

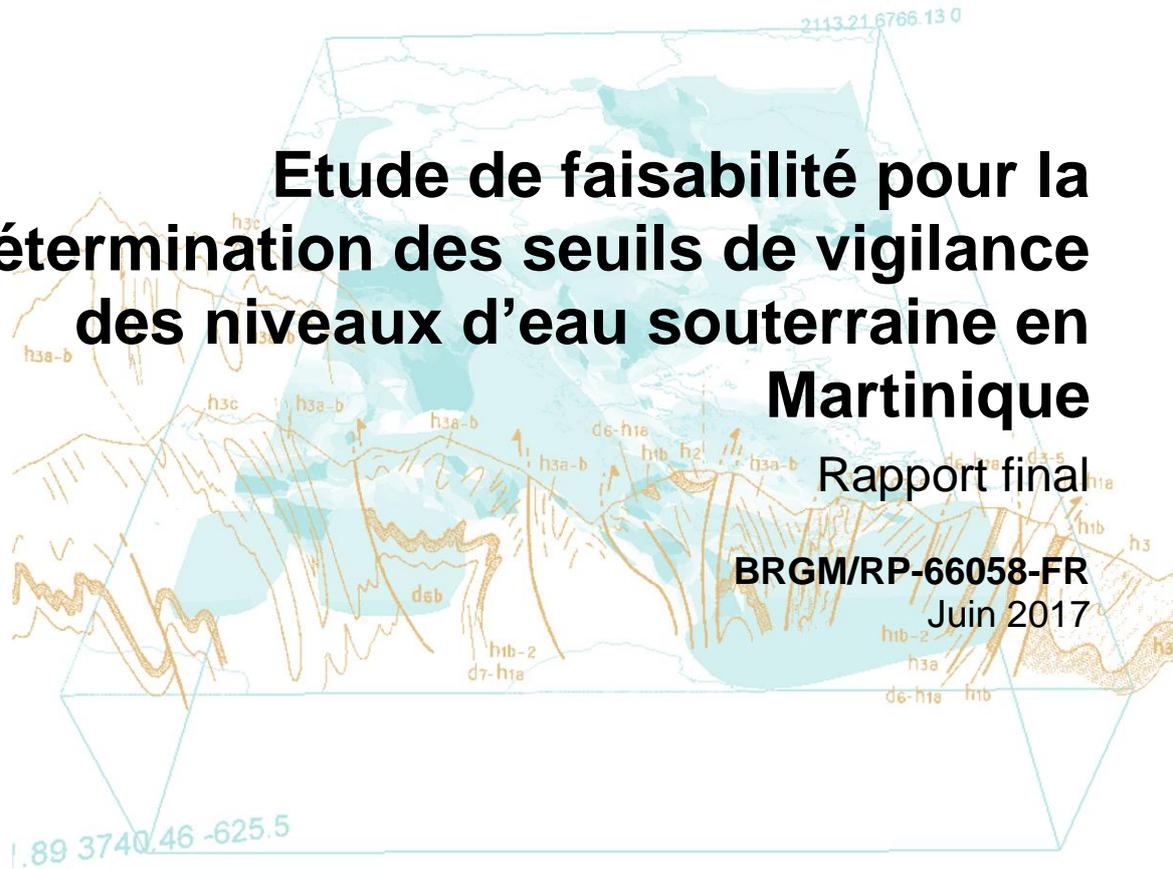


Etude de faisabilité pour la détermination des seuils de vigilance des niveaux d'eau souterraine en Martinique

Rapport final

BRGM/RP-66058-FR

Juin 2017



Etude de faisabilité pour la détermination des seuils de vigilance des niveaux d'eau souterraine en Martinique

Rapport final

BRGM/RP-66058-FR
Juin 2017

P. Stollsteiner, A.-L. Taïlamé

Vérificateur :

Nom : L. Arnaud
Fonction : Hydrogéologue
Date : 12/05/2017

Signature :



Approbateur :

Nom : B. Vittecoq
Fonction : Directeur régional
Date : 22/06/2017

Signature :



Le système de management de la qualité et de l'environnement
est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.



AGENCE FRANÇAISE
POUR LA BIODIVERSITÉ
ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT



Mots-clés : Indicateur piézométrique, gestion quantitative, modélisation, Gardénia, eau souterraine, aquifères volcaniques, débit simulé, prévisions, Martinique.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

P. Stollsteiner et A.-L. Taïlamé (2017) – Détermination des seuils de vigilance des niveaux d'eau souterraine en Martinique. Rapport final BRGM/RP-66058-FR, 116 p., 41 fig., 19 tabl., 7 ann.

Synthèse

En application de la circulaire du 30 juin 2008 relative à la résorption des déficits quantitatifs en matière de prélèvement d'eau et gestion collective des prélèvements d'irrigation, la DEAL et l'Office de l'eau de la Martinique ont confié au BRGM une étude visant à définir des indicateurs piézométriques d'étiage afin d'établir des niveaux d'alerte et des seuils de crise et améliorer ainsi la gestion de la ressource.

Les précédentes études de définition d'indicateurs piézométriques ont été réalisées en milieu sédimentaire avec des chroniques piézométriques longues, supérieures à 20 ans ou en milieu de socle à partir de chroniques piézométriques de durée inférieure à 10 ans. La réalisation de ce type d'étude en milieu volcanique est une première et constitue donc ainsi un développement méthodologique.

Malgré la complexité et l'hétérogénéité des milieux volcaniques et des séries piézométriques et hydrométriques synchrones sur une durée maximale de 11 ans, des relations directes entre les débits aux droits des stations hydrométriques et les niveaux d'eau observés pour différents piézomètres ont pu être mises en évidence

Cette étude s'est appuyée sur des modélisations globales Pluie / Niveau piézométrique / Débit réalisées à l'aide du logiciel GARDENIA® du BRGM. Les coefficients d'ajustement des valeurs observées / valeurs simulées obtenues sont globalement acceptables pour les débits et satisfaisants pour les niveaux piézométriques. Il a ainsi été possible :

- de vérifier la cohérence (aux volumes prélevés près) entre les données climatologiques d'entrée (pluie et ETP) et les débits mesurés aux stations ;
- d'examiner la corrélation de chaque niveau piézométrique avec le débit de la rivière associée à l'étiage, et d'en déduire pour les valeurs simulées une relation niveau piézométrique – débit minimal à la station ;
- d'analyser la représentativité de chaque piézomètre pour le retenir en tant qu'indicateur piézométrique ;
- de simuler les variations piézométriques probables sur l'ensemble de la période d'observation des pluies (1991-2015) afin de disposer d'une série permettant un traitement statistique et ainsi fournir, pour un niveau piézométrique minimum donné et une fréquence donnée (2, 5, 10 et 20 ans), une évaluation de débit minimum probable aux pas de temps mensuel et journalier.

Par suite de la méconnaissance des volumes prélevés, les calages et modélisations ont été réalisés sans tenir compte des prélèvements. Les débits simulés résultants ne sont donc pas représentatifs des débits naturels reconstitués mais des débits mesurés aux stations hydrométriques. Néanmoins, ces différentes simulations fournissent des relations acceptables entre les débits d'étiage de certains cours d'eau et les niveaux observés à certains piézomètres qui peuvent ainsi être considérés comme des indicateurs représentatifs des débits d'étiage au droit de leurs stations.

PIEZOMETRES			COURS D'EAU	HYDROMETRES
Indice BSS	Commune	Lieu-dit		
1168ZZ0037	Morne Rouge	Desgrottes	Capot	Pont Mackintosh
1174ZZ0088	Gros Morne	La Borelli	Galion	Prise AEP Bras Gommier
				Pont de Bassignac
				Grand Galion
			Lorrain	Prise AEP SCNA
			<i>Lézarde amont</i>	<i>Palourde</i>
		<i>Petite Lézarde</i>	<i>Saint Maurice</i>	
1179ZZ0039	Lamentin	Habitation Ressource	Lézarde amont	Palourde
			Petite Lézarde	Saint Maurice
			Lézarde aval	Pont RN1
			Petite Rivière	Brasserie Lorraine
			Rivière Blanche	Pont RD15b
			<i>Simon</i>	<i>Pont RD31 Simon</i>
1183ZZ0052	Rivière Pilote	Fougainville	Petite Rivière Pilote	Pont Madeleine
			Oman	Dormante

Relation acceptable

Liste des piézomètres « indicateurs » et les cours d'eau associés

Il sera désormais possible de réaliser une prévision des niveaux piézométriques et/ou des débits intégrant statistiquement les débits potentiels d'apports par ruissellement pour les semaines voire l'année à venir.

La poursuite d'acquisition de données des différents réseaux de surveillance du bassin Martinique permettra de préciser progressivement le fonctionnement des aquifères volcaniques et permettra ainsi d'affiner les calculs statistiques et notamment les périodes de retour qui doivent être calculées sur une période d'au moins 15 ans.

Sommaire

1. Introduction	11
1.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE	11
1.2. DÉFINITIONS	12
a) Débit objectif d'étiage et débit de crise	12
b) Autres définitions	12
c) Piézométrie objectif d'étiage et piézométrie de crise	12
d) Définition proposée pour un indicateur piézométrique.....	13
e) Remarques	14
2. Méthodologie	15
2.1. DÉROULEMENT DE L'ÉTUDE	15
2.2. ÉVALUATION STATISTIQUE : ANALYSE FRÉQUENTIELLE	15
2.3. MODÉLISATION HYDROLOGIQUE GLOBALE.....	17
a) Objectifs de la modélisation	17
b) Description du logiciel de modélisation : Gardénia	17
2.4. DONNÉES D'ENTRÉE DU MODÈLE	20
2.5. CALAGE DES MODÈLES.....	21
a) Paramètres	21
b) Calage des modèles	22
c) Validation des calages	22
d) Facteurs correctifs « Précipitations et ETP ».....	23
3. Contexte et réseaux de surveillance martiniquais	25
3.1. MASSES D'EAU SOUTERRAINE	25
3.2. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE RÉGIONAL (EXTRAITS RP-55099-FR) ..	26
3.3. LES RÉSEAUX DE SURVEILLANCE	27
a) Le réseau piézométrique.....	27
b) Le réseau pluviométrique (Météo France).....	28
c) Les réseaux hydrométriques.....	29
3.4. CONNAISSANCE SUR LES PRÉLÈVEMENTS.....	31
4. Masse d'eau Nord - FRJ201	33
4.1. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE ET DONNÉES DISPONIBLES	33
4.2. MODÉLISATIONS HYDROLOGIQUES GLOBALES.....	35

4.3. VALEURS SEUILS	39
4.4. ÉVALUATION STATISTIQUE : VALEURS FRÉQUENTIELLES	39
5. Masse d'eau Nord Atlantique - FRJ202.....	41
5.1. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE ET DONNÉES DISPONIBLES	41
5.2. MODÉLISATIONS HYDROLOGIQUES GLOBALES.....	43
5.3. VALEURS SEUILS	45
5.4. ÉVALUATION STATISTIQUE : VALEURS FRÉQUENTIELLES	46
6. Masse d'eau Nord Caraïbe - FRJ203	47
6.1. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE ET DONNÉES DISPONIBLES	47
6.2. MODÉLISATIONS HYDROLOGIQUES GLOBALES.....	50
7. Masse d'eau Centre - FRJ204	51
7.1. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE ET DONNÉES DISPONIBLES	51
7.2. MODÉLISATIONS HYDROLOGIQUES GLOBALES.....	53
7.3. VALEURS SEUILS	56
7.4. ÉVALUATION STATISTIQUE : VALEURS FRÉQUENTIELLES	56
a) Au piézomètre Lamentin – Habitation Ressource	56
b) Au piézomètre Gros Morne - La Borelli	57
8. Masse d'eau Sud Atlantique - FRJ205	59
8.1. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE ET DONNÉES DISPONIBLES	59
8.2. MODÉLISATIONS HYDROLOGIQUES GLOBALES.....	61
a) Rivière Simon	61
b) Rivière Desroses	63
c) Modélisation Pluie / Niveau Piézométrique au Lamentin.....	63
8.3. ÉVALUATION STATISTIQUE : VALEURS FRÉQUENTIELLES	64
9. Masse d'eau Sud Caraïbe - FRJ206.....	65
9.1. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE ET DONNÉES DISPONIBLES	65
9.2. MODÉLISATIONS HYDROLOGIQUES GLOBALES.....	67
a) Rivière Oman.....	67
b) Petite rivière Pilote	67
9.3. ÉVALUATION STATISTIQUE : VALEURS FRÉQUENTIELLES	69

9.4. MODÉLISATION PLUIE / NIVEAU PIÉZOMÉTRIQUE AUX TROIS ILETS.....	70
9.5. ÉVALUATION STATISTIQUE : VALEURS FRÉQUENTIELLES	71
10. Modélisation en prévision (GARDENIA)	73
11. Conclusion.....	75
12. Bibliographie	77

Liste des figures

Figure 1 : Exemple d'étude fréquentielle d'une chronique piézométrique	16
Figure 2 : Représentation schématique des éléments du bilan hydrologique d'un bassin versant	18
Figure 3 : Schéma de fonctionnement du modèle hydrologique global GARDENIA pour la simulation du débit d'un cours d'eau ou d'un niveau piézométrique.	20
Figure 4 : Schéma de la modélisation à deux réservoirs souterrains avec le logiciel GARDENIA©	22
Figure 5 : Cartographie des masses d'eau souterraine et carte géologique simplifiée de Martinique	26
Figure 6 : Localisation des rivières et réseaux piézométriques, pluviométriques et hydrométriques	30
Figure 7 : Influence des prélèvements sur le calage de la modélisation de la Rivière Blanche à la RD15b	31
Figure 8 : Masse d'eau souterraine Nord – FRJ201 et stations de mesure.....	33
Figure 9 : Niveaux piézométriques observés au droit de la masse d'eau Nord	34
Figure 10 : Comparaison des amplitudes et variations de niveau au droit des piézomètres : Desgrottes et Rivière Falaise.....	35
Figure 11 : Comparaison des niveaux observés vs niveaux simulés (2005-2016) au piézomètre Morne Rouge - Desgrottes	36
Figure 12 : Corrélations entre niveaux observés et simulés au piézomètre Morne Rouge - Desgrottes (2005-2016)	36
Figure 13 : Calage Pluie / Niveau Piézométrique à Desgrottes (m) / Débit à la station Pont de Mackintosh (m ³ /s)	37
Figure 14 : Corrélations Débit / Piézométrie simulés à Pont Mackintosh et Desgrottes (1991-2015)	38
Figure 15 : Masse d'eau souterraine Nord Atlantique – FRJ202 et stations de mesure.....	41
Figure 16 : Niveaux piézométriques observés au droit de la masse d'eau Nord Atlantique	42
Figure 17 : Comparaison des variations piézométriques réduites observées au droit de la masse d'eau Nord Atlantique (en m).....	43
Figure 18 : Calage Pluie / Niveau piézométrique à La Borelli (m) / Débit à Pont de Bassignac (m ³ /s)	44
Figure 19 : Corrélations Débit / Piézométrie simulés à Pont de Bassignac et La Borelli (1991 – 2015)	45
Figure 20 : Masse d'eau Nord Caraïbe – FRJ203 et stations de mesure	47
Figure 21 : Niveaux piézométriques observés au droit de la masse d'eau Nord Caraïbe	49
Figure 22 : Comparaison des amplitudes et variations de niveau au droit des piézomètres de la masse d'eau Nord Caraïbe (profondeur en m).....	50
Figure 23 : Masse d'eau souterraine Centre – FRJ204 et stations de mesure.....	51
Figure 24 : Niveaux piézométriques observés au droit de la masse d'eau Centre	52
Figure 25 : Superposition des chroniques piézométriques des forages du Lamentin : Habitation Ressource et Sarrault (profondeur en m)	53
Figure 26 : Calage Pluie / Niveau Piézométrique à Habitation Ressource (m) / Débit à Pont RN1 (l/s)	54

Figure 27 : Corrélation Débit / Piézométrie simulés à Pont RN1 et Habitation Ressource (1991 – 2015)	55
Figure 28 : Masse d'eau souterraine Sud Atlantique – FRJ205 et stations de mesure	59
Figure 29 : Niveaux piézométriques observés au droit de la masse d'eau Sud Atlantique	60
Figure 30 : Superposition des chroniques piézométriques des forages du François – Grand Fond, Robert – Pontalery et Lamentin – Habitation Ressource (profondeur en m)	61
Figure 31 : Calage Pluie / Niveau Piézométrique à Grand Fond (m) / Débit à RD31 Simon (l/s)62	
Figure 32 : Comparaison des débits observés - débits simulés à la station RD31 Simon (en l/s)62	
Figure 33 : Calage Pluie / Niveau piézométrique à Habitation Ressource (m)	63
Figure 34 : Corrélation Débit / Piézométrie simulés à Habitation Ressource et RD31 Simon (1991 – 2015)	64
Figure 35 : Masse d'eau souterraine Sud Atlantique – FRJ206 et stations de mesure	65
Figure 36 : Niveaux piézométriques observés au droit de la masse d'eau Sud Caraïbe	66
Figure 37 : Comparaison des amplitudes et variations de niveau au droit des piézomètres de la masse d'eau Sud Caraïbe	67
Figure 38 : Calage Pluie / Niveau piézométrique à Fougainville (m) / Débit à Pont Madeleine (l/s)	68
Figure 39 : Corrélation Débit / Piézométrie simulés à Fougainville et Pont Madeleine (1991 – 2015)	69
Figure 40 : Calage Pluie / Niveau piézométrie à Vatable (m)	70
Figure 41 : Exemples de prévisions au 01/04/2014 de niveau au Lamentin - Habitation Ressource ou de débit de la rivière Blanche à la station RD15b.....	74

Liste des tableaux

Tableau 1 : Descriptif des masses d'eau souterraines de Martinique	25
Tableau 2 : Liste des piézomètres étudiés.....	28
Tableau 3 : Stations pluviométriques de Météo France exploitées.....	28
Tableau 4 : Stations hydrométriques exploitées de la DEAL et du Conseil Général	29
Tableau 5 : Valeurs seuils piézométriques issues des débits caractéristiques de la Capot à Pont Mackintosh.....	39
Tableau 6 : Valeurs fréquentielles journalières et mensuelles des niveaux piézométriques moyens minimaux et débits minimaux correspondants à Pont Mackintosh et Morne Rouge - Desgrottes.....	39
Tableau 7 : Valeurs seuils piézométriques issues des débits caractéristiques définis aux différentes stations des bassins versants du Lorrain et du Galion	45
Tableau 8 : Valeurs fréquentielles journalières des niveaux piézométriques moyens minimaux de La Borelli et débits minimaux correspondants pour les différentes modélisations .	46
Tableau 9 : Valeurs fréquentielles mensuelles des niveaux piézométriques moyens minimaux de La Borelli et débits minimaux correspondants pour les différentes modélisations .	46
Tableau 10 : Coefficients d'ajustement de Nash pour les différentes modélisations réalisées aux piézomètres Habitation Ressource et La Borelli (2008 – 2015)	56

Tableau 11 : Valeurs seuils piézométriques issues des débits caractéristiques définis aux différentes stations de la masse d'eau Centre	56
Tableau 12 : Valeurs fréquentielles journalières des niveaux piézométriques moyens minimaux de Habitation Ressource et débits minimaux correspondants pour les différentes modélisations	57
Tableau 13 : Valeurs fréquentielles mensuelles des niveaux piézométriques moyens minimaux de Habitation Ressource et débits minimaux correspondants pour les différentes modélisations	57
Tableau 14 : Valeurs fréquentielles journalières des niveaux piézométriques minimaux obtenus par ajustement statistiques des niveaux simulés.....	58
Tableau 15 : Valeurs fréquentielles mensuelles des débits minimaux obtenues à partir des valeurs piézométriques fréquentielles et de la relation Débit / Piézométrie.....	58
Tableau 16 : Valeurs fréquentielles journalières et mensuelles des niveaux piézométriques moyens minimaux de Habitation Ressource et débits minimaux correspondants à Habitation Ressource et RD31 Simon (1991 – 2015).....	64
Tableau 17 : Valeurs fréquentielles journalières et mensuelles des niveaux piézométriques moyens minimaux et débits minimaux correspondants à Fougainville et Pont Madeleine (1991 – 2015).....	70
Tableau 18 : Valeurs fréquentielles journalières et mensuelles des niveaux piézométriques moyens minimaux à Vatable obtenus (1991 – 2015)	71
Tableau 19 : Liste des piézomètres « indicateurs » et leurs cours d'eau associés	76

Liste des annexes

Annexe 1 Coefficients de Nash obtenus pour les différentes modélisations	79
Annexe 2 Influence du séisme du 29 novembre 2007 sur les fluctuations piézométriques	83
Annexe 3 Influence de la pluviométrie et du ruissellement sur la corrélation Débit / Piézométrie87	
Annexe 4 Calages de la masse d'eau souterraine Nord Atlantique (FRJ202).....	91
Annexe 5 Calages de la masse d'eau souterraine Centre (FRJ204).....	95
Annexe 6 Calage de la masse d'eau souterraine Sud Atlantique (FRJ205).....	105
Annexe 7 Calages de la masse d'eau souterraine Sud Caraïbe (FRJ206)	111

1. Introduction

1.1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

La loi sur l'eau du 3 janvier 1992 considère que l'eau fait partie du patrimoine commun de la nation. Sa protection, sa mise en valeur et le développement de la ressource utilisable, dans le respect des équilibres naturels, sont d'intérêt général.

Le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux de Martinique (SDAGE) a introduit la notion de débit minimum biologique (DMB), débit nécessaire à la survie de la faune et la notion de débit réservé, qui correspond à 20% du débit moyen du cours d'eau.

L'Alimentation en Eau Potable (AEP) à la Martinique concerne majoritairement les eaux de surface avec 94 % des prélèvements en rivière, contre 6% d'eau souterraine. L'interdépendance des eaux souterraines et superficielles est néanmoins encore peu étudiée en Martinique, mais reste une évidence dans de nombreux contextes.

Les besoins en eau augmentant pour l'approvisionnement en eau potable (AEP) ou l'irrigation, le respect des débits minimum à l'étiage n'est pas assuré en Martinique. De plus, des épisodes de déficit pluviométrique se font ressentir depuis plusieurs années ; l'étude d'impact du changement climatique sur les ressources en eau de Martinique (Météo France, 2012) confirme également que la variabilité climatique au cours de l'année aurait tendance à s'accroître. Des tensions quantitatives croissantes sont attendues pendant le carême. Inversement, un hivernage appuyé engendrerait une recharge des aquifères plus intense pendant la saison des pluies (BRGM/RP-62676-FR, 2014).

Pour prendre en compte ces changements et garantir au mieux la continuité des approvisionnements en eau des différents secteurs d'activité et le maintien des écosystèmes, la gestion de la ressource en eau doit se faire de manière globale et les relations entre eaux souterraines et eaux de surface doivent être intégrées. De plus, la gestion des ressources en eau souterraine doit pouvoir s'appuyer sur des indicateurs piézométriques et des seuils de vigilance associés.

Le réseau piézométrique de Martinique composé de 29 stations, mis en place par le BRGM, la DIREN et l'ONEMA depuis 2004 pour les plus anciens points, offre un éventail de données quantitatives rassemblé sur la banque nationale ADES (<http://www.ades.eaufrance.fr/>). En se fondant sur ces données, le BRGM, l'Office de l'Eau (ODE) et la DEAL se sont associés afin de déterminer des seuils de vigilance des niveaux d'eaux souterraines dont la finalité est d'intégrer les différents dispositifs de gestion et de suivi de la ressource (MISEN, Cellule de Veille Hydrologique...).

L'objectif de l'étude est de produire des indicateurs piézométriques pour améliorer la gestion de la ressource et d'établir des niveaux d'alerte et des seuils de crise.

L'élaboration d'indicateurs piézométriques permet également de mieux connaître les interactions entre les hydrosystèmes (eau de surface – eau souterraine).

1.2. DÉFINITIONS

La recherche d'indicateurs piézométriques s'appuie sur la méthodologie nationale développée par le BRGM à la demande de l'ONEMA (rapport BRGM/RP-58139-FR, 2009) et (rapport BRGM/RP-61374-FR, 2011) et dont sont extraits les paragraphes suivants.

a) Débit objectif d'étiage et débit de crise

Pour les cours d'eau, deux indicateurs de gestion ont été définis : il s'agit du DOE (débit objectif d'étiage) et du DCR (débit de crise). Dans le cas de nappes d'eau souterraine assurant le soutien d'étiage des cours d'eau, leur prise en compte est nécessaire en tant que contrainte utilisée pour définir des niveaux piézométriques permettant de respecter ces débits d'objectif.

Le glossaire mis en place sur le site Eaufrance (www.eaufrance.fr) donne les définitions suivantes :

DOE : « valeur de débit d'étiage en un point (au point nodal) au-dessus de laquelle il est considéré que l'ensemble des usages (activités, prélèvements, rejets,...) en aval est en équilibre avec le bon fonctionnement du milieu aquatique. C'est un objectif structurel, arrêté dans les SDAGE, SAGE et documents équivalents, qui prend en compte le développement des usages à un certain horizon (10 ans pour le SDAGE) ».

DCR : « valeur de débit d'étiage au-dessous de laquelle l'alimentation en eau potable pour les besoins indispensables à la vie humaine et animale, ainsi que la survie des espèces présentes dans le milieu sont mises en péril. À ce niveau d'étiage, toutes les mesures possibles de restriction des consommations et des rejets doivent avoir été mises en œuvre (plan de crise) ».

Les valeurs de DOE et DCR citées dans ce rapport sont issues du rapport DEAL : Suivi hydrologique en période de carême - suivi au 19/05/2016 - Département de la Martinique.

b) Autres définitions

DMB : « Le débit minimum biologique ne doit pas être inférieur au dixième du « module » du cours d'eau en aval immédiat ou au droit de l'ouvrage correspondant au débit moyen interannuel, évalué à partir des informations disponibles portant sur une période minimale de cinq années, ou au débit à l'amont immédiat de l'ouvrage, si celui-ci est inférieur ».

DSA : « Le débit d'étiage seuil d'alerte est la valeur seuil de débit d'étiage (inférieure ou égale au Débit d'Objectif d'Etiage - DOE) qui déclenche les premières mesures de restriction pour certaines activités. Ces mesures sont prises à l'initiative de l'autorité préfectorale, en liaison avec une cellule de crise et conformément à un plan de crise. En dessous de ce seuil, l'une des fonctions (ou activités) est compromise. Pour rétablir partiellement cette fonction, il faut donc en limiter temporairement une autre : prélèvement ou rejet (premières mesures de restrictions). En cas d'aggravation de la situation, des mesures de restrictions supplémentaires sont progressivement mises en œuvre pour éviter de descendre en dessous du DCR ».

c) Piézométrie objectif d'étiage et piézométrie de crise

Calqués sur les deux indicateurs définis pour les cours d'eau (DOE et DCR), les concepts de POE (piézométrie objectif d'étiage) et PCR (piézométrie de crise) ont été introduits dans le

SDAGE Adour Garonne de 1996. Ce SDAGE recommande que soient définis, pour les principaux systèmes aquifères, des points d'observation de la piézométrie des nappes et des cotes associées à ces points, POE et PCR, ainsi définis :

POE : « cote du niveau de la nappe, fixée par le SDAGE ou un SAGE, au-dessus de laquelle sont assurés la coexistence normale des usages et le bon fonctionnement quantitatif et qualitatif de la ressource souterraine et des cours d'eau qu'elle alimente, qui doit en conséquence être maintenue par une gestion à long terme des autorisations et des programmes relatifs aux prélèvements et aux autres usages ».

PCR : « la cote du niveau de la nappe, fixée par le SDAGE ou un SAGE, au-dessous de laquelle sont mises en péril la pérennité notamment qualitative de la ressource souterraine, l'alimentation en eau potable qui y puise, la survie des milieux qu'elle alimente qui doit en conséquence être impérativement maintenue par toutes mesures préalables, notamment de restriction des usages, décidées par les préfets en application le cas échéant d'un plan de crise ».

Ces deux notions de POE et PCR ne sont que de simples transpositions à l'hydrogéologie des concepts hydrologiques de DOE (débit objectif d'étiage) et DCR (débit de crise) et doivent donc être adaptées aux différents contextes hydrogéologiques.

d) Définition proposée pour un indicateur piézométrique

Dans un souci d'unification de la terminologie, on utilise dans cette étude le concept d'indicateur piézométrique avec la définition suivante:

Indicateur piézométrique : variable de contrôle de l'état d'une ressource en eau souterraine soumise à des règles de gestion et associée à un piézomètre (ou plusieurs) de suivi de l'évolution de cette ressource. L'indicateur est caractérisé par une gamme de valeurs particulières (que l'on peut appeler **seuils de gestion**), qui correspondent à :

- un objectif de gestion : par exemple une piézométrie objectif d'étiage (**POE**) ;
- un (ou plusieurs) niveau(x) d'alerte (**PSA**), destiné(s) à anticiper une situation de crise ;
- un seuil de crise (**PSC**).

Cette variable a une dimension :

- temporelle : la "valeur seuil" considérée correspond à un certain intervalle de temps dans l'année ;
- spatiale : elle est associée à un piézomètre choisi comme représentatif du contexte, ou bien elle est associée à plusieurs piézomètres et correspond alors à une combinaison linéaire des valeurs enregistrées sur ces piézomètres (moyenne simple ou moyenne pondérée).

Suivant les contextes hydrogéologiques et les contraintes à respecter, cette variable sera :

- soit de nature probabiliste, conformément à la définition, donnée par la circulaire du 30 Juin 2008, d'une gestion quantitative équilibrée de la ressource, se traduisant opérationnellement par le respect des débits ou niveaux piézométriques d'objectifs statistiquement huit années sur dix en moyenne ;

- soit de nature déterministe : seuils à respecter impérativement.

Le piézomètre à rechercher pour construire l'indicateur doit être représentatif du fonctionnement hydrodynamique de la nappe dans le secteur aquifère qu'il a pour mission de contrôler : il ne doit pas être directement influencé (proximité d'un pompage) mais doit néanmoins être sensible aux impacts des prélèvements et des recharges. Si nécessaire, l'indicateur peut être construit à partir de plusieurs piézomètres.

e) Remarques

- i. Dans le cas d'une nappe en relation avec un cours d'eau dont elle assure le soutien d'étiage, l'objectif de gestion n'est pas tant piézométrique que débitmétrique : il faut en effet définir une cote piézométrique (POE) qui permette de garantir le DOE du cours d'eau, qui constitue donc la contrainte. Par expérience, si l'on se fixe une valeur de DOE de période de retour quinquennale, la valeur de POE déterminée sous cette contrainte aura, la plupart du temps une période de retour plus faible : par exemple non dépassée 2 années sur 5. C'est donc généralement une contrainte plus forte qui s'imposera dans la gestion de la nappe si la gestion du cours d'eau est jugée prioritaire.
- ii. Si la dénomination « POE » est bien adaptée aux nappes connectées hydrauliquement à un cours d'eau, elle ne l'est pas pour d'autres contextes, par exemple :
 - pour des nappes captives, où il s'agit de maintenir des seuils piézométriques particuliers (cas du seuil piézométrique à respecter dans la nappe de l'Eocène en Gironde, au voisinage de l'Estuaire, pour exclure la possibilité de venues d'eau saumâtres vers la zone de pompages de la région bordelaise) ou bien, plus généralement, respecter un état piézométrique garantissant une exploitation équilibrée de la nappe ;
 - pour des nappes littorales, où il s'agit de maintenir un niveau piézométrique permettant de contrer l'intrusion d'eau salée.

Pour de tels contextes, la valeur de l'indicateur pourrait être plutôt appelée « piézométrie objectif de gestion » (**POG**).

- iii. Le problème du calcul des volumes exploitables ne saurait être dissocié de la mise en place de seuils piézométriques.
- iv. La mise en place d'indicateurs piézométriques concerne en priorité les hydrosystèmes en déséquilibre, ou en tension quantitative, chronique ou épisodique, dont les nappes situées en ZRE (zones de répartition des eaux). Il serait en effet relativement arbitraire de définir des seuils piézométriques dans un hydrosystème où la ressource en eau souterraine et superficielle est abondante (ce qui n'exclut pas bien sûr un suivi de l'évolution de cette ressource).
- v. Limites de l'étude : les précédentes études de définition d'indicateurs piézométriques ont été réalisées en milieu sédimentaire avec des chroniques piézométriques longues supérieures à 20 ans ou en milieu de socle à partir de chroniques piézométriques de durée inférieure à 10 ans. **La réalisation de ce type d'étude en milieu volcanique est une première et constitue donc ainsi un test méthodologique.**

2. Méthodologie

2.1. DÉROULEMENT DE L'ÉTUDE

Pour plus de détails et/ou d'exemples, le lecteur pourra se reporter aux guides méthodologiques élaborés par le BRGM (rapports BRGM/RP-58139-FR de 2009 et BRGM/RP-61374-FR de 2011).

Les principales méthodes permettant de définir des *seuils de gestion* particuliers : piézométrie objectif d'étiage, piézométrie d'alerte, piézométrie de crise peuvent être regroupées dans deux catégories :

- Analyse des séries piézométriques (et de débits dans le cas d'un cours d'eau en liaison avec la nappe) sans modélisation hydrodynamique :
 - recherche de seuils « historiques » dans la série des niveaux ;
 - recherche de relations entre niveaux et débits (ou assecs observés) ;
 - étude fréquentielle à partir des mesures disponibles ;
 - ajustement de lois de probabilité avec intervalles de confiance.

Très généralement, c'est une combinaison de ces méthodes qui doit être utilisée.

Dans le cas d'une relation nappe-cours d'eau avec soutien d'étiage du cours d'eau par la nappe, il faudra de plus tenir compte d'un débit minimum du cours d'eau à respecter (Débit Objectif d'Etiage par exemple), contrainte imposée dans la recherche d'un seuil de gestion piézométrique approprié.

- Modélisation de l'hydrosystème (modèle spatialisé ou global), permettant de mieux comprendre le fonctionnement de l'hydrosystème et de réaliser des extensions de données et/ou des simulations prévisionnelles (prédétermination de niveaux). Suivant l'existence ou non d'objectifs à respecter (un seuil piézométrique, un débit de cours d'eau quand celui-ci est soutenu en période d'étiage par la nappe, ...), les simulations se feront avec ou sans "contraintes".

Dans la présente étude, les données piézométriques disponibles constituant des séries trop courtes pour permettre des analyses statistiques, le choix de la méthodologie s'est donc orienté vers des modélisations globales.

L'étude s'est déroulée en 4 phases :

1. étude du contexte hydrogéologique des piézomètres et de la dynamique des nappes ;
2. analyse préalable critique des données disponibles ;
3. modélisation globale Pluie / Niveau piézométrique / Débit des rivières ;
4. élaboration d'indicateurs piézométriques.

Ces 4 phases sont détaillées dans les chapitres 4 à 9 de ce rapport.

2.2. ÉVALUATION STATISTIQUE : ANALYSE FRÉQUENTIELLE

L'analyse fréquentielle consiste, dans une chronique de mesures, à extraire les niveaux piézométriques pour chacun des pas de temps retenus (le mois dans cet exemple) et les classer par ordre croissant, ce qui revient à construire une distribution cumulée des fréquences (Figure 1). Cela permet ainsi de situer un niveau par rapport à une fréquence

d'occurrence pour chaque mois considéré (une fréquence de dépassement ou de non dépassement). Lorsque la chronique est suffisamment longue, il est possible de calculer des seuils de périodes de retour différents. Un niveau piézométrique mensuel de période de retour « n ans sec » correspond à une fréquence de $1/n$ (la période étant l'inverse de la fréquence).

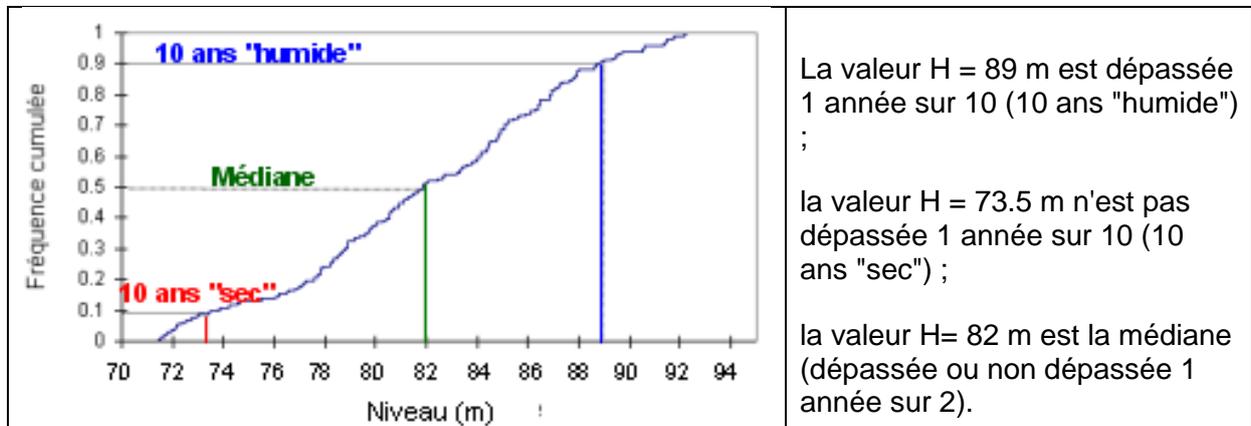


Figure 1 : Exemple d'étude fréquentielle d'une chronique piézométrique

Dans le cas des nappes à faible inertie (majorité des situations rencontrées en Martinique), des chroniques piézométriques d'une durée d'environ 10 ans peuvent commencer à être exploitées.

Une règle de gestion pourra éventuellement être proposée (seuils sécheresse), tout en considérant que la faible longueur des chroniques piézométriques permettra seulement de définir des seuils, **avec des périodes de retour inférieures à 5 ans, et qui seront amenés à être réévalués au fur et à mesure de l'allongement des chroniques pour des situations hydrologiques contrastées.**

On pourra également utiliser le modèle global calé sur la période d'observation pour faire des simulations avec des données de pluie sur une période plus longue (reconstitution de la chronique sur 20 à 40 ans ?). Dans ce cas, il sera alors possible de faire une analyse fréquentielle sur les niveaux simulés pour tenter d'estimer des seuils pour des périodes de retour supérieures à 5 ans.

Les relations nappe-rivière seront étudiées à partir de corrélogrammes croisés débits / niveaux, en particulier pour les débits d'étiage. Cette analyse ne pourra être menée que si des données débitométriques sont disponibles en quantité suffisante. Ces dernières sont issues du réseau hydrologique piloté par la DEAL et le Conseil Général.

La combinaison de ces différentes approches devrait finalement permettre de proposer la définition de valeurs seuils adaptées à la gestion des ressources en eau en Martinique.

Une recherche de « seuils historiques » sera conduite en association avec une analyse fréquentielle (détermination des fréquences de dépassement de tel ou tel niveau).

Préalablement à l'analyse fréquentielle, il sera procédé :

- à la constitution des séries piézométriques de référence. Si nécessaire, les séries journalières pourront être complétées (lacunes) par interpolation linéaire ou à partir des données simulées par Gardenia ;
- au calcul de l'autocorrélogramme de chaque chronique piézométrique de référence. Il permet de mettre en évidence dans une série de données temporelles le degré de corrélation existant entre valeurs successives de la série pour des intervalles de temps croissants (on parle d'autocorrélation). Le corrélogramme représente graphiquement la corrélation qui existe entre les valeurs de la série lorsqu'elles sont décalées de un pas de temps, puis deux pas de temps, puis trois... Par ailleurs, cette première approche permettra de commencer à appréhender l'inertie des nappes étudiées ;
- au choix du modèle fréquentiel. Plusieurs lois peuvent être testées : la loi normale, la loi log-normale, la loi de Gumbel, la loi de Pearson, etc... L'ajustement d'un modèle fréquentiel doit être accompagné d'un test d'adéquation.

2.3. MODÉLISATION HYDROLOGIQUE GLOBALE

a) Objectifs de la modélisation

Les données piézométriques disponibles constituant des séries trop courtes pour permettre des analyses statistiques, des modélisations globales ont été réalisées afin de :

- analyser la représentativité des piézomètres et les valider ainsi comme indicateur potentiel ;
- examiner la corrélation des niveaux piézométriques et des débits des rivières (en particulier à l'étiage) ;
- approcher les participations annuelles et mensuelles des eaux souterraines aux débits des rivières ;
- simuler des séries de niveaux piézométriques afin de pouvoir réaliser des évaluations statistiques.

Le logiciel GARDENIA^{©BRGM} a été utilisé car il permet de construire des modèles globaux qui mettent en relation un signal d'entrée (pluviométrie, évapotranspiration pour approcher les conditions de recharge des nappes) et un signal de sortie (débit de cours d'eau, niveau piézométrique). Le calage du modèle se fait à l'aide de constantes de temps et d'un coefficient de répartition de l'eau dans le sol entre ruissellement et infiltration. Les simulations permettent de déduire la variabilité des composantes du cycle de l'eau : ruissellement rapide, écoulements souterrains lents et débit à l'exutoire et ainsi mieux cerner les relations nappes/cours d'eau (donc eaux souterraines / eaux superficielles).

b) Description du logiciel de modélisation : Gardénia

La compréhension d'un hydro-système peut être facilitée par la mise en place d'un modèle représentant de manière schématique la réalité.

Le logiciel de modélisation GARDENIA[©] (modèle Global A Réservoirs pour la simulation des DEbits et des Niveaux Aquifères), développé par le BRGM, est utilisé dans le domaine de l'hydro(géo)logie (hydrologie et hydrogéologie) pour modéliser et éventuellement prévoir des

niveaux de nappes ou des débits à l'exutoire d'un bassin versant. Il permet de modéliser le fonctionnement d'un hydro-système, tel que schématisé sur la Figure 2.

Il permet de simuler le cycle de l'eau, depuis les précipitations sur le bassin versant jusqu'au débit à l'exutoire d'une rivière (ou d'une source) ou jusqu'au niveau ponctuel d'un aquifère (niveau piézométrique).

Ce modèle est global, car il considère des « données d'entrée » non spatialisées, pluie et évapotranspiration potentielle, et en sortie, débit à l'exutoire et/ou niveau piézométrique en un point de la nappe sous-jacente.

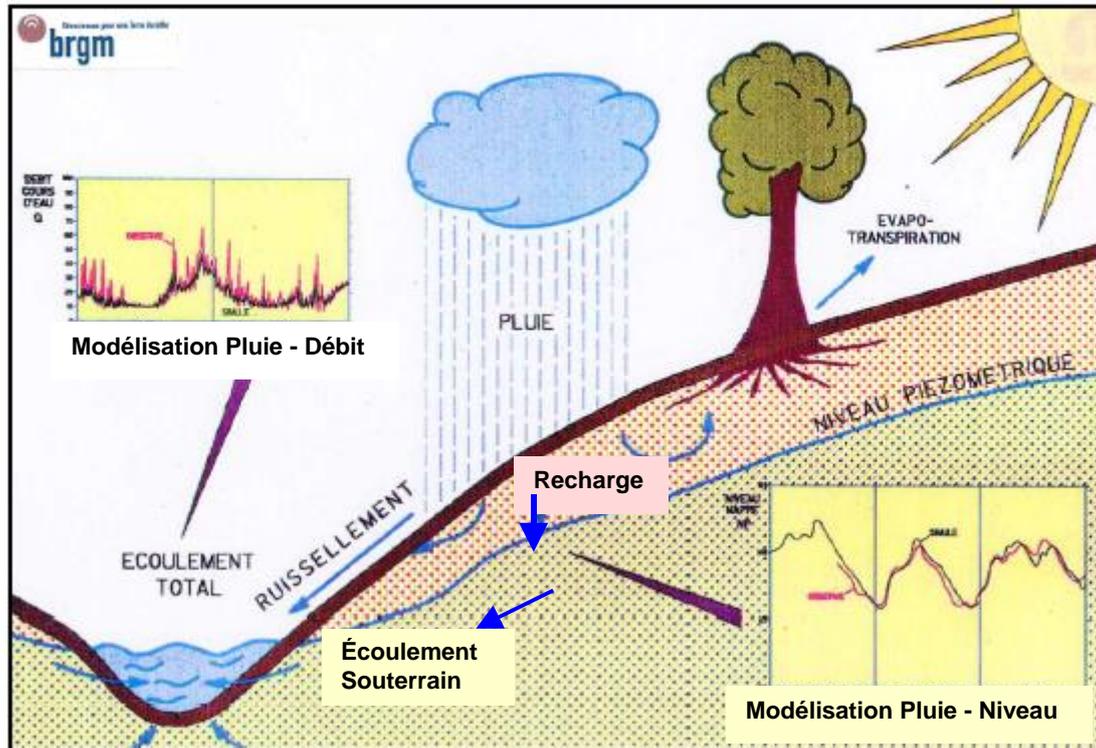


Figure 2 : Représentation schématique des éléments du bilan hydrologique d'un bassin versant

Le logiciel GARDENIA simule le cycle de l'eau en utilisant plusieurs réservoirs en cascade (Figure 3).

