents forages d'exploitation, les phénomènes de remontées d'eaux saumâtres semblent peu probables à court terme sur ce secteur. Seule une exploitation trop intensive d'un forage pourrait être la cause de phénomènes d'intrusions salines.

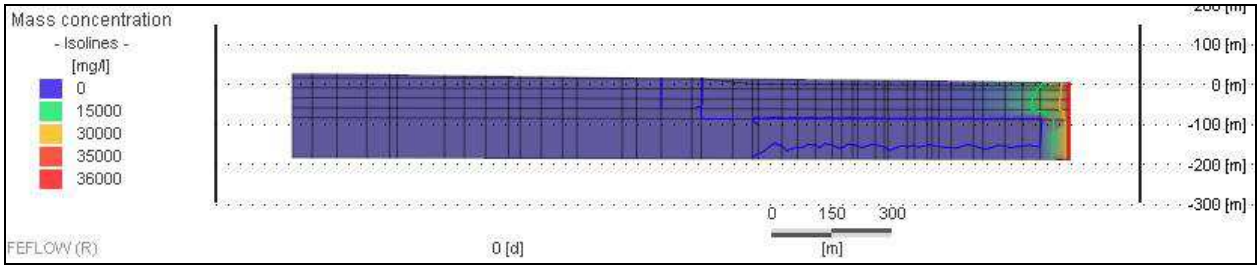


Figure 30: Coupe n°1 Ouest - Est d'invasion du sel à travers la plaine alluviale du Mât

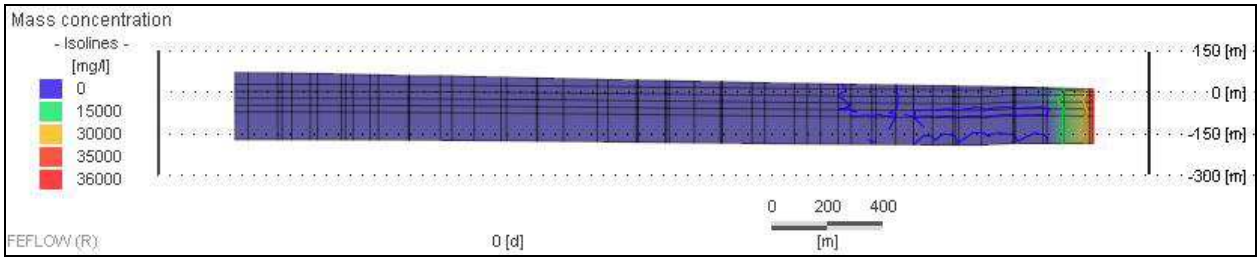


Figure 31: Coupe n°2 Ouest - Est d'invasion du sel à travers la plaine alluviale du Mât

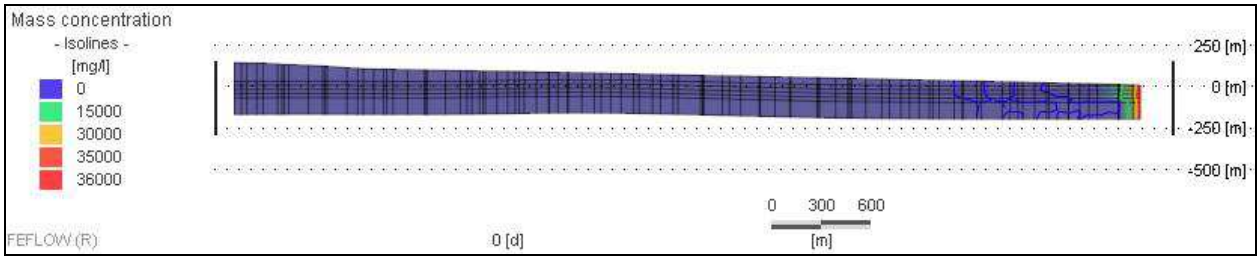


Figure 32: Coupe n° 3 Ouest - Est d'invasion du sel à travers la plaine alluviale du Mât

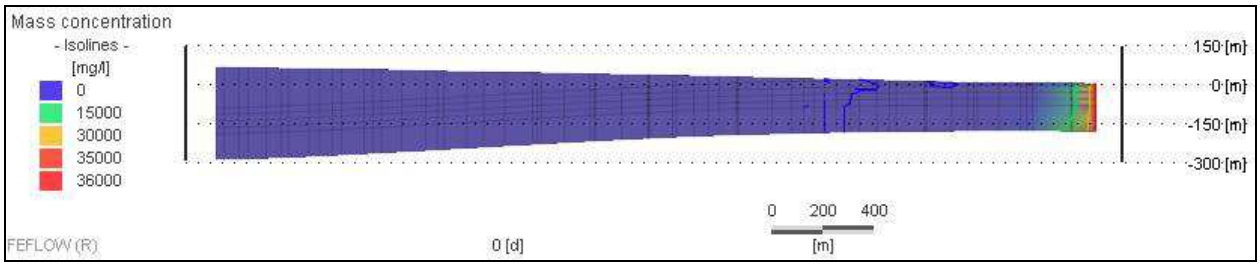


Figure 33: Coupe n°4 Ouest - Est d'invasion du sel à travers la plaine alluviale du Mât

Les coupes visibles sur les figures 30 à 33 montrent que le modèle dessine un biseau salé très vertical qui entre peu dans les terres.

Elles mettent également en évidence une interface en « marche d'escalier » (coupes 1, 2 et 3). Ce profil particulier est le résultat des différences de flux souterrains entre les horizons de surface peu transmissifs et ceux plus profonds et plus transmissifs. Effectivement, les flux souterrains plus important à travers les horizons basaltiques en profondeur ont tendance à repousser le biseau salé contrairement aux flux souterrains plus faibles des horizons supérieurs.

De nouveaux points de mesure, à des profondeurs plus importantes, permettraient une analyse plus fine des phénomènes de salinisation de ce secteur.

IV.2.3 Bilan en eau de la nappe

Le bilan des flux entrant et sortant du modèle, après 365 jours de simulation, est présenté à travers le tableau 14.

Dirichlet-BCs	-927696	+196582
Neumann-BCs		+497886
Cauchy-BCs		
Wells	-1967	
Distributed Sources/Sinks	-4.72632e+06	+5.45595e+06
Balance		+494432

Tableau 14 : Bilan des flux entrant et sortant du modèle (m^3/j)

Afin de ramener les débits du bilan ci-dessus en litres par seconde et différencier les volumes d'entrée et les volumes de sorties, le bilan de la nappe modélisée peut s'écrire de la façon suivante :

- **Débits d'entrées :**

- Alimentation (Neumann-BCs)……5763 l/s
- Précipitation (Distributed Sources/Sinks)……..8445 l/s

- **Débits de sorties**

- Pompage du forage Ravine Creuse (Wells)……22 l/s
- Fuites en mer (Dirichlet-BCs)……..8461 l/s

Bilan (Balance) : Entrées - Sorties = 5725 l/s

IV.2.4 Analyse de sensibilité du calage

Afin de tester la sensibilité du modèle obtenu, les valeurs de perméabilités ont été modifiées pour plusieurs formations géologiques. Le tableau 15 présente les résultats des différents tests.

Formations	K (calage en RP)	K (test de sensibilité)	Résultat du test de sensibilité
Basalte fissuré	3.10^{-3}	3.10^{-4}	calage très mauvais
alluvions imperméable (+ paléosol)	5.10^{-11}	5.10^{-10}	calage acceptable
alluvions grossières limoneuses	4.10^{-4} à 5.10^{-4}	5.10^{-5}	calage extremement mauvais
Coulée boueuse	1.10^{-8}	1.10^{-7}	calage acceptable

Tableau 15 : Analyse de sensibilité du calage en Régime Permanent du modèle

Comme l'atteste les résultats d'analyses de la sensibilité du calage présentés ci-dessus, la piézométrie réagit fortement aux changements de perméabilité des basaltes fissurés ou des alluvions grossières limoneuses.

Les changements d'un facteur 10 de la perméabilité des formations très peu perméables (alluvions imperméables et coulée boueuse) n'influent pas réellement sur les valeurs piézométriques obtenues en régime permanent.

Néanmoins, les valeurs de perméabilités attribuées pour ces formations pour les tests de sensibilité sont toujours très faibles. Il semble donc important d'attribuer des valeurs faibles mêmes si le changement d'un ordre de grandeur n'affecte pas réellement le calage du modèle.

IV.3 Calage en régime transitoire – cycle hydrologique moyen – année 2007

Suite au calage en régime permanent qui a permis de définir les perméabilités du modèle, l'objectif de la modélisation en régime transitoire est de voir dans quelles mesures celui-ci est capable de reproduire les variations piézométriques observées sur les piézomètres de contrôle. La simulation en régime transitoire permet également de définir les valeurs d'emmagasinement du modèle.

La simulation d'un cycle hydrologique moyen (année 2007), où l'on dispose des données pluviométriques et des données piézométriques en continues est présentée dans ce chapitre.

En l'absence de données d'emmagasinement sur ce secteur, des zones d'emmagasinement homogène (« patates ») autour des forages d'observation ont été définies et sont présentées dans le tableau 16.

	Emmagasinement
Secteur "P14 Champ Borne"	0.07
Secteur "Ravine Creuse"	0.001
Secteur "Paniandy"	0.005
Secteur Cambuston	0.0002

Tableau 16 : Emmagasinement des zones de valeur homogène

Les valeurs d'emmagasinement spécifique déterminées de **0.07 à 0.0002** selon les secteurs ont été définies afin de représenter précisément le type de variations piézométriques observées sur chacun des 4 piézomètres d'observations. Ces gammes de valeurs sont représentatives d'aquifères libres (0.07) qui peuvent être localement captif (0.0002).

Le comportement hydrodynamique de ces piézomètres est régi à la fois par leur proximité à la rivière, leurs réponses aux écoulements souterrains venant des planèzes et aux précipitations.

N'ayant pas de chroniques en continues des volumes d'infiltrations de la rivière, et connaissant mal les lois d'infiltration sur les planèzes et donc les variations d'écoulements souterrains en amont hydraulique du modèle, le seul paramètre défini comme transitoire est la pluviométrie au pas de temps journalier (figure 34).

Les infiltrations de la rivière et les débits de circulation souterraine sont laissés constants.

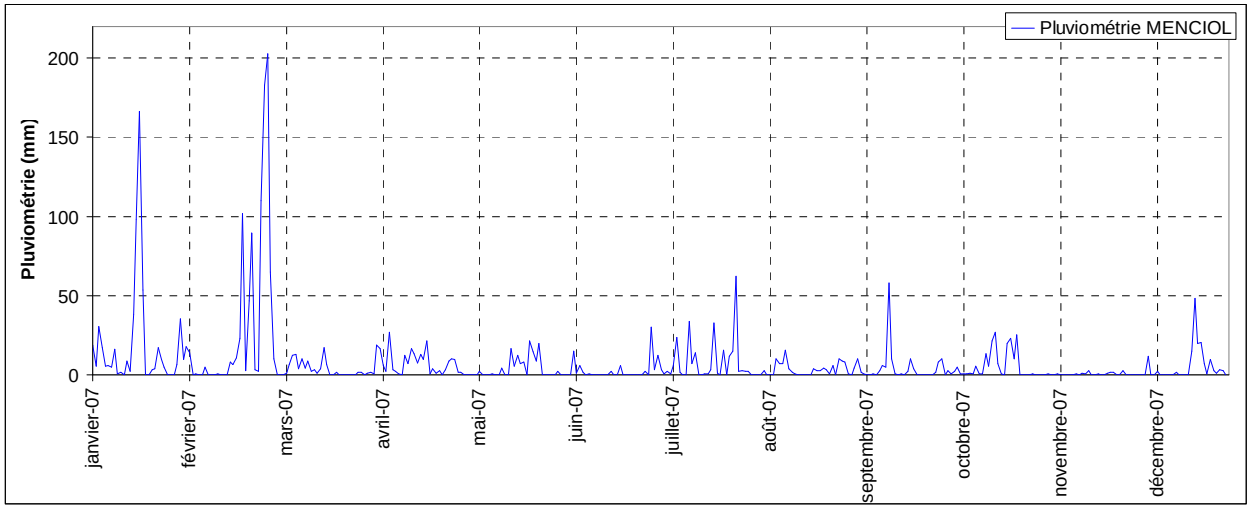


Figure 34 : Chronique pluviométrique journalière du poste MENCIOL (METEO-FRANCE, 2007)

Les résultats de simulations en régime transitoire pour l'année 2007 ont été étudiés pour 3 piézomètres d'observations dont les chroniques au pas de temps journalier sont disponibles :

- Ravine-Creuse,
- P14 Champ-Borne,
- Paniandy.

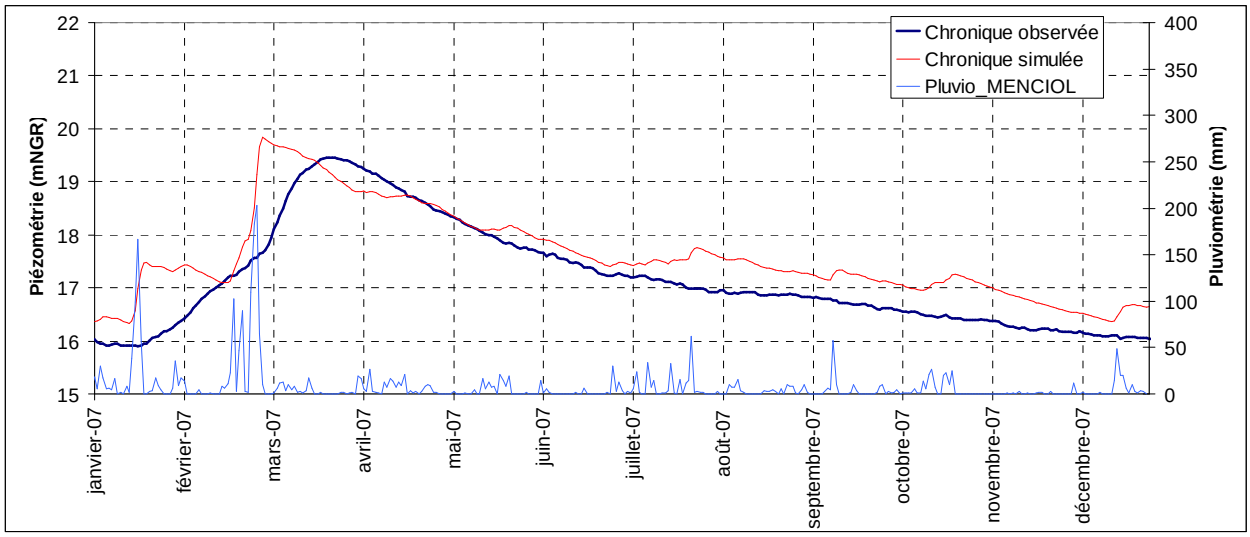


Figure 35 : Comparaison des chroniques observées et simulées – Ravine-Creuse n°2 – 2007

La figure 35 représente la corrélation entre la chronique piézométrique mesurée de l'ouvrage Ravine Creuse n°2 et la chronique simulée par le modèle. Elle montre une bonne corrélation du point de vue des amplitudes piézométriques. En revanche, la piézométrie simulée réagit immédiatement aux précipitations alors que dans la réalité un retard d'environ un mois est observé entre les « pics » de précipitations et les maximums piézométriques correspondants.

De plus, la chronique mesurée présente un profil plus lissé que celle simulée, ce qui implique une perméabilité et une transmissivité du modèle supérieure à la réalité.

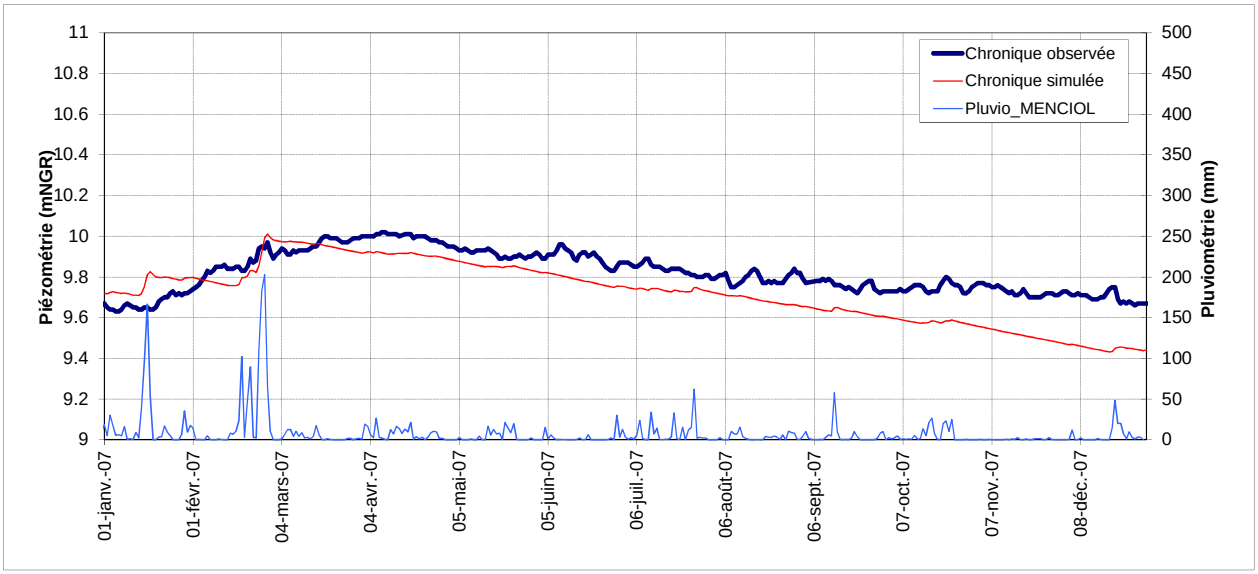


Figure 36 : Comparaison des chroniques observées et simulées – P14 Champ-Borne – 2007

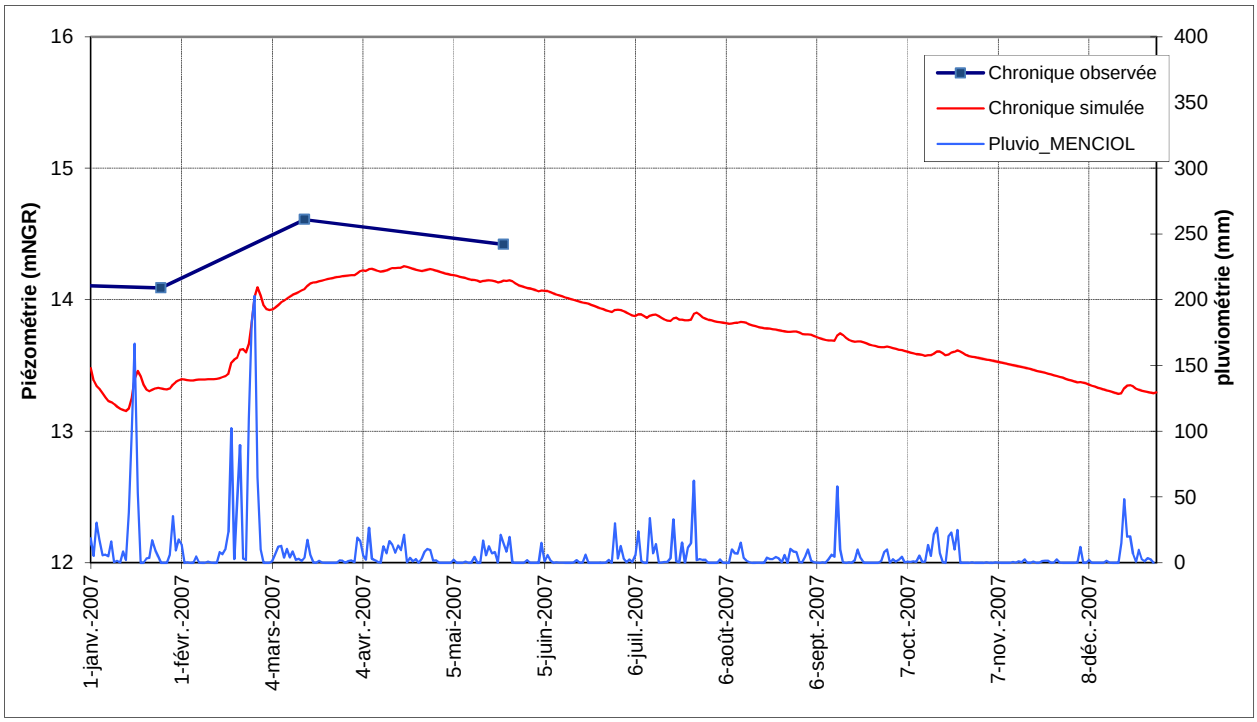


Figure 37 : Comparaison des chroniques observées et simulées – Paniandy – 2007

En ce qui concerne les ouvrages P14 Champ Borne et Paniandy, une corrélation relativement bonne est visible sur les figures 36 et 37 selon les chroniques disponibles. La faible amplitude piézométrique des deux ouvrages est bien reproduite.

Sur l'ouvrage P14 Champ Borne le maximum piézométrique est simulé avec un décalage d'un mois et le tarissement commence donc plus tôt que dans la réalité. Ce tarissement est également plus important que celui observé. Le risque est que sur une simulation pluriannuelle, la piézométrie diminue au fur et à mesure comme si le modèle avait tendance à se vider progressivement.

Concernant, l'ouvrage Paniandy les mesures de référence sont peu nombreuses mais concordent bien avec la simulation. Les maximums piézométriques sont concordants ainsi que l'augmentation et le tarissement.

IV.4 Calage en régime transitoire – cycle hydrologique humide – année 1993

Afin de vérifier le fonctionnement du modèle pour une année hydrologique « humide », la simulation de l'année 1993 est étudiée dans ce chapitre.

Les chroniques annuelles au pas de temps journalier sont disponibles pour les quatre ouvrages d'observation :

- Ravine-Creuse,
- P14 Champ-Borne,
- Paniandy,
- Puits Robert Cambuston

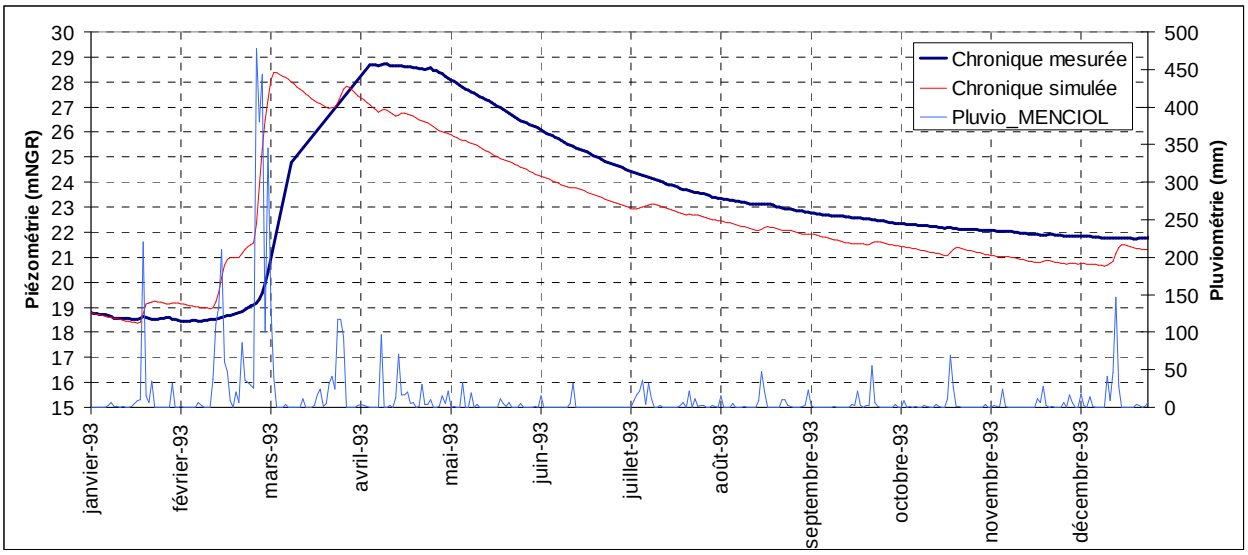


Figure 38 : Comparaison des chroniques observées et simulées – Ravine-Creuse – 1993

De la même façon que pour la simulation de l'année 2007, la chronique simulée de l'ouvrage Ravine Creuse n°2 pour l'année 1993 présente une bonne corrélation avec les observations concernant les amplitudes de variations piézométriques. Par contre, elle répond plus rapidement aux précipitations et présente des variations à l'étiage qui diffèrent des observations (figure 38).

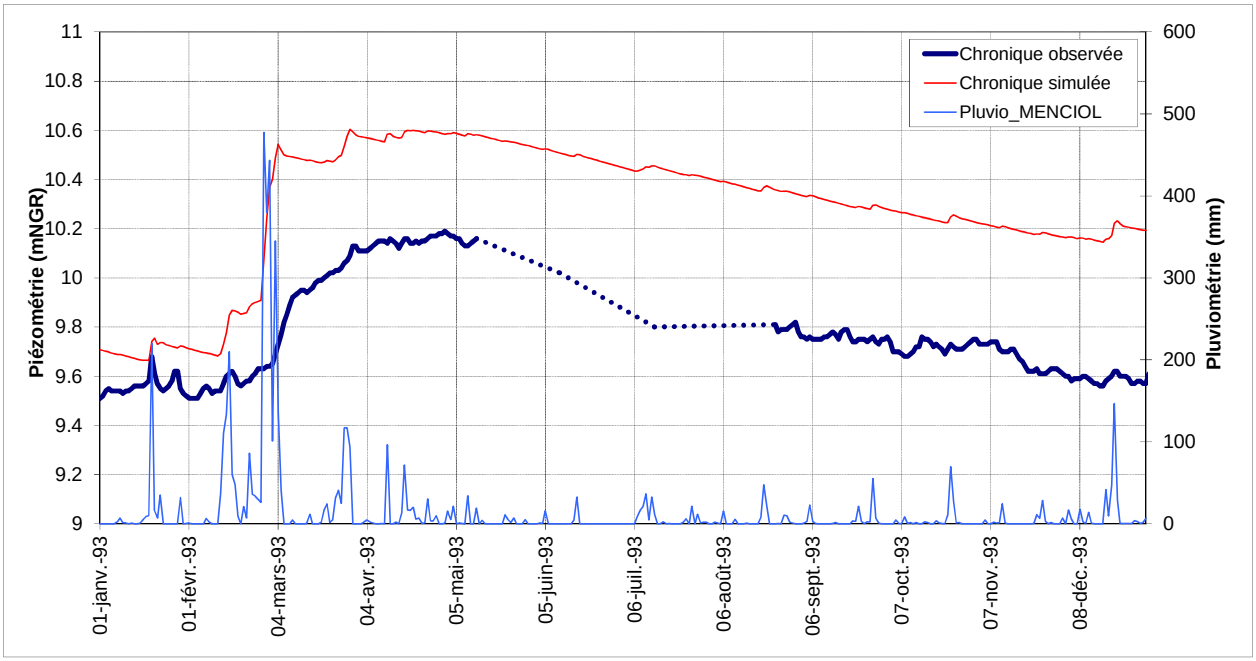


Figure 39 : Comparaison des chroniques observées et simulées – P14 Champ Borne - 1993

La simulation des variations piézométriques de l'ouvrage P14 Champ Borne pour une année humide (1993 cf. figure 39) est moins bonne que pour une année moyenne (2007). La remontée piézométrique simulée après les évènements pluvieux importants de la fin du mois de février est trop importante. Ensuite, la diminution progressive du niveau piézométrique est correcte mais l'atteinte du niveau d'étiage en fin d'année reste supérieure à l'observation.

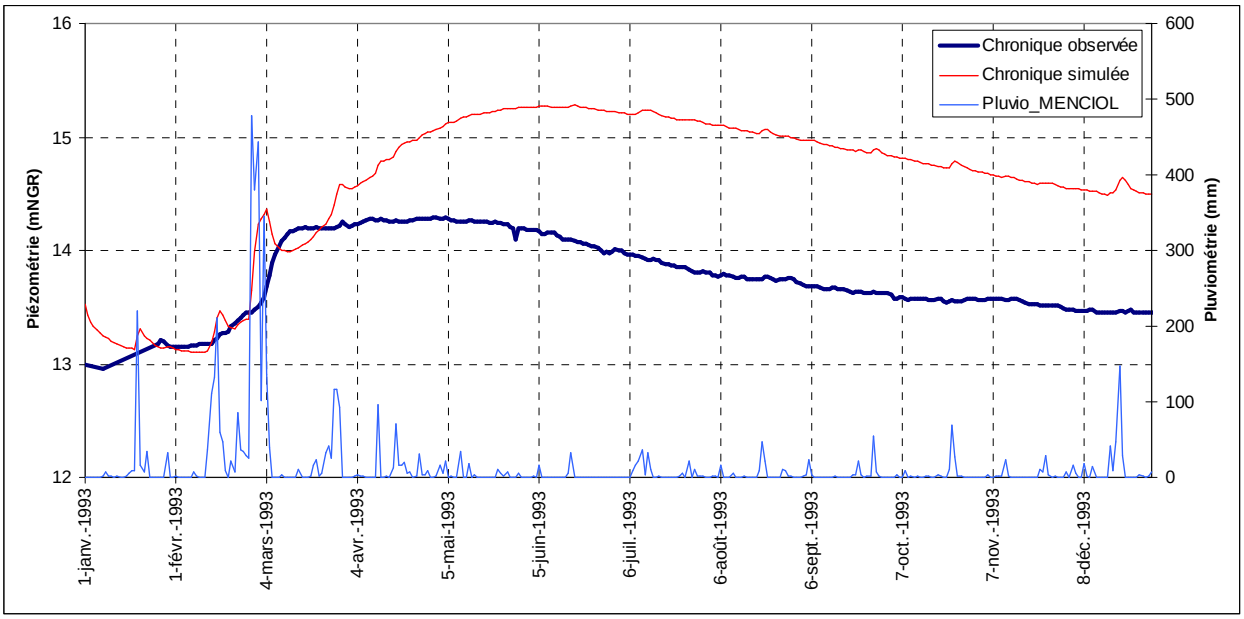


Figure 40 : Comparaison des chroniques observées et simulées – Paniandy - 1993

Comme le montre la figure 40, dans le secteur du forage Paniandy, la piézométrie simulée pour une année humide représente mal l'évolution observée.

