



**Modèle mathématique de gestion des ressources
en eau de l'hydro-système Seine – craie – alluvions
sur les territoires de la Métropole de Rouen
Normandie et du Syndicat de Bassin Versant Cailly-
Aubette-Robec**

**Rapport n°3 : Analyse des niveaux
piézométriques influencés par la marée
dans l'estuaire de la Seine pour estimer la
diffusivité hydraulique**

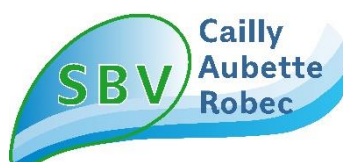
Rapport final

BRGM/RP-70467-FR

Février 2021



Dominique THIÉRY



**Modèle mathématique de gestion des ressources
en eau de l'hydro-système Seine – craie – alluvions
sur les territoires de la Métropole de Rouen
Normandie et du Syndicat Mixte du SAGE Cailly-
Aubette-Robec**

**Rapport n°3 : Analyse des niveaux
piézométriques influencés par la marée
dans l'estuaire de la Seine pour estimer la
diffusivité hydraulique**

Rapport final

BRGM/RP-70467-FR

Février 2021

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2015-RSE-13

Dominique Thiéry,
Avec la collaboration de
E. Idee, P-Y David



Vérificateur :

Nom : Étienne Buscarlet

Fonction : Hydrogéologue

Date : 22/02/2021

Signature :

Approbateur :

Nom : Didier Pennequin

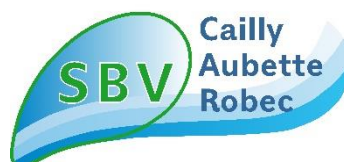
Fonction : Directeur régional
Normandie

Date : 01/03/2021

Signature :

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

Contact : qualite@brgm.fr



Mots clés : Diffusivité Hydraulique, Code de calcul CATHERINE, Influence de la marée, Estuaire de la Seine, Alluvions, Craie, Métropole de Rouen Normandie, SAGE Cailly-Aubette-Robec, Seine-Maritime, Eure, Normandie, France

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

Thiéry D. (2021) - Modèle mathématique de gestion des ressources en eau de l'hydro-système Seine – craie – alluvions sur les territoires de la Métropole de Rouen Normandie et du Syndicat Mixte du SAGE Cailly-Aubette-Robec. Rapport n°3 : Analyse des niveaux piézométriques influencés par la marée dans l'estuaire de la Seine pour estimer la diffusivité hydraulique. Rapport BRGM/RP-70467-FR, 83 p., 46 fig., 7 tabl.

Synthèse

Les niveaux piézométriques proches de l'estuaire de la Seine sont influencés par les variations de hauteur d'eau dans l'estuaire.

L'analyse des variations simultanées du niveau de l'eau dans l'estuaire proche de la berge et le niveau d'eau dans un piézomètre proche peut permettre le calcul de la diffusivité hydraulique dans l'aquifère entre la berge et le piézomètre.

Les historiques de 44 piézomètres situés à moins de 3 km de la berge de la Seine entre Tancarville et Pont de l'Arche ont été rassemblés.

À partir des données relatives à ces piézomètres, une analyse graphique a permis d'en sélectionner 30 d'entre eux qui ont été modélisés avec le code de calcul CATHERINE du BRGM (Thiéry, 2012). Il a ainsi été possible de calculer pour chacun d'eux la diffusivité T/S moyenne de l'aquifère entre la berge et le piézomètre.

Ces calculs de diffusivité aideront au calage des paramètres du futur modèle distribué de la vallée de Seine.

Des informations récentes sur le code CATHERINE du BRGM sont disponibles sur le site : <https://www.brgm.fr/production-scientifique/logiciels-scientifiques/catherine-logiciel-analyse-influence-riviere> .

Sommaire

1. Introduction.....	9
2. Les données disponibles	11
3. Principe de l'analyse avec le logiciel CATHERINE.....	23
4. Analyse graphique de chaque piézomètre pour déterminer s'il est modélisable	27
5. Modélisation des piézomètres sélectionnés.....	55
6. Conclusion	79
7. Références bibliographiques.....	83

Liste des illustrations

Figure 1 : Composante périodique de 12h25 aux marégraphes de Tancarville (en haut) et du Pont de l'Arche (en bas) avec la même échelle de variation.	13
Figure 1 : Composante périodique de 12h25 aux marégraphes de Tancarville (en haut) et du Pont de l'Arche (en bas) avec la même échelle de variation : Détail sur la période Janvier-Février 2013	13
Figure 2 : Composante de grande longueur d'onde aux marégraphes de Tancarville (en haut) et du Pont de l'Arche (en bas) avec la même échelle de variation.	14
Figure 3 : localisation des marégraphes et des chroniques piézométriques collectées pour la présente étude	21
Figure 4 : Schéma de principe Piézomètre situé dans un aquifère bordé par une rivière, un plan d'eau ou la mer	23
Figure 5 : Variation de niveau en fonction du temps adimensionnel.	25
Figure 6 : Fonction $\text{erfc}(u)$	25
Figure 7 : Modélisation du piézomètre 00974X0128 ; « Sandouville PZ1908 ». Composante de période 13 heures (dessin du bas : détail en Février-Mars 2013).	55
Figure 8 : Piézomètre 01242X0530 ; « Val de Reuil » à Val de Reuil Fluctuation de période 13 heures dans la Seine et fluctuation du niveau piézométrique de période 13 heures.	56
Figure 9 : Modélisation du piézomètre 01242X0530 ; « Val de Reuil » à Val de Reuil. Fluctuation de période 13 heures observée et simulée (amplitude = + 7.5 cm environ). Dessin du bas : détail en Avril-Mai 2015.....	57
Figure 10 : Modélisation du piézomètre 01241X0365_suivi_BRGM ; « Ancien Captage AEP »	58
Figure 11 : Modélisation du piézomètre 01241X0365_suivi_Safege ; « Ancien Captage AEP »	58
Figure 12 : Modélisation du piézomètre 01241X0379 ; « PZ1B » à Sotteville-sous-le-Val	59
Figure 13 : Modélisation du piézomètre Etang_sslv ; « Etang_sslv » à Sotteville-sous-le-Val...	59
Figure 14 : Modélisation du piézomètre 01234B0312 ; « 4 (=P15= F2) » à Martot	60
Figure 15 : Modélisation du piézomètre BSS003DCOS ; « 4 5 (=P3) » à Martot	61

Figure 16 : Modélisation du piézomètre BSS004AJRK ; « 21 » à Martot	61
Figure 17 : Modélisation du piézomètre BSS004AJRL ; « 28 (P1-F3) » à Martot.....	62
Figure 18 : Modélisation du piézomètre BSS004AJRN ; « 29 » à Martot	62
Figure 19 : Modélisation du piézomètre 01241X0357 ; « Puits Agricole » à Criquebeuf.....	63
Figure 20 : Niveau de la Seine et du piézomètre BSS003CLUO ; « Pz Amont CBN » à Criquebeuf	63
Figure 21 : Modélisation du piézomètre BSS003CLUO ; « Pz Amont CBN » à Criquebeuf.....	64
Figure 22 : Modélisation du piézomètre 01234X0315 ; « Pz Amont SERAF » à Freneuse.....	64
Figure 23 : Modélisation du piézomètre 00998D0351 ; « Pz Catelier » à Oissel.....	65
Figure 24 : Modélisation du piézomètre 00998X0586 ; « Pz1 STREF Bédanne » à Tourville-la- rivière.....	65
Figure 25 : Modélisation du piézomètre BSS003FBUG ; « PZ Cemex » à Val de Reuil	66
Figure 26 : Modélisation du piézomètre 00997X0227 ; « Forêt la Londe » à Grand-Couronne .	66
Figure 27 : Modélisation du piézomètre 01234X0297 ; « 2 » à Caudebec les Elbeuf. (Modélisation des écart à la moyenne mobile du niveau sur 13 heures). Dessin du bas : détail sur la période Avril-Mai 2015.	67
Figure 28 : Modélisation du piézomètre 00993X0072 ; « AEP Bardouville » à Bardouville.....	68
Figure 29 : Modélisation du piézomètre BSS003YYBE ; « Piezo Station » à Bardouville. Écart par rapport à la composante de grande longueur d'onde (amplitude de +-8 cm uniquement)	69
Figure 30 : Modélisation du piézomètre BSS000GLXD ; « P Château » à Bardouville	70
Figure 31 : Modélisation du piézomètre BSS000GMES ; « P Landrin » à Bardouville	70
Figure 32 : Piézomètre 00992X0037 ; « FAEP » à Jumièges : Visualisation des données brutes	71
Figure 33 : Modélisation du piézomètre 00992X0037 ; « FAEP » à Jumièges.....	71
Figure 34 : Modélisation du piézomètre BSS002PSYR ; « PZJ1 » à Jumièges	72
Figure 35 : Modélisation du piézomètre BSS002PSYP ; « PZJ2 » à Jumièges	72
Figure 36 : Modélisation du piézomètre BSS002PSYM ; « PZJ2b » à Jumièges.....	73
Figure 37 : Modélisation du piézomètre BSS002PSYT_suivi_Safege ; « PZJ3 » à Jumièges...	73
Figure 38 : Piézomètre BSS002PSYT_suivi_brgm ; « PZJ3 » à Jumièges. Première simulation des niveaux piézométriques bruts.	74
Figure 39 : Piézomètre BSS002PSYT_suivi_Safege ; « PZJ3 » à Jumièges. Écart à la première simulation (moyenne mobile 25 jours) = « Tendance » = Effet « Climatique ».	75
Figure 40 : Modélisation du piézomètre BSS002PSYT_suivi_brgm ; « PZJ3 » à Jumièges	75
Figure 41 : Modélisation du piézomètre 00992X0058_suivi_brgm ; « Puits rue forêt » à Jumièges	76
Figure 42 : Modélisation du piézomètre 00998B0311 ; « Sotteville » à Sotteville les Rouen	76
Figure 43 : Répartition statistique des diffusivités des 30 piézomètres modélisés.	79
Figure 44 : Répartition statistique des coefficient de corrélation de la modélisation des 30 piézomètres.....	79
Figure 45 : Carte récapitulative des coefficients de diffusivité des 30 piézomètres modélisés. .	80

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques générales des 15 marégraphes.	12
Tableau 2 : Caractéristiques générales des 44 piézomètres : Piézomètres n°1 à 28.	16
Tableau 3 : Caractéristiques générales des 44 piézomètres – Suite : Piézomètres n°29 à 44. .	17
Tableau 4 : Plages d’observations des piézomètres : Piézomètres n°1 à 28.	18
Tableau 5 : Plages d’observations des piézomètres - Suite : Piézomètres n°29 à 44.	19
Tableau 6 : Diffusivité et coefficient de corrélation des 30 piézomètres modélisés avec le logiciel CATHERINE : Piézomètres n°1 à 19.	81
Tableau 7 : Diffusivité et coefficient de corrélation des 30 piézomètres modélisés avec le logiciel CATHERINE – Suite : Piézomètres n°20 à 30.	82

1. Introduction

1.1. Contexte générale de l'étude

Le SAGE des bassins versants Cailly-Aubette-Robec a fait l'objet d'une révision en 2014, qui élargit les enjeux initiaux plutôt sur la « protection des biens et des personnes face aux risques d'inondation ». Cette révision a mis en exergue, en particulier la « restauration de la rivière et des milieux humides associés » et la « protection de la ressource en eau potable ». En effet, les eaux brutes prélevées dans la nappe de la craie pour alimenter la population ont subi ces dernières années une dégradation significative de leur qualité (produits phytosanitaires détectés, teneurs en nitrates en augmentation, épisodes d'eau turbide et aggravation des teneurs en COHV). Par ailleurs, les zones humides, dont l'extension est déjà très réduite sur le territoire du SAGE, sont fortement dégradées et les étiages des cours d'eau semblent plus marqués. L'impact de la pression des prélèvements sur les rivières et milieux humides associés doit être évalué, les zones humides contribuant elles-mêmes à la protection de la qualité de l'eau.

Face à ces constats, et plus généralement pour pouvoir préserver la ressource en eau potable le **Syndicat des Bassins Versants du Cailly, Aubette, Robec** (SBVCAR) porteur du SAGE (dont la Métropole de Rouen et le Syndicat des Eaux de Montville font partie) ont souhaité affiner les connaissances de l'hydro-système des bassins du Cailly-Aubette-Robec (nappe – rivières – zones humides) et mettre en place un outil de gestion/protection adapté pour définir le cadre et les règles d'une gestion soutenable. Cet outil sera mis en place afin de pouvoir respecter les nouvelles orientations du SAGE, assurer la pérennité de l'alimentation en eau potable, restaurer autant que possible les écosystèmes amont et plus généralement respecter les exigences de la Directive cadre sur l'eau (DCE).

De son côté, la **Métropole Rouen Normandie** (MRN) a lancé une étude pour la recherche d'une ressource en eau potable alternative d'une capacité de production de l'ordre de 50 000 m³/j, sur un à quatre sites en vallée de Seine. Cette étude nécessitera notamment de réaliser des simulations à l'aide d'un modèle mathématique afin de déterminer le potentiel théorique de la ressource dans ces quatre secteurs, d'estimer les risques d'entraînement de polluants potentiels voire connus en fonction des écoulements souterrains, et le cas échéant de contribuer à pré-dimensionner le ou les dispositifs d'exploitation à mettre en place.

Ces deux démarches, celle de la MRN et celle du SBVCAR, étant menées de manière parallèle avec des objectifs voisins, sur des territoires qui se chevauchent partiellement, il a été décidé en concertation avec les deux parties et l'Agence de l'Eau Seine-Normandie (AESN) que la réalisation d'un seul grand modèle hydrodynamique couvrant les deux territoires pouvait le mieux répondre aux attentes de chacun. La construction de ce modèle fait l'objet de la présente étude.

Cette étude découpée en plusieurs phases :

- Collecte et acquisition des données géologiques et hydrogéologiques
- Réalisation d'un modèle géologique 3D
- Réalisation d'un modèle hydrogéologique (MARTHE)
- Mise en œuvre de scénarii d'exploitation

La collecte des données géologiques et les investigations géologiques et géophysiques mis en œuvre sur le terrain ont déjà fait l'objet de deux rapports : le premier concernant la synthèse géologique et structurale (BRGM/RP-69543-FR) et le second concernant les investigations géologiques et géophysique (BRGM/RP-69544-FR).

Concernant les données hydrogéologiques, la collecte est en cours de finalisation et de nombreuses investigations ont été mises en œuvres : mise en place d'un réseau piézométrique local et de deux nouvelles stations de jaugeages, réalisations de deux campagnes quantitatives, etc. Ces investigations feront prochainement l'objet d'un rapport (rapport n°4).

Le réseau piézométrique mis en place a mis en évidence que de nombreux piézomètres en vallée de Seine étaient influencés par la marée.

1.2. Objectif du travail faisant l'objet du présent rapport

L'analyse des variations simultanées du niveau de l'eau dans l'estuaire proche de la berge et le niveau d'eau dans un piézomètre proche peut permettre le calcul de la diffusivité hydraulique dans l'aquifère entre la berge et le piézomètre.

Le travail présenté ci-après a consisté à collecter les données des piézomètres dont le niveau d'eau est influencé par la marée puis à modéliser ces niveaux piézométriques associé au marégraphe le plus proche avec le code de calcul CATHERINE du BRGM (Thiéry, 2012) afin de calculer pour chacun d'eux la diffusivité T/S moyenne de l'aquifère entre la berge et le piézomètre.

Ces calculs de diffusivité aideront au calage des paramètres du futur modèle distribué de la vallée de Seine.

Des informations récentes sur le code CATHERINE du BRGM sont disponibles sur le site : <https://www.brgm.fr/production-scientifique/logiciels-scientifiques/catherine-logiciel-analyse-influence-riviere> .

2. Les données disponibles

Les données disponibles pour la présente analyse sont constituées de données de marégraphes et des niveaux piézométriques.

Les données de 15 marégraphes ont été mises à disposition du BRGM par le Grand Port Maritime de Rouen (GPMR) spécifiquement pour cette étude. Une convention de mise à disposition des données a été signée à cet effet.

Les données de niveau de 45 piézomètres ont pu être collectées ; elles proviennent de sources diverses :

- Réseau piézométrique national sous maîtrise d'ouvrage BRGM (BRGM/OFB) (4 piézomètres) ;
- Réseau piézométrique local mise en place par le BRGM pour le SAGE Commerce en 2017 (6 piézomètres) ;
- Réseau piézométrique local mise en place par le BRGM pour la Métropole de Rouen Normandie (MRN) et le SAGE Cailly-Aubette-Robec en 2018 (14 piézomètres) ;
- Pompages d'essai réalisés par un bureau d'études pour le compte de la MRN sur le captage AEP de Bardouville en 2015 (5 piézomètres) ;
- Pompages d'essai réalisés par un bureau d'études pour le compte de la MRN sur le captage AEP de Freneuse en 2012/2013 (3 piézomètres) ;
- Suivi piézométrique mis en place par un bureau d'études pour la DDTM27 en 2017 dans le cadre de la déconstruction du barrage de Martot (dpt27) (6 piézomètres).

L'ensemble de ces données sont localisées sur la Figure 4. Les caractéristiques des séries temporelles des marégraphes et des piézomètres sont décrites ci-dessous.

2.1. Les marégraphes

On dispose des données de 15 marégraphes. Les données de tous les marégraphes sont :

- Au pas de temps de 5 minutes.
- Sur la période : du 20/12/2012 au 12/09/2019 ; soit 2457 jours (6.73 années).

Les caractéristiques générales des 15 marégraphes sont rassemblées dans le Tableau 1.

Les séries présentent toujours des manques : de 13440 à 68244 pas de temps (2.0 % à 9.6 %).

Il est nécessaire de combler ces manques par interpolation pour pouvoir utiliser ces séries

Tableau 1 : Caractéristiques générales des 15 marégraphes.

Num	XL93	YL93	Nom du point	Commune	PK	Distance à Tancarville km	Nb. de manques
1	516411	6933791	Écluse-Tancarville	Tancarville	337.36	0.0	18503
2	522331	6931738	Saint-Léonard	Petiville	330.2	7.2	18499
3	527671	6928469	Aizier	Aizier	323.4	14.0	14305
4	531024	6933310	Vatteville-la-Rue	Vatteville-la-Rue	317	20.4	24260
5	534484	6938401	Caudebec -en-Caux	Caudebec-en-Caux	310.5	26.9	20784
6	541568	6929817	Heurteauville	Heurteauville	297.65	39.7	13440
7	545200	6925897	Le-Mesnil-sous-Jumièges	Mesnil-sous-Jumièges	285.98	51.4	20823
8	545913	6933299	Duclair	Duclair	278	59.4	21230
9	549121	6924545	Val-des-Leux	Mauny	265.55	71.8	24785
10	549457	6919137	La-Bouille	La Bouille	258.25	79.1	19622
11	555573	6922552	Petit-Couronne	Petit-Couronne	252.15	85.2	19807
12	560091	6928828	Jean-Ango	Rouen	243.7	93.7	20694
13	562183	6917211	Viaduc-SNCF	Oissel	229.9	107.5	20256
14	555402	6912161	Pont-Jean-Jaurès	Elbeuf	218.8	118.6	18880
15	565755	6913836	Pont-D6015	Pont-de l'Arche	207.7	129.7	68244

L'analyse des niveau dans les marégraphie montre que logiquement :

- Un marégraphie situé près de la mer (marégraphie de Tancarville) présente :
 - Une composante périodique, de période 12h25, de forte amplitude.
 - Une composante de grande longueur d'onde (due à d'autres phénomènes comme les tempêtes ou les crues) de faible amplitude.
- Un marégraphie situé loin de la mer (marégraphie du Pont de l'Arche) présente :
 - Une composante périodique, de période 12h25, de faible amplitude.
 - Une composante de grande longueur d'onde (due à d'autres phénomènes comme les crues) de forte amplitude.

La composante périodique de 12h25 est calculée par moyenne mobile de 127 pas de temps (au pas de temps de 5 mn), ou approximativement par moyenne mobile de 13 pas de temps (au pas de temps horaire).

La composante de grande longueur d'onde est obtenue en retranchant au niveau mesuré la composante périodique calculée.

La Figure 1 montre que la demi-amplitude de la marée (de 12h25) est d'environ de 3 mètres à Tancarville (près de la mer) et de seulement en moyenne d'environ 0.80 m au pont de l'Arche (à l'amont)

La Figure 3 montre qu'en revanche la demi-amplitude de la composante de grande longueur d'onde est d'environ 0.25 m à Tancarville et de plus de 3 mètres au Pont de l'Arche.

Les piézomètres situés près de la mer seront donc davantage influencés par les variations périodiques de 12h25, et ceux situés à l'amont de la Seine le seront davantage par la composante de grande longueur d'onde.

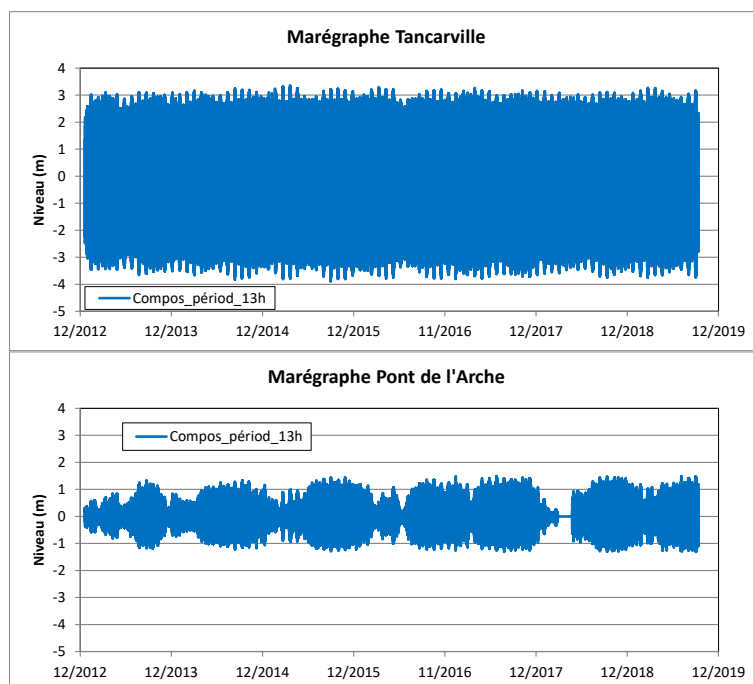


Figure 1 : Composante périodique de 12h25 aux marégraphes de Tancarville (en haut) et du Pont de l'Arche (en bas) avec la même échelle de variation.

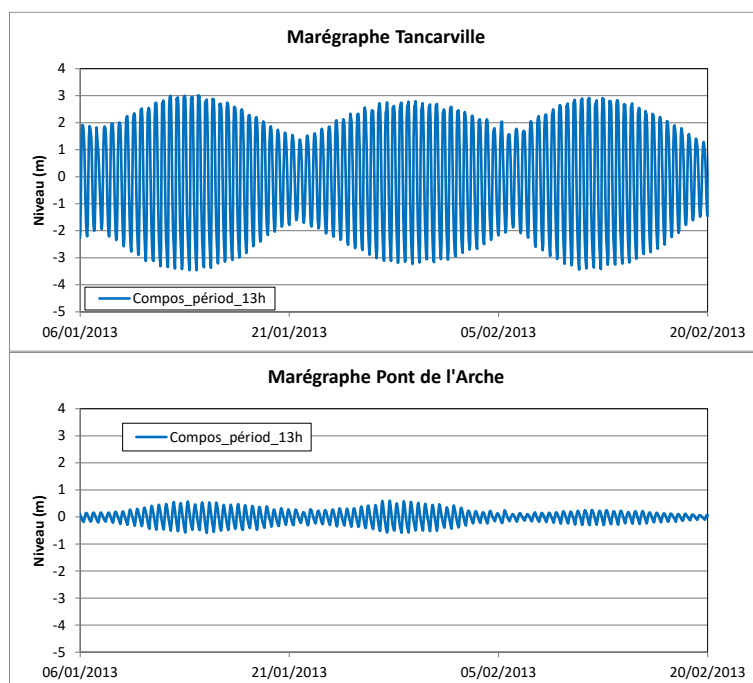


Figure 2 : Composante périodique de 12h25 aux marégraphes de Tancarville (en haut) et du Pont de l'Arche (en bas) avec la même échelle de variation : Détail sur la période Janvier-Février 2013

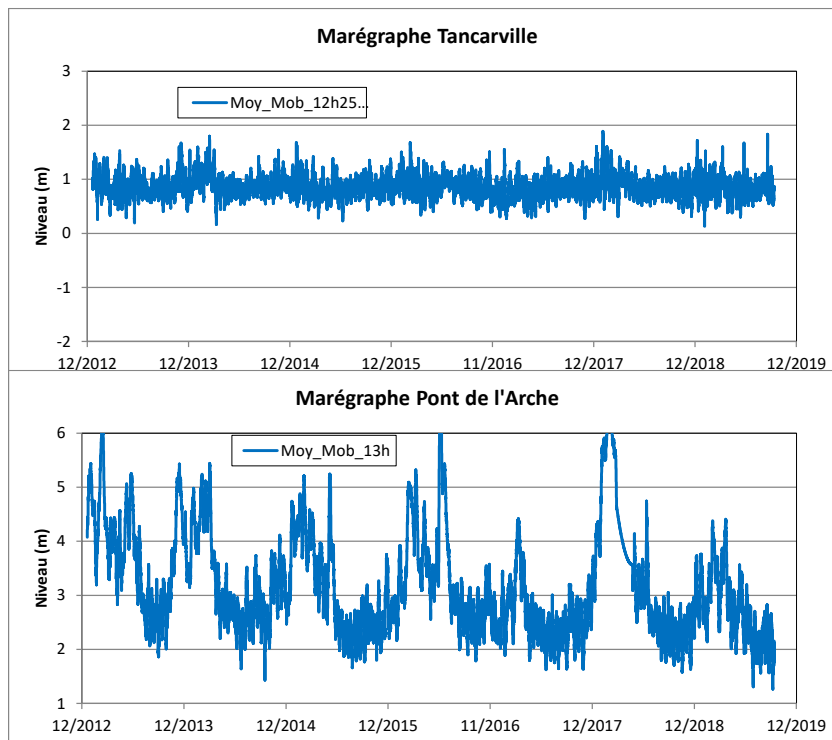


Figure 3 : Composante de grande longueur d'onde aux marégraphes de Tancarville (en haut) et du Pont de l'Arche (en bas) avec la même échelle de variation.

2.2. Les niveaux piézométriques

Un ensemble de 44 piézomètres a été sélectionné.

Les caractéristiques générales des 44 piézomètres sont rassemblées dans le Tableau 2 et le Tableau 3.

Les plages d'observations des 44 piézomètres sont rassemblées dans le Tableau 4 et le Tableau 5.

De ces tableaux on déduit :

Distance des piézomètres à la berge de la Seine

- Distance médiane = 660 m.
- 80 % des distances sont dans l'intervalle : [285 m-1940 m].

Durée du pas de temps d'observations des piézomètres

- 7 piézomètres ont un pas de 5 mn.
- 13 piézomètres ont un pas de 10 mn.
- 1 piézomètre a un pas de temps de 15 mn.
- 2 piézomètres ont un pas de 20 mn.
- 20 piézomètres ont un pas de 60 mn.
- 1 piézomètre a un pas de 60 mn au début, puis un pas de 20 mn.

Continuité et pas de temps manquants dans les séries piézométriques

- 5 piézomètres ont plus de 8 % de pas de temps manquants.

Pour être utilisable avec le logiciel CATHERINE, une série piézométrique doit remplir les conditions suivantes :

- Être à un pas de temps constant (sans pas de temps manquants).
- Le niveau piézométrique peut avoir une valeur inconnue à certains pas de temps.
- Avoir une série marégraphique sur la même période et au même pas de temps.

Pour pouvoir utiliser une série piézométrique, il est donc nécessaire :

- De créer une série au pas de temps le plus grand des pas de temps quand cette série comporte des pas de temps de durées différentes.
- De créer les pas de temps manquants et leur affecter un niveau piézométrique égal à la valeur 9999 qui indique une donnée inconnue.
- De générer une série marégraphique au même pas de temps. Par exemple si on utilise une série piézométrique au pas de temps 20 mn : à partir de la série marégraphique au pas de temps de 5 mn on crée une série au pas de temps de 20 mn par moyenne de 4 pas de temps consécutifs.

Tous ces traitements peuvent être effectués avec le logiciel **SHALIMAR** du BRGM (**S**tatistiques **H**ydrologiques, **A**nalyses, **L**issage, **M**odifications **A**lgébriques, **R**égression) qui est installé avec la distribution du logiciel CATHERINE.

Tableau 2 : Caractéristiques générales des 44 piézomètres : Piézomètres n°1 à 28.