Les modélisations de la présente étude ont été réalisées avec un modèle à deux réservoirs souterrains pour simuler les deux régimes d'écoulement souterrain existant dans les roches : un écoulement dans les roches altérées et un écoulement plus profond dans le milieu fissuré. Les échanges entre les réservoirs sont définis par des fonctions de transfert faisant intervenir une dizaine de paramètres globaux (réserve utile, temps de tarissement, etc.) définis pour un bassin versant ou une entité homogène au sein d'un bassin versant.

Le calage du modèle consiste à ajuster au mieux les données d'entrée (pluie, ETP) et les données de sortie (débit et / ou niveau piézométrique) avec un jeu de paramètres aussi réaliste que possible, calé sur l'exploitation de l'ensemble des données disponibles. Ce calage s'effectue par une méthode semi-automatique. L'utilisateur fournit un jeu de paramètres initiaux, donne des bornes de variations plausibles pour chacun d'eux et indique ceux qui doivent être optimisés. L'optimisation concomitante des différents paramètres est effectuée selon un algorithme non-linéaire adapté de la méthode de Rosenbrock.

Le logiciel teste des valeurs de paramètres jusqu'à trouver un jeu fournissant la meilleure adéquation entre séries calculées et observées (coefficient d'ajustement R). Ce calage s'effectue sous le contrôle de l'utilisateur qui peut le contraindre, notamment par la fixation des valeurs de certains paramètres ou de bornes plausibles. Le coefficient d'ajustement R est égal à la racine de Nash.

Le coefficient de Nash (NTD) est défini par :

$$NTD = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (q_{ci} - q_{oi})^2}{\sum_{i=1}^n (q_{oi} - \bar{q}_o)^2}$$

où q_{ci} et q_{oi} sont les débits calculé (modélisé) et observé du jour i ;

\bar{q}_o est la moyenne de q_{oi} sur les n jours servant au calcul du coefficient.

Une fois calé, le modèle peut être utilisé pour :

- Calculer les différents termes du bilan hydrologique en permettant notamment, dans une certaine mesure, de différencier les deux composantes de l'écoulement :
 - celle rapide que l'on peut assimiler au ruissellement superficiel (et à la composante rapide des écoulements karstiques dans un milieu sédimentaire) ;
 - celle lente que l'on peut assimiler à la composante lente des écoulements souterrains, c'est-à-dire à la contribution des aquifères au débit des rivières.
- Simuler des débits et/ou des niveaux résultant d'épisodes climatiques exceptionnels. Ces simulations permettent le dimensionnement d'ouvrages tels que retenues pour l'irrigation, aménagements de sources, fondations de bâtiments, niveaux de sous-sol, dimensionnement d'ouvrages hydrauliques pour l'évacuation des crues ou pour la régulation des débits (barrages), etc. ;
- Faire une extension de débits ou de niveaux piézométriques sur une longue période pendant laquelle on ne possède pas de mesures, à partir, par exemple, de différents scénarii climatiques ;
- Émettre une prévision de débits et/ou de niveaux piézométriques. Il est possible de prolonger une série observée jusqu'à une certaine date à partir de scénarios de précipitations prévisionnels pour les semaines ou mois futurs (sècheresses, périodes de hautes eaux) ;
- Reconstituer des valeurs manquantes dans une chronique de débits (rivière ou source), et/ou de niveau piézométrique (nappe). Les séries ainsi complétées peuvent être utilisées dans d'autres calculs ou modélisations.

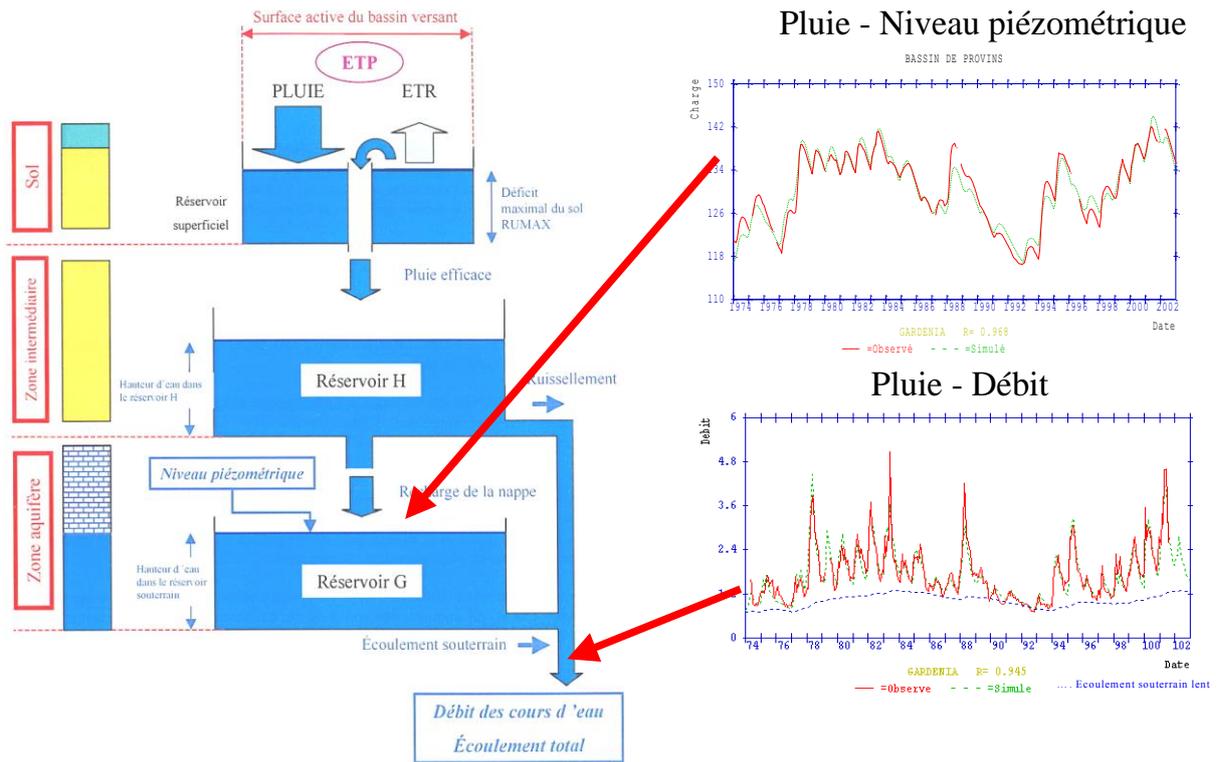


Figure 3 : Schéma de fonctionnement du modèle hydrologique global GARDENIA pour la simulation du débit d'un cours d'eau ou d'un niveau piézométrique.

Dans le cadre de cette étude, les modélisations ont été réalisées au pas de temps journalier à partir des données de précipitations et d'évapotranspirations potentielles simultanément sur les débits des cours d'eau et les niveaux piézométriques.

2.4. DONNÉES D'ENTRÉE DU MODÈLE

Un pas de temps journalier a été choisi pour la modélisation. Il permet de prendre en compte les réactions rapides des débits et du niveau piézométrique en réponse aux précipitations.

Les données d'entrée du modèle sont les suivantes :

- données climatiques : précipitations et EvapoTranspiration Potentielle (ETP) ;
- données hydrométriques : débits des rivières ;
- données piézométriques : niveaux des nappes ;
- prélèvements si disponibles.

A noter que seules les données climatiques précipitations et ETP doivent être complètes sur toute la période de modélisation.

Les différentes stations de mesures (hydrologiques, météorologiques, piézométriques) utilisées pour modéliser chaque bassin versant seront précisées pour chaque modélisation.

2.5. CALAGE DES MODÈLES

a) Paramètres

La modélisation des relations pluie/niveau/débit avec le logiciel GARDENIA© fait intervenir huit paramètres globaux (capacité de stockage du sol, temps de tarissement, ...) définis pour chaque bassin versant étudiés.

Dans le cadre de ce projet, deux réservoirs souterrains ont été retenus afin d'envisager l'existence potentielle de deux réservoirs de caractéristiques différentes (réservoirs G1 et G2). Les huit paramètres caractérisant les réservoirs de la modélisation sont les suivants (cf. Figure 4) :

- RUMAX (mm) : Réserve Facilement Utilisable maximale du sol (RFU moyenne à l'échelle du bassin versant) = hauteur du réservoir superficiel U ou réserve disponible pour l'ETP (si la hauteur dans le réservoir U est supérieure au seuil RUMAX, l'excédent s'écoule dans le réservoir intermédiaire H) ;
- RUIPER (mm) : hauteur dans le réservoir intermédiaire H pour laquelle il y a répartition égale entre écoulement rapide et percolation (hauteur d'équilibre ruissellement-percolation) ;
- THG (mois) : temps de demi-percolation du réservoir H (temps caractéristique de percolation de l'eau de la surface vers la nappe) = temps de demi-montée du réservoir souterrain G1 ;
- TG1 (mois) : temps de demi-tarissement du premier réservoir souterrain G1 ;
- TG1-2 (mois) : temps de demi-percolation du réservoir G1 (temps caractéristique de percolation de l'eau du réservoir G1 au réservoir G2), = temps de demi-montée du réservoir souterrain G2 ;
- TG2 (mois) : temps de demi-tarissement du deuxième réservoir souterrain G2,
- S : coefficient d'emmagasinement moyen de l'aquifère sur le bassin versant ;
- Niveau de base : niveau de l'aquifère quand il est totalement vide.

Le temps de demi-tarissement est le temps au bout duquel, en l'absence de recharge du réservoir souterrain, le débit souterrain du réservoir est divisé par deux.

Le temps de demi-percolation caractérise la vitesse de réponse entre une pluie efficace et un accroissement du débit souterrain.

Le paramètre RUMAX est estimé suite à la comparaison interannuelle (au pas de temps de l'année hydrologique, c'est à dire de septembre à août) entre les pluies efficaces et la lame d'eau écoulée. C'est un paramètre nécessaire au calcul des pluies efficaces (Réserve Facilement Utilisable du sol). Les temps de demi-tarissement des deux réservoirs souterrains (TG1 et TG2) sont calculés d'après les courbes exponentielles de décrues régulières (durant les périodes où il n'y a pas ou peu d'influence de la pluviométrie) des débits journaliers des cours d'eau.

On peut noter que les paramètres TG1 et TG2 sont représentatifs de l'inertie du milieu souterrain.

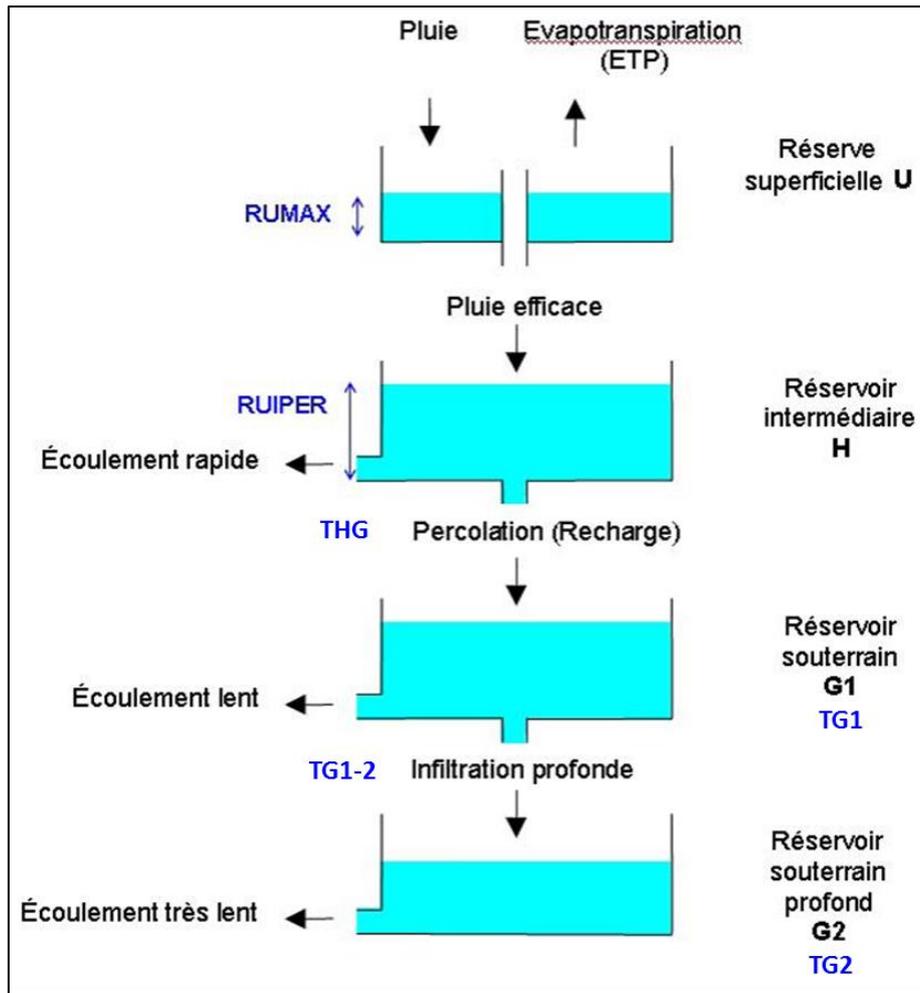


Figure 4 : Schéma de la modélisation à deux réservoirs souterrains avec le logiciel GARDENIA©

b) Calage des modèles

C'est la phase de calage, ajustement des données simulées sur les données observées, qui permet d'obtenir les fonctions de transfert entre la pluie, le niveau piézométrique et le débit. Le calage a consisté à ajuster les paramètres du modèle de telle sorte qu'ils permettent de calculer des débits de rivières et des niveaux de nappes aussi proches que possible des débits et niveaux effectivement mesurés, en obtenant un coefficient d'ajustement (R) maximal. Ces paramètres sont ajustés sur la période d'observation commune des pluies, des débits et des niveaux piézométriques.

Chaque bassin versant a donné lieu à plusieurs essais de calage réalisés avec des piézomètres et des stations hydrométriques différents. Les résultats graphiques des différents calages réalisés sont fournis à partir de l'Annexe 4. Les coefficients d'ajustement (R) figurent en bas des graphiques issus des modélisations.

c) Validation des calages

Il s'agit d'une étape importante permettant de vérifier la qualité du calage. Elle consiste à confronter les valeurs simulées à celles observées pour une période non utilisée durant la phase de calage. Cette validation n'est toutefois rendue possible que lorsque la période disponible est suffisamment longue pour se passer lors du calage d'une partie des données.

Ce qui n'est pas le cas dans l'étude présente. La qualité du calage peut être appréciée visuellement mais aussi à l'aide de critères quantitatifs, comme les coefficients d'ajustement (R).

d) Facteurs correctifs « Précipitations et ETP »

Les données de précipitations et d'ETP ont été fournies pour chaque modélisation par le biais d'une station pluviométrique et/ou climatologique située dans ou à proximité du bassin versant.

Afin de fournir une valeur plus représentative de la valeur moyenne reçue par le bassin versant un facteur correctif a été déterminé lors du calage et appliqué à l'ensemble de la série de données.

3. Contexte et réseaux de surveillance martiniquais

3.1. MASSES D'EAU SOUTERRAINE

En 2003, six masses d'eau ont été identifiées pour la Martinique (Comte et al, 2003). La pré-délimitation des masses d'eau souterraine repose sur la prise en compte simultanée de 4 critères techniques (cf. RP-52688-FR) :

- la géologie, renseignant pro parte sur les capacités d'infiltration et de stockage ;
- la pluviométrie, permettant une approche de l'alimentation naturelle potentielle ;
- les bassins versants, formant des unités indépendantes d'eau de surface potentiellement interdépendantes des eaux souterraines, à défaut de grands systèmes aquifères sédimentaires ;
- la dimension socio-économique a également été prise en compte dès lors que les masses d'eau devront, à terme, être gérées en fonction de besoins en eau étroitement liés à cette dimension.

Il est important de souligner la variabilité qu'une masse d'eau peut présenter, de par l'hétérogénéité spatiale de ses caractéristiques hydrogéologiques.

L'intégration de ces critères a permis de définir une partition du territoire en six domaines hydrogéologiques juxtaposés, correspondant à des « masses d'eau souterraine » à contextes relativement contrastés décrit dans le Tableau 1 :

MASSE D'EAU	GEOLOGIE	SURFACE (km ²)
NORD - FRJ201	Formation volcanique Pelée récente	115
NORD ATLANTIQUE - FRJ202	Formation volcanique Jacob	177
NORD CARAIBE - FRJ203	Formation volcanique Pelée + Carbet	180
CENTRE - FRJ204	Formation volcanique Carbet + Jacob + Vauclin - Lamentin	280
SUD ATLANTIQUE - FRJ205	Formation volcaniques anciennes Vauclin	183
SUD CARAIBE - FRJ206	Formation volcaniques anciennes à très anciennes Vauclin - Diamant	151

Tableau 1 : Descriptif des masses d'eau souterraines de Martinique

Une cartographie des masses d'eau sur fond de carte géologique simplifiée est présentée en Figure 5.

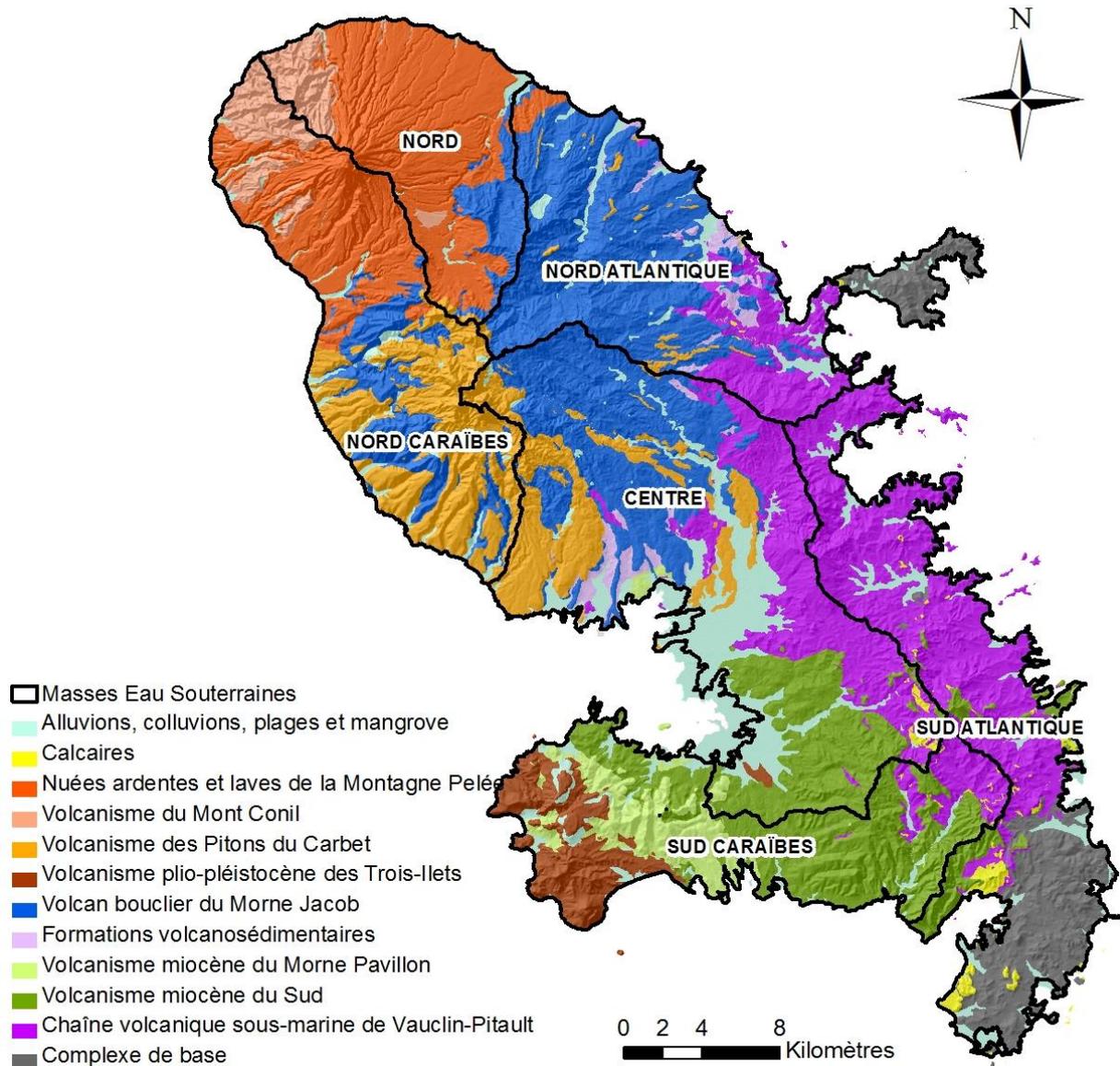


Figure 5 : Cartographie des masses d'eau souterraine et carte géologique simplifiée de Martinique

3.2. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE RÉGIONAL (EXTRAITS RP-55099-FR)

La géologie de la Martinique est constituée principalement de formations volcaniques d'âge oligocène à plio-pléistocène. Les quelques formations sédimentaires de l'île sont essentiellement des formations alluviales et exceptionnellement calcaires. Les formations volcaniques sont diverses : coulées massives de lave, dépôts pyroclastiques (nuées ardentes, ponces), lahars, conglomérats et brèches. Des dépôts de hyaloclastites existent également.

L'essentiel de la perméabilité de ces formations est assurée par la fracturation, même si, dans certains cas, les perméabilités d'interstices ou de fissures peuvent être prépondérantes.

Les aquifères de l'île peuvent être distingués en deux catégories :

- les aquifères "fracturés" ou discontinus : Présents dans les formations massives, de type coulées d'andésite, ces aquifères présentent une perméabilité de fracturation. Il s'agit de formations discontinues où les circulations d'eau ne peuvent se faire qu'au niveau de ces discontinuités (fractures, fissures...). Le captage des eaux doit donc y faire l'objet de techniques de prospection particulières. Ils couvrent la majeure partie du territoire ;
- les aquifères continus : Cette catégorie regroupe de nombreuses formations caractérisées par leur continuité hydraulique et leurs généralement bonnes propriétés hydrogéologiques (essentiellement les ponces et nuées ardentes).

Compte tenu de la nature essentiellement volcanique des terrains qui composent son sous-sol, la Martinique ne présente pas de grands aquifères continus, aux limites facilement identifiables. En effet, bien que le facteur « lithologie » soit déterminant pour les propriétés hydrodynamiques d'une formation géologique, la très forte hétérogénéité des séries volcaniques, particulièrement celles mises en place en contexte aérien, ainsi que le rôle important joué par la fracturation contribuent à une très forte variabilité spatiale des propriétés hydrogéologiques. Le relief accusé ainsi que les effets de l'altération accentuent cette variabilité.

3.3. LES RÉSEAUX DE SURVEILLANCE

a) Le réseau piézométrique

Actuellement ce réseau comporte 29 piézomètres suivis au pas de temps horaire (depuis 2004 ou 2006 selon les points) répartis sur les 6 masses d'eau de Martinique : Nord (3 stations), Nord Caraïbe (7 stations), Nord Atlantique (4 stations), Centre (3 stations), Sud Caraïbe (7 stations) et Sud Atlantique (5 stations).

Les piézomètres doivent répondre au maximum aux critères suivant :

- répartition sur l'ensemble des 6 masses d'eau ;
- existence de stations hydrométriques sur le bassin versant ;
- variabilité des situations (géologique, mode de gisement, type de fluctuation) ;
- mise en avant des stations du Sud pour des informations supplémentaires, en cohérence avec le SDAGE qui incite à la diversification des ressources.

Le Tableau 2 présente la liste des 18 piézomètres sélectionnés sur la base de ces critères pour les besoins de l'étude.

MASSE D'EAU	INDICE BSS	COMMUNE	LIEU-DIT
NORD - FRJ201	1166ZZ0026	Basse Pointe	Chalvet
	1168ZZ0037	Morne Rouge	Desgrottes
	1168ZZ0054	Basse Pointe	Rivière Falaise
NORD ATLANTIQUE - FRJ202	1169ZZ0084	Lorrain	Fond Brulé
	1174ZZ0088	Gros Morne	La Borelli
	1175ZZ0154	Trinité	La Galion
NORD CARAIBE - FRJ203	1167ZZ0024	Prêcheur	Rivière du Prêcheur
	1173ZZ0082	Bellefontaine	Fond Laillet
	1167ZZ0045	Saint Pierre	CDST
	1177ZZ0165	Schoelcher	Case Navire
CENTRE - FRJ204	1179ZZ0039	Lamentin	Habitation Ressource
	1179ZZ0158	Lamentin	Sarrault
SUD ATLANTIQUE - FRJ205	1179ZZ0300	Robert	Pontalery
	1179ZZ0299	François	Grand Fond
SUD CARAIBE - FRJ206	1181ZZ0132	Trois Ilets	Vatable
	1183ZZ0024	Rivière Pilote	La Mauny
	1183ZZ0052	Rivière Pilote	Fougainville
	1184ZZ0001	Diamant	Habitation Dizac Forage

Tableau 2 : Liste des piézomètres étudiés

b) Le réseau pluviométrique (Météo France)

Le Tableau 3 ci-dessous, indique les différentes stations pluviométriques sélectionnées pour leur proximité avec le bassin versant étudié, et la fiabilité des chroniques, et la Figure 6 présente leur localisation.

MASSES D'EAU SOUTERRAINE ASSOCIEES	COMMUNE	STATION PLUVIOMETRIQUE	NUMERO
NORD - FRJ201	Morne Rouge	Champflore	97218002
NORD ATLANTIQUE - FRJ202	Sainte Marie	Morne Esses	97228005
NORD CARAIBE - FRJ203	Morne Rouge	Champflore	97218002
CENTRE - FRJ204	Lamentin	Aéroport	97213004
SUD ATLANTIQUE - FRJ205	François	Usine du Simon	97210004
SUD CARAIBE - FRJ206	Rivière Pilote	Gendarmerie	97220004

Tableau 3 : Stations pluviométriques de Météo France exploitées

Remarque : l'objectif de cette étude n'étant pas un bilan détaillé par bassin versant mais l'établissement d'une relation entre niveau piézométrique et débit à la station hydrométrique, le facteur prépondérant dans le cadre d'une modélisation consiste en la répartition par pas de temps de la pluviométrie annuelle, la différence entre le montant annuel à la station considéré et celui réellement perçu par le bassin versant étant compensé par calage des paramètres de sol et des coefficients de correction des montants de la pluviométrie et d'ETP.

c) Les réseaux hydrométriques

Les données hydrométriques journalières des différentes stations ont été :

- collectées via la banque HYDRO pour le réseau de mesure de la DEAL Martinique. Celui-ci, comporte, d'après la banque de données HYDRO, 28 stations dont 25 avec des données de débit. Il faut toutefois signaler que les chroniques de mesures ne sont continues, que depuis fin 2010 pour certaines stations ;
- transmises par le Conseil Général de la Martinique.

Le Tableau 4 ci-dessous recense les différentes stations utilisées et les dates de mise en service des observations pour chacun des gestionnaires. Leur répartition sur l'ensemble des masses d'eau souterraine est présentée en Figure 6.

MASSE D'EAU SOUTERRAINE	BASSIN VERSANT	RIVIERE	STATION HYDROMETRIQUE	NUMERO	DATE MISE EN SERVICE	GESTIONNAIRE
NORD - FRJ201	Capot	Capot	Pont de Mackintosh	21130564	15/12/2009	CG
	Galion	Galion	Pont de Bassignac	22251793	01/01/2008	CG
NORD ATLANTIQUE - FRJ202	Galion	Galion	Prise AEP Bras Gommier	22211637	24/01/2011	DEAL
	Lorrain	Lorrain amont	Prise AEP SCNA	22051302	08/02/2011	DEAL
	Galion	Galion	Grand Galion	22251797	01/12/2011	DEAL
NORD CARAIBE -	Roxelane	Roxelane	Bourg de Saint Pierre	23290488	10/10/2011	DEAL
CENTRE - FRJ204	Lézarde	Lézarde amont	Palourde	25010677	01/09/2009	DEAL
	Lézarde	Lézarde aval	Pont RN1	25211488	15/07/1997	DEAL
	Lézarde	Petite Lézarde	Saint Maurice	25040869	28/01/2011	DEAL
	Lézarde	Petite Rivière	Brasserie Lorraine	25330756	28/09/2010	DEAL
	Lézarde	Blanche	Pont Rivière Blanche RD15b	25121086	19/03/2009	CG
SUD ATLANTIQUE - FRJ205	Desroses	Desroses	Pont de Belle Ame	26130478	12/01/2009	CG
	Simon	Simon	Pont RD31 Simon	26230495	27/09/2011	DEAL
SUD CARAIBE - FRJ206	Oman	Oman	Dormante	28240232	13/12/1994	DEAL
	Grande Pilote	Petite Pilote	Pont Madeleine	28120429	05/11/2011	DEAL

Tableau 4 : Stations hydrométriques exploitées de la DEAL et du Conseil Général

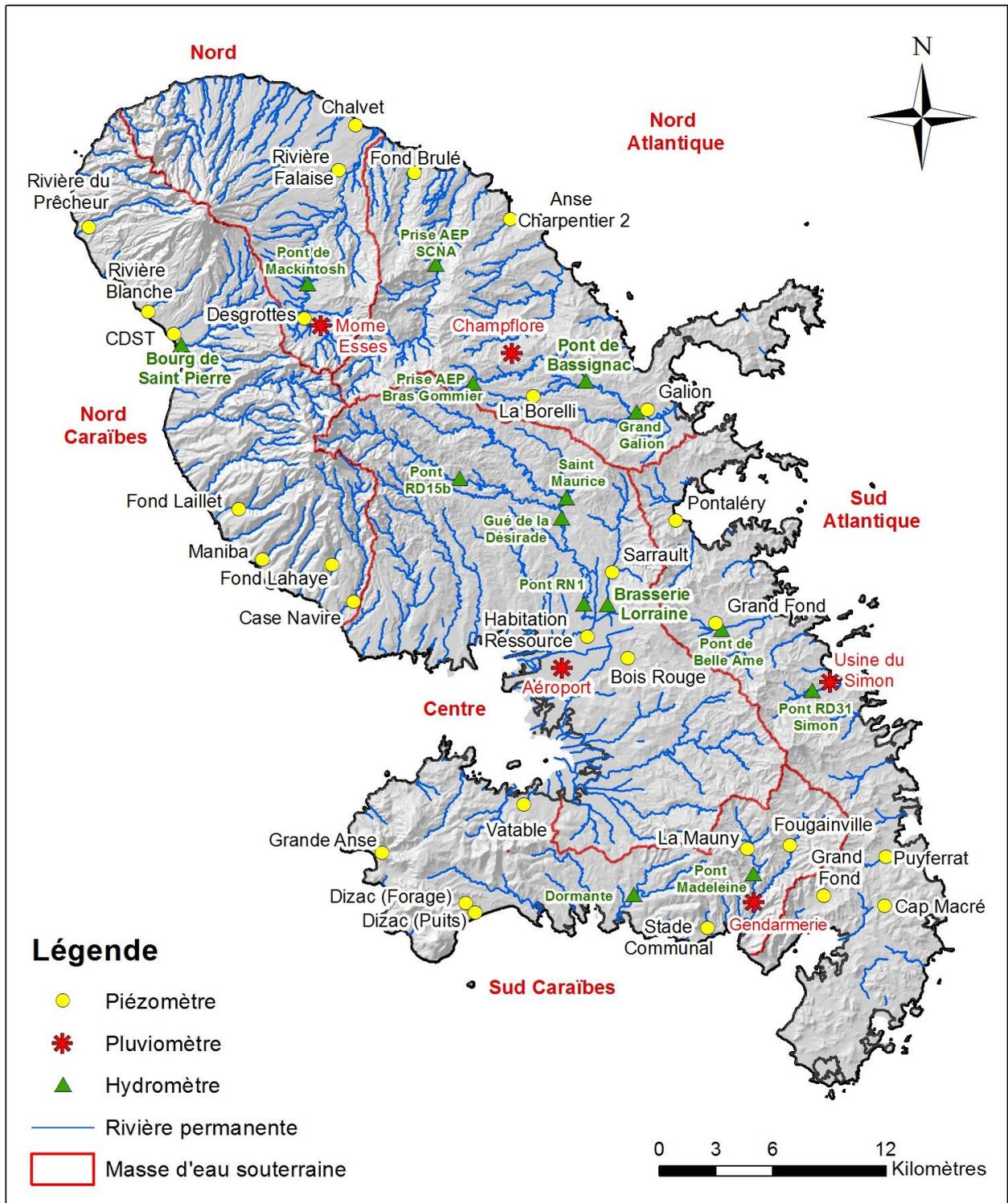


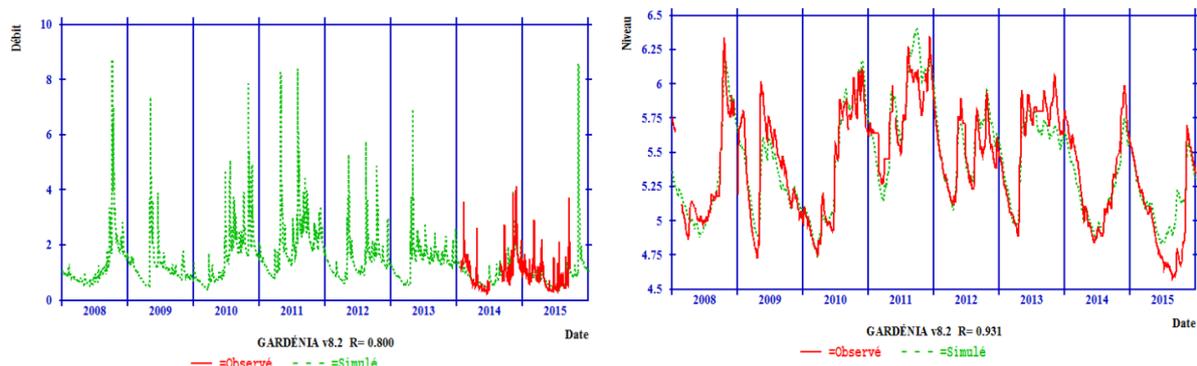
Figure 6 : Localisation des rivières et réseaux piézométriques, pluviométriques et hydrométriques

3.4. CONNAISSANCE SUR LES PRÉLÈVEMENTS

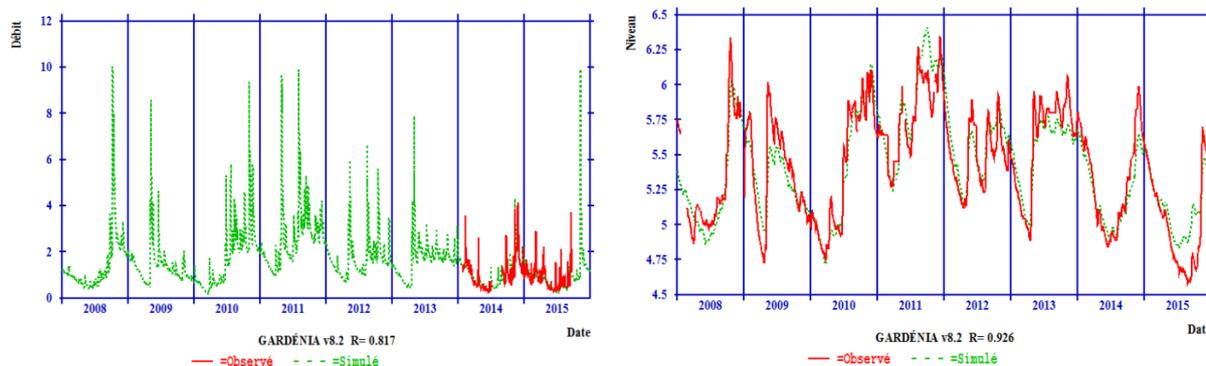
Des informations sur les débits prélevés sont disponibles sur le site de l'Office De l'Eau (ODE). Elles sont de qualités diverses et uniquement au pas de temps annuel :

- les données des prélèvements AEP sont constituées de valeurs ponctuelles et/ou moyennées ;
- les données des prélèvements agricoles pour l'irrigation ou l'industrie ne sont qu'indicatives et non exhaustives.

Toutefois afin de tester l'influence de ces prélèvements, une modélisation sur la Rivière Blanche a été réalisée (Cf. Figure 7), au droit de la station de la RD15b et du piézomètre Lamentin – Habitation Ressource, en considérant un prélèvement moyen annuel de 0,636 m³/s (55 000 m³/jour : *source site de l'ODE*).



Calage débit et niveau sans prélèvements



Calage débit et niveau avec prélèvement constant de 0,635 m³/s

Figure 7 : Influence des prélèvements sur le calage de la modélisation de la Rivière Blanche à la RD15b

Si la prise en considération de ce prélèvement, qui est un des plus importants de l'île, permet d'améliorer le calage sur les débits, la modification la plus significative concerne le bilan hydrologique qui intègre ainsi le volume correspondant soit 20 Mm³. La pluie efficace passe ainsi de 2200 mm à 3450 mm.

La prise en compte des prélèvements en irrigation peut être quantitativement significative sur certains bassins versants, mais elle peut être surtout, même pour de plus faibles quantités, source de nette amélioration des coefficients d'ajustement car les prélèvements se produisent durant la période des faibles débits.

Les autres calages et modélisations ayant été réalisées sans les données de prélèvements, les débits simulés ne seront donc pas représentatifs des débits naturels reconstitués mais des débits mesurés. Une bonne connaissance des volumes prélevés (AEP, irrigation et industrie) et de leur répartition temporelle auraient probablement permis un meilleur calage, de meilleures simulations et, *in fine*, des valeurs fréquentielles plus fiables.

Un dispositif de suivi et de bancarisation des données des prélèvements est en cours. L'utilisation de ces données à un pas de temps adapté permettrait d'améliorer la connaissance des prélèvements réels et une meilleure caractérisation des écoulements.

4. Masse d'eau Nord - FRJ201

4.1. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE ET DONNÉES DISPONIBLES

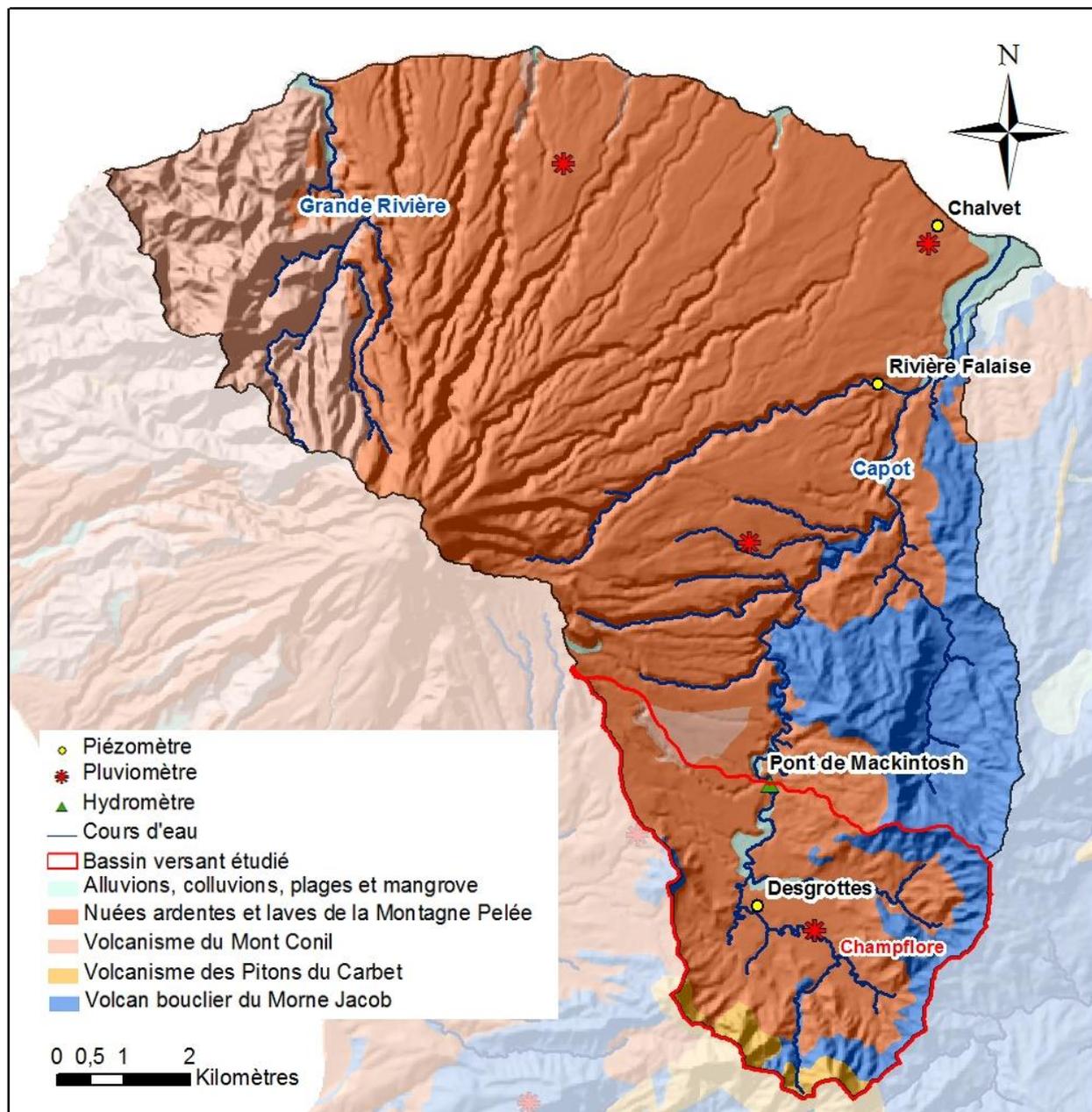


Figure 8 : Masse d'eau souterraine Nord – FRJ201 et stations de mesure

La majorité du bassin versant étudié sur la masse d'eau Nord (Figure 8) est composé de formations volcaniques de l'édifice ancien et intermédiaire de la Montagne Pelée, nuées ardentes (N), argiles du paléo-lac de Champ Flore (B) et grés volcanique (11D) ainsi que des andésites des Pitons du Carbet (8pα) et de la 1ère phase du Morne Jacob.

Cette masse d'eau souterraine est à relier aux masses d'eau « cours d'eau » de la rivière Capot et la Grande Rivière.

La pluviométrie utilisée est celle mesurée au poste de Morne Rouge - Champflore.

Les données hydrométriques disponibles au droit de la masse d'eau sont issues du réseau du conseil général, à la station Pont de Mackintosh de la rivière Capot de la commune du Morne Rouge.

Les fluctuations des piézomètres appartenant à cette masse d'eau sont présentées en Figure 9 :

- Morne Rouge – Desgrottes 1168ZZ0037/F1 ;
- Basse Pointe – Rivière Falaise 1168ZZ0054 ;
- Basse Pointe – Chalvet 1166ZZ0026/NF8.