Le calage est plutôt correct jusqu'en mars 1993. Ensuite l'écart avec le niveau réel augmente pour atteindre le maximum piézométrique avec environ 4 mois de décalage. Le niveau piézométrique maximum atteint est supérieur d'un mètre à celui mesuré. Une tendance à la baisse est ensuite simulée fidèlement aux observations mais le niveau d'étiage atteint en fin d'année n'est pas retrouvé. Il présente un écart d'environ 1 mètre.

Le modèle réagit bien aux évènements pluviométriques importants du mois de février même si dans la réalité la nappe réagit plus progressivement aux évènements pluviométriques importants de début d'année.

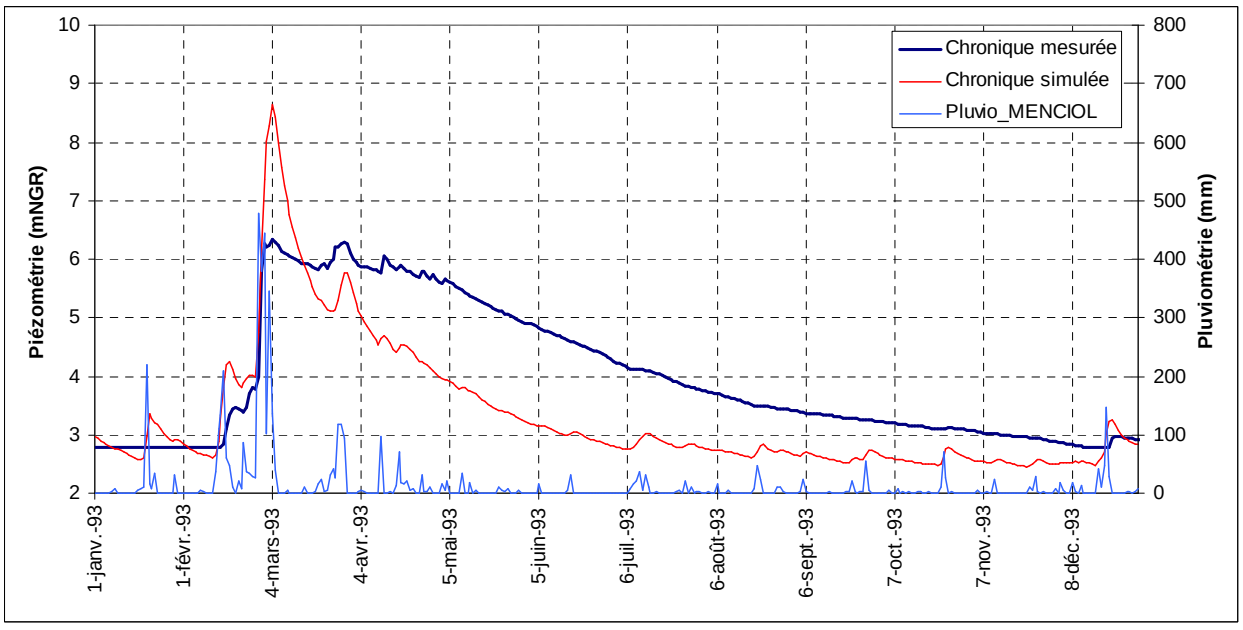


Figure 41 : Comparaison des chroniques observées et simulées – Puits Robert Cambuston – 1993

La simulation de la piézométrie de l'ouvrage dans la zone de Cambuston (figure 41) reproduit globalement l'évolution piézométrique observée même si des différences de profils sont notées.

L'augmentation rapide du début d'année est bien représentée mais se stabilise à une piézométrie de presque 2 mètres supérieure à celle observée. Ensuite, le tarissement simulé de l'aquifère est plus rapide que la réalité. Malgré cela, le niveau d'étiage simulé en fin d'année est proche du niveau observé.

Dans ce secteur, le modèle à tendance à simuler des diminutions piézométriques rapides dès que les précipitations s'arrêtent.

IV.5 Calage en régime transitoire – cycle hydrologique sec – année 2001

Afin de vérifier le fonctionnement du modèle pour une année hydrologique « sèche », la simulation de l'année 2001 est étudiée dans ce chapitre.

Les chroniques annuelles au pas de temps journalier sont disponibles pour trois ouvrages d'observation :

- Ravine-Creuse n°2,
- P14 Champ-Borne,
- Puits Robert Cambuston.

Concernant l'ouvrage Paniandy des mesures ponctuelles constituent la chronique de référence.

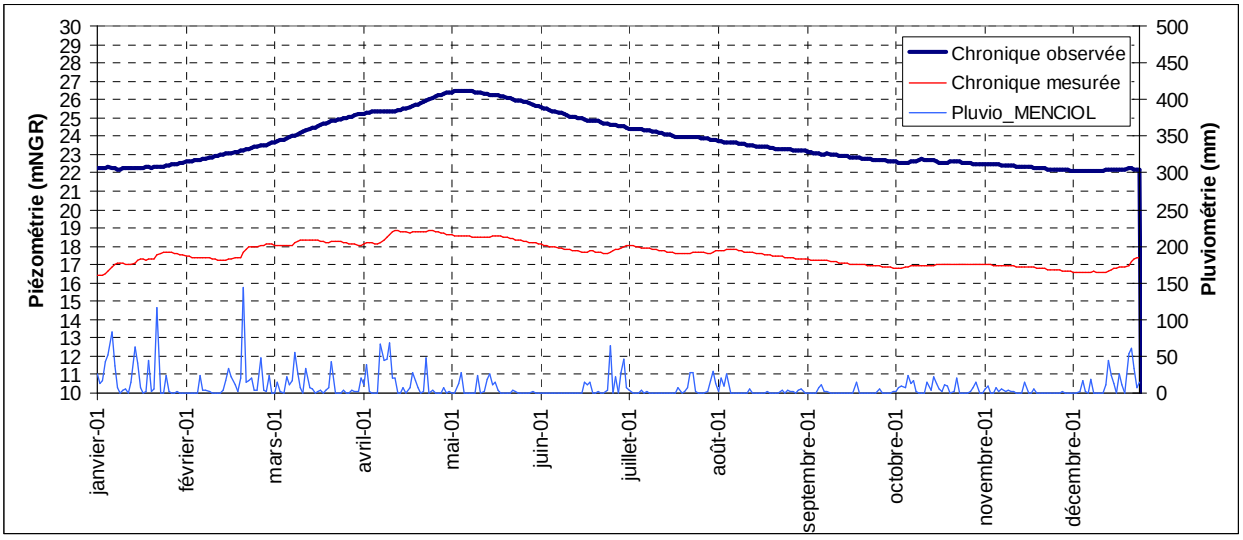


Figure 42 : Comparaison des chroniques observées et simulées – Ravine Creuse n°2– 2001

La simulation piézométrique pour l'ouvrage Ravine Creuse n°2 en 2001 (figure 42) est difficilement comparable avec la chronique observée. A cette époque, le forage colmaté n'était pas en équilibre avec la nappe (cf. paragraphe III.2.1). Son niveau observé était alors supérieur de quelques mètres au niveau réel de la nappe à cet endroit.

Néanmoins, la chronique simulée représente bien les observations : une montée piézométrique jusqu'au début du mois de mai, puis une diminution progressive de mai à décembre.

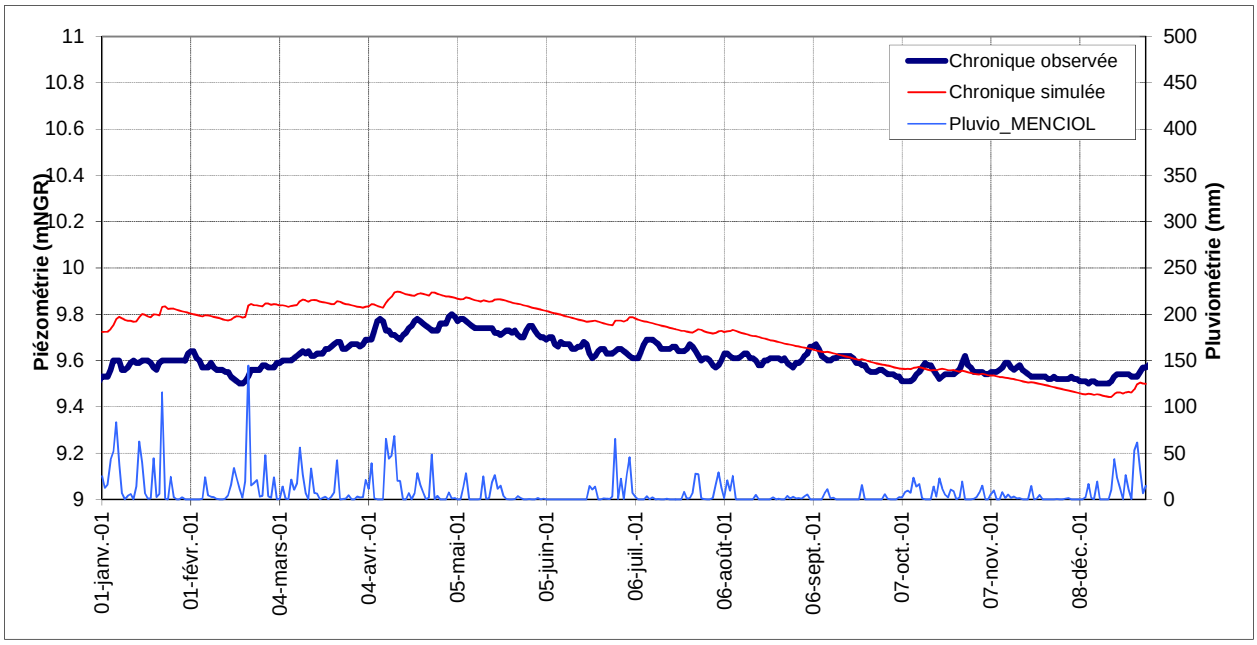


Figure 43 : Comparaison des chroniques observées et simulées – P14 Champ Borne – 2001

Comme pour les simulations des cycles hydrologiques moyen et sec, celle de l'année 2001 sur le secteur de P14 Champ Borne est en accord avec les niveaux mesurés (figure 43).

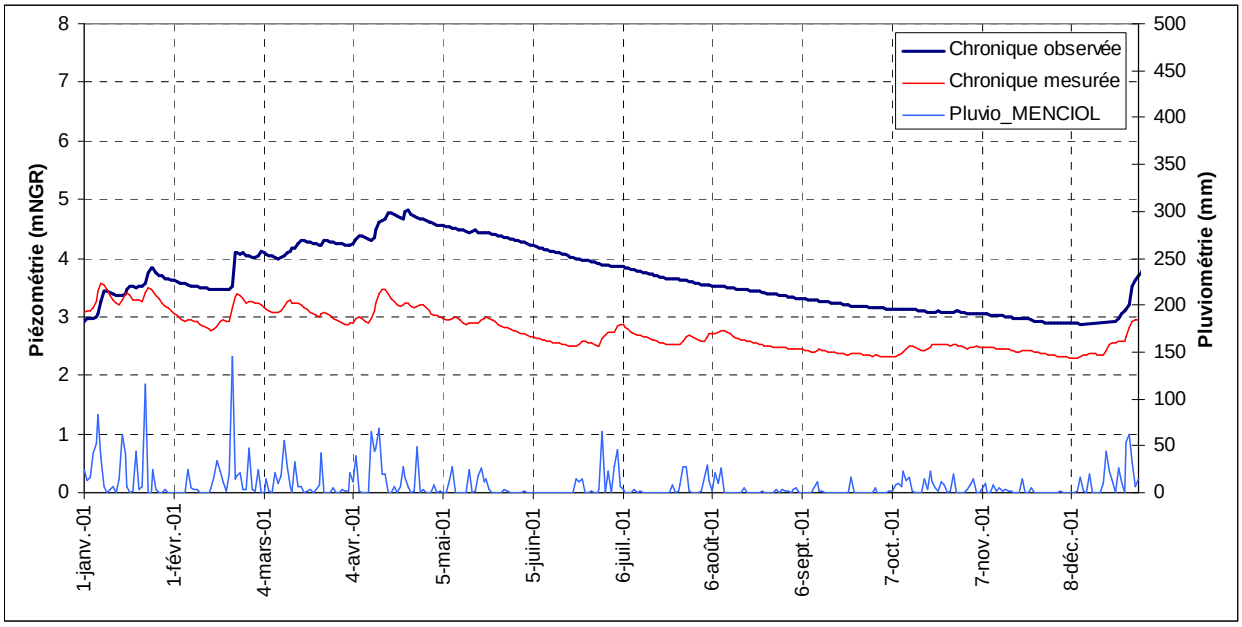


Figure 44 : Comparaison des chroniques observées et simulées – Puits Robert Cambuston – 2001

La figure 44 montre que dans le secteur de Cambuston, la piézométrie du modèle a tendance à diminuer trop rapidement. Ce phénomène, déjà observé pour la simulation d'un cycle humide (1993), est amplifié pour une année sèche.

La simulation du cycle hydrologique sec présente de bonnes réponses piézométriques aux différents épisodes pluviométriques mais les niveaux restent 1 m en dessous des observations. A partir de la mi-avril, le tarissement simulé suit la tendance des observations mais est trop sensible à la pluviométrie par rapport à la réalité. En fin de cycle, l'écart se réduit à 50 cm entre les niveaux simulés et les niveaux observés.

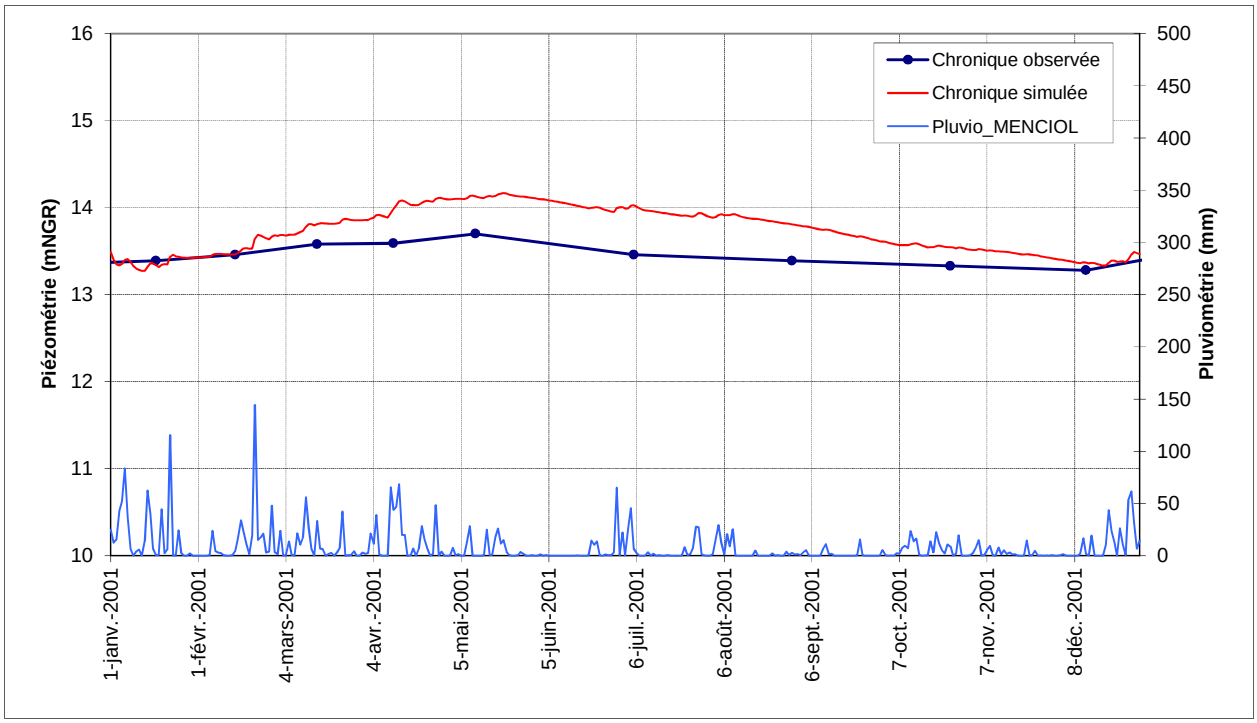


Figure 45 : Comparaison des chroniques observées et simulées – Paniandy – 2001

Sur le secteur de Paniandy, la simulation d'un cycle sec apporte de bons résultats avec une évolution temporelle des niveaux en corrélations avec les observations (figure 45).

Cependant, un écart de quelques dizaines de centimètres est observé lors de l'obtention du maximum piézométrique début mai. Cet écart subsiste quelques mois pendant la diminution progressive de la piézométrie mais le niveau d'équilibre en fin d'année est bien retrouvé.

IV.6 Calage en régime transitoire – période 2002-2007

Après avoir vérifié la validité du modèle à reproduire des chroniques piézométriques annuelles, une simulation pluriannuelle permet de vérifier les dérives potentielles du modèle sur le long terme.

Il est ainsi possible de vérifier si ce dernier a plutôt tendance à se remplir, se vider ou bien s'il restitue bien l'équilibre entre les volumes d'entrée et les volumes de sortie annuels.

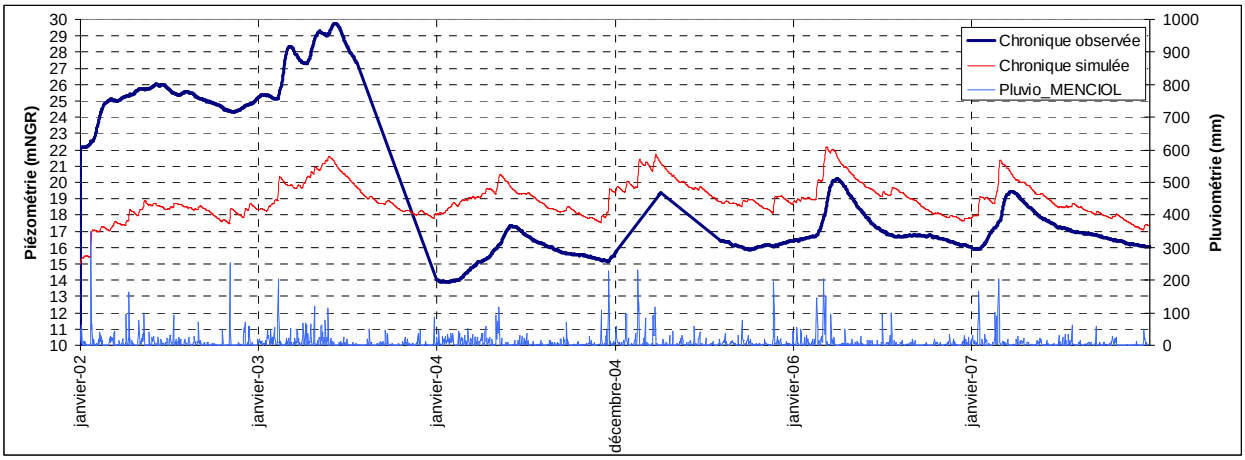


Figure 46 : Comparaison des chroniques observées et simulées – Ravine Creuse – 2002-2007

Le forage Ravine Creuse n°2 a fait l'objet d'une remise en exploitation en fin d'année 2003, ce qui lui a certainement permis de se remettre à l'équilibre avec la nappe suite aux pompages d'essais. A partir de cette date, ses variations sont assez proches de celles du forage Bengalis n°2.

Entre 2002 et 2003 la corrélation avec le modèle ne peut donc pas être obtenue. En revanche la figure 46 montre que les amplitudes de variations simulées sont assez proches de celles observées.

A partir de l'année 2004, une bonne corrélation des chroniques observées et simulées est visible même si un écart de plusieurs mètres est observé. Le signal simulé présente des réponses plus rapides aux précipitations avec de nombreuses micro variations.

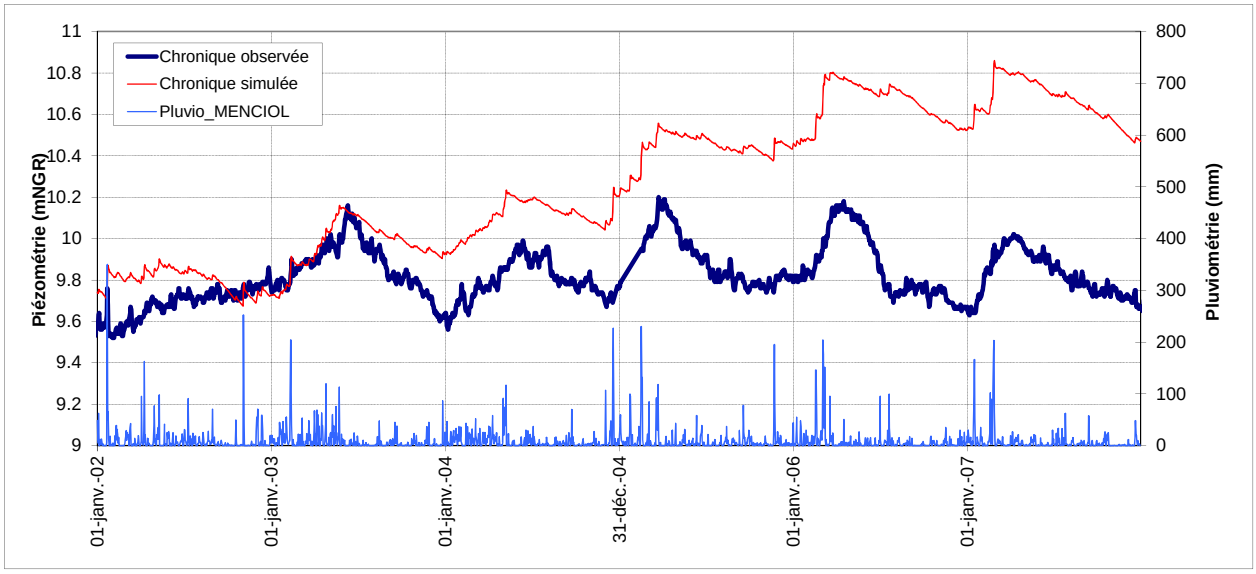


Figure 47 : Comparaison des chroniques observées et simulées – P14 Champ Borne – 2002-2007

La simulation pluriannuelle du forage P14 Champ Borne (figure 47) présente une évolution croissante du niveau moyen annuel. La corrélation est correcte jusqu'au milieu de l'année 2003 puis commence à diminuer au fur et à mesure que le niveau piézométrique simulé augmente. La faible amplitude des variations piézométriques est correctement simulée.

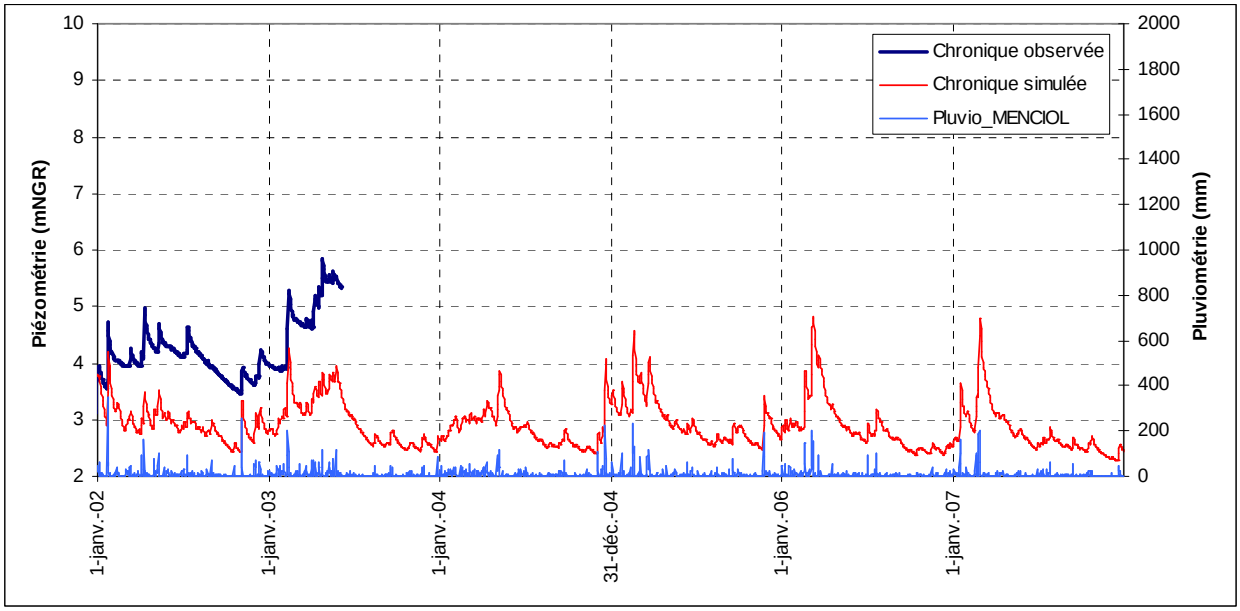


Figure 48 : Comparaison des chroniques observées et simulées – Puits Robert Cambuston – 2002-2007

La chronique simulée de l'ouvrage « Puits Robert Cambuston » reproduit bien les variations d'amplitude de la chronique observée disponible jusqu'à la moitié de l'année 2003 (figure 48).

Cependant, dès le début la piézométrie simulée chute brusquement puis se stabilise autour de 3 mNGR provoquant un écart des niveaux simulés et observés dans ce secteur.

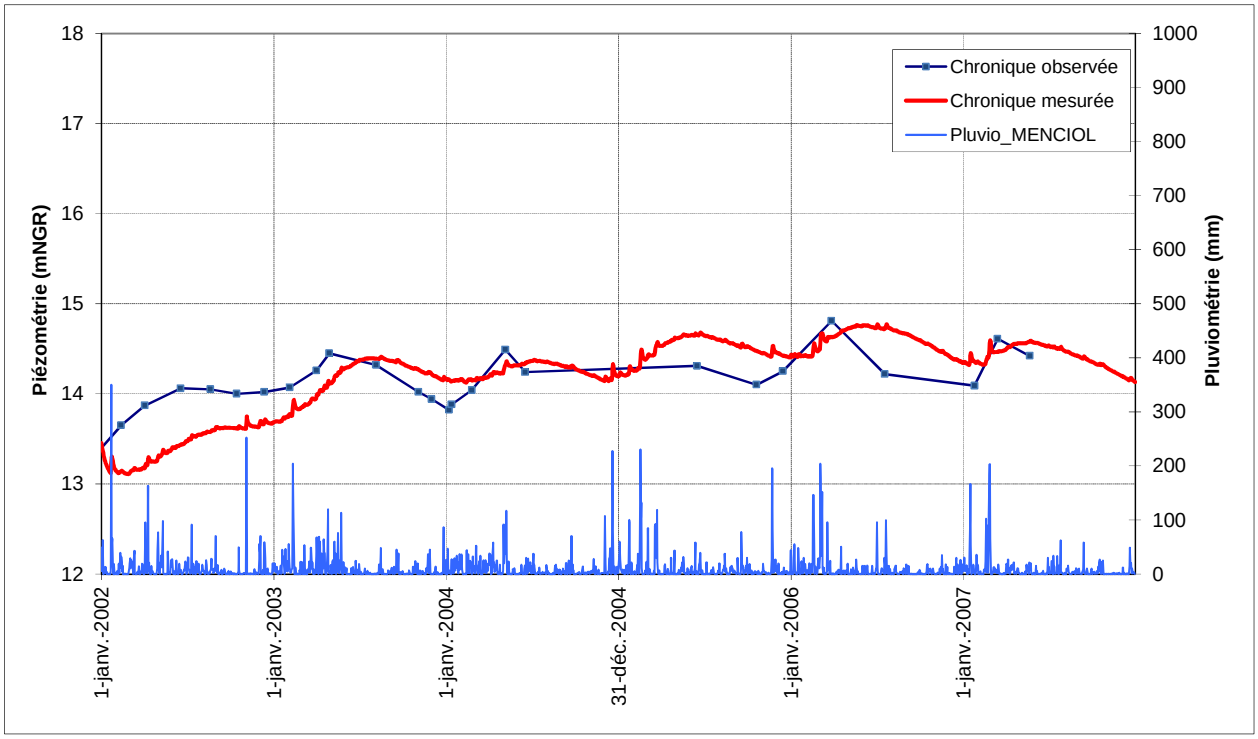


Figure 49 : Comparaison des chroniques observées et simulées – Paniandy – 2002-2007

Le niveau simulé de la nappe dans le secteur de Paniandy (figure 49) se met à l'équilibre au bout d'un an et demi de simulation.