ID	Indice BSS	Dénomination	Commune	Marégraphe	Dist. berge (m)	Aquifère
1	00765X0124	St Nicolas-de-Bliquetuit	St-Nicolas-de-Bliquetuit	Caudebec-en-Caux	375	Alluv-fines
2	00974X0128	Sandouville PZ1908	Sandouville	Tancarville	1210	Alluv-Grav
3	BSS003TUCC	SP2 Technosol	Lillebonne	Petiville	1460	Alluv-fines
4	BSS003TUBI	Port Jérôme 2	Lillebonne	Petiville	265	Alluv-fines
5	BSS003TUAO	Port Jérôme 1 CVS	Lillebonne	Petiville	2150	Alluv-fines
6	00983X0111	Petiville	Petiville	Petiville	1950	Craie/Alluv
7	00756X0047	SPIE6 Radicatel	St-Jean-de-Folleville	Tancarville	1570	Alluv-Grav
8	00982X0192	Ecostuair	St-Jean-de-Folleville	Tancarville	630	Alluv-fines
9	01242X0530	Val-de-Reuil	Val-de-Reuil	Pont-de-l'Arche	530	Craie/Alluv
34	01241X0365	Ancien Captage AEP (suivi BRGM)	Freneuse	Elbeuf	450	Craie/Alluv
15	01241X0365	Ancien Captage AEP (Suivi Safege)	Freneuse	Elbeuf	450	Craie/Alluv
29	01241X0379	PZ1B	Notteville-sous-le-Val	Elbeuf	660	Alluv-fines
30	Etang_sslv	Étang_sslv	Notteville-sous-le-Val	Elbeuf	210	Eaux-Surf
23	01234B0312	4 (=P15= F2)	Martot	Elbeuf	1260	Craie
24	BSS003DCOS	5 (=P3)	Martot	Elbeuf	455	Alluv-fines
25	BSS003YVQW	19 (P16-F1)	Martot	Elbeuf	1900	Craie
26	BSS004AJRK	21	Martot	Pont-de-l'Arche	490	Alluv-fines
27	BSS004AJRL	28 (P1-F3)	Martot	Elbeuf	500	Alluv-fines
28	BSS004AJRN	29	Martot	Elbeuf	410	Alluv-fines
31	01241X0357	Puits Agricole	Criquebeuf	Elbeuf	845	Craie/Alluv
32	BSS003CLUO	PZ Amont CBN	Criquebeuf	Elbeuf	2600	Craie
33	01234X0315	PZ Amont SERAF	Freneuse	Elbeuf	530	Craie
35	00998D0351	PZCatelier	Oissel	Oissel	615	Craie
36	01242X0068	Puits-rue-des-masures	Poses	Pont-de-l'Arche	110	Alluv-fines
38	00998X0586	PZ1 STREF Bédanne	Tourville-la-rivière	Oissel	825	Alluv-fines
39	BSS003FBUG	PZ Cemex	Val-de-Reuil	Pont-de-l'Arche	1730	Alluv-fines
41	00997X0227	Forêt-la-Londe	Grand-Couronne	La Bouille/Elbeuf	2330	Craie
45	01234X0297	F2	Caudebec-les-Elbeuf	Elbeuf	230	Albien

(Alluv-fines = Alluvions fines ; Alluv-Grav = Alluvions graves de fond ; Craie/Alluv = Craie sous alluvions ; Eaux-Surf = Eaux de surface)

Tableau 3 : Caractéristiques générales des 44 piézomètres – Suite : Piézomètres n°29 à 44.

ID	Indice BSS	Dénomination	Commune	Marégraphe	Dist. berge (m)	Aquifère
10	00993X0072	AEP Bardouville	Bardouville	Val-des-Leux	450	Craie/Alluv
11	BSS003YYBE	Piezo Station	Bardouville	Val-des-Leux	440	Alluv-fines
12	BSS003YXUA	FCH PZ8	Bardouville	Val-des-Leux	1120	Craie/Alluv
13	BSS000GLXD	P Château	Bardouville	Val-des-Leux	520	Craie/Alluv
14	BSS000GMES	P Landrin	Bardouville	Val-des-Leux	425	Craie/Alluv
16	00992X0037	FAEP	Jumièges	Heurteauville	815	Craie
17	BSS002PSYR	PZJ1	Jumièges	Heurteauville	745	Craie
18	BSS002PSYP	PZJ2	Jumièges	Heurteauville	375	Craie
19	BSS002PSYM	PZJ2b	Jumièges	Heurteauville	300	Alluv-fines
20	00992X0058	Puits rue forêt	Jumièges	Le-Mesnil-sous-Jumièges	1370	Craie
21	00992X0059	Puits rue Mainterbe	Jumièges	Le-Mesnil-sous-Jumièges	1280	Craie
22	BSS002PSYT	PZJ3 suivi Safege	Jumièges	Le-Mesnil-sous-Jumièges	760	Craie
40	00993X0224	PZ Capoulade	Bardouville	Val-des-Leux	730	Craie
42	BSS002PSYT	PZJ3 suivi BRGM	Jumièges	Le-Mesnil-sous-Jumièges	760	Craie
43	00992X0058	Puits rue forêt	Jumièges	Le-Mesnil-sous-Jumièges	1370	Craie
44	00998B0311	Sotteville	Sotteville les Rouen	Lean Ango (Rouen)	3090	Craie

(Alluv-fines = Alluvions fines ; Alluv-Grav = Alluvions graves de fond ; Craie/Alluv = Craie sous alluvions ; Eaux-Surf = Eaux de surface)

Tableau 4 : Plages d'observations des piézomètres : Piézomètres n°1 à 28.

ID	BSS	Pas de temps (mn)	Début	Fin	Plage d'observ. (Jour)	Nombre Observ	% Observ.
1	00765X0124	60	08/04/2013	26/04/2020	2576	61311	99
2	00974X0128	60	12/12/2007	26/04/2020	4520	92738	85
3	BSS003TUCC	60 20	29/03/2017 12/10/2017	12/10/2017 04/12/2019	981	48160	82
4	BSS003TUBI	20	21/06/2017	04/12/2019	897	64502	100
5	BSS003TUAO	20	10/09/2017	04/12/2019	816	29190	50
6	00983X0111	60 20	29/03/2017 12/10/2017	27/07/2017 04/12/2019	981	59199	92
7	00756X0047	60	28/11/2018	04/12/2019	372	8880	99
8	00982X0192	60 20	29/03/2017 25/05/2018	27/07/2017 04/12/2019	981	45053	69
9	01242X0530	60	23/06/2013	27/04/2020	2501	61264	100
34	01241X0365	60	21/11/2018	30/01/2020	436	10395	99
15	01241X0365	5	20/12/2012	13/03/2013	84	23987	99
29	01241X0379	5	20/12/2012	13/03/2013	84	23977	99
30	Etang_sslv	5	20/12/2012	13/03/2013	84	23973	99
23	01234B0312	10	23/05/2017	23/11/2017	185	26526	100
24	BSS003DCOS	10	23/05/2017	23/11/2017	185	26522	100
25	BSS003YVQW	10	23/05/2017	23/11/2017	185	26515	100
26	BSS004AJRK	10	23/05/2017	23/11/2017	185	26506	99
27	BSS004AJRL	10	23/05/2017	18/07/2017	57	7931	97
28	BSS004AJRN	10	23/05/2017	23/11/2017	185	26511	100
31	01241X0357	60	19/11/2018	30/01/2020	438	10491	100
32	BSS003CLUO	60	23/11/2018	30/01/2020	434	10374	100
33	01234X0315	60	21/11/2018	30/01/2020	436	10410	99
35	00998D0351	60	22/11/2018	30/01/2020	435	10401	100
36	01242X0068	60	19/11/2018	29/01/2020	437	10434	99
38	00998X0586	60	21/11/2018	30/01/2020	436	10412	100
39	BSS003FBUG	60	19/11/2018	29/01/2020	437	10437	100
41	00997X0227	60	29/06/2018	05/02/2020	587	14058	100
45	01234X0297	60	22/11/2012	27/04/2020	2714	64123	98

Tableau 5 : Plages d'observations des piézomètres - Suite : Piézomètres n°29 à 44.

ID	BSS	Pas de temps (mn)	Début	Fin	Plage d'observ. (Jour)	Nombre Observ	% Observ.
10	00993X0072	15	07/11/2015	07/12/2015	30	2859	100
11	BSS003YYBE	5	01/10/2015	03/12/2015	63	18263	100
12	BSS003YXUA	5	20/11/2015	03/12/2015	13	3664	100
13	BSS000GLXD	5	20/11/2015	03/12/2015	13	3659	100
14	BSS000GMES	5	20/11/2015	03/12/2015	13	3670	100
16	00992X0037	10	02/09/2016	16/09/2016	14	2003	100
17	BSS002PSYR	10	02/09/2016	16/09/2016	14	2001	100
18	BSS002PSYP	10	07/09/2016	16/09/2016	9	1292	100
19	BSS002PSYM	10	02/09/2016	16/09/2016	14	1981	100
20	00992X0058 suivi Safege	10	02/09/2016	16/09/2016	14	1989	100
21	00992X0059	10	02/09/2016	16/09/2016	14	1992	100
22	BSS002PSYT Suivi Safege	10	02/09/2016	16/09/2016	14	1985	100
40	00993X0224	60	29/06/2018	03/11/2019	492	11819	99
42	BSS002PSYT Suivi BRGM	60	03/07/2018	06/02/2020	583	13982	99
43	00992X0058 suivi BRGM	60	30/06/2018	06/02/2020	586	14067	99
44	00998B0311	60	27/09/2018	05/02/2020	495	11907	100

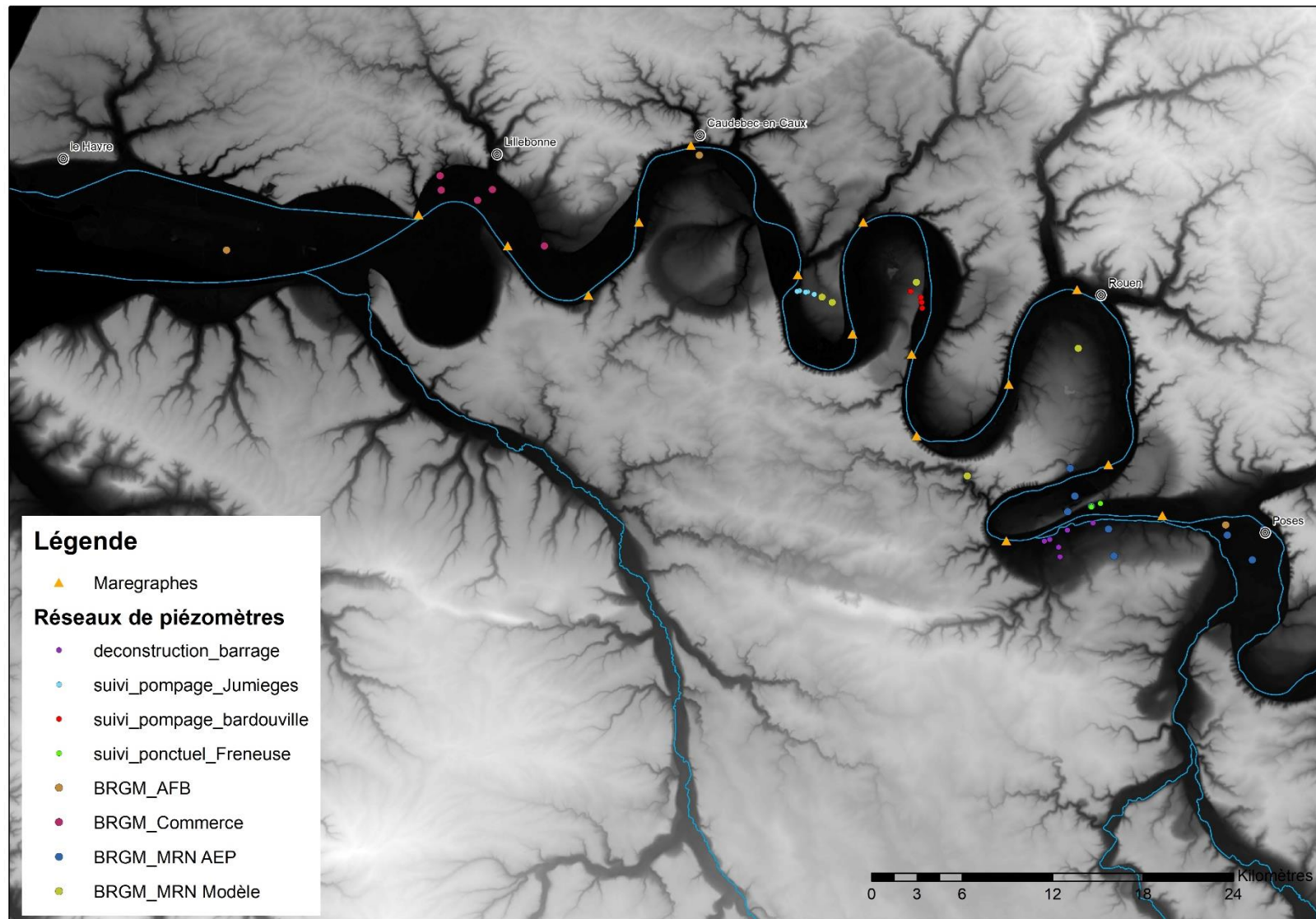


Figure 4 : localisation des marégraphes et des chroniques piézométriques collectées pour la présente étude

3. Principe de l'analyse avec le logiciel CATHERINE

L'analyse des variations simultanées des niveaux dans les piézomètres et des hauteurs d'eau dans la Seine est réalisée avec le logiciel CATHERINE du BRGM (Thiéry, 2012).

3.1. Principe général

Le principe est le suivant :

On considère un aquifère bordé d'un côté par une limite rectiligne qui est constituée par une rivière, un plan d'eau ou la mer. Dans l'autre direction, perpendiculaire à la limite, l'aquifère est d'extension infinie (Figure 5).

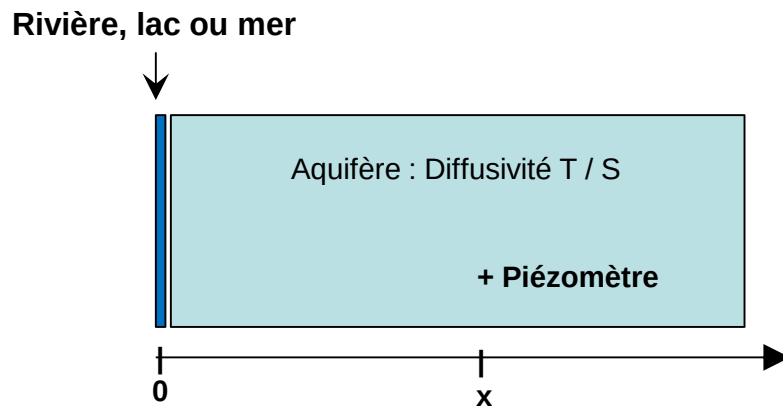


Figure 5 : Schéma de principe
Piézomètre situé dans un aquifère bordé par une rivière, un plan d'eau ou la mer

L'épaisseur mouillée dans l'aquifère est peu variable dans l'espace et le temps. Sa transmissivité est donc considérée comme uniforme.

Cet aquifère peut donc être considéré comme un milieu poreux homogène à une seule dimension, d'extension semi-infinie. Il peut être décrit par les variables suivantes :

- K = Perméabilité à l'eau $[LT^{-1}]$
- S_L = Coefficient d'emmagasinement en nappe libre $[-]$
- S_S = Coefficient d'emmagasinement captif spécifique $[L^{-1}]$
- b = Épaisseur moyenne de l'aquifère $[L]$
- E = Épaisseur saturée moyenne de l'aquifère $[L]$
- H = Niveau piézométrique (ou charge hydraulique) $[L]$
- x = Distance à la limite du domaine $[L]$
- t = Temps $[T]$

On note T la transmissivité de l'aquifère :

$$\begin{aligned} \text{Si l'aquifère est captif} &: T = K \cdot b & [L^2T^{-1}] \\ \text{Si l'aquifère est libre} &: T = K \cdot E & [L^2T^{-1}] \end{aligned}$$

On note **S** le « coefficient d'emmagasinement des hydrogéologues » de l'aquifère. Ce coefficient d'emmagasinement sans dimension est défini de la manière suivante :

$$\begin{aligned} \text{Si l'aquifère est captif : } S &= S_S \cdot b & [-] \\ \text{Si l'aquifère est libre : } S &= S_L & [-] \end{aligned}$$

On note alors **D** la diffusivité (hydraulique) :

$$D = T / S \quad [L^2T^{-1}], \text{ donc en m}^2/\text{s dans le système international.}$$

3.1.1. Condition initiale

Initialement l'aquifère est :

- En équilibre avec la limite formée par la rivière, la mer ou le lac,
- Ou bien soumis à un écoulement constant vers cette limite ou depuis cette limite.

3.1.2. Réaction à une modification instantanée du niveau de la limite

Le système est initialement au repos au niveau initial H_i .

Au temps $t = 0$, le niveau de la limite est modifié instantanément d'une variation de hauteur $h_0 = H_0 - H_i$ et le niveau H_0 est maintenu.

On montre facilement que la variation **h** de niveau piézométrique au temps **t**, à la distance **x** de la limite s'écrit :

$$h(x, t) = h_0 \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{4Dt}}\right) \quad (\text{Figure 6})$$

Avec :

$$\operatorname{erfc}(u) = \text{Fonction « erreur complémentaire » ; } \operatorname{erfc}(u) = 1 - \operatorname{erf}(u) \quad (\text{Figure 7})$$

$$\operatorname{erf}(u) = \text{Fonction erreur : } \operatorname{erf}(u) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^u e^{-z^2} \cdot dz$$

Les fonctions $\operatorname{erf}(u)$ et $\operatorname{erfc}(u)$ sont disponibles dans le logiciel Excel ® et dans les compilateurs modernes (Fortran 2008 et suivant).

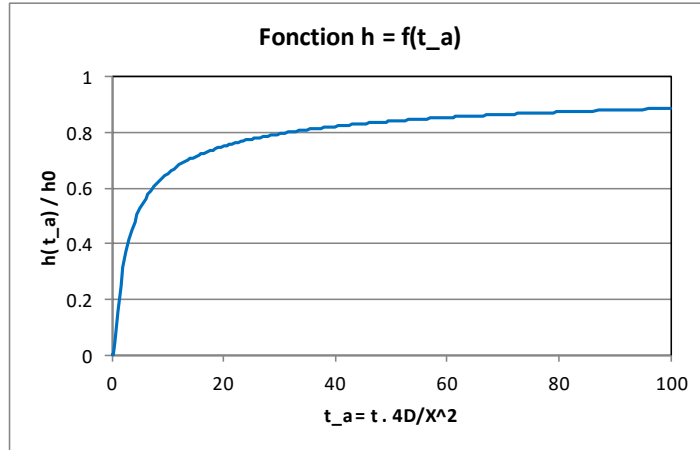


Figure 6 : Variation de niveau en fonction du temps adimensionnel.

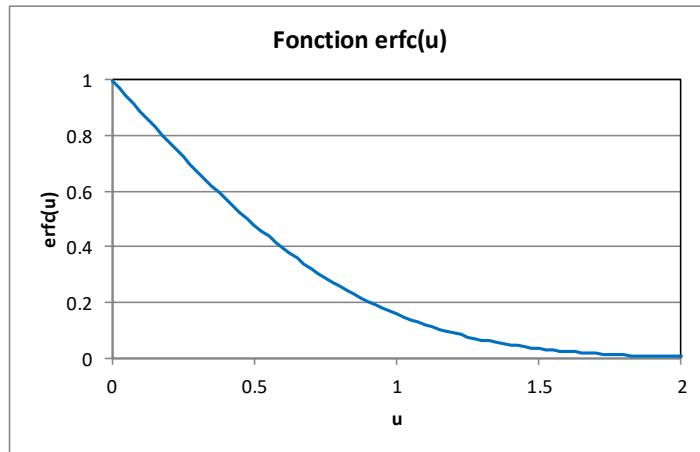


Figure 7 : Fonction $erfc(u)$.

3.1.3. Réaction à un créneau de modification du niveau de la limite

Le niveau piézométrique de la limite subit au temps 0 une variation de niveau $h_1 = H_1 - H_i$ pendant une durée dt , puis une variation de niveau $h_2 = H_2 - H_i$ à partir de cette date.

Pour $t \geq dt$, la variation de niveau piézométrique en un point situé à la distance x de la limite s'obtient alors par le théorème de superposition :

$$h(x, t) = h_1 \cdot erfc\left(\frac{x}{\sqrt{4Dt}}\right) + (h_2 - h_1) \cdot erfc\left(\frac{x}{\sqrt{4D \cdot (t - dt)}}\right)$$

De même, par convolution, on obtient pour la date $t = n \cdot dt$ la variation de niveau piézométrique :

$$h(x, n \cdot dt) = \sum_{k=1}^n \left[(h_k - h_{k-1}) \cdot erfc\left(\frac{x}{\sqrt{4D \cdot (t - k \cdot dt)}}\right) \right]$$

Avec : h_k = variation de niveau piézométrique $H - H_i$ de la date $(k-1) \cdot dt$ à la date $k \cdot dt$

Le théorème de superposition permet de déduire que la solution s'applique également si la nappe n'est pas initialement au repos mais présente un écoulement uniforme dirigé vers la limite ou bien au contraire partant de la limite.

3.2. Application approchée

On a vu que l'aquifère à modéliser doit :

- Avoir une transmissivité invariante dans le temps
- Avoir une transmissivité uniforme de la berge du cours d'eau jusqu'à une grande distance englobant le piézomètre.

En pratique on pourra appliquer la méthode :

- Même si la transmissivité varie un peu au cours du temps sous l'influence des variations de la recharge
- Même si la berge du cours d'eau est un peu colmatée.

3.3. Mise en œuvre du logiciel CATHERINE

Dans le cas le plus simple, il faut créer un fichier texte à pas de temps constant contenant :

- La date (jj/mm/aaaa) ou (jj/mm/aaaa hh :mm) dans la première colonne
- La valeur de la hauteur d'eau au marégraphe sans aucune valeur absente, par exemple dans la 2^{ème} colonne.
- La valeur du niveau d'eau au piézomètre, par exemple dans la 3^{ème} colonne. Il peut y avoir des valeurs absentes notées « 9999 ».

Lors du lancement du logiciel CATHERINE un écran permet de définir quelques paramètres, en particulier les paramètres suivants :

- Le pas de temps des données,
- La distance entre le point d'observation de niveau de nappe et la limite,
- Les limites minimum et maximum prévues pour le diffusivité

Le logiciel détermine alors la valeur de la diffusivité qui permet de simuler le mieux possible les observations de niveaux de nappe à partir des hauteurs d'eau mesurées à la limite.

4. Analyse graphique de chaque piézomètre pour déterminer s'il est modélisable

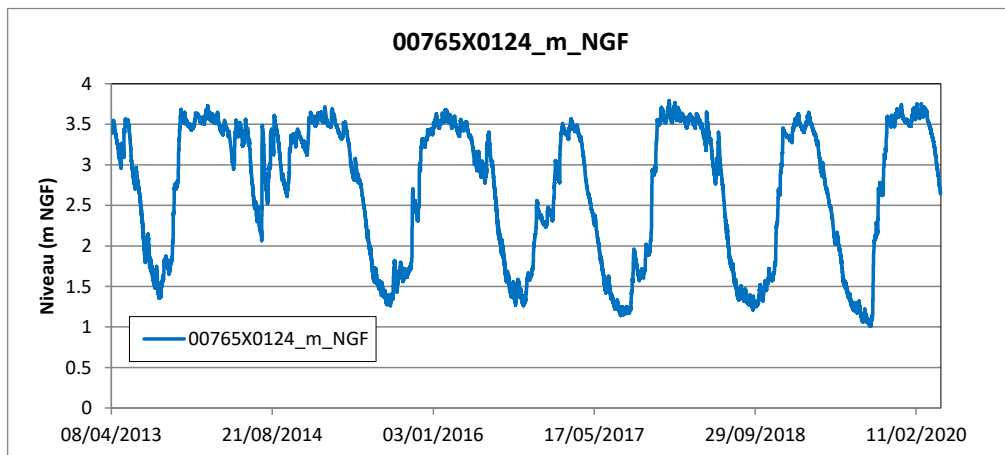
Avant une modélisation, il est indispensable d'analyser graphiquement l'historique de chaque piézomètre pour voir s'il est modélisable. À l'issue de cette analyse plusieurs cas peuvent se présenter.

Les différents cas possibles sont :

- Le piézomètre présente essentiellement des variations de 12.42 heures de période, à peu près sinusoïdales, avec une amplitude elle-même à peu près sinusoïdale d'environ 14.765 jours de période (due à la lunaison). C'est le cas idéal : le piézomètre peut a priori être modélisé.
- Le piézomètre présente essentiellement des variations classiques en relation avec la météo : hautes eaux en réaction à un recharge puis tarissement. Il ne présente quasiment pas de composante de 12.42 heures de période, ou bien une composante extrêmement faible de l'ordre du centimètre. Il ne présente pas non plus de variations de grande longueur d'onde proches de celles d'un marégraphe. Ce piézomètre ne pourra pas être modélisé et sera éliminé.
- Le piézomètre présente des variations régulières de 12.42 heures de période, mais avec des valeurs erratiques plus ou moins nombreuses. Ces valeurs erratiques risquent de perturber la calibration automatique qui permet d'identifier la diffusivité. Il faut donc remplacer les valeurs visiblement erratiques par des valeurs égales à 9999 et réanalyser la série.
- Le piézomètre présente des variations liées à la recharge, ou à des pompages voisins, mais également des variations de 12.42 heures de période d'amplitude importante, d'au moins 5 ou 10 cm. Il est possible de calculer par filtrage l'influence de la recharge, et/ou des pompages, puis de la soustraire du signal initial. Il reste alors la composante de 12.42 heures de période qui peut être utilisée pour tenter une modélisation. Cette méthode peut être appliquée uniquement si le marégraphe présente essentiellement des variations sinusoïdales, sans influence des crues dans le cours d'eau. Sinon il faut également extraire cette influence de grande longueur d'onde des hauteurs du marégraphe.

On présente dans les paragraphes suivants l'analyse de chaque piézomètre.

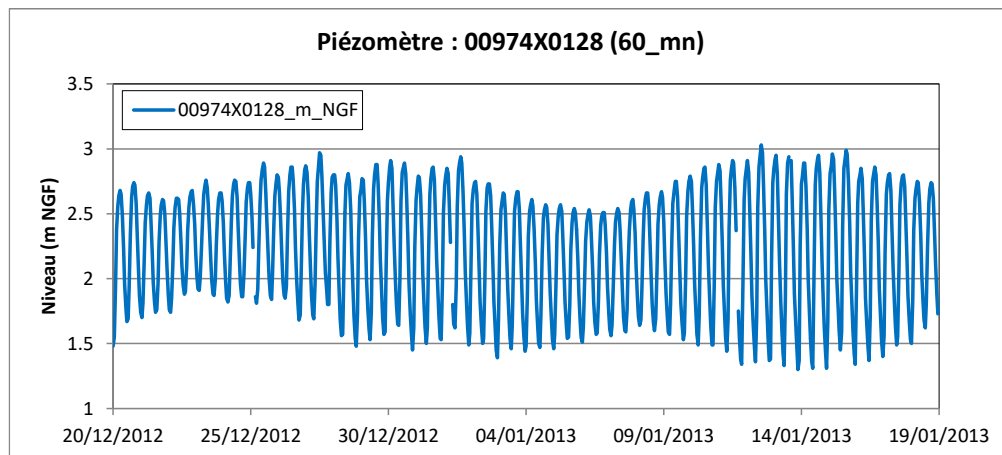
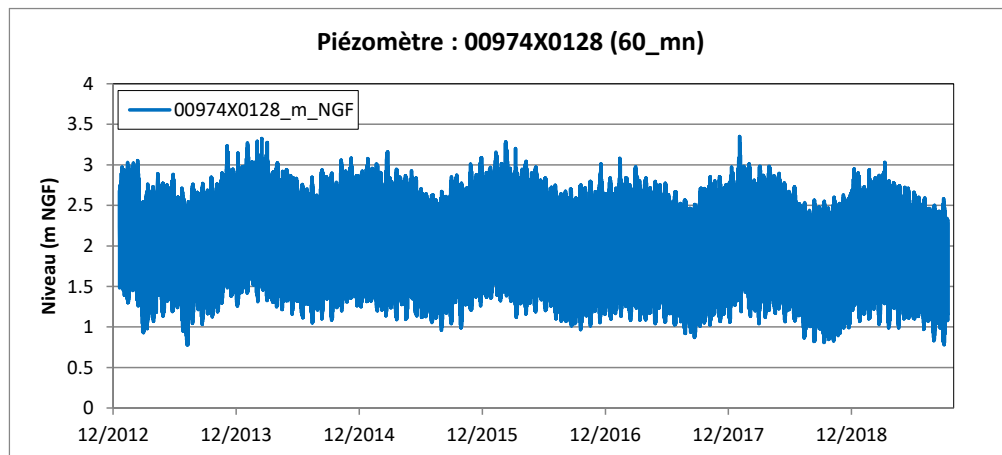
4.1. Piézomètre ID = 1 : 00765X0124 ; Saint Nicolas de Bliquetuit



Diagnostic : Uniquement une composante météo : Étiages tous les ans en Août-Septembre.
Pas d'effet de marée.

⇒ Piézomètre non modélisable.

