



Document à accès immédiat

Définition d'un réseau piézométrique de référence et contribution à la mise en place de seuils de gestion dans le bassin versant de l'Authion

Rapport final

BRGM/RP-72219-FR

8 décembre 2022

Étude réalisée dans le cadre des opérations de service public du BRGM

S. Schomburgk

Vérificateur :

Nom : P. Chrétien
Fonction : Hydrogéologue régional Pays-
de-la-Loire
Date : 21/10/2022

Signature :



Approbateur :

Nom : X. Rachez
Fonction : Directeur régional Pays-de-la-
Loire
Date : 08/12/2022

Signature :



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

Contact : qualite@brgm.fr

Avertissement

Ce rapport est adressé en communication exclusive au demandeur, au nombre d'exemplaires prévu.

Le demandeur assure lui-même la diffusion des exemplaires de ce tirage initial.

La communicabilité et la réutilisation de ce rapport sont régies selon la réglementation en vigueur et/ou les termes de la convention.

Le BRGM ne saurait être tenu comme responsable de la divulgation du contenu de ce rapport à un tiers qui ne soit pas de son fait et des éventuelles conséquences pouvant en résulter.

Votre avis nous intéresse

Dans le cadre de notre démarche qualité et de l'amélioration continue de nos pratiques, nous souhaitons mesurer l'efficacité de réalisation de nos travaux.

Aussi, nous vous remercions de bien vouloir nous donner votre avis sur le présent rapport en complétant le formulaire accessible par cette adresse <https://forms.office.com/r/yMgFcU6Ctg> ou par ce code :



Mots clés : Eau souterraine, piézomètre, forage, puits, bassin versant, gestion ressource eau, Authion, Maine-et-Loire, Indre-et-Loire, Pays de la Loire.

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

S. Schomburgk (2022) – Définition d'un réseau piézométrique de référence et contribution à la mise en place de seuils de gestion dans le bassin versant de l'Authion.

Rapport final. **BRGM/RP-72219-FR**, 133 p., 45 fig. 3 ann.

© BRGM, 2022, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.
IM003-MT008-P2-01/04/2021

Synthèse

Cette étude porte sur la connaissance et l'amélioration de la compréhension des ressources en eaux souterraines à travers la définition d'un réseau piézométrique de référence et la contribution à la mise en place de seuils de gestion dans le bassin versant de l'Authion.

Dès 2012, le Préfet du Maine-et-Loire a défini, sur la base des propositions du BRGM, quatorze zones d'alerte spécifiques aux eaux souterraines, auxquelles est associé un piézomètre de référence appartenant au réseau de surveillance de l'état quantitatif des eaux souterraines de la région Pays-de-Loire. Des seuils de gestion (vigilance, alerte, alerte renforcée, crise) ont été définis par la Direction départementale des territoires du Maine-et-Loire. Lors du franchissement d'un de ces seuils, des mesures progressives de limitation ou d'interdiction temporaire des prélèvements en eau souterraine s'appliquent.

Depuis 2019, le bassin versant de l'Authion enregistre des sécheresses répétées des cours d'eau et des niveaux piézométriques exceptionnellement bas. Les trois zones d'alertes du bassin sont représentées par les quatre ouvrages de référence : Pontigné, Brion et Villebernier dans le Maine-et-Loire et Channay-sur-Lathan dans l'Indre-et-Loire. En 2022, les niveaux piézométriques étaient classés après l'été en « niveau bas » ou « niveau très bas », avec des mesures sur les eaux souterraines à un niveau de « alerte renforcée » ou « crise ».

Le BRGM a étudié la totalité des piézomètres suivis dans le bassin afin de proposer des piézomètres représentatifs pour chaque aquifère et zone d'alerte. Dans la majorité des dix Unités de Gestion (UG), qui découpent le bassin de l'Authion, plusieurs aquifères sont superposés :

- dans la majorité des UG, la craie du Séno-Turonien est séparée des sables du Cénomaniens sous-jacent par les marnes à ostracées cénomaniennes,
- au nord du bassin, les calcaires de l'Eocène couvrent la craie du Séno-Turonien,
- dans le sud, les alluvions de la Loire couvrent les sables du Cénomaniens et l'ensemble forme par connexion hydraulique un aquifère multicouche.

Trois types de piézomètres ont été étudiés :

- 80 piézomètres suivis historiquement par le SMBAA ;
- 17 piézomètres issus du réseau de surveillance pour la Directive Cadre Européenne (DCE) ;
- De nombreux piézomètres destinés à la surveillance quantitative des champs captant pour l'alimentation en eau potable (AEP)

En plus d'une vingtaine d'ouvrages déjà équipés par le SMBAA depuis 2 à 3 ans, une surveillance renforcée est proposée par le BRGM pour une vingtaine de piézomètres complémentaires via une automatisation de la surveillance piézométrique avec un équipement des ouvrages.

L'installation de douze voire treize nouveaux piézomètres complémentaires où l'intégration d'anciens points d'eau équivalents dans le réseau du SMBAA pourra permettre une meilleure surveillance dans des zones sensibles aux assèchements de cours d'eau (têtes de sous bassins versants) et/ou l'exploitation des eaux souterraines par de nombreux captages.

Les 17 piézomètres « DCE » sont déjà équipés avec des enregistreurs automatiques depuis 7 à 30 ans. Un piézomètre complémentaire, malgré son usage occasionnel comme captage AEP, est également représentatif pour la surveillance d'une nappe.

La résistance aux sécheresses météorologiques des eaux souterraines est très variable, avec deux facteurs prépondérants qui se combinent et doivent être pris en compte pour leur gestion, la capacité de régulation des apports (inertie) et l'importance des réserves ainsi que la relation avec les cours d'eau en surface.

Suite à la première analyse des chroniques piézométriques, une trentaine de points a été étudiée avec l'outil ESTHER© développé par le BRGM, permettant de mieux connaître les comportements des nappes et leurs liens éventuels avec les cours d'eau.

22 piézomètres avaient une chronique assez longue (supérieur à 10 ans) pour les calculs statistiques. Neuf piézomètres ont un comportement mixte avec une inertie de 6/7 et 3 ans. Il s'agit de sept piézomètres de la nappe de Craie du Séno-Turonien et de deux piézomètres ancrés dans les sables du Cénomanién. Les autres piézomètres ont une signature surtout annuelle et ne montrent qu'une mémoire de quelques mois.

L'analyse statistique des chroniques permet de calculer, selon la longueur de surveillance la période de retour de 2 ans (médiane), de 5 ans, et 10 ans, pour chaque mois. La règle statistique est d'utiliser les valeurs minimales, représentées au moins sur une période deux fois plus longue que la période de retour. Néanmoins, les périodes de retour de 20 ans ont été présentées pour les chroniques de 30 ans, de 10 ans pour les statistiques supérieures de 15 ans.

Ainsi, les calculs statistiques mensuels de deux piézomètres pourraient permettre de définir les seuils de gestion de printemps et d'été, jusqu'aux seuils de crise : les deux piézomètres à Lessay, situé dans unité de gestion 8 dans la nappe de la craie séno-turonienne au nord-est du bassin et à Bourgueil, l'unité de gestion 3 dans la nappe des sables du Cénomanién.

Pour 15 autres piézomètres avec une période de surveillance dépassant les 10 ans, les périodes de retour de 5 ans ont pu être calculées permettant de définir des seuils renforcés. Les périodes de retour de 10 ans doivent être traitées avec vigilance et remis à jour selon l'évolution des prochaines années.

Sommaire

1. Introduction	9
2. Méthodologie.....	11
3. Contexte géographique et hydrogéologique.....	13
4. Création d'un réseau piézométrique de référence, à partir des points de suivis existants.....	17
5. Proposition d'une sélection de piézomètres à automatiser	21
6. Orientation du choix de la création de nouveaux piézomètres.....	25
6.1. PRESENTATION DES BASSINS VERSANTS PRIORITAIRES	25
6.2. LES PROPOSITIONS DE POINTS DE SURVEILLANCE COMPLEMENTAIRES DES EAUX SOUTERRAINES.....	27
6.2.1. UG 3 - Le Lane et le Changeon aval.....	27
6.2.2. UG 4 - Les Aulnaies, Etang et Affluents : Proposition de 2 à 3 points de surveillance (aucun piézomètre existant)	29
6.2.3. UG 5 - Le Couasnon et ses affluents : Proposition de 2 points de surveillance complémentaires	32
6.2.4. UG 9 - Bassin des Trois Rus : Proposition de 3 points de surveillance complémentaires	35
6.2.5. UG 10 - Le Changeon et ses affluents : Proposition de 2 points de surveillance complémentaires.....	38
7. Définition de seuils piézométriques de gestion	41
7.1. RECUEIL DES DONNEES ET ETUDE DES SERIES TEMPORELLES DES NIVEAUX PIEZOMETRIQUES	41
7.2. ANALYSE FREQUENTIELLE.....	43
7.3. ANALYSE DU TYPE DE FLUCTUATION, PERIODOGRAMMES ET CORRELOGRAMMES (ESTHER©)	47
7.3.1. Autocorrélogramme et périodogramme.....	47
7.3.2. Recherche de tendances ou de ruptures des piézomètres	51
7.3.3. Corrélogrammes croisés.....	52
7.3.4. Conclusion sur les indicateurs validés avec ESTHER©	55
7.4. CHOIX DU MATERIEL SCIENTIFIQUE POUR L'EQUIPEMENT DES PIEZOMETRES.....	61
8. Conclusions et perspectives	63

Liste des figures

Figure 1 : Cartographie de l'hydrogéologie du bassin de l'Authion avec les unités de gestion ..	14
Figure 2 : Tableau des entités hydrogéologiques de la BDLISA (V2) et leurs caractéristiques..	15
Figure 3 : Cartographie des piézomètres captifs (points brun) et zones du bassin d'Authion potentiellement captives (hachures brunes : aquifères de la craie du Séno-Turonien (121AB11) et des sables du Cénomaniens (123AE05) : sous les alluvions (930), les formations détritiques (119) et les marnes (123)).....	16
Figure 4 : Cartographie des 13 piézomètres plus suivis par le SMBAA.	18
Figure 5 : Répartition des piézomètres existants du SMBAA (couleur bleu) et du réseau DCE (en noir), dont les indicateurs existants (en gris) par unité de gestion et par aquifère. (en rouge : proposition de points à créer, cf. chap. 7.....	19
Figure 6 : Carte des 20 piézomètres avec un suivi automatisé dans le bassin de l'Authion (classe 2, couleur rouge ; les carrés bleues correspondent aux piézomètres de l'arrêté cadre sécheresse)	21
Figure 7 : Carte des 28 piézomètres avec un suivi régulier (classe 3 : couleur orange, classe 5 (prof. < 5 m) : couleur bleu) dans le bassin de l'Authion.....	22
Figure 8 : Carte des 21 piézomètres proposés pour l'automatisation (18 points prioritaires (classe 6, couleur vert) et 3 points complémentaires (classe 7, couleur jaune))	22
Figure 9 : Cartographie des piézomètres, selon leur suivi, équipement et l'état.	23
Figure 10 : Carte des UG identifiées pour l'implantation de nouveaux points de suivi et piézomètres du réseau DCE existants.	25
Figure 11 : Carte des assecs de cours d'eau (croix) et des prélèvements (triangles) dans la zone d'étude.....	26
Figure 12 : Carte de la proposition des 2 piézomètres à créer, UG 3	27
Figure 13 : Proposition de la localisation du piézomètre No 1	28
Figure 14 : Proposition de la localisation du piézomètre No 2	29
Figure 15 : Carte de la proposition des 3 piézomètres à créer, UG 4. Prioritaire car cours d'eau touchés par des assecs	30
Figure 16 : Proposition de la localisation du piézomètre No 3a	31
Figure 17 : Création des piézomètres No 3 b +c	31
Figure 18 : Carte de la proposition des 2 piézomètres à créer, UG 5. Prioritaire car cours d'eaux assecs	32
Figure 19 : Zoom de la carte ci-dessus : Création du PE No 4	33

Figure 20 : Création du piézomètre No 4.....	33
Figure 21 : A gauche : Zoom de la carte Figure 10 - A droite : Création du piézomètre No 5...	34
Figure 22 : Carte de la proposition des 3 piézomètres à créer, UG 9.....	35
Figure 23 : Création du piézomètre No 6.....	36
Figure 24 : Création du PE No 7 et No 8	37
Figure 25 : Carte de la proposition des 2 piézomètres à créer, UG 10. Prioritaire car assecs fréquents sur les cours d'eau.....	38
Figure 26 : Création du PE No 9.....	39
Figure 27 : Création du PE No 10.....	39
Figure 28 : Exemple de chroniques issues d'ADES, caractérisées selon l'aquifère capté, leur état d'influence, et la localisation, dont certaines concernent les ouvrages de la surveillance des captages AEP	42
Figure 29 : Les piézomètres d'ADES et du SMBAA retenus pour l'analyse statistique avec la longueur des chroniques correspondantes.....	43
Figure 30 : Exemple d'étude fréquentielle d'une chronique piézométrique.	44
Figure 31 : Analyse fréquentielle avec l'exemple du piézomètre 04552X0110.....	44
Figure 32 : Analyse fréquentielle avec l'exemple du piézomètre « Bourgueil » (UG3), avec une chronique de 30 ans, les 5 ans sec (bleu), 10 ans sec (rouge) et 20 ans sec (mauve, à vérifier et à mettre à jour) peuvent être appliqués	45
Figure 33 : Analyse fréquentielle avec l'exemple du piézomètre « Lessay » (UG 8), avec une chronique de 30 ans, les 5 ans sec (bleu), 10 ans sec (rouge) et 20 ans sec (mauve, à vérifier et à mettre à jour) peuvent être appliqués.	46
Figure 34 : Analyse fréquentielle pour l'exemple du piézomètre 04862X0003/FAEP (BSS001HMAP), avec une chronique de 30 ans, les 10 ans sec (trait jaune) et les 20 ans sec (rouge) peuvent être appliqués.....	46
Figure 35 : Chronique piézométrique du point de suivi BSS001HKXQ de Villebernier, avec la moyenne et la moyenne des minima annuelle.....	47
Figure 36 : Auto-corrélogramme et périodogramme pour l'exemple du piézomètre BSS001HKXQ de Villebernier	47
Figure 37 : Résultats de l'analyse de la totalité des piézomètres avec ESTHER© : Auto-corrélogramme, périodogramme, tendances, type de fluctuations, années sèches	49
Figure 38 : Résultats de l'analyse de test de tendance (Mann-Kendall) du piézomètre à Fontaine-Milon (Cénomaniens, UG5) : augmentation générale de 3 m depuis 2015.....	51

Figure 39 : Résultats de l'analyse de test de tendance (Mann-Kendall) du piézomètre à Neuillé (Séno-Turonien, UG6) : baisse générale de 2 m depuis l'année 2004 et changement de comportement à partir de 2010 (trait pointillé rouge)	52
Figure 40 : Exemple d'un débit de cours d'eau, soutenu par la nappe (département du Côte d'Or, avec des seuils de débit et seuils piézométriques définis).....	53
Figure 41 : Exemple de deux débits, non soutenus par la nappe en étiage: à gauche UG1 : Débit de l'Authion à la station de Pt Bourguignon & BSS001FDCQ_SMBAA109; à droite UG7 : débit du Lathan aval à la station du Moulin Guet BSS001FFLW	53
Pour 6 piézomètres (cf. Figure 42, colonne « Relation nappe-rivière », souligné couleur bleu), une corrélation avec le débit a pu être identifiée, avec des débits qui précède les réactions des nappe de 1 à 2 mois. Ainsi, la situation de la nappe, en hautes eaux et basses eaux, ne permet pas de prédire un débit futur lié à une situation distincte entre la nappe et les débits des cours d'eau en aval hydraulique.	53
Figure 43 : Résultats de corrélation croisée débits-piézométrie. En jaune, stations hydrométriques mesurant les hauteurs d'eau sans jaugeage de débit.	54
Figure 44 Les piézomètres retenus ou non pour devenir de possibles indicateurs dans le bassin de l'Authion selon l'analyse statistique avec ESTHER©,.....	56
Figure 45 : Carte des piézomètres retenus de futurs indicateurs possibles dans le bassin de l'Authion.....	56
Figure 46 : La liste des piézomètres retenus de futurs indicateurs possibles dans le bassin de l'Authion et points à créer selon l'analyse faite avec ESTHER©.....	59

Liste des annexes

Annexe 1 Tableau Unités Gestion - Piézomètres.....	65
Annexe 2 Résultats des calculs statistiques d'ESTHER© (Figures)	67
Annexe 3 Résultats des calculs statistiques fréquentiels pour tous les piézomètres retenus ...	68

1. Introduction

La présente étude s'inscrit dans la suite de plusieurs travaux scientifiques réalisés par le BRGM dans la région Pays-de-la-Loire concernant la nécessité d'une gestion de la ressource plus adaptée. Celle-ci prendrait à la fois en compte les besoins et le stock utilisable, dans un contexte de changement climatique et de développement significatif de l'irrigation, conjugué aux problèmes de disponibilité de la ressource en eau souterraine.

Le sujet porte sur la connaissance et l'amélioration de la compréhension des ressources en eaux souterraines au moyen d'un réseau piézométrique de référence, qui est utilisé pour contribuer à la mise en place de seuils de gestion dans le bassin versant de l'Authion grâce à des calculs statistiques de niveaux piézométriques moyens mensuels.

Dès 2012, le Préfet du Maine-et-Loire a défini pour son département quatorze zones d'alerte spécifiques aux eaux souterraines, auxquelles est associé un piézomètre de référence appartenant au réseau de surveillance de l'état quantitatif des eaux souterraines de la région Pays-de-Loire. Des seuils de gestion (vigilance, alerte, alerte renforcée, crise) ont été définis par la Direction départementale des territoires du Maine-et-Loire. Lors du franchissement d'un de ces seuils, des mesures progressives de limitation ou d'interdiction temporaire des prélèvements en eau souterraine s'appliquent.

Dans l'arrêté cadre sécheresse départemental, le bassin de l'Authion est divisé en trois zones d'alerte souterraine : Authion alluvions, Authion moyen et Authion supérieur.

Cette étude constitue l'action 2 de la convention SMBAA/BRGM signée dans le cadre du Contrat Territorial Eau (CTEau) du bassin de l'Authion : « Gérer globalement la ressource pour assurer la pérennité de tous les usages ». Le Syndicat Mixte du Bassin de l'Authion et de ses Affluents (SMBAA) souhaite améliorer le dispositif actuel de préservation de la ressource en eau en période d'étiage. La surveillance des niveaux des nappes est un outil incontournable de la gestion quantitative des aquifères. Associée à la mise en place de seuils de gestion indicateurs de l'état quantitatif de la ressource, la définition d'un réseau piézométrique de référence permettra d'anticiper les périodes de basses eaux sévères et d'alerter les partenaires (usagers, institutions).

Effectivement, depuis 2019, ce bassin enregistre des sécheresses répétées des cours d'eau ainsi que des niveaux piézométriques exceptionnellement bas. Les trois zones d'alertes du bassin sont représentées par quatre ouvrages de référence : Pontigné, Brion et Villebernier dans le Maine-et-Loire et Channay-sur-Lathan dans l'Indre-et-Loire. En 2022, les niveaux piézométriques étaient classés après l'été en « niveau bas » ou « niveau très bas », avec des mesures sur les eaux souterraines à un niveau d'« alerte renforcée » ou de « crise ».

Pour répondre à ces besoins, les objectifs techniques sont les suivants :

- Création, à partir d'ouvrages existants, d'un réseau piézométrique de référence destiné à surveiller quantitativement les ressources en eau souterraine dans le bassin versant de l'Authion ;
- Définir, lorsque les données le permettent, des indicateurs piézométriques de gestion complémentaires à ceux déjà en vigueur ;
- Orienter le choix de la création de nouveaux piézomètres par le SMBAA (secteur, profondeur) notamment sur le BV des Aulnaies, des 3 Rus (partie Ouest) et du Couason (médiann) ;
- Proposer une sélection de piézomètres à automatiser ;

Définition d'un réseau piézométrique de référence et contribution à la mise en place de seuils de gestion dans le bassin versant de l'Authion

- Eclairer le SMBAA sur le choix du matériel scientifique qu'il acquerra pour instrumenter les ouvrages.

La convention SMBAA/BRGM comporte deux autres actions qui débuteront fin 2022 :

- Action 1 : Identification et cartographie des zones propices aux échanges nappe rivière et qualification de leurs fonctionnalités ;
- Action 3 : Évaluation de la drainance entre aquifères dans le secteur du bassin des Trois Rus.

2. Méthodologie

Pour parvenir aux objectifs décrits dans l'introduction, l'étude comporte les étapes suivantes :

a) Collecte des données :

- Données de la Banque du Sous-Sol (BSS) ;
- Réseaux selon la banque de données ADES (Indicateurs actuels, réseau DCE, AEPs);
- Piézomètres suivis ou historiquement suivis par le SMBAA ;
- Données de débits connues (source DREAL Pays-de-la-Loire, SMBAA, banque Hydro) ;
- Chroniques des volumes prélevés pour l'usage AEP (Agence de l'eau Loire-Bretagne) ;
- Chroniques de suivi piézométrique (SMBAA, BRGM Pays-de-la-Loire) ;
- Données météorologiques (données de la grille METEO FRANCE, avec pluies et ETP).

b) Cartographie et rattachement des piézomètres du SMBAA :

- Codification des piézomètres aux codes BSS existants ou création de nouveaux codes BSS;
- Rattachement au référentiel aquifère (BDLISA V2) selon leur localisation, la profondeur ou autres informations disponibles (coupes géologiques etc.).

c) Analyse des chroniques piézométriques :

- Vérification des chroniques recueillies issues des bases de données SMBAA et d'ADES ;
- Analyse des chroniques (battement, hautes eaux, basses eaux, évolution) ;
- Si les chroniques sont suffisamment longues et peu parasitées par les pompages proches : analyse avec l'outil ESTHER©, développé par le BRGM¹, des chroniques des piézomètres de référence du bassin versant disposant d'une chronique adaptée ;
- Calculs statistiques des niveaux piézométriques moyens mensuels.

¹ Seguin et al. (2018) - Étude de Séries Temporelles en Hydrogéologie avec le logiciel R, cf. rapport BRGM/RP-67518-FR

3. Contexte géographique et hydrogéologique

Le bassin de l'Authion est localisé à l'est d'Angers et au nord de Saumur, à cheval entre les deux départements du Maine-et-Loire (49) et l'Indre-et-Loire (37). La zone d'étude s'étend d'ouest en est sur 70 km et du nord au sud sur 40 km. Le bassin se découpe en dix unités de gestion, qui correspondent approximativement à des sous bassins versants. Les surfaces de ces dits sous-bassins, nommés dans la suite UG1 à UG10, varient de 70 à 260 km².

La Figure 1 présente la carte hydrogéologique de la zone d'étude avec ses unités de gestion. Le bassin de l'Authion est situé dans la zone de contact entre deux grandes unités géologiques, le Massif Armoricain à la limite Ouest et le Bassin Parisien (roches d'origine sédimentaire) à l'Est.

Les roches sédimentaires formant des aquifères et intercalaires de différents milieux et états (cf. Figure 2) sont du haut vers le bas :

- **Les alluvions** (code BDLISA 930) : les alluvions de la Loire au sud du bassin et plus au nord les alluvions (peu épaisses) des cours d'eau suivants :
 - Dans le département Indre-et-Loire (UG3, 8 et 10) : Le Changeon, le Lane, et le Lathan (partie amont)
 - Dans le département Maine-et-Loire (les 7 autres UG) : l'Authion (moyen et aval), le Couasnon, et le Lathan (partie aval).
- **Les aquifères des faluns (argilo-)sableuses** du Miocène (code BDLISA 104), dans la partie nord du bassin d'Authion (UG 5, 7, 8)
- **Les aquifères des calcaires et grès** de l'Eocène, ainsi que des intercalaires d'argiles (code BDLISA 113), également dans le nord du bassin (UG 5, 6, 7, 8)
- **L'intercalaire des formations détritiques** post-Cénomaniens (code BDLISA 119), dans la totalité du bassin d'Authion
- **Les aquifères des tuffeaux, craies et faluns** du (Séno-)Turonien (code BDLISA 121), dans la totalité du bassin, sur les plateaux
- **L'intercalaire des marnes à Ostracées** (code BDLISA 123), dans les zones de plateau et les limites entre les craies du Séno-Turonien et les sables cénomaniens.
- **Les aquifères des sables et grès** du Cénomaniens (code BDLISA 123), dans tout le bassin et affleurant dans le centre et à sud l'ouest du bassin.
- **La base argileuse** du Cénomaniens inférieur (Grand domaine hydrogéologique des argiles, marnes et gaizes du Cénomaniens inf. et de l'Albien sup. du Bassin Parisien, code BDLISA 125), sous l'aquifère du Cénomaniens, non affleurant dans le bassin.
- **Les aquifères des marnes et calcaires** de l'Oxfordien (code BDLISA 135).
- **Les aquifères des calcaires** du Dogger (code BDLISA 139), sous le Cénomaniens et non affleurant, mais avec surveillance piézométrique dans les bassins UG5 et UG6.
- **Les intercalaires et semi-perméables marnes et grès** du Lias, le mur de l'aquifère des Calcaires du Dogger et non affleurant (code BDLISA 141).

Les roches métamorphiques sont représentées par un seul aquifère dans le bassin :

- **L'aquifère du socle** métamorphique (anté-Jurassique) (code BDLISA 175), à l'extrémité ouest du bassin.

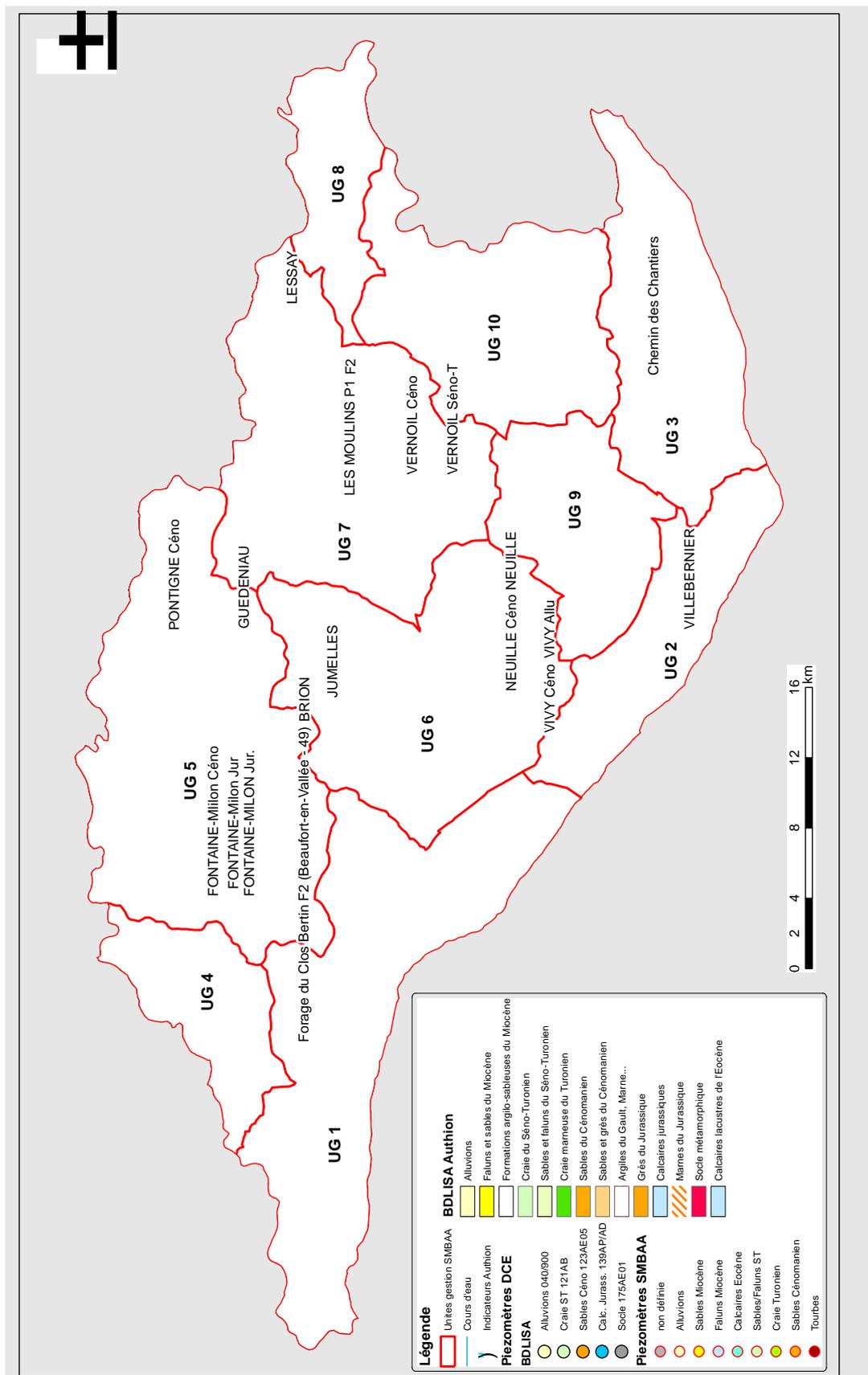


Figure 1 : Cartographie de l'hydrogéologie du bassin de l'Authion avec les unités de gestion

Définition d'un réseau piézométrique de référence et contribution à la mise en place de seuils de gestion dans le bassin versant de l'Authion