A partir du milieu d'année 2003, l'évolution piézométrique est plutôt bien représentée. Les amplitudes de variations et les niveaux maximums annuels sont respectés, mais un décalage temporel de 1 à 2 mois est visible sur les deux chroniques.

Des lacunes de mesures sur ce forage sont observées en 2004, ce qui explique le décalage entre les observations et la simulation du niveau de la nappe.

IV.7 Conclusion sur le calage du modèle

Le modèle présente un degré de calage acceptable. L'évolution piézométrique spatiale et temporelle est relativement bien représentée sur l'ensemble du secteur de modélisation même si des décalages sont visibles entre les chroniques simulées et celles observées grâces aux mesures de terrains.

Dans le secteur du forage **Ravine Creuse n°2**, l'évolution piézométrique du modèle restitue bien les amplitudes de variations mais avec un décalage temporel d'un ou deux mois.

Les chroniques simulées mettent également en évidence des réponses rapides aux épisodes pluviométriques qui ne sont pas observées. Une perméabilité verticale légèrement trop forte par rapport à la réalité peut être à l'origine de ce phénomène.

La restitution des niveaux piézométriques d'étiages est bien représentée par la simulation pluri annuelle.

Sur le secteur du forage **P14 Champ Borne**, la simulation des différents cycles hydrologiques de référence est en accord avec les observations en termes d'amplitudes piézométriques et d'évolution temporelle du niveau.

La modélisation annuelle présente une bonne concordance temporelle mais un décalage des niveaux de quelques dizaines de centimètres après six années de simulations.

Sur le secteur du **Puits Robert Cambuston**, le profil général des chroniques piézométriques observées est bien restitué malgré un décalage important des niveaux de presque deux mètres avec les mesures.

Sur le secteur du forage **Paniandy**, la simulation du cycle hydrologique sec (2001) et du cycle pluriannuel (2002-2007) présente une bonne corrélation avec les mesures.

La simulation du cycle moyen (2002) est également représentative des mesures disponibles en début d'année.

Par contre, la modélisation du cycle hydrologique humide (1993) présente un écart important à partir de la fin de la saison des pluies où le niveau de la nappe simulé augmente trop fortement avant d'entamer sa diminution. De cette façon le niveau piézométrique d'étiage obtenu est supérieur d'un mètre à celui mesuré.

V Scénarii de simulation

L'élaboration d'un modèle numérique représentatif des écoulements souterrains permet le suivi et l'évaluation des évolutions possibles des nappes d'eau en réponse à des facteurs d'origines naturelles ou anthropiques.

Concernant les systèmes aquifères liés à la Rivière du Mât, plusieurs facteurs pourraient contribuer à des changements d'état et de dynamique des masses d'eau.

Dans un premier temps, la mise en service des prises ILO prévu pour 2014-2015, sera susceptible d'influencer le débit résiduel de la Rivière du Mât et donc potentiellement les infiltrations de celle-ci vers les nappes.

La remise en service du Barrage Bengalis pourrait également contribuer à une diminution du débit de la rivière.

Enfin, dans un contexte démographique en constante évolution, l'augmentation des besoins en eau pourrait aussi se traduire par une évolution croissante des prélèvements souterrains.

V.1 Scénario 1: Modification des prélèvements souterrains

La population croissante du département et plus particulièrement sur les communes de Saint-André et Bras-Panon se corrélera sans doute avec une augmentation des prélèvements à travers les nappes de la Plaine alluviale du Mât.

Dans cette hypothèse, l'impact d'une hausse des prélèvements sur les écoulements et l'invasion saline a été simulé à différentes échelles (tableau 17) :

- Prélèvements actuels + 10%,
- Prélèvements actuels + 30%,
- Prélèvements actuels + 50%,
- Prélèvements actuels + 100%.

Forage d'exploitation	Q d'exploitation 2011	Q + 10%	Q + 30%	Q + 50%	Q + 100%
FORAGE DIORE	523 490	575839	680537	785235	1046980
FORAGE RAVINE CREUSE	718 639	790502.9	934230.7	1077958.5	1437278
FORAGE TERRE ROUGE 2	206 154	226769.4	268000.2	309231	412308
FORAGE TERRE-ROUGE	153 020	168322	198926	229530	306040
TOTAL	**1 601 303**	**1 761 433**	**2 081 694**	**2 401 955**	**3 202 606**

Tableau 17 : Augmentation des prélèvements sur les ouvrages d'exploitation actuels (m^3/an)

		Piézométrie (mNGR)					
		mesurée	calage de référence	Scénario 1			
Code BSS	Nom usuel			Q + 10%	Q + 30%	Q + 50%	Q + 100%
12273X0011/F	Ravine Creuse	16.47	16.33	16.26	16.25	16.23	16.2
12273X0009/P14	P14 Champ Borne	9.58	9.71	9.69	9.68	9.68	9.66
12273X0010/F	Paniandy	13.50	13.54	13.51	13.5	13.49	13.48
12272X0001/F	Puits Robert Cambuston	2.97	3.03	3.02	3.01	3.01	3

Tableau 18 : Résultats des piézométries obtenues en fonction de l'augmentation des prélèvements

Le tableau 18 présente les résultats obtenus sur la piézométrie pour le scénario 1. L'hypothèse théorique du doublement des prélèvements sur chaque forage entraîne une baisse de la piézométrie comprise entre 3 et 13 cm en fonction des secteurs.

Concernant l'intrusion saline à travers la nappe de base, aucune différence significative avec l'état actuel n'a pu être mise en évidence par le modèle. La limite de 1 g/l de chlorure se situe toujours à une centaine de mètre du rivage. Il faut malgré tout rester prudent car le modèle ne permet pas de détecter une surexploitation de la ressource à l'échelle de l'ouvrage. Des modèles plus fins sont nécessaires pour simuler des intrusions salines localisées (phénomènes d'upwellings par exemple).

V.2 Scénario 2 : Mise en service des prises ILO

Comme le montre la figure 50, lorsque les prises ILO du cirque de Salazie seront en service, le débit résiduel en aval de celles-ci pourra diminuer fortement pendant la saison sèche, jusqu'à atteindre le débit réservé de 750 l/s.

Globalement, en saison humide de janvier à mai, le débit de la rivière en amont des prises est largement supérieur aux débits maximums dérivables par celles-ci. En revanche, pendant la saison sèche le débit résiduel en aval des prises pourrait atteindre le débit réservé obligatoire de 750 l/s.

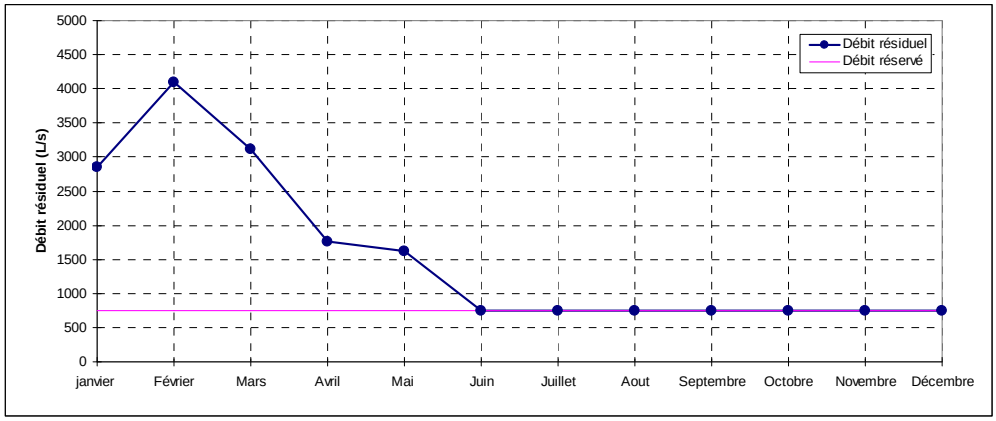


Figure 50 : Débit résiduel de la Rivière du Mât à l'aval des prises ILO (année sèche de référence - 1990)

L'existence d'apports par des affluents en aval des prises ILO (Bras des Lianes, Bras de Caverne) devrait suffire pour assurer la continuité hydraulique avec la mer en maintenant un débit de cours d'eau supérieur aux infiltrations moyennes du cône alluvial vers les aquifères.

Ainsi, le risque pour que l'alimentation des aquifères, par les infiltrations issues du cours d'eau, diminue est peu probable. Par contre, il faut s'attendre à ce que le débit du cours d'eau à l'embouchure soit nettement plus faible qu'aujourd'hui.

		Piézométrie (mNGR)		
		mesurée	calage de référence	Scénario 2
Code BSS	Nom usuel			ILO 100% +BC 0% +BL 0%
12273X0011/F	Ravine Creuse	16.47	16.33	16.27
12273X0009/P14	P14 Champ Borne	9.58	9.71	9.69
12273X0010/F	Paniandy	13.50	13.54	13.47
12272X0001/F	Puits Robert Cambuston	2.97	3.03	3.03

Tableau 19 : Résultats des piézométries obtenues après simulation de la mise en service des prises ILO et de l'arrêt d'alimentation de la rivière par le Bras des Lianes et le Bras de Caverne

Le tableau 19 présente les résultats des simulations du scénario 2. La modélisation est en accord avec l'analyse précédente, elle montre que le passage d'une valeur d'infiltration annuelle moyenne de 810 l/s à 750 l/s ne provoque pas une diminution significative sur les ouvrages d'observations.

Seuls les trois ouvrages à proximité de la rivière observent une diminution de leurs niveaux piézométriques respectifs pour un maximum de 7 centimètres sur l'ouvrage Paniandy.

Ces résultats peuvent être d'autant plus nuancés que l'attribution d'une valeur d'infiltration de 750 l/s tout au long de l'année ne prend pas en compte l'infiltration durant la saison des pluies qui devrait être supérieure.

Concernant l'intrusion saline à travers la nappe de base, aucune différence significative avec l'état actuel n'a pu être mise en évidence. La limite de 1 g/l de chlorure se situe toujours à une centaine de mètre du rivage.

VI Conclusions

VI.1 Synthèse

Dans un contexte réglementaire suggéré par la Directive Cadre sur l'Eau, la présente étude contribue à l'amélioration des connaissances des systèmes aquifères liés à la Rivière du Mât.

L'élaboration d'un modèle mathématique représentatif des écoulements de la nappe inférieure (nappe de base) permet la simulation de conditions d'alimentation et de prélèvements particuliers de cette ressource en eau. Il constitue ainsi un outil d'aide à la décision pour la gestion durable de cette masse d'eau.

La compilation des données disponibles a servi à identifier puis évaluer les paramètres importants, impliqués dans les circulations d'eau de surface et d'eau souterraine.

L'état des lieux des connaissances géologiques et hydrogéologiques sur ce secteur a permis d'établir un modèle conceptuel, constitué par 6 couches et 4 zones de géométrie :

- Des formations alluvionnaires et détritiques (couches 1 à 5),
- les horizons semi-perméables (couches 3 à 6),
- une zone de très faible perméabilité (couches 4 à 6),
- le socle basaltique (couche 6)

Les nombreuses étapes de calage du modèle ont permis d'élaborer un modèle capable de bien retranscrire la dynamique des circulations souterraines. Les amplitudes, les niveaux maximums annuels et les niveaux piézométriques d'étiages sont, pour la plupart des ouvrages sur les différentes étapes de calages, plutôt bien retranscrits.

Evaluation de la ressource disponible pour une année moyenne (2002)

Lors d'un cycle pluviométrique « moyen », le bilan hydrologique de la modélisation a permis d'approcher le « débit de réserve » ou « débit mobilisable » en soustrayant les volumes sortant représentés par les prélèvements et les fuites en mer, des volumes entrants représentés par l'infiltration des pluies en amont des planèzes, au droit de la rivière et directement sur la plaine alluviale.

De cette façon, une valeur de 5 763 l/s est obtenue pour une année moyenne comme « débit restant potentiellement mobilisable ». Cette valeur représente la ressource mobilisable mais ne traduit pas les modalités d'exploitation qui sont fonction des différents types de prélèvements et des débits associés. En milieu littoral, une exploitation trop importante d'un ouvrage peut conduire à sa salinisation, même dans le contexte du secteur étudié.

La valeur de prélèvement total acceptable préconisé par ARMINES en 1994 de 500 l/s. D'après les résultats de la présente étude (Office, 2013) ce débit exploitable représente seulement 10% de la ressource disponible en année moyenne. En 2011, le volume total annuel prélevé à travers quatre ouvrages d'exploitations représentait seulement 50.7 l/s. Cela montre bien que les nappes de la Plaine du Mât n'ont pas atteint leurs limites d'exploitation.

Résultats du scénario 1 : Doublement des prélèvements

Les simulations ont permis de démontrer que le doublement des débits des forages d'exploitation sur la commune de Saint-André engendre une faible diminution des niveaux piézométriques par rapport à l'état actuel de la nappe de base.

Un maximum de 13 centimètres d'écart est observé sur l'ouvrage Ravine Creuse n°2 (12273X0011/F) lorsque le volume total annuel des prélèvements souterrains passe de 1 601 303 m^3 à 3 202 606 m^3. Cependant, le modèle n'est pas suffisamment précis pour évaluer l'impact de cette baisse piézométrique sur la salinisation au niveau de l'ouvrage.

Résultats du scénario 2 : Diminution des infiltrations

La simulation d'une diminution des volumes d'infiltration moyens de la Rivière du Mât, liée à la mise en service des prises ILO et l'arrêt de l'alimentation du Bras des Lianes et du Bras de Caverne a également abouti à une diminution des niveaux piézométriques dont le maximum d'écart est observé sur le forage Paniandy (-7 cm).

Cependant, ce scénario est très défavorable puisque l'historique des données disponibles montre que le Bras de Caverne et le Bras des Lianes n'ont jamais tari depuis 1976 (date des premières mesures).

Impact sur les intrusions salines

Concernant les phénomènes d'intrusions salines, les mesures in-situ ainsi que les résultats de simulations montrent un état relativement favorable sur ce secteur selon la dynamique actuelle de la ressource et de la gestion des forages d'exploitation.

La limite de potabilité de 200 mg/l de chlorures n'a été mise en évidence par aucune mesure de terrain et les simulations de l'état actuel montrent que la limite de 1 g/l n'est qu'à une centaine de mètres à l'intérieur des terres.

Les simulations, de la mise en service des prises ILO et d'une augmentation des volumes d'exploitations d'eau souterraine n'ont pas mis en évidence de modification significative de la morphologie générale de l'interface eau douce – eau salée sur le secteur d'étude. Compte tenu de la taille des mailles du modèle, les variations de salinité modélisées ne doivent pas être interprétées à l'échelle des forages.

Un suivi régulier des phénomènes d'intrusions salines ainsi que des mesures plus nombreuses et plus profondes devraient être envisagées afin d'améliorer la connaissance de ce phénomène sur le secteur et éventuellement prévenir de tout changement d'état de la ressource.

La valeur des résultats présentés est néanmoins soumise à la validité du modèle, suivant les hypothèses de travail et les différents paramètres présentés dans le corps du rapport.

De manière générale, le modèle peut être utilisé pour :

- Reproduire une piézométrie moyenne tirée de bilans hydrologiques annuels,
- Étudier le degré d'invasion saline en fonction de conditions piézométriques,
- Reproduire l'évolution annuelle et pluriannuelle des quatre forages d'observation selon la chronique pluviométrique du poste « Menciol »,
- La simulation de nouvelles conditions d'alimentation ou de prélèvement du système et leurs répercussions sur les niveaux piézométriques et l'invasion saline.

VI.2 Pistes d'amélioration du modèle

Dans l'état actuel des connaissances, le modèle élaboré permet de retranscrire de manière correcte les mesures de niveaux piézométriques observées sur le terrain.

Cependant, certaines améliorations pourraient être apportées au modèle dans la mesure de données complémentaires :

1. Améliorer la connaissance du sous-sol par la densification des ouvrages : cette perspective permettrait de définir plus finement le modèle conceptuel au niveau de sa structure (nombre de couche, maillage) et des caractéristiques des zones de géométries (transmissivité, perméabilité, emmagasinement). Cela permettrait également de rechercher l'interface eau douce – eau salée pour avoir d'éventuels points de calages pour les simulations.

2. Ajouter les évolutions temporelles des débits d'infiltration annuelles à travers les planèzes et au niveau de la Rivière du Mât : La mise en place de mesure en continu des infiltrations de la rivière permettraient d'introduire les variations de l'infiltration de la rivière au pas de temps journalier.
   De plus, une amélioration des connaissances des lois d'infiltrations sur les planèzes et de la variation temporelle des débits souterrains en amont des zones littorales permettrait d'améliorer le paramétrage des conditions d'alimentation du modèle.

3. Intégrer les données marégraphiques comme condition aval du modèle : La prise en compte de l'évolution du niveau marin en bordure côtière du modèle permettrait de mettre en évidence son influence sur les variations piézométrique de la nappe de base.

Bibliographie

Rapports :

SOGREAH (1998) – Secteur Sainte-Marie / Sainte-Suzanne. Elaboration d'un modèle mathématique de gestion des ressources en eau souterraine dans le secteur compris entre Rivière des Pluies et Rivière Sainte-Suzanne. Rapport de première phase. Avril 1998. Rapport n°104029 R2.

SOGREAH (1998) – Secteur Sainte-Marie / Sainte-Suzanne. Elaboration d'un modèle mathématique de gestion des ressources en eau souterraine dans le secteur compris entre Rivière des Pluies et Rivière Sainte-Suzanne. Rapport de seconde phase. Juillet 1999. Rapport n°104029 R3.

SOGREAH / CEBTP (1989) – Programme de recherche en eau – Étude de la nappe alluviale de la Rivière du Mât. Rapport de phase 1.

SOGREAH (1991) - Programme de recherche en eau – Étude de la nappe alluviale de la Rivière du Mât. Campagne de reconnaissance mécanique.

ARMINES – Ile de la Réunion – Etude par modèle mathématique de l'aquifère inférieur de la région de Saint-André. Avril 1994.

Observatoire Réunionnais de l'EAU (1999) – Modèle mathématique de l'aquifère inférieur de la région de Saint-André. Etat des connaissances. Analyse du modèle. Décembre 1999.

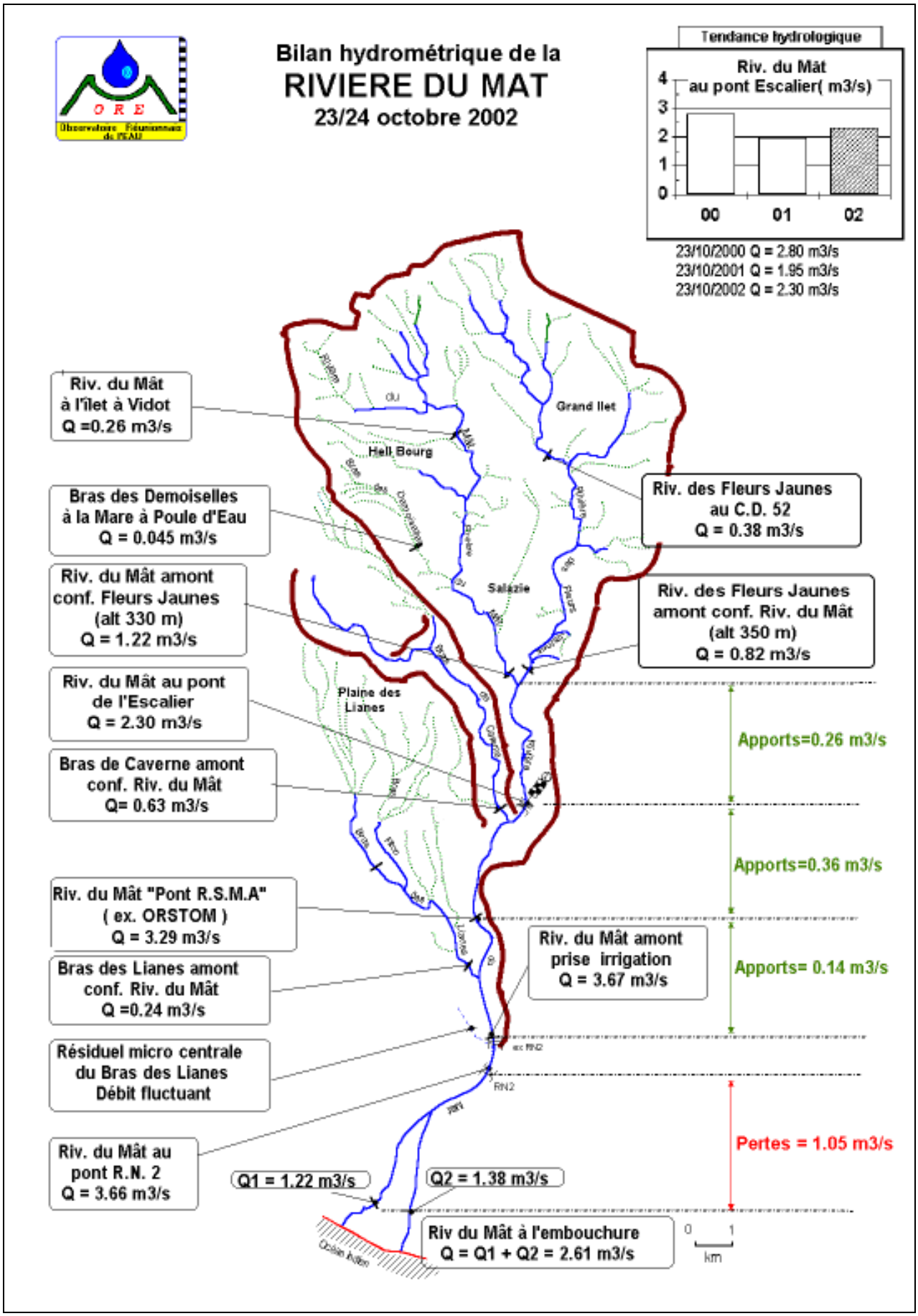
BRGM (2010) – Analyse fonctionnelle par traitement du signal et approche hydrochimique des aquifères du nord de la Réunion. Avril 2010. Rapport n° BRGMRP-57955-FR.

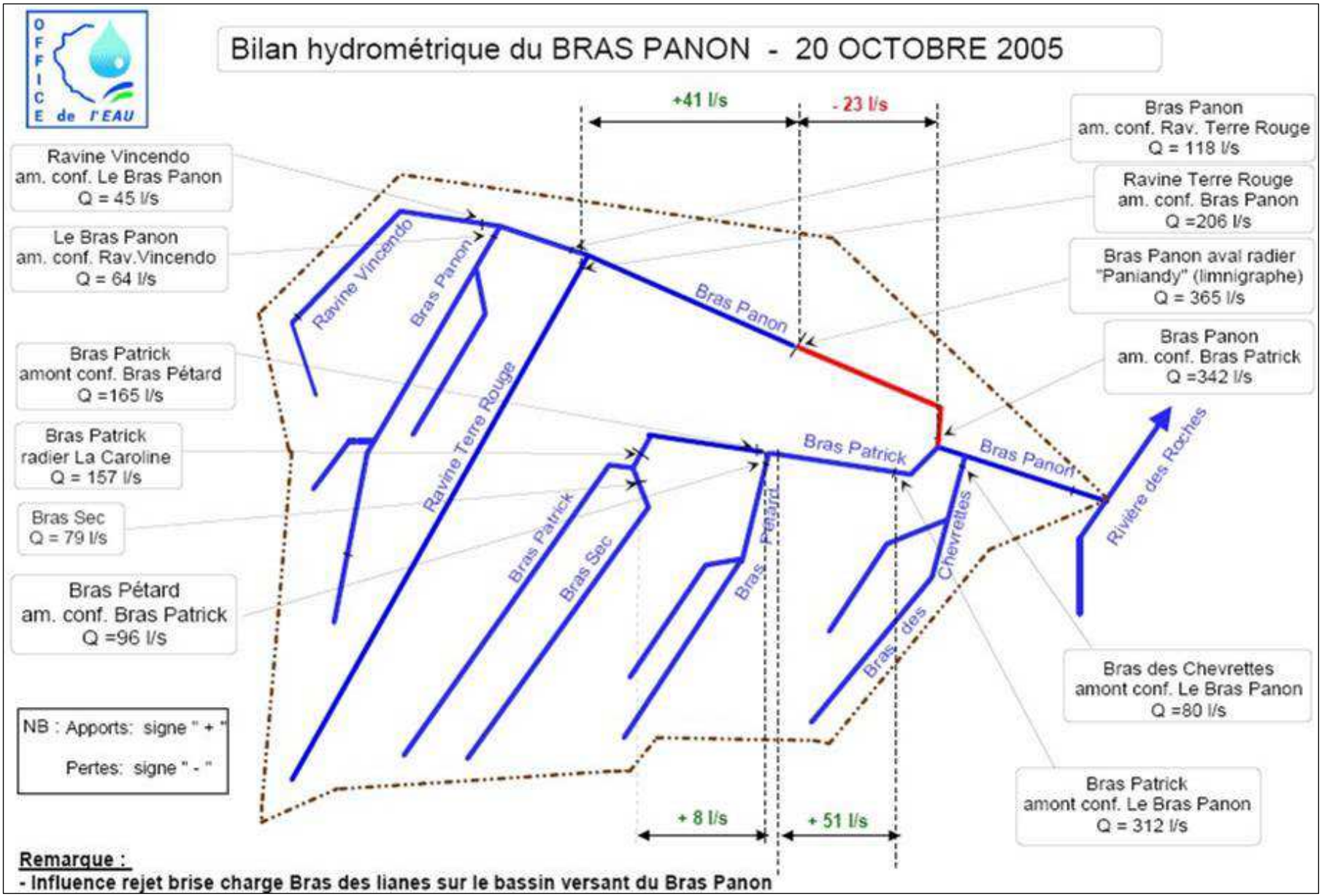
Sites Internet :

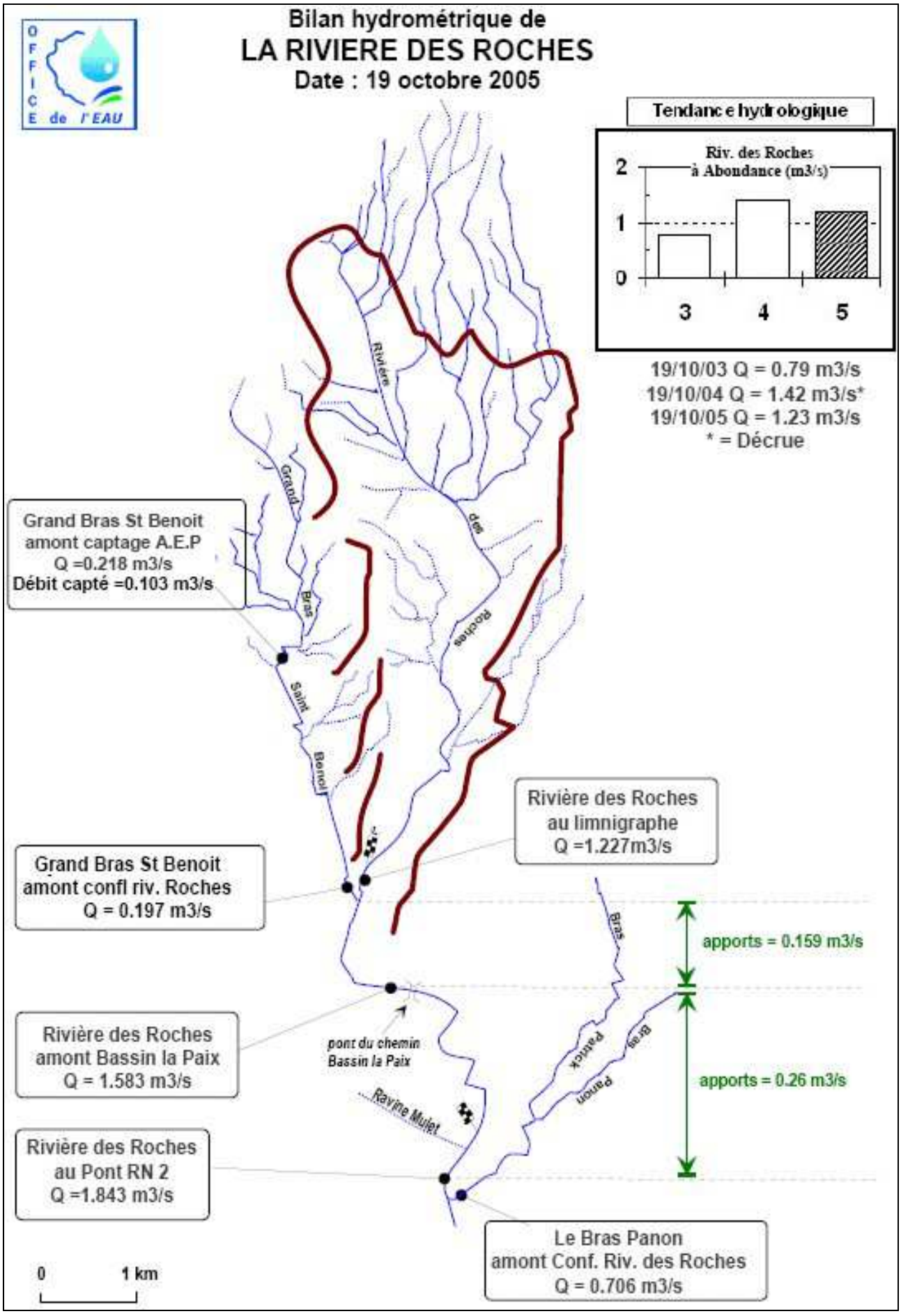
- http://www.eaureunion.fr/
- http://infoterre.brgm.fr/