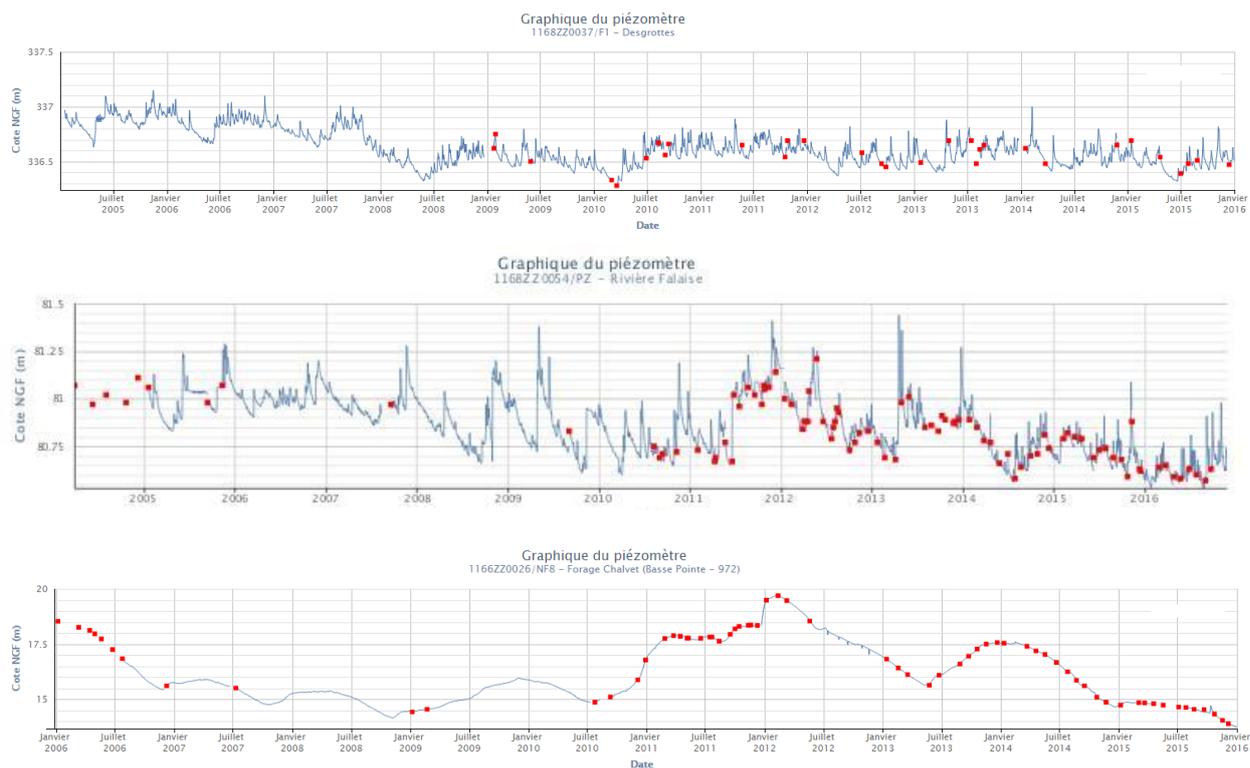


Figure 9 : Niveaux piézométriques observés au droit de la masse d'eau Nord

Ces tracés permettent de constater que, même s'ils appartiennent à la même masse d'eau, les piézomètres peuvent avoir des comportements différents et des amplitudes différentes :

- l'aquifère capté par le piézomètre de Morne Rouge – Desgrottes d'une profondeur de 31 m, est une alternance de tourbe et de ponce fracturée à très fracturée. Ses fluctuations piézométriques illustrent un cycle saisonnier, auquel se surimpose une réponse rapide à la pluviométrie. Le battement inter-annuel maximal est faible, d'environ 1 m ;
- le piézomètre de Rivière Falaise, dans 28 m de nuées ardentes à proximité de la rivière, possède un cycle proche de celui du forage Desgrottes avec des amplitudes de variation similaire. On constate un déphasage et une rupture entre les périodes avant et après 2008 (cf. Figure 10, explications données au § 4.2) ;
- le forage de Chalvet à Basse Pointe, de 30 m de profondeur, capte tout comme Rivière Falaise des nuées ardentes ; il illustre néanmoins des fluctuations totalement différentes avec un cycle mixte : saisonnier et pluriannuel, d'amplitude moyenne de 5 m environ.

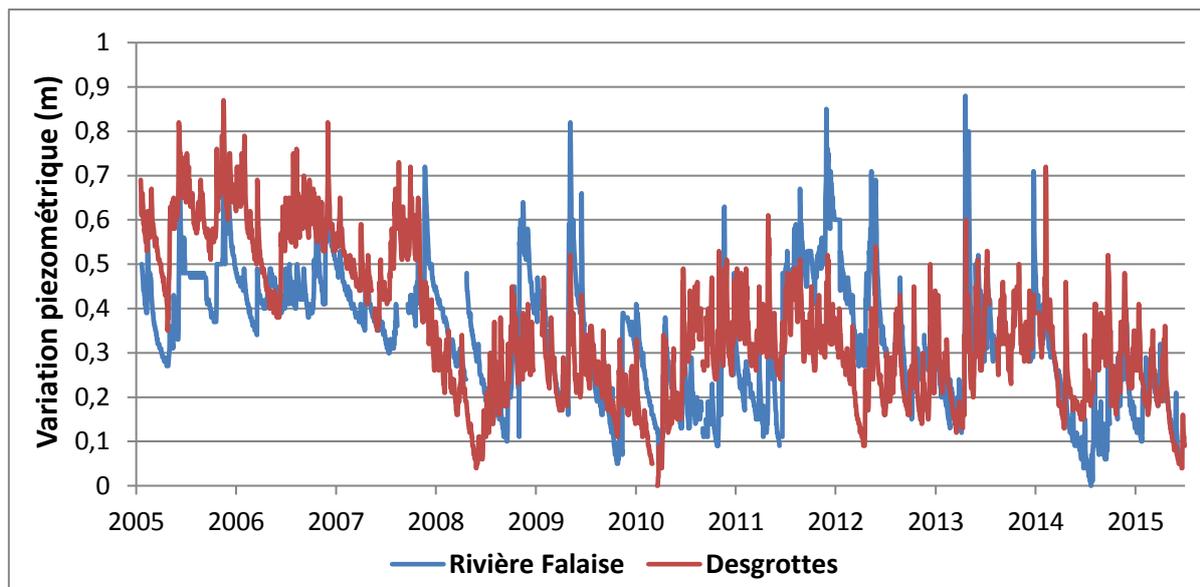


Figure 10 : Comparaison des amplitudes et variations de niveau au droit des piézomètres : Desgrottes et Rivière Falaise.

Ces constatations et l'absence visible de corrélation implique qu'aucun de ces piézomètres ne peut être considéré comme représentatif de l'ensemble de la masse d'eau.

4.2. MODÉLISATIONS HYDROLOGIQUES GLOBALES

Des essais de calage à partir du forage de Basse Pointe – Rivière Falaise ont été réalisés, néanmoins les résultats ne sont pas concluants. Les coefficients d'ajustement de Nash sont joints en Annexe 1.

Le forage Basse Pointe – Chalvet connaît des fluctuations piézométriques pluriannuelles d'au moins 3 ans ; avec un suivi de 10 ans, il ne présente pas de cycle complet permettant de réaliser des essais de modélisation fiables.

La simulation, présentée en Figure 11, des niveaux piézométriques de Morne Rouge - Desgrottes sur la totalité de la période de suivi (2005 - 2015), met en évidence une rupture importante dans la série observée, avec un décalage quasi-constant d'environ 0,30 m pour la période 2005 – 2008.

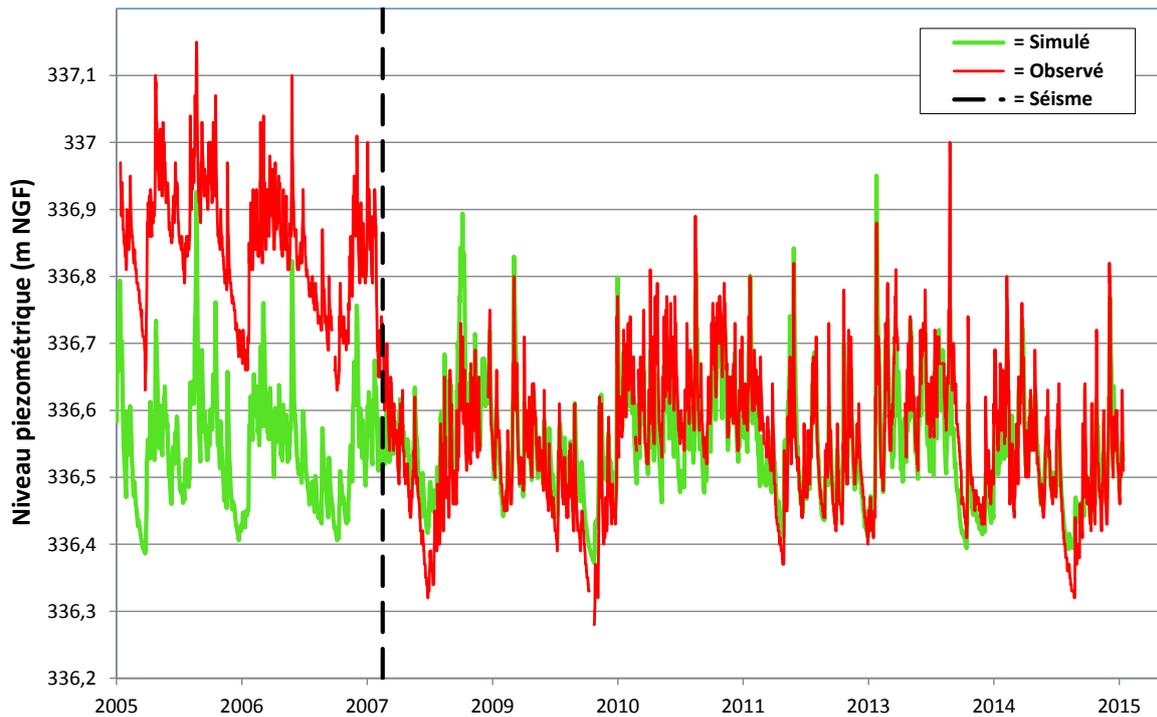


Figure 11 : Comparaison des niveaux observés vs niveaux simulés (2005-2016) au piézomètre Morne Rouge - Desgrottes

Le calage réalisé en deux étapes (avant 2008 et après 2008 en Figure 12), a permis d'obtenir une corrélation entre les niveaux observés et les niveaux simulés ; ils présentent un décalage constant et voisin de 0,30 m. Ce dernier est dû au séisme du 29 novembre 2007 qui a eu un impact significatif sur les niveaux d'eau souterraine de la moitié des piézomètres du réseau de surveillance (cf. poster en Annexe 2).

Niveau piézométrique de Morne Rouge - Desgrottes

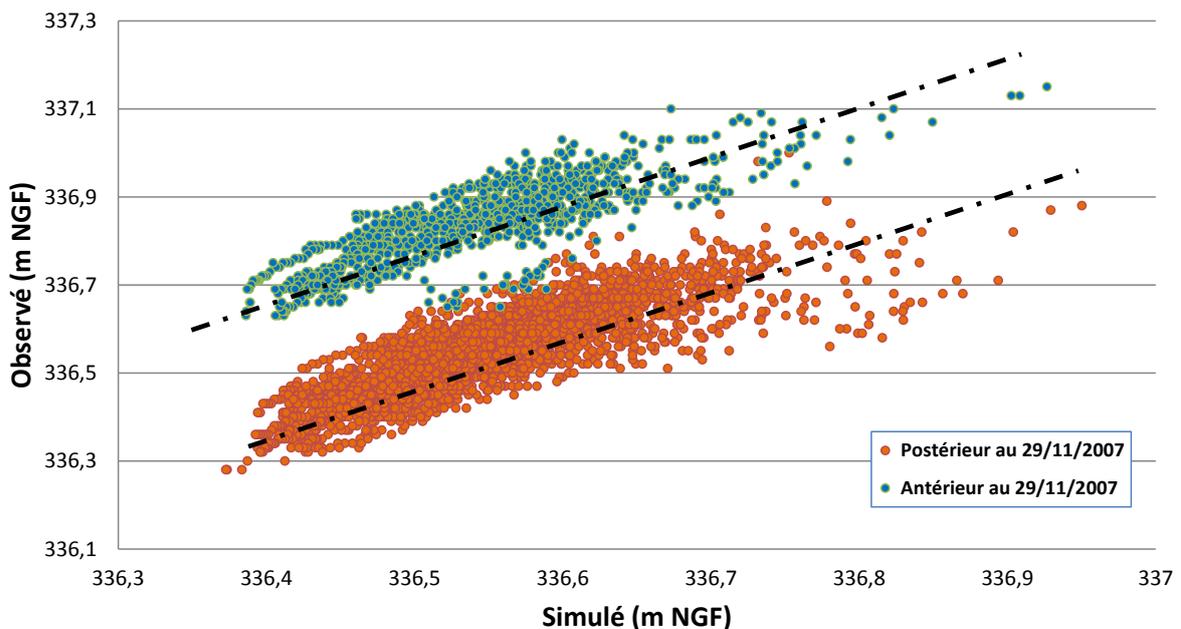


Figure 12 : Corrélation entre niveaux observés et simulés au piézomètre Morne Rouge - Desgrottes (2005-2016)

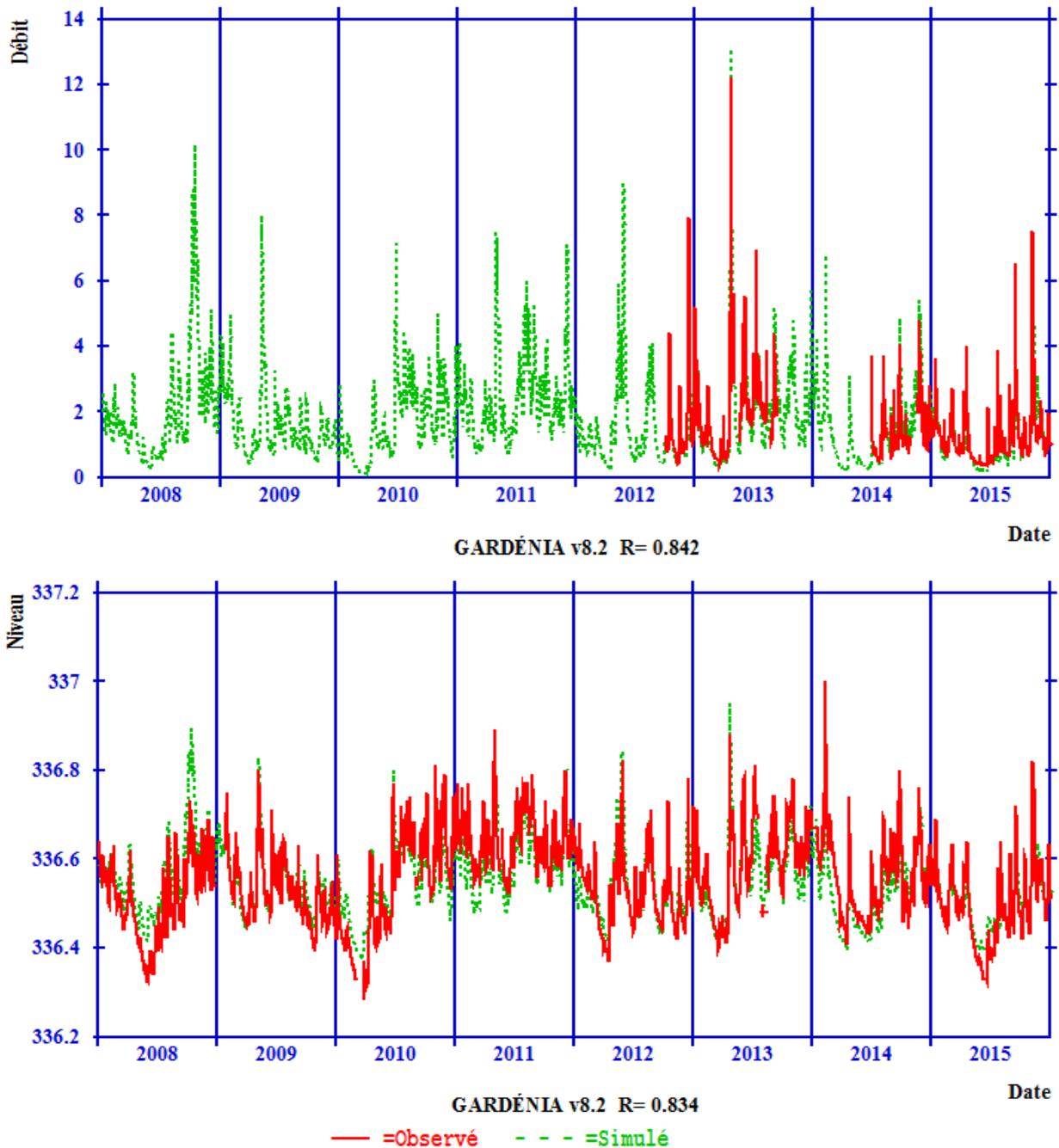


Figure 13 : Calage Pluie / Niveau Piézométrique à Desgrottes (m) / Débit à la station Pont de Mackintosh (m^3/s)

En Figure 13, le calage réalisé est satisfaisant sur la période 2008 – 2015 avec des coefficients de corrélation de 0,84 pour le débit et 0,83 pour les niveaux piézométriques. Les minimas simulés sont supérieurs aux observés, cette différence pourrait s'expliquer et se justifier par d'éventuels prélèvements saisonniers en amont de la station.

Cette modélisation a permis d'étendre la série simulée des niveaux à l'ensemble de la période d'observations disponibles des pluies, soit sur la période de 25 ans (1991 – 2015) et de définir la relation Débit / Piézométrie présentée en Figure 14.

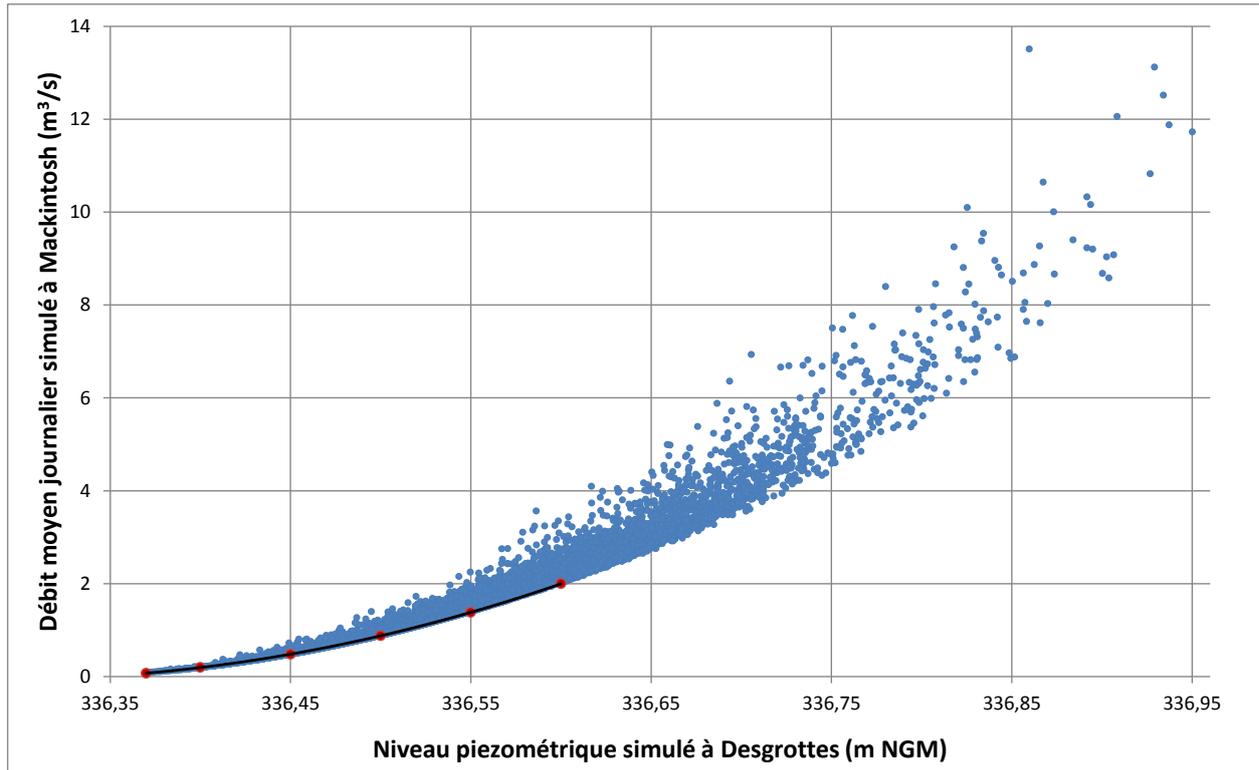


Figure 14 : Corrélation Débit / Piézométrie simulés à Pont Mackintosh et Desgrottes (1991-2015)

Il est possible de constater que nous n'avons pas affaire à une relation simple mais à un nuage restreint à faible niveau, qui s'élargit quand le niveau piézométrique ou le débit augmente.

Les débits au droit des stations hydrométriques, sont composés d'un débit de vidange de l'aquifère, qui est fonction du niveau piézométrique, et d'un débit de ruissellement qui provient directement de la pluviométrie. Le ruissellement étant très variable, quel que soit le niveau, c'est son addition au débit de vidange qui crée le nuage de la relation Débit / Piézométrie. Un exemple permettant d'illustrer ce phénomène est joint en Annexe 3.

En considérant qu'il n'y a pas de pompage en amont et aux incertitudes de mesure près, le débit de vidange pour le bassin versant de la Capot à Pont Mackintosh correspond aux valeurs minimales du nuage de point de la relation Débit / Piézométrie, illustré par les points rouges sur la Figure 14 avec le piézomètre Morne Rouge - Desgrottes.

Cette relation permet ainsi de définir le **débit minimal probable** pour un niveau piézométrique donné. On notera toutefois que les variations piézométriques annuelles sont faibles, ce qui rend cet indicateur particulièrement peu sensible.

4.3. VALEURS SEUILS

Le Tableau 5 indique les valeurs seuils du piézomètre Morne Rouge - Desgrottes issues de la relation Débit / Piézométrie obtenue au paragraphe précédent (Figure 14) et des valeurs seuils des débits caractéristiques fournies par la DEAL.

Station	Système	DMB	DCR	DOE	DSA
Pont de Mackintosh	Capot (m ³ /s)	0,353	0,353	0,353	0,424
Desgrottes	FRJ201 (m NGM)	336,420			336,435

Tableau 5 : Valeurs seuils piézométriques issues des débits caractéristiques de la Capot à Pont Mackintosh

4.4. ÉVALUATION STATISTIQUE : VALEURS FRÉQUENTIELLES

Parallèlement, une analyse fréquentielle des niveaux a été rendue possible suite à l'extension, par simulation, des niveaux journaliers sur la période de 1991 - 2015.

Le Tableau 6 récapitule les résultats des ajustements statistiques (aux pas de temps journalier et mensuel) selon une loi de Gauss, sur les débits et niveaux piézométriques simulés au droit de la station Pont Mackintosh du bassin versant de la Capot et au piézomètre Morne Rouge - Desgrottes.

Période de retour (années)	Journalier		Mensuel	
	Np	Qm	Np	Qm
2	336,41	0,266	336,45	0,474
5	336,39	0,170	336,42	0,311
10	336,38	0,127	336,41	0,238
20	336,38	0,094	336,40	0,182

Np : Niveau piézométrique (m NGM)

Qm : Débit minimal correspondant (m³/s)

Tableau 6 : Valeurs fréquentielles journalières et mensuelles des niveaux piézométriques moyens minimaux et débits minimaux correspondants à Pont Mackintosh et Morne Rouge - Desgrottes

On constate :

- la faible sensibilité de la relation Débit / Piézométrie (forte variation du débit pour une faible variation du niveau, de l'ordre de l'incertitude de la mesure) ;
- une différence notable, à période donnée, entre les valeurs journalières et mensuelles des débits, signe d'une vidange relativement rapide, en adéquation avec une réponse rapide à la pluviométrie et une faible inertie de l'aquifère.

En conclusion, les corrélations satisfaisantes poussent à considérer le piézomètre Morne Rouge – Desgrottes comme indicateur représentatif des débits d'étiage au droit de la station hydrométrique Pont Mackintosh ; néanmoins les très faibles variations piézométriques, de l'ordre de l'incertitude de la mesure, le rende peu sensible.

5. Masse d'eau Nord Atlantique - FRJ202

5.1. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE ET DONNÉES DISPONIBLES

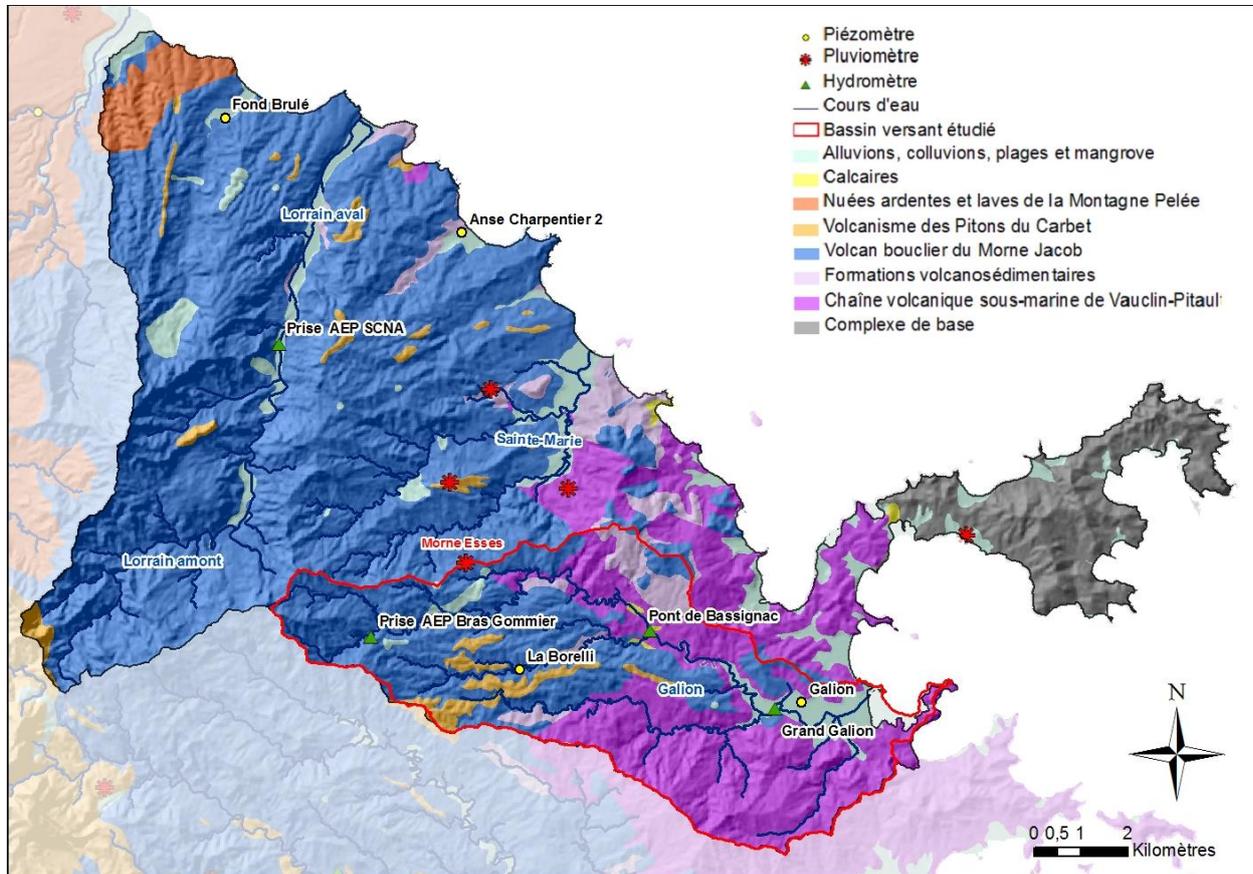


Figure 15 : Masse d'eau souterraine Nord Atlantique – FRJ202 et stations de mesure

Les bassins versants présentés en Figure 15 recoupent majoritairement des formations volcaniques telles que les andésites et les conglomérats polygéniques grossiers du volcan bouclier du Morne Jacob ainsi que les coulées de basalte du Vert-Pré de la chaîne volcanique du Vauclin-Pitault.

Cette masse d'eau souterraine est à relier aux masses d'eau « cours d'eau » des rivières du Lorrain, du Galion et de Sainte-Marie.

La pluviométrie utilisée est celle mesurée au poste de Sainte Marie - Morne Esses.

Les données hydrométriques disponibles au droit de la masse d'eau sont issues des réseaux de la DEAL et du conseil Général, aux 4 stations suivantes :

- Prise AEP Bras Gommier – Galion ;
- Pont de Bassignac – Galion ;
- Grand Galion – Galion ;
- Prise AEP SCNA – Lorrain.

Les fluctuations des piézomètres appartenant à la masse d'eau sont reportées en Figure 16 (notons que le forage Marigot – Anse Charpentier 2 du réseau, n'a été réalisé qu'en 2014) :

- Lorrain – Fond Brulé 1169ZZ0084/NF7 ;
- Trinité – Galion 1175ZZ0154/NF4 ;
- Gros Morne – La Borelli 1174ZZ0088/PZ.

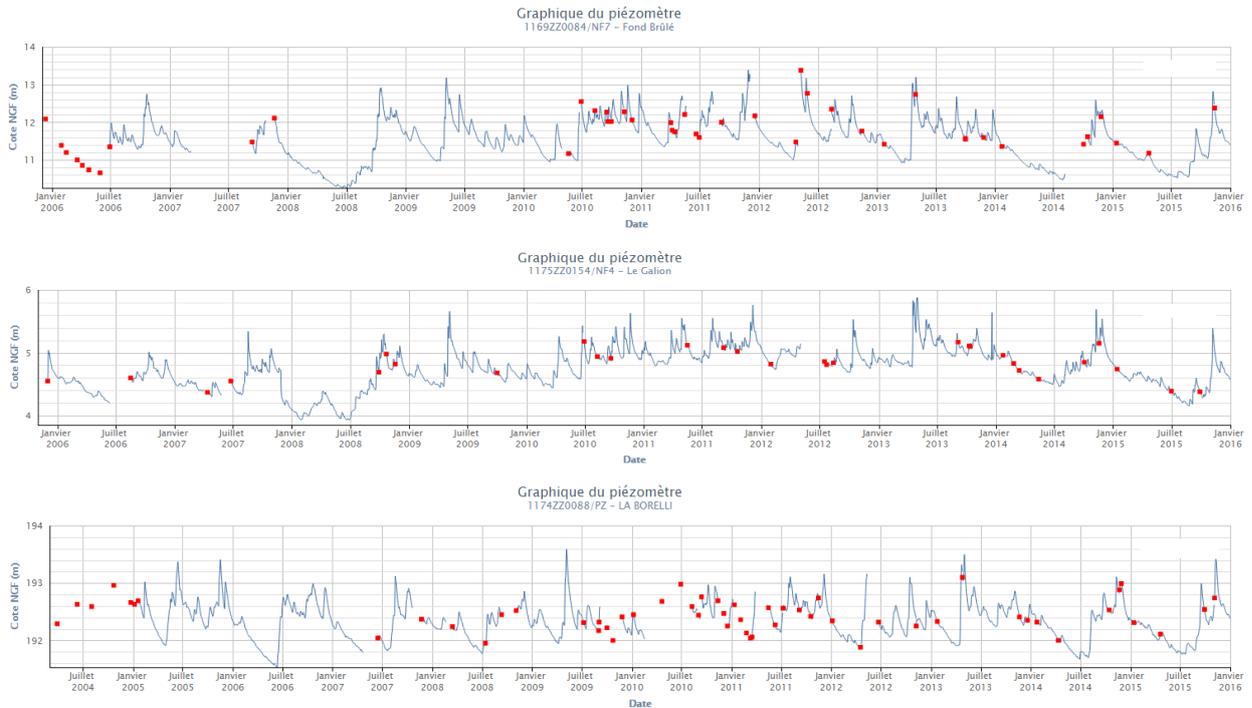


Figure 16 : Niveaux piézométriques observés au droit de la masse d'eau Nord Atlantique

Contrairement à ceux de la masse d'eau Nord, les chroniques des trois piézomètres de la masse d'eau Nord Atlantique ont des comportements sensiblement identiques avec des battements d'amplitude de 2 à 3 mètres et captent des aquifères laviques fissurés / fracturés.

Les fluctuations des niveaux piézométriques en valeurs réduites (reportées à une échelle de référence commune) (Figure 17) permettent de constater que les variations piézométriques sont en phase. Les systèmes répondent de manière proportionnellement identique, sont caractéristiques d'un cycle saisonnier et répondent rapidement aux variations pluviométriques.

On notera toutefois, que la baisse des niveaux d'étiage durant la période 2011 à 2014 observée au piézomètre du Galion, est inférieure à celle observée au droit des deux autres piézomètres. Ce décalage entre niveaux piézométriques d'une même masse d'eau est généralement observé par suite de prélèvements significatifs à des fins d'irrigation, sur un des bassins versants. On notera également que le piézomètre du Galion et éventuellement celui de Fond Brûlé, se situent à une faible distance de la mer et peuvent mesurer des niveaux influencés par le niveau marin.

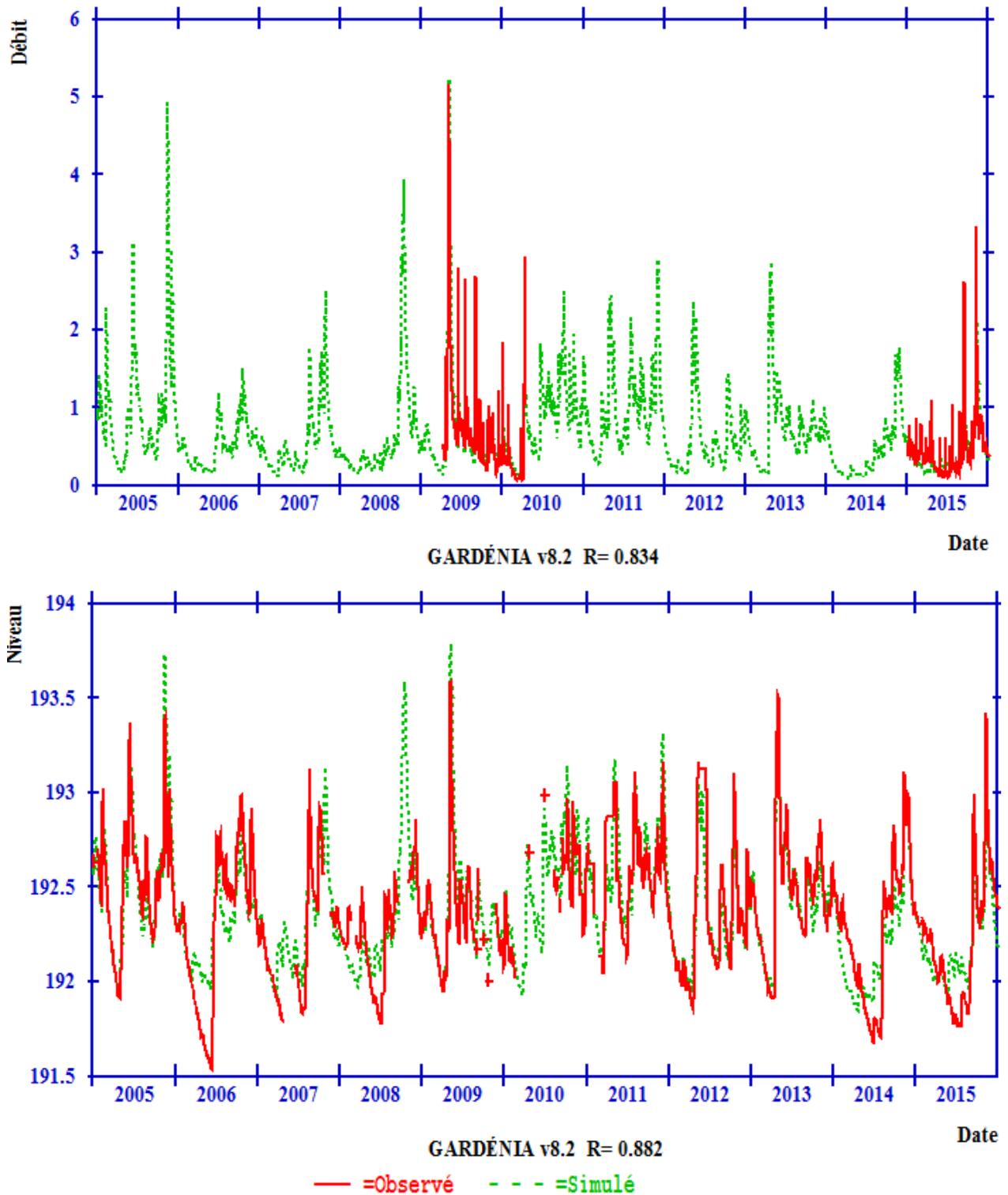


Figure 18 : Calage Pluie / Niveau piézométrique à La Borelli (m) / Débit à Pont de Bassignac (m³/s)

Cette modélisation a permis d'étendre la série simulée des niveaux à l'ensemble de la période d'observations disponibles des pluies, soit sur la période de 1991 – 2015 et de définir la relation Débit / Piézométrie présentée en Figure 19.

En considérant qu'il n'y a pas de pompage en amont et aux incertitudes de mesure près, le débit de vidange pour le bassin versant du Galion à Pont de Bassignac, correspond aux valeurs minimales du nuage de point de la relation Débit / Piézométrie, illustré par les points rouges avec le piézomètre Gros Morne – La Borelli.

Cette relation permet ainsi de définir le **débit minimal probable** pour un niveau piézométrique donné. On notera toutefois que les variations piézométriques annuelles sont faibles, ce qui rend **cet indicateur peu sensible**.

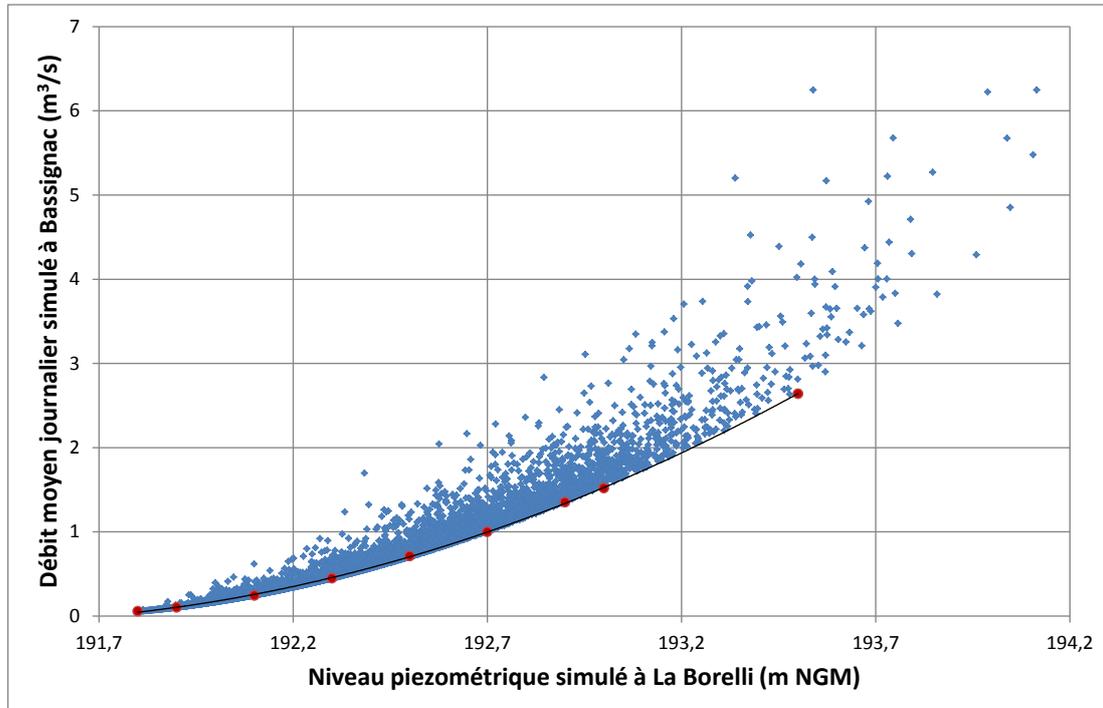


Figure 19 : Corrélation Débit / Piézométrie simulés à Pont de Bassignac et La Borelli (1991 – 2015)

5.3. VALEURS SEUILS

Le Tableau 7 indique les valeurs seuils du piézomètre Gros Morne – La Borelli définies à partir de la relation Débit / Piézométrie obtenue au paragraphe précédent (Figure 19) et des valeurs seuils des débits caractéristiques fournis par la DEAL, au droit des stations hydrométriques.

Station	Système	DMB	DCR	DOE	DSA
Prise AEP SCNA	Lorrain (m3/s)	0,850	0,950	1,047	1,256
La Borelli	FRJ202 (m NGM)	192,33	192,40	192,48	192,65
Pont de Bassignac	Galion (m3/s)		0,125		0,150
La Borelli	FRJ202 (m NGM)		191,94		191,97
Prise AEP Bras Gommier	Galion (m3/s)	0,021	0,032	0,032	0,038
La Borelli	FRJ202 (m NGM)	192,03	192,20		192,29

Tableau 7 : Valeurs seuils piézométriques issues des débits caractéristiques définis aux différentes stations des bassins versants du Lorrain et du Galion

5.4. ÉVALUATION STATISTIQUE : VALEURS FRÉQUENTIELLES

Une analyse fréquentielle des niveaux a été rendue possible suite à l'extension par simulation, des niveaux journaliers sur la période 1991 - 2015. Les tableaux suivants récapitulent les résultats des ajustements statistiques selon une loi de Gauss sur les débits et niveaux piézométriques simulés au piézomètre Gros Morne – La Borelli au droit des différentes stations hydrométriques de la masse d'eau Nord Atlantique. Ces ajustements ont été réalisés aux pas de temps journalier (Tableau 8) et mensuel (Tableau 9).

Valeurs minimales journalières								
Période de retour (années)	Pont de Bassignac		Grand Galion		Prise AEP SCNA		Prise AEP Bras Gommier	
	Np	Qm	Np	Qm	Np	Qm	Np	Qm
2	191,96	0,140	191,98	0,125	191,95	0,254	192,00	0,018
5	191,91	0,108	191,93	0,084	191,86	0,153	191,98	0,017
10	191,89	0,096	191,91	0,062	191,81	0,100	191,97	0,016
20	191,86	0,080	191,89	0,044	191,78	0,056	191,96	0,016

Np : Niveau piézométrique (m NGM)

Qm : Débit minimal correspondant (m3/s)

Tableau 8 : Valeurs fréquentielles journalières des niveaux piézométriques moyens minimalux de La Borelli et débits minimaux correspondants pour les différentes modélisations

Valeurs minimales mensuelles								
Période de retour (années)	Pont de Bassignac		Grand Galion		Prise AEP SCNA		Prise AEP Bras Gommier	
	Np	Qm	Np	Qm	Np	Qm	Np	Qm
2	192,00	0,171	192,03	0,180	191,95	0,363	191,96	0,016
5	191,93	0,118	191,97	0,115	191,86	0,253	191,87	0,010
10	191,89	0,095	191,93	0,081	191,81	0,195	191,83	0,007
20	191,85	0,076	191,90	0,053	191,78	0,146	191,79	0,005

Np : Niveau piézométrique (m NGM)

Qm : Débit minimal correspondant (m3/s)

Tableau 9 : Valeurs fréquentielles mensuelles des niveaux piézométriques moyens minimaux de La Borelli et débits minimaux correspondants pour les différentes modélisations

On constate que les niveaux piézométriques fréquents obtenus ne sont pas exactement identiques et qu'ils varient suivant le bassin versant modélisé et suivant la période de retour considérée dans un intervalle compris entre ± 2 à ± 10 cm.

Les débits fournis dans ces tableaux sont issus des débits simulés. Ces derniers ont été simulés avec des calages réalisés sur les débits observés et non sur les débits naturels reconstitués. Afin d'évaluer les débits fréquents naturels, il convient donc d'ajouter à ces valeurs la totalité des débits prélevés en amont des sites de modélisation.

On notera que les débits minimums moyens mensuels sont sensiblement supérieurs aux débits minimums moyens journaliers, à l'exception de Bras Gommier qui a des valeurs très faibles, comparables voire inférieures aux incertitudes. Cette différence est significative d'une vidange relativement rapide, en adéquation avec une réponse rapide à la pluviométrie.

En conclusion, les corrélations satisfaisantes poussent à considérer le piézomètre Gros Morne – La Borelli comme indicateur représentatif des débits d'étiage au droit des stations hydrométriques des rivières du Galion et du Lorrain.