CodeEH	LibelleEH	EtatEH	NatureEH	MilieuEH
930FA01	Alluvions de la Loire armoricaine	libre	perméable	poreux
930DA03	Alluvions de la Loire moyenne après Blois	libre	perméable	poreux
104AC08	Faluns et sables du Miocène moyen à supérieur	libre	perméable	poreux
104AC10	Formations argilo-sableuses du Miocène inférieur, faciès laguno-marin	libre	semi-perméable	poreux
113AJ01	Argiles sableuses du Bartonien-Rupélien en Bretagne et Pays de la Loire	non aquifère	impermeable	poreux
113AC09	Calcaires lacustres de Touraine et d'Anjou de l'Eocène supérieur	libre	perméable	fissuré
113AD01	Grès du Bartonien dans le Maine et Loire	libre	perméable	poreux
113AF03	Argiles sableuses du Lutétien en Bretagne et Pays de la Loire	non aquifère	semi-perméable	poreux
119AE01	Formations détritiques continentales, sables, argiles à silex post-Campanien dans le bassin Loire-Bretagne	non aquifère	semi-perméable	poreux
121AA05	Tuffeau jaune du Turonien moyen à supérieur, bassin de la Maine	libre ou captive	perméable	Matricielle / fissures
121AA07	Craie micacée et tuffeau du Turonien moyen à inférieur, bassin de la Maine	libre ou captive	perméable	Matricielle / fissures
121AA11	Sables et faluns du Turonien supérieur au Sénonien, bassin de la Maine	libre ou captive	perméable	Matricielle / fissures
121AB01	Craie du Sénonien, bassin de la Loire du Cosson à la Maine	libre ou captive	perméable	Matricielle / fissures
121AB05	Tuffeau jaune du Turonien moyen à supérieur, bassin de la Loire du Cosson à la Maine	libre ou captive	perméable	Matricielle / fissures
121AB07	Craie micacée et tuffeau du Turonien moyen à inférieur, bassin de la Loire du Cosson à la Maine	libre ou captive	perméable	Matricielle / fissures
121AB11	Sables et faluns du Turonien supérieur au Sénonien, bassin de la Loire de l'Authion à la Maine	libre ou captive	perméable	Matricielle / fissures
121AA30	Craie marneuse et marnes du Turonien inférieur, bassin de la Maine	libre	perméable	Fractures et/ou fissures/karst
121AB30	Craie marneuse et marnes du Turonien inférieur, bassin de la Loire du Cosson à la Maine	libre ou captive	perméable	Fractures et/ou fissures/karst
123AA10	Marnes à Ostracées du Cénomaniens supérieur au Turonien inférieur	non aquifère	impermeable	poreux
123AH01	Sables de Bousse et Sables et Grès à Catopygus du Cénomaniens supérieur en Pays de la Loire	libre ou captive	perméable	poreux
123AC05	Sables et grès, sables et marnes glauconieux du Cénomaniens inf. à moyen, bassin du Loir et de l'Eure	libre ou captive	perméable	poreux
123AE05	Sables et grès, sables et marnes glauconieux du Cénomaniens inférieur à moyen, bassins du Cher, de l'Indre et de la Loire de l'Authion à la Maine	libre ou captive	perméable	poreux
125AA01	Argiles du Gault, Marnes et Gaizes du Cénomaniens inférieur à moyen et de l'Albien supérieur du Bassin parisien	non aquifère	impermeable	poreux
135AA57	Marnes et calcaires crayeux de l'Oxfordien et du Kimméridgien inférieur du Bassin parisien	libre ou captive	semi-perméable	Matricielle / fissures
135AA61	Calcaire corallien de l'Oxfordien moyen à supérieur du Bassin parisien	libre ou captive	perméable	Karstique / fissures
137AB99	Marnes indifférenciées du Callovo-Oxfordien du Bassin parisien et Argiles de la Woëvre à l'est du Bassin Parisien	non aquifère	impermeable	poreux
139AD01	Calcaires du Bajocien et du Bathonien (Dogger), partie profonde du Bassin parisien	captive	perméable	Matricielle / fissures
139AF05	Calcaires noduleux à silex du Bajocien-Bathonien dans le Maine-et-Loire	libre ou captive	perméable	fissuré
139AP14	Calcaires graveleux de la Champagne, de Conlie de l'Aalénien moyen au Bathonien	libre ou captive	perméable	karstique
141AB99	Marnes du Toarcien (Lias sup.) du Bassin parisien	non aquifère	impermeable	poreux
141AC01	Grès médioliasique du Domérien, grès et calcaire gréseux et marnes du Pliensbachien du Bassin parisien	libre ou captive	semi-perméable	poreux
175AE01	Socle sédimentaire ancien dans le bassin versant de l'Authion du Changeon (inclus) à la Loire (non inclus) (bassin versant en aval du contact Socle sédimentaire ancien-sédimentaire)	libre	semi-perméable	fissuré
175AA01	Socle métamorphique dans le bassin versant de la Loire de la Vienne (non inclus) à la mer (bassin versant en aval du contact Socle métamorphique -sédimentaire)	libre	semi-perméable	fissuré
175AE03	Socle métamorphique dans les bassins versants de la Mayenne et de la Sarthe de la Vieille Maine (inclus) à la Maine et de la Maine jusqu'à la Loire (non inclus)	libre	semi-perméable	fissuré

Figure 2 : Tableau des entités hydrogéologiques de la BDLISA (V2) et leurs caractéristiques

Certains aquifères sont captifs car situés sous des entités imperméables ou sous des multicouches avec des intercalaires peu perméables (alluvions, cf.

Figure 3).

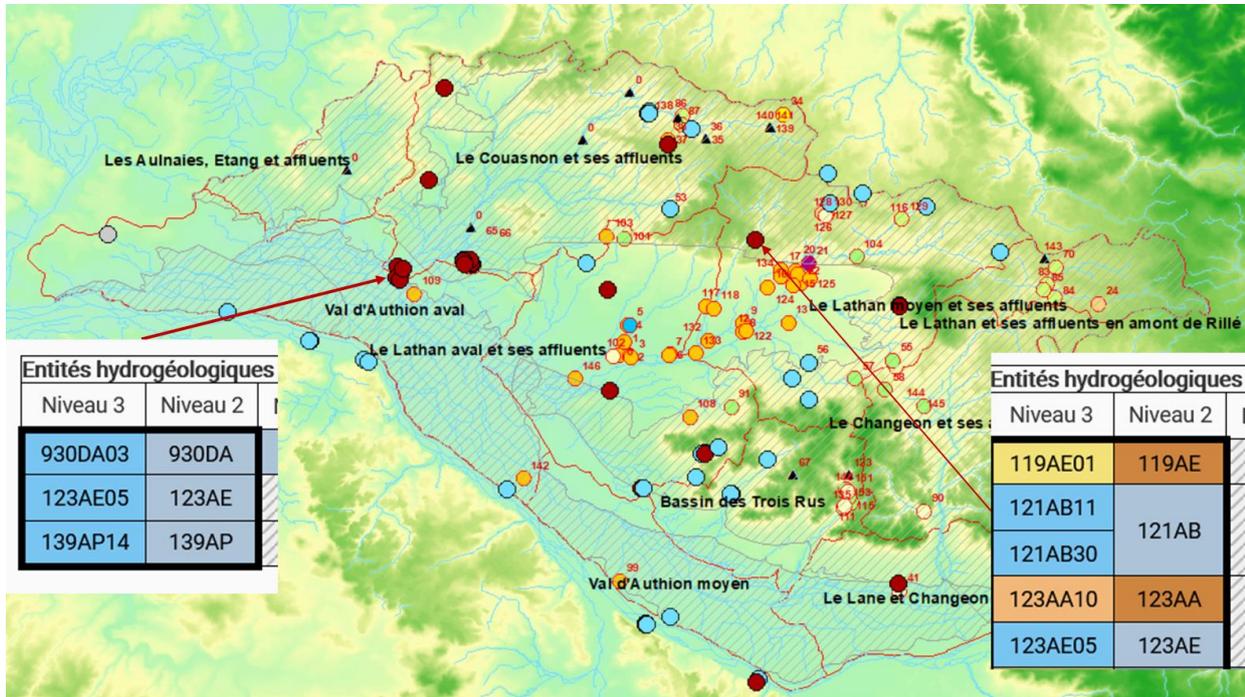


Figure 3 : Cartographie des piézomètres captifs (points brun) et zones du bassin d'Authion potentiellement captives (hachures brunes : aquifères de la craie du Séno-Turonien (121AB11) et des sables du Cénomaniens (123AE05) : sous les alluvions (930), les formations détritiques (119) et les marnes (123))

Du point de vue des ressources en eau, les sables et les graviers du Cénomaniens et la craie sableuse du Séno-Turonien constituent les principales formations aquifères avec une bonne perméabilité et une épaisseur variable (jusqu'à 20 m d'épaisseur pour les sables du Cénomaniens et 20 à 50 m pour la craie du Séno-Turonien). Les alluvions de la Loire et de l'Authion en limite sud constituent également une ressource en eau souterraine d'importance pour le bassin.

Les formations géologiques du socle à l'extrémité ouest du bassin sont également aquifères, bien que de capacité limitée.

Enfin, l'aquifère captif des calcaires du Jurassique, situé sous les sables du Cénomaniens, constitue également une ressource, mais encore peu exploitée relativement aux autres aquifères sédimentaires car plus difficile d'accès.

4. Création d'un réseau piézométrique de référence, à partir des points de suivis existants

Destinés à surveiller quantitativement les ressources en eau du bassin, des piézomètres de référence ont été choisis parmi les existants, à partir :

- des 80 piézomètres suivis jusqu'en 2018 par le SMBAA
- d'un réseau ADES :
 - 60 points de surveillance AEP (influencés)
 - 17 piézomètres DCE.

Afin d'utiliser des critères objectifs contribuant à l'amélioration de la connaissance des eaux souterraines au sein du bassin versant de l'Authion, le BRGM a réalisé tout d'abord de nombreuses vérifications et analyses :

- 1) Une vérification et **codification**, si nécessaire, des points de suivi du SMBAA avec un **code BSS**
 - a) Attribution à 56 piézomètres d'un nouveau code BSS, pour des points qui n'ont jamais été déclarés et
 - b) Codification des points suivis par le SMBAA avec des codes BSS existants (33 points complémentaires). Ce travail est complété par la collecte d'informations supplémentaires accessibles via la BSS, comme l'aquifère capté ou les coupes techniques avec les niveaux des crépines.
- 2) Vérification de **l'état d'installation** ou de la vétusté des ouvrages avec les techniciens du SMBAA
 - a) le suivi de certains piézomètres a été récemment arrêté suite à une non-accessibilité (13 points),
 - b) d'autres ont été automatisés (20 piézomètres avec un suivi journalier, équipés depuis 2017)
- 3) **Situation géographique** des points de surveillance existants avec une cartographie selon les dix unités de gestion ;
- 4) Pour les piézomètres du SMBAA : qualification des 80 points de suivis selon :
 - a) **Le type de suivi** (cf. Figure 4) : cartographie par UG des piézomètres selon le suivi (automatisé ou un suivi régulier ou très rarement ou encore suivi interrompu pour différentes raisons (changement de propriétaire, rebouché, à sec, etc.).
 - b) **La qualité et longueur de la chronique du piézomètre** : Affichage et identification de la qualité et longueur de la chronique pour la totalité des piézomètres, permettant une première analyse statistique.
 - c) **La profondeur du piézomètre** : le SMBAA a transmis en 2022 la profondeur d'une quarantaine de points de suivis, permettant de qualifier les piézomètres selon leur profondeur : 31 piézomètres suivent un aquifère superficiel d'une profondeur inférieure à 5 m. Parmi eux, 8 sont automatisés. Certains de ces piézomètres pourraient ne pas être adéquats pour qualifier l'état de la ressource, à cause de leur sensibilité parfois trop forte aux régimes des cours d'eau et aux précipitations par exemple.

Définition d'un réseau piézométrique de référence et contribution à la mise en place de seuils de gestion dans le bassin versant de l'Authion

d) Identification de la nappe suivie : Identification de l'aquifère selon le référentiel BDLISA V2.

Parmi les 169 **piézomètres** transmis par le **SMBAA**, 80 ont été suivis jusqu'en 2018 et 67 le sont encore en 2022. Hormis l'UG 4, toutes les autres UG ont été suivies au moins par 1 piézomètre. L'UG 7 est la plus suivie avec 29 piézomètres.

Les raisons de l'abandon des treize piézomètres (cf. Figure 4, points gris) sont multiples, par exemple :

- le point est trop souvent à sec (i.e. UG5 No. 139)
- les points de suivis sont trop proches (4), un seul suffit (i.e. UG6 No. 5)
- le suivi n'est plus possible, car difficultés d'accès (changement de propriétaire, clefs..., i.e. UG7 No. 15)
- le suivi est arrêté car l'ouvrage est très probablement comblé (i.e. UG8 No.70).

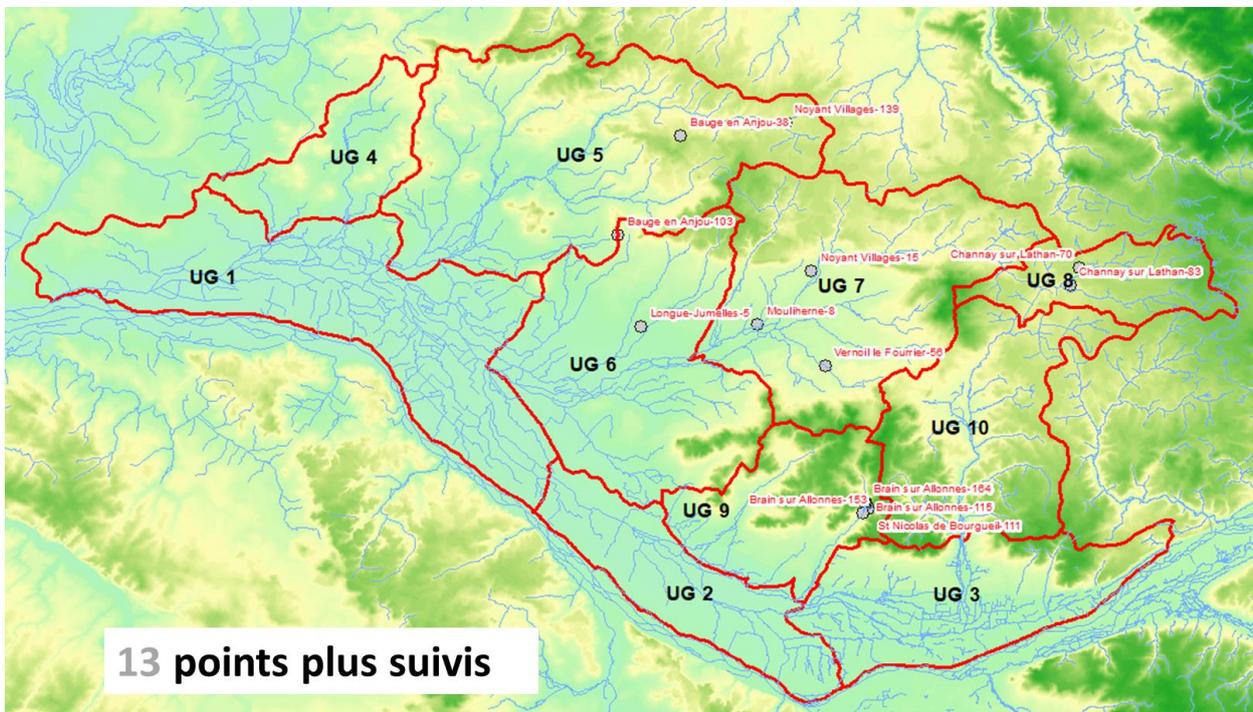


Figure 4 : Cartographie des 13 piézomètres plus suivis par le SMBAA.

17 piézomètres appartenant aux réseaux DCE (Directive Cadre Européenne) se situent dans 7 des 10 sous-bassins ; les trois UG 1, 4 et 10 ne sont pas représentées par ce réseau.

Une soixantaine de piézomètres de surveillance dans les zones d'influence des captages AEP a également été prise en compte, afin de combler éventuellement le manque de piézomètres.

La totalité de ces données a été transmise au fur et à mesure du projet au SMBAA (dans des fichiers en format Excel et en format shape), et mise à jour selon les nouvelles connaissances.

La Figure 5 présente d'une manière synthétique le nombre de piézomètres par UG et par aquifère.

Bassin /Unité de Gestion (UG)	930/040AB 35 (Alluvions)	104AC Sables du Miocène	Lacustre de l'Éocène	121AB (Craie Séno- Tur.)	123AE05 (Sables du Cénom.)	4 (Calcair es du	piézos DCE/ réseau SMBAA	A créer points	Piezos existants à automatiser	suivi arrêté récemment
UG 1 - Val d'Authion aval					2 SMBAA		0/2	2		
UG 2 - Val d'Authion moyen	1 IND + 1 SMBAA						1/1	1		
UG 3 - Le Lane et le Changeon aval	+1			+1	1 1 SMBAA		1/1	2	1	
UG 4 - Les Aulinaies, Etang et Affluents				+1	+2		0/0	2-3		
UG 5 - Le Couasnon et ses affluents		2 SMBAA	6 SMBAA	1 IND+1	1 IND+2+ 4 SMBAA+2	1	6/12	4	4	3
UG 6 - Le Lathan aval et ses affluents	1+1 SMBAA			1 nvx IND 2 SMBAA	1+9 SMBAA	1	4/12	5-6		1
UG 7 - Le Lathan moyen et ses affluents	1 SMBAA		5 SMBAA	1 nvx IND 5 SMBAA	1 nvx IND 14 SMBAA		2/25	1	1	4
UG 8 - Le Lathan et ses affluents en amont de Rillé		4 SMBAA	1 SMBAA	1			1/5	1	2	1
UG 9 - Bassin des Trois Rus	1 SMBAA			4 SMBAA +3			0/5	3	1	4
UG 10 - Le Changeon et ses affluents	1 SMBAA+ 1 SMBAA (tourbes)		+1	+1+ 2 SMBAA			0/4	2	2	

Figure 5 : Répartition des piézomètres existants du SMBAA (couleur bleu) et du réseau DCE (en noir), dont les indicateurs existants (en gris) par unité de gestion et par aquifère. (en rouge : proposition de points à créer, cf. chap. 7

5. Proposition d'une sélection de piézomètres à automatiser

À partir des informations les plus actuelles, la cartographie des piézomètres existants a été réalisée selon leurs priorités, leurs types de suivis et leur répartition dans les différentes unités de gestion analysées.

- Vingt piézomètres sont actuellement automatisés (cf. Figure 6)
- 28 piézomètres complémentaires sont suivis régulièrement (cf. Figure 7 Figure 6), dont 13 sont installés dans l'aquifère de la Craie Séno-Turonienne, 15 dans l'aquifère des Sables du Cénomaniens

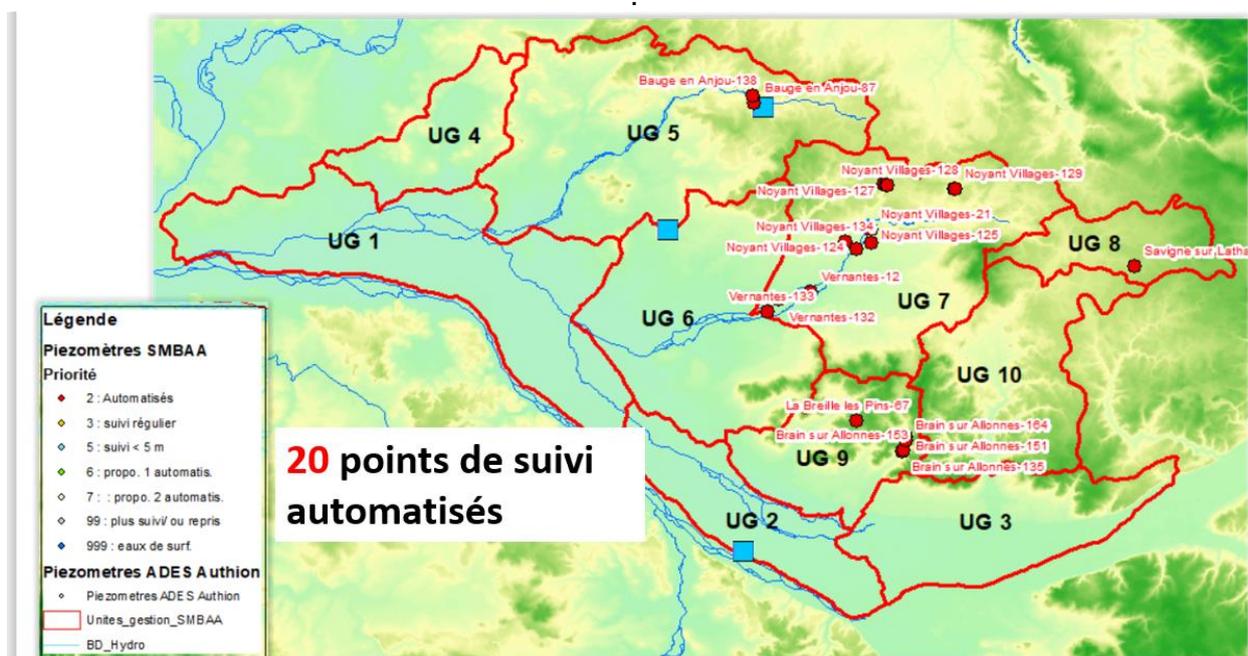


Figure 6 : Carte des 20 piézomètres avec un suivi automatisé dans le bassin de l'Authion (classe 2, couleur rouge ; les carrés bleues correspondent aux piézomètres de l'arrêté cadre sécheresse)

Définition d'un réseau piézométrique de référence et contribution à la mise en place de seuils de gestion dans le bassin versant de l'Authion

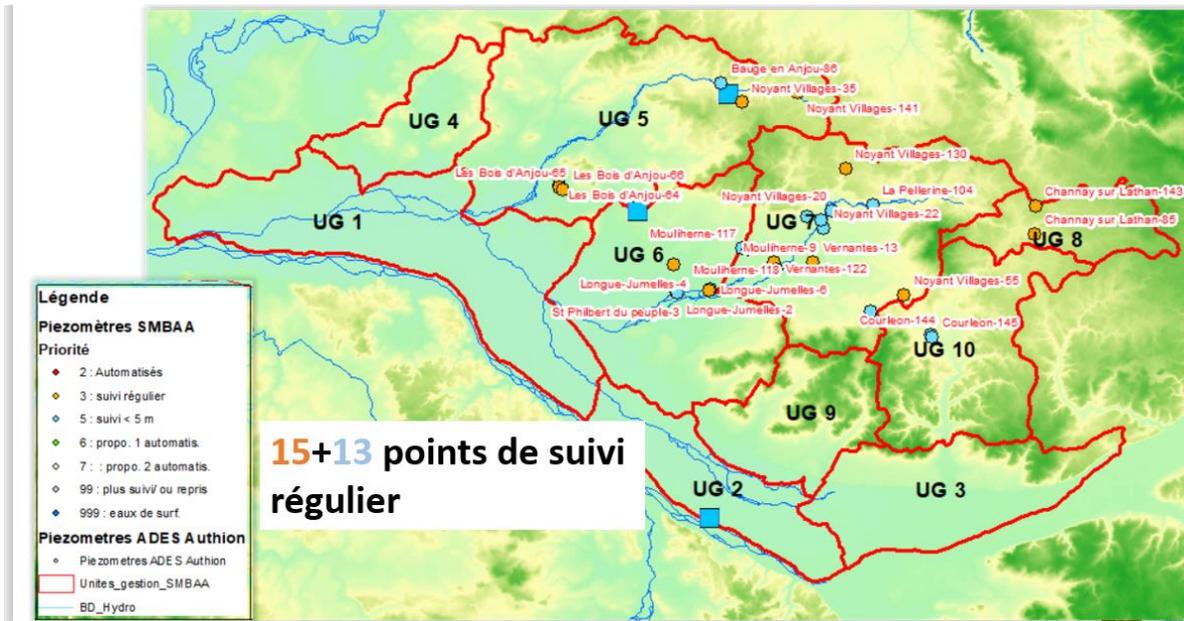


Figure 7 : Carte des 28 piézomètres avec un suivi régulier (classe 3 : couleur orange, classe 5 (prof. < 5 m) : couleur bleu) dans le bassin de l'Authion

Suite à cette analyse du suivi actuel et selon l'analyse de la qualité des ouvrages et des chroniques des piézomètres, l'automatisation de 18 points prioritaires a été proposée par le BRGM, avec 3 points complémentaires en cas de nécessité (cf. Figure 8).

Ce nombre proposé est en lien avec les possibilités d'investissements du SMBA, et en cohérence avec :

- Le coût du matériel d'installation et mise en place de la télétransmission,
- Les possibilités de mobilisation des techniciens (maintenance/bancarisation...).

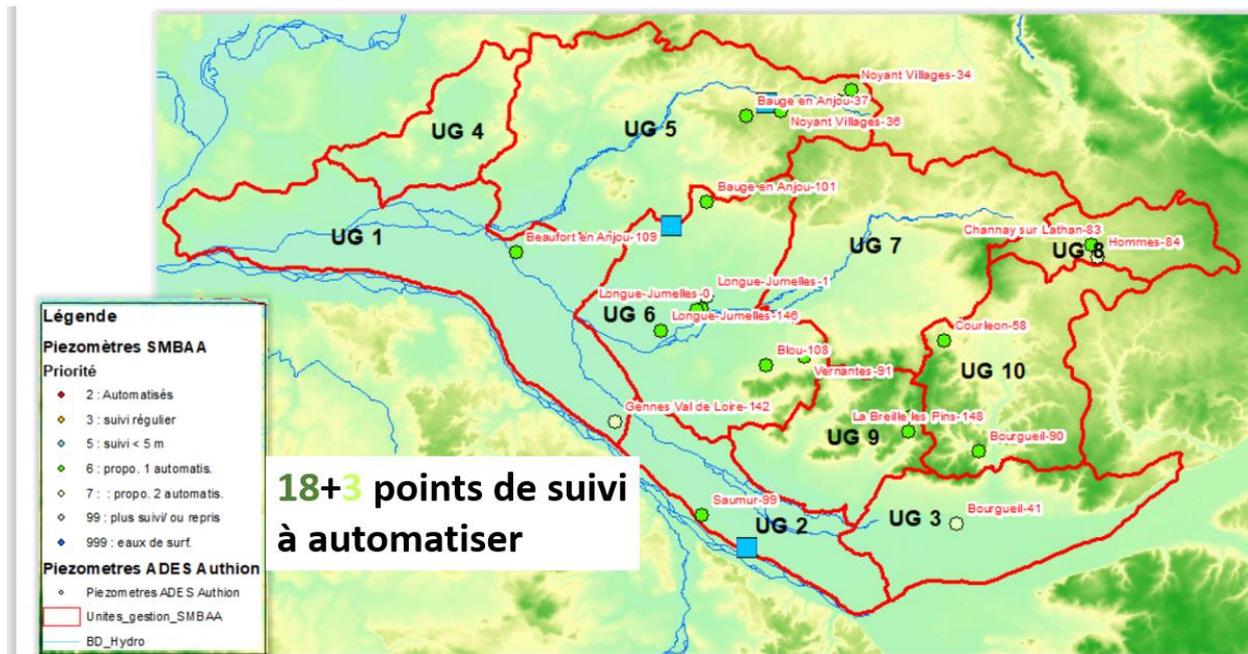


Figure 8 : Carte des 21 piézomètres proposés pour l'automatisation (18 points prioritaires (classe 6, couleur vert) et 3 points complémentaires (classe 7, couleur jaune))

9 des 21 points proposés ne dépassent pas la profondeur de 5 m, néanmoins les chroniques de ces piézomètres semblent être très représentatives de la nappe surveillée et permettent d'obtenir des chroniques continues de secteurs peu suivis.

Néanmoins, dans certains secteurs, aucun piézomètre n'existe avec un suivi piézométrique. Ces secteurs font l'objet de l'étape suivante, présentée dans le chapitre 6.

En conclusion, parmi les 80 points de suivis jusqu'en 2018, une quarantaine sera équipé avec un suivi automatique, une trentaine sera suivi régulièrement, 13 ne sont plus suivis (cf. Figure 9). Une dizaine de points pourraient être abandonnés, car il existe dans la même zone plusieurs piézomètres similaires (même type de chroniques). Certains autres sont influencés (ces points se trouvent dans le tableau de synthèse Unités Gestion – Piézomètres en **Annexe 1**).

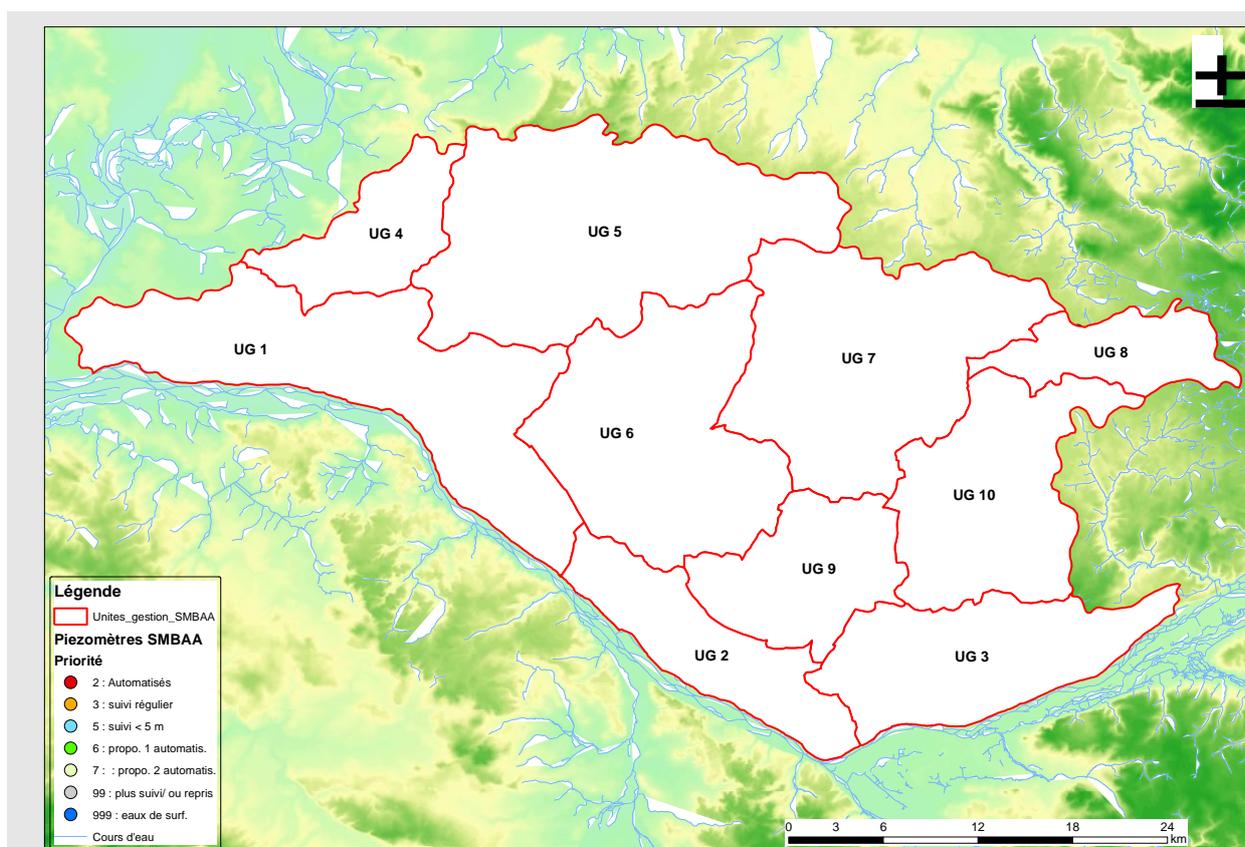


Figure 9 : Cartographie des piézomètres, selon leur suivi, équipement et l'état.