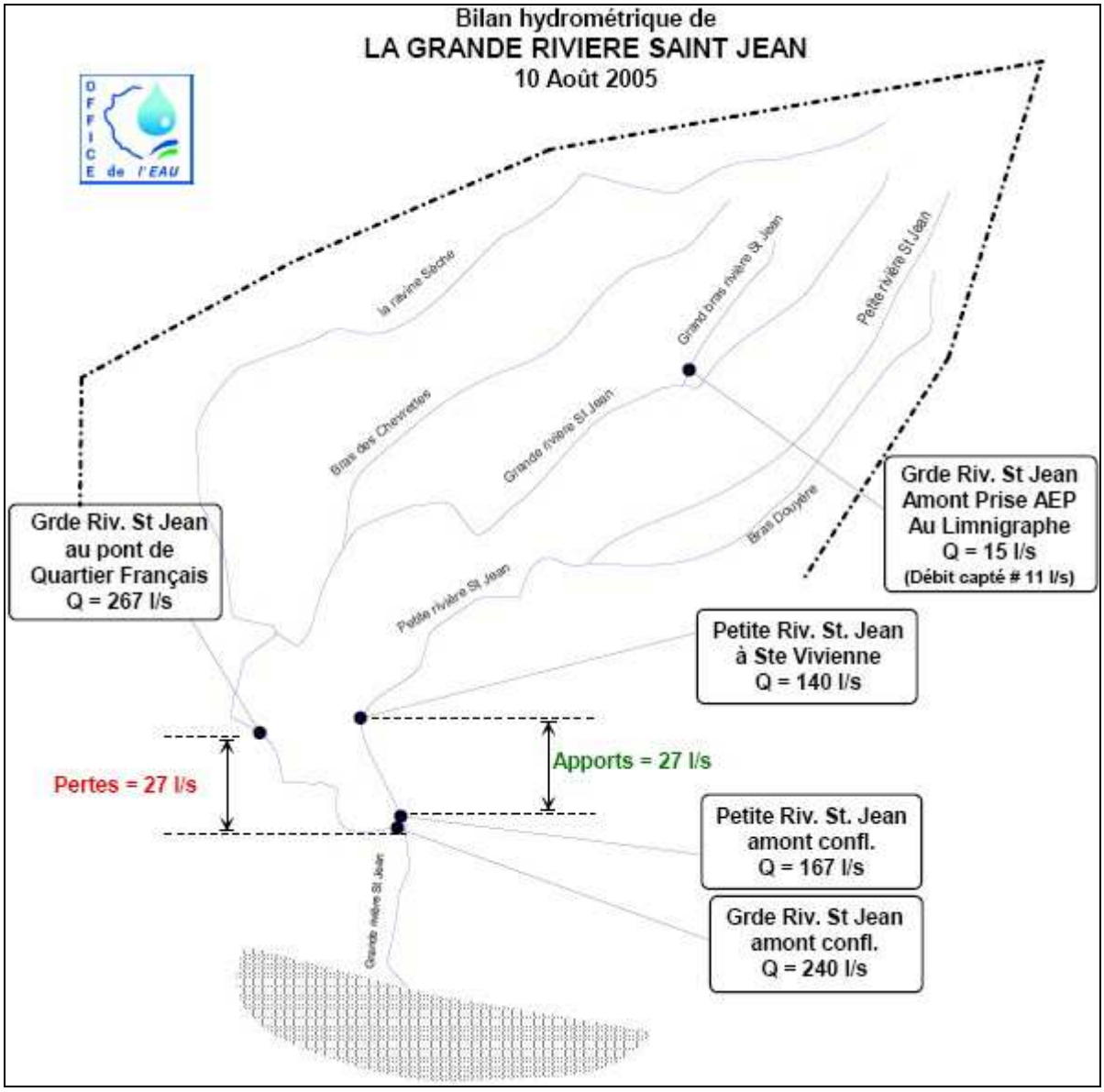
Annexe 1

Bilans hydrométriques des rivières pérennes au nord-est de la Réunion


Bilan hydrométrique de la
RIVIERE DU MAT
23/24 octobre 2002
Tendance hydrologique
Riv. du Mât
au pont Escalier(m3/s)
4
3
2
1
0
00
01
02
23/10/2000 Q = 2.80 m3/s
23/10/2001 Q = 1.95 m3/s
23/10/2002 Q = 2.30 m3/s
Riv. du Mât
à l'îlet à Vidot
Q =0.26 m3/s
Bras des Demoiselles
à la Mare à Poule d'Eau
Q = 0.045 m3/s
Riv. du Mât amont
conf. Fleurs Jaunes
(alt 330 m)
Q = 1.22 m3/s
Riv. du Mât au pont
de l'Escalier
Q = 2.30 m3/s
Bras de Caverne amont
conf. Riv. du Mât
Q= 0.63 m3/s
Riv. du Mât "Pont R.S.M.A"
(ex. ORSTOM)
Q = 3.29 m3/s
Bras des Lianes amont
conf. Riv. du Mât
Q =0.24 m3/s
Résiduel micro centrale
du Bras des Lianes
Débit fluctuant
Riv. du Mât au
pont R.N. 2
Q = 3.66 m3/s
Riv. des Fleurs Jaunes
au C.D. 52
Q = 0.38 m3/s
Riv. des Fleurs Jaunes
amont conf. Riv. du Mât
(alt 350 m)
Q = 0.82 m3/s
Riv. du Mât amont
prise irrigation
Q = 3.67 m3/s
Grand Ilet
Hell Bourg
Salazie
Plaine des
Lianes
Apports=0.26 m3/s
Apports=0.36 m3/s
Apports= 0.14 m3/s
Pertes = 1.05 m3/s
RN2
Q1 = 1.22 m3/s
Q2 = 1.38 m3/s
Riv du Mât à l'embouchure
Q = Q1 + Q2 = 2.61 m3/s
0
1
km

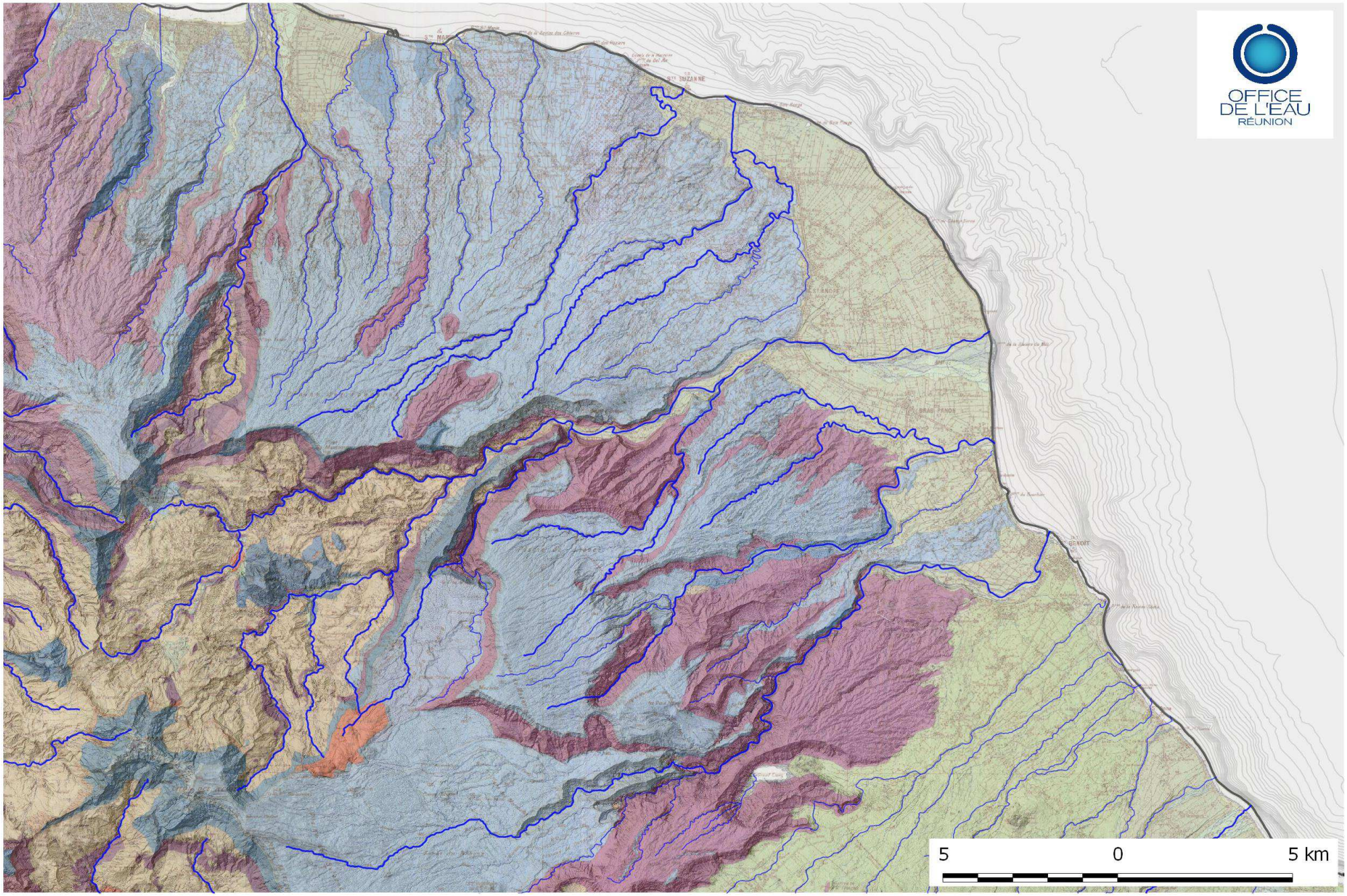

Bilan hydrométrique du BRAS PANON - 20 OCTOBRE 2005
OFFICE de l'EAU
+41 l/s
- 23 l/s
Ravine Vincendo
am. conf. Le Bras Panon
Q = 45 l/s
Le Bras Panon
am. conf. Rav.Vincendo
Q = 64 l/s
Bras Patrick
amont conf. Bras Pétard
Q =165 l/s
Bras Patrick
radier La Caroline
Q = 157 l/s
Bras Sec
Q = 79 l/s
Bras Pétard
am. conf. Bras Patrick
Q =96 l/s
NB : Apports: signe " + "
Pertes: signe " - "
Bras Panon
am. conf. Rav. Terre Rouge
Q = 118 l/s
Ravine Terre Rouge
am. conf. Bras Panon
Q =206 l/s
Bras Panon aval radier
"Paniandy" (limnigraphe)
Q = 365 l/s
Bras Panon
am. conf. Bras Patrick
Q =342 l/s
Bras des Chevrettes
amont conf. Le Bras Panon
Q =80 l/s
Bras Patrick
amont conf. Le Bras Panon
Q = 312 l/s
Ravine Vincendo
Bras Panon
Ravine Terre Rouge
Bras Panon
Bras Patrick
Bras Panon
Rivière des Roches
Bras Patrick
Bras Sec
Bras Pétard
Bras des Chevrettes
+ 8 l/s
+ 51 l/s
Remarque :
- Influence rejet brise charge Bras des lianes sur le bassin versant du Bras Panon


Bilan hydrométrique de
LA RIVIERE DES ROCHES
Date : 19 octobre 2005
OFFICE de l'EAU
Tendance hydrologique
Riv. des Roches
à Abondance (m3/s)
2
1
0
3
4
5
19/10/03 Q = 0.79 m3/s
19/10/04 Q = 1.42 m3/s*
19/10/05 Q = 1.23 m3/s
* = Décrue
Grand Bras St Benoit
amont captage A.E.P
Q =0.218 m3/s
Débit capté =0.103 m3/s
Rivière des Roches
au limnigraphe
Q =1.227m3/s
Grand Bras St Benoit
amont confl riv. Roches
Q = 0.197 m3/s
apports = 0.159 m3/s
Rivière des Roches
amont Bassin la Paix
Q = 1.583 m3/s
pont du chemin
Bassin la Paix
Ravine Mulet
apports = 0.26 m3/s
Rivière des Roches
au Pont RN 2
Q =1.843 m3/s
Le Bras Panon
amont Conf. Riv. des Roches
Q = 0.706 m3/s
0
1 km


Bilan hydrométrique de
LA GRANDE RIVIERE SAINT JEAN
10 Août 2005
OFFICE de l'EAU
la ravine Sèche
Grand bras rivière St. Jean
Petite rivière St Jean
Bras des Chevrettes
Grande rivière St Jean
Bras Doupère
Petite rivière St Jean
Grde Riv. St Jean au pont de Quartier Français Q = 267 l/s
Grde Riv. St Jean Amont Prise AEP Au Limnigraphe Q = 15 l/s (Débit capté # 11 l/s)
Petite Riv. St. Jean à Ste Vivienne Q = 140 l/s
Apports = 27 l/s
Pertes = 27 l/s
Petite Riv. St. Jean amont confl. Q = 167 l/s
Grde Riv. St Jean amont confl. Q = 240 l/s
Grande rivière St Jean

Annexe 2

Carte géologique centrée sur le cirque de Salazie et la Plaine alluviale de la Rivière du Mât

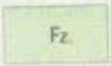


Carte géologique de la Réunion au 1/50000ème (BRGM)

FORMATIONS SUPERFICIELLES

Sables et galets de plages :
1 – sables et débris coralliens dominants : plage de St Gilles
2 – sables basaltiques dominants : plage de St Paul

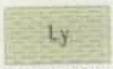
Alluvions fluvio-marines :
1 – argiles, silts, limons, sables, graviers, galets basaltiques de la plaine de St Paul
2 – sables et galets de plages provenant du remaniement d'alluvions fluviatiles ; galets basaltiques dominants.



Alluvions fluviatiles récentes : sables, graviers, galets, blocs basaltiques

Alluvions fluviatiles anciennes :
Fy_2 – Indifférenciées : sables, graviers, galets, blocs basaltiques
Fy_1 – Graviers, galets, blocs basaltiques altérés, cimentés par des produits argileux rouges.

Cône de déjection du "Grand Sable" (cirque de Salazie) ; matériaux grossiers.



Dépôts lacustres de la Plaine des Sables (cirque de Mafate) ; limons, sables, graviers.

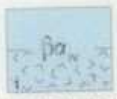
S – Coulées de solifluxion indifférenciées : éléments basaltiques divers cimentés par des produits silto-sableux ou cendreux
Sv – Lahar : éléments basaltiques divers, cimentés par des produits cendreux.

E – Eboulis : accumulations caillouteuses et terreuses sur les pentes et en pieds d'escarpements.
SE – Coulées de solifluxion et éboulis qui en dérivent
VE – Ensemble de formations de brèches volcaniques et d'éboulis qui en dérivent
PE – Ensemble d'épandages, coulées de solifluxion, lahars, tufs, éboulis et éluvions.

FORMATIONS DU MASSIF DU PITON DES NEIGES

Série différenciée

Phase IV (environ 70 000 à 230 000 ans)



Coulées basaltiques et andésitiques (Hawaïtes, Mugéarites), aphyriques ou à phénocristaux de feldspath et d'olivine généralement peu abondants.

Formations pyroclastiques :
ts_{IV} – Tufs soudés du Maïdo et de la Roche Ecrite
cp_{IV} – 1 – Coulée pyroclastique de la Possession
2 – Coulée pyroclastique de "Trois Bassins" ; présence d'éléments de ponce trachytique et de roche grenue
tf_{IV} – Tufs indifférenciés en épandage ; localement présence d'éléments de roche grenue et de ponce trachytique.
$t\tau_{IV}$ – Tuf trachytique de St Gilles
br_{IV} – Formations pyroclastiques brèchiques autochtones ; celles de la région de St Gilles montrent des caractères de volcanisme sous-marin. Présence fréquente d'éléments de roche grenue.
$\beta\alpha\text{-}tf_{IV}$ – Complexe coulées de laves-tufs

Phase III (environ 250 000 à 350 000 ans)

Coulées basaltiques et andésitiques à phénocristaux de feldspath, dominantes (Hawaïtes, Mugéarites)
1 – Faciès d'épanchement en milieu marin, coulées à débit prismatique "en pavés"

Formations pyroclastiques :
Formations brèchiques du Piton d'Enchain

Série sans termes différenciés

Phase II (430 000 à >2 100 000 ans)

Coulées basaltiques à phénocristaux d'olivine, dominantes (basaltes, basaltes à olivine, océanites), et basaltes à nodules de péridot des ravines de Boucan Launay et Patates à Durand ($\pi\beta_{II}$)
1 – Faciès d'épanchement en milieu marin : coulées à débit prismatique "en pavés"
2 – Hyaloclastites de la Pointe du Gouffre

Coulées basaltiques aphyriques ou à phénocristaux d'olivine, chloritisées, et zéolitisées (basaltes, basaltes à olivine, océanites)

Phase I (> 2 100 000 ans)

Agglomérats, brèches basaltiques, chloritisés et zéolitisés ; localement faciès marin probable (restes de pillow-lava)

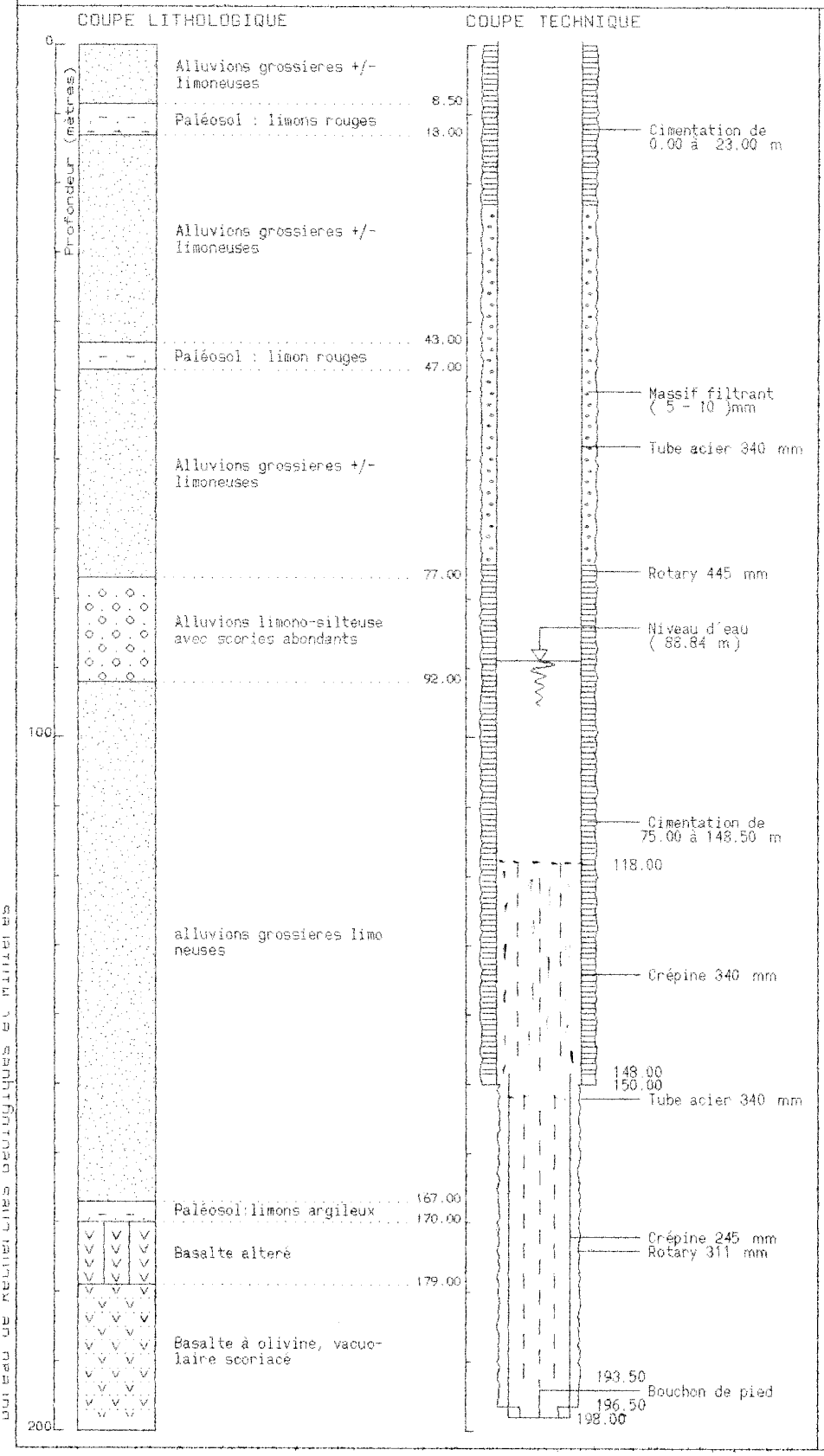
Légende de la carte géologique de la Réunion au 1/50000ème

Annexe 3

Coupes techniques et géologiques des ouvrages de références sur le secteur de la Plaine du Mât

Département : REUNION
Commune : BRAS PANON

N° classement : 1227-2X-0064
Désignation : FORAGE



DATE(S) D'EXECUTION

Début : 12/02/92

Fin : 01/04/92

LOCALISATION

X : 172.600 km

Y : 66.620 km

Z sol : 108.40 m

PIEZOMETRIE

NS/sol : 88.84 m

Rep/sol : -0.13 m

Z rep. : 108.27 m

Cote piézo : 19.56 m

POMPAGE D'ESSAI

Date : 08/09/92

Durée : 40.5 h

Débit : 535.0 m3/h

Rabat. : 22.68 m

PARAMETRE(S) HYDRODYNAMIQUE(S)

T : 1.3 10- 2 m2/s

PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

Temp. : 20.9 °C

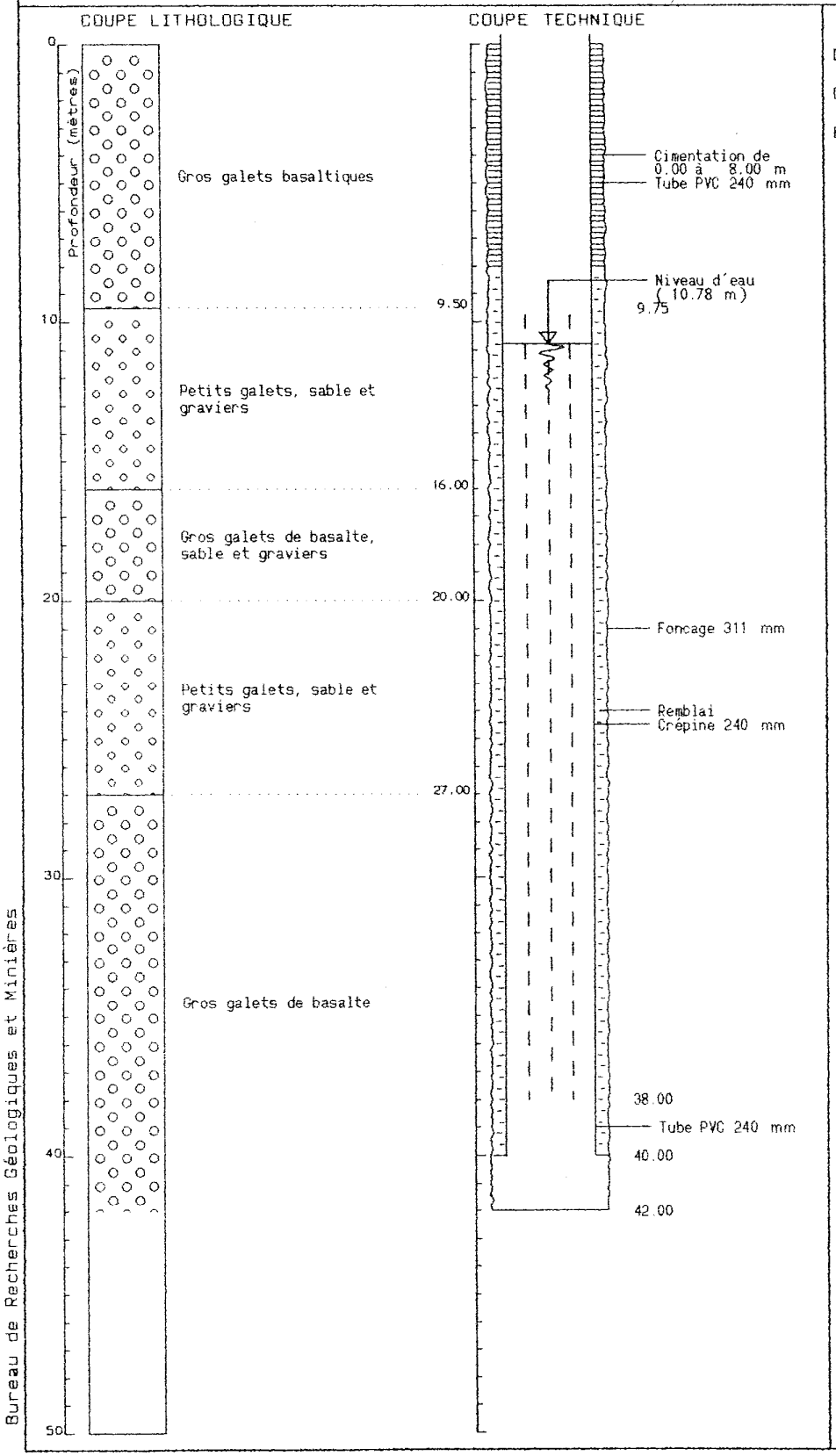
pH : 7.8

Cond. : 199µS/cm

Résidu: 103 mg/l sec

Département : REUNION
Commune : SAINT ANDRE

N° classement : 1227-2X-0070
Désignation : S3



DATE(S) D'EXECUTION

Début : 15/03/91

Fin : 17/04/91

LOCALISATION

X : 170.708 km

Y : 66.209 km

Z sol : 146.35 m

PIEZOMETRIE

NS/sol : 10.78 m

Rep/sol : 0.00 m

Z rep. : 146.35 m

Cote piézo : 135.57 m

POMPAGE D'ESSAI

Date : 08/04/91

Durée : 20.5 h

Débit : 178.0 m3/h

Rabat. : 6.92 m

PARAMETRE(S) HYDRODYNAMIQUE(S)