4.2. Piézomètre ID = 2 : 00974X0128 ; « Sandouville PZ1908 » à Sandouville

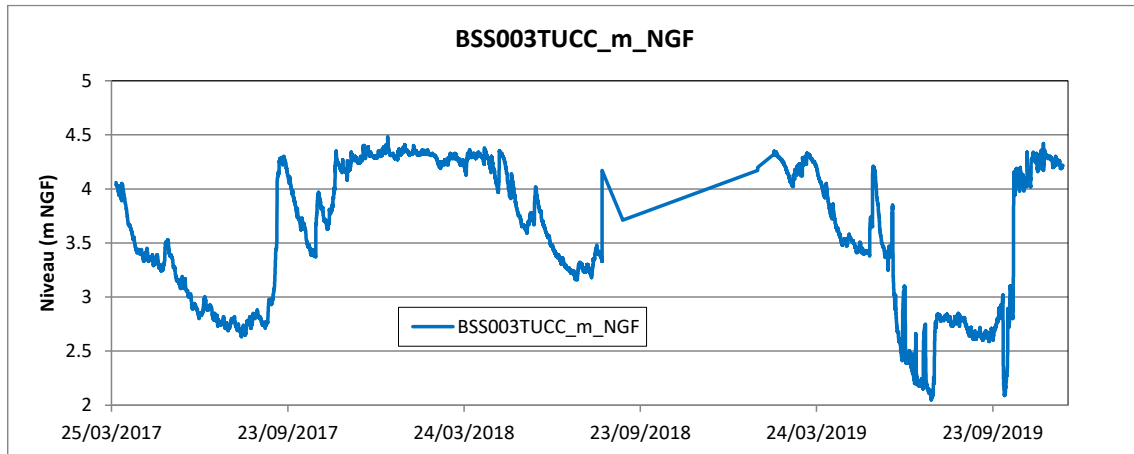


Détail pendant un mois

Diagnostic : Forte composante de 12h30 de période et cycles de 14.5 jours.

⇒ Modélisation envisageable.

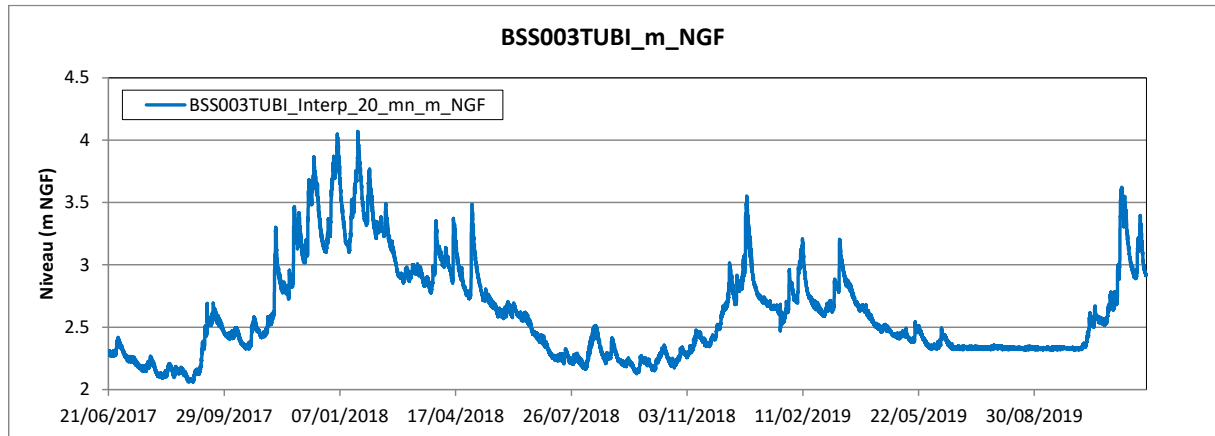
4.3. Piézomètre ID = 3 : BSS003TUCC ; « SP2 Technosol » à Lillebonne



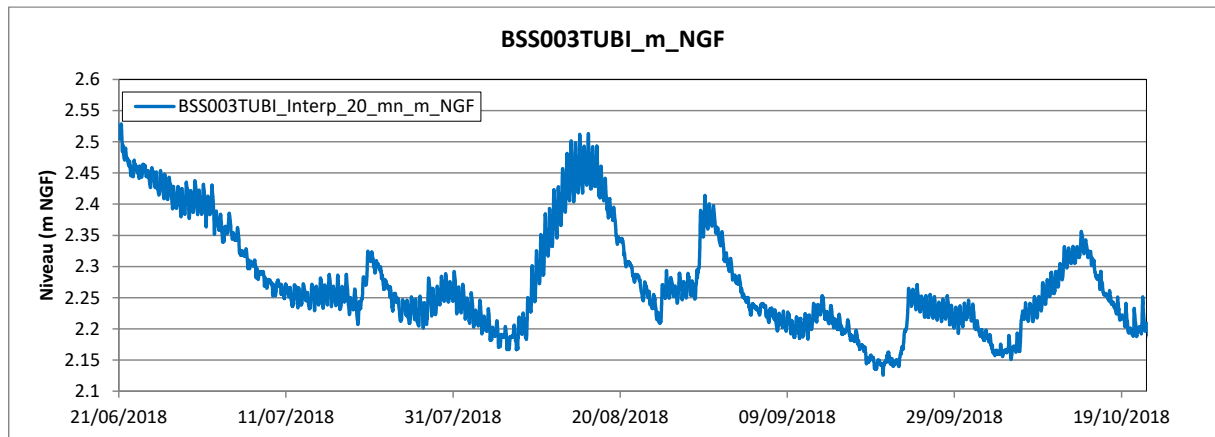
Diagnostic : Quasi-uniquement une composante météo : Pas d'effet de marée sensible.

⇒ Piézomètre non modélisable.

4.4. Piézomètre ID = 4 : BSS003TUBI ; « Port Jérôme 2 » à Lillebonne



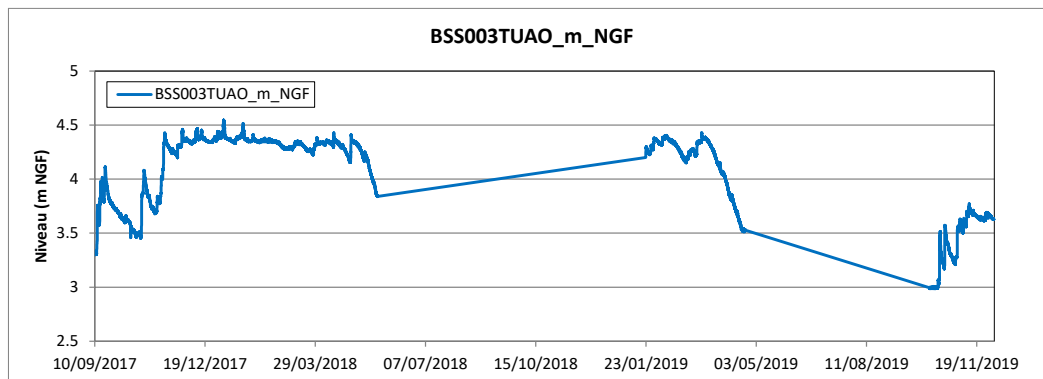
Diagnostic : Uniquement une composante météo : Pas d'effet de marée visible.



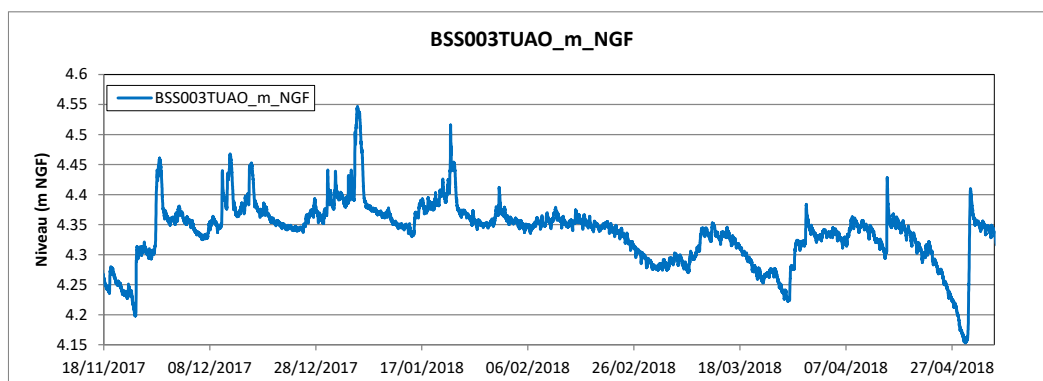
Agrandissement de juin-Octobre 2018 => Très petite composante périodique de 1 à 3 cm

⇒ Peu de probabilité que cet historique soit modélisable.

4.5. Piézomètre ID = 5 : BSS003TUAO ; « Port Jérôme 1 CVS » à Lillebonne



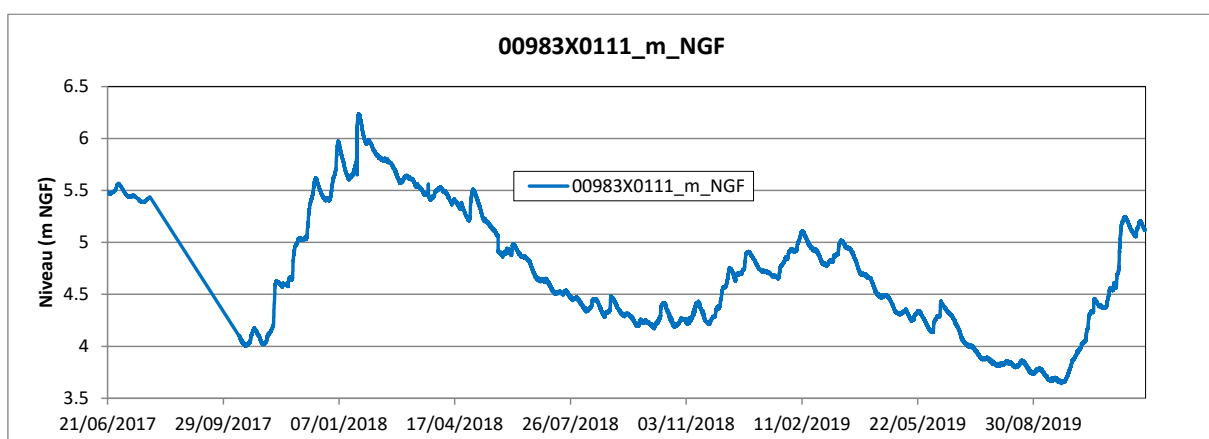
Diagnostic : Essentiellement une composante météo : Pas d'effet de marée visible.
L'historique comporte de longues périodes sans données.



Agrandissement sur la période 11/2017-05/2017. => Pas de composante périodique visible.

⇒ Piézomètre non modélisable.

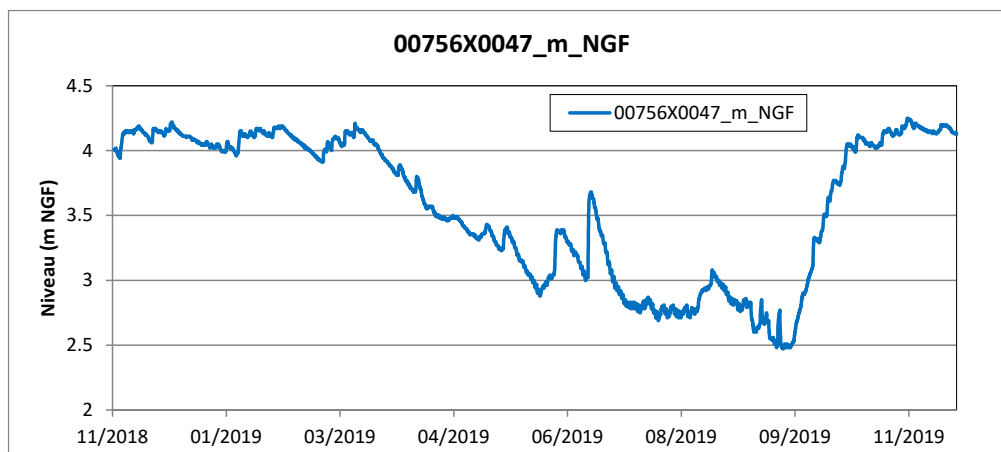
4.6. Piézomètre ID = 6 : 00983X0111 ; « Petiville » à Petiville



Diagnostic : Quasi-uniquement une composante météo : Pas d'effet de marée visible.

⇒ Piézomètre non modélisable.

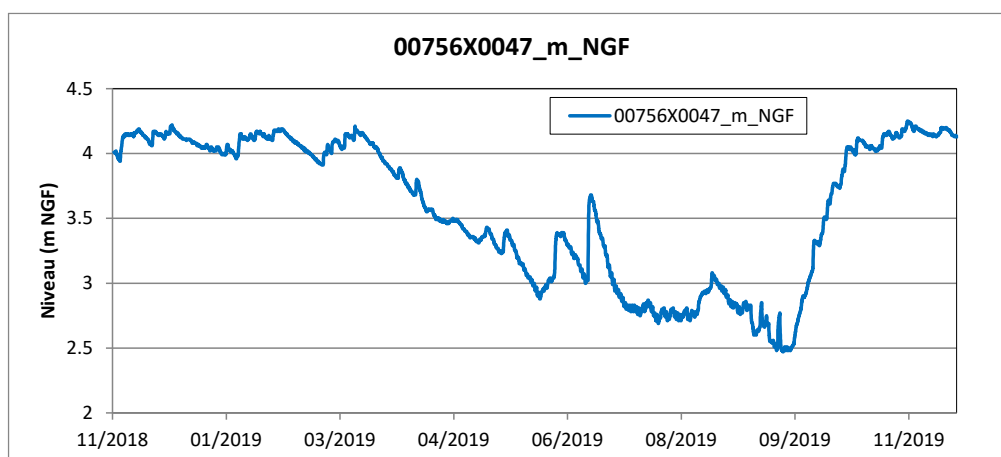
4.7. Piézomètre ID = 7 : 00756X0047 ; « SPIE6 Radicatel » à St Jean de Folleville



Diagnostic : Uniquement une composante météo : Pas d'effet de marée visible.

⇒ Piézomètre non modélisable.

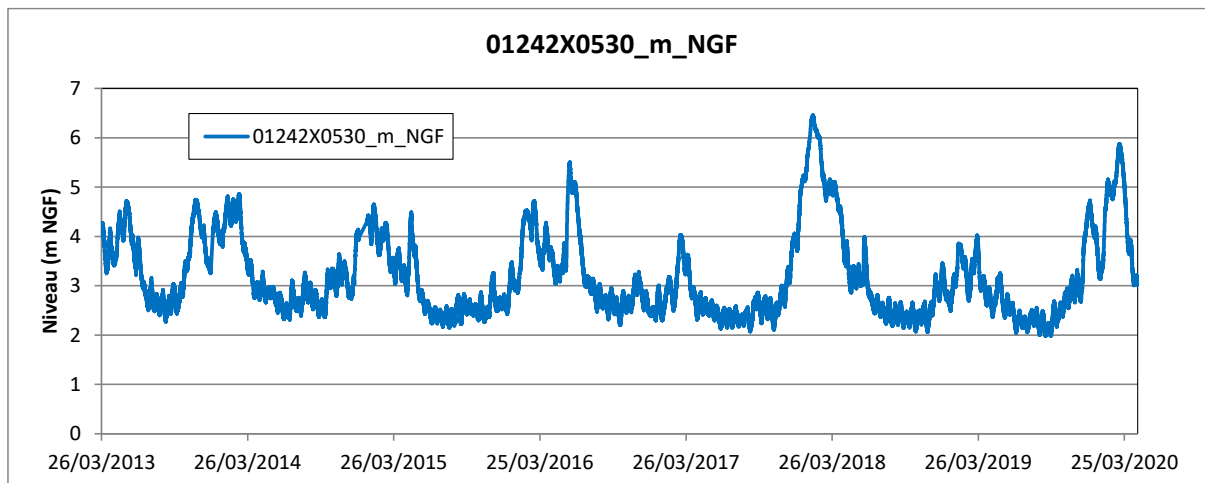
4.8. Piézomètre ID = 8 : 00982X0192 ; « Ecostuair » à St Jean de Folleville



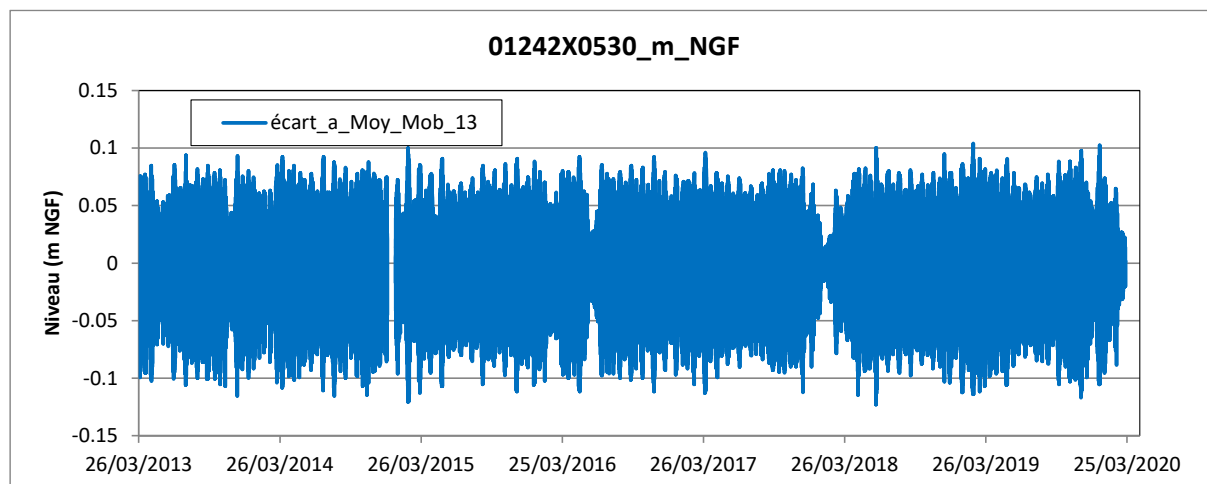
Diagnostic : Uniquement une composante météo : Pas d'effet de marée visible.

⇒ Piézomètre non modélisable.

4.9. Piézomètre ID = 9 : 01242X0530 ; « Val de Reuil » à Val de Reuil



On observe *Principalement* une composante météo : Léger effet de marée.



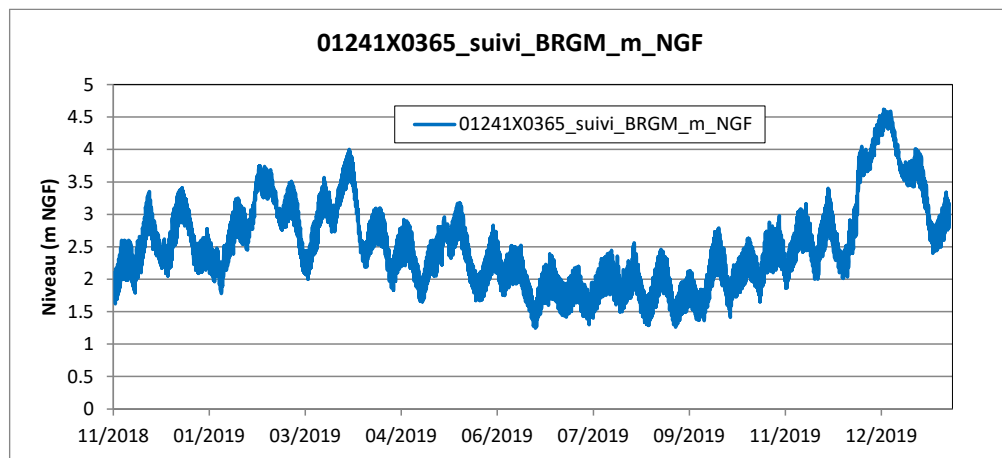
Écart à la moyenne mobile de 13 pas de temps (soit 13 heures, la durée d'une marée étant de 12.42 h) : Amplitude +/-7.5 cm environ.

Cet écart est obtenu après avoir calculé la composante météorologique de grande longueur d'onde et l'avoir soustraite du niveau piézométrique brut.

Diagnostic :

⇒ Modélisation a priori possible.

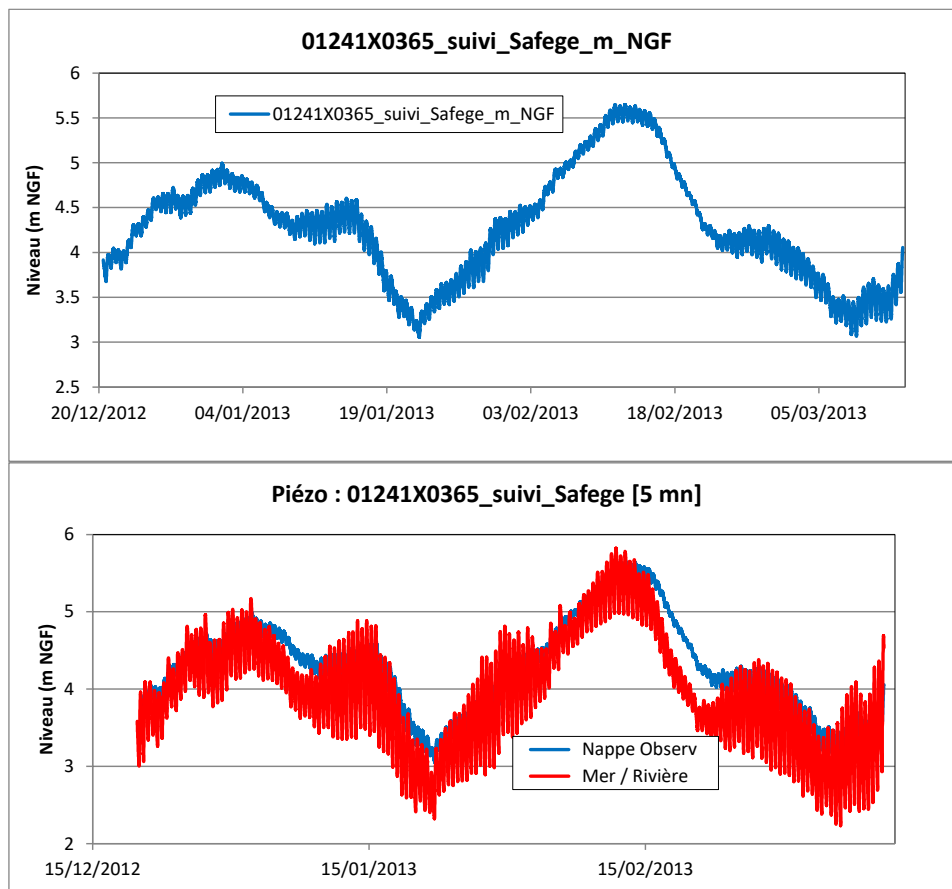
4.10. Piézomètre ID = 34 : 01241X0365_suivi_BRGM ; « Ancien Captage AEP » à Freneuse



Diagnostic : Effet de la marée très net.

⇒ Modélisation possible.

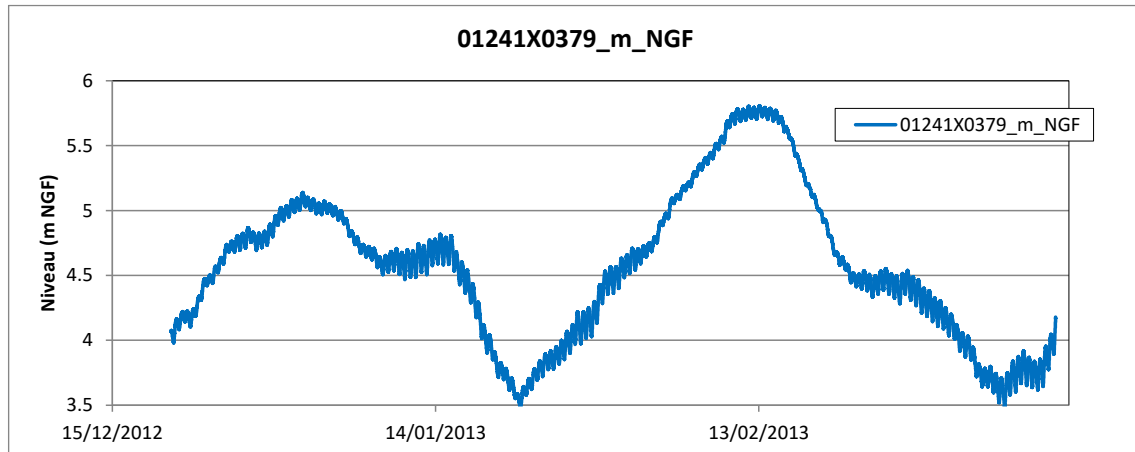
4.11. Piézomètre ID = 15 : 01241X0365_suivi_safegé ; « Ancien Captage AEP » à Freneuse



Diagnostic : Léger effet périodique de la marée. Les variations piézométriques sont assez semblables à la composante de grande longueur d'onde du signal marégraphique (courbe rouge du diagramme du bas).

⇒ Modélisation envisageable.

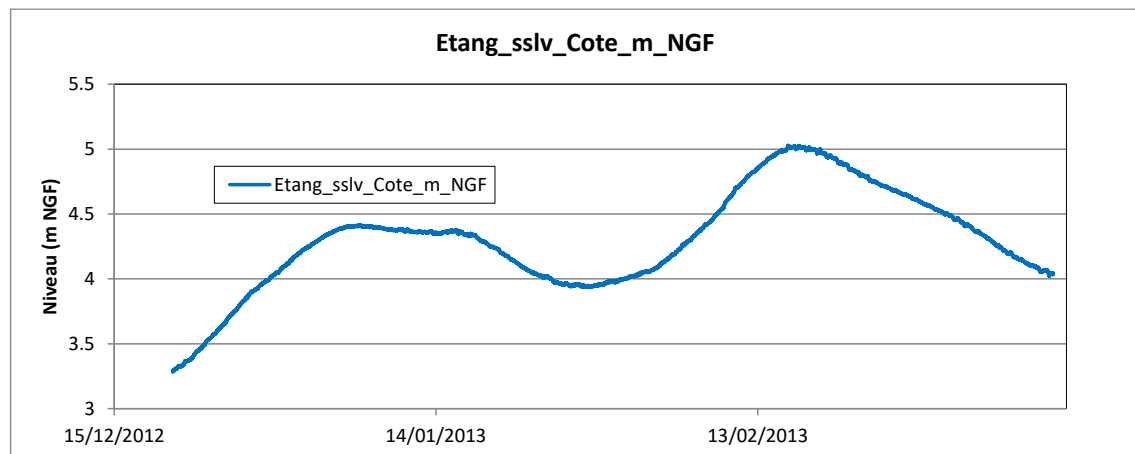
4.12. Piézomètre ID = 29 : 01241X0379 ; « PZ1B » à Sotteville-sous-le-Val



Diagnostic : Léger effet périodique de la marée. Les variations piézométriques sont assez semblables à la composante de grande longueur d'onde du signal marégraphique.

⇒ Modélisation envisageable.

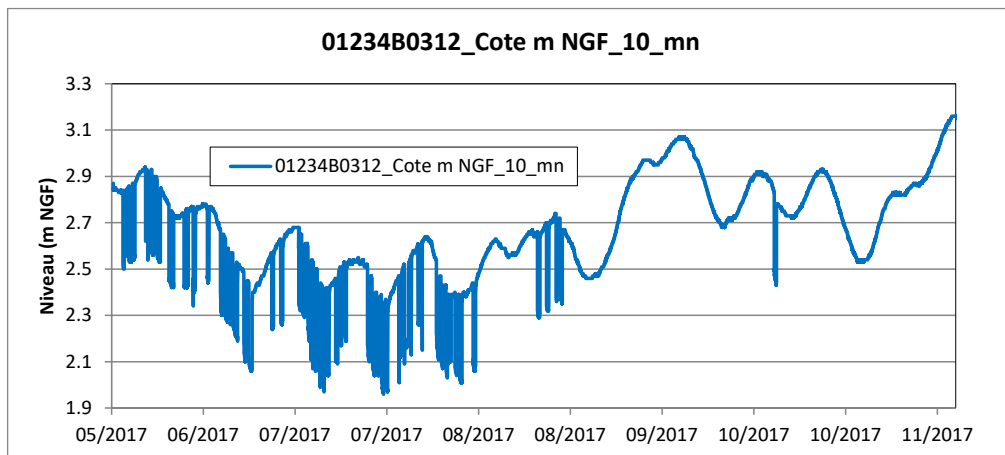
4.13. Piézomètre ID = 30 : Etang_sslv ; « Etang_sslv » à Sotteville-sous-le Val



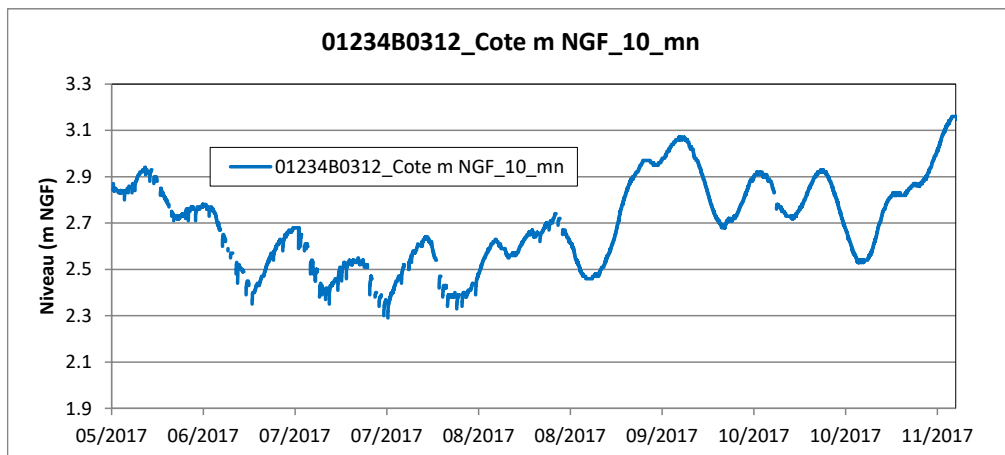
Diagnostic : Aucun effet de la marée. Les variations piézométriques pourraient résulter de la composante de grande longueur d'onde du signal marégraphique.