6. Orientation du choix de la création de nouveaux piézomètres

6.1. PRESENTATION DES BASSINS VERSANTS PRIORITAIRES

Dès le début de l'étude, les zones géographiques suivantes avaient été identifiées comme prioritaires par le SMBAA pour l'implantation de nouveaux ouvrages complémentaires : le bassin versant (BV) des Aulnaies (aucun point de surveillance), le BV des 3 Rus et le BV du Couasnon. Les résultats de l'étude ont permis de proposer également de nouveaux piézomètres dans les BV du Lane et du Changeon aval (cf. Figure 10).

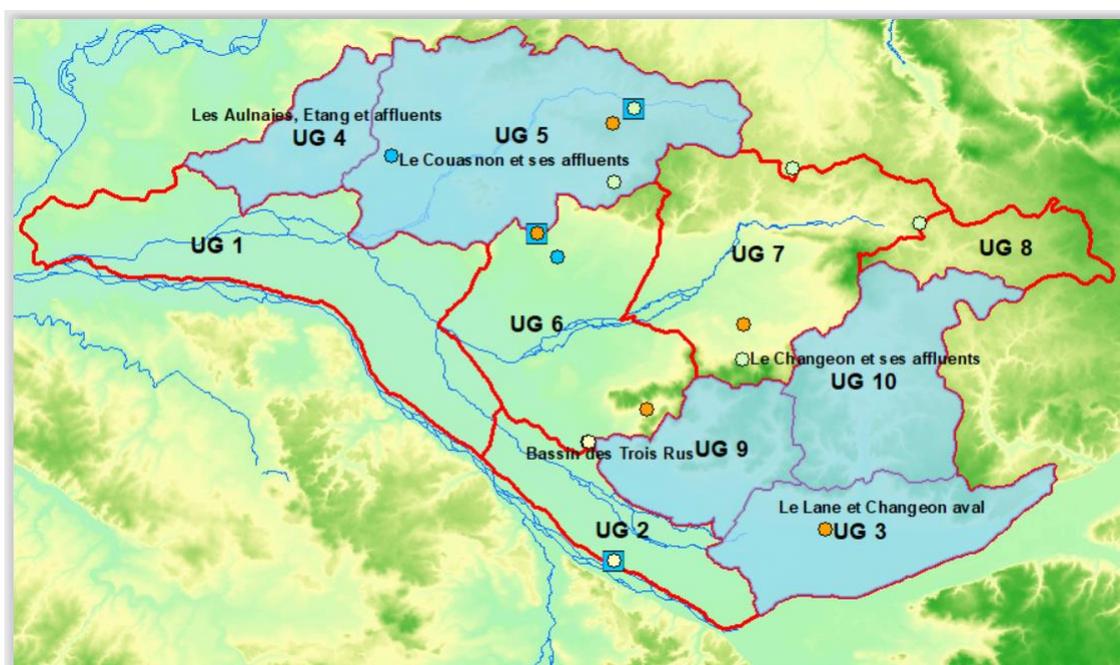


Figure 10 : Carte des UG identifiées pour l'implantation de nouveaux points de suivi et piézomètres du réseau DCE existants.

En plus de l'analyse de la qualité du suivi (cf. chapitre précédente), cette priorisation est également dépendante (cf. Figure 11) :

- du niveau des usages de l'eau (source : prélèvements annuels de la BNPE),
- des assecs des cours d'eau, observés entre 2012 et 2021. La classification correspond au nombre maximal d'assecs observés (source : SMBAA, DREAL). Ils ont été classifiés selon 4 classes, dont la classe 4 est la plus haute.

Suite à l'analyse fine de la localisation et la qualité des suivis des piézomètres, et dépendant de l'usage et des assecs, la création d'une liste des piézomètres a été proposée par unité de gestion, présentée dans les prochains chapitres.

Définition d'un réseau piézométrique de référence et contribution à la mise en place de seuils de gestion dans le bassin versant de l'Authion

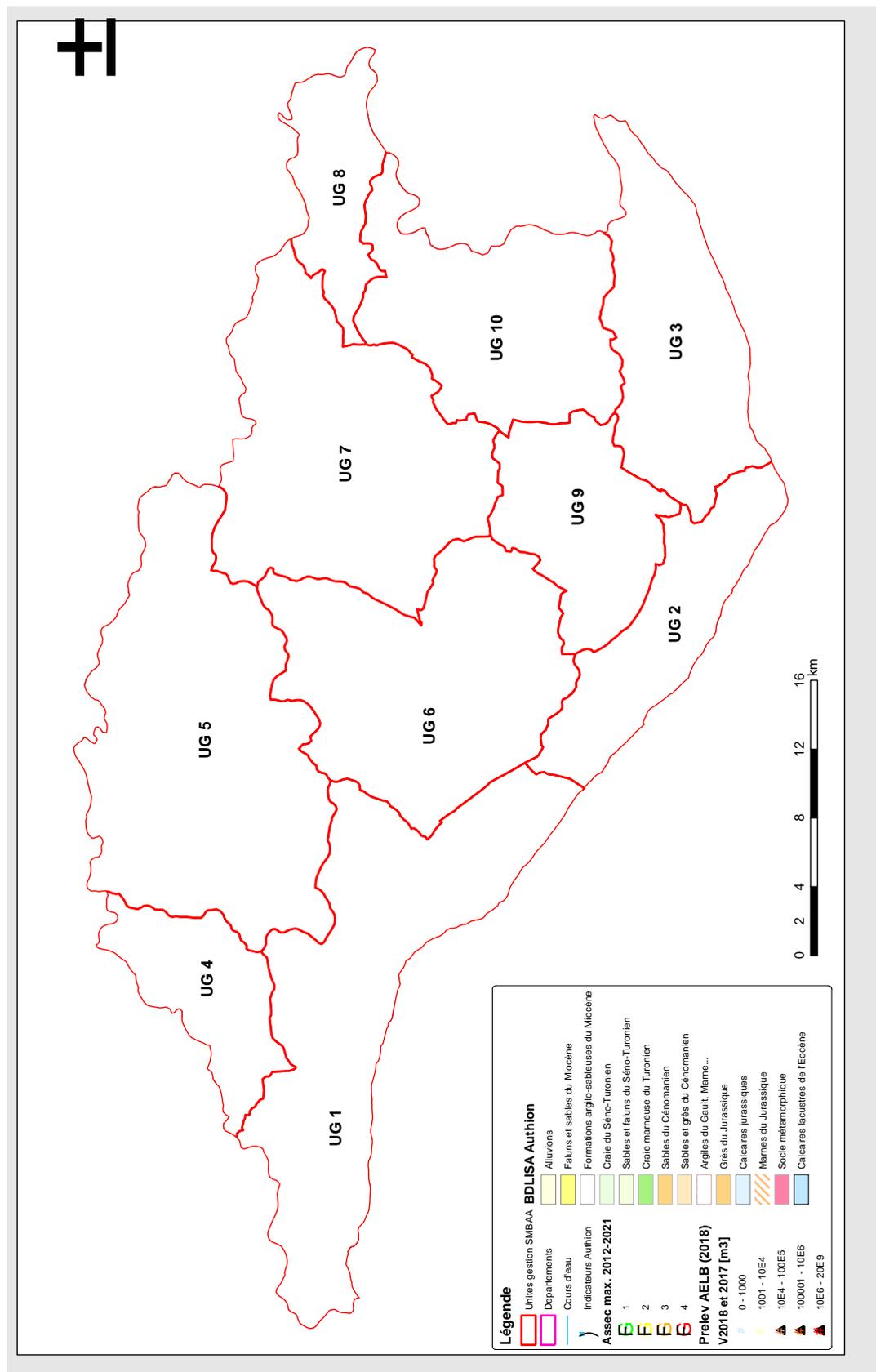


Figure 11 : Carte des assecs de cours d'eau (croix) et des prélèvements (triangles) dans la zone d'étude

6.2. LES PROPOSITIONS DE POINTS DE SURVEILLANCE COMPLEMENTAIRES DES EAUX SOUTERRAINES

Dans les chapitres suivants, les localisations des nouveaux piézomètres sont présentées ainsi que la nappe à surveiller et le mur/la profondeur de la base de l'aquifère concerné.

Ces profondeurs sont issues du modèle géologique 3D MODGEAU². Ces grilles sont présentées dans les prochains sous-chapitres.

6.2.1. UG 3 - Le Lane et le Changeon aval

En plus des deux points de suivis, le BRGM propose la création de 2 piézomètres afin d'augmenter la densité de points de surveillance (cf. Figure 12), dans une zone prioritaire liés aux assècs récurrents sur les cours d'eau

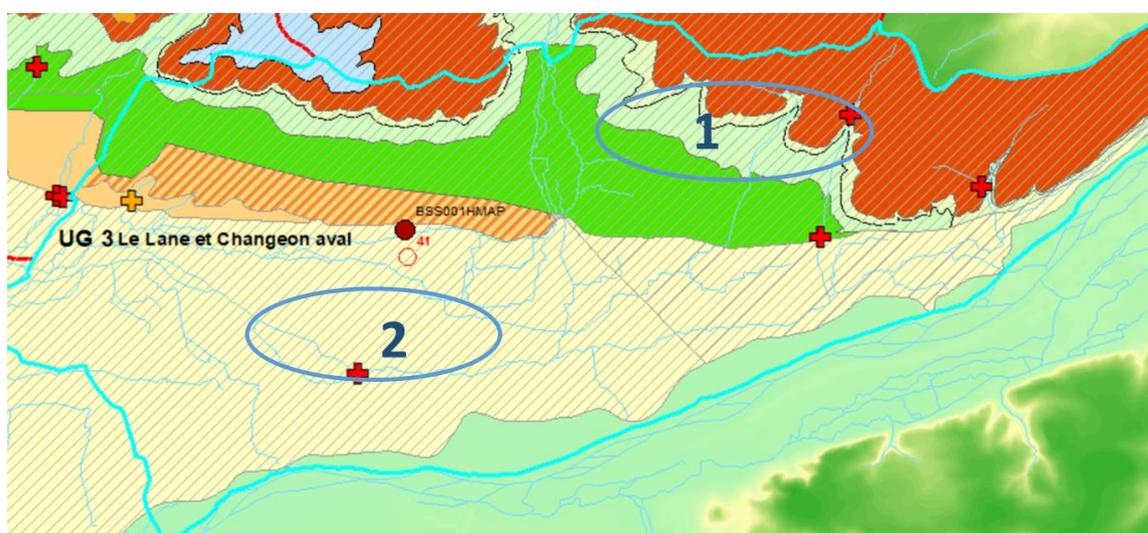


Figure 12 : Carte de la proposition des 2 piézomètres à créer, UG 3

Le piézomètre no. 1 est proposé en amont du bassin dans la craie du Séno-Turonien à 25-35 m de profondeur, représentatif de l'apport des eaux du plateau :

² Rouxel E., Lasseur E. Baudouin V., et al., (2020) ModGeau : Synthèse et Modélisation géologique du mésozoïque de Sarthe et de Maine-et-Loire, pour une gestion améliorée des ressources en eau. Rapport final. BRGM/RP-70301-FR , 129p., 88 fig. 1 ann.

Définition d'un réseau piézométrique de référence et contribution à la mise en place de seuils de gestion dans le bassin versant de l'Authion

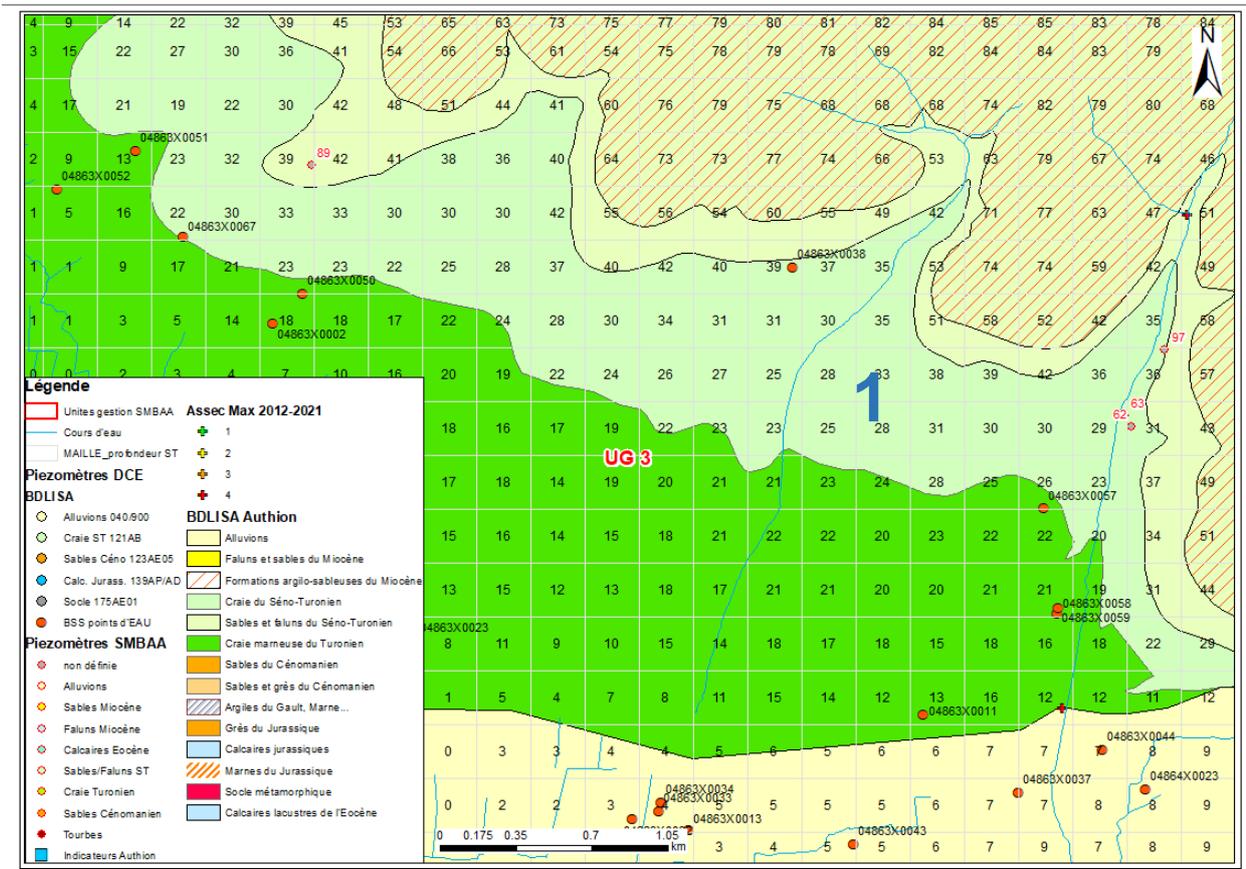


Figure 13 : Proposition de la localisation du piézomètre No 1

Le piézomètre no. 2, un point de surveillance complémentaire dans les alluvions, pourrait être installé dans les alluvions en amont du linéaire touché par les assecs à 2-5 m de profondeur.

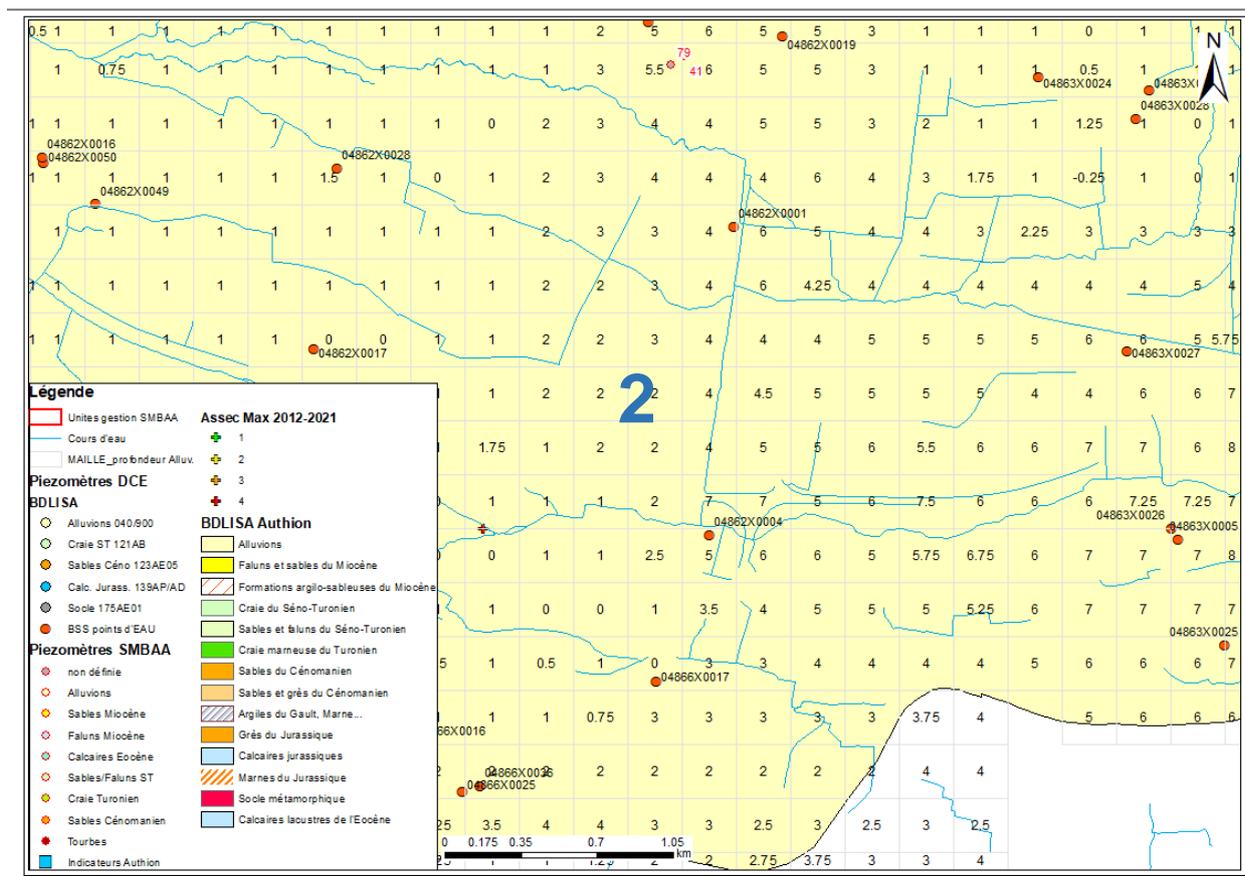


Figure 14 : Proposition de la localisation du piézomètre No 2

6.2.2. UG 4 - Les Aulnaies, Etang et Affluents : Proposition de 2 à 3 points de surveillance (aucun piézomètre existant)

Aucun piézomètre n'est suivi actuellement dans ce bassin. Le BRGM propose la création de 3 piézomètres (cf. Figure 15).

Définition d'un réseau piézométrique de référence et contribution à la mise en place de seuils de gestion dans le bassin versant de l'Authion

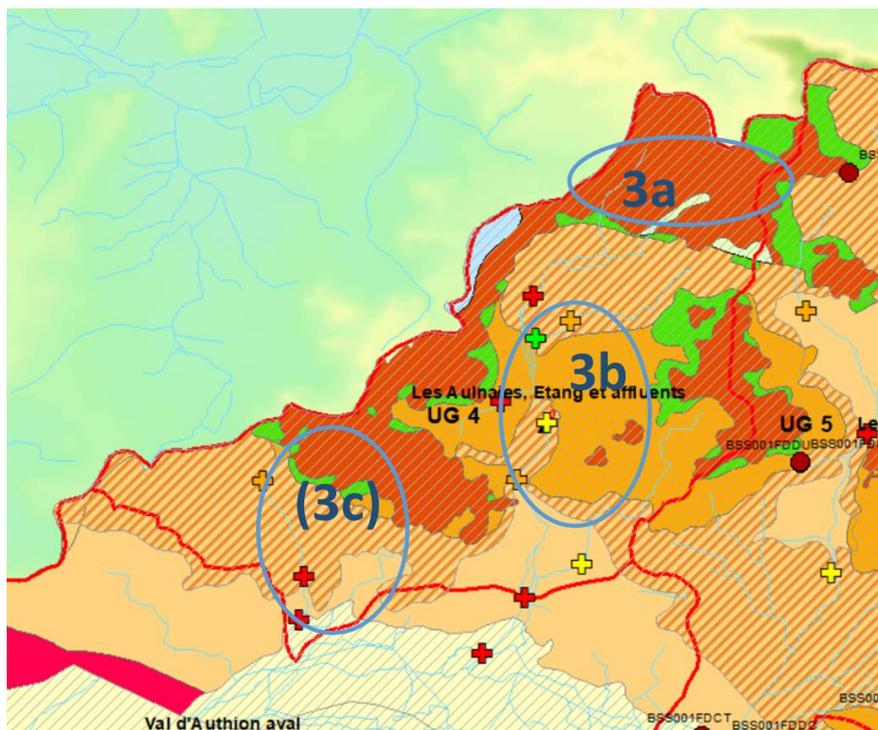


Figure 15 : Carte de la proposition des 3 piézomètres à créer, UG 4. Prioritaire car cours d'eau touchés par des assècs

Le piézomètre no. 3a à 5-20 m de profondeur est proposé en amont du bassin dans la craie Séno-Turonienne, représentatif de l'apport des eaux rechargés au niveau du plateau vers la nappe.

Définition d'un réseau piézométrique de référence et contribution à la mise en place de seuils de gestion dans le bassin versant de l'Authion

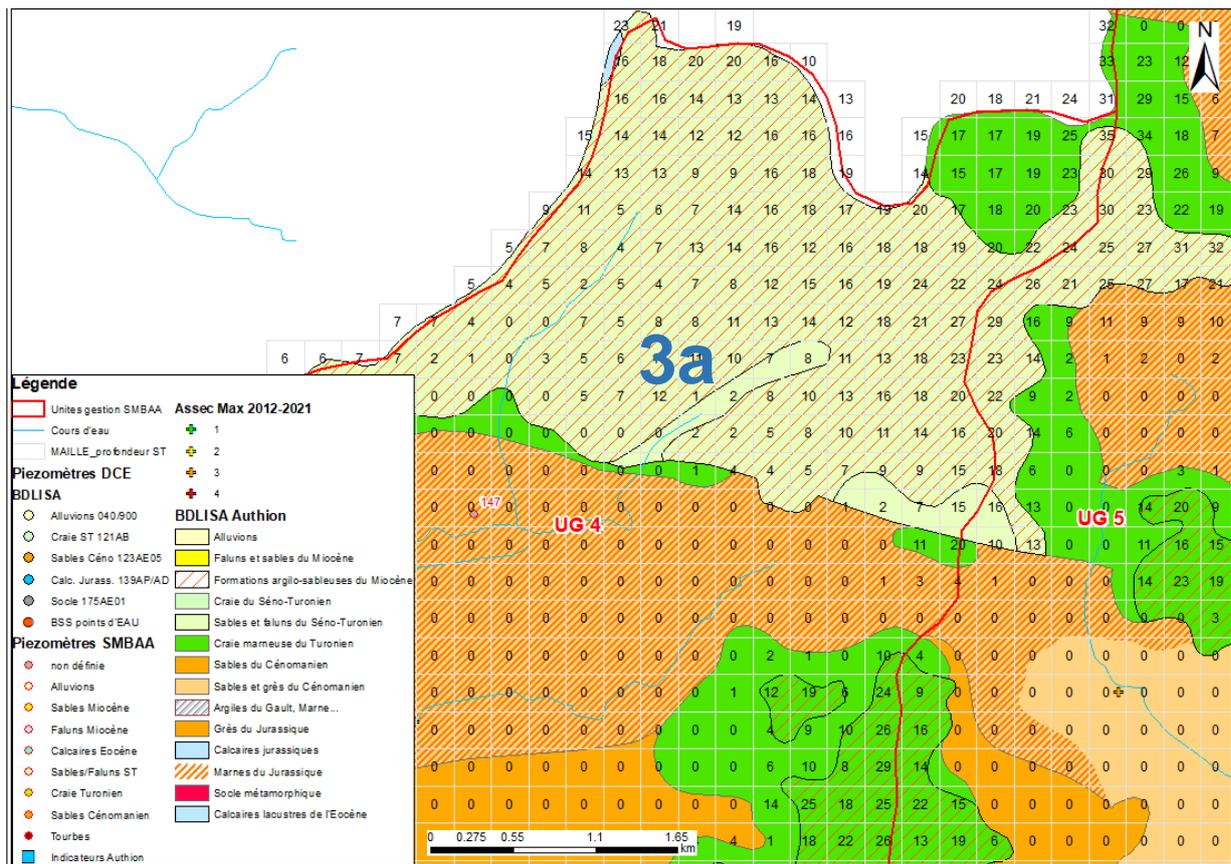


Figure 16 : Proposition de la localisation du piézomètre No 3a

D'après des informations du modèle MODGEAU, deux piézomètres sont proposés dans les sables du Cénomanien (Sables à Catopygus) à 7-14m de profondeur (3b) et dans les sables du Cénomanien (Sables de la Trugalle) à 7-20 m de profondeur (3c).

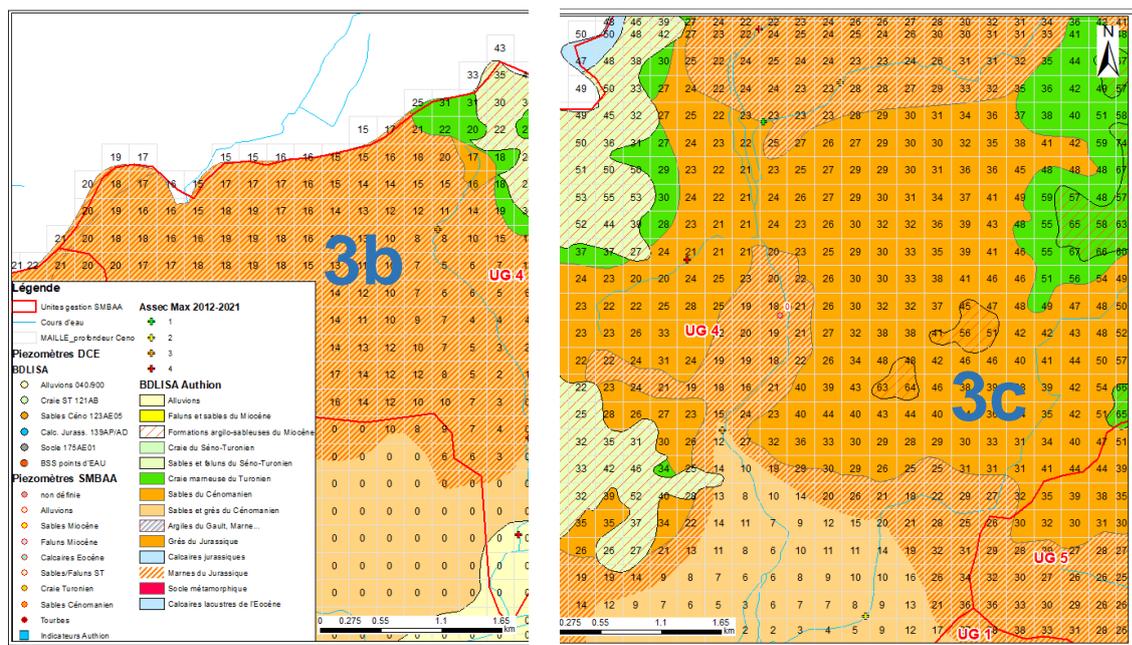


Figure 17 : Création des piézomètres No 3 b + c

Définition d'un réseau piézométrique de référence et contribution à la mise en place de seuils de gestion dans le bassin versant de l'Authion

6.2.3. UG 5 - Le Couason et ses affluents : Proposition de 2 points de surveillance complémentaires

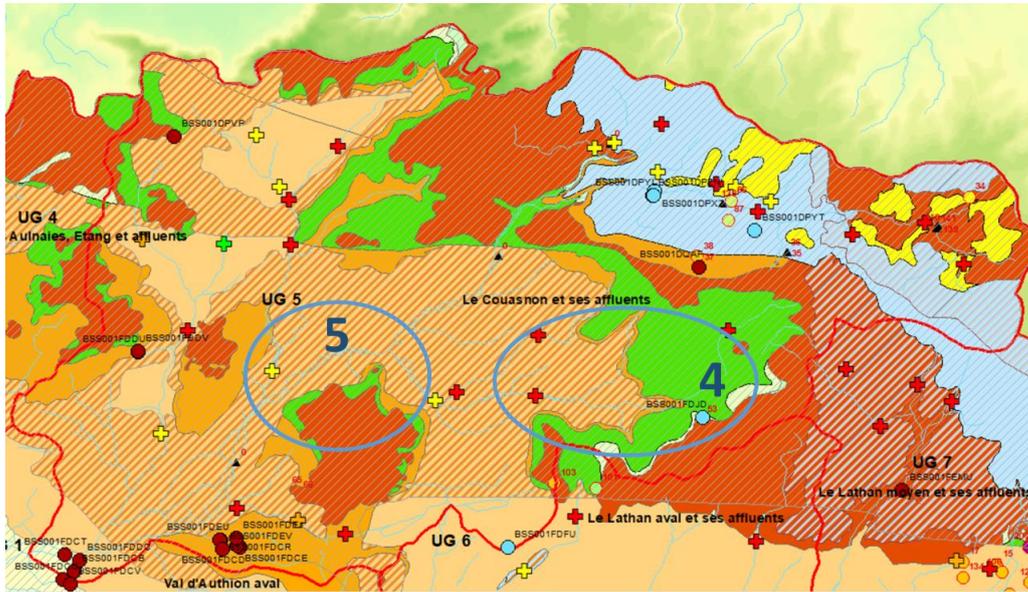


Figure 18 : Carte de la proposition des 2 piézomètres à créer, UG 5. Prioritaire car cours d'eaux assecs

Dans le bassin du Couason et ses affluents, de nombreux assecs existent. Il est proposé, en plus des nombreux piézomètres existants, de surveiller deux zones complémentaires à proximité des assecs.