T : 1.7 10- 2 m2/s

PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

Temp. : 20.5 °C

pH : 6.8

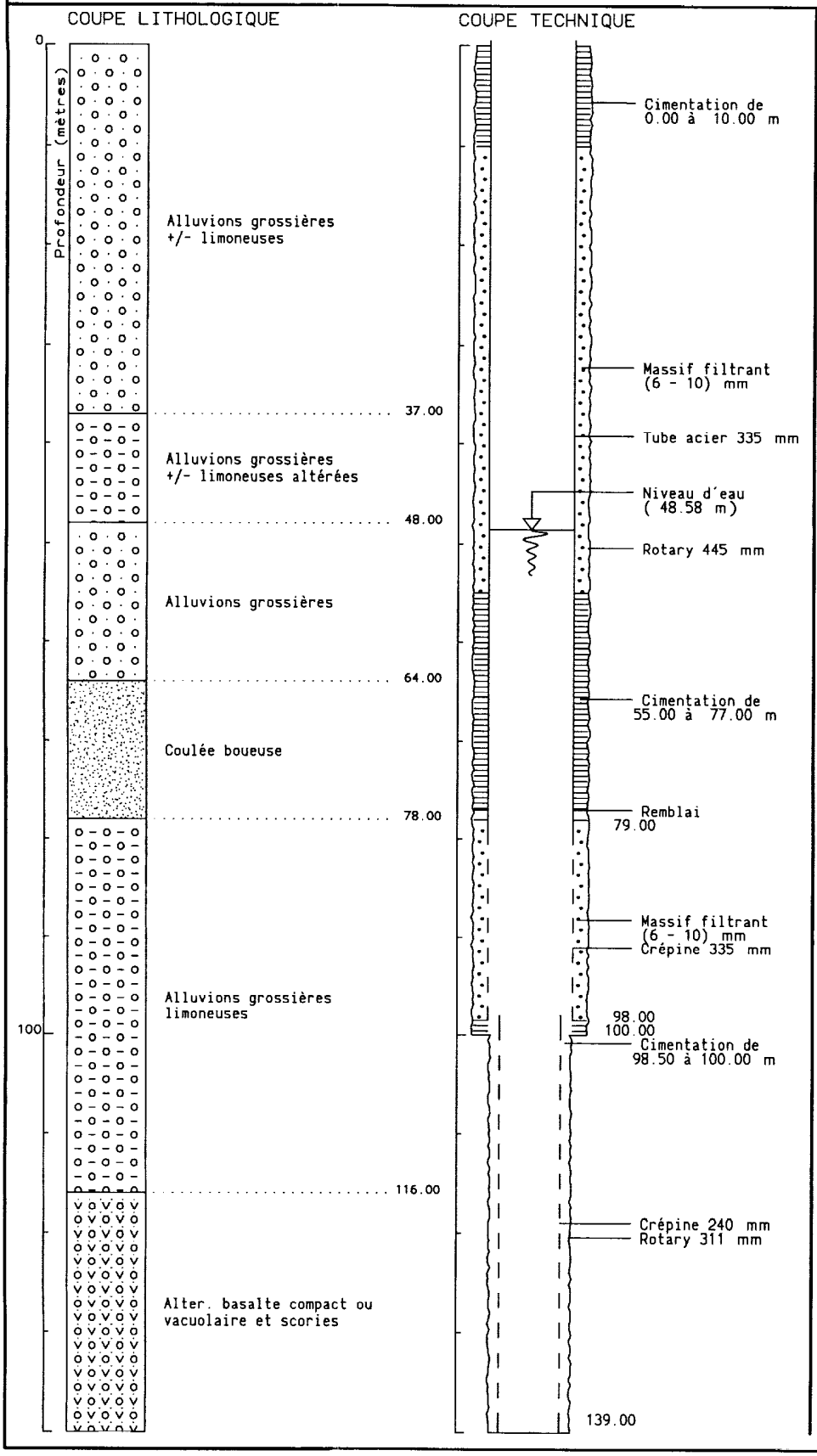
Cond. : 201µS/cm

Résidu sec : 100 mg/l

Bureau de Recherches Géologiques et Minières

Département : REUNION
Commune : SAINT ANDRE

N° classement : 1227-3X-0011
Désignation : F R CREU



DATE(S) D'EXECUTION

Début : 26/11/91

Fin : 07/02/92

LOCALISATION

X : 173.942 km

Y : 68.194 km

Z sol : 70.38 m

PIEZOMETRIE

NS/sol : 48.58 m

Rep/sol : 0.00 m

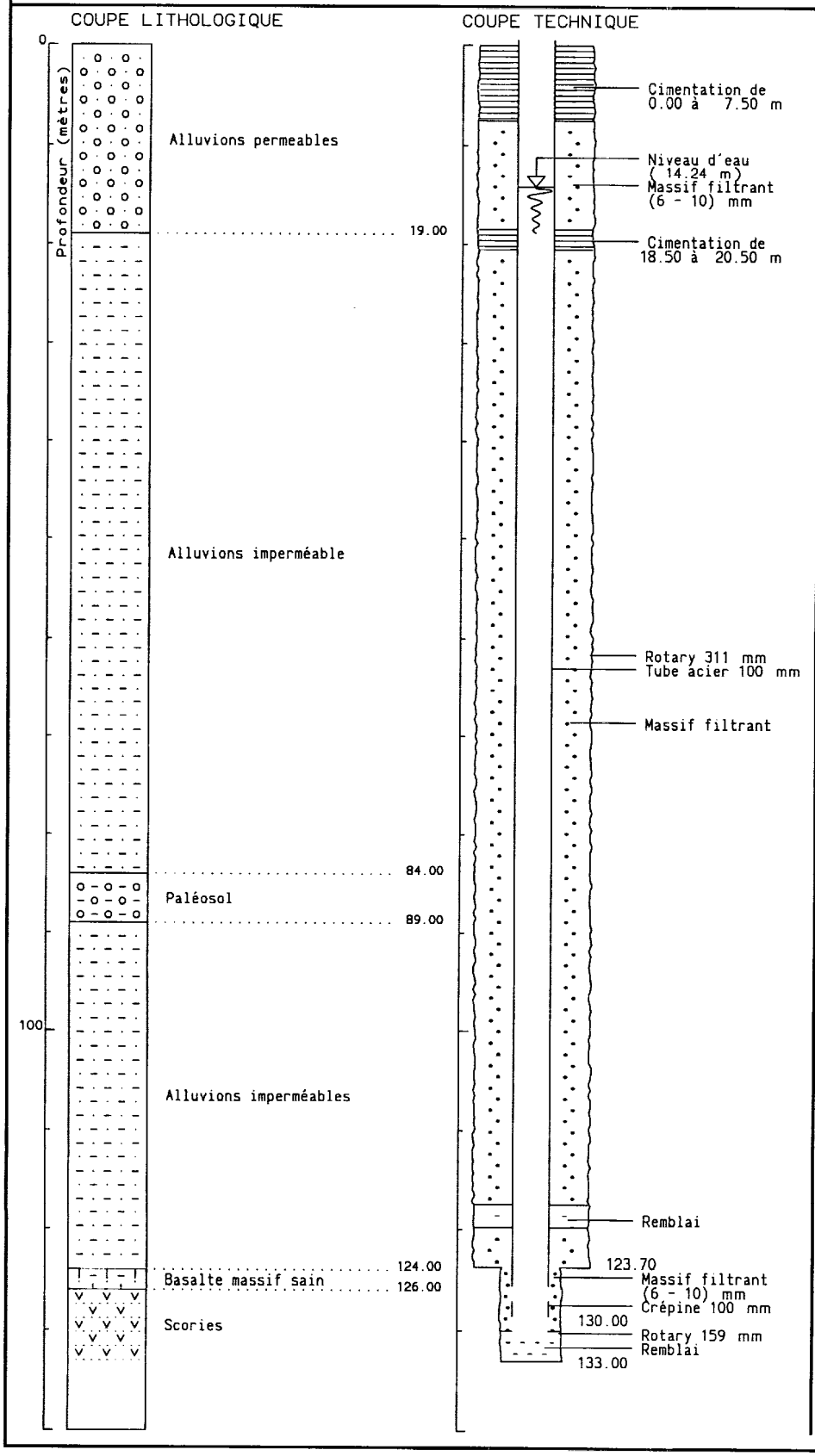
Z rep. : 70.38 m

Cote piézo : 21.80 m

Sud Ocean Indien

Département : REUNION
Commune : SAINT ANDRE

N° classement : 1227-3X-0009
Désignation : P 14



DATE(S) D'EXECUTION

Début : 04/12/89

Fin : 31/03/90

LOCALISATION

X : 175.905 km

Y : 69.345 km

Z sol : 23.67 m

PIEZOMETRIE

NS/sol : 14.24 m

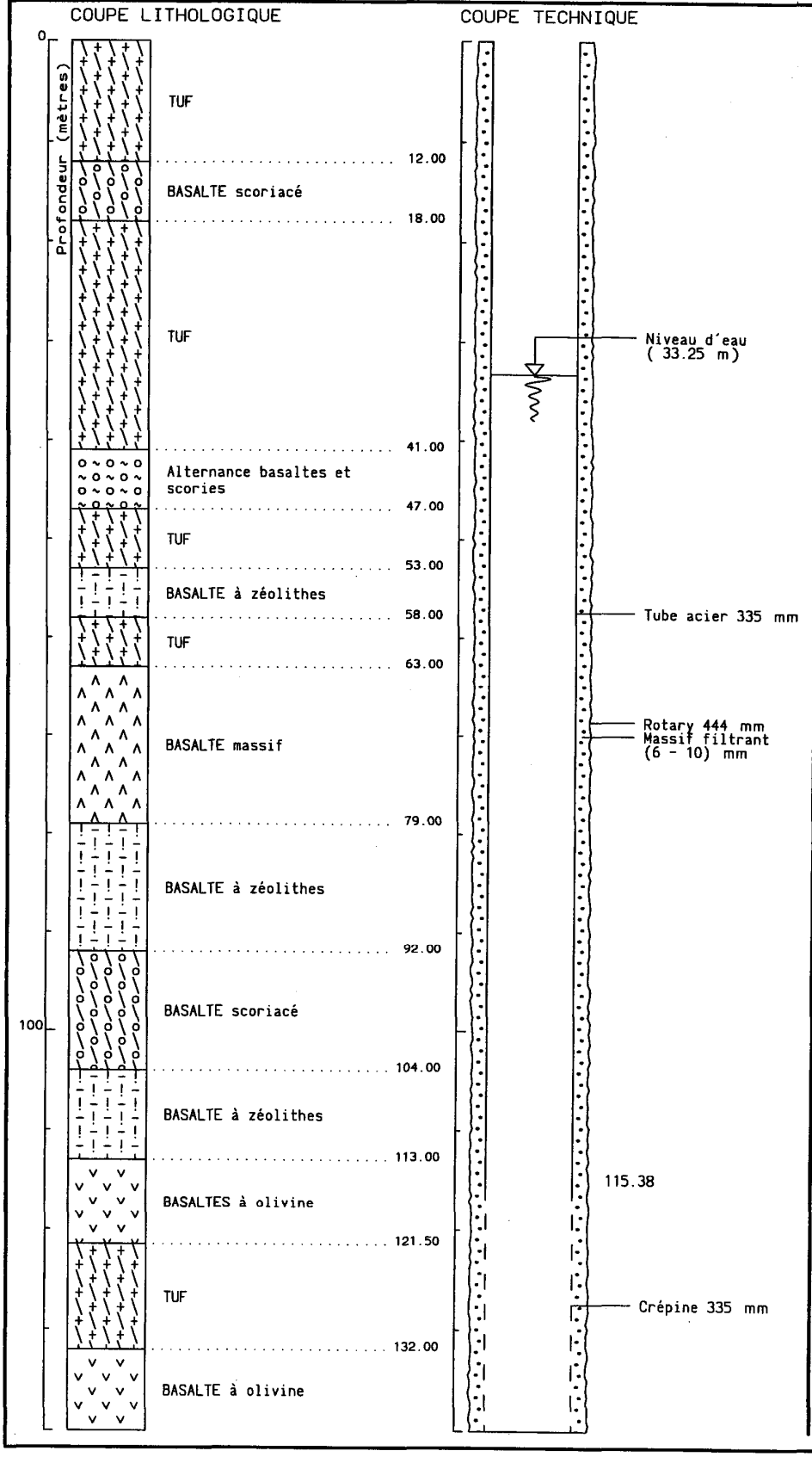
Rep/sol : 0.00 m

Z rep. : 23.67 m

Cote piézo : 9.43 m

Département : REUNION
Commune : SAINT ANDRE

N° classement : 1227-2X-0050
Désignation : T_roug



LOCALISATION

X : 172.090 km

Y : 69.005 km

Z sol : 103.00 m

PIEZOMETRIE

NS/sol : 33.25 m

Rep/sol : 0.00 m

Z rep. : 103.00 m

Cote piézo : 69.75 m

POMPAGE D'ESSAI

Date : 20/05/81

Durée : 51.3 h

Débit : 264.0 m3/h

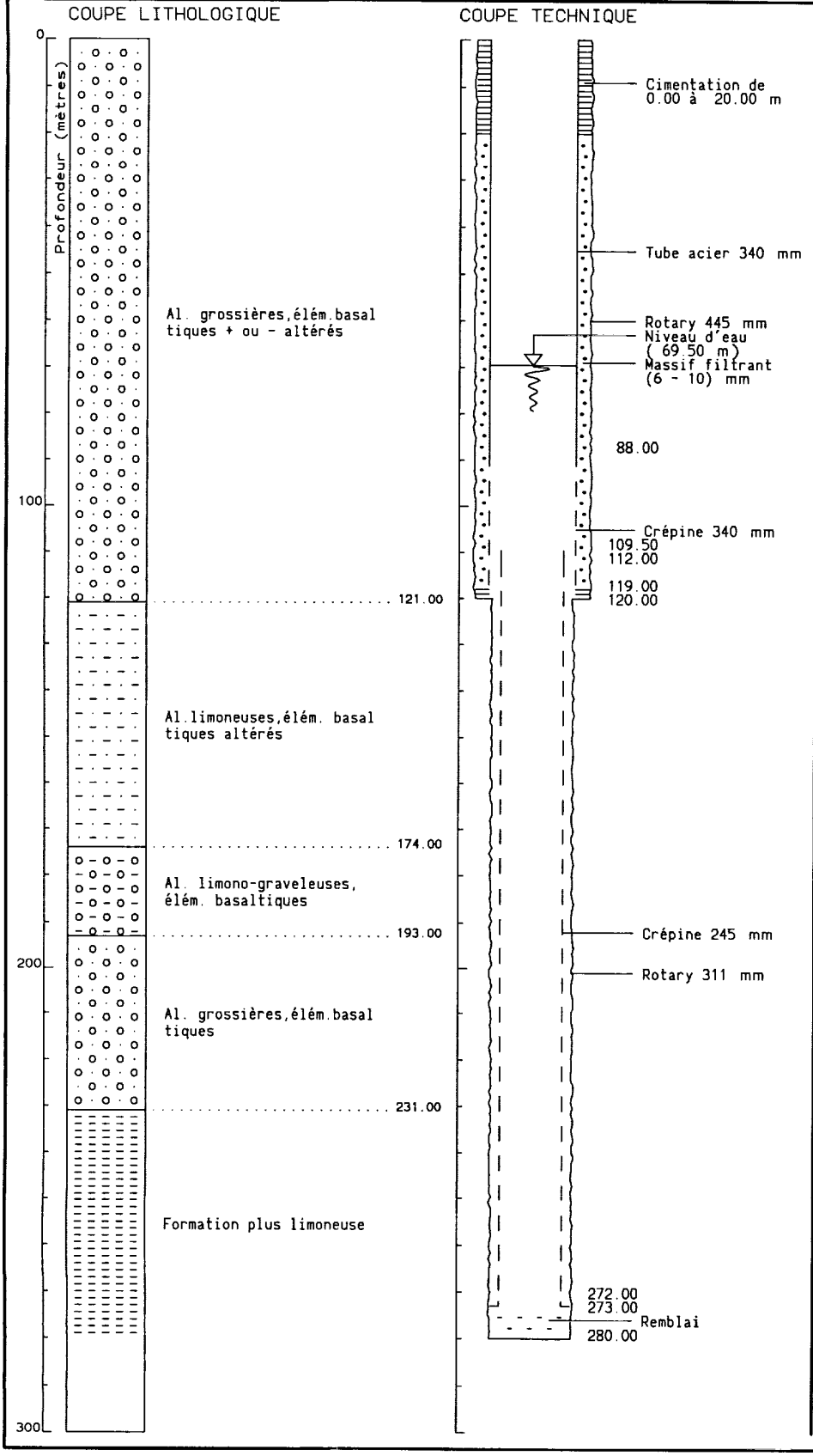
Rabat. : 3.81 m

PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

Cond. : 110µS/cm

Département : REUNION
Commune : BRAS-PANON

N° classement : 1227-3X-0010
Désignation : FPania



DATE(S) D'EXECUTION

Début : 19/08/91

Fin : 25/11/91

LOCALISATION

X : 174.296 km

Y : 65.200 km

Z sol : 82.92 m

PIEZOMETRIE

NS/sol : 69.50 m

Rep/sol: 0.50 m

Z rep. : 83.42 m

Cote piézo : 13.42 m

CABINET CHY BILLARD

Rapport 99GB12

Planche 4

FORAGE DIORE

LOG Echelle 1/400

Indice de classement national : 1227-2X-0130

Coordonnées : X = 172,1085

Y = 66,9393

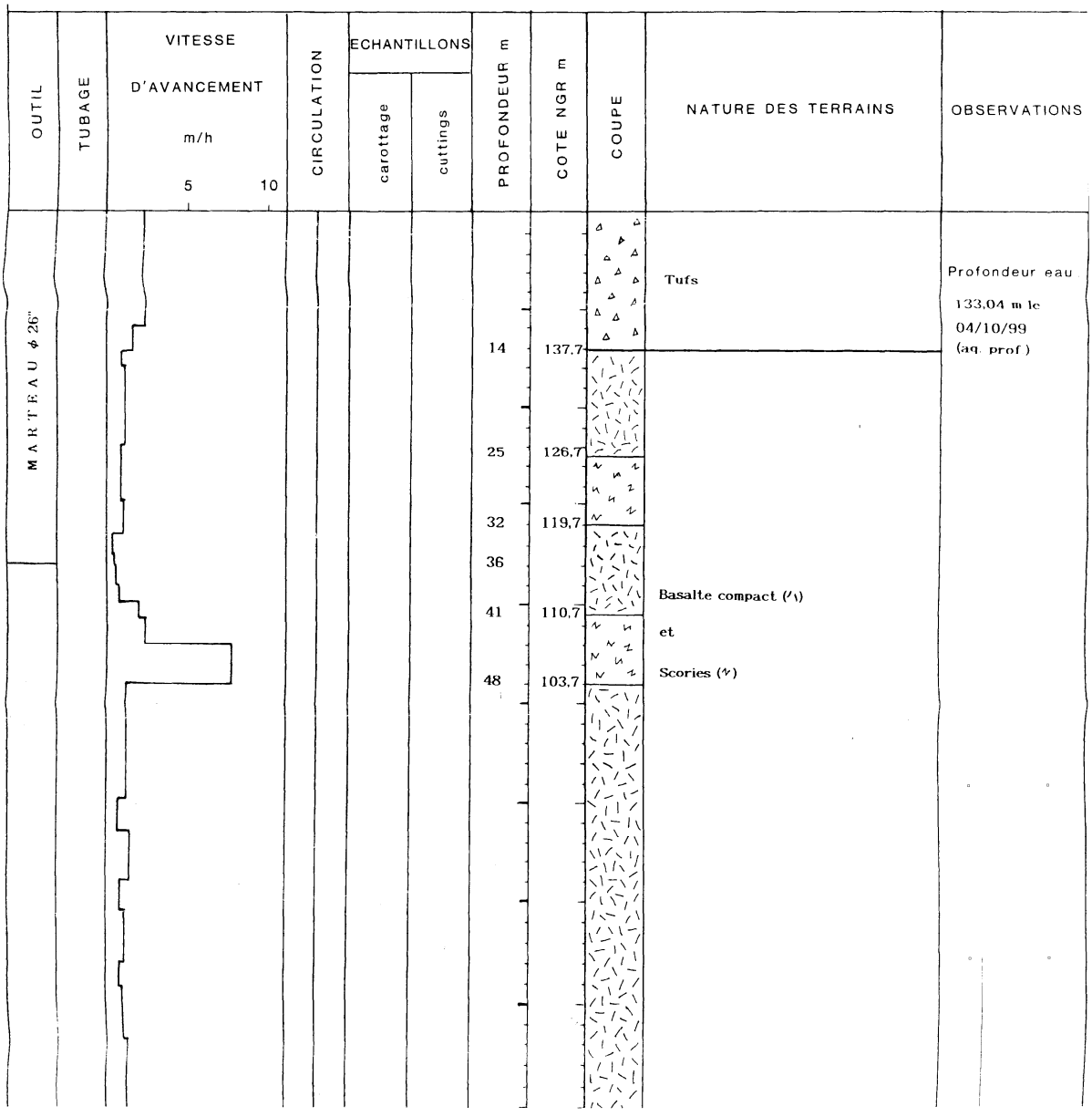
Z = 151,73

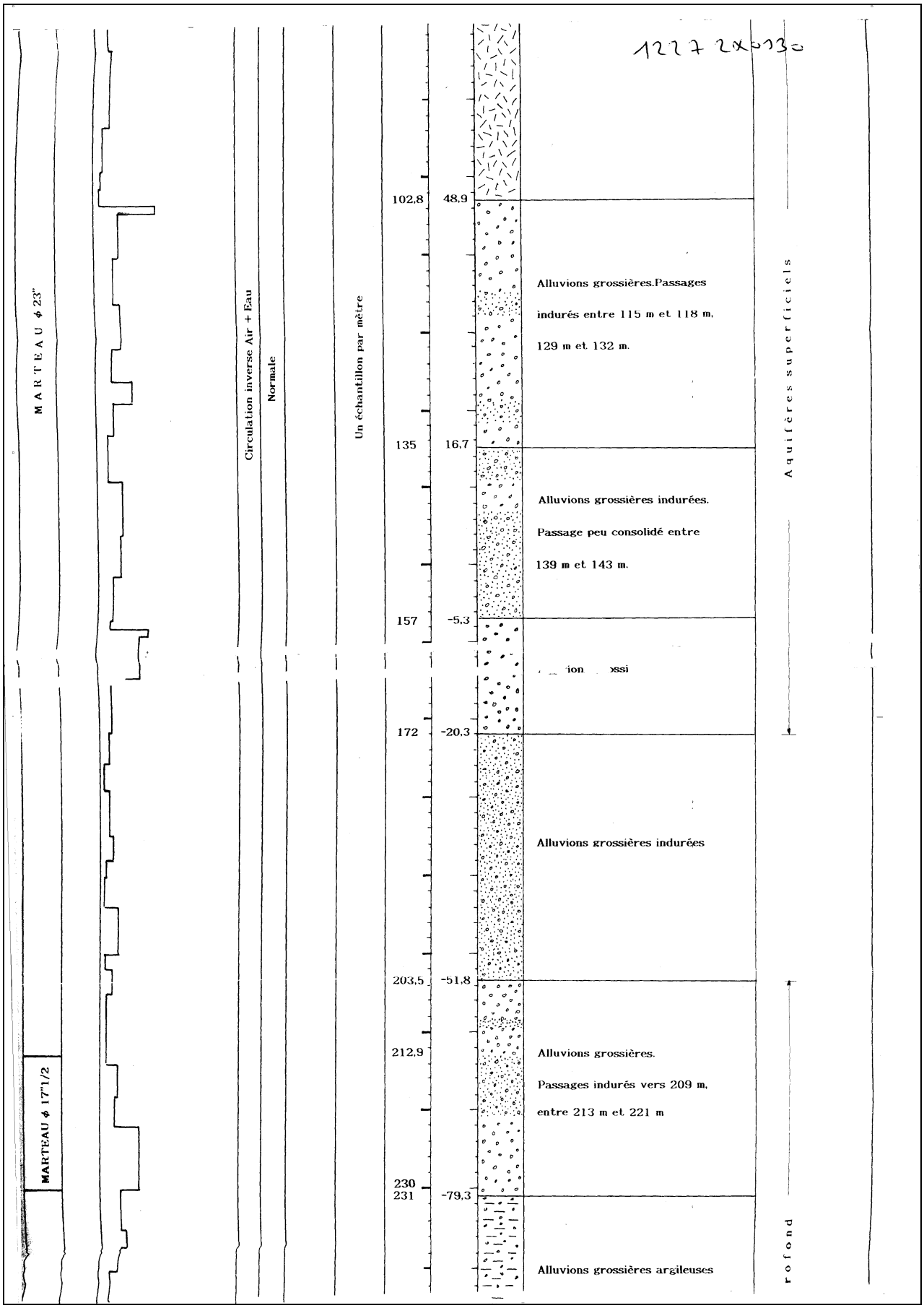
commencé le 10/05/99

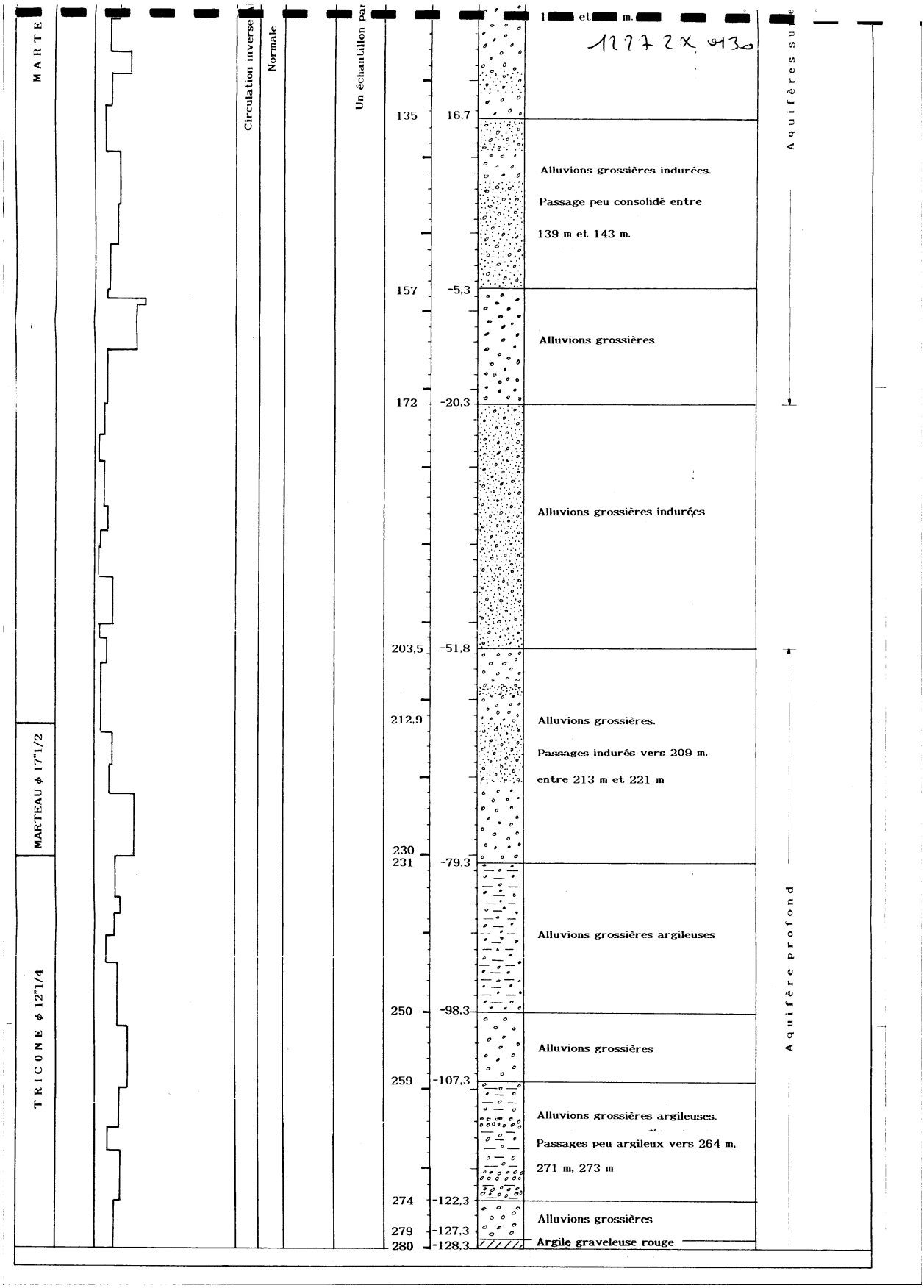
terminé le 16/09/99

Orientation : vertical

Entreprise de forage : S.A. BONIFACE




1227 2x0130
MARTEAU ϕ 23"
MARTEAU ϕ 17"1/2
Circulation inverse Air + Eau
Normale
Un échantillon par mètre
102,8
48,9
Alluvions grossières.Passages
indurés entre 115 m et 118 m,
129 m et 132 m.
135
16,7
Alluvions grossières indurées.
Passage peu consolidé entre
139 m et 143 m.
157
-5,3
172
-20,3
Alluvions grossières indurées
203,5
-51,8
212,9
Alluvions grossières.
Passages indurés vers 209 m,
entre 213 m et 221 m
230
231
-79,3
Alluvions grossières argileuses
Aquifères superficiels
rofond

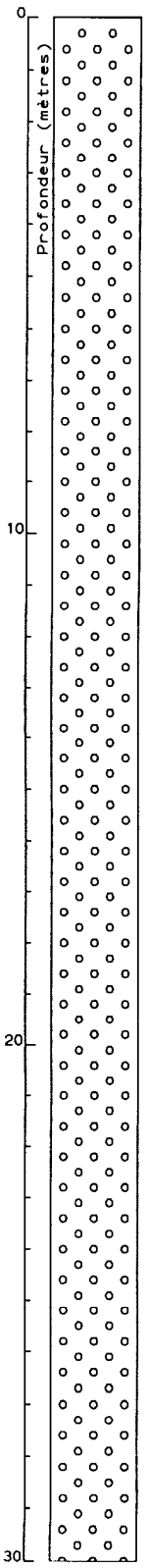


MARTE
MARTEAU ϕ 17"1/2
TRICONE ϕ 12"1/4
Circulation inverse
Normale
Un échantillon par
1 et m.
1277 2X 0130
135
16,7
157
-5,3
172
-20,3
203,5
-51,8
212,9
230
231
-79,3
250
-98,3
259
-107,3
274
-122,3
279
-127,3
280
-128,3
Alluvions grossières indurées.
Passage peu consolidé entre
139 m et 143 m.
Alluvions grossières
Alluvions grossières indurées
Alluvions grossières.
Passages indurés vers 209 m,
entre 213 m et 221 m
Alluvions grossières argileuses
Alluvions grossières
Alluvions grossières argileuses.
Passages peu argileux vers 264 m,
271 m, 273 m
Alluvions grossières
Argile graveleuse rouge
Aquifères su
Aquifère profond