6. Masse d'eau Nord Caraïbe - FRJ203

6.1. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE ET DONNÉES DISPONIBLES

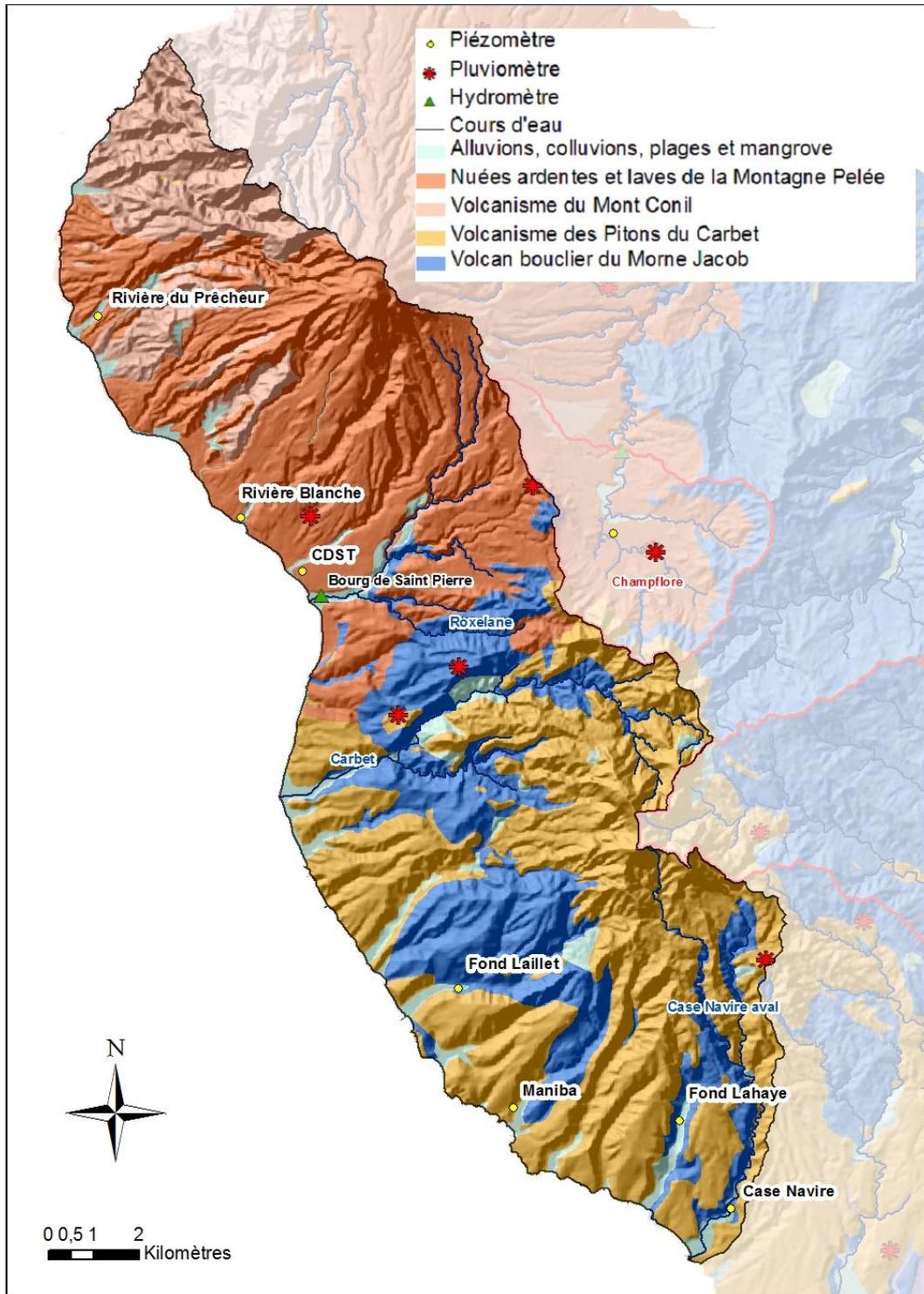


Figure 20 : Masse d'eau Nord Caraïbe – FRJ203 et stations de mesure

La masse d'eau Nord Caraïbe, d'une superficie de 180 km² (Figure 20), traverse pour la moitié nord les formations volcaniques Plio-pléistocènes de la Montagne Pelée et pour la moitié sud le complexe volcanique des Pitons du Carbet et les formations sous-jacentes du Morne Jacob. La géologie de la zone et la localisation des stations de mesure sont indiquées sur la Figure 20.

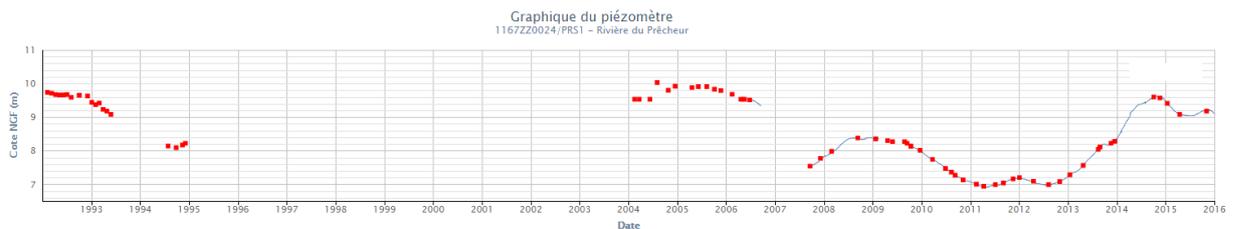
Cette masse d'eau souterraine est à relier aux masses d'eau « cours d'eau » des rivières Roxelane, Carbet et Case Navire (amont et aval).

La pluviométrie utilisée est celle mesurée au poste de Morne Rouge - Champflore.

Les données hydrométriques disponibles proviennent de la station de la DEAL Bourg de Saint-Pierre de la rivière Roxelane.

Les fluctuations des piézomètres appartenant à la masse d'eau sont reportées en Figure 21 (Schoelcher – Fond Lahaye est sous influence de pompage depuis 2013) :

- Prêcheur – Rivière du Prêcheur 1167ZZ0024 ;
- Saint-Pierre - CDST 1167ZZ0045 ;
- Saint-Pierre - Rivière Blanche 1167ZZ0023 ;
- Bellefontaine - Fond Laillet 1173ZZ0082 ;
- Case Pilote – Maniba 1177ZZ0173 ;
- Schœlcher – Case Navire 1177ZZ0165.



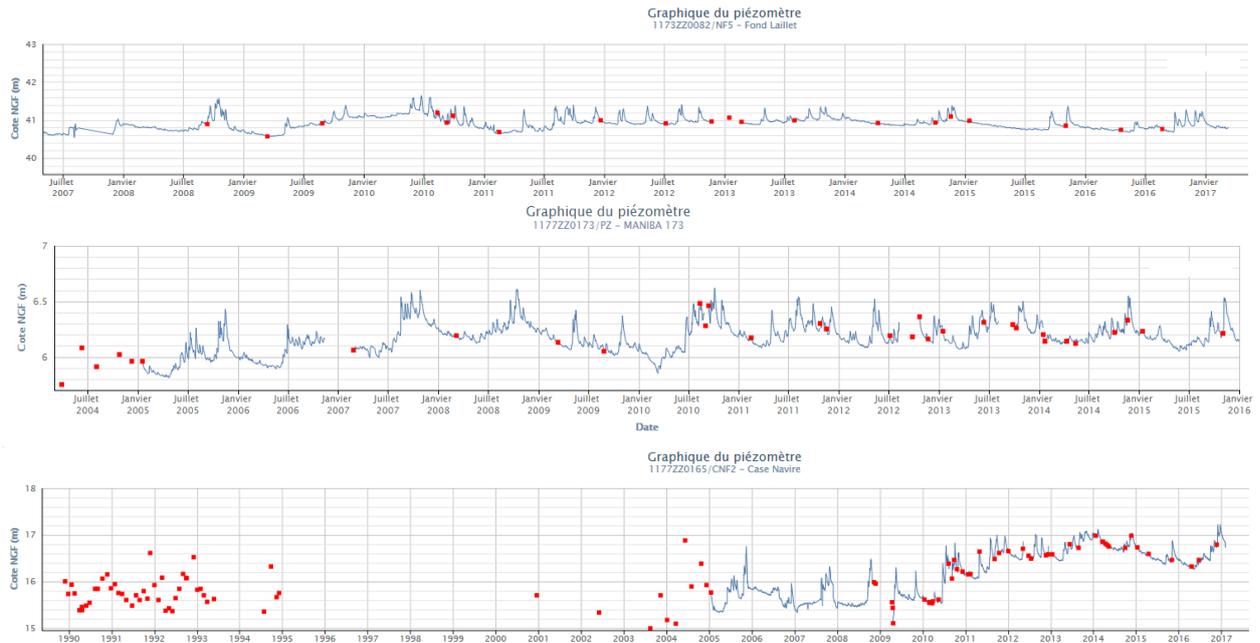


Figure 21 : Niveaux piézométriques observés au droit de la masse d'eau Nord Caraïbe

Ces tracés permettent de constater que, même s'ils appartiennent à la même masse d'eau, les piézomètres peuvent avoir des comportements différents et des amplitudes différentes.

Le forage de Prêcheur - Rivière du Prêcheur de 50 m de profondeur, intercepte 10 m de nuées ardentes. Ses fluctuations piézométriques présentent un cycle mixte : saisonnier et pluriannuel marqué, dont la variation d'amplitude peut atteindre 3 mètres.

Les forages de Saint-Pierre – CDST et Rivière Blanche interceptent des nuées ardentes et des ponces et possèdent des fluctuations saisonnières et des amplitudes respectivement de 1,5m et 0,5 m.

La Figure 22 présente les évolutions piézométriques superposées de Bellefontaine – Fond Laillet, Case Pilote – Maniba et Schoelcher – Case Navire. Ils ont des fluctuations en phase, représentatives d'un cycle saisonnier marqué par une forte réactivité à la pluviométrie et une amplitude de battement autour de 1,5 m.

- + Bellefontaine - Fond Laillet/Niveau Piézo
- * Case Pilote - Maniba/Niveau Piézo
- ▲ Schoelcher - Case Navire/Niveau Piézo

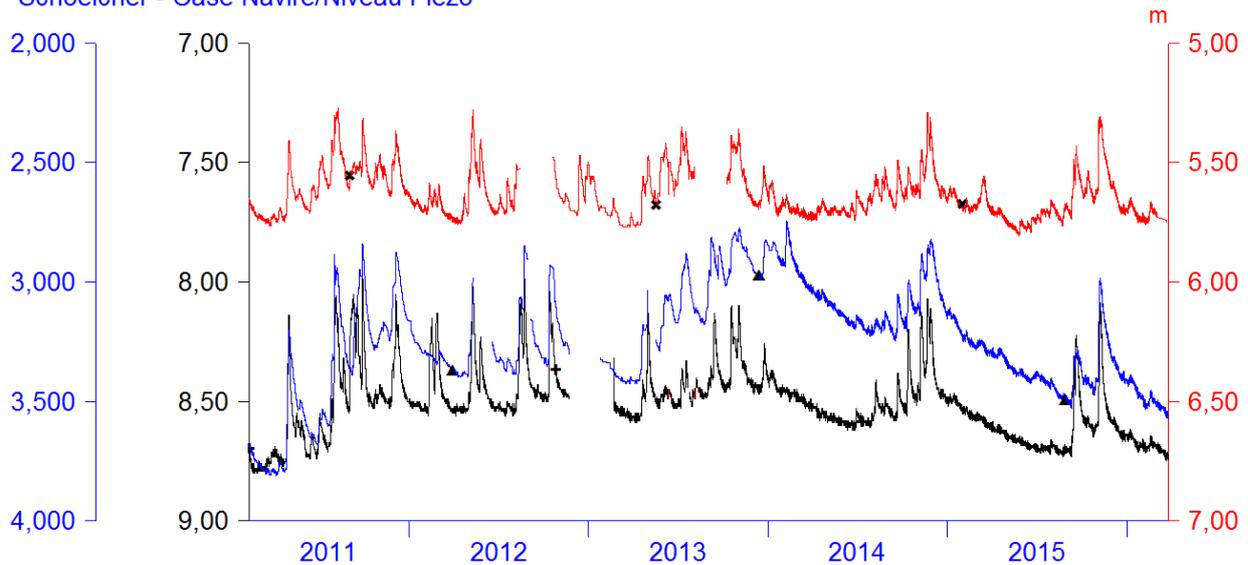


Figure 22 : Comparaison des amplitudes et variations de niveau au droit des piézomètres de la masse d'eau Nord Caraïbe (profondeur en m)

6.2. MODÉLISATIONS HYDROLOGIQUES GLOBALES

Le forage Prêcheur – Rivière du Prêcheur connaît des fluctuations piézométriques pluriannuelles d'au moins 5 ans ; avec un suivi de 10 ans, il ne présente donc pas de cycle complet permettant de réaliser des essais de modélisation fiables.

Des essais de modélisation Pluie / Niveau piézométrique / Débit de la Roxelane ont été tentés en utilisant les données piézométriques de Saint-Pierre – CDST et n'ont pas donné de résultat satisfaisant. En guise de test, des essais de modélisation ont également été tenté avec les piézomètre de Case Pilote – Maniba et Bellefontaine – Fond Laillet mais logiquement, aucun n'a donné de résultat satisfaisant ce qui peut s'expliquer aisément par la localisation de ces piézomètres par rapport à la Roxelane.

En l'absence de données corrélables, aucun piézomètre n'a été retenu sur la masse d'eau Nord Caraïbe comme indicateur piézométrique.

7. Masse d'eau Centre - FRJ204

7.1. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE ET DONNÉES DISPONIBLES

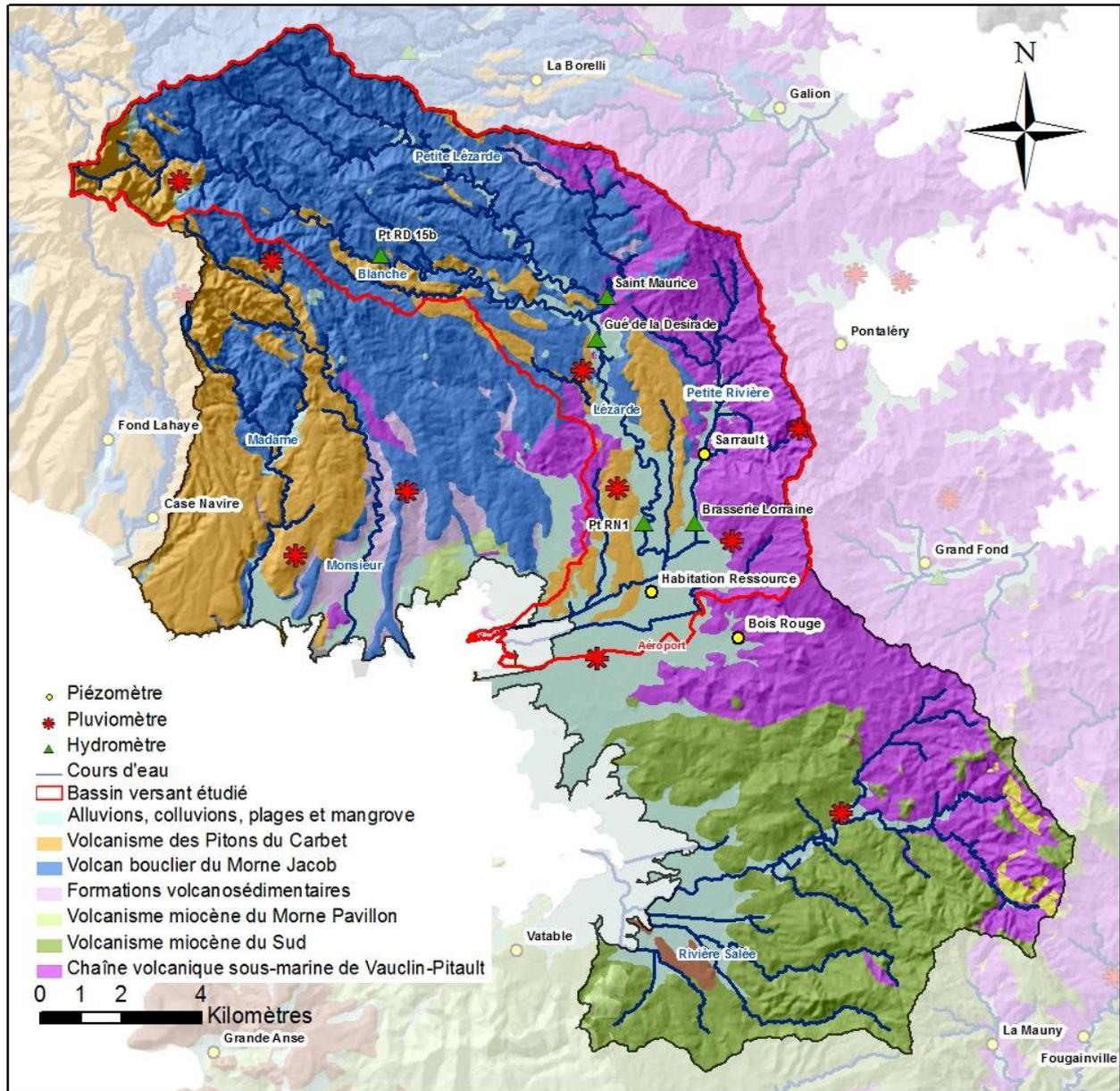


Figure 23 : Masse d'eau souterraine Centre – FRJ204 et stations de mesure

Les bassins versants étudiés sur la masse d'eau Centre (Figure 23) sont caractérisés principalement par les formations volcaniques du volcan bouclier du Morne Jacob avec des laves massives andésitiques ($^2\alpha$) ou basaltiques ($^1\beta_{ol}$, $^1\beta_1$) et la chaîne volcanique sous-marine de Vauclin-Pitault avec des basaltes ($^{\rho}\beta_{m2a}$) et des hyaloclastites (Hm_{2b}).

Cette masse d'eau souterraine est à relier aux masses d'eau « cours d'eau » des rivières Blanche, Lézarde amont, Lézarde moyenne, Lézarde aval, Madame, Monsieur, et enfin Rivière Salée.

La pluviométrie utilisée est celle mesurée au poste du Lamentin - Aéroport. Par suite du coefficient d'ajustement des pluies, la pluviométrie réellement reçue par le bassin versant modélisé sera optimisé en fonction des débits mesurés à l'exutoire. La répartition pluviométrique sera par contre celle observée à la station du Lamentin.

Il existe de nombreuses stations hydrométriques au droit de cette masse d'eau souterraine, elles ont cependant peu d'années d'observations disponibles. Les données hydrométriques disponibles au droit de la masse d'eau sont issues des réseaux de la DEAL et du conseil Général, aux 5 stations suivantes :

- Pont RN1 – Lézarde aval ;
- Palourde – Lézarde amont ;
- Brasserie Lorraine – Petite Rivière ;
- Pont Rivière blanche RD15b – Blanche ;
- Saint Maurice - Petite Lézarde.

Les fluctuations des piézomètres appartenant à la masse d'eau sont reportées en Figure 24, (Ducos – Bois Rouge n'a pas été retenu en raison de son artésianisme) :

- Lamentin - Habitation Ressource 1179ZZ0039/P.6 ;
- Lamentin - Sarrault 1179ZZ0158/PR-S1.

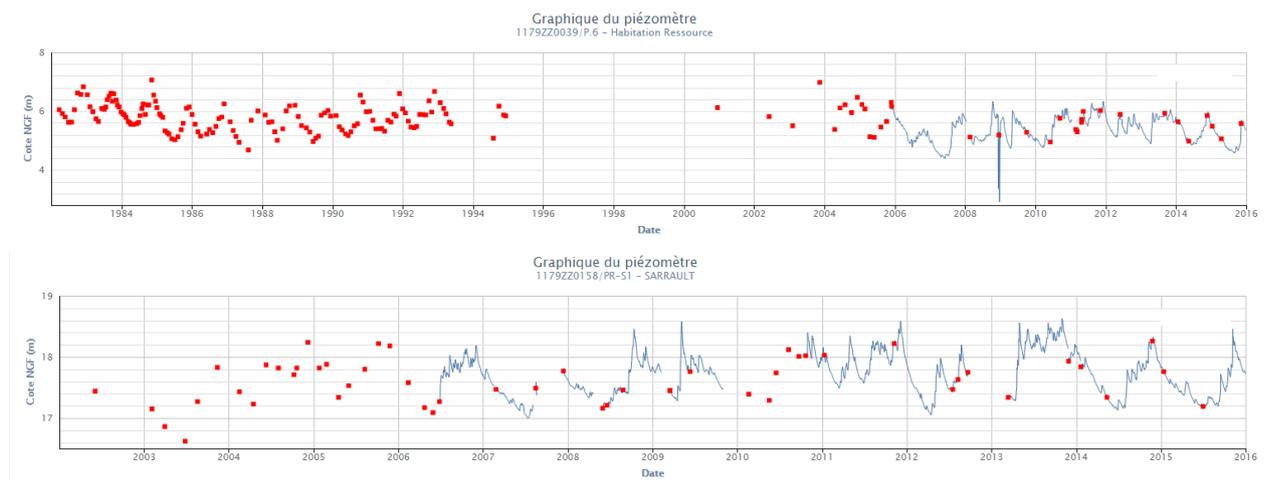


Figure 24 : Niveaux piézométriques observés au droit de la masse d'eau Centre

Le forage d'Habitation Ressource capte les basaltes de la plaine du Lamentin ($\rho\beta m_{2a}$) tandis que Sarrault intercepte les hyaloclastites (Hm_{2b}), tous deux des aquifères à porosité de fissures et de fractures. Les chroniques présentées Figure 25, permettent de constater que les variations piézométriques sont en phase. Les systèmes répondent de manière similaire et sont caractéristiques d'un cycle saisonnier.

† Lamentin - Habitation Ressource/Niveau Piézo

* Lamentin - Sarrault/Niveau Piézo

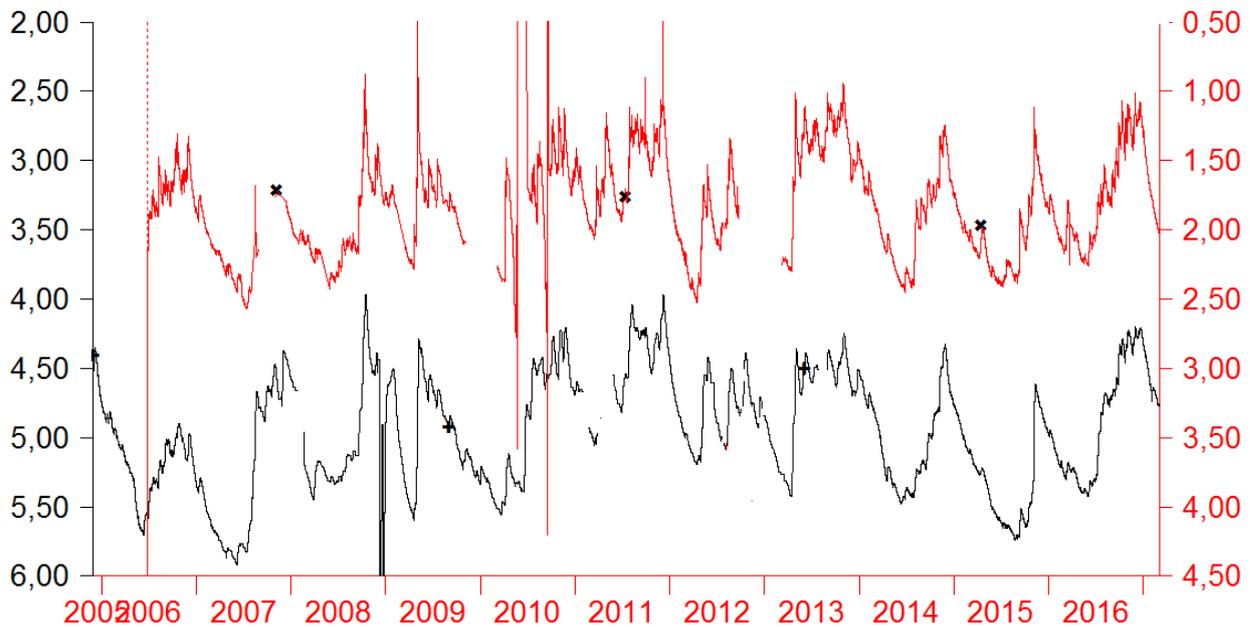


Figure 25 : Superposition des chroniques piézométriques des forages du Lamentin : Habitation Ressource et Sarrault (profondeur en m)

7.2. MODÉLISATIONS HYDROLOGIQUES GLOBALES

Les bassins versants hydrographiques sont relativement étendus et il y a peu de piézomètres disponibles dans la partie amont. Aussi, pour vérifier l'importance éventuelle des recharges pouvant se produire en partie amont et/ou aval de ces bassins, les calages ont été réalisés en utilisant à tour de rôle et pour chaque bassin versant, deux piézomètres : Lamentin – Habitation Ressource et Gros Morne – La Borelli (notons que La Borelli présente des caractéristiques hydrodynamiques semblables : saisonnières et pluviométriques).

Ces doubles modélisations ont été réalisées pour certains bassins versants de la masse d'eau Centre afin de fournir une évaluation des incertitudes sur les débits minima probables suivant l'indicateur retenu.

Les modélisations réalisées ont permis d'étendre les séries simulées des niveaux à l'ensemble de la période d'observations disponibles des pluies, soit sur la période 1991 – 2015 et de définir des relations Débit / Piézométrie.

L'exemple des calages pluie / niveau piézométrique d'Habitation Ressource et débit à la station Pont RN1 de la Lézarde aval est présenté à la Figure 26. La relation Débit / piézométrie qui en découle est présentée Figure 27.

Les autres modélisations sont jointes en Annexe 5 et les coefficients d'ajustement de Nash présentés au Tableau 10.

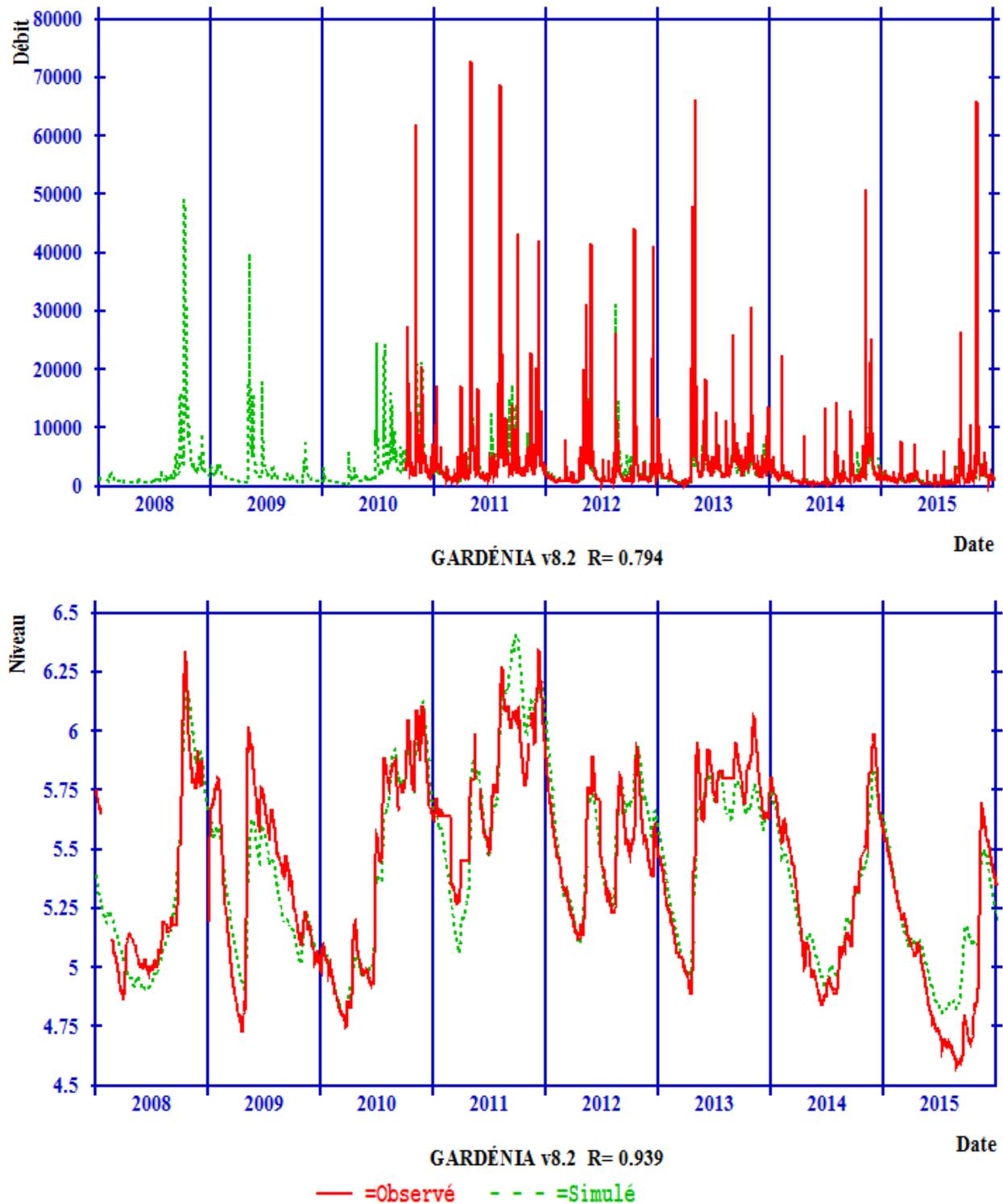


Figure 26 : Calage Pluie / Niveau Piézométrique à Habitation Ressource (m) / Débit à Pont RN1 (l/s)

Le débit de vidange pour le bassin versant de la Lézarde aval à Pont RN1, correspond aux valeurs minimales du nuage de point de la relation Débit / Piézométrie (Figure 27), illustré par les points rouges avec le piézomètre Lamentin – Habitation Ressource.

Cette relation permet ainsi de définir le **débit minimal probable** pour un niveau piézométrique donné.

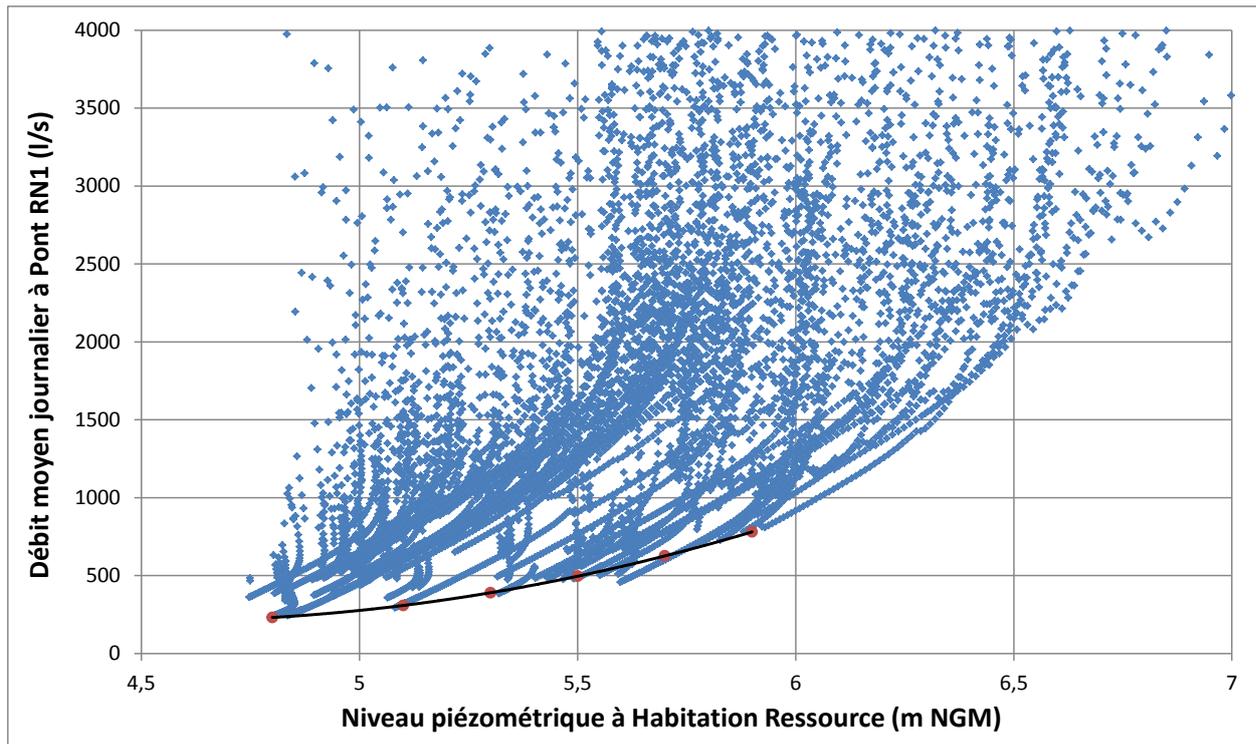


Figure 27 : Corrélation Débit / Piézométrie simulés à Pont RN1 et Habitation Ressource (1991 – 2015)

La qualité relativement moyenne des ajustements sur les débits peut s'expliquer, tout au moins en partie, par :

- la difficulté de réalisation de station hydrométrique fiable, précise et sensible sur toute la gamme des débits. Certaines de ces stations hydrométriques étant à orientation « annonce de crues », elles n'ont pas vraiment vocation à être utilisées en étiage ;
- la non prise en compte des données de prélèvements ;
- l'hétérogénéité des formations géologiques rencontrées, la possibilité d'éventuels échanges interbassins ou de débits non contrôlés.

D'une manière générale, quel que soit le piézomètre utilisé, les coefficients d'ajustement de Nash (Tableau 10) sont meilleurs sur les niveaux, voir excellents au piézomètre Habitation Ressource, que sur les débits (entre 0,70 et 0,85).

Pour ce dernier, les coefficients d'ajustement sont compris entre 0,93 et 0,94, ils confirment la bonne représentativité de ce piézomètre pour les stations aval (Petite Rivière, Lézarde aval) et pour la station de Rivière Blanche sur la période 2008 – 2015. En 2006 / 2007, les chroniques comportent un décalage significatif entre « simulé » et « observé » qui s'explique par la réalisation de pompages d'essais sur la plaine du Lamentin dans le forage LaF1.

Le piézomètre de Gros Morne – La Borelli, avec des coefficients compris entre 0,85 et 0,87, est quant à lui d'avantage représentatif des bassins versants amont de la masse d'eau Centre.

Piézomètre / Bassin versant	Habitation Ressource		La Borelli	
	Débit	Niveau piézométrique	Débit	Niveau piézométrique
Lézarde aval	0,79	0,94	0,78	0,82
Petite Rivière	0,73	0,94	0,70	0,83
Rivière Blanche	0,80	0,93	0,77	0,77
Lézarde amont	0,82	0,90	0,78	0,87
Petite Lézarde	0,85	0,89	0,83	0,85

Tableau 10 : Coefficients d'ajustement de Nash pour les différentes modélisations réalisées aux piézomètres Habitation Ressource et La Borelli (2008 – 2015)

7.3. VALEURS SEUILS

Le Tableau 11 indique les valeurs seuils du piézomètre Lamentin – Habitation Ressource définies à partir de la relation Débit / Piézométrie obtenue au paragraphe précédent et des valeurs seuils des débits caractéristiques fournis par la DEAL, au droit des deux stations hydrométriques.

Station	Système	DMB	DCR	DOE	DSA
Pont RN1	Lézarde (m3/s)	0,85		1,14	1,37
Habitation Ressource	FRJ204 (m NGM)	5,98		6,28	6,49

Station	Système	DMB	DCR	DOE	DSA
Brasserie Lorraine	Petite Rivière (m3/s)	0,1		0,185	0,222
Habitation Ressource	FRJ204 (m NGM)	5,45		5,8	5,94

Tableau 11 : Valeurs seuils piézométriques issues des débits caractéristiques définis aux différentes stations de la masse d'eau Centre

7.4. ÉVALUATION STATISTIQUE : VALEURS FRÉQUENTIELLES

Une analyse fréquentielle des niveaux a été rendue possible suite à l'extension par simulation des niveaux journaliers sur la période 1991 - 2015.

a) Au piézomètre Lamentin – Habitation Ressource

Les tableaux suivants récapitulent les résultats des ajustements statistiques selon une loi de Gauss sur les niveaux piézométriques simulés au piézomètre Lamentin - Habitation Ressource au droit des différentes stations hydrométriques de la masse d'eau Centre. Ces ajustements ont été réalisés aux pas de temps journalier (

Tableau 12) et mensuel (Tableau 13).

Valeurs minimales journalières										
Période de retour (années)	Lézarde aval		Petite Rivière		Rivière Blanche		Lézarde amont		Petite Lézarde	
	Np	Qm	Np	Qm	Np	Qm	Np	Qm	Np	Qm
2	5,20	0,35	5,25	0,06	4,92	0,49	4,93	0,14	4,98	0,07
5	4,92	0,26	4,94	0,02	4,81	0,40	4,77	0,11	4,87	0,04
10	4,77	0,23	4,78	0,01	4,75	0,36	4,69	0,10	4,81	0,02
20	4,65	0,21	4,65	0,01	4,70	0,33	4,62	0,09	4,76	0,01

Np : Niveau piézométrique (m NGM)

Qm : Débit minimal correspondant (m3/s)

Tableau 12 : Valeurs fréquentielles journalières des niveaux piézométriques moyens minimaux de Habitation Ressource et débits minimaux correspondants pour les différentes modélisations

Valeurs minimales mensuelles										
Période de retour (années)	Lézarde aval		Petite Rivière		Rivière Blanche		Lézarde amont		Petite Lézarde	
	Np	Qm	Np	Qm	Np	Qm	Np	Qm	Np	Qm
2	5,25	0,37	5,29	0,07	4,98	0,53	5,00	0,15	5,25	0,14
5	4,97	0,27	4,98	0,03	4,85	0,44	4,84	0,13	4,97	0,06
10	4,82	0,23	4,82	0,01	4,79	0,39	4,75	0,11	4,82	0,02
20	4,69	0,22	4,68	0,01	4,73	0,35	4,68	0,10	4,69	0,00

Np : Niveau piézométrique (m NGM)

Qm : Débit minimal correspondant (m³/s)

Tableau 13 : Valeurs fréquentielles mensuelles des niveaux piézométriques moyens minimaux de Habitation Ressource et débits minimaux correspondants pour les différentes modélisations

On constate que les niveaux piézométriques fréquents obtenus ne sont pas identiques et qu'ils varient suivant le bassin versant modélisé et suivant la période de retour considérée.

Les débits fournis dans ces tableaux sont issus des débits simulés. Or, ceux-ci ont été simulés avec des calages réalisés sur les débits observés et non sur les débits naturels reconstitués. Afin d'évaluer les débits fréquents naturels, il convient donc, en première approximation, d'ajouter à ces valeurs la totalité des débits prélevés en amont des sites de modélisation.

Les écarts obtenus sur ces valeurs fréquentielles sont relativement significatifs. Les motifs probables de ces écarts sont multiples. On peut ainsi soupçonner la précision des mesures, l'hétérogénéité hydrogéologique et/ou climatique et la qualité du calage qui en découle, mais également et principalement, la « non prise en compte des prélèvements » qui induit une mauvaise simulation des très faibles niveaux piézométriques. Il est toutefois possible de décomposer les résultats en 3 familles :

- les modélisations amont de la Lézarde (Lézarde Amont et Petite Lézarde) ;
- les modélisations de Rivière Blanche ;
- et les modélisations des stations aval avec des valeurs fréquentielles quasiment identiques (Lézarde Aval et Petite Rivière).

D'une manière générale, on notera que les débits minimums moyens mensuels ne sont que très légèrement supérieurs aux débits minimums moyens journaliers, traduisant une vidange relativement rapide, en adéquation avec une réponse rapide à la pluviométrie.

b) Au piézomètre Gros Morne - La Borelli

Une analyse fréquentielle des niveaux a été rendue possible suite à l'extension par simulation, des niveaux piézométriques journaliers sur la période 1991 - 2015.

Les tableaux suivants récapitulent les résultats des ajustements statistiques selon une loi de Gauss sur les niveaux piézométriques simulés à Gros Morne – La Borelli au droit des différentes stations hydrométriques de la masse d'eau Centre. Ces ajustements ont été réalisés aux pas de temps journalier (Tableau 14) et mensuel (Tableau 15).

Valeurs minimales journalières				
Période de retour (années)	Lézarde amont		Petite Lézarde	
	Np	Qm	Np	Qm
2	191,94	0,087	191,98	0,017
5	191,88	0,063	191,95	0,000
10	191,84	0,050	191,93	0,000
20	191,82	0,040	191,91	0,000

Np : Niveau piézométrique (m NGM)

Qm : Débit minimal correspondant (m³/s)

Tableau 14 : Valeurs fréquentielles journalières des niveaux piézométriques minimaux obtenus par ajustement statistiques des niveaux simulés.

Valeurs minimales mensuelles				
Période de retour (années)	Lézarde amont		Petite Lézarde	
	Np	Qm	Np	Qm
2	191,97	0,099	191,97	0,012
5	191,89	0,068	191,89	0,000
10	191,85	0,051	191,85	0,000
20	191,82	0,040	191,81	0,000

Np : Niveau piézométrique (m NGM)

Qm : Débit minimal correspondant (m³/s)

Tableau 15 : Valeurs fréquentielles mensuelles des débits minimaux obtenues à partir des valeurs piézométriques fréquentielles et de la relation Débit / Piézométrie.

Les écarts obtenus sur ces valeurs fréquentielles sont relativement faibles sur la moyenne mais significatifs sur l'écart type.

En comparant les résultats figurant dans ces différents tableaux on constate des différences :

- minimales entre les valeurs fréquentielles fournies pour la Lézarde amont ;
- très importantes en pourcentage, mais pour des valeurs très faibles, pour la petite Lézarde.

Notons que pour des périodes de retour de 5, 10 et 20 ans le débit du cours d'eau de la Petite Lézarde est nul.

Ces différences peuvent une nouvelle fois s'expliquer en partie par la « non prise en compte » des volumes prélevés, par les incertitudes des données d'entrée auxquelles il convient d'ajouter celles dues à la modélisation. Ces incertitudes sont d'autant plus importantes que les prélèvements sont significatifs, la taille du bassin versant restreinte et la pluie efficace limitée.

Au regard des coefficients de Nash, les corrélations satisfaisantes poussent à considérer le piézomètre Lamentin – Habitation Ressource comme un indicateur piézométrique représentatif des rivières Lézarde amont et aval, Petite rivière, Rivière Blanche et Petite Lézarde. Gros Morne – La Borelli avec une bonne représentativité des bassins versants amonts peut être considéré comme un indicateur piézométrique des débits d'étiage au droit des stations hydrométriques des rivières Lézarde amont et Petite Lézarde ; néanmoins les faibles variations piézométriques, le rende peu sensible.