Dans la zone centrale, le nouveau piézomètre No. 4 proposé en amont près du piézomètre Pontigny (04554X0026 (PZFDJD) captera le Cénomaniens afin de compléter le point Guedeniau, très influencé. La profondeur du mur de l'aquifère est à 35-40 m de profondeur selon l'emplacement exacte. De nombreux assecs sur le cours d'eau Brocard ont été observés et la ressource en eau est très fortement sollicitée pour l'AEP. Le point SMBAA 53 (04554X0026 (PZFDJD)) à priori à sec, n'est pas exploitable et devra être remplacé.

Définition d'un réseau piézométrique de référence et contribution à la mise en place de seuils de gestion dans le bassin versant de l'Authion

Dans la zone du piézomètre proposé No. 5, trois piézomètres du SMBAA, No. 64,65,66, existent près d'une déchetterie (à environ 10 m de profondeur, dans la nappe des sables du Cénomaniens sous formations détritiques continentales).

Nous proposons au choix :

- une augmentation de la fréquence des mesures, pour passer à une fréquence d'acquisition journalière,
- ou la création d'un piézomètre dans les sables du Cénomaniens (Sables de la Trugalle) à 25-35 m de profondeur selon l'emplacement (vérifier les points d'eau existants dans cette zone qui pourraient éventuellement être équipés).

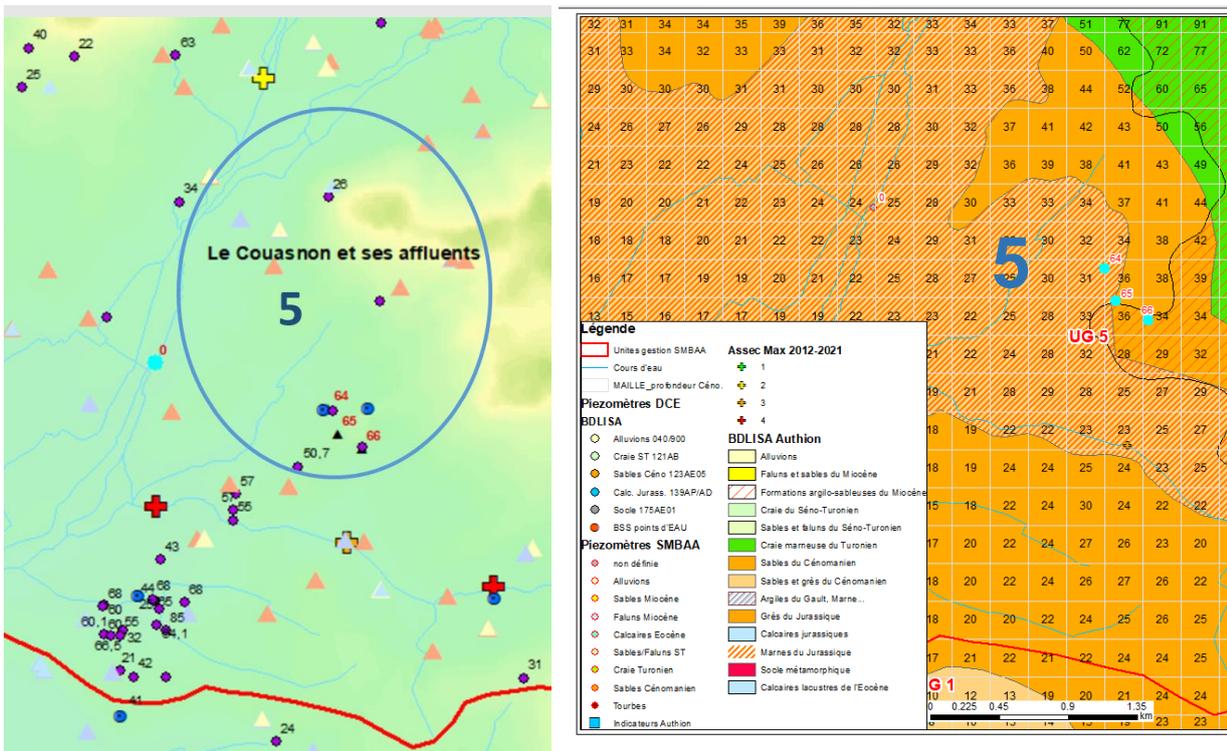


Figure 21 : A gauche : Zoom de la carte Figure 10 - A droite : Création du piézomètre No 5

6.2.4. UG 9 - Bassin des Trois Rus : Proposition de 3 points de surveillance complémentaires

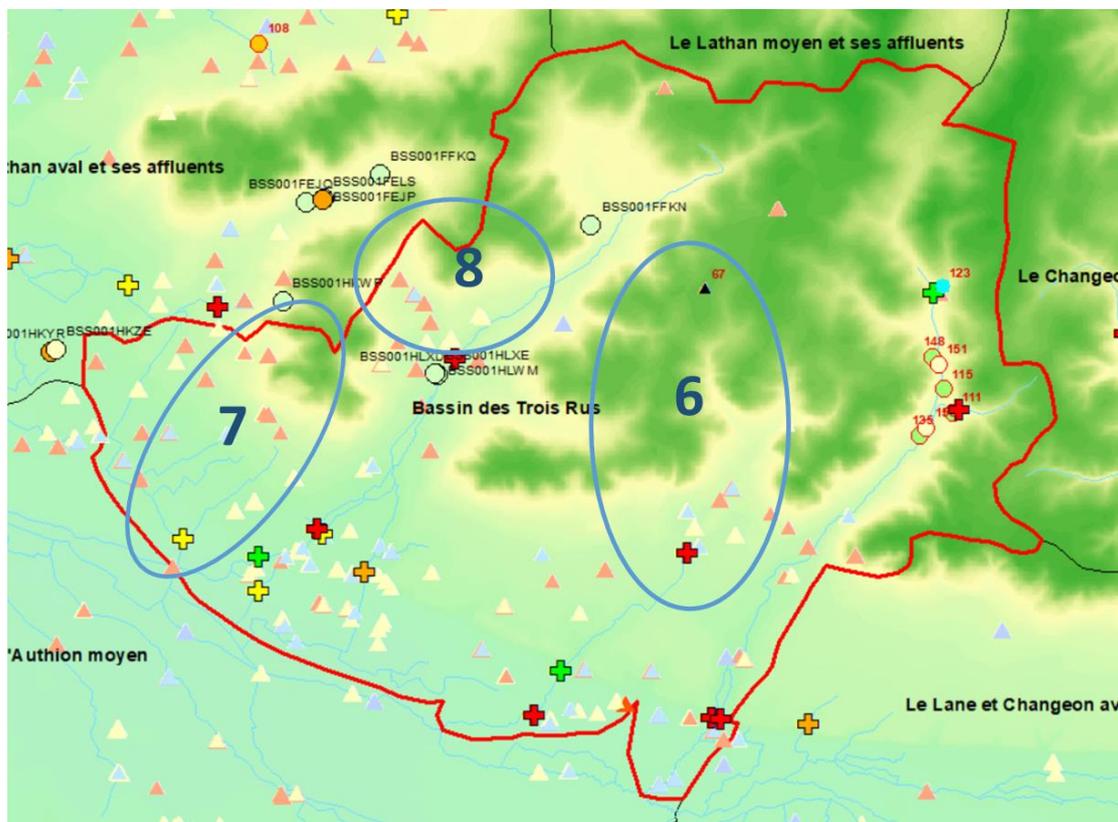


Figure 22 : Carte de la proposition des 3 piézomètres à créer, UG 9

Malgré quelques points existants dans ce bassin, le BRGM propose la création de trois piézomètres (Figure 22) en amont des occurrences connues d'assecs fréquents sur les cours d'eaux et dans les zones très influencées par de nombreux pompages.

Le piézomètre no. 6 dans la Craie du Séno-Turonien à 6-17 m de profondeur selon l'emplacement peut permettre de compléter le point 67 qui se situe au nord en amont de la zone (cf. Figure 23).

Définition d'un réseau piézométrique de référence et contribution à la mise en place de seuils de gestion dans le bassin versant de l'Authion

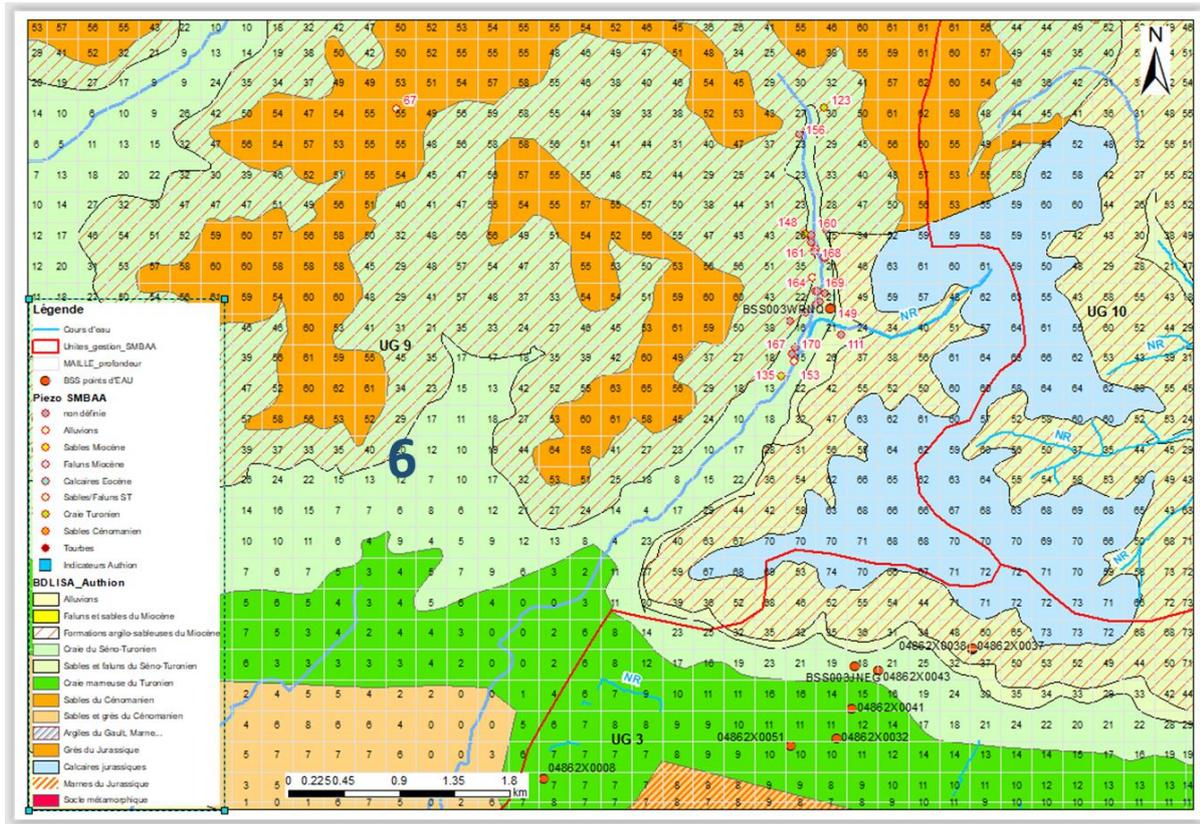


Figure 23 : Création du piézomètre No 6

Les piézomètres complémentaires no. 7 et no. 8 peuvent également surveiller la nappe de la craie du Séno-Turonien : le piézomètre No 7 représentera le fonctionnement de représente la nappe au nord des trois chenaux intermittents et en aval de nombreux prélèvements, à 6-30 m de profondeur. Le piézomètre no 8 suivra les échanges de la nappe avec le ruisseau de l'Automne au sud, à 4-20 m de profondeur.

Définition d'un réseau piézométrique de référence et contribution à la mise en place de seuils de gestion dans le bassin versant de l'Authion

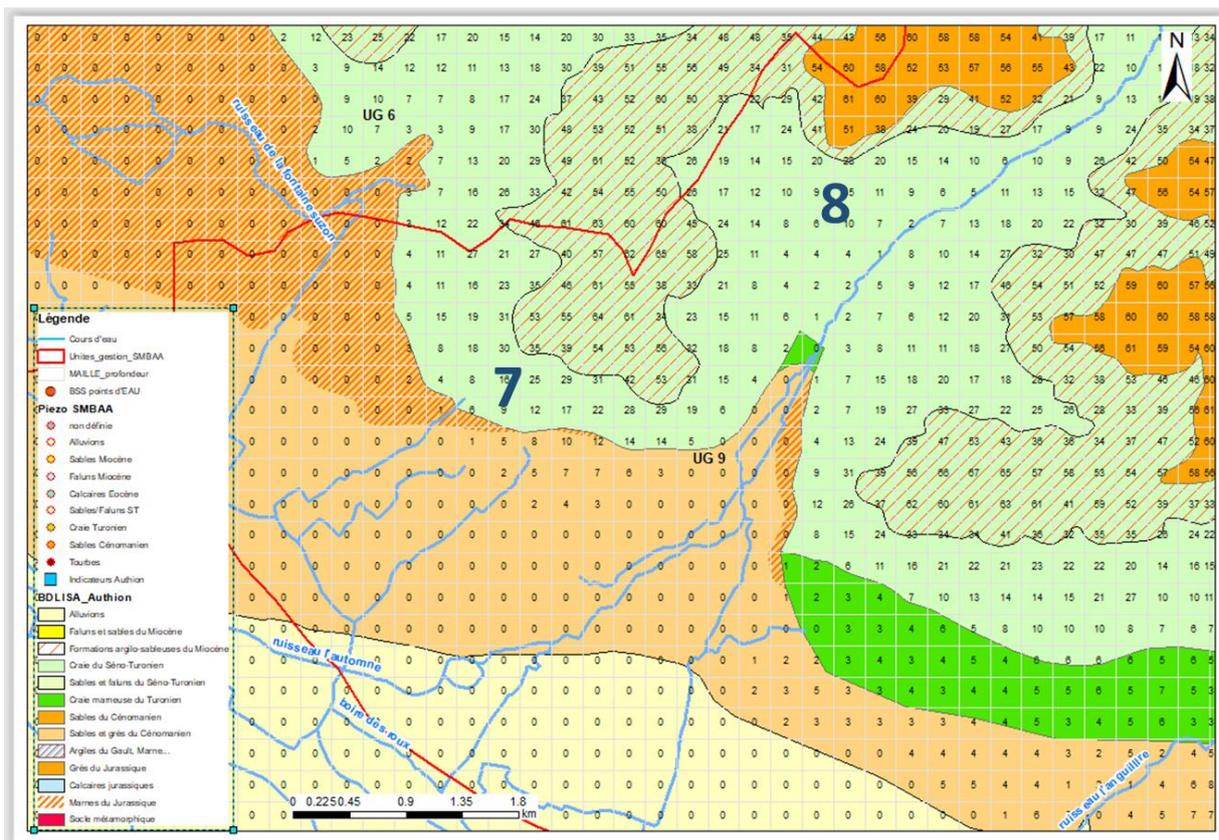


Figure 24 : Création du PE No 7 et No 8

Définition d'un réseau piézométrique de référence et contribution à la mise en place de seuils de gestion dans le bassin versant de l'Authion

6.2.5. UG 10 - Le Changeon et ses affluents : Proposition de 2 points de surveillance complémentaires

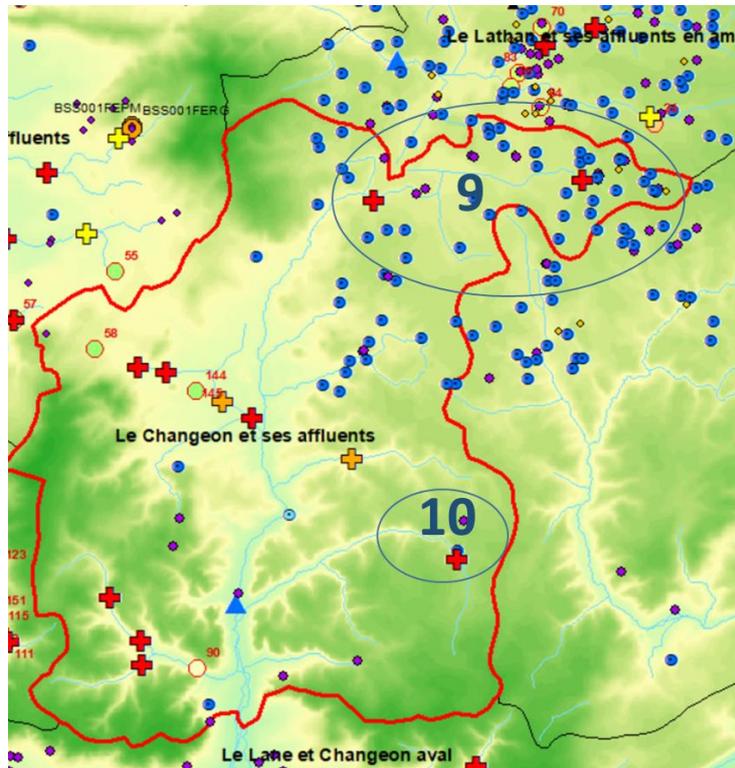


Figure 25 : Carte de la proposition des 2 piézomètres à créer, UG 10. Prioritaire car assecs fréquents sur les cours d'eau

Malgré quelques points existants, le BRGM propose la création de deux piézomètres (Figure 25), qui complètent les zones non représentées, comme le nord-est et le sud-est du bassin.

Le piézomètre no. 9, dans la zone amont du cours d'eau du Changeon représentera les calcaires lacustres de l'Eocène 113AC09. La profondeur du mur de l'aquifère n'est pas disponible par le modèle géologique, mais une valeur piézométrique est disponible en BSS au droit du point d'eau 04567X0006 : la profondeur de la nappe est à 4 m.

Définition d'un réseau piézométrique de référence et contribution à la mise en place de seuils de gestion dans le bassin versant de l'Authion

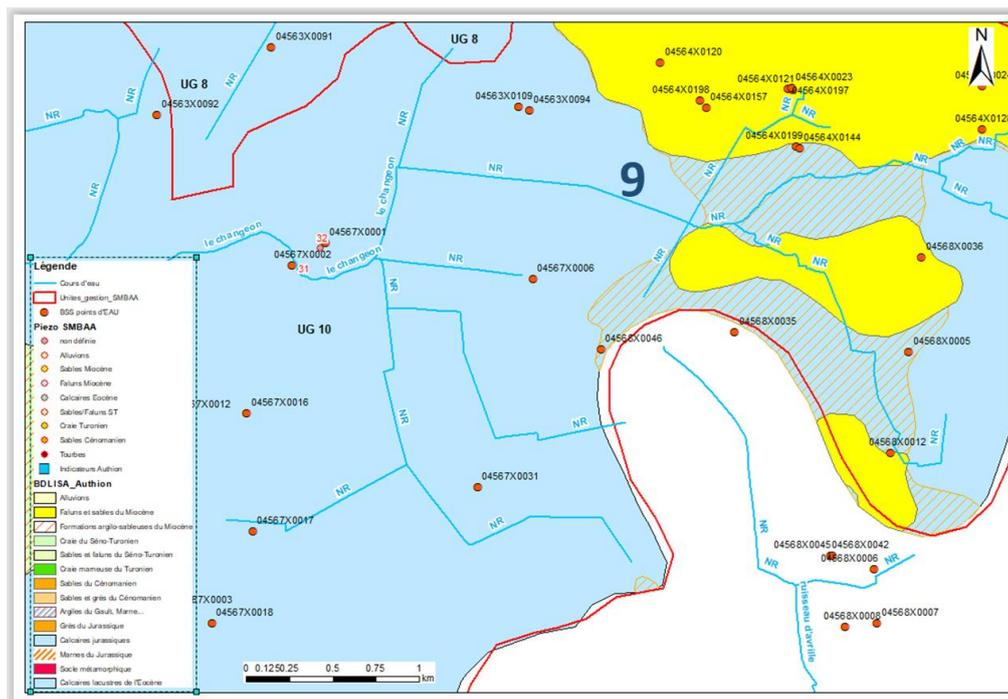


Figure 26 : Création du PE No 9

Le piézomètre no. 10, dans la zone amont du ruisseau de Saint-Gilles, représentera la nappe sénio-turonienne. Les puits 04567X0006 et 0456X0004 (créés en 1947) indiquent une profondeur d'eau de 20-25 m. La base de la nappe sénio-turonienne est à environ 70 m.

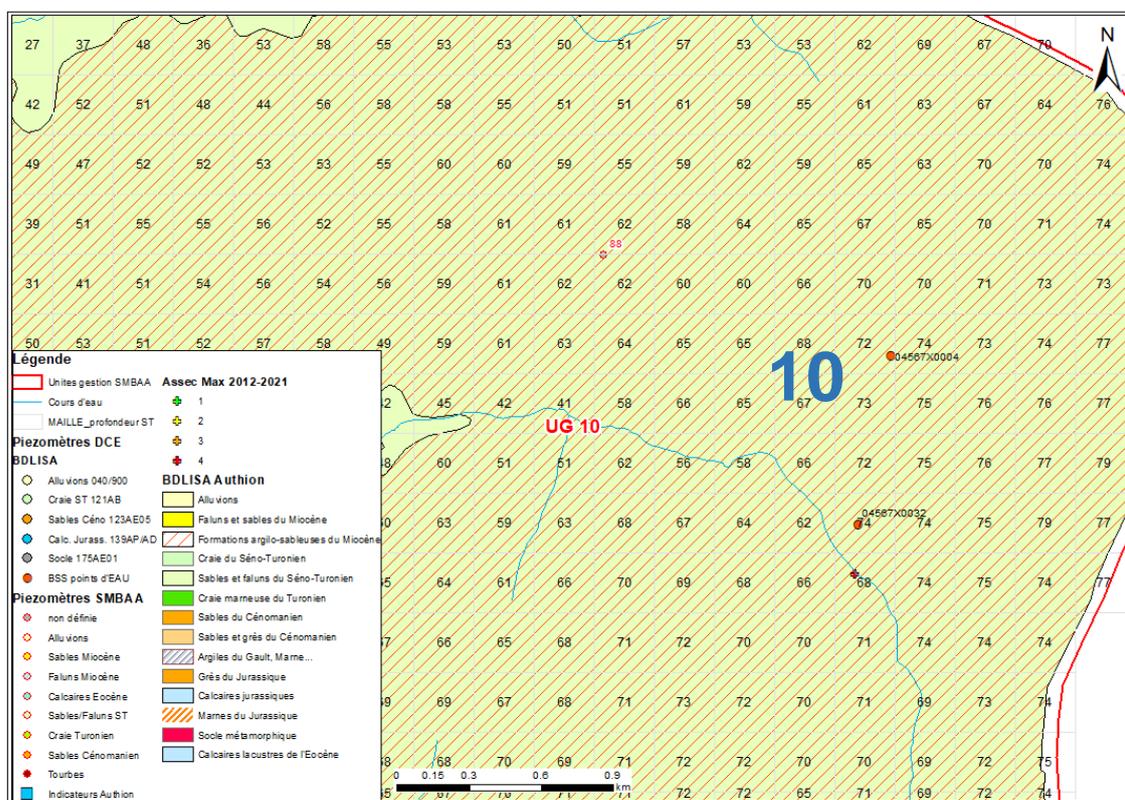


Figure 27 : Création du PE No 10

7. Définition de seuils piézométriques de gestion

Ce chapitre définit, lorsque les données le permettent (chroniques suffisamment longues et peu parasitées par les pompages proches), des indicateurs piézométriques de gestion complémentaires à ceux déjà en vigueur.

Cette étape permet de déterminer si la dynamique d'un aquifère donné (Séno-Turonien, Cénomaniens, Dogger, etc.) est différente d'un piézomètre à un autre. Cela permet de mieux prioriser les piézomètres déjà identifiés dans le chapitre 5. A chaque piézomètre de référence est associée une zone d'alerte.

Actuellement, les indicateurs sécheresse (cf. RP-68436-FR, 2018) sont les piézomètres :

- VILLEBERNIER 04854X0257/PZ, alluvions de Loire dans l'UG 2 ;
- BRION 04553X0023/F, sables cénomaniens dans l'UG 5 ;
- PONTIGNE 04248X0022/F, tuffeau séno-turonien dans l'UG 5.

Pour les piézomètres complémentaires du bassin avec suffisamment d'années de données et sans lacunes trop longues dans la chronique, la dynamique de la nappe a été étudiée :

- 1) Analyse fréquentielle
- 2) Analyse des séries piézométriques temporelles au moyen de l'outil ESTHER©
 - le type de fluctuation enregistrés par les piézomètres (cycles annuels et/ou pluriannuels) ;
 - les périodogrammes mensuels caractéristiques des piézomètres ;
 - des corrélogrammes croisés entre débits et niveaux piézométriques, afin d'identifier les éventuelles corrélations nappe-rivière (pour les piézomètres avec assez de données et qui se situent à proximité des stations hydrométriques).

7.1. RECUEIL DES DONNEES ET ETUDE DES SERIES TEMPORELLES DES NIVEAUX PIEZOMETRIQUES

Parmi les 80 piézomètres transmis par le SMBAA, chaque chronique a été caractérisée et les meilleurs identifiés selon

- la longueur d'observation,
- le battement de la nappe,
- la profondeur de la nappe,
- les éventuels problèmes techniques ou d'assecs.

Les piézomètres disponibles dans ADES, notamment ceux liés aux réseau DCE (17 piézomètres), mais également les piézomètres en lien avec les captages AEP (39 piézomètres), ont été caractérisés de la même manière (cf. Figure 28).

Définition d'un réseau piézométrique de référence et contribution à la mise en place de seuils de gestion dans le bassin versant de l'Authion

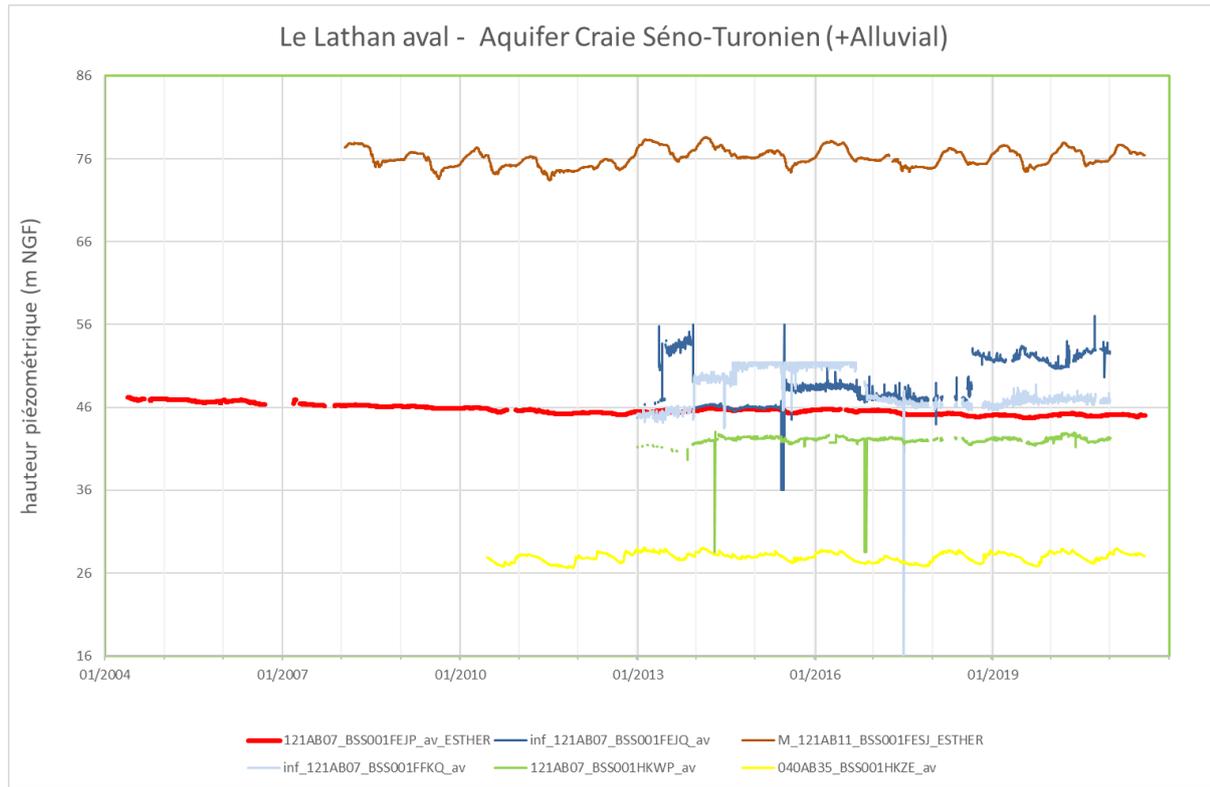


Figure 28 : Exemple de chroniques issues d'ADES, caractérisées selon l'aquifère capté, leur état d'influence, et la localisation, dont certaines concernent les ouvrages de la surveillance des captages AEP

Figure 29 montre la liste des piézomètres avec l'analyse de la longueur des chroniques et leurs réseaux. Celles qui ne dépassent pas les 10 ans (soulignés en jaune) ne permettent pas une analyse fréquentielle (cf. chapitre 7.2). Parmi les piézomètres des réseaux DCE, 10 dépassent les 10 ans.