⇒ Modélisation envisageable.

4.14. Piézomètre ID = 23 : 01234B0312 ; « 4 (=P15= F2) » à Martot



Données brutes.

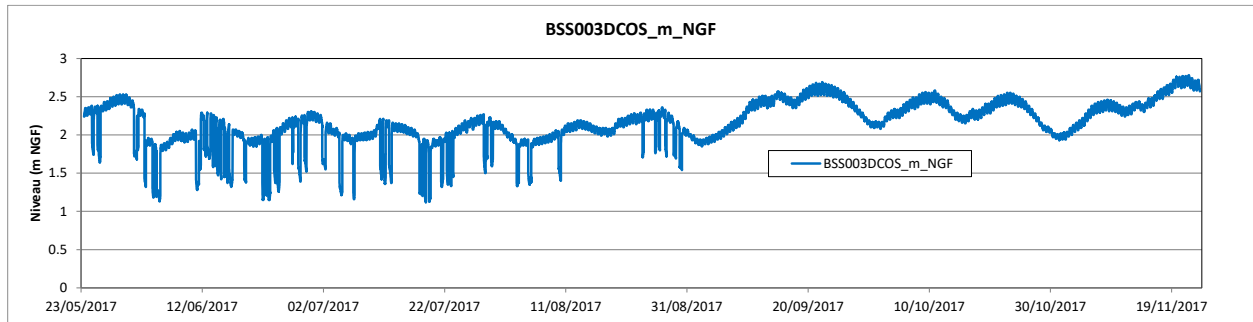


Données corrigées.

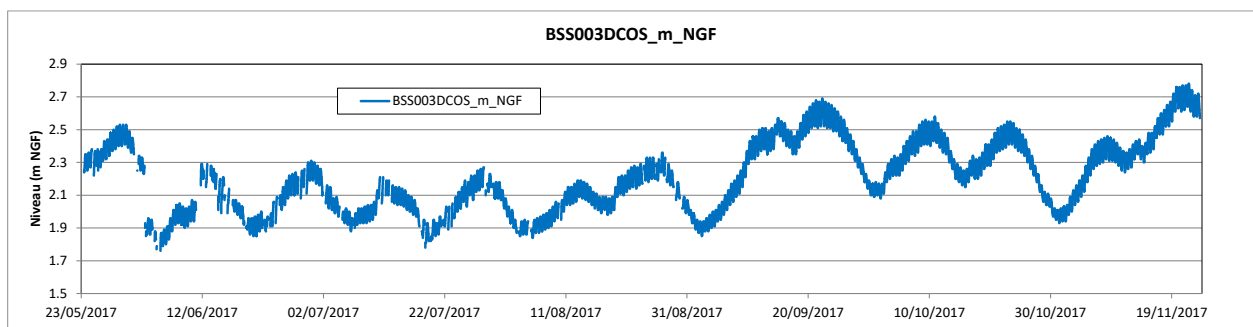
Diagnostic : Après élimination des très nombreuses valeurs erratiques : Effet de la marée marqué.

⇒ Modélisation possible.

4.15. Piézomètre ID = 24 : BSS003DCOS ; « 4 5 (=P3) » à Martot



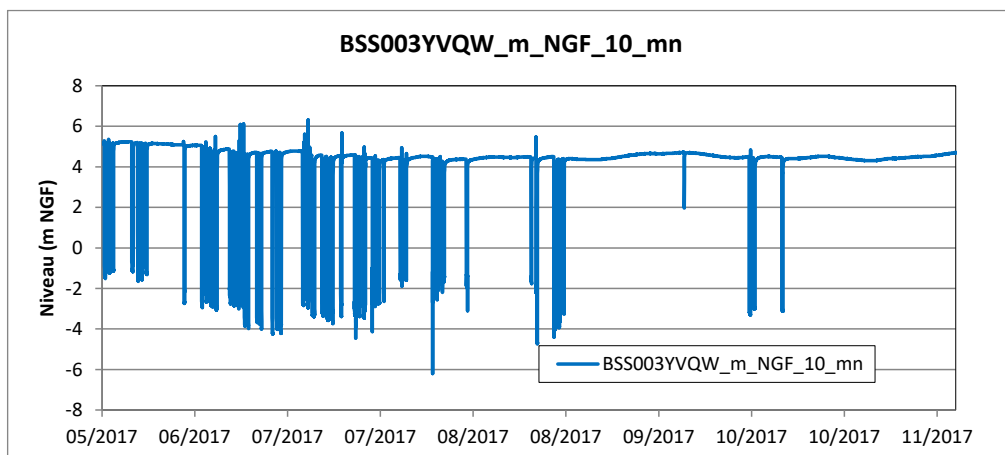
Données brutes.



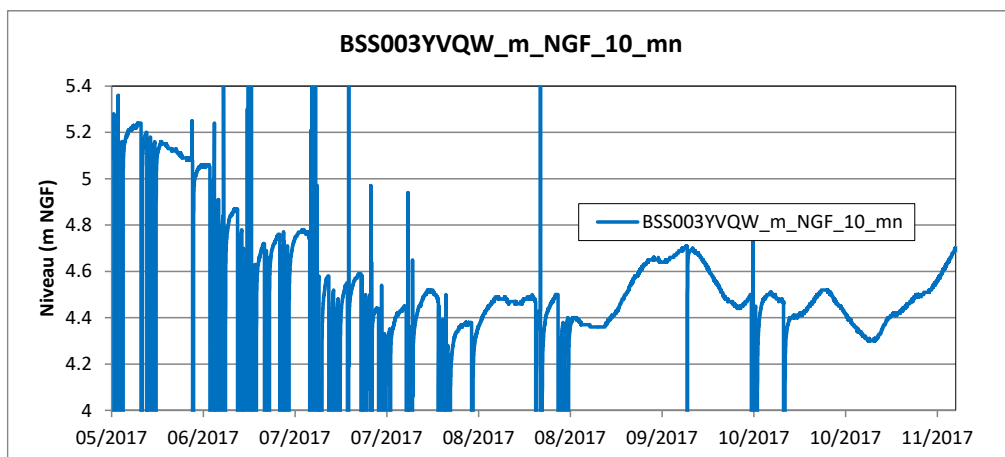
Données corrigées. Diagnostic : Effet de la marée marqué. Évolution proche de celles des piézomètres « 01241X0365_suivi_BRGM », « 01234B0312 » et « BSS003DCOS ».

⇒ Modélisation possible.

4.16. Piézomètre ID = 25 : BSS003YVQW ; « 19 (P16-F1) » à Martot



On remarque de très nombreuses données erratiques.

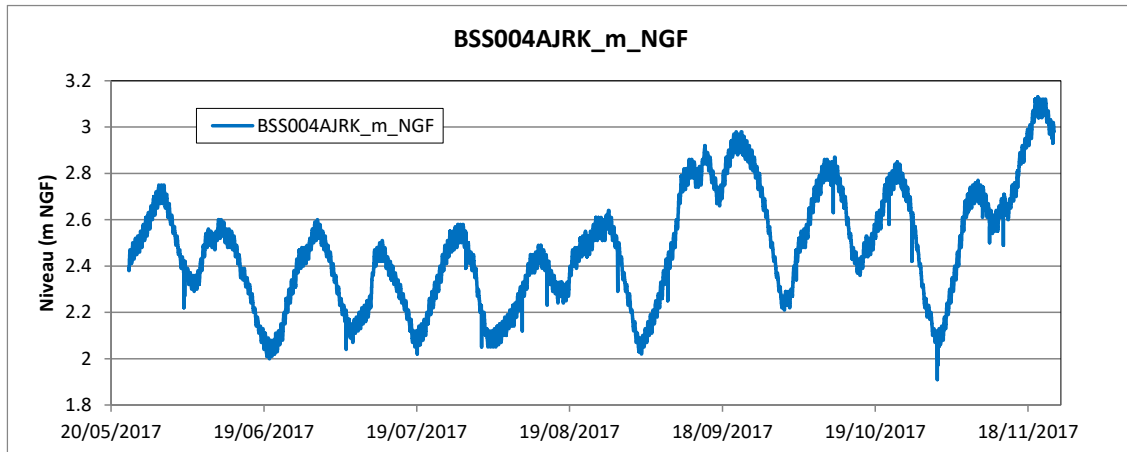


Agrandissement entre 4 m et 5.4 m. Les perturbations erratiques semblent dues à des pompages.

Diagnostic : Même en retirant ces données erratiques, l'historique de ce piézomètre ne présente pas d'effets liés à la marée.

⇒ Piézomètre non modélisable.

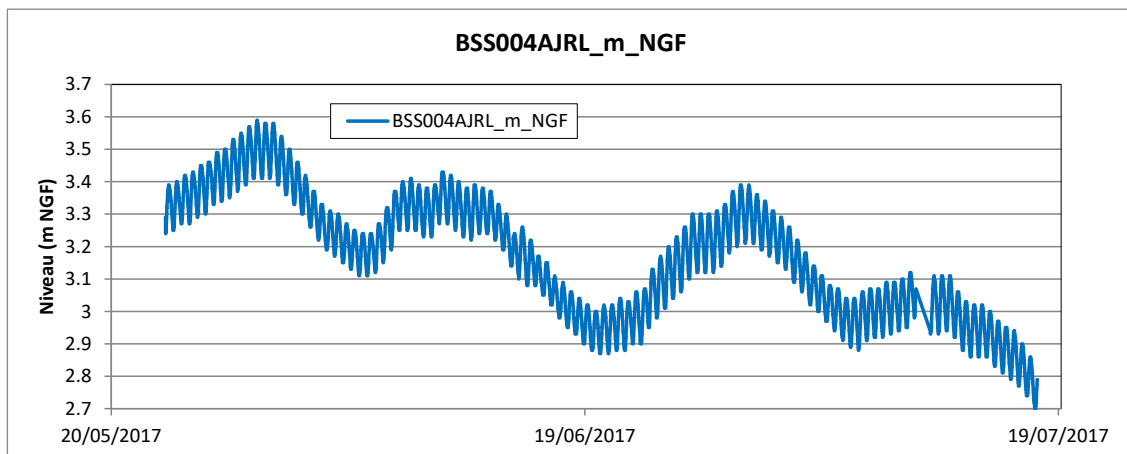
4.17. Piézomètre ID = 26 : BSS004AJRK ; « 21 » à Martot



Diagnostic : Effet de la marée marqué. Évolution proche de celles des piézomètres « 01241X0365_suivi_BRGM », « 01234B0312 » et « BSS003DCOS ».

⇒ Modélisation possible.

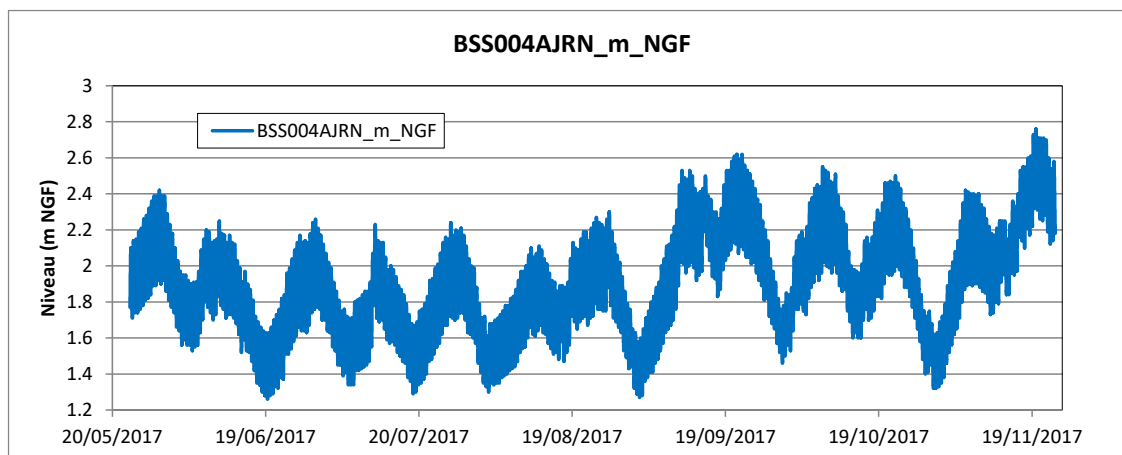
4.18. Piézomètre ID = 27 : BSS004AJRL ; « 28 (P1-F3) » à Martot



Diagnostic : Effet de la marée marqué. [Uniquement 2 mois d'observations].

⇒ Modélisation possible.

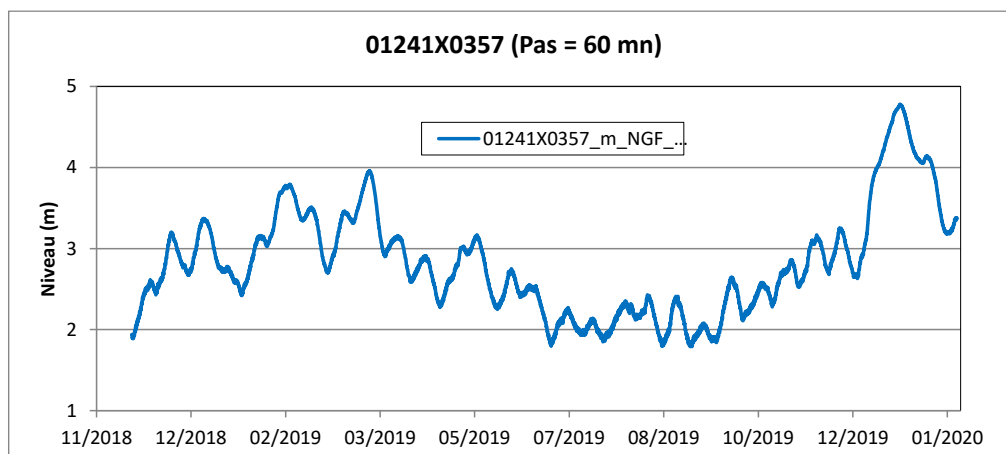
4.19. Piézomètre ID = 28 : BSS004AJRN ; « 29 » à Martot



Diagnostic : Effet de la marée marqué. Évolution proche de celles des piézomètres « 01241X0365_suivi_BRGM », « 01234B0312 », « BSS003DCOS », « BSS004AJRN ».

⇒ Modélisation possible.

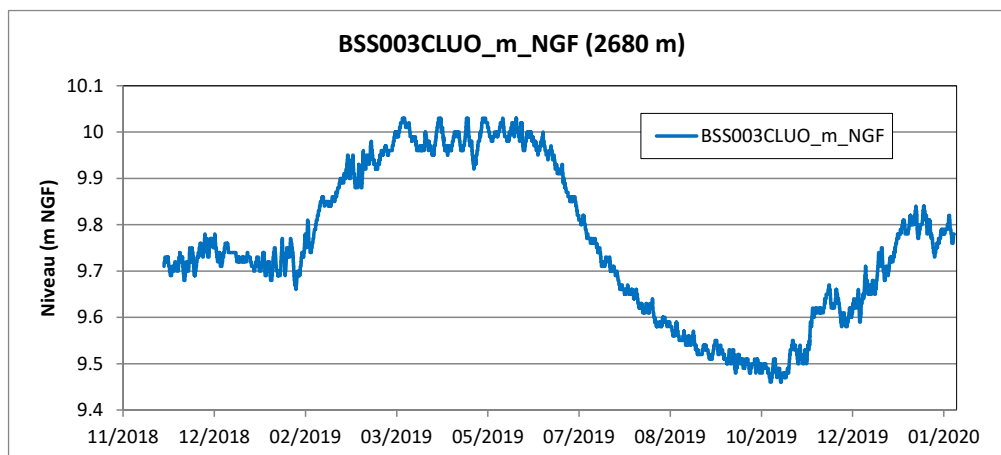
4.20. Piézomètre ID = 31 : 01241X0357 ; « Puits Agricole » à Criquebeuf



Diagnostic : Effet de la marée marqué. Évolution proche de celles des piézomètres « 01241X0365_suivi_BRGM », « 01234B0312 », « BSS003DCOS », « BSS004AJRN », « BSS004AJRN ».

⇒ Modélisation possible.

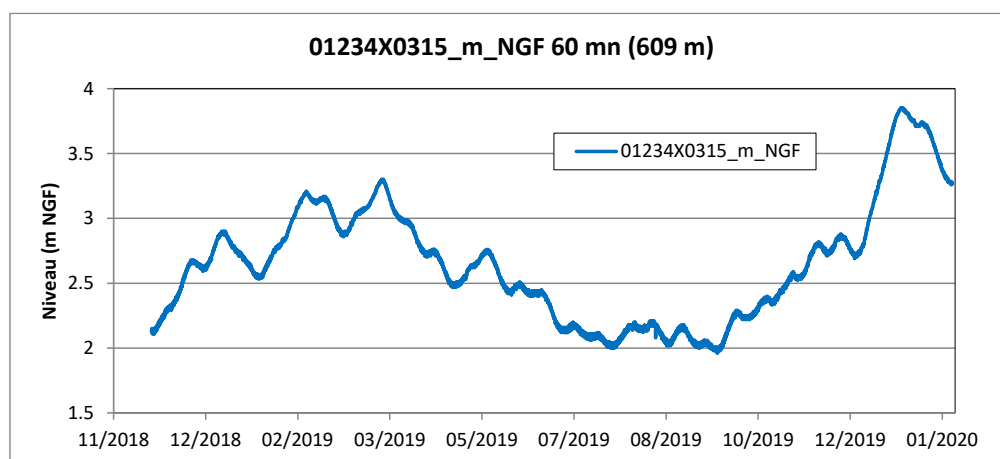
4.21. Piézomètre ID = 32 : BSS003CLUO ; « Pz Amont CBN » à Criquebeuf



Diagnostic : Essentiellement des variations de grande longueur d'onde.

⇒ Modélisation envisageable, mais la période est courte.

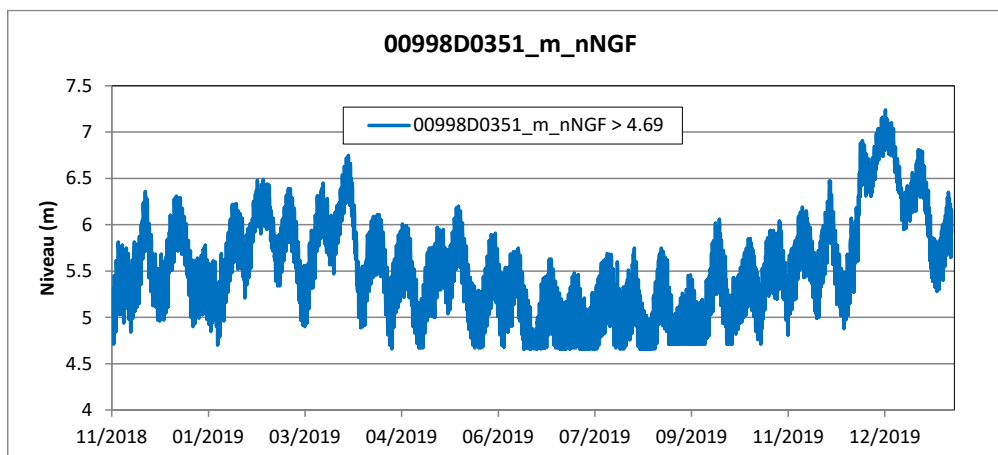
4.22. Piézomètre ID = 33 : 01234X0315 ; « Pz Amont SERAF » à Freneuse



Diagnostic : Effet de grande longueur d'onde de la marée marqué.

⇒ Modélisation possible.

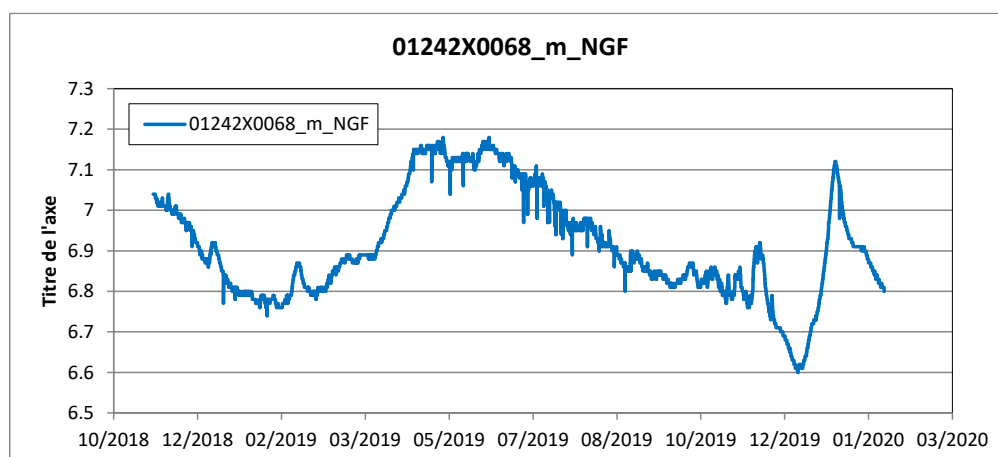
4.23. Piézomètre ID = 35 : 00998D0351 ; « Pz Catelier » à Oissel



Diagnostic : Effet de grande longueur d'onde de la marée marqué.

⇒ Modélisation possible.

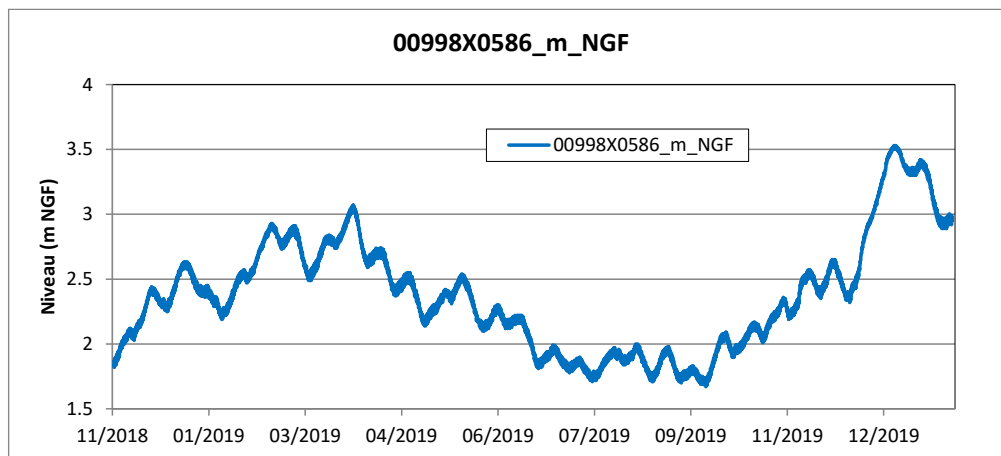
4.24. Piézomètre ID = 36 : 01242X0068 ; « Puits rue des mesures » à Poses



Diagnostic : Signal ne présentant aucun effet de marée (ni courte longueur d'onde, ni grande longueur d'onde).

⇒ Piézomètre non modélisable.

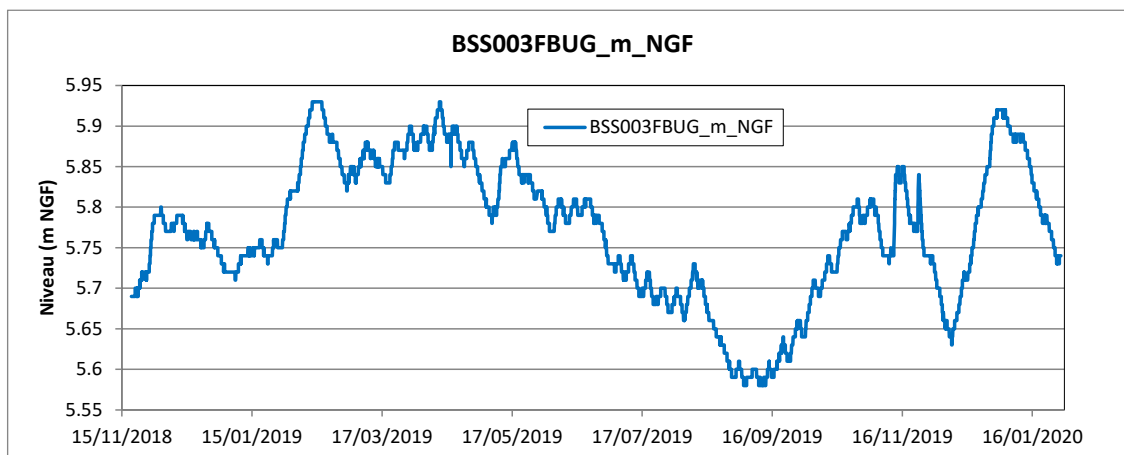
4.25. Piézomètre ID = 38 : 00998X0586 ; « Pz1 STREF Bédanne » à Tourville-la-rivière



Diagnostic : Effet de grande longueur d'onde de la marée marqué.

⇒ Modélisation possible.

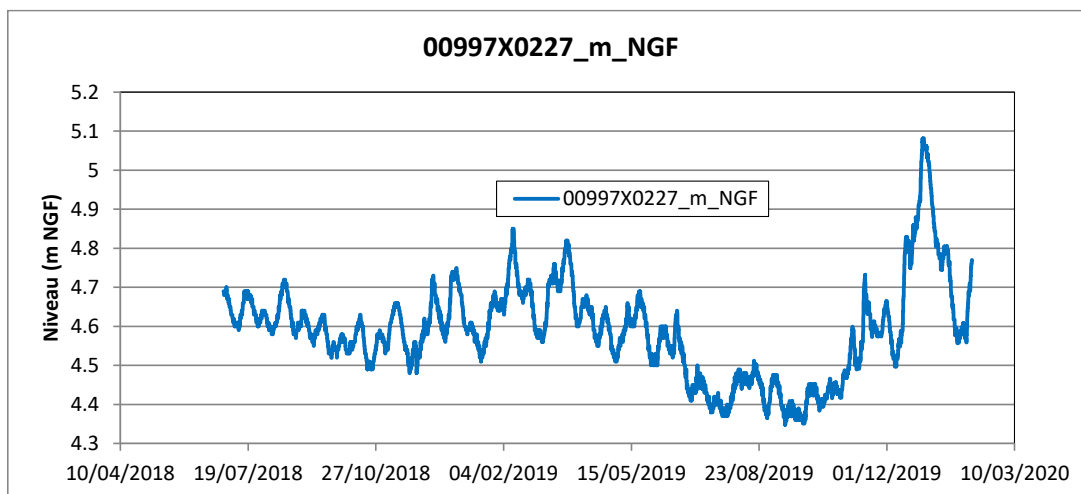
4.26. Piézomètre ID = 39 : BSS003FBUG ; « PZ Cemex » à Val de Reuil



Diagnostic : Principalement influence de la recharge. Très faible fluctuations d'1 ou 2 cm, mais de période environ 7 jours, donc pas lié à la marée.

⇒ Piézomètre a priori non modélisable.

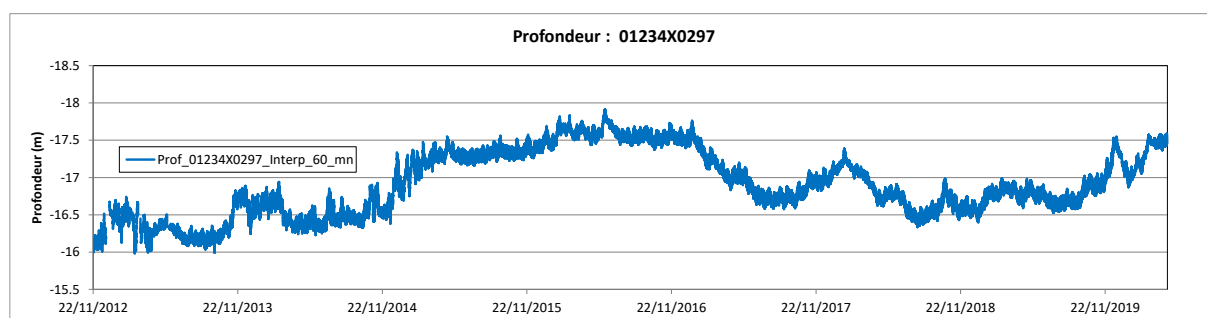
4.27. Piézomètre ID = 41 : 00997X0227 ; « Forêt la Londe » à Grand-Couronne



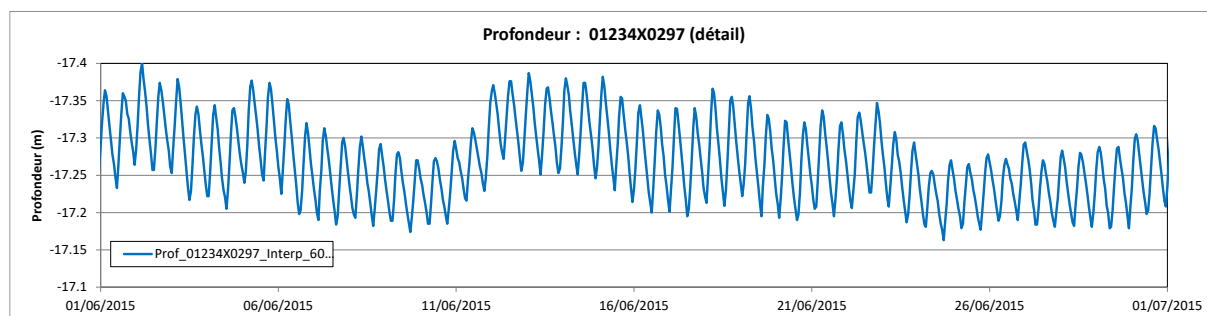
Diagnostic : Des effets périodiques. Des valeurs nettement plus hautes en janvier 2020.