8. Masse d'eau Sud Atlantique - FRJ205

8.1. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE ET DONNÉES DISPONIBLES

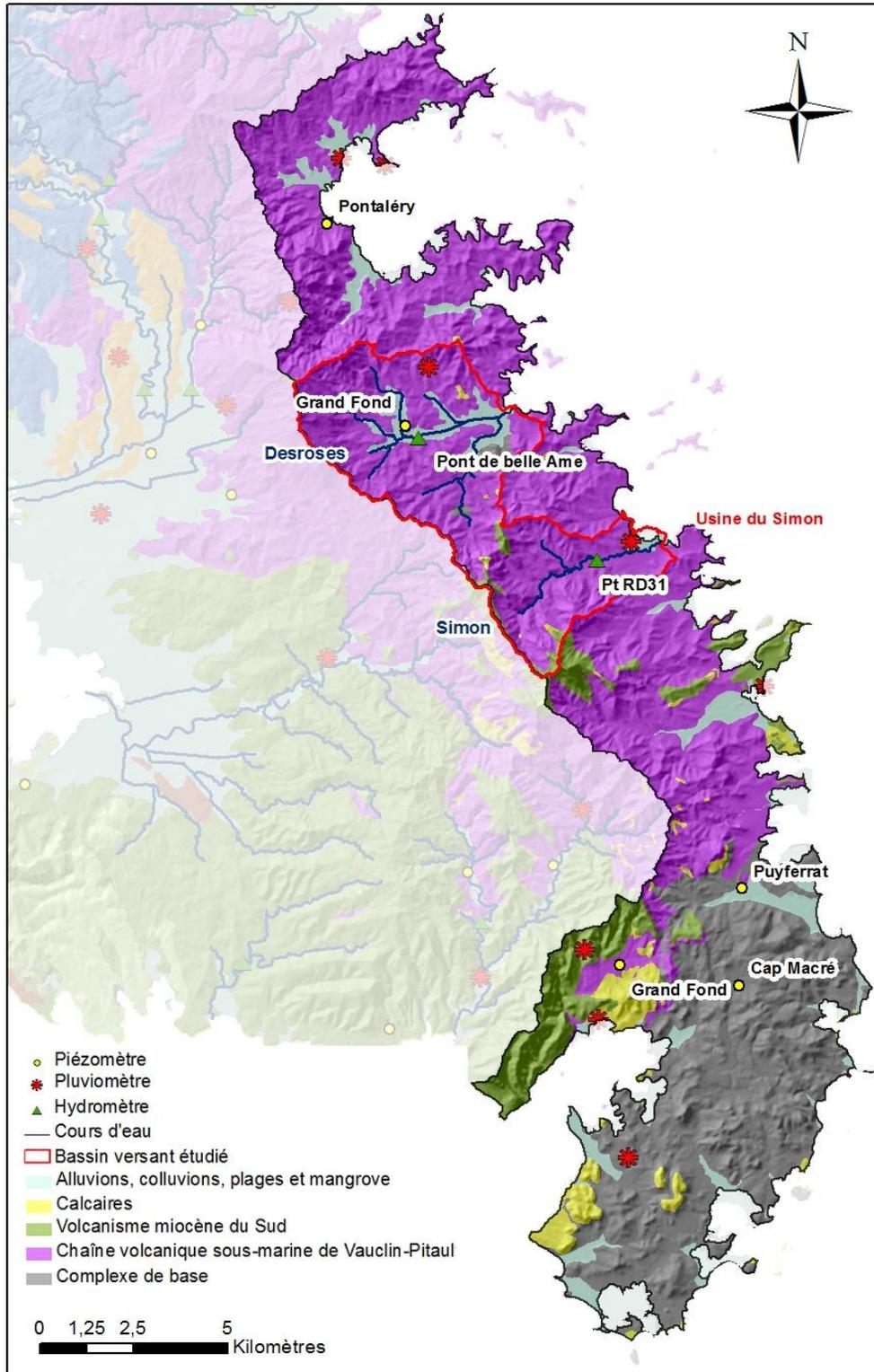


Figure 28 : Masse d'eau souterraine Sud Atlantique – FRJ205 et stations de mesure

Les bassins versants étudiés sur la masse d'eau Sud Atlantique (Figure 28) sont caractérisés par les formations de la chaîne volcanique sous-marine du Vauclin-Pitault avec une géologie caractéristique de l'épisode initial François – Robert et de la phase majeure Vauclin-Pitault ; on y trouve des coulées massives d'andésite et de basalte du Vert-Pré au nord du Robert et majoritairement des hyaloclastites sur le François et le Vauclin.

Cette masse d'eau souterraine est à relier à la rivière Desroses ainsi qu'à la rivière Simon au François.

La pluviométrie utilisée est celle mesurée au poste du François – Simon.

Les données hydrométriques disponibles au droit de cette masse d'eau souterraine sont issues de 2 stations des réseaux de la DEAL et du Conseil Général, cependant elles ont peu d'années d'observation disponibles, il s'agit de :

- Pont Belle Ame - Desroses ;
- RD31 Simon – Rivière Simon.

Les fluctuations des piézomètres appartenant à la masse d'eau sont reportées en Figure 29 (les forages Marin – Grand Fond et Vauclin Puyferrat n'ont pas été retenus car sous influence de pompage et celui de Marin – Cap Macré présente de nombreuses lacunes) :

- Robert - Pontalery 1179ZZ0300 ;
- François – Grand Fond 1179ZZ0299.

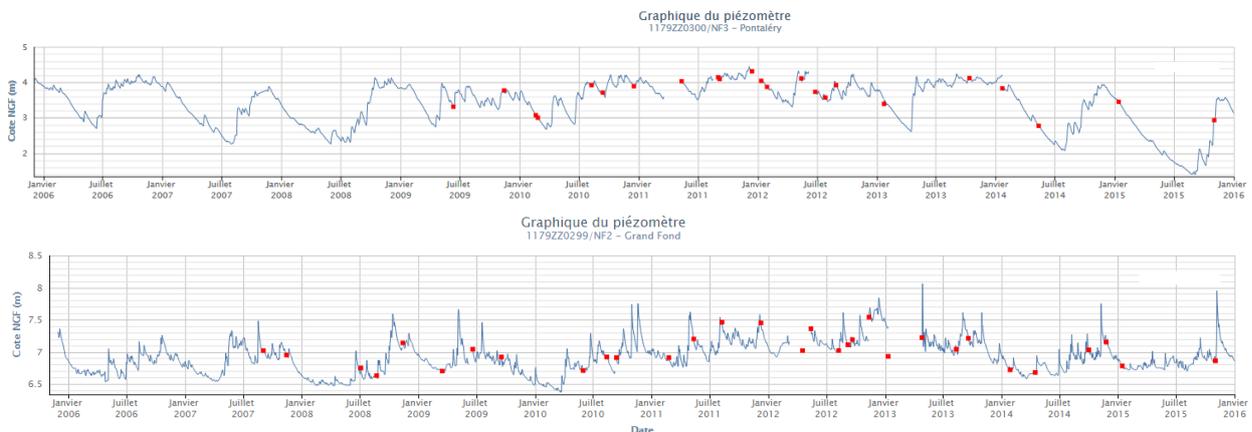


Figure 29 : Niveaux piézométriques observés au droit de la masse d'eau Sud Atlantique

Les deux piézomètres François – Grand Fond et Robert – Pontalery captent des hyaloclastites (Hm_{2b}), les fluctuations piézométriques présentent un cycle saisonnier avec des battements respectivement de 1,5 m et 3 m. Le forage du François reste néanmoins plus réactif à la pluviométrie.

Le forage Lamentin - Habitation Ressource présenté dans le paragraphe précédent, qui capte les basaltes du Vert Pré ($\rho\beta m_{2a}$) est en phase avec Robert - Pontalery. Les systèmes répondent de manière similaire et sont caractéristiques d'un cycle saisonnier.

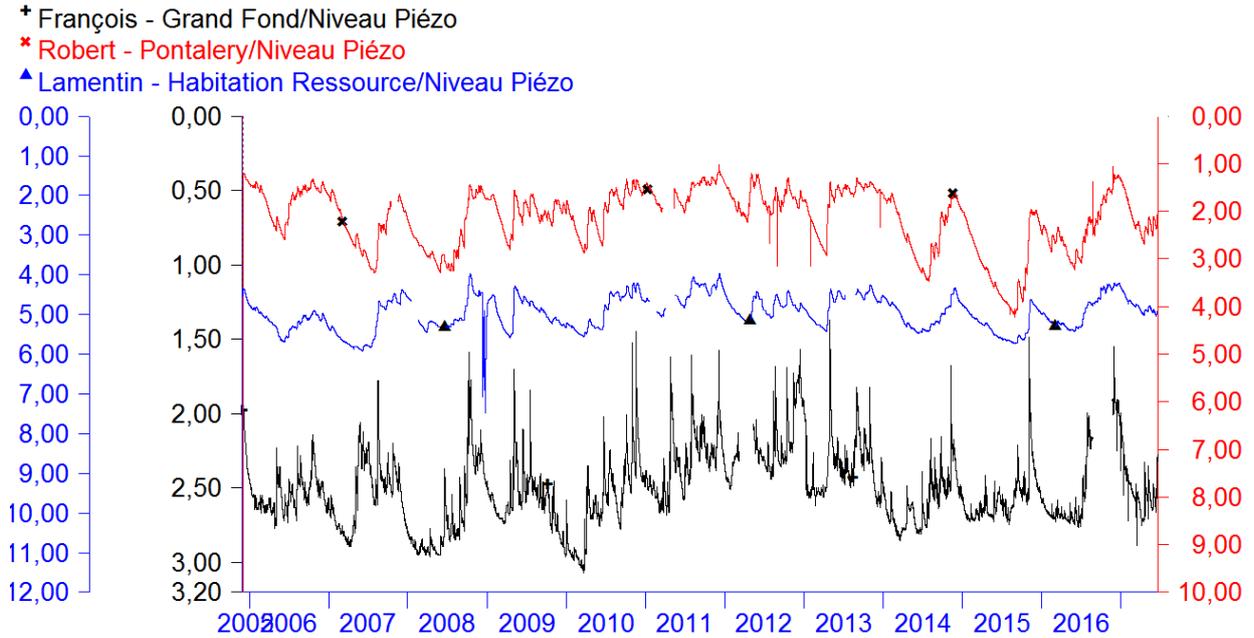
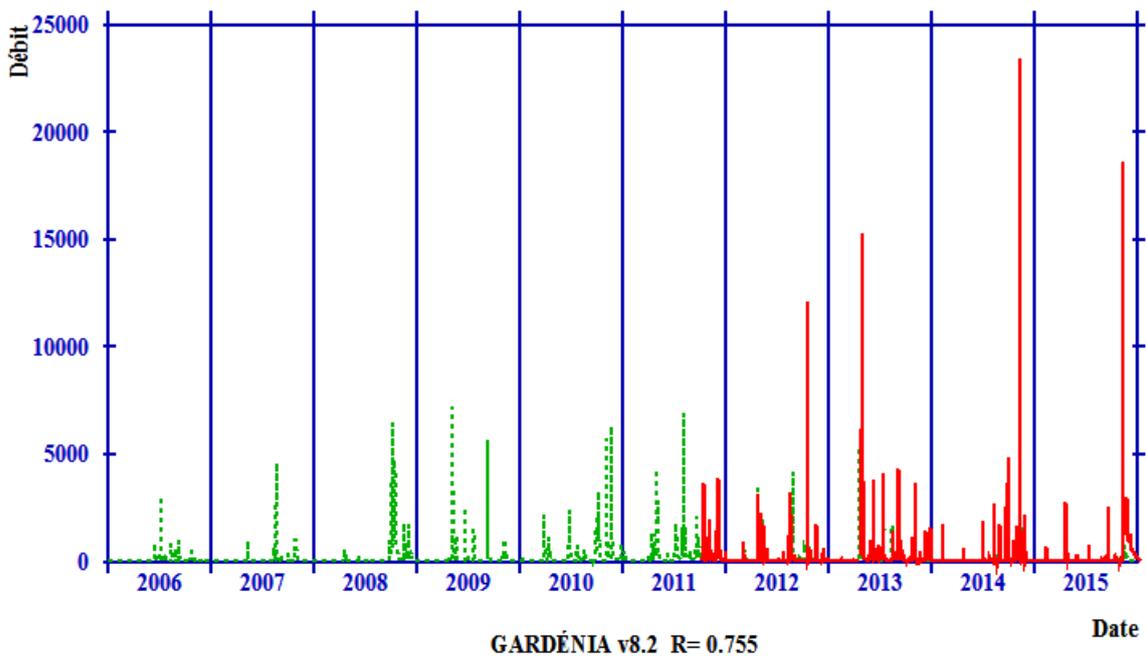


Figure 30 : Superposition des chroniques piézométriques des forages du François – Grand Fond, Robert – Pontalery et Lamentin – Habitation Ressource (profondeur en m)

8.2. MODÉLISATIONS HYDROLOGIQUES GLOBALES

a) Rivière Simon

Les coefficients d'ajustement pour la rivière Simon sont justes acceptables sur les débits avec 0,77 à la station RD31 Simon, et sur les niveaux piézométriques avec 0,73 pour François - Grand Fond (Figure 31).



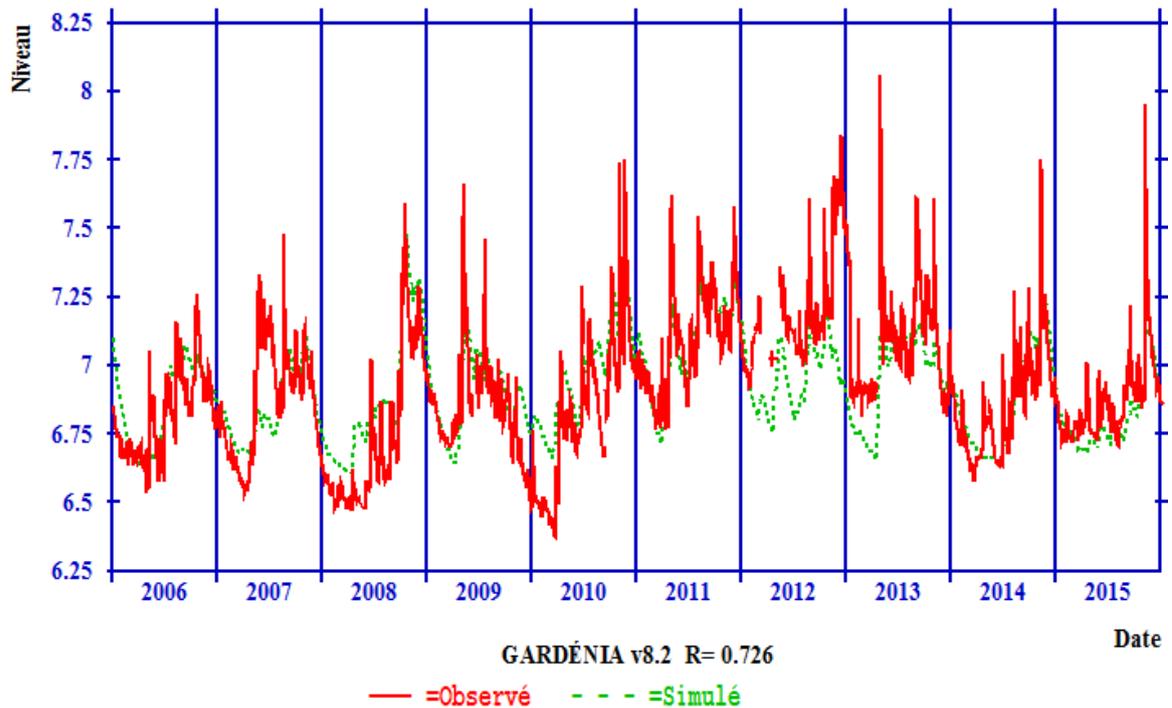


Figure 31 : Calage Pluie / Niveau Piézométrique à Grand Fond (m) / Débit à RD31 Simon (l/s)

Les débits simulés et débits observés étant difficilement comparables, il a été nécessaire de les représenter en échelle logarithmique (Figure 32).

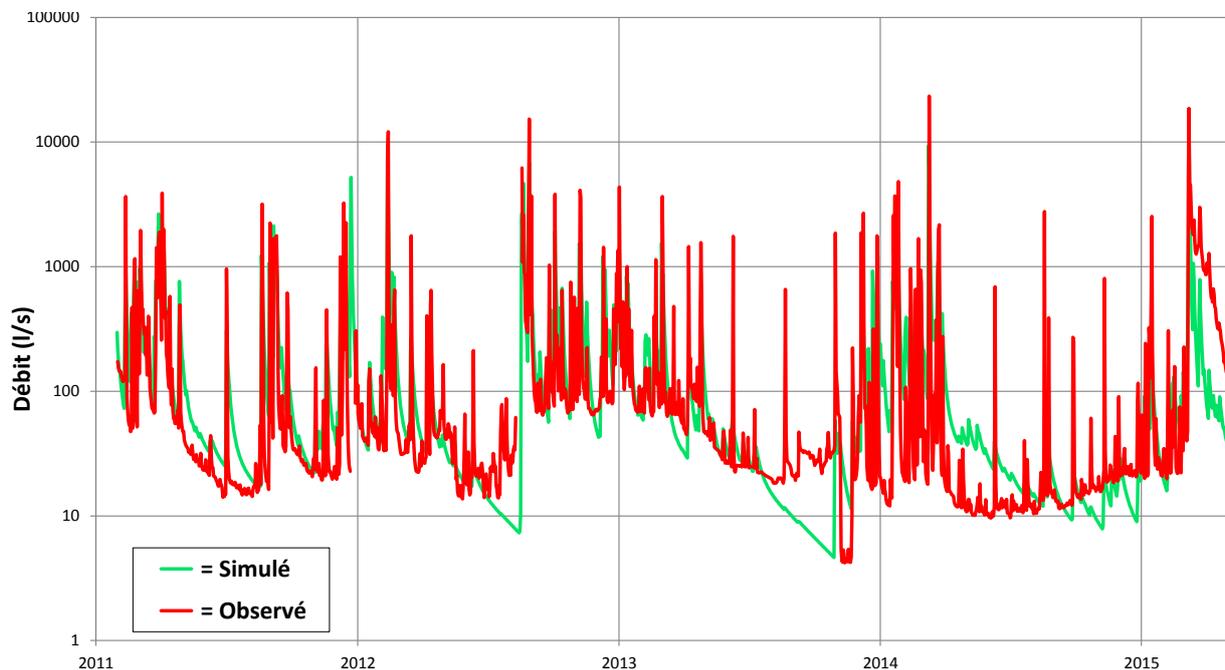


Figure 32 : Comparaison des débits observés - débits simulés à la station RD31 Simon (en l/s)

Ce tracé permet de constater que si le coefficient d'ajustement n'est pas bon, les débits simulés et observés suivent une courbe de décroissance similaire qui s'interrompt toutefois plus tôt pour les valeurs observées. Cette différence pourrait provenir, en partie, d'un décalage en Y sur les débits occasionné par l'absence de prise en compte des débits prélevés.

Il apparaît peu raisonnable d'établir une relation Débit / Piézométrie de François – Grand Fond et RD31 Simon, un calage de ce type ne serait pas suffisamment fiable.

b) Rivière Desroses

Les essais de calage n'ont pas été concluants pour le bassin versant de la rivière Desroses avec un coefficient d'ajustement considéré insuffisant sur les débits (0,60) à la station Pont de Belle Ame et un coefficient d'ajustement sensiblement meilleur en piézométrie (0,79) au forage François – Grand Fond (cf. Annexe 6). La relation Débit / Piézométrie n'a donc pas été retenue.

Les causes de cet échec sont probablement multiples avec toutefois un impact non négligeable dû à une mauvaise sensibilité de la station hydrométrique.

c) Modélisation Pluie / Niveau Piézométrique au Lamentin

En l'absence des relations fiables à partir des piézomètres de la masse d'eau Sud-Atlantique, il a été réalisé la modélisation Pluie / Niveau au piézomètre Lamentin – Habitation Ressource de la masse d'eau Centre, en raison de ses fluctuations piézométriques similaires à celles de Robert – Pontalery. Elle atteint un coefficient d'ajustement de 0,91 sur la période 2008 – 2015 alors que ce dernier est de 0,87 sur la totalité de la période d'observation (Figure 33).

La modélisation réalisée a permis d'étendre la série simulée des niveaux, à l'ensemble de la période d'observations disponibles des pluies soit sur la période de 1991 - 2015.

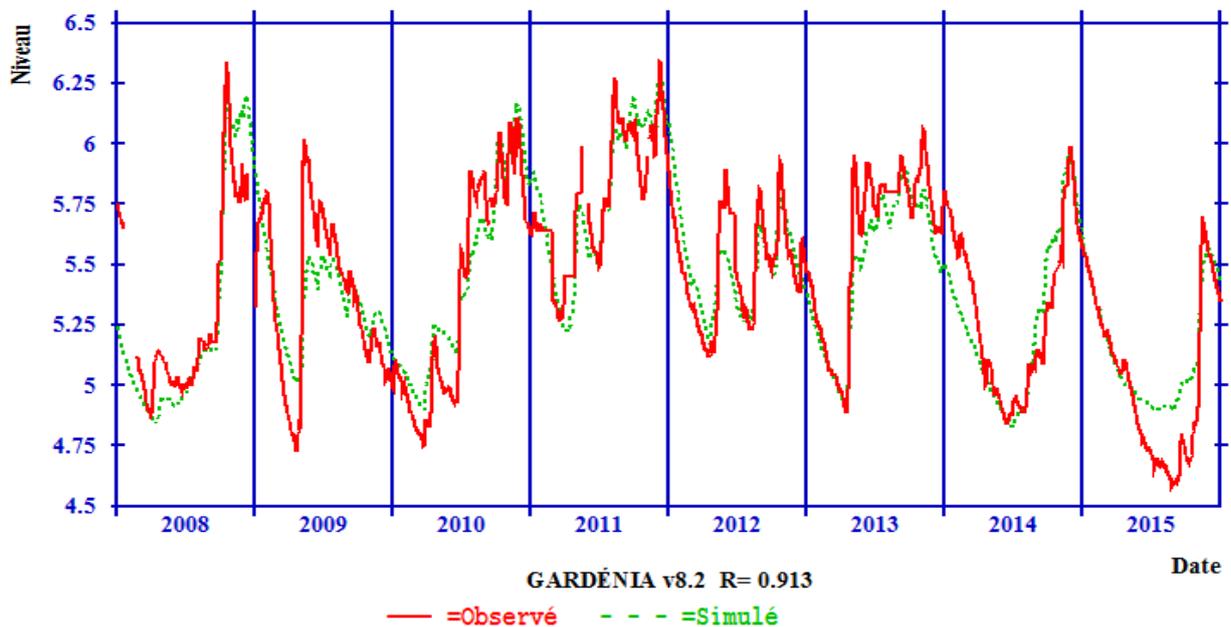


Figure 33 : Calage Pluie / Niveau piézométrique à Habitation Ressource (m)

Le débit de vidange du bassin versant de la rivière Simon à RD31 Simon correspond aux valeurs minimales du nuage de point de la relation Débit / Piézométrie illustrée par les points rouges avec le piézomètre Lamentin – Habitation Ressource en Figure 34.

Cette relation permet ainsi de définir le **débit minimal probable** pour un niveau piézométrique donné.

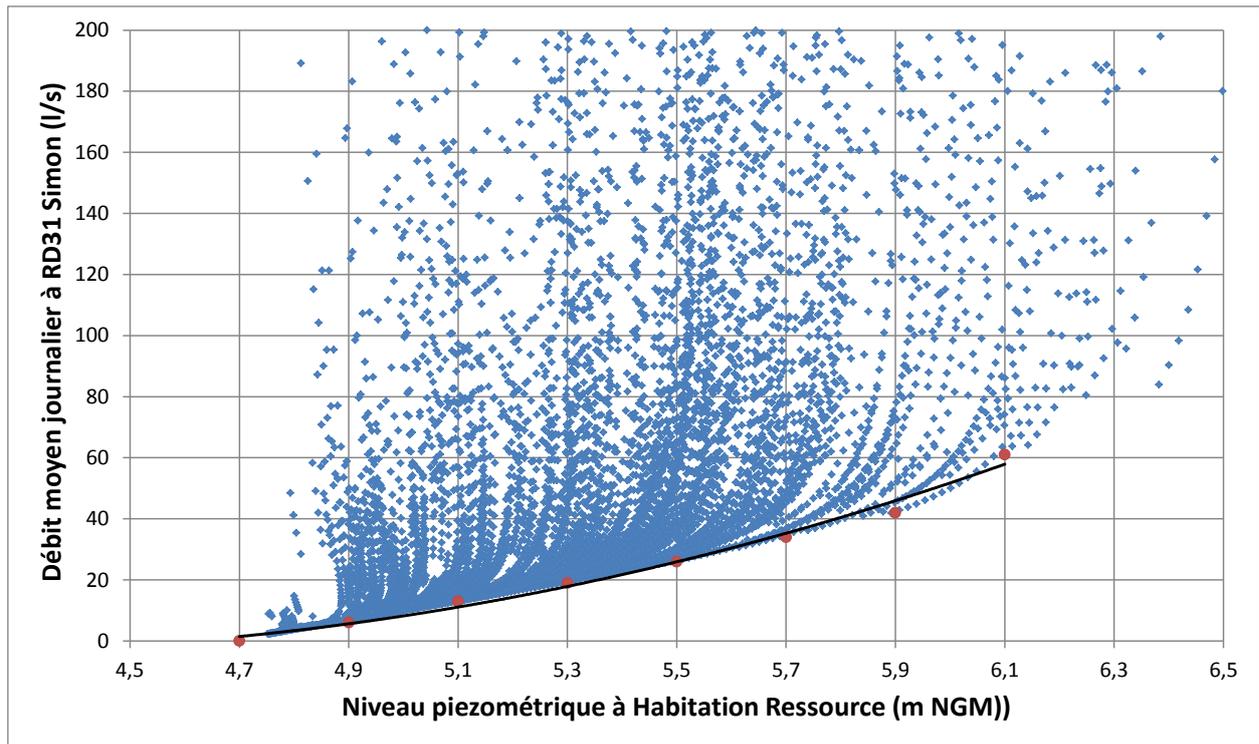


Figure 34 : Corrélation Débit / Piézométrie simulés à Habitation Ressource et RD31 Simon (1991 – 2015)

8.3. ÉVALUATION STATISTIQUE : VALEURS FRÉQUENTIELLES

Le Tableau 16 présente les niveaux piézométriques fréquentiels du piézomètre Habitation Ressource issus du traitement statistique des niveaux simulés sur la période 1991 - 2015 au moyen des calages réalisés au droit de la station RD 31 Simon.

Période de retour (années)	Journalier		Mensuel	
	Np	Qm	Np	Qm
2	4,95	7,0	4,99	8,0
5	4,84	4,3	4,87	4,8
10	4,78	3,0	4,80	3,4
20	4,73	2,1	4,74	2,3

Np : Niveau piézométrique (m NGM)

Qm : Débit minimal correspondant (l/s)

Tableau 16 : Valeurs fréquentielles journalières et mensuelles des niveaux piézométriques moyens minimaux de Habitation Ressource et débits minimaux correspondants à Habitation Ressource et RD31 Simon (1991 – 2015)

On notera que les débits minimums moyens mensuels sont très légèrement supérieurs aux débits minimums moyens journaliers.

En conclusion, au regard des relations acceptables, le forage Habitation Ressource est considéré comme un indicateur piézométrique de la rivière du Simon. Cependant, aucun piézomètre n'est représentatif de la rivière Desroses.

9. Masse d'eau Sud Caraïbe - FRJ206

9.1. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE ET DONNÉES DISPONIBLES

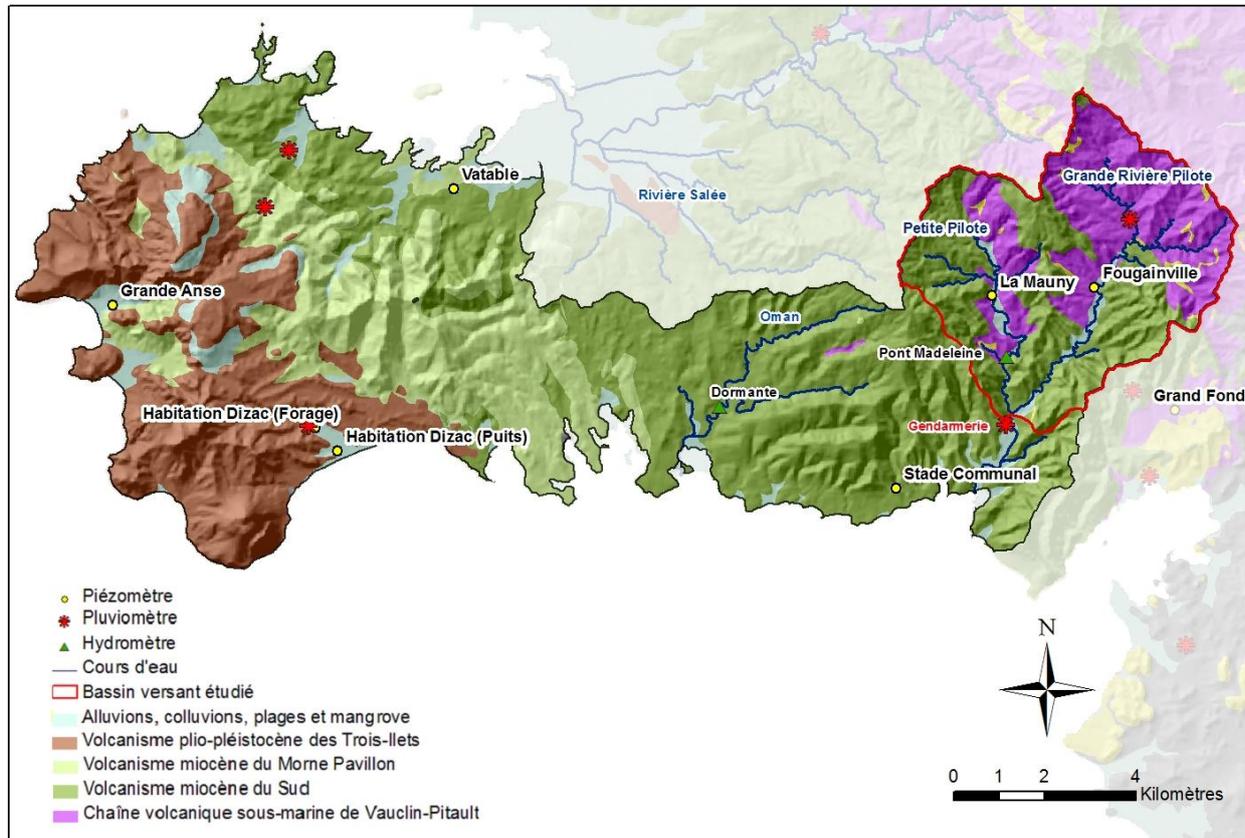


Figure 35 : Masse d'eau souterraine Sud Atlantique – FRJ206 et stations de mesure

Le bassin versant étudié recoupe les formations volcaniques miocènes de la chaîne Vauclin-Pitault et celles de la phase effusive de Rivière Pilote datées entre 10 et 14 Ma. On y retrouve pour l'essentiel des hyaloclastites et des coulées de laves andésitiques et basaltiques.

Cette masse d'eau souterraine est à relier aux masses d'eau « cours d'eau » de la rivière Oman et de la Grande Rivière Pilote.

La pluviométrie utilisée est celle mesurée au poste de Rivière Pilote – Gendarmerie.

Les données hydrométriques disponibles au droit de cette masse d'eau sont issues de 2 stations du réseau de la DEAL, il s'agit de :

- Dormante - Oman ;
- Pont Madeleine – Petite Pilote.

Les fluctuations des piézomètres appartenant à la masse d'eau sont reportées en Figure 36 (les piézomètres Diamant - Dizac Puits et Saint-Luce – Stade Communal n'ont pas été retenus en raison d'importantes lacunes des chroniques ou du manque de représentativité de la masse d'eau) :

Détermination des seuils de vigilance

- Anses d'Arlet – Grande Anse ;
- Trois Ilets – Vatable 1181ZZ0132/PZ ;
- Diamant – Dizac Forage 1184ZZ0001/S1
- Rivière Pilote - Fougainville 1183ZZ0052/PZ ;
- Rivière Pilote - La Mauny 1183ZZ0024/S2

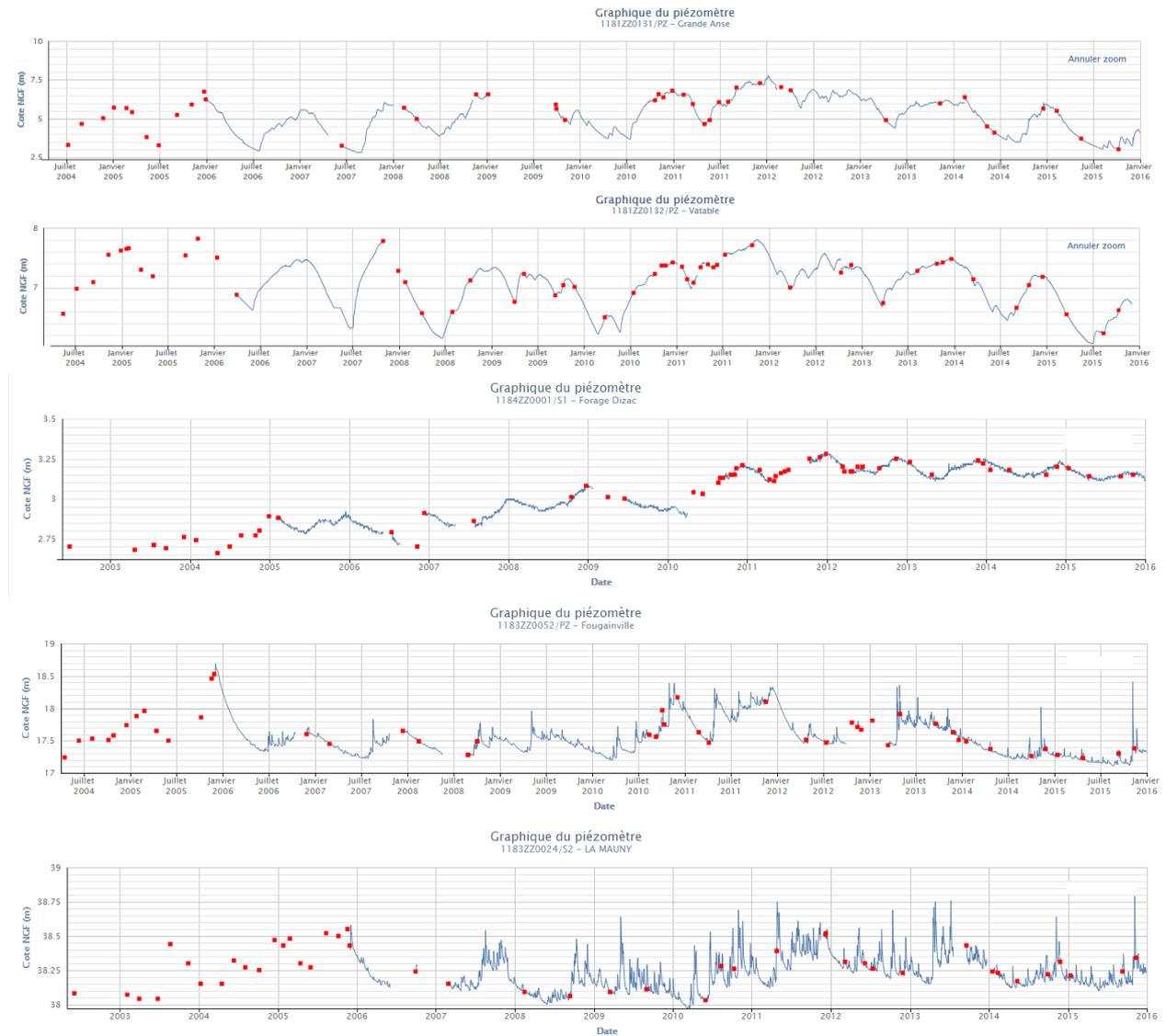


Figure 36 : Niveaux piézométriques observés au droit de la masse d'eau Sud Caraïbe

Ces chroniques piézométriques mettent en évidence des comportements hydrodynamiques différents. La superposition des fluctuations des piézomètres en Figure 37 montre que les piézomètres ne sont pas tous en phase et présentent des amplitudes variables. Aussi, même s'ils sont identifiés dans la même masse d'eau, ils ne se situent pas dans le même aquifère et ont, *a priori*, des caractéristiques différentes.

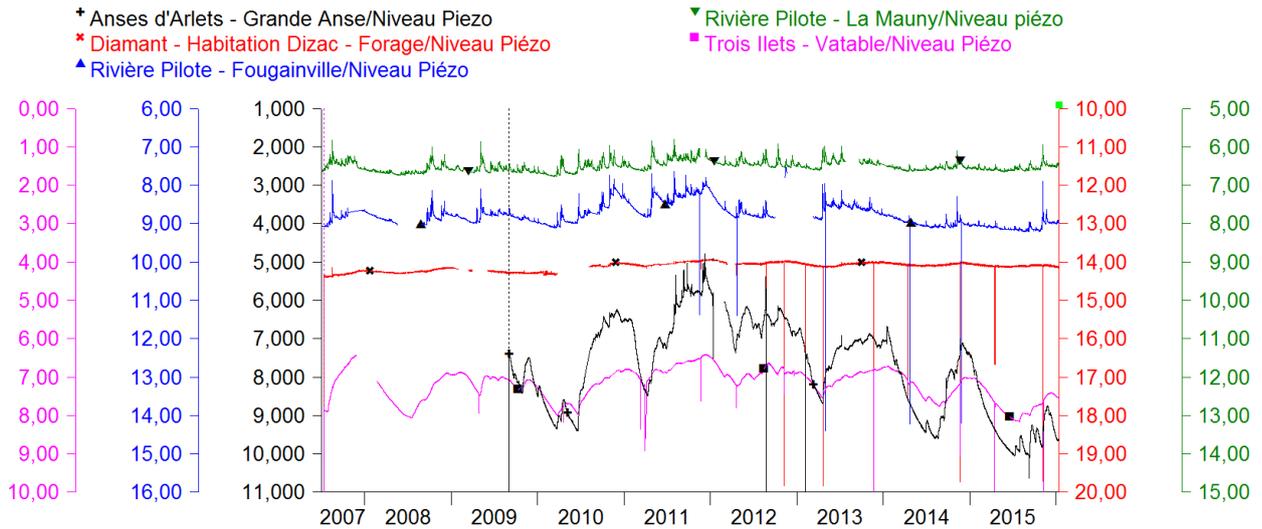


Figure 37 : Comparaison des amplitudes et variations de niveau au droit des piézomètres de la masse d'eau Sud Caraïbe

Il est possible de regrouper les aquifères selon trois types de fluctuations :

- cycle pluviométrique et saisonnier, pour Rivière Pilote – La Mauny qui recoupe les des hyaloclastites et Rivière Pilote – Fougainville dans des andésites, tous deux avec des battements inférieurs à 1,5m ;
- cycle saisonnier aux Trois Ilets – Vatable et Anses d'Arlet – Grande Anse, dont les aquifères se situent dans des andésites, avec des battements de 2 m à 5 m respectivement ;
- cycle mixte : saisonnier et pluriannuel, pour le forage de Diamant – Dizac dont l'aquifère se situe dans des ponces (porosité de matrice) avec des battements inférieur à 1 m.

9.2. MODÉLISATIONS HYDROLOGIQUES GLOBALES

Le forage Diamant – Dizac forage connaît des fluctuations piézométriques pluriannuelles d'au moins 5 ans ; avec un suivi de 10 ans, il ne présente pas de cycle complet permettant de réaliser des essais de modélisation fiables. Les coefficients d'ajustement de Nash sont joints en Annexe 1 et les calages en Annexe 7.

a) Rivière Oman

Les essais de calage ont été réalisés pour la rivière Oman à partir de la station hydrométrique Dormante et les différents piézomètres de la masse d'eau ; seule la modélisation avec le piézomètre de Rivière Pilote - Fougainville paraît cohérent et peut être utilisé (même s'il ne se situe pas dans son bassin versant).

b) Petite rivière Pilote

Pour la Petite rivière Pilote, les modélisations ont été aussi réalisées avec le piézomètre Rivière Pilote - Fougainville et la station hydrométrique Pont Madeleine. Les résultats sont présentés en

Figure 38. Si le coefficient d'ajustement sur les débits n'est pas très bon (0,76), celui sur les niveaux piézométriques est nettement meilleur (0,92).

Sans utilisation des données piézométriques, le coefficient de calage est très peu différent (0,78) ce qui indique que les variations piézométriques sont cohérentes avec les informations climatologiques.

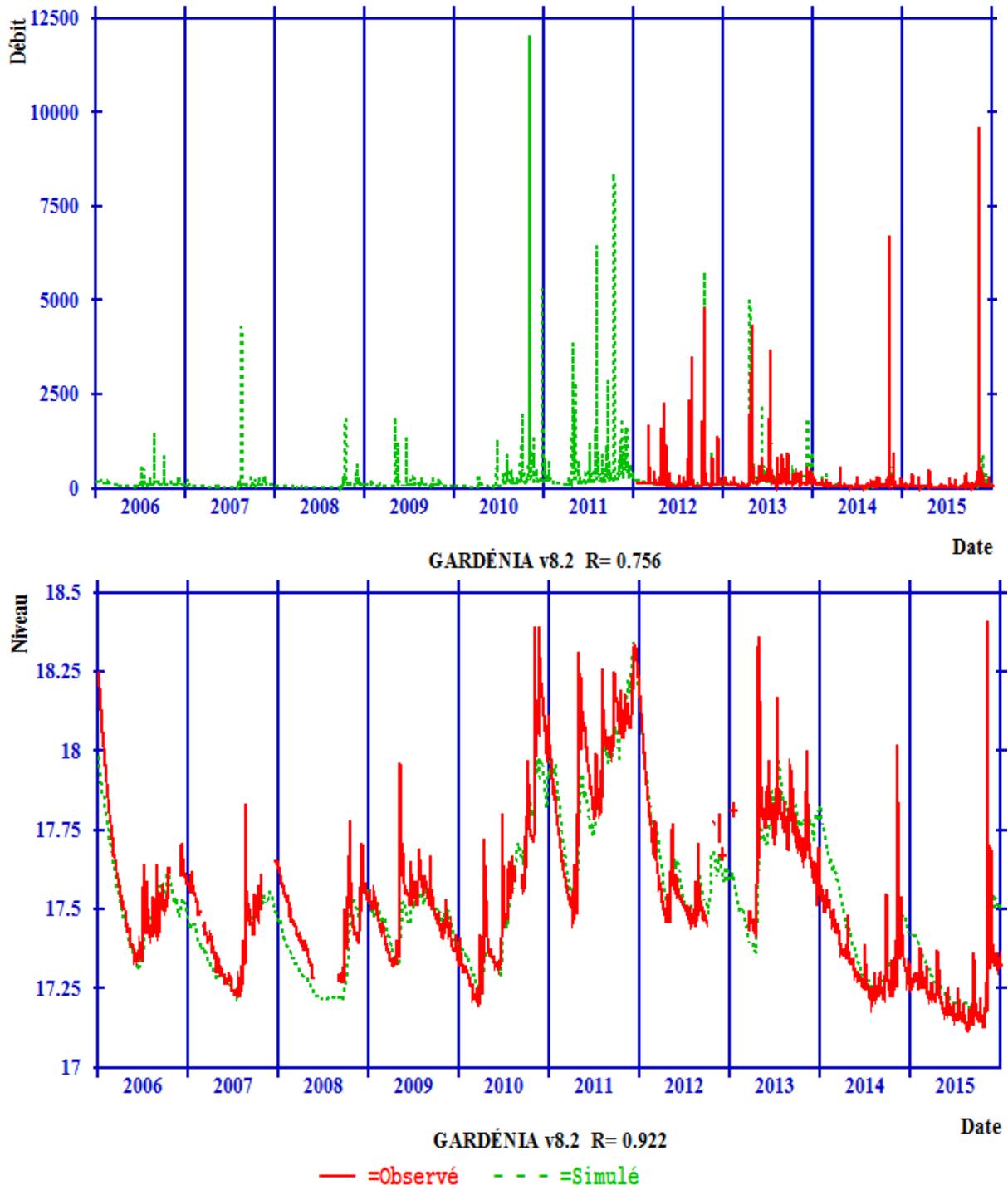


Figure 38 : Calage Pluie / Niveau piézométrique à Fougainville (m) / Débit à Pont Madeleine (l/s)

Cette modélisation a permis d'étendre la série simulée des niveaux à l'ensemble de la période d'observations disponibles des pluies, soit sur la période 1991 – 2015 et de définir la relation Débit / Piézométrie présentée en Figure 39.

En considérant qu'il n'y a pas de pompage en amont et aux incertitudes de mesure près, le débit de vidange pour le bassin versant de Petite rivière Pilote à Pont Madeleine correspond aux valeurs minimales du nuage de points de la relation Débit / Piézométrie, illustré par les points rouges avec le piézomètre Rivière Pilote - Fougainville.

Cette relation permet ainsi de définir le **débit minimal probable** pour un niveau piézométrique donné.