Définition d'un réseau piézométrique de référence et contribution à la mise en place de seuils de gestion dans le bassin versant de l'Authion

ID_BSS	Réseau	UG	ID/SMBAA	Nom_PIEZO	Nappe	Années
BSS001FDCQ	SMBAA	UG1	SMBAA109	BSS001FDCQ_SMBAA109_CENO_UG1	Sables du Cénomaniens; 123AE05	8
BSS001HKXQ	RESEAU DCE	UG2	BSS001HKXQ	BSS001HKXQ_VILLEBERNIER_ALLU_UG2	Alluvion du Quaternaire : 930AD03	17
BSS001HMAP	RESEAU DCE / ex Réseau AEP	UG3	BSS001HMAP	BSS001HMAP_BOURGUEIL_CENO_UG3	Sables du Cénomaniens; 123AE05	30
BSS001DPYT	RESEAU DCE	UG5	BSS001DPYT	BSS001DPYT_PONTIGNE_ST_UG5	Craie du Séno-Turonien; 121AB07	19
BSS001DQAF	RESEAU DCE	UG5	BSS001DQAF	BSS001DQAF_PONTIGNE_CENO_UG5	Sables du Cénomaniens; 123AE05	7
BSS001FDDU	RESEAU DCE	UG5	BSS001FDDU	BSS001FDDU_FONT_MILON_CENO_UG5	Sables du Cénomaniens; 123AE05	13
BSS001FDDV	RESEAU DCE / ex Réseau CG49	UG5	BSS001FDDV	BSS001FDDV_FONT_MILON_JUR_UG5	Calcaires du Jurassique : 139AP14	13
BSS001FDFU	RESEAU DCE	UG5	BSS001FDFU	BSS001FDFU_BRION_CENO_UG5	Sables du Cénomaniens; 123AE05	19
BSS001FDJD	RESEAU DCE	UG5	BSS001FDJD	BSS001FDJD_GUEDENIAU_ST_UG5	Craie du Séno-Turonien; 121AB07	11
BSS004CYJT	SMBAA	UG5	SMBAA87	BSS004CYJT_SMBAA87_EOC_UG5	Calcaires du Eocène; 113AC09	10
BSS001FDJH	RESEAU DCE / ex Réseau CG49	UG6	BSS001FDJH	BSS001FDJH_JUMELLES_JUR_UG6	Calcaires du Jurassique : 139AD01	9
BSS001FEJP	RESEAU DCE	UG6	BSS001FEJP	BSS001FEJP_NEUILLE_ST_UG6	Craie du Séno-Turonien; 121AB07	19
BSS001FELS	RESEAU DCE	UG6	BSS001FELS	BSS001FELS_NEUILLE_CENO_UG6	Sables du Cénomaniens; 123AE05	7
BSS001HKYR	RESEAU DCE	UG6	BSS001HKYR	BSS001HKYR_VIVY_CENO_UG6	Sables du Cénomaniens; 123AE05	13
BSS001HKZE	RESEAU DCE	UG6	BSS001HKZE	BSS001HKZE_VIVY_ALLU_UG6	Alluvion du Quaternaire; 040AB35	13
BSS004CXWT	SMBAA	UG6	SMBAA1	BSS004CXWT_SMBAA1_CENO_UG6	Sables du Cénomaniens; 123AE05	11
BSS004CXYS	SMBAA	UG6	SMBAA102	BSS004CXYS_SMBAA102_ALL_UG6	Alluvion du Quaternaire; 040XX.	9
BSS004CYJU	SMBAA	UG6	SMBAA91	BSS004CYJU_SMBAA91_ST_UG6	Craie du Séno-Turonien; 121AB07	8
BSS001FFLW	SAGE+RES. DCE	UG7	BSS001FFLW	BSS001FFLW_VERNOIL_ST_UG7	Craie du Séno-Turonien; 121AB07	11
BSS001FFLX	RESEAU DCE	UG7	BSS001FFLX	BSS001FFLX_VERNOIL_CENO_UG7	Sables du Cénomaniens; 123AE05	13
BSS001FESJ	RESEAU DCE	UG7	BSS001FESJ	BSS001FESJ_NOYANT_ST_UG7	Craie du Séno-Turonien; 121AB11	15
BSS004CYFN	SMBAA	UG7	SMBAA9	BSS004CYFN_SMBAA9_CENO_UG7	Sables du Cénomaniens; 123AE05	11
BSS001FFJM	SMBAA	UG7	SMBAA13	BSS001FFJM_SMBAA13_CENO_UG7	Sables du Cénomaniens; 123AE05	11
BSS004CXXF	SMBAA	UG7	SMBAA20	BSS004CXXF_SMBAA20_ST_UG7	Craie du Séno-Turonien; 121AB07	11
BSS004CXYG	SMBAA	UG7	SMBAA55	BSS004CXYG_SMBAA55_ST_UG7	Craie du Séno-Turonien; 121AB07	manqu.)
BSS004CYSJ	SMBAA	UG8	SMBAA24	BSS004CYSJ_SMBAA24_EOC_UG8	Calcaires du Eocène; 113AC09	11
BSS001FEWY	RESEAU DCE	UG8	BSS001FEWY	BSS001FEWY_LESSAY_ST_UG8	Craie du Séno-Turonien; 121AB07	30
BSS001HLXE	RESEAU AEP49	UG9	BSS001HLXE	BSS001HLXE_AEP_LAFONTAINE_ST_UG9	Craie du Séno-Turonien; 121AB07	9
BSS004CXYJ	SMBAA	UG10	SMBAA58	BSS004CXYJ_SMBAA58_ST_UG10	Craie du Séno-Turonien; 121AB07	manqu.)

Figure 29 : Les piézomètres d'ADES et du SMBAA retenus pour l'analyse statistique avec la longueur des chroniques correspondantes.

Le suivi du piézomètre AEP 04861X0557/P3 dans le bassin des Trois Rues permet de compléter cette liste des piézomètres des réseaux DCE avec une chronique intéressante, en attendant qu'un piézomètre représentatif de l'UG9 soit créé.

Au total, dix piézomètres suivis par le SMBAA ont été retenus pour l'analyse affinée.

7.2. ANALYSE FREQUENTIELLE

L'analyse fréquentielle consiste, à partir d'une chronique de mesures, à extraire les niveaux piézométriques (généralement, moyens mensuels ou minimaux mensuels, voire journaliers) pour chacun des mois de l'année et les classer par ordre croissant, ce qui revient à construire une distribution cumulée des fréquences (cf. Figure 30). 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).

Définition d'un réseau piézométrique de référence et contribution à la mise en place de seuils de gestion dans le bassin versant de l'Authion

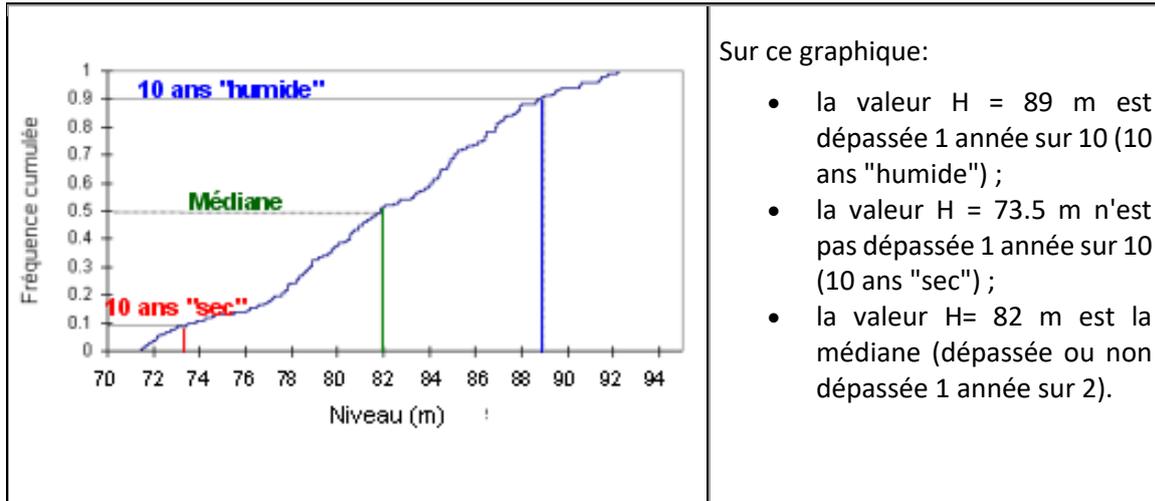
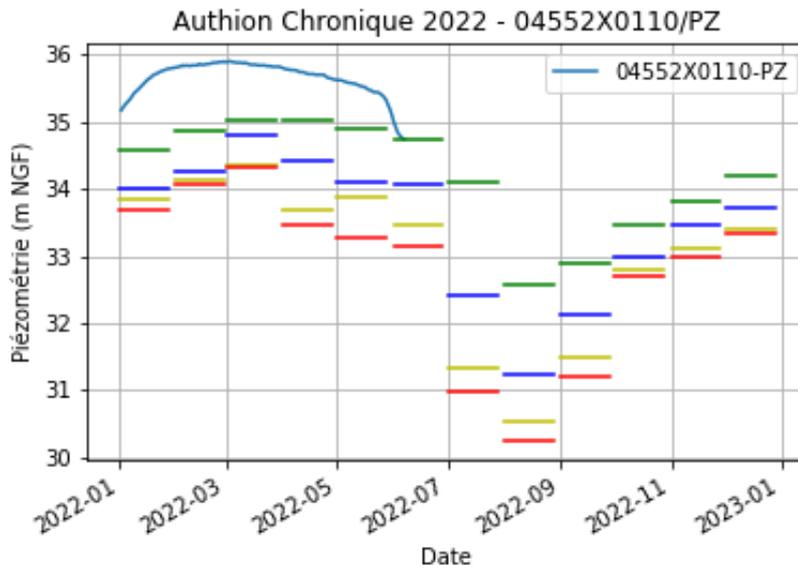


Figure 30 : Exemple d'étude fréquentielle d'une chronique piézométrique.

Lorsque la longueur de la chronique piézométrique et la qualité des données l'ont permis (20 ans de données sont nécessaires normalement pour définir un niveau piézométrique de période de retour 10 ans sec fiable), le BRGM a calculé des niveaux piézométriques statistiques de type : 2 ans sec, 5 ans sec, 10 ans sec pour les piézomètres choisis selon les analyses précédentes.



CODE_BSS	month	2 ans sec	5 ans sec	10 ans sec
04552X0111 /PZ2 13 ans	1	38.53	38.01	37.85
	2	38.94	38.37	38.17
	3	38.99	38.48	38.26
	4	38.8	38.28	38.1
	5	38.56	38.1	38
	6	38.56	37.98	37.88
	7	38.2	37.71	37.61
	8	37.91	37.48	37.42
	9	37.69	37.33	37.29
	10	37.66	37.26	37.21
	11	37.7	37.38	37.22
	12	38.03	37.47	37.29

- Fréquence empirique 2 ans sec
- Fréquence empirique 5 ans sec
- Fréquence empirique 10 ans sec
- Fréquence empirique 20 ans sec

Figure 31 : Analyse fréquentielle avec l'exemple du piézomètre 04552X0110

L'exemple du piézomètre 04552X0110 (Figure 31, gauche) présente la chronique du début de l'année 2022 avec les calculs statistiques théoriques des 2, 5, 10 et 20 ans secs. Pour ce piézomètre avec 13 ans de données, seuls les 2 ans sec et 5 ans sec peuvent être utilisés avec robustesse. Les valeurs mensuelles sont indiquées dans le tableau (Figure 31) : La colonne gris «10 ans sec» n'est théoriquement pas applicable actuellement. En jaune, les valeurs du mois (d'octobre) les plus basses.

Si on respecte la règle des 40 ans nécessaires pour un indicateur de longue série, 20 ans sec, aucun piézomètre peut actuellement prendre en compte ces valeurs d'indicateur de longue série. Néanmoins, en prenant des précautions d'une modification possible pendant la période des prochaines 10 ans, pour les 2 piézomètres avec une chronique de 30 ans, les valeurs mensuelles des 20 ans sec ont été proposées :

- le piézomètre BSS001HMAP « BOURGUEIL », dans l'aquifère des sables du Cénomaniens dans UG3 (Figure 32).
- le piézomètre BSS001FEWY « LESSAY », dans l'aquifère de craie du Séno-Turonien (Figure 33).

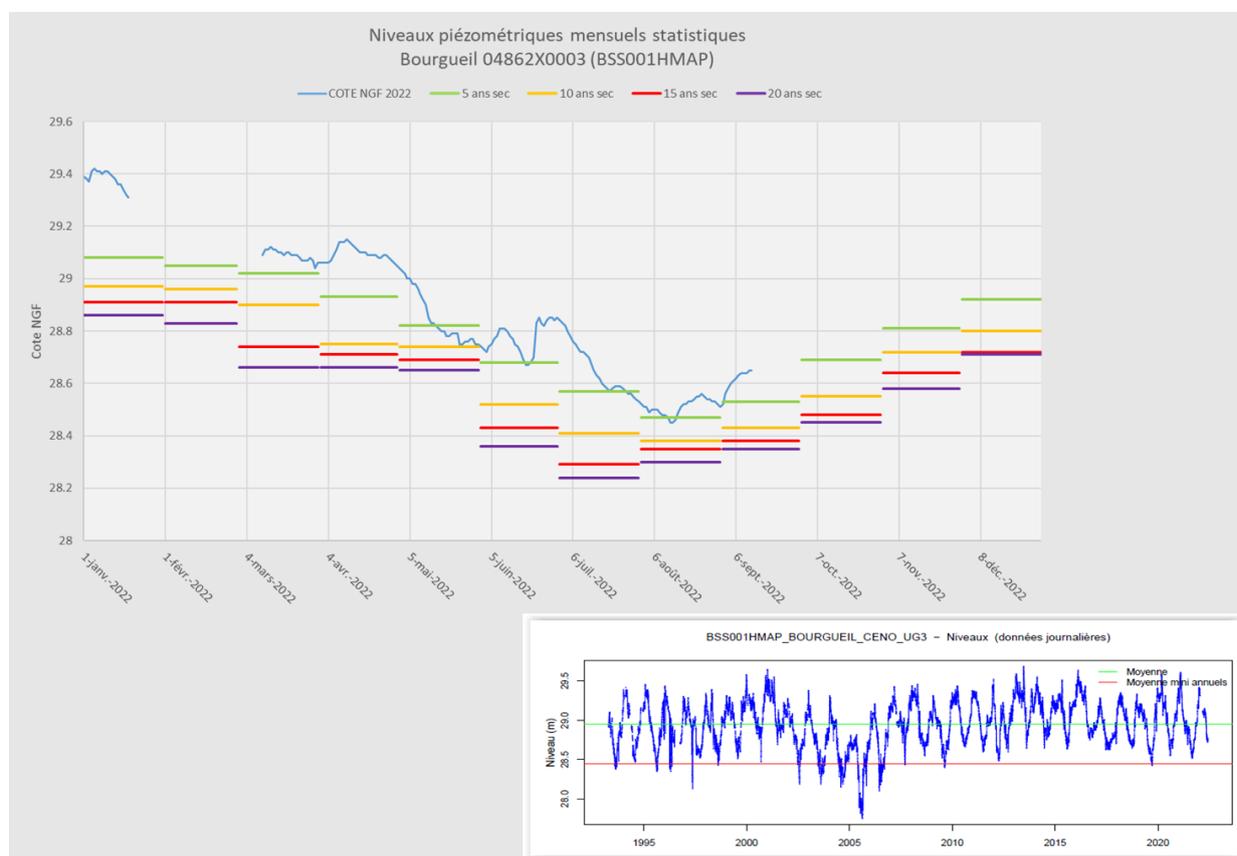


Figure 32 : Analyse fréquentielle avec l'exemple du piézomètre « Bourgueil » (UG3), avec une chronique de 30 ans, les 5 ans sec (bleu), 10 ans sec (rouge) et 20 ans sec (mauve, à vérifier et à mettre à jour) peuvent être appliqués

Définition d'un réseau piézométrique de référence et contribution à la mise en place de seuils de gestion dans le bassin versant de l'Authion

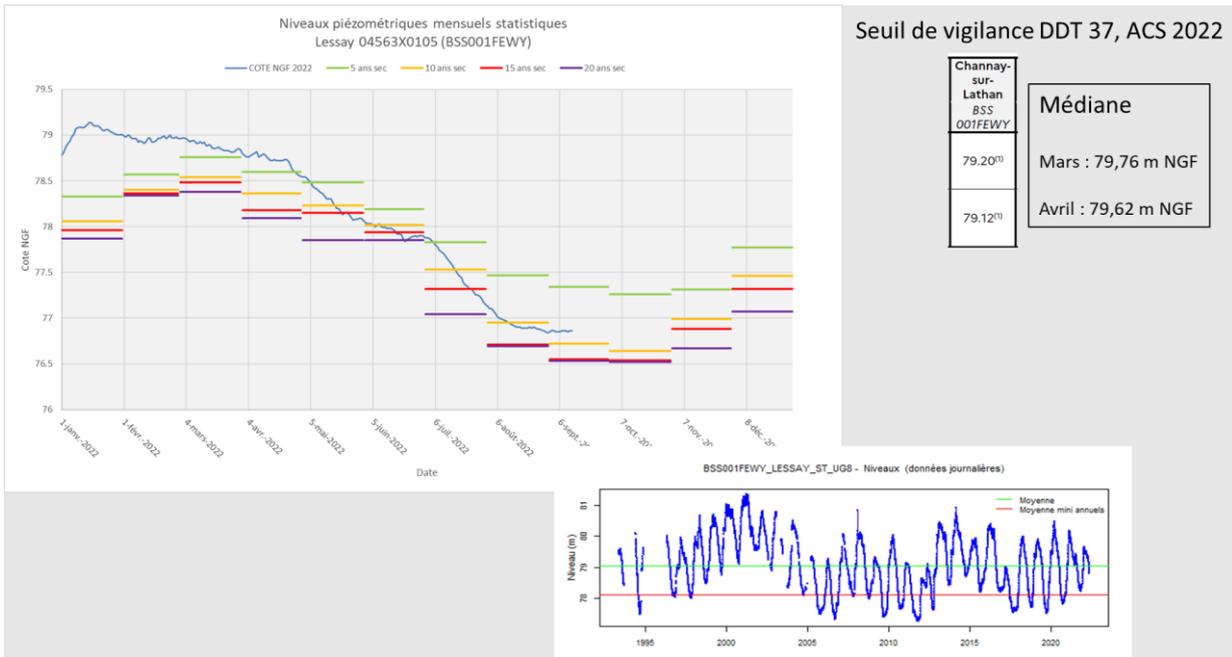


Figure 33 : Analyse fréquentielle avec l'exemple du piézomètre « Lessay » (UG 8), avec une chronique de 30 ans, les 5 ans sec (bleu), 10 ans sec (rouge) et 20 ans sec (mauve, à vérifier et à mettre à jour) peuvent être appliqués.

Comme pour les deux ouvrages précédents, le suivi de l'ouvrage 04862X0003/FAEP pourrait permettre malgré la chronique de 30 ans de calculer l'indicateur de la période de retour 20 ans secs. Si ce point est intéressant par son long suivi, il faudra néanmoins aller plus loin dans l'analyse et supprimer les périodes influencées par le captage (cf. Figure 34).

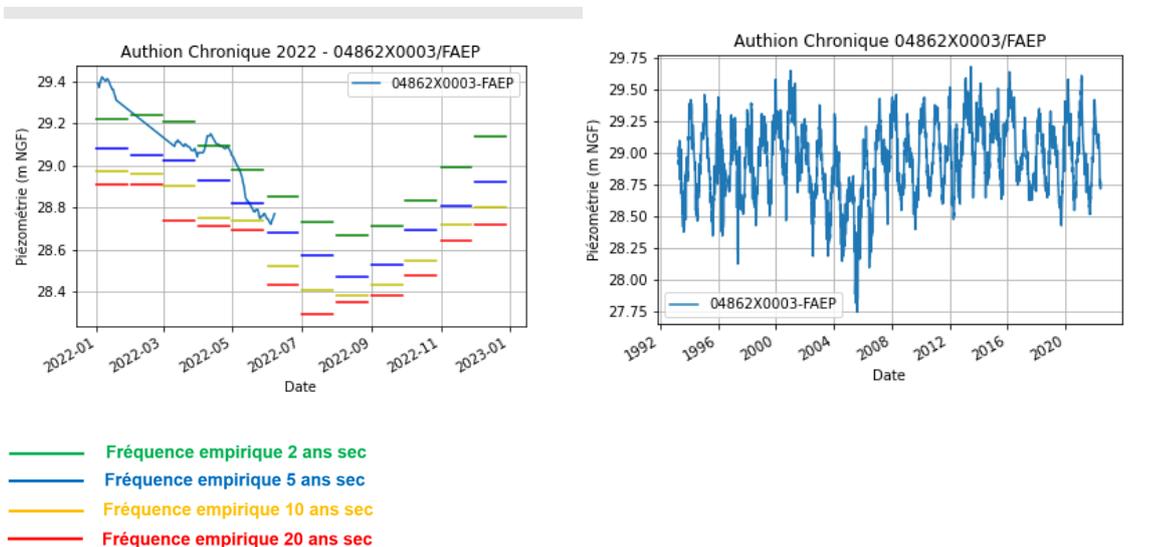


Figure 34 : Analyse fréquentielle pour l'exemple du piézomètre 04862X0003/FAEP (BSS001HMAP), avec une chronique de 30 ans, les 10 ans sec (trait jaune) et les 20 ans sec (rouge) peuvent être appliqués

7.3. ANALYSE DU TYPE DE FLUCTUATION, PERIODOGRAMMES ET CORRELOGRAMMES (ESTHER©)

7.3.1. Autocorrélogramme et périodogramme

Pour une chronique piézométrique, un autocorrélogramme (ou variogramme temporel) peut être défini de la manière suivante : « Dans une chronique de mesures piézométriques journalières, il existe une corrélation entre les valeurs successives de la série jusqu'à une certaine "portée" temporelle, fonction de l'inertie de la nappe. Cette corrélation peut se mesurer par l'intermédiaire d'un coefficient d'autocorrélation qui représente la corrélation de la série avec elle-même mais décalée d'un certain intervalle de temps ».

Pour le piézomètre BSS001HKXQ de Villebernier (Alluvions) avec un suivi depuis 2005, on obtient :

- La moyenne annuelle et la moyenne des minima annuels (Figure 35)
- l'autocorrélogramme mensuel et le périodogramme (Figure 36):

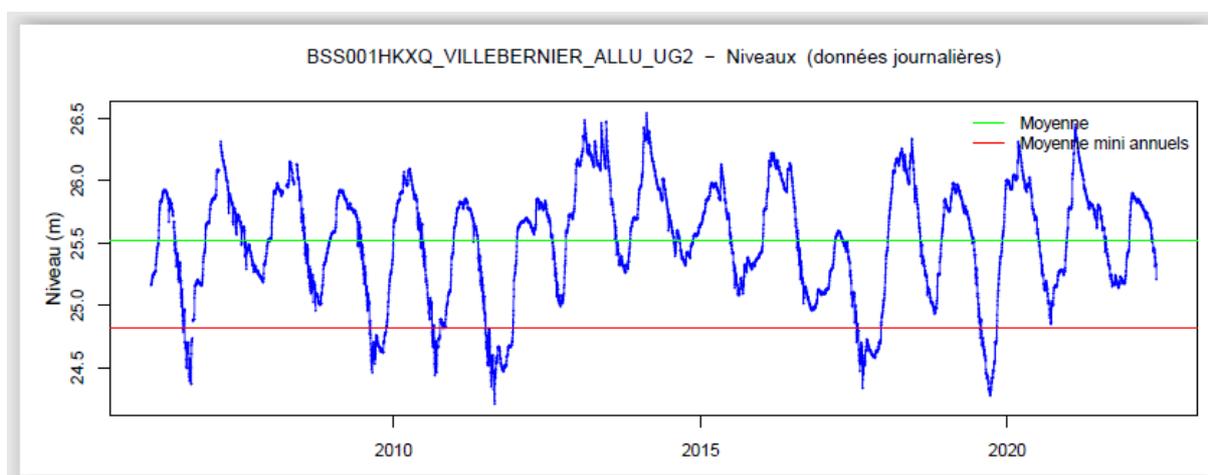


Figure 35 : Chronique piézométrique du point de suivi BSS001HKXQ de Villebernier, avec la moyenne et la moyenne des minima annuelle

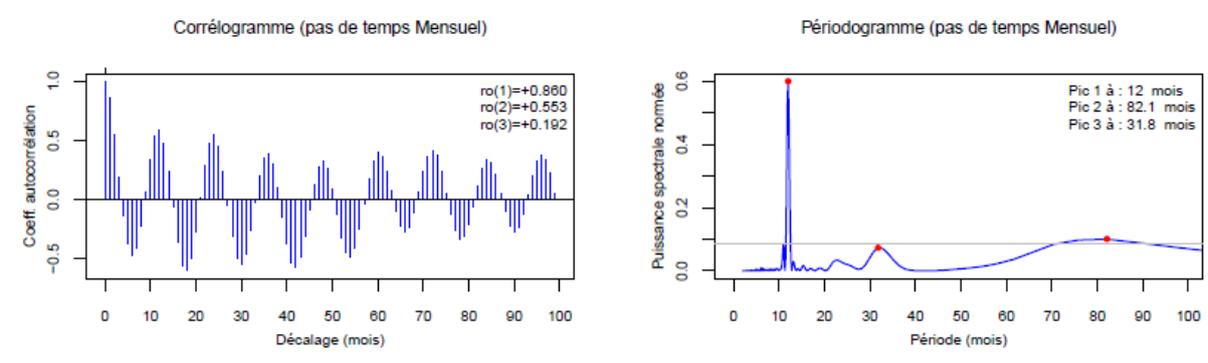


Figure 36 : Auto-corrélogramme et périodogramme pour l'exemple du piézomètre BSS001HKXQ de Villebernier

Pour ce piézomètre, il faut prendre en compte des périodes influencées par des prélèvements proches comme au cours des années 2011 ou en 2017, qui montrent des niveaux très bas, liés au rabattement de la nappe.

L'autocorrélogramme indique 1-2 mois d'autocorrélation (valeurs au-dessus de 0.6), caractéristique d'une nappe avec peu d'effet mémoire et à cycle annuel. Le périodogramme montre un premier pic significatif (de 0.6) à 12 ans et une inertie pluriannuelle non significative de 7 ans (82 mois) et de 3 ans (32 mois) (valeurs de puissance spectrale normale d'environ 0.1).

La piézométrie montre des variations pluriannuelles notamment entre 2013 et 2017. Néanmoins, des hautes eaux au début de l'année n'empêchent pas des niveaux très basses comme en 2019, lié à une réactivité de la nappe et une capacité de rabattement fort en quelques mois.

Les résultats de l'analyse statistique la totalité des piézomètres sont décrits dans le tableau (Figure 37). Les figures correspondantes sont visibles dans l'Annexe 2 :

- 7 des 29 piézomètres ont actuellement des chroniques courtes pour réaliser l'analyse ESTHER© (colonne des années couleur jaune).
- Le battement moyen mensuel est très variable, entre quelques dizaines de centimètres à plusieurs mètres.
- Le minimum a été atteint le plus souvent (7 piézomètres) en 2011, en 2019 (6) ou en 2012 (5).
- Les années où le niveau passe sous le minimum moyen mensuel sont indiquées dans la colonne « Années niveaux bas » : on peut retrouver les années 2011 (9 piézomètres), 2012 (6), 2016 (6), 2017 (15), 2019 (25, presque la totalité), 2022 s'annonçait déjà très bas en juin 2022, sans que le minimum soit encore atteint.
- La plupart des piézomètres indiquent une autocorrélation de 1-2 mois, avec un comportement surtout annuel (cycle de 7 ans et 3 ans visibles mais très faibles (puissances d'environ 0.1)), cf. exemple BSS001HKXQ_VILLEBERNIER_ALLU_UG2
- 9 piézomètres présentent un comportement mixte (le plus souvent avec un cycle de 6 à 7 ans ou de 3 ans dominant), cf. BSS001FEJP_NEUILLE_ST_UG6.
Il s'agit de 7 piézomètres de la nappe de Craie du Séno-Turonien et de 2 piézomètres ancrés dans les sables du Cénomani. Les autres piézomètres ont une signature surtout annuelle et ne montrent qu'une mémoire de quelques mois.