Département : REUNION
Commune : BRAS PANON

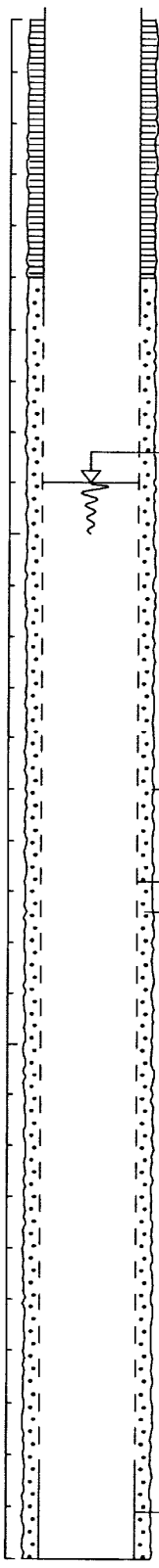
N° classement : 1227-3X-0014
Désignation : S2

COUPE LITHOLOGIQUE



Alluvions : blocs, galets graviers et sable

COUPE TECHNIQUE



DATE(S) D'EXECUTION

Début : 10/04/91

Fin : 06/05/91

LOCALISATION

X : 176.045 km

Y : 65.756 km

Z sol : 40.34 m

PIEZOMETRIE

NS/sol : 9.00 m

Rep/sol : 0.00 m

Z rep. : 40.34 m

Cote piézo : 31.34 m

POMPAGE D'ESSAI

Date : 06/05/91

Durée : 23.5 h

Débit : 196.0 m3/h

Rabat. : 6.75 m

PARAMETRE(S) HYDRODYNAMIQUE(S)

T : 3.0 10- 2 m2/s

PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

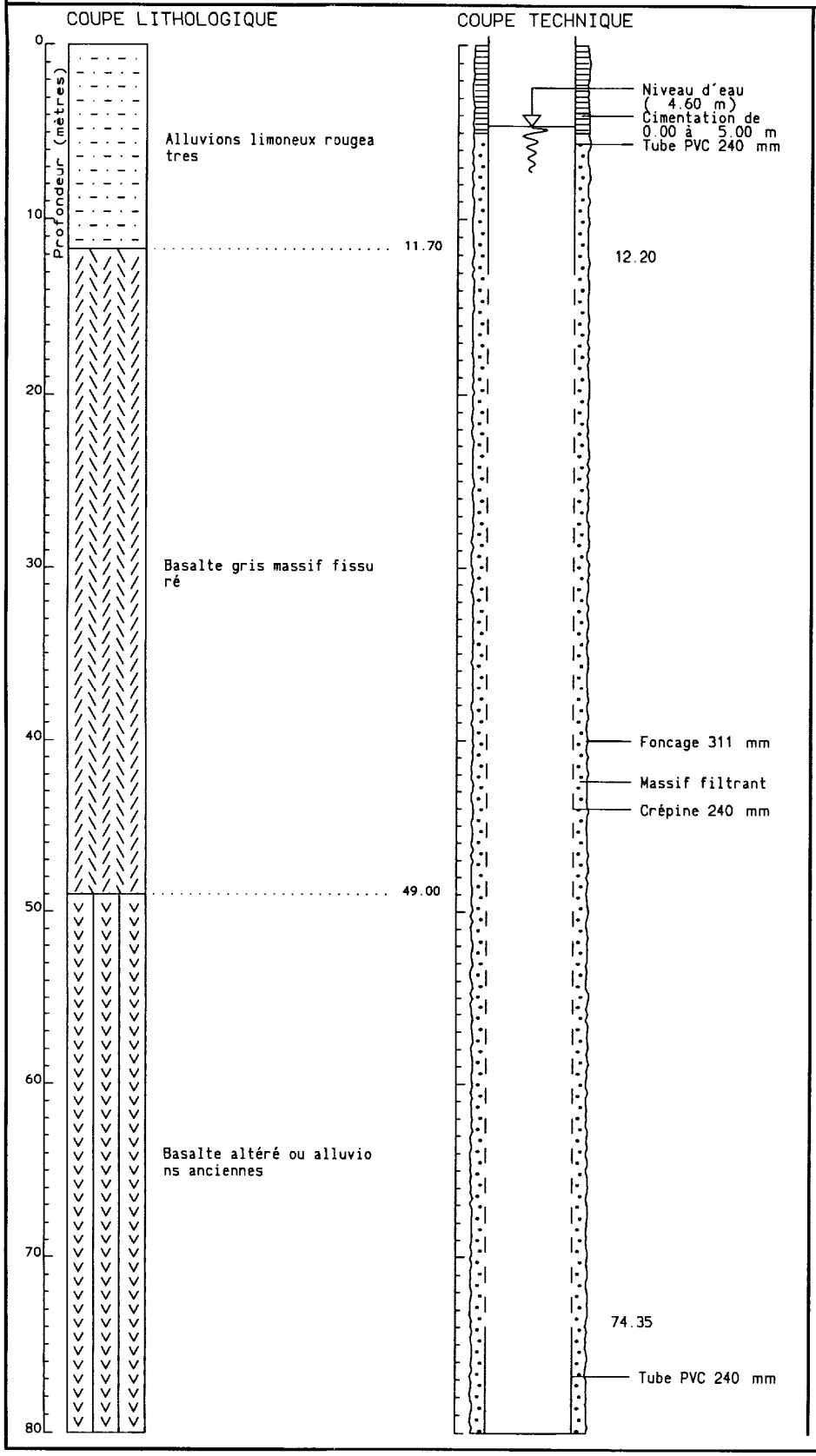
Temp. : 21.2 °C

Cond. : 253µS/cm

Résidu sec : 169 mg/l

Département : REUNION
Commune : BRAS PANON

N° classement : 1227-3X-0015
Désignation : S4



DATE(S) D'EXECUTION

Début : 11/02/91

Fin : 10/03/91

LOCALISATION

X : 175.663 km

Y : 62.963 km

Z sol : 13.55 m

PIEZOMETRIE

NS/sol : 4.60 m

Rep/sol : 0.00 m

Z rep. : 13.55 m

Cote piézo : 8.95 m

POMPAGE D'ESSAI

Date : 06/03/91

Durée : 78.0 h

Débit : 78.0 m3/h

Rabat. : 4.97 m

PARAMETRE(S) HYDRODYNAMIQUE(S)

T : 5.0 10- 2 m2/s

PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

Temp. : 21.5 °C

pH : 6.7

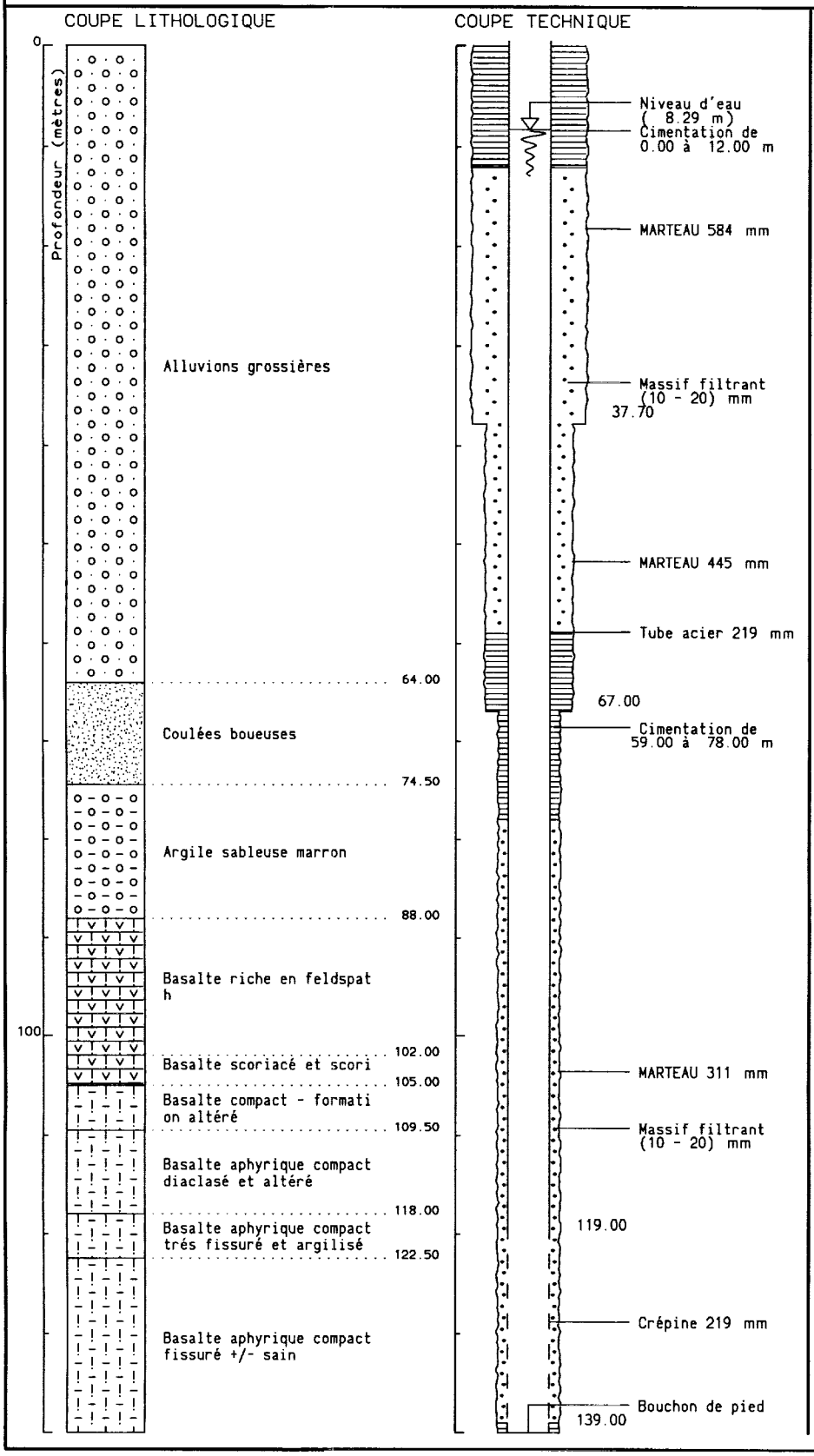
Cond. : 180µS/cm

Résidu sec : 122 mg/l

BRGM Ocean Indien

Département : REUNION
Commune : BRAS-PANON

N° classement : 1227-3X-0019
Désignation : P19



DATE(S) D'EXECUTION

Début : 22/11/93

Fin : 07/03/94

LOCALISATION

X : 177.517 km

Y : 65.638 km

Z sol : 13.20 m

PIEZOMETRIE

NS/sol : 8.29 m

Rep/sol: 0.00 m

Z rep. : 13.20 m

Cote piézo : 4.91 m

POMPAGE D'ESSAI

Date : 22/03/94

Durée : 24.0 h

Débit : 88.0 m3/h

Rabat. : 0.91 m

PARAMETRE(S) HYDRODYNAMIQUE(S)

T : 9.5 10- 2 m2/s

PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

Temp. : 21.8 °C

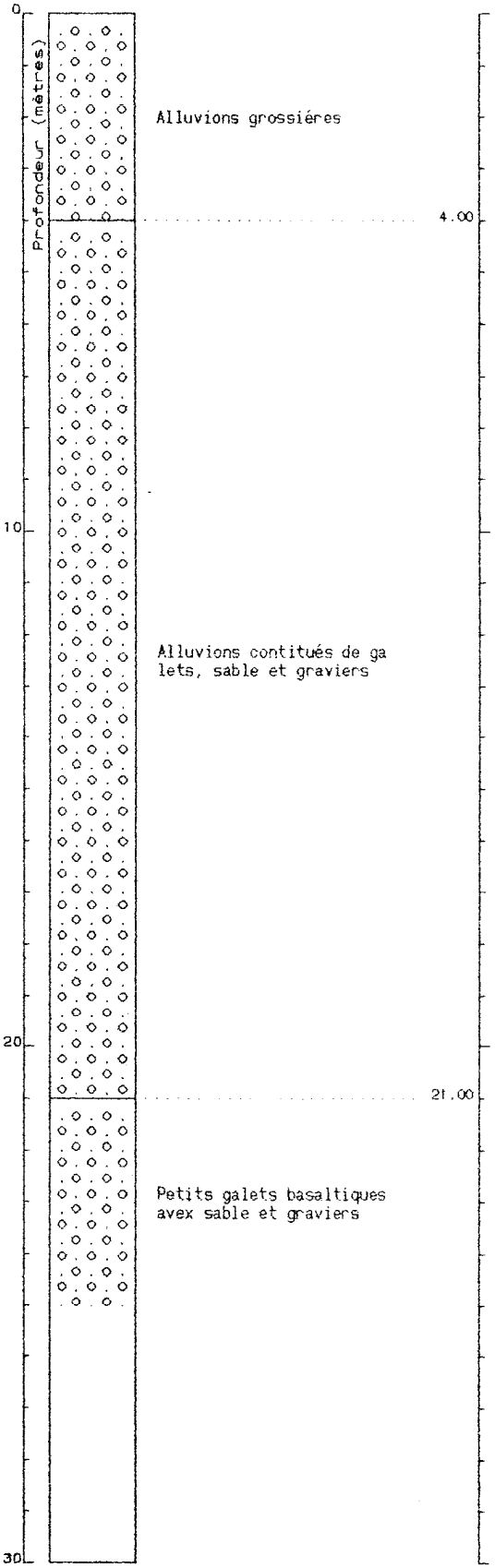
pH : 6.4

Cond. : 340µS/cm

Département : REUNION — N° classement : 1227-2X-0069

Commune : SAINT ANDRE — Désignation : S1

COUPE LITHOLOGIQUE



DATE(S) D'EXECUTION

Début : 08/04/91

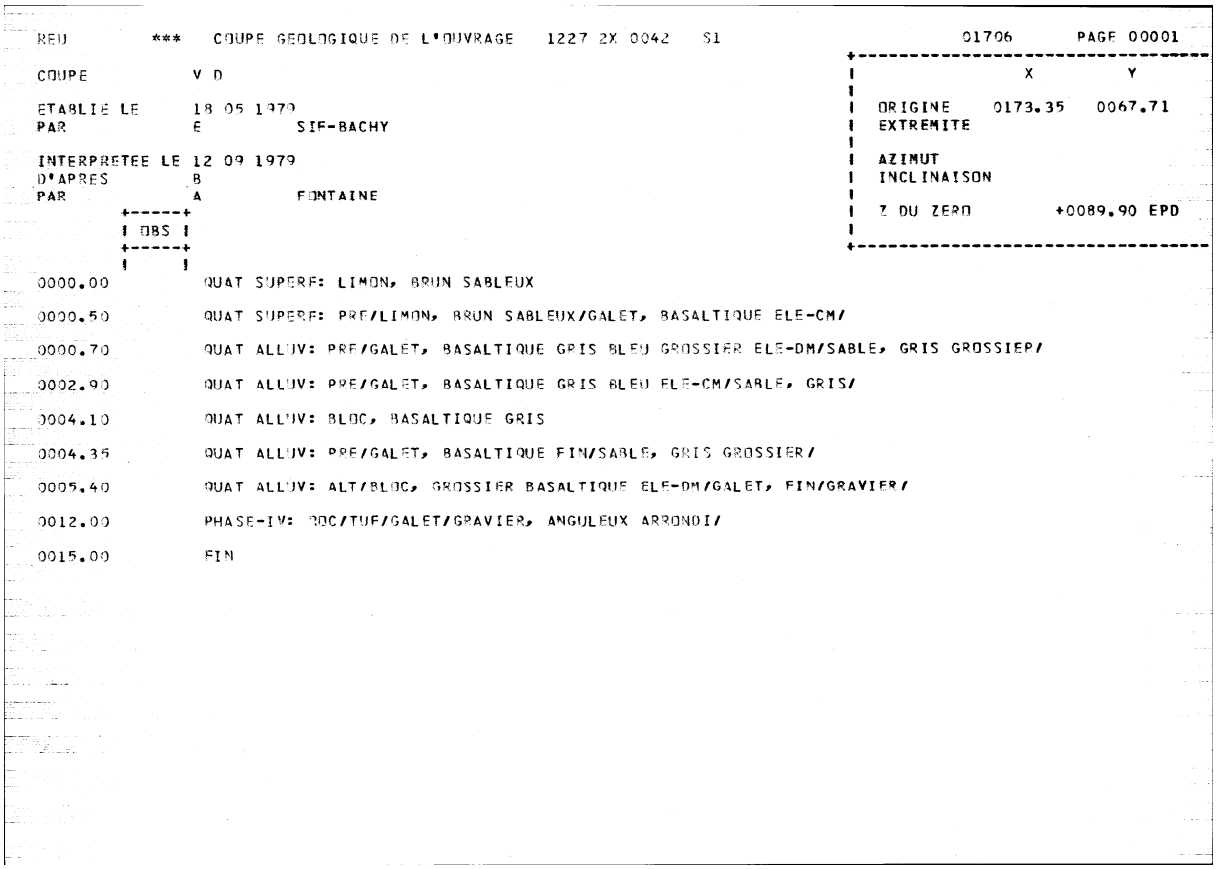
Fin : 12/04/91

LOCALISATION

X : 173.638 km

Y : 70.284 km

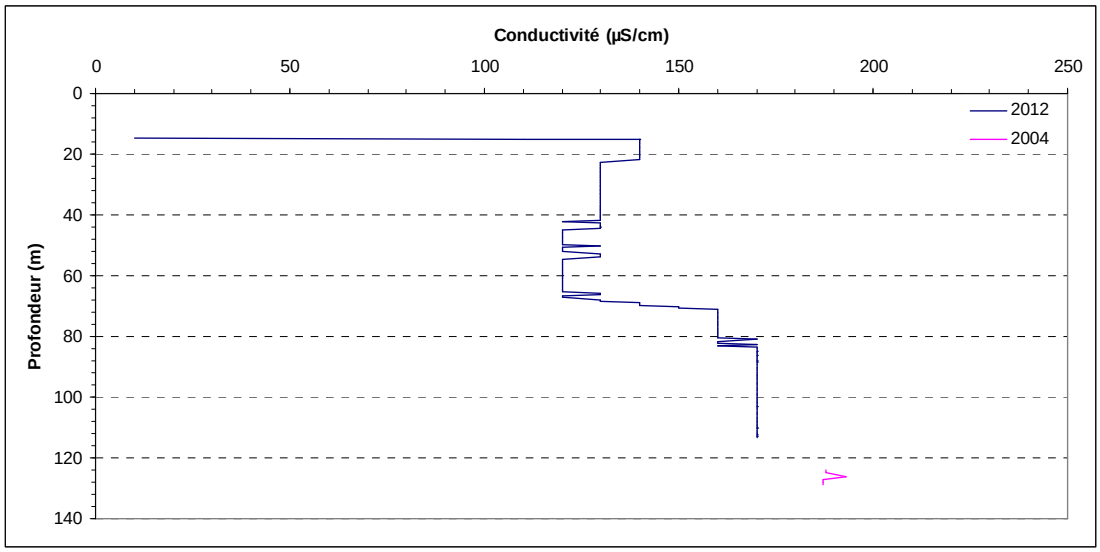
Z sol : 45.00 m



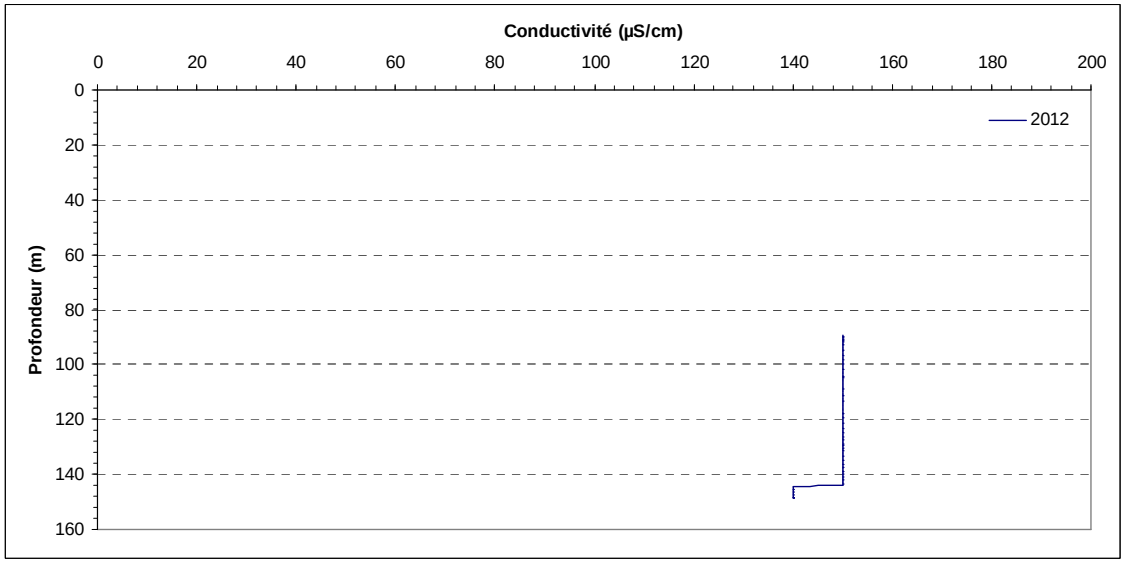
```
REU        ***   COUPE GEOLOGIQUE DE L'OUVRAGE   1227 2X 0042   S1                    01706      PAGE 00001
                                                                                  +-----------------------------------
COUPE          V D                                                                 |                X          Y
                                                                                  |
ETABLIE LE     18 05 1979                                                          | ORIGINE    0173.35   0067.71
PAR            E          SIF-BACHY                                                | EXTREMITE
                                                                                  |
INTERPRETEE LE 12 09 1979                                                          | AZIMUT
D'APRES        B                                                                   | INCLINAISON
PAR            A          FONTAINE                                                |
        +-----+                                                                    | Z DU ZERO        +0089.90 EPD
        | OBS |                                                                    |
        +-----+                                                                    +-----------------------------------
        |     |
0000.00         QUAT SUPERF: LIMON, BRUN SABLEUX

0000.50         QUAT SUPERF: PRE/LIMON, BRUN SABLEUX/GALET, BASALTIQUE ELE-CM/

0000.70         QUAT ALLUV: PRE/GALET, BASALTIQUE GRIS BLEU GROSSIER ELE-DM/SABLE, GRIS GROSSIER/

0002.90         QUAT ALLUV: PRE/GALET, BASALTIQUE GRIS BLEU ELE-CM/SABLE, GRIS/

0004.10         QUAT ALLUV: BLOC, BASALTIQUE GRIS

0004.35         QUAT ALLUV: PRE/GALET, BASALTIQUE FIN/SABLE, GRIS GROSSIER/

0005.40         QUAT ALLUV: ALT/BLOC, GROSSIER BASALTIQUE ELE-DM/GALET, FIN/GRAVIER/

0012.00         PHASE-IV: ROC/TUF/GALET/GRAVIER, ANGULEUX ARRONDI/

0015.00         FIN
```

Annexe 4

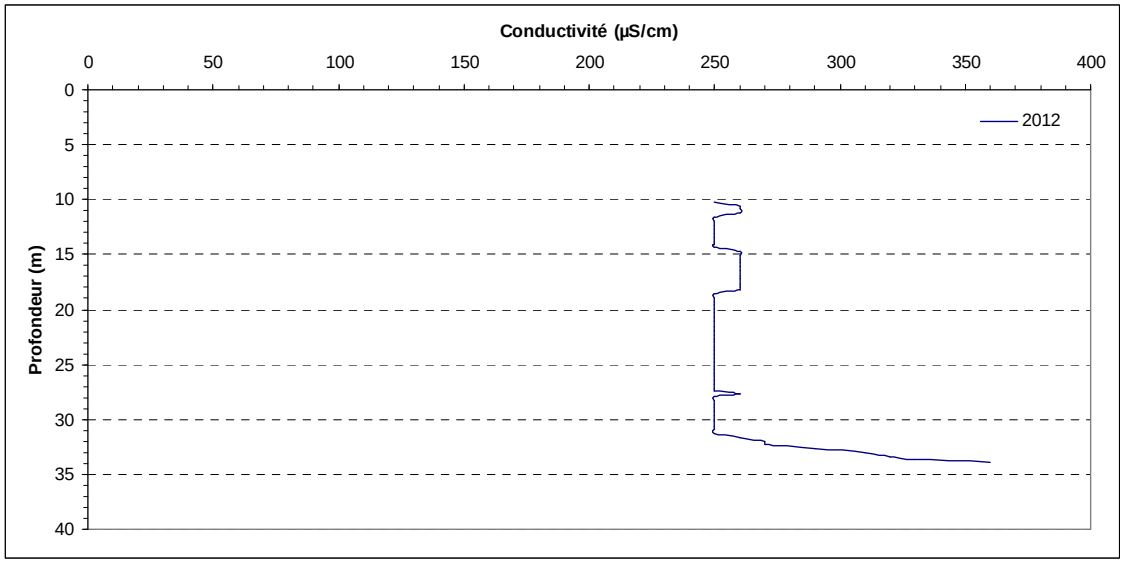
« Logs » de conductivité des ouvrages de références



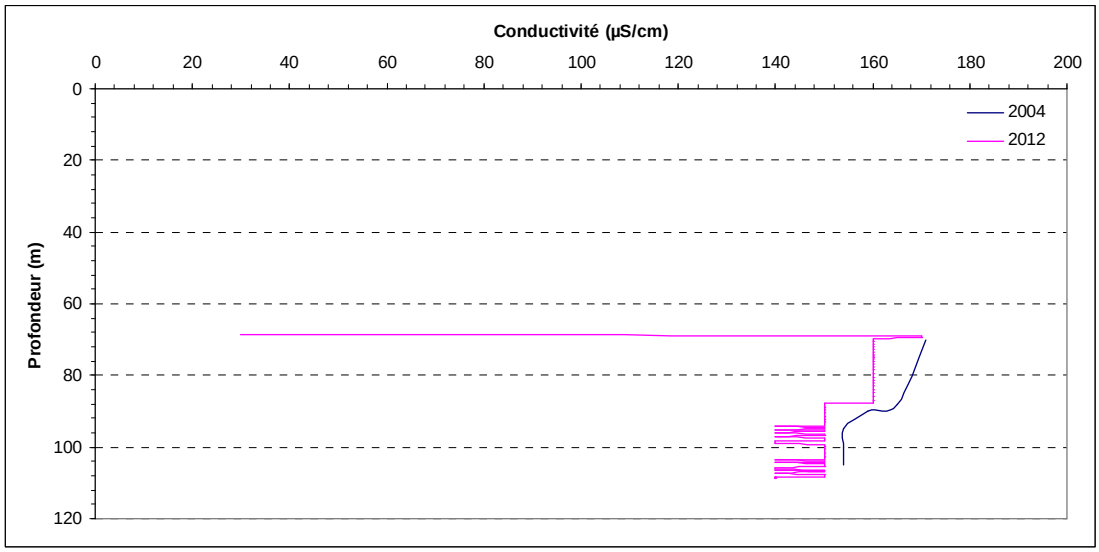
P14 Cham Borne (12273X0009/P14)



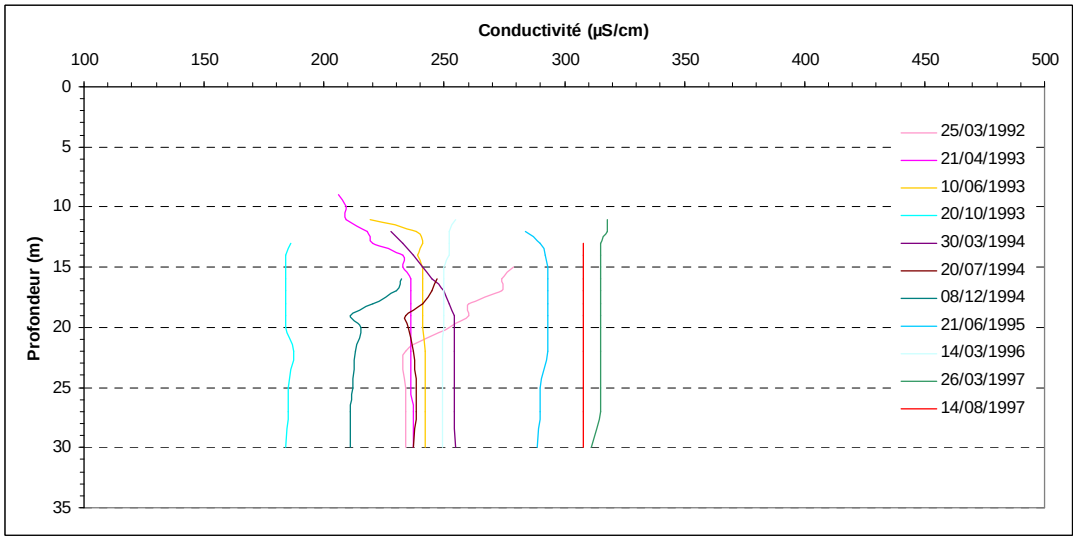
Bengalis n°2 (12272X0064/FORAGE)