⇒ Piézomètre éventuellement modélisable.

4.28. Piézomètre ID = 43 : 01234X0297 ; « 2 » à Caudebec les Elbeuf.



Données brutes

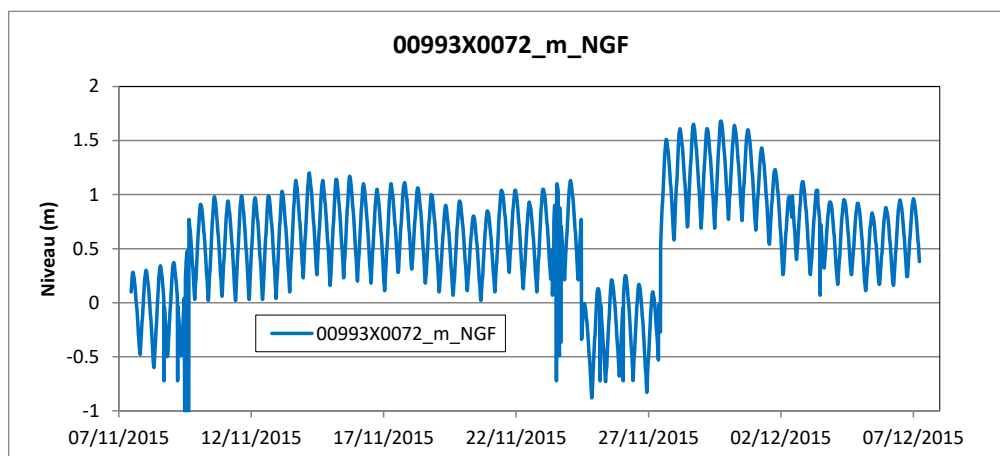


Détail de juin à juillet 2015

Diagnostic : Net effet de la marée, superposé à des variations lentes.

⇒ Modélisation possible.

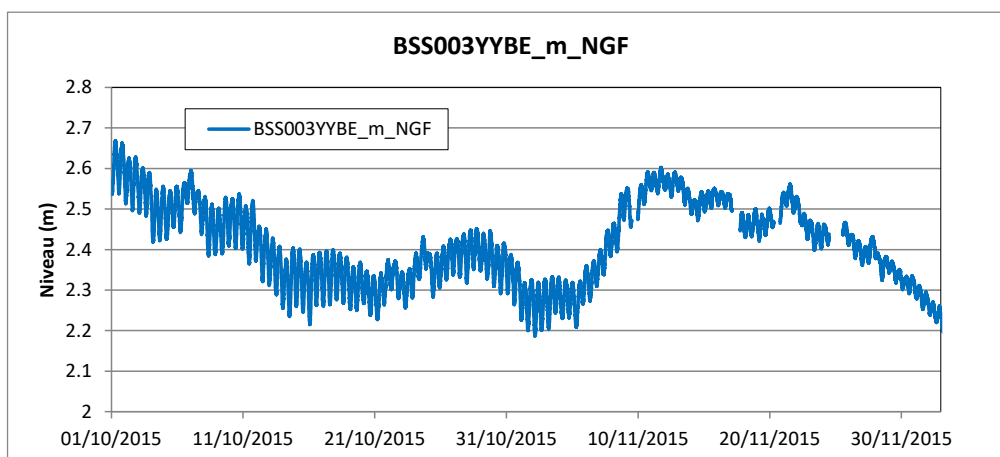
4.29. Piézomètre ID = 10 : 00993X0072 ; « AEP Bardouville » à Bardouville.



Diagnostic : Effet de la marée + Effet d'un pompage d'essai.

⇒ Modélisation possible.

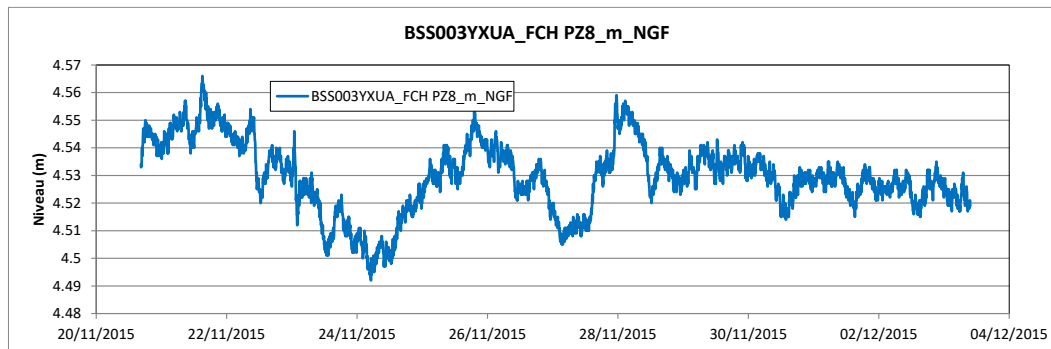
4.30. Piézomètre ID = 11 : BSS003YYBE ; « Piezo Station » à Bardouville.



Diagnostic : Effet de la marée superposé à une composante de grande longueur d'onde d'origine.

⇒ Modélisation possible après filtrage.

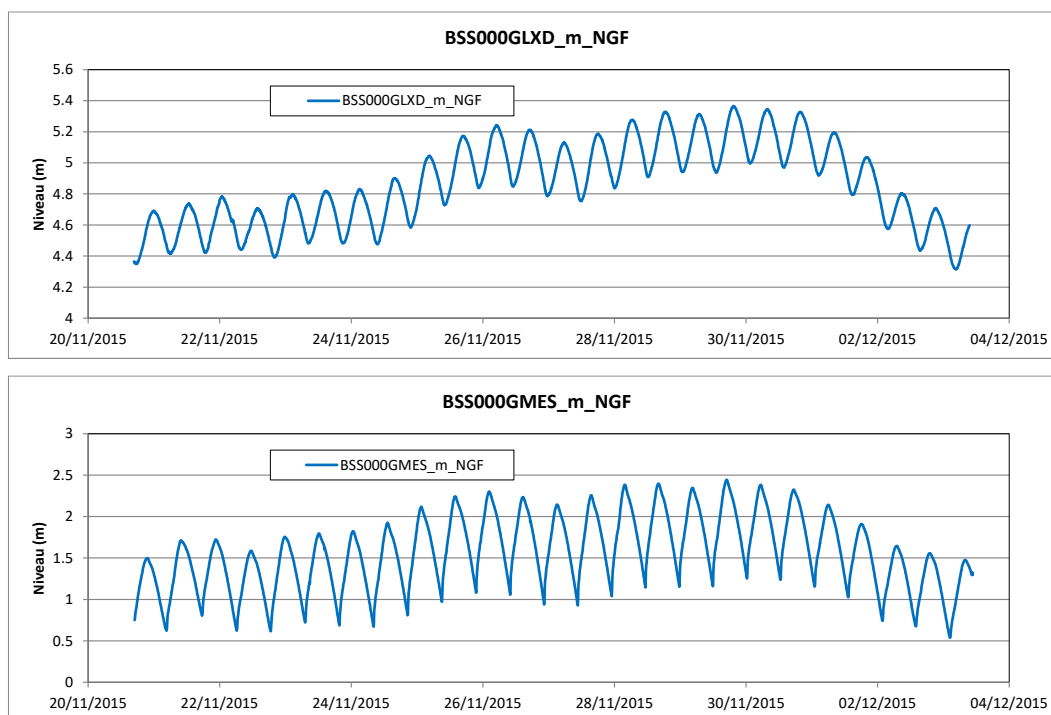
4.31. Piézomètre ID = 12 : BSS003YXUA ; « FCH PZ8 » à Bardouville.

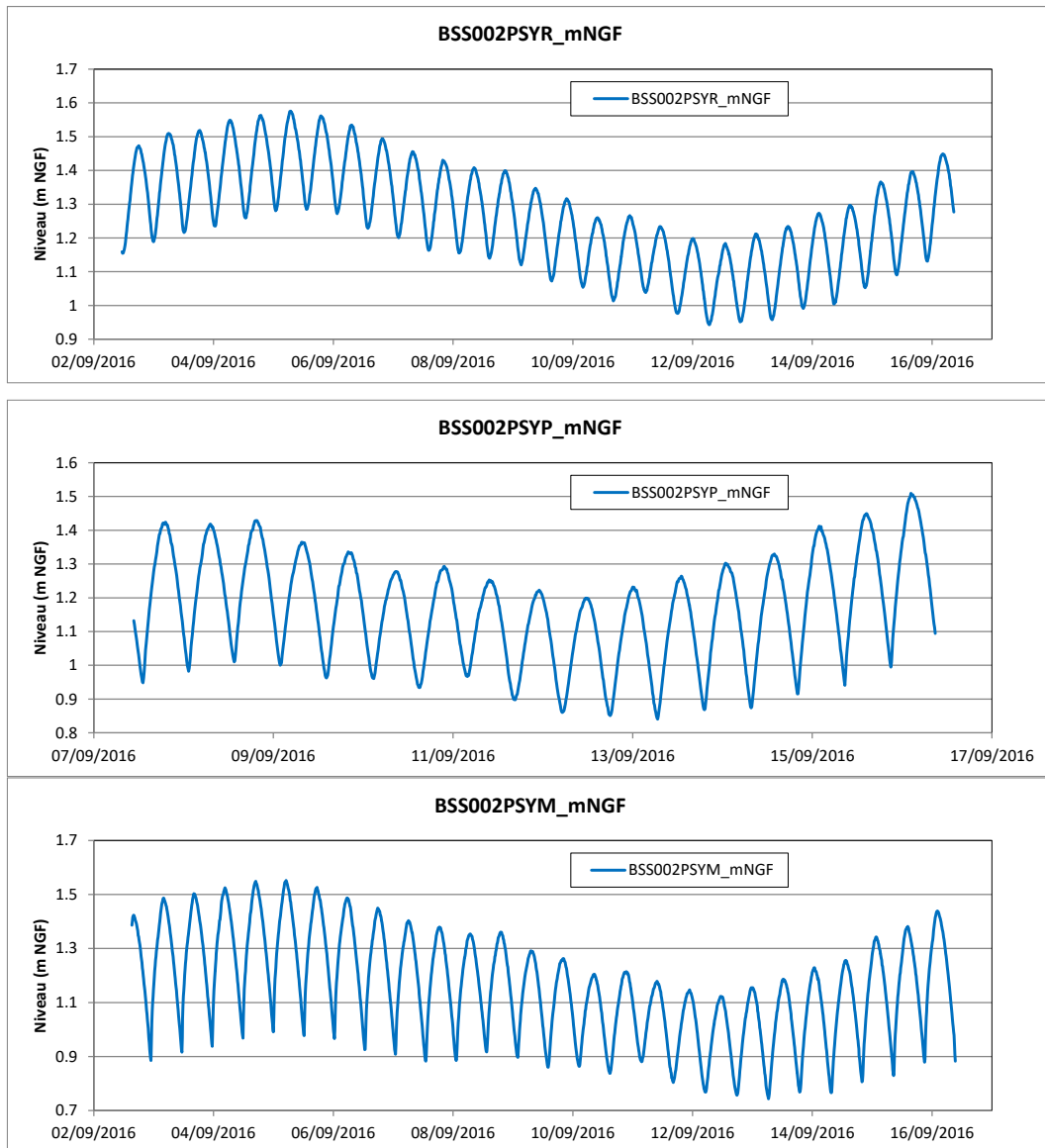


Diagnostic : Très faibles fluctuations peu cohérentes de l'ordre du cm.

⇒ Modélisation a priori non possible.

4.32. Piézomètre ID = 13 : BSS000GLXD ; « P Château » à Bardouville, piézomètre ID = 14 : BSS000GMES ; « P Landrin » à Bardouville, piézomètre ID = 17 : BSS002PSYR ; « PZJ1 » à Jumièges, piézomètre ID = 18 : BSS002PSYP ; « PZJ2 » à Jumièges, piézomètre ID = 19 : BSS002PSYM ; « PZJ2b » à Jumièges.

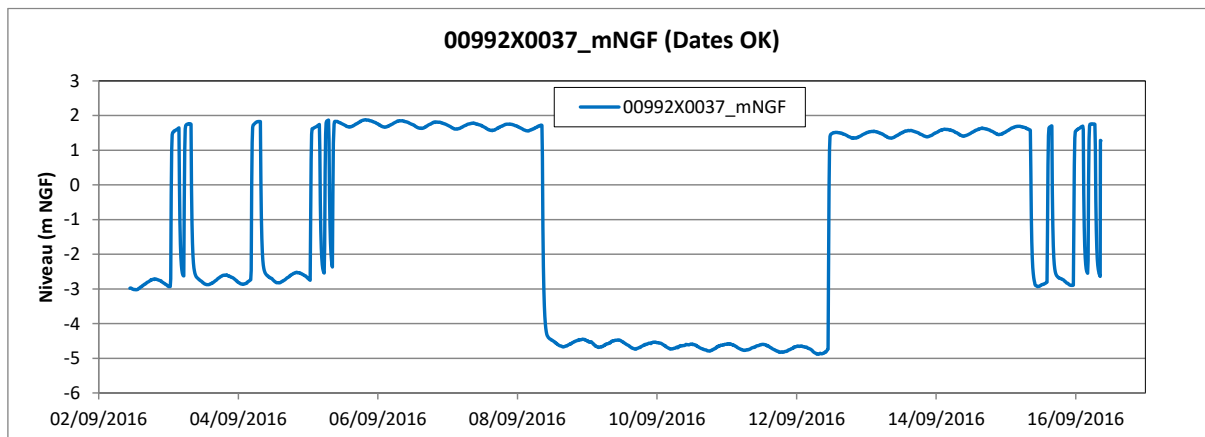




Diagnostic : Effet de la marée sans autres effets.

⇒ Modélisation possible sans difficulté.

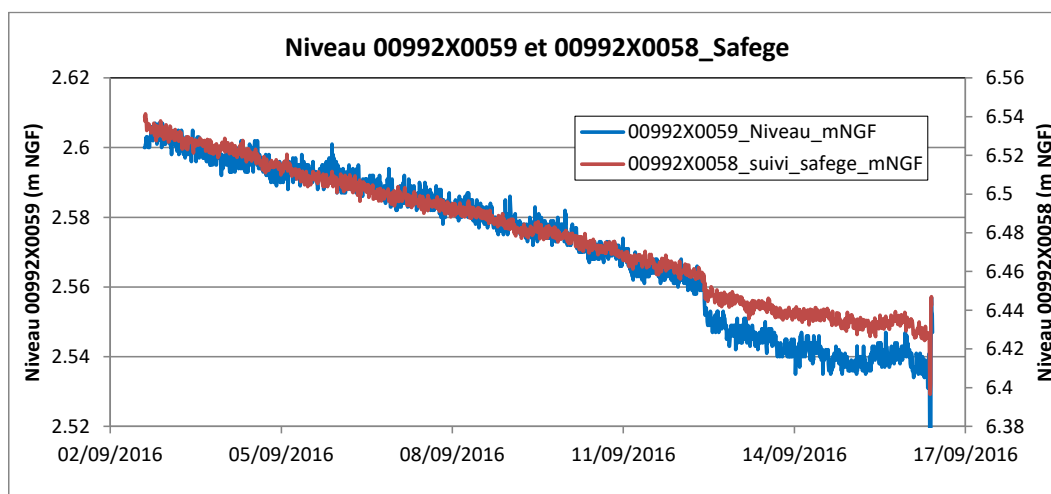
4.33. Piézomètre ID = 16 : 00992X0037 ; « FAEP » à Jumièges.



Diagnostic : Pompage d'essai avec effet de la marée.

- ⇒ Modélisation devrait possible soit des périodes séparées, soit en « remontant » les niveaux pendant le pompage.

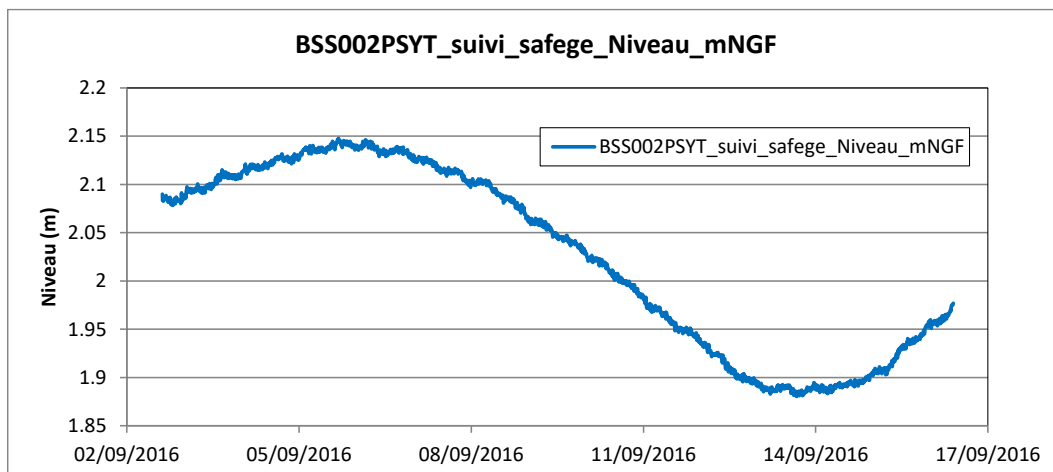
4.34. Piézomètre ID = 20 : 00992X0058_suivi_safegé ; « Puits rue forêt » à Jumièges, piézomètre ID = 21 : 00992X0059 ; « Puits rue Mainterbe » à Jumièges.



Diagnostic : Descente linéaire avec de très faibles fluctuations peu cohérentes de l'ordre du cm.

- ⇒ A priori non modélisable.

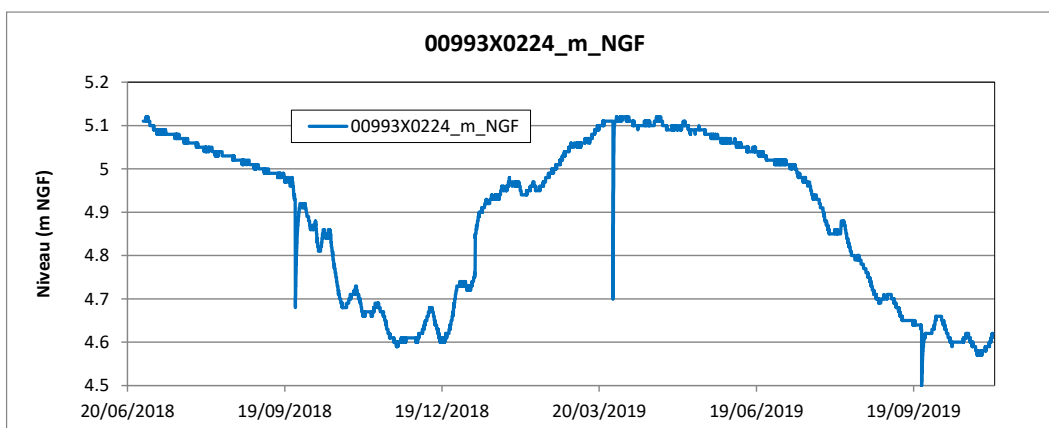
4.35. Piézomètre ID = 22 ; BSS002PSYT_suivi_safège ; « PZJ3 » à Jumièges.



Diagnostic : Période d'observation de 15 jours. Composante périodique de 12h30 non-apparente.

⇒ Éventuellement modélisable.

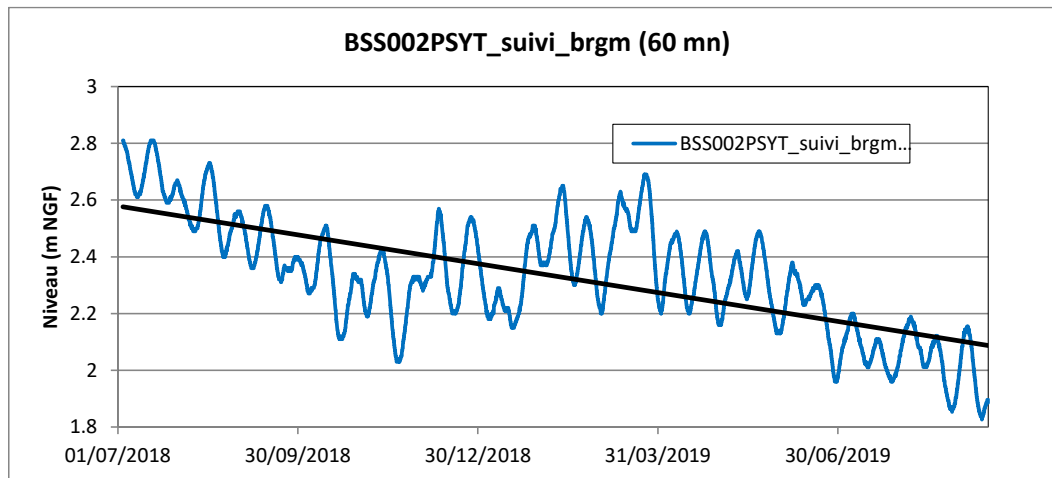
4.36. Piézomètre ID = 40 ; 00993X0224 ; « PZ Capoulade » à Bardouville.



Diagnostic : Erratique.

⇒ Non modélisable.

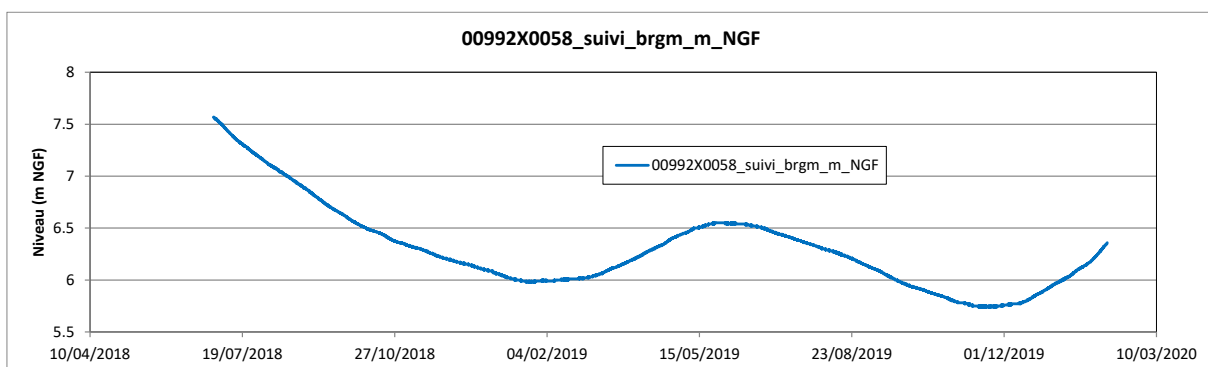
4.37. Piézomètre ID = 42 ; BSS002PSYT_suivi_brgm ; « PZJ3 » à Jumièges.



Diagnostic : Tendence nette à la descente. Mais des composantes périodiques. Les niveaux de ce piézomètre avec un suivi par la Safege (ID = 22) en 2016 sont éventuellement modélisables.

⇒ Éventuellement modélisable.

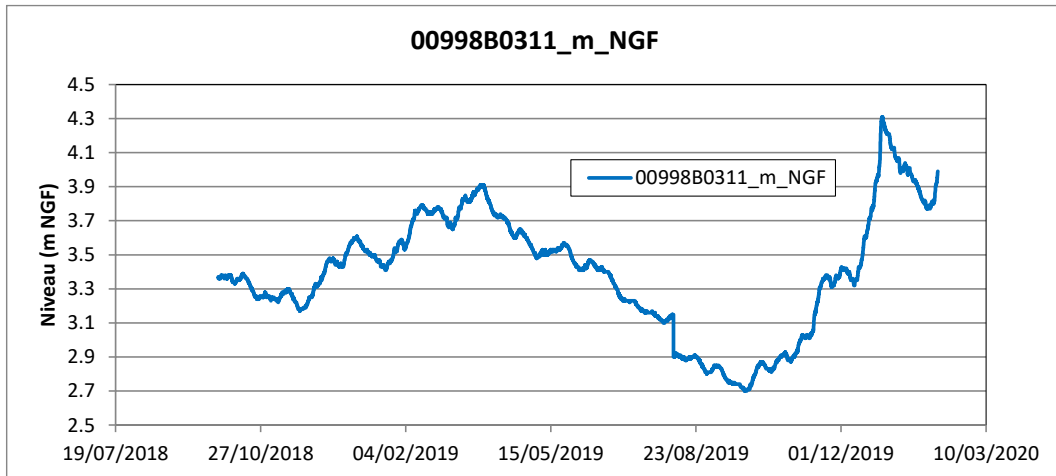
4.38. Piézomètre ID = 43 ; 00992X0058_suivi_brgm ; « Puits rue forêt » à Jumièges.



Diagnostic : Variations lentes sans composantes périodiques. Les niveaux de ce piézomètre avec un suivi par la Safege (ID = 20) en 2016 ne sont pas modélisables.

⇒ Éventuellement modélisable, mais la période d'observation est courte compte tenu de la fluctuation de grande longueur d'onde.

4.39. Piézomètre ID = 44 ; 00998B0311 ; « Sotteville » à Sotteville les Rouen.



Diagnostic : Variations lentes assez régulières. Un décrochement en début Août 2019.

⇒ La première partie est éventuellement modélisable.

5. Modélisation des piézomètres sélectionnés

Tous les piézomètres sélectionnés ont été modélisés avec le logiciel CATHERINE au pas de temps de l'historique de niveau, en utilisant le marégraphe le plus proche ou le plus adapté (ce marégraphe est indiqué dans le Tableau 6).

La diffusivité est calculée en utilisant la distance du piézomètre à la berge.

Les paragraphes suivants présentent, pour chaque piézomètre :

- Le graphe de simulation optimale présentant la superposition du niveau observé et simulé, avec le coefficient de corrélation associé (racine carrée du coefficient de Nash).
- La diffusivité identifiée

5.1. Piézomètre ID = 2 : 00974X0128 ; « Sandouville PZ1908 » à Sandouville

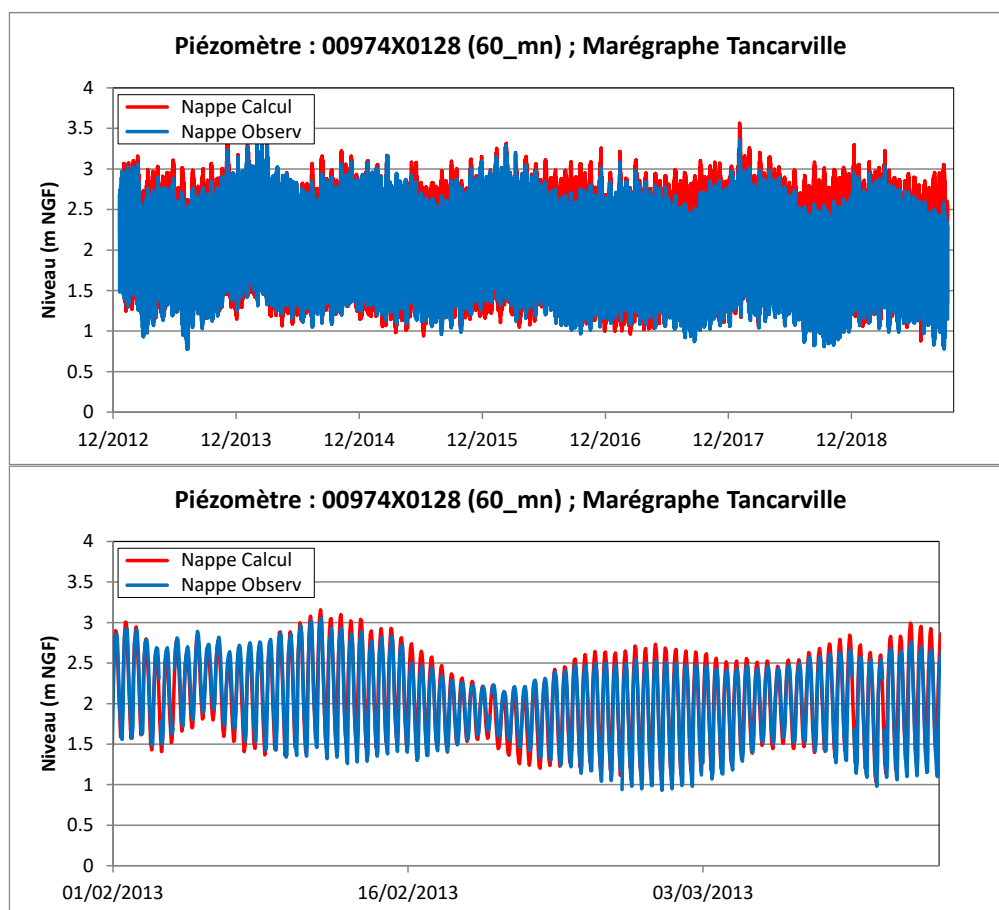


Figure 8 : Modélisation du piézomètre 00974X0128 ; « Sandouville PZ1908 ». Composante de période 13 heures (dessin du bas : détail en Février-Mars 2013).

Distance à la berge = 1210 m ; Pas de temps = 60 mn.

Modélisation de la seule composante périodique, après extraction de la composante de grande longueur d'onde.

Diffusivité = **52.53 m²/s** ; Corrélation = 0.915 ; (Niveau constant = 1.205 m)

Remarque : Pour obtenir une simulation optimale, les hauteurs d'eau au marégraphe ont été avancées de 1 heure.