Nom_PIEZO	Années	Niveau MIN	Date_min	Niveau MAX	Max mensuel	Battemt (extrém.)	Battemt (moy. mens)	Temps auto-corr.	Cycle	Tendance	Relation Nappe-rivière ou pas de débits disponibles dans l'UG	Années niveaux basses	Pompages probables ?
BSS001FDCQ_SMBAA109_CENO_UG1	8	16.16		18.641	-	2.48	-	1-2 mois	Série trop court		décalage -1 j/ Corr : 0.6 La nappe soutiens peu le débit minimale	2016,2017,2019,2020	probablement (aout)
BSS001HKXQ_VILLEBERNIER_ALLU_UG2	17	24.21	26/08/2011	26.54	25.39	2.33	1.03	1-2 mois	Comportement surtout annuel (Cycle de 7 ans et 3 ans visibles (Puiss.s 0.1))	NON	pas de débits disponibles dans l'UG	2006, 2009, 2010, 2011, 2017, 2019	OUI (septembre, octobre)
BSS001HMAP_BOURGUEIL_CENO_UG3	30	27.75	18/08/2005	29.68	28.89	1.93	0.96	1-2 mois	Comportement surtout annuel (Cycle de 7 ans visible (Puiss. 0.1))	NON	pas de débits disponibles dans l'UG	2002, 2003, 2004, 2005	OUI (aout, septembre)
BSS001DPYT_PONTIGNE_ST_UG5	19	66.59	25/10/2012	74.99	69.16	8.4	2.29	2-3 mois	Comportement mixte (Cycle annuel dominant, 3 ans visible (Puiss.= 0.15))	NON, et donc Retenir pour suivi ID : ST	décalage -44 j/ Corr : 0.6 La nappe soutiens peu le débit minimale	2010, 2012, 2019	OUI?
BSS001DQAF_PONTIGNE_CENO_UG5	7	42.22		46.09	-	3.87	-		Série trop court		relation peu évidente	2019	OUI
BSS001FDDU_FONT_MILON_CENO_UG5	13	29.33	09/08/2015	36.45	34.84	7.12	4.09	1-2 mois	Comportement surtout annuel (cycles de 2 ans et 4 ans aussi visibles (Puiss.s faible, < 0.1))	Tendance à la hausse depuis quelques années + 3 m depuis qqs années Influencé avant. Pas idéal comme IND	relation peu évidente	2011, 2013, 2015, 2016	OUI
BSS001FDDV_FONT_MILON_JUR_UG5	13	37.14	30/11/2011	39.77	38.27	2.63	1.1	2 mois	Comportement surtout annuel (2 ans et 3 ans également visibles (Puiss.s faibles, < 0.1))	NON	décalage -24 jours/Corr. 0.78 La nappe soutiens peu le débit minimale	2011, 2013, 2017, 2019, 2021	NON
BSS001FDFU_BRION_CENO_UG5	19	42.41	18/12/2011	44.58	43.73	2.17	1.3	4-5 mois	Comportement mixte (Cycle 7 ans dominant et annuel, 3 ans visibles)	NON	pas de débits disponibles en aval	2005, 2009, 2011, 2017,2019	NON
BSS001FDJD_GUEDENIAU_ST_UG5	11	57.50	27/09/2012	58.42	58.07	0.92	0.54	4-5 mois	Comportement mixte (Cycle de 2 à 3 ans dominant, et cycle annuel visible)	NON, mais changement de comportement, moins de battement...	pas de débits disponibles en aval	2012, 2017, 2019, 2022	NON, mais probablement infiltrations surfaciques.. /piézo non étanche?
BSS004CYJT_SMBAA87_EOC_UG5	10	65.43	06/12/2017	67.5	66.01	2.07	0.26	1-2 mois	Comportement mixte (Cycle de 1 ans et de 3 an)	NON	trop peu de données piézo encore	2017, 2021	probablement (novembre)
BSS001FDJH_JUMELLES_JUR_UG6	9	30.59		36.42	-	5.83	-		Série trop court		pas de débits disponibles en aval	2015, 2019, 2020	OUI
BSS001FEJP_NEUILLE_ST_UG6	19	44.71	04/09/2019	47.24	46.9	2.53	2.16	20 mois	Comportement mixte (Cycle de 6 à 7 ans dominant, également cycle 3 ans et annuel visibles)	Tendance à la baisse - 2.5 m	pas de débits disponibles en aval		OUI (septembre)
BSS001FELS_NEUILLE_CENO_UG6	7	29.51		35.35	-	5.84	-		Série trop court		pas de débits disponibles en aval	2018, 2019	OUI
BSS001HKYR_VIVY_CENO_UG6	13	18.23	06/07/2011	27.65	24.82	9.42	5.21	1 mois	Comportement annuel	NON	pas de débits disponibles en aval	2011, 2015, 2016, 2019, 2020	OUI
BSS001HKZE_VIVY_ALLU_UG6	13	26.64	01/12/2011	29.11	27.81	2.47	1.12	à deux mois	Comportement surtout annuel (Cycle de 3 ans également visibles (Puiss. faible < 0.1))	NON	pas de débits disponibles en aval	2010, 2011, 2017, 2019	OUI
BSS004CXWT_SMBAA1_CENO_UG6	11	31.61	15/10/2019	33.62	32.21	2.01	0.6	1-2 mois	Comportement surtout annuel (3 ans visibles (Puiss.s =0.1))	NON	pas de débits disponibles en aval	2017,2019	NON
BSS004CXY5_SMBAA102_ALL_UG6	9	24.59		26.6	-	2.01	-		Série trop court		pas de débits disponibles en aval	2018, 2019	OUI (octobre)
BSS004CYJU_SMBAA91_ST_UG6	8	53.22		54.6	-	1.38	-		Série trop court		pas de débits disponibles en aval	2018, 2019, 2020	OUI (aout)
BSS001FFLW_VERNOIL_ST_UG7	11	59.12	29/09/2012	60.61	59.9	1.49	0.71	2 mois	Comportement surtout annuel (Cycle de 3 ans visibles (Puiss.= 0.12))		décalage 36/ corr. Mens 0.63 (Corr. Journ. 0.53)	2012, 2017, 2018, 2019	NON
BSS001FFLX_VERNOIL_CENO_UG7	13	39.08	05/07/2011	46.7	45.16	7.62	4.4	1-2 mois	Comportement surtout annuel (Cycle de 5 ans visibles (Puiss.s 0.12), INFLUENCE)	NON sauf si prv	relation peu évidente	2011, 2015, 2016, 2019, 2020	OUI (aout et septembre minimum)
BSS001FESJ_NOYANT_ST_UG7	15	73.38	10/07/2011	78.65	76.1	5.27	2.31	1-2 mois	Comportement surtout annuel (Cycle de 3 ans visibles (Puiss.s 0.12))	NON	pas de débits disponibles à proximité	2009, 2010, 2011, 2018, 2017, 2019	OUI (aout et septembre minimum)
BSS004CFYN_SMBAA9_CENO_UG7	11	38.85	04/10/2019	41.47	40.69	2.62	1.3	1 mois	Comportement surtout annuel (également 3 ans visibles (Puiss.s =0.1))	NON	pas de débits disponibles à proximité	2015, 2016, 2019	probablement (aout à novembre)
BSS001FFJM_SMBAA13_CENO_UG7	11	43.42	23/12/2017	45.05	44.11	1.63	0.68	3 mois	Comportement mixte (Cycle de 3 ans dominant et cycle annule (Puiss.s=0.25)) Proche du comportement de VERNIL ST I Pourtant CENO	NON	trop peu de données piézo encore	2012, 2013, 2017, 2019	NON
BSS004CXF_SMBAA20_ST_UG7	11	52.70	01/09/2012	54.68	53.56	1.98	0.47	1 mois	Comportement surtout annuel (3 ans visibles (Puiss.s =0.15)) Proche du comportement de NOYANT ST	pas assez de mesures, peut être	trop peu de données piézo encore	2012, 2013, 2014, 2019	probablement (septembre)
BSS004CXYG_SMBAA55_ST_UG7	11 (5 manq.)	65.61	#N/A	67.425	66.73	1.815	0.89	3 mois	Comportement mixte (Cycle annuel et de 3 ans dominant (Puiss.s des deux=0.25)) Proche du comportement de VERNIL ST	NON	trop peu de données piézo encore	2012, 2019, 2022	NON
BSS004CYSI_SMBAA24_EOC_UG8	11	52.70	#N/A	54.68	84.02	1.98	0.47	2 mois	Comportement surtout annuel (2 et 4 ans visibles (Puiss.s faibles=0.1))		relation peu évidente	2017,2019,2021	Comportements minimales influencés? Apport cours d'eau vers nappe en cas du niveau 83.5-83.6 m NN
BSS001FEWY_LESSAY_ST_UG8	30	76.38	23/09/2019	81.37	77.25	4.12	3.15	2 mois	Comportement mixte (Cycle annuel dominant, également cycle de 14 et de 7 ans visible (> 0.1))	NON	décalage -11j/ corr. Mens 0.67 (Corr. Journ. 0.6)	1994, 2005, 2006, 2009, 2011, 2017, 2019	OUI (septembre, octobre)
BSS001HLXE_AEP_LAFONTAINE_ST_UG9	9	38.95		40.29	-	1.34	-		Série trop court		pas de débits disponibles en aval	2015, 2017, 2019	OUI (aout)
BSS004CXYI_SMBAA58_ST_UG10	11 (5 manq.)	65.42	#N/A	67.18	66.37	1.76	0.72	2 à 3 mois	Comportement mixte (Cycle annuel et de 3 ans dominant (Puiss.s des deux=0.25))		décalage -6j/ corr. Mens 0.7 (Corr. Journ. 0.6)	2013, 2017, 2019	NON

Figure 37 : Résultats de l'analyse de la totalité des piézomètres avec ESTHER© : Auto-corrélogramme, périodogramme, tendances, type de fluctuations, années sèches

7.3.2. Recherche de tendances ou de ruptures des piézomètres

Si la série piézométrique le permet (une période de temps suffisamment longue et pas de données manquantes), le test de Mann-Kendall permet de détecter des tendances. Ce test, appliqué à une série temporelle, désigne un changement de la valeur d'une variable, la moyenne mensuelle minimale dans notre cas.

Parmi les 22 chronique analysés, deux ouvrages ont pu être identifiés :

- Le piézomètre BSS001FDDU de Fontaine Milon (Cénomaniens)(cf. Figure 38) témoigne d'une tendance à la hausse de 3 m depuis 2015. Cette remontée de la nappe du Cénomaniens pourrait être liée à une diminution des prélèvements en amont du piézomètre.

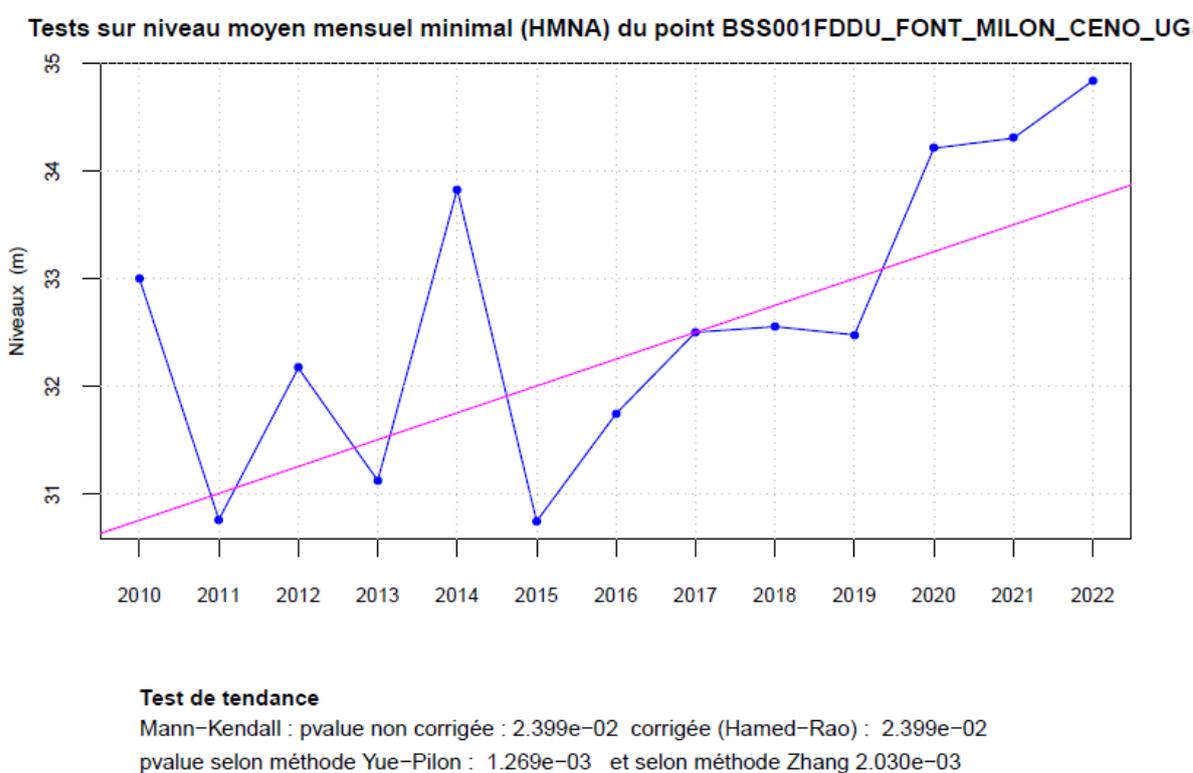


Figure 38 : Résultats de l'analyse de test de tendance (Mann-Kendall) du piézomètre à Fontaine-Milon (Cénomaniens, UG5) : augmentation générale de 3 m depuis 2015

- Le piézomètre BSS001FEJP de Neuillé (Séno-Turonien),(cf. Figure 39) montre une tendance à la baisse de 2 m depuis l'année 2004. Cette baisse de la nappe du Séno-Turonien pourrait être liée à une augmentation des volumes annuels de nombreux prélèvements en aval du point de surveillance dans le Cénomaniens, par drainance à travers les marnes à ostracées. Cette hypothèse sera examinée en détail dans une autre action de la convention BRGM/SMBAA.

Définition d'un réseau piézométrique de référence et contribution à la mise en place de seuils de gestion dans le bassin versant de l'Authion

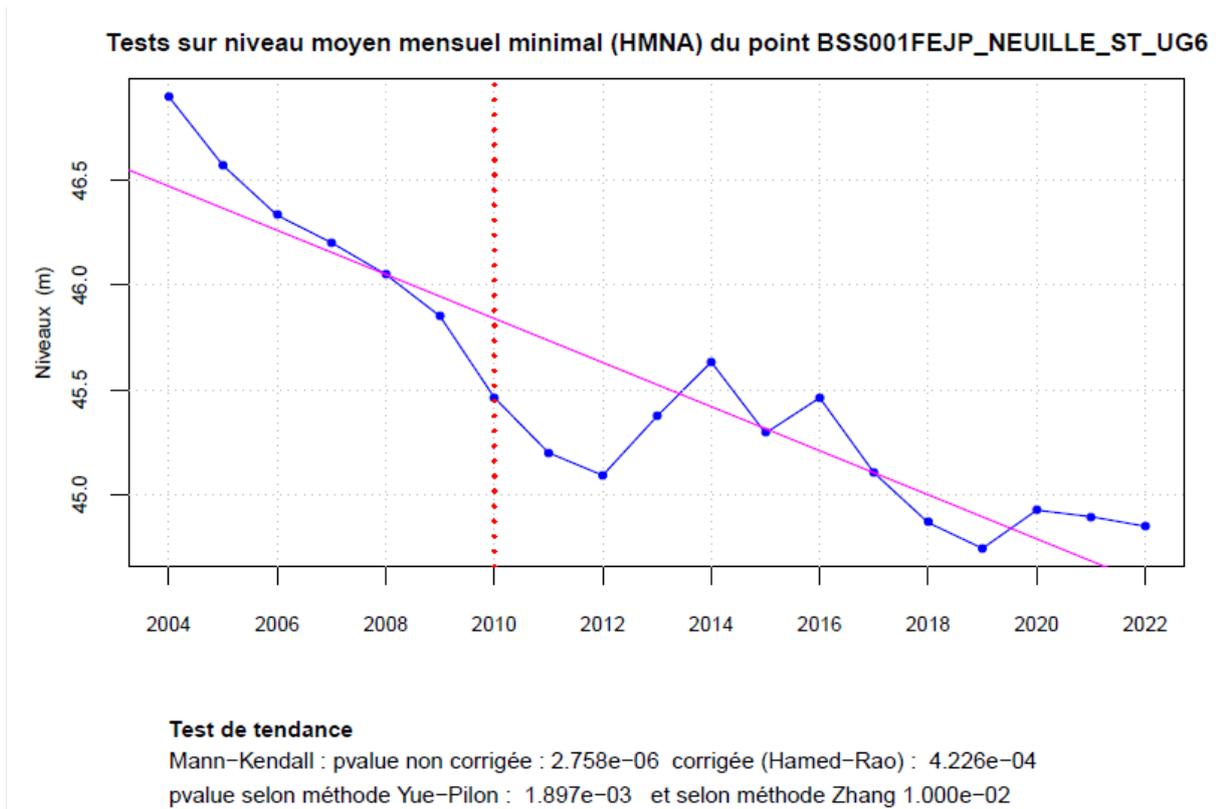


Figure 39 : Résultats de l'analyse de test de tendance (Mann-Kendall) du piézomètre à Neuillé (Séno-Turonien, UG6) : baisse générale de 2 m depuis l'année 2004 et changement de comportement à partir de 2010 (trait pointillé rouge)

7.3.3. Corrélogrammes croisés

Des corrélogrammes croisés entre débits et niveaux piézométriques peuvent permettre d'identifier les éventuelles corrélations nappe-rivière (pour les piézomètres avec assez de données et qui disposent à proximité des données hydrométriques).

La Figure 40 présente un cas hors du bassin, qui est un exemple d'un débit de cours d'eau (La Saône) soutenu par la nappe, même en période de très basses eaux (département du Côte d'Or, avec des seuils de débit et seuils piézométriques définis).

Ce cas n'a pas pu être observé dans le bassin de l'Authion. La Figure 41 présente l'exemple de la relation des débits de l'Authion et le Lathan avec la nappe selon les séries piézométriques : Les deux courbes de corrélation montrent que les débits ne sont pas soutenus par la nappe en période d'étiage.

Relation entre le piézomètre 05011X1051/S6 – forage CG21 (Maxilly-Sur-Saône-21) et la station U1420010 – La Saône à Pagny-la-Ville [Lechatelet]

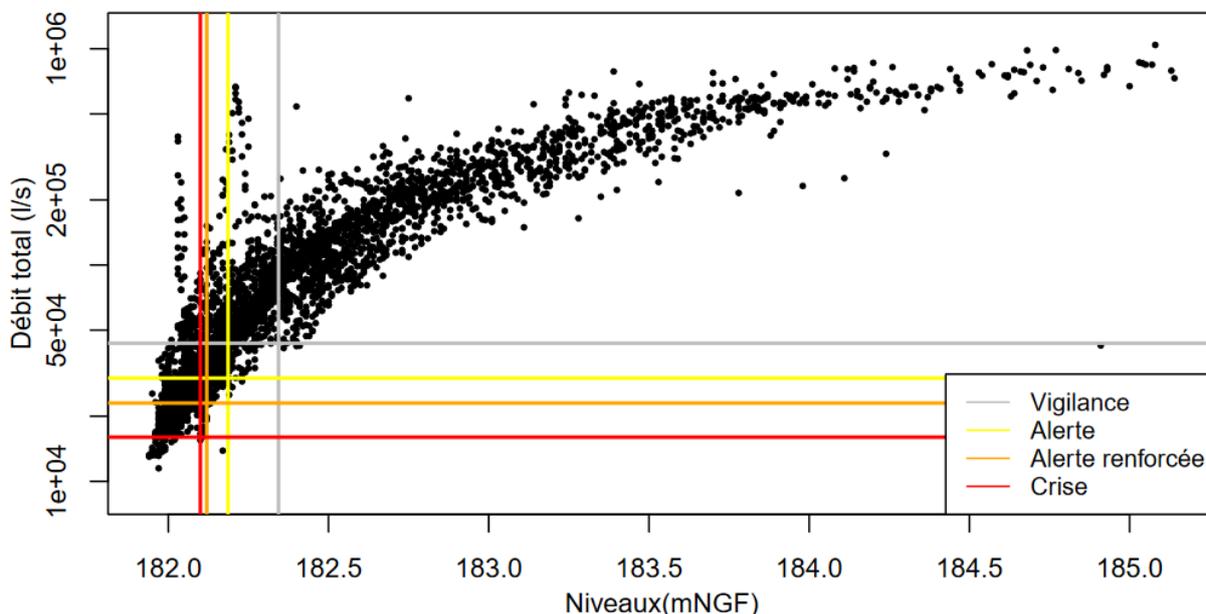


Figure 40 : Exemple d'un débit de cours d'eau, soutenu par la nappe (département du Côte d'Or, avec des seuils de débit et seuils piézométriques définis)

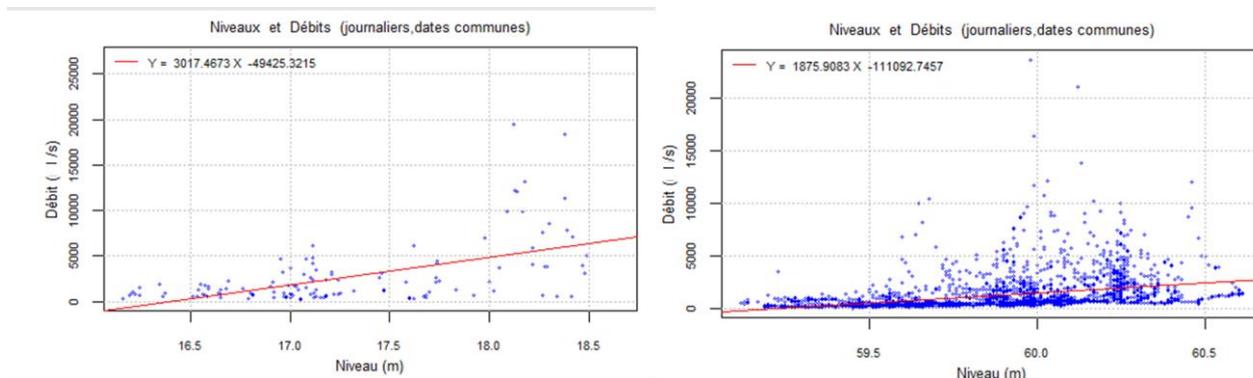


Figure 41 : Exemple de deux débits, non soutenus par la nappe en étiage: à gauche UG1 : Débit de l'Authion à la station de Pt Bourguignon & BSS001FDCQ_SMBAA109; à droite UG7 : débit du Lathan aval à la station du Moulin Guet BSS001FFLW

Des données (des débits ou des hauteurs d'eau) issues de six stations hydrométriques, situées dans cinq des 10 unités de gestions : UG1,5,7,8,10, ont été mobilisées. Ces données ont pu être croisées avec des séries piézométriques de 1 à 4 piézomètres situés dans le même bassin versant, soit un total de 11 points de suivis (cf. Figure 43).

Pour 6 piézomètres (cf. Figure 42, colonne « Relation nappe-rivière », souligné couleur bleu), une corrélation avec le débit a pu être identifiée, avec des débits qui précède les réactions des nappe de 1 à 2 mois. Ainsi, la situation de la nappe, en hautes eaux et basses eaux, ne permet pas de prédire un débit futur lié à une situation distincte entre la nappe et les débits des cours d'eau en aval hydraulique.

Définition d'un réseau piézométrique de référence et contribution à la mise en place de seuils de gestion dans le bassin versant de l'Authion

Nom BE/Hydro	No SMBAA	No BE	type mesure ESU	Dates BE	No_banque Hydro	Dates_Hydro	Station utiliser	Piézométrie correspondante	Corrélogramme maximale positif journalier	Jours décalage débit-piézométrie	Corrélogramme maximale positif mensuel	Décalage débit-piézométrie	Débit de base
Authion - Pt Bourguignon	37	01	Débit	2008-2021	NON		ok	BSS001FDCQ_SMBAA109_CENO_UG1	0.6	44 jours	0.69	2 mois	NON
Authion Le gué de Friène	28	02	Débites Niveau Eau (m)	2009-2021	NON		ok	BSS001FDCQ_SMBAA109_CENO_UG1	< 0.5				
Couasnon - (Gée) à Beaufort-en-Vallée	17		Niveau Eau (m)					BSS001DPYT_PONTIGNE_ST_UG5 BSS001DQAF_PONTIGNE_CENO_UG5 BSS001FDDU_FONT_MILON_CENO_UG5 BSS001FDDV_FONT_MILON_JUR_UG5	0.6 <0.5 0.53 0.78	44 jours 17 24	0.54 < 0.5 0.73	1 mois 1 1 mois	Hauteur de base : 220 mm OUI? OUI?
Lathan aval Moulin Guet	6	33	Débit	2010-2021 2010?-2021 (doute sur 2010/2011) 2013-2021, avec beaucoup de trous (pas utilisable)	L921 0004 01 L911 0006 02	2010-2020 2012-2021	ok	BSS001FFLW_VERNOIL_ST_UG7 BSS001FFLX_VERNOIL_CENO_UG7	0.53 < 0.5	36	0.63	1 mois	NON
Lathan amont Pincemaille	1	36	Débit		NON		ne marche pas, trop de trous	BSS001FEWY_LESSAY_ST_UG8 BSS004CYSI_SMBAA24_ST_UG8	0.58 < 0.5	12	0.71	1 mois	NON
Changeon Moulin Foulon	20	65	Niveau Eau (m)	2010-2020	L900 0007 01	2010-2021	ok	BSS004CXYI_SMBAA58_ST_UG10	0.6	6	0.7	2 mois	Hauteur de base : 50 mm
Le Loir à Seiches-sur-le-Loir	-	Hydro	Niveau Eau (m)		M156 1610	2011-2022	dans le futur, en aval à l'ouest du UG4						

Figure 43 : Résultats de corrélation croisée débits-piézométrie. En jaune, stations hydrométriques mesurant les hauteurs d'eau sans jaugeage de débit.

La corrélation pluie-débit/piézométrie montre que les débits et la piézométrie réagissent aux précipitations avec un temps de réactivité qui diffère de 6 à 44 jours.

L'Authion à Gué en Frêne n'a aucune relation avec la piézométrie.

Pour deux stations (cf. Figure 42), nous ne disposons que des données des hauteurs d'eau en mm. La relation a néanmoins été faite. Il semble que ces deux stations ont une hauteur de base de 220 mm (le Couasnon – Gée à Beaufort-en-Vallée) et de 50 mm (le Changeon au Moulin Foulon). Ces hauteurs minimales peuvent également être liées à un effet de seuil.

Ces résultats montrent que les piézomètres sont peu adaptés pour caractériser la situation des ressources en eau superficielle du bassin de l'Authion.

7.3.4. Conclusion sur les indicateurs validés avec ESTHER©

Sur une première liste choisie de piézomètres suivis par le SMBAA et des réseaux DCE et AEP, on peut retenir les piézomètres suivants comme indicateurs. Ces derniers sont mentionnés dans le tableau ci-dessous (Figure 44) avec le code couleur du texte suivant :

- En **vert**, il s'agit d'une période de temps suffisamment longue et d'une densité de mesures adéquate pour valoriser les données et identifier des comportements des nappes. Ces piézomètres pourraient être considérés comme indicateurs.
- En **orange**, il s'agit des piézomètres qui pourraient potentiellement, si nécessaire, devenir des indicateurs, sous condition de maintien du suivi et automatisation des piézomètres pendant quelques années complémentaires.
- En **rouge**, il s'agit des piézomètres peu adaptés actuellement, pour une ou plusieurs des raisons suivantes :
 - suivi interrompu
 - suivi trop irrégulier
 - ouvrage trop peu profond
 - moins pertinent que d'autres piézomètres proches
 - battement trop faible (discrimination des niveaux statistiques difficiles)

Définition d'un réseau piézométrique de référence et contribution à la mise en place de seuils de gestion dans le bassin versant de l'Authion

Bassin /Unité de Gestion (UG)	Indicateur validé avec ESTHER© (automatisé ou à automatiser)
UG 1 - Val d'Authion aval	109
UG 2 - Val d'Authion moyen	99+DCE
UG 3 - Le Lane et le Changeon aval	04862X0003/FAEP
UG 4 - Les Aulnaies, Etang et Affluents	d'abord suivre les nouveaux points
UG 5 - Le Couasnon et ses affluents	34, 36, 37, 140, 87 si possible 80 et 38 (plus suivi) +Points 6 DCE
UG 6 - Le Lathan aval et ses affluents	1, 91, 101, 102, 108, 146 et 0 +3 PE DCE + 2 PE DCE
UG 7 - Le Lathan moyen et ses affluents	9,20 12,21, 116, 124-129, 132-134, 57+13+55 +3 PE DCE
UG 8 - Le Lathan et ses affluents en amont de Rillé	24, 84+70 + 1 PE DCE
UG 9 - Bassin des Trois Rus	135+67+148 151 + 1 PE AEP
UG 10 - Le Changeon et ses affluents	58

Figure 44 Les piézomètres retenus ou non pour devenir de possibles indicateurs dans le bassin de l'Authion selon l'analyse statistique avec ESTHER©,

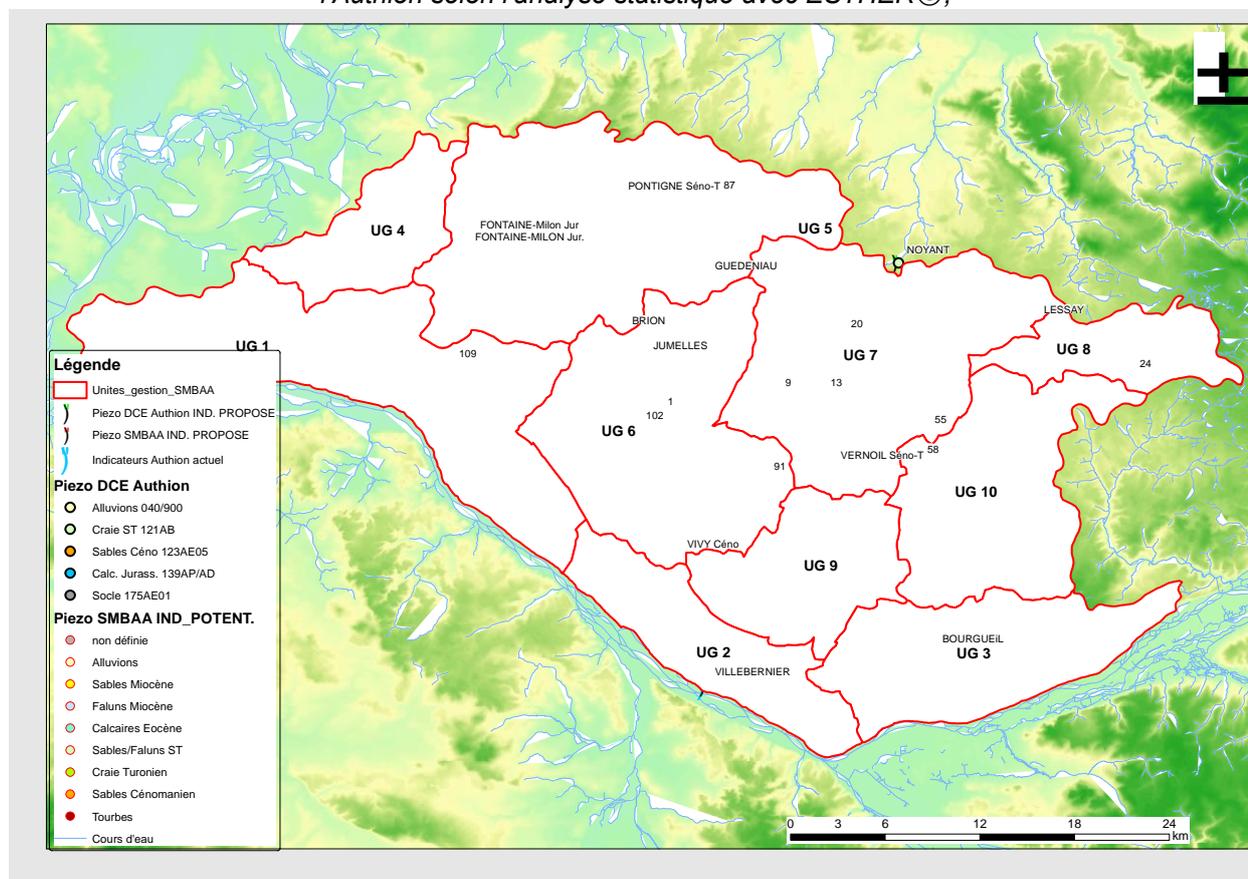


Figure 45 : Carte des piézomètres retenus de futurs indicateurs possibles dans le bassin de l'Authion

En conclusion, nous pouvons proposer une liste de 29 piézomètres à retenir comme indicateurs (Figure 45) ainsi que 12 nouveaux piézomètres qui pourraient compléter cette liste, à partir de points d'eau existants ou à créer (cf. Figure 46).