P19 Ma Pensée (12273X0019/P19)



Paniandy (12273X0010/F)



S2 Rivière du Mât les bas (12273X0014/S2)

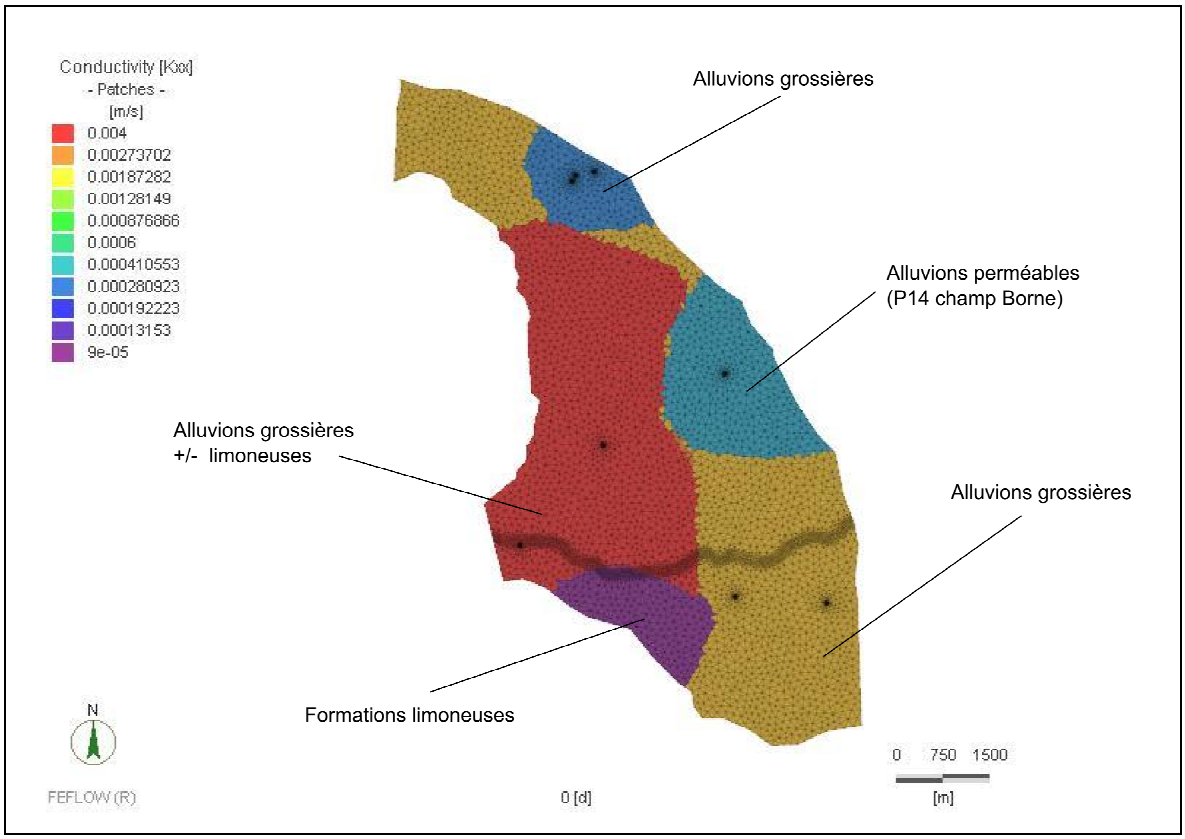
Annexe 5

Caractéristiques techniques et hydrogéologiques des ouvrages BSS recensés sur la zone d'étude

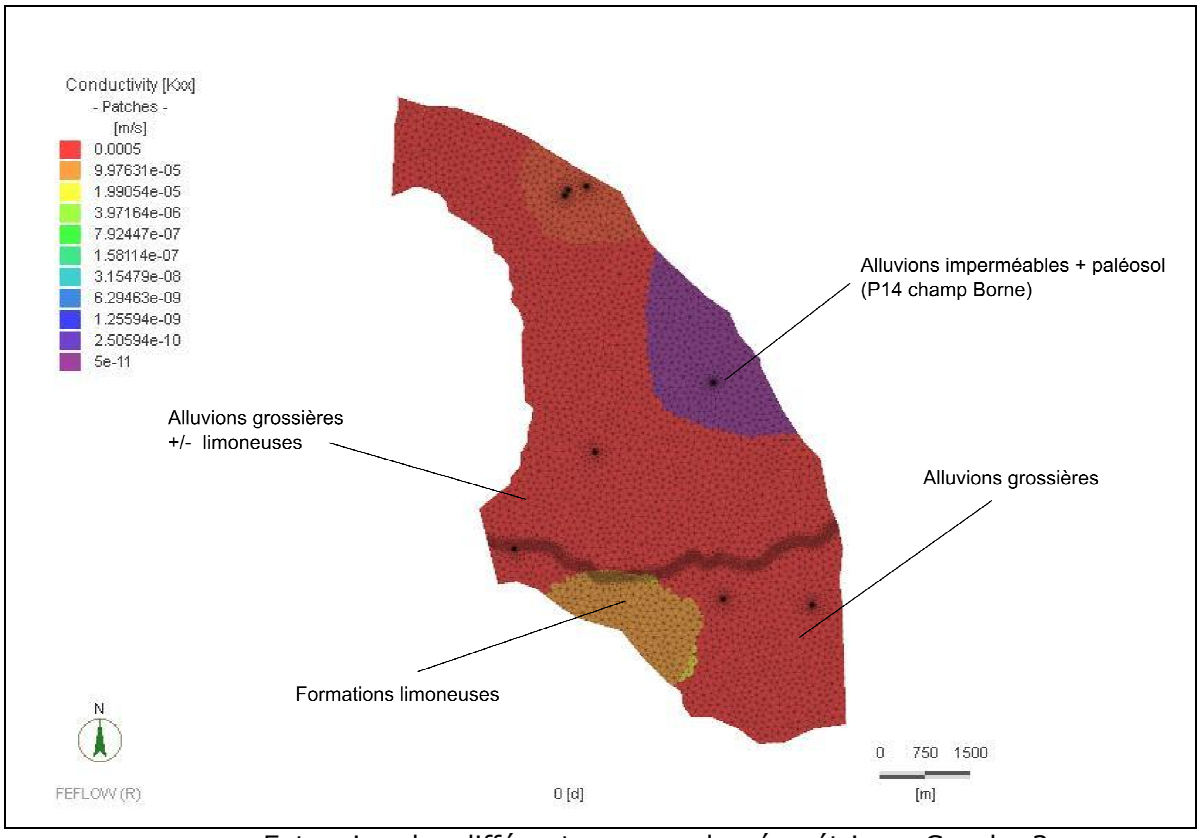
Code BSS	Nom usuel - Désignation	Altitude	Profondeur		Crépine (mNGR)		Hydrogéologie		
		(mNGR)	(m/surface)	(mNGR)	Haute	Basse)	K_(m/s)	T_(m²/s)	S
12272X0050	TERRE ROUGE	103	140	-37	-12.38	-37			
12272X0064	BENGALIS	108.4	198	-89.6	-39.6	-88.1	2,68*10-3	1.3*10-2	
12272X0069		45	30	15	45	45			
12272X0070	S3 CITRONNIERS	146.35	42	104.35	137.35	106.35	5,484*10-3	1.7*10-2	
12272X0130	DIORÉ	151.73	280	-128.27	151.73	151.73			
12272X0149	TERRE ROUGE			0	0	0			
12273X0009	P14 CHAMP BORNE	23.67	133	-109.33	-99.33	-106.33			
12273X0010	PANIANDY	82.92	280	-197.08	-5.08	-190.08	1,62*10-3		
12273X0011	RAVINE CREUSE	70.38	139	-68.62	-8.62	-68.62	5,0*10-4		
12273X0014	S2 RIVIERE du MAT LES BAS	40.34	30	10.34	34.74	12.24	1,33*10-3	3*10-2	
12273X0015	S4 CHEMIN DE LA PAIX	13.55	80	-66.45	1.35	-60.8	8,045*10-4	5*10-2	
12273X0019	P19 MA PENSÉE	13.2	139	-125.8	-105.8	-125.8	4,75*10-3	9.5*10-2	
12277X0073	BOURBIER LES HAUTS	83.39	130	-46.61					
12276X0034	ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SITE DE GRAND ETANG	511.74	33.3	478.44					
12276X0035	ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SITE DE GRAND ETANG	522.57	30	492.57					
12276X0040	ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SITE DE GRAND ETANG	514.02	60	454.02					
12276X0038	ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SITE DE GRAND ETANG	524.59	30	494.59					
12276X0039	ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SITE DE GRAND ETANG	512.93	60	452.93					
12276X0037	ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SITE DE GRAND ETANG	516.98	30	486.98					
12276X0042	ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SITE DE GRAND ETANG	521.15	51	470.15					
12276X0041	ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SITE DE GRAND ETANG	521.81	50	471.81					
12276X0065	ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SITE DE GRAND ETANG	523	15	508					
12276X0062	ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SITE DE GRAND ETANG	508.26	50	458.26					
12276X0028	ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DU SITE DE GRAND ETANG	521.29	30	491.29					
12272X0037	BARRAGE DE LA RIVIERE DU MAT	109.82	20	89.82					
12272X0039	RIVIERE DU MAT	99.5	29	70.5					
12272X0040	RIVIERE DU MAT	99.9	23	76.9					
12272X0042	SONDAGE DE RECONNAISSANCE	89.9	15	74.9					
12272X0053	PUITS RIVIERE DU MAT	110	0	110					
12272X0097	PONT RIVIERE DU MAT	97.9	30	67.9					
12272X0098	PONT RIVIERE DU MAT	95.5	31.8	63.7					
12272X0099	PONT RIVIERE DU MAT	95	30	65					
12272X0100	PONT RIVIERE DU MAT	95	30	65					
12272X0110	SHLMR EGLISE	95.3	10	85.3					
12272X0111	SHLMR EGLISE	95.5	10	85.5					
12272X0112	SHLMR EGLISE	96	10	86					
12272X0124	DEVIATION BRAS PANON	83.83	15	68.83					
12272X0142	LE BRAS SEC AMONT CONFLUENT BRAS PATRICK	80	-999	1079					
12272X0143	PUITS RIVIERE DU MAT	110	-999	1109					
12272X0150	BARRAGE DE LA RIVIERE DU MAT	109.59	25	84.59					
12272X0151	BARRAGE DE LA RIVIERE DU MAT	113.87	11.6	102.27					
12272X0152	BARRAGE DE LA RIVIERE DU MAT	110.17	21.2	88.97					
12272X0156	RIVIERE DU MAT	98.7	35	63.7					
12272X0157	RIVIERE DU MAT	102.6	30	72.6					
12272X0158	RIVIERE DU MAT	94.9	30	64.9					
12272X0165	FORAGE TERRE ROUGE	103	142.6	-39.6					
12272X0167	FORAGE BENGALIS NAPPE INFERIEURE	108.9	75	33.9					
12272X0181	LA GRANDE RIVIÈRE SAINT JEAN (CASCADE PICHON)	50	-999	1049					
12272X0192	CARREAU MORIN FORAGE DE RECONNAISSANCE	108	323	-215					
12273X0002	PUITS AUBOIS	5.04	4.6	0.44					
12273X0003	PUITS SOUCHON BENEDICT	6.8	4.9	1.9					
12273X0004	PUITS LAMELOV	5.9	3.8	2.1					
12273X0005	PUITS LAMARQUE	7.6	9.1	-1.5					
12273X0006	PUITS ATTIE	6.8	3.7	3.1					
12273X0012	CHAMP BORNE	24.53	27	-2.47					
12273X0013	CHAMP BORNE	23.93	30	-6.07					
12273X0016	LE REFUGE BRAS-PANON	62.58	40	22.58					
12273X0020	DEVIATION BRAS PANON	28.48	36	-7.52					
12273X0021	DEVIATION BRAS PANON	6.29	16	-9.71					
12273X0022	DEVIATION BRAS PANON	13.09	27	-13.91					
12273X0023	DEVIATION BRAS PANON	13.18	27	-13.82					
12273X0024	DEVIATION BRAS PANON	11.09	27	-15.91					
12273X0025	DEVIATION BRAS PANON	8.17	30	-21.83					
12273X0026	DEVIATION BRAS PANON	8.74	24	-15.26					
12273X0027	DEVIATION BRAS PANON	20.01	30	-9.99					
12273X0028	DEVIATION BRAS PANON	28.48	36	-7.52					
12273X0029	DEVIATION BRAS PANON	28.12	28	0.12					
12273X0030	DEVIATION BRAS PANON	28.53	28	0.53					
12273X0038	DEVIATION BRAS PANON	28.14	25.5	2.64					
12273X0039	DEVIATION BRAS PANON	28.59	25.5	3.09					
12273X0040	DEVIATION BRAS PANON	10.26	18.5	-8.24					
12273X0041	DEVIATION BRAS PANON	8.82	18.5	-9.68					
12273X0042	DEVIATION BRAS PANON	19.51	30.5	-10.99					
12273X0043	DEVIATION BRAS PANON	20.75	25	-4.25					
12273X0044	DEVIATION BRAS PANON	90.55	15	75.55					
12273X0045	DEVIATION BRAS PANON	41.04	10	31.04					
12273X0046	DEVIATION BRAS PANON	89.37	15	74.37					
12273X0047	DEVIATION BRAS PANON	28.92	28	0.92					
12273X0048	DEVIATION BRAS PANON	28.53	28	0.53					
12273X0049	DEVIATION BRAS PANON	20.71	10.4	10.31					
12273X0050	PONT RIVIERE DES ROCHES	9.75	18.5	-8.75					
12273X0051	PONT RIVIERE DES ROCHES	9.45	18.3	-8.85					
12273X0052	PONT RIVIERE DES ROCHES	9.65	18.3	-8.65					
12273X0053	PONT RIVIERE DES ROCHES	9.65	7.6	2.05					
12273X0054	PONT RIVIERE DES ROCHES	10	7.5	2.5					
12273X0055	PONT RIVIERE DES ROCHES	9.5	7.5	2					
12273X0056	PONT RIVIERE DES ROCHES	9.5	6	3.5					
12273X0057	PONT RIVIERE DES ROCHES	10	7.5	2.5					
12273X0058	PONT RIVIERE DES ROCHES	9.5	7.5	2					
12273X0059	PONT RIVIERE DES ROCHES	9.5	7.5	2					
12273X0065	LE BRAS SEC AMONT CONFLUENT BRAS PETARD	58	-999	1057					
12273X0067	PIEZOMETRE CHAMP BORNE NAPPE INFERIEURE	24.17	18.5	5.67					
12273X0068	FORAGE RAVINE CREUSE NAPPE INFERIEURE	76.46	55	21.46					
12273X0069	FORAGE MA PENSEE	13.8	34	-20.2					
12277X0009	PUITS VITOUL JOSEPH	7	5.5	1.5					
12277X0010	PUITS SINAMOUNY	7	4.4	2.6					

Annexe 6

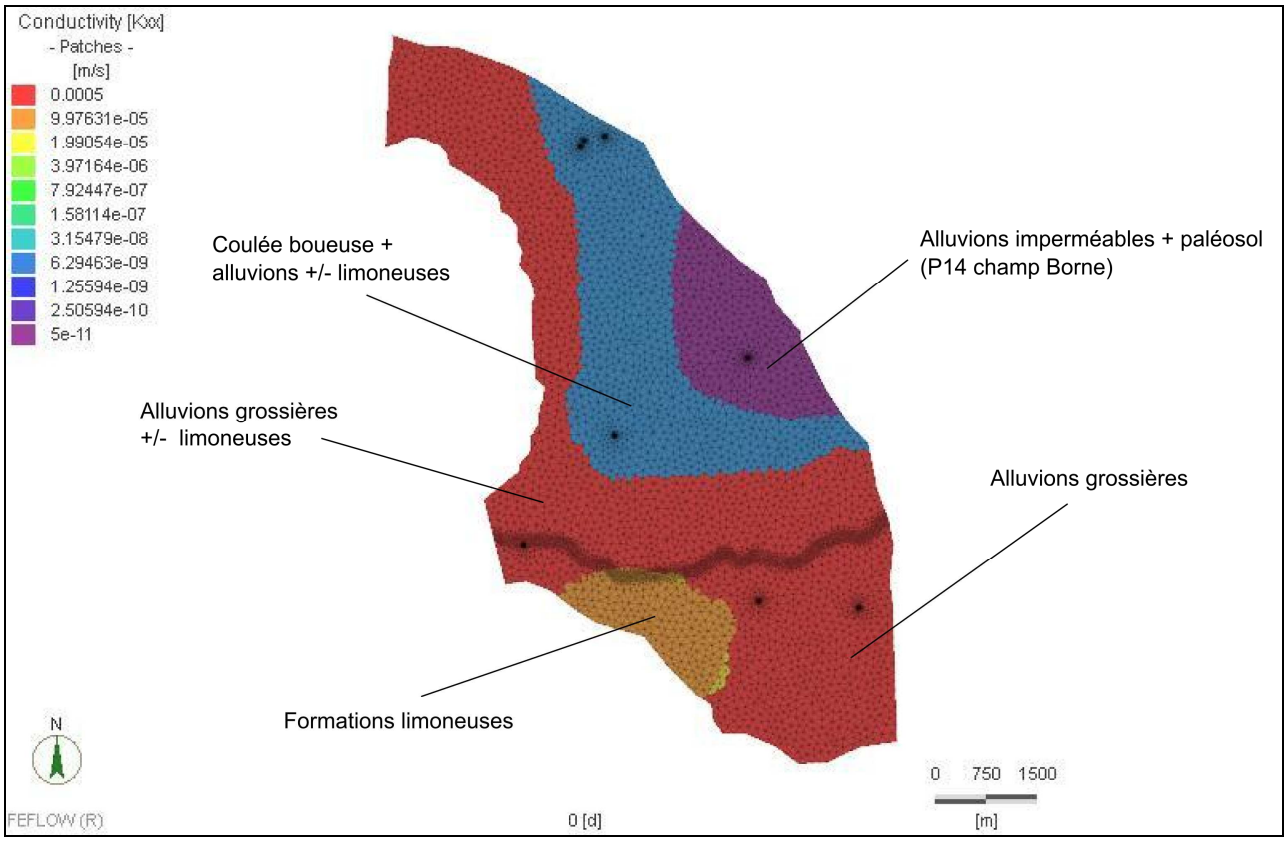
Description détaillée des zones de géométries utilisées pour la construction du modèle



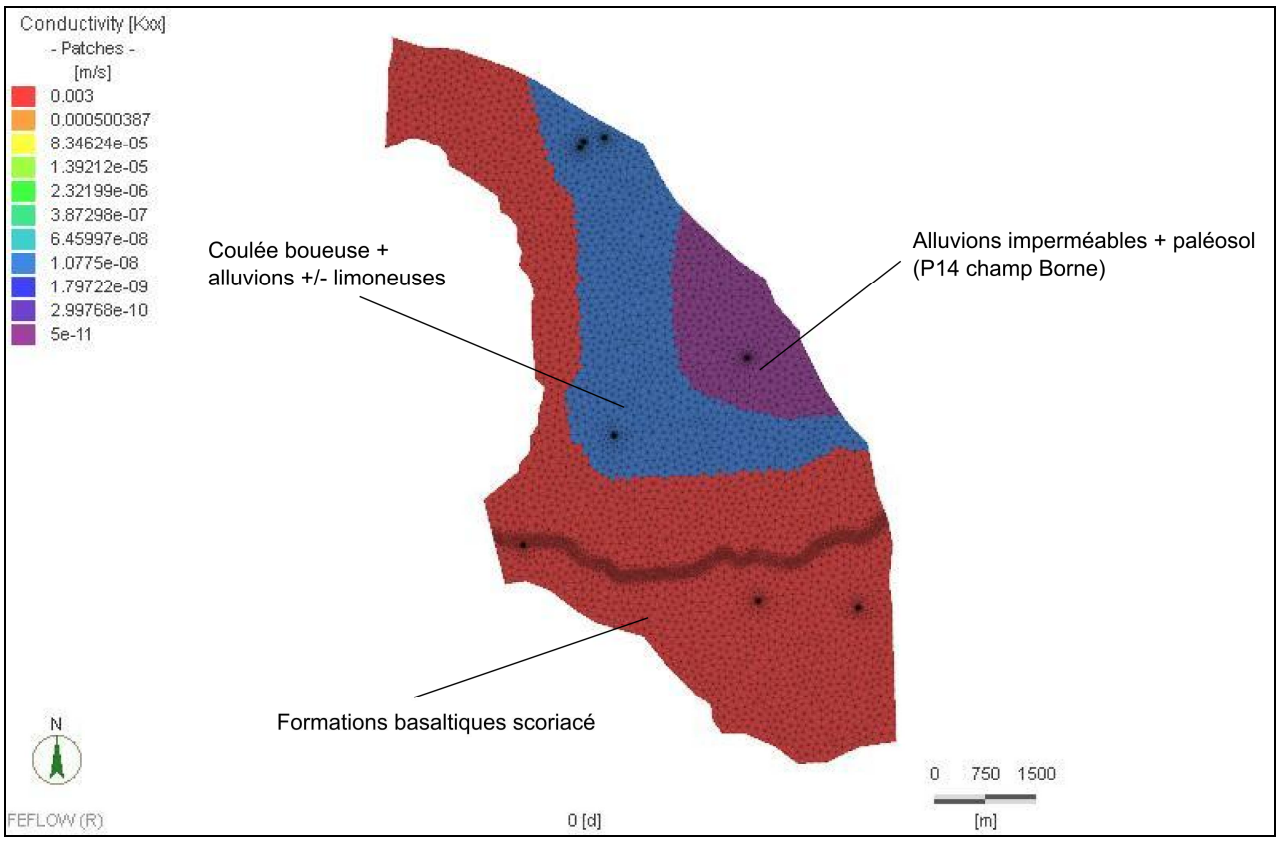
Extension des différentes zones de géométries – Couche 1 et 2



Extension des différentes zones de géométries – Couche 3



Extension des différentes zones de géométries – Couche 4 et 5



Extension des différentes zones de géométries – Couche 6

Annexe 7

Statistiques détaillées des ouvrages piézométriques suivis en continus

Station
Nom Forage Ravine Creuse . n°2 (23011-2)
Commune Saint-André
Paramètre Niveau piézométrique (m (NGR))

Statistiques sur la chronique

Minimum jour	Date minimun	Moyenne	Médiane	Ecart type	Maximum jou	Date maximum journalier	Nombre d'ann	% lacunes
13.87	23-janv-04	22.01	22.78	3.76	29.88	12-mars-98	17	13.93

Analyse fréquentielle

Quinquennale	Décennale sè	Quinquennale	Décennale humide
17.33	16.49	27.37	29.69

Statistiques mensuelles interannuelles

Indicateur	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
Minimum jour	13.87	13.93	14.43	15.11	15.93	16.79	16.27	15.88	15.61	15.51	15.26	15.13
Moyenne	20.68	21.63	23.44	23.94	23.69	23.22	22.49	21.41	21.24	21.02	20.75	20.54
Médiane	22.08	22.75	24.36	25.36	24.92	24.64	23.76	23.02	22.67	22.34	22.06	21.83
Ecart type	3.59	4.05	4.16	3.78	3.71	3.67	3.5	3.43	3.29	3.16	3.06	3.02
Maximum jou	28.41	28.76	29.88	29.02	29.52	29.77	28.36	26.37	25.19	24.88	24.6	25.2
% lacunes	5.44	0	11.49	6.46	0	0	2.15	0.22	4.89	0	0	3.66

Statistiques annuelles

Annee	% lacunes	Minimum jour	Moyenne	Médiane	Ecart type	Maximum journalier	
2008	31.15	15.94	17.85	18.04	1.07	19.63	22.01
2007	0	15.9	17.18	16.92	0.99	19.46	22.01
2006	0	16.02	17.29	16.74	1.17	20.23	22.01
2005	55.62	15.65	16.27	16.14	0.62	19.39	22.01
2004	0	13.87	15.55	15.56	0.94	17.34	22.01
2003	44.66	25.12	27.65	27.9	1.5	29.77	22.01
2002	0	22.14	24.89	25.08	0.94	26.04	22.01
2001	0	22.08	23.71	23.33	1.34	26.46	22.01
2000	0	21.95	24.13	23.51	1.55	27.14	22.01
1999	0	21.84	23.5	23.26	1.29	26.38	22.01
1998	0	22.34	24.76	24.32	1.99	29.88	22.01
1997	0	21.8	24.77	24.86	1.46	26.87	22.01
1996	0	21.71	24.35	23.84	2.18	28.76	22.01
1995	0	20.95	22.94	22.93	1.2	25.65	22.01
1994	0	21.02	22.61	22.23	1.17	25.23	22.01
1993	9.04	18.46	23.05	22.62	2.93	28.74	22.01
1992	96.17	18.81	18.89	18.89	0.05	18.98	22.01

Moyennes mensuelles

Année	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
2008	16.04	16.49	18.2	19.47	18.75	18.11	18.08	17.7	17.49			
2007	16.03	17.09	18.99	18.89	18.04	17.47	17.12	16.9	16.74	16.5	16.28	16.11
2006	16.51	16.83	19.2	19.71	18.42	17.39	16.82	16.7	16.74	16.65	16.41	16.14
2005	15.73		19.21	19.32				16.33	16.03	15.99	16.13	16.32
2004	13.92	14.09	14.82	15.45	16.61	17.13	16.5	16.07	15.71	15.56	15.38	15.28
2003	25.31	26.05	27.93	27.89	29.17	29.3	27.83					
2002	22.36	24.3	25.09	25.43	25.76	25.95	25.48	25.42	25.01	24.63	24.41	24.87
2001	22.32	23.03	24.34	25.53	26.25	25.14	24.2	23.53	22.97	22.62	22.37	22.16
2000	22.31	24.27	26.97	26.68	25.6	24.66	23.92	23.47	23.46	23.14	22.74	22.4
1999	23.17	23.43	24.34	26.21	25.32	24.28	23.54	22.95	22.55	22.32	22.07	21.88
1998	22.49	23.62	29.34	27.55	26.09	25.04	24.53	24.42	24.09	23.63	23.24	22.97
1997	22.23	24.48	26.78	26.03	24.8	25.45	26.66	25.8	24.75	24	23.4	22.88
1996	26.6	28.64	27.25	25.56	24.72	24.19	23.57	23.07	22.67	22.32	21.99	21.76
1995	21.01	21.37	22.01	22.69	24.21	25.33	24.1	23.16	23.06	22.98	22.6	22.59
1994	21.96	22.23	23.3	25.05	24.23	23.39	22.72	22.26	21.96	21.68	21.44	21.12
1993	18.59	18.68	21.18	28.61	27.35	25.48	24.05	23.17	22.65	22.25	21.99	21.8
1992												18.89
Minimum	13.92	14.09	14.82	15.45	16.61	17.13	16.5	16.07	15.71	15.56	15.38	15.28
Maximum	26.6	28.64	29.34	28.61	29.17	29.3	27.83	25.8	25.01	24.63	24.41	24.87
Médiane	22.1	23.03	23.82	25.48	24.8	24.66	23.92	23.07	22.65	22.32	22.03	21.8

Station	
Nom	Puits Robert Cambuston (22001)
Commune	Saint-André
Paramètre	Niveau piézométrique (m (NGR))

Statistiques sur la chronique								
Minimum journalier	Date minimum jounalier	Moyenne	Médiane	Ecart type	Maximum journalier	Date maximum journalier	Nombre d'années	% lacunes
2,78	11-nov-94	3,81	3,66	0,74	6,33	04-mars-93	14	11,50

Analyse fréquentielle			
Quinquennale sèche	Décennale sèche	Quinquennale humide	Décennale humide
2,74	2,66	5,91	6,34

Statistiques mensuelles interannuelles												
Indicateur	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
Minimum journalier	2,86	2,78	2,81	2,95	3,13	3,39	3,23	3,07	2,91	2,81	2,78	2,78
Moyenne	3,53	3,99	4,46	4,51	4,47	4,12	3,85	3,62	3,41	3,22	3,13	3,23
Médiane	3,17	3,88	4,37	4,45	4,40	4,18	3,83	3,56	3,32	3,15	3,05	3,11
Ecart type	0,77	0,86	0,87	0,73	0,53	0,41	0,38	0,35	0,30	0,26	0,26	0,42
Maximum journalier	5,97	6,26	6,33	6,06	5,66	5,37	4,64	4,41	4,08	3,76	3,93	6,15
% lacunes	8,06	10,08	8,29	8,10	0,00	7,62	0,00	0,00	0,00	0,00	8,97	4,99