Sans ce décalage, le coefficient de corrélation ne serait que de 0.797 donc significativement moins bon.

Nous n'avons pas trouvé d'explication physique a priori de la nécessité de prendre en compte un décalage.

5.2. Piézomètre ID = 9 : 01242X0530 ; « Val de Reuil » à Val de Reuil

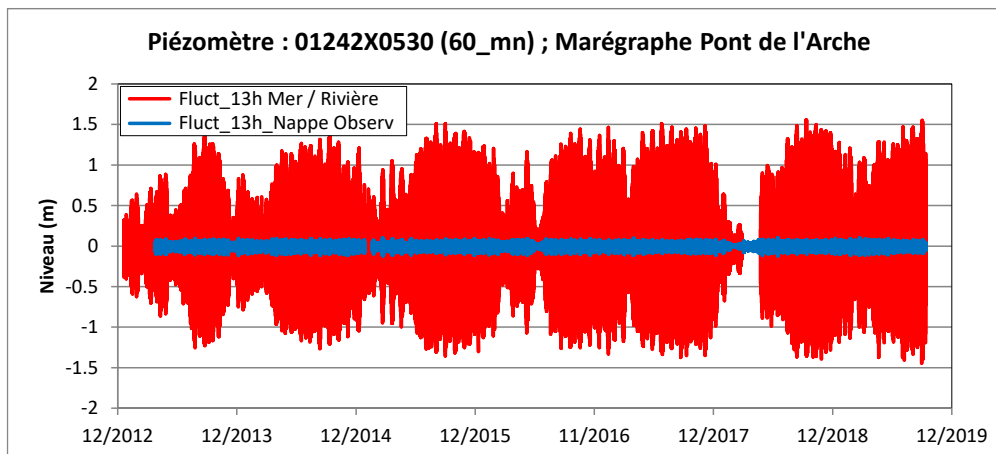


Figure 9 : Piézomètre 01242X0530 ; « Val de Reuil » à Val de Reuil
Fluctuation de période 13 heures dans la Seine et fluctuation du niveau piézométrique de période 13 heures.

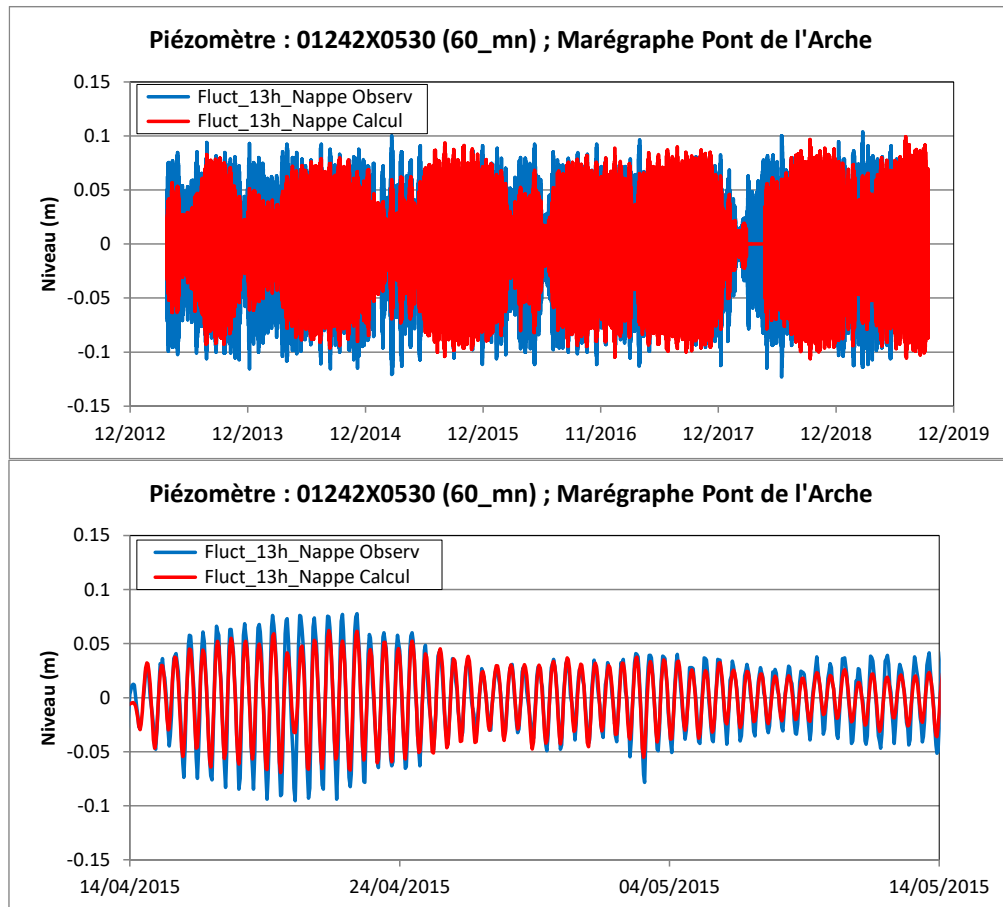


Figure 10 : Modélisation du piézomètre 01242X0530 ; « Val de Reuil » à Val de Reuil. Fluctuation de période 13 heures observée et simulée (amplitude = + 7.5 cm environ). Dessin du bas : détail en Avril-Mai 2015.

Distance à la berge = 530 m ; Pas de temps = 60 mn.

Modélisation de la seule composante périodique, après extraction de la composante de grande longueur d'onde.

Diffusivité = **2.991 m²/s** ; Corrélation = 0.915 ; (Niveau constant = 0 m)

Remarque : Pour obtenir une simulation optimale, les hauteurs d'eau au marégraphe ont été avancées de 1 heure.

Sans ce décalage, le coefficient de corrélation ne serait que de 0.784 donc significativement moins bon.

5.3. Piézomètre ID = 34 : 01241X0365_suivi_BRGM ; « Ancien Captage AEP » à Freneuse

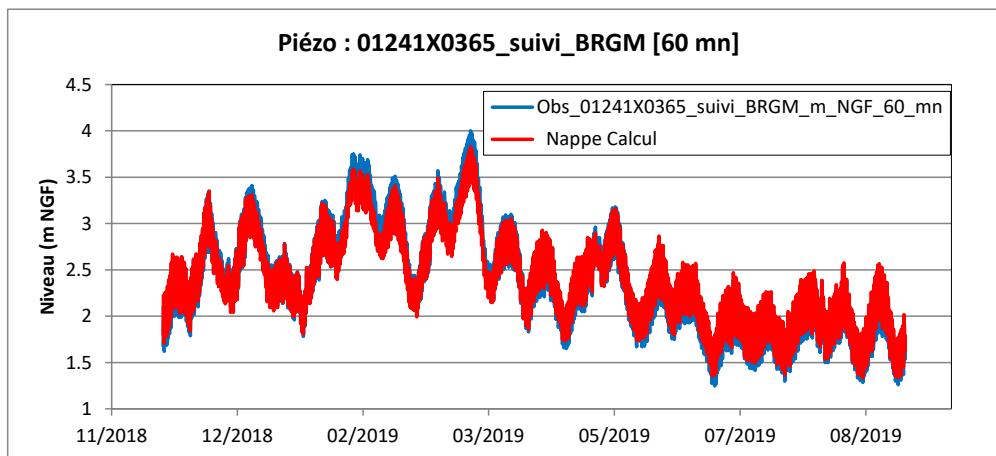


Figure 11 : Modélisation du piézomètre 01241X0365_suivi_BRGM ; « Ancien Captage AEP »

Distance à la berge = 450 m ; Pas de temps = 60 mn.

Diffusivité = **7.479 m²/s** ; Corrélation = 0.989 ; (Niveau constant = -0.117 m).

5.4. Piézomètre ID = 15 : 01241X0365_suivi_Safege ; « Ancien Captage AEP » à Freneuse

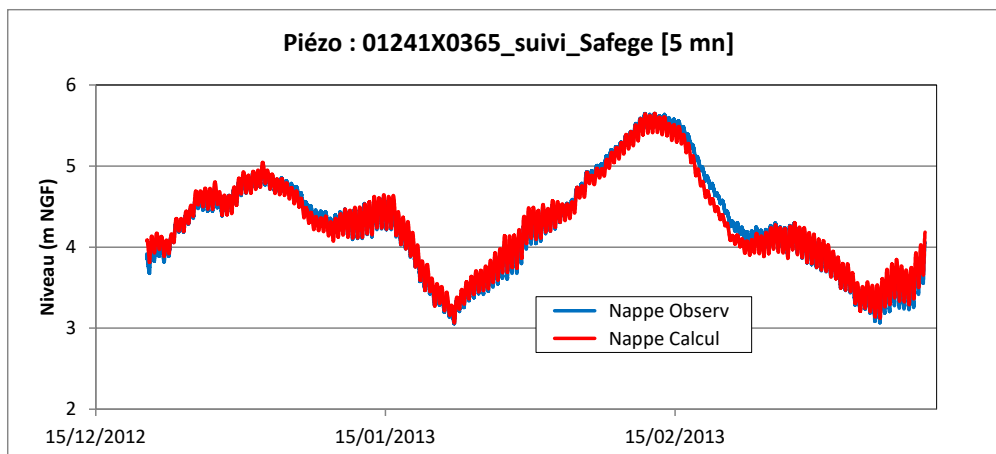


Figure 12 : Modélisation du piézomètre 01241X0365_suivi_Safege ; « Ancien Captage AEP »

Distance à la berge = 450 m ; Pas de temps = 5 mn.

Diffusivité = **11.37 m²/s** ; Corrélation = 0.992 ; (Niveau constant = 0.286 m).

5.5. Piézomètre ID = 29 : 01241X0379 ; « PZ1B » à Sotteville-sous-le-Val

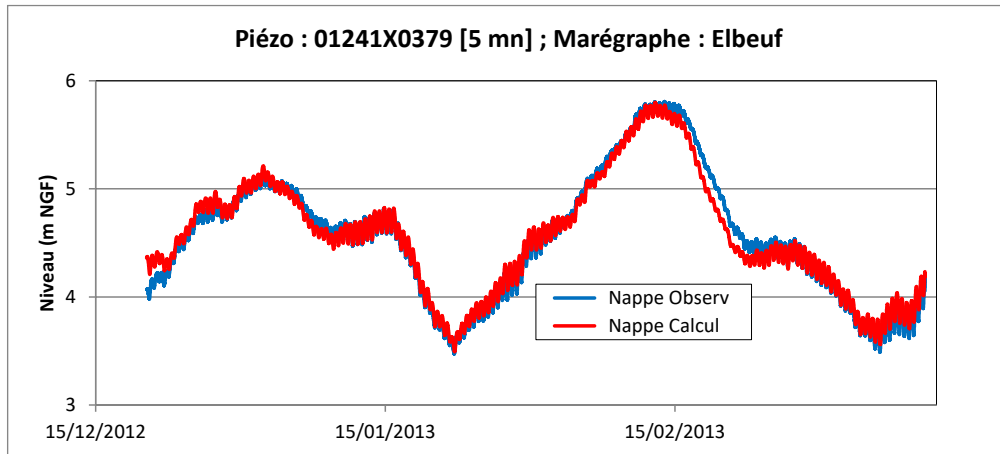


Figure 13 : Modélisation du piézomètre 01241X0379 ; « PZ1B » à Sotteville-sous-le-Val

Distance à la berge = 660 m ; Pas de temps = 5 mn.

Diffusivité = **10.75 m²/s** ; Corrélation = 0.989 ; (Niveau constant = 0.559 m).

5.6. Piézomètre ID = 30 : Etang_sslv ; « Etang_sslv » à Sotteville-sous-le Val

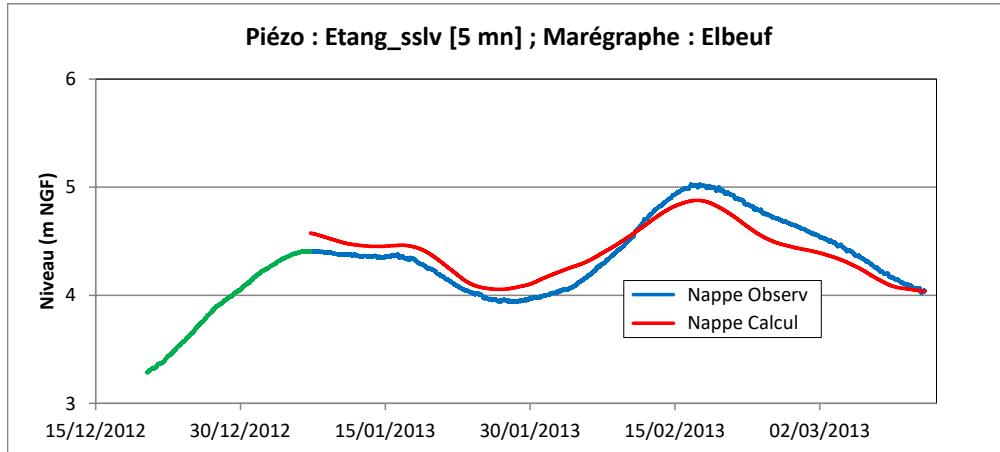


Figure 14 : Modélisation du piézomètre Etang_sslv ; « Etang_sslv » à Sotteville-sous-le Val

Distance à la berge = 210 m ; Pas de temps = 5 mn.

La calibration ne prend pas en compte les 18 premiers jours [20/12/2012-06/01/2013] qui sont utilisés pour la période d'initialisation du modèle, car les données du marégraphe ne sont pas disponibles avant le 20/12/2012.

Avec cette distance, on obtient les valeurs suivantes :

Diffusivité = **0.03711 m²/s** ; Corrélation = 0.909 ; (Niveau constant = 0.365 m).

Remarque : Cette diffusivité est nettement plus faible que les valeurs obtenues aux autres piézomètres. Ceci pourrait être dû à une « distance » à la berge incorrecte ou plus probablement à un fort colmatage.

On note en effet des variations de niveau beaucoup plus amorties que celles observées par exemple dans :

- Le piézomètre 01241X0365 (suivi-Safege), éloigné de 58 mètre, situé à 450 m de la berge
- Ou dans le piézomètre 01241X0379, éloigné de 650 m, situé à 660 m de la berge.

À titre d'exemple, avec une distance (équivalente) de 3500 m (au lieu de 201 m) on obtient exactement la même simulation, mais avec une diffusivité = 10.31 m²/s. Ceci conforterait l'hypothèse d'un fort colmatage.

5.7. Piézomètre ID = 23 : 01234B0312 ; « 4 (=P15= F2) » à Martot

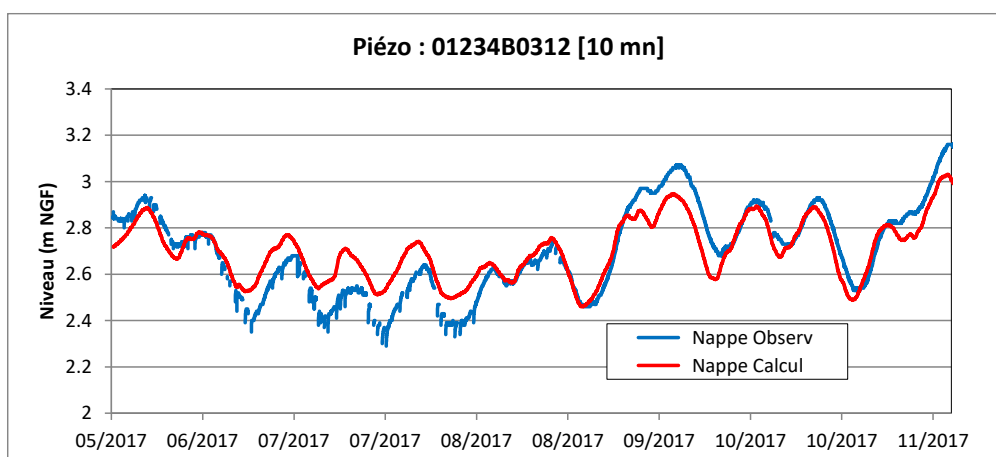


Figure 15 : Modélisation du piézomètre 01234B0312 ; « 4 (=P15= F2) » à Martot

Distance = 1260 m ; Pas de temps = 10 mn.

Diffusivité = **3.177 m²/s** ; Corrélation = 0.885 ; (Niveau constant = 0.404 m).

5.8. Piézomètre ID = 24 : BSS003DCOS ; « 4 5 (=P3) » à Martot

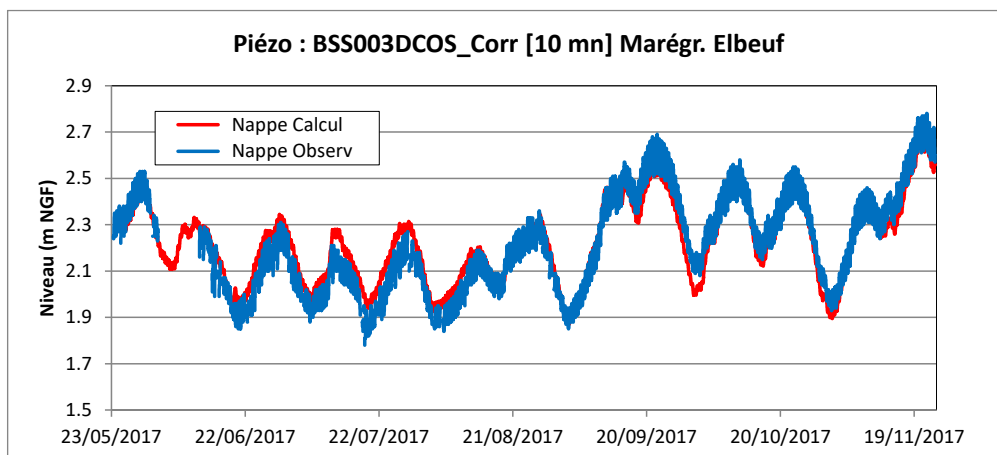


Figure 16 : Modélisation du piézomètre BSS003DCOS ; « 4 5 (=P3) » à Martot

Distance à la berge = 455 m ; Pas de temps = 10 mn.

Diffusivité = **0.930 m²/s** ; Corrélation = 0.929 ; (Niveau constant = 0.058 m).

5.9. Piézomètre ID = 26 : BSS004AJRK ; « 21 » à Martot

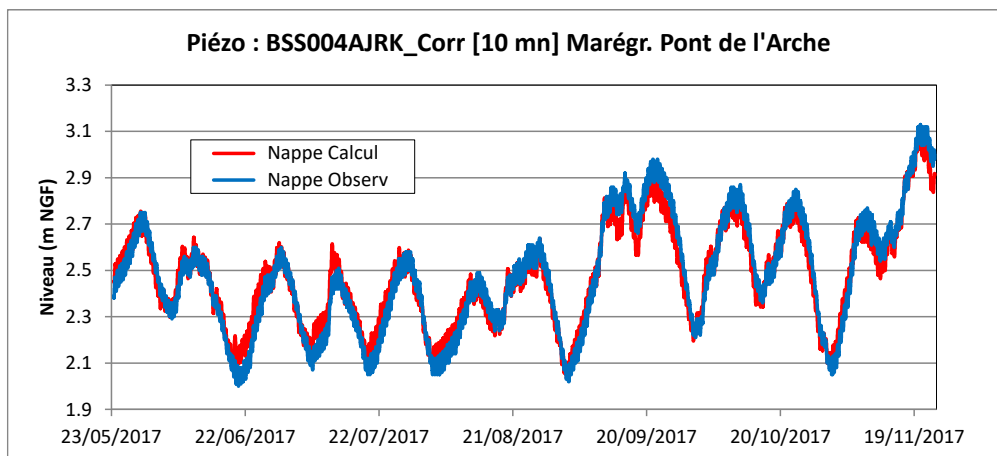


Figure 17 : Modélisation du piézomètre BSS004AJRK ; « 21 » à Martot

Distance à la berge = 490 m ; Pas de temps = 10 mn.

Diffusivité = **1.746 m²/s** ; Corrélation = 0.974 ; (Niveau constant = 0.100 m).

5.10. Piézomètre ID = 27 : BSS004AJRL ; « 28 (P1-F3) » à Martot

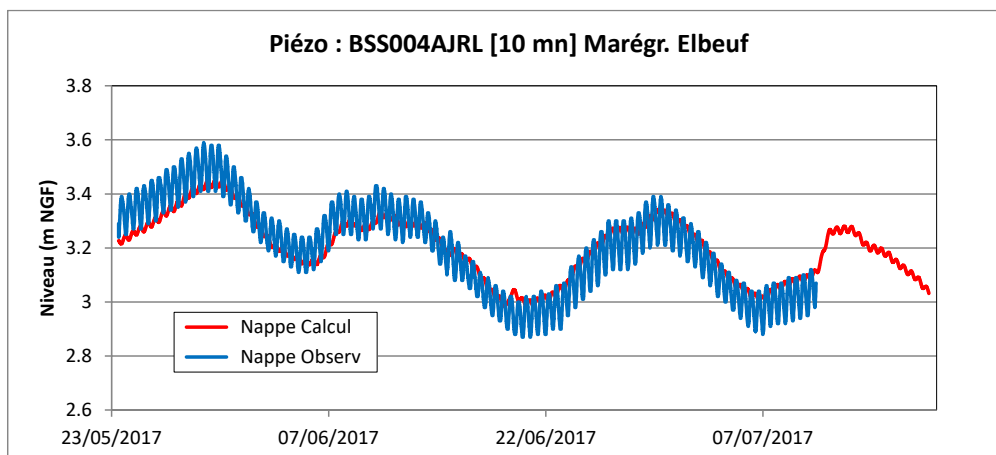


Figure 18 : Modélisation du piézomètre BSS004AJRL ; « 28 (P1-F3) » à Martot

Distance à la berge = 500 m ; Pas de temps = 10 mn.

Diffusivité = **0.942 m²/s** ; Corrélation = 0.880 ; (Niveau constant = 0.055 m).

Remarque : La période d'observation de 2 mois est très courte.

5.11. Piézomètre ID = 28 : BSS004AJRN ; « 29 » à Martot

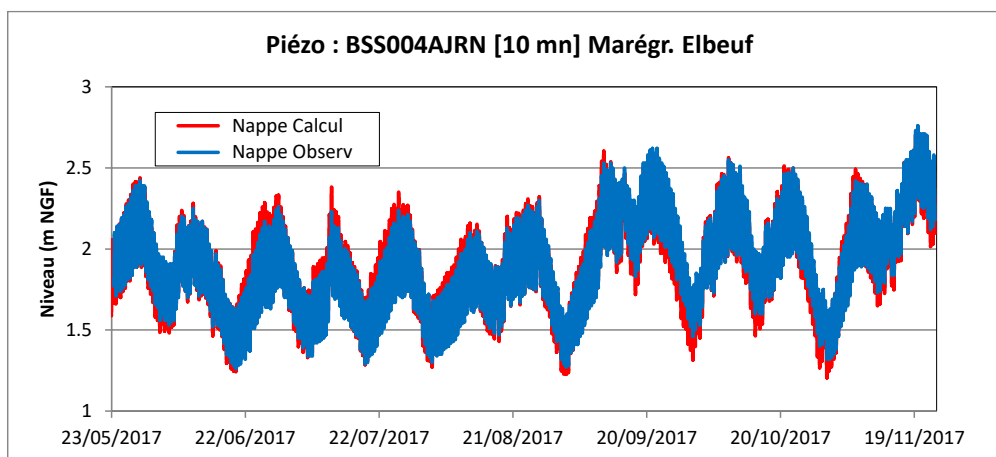


Figure 19 : Modélisation du piézomètre BSS004AJRN ; « 29 » à Martot

Distance à la berge = 410 m ; Pas de temps = 10 mn.

Diffusivité = **5.643 m²/s** ; Corrélation = 0.975 ; (Niveau constant = -0.339 m).

5.12. Piézomètre ID = 31 : 01241X0357 ; « Puits Agricole » à Criquebeuf

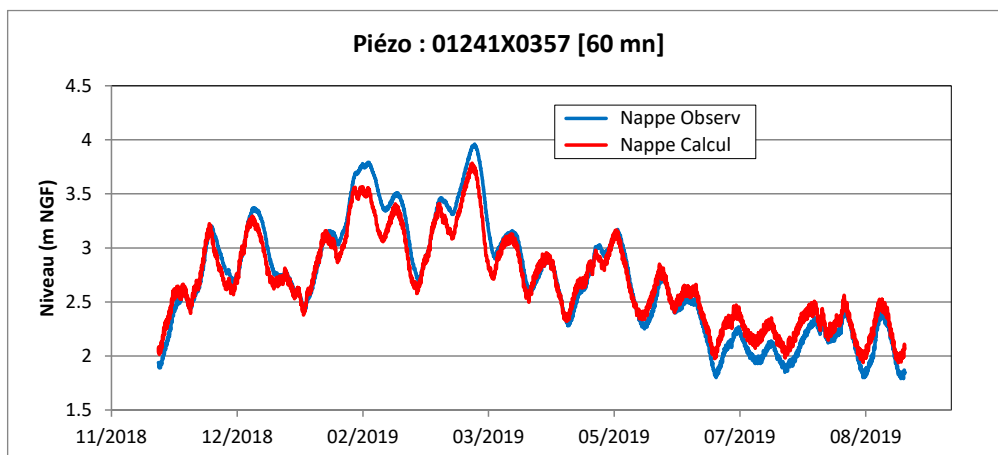


Figure 20 : Modélisation du piézomètre 01241X0357 ; « Puits Agricole » à Criquebeuf

Distance à la berge = 845 m ; Pas de temps = 60 mn.

Diffusivité = **5.142 m²/s** ; Corrélation = 0.962 ; (Niveau constant = 0.156 m).

5.13. Piézomètre ID = 32 : BSS003CLUO ; « Pz Amont CBN » à Criquebeuf

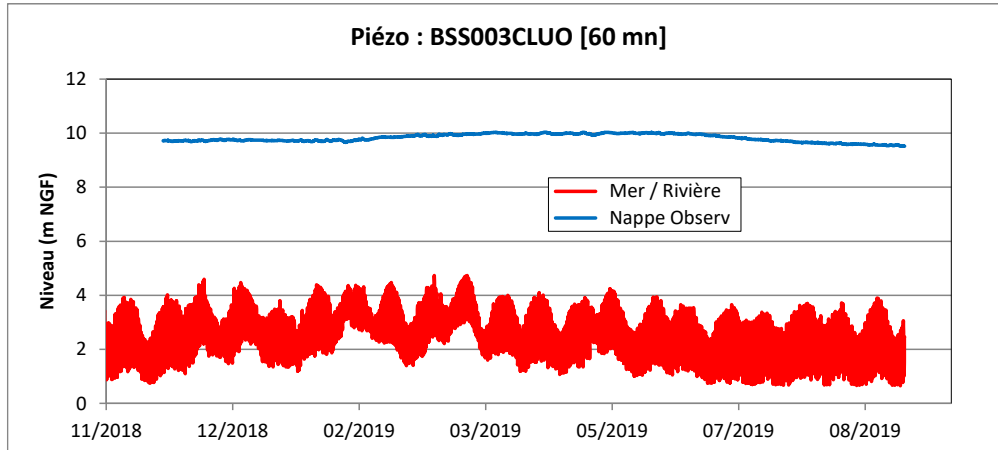


Figure 21 : Niveau de la Seine et du piézomètre BSS003CLUO ; « Pz Amont CBN » à Criquebeuf

Remarque : La Figure 21 montre que le niveau piézométrique est perché de plus de 7 m par rapport au marégraphe.

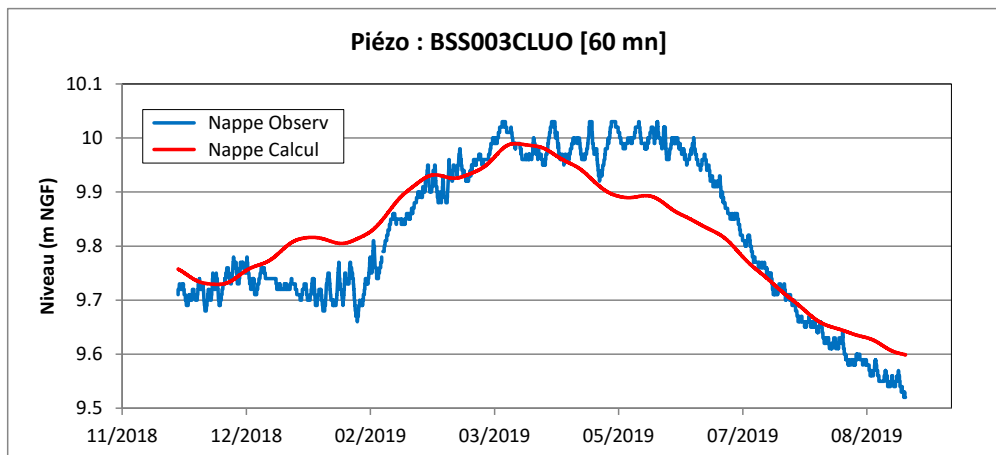


Figure 22 : Modélisation du piézomètre BSS003CLUO ; « Pz Amont CBN » à Criquebeuf

Distance à la berge = 845 m ; Pas de temps = 60 mn.

Diffusivité = **0.581 m²/s** ; Corrélation = 0.894 ; (Niveau constant = 7.088 m).

Remarque : Calibration raisonnable, mais uniquement de la grande tendance du signal.