UG	ID_BSS	Code_BSS anc.	ID_SMBAA	Réseau	Suivi	Nom_PIEZOMETRE dans ESTHER	Profondeur
UG1	BSS001FDCQ	04552X0080	SMBAA109	SMBAA	à automatiser	BSS001FDCQ_SMBAA109_CENO_UG1	35.7 à vérifier (ds base : 2m)
UG2	BSS001HKXQ	04854X0257/PZ		RESEAU DCE	Automatisé	BSS001HKXQ_VILLEBERNIER_ALLU_UG2	18
UG3	BSS001HMAP	04862X0003/FAEP		RESEAU DCE / ex Réseau CG49	Automatisé	BSS001HMAP_BOURGUEIL_CENO_UG3	40
UG3	BSSxxx			Point 1 à créer ds Séno-Turon.	à automatiser	BSSxxx_xxx_ST_UG3	25-35
UG3	BSSxxx			Point 2 à créer ds Alluvions	à automatiser	BSSxxx_xxx_ALL_UG3	2-5
UG4	BSSxxx			Point 3a à créer ds Séno-Turon.	à automatiser	BSSxxx_xxx_ST_UG4	5-20
UG4	BSSxxx			Point 3b à créer ds Cénomaniér	à automatiser	BSSxxx_xxx_CENO_UG4	7-14
UG4	BSSxxx			Point 3c à créer ds Cénomaniér	à automatiser	BSSxxx_xxx_CENO_UG4	7-20
UG5	BSS001DPYT	04248X0022/F		RESEAU DCE	Automatisé	BSS001DPYT_PONTIGNE_ST_UG5	61
UG5	BSS001DQAF	04248X0058/F		RESEAU DCE	Automatisé	BSS001DQAF_PONTIGNE_CENO_UG5	115
UG5	BSS001FDDU	04552X0110/PZ		RESEAU DCE	Automatisé	BSS001FDDU_FONT_MILON_CENO_UG5	70
UG5	BSS001FDDV	04552X0111/PZ2		RESEAU DCE / ex Réseau CG49	Automatisé	BSS001FDDV_FONT_MILON_JUR_UG5	93.5
UG5	BSS001FDFU	04553X0023/F		RESEAU DCE	Automatisé	BSS001FDFU_BRION_CENO_UG5	15.2
UG5	BSS001FDJD	04554X0026/PZ		RESEAU DCE	Automatisé	BSS001FDJD_GUEDENIAU_ST_UG5	29.5
UG5	BSS004CYJT		SMBAA87	SMBAA	Automatisé	BSS004CYJT_SMBAA87_EOC_UG5	7.6
UG5	BSSxxx			Point 4 à créer ds Cénomaniér	à automatiser	BSSxxx_xxx_CENO_UG5	35-40
UG5	BSSxxx			Point 5 à créer ds Cénomaniér	à automatiser	BSSxxx_xxx_CENO_UG5	25-35
UG6	BSS001FDJH	04554X0030/PZ		RESEAU DCE / ex Réseau CG49	Automatisé	BSS001FDJH_JUMELLES_JUR_UG6	67.5
UG6	BSS001FEJP	04558X0072/AEP		RESEAU DCE	Automatisé	BSS001FEJP_NEUILLE_ST_UG6	31
UG6	BSS001FELS	04558X0125/F		RESEAU DCE	Automatisé	BSS001FELS_NEUILLE_CENO_UG6	70
UG6	BSS001HKYR	04854X0282/PZ		RESEAU DCE	Automatisé	BSS001HKYR_VIVY_CENO_UG6	47.1
UG6	BSS001HKZE	04854X0296/P		RESEAU DCE	Automatisé	BSS001HKZE_VIVY_ALLU_UG6	6.2
UG6	BSS004CXWT		SMBAA1	SMBAA	à automatiser	BSS004CXWT_SMBAA1_CENO_UG6	5.39
UG6	BSS004CXYS		SMBAA102	SMBAA	à automatiser	BSS004CXYS_SMBAA102_ALL_UG6	8.02
UG6	BSS004CYJU		SMBAA91	SMBAA	à automatiser	BSS004CYJU_SMBAA91_ST_UG6	12.25
UG7	BSS001FFLW	04565X0076/PZ		SAGE+RES. DCE	Automatisé	BSS001FFLW_VERNOIL_ST_UG7	45.5
UG7	BSS001FFLX	04565X0077/PZ1		RESEAU DCE	Automatisé	BSS001FFLX_VERNOIL_CENO_UG7	53
UG7	BSS001FESJ	04562X0074/PZ		RESEAU DCE	Automatisé	BSS001FESJ_NOYANT_ST_UG7	32
UG7	BSS004CYFN		SMBAA9	SMBAA	suivi régulier	BSS004CYFN_SMBAA9_CENO_UG7	5.8
UG7	BSS001FFJIM		SMBAA13	SMBAA	à automatiser	BSS001FFJIM_SMBAA13_CENO_UG7	6.9
UG7	BSS004CXXF		SMBAA20	SMBAA	à automatiser	BSS004CXXF_SMBAA20_ST_UG7	2.13 à vérifier
UG7	BSS004CXYG		SMBAA55	SMBAA	à automatiser	BSS004CXYG_SMBAA55_ST_UG7	5.87
UG8	BSS004CYSJ		SMBAA24	SMBAA	automatisé	BSS004CYSJ_SMBAA24_EOC_UG8	2.07
UG8	BSS001FEWY	04563X0105/F		RESEAU DCE	Automatisé	BSS001FEWY_LESSAY_ST_UG8	102
UG9	BSS001HLXE	04861X0557/P3		RESEAU AEP49	Automatisé	BSS001HLXE_AEP_LAFONTAINE_ST_UG9	17
UG9	BSSxxx			Point 6 à créer ds Séno-Turonier	à automatiser	BSSxxx_xxx_ST_UG9	6-17
UG9	BSSxxx			Point 7 à créer ds Cénomaniér	à automatiser	BSSxxx_xxx_ST_UG9	6-30
UG9	BSSxxx			Point 8 à créer ds Cénomaniér	à automatiser	BSSxxx_xxx_ST_UG9	4-20
UG10	BSS004CXJY		SMBAA58	SMBAA	à automatiser	BSS004CXJY_SMBAA58_ST_UG10	14
UG9	BSSxxx			Point 9 à créer ds Eocène	à automatiser	BSSxxx_xxx_EOC_UG10	> 4
UG9	BSSxxx			Point 10 à créer ds Cénomaniér	à automatiser	BSSxxx_xxx_ST_UG10	65-10

Figure 46 : La liste des piézomètres retenus de futurs indicateurs possibles dans le bassin de l'Authion et points à créer selon l'analyse faite avec ESTHER©.

7.4. CHOIX DU MATERIEL SCIENTIFIQUE POUR L'EQUIPEMENT DES PIEZOMETRES

Nous recommandons que les ouvrages sélectionnés pour bâtir le réseau de suivi piézométrique du bassin versant de l'Authion soient équipés avec le matériel suivant :

- Sonde immergée de mesure de la hauteur de colonne d'eau avec compensation barométrique (compensation de la pression atmosphérique) ;
- Enregistreur de données à fréquence horaire (le maximum journalier sera conservé pour la bancarisation des données) ;
- Dispositif de télétransmission des données.

La longueur du câble est fonction de la profondeur de l'ouvrage et de la position de la sonde dans l'ouvrage. Pour éviter à la fois les situations de dénoyage (en période de basses eaux et en lien avec le battement de la nappe) et d'enlèvement de la sonde, nous préconisons de placer celle-ci à 2 m du fond de l'ouvrage.

Les sondes se caractérisent par une gamme de validité qui doit être choisie en fonction du battement de nappe maximal attendu :

- pour un battement de nappe compris entre 0 et 10 m, sonde de pression de sensibilité 0-1 bar ;
- pour un battement de nappe compris entre 0 et 20 m, sonde de pression 0-2 bar.

8. Conclusions et perspectives

Suite à la première analyse des chroniques piézométriques, une trentaine de points a été étudiée avec l'outil ESTHER© développé par le BRGM, permettant de mieux connaître les comportements des nappes et leurs liens éventuels avec les cours d'eau.

Au 1^{er} septembre 2022, 22 piézomètres avaient une chronique assez longue (supérieure à 10 ans) pour les calculs statistiques. 9 piézomètres ont un comportement mixte avec une inertie de 6/7 et 3 ans. Il s'agit de 7 piézomètres de la nappe de Craie du Séno-Turonien et de 2 piézomètres ancrés dans les sables du Cénomaniens. Les autres piézomètres ont une variation surtout annuelle et ne montrent qu'une mémoire de quelques mois.

Lorsque la longueur des chroniques piézométriques le permet, notre analyse statistique propose des niveaux piézométriques moyens mensuels de période de retour 5 ans, 10 ans et 20 ans sec. Pour 15 piézomètres avec une période de surveillance atteignant 10 ans, les périodes de retour de 10 ans sont calculées mais doivent être considérées avec vigilance. Elles devront faire l'objet d'une mise à jour dans les cinq ans à venir. Des niveaux piézométriques moyens mensuels de période de retour 20 ans sec sont proposés pour deux piézomètres dont les chroniques atteignent 30 ans Lessay (BSS001FEWY, craie séno-turonienne de l'UG8) et Bourgueil (BSS001HMAP, sables cénomaniens de l'UG3).

En plus d'une vingtaine d'ouvrages déjà équipés par le SMBAA depuis 2 à 3 ans, une surveillance renforcée est proposée par le BRGM. Des piézomètres (une vingtaine) ont été sélectionnés selon différents critères pour être automatisés avec un équipement adéquat. L'automatisation de ces piézomètres complémentaires accroîtra la connaissance et la compréhension du comportement des nappes dans le bassin de l'Authion.

La création de 12 à 13 nouveaux piézomètres complémentaires (ou l'intégration d'anciens points d'eau existants) complètera le réseau du SMBAA. Elle assurera une meilleure surveillance dans les zones sensibles aux assèchs des cours d'eau, et dans les zones où l'exploitation des eaux souterraines par les captages est la plus forte.

Dans le futur, le réseau de surveillance du SMBAA renforcé avec 40 piézomètres équipés d'enregistreurs automatiques bénéficiera d'une période de suivi assez longue pour proposer des indicateurs piézométriques complémentaires.

Annexe 1

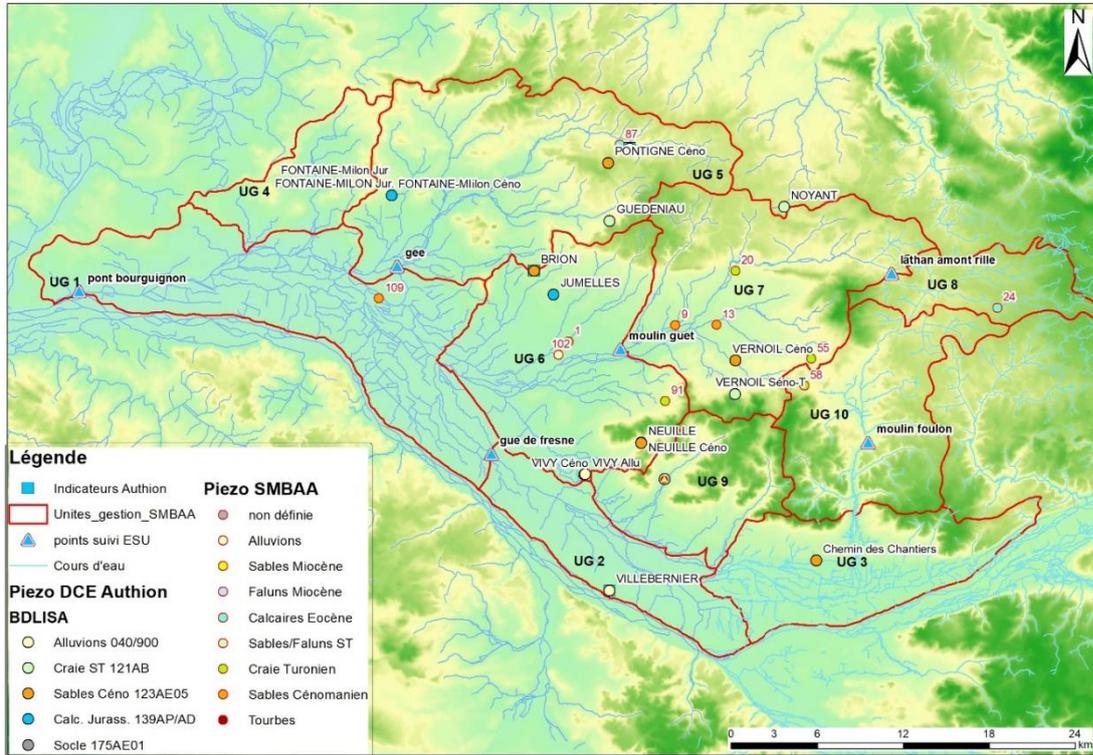
Tableau Unités Gestion - Piézomètres

Bassin/Unité de Gestion (UG)	990/0404B35 (Alluvions)	104C (Sables du Miocène)	113 (Lacustre de l'Éocène)	121AB (Craie SENO-Tur.)	123AE05 (Sables du Cénom.)	139AP14 (Calcaires du Jurass.)	Nombre piézomètres DCE/réseau SMBAA	A créer points	Piézomètres existants à automatiser	suivi arrêté récemment	Nombre piézom. complém. suivi SMBAA (exploitable)	Indicateur validé avec Esther (automatisé ou à automatiser)	Points qui pourraient être abandonnés
UG 1 - Val d'Authion aval					2 SMBAA		0/2		2		2 AQUI CÉNO (109+142) suivi régulier	109	0
UG 2 - Val d'Authion moyen	1 IND + 1 SMBAA						1/1		1		1 Cénom sous Alluvions (89)	99+DCE	0
UG 3 - Le Lane et le Changeon aval	+1				1 SMBAA		1/1	2	1		1 dans Cénomanien (41), réagit comme point DCE dans CÉNO	04862X009/FAEP	41
UG 4 - Les Aulnaies, Etang et Affluents	+1				X		0/0	2-3			aucun suivi	d'abord suivre les nouveaux points	
UG 5 - Le Cousasson et ses affluents					1 IND+2+ 2 SMBAA+2		6/12	4	4	3	12 points dans Éocène, Miocène et Cénomanien	34, 36, 37, 148, 87 si possible 80 et 38 (plus suivi) +Points 6 DCE	trop de points dans le nord, garder le meilleur par aquifère (abond. 86 etc., garder 35 OU 36) 0428X0058/F DCE influencé, point à coté 37 à garder, 138 très influencé (à garder néanmoins?) 139 à sec (à abandonner) 64/65/66 : à terme garder que celui non influencé (à continuer encore le suivi...)
UG 6 - Le Lathan aval et ses affluents	1+1 SMBAA				1 IND+1 2 SMBAA	1	4/12		5-6	1	13 piézomètres SMBAA des 4 aquifères (Alluvions, Craie ST, Sables CÉNO)	1, 91, 101, 102, 108, 148 et 0 +3 PE DCE +2 PE DCE	2,4,7 (doublonnés par d'autres)
UG 7 - Le Lathan moyen et ses affluents	1 SMBAA				1 max IND 5 SMBAA		2/25		1	4	env. 20 exploitables dont 12 automatisés	9,20, 12,21, 116, 124, 129, 132, 134 +57, 134-55 +3 PE DCE	12 déjà automatisés, beaucoup dans le Cénomanien, possible d'enlever certains 122
UG 8 - Le Lathan et ses affluents en amont de Rillé							1/5	1	2	1	5 points, dans calcaires lacustres (Éocène, 1 point) et dans faluns du Miocène (34)	24 84+70 +1 PE DCE	0
UG 9 - Bassin des Trois Rus	1 SMBAA						0/5	3	1	4	5 points, 4 Craie ST, 1 autom. et 1 dans Alluv.	133+67+148 151 +1 PE AEP	123 trop faible profondeur à priori
UG 10 - Le Changeon et ses affluents	1 SMBAA+ 1 SMBAA (tourbes)				+1+ 2 SMBAA		0/4	2	2		4 points dans SENO-Tur. Et dans tourbes		

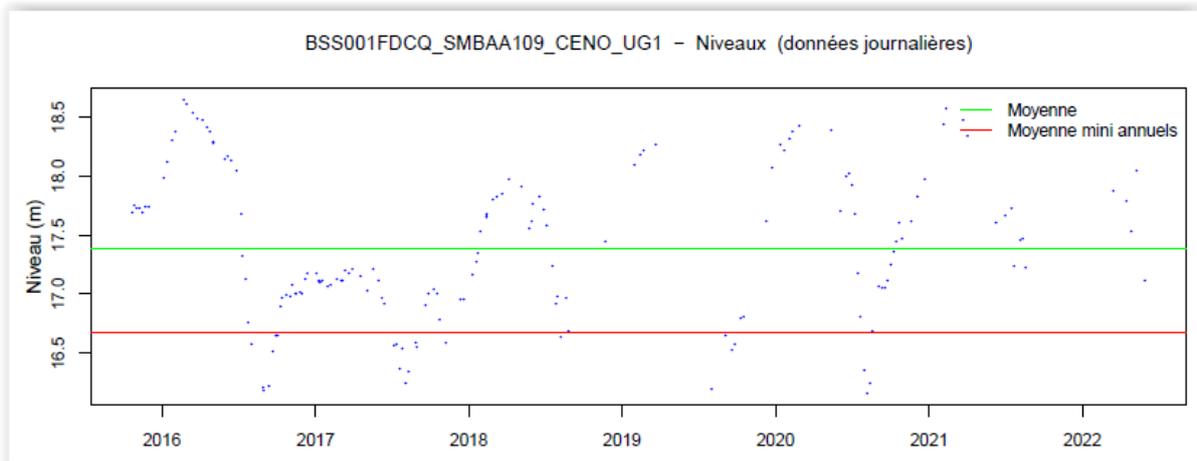
Annexe 2

Résultats des calculs statistiques d'ESTHER[®] (Figures)

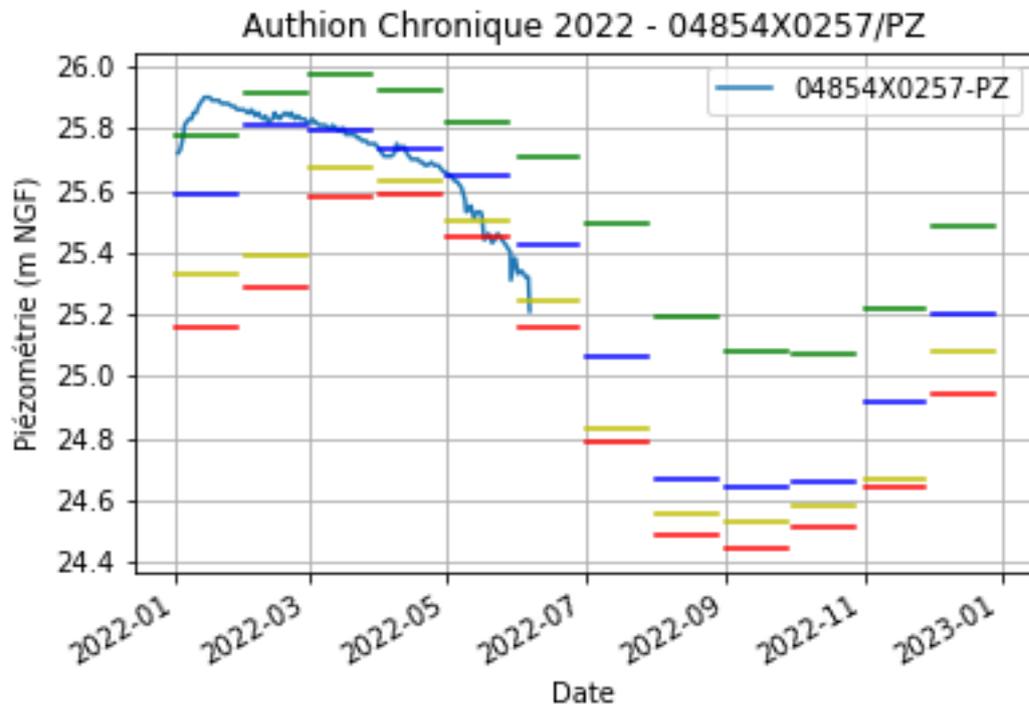
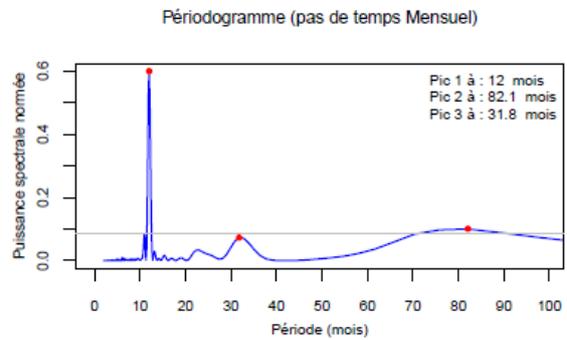
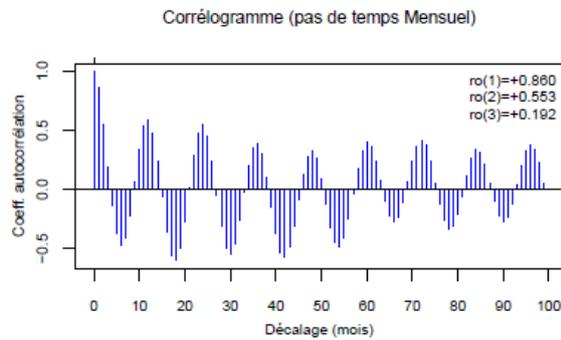
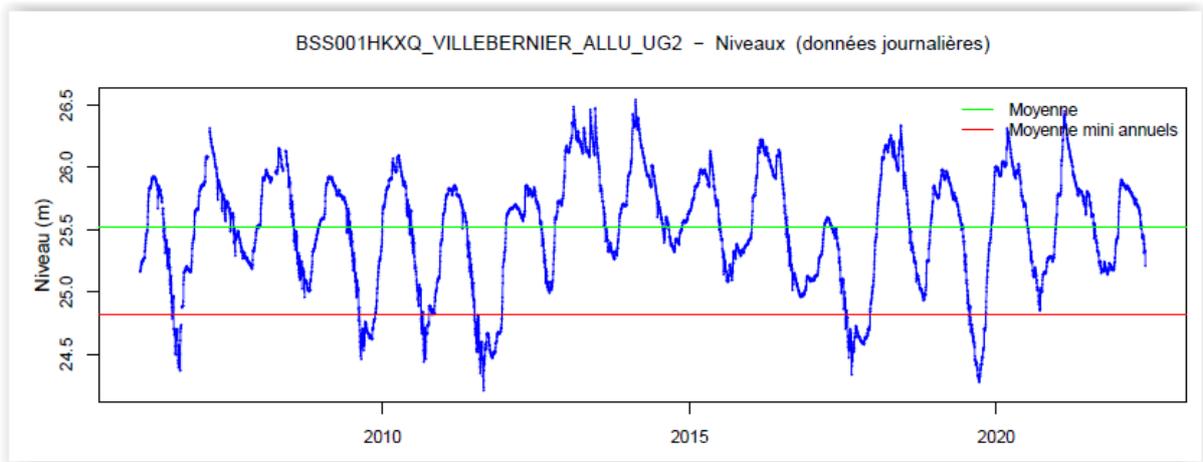
Cartographie des piézomètres analysés avec ESTHER et figures



BSS001FDCQ_SMBAA109_CENO_UG1

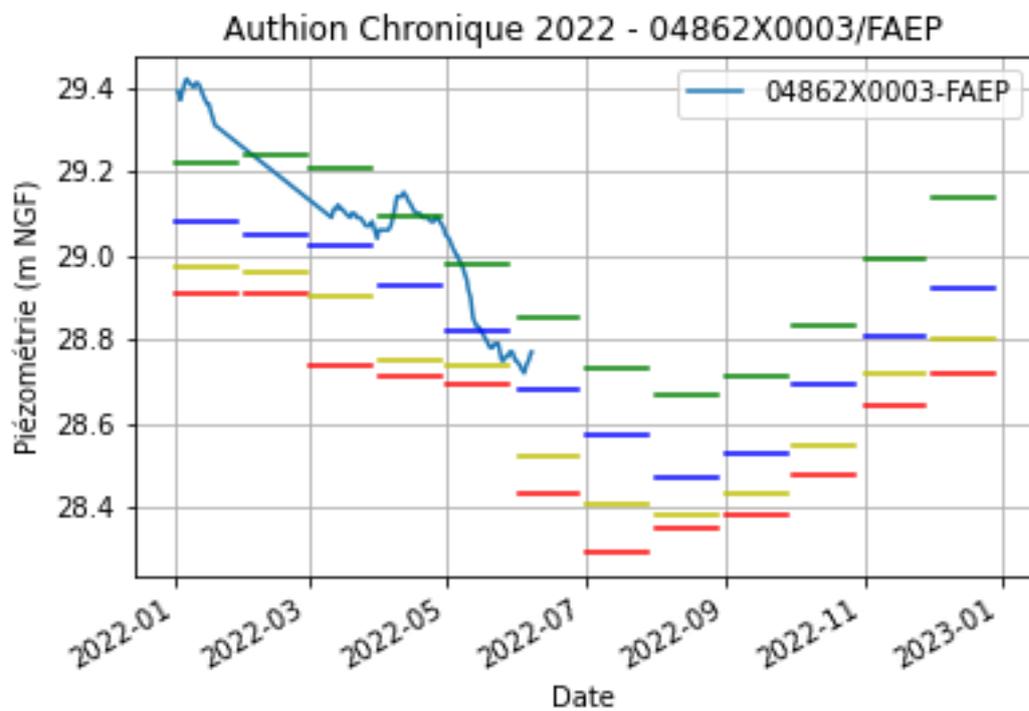
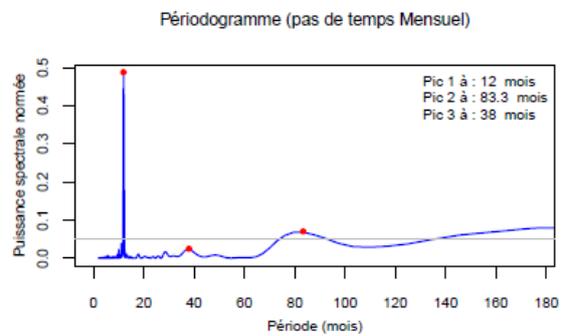
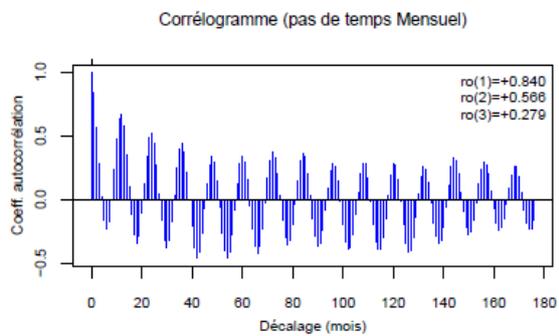
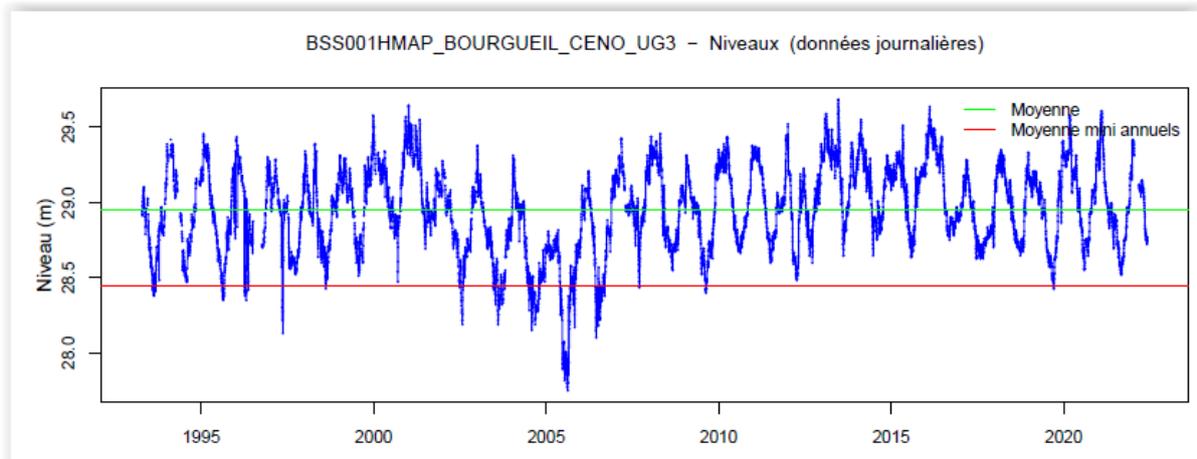