Statistiques annuelles						
Annee	% lacunes	Minimum journalier	Moyenne	Médiane	Ecart type	Maximum journalier
2003	56,99	3,86	4,78	4,76	0,60	5,84
2002	0,00	3,46	4,02	4,03	0,29	4,97
2001	3,01	2,87	3,68	3,56	0,54	4,83
2000	17,49	2,94	3,60	3,54	0,52	4,80
1999	0,00	2,80	3,52	3,37	0,56	5,31
1998	0,00	2,93	4,20	4,08	0,87	6,26
1997	0,00	3,03	3,96	4,08	0,48	4,92
1996	0,00	2,82	3,98	3,62	0,95	6,02
1995	19,18	2,81	3,71	3,68	0,51	6,15
1994	13,70	2,78	3,36	3,21	0,44	4,57
1993	13,70	2,78	4,17	3,76	1,14	6,33
1992	12,84	2,78	3,28	3,22	0,30	3,78
1991	0,00	2,83	3,69	3,56	0,72	5,38
1990	24,11	2,93	3,76	3,56	0,74	6,08

Moyennes mensuelles												
Année	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
2003	3,92	4,56	4,70	5,14	5,48	5,35						
2002	3,91	4,03	4,01	4,35	4,35	4,21	4,30	4,06	3,81	3,58	3,71	3,95
2001	3,43	3,65	4,17	4,55	4,45	4,07	3,73	3,46	3,25	3,11	3,00	3,05
2000	3,20	4,22	4,58	4,73		3,82	3,62	3,63	3,48	3,30	3,13	2,98
1999	3,37	3,53	4,32	4,51	4,12	3,71	3,42	3,24	3,15	3,01	2,88	2,98
1998	3,03	4,74	5,83	5,40	4,68	4,34	4,22	4,07	3,80	3,55	3,34	3,47
1997	3,27	4,11	4,35	4,18	4,19	4,48	4,53	4,25	3,92	3,65	3,43	3,22
1996	5,66	5,58	5,03	4,46	4,12	3,80	3,55	3,41	3,19	3,04	2,92	3,03
1995	2,86		2,97	3,07	4,41	4,34	3,95	3,80	3,68	3,49	3,26	3,87
1994	3,02	3,07	4,06	4,04	3,80	3,49	3,33	3,15	3,03	2,87	2,79	
1993		3,58	6,07	5,83	5,28	4,61	4,02	3,57	3,32	3,15	2,99	2,87
1992	3,10	3,12	3,27	3,69	3,74	3,60	3,44	3,20	3,01	2,86	2,80	
1991	2,92	3,22	3,79	4,55	4,98	4,60	4,11	3,69	3,35	3,13	2,93	3,04
1990		5,85	5,80	4,90	4,48	4,18	3,86	3,55	3,31	3,15	3,07	2,95
Minimum	2,86	3,07	2,97	3,07	3,74	3,49	3,33	3,15	3,01	2,86	2,79	2,87
Maximum	5,66	5,85	6,07	5,83	5,48	5,35	4,53	4,25	3,92	3,65	3,71	3,95
Médiane	3,24	4,03	4,34	4,53	4,41	4,19	3,86	3,57	3,32	3,15	3,00	3,04

Station	
Nom	P14 Champ Borne n°2 (23009-2)
Commune	Saint-André

Statistiques sur la chronique

Minimum journalier	Date minimum jou	Moyenne	Médiane	Ecart type	Maximum journalier	Date maximum journalier	Nombre d'années	% lacunes
9.44	09-déc-92	9.79	9.77	0.15	10.2	24-mars-05	23	7.39

Analyse fréquentielle

Quinquennale sèche	Décennale sèche	Quinquennale humide	Décennale humide
9.52	9.49	10.1	10.18

t

Statistiques mensuelles interannuelles

Indicateur	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
Minimum journalier	9.51	9.5	9.53	9.52	9.59	9.61	9.6	9.57	9.53	9.51	9.47	9.44
Moyenne	9.69	9.74	9.85	9.91	9.91	9.88	9.82	9.78	9.75	9.73	9.71	9.67
Médiane	9.68	9.74	9.86	9.92	9.92	9.89	9.83	9.79	9.76	9.74	9.73	9.69
Ecart type	0.1	0.14	0.16	0.16	0.13	0.11	0.11	0.11	0.1	0.1	0.1	0.11
Maximum journalier	10.06	10.13	10.2	10.19	10.19	10.16	10.08	10.03	10.01	10	9.99	9.89
% lacunes	4.45	2.53	1.69	5.61	7.18	7.94	9.24	8.14	9.85	0.29	5	1.47

Statistiques annuelles

Annee	% lacunes	Minimum journalier	Moyenne	Médiane	Ecart type	Maximum journalier	
2011	7.4	9.68	9.84	9.85	0.07	9.99	9.79
2010	0	9.72	9.94	9.95	0.1	10.12	9.79
2009	3.56	9.72	9.86	9.86	0.07	10.06	9.79
2008	4.64	9.65	9.89	9.85	0.12	10.12	9.79
2007	2.47	9.63	9.82	9.81	0.1	10.02	9.79
2006	0	9.65	9.86	9.8	0.16	10.18	9.79
2005	11.51	9.74	9.9	9.84	0.12	10.2	9.79
2004	2.46	9.56	9.79	9.78	0.09	9.99	9.79
2003	1.1	9.6	9.87	9.86	0.12	10.16	9.79
2002	0	9.52	9.68	9.71	0.07	9.86	9.79
2001	0	9.5	9.62	9.6	0.07	9.8	9.79
2000	17.21	9.51	9.72	9.71	0.11	9.91	9.79
1999	0	9.57	9.75	9.75	0.12	9.97	9.79
1998	0	9.57	9.84	9.87	0.12	10.07	9.79
1997	0	9.56	9.82	9.83	0.1	10	9.79
1996	0	9.55	9.84	9.82	0.17	10.14	9.79
1995	0	9.5	9.63	9.62	0.07	9.79	9.79
1994	0	9.47	9.68	9.65	0.11	9.92	9.79
1993	27.67	9.51	9.77	9.72	0.21	10.19	9.79
1992	0	9.44	9.66	9.69	0.1	9.81	9.79
1991	0	9.61	9.73	9.71	0.07	9.94	9.79
1990	77.53	9.67	9.74	9.73	0.05	10.01	9.79

Moyennes mensuelles

Année	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
2011	9.78	9.89	9.89	9.9	9.95	9.87	9.88	9.84	9.81	9.81	9.78	9.72
2010	9.76	9.82	9.91	10.04	10.08	10.06	10.02	9.98	9.95	9.95	9.91	9.83
2009	9.81	9.82	9.83	9.9	9.99	9.91	9.91	9.89	9.86	9.84	9.81	9.74
2008	9.71	9.74	9.92	10.07	10.06	10	9.91	9.86	9.82	9.85	9.82	9.83
2007	9.67	9.85	9.96	10	9.92	9.9	9.84	9.79	9.76	9.75	9.73	9.7
2006	9.82	9.86	10.05	10.15	10.09	9.97	9.77	9.74	9.76	9.74	9.73	9.67
2005	9.78	9.98	10.08	10.12	9.99	9.92	9.84	9.82	9.79	9.78	9.78	9.82
2004	9.63	9.69	9.76	9.79	9.89	9.93	9.91	9.84	9.79	9.78	9.75	9.71
2003	9.78	9.82	9.88	9.93	9.97	10.09	9.99	9.92	9.81	9.8	9.75	9.65
2002	9.58	9.55	9.6	9.66	9.67	9.71	9.71	9.72	9.73	9.73	9.76	9.79
2001	9.59	9.56	9.63	9.73	9.74	9.66	9.64	9.6	9.6	9.55	9.55	9.52
2000	9.64	9.69	9.84	9.89	9.88	9.81	9.71	9.7	9.71	9.66	9.62	9.55
1999	9.75	9.78	9.84	9.94	9.92	9.86	9.77	9.69	9.65	9.66	9.61	9.59
1998	9.63	9.71	10	9.99	9.96	9.91	9.9	9.88	9.83	9.77	9.76	9.74
1997	9.6	9.68	9.88	9.93	9.84	9.88	9.92	9.9	9.85	9.8	9.78	9.75
1996	9.89	10.1	10.1	10.01	9.95	9.9	9.79	9.77	9.7	9.62	9.66	9.63
1995	9.56	9.55	9.56	9.55	9.69	9.75	9.69	9.63	9.59	9.65	9.62	9.65
1994	9.66	9.65	9.69	9.87	9.86	9.79	9.69	9.62	9.63	9.58	9.59	9.51
1993	9.56	9.57	9.94	10.15	10.16	10.02	9.8	9.8	9.76	9.72	9.68	9.59
1992	9.68	9.75	9.78	9.71	9.73	9.75	9.71	9.65	9.59	9.57	9.52	9.48
1991	9.69	9.65	9.66	9.71	9.83	9.86	9.79	9.76	9.73	9.7	9.67	9.68
1990				10.01	10.01		9.82		9.74	9.75	9.73	9.71
Minimum	9.56	9.55	9.56	9.55	9.67	9.66	9.64	9.6	9.59	9.55	9.52	9.48
Maximum	9.89	10.1	10.1	10.15	10.16	10.09	10.02	9.98	9.95	9.95	9.91	9.83
Médiane	9.68	9.74	9.88	9.93	9.93	9.9	9.81	9.79	9.76	9.74	9.73	9.69

Station	
Nom	Forage Paniandy (23010)
Commune	Bras Panon
Paramètre	Niveau piézométrique (m (NGR))

Statistiques sur la chronique

Minimum jour	Date minimun	Moyenne	Médiane	Ecart type	Maximum jou	Date maximu	Nombre d'ann	% lacunes
13.15	05-févr-93	13.7	13.61	0.26	14.29	04-mai-93	4	1.71

Statistiques mensuelles interannuelles

Indicateur	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
Minimum jour	13.15	13.15	13.42	13.45	13.52	13.65	13.5	13.46	13.44	13.45	13.47	13.4
Moyenne	13.6	13.63	13.89	13.95	13.95	13.88	13.74	13.63	13.57	13.53	13.51	13.49
Médiane	13.52	13.55	13.92	14.02	13.97	13.84	13.75	13.64	13.56	13.54	13.5	13.48
Ecart type	0.25	0.35	0.31	0.3	0.21	0.15	0.13	0.12	0.08	0.04	0.03	0.07
Maximum jou	14.12	14.24	14.26	14.29	14.29	14.18	14.01	13.81	13.72	13.62	13.58	13.72
% lacunes	20.16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Statistiques annuelles

Annee	% lacunes	Minimum jour	Moyenne	Médiane	Ecart type	Maximum journalier	
1996	0	13.45	13.83	13.81	0.26	14.26	13.7
1995	0	13.39	13.54	13.51	0.09	13.82	13.7
1994	0	13.4	13.64	13.58	0.17	14	13.7
1993	6.85	13.15	13.8	13.75	0.34	14.29	13.7

Moyennes mensuelles

Année	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
1996	13.94	14.18	14.21	14.11	14.01	13.92	13.79	13.71	13.63	13.51	13.49	13.5
1995	13.44	13.47	13.47	13.47	13.67	13.71	13.59	13.49	13.49	13.55	13.53	13.57
1994	13.52	13.6	13.79	13.95	13.89	13.79	13.67	13.54	13.52	13.49	13.49	13.42
1993	13.18	13.26	14.08	14.26	14.24	14.09	13.9	13.76	13.66	13.57	13.55	13.47
Minimum	13.18	13.26	13.47	13.47	13.67	13.71	13.59	13.49	13.49	13.49	13.49	13.42
Maximum	13.94	14.18	14.21	14.26	14.24	14.09	13.9	13.76	13.66	13.57	13.55	13.57
Médiane	13.48	13.53	13.93	14.03	13.95	13.86	13.73	13.63	13.57	13.53	13.51	13.48

Nom	S3 Citronniers (22070)
Commune	Saint-André
Paramètre	Niveau piézométrique (m (NGR))

Statistiques sur la chronique

Minimum jour	Date minimum	Moyenne	Médiane	Ecart type	Maximum jou	Date maximum journalier	Nombre d'ann	% lacunes
130.2	18-janv-93	134.61	134.35	1.82	142.9	25-févr-98	20	3.18

Analyse fréquentielle

Quinquennale	Décennale sè	Quinquennale	Décennale humide
131.42	131.23	140.87	141.79

Statistiques mensuelles interannuelles

Indicateur	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
Minimum jour	130.2	131.62	133.56	134.39	133.5	132.74	132.56	132.25	132.23	131.56	130.9	130.47
Moyenne	134.43	136.43	136.9	136.14	135.54	134.83	134.33	133.94	133.67	133.3	132.89	133.31
Médiane	134.2	136.26	136.72	136.1	135.15	134.63	134.16	133.78	133.52	133.35	132.84	133.05
Ecart type	1.93	1.92	1.48	0.89	1.27	1.2	0.99	0.9	0.86	0.86	1.03	1.62
Maximum jou	140.53	142.9	142.09	139.53	140.05	139.29	137.12	136.47	136.45	135.21	137.95	140.53
% lacunes	0.18	0	0	0	0.54	4.56	0.17	0	0.18	0.34	3.16	0

Statistiques annuelles

Annee	% lacunes	Minimum jour	Moyenne	Médiane	Ecart type	Maximum journalier	
2011	0.55	132.27	135.01	134.9	1.38	140.03	134.61
2008	6.83	131.99	135.13	134.75	1.43	139.37	134.61
2007	0	131.99	134.57	134.09	1.78	140.76	134.61
2006	0	132.38	134.85	134.46	1.88	141.2	134.61
2005	0	132.93	135.14	134.59	1.6	140.52	134.61
2004	0	132.61	134.99	134.85	1.58	138.93	134.61
2003	0	132.51	135.19	134.91	1.97	140.05	134.61
2002	0	132.74	135.31	135.35	0.97	137.69	134.61
2001	0	131.09	133.76	133.71	1.62	137.23	134.61
2000	0	131.68	134.12	133.57	1.81	138.67	134.61
1999	0	131.27	133.52	133.15	1.55	139.49	134.61
1998	0	132.21	134.85	134.3	1.88	142.9	134.61
1997	0	132.4	135.31	135.17	1.64	139.29	134.61
1996	0	131.74	134.65	134.14	2.05	140.53	134.61
1995	0	132.46	134.71	134.38	1.35	140.53	134.61
1994	0	132	133.67	133.1	1.55	140.43	134.61
1993	0	130.2	134.41	133.47	2.69	142.09	134.61
1992	0	130.47	133.97	134.18	2.02	137.72	134.61
1991	48.22	132.99	134.32	134.11	0.9	137.07	134.61

Moyennes mensuelles

Année	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
2011	133.25	137.44	136.2	136.29	135.25	135.36	134.9	135.58	134.72	134.28	133.64	133.43
2008	134.35	136.92	137.83	136.52	134.89	135.34	134.4	133.8	133.93	134.58	133.63	134.44
2007	135.68	137.31	137.5	135.61	134.99	134.32	134.09	134.03	133.49	133.03	132.8	132.14
2006	134.81	137.03	138.93	136.42	134.65	133.77	134.35	134.43	135.05	133.64	132.74	132.58
2005	136.72	137.4	137.66	136.25	134.73	134.49	134.07	133.4	133.59	134.42	134.43	134.74
2004	133.42	135.71	136.54	136.95	137.51	135.54	134.83	133.91	133.92	133.72	133.01	134.89
2003	134.94	137.26	136	137.36	138.34	137.13	135.15	133.92	133.46	133.15	132.76	132.98
2002	134.49	135.68	135.64	135.9	136.38	135.76	135.78	135.23	134.91	133.99	134.83	135.14
2001	134.41	135.22	135.66	135.85	135.22	133.97	133.8	133.35	132.67	132.04	131.73	131.33
2000	134.35	137.38	137.01	135.84	134.6	133.75	133.19	133.93	133.15	132.45	132.06	131.87
1999	133.29	134.87	136.57	135.43	134.12	133.17	132.65	132.39	132.69	132.46	131.84	132.91
1998	132.3	138.38	137.17	136.3	135.16	134.99	134.62	134.19	134.22	134.06	133.56	133.6
1997	135.17	138.29	136.67	135.2	135.48	136.95	136.28	135.41	134.56	133.82	133.35	132.76
1996	138.57	137.84	136.41	135.61	135.02	134.48	133.93	133.52	132.97	132.37	132.05	133.08
1995	133.56	134.26	134.53	135.17	137.24	135.35	134.08	134.23	134.58	134.12	133.26	136.03
1994	133.71	133.95	137.79	135.37	133.97	133.1	132.88	132.73	132.93	132.81	132.41	132.41
1993	131.14	135.36	139.77	137.83	136.32	134.78	133.93	133.34	132.84	132.56	132.28	132.82
1992	135.59	135.48	136.37	136.65	135.8	134.54	133.88	133.13	132.53	131.9	131.22	130.63
1991						136.04	135.49	134.38	133.59	133.44	133.69	135.04
Minimum	131.14	133.95	134.53	135.17	133.97	133.1	132.65	132.39	132.53	131.9	131.22	130.63
Maximum	138.57	138.38	139.77	137.83	138.34	137.13	136.28	135.58	135.05	134.58	134.83	136.03
Médiane	134.38	136.97	136.62	136.08	135.19	134.78	134.09	133.92	133.59	133.44	132.8	132.98

Station
Nom S2 Rivière du Mât les Bas (23014)
Commune Bras Panon
Paramètre Niveau piézométrique (m (NGR))

Statistiques sur la chronique

Minimum jour	Date minimun	Moyenne	Médiane	Ecart type	Maximum jou	Date maximu	Nombre d'ann	% lacunes
22.14	13-févr-93	26.51	26.15	2.26	35.5	05-mars-93	22	6.07

Analyse fréquentielle

Quinquennale	Décennale sè	Quinquennale	Décennale humide
23.2	22.94	32.69	33.9

Statistiques mensuelles interannuelles

Indicateur	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
Minimum jour	22.63	22.14	24.37	25.68	24.61	23.09	22.59	23.33	23.04	22.52	22.38	22.29
Moyenne	25.99	27.65	29.08	28.7	28.02	27.12	26.38	25.85	25.44	25.04	24.8	25.06
Médiane	25.78	27.25	29.5	28.78	27.83	26.87	26.31	25.8	25.36	24.98	24.74	24.74
Ecart type	2.21	2.34	2.31	1.56	1.74	1.75	1.57	1.36	1.27	1.24	1.23	1.74
Maximum jou	33.04	34.08	35.5	33.36	32.17	32.05	30.57	28.97	28.38	28.25	28.09	32
% lacunes	0	0.88	0	3	6.61	6.83	4.76	5.32	7.94	3.84	3.49	0.15

Statistiques annuelles

Annee	% lacunes	Minimum jour	Moyenne	Médiane	Ecart type	Maximum journalier	
2011	15.62	23.17	25.53	25.36	1.62	29.31	26.51
2010	0.55	23.23	25.95	25.65	1.86	30.86	26.51
2009	0.55	23.17	25.32	24.67	1.89	30.94	26.51
2008	15.85	23.25	25.6	24.98	1.87	30.21	26.51
2007	0.27	22.83	25.27	24.55	1.92	30.7	26.51
2006	0	22.59	25.41	23.79	2.99	34.41	26.51
2005	1.37	25.45	27.68	26.72	2.11	32.9	26.51
2004	0	24.49	26.62	26.39	1.7	30.87	26.51
2003	0	24.61	27.64	26.86	2.36	32.17	26.51
2002	0	24.69	26.35	26.38	0.71	27.76	26.51
2001	7.67	24.21	26.17	25.98	1.64	29.39	26.51
2000	3.55	25.05	27.18	26.41	1.79	31.48	26.51
1999	0	24.79	26.67	26.19	1.72	31.24	26.51
1998	0	24.97	27.54	26.99	1.91	34.08	26.51
1997	0	25.18	27.87	28.05	1.74	30.79	26.51
1996	0	24.55	27.69	26.98	2.58	33.04	26.51
1995	0	24.45	27.35	27.13	1.5	32	26.51
1994	0	23.76	25.74	24.81	1.81	30.6	26.51
1993	0	22.14	28.76	28.44	2.84	35.5	26.51
1992	0	22.29	25.03	25.34	1.95	28.73	26.51
1991	78.08	24.57	25.18	24.88	0.66	27.74	26.51

Moyennes mensuelles

Année	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
2011	23.51	28.72	27.47	26.96	25.66	25.49	26.11	25.66	25.36	24.58	24.09	23.85
2010	24.21	25.78	29.05	29.21	27.15	26.55	26.2	25.44	25.12	24.74	24.23	23.68
2009	24.3	24.66	24.93	29.2	27.68	26.8	26.54	25.23	24.33	23.71	23.38	23.21
2008	23.99	25.46	29.31	28.49	26	25.73	25.18	24.39	24.01	24.31	23.96	23.81
2007	24.63	27.69	29.71	26.68	25.71	25.22	24.6	24.38	24.04	23.74	23.58	23.37
2006	27.07	28.46	32.25	28.58	25.69	23.87	22.92	23.68	23.69	23.28	22.95	22.72
2005	30.03	30.97	31.43	29.81	27.24	26.38	26.25	25.73	25.61	25.99	26.15	27.39
2004	24.75	26.52	27.5	28.27	30.02	28.22	26.72	25.96	25.34	25.16	24.72	26.22
2003	26.74	29.08	29.15	30.1	31.36	30.58	27.85	26.45	25.74	25.23	24.86	24.69
2002	26.02	26.15	25.52	26.3	27.03	27.18	27.11	26.73	26.2	25.62	25.71	26.61
2001	25.99	26.26	28.57	28.61	28.24	26.55	25.81	25.11	24.77	24.44	24.44	24.29
2000	27.02	30.24	30.29	29.28	27.92	27.02	26.18	26.3	26.19	25.75	25.4	25.16
1999	26.1	27.18	29.36	29.82	28.11	27	26.16	25.58	25.25	25.02	24.87	25.63
1998	25.09	29.3	31.36	29.27	28.47	27.68	27.17	27.17	26.54	26.45	26.06	26.02
1997	26.25	29.77	29.83	28.58	28.01	29.69	29.88	28.36	27.11	26.23	25.6	25.31
1996	32.19	32.1	30.08	29.02	28.54	27.56	26.59	26.01	25.47	25	24.71	25.15
1995	25.1	26.06	26.39	27.35	30.23	29.28	27.91	27.29	27.37	26.75	26.1	28.32
1994	27.75	27.24	29.44	27.55	26.07	25.19	24.54	24.14	23.98	24.04	24.5	24.56
1993	23.04	25.64	33.27	32.38	31.16	29.78	28.99	28.47	28.25	27.94	27.84	28.2
1992	26.11	26.2	26.64	27.81	27.86	25.86	24.92	24.08	23.38	22.7	22.45	22.4
1991						27.74	26.73		25.45	24.86	24.67	25.62
Minimum	23.04	24.66	24.93	26.3	25.66	23.87	22.92	23.68	23.38	22.7	22.45	22.4
Maximum	32.19	32.1	33.27	32.38	31.36	30.58	29.88	28.47	28.25	27.94	27.84	28.32
Médiane	26.01	27.21	29.34	28.6	27.89	27	26.25	25.69	25.36	25	24.71	25.15

Station	
Nom	Forage Bengalis . n°2 (22064-2)
Commune	Bras Panon
Paramètre	Niveau piézométrique (m (NGR))

Statistiques sur la chronique

Minimum jour	Date minimum	Moyenne	Médiane	Ecart type	Maximum jou	Date maximu	Nombre d'ann	% lacunes
15.16	25-févr-04	18.76	19.01	1.24	20.78	09-juin-93	17	16.43

Analyse fréquentielle

Quinquennale	Décennale sè	Quinquennale	Décennale humide	
16.05	15.69	20.26	20.77	

Statistiques mensuelles interannuelles

Indicateur	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
Minimum jour	15.79	15.16	15.46	15.69	16.16	16.95	16.81	16.44	16.34	16.17	15.94	15.7
Moyenne	18.21	18.29	18.71	19.28	19.43	19.38	19.28	19.07	18.86	18.52	18.17	18.08
Médiane	18.38	18.32	18.94	19.5	19.68	19.87	19.8	19.19	19.11	18.95	18.49	18.45
Ecart type	1.03	1.1	1.19	1.13	1.08	1.1	1.15	1.16	1.16	1.21	1.18	1.21
Maximum jou	19.75	20.44	20.71	20.77	20.76	20.78	20.65	20.35	20.29	20.15	19.97	19.81
% lacunes	8.27	0.94	10.08	6	1.94	6.67	0	1.84	12	7.53	0	0.22

Statistiques annuelles

Annee	% lacunes	Minimum jour	Moyenne	Médiane	Ecart type	Maximum journalier	
2010	55.34	16.52	18.69	19.14	1.1	20.11	18.76
2009	2.47	16.98	19.2	19.39	0.76	20.05	18.76
2008	0	16.39	19.22	19.59	1.02	20.28	18.76
2007	9.59	15.7	17.93	17.98	0.98	19.61	18.76
2006	8.22	16.79	17.96	17.87	0.67	19.6	18.76
2005	0	16.17	17.39	17.36	0.55	18.83	18.76
2004	57.1	15.16	16.47	16.46	0.6	17.53	18.76
2003	16.99	15.46	16.63	16.73	0.58	18.07	18.76
2001	80	16.19	17.96	18.02	0.43	18.53	18.76
2000	18.03	15.81	18.34	18.7	1.04	19.67	18.76
1999	0	17.87	19.48	19.58	0.41	20.02	18.76
1998	0	19.11	20.04	20.12	0.45	20.63	18.76
1997	0	18.71	19.79	19.92	0.47	20.37	18.76
1996	0	18.9	19.96	20.03	0.56	20.77	18.76
1995	0	18.29	18.78	18.95	0.34	19.22	18.76
1994	0	18.4	18.97	18.93	0.32	19.53	18.76
1993	31.51	18.2	20	20.1	0.59	20.78	18.76

Moyennes mensuelles

Année	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
2010	17.14	17.42	18.29	19.3	19.72	19.95						
2009	19.23	19.03	19.37	19.62	19.76	19.89	19.98	19.73	19.45	18.71	18.17	17.54
2008	17.12	17.76	19.09	19.92	20.08	20.23	20.1	20.01	19.57	19.54	18.16	18.97
2007	17.43	17.47	18.1	19.18	19.21	18.31	18.1	18.41	17.95	17.61	16.72	16.31
2006	17.83	17.77	17.65	19.19	18.71	18.2	18.51	17.54	17.93	17.4	17.21	17.36
2005	17.15	17.18	17.58	18.42	17.99	17.55	17.23	16.97	16.93	16.62	17.25	17.8
2004	16.24	15.52							16.87	17.19	16.57	16.56
2003			15.61	15.93	16.57	17.37	17.2	17.1	16.81	16.61	16.85	16.19
2001	17.63	18.07	18.45									
2000	18.7	18.78	19.18	19.55	19.66	19.64		18.7	18.03	17.24	16.88	16.79
1999	19.6	19.51	19.55	19.82	19.99	19.89	19.8	19.77	19.3	18.93	18.88	18.76
1998	19.31	19.17	19.8	20.46	20.59	20.52	20.41	20.28	20.17	20.03	19.89	19.74
1997	18.79	18.98	19.58	20.01	19.96	19.93	20.26	20.29	20.23	20.04	19.82	19.59
1996	19.35	20.12	20.63	20.69	20.56	20.44	20.23	20	19.76	19.49	19.26	19.03
1995	18.36	18.31	18.33	18.4	18.59	19.04	19.2	19.13	19.03	19.04	18.98	18.95
1994	18.97	18.89	18.93	19.35	19.51	19.41	19.19	18.96	18.79	18.67	18.58	18.46
1993	18.2		18.66	20.41	20.65	20.73	20.49	20.19	19.91	19.61	19.36	19.12
Minimum	16.24	15.52	15.61	15.93	16.57	17.37	17.2	16.97	16.81	16.61	16.57	16.19
Maximum	19.6	20.12	20.63	20.69	20.65	20.73	20.49	20.29	20.23	20.04	19.89	19.74
Médiane	18.28	18.31	18.8	19.55	19.72	19.89	19.8	19.43	19.03	18.71	18.17	18.46

Annexe 8

Détail du calcul de correction des charges hydrauliques dans un modèle à densité variable

Densité variable sous Feflow

- Prise en compte du « density ratio » : α

$$\alpha = \frac{\rho_s - \rho_0}{\rho_0} \times 10000 \qquad \rho_s = \rho 0 + 0{,}7.C_{max} / 1000$$

ρ_s : densité max du modèle (eau salée)
ρ_0 : densité min du modèle (eau douce)
C_{max} : Concentration max

La présence de l'eau salée nécessite une correction des charges hydrauliques au droit de l'introduction du sel

$$H_{corrigé} = -[H_{théo} - H_{océ}] . [\alpha / 10000]$$

Application :

ρ_0 : 992 g/cm^3
C_{max} : 36000 mg/l

→ ρ_s : 1017,2 g/cm^3
α = 254,3

→ $H_{corrigé} = -H_{théo} \times 0{,}02543$

Hthéo	Hcorrigé
0 m	0 m
-1 m	0,0254 m
-5 m	0,127 m
-7 m	0,1778 m
-10 m	0,2540 m
-15 m	0,3810 m