5.14. Piézomètre ID = 33 : 01234X0315 ; « Pz Amont SERAF » à Freneuse

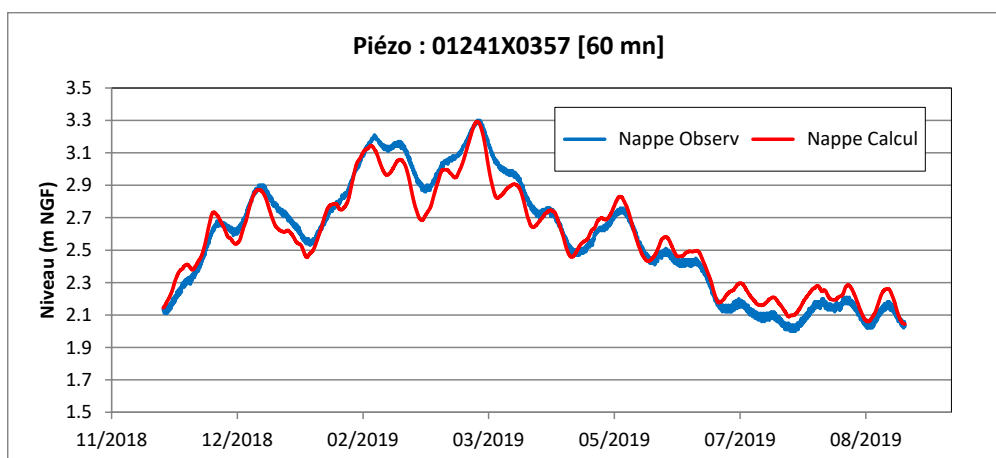


Figure 23 : Modélisation du piézomètre 01234X0315 ; « Pz Amont SERAF » à Freneuse

Distance à la berge = 530 m ; Pas de temps = 60 mn.

Diffusivité = **0.3446 m²/s** ; Corrélation = 0.973 ; (Niveau constant = -0.008 m)

5.15. Piézomètre ID = 35 : 00998D0351 ; « Pz Catelier » à Oissel

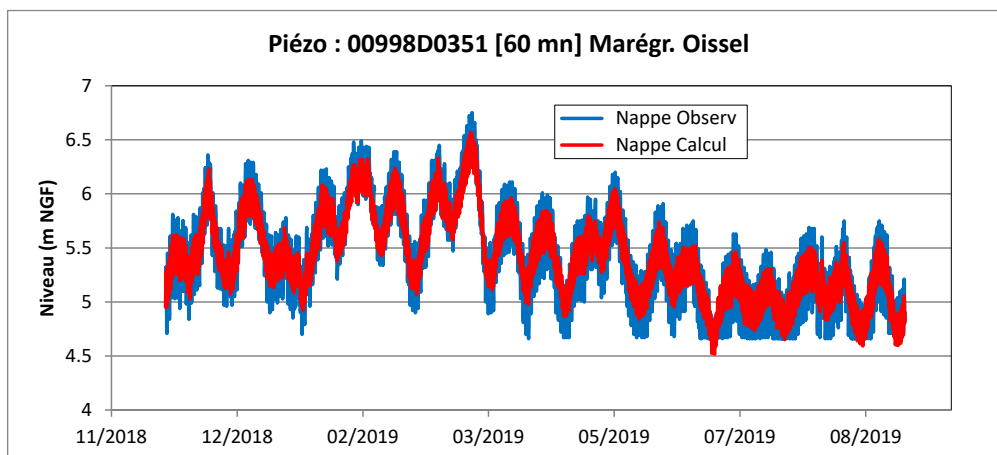


Figure 24 : Modélisation du piézomètre 00998D0351 ; « Pz Catelier » à Oissel

Distance à la berge = 615 m ; Pas de temps = 60 mn.

Diffusivité = **7.494 m²/s** ; Corrélation = 0.954 ; (Niveau constant = 3.234 m).

Remarque : Le niveau du piézomètre est perché de +3.23 m par rapport à celui du marégraphe.

5.16. Piézomètre ID = 38 : 00998X0586 ; « Pz1 STREF Bédanne » à Tourville-la-rivière

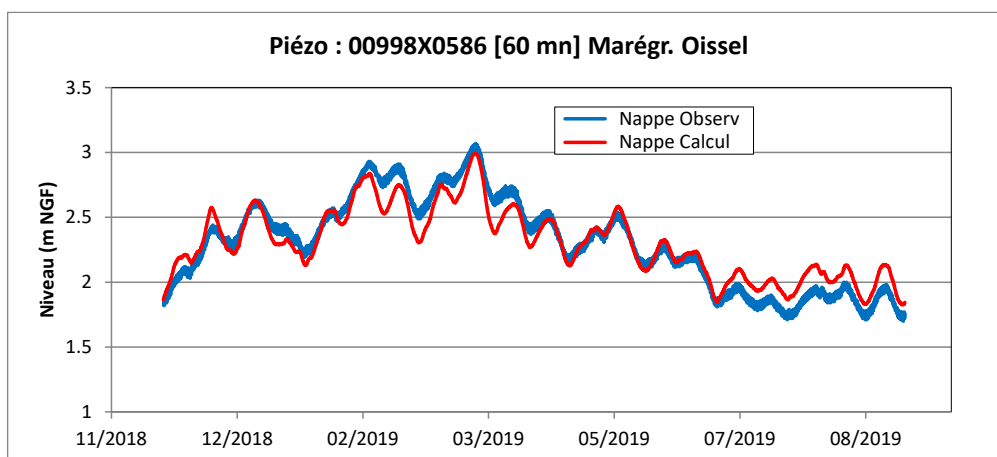


Figure 25 : Modélisation du piézomètre 00998X0586 ; « Pz1 STREF Bédanne » à Tourville-la-rivière

Distance à la berge = 825 m ; Pas de temps = 60 mn.

Diffusivité = **1.447 m²/s** ; Corrélation = 0.947 ; (Niveau constant = 0.100 m)

5.17. Piézomètre ID = 39 : BSS003FBUG ; « PZ Cemex » à Val de Reuil

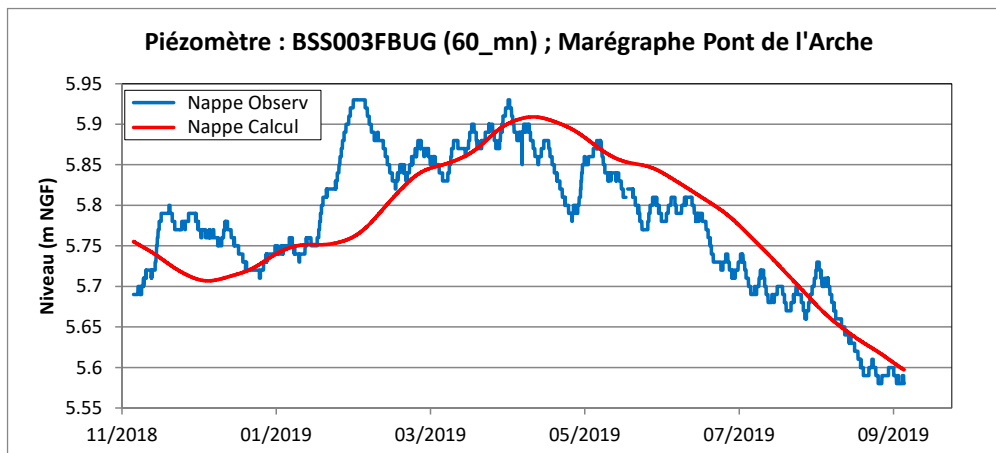


Figure 26 : Modélisation du piézomètre BSS003FBUG ; « PZ Cemex » à Val de Reuil

Distance à la berge = 1730 m ; Pas de temps = 60 mn

Diffusivité = **0.1492 m²/s** ; Corrélation = 0.803 ; (Niveau constant = +2.795 m)

Remarque : Le niveau du piézomètre est perché de +2.795 m par rapport à celui du marégraphe.

5.18. Piézomètre ID = 41 : 00997X0227 ; « Forêt la Londe » à Grand-Couronne

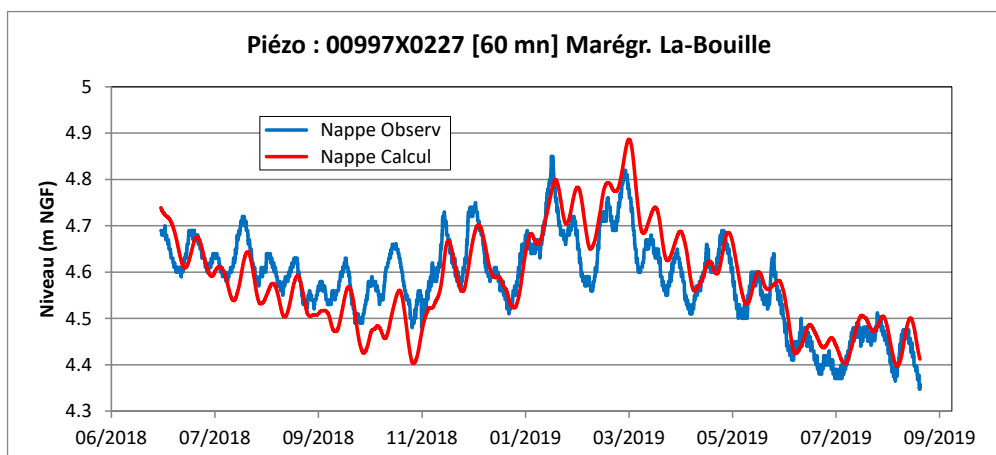


Figure 27 : Modélisation du piézomètre 00997X0227 ; « Forêt la Londe » à Grand-Couronne

Distance à la berge = 2330 m ; Pas de temps = 60 mn

Diffusivité = **2.792 m²/s** ; Corrélation = 0.779 ; (Niveau constant = +2.863 m)

Remarque : Le niveau du piézomètre est perché de +2.863 m par rapport à celui du marégraphe.

5.19. Piézomètre ID = 43 : 01234X0297 ; « 2 » à Caudebec les Elbeuf.

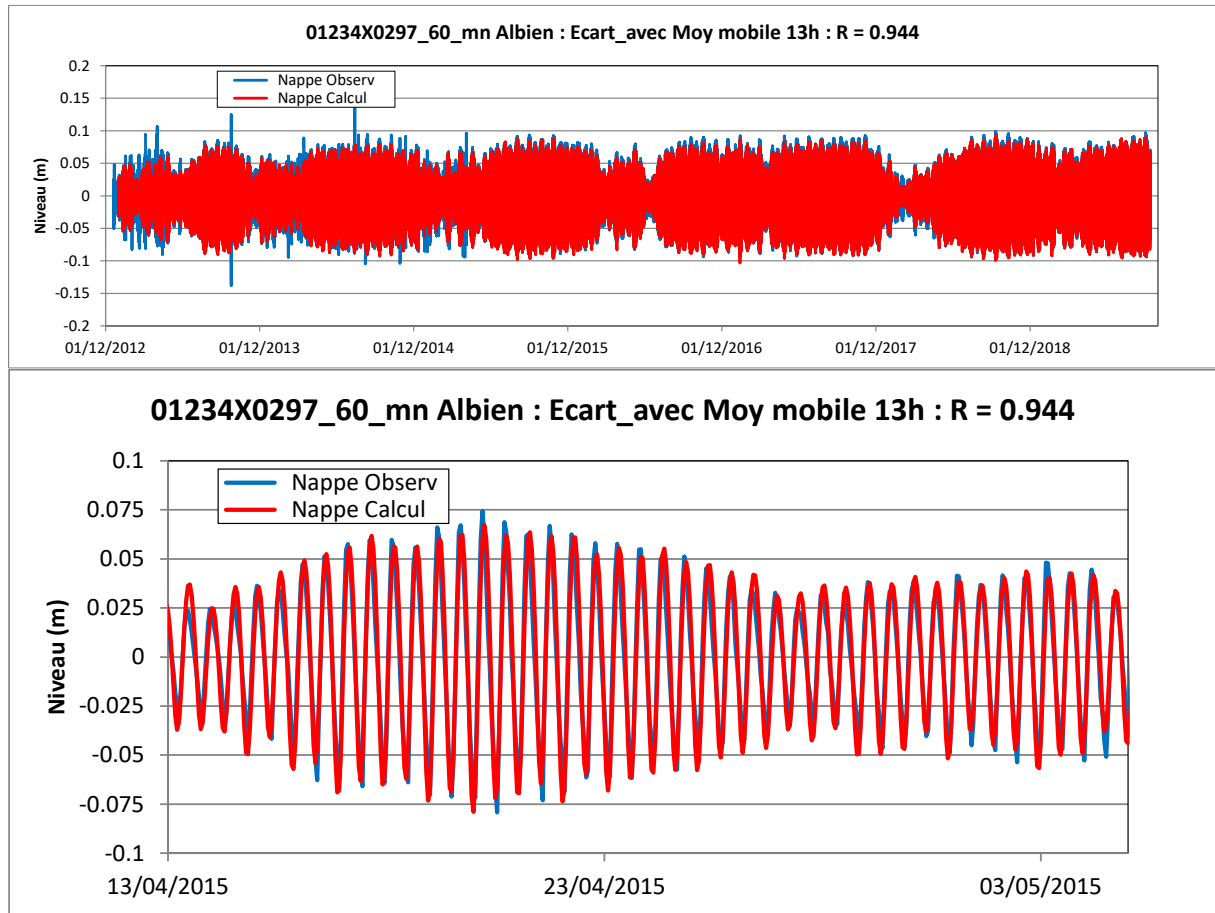


Figure 28 : Modélisation du piézomètre 01234X0297 ; « 2 » à Caudebec les Elbeuf.
(Modélisation des écart à la moyenne mobile du niveau sur 13 heures). Dessin du bas : détail sur la période Avril-Mai 2015.

Distance à la berge = 230 m ; Pas de temps = 60 mn

Modélisation de la seule composante de période 13 heures, après extraction de la composante de grande longueur d'onde.

Diffusivité = **0.5486 m²/s** ; Corrélation = 0.944 ; (Niveau constant = 0.000 m)

Remarque : Pour obtenir une simulation optimale, les hauteurs d'eau au marégraphe ont été avancées de 3 heures.
Sans ce décalage, le coefficient de corrélation ne serait que de 0.176 donc absolument pas acceptable.
Ceci traduit probablement un colmatage.

5.20. Piézomètre ID = 10 : 00993X0072 ; « AEP Bardouville » à Bardouville.

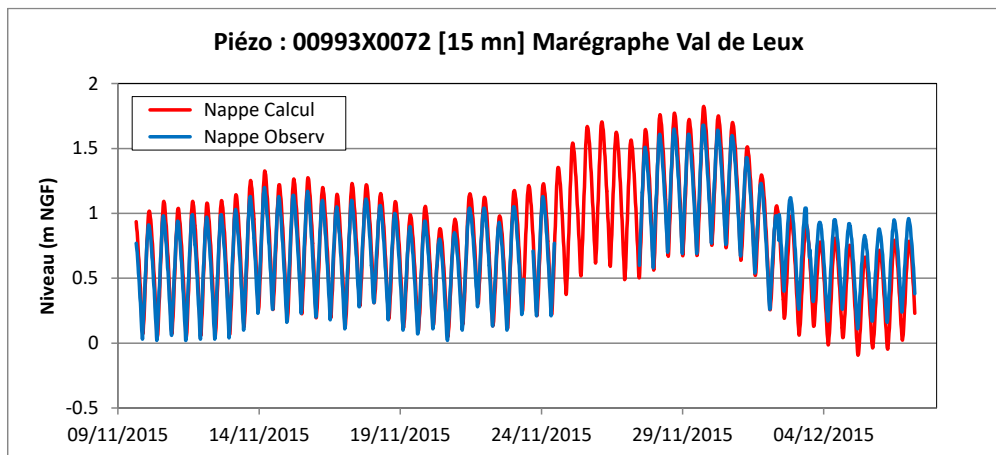


Figure 29 : Modélisation du piézomètre 00993X0072 ; « AEP Bardouville » à Bardouville

Distance à la berge = 450 m ; Pas de temps = 15 mn.
Période « hors pompages ».

Diffusivité = **12.58 m²/s** ; Corrélation = 0.936 ; (Niveau constant = -1.015 m).

Remarque : Le piézomètre a un niveau plus bas de -1.015 m par rapport au marégraphe.

5.21. Piézomètre ID = 11 : BSS003YYBE ; « Piezo Station » à Bardouville.

Le niveau piézométrique brut présente une composante de grande longueur d'onde due à la recharge climatique. Il ne peut pas être modélisé directement.

- ⇒ On analyse donc l'écart par rapport à cette composante de grande longueur d'onde, car c'est cet écart qui est influencée par la marée.
- ⇒ On calcule la composante de grande longueur d'onde par la moyenne mobile de 150 pas de 5 mn du niveau piézométrique ce qui filtre l'influence d'une marée de 12h25.

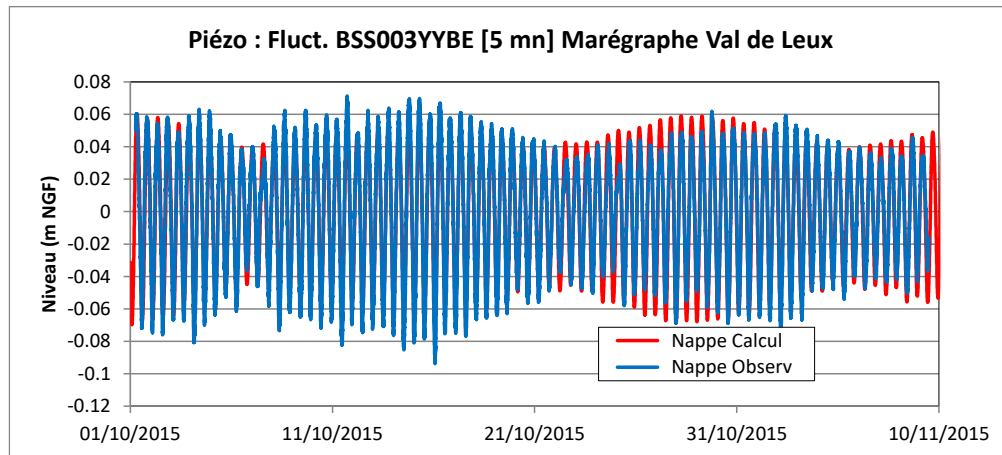


Figure 30 : Modélisation du piézomètre BSS003YYBE ; « Piezo Station » à Bardouville.
Écart par rapport à la composante de grande longueur d'onde (amplitude de +-8 cm uniquement)

Distance à la berge = 440 m ; Pas de temps = 5 mn.

Diffusivité = **3.420 m²/s** ; Corrélation = 0.967 ;

Mais avec effet de colmatage marqué : L'ajustement est obtenu en appliquant un facteur de correction de 0.29 sur l'amplitude des niveaux calculés.

5.22. Piézomètre ID = 13 : BSS000GLXD ; « P Château » à Bardouville.

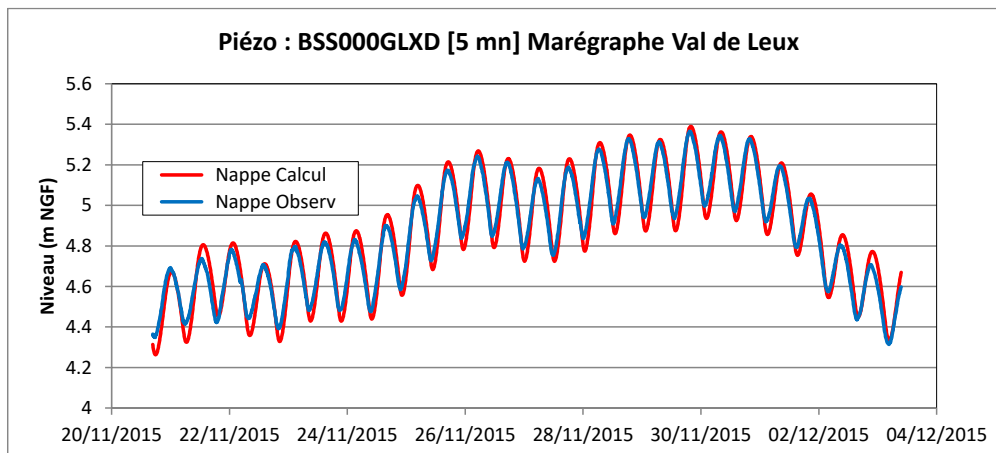


Figure 31 : Modélisation du piézomètre BSS000GLXD ; « P Château » à Bardouville

Distance à la berge = 520 m ; Pas de temps = 5 mn.

Diffusivité = **5.707 m²/s** ; Corrélation = 0.978 ; (Niveau constant = +2.90 m).

Remarques : Le niveau du piézomètre est perché de +2.90 m par rapport à celui du marégraphe.
La période d'observation est d'uniquement 14 jours.

5.23. Piézomètre ID = 14 : BSS000GMES ; « P Landrin » à Bardouville.

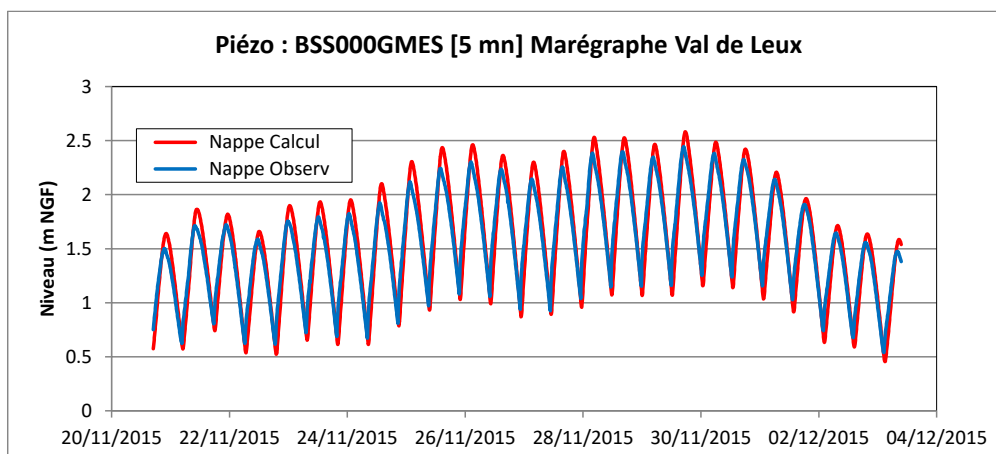


Figure 32 : Modélisation du piézomètre BSS000GMES ; « P Landrin » à Bardouville

Distance à la berge = 425 m ; Pas de temps = 5 mn.

Diffusivité = **18.67 m²/s** ; Corrélation = 0.921 ; (Niveau constant = -0.438 m).

Remarque : La période d'observation est d'uniquement 13 jours.

5.24. Piézomètre ID = 16 : 00992X0037 ; « FAEP » à Jumièges.

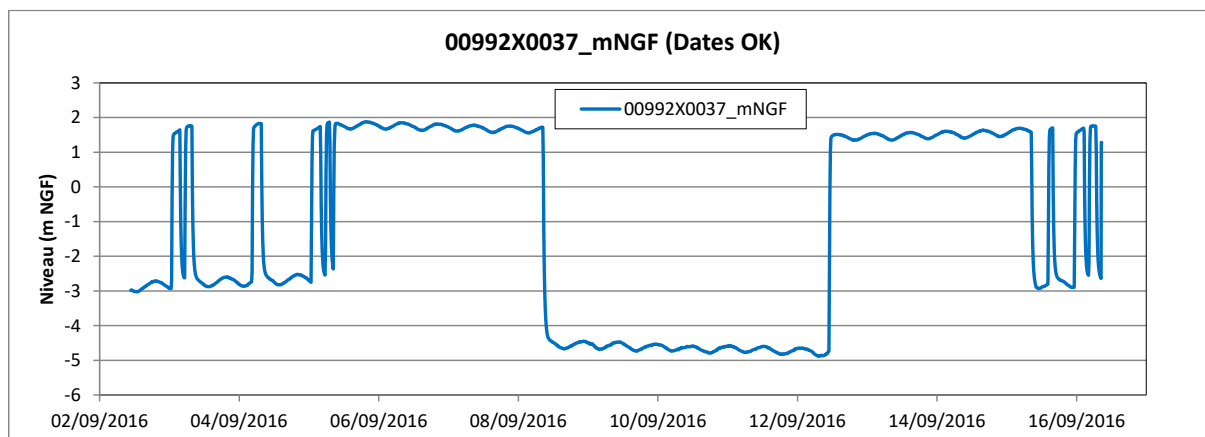


Figure 33 : Piézomètre 00992X0037 ; « FAEP » à Jumièges : Visualisation des données brutes

Le niveau piézométrique brut est très influencé par un pompage d'essai.

⇒ Pendant la période de pompage : On corrige le niveau observé de +6.181 m car la constante lors de la calibration sur la seule période de pompage est égale à -5.833 m, et à +0.348 m lors de la calibration de la période hors pompage. Soit un décalage de $-5.833 \text{ m} - 0.348 \text{ m} = -6.181 \text{ m}$.

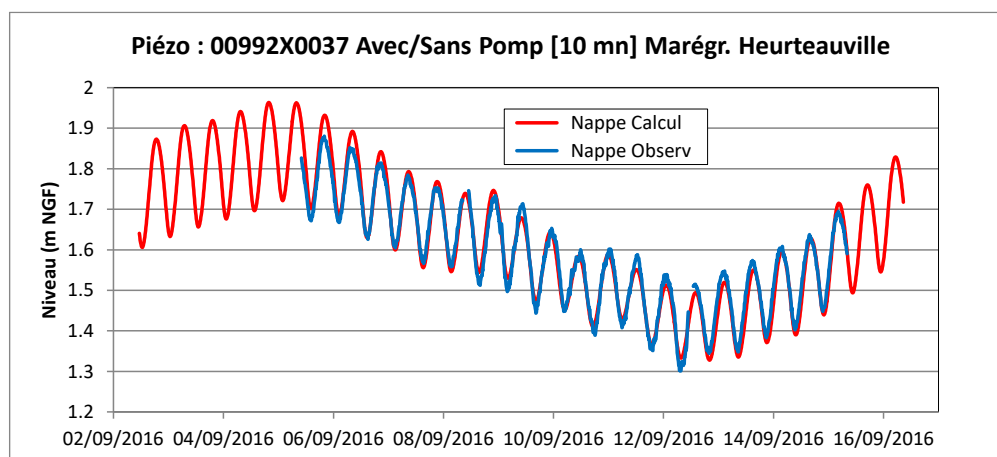


Figure 34 : Modélisation du piézomètre 00992X0037 ; « FAEP » à Jumièges

Période complète : avec pompage et sans pompage.

Distance à la berge = 815 m ; Pas de temps = 10 mn.

Diffusivité = **6.433 m²/s** ; Corrélation = 0.983 ; (Niveau constant = +0.348 m).

Remarque : La période d'observation est d'uniquement 14 jours.

5.25. Piézomètre ID = 17 : BSS002PSYR ; « PZJ1 » à Jumièges.

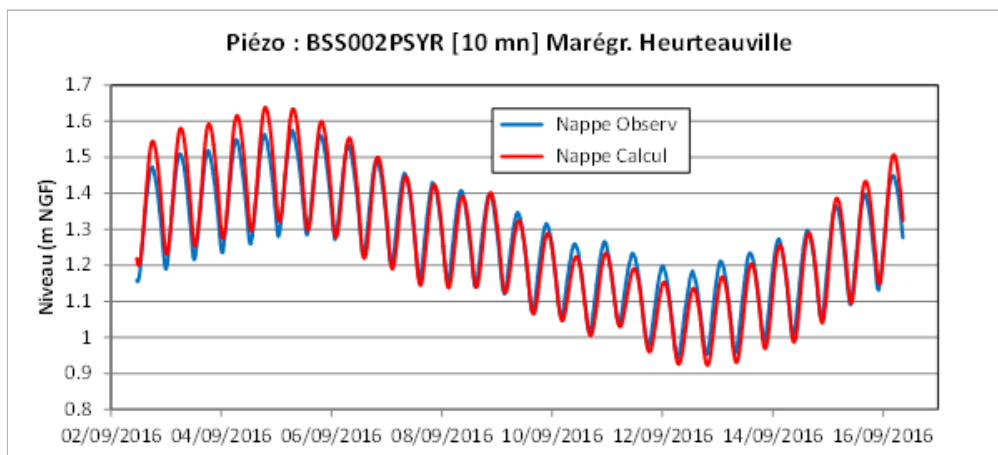


Figure 35 : Modélisation du piézomètre BSS002PSYR ; « PZJ1 » à Jumièges

Distance à la berge = 745 m ; Pas de temps = 10 mn.

Diffusivité = **6.524 m²/s** ; Corrélation = 0.965 ; (Niveau constant = -0.018 m)

Remarque : La période d'observation est d'uniquement 14 jours.