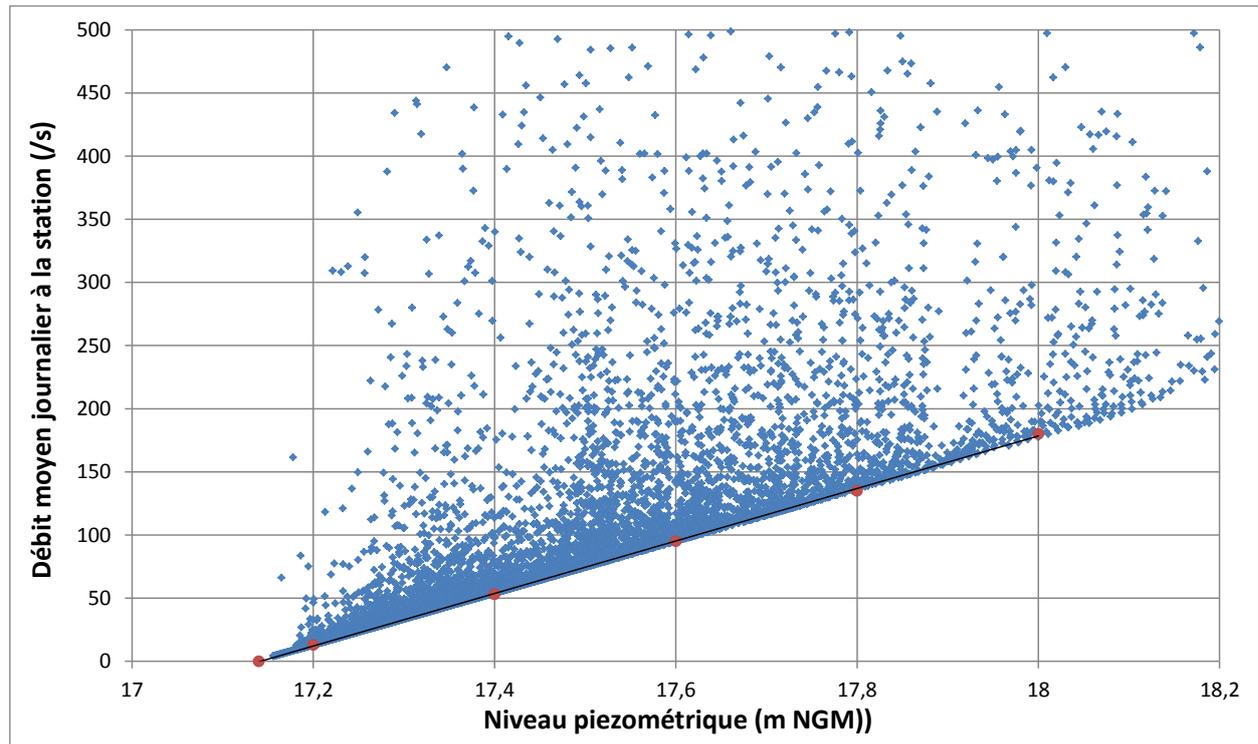


Figure 39 : Corrélation Débit / Piézométrie simulés à Fougainville et Pont Madeleine (1991 – 2015)

9.3. ÉVALUATION STATISTIQUE : VALEURS FRÉQUENTIELLES

Le Tableau 17 présente les niveaux piézométriques fréquentiels issus du traitement statistique selon une loi de Gauss sur la période 1991 – 2015 au piézomètre Rivière Pilote – Fougainville au droit de la station Pont Madeleine.

Le tableau suivant présente les résultats des ajustements statistiques selon une loi de Gauss sur les débits et niveaux piézométriques simulés à Fougainville au droit de la station hydrométrique Pont Madeleine. Ces ajustements ont été réalisés aux pas de temps journalier et mensuel (Tableau 17).

Période de retour (années)	Journalier		Mensuel	
	Np	Qm	Np	Qm
2	17,28	29	17,30	33
5	17,20	11	17,20	13
10	17,15	2	17,15	3
20	17,12	0	17,11	0

Np : Niveau piézométrique (m NGM)

Qm : Débit minimal correspondant (l/s)

Tableau 17 : Valeurs fréquentielles journalières et mensuelles des niveaux piézométriques moyens minimaux et débits minimaux correspondants à Fougainville et Pont Madeleine (1991 – 2015)

9.4. MODÉLISATION PLUIE / NIVEAU PIÉZOMÉTRIQUE AUX TROIS ILETS

Aucune station hydrométrique ne peut être associée au piézomètre de Trois Ilets - Vatable. Il est apparu toutefois intéressant de tester un calage pluie / Piézométrie sur cet ouvrage afin de montrer qu'il est possible de caler puis simuler une série de données piézométriques afin d'évaluer une valeur fréquentielle des niveaux piézométriques et évaluer ainsi la fréquence d'un étiage.

Le pluviomètre exploité est celui des Trois Ilets.

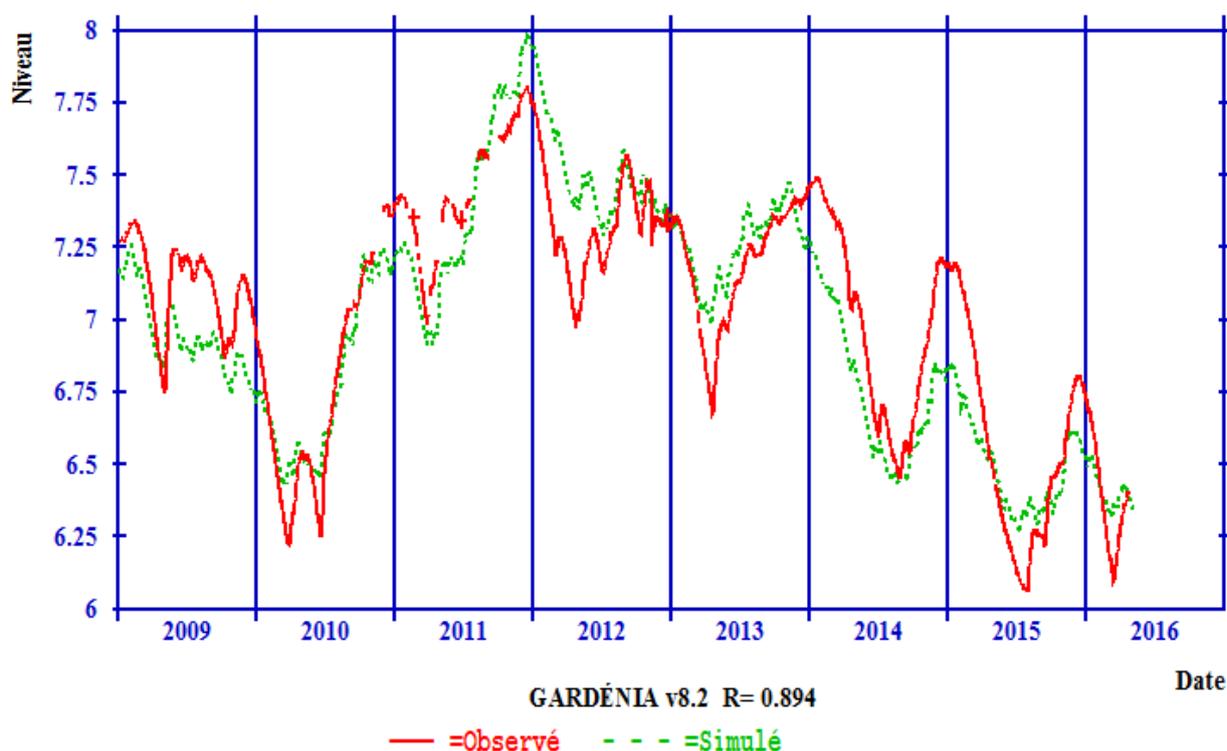


Figure 40 : Calage Pluie / Niveau piézométrie à Vatable (m)

9.5. ÉVALUATION STATISTIQUE : VALEURS FRÉQUENTIELLES

Le Tableau 18 indique les niveaux piézométriques fréquentiels du piézomètre Trois Ilets - Vatable issus du traitement statistique des niveaux simulés sur la période 1991 – 2015.

Période de retour (années)	Niveau piézométrique (m NGM)	
	Journalier	Mensuel
2	6,68	6,73
5	6,35	6,40
10	6,18	6,23
20	6,03	6,08

Tableau 18 : Valeurs fréquentielles journalières et mensuelles des niveaux piézométriques moyens minimaux à Vatable obtenus (1991 – 2015)

On notera que les niveaux piézométriques minimums moyens mensuels sont sensiblement supérieurs aux niveaux minimums moyens journaliers. Cette différence est significative d'une vidange relativement rapide, en adéquation avec une faible inertie.

En conclusion, le piézomètre Rivière Pilote – Fougainville a été retenu comme indicateur piézométrique des rivières Oman et Petite Rivière Pilote.

10. Modélisation en prévision (GARDENIA)

Une fois calés, les modèles peuvent aussi être exploités pour réaliser de la prévision. Les scénarii à simuler sont alors fonction des objectifs assignés au départ de l'étude :

- évaluation de l'impact de scénarios climatiques ;
- recherche d'une configuration optimale de prélèvements permettant de respecter des contraintes ;
- prévision d'un état piézométrique face à une demande en eau accrue.

Dans le cadre de cette étude, il est paru intéressant, à titre d'exemple, de simuler les débits fréquentiels du bassin versant de Rivière Blanche au Lamentin. Les précipitations n'étant pas connues après la date d'émission de la prévision, il est nécessaire de faire des hypothèses sur les précipitations futures.

La méthode de prévision employée par GARDENIA est la suivante :

- On rassemble un certain nombre d'années de précipitations réellement observées, de l'ordre de 30 à 50 ans si possible (ici, ce sont les données de la station utilisée pour le calage qui a été utilisée sur toute la période disponible même si elle paraît toutefois trop courte.).
- On suppose qu'après la date d'émission de la prévision (dans cet exemple : le 01 avril 2014) les précipitations des 12 mois suivants (avril 2014 à mars 2015) ont une égale probabilité d'être les précipitations des mois d'avril à mars de l'année à modéliser (2014-2015). A partir des états du modèle (niveaux de ses réservoirs), GARDÉNIA réalise une simulation par année de précipitations disponible à la station (ici, 25 années de précipitations).
- Pour un jour donné on dispose donc de 25 réalisations, soit 25 débits calculés pour le premier avril, de 25 débits calculés pour le deux avril, 25 débits calculés pour le trois avril, etc.
- GARDÉNIA calcule le débit de probabilité de non-dépassement X % en classant tout simplement les 25 réalisations et en calculant le quantile X %. Ce calcul est fait séparément pour chaque pas de temps (pour chacun des 365 jours de la période du 1 avril au 31 mars dans notre cas).
- Pour une probabilité de non-dépassement donnée (de 90 % par exemple) on dispose chaque jour d'un débit (qui correspond à des années différentes). GARDÉNIA édite alors ces débits et les dessine. Ce sont des débits probabilistes.
- **La courbe tracée donne pour chaque jour, le débit ayant une probabilité de non dépassement donnée.** Il faut noter que la courbe de 20% correspond au respect de la directive cadre (8 année sur 10), raison pour laquelle elle est tracée en gras (mauve) sur les graphiques.
- GARDÉNIA réalise également une prévision sans aucune précipitation après la date d'émission de la prévision. Cette prévision donne les débits correspondant à la « **prévision garantie** ».

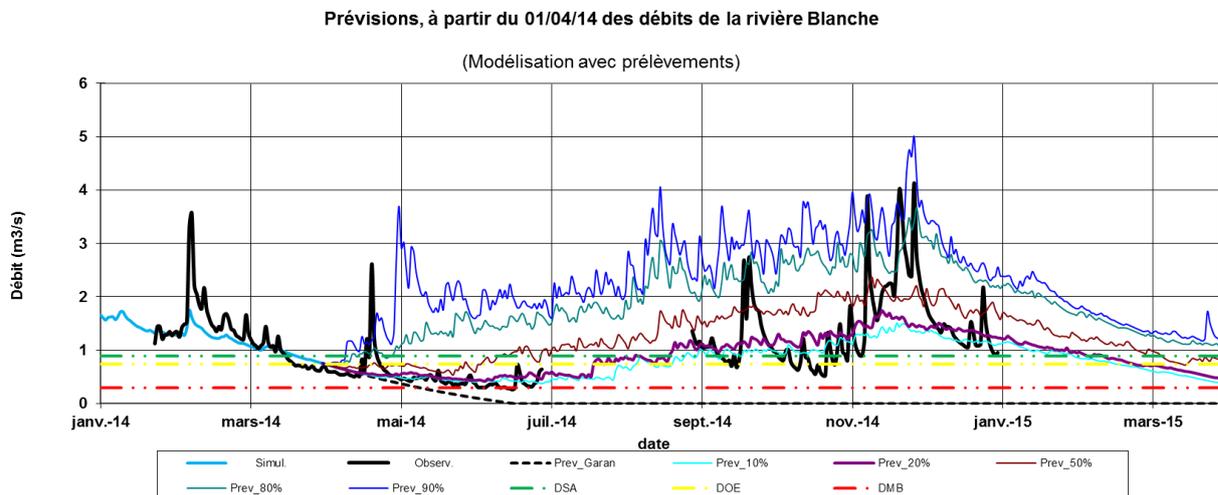
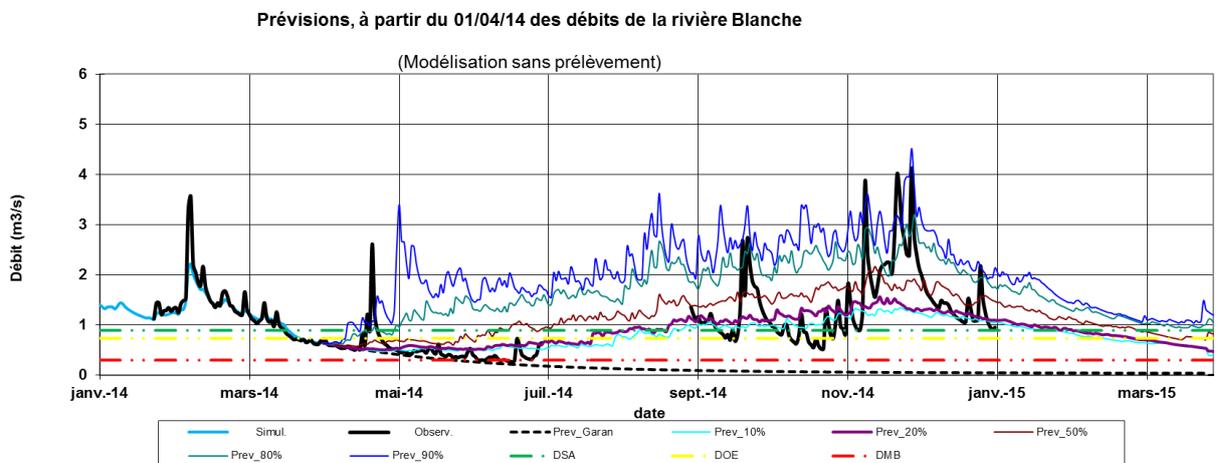
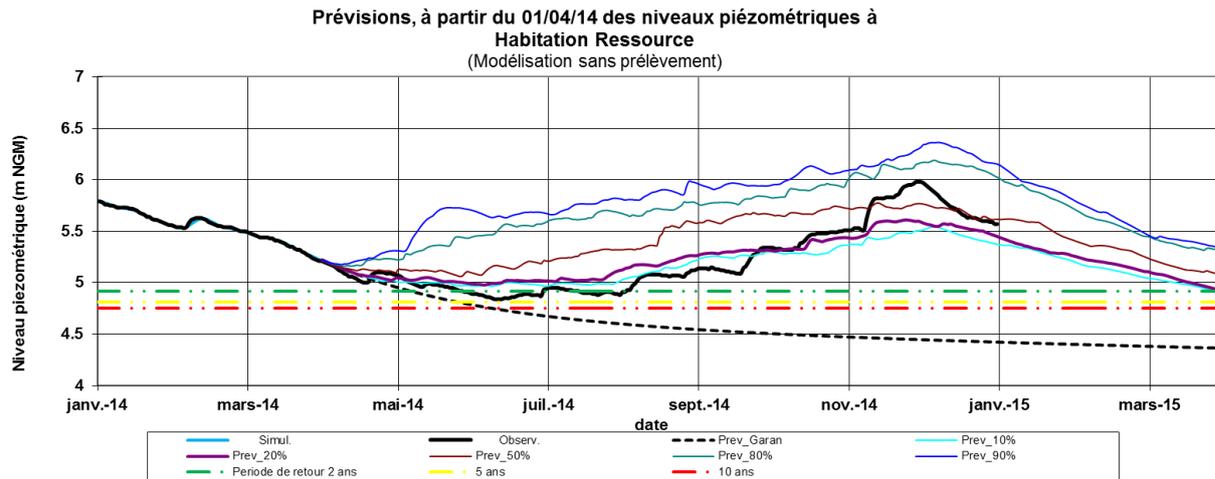


Figure 41 : Exemples de prévisions au 01/04/2014 de niveau au Lamentin - Habitation Ressource ou de débit de la rivière Blanche à la station RD15b.

11. Conclusion

Les coefficients d'ajustement des valeurs observées / valeurs simulées obtenus, pour les modélisations présentées, sont globalement :

- passables pour les débits ;
- satisfaisants pour les niveaux piézométriques.

Les modélisations ont permis pour certains bassins versants étudiés :

- de vérifier la cohérence, aux volumes prélevés près, entre les données climatologiques d'entrée (pluie et ETP) et les débits mesurés aux stations ;
- d'examiner la corrélation de chaque niveau piézométrique avec le débit de la rivière associée à l'étiage, et d'en déduire pour les valeurs simulées une relation niveau piézométrique – débit minimal à la station ;
- d'analyser la représentativité de chaque piézomètre pour le retenir en tant qu'indicateur piézométrique ;
- de simuler les variations piézométriques probables sur l'ensemble de la période d'observation des pluies (1991-2015) afin de disposer d'une série permettant un traitement statistique et ainsi fournir, pour un niveau piézométrique minimum donné et une fréquence donnée, une évaluation de débit minimum probable aux pas de temps mensuel et journalier.

La connaissance des volumes prélevés (AEP et irrigation) et de leur répartition temporelle auraient probablement permis de réaliser de meilleurs calages, de meilleures simulations et, *in fine*, des bilans réels et des valeurs fréquentielles plus fiables.

Néanmoins, ces différentes simulations fournissent des relations acceptables entre les débits d'étiage de certains cours d'eau et les niveaux observés à certains piézomètres que nous proposons de considérer comme indicateur représentatif des débits d'étiage au droit des stations indiquées (Tableau 19).

PIEZOMETRES			COURS D'EAU	HYDROMETRES
Indice BSS	Commune	Lieu-dit		
1168ZZ0037	Morne Rouge	Desgrottes	Capot	Pont Mackintosh
1174ZZ0088	Gros Morne	La Borelli	Galion	Prise AEP Bras Gommier
				Pont de Bassignac
				Grand Galion
			Lorrain	Prise AEP SCNA
			<i>Lézarde amont</i>	<i>Palourde</i>
		<i>Petite Lézarde</i>	<i>Saint Maurice</i>	
1179ZZ0039	Lamentin	Habitation Ressource	Lézarde amont	Palourde
			Petite Lézarde	Saint Maurice
			Lézarde aval	Pont RN1
			Petite Rivière	Brasserie Lorraine
			Rivière Blanche	Pont RD15b
			<i>Simon</i>	<i>Pont RD31 Simon</i>
1183ZZ0052	Rivière Pilote	Fougainville	Petite Rivière Pilote	Pont Madeleine
			Oman	Dormante

Relation acceptable

Tableau 19 : Liste des piézomètres « indicateurs » et leurs cours d'eau associés

Pour certains cours d'eau, les calages des modélisations ont été réalisés en utilisant deux piézomètres différents. Les indicateurs les moins satisfaisants mais néanmoins acceptables sont indiqués de couleur bleu en italique.

Afin de fournir une prévision plus probable, il est désormais possible de réaliser, à partir des modélisations, une prévision des niveaux piézométriques et/ou des débits intégrant statistiquement les débits potentiels d'apports par ruissellement pour les semaines voire l'année à venir.

La poursuite d'acquisition de données des différents réseaux de surveillance du bassin Martinique permettra de préciser progressivement le fonctionnement des aquifères volcaniques et permettra ainsi d'affiner les calculs statistiques et notamment des périodes de retour qui doivent être calculées sur une période d'au moins 15 ans.

12. Bibliographie

ARNAUD L., LANINI S (2014) - Impact du changement climatique sur les ressources en eau de Martinique. Rapport BRGM/RP-62676-FR.

COMTE J-P. CHARGUERON C., LACHASSAGNE P. (2003) – Domaines hydrogéologiques et pré délimitation des masses d'eau souterraine de la Martinique. BRGM/RP 52688.

LACHASSAGNE P, LEONARDI V., VITTECOQ B., HENRIOT A. (2011) - Interprétation des fluctuations piézométriques et des précurseurs associés au séisme de magnitude 7,4 du 29 novembre 2007 sur l'île de la Martinique. C. R. Géoscience.

LUCASSOU F., MOUGIN B, collaboration de P. STOLLSTEINER, J.-J. SEGUIN (2014) – Essai d'élaboration d'indicateurs piézométriques pour la gestion quantitative AEP dans le département des Côtes d'Armor. Rapport final. BRGM/RP-64123-FR.

METEO FRANCE, Direction Interrégionale Antilles Guyane (2012) – Production de scénarios climatiques régionalisés. Rapport Final.

MOUGIN B., ALLIER D., BLANCHIN R., CARN A., COURTOIS N., GATEAU C., PUTOT E., collaboration JEGOU J-P., LACHASSAGNE P., STOLLSTEINER P. et WYNS R. (2008) - SILURES Bretagne - Rapport final - Année 5 - BRGM/RP-56457-FR.

MOUGIN B., collaboration : JEGOU J-P. (2008) - SILURES Suivi - Gestion du réseau de surveillance piézométrique régional de Bretagne - Valorisation des données des 52 piézomètres et annuaire 2008 - Rapport final - BRGM/RP-56914-FR.

PINSON S., ALLIER D., STOLLSTEINER P., MARDHEL V., WUILLEUMIER A. (2010) - Etude de la contribution des eaux souterraines aux écoulements totaux des Masses d'eau de surface sur le bassin Loire-Bretagne Rapport final. Rapport BRGM RP-57608-FR.

SEGUIN J.J. (2009) - Les indicateurs piézométriques. Un outil dans la gestion des hydrosystèmes - Orientations méthodologiques. Rapport BRGM/RP-58139-FR.

STOLLSTEINER P. avec la collaboration de WUILLEUMIER A., BESSIERE H., SEGUIN J.J. (2011) – Guide pour la détermination des indicateurs piézométriques en vue d'une gestion quantitative de la ressource. Rapport final BRGM/RP-61374-FR.

STOLLSTEINER P. (2013) – Connaissance des ressources disponibles sur l'ensemble des bassins versants crayeux. Bassin Seine-Normandie en Champagne-Ardenne. Rapport final. BRGM/RP-61371-FR.

VERBIESE G., TAILAME A.-L. (2017) - Réseau de surveillance de l'état quantitatif des eaux souterraines du bassin Martinique – Rapport de gestion 2016, rapport BRGM/RP-66743-FR

VITTECOQ B., LACHASSAGNE P., LEONARDI V. (2011) – Piezometric fluctuations associated to the November 29, 2007 7.4 earthquake in Martinique.

WYNS, R. (1998) - Ressources en eau de la Margeride ouest - PRD 324 - Modélisation de la géométrie (altitude, épaisseur) des arènes granitiques du bassin-versant lozérien de la Truyère (Lozère, Massif Central). Rapport BRGM R 401914.

WYNS, R., BALTASSAT J.M., LACHASSAGNE P., LEGCHENKO A., VAIRON J., (2004) - Application of proton magnetic resonance soundings for groundwater reserve mapping in weathered basement rocks (Brittany, France), Bulletin de la Société Géologique de France, t. 175, n°1, pp. 21-34.

Annexe 1

Coefficients de Nash obtenus pour les différentes modélisations

Masses d'eau		Hydromètre	Piézomètre	Coef. Nash : débit	Coef. Nash : piézométrie
Souterraine	Surface				
NORD - FRJ201	Capot	Pont de Mackintosh	Basse Pointe - Chalvet	/	0,725
			Morne Rouge - Desgrottes	0,842	0,834
			Basse Pointe - Rivière Falaise	0,631	0,713
NORD ATLANTIQUE - FRJ202	Gallon	Pont de Bassignac	Gros Mome - La Borelli	0,834	0,882
		Prise AEP Bras Gommier	Gros Mome - La Borelli (prélèvements)	0,839	0,879
	Grand Gallon		Lorrain - Fond Brulé	0,815	0,872
			Gros Mome - La Borelli	0,746	0,889
			Gros Mome - La Borelli (2005/2015)	0,889	0,871
			Gros Mome - La Borelli (2009/2015)	0,845	0,902
			Trinité - Gallon	0,883	0,732
			Lorrain - Fond Brulé	0,754	0,827
		Prise AEP SCNA	Gros Mome - La Borelli	0,744	0,878
			Gros Mome - La Borelli (prélèvements)	0,804	0,907
	Pont RN1	Gros Mome - La Borelli	0,779	0,818	
		Lamentin - Habitation Ressource	0,794	0,939	
CENTRE - FRJ204	Petite Rivière	Brasserie Lorraine	Lamentin - Habitation Ressource (prélèvements)	0,794	0,930
			Gros Mome - La Borelli	0,700	0,830
			Lamentin - Habitation Ressource	0,726	0,941
		Pont RD15b	Gros Mome - La Borelli	0,770	0,770
			Lamentin - Habitation Ressource	0,800	0,931
		Palourde	Lamentin - Habitation Ressource (prélèvements)	0,817	0,926
			Gros Mome - La Borelli	0,777	0,867
			Lamentin - Habitation Ressource	0,820	0,896
			Gros Mome - La Borelli	0,827	0,851
			Lamentin - Habitation Ressource	0,848	0,890
SUD ATLANTIQUE - FRJ205	Desroses	Pont Belle âme	François - Grand Fond	0,602	0,788
			Lamentin - Habitation Ressource	0,622	0,900
	Simon	Pont RD31 Simon	François - Grand Fond	0,755	0,726
SUD CARAIBE - FRJ206	Petite Rivière Pilote	Pont Madeleine	Lamentin - Habitation Ressource	0,769	0,913
			Rivière Pilote - Fougainville	0,756	0,922
	Om an	Dormante	Rivière Pilote - La Mauny	0,712	0,867
	/	/	Rivière Pilote - Fougainville	0,767	0,914
			Trois Ilets - Vatable	/	0,895

Piézomètres retenus pour les calculs de valeurs seuils et/ou fréquentielles

Annexe 2

Influence du séisme du 29 novembre 2007 sur les fluctuations piézométriques

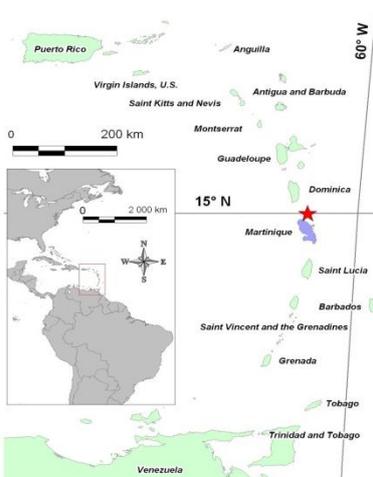


Piezometric fluctuations associated to the november 29, 2007 7.4 earthquake in Martinique

On November 29, 2007, at 3:00 pm (local time), a 7.4 earthquake occurred at about 30 km north from the island of Martinique, and was widely felt in all the Caribbean, from Jamaica to French Guyana.

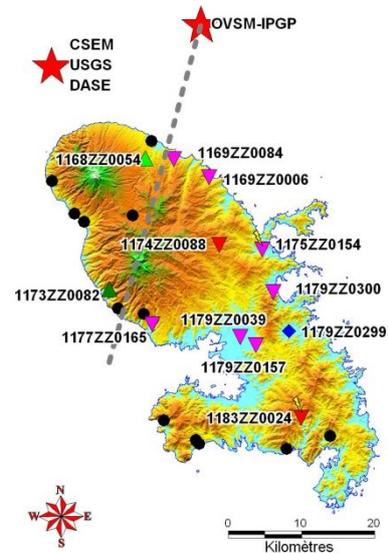
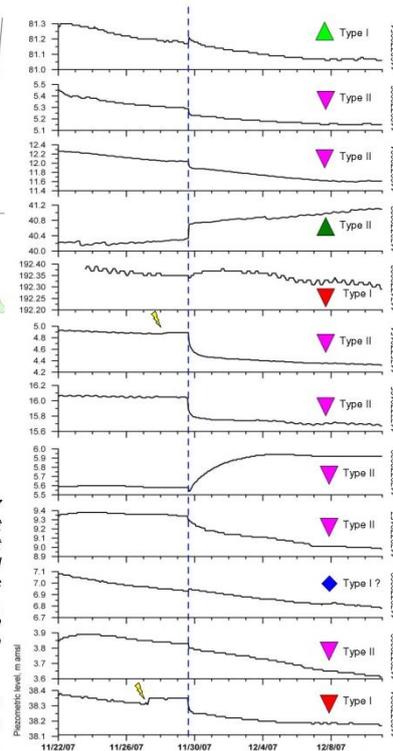
Piezometric levels changes (some abrupt rises or decreases), apparently correlated with the earthquake, were recorded by 12 of the 24 piezometers from the groundwater monitoring network.

Variation of spring discharge or piezometric level changes induced by earthquake have already been observed notably in Japan, in the US or in Armenia, but it is the *first time that hydrologic responses to an earthquake are reported and described in the Caribbean islands.*



The magnitude 7.4 November 29, 2007 earthquake (★) is the result of a rupture that occurred in the Atlantic dipping plate at a great depth (approx. 150 km). This is the most powerful recorded earthquake in the Lesser Antilles arc since the 1974 magnitude 7.5 Antigua one. Thanks to its great depth, surface intensities were moderate (VII EMS-98 scale) and the damage to buildings was limited.

Piezometric records (see location on map), the blue dashed line shows when the earthquake occurred.



- Piezometers that didn't reacted to the earthquake
- Piezometers that reacted to the earthquake
 - ▲ Type I, level rise / Comp. Process (1)
 - ▼ Type I, level fall / Extens. Process (2)
 - ▲ Type II, level rise / Comp. Process (1)
 - ▼ Type II, level fall / Extens. Process (7)
 - ◆ Tiny fluctuation (1)

Localization of the 24 piezometers operational during the quake and their main reaction : 9 of the piezometers show the effect of distension processes (initial fall of the piezometric level) and only 2 show an initial rise, to be interpreted as related to compression. A limit between a rather compressive and a rather extensional area can thus be drawn (grey dashed line) and appears to be coherent with one of the epicenters, the one proposed by OVSM-IPGP.

Piezometric fluctuations :

- ✓ 4 piezometers shows a **change** (rise or fall) of the piezometric level of **short duration**, followed by a **return to the initial level** or by a rebound in the opposite direction before returning to the initial level (**Type I**).
- ✓ 8 piezometers shows a **long duration water level change**; the **piezograph is shifted** (permanent rise or fall) but its slope remains the same (**Type II**).
- ✓ 80% of the piezometers who significantly **react** to the earthquake are in **confined** aquifers.
- ✓ 80% of the piezometers who **didn't react** are in **unconfined** aquifers.

> **Two piezometers**, 1175ZZ0154 and 1183ZZ0024, shows **probable precursors** (⚡) which begin approximately 30 to 75 h before the earthquake. They show a decrease of the recession slope before the earthquake and reveal a compression (a probable increase of the stresses) before the quake.

> Piezometric level fluctuations could thus be good precursors, but an aquifer could be able to react to a far seism but not to a local one and inversely, or an aquifer being able to react to one near seism and not to another according to the characteristics of the seism and the aquifer.

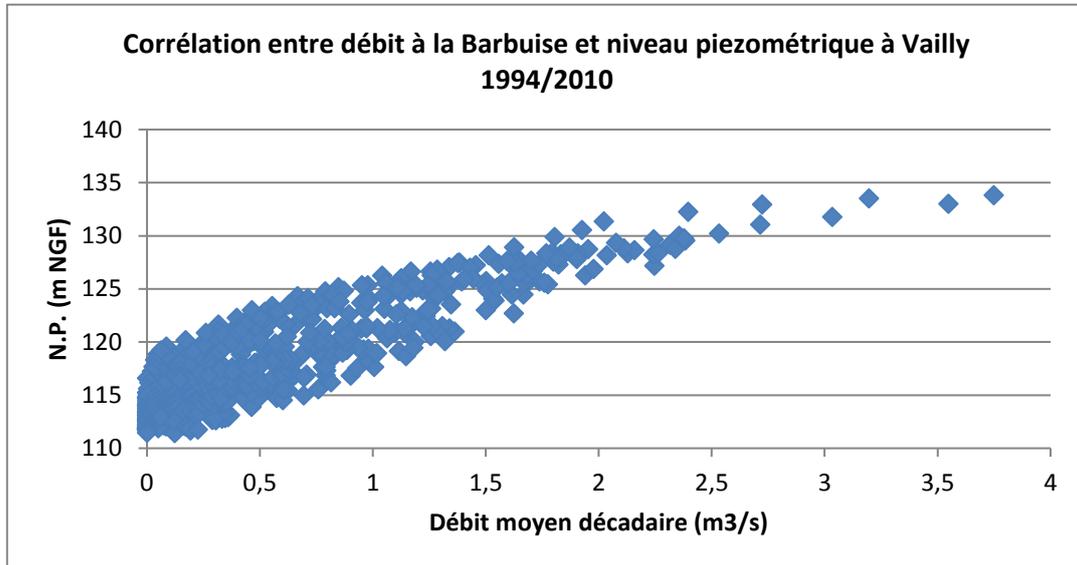
> The prevision of earthquakes from the piezometric network of Martinique, if ever possible in the future, should rely on several observations of piezometric precursors associated to several earthquakes. Nevertheless, 63 earthquakes of magnitude between 4 and 5.3 happened between January 2005 and October 2008, and no reaction (except the one of November 29, 2007) was observed on piezometric levels. Thus, precursors should append only for quite high magnitude seism's.

> Continuing acquisition of water levels data and analysis after each earthquake is essential and is expected to bring new elements to decide on the whether or not to use this type of tool as warning system.

Annexe 3

Influence de la pluviométrie et du ruissellement sur la corrélation Débit / Piézométrie

L'exemple choisi ne concerne pas un piézomètre de Martinique mais a été retenu car il paraît très explicite. La figure ci-dessous montre, pour les faibles valeurs, le nuage de la relation débit moyen décadaire à une station hydrométrique niveau moyen décadaire à un piézomètre, tous deux appartenant à une même masse d'eau. Cette masse d'eau est composée de plusieurs bassins versants comportant chacun une station hydrométrique.



Exemple de relation usuelle de débit simulé/niveau simulé.

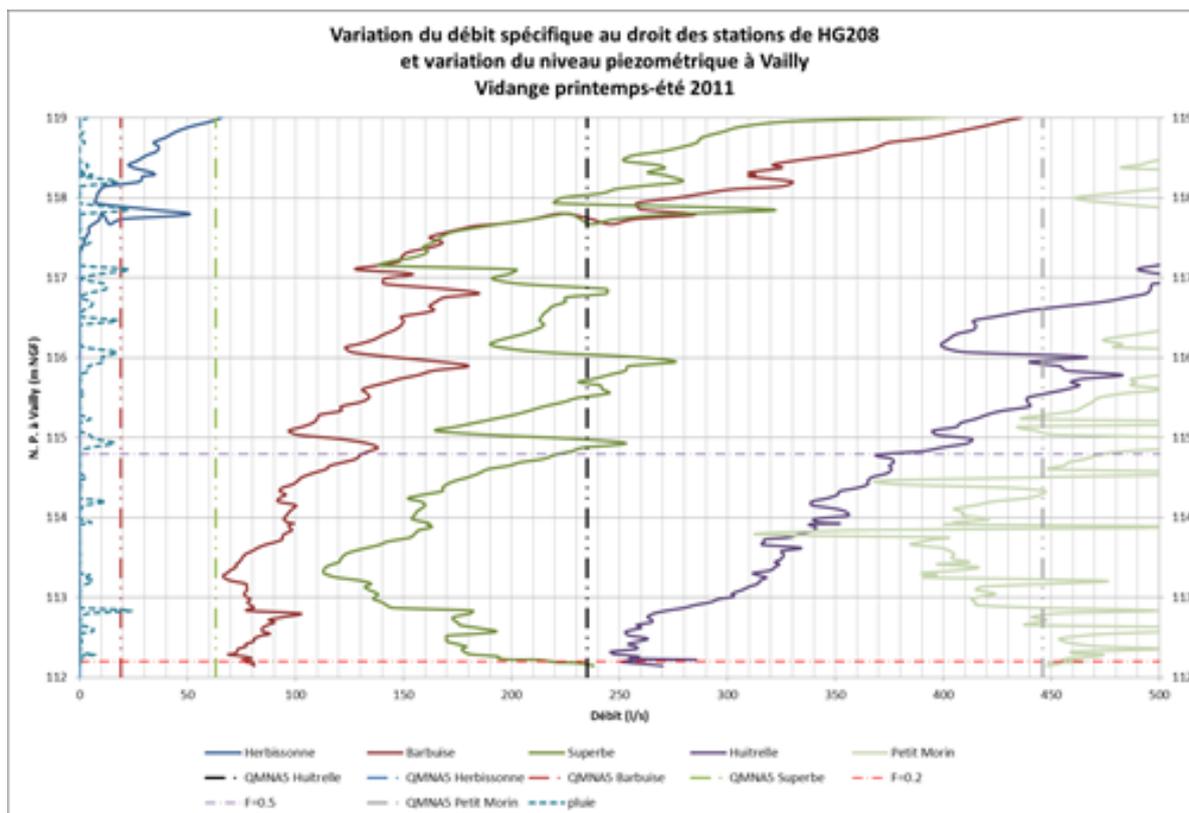
Dans le cadre d'une étude d'étiage, c'est la période de vidange de l'aquifère qui paraît la plus intéressante aussi nous avons reporté, lors des faibles débits, sur la figure ci-après :

- En X, la décroissance des débits au droit des différentes stations de cette masse d'eau en choisissant une année ayant un niveau initial significatif,
- En Y, la décroissance des niveaux piézométriques au piézomètre représentatif,
- EN y (trait pointillé) les valeurs pluviométriques durant cette période de décroissance.

A la hauteur de chaque pluie significative, on peut observer que les niveaux ne varient pas (ou très peu) et que les débits de toutes les stations hydrométriques, a contrario, augmentent sensiblement et proportionnellement à la pluie.

On met ainsi en évidence que les débits au droit des stations sont composés d'un débit de vidange de l'aquifère, qui est fonction du niveau piézométrique, et d'un débit de ruissellement qui provient directement de la pluviométrie. Le ruissellement étant très variable, quel que soit le niveau, c'est son addition au débit de vidange qui crée le nuage de la relation débit niveau piézométrique de la figure que l'on observe par exemple sur la figure ci-après.

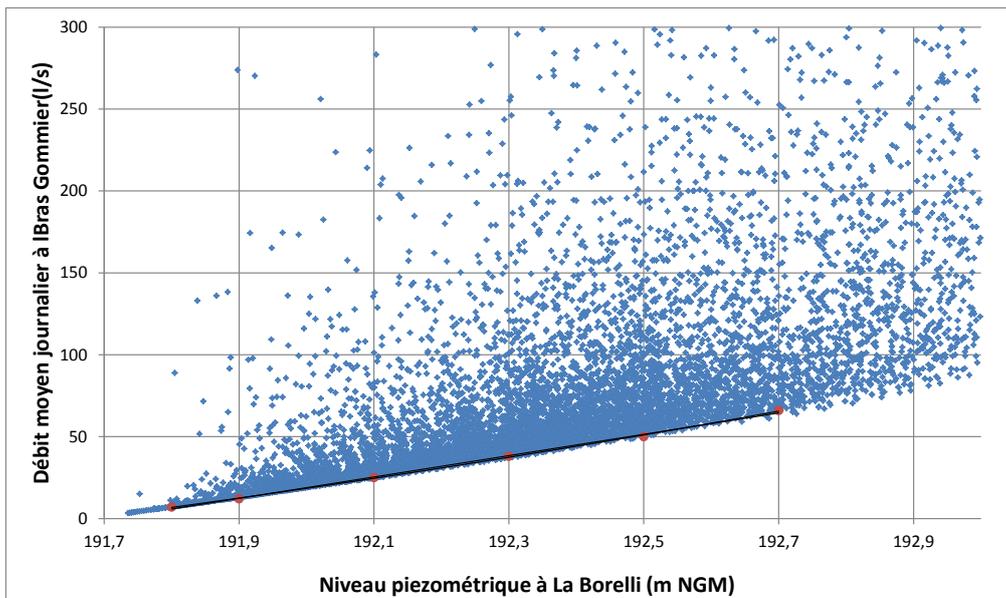
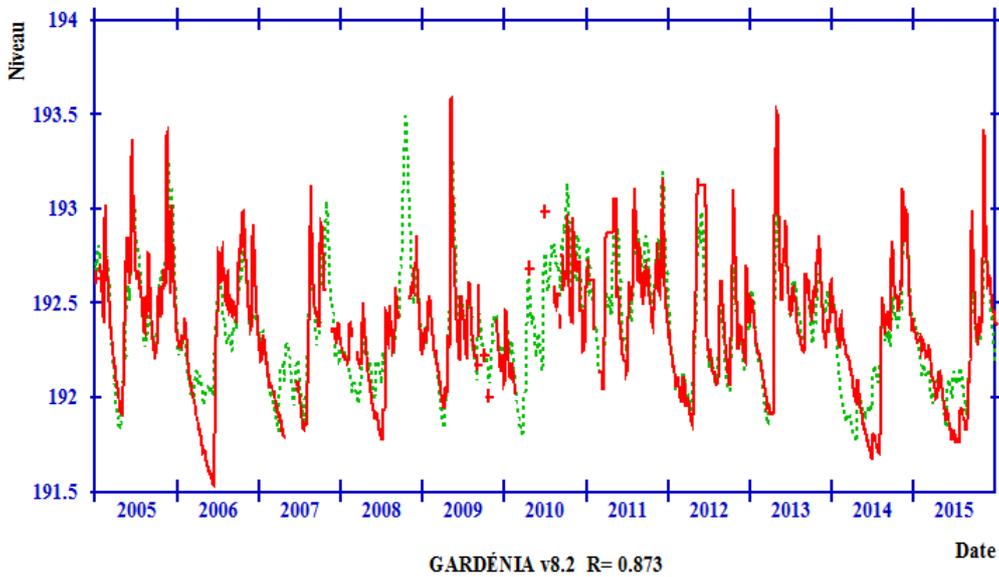
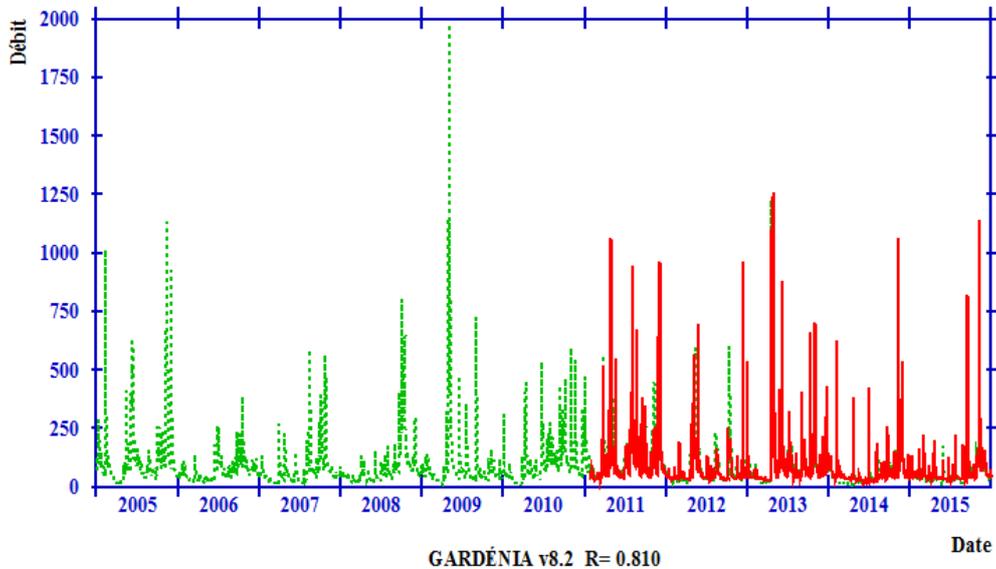
Le débit de ruissellement étant difficilement prévisible, seul le débit de vidange présente un intérêt. Ce débit correspond, s'il n'y a pas de pompage en amont et aux incertitudes de mesure près, aux valeurs minimales du nuage de la relation niveau piézométrique / débit.