5.26. Piézomètre ID = 18 : BSS002PSYP ; « PZJ2 » à Jumièges.

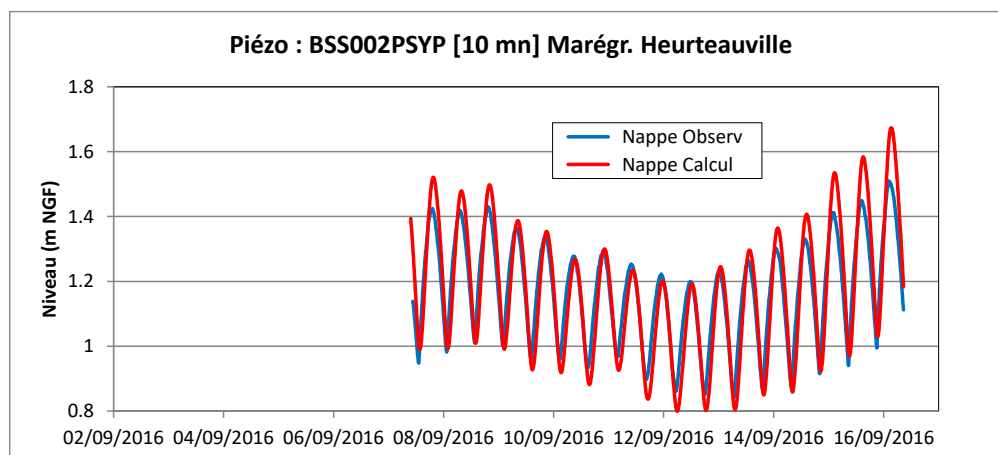


Figure 36 : Modélisation du piézomètre BSS002PSYP ; « PZJ2 » à Jumièges

Distance à la berge = 375 m ; Pas de temps = 10 mn.

Diffusivité = **2.882 m²/s** ; Corrélation = 0.866 ; (Niveau constant = -0.008 m).

Remarque : La période d'observation est d'uniquement 8 jours.

5.27. Piézomètre ID = 19 : BSS002PSYM ; « PZJ2b » à Jumièges.

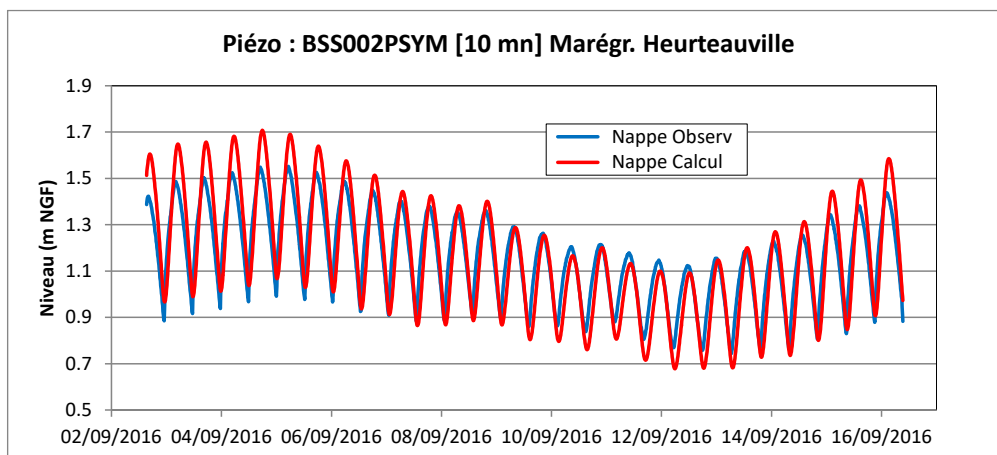


Figure 37 : Modélisation du piézomètre BSS002PSYM ; « PZJ2b » à Jumièges

Distance à la berge = 300 m ; Pas de temps = 10 mn.

Diffusivité = **1.950 m²/s** ; Corrélation = 0.832 ; (Niveau constant = -0.114 m).

Remarque : La période d'observation est d'uniquement 14 jours.

5.28. Piézomètre ID = 22 ; BSS002PSYT_suivi_Safege ; « PZJ3 » à Jumièges.

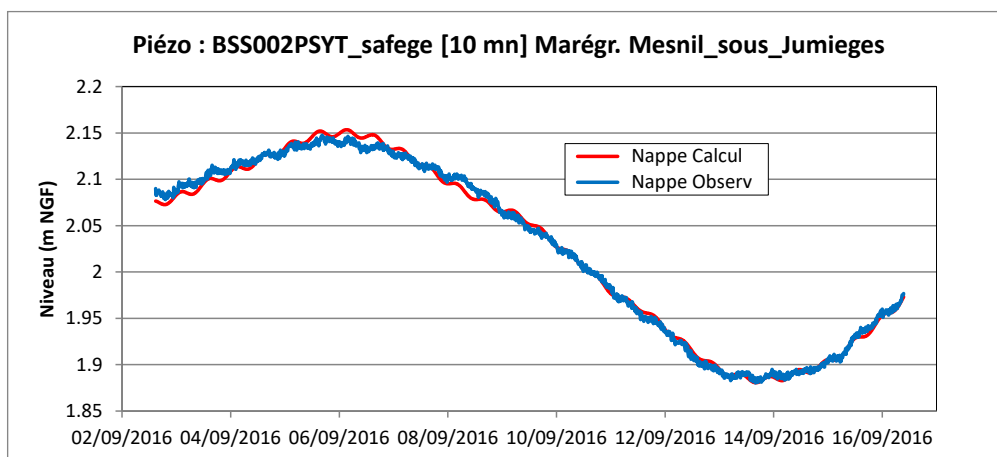


Figure 38 : Modélisation du piézomètre BSS002PSYT_suivi_Safege ; « PZJ3 » à Jumièges

Distance à la berge = 790 m ; Pas de temps = 10 mn.

Diffusivité = **1.160 m²/s** ; Corrélation = 0.998 ; (Niveau constant = +0.514 m).

Remarque : La période d'observation est d'uniquement 15 jours.

5.29. Piézomètre ID = 42 : BSS002PSYT_suivi_brgm ; « PZJ3 » à Jumièges.

Le niveau piézométrique présente une forte tendance à la baisse pendant la période d'observations d'1.5 an. Le niveau brut ne peut donc être qu'approximativement directement (excepté la période Novembre 2018-Mai 2019 qui est stable).

- ⇒ On réalise donc une première simulation avec les niveaux piézométriques bruts. On calcule les écarts de simulation (qui devraient être stationnaires).
- ⇒ On calcule la moyenne mobile de 600 heures (25 jours) sur ces écarts de simulation. Cette moyenne mobile est la composante « climatique ». On la retranche alors des niveaux piézométriques bruts.
- ⇒ On réalise alors une deuxième simulation sur ces niveaux piézométriques corrigés.

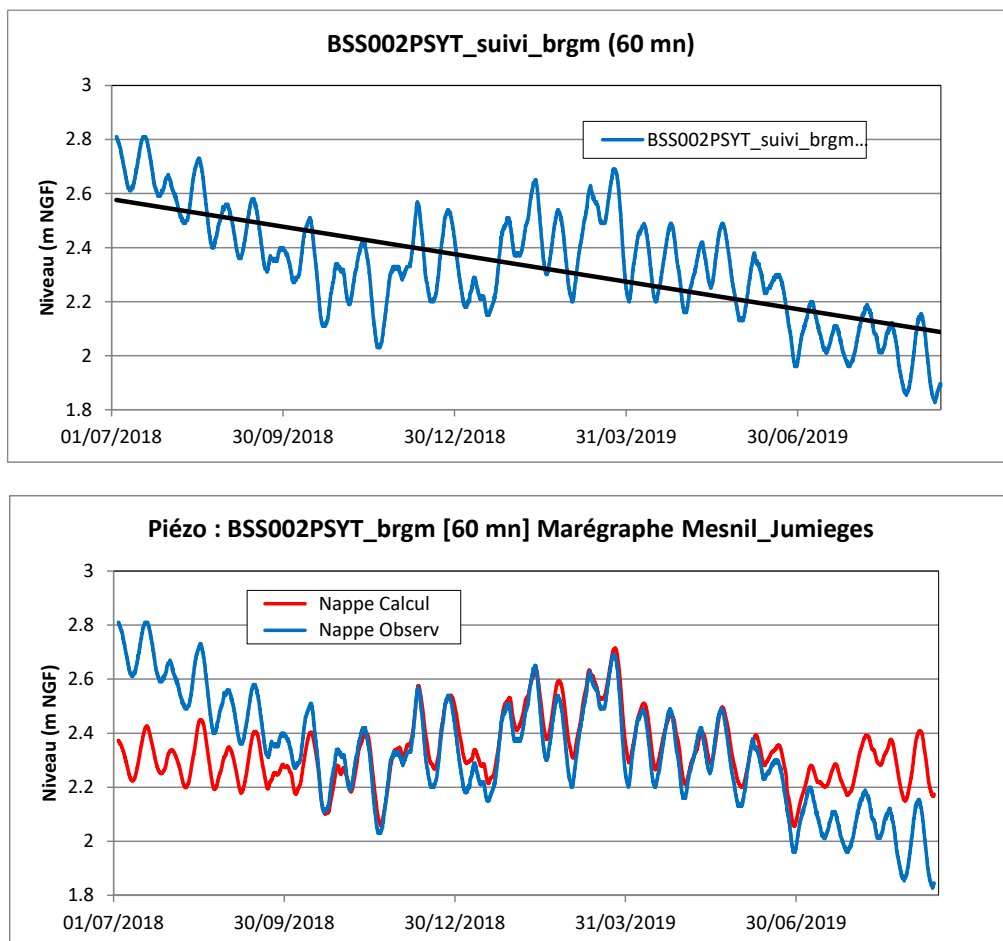


Figure 39 : Piézomètre BSS002PSYT_suivi_brgm ; « PZJ3 » à Jumièges. Première simulation des niveaux piézométriques bruts.

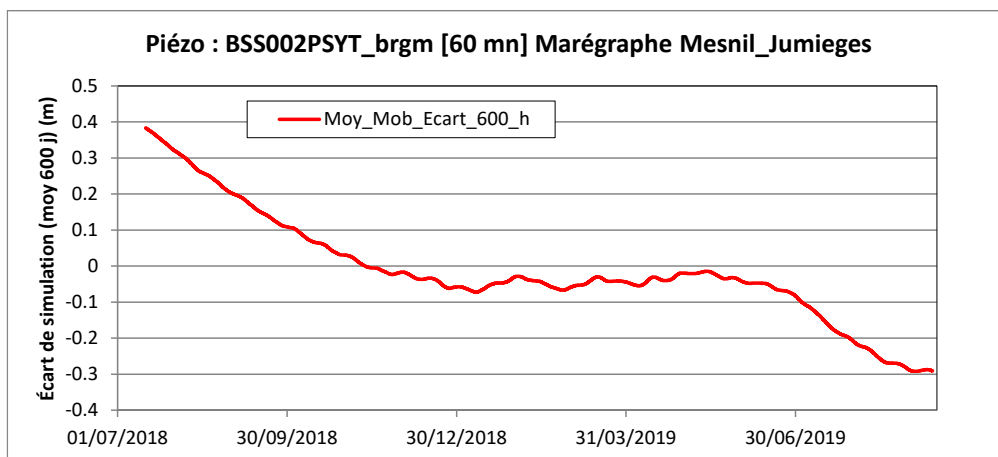


Figure 40 : Piézomètre BSS002PSYT_suivi_Safege ; « PZJ3 » à Jumièges. Écart à la première simulation (moyenne mobile 25 jours) = « Tendance » = Effet « Climatique ».

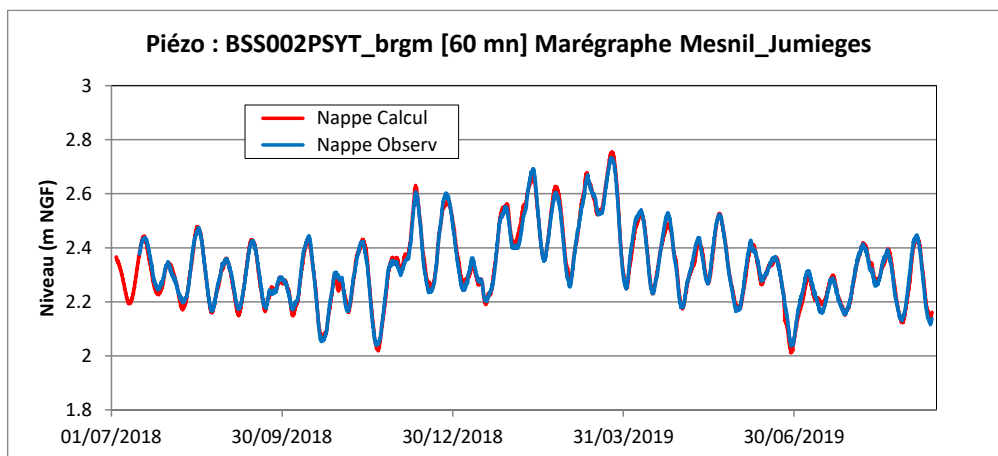


Figure 41 : Modélisation du piézomètre BSS002PSYT_suivi_brgm ; « PZJ3 » à Jumièges

Niveau observé corrigé de la « tendance ».

Distance à la berge = 760 m ; Pas de temps = 60 mn.

Diffusivité = **1.217 m²/s** ; Corrélation = 0.993 ; (Niveau constant = +0.826 m).

5.30. Piézomètre ID = 43 : 00992X0058_suivi_brgm ; « Puits rue forêt » à Jumièges.

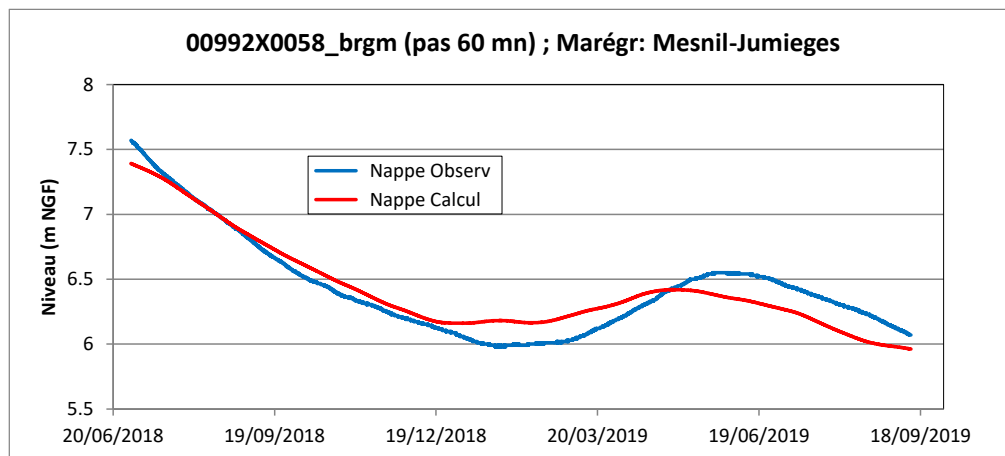


Figure 42 : Modélisation du piézomètre 00992X0058_suivi_brgm ; « Puits rue forêt » à Jumièges

Compte tenu de la distance et d'un colmatage probable : on n'observe aucune fluctuation périodique de 12h25.

Distance = 1370 m ; Pas de temps = 60 mn.

[Diffusivité = $0.0588 \text{ m}^2/\text{s}$; Corrélation = 0.934 ; (Niveau constant = -8.301 m)].

[La simulation fait intervenir un facteur d'amplitude = 9.16 => Modélisation peu fiable : valeur de la diffusivité non retenue.

5.31. Piézomètre ID = 44 : 00998B0311 ; « Sotteville » à Sotteville les Rouen.

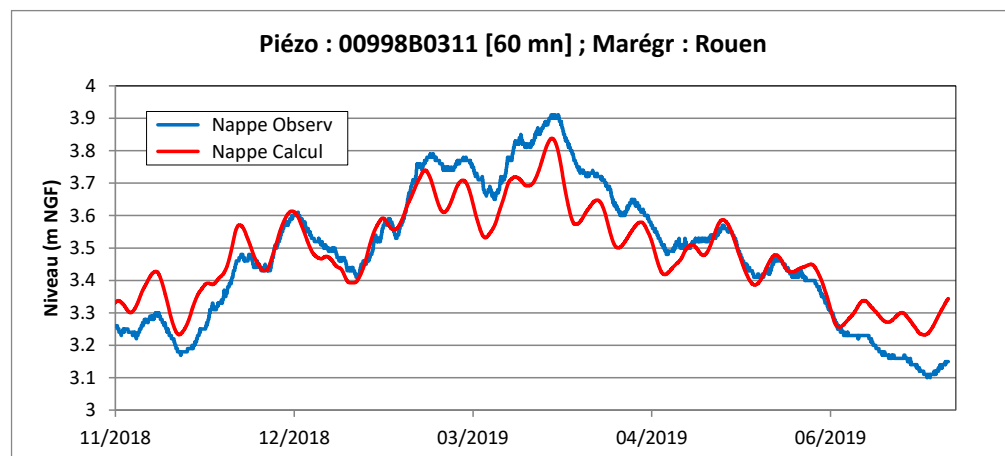


Figure 43 : Modélisation du piézomètre 00998B0311 ; « Sotteville » à Sotteville les Rouen

Distance = 3090 m ; Pas de temps = 60 mn.

Diffusivité = **$6.211 \text{ m}^2/\text{s}$** ; Corrélation = 0.920 ; (Niveau constant = $+1.646 \text{ m}$).

Remarque : Le niveau du piézomètre est perché de $+1.646 \text{ m}$ par rapport à celui du marégraphe.

En utilisant le marégraphe de « Petit-Couronne » on obtient des résultats proches : (diffusivité = $6.453 \text{ m}^2/\text{s}$) avec une simulation légèrement moins bonne (corrélation = 0.896).

6. Conclusion

Les historiques de 44 piézomètres situés à moins de 3 km de la berge de la Seine, entre Tancarville et Pont de l'Arche, ont été rassemblés.

À partir des données relatives à ces piézomètres, une analyse graphique a permis d'en sélectionner 30 d'entre eux qui ont ensuite été modélisés avec le code de calcul CATHERINE du BRGM (Thiéry, 2012). Il a ainsi été possible de calculer pour chacun d'eux la diffusivité T/S moyenne de l'aquifère entre la berge et le piézomètre.

Ces calculs de diffusivité aideront au calage des paramètres du futur modèle distribué de la vallée de Seine.

Le Tableau 6 et le Tableau 7 rassemblent, pour chacun des 30 piézomètres modélisés avec succès, les valeurs de la diffusivité calculée, ainsi que du coefficient de corrélation (coefficient d'ajustement) correspondant à la modélisation.

La Figure 44 montre que la valeur médiane de la diffusivité est égale à $3.0 \text{ m}^2/\text{s}$ et 80 % des valeurs sont comprises entre $0.35 \text{ m}^2/\text{s}$ et $11.3 \text{ m}^2/\text{s}$. La Figure 45 montre que 80 % des coefficients de corrélation sont au moins égaux à 0.90.

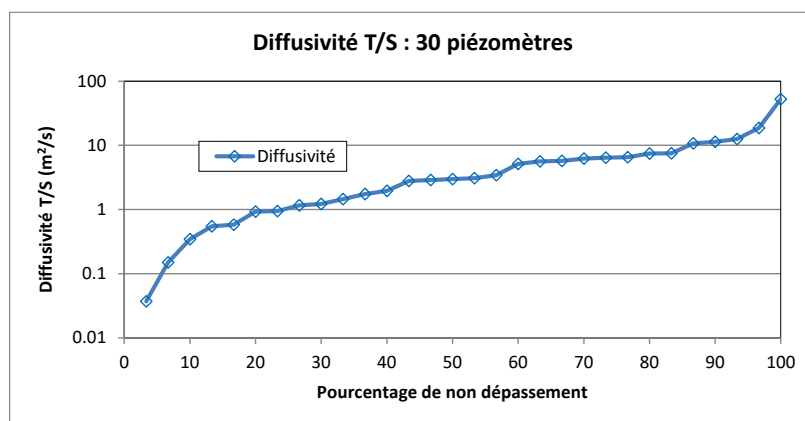


Figure 44 : Répartition statistique des diffusivités des 30 piézomètres modélisés.

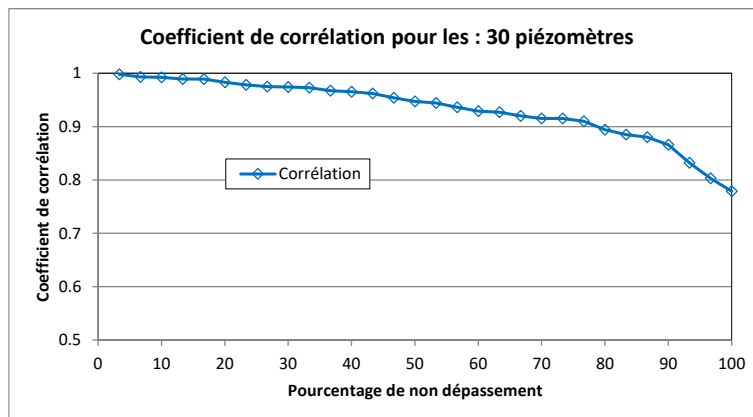


Figure 45 : Répartition statistique des coefficients de corrélation de la modélisation des 30 piézomètres.

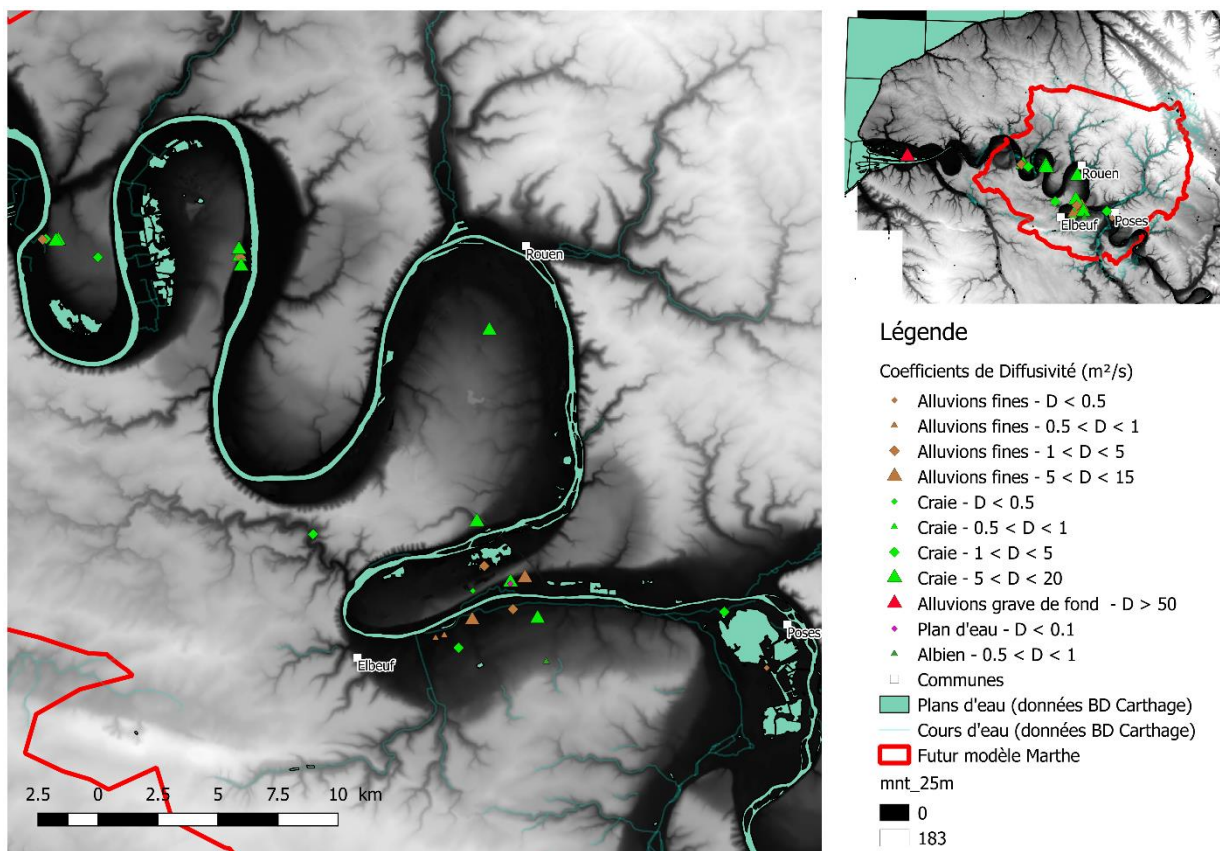


Figure 46 : Carte récapitulative des coefficients de diffusivité des 30 piézomètres modélisés.

Tableau 6 : Diffusivité et coefficient de corrélation des 30 piézomètres modélisés avec le logiciel CATHERINE : Piézomètres n°1 à 19.

ID	BSS	Dénomination	XL93 (m)	YL93 (m)	Marégraphe	Distance Berge	Diffusiv m2/s	Corrélat	Remarques	Aquifère
2	00974X0128	Sandouville PZ1908	503668	6931454	Tancarville	1210	52.5	0.915	Fluctuat. 13h ; Marée avancée 1h	Alluvions_graves_de_fond
9	01242X0530	ValdeReuil	569951	6913230	Pont-de-l'Arche	530	2.99	0.915	Fluctuat. 13h ; Marée avancée 1h	Craie sous Alluvions
34	01241X0365	Ancien Captage AEP (suivi BRGM)	561041	6914459	Elbeuf	450	7.479	0.989	Modélisation excellente	Craie sous alluvions
15	01241X0365	Ancien Captage AEP (Suivi Safege)	561041	6914459	Elbeuf	450	11.37	0.992	Modélisation excellente	Craie sous alluvions
29	01241X0379	PZ1B	561645	6914639	Elbeuf	660	10.75	0.989	Modélisation excellente	Alluvions_fines
30	Etang_sslv	Etang_sslv	561037	6914401	Elbeuf	210	0.037	0.91	Modélisation acceptable d'observation Fort colmatage	Eaux de surface
23	01234B0312	4 (=P15= F2)	558875	6911736	Elbeuf	1260	3.086	0.885	Modélisation excellente	Craie
24	BSS003DCOS	5 (=P3)	557920	6912136	Elbeuf	455	0.93	0.929	Modélisation excellente	Alluvions_fines
26	BSS004AJRK	21	561148	6913342	Pont-de-l'Arche	490	1.746	0.974	Modélisation excellente	Alluvions_fines
27	BSS004AJRL	28 (P1-F3)	558282	6912253	Elbeuf	500	0.942	0.88	Modélisation excellente Courte période d'observation	Alluvions_fines
28	BSS004AJRN	29	559447	6912882	Elbeuf	410	5.643	0.975	Modélisation excellente	Alluvions_fines
31	01241X0357	Puits Agricole	562170	6912949	Elbeuf	845	5.142	0.962	Modélisation excellente	Craie sous alluvions
32	BSS003CLUO	PZ Amont CBN	562532	6911158	Elbeuf	2600	0.581	0.894	Modélisation excellente	Craie
33	01234X0315	PZ Amont SERAF	559470	6914104	Elbeuf	530	0.345	0.973	Modélisation excellente	Craie
35	00998D0351	PZCatelier	559640	6916980	Oissel	615	7.494	0.954	Modélisation excellente	Craie
38	00998X0586	PZ1 STREF Bédanne	559947	6915141	Oissel	825	1.447	0.947	Modélisation excellente	Alluvions_fines
39	BSS003FBUG	PZ Cemex	571716	6910899	Pont-de-l'Arche	1730	0.1492	0.803	Modélisation approximative	Alluvions_fines
41	00997X0227	Forêt-la-Londe	552813	6916462	La Bouille/Elbeuf	2330	2.792	0.779	Modélisation correcte	Craie
45	01234X0297	F2	556687	6911935	Elbeuf	230	0.549	0.944	Fluctuat. 13h ; Marée avancée 3h ; Fort colmatage Logique, car Albien	Albien

Tableau 7 : Diffusivité et coefficient de corrélation des 30 piézomètres modélisés avec le logiciel CATHERINE – Suite : Piézomètres n°20 à 30.

ID	BSS	Dénomination	XL93 (m)	YL93 (m)	Marégraphe	Distance Berge	Diffusiv m ² /s	Corrélat	Remarques	Aquifère
10	00993X0072	AEP Bardouville	549745	6928015	Val au Leux	450	12.58	0.936	Modélisation excellente	Craie sous Alluvions
11	BSS003YYBE	Piezo Station	549787	6927988	Val au Leux	440	3.42	0.967	Colmatage	Alluvions_fines
13	BSS000GLXD	P Château	549721	6928311	Val au Leux	520	5.707	0.978	Modélisation excellente	Craie sous Alluvions
14	BSS000GMES	P Landrin	549809	6927615	Val au Leux	425	18.67	0.927	Modélisation excellente	Craie sous Alluvions
16	00992X0037	FAEP	542197	6928676	Heurteauville	815	6.433	0.983	Modélisation excellente	Craie
17	BSS002PSYR	PZJ1	542089	6928657	Heurteauville	745	6.524	0.965	Modélisation excellente	Craie
18	BSS002PSYP	PZJ2	541675	6928758	Heurteauville	375	2.882	0.866	Modélisation excellente	Craie
19	BSS002PSYM	PZJ2b	541534	6928728	Heurteauville	300	1.95	0.832	Modélisation excellente	Alluvions_fines
22	BSS002PSYT	PZJ3 (suivi Safege)	543841	6927992	Mesnil/Jumièges	760	1.16	0.998	Modélisation excellente	Craie
42	BSS002PSYT	PZJ3 (suivi BRGM)	543841	6927992	Mesnil/Jumièges	760	1.217	0.993	Modélisation excellente	Craie
44	00998B0311	Sotteville	560161	6924940	Jean Ango- Rouen	3090	6.211	0.92	Modélisation excellente	Craie

7. Références bibliographiques

Thiéry D. (2012) – Code de calcul CATHERINE - Principe et mode d'emploi. BRGM/RP-61430-FR, 60 p., 33 fig.

<http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-61430-FR.pdf> . (Accès Janvier 2021).

Code de calcul CATHERINE : site :

<https://www.brgm.fr/production-scientifique/logiciels-scientifiques/catherine-logiciel-analyse-influence-riviere> . (Accès Janvier 2021).



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