Relations Pluie / Débit / Niveau piézométrique au droit de différentes stations d'une même masse d'eau

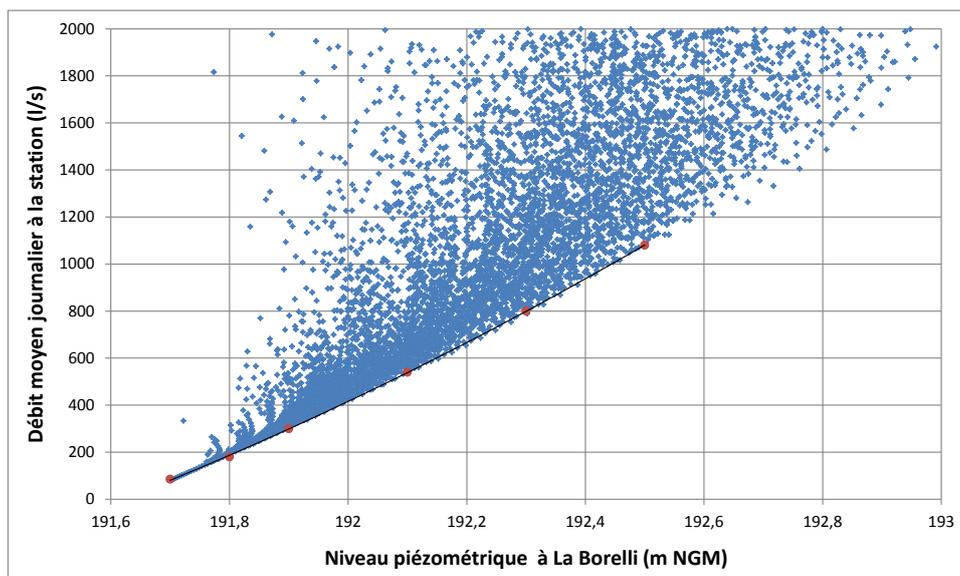
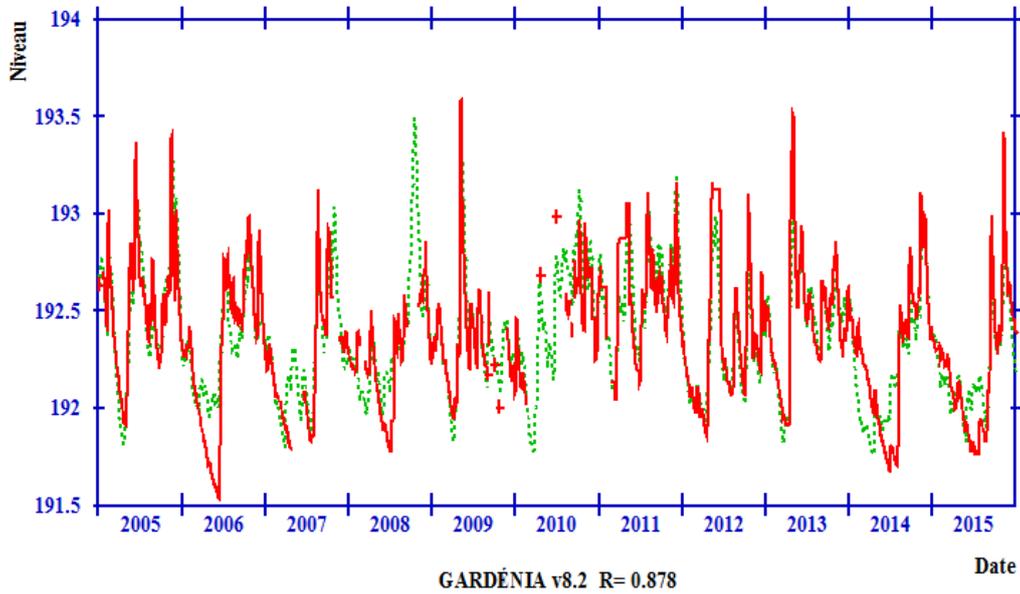
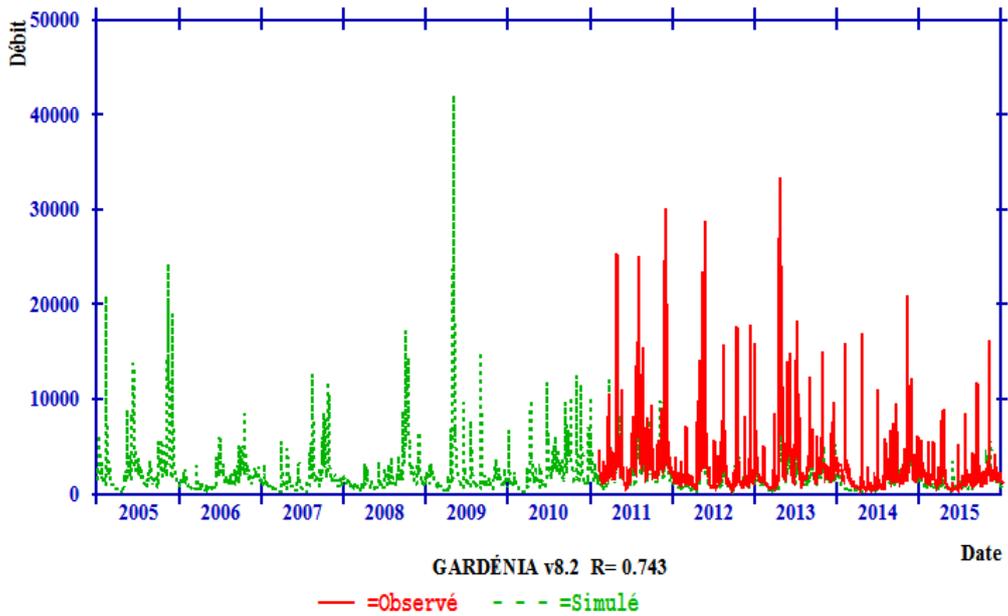
Annexe 4

Calages de la masse d'eau souterraine Nord Atlantique (FRJ202)



Calage Pluie / Niveau piézométrique à Gros Morne - La Borelli (m) / Débit à Bras Gommier (l/s) et corrélation Débit / Piézométrie simulés

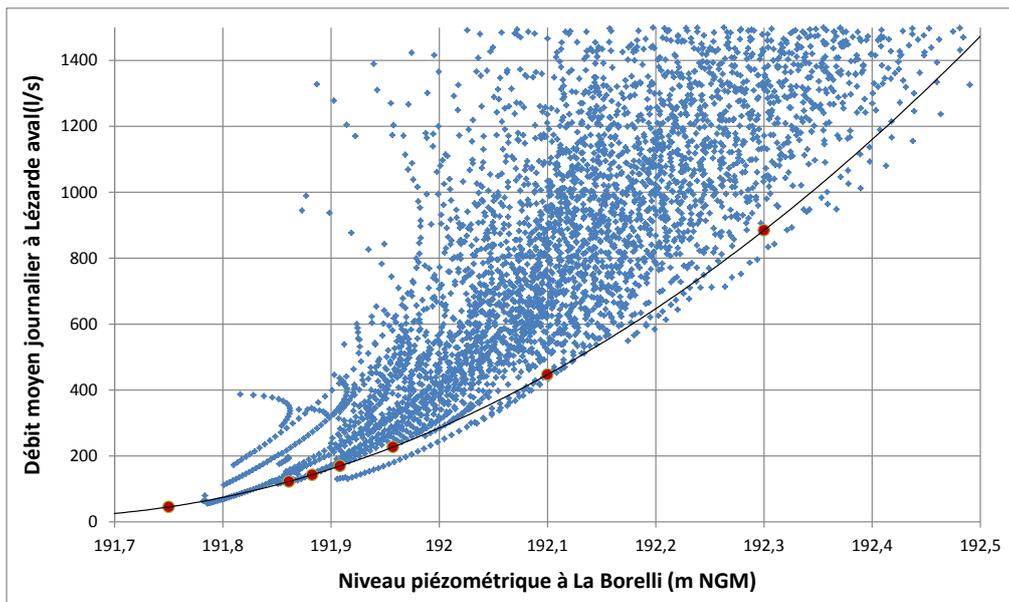
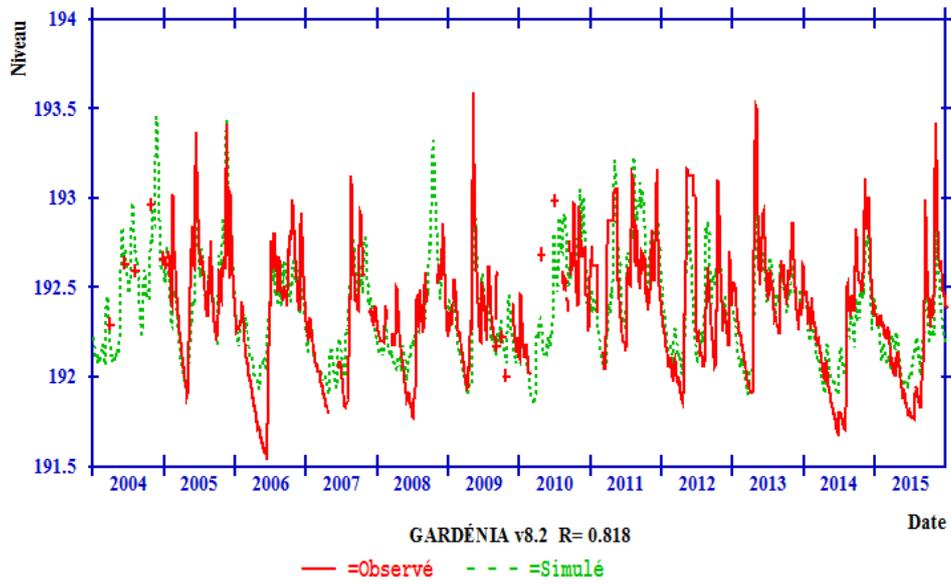
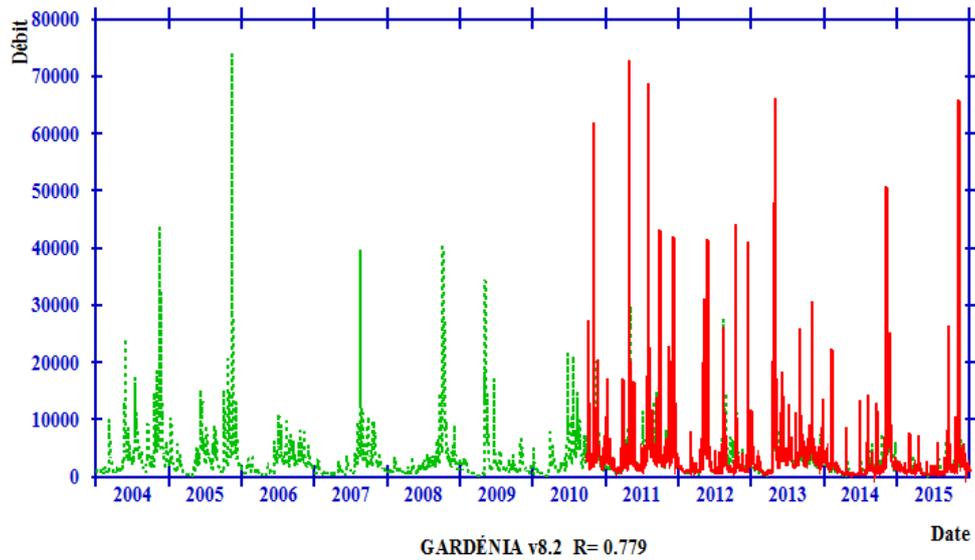
Détermination des seuils de vigilance



Calage Pluie / Niveau piézométrique à Gros Morne - La Borelli (m) / Débit à Prise AEP SCNA (l/s) et corrélation Débit / Piézométrie simulés

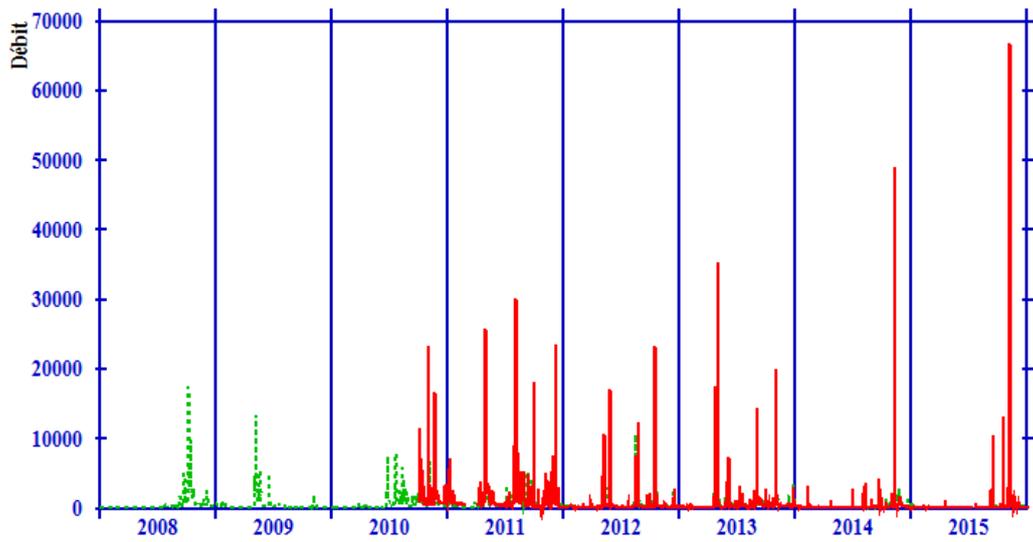
Annexe 5

Calages de la masse d'eau souterraine Centre (FRJ204)

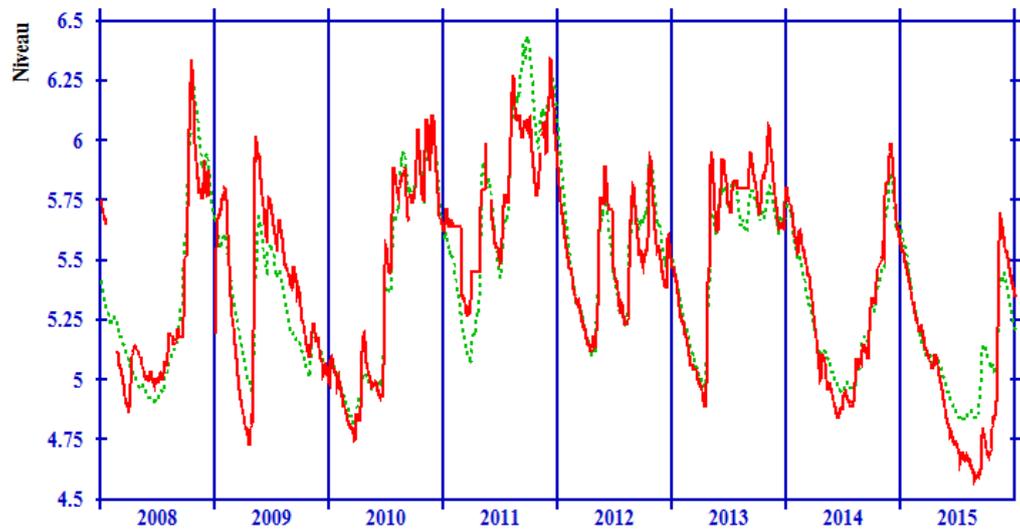


Calage Pluie / Niveau piézométrique à Gros Morne - La Borelli / Débit à Lézarde aval (l/s) et corrélation Débit / Piézométrie simulés

Détermination des seuils de vigilance

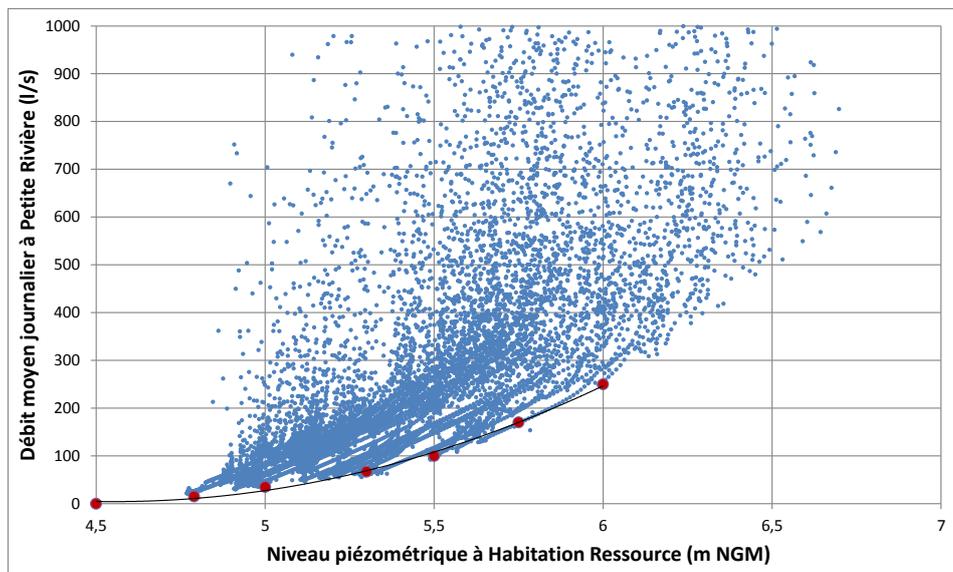


GARDÉNIA v8.2 R= 0.726

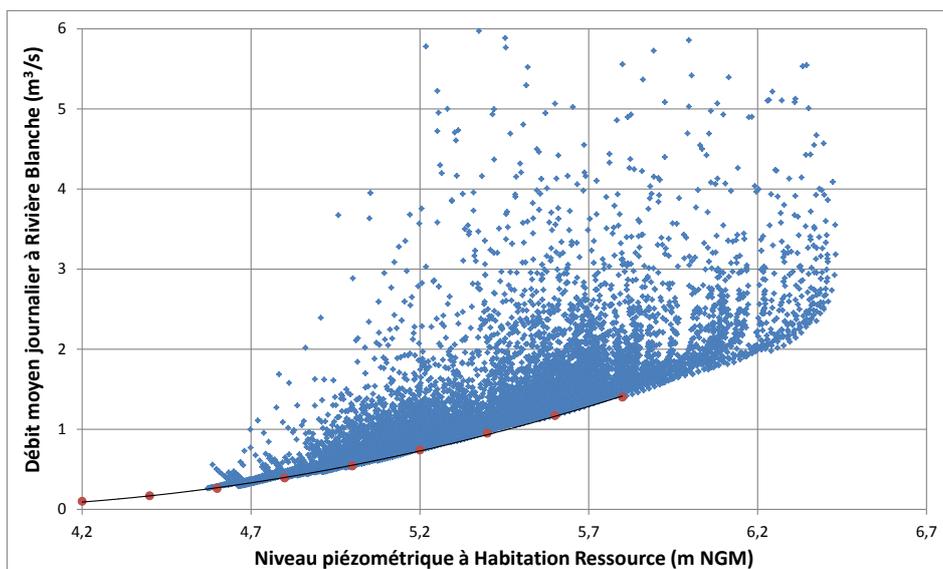
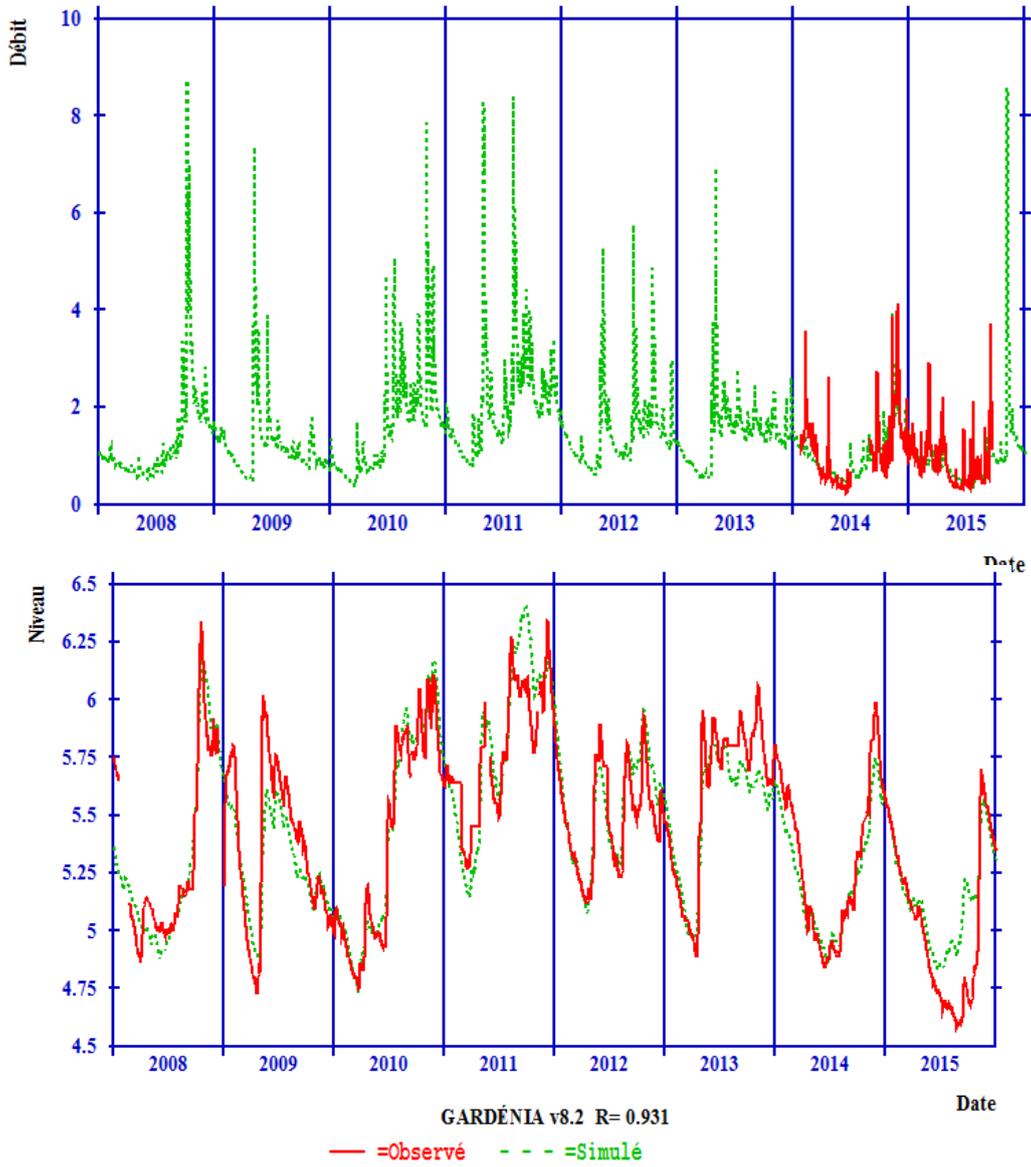


GARDÉNIA v8.2 R= 0.941

— =Observé - - - =Simulé

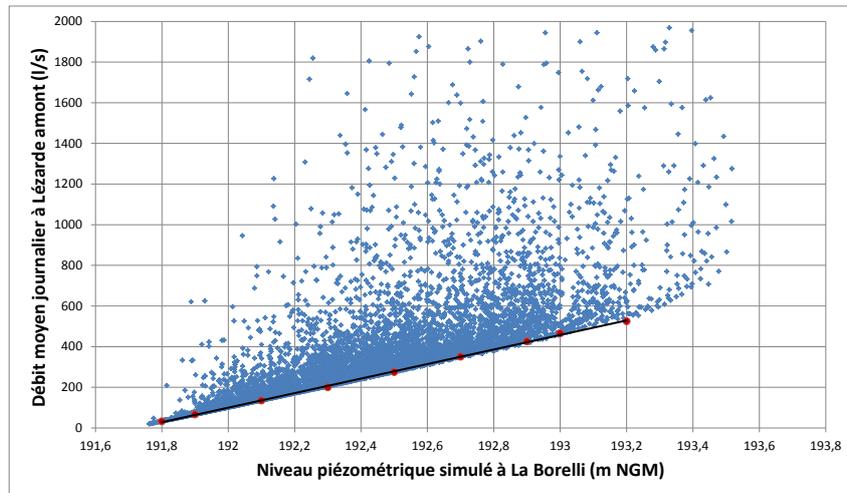
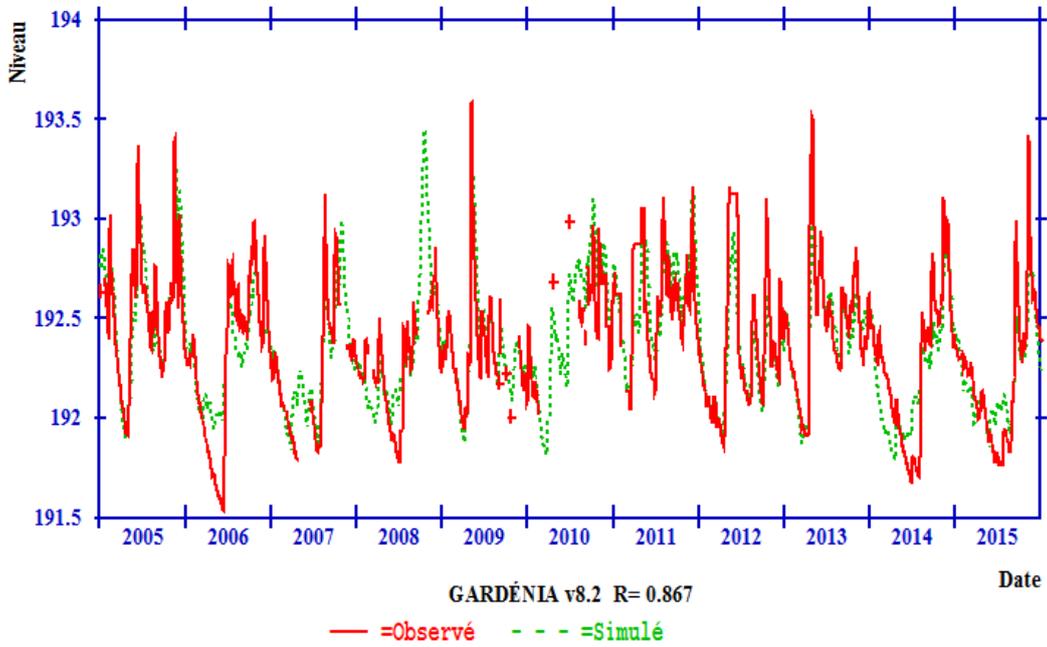
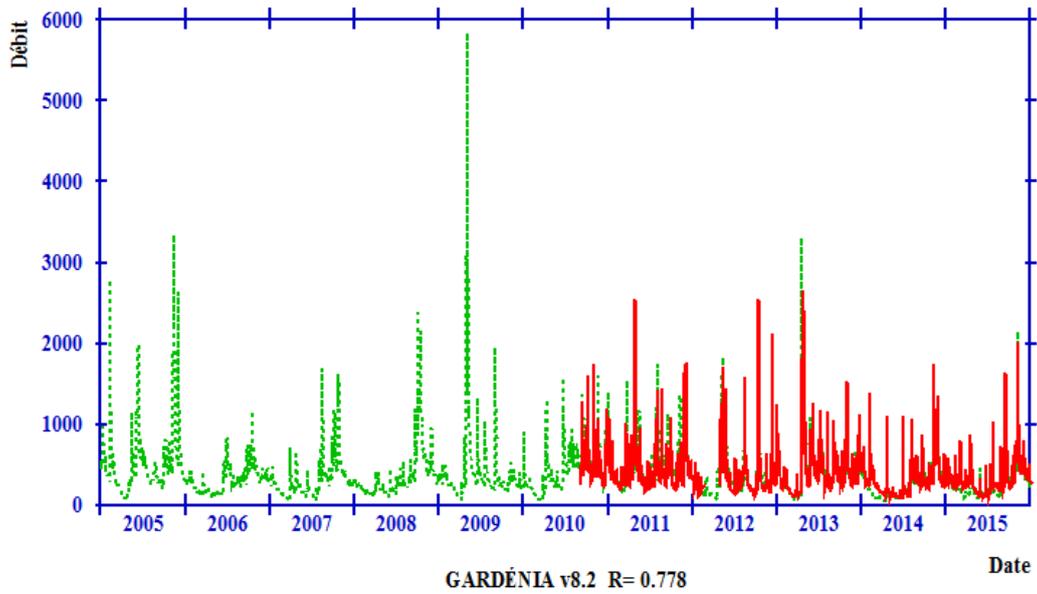


Calage Pluie / Niveau piézométrique à Lamentin - Habitation Ressource / Débit à Petite Rivière (l/s) et corrélation Débit / Piézométrie simulés

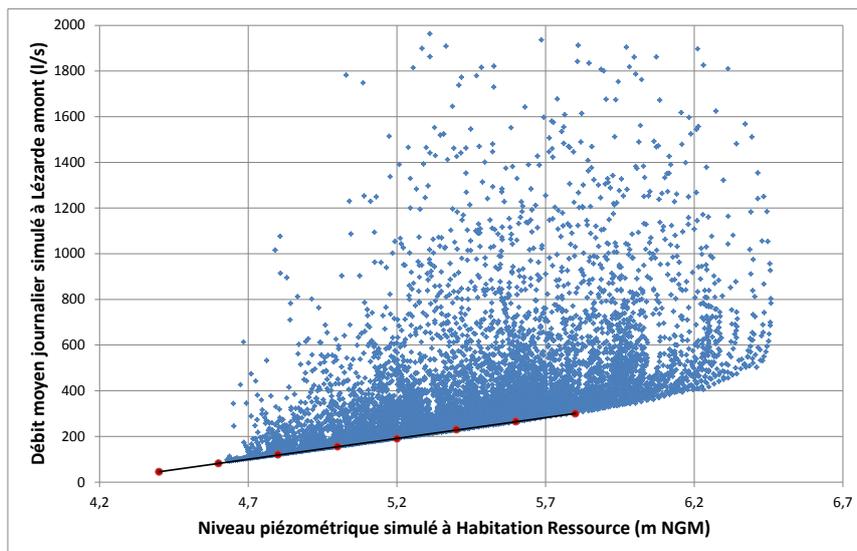
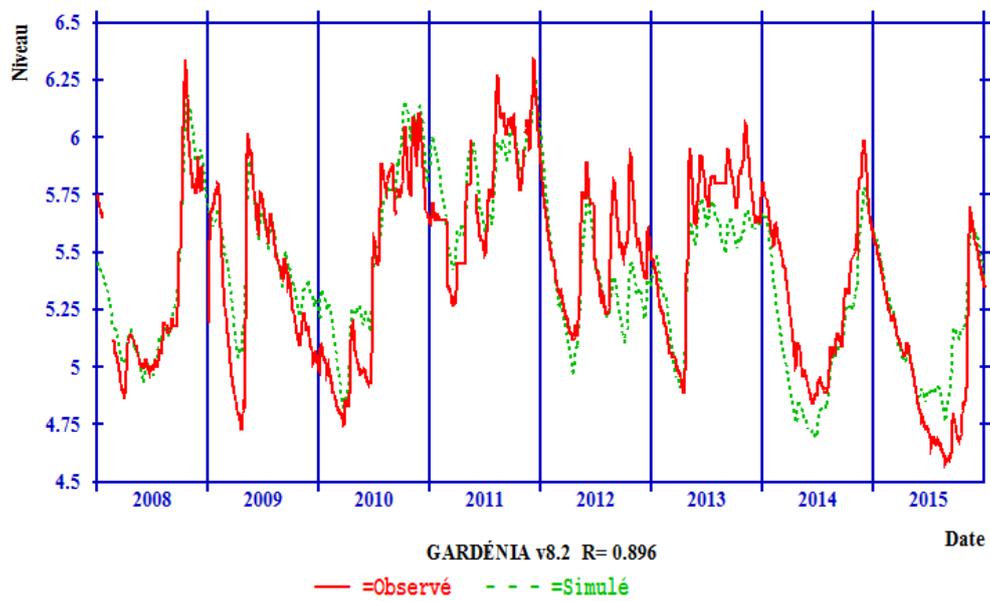
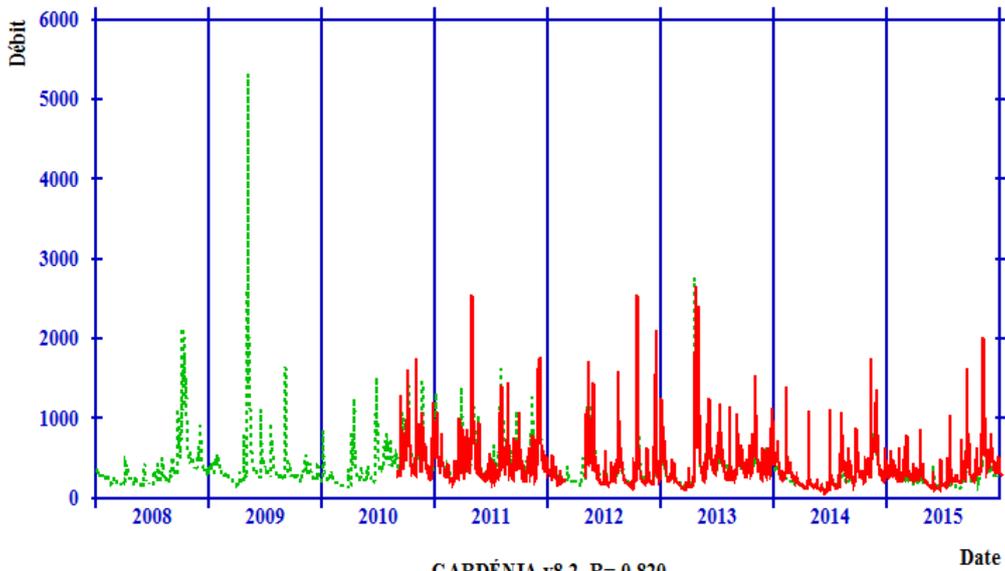


Calage Pluie / Niveau piézométrique à Lamentin - Habitation Ressource / Débit à Rivière Blanche (m³/s) et corrélation Débit / Piézométrie simulés

Détermination des seuils de vigilance

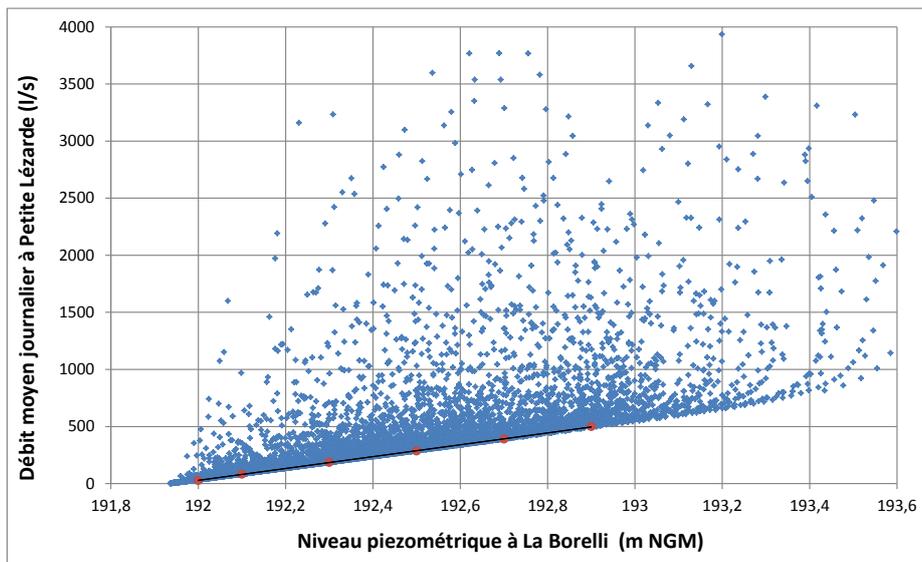
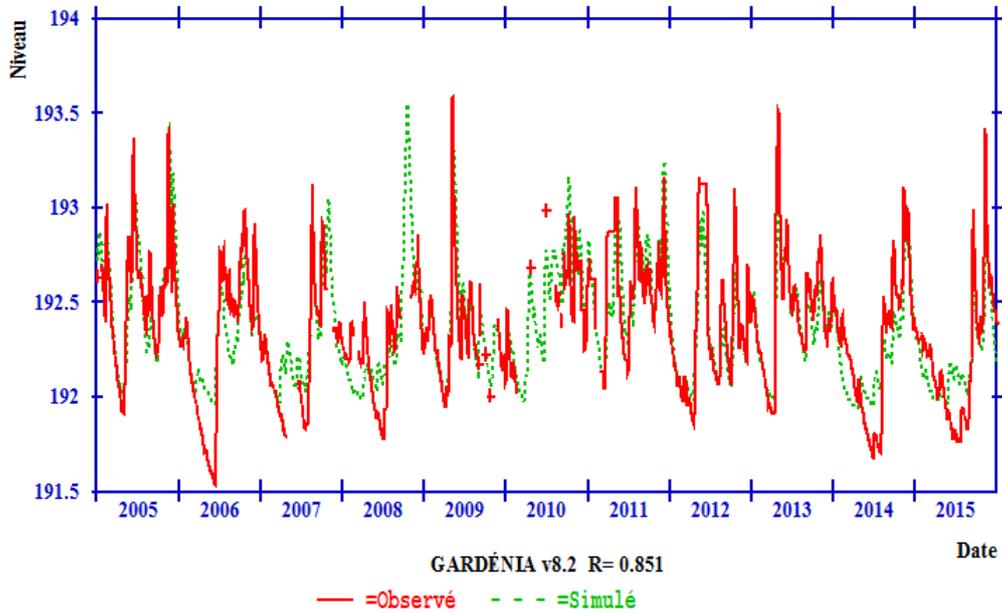
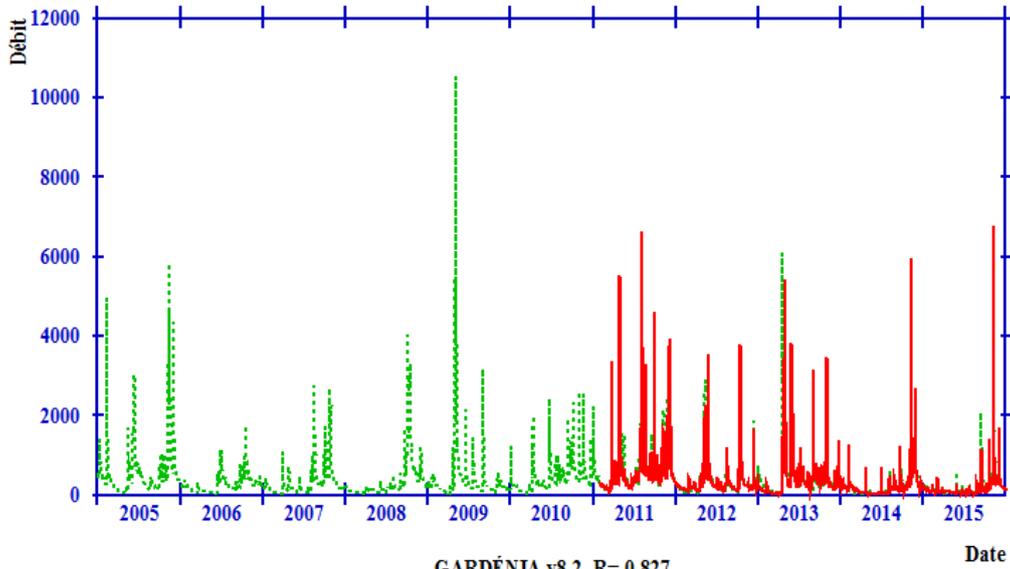


Calage Pluie / Niveau piézométrique à Gros Morne - La Borelli / Débit à la Lézarde amont (l/s) et corrélation Débit / Piézométrie simulés

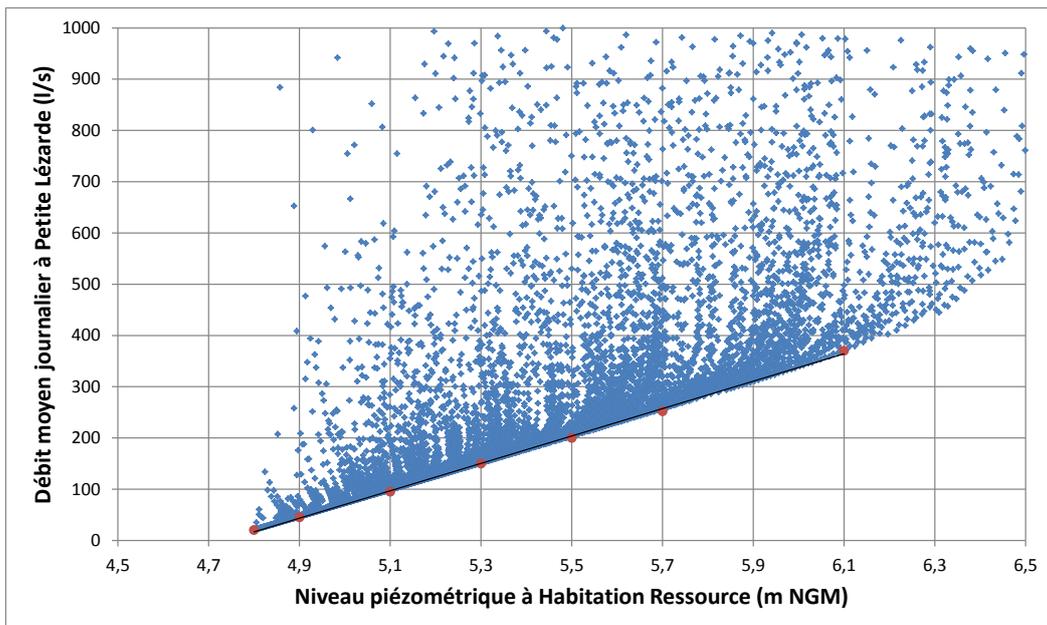
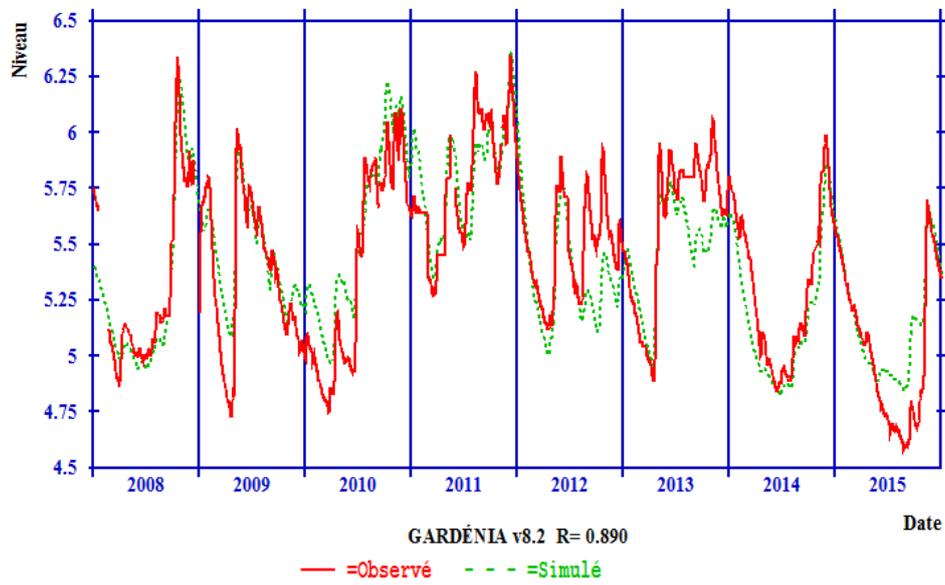
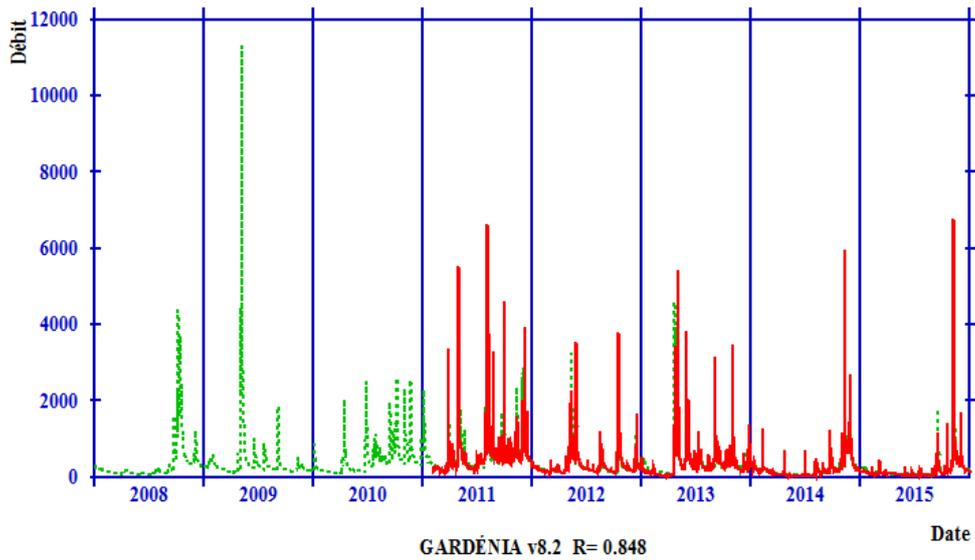


Calage Pluie / Niveau piézométrique à Lamentin - Habitation Ressource / Débit à la Lézarde amont (l/s) et corrélation Débit / Piézométrie simulés

Détermination des seuils de vigilance



Calage Pluie / Niveau piézométrique à Gros Morne - La Borelli / Débit à Petite Lézarde (l/s) et corrélation Débit / Piézométrie simulés

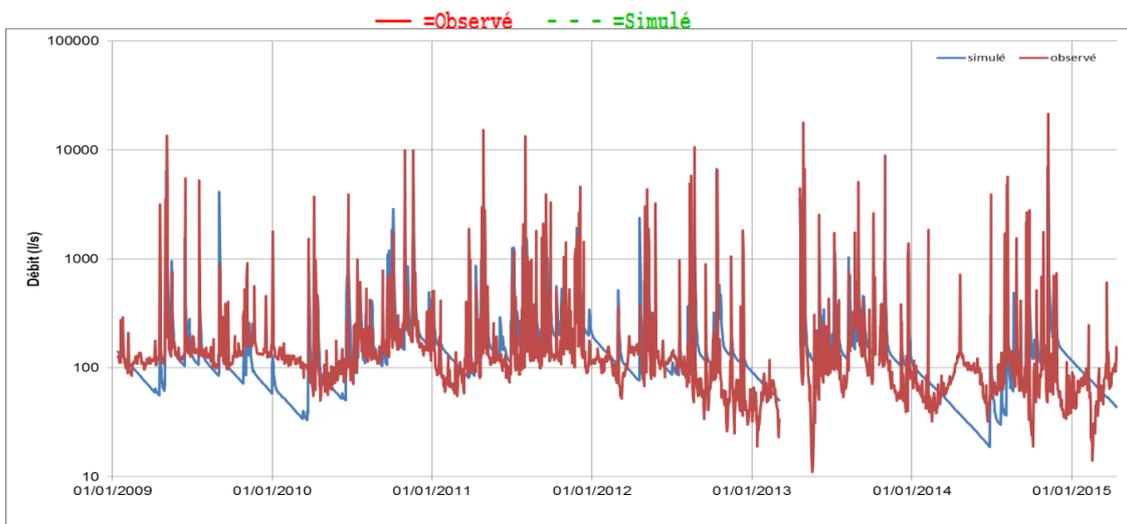
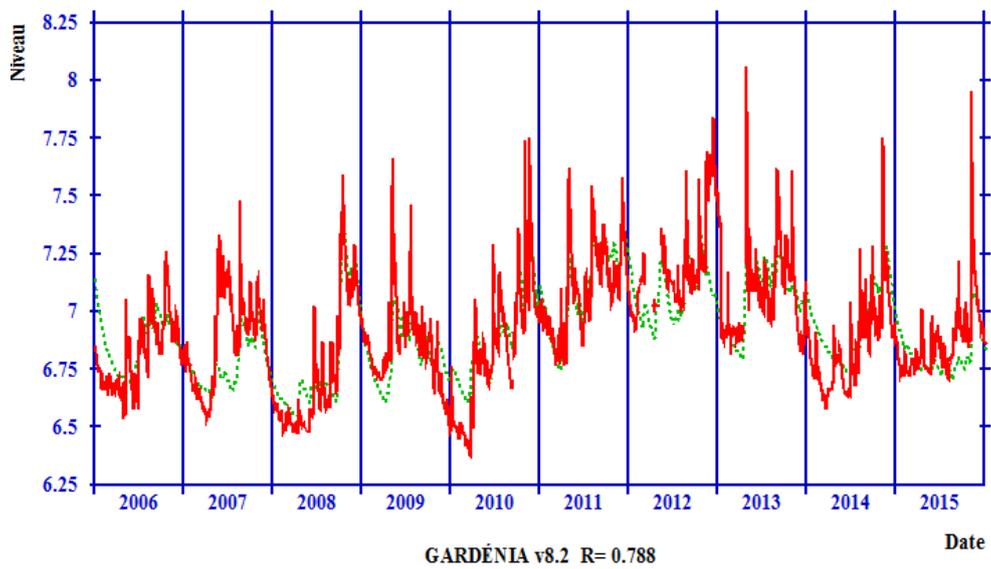
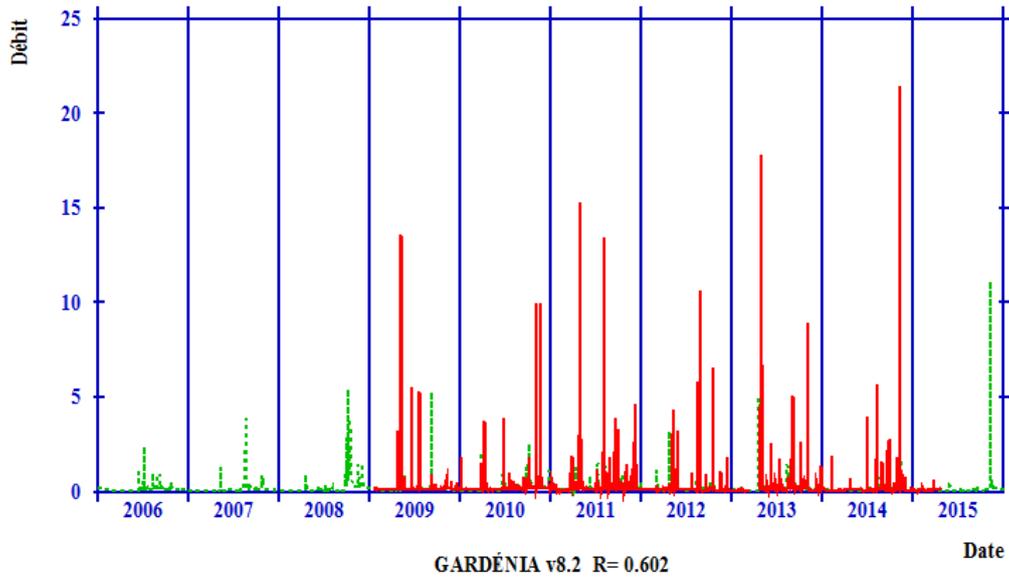


Calage Pluie / Niveau piézométrique à Lamentin - Habitation Ressource / Débit à Petite Lézarde (l/s) et corrélation Débit / Piézométrie simulés

Annexe 6

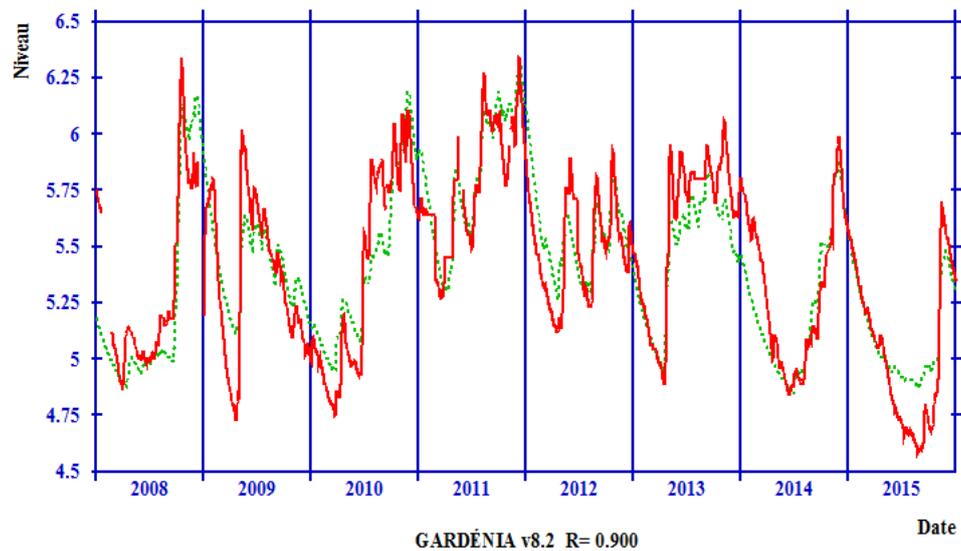
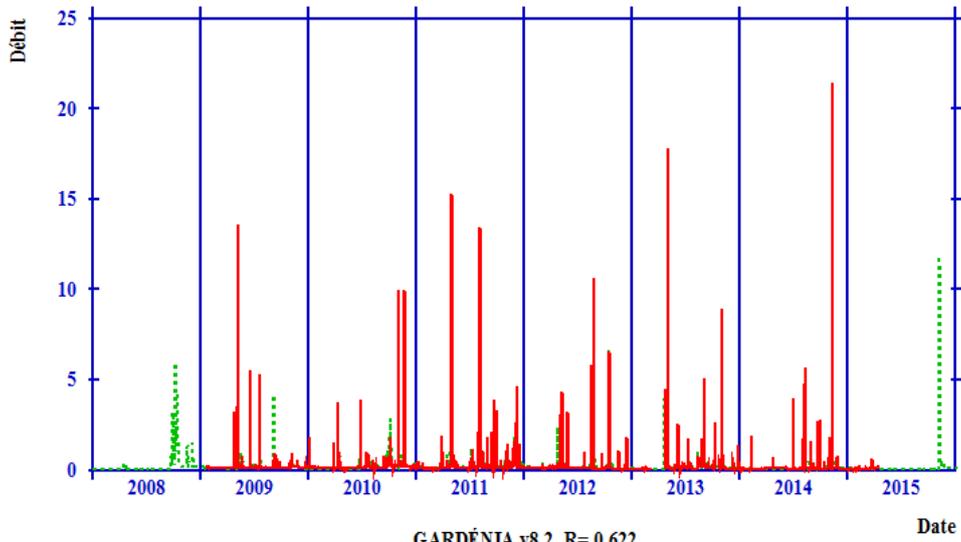
Calage de la masse d'eau souterraine Sud Atlantique

(FRJ205)

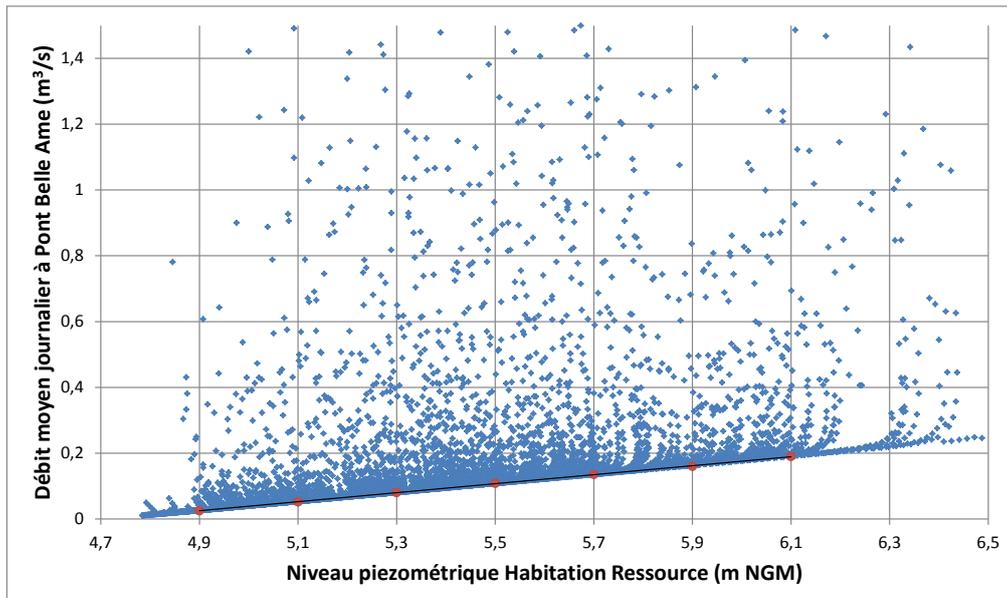


**Calage Pluie / Niveau piézométrique à François – Grand Fond / Débit à Pont Belle Ame
(m³/s et l/s) de la Rivière Desroses**

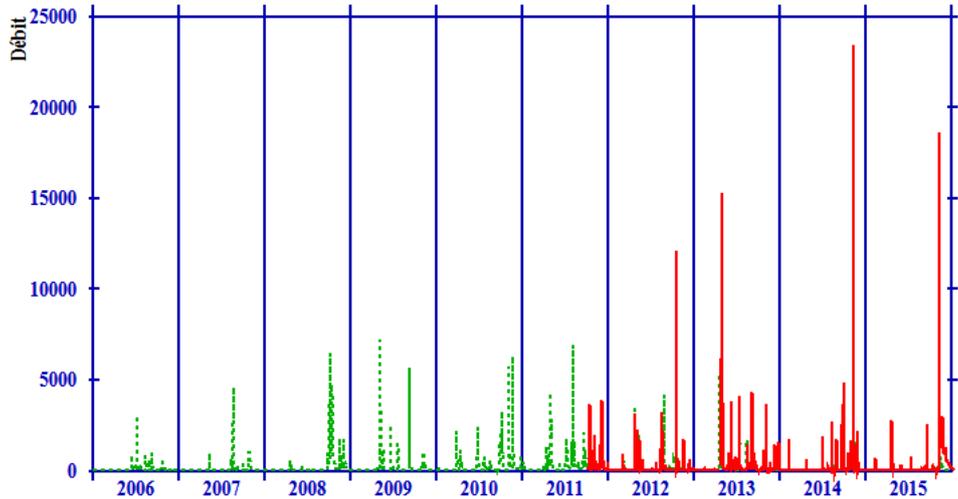
Détermination des seuils de vigilance



— =Observé - - - =Simulé

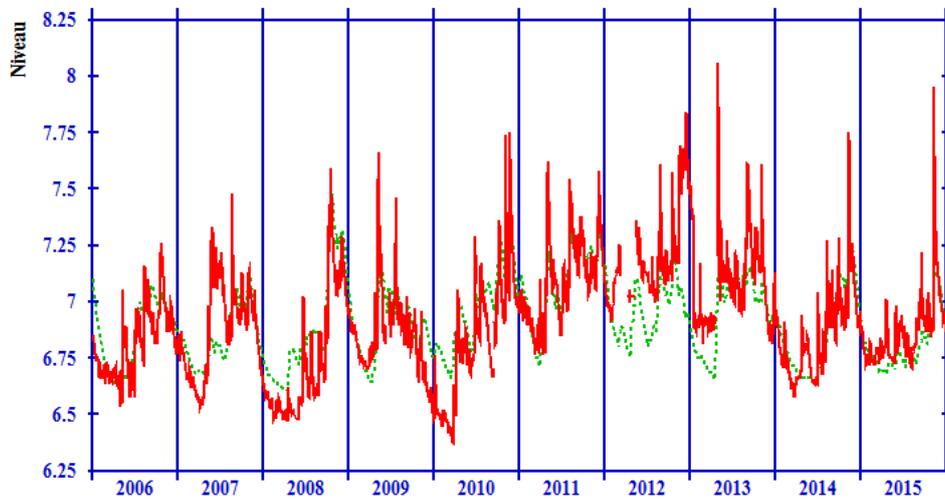


Calage Pluie / Niveau piézométrique à Lamentin – Habitation Ressource / Débit à Pont Belle Ame (m^3/s et l/s) et corrélation Débit / Piézométrie simulés



GARDÉNIA v8.2 R= 0.755

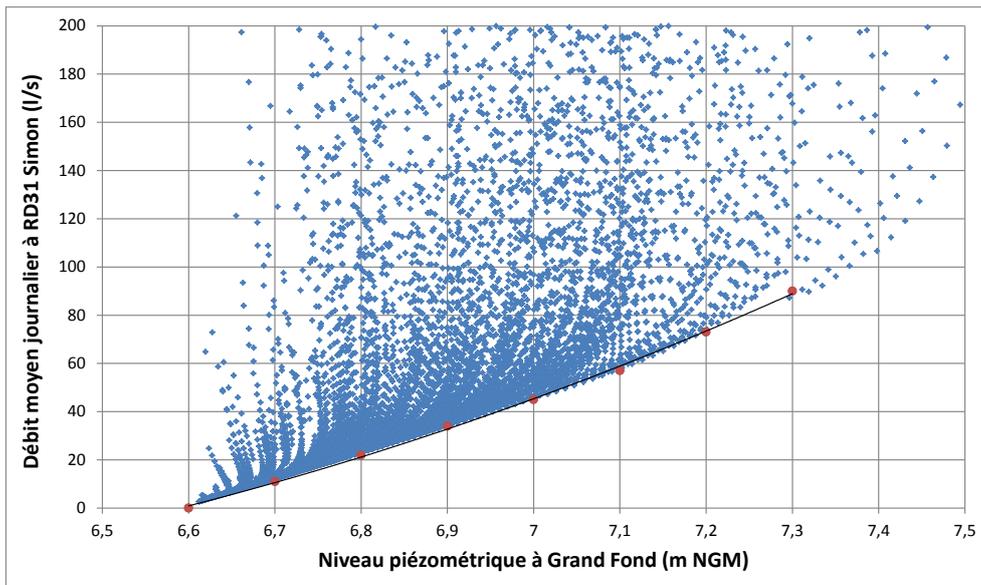
Date



GARDÉNIA v8.2 R= 0.726

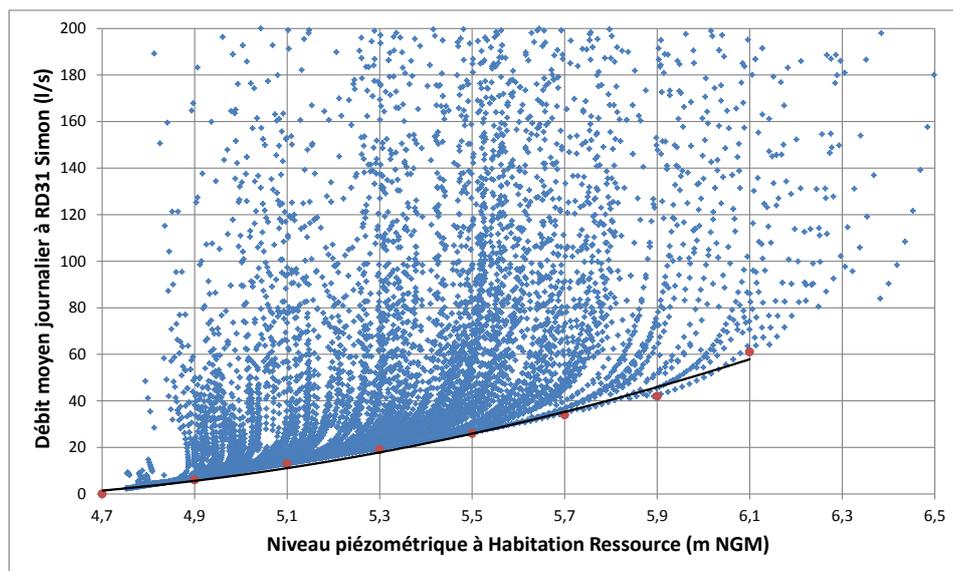
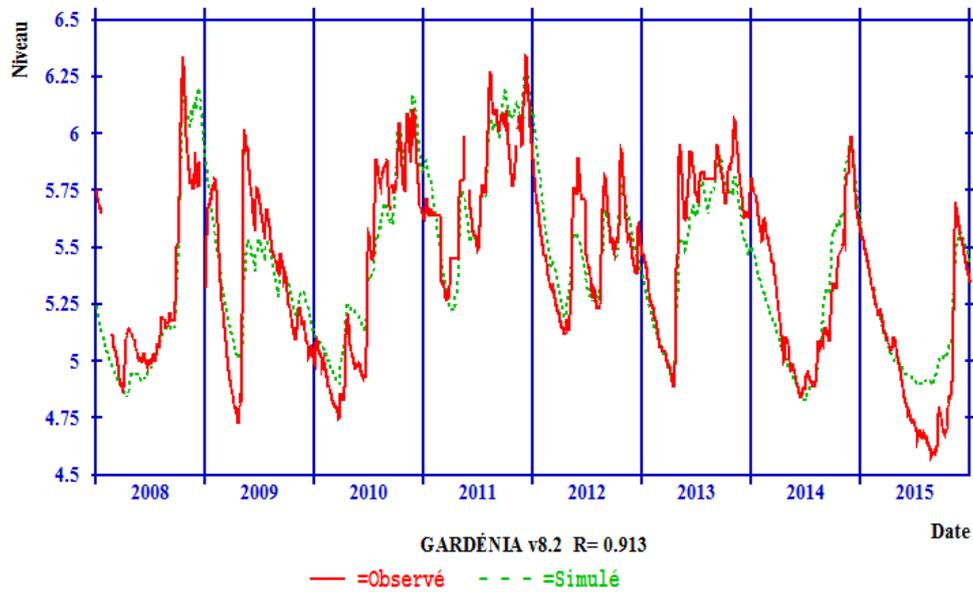
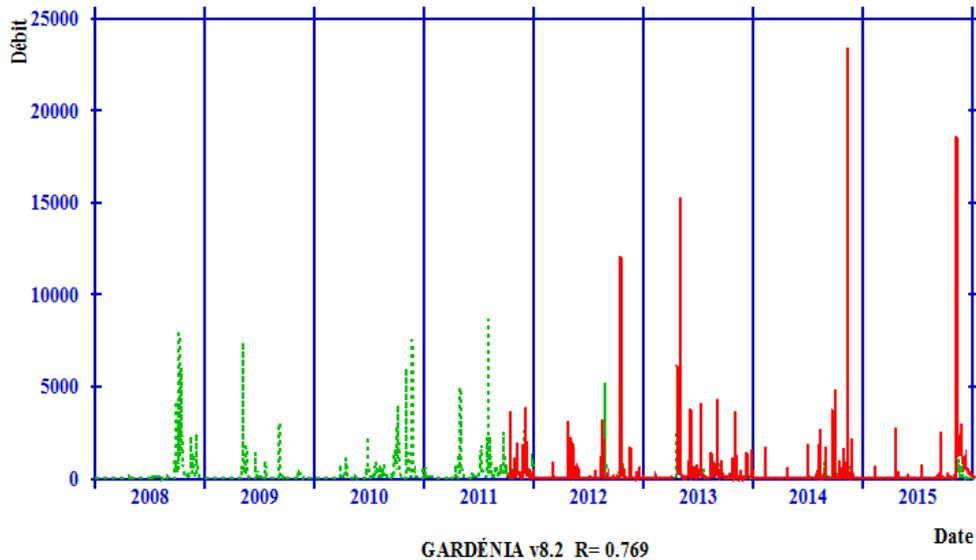
Date

— =Observé - - - =Simulé



Calage Pluie / Niveau piézométrique à François – Grand Fond / Débit à RD31 Simon (l/s) et corrélation Débit / Piézométrie simulés

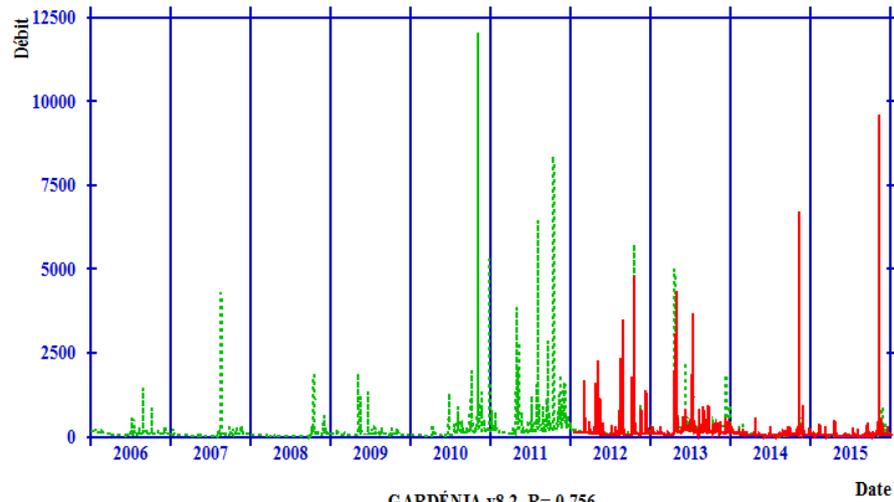
Détermination des seuils de vigilance



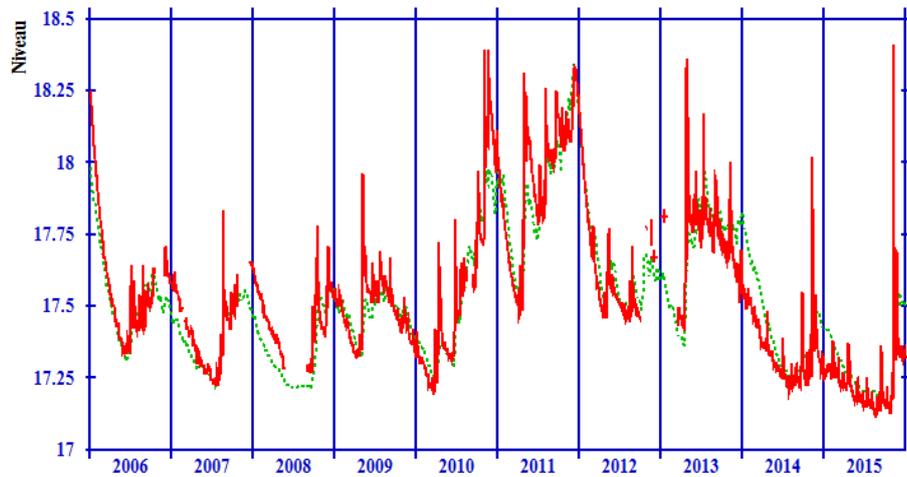
Calage Pluie / Niveau piézométrique à Lamentin – Habitation Ressource / Débit à RD31 Simon (l/s) et corrélation Débit / Piézométrie simulés

Annexe 7

Calages de la masse d'eau souterraine Sud Caraïbe (FRJ206)

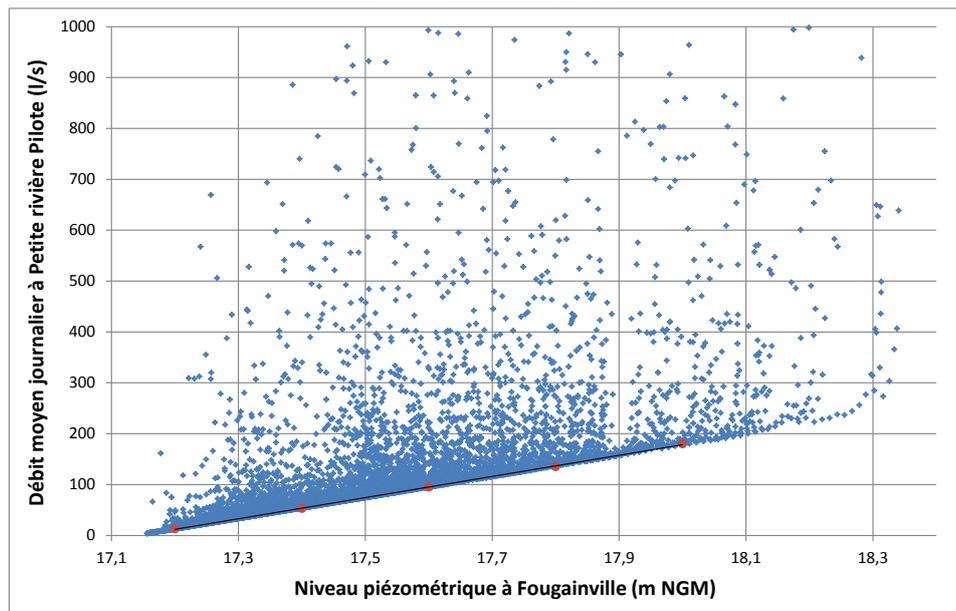


GARDÉNIA v8.2 R= 0.756

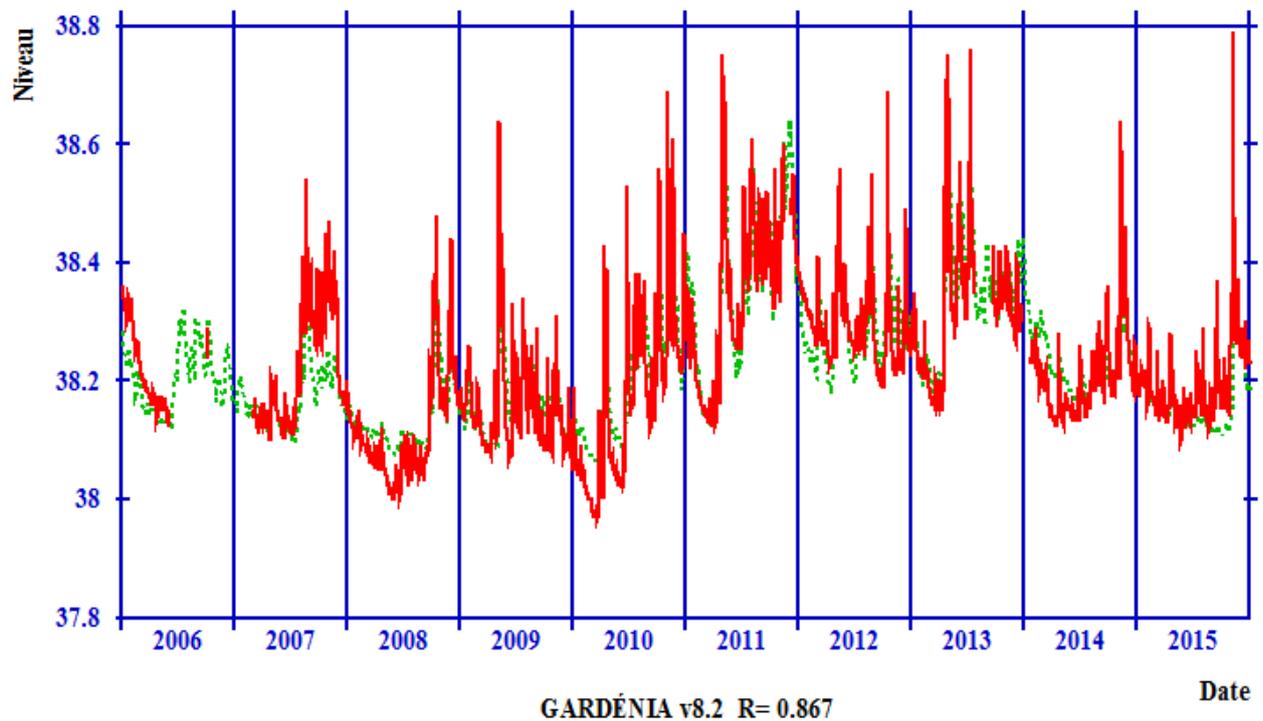
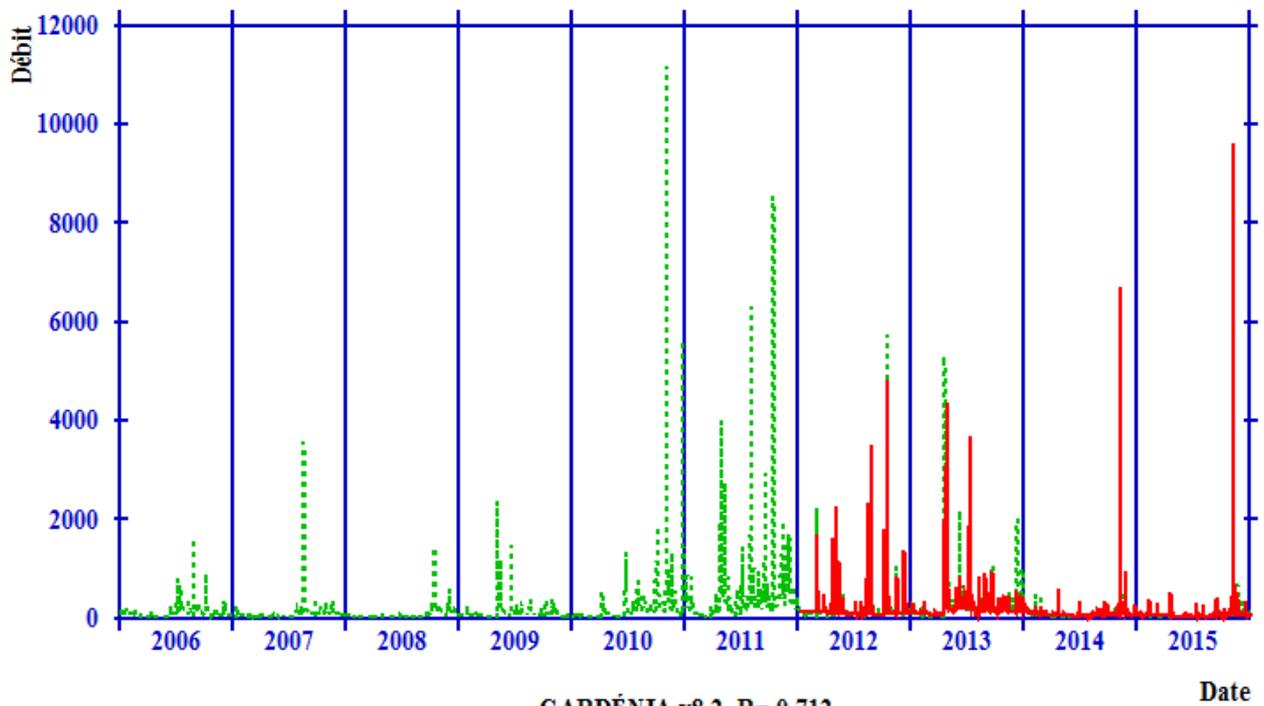


GARDÉNIA v8.2 R= 0.922

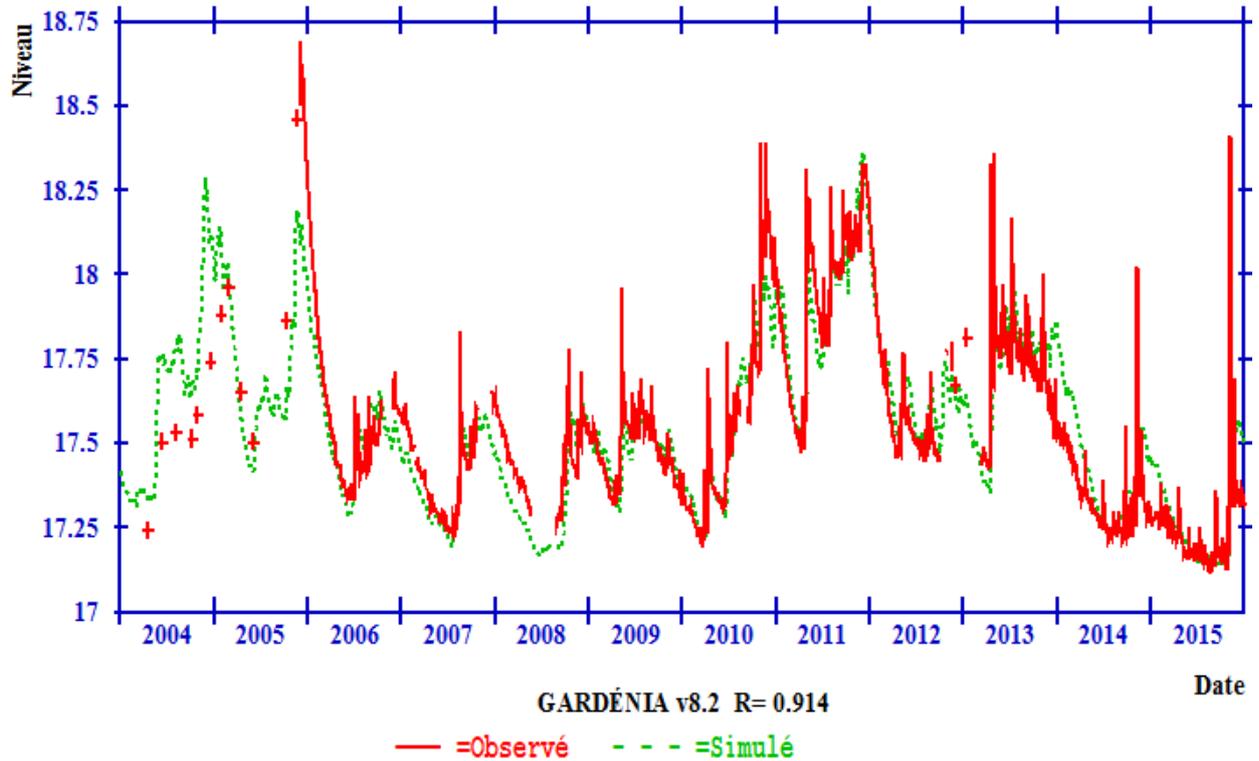
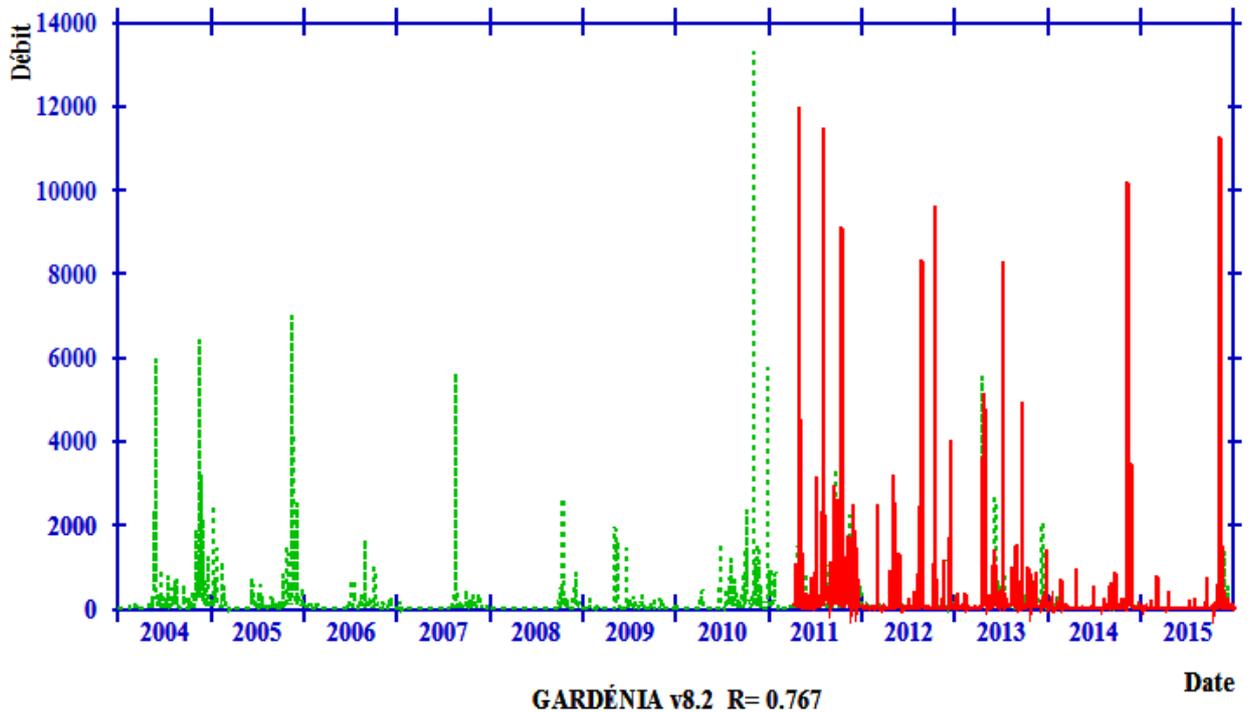
— =Observé - - - =Simulé



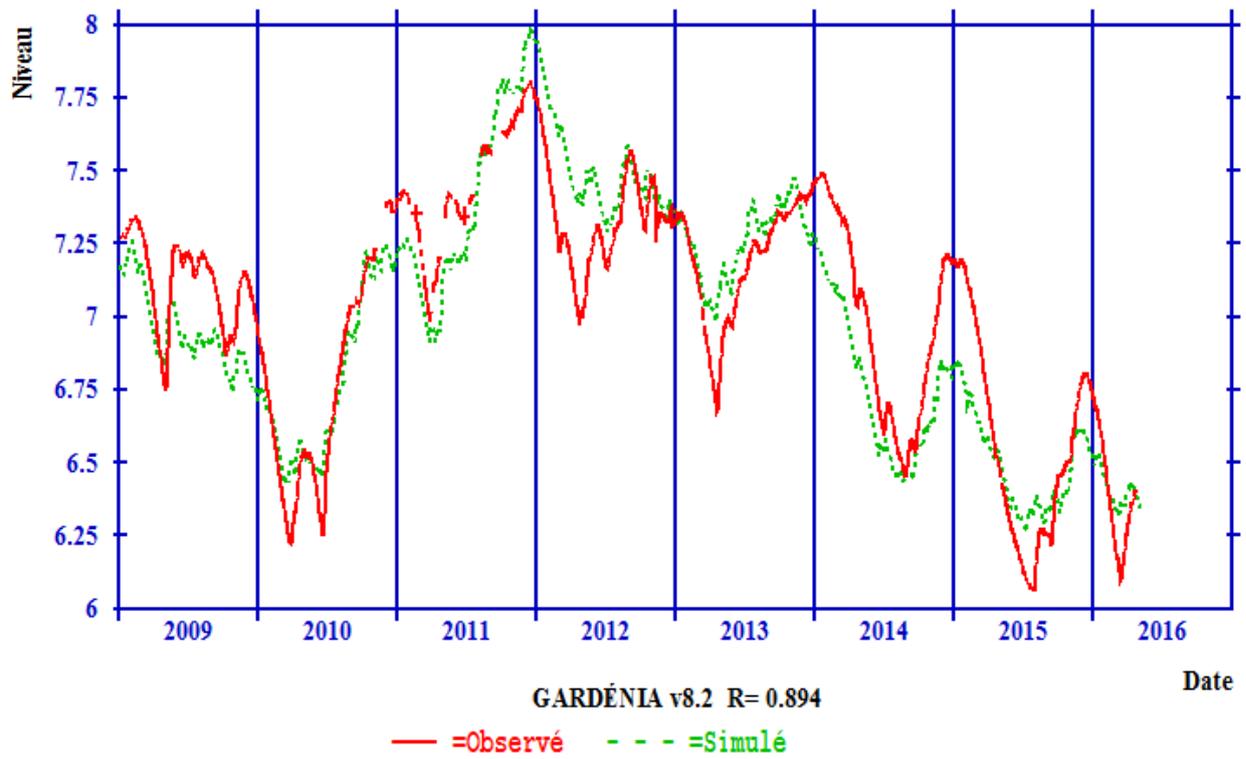
Calage Pluie / Niveau piézométrique de Rivière Pilote - Fougainville / Débit à Petite Rivière Pilote (l/s) et corrélation Débit / Piézométrie simulés



Calage Pluie / Niveau piézométrique de Rivière Pilote - La Mauny / Débit à la Petite Rivière Pilote (l/s)



Calage Pluie / Niveau piézométrique Rivière Pilote - Fougainville / Débit à Dormante de la rivière Oman (l/s)



Calage Pluie / Niveau piézométrique aux Trois Ilets - Vatable



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction régionale Martinique

4, lotissement Miramar
Route de Pointe des Nègres
97200 Fort de France

Tél. : 0596 71 17 70