BSS001HKXQ_VILLEBERNIER_ALL_UG2



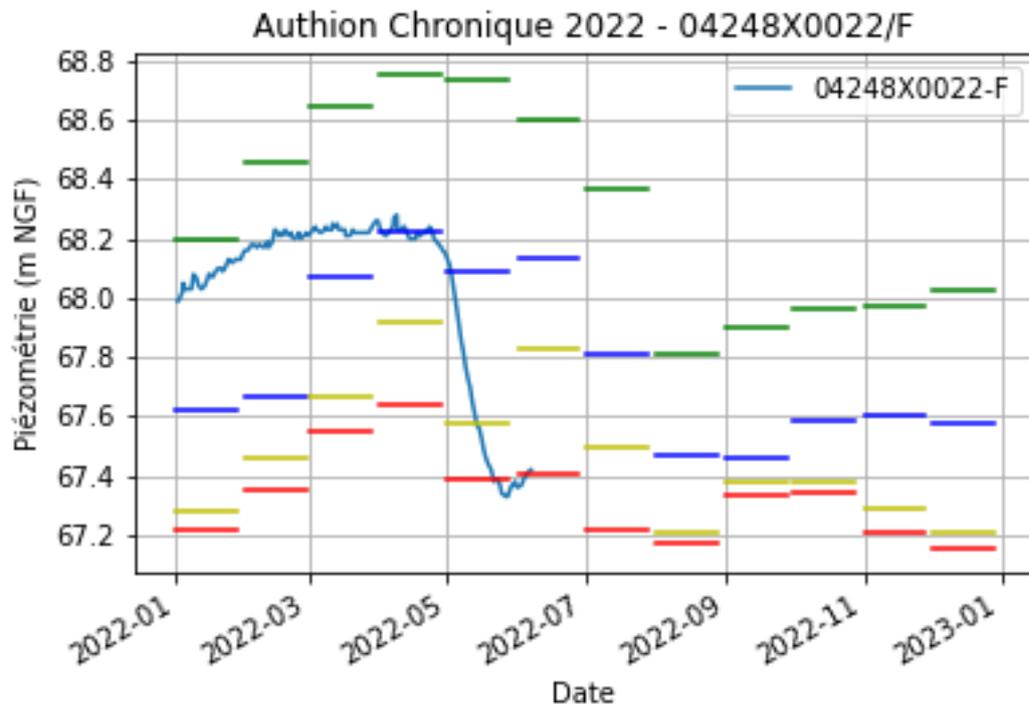
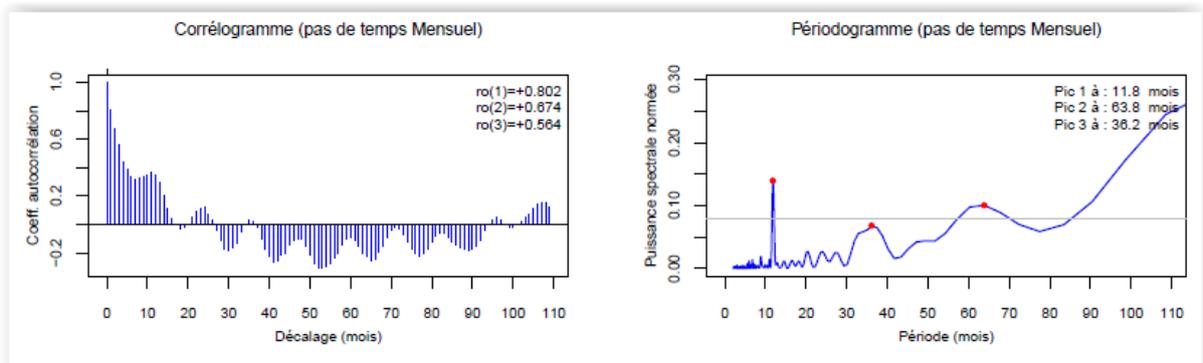
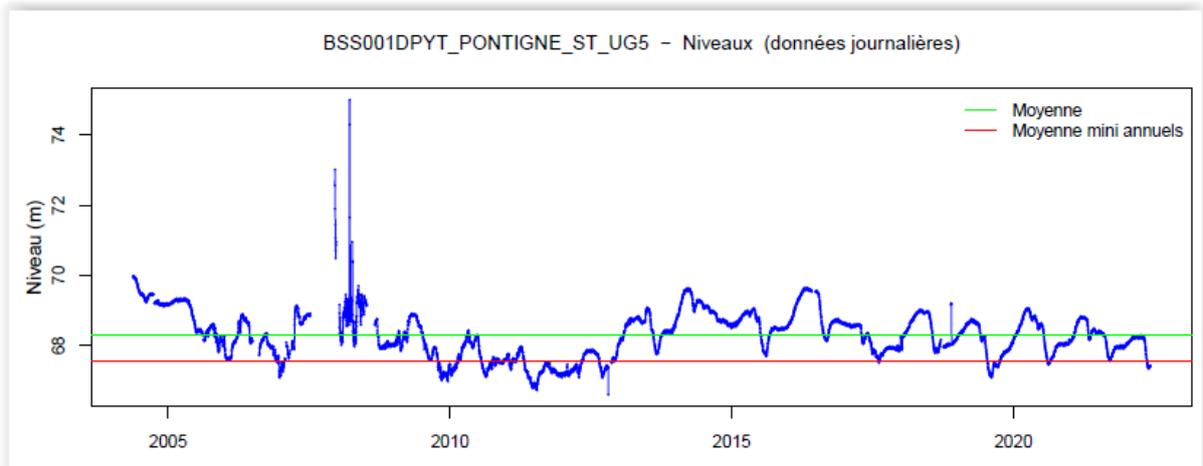
- Fréquence empirique 2 ans sec
- Fréquence empirique 5 ans sec
- Fréquence empirique 10 ans sec
- Fréquence empirique 20 ans sec

BSS001HMAP_BOURGUEIL_CENO_UG3



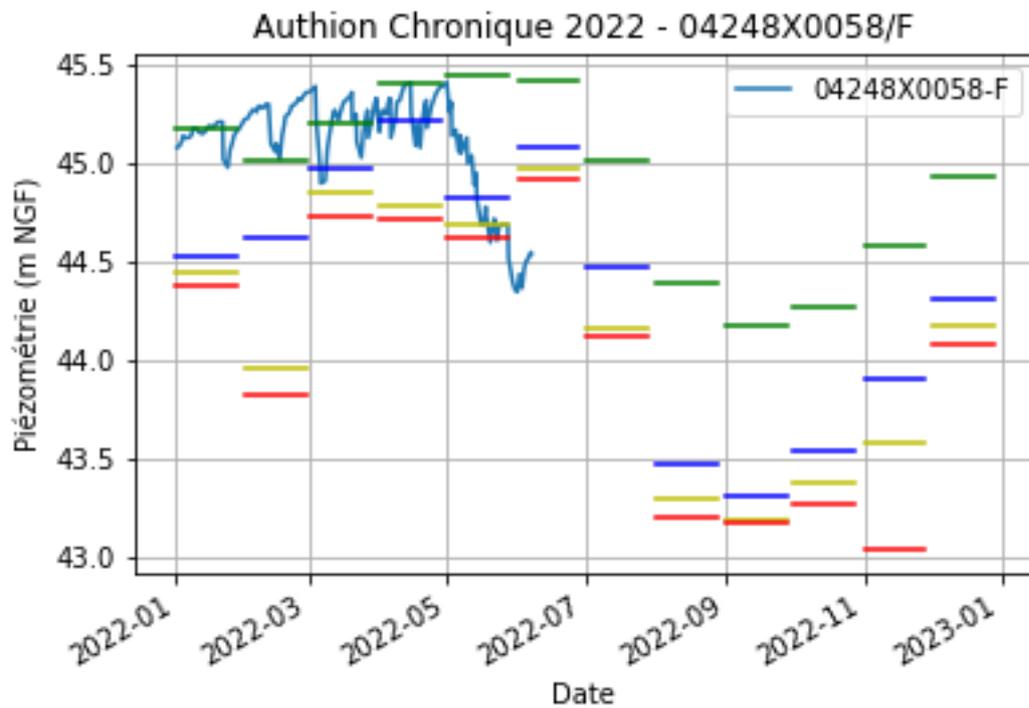
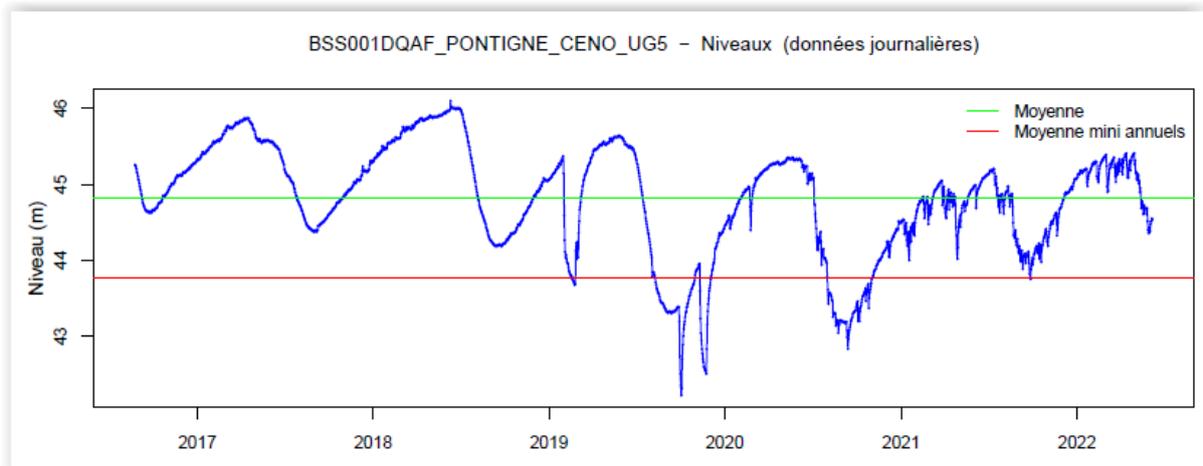
- Fréquence empirique 2 ans sec
- Fréquence empirique 5 ans sec
- Fréquence empirique 10 ans sec
- Fréquence empirique 20 ans sec

BSS001DPYT_PONTIGNE_ST_UG5



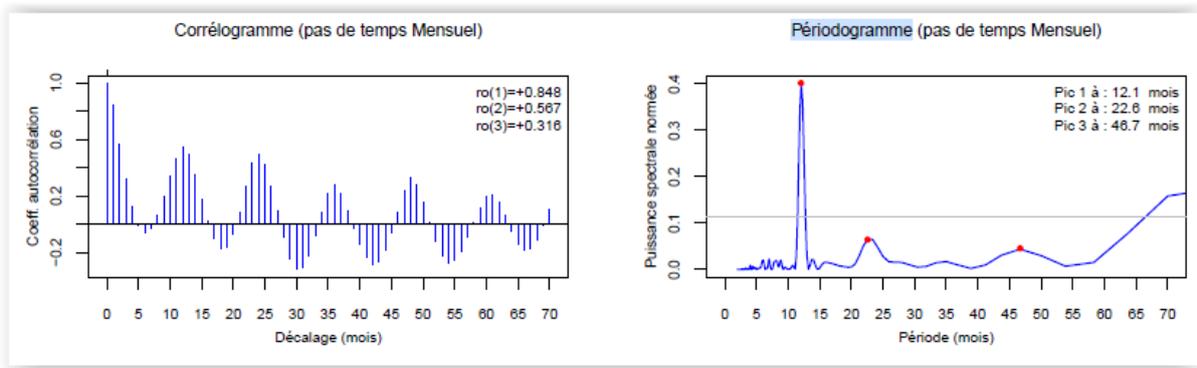
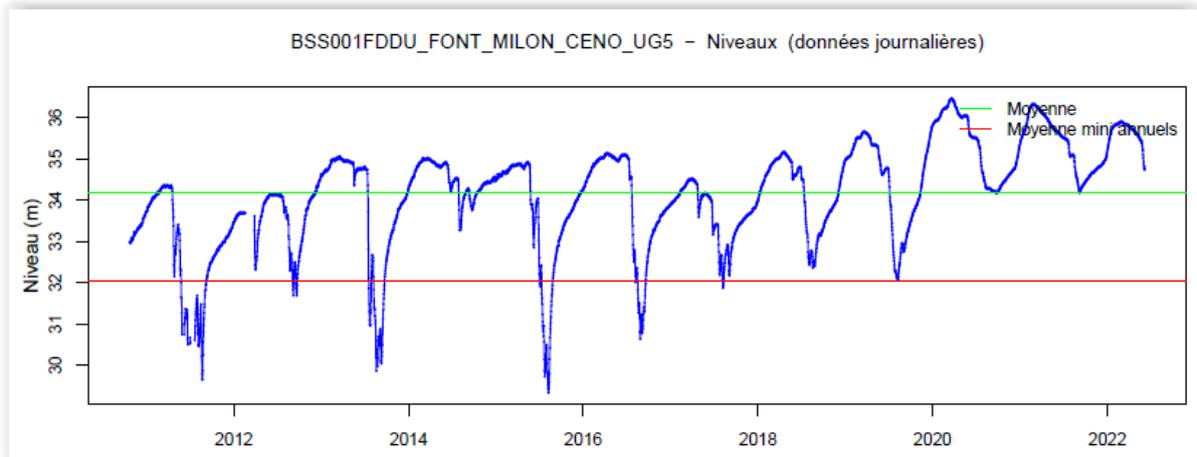
- Fréquence empirique 2 ans sec
- Fréquence empirique 5 ans sec
- Fréquence empirique 10 ans sec
- Fréquence empirique 20 ans sec

BSS001DQAF_PONTIGNE_CENO_UG5

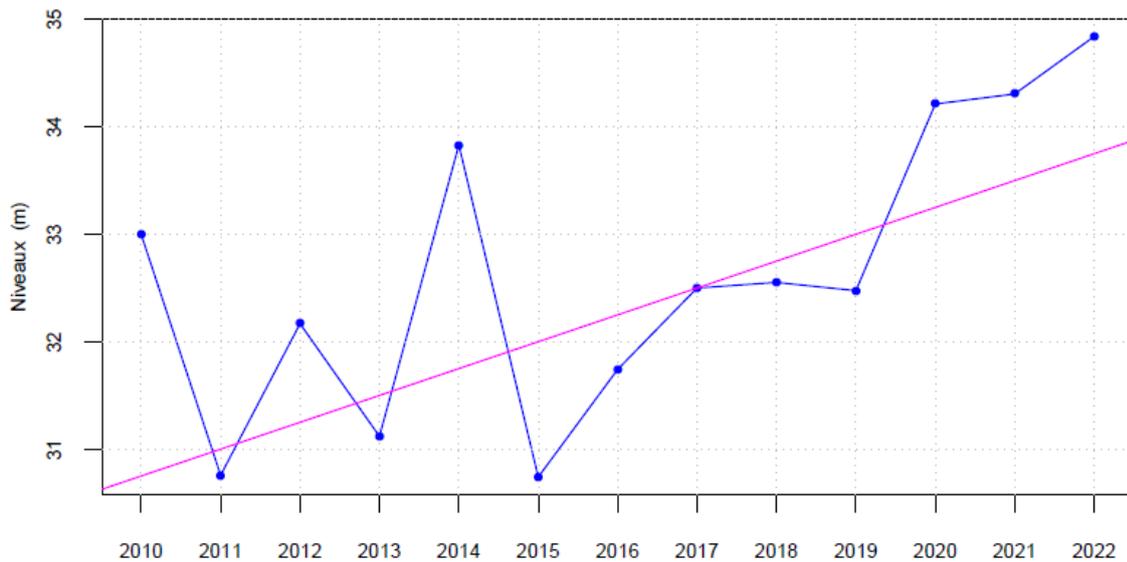


- Fréquence empirique 2 ans sec
- Fréquence empirique 5 ans sec
- Fréquence empirique 10 ans sec
- Fréquence empirique 20 ans sec

BSS001FDDU_FONTAINE_MILON_CENO_UG5



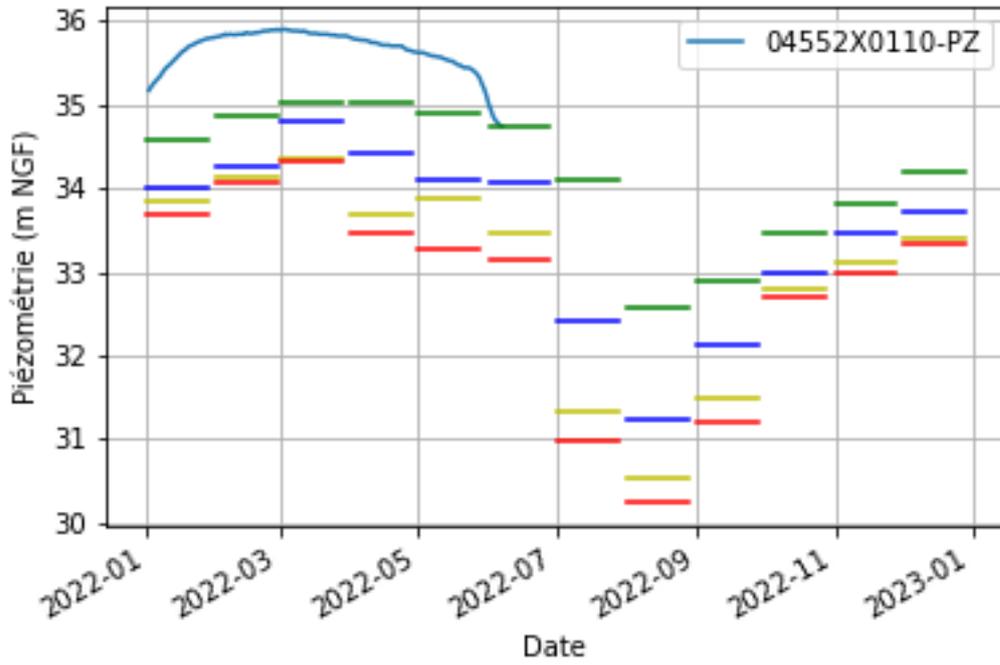
Tests sur niveau moyen mensuel minimal (HMNA) du point BSS001FDDU_FONT_MILON_CENO_UG5



Test de tendance

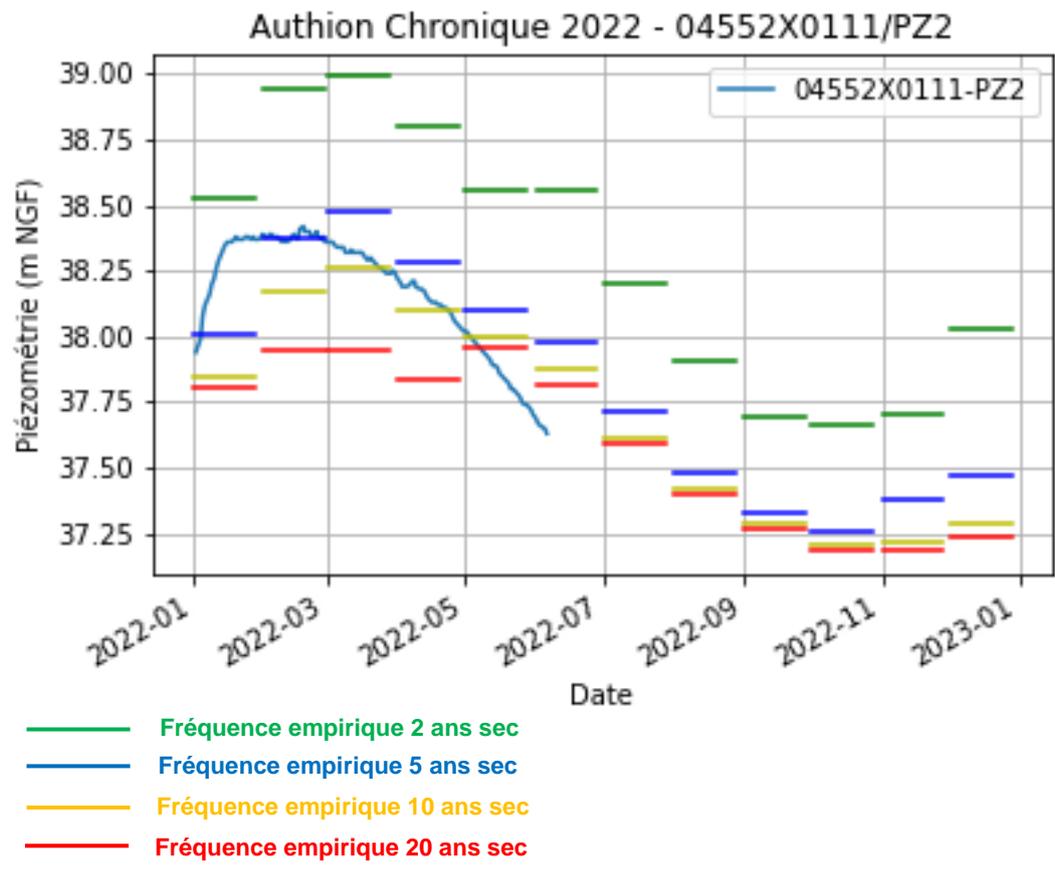
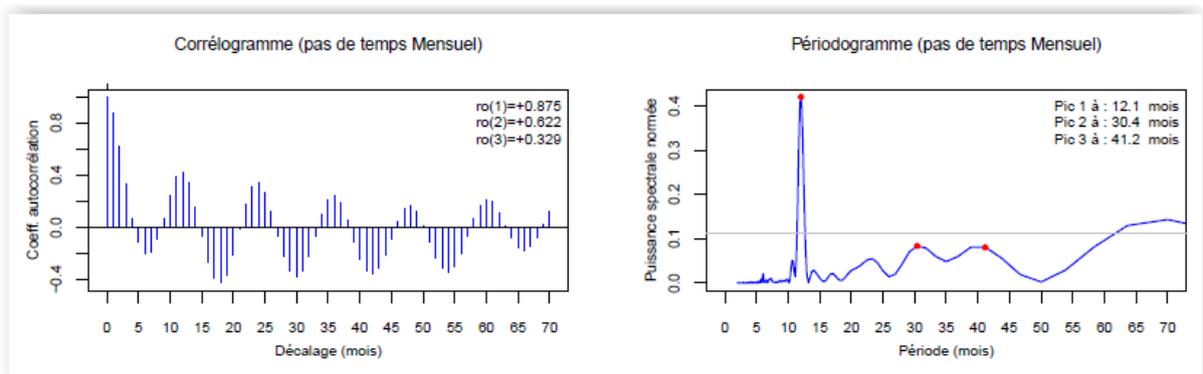
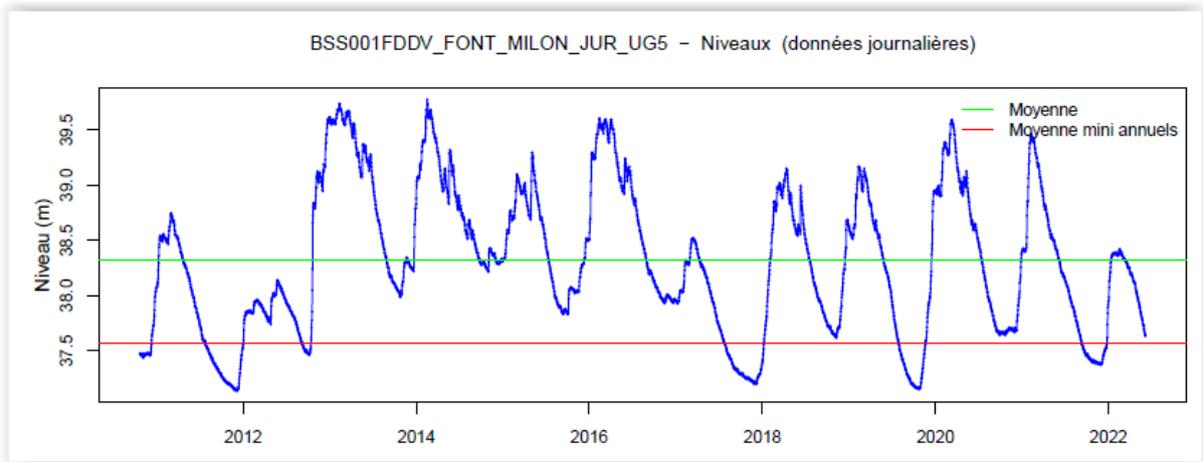
Mann-Kendall : pvalue non corrigée : 2.399e-02 corrigée (Hamed-Rao) : 2.399e-02
pvalue selon méthode Yue-Pilon : 1.269e-03 et selon méthode Zhang 2.030e-03

Authion Chronique 2022 - 04552X0110/PZ

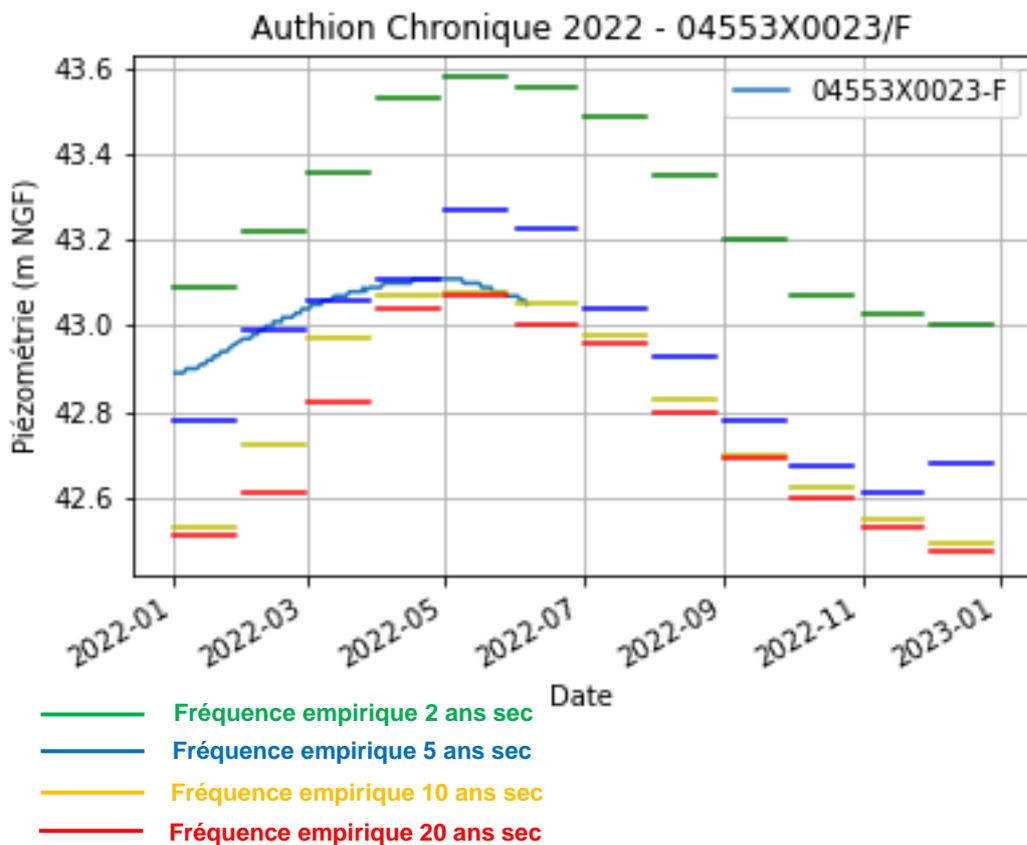
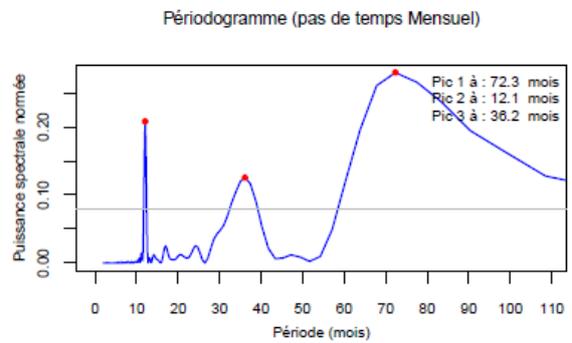
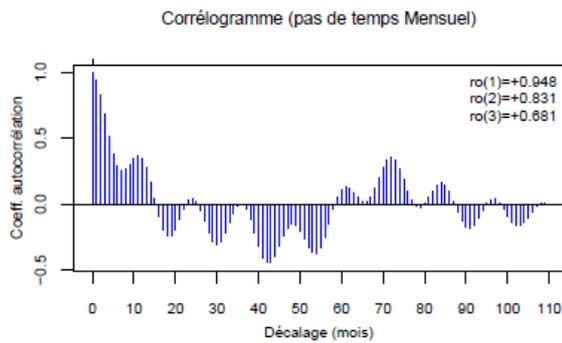
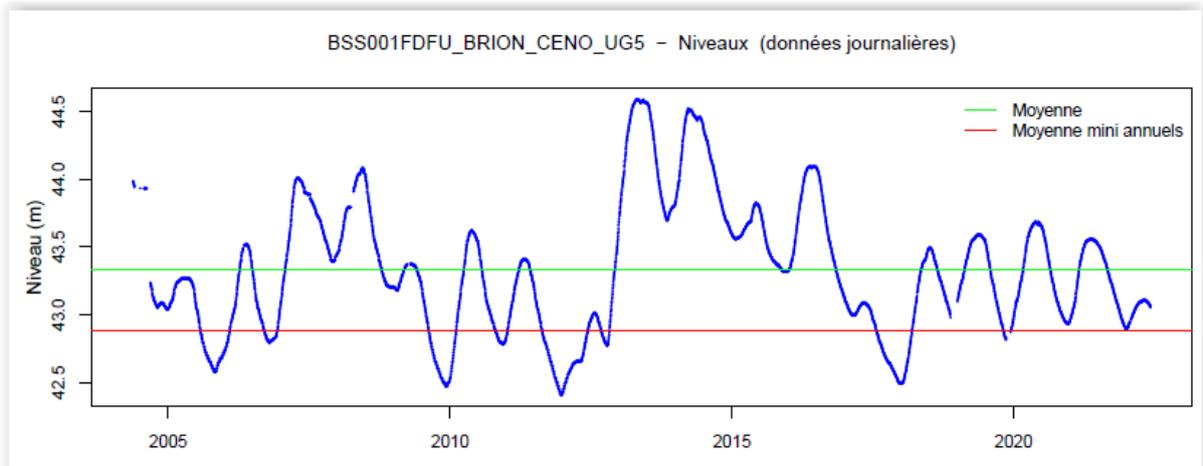


- Fréquence empirique 2 ans sec
- Fréquence empirique 5 ans sec
- Fréquence empirique 10 ans sec
- Fréquence empirique 20 ans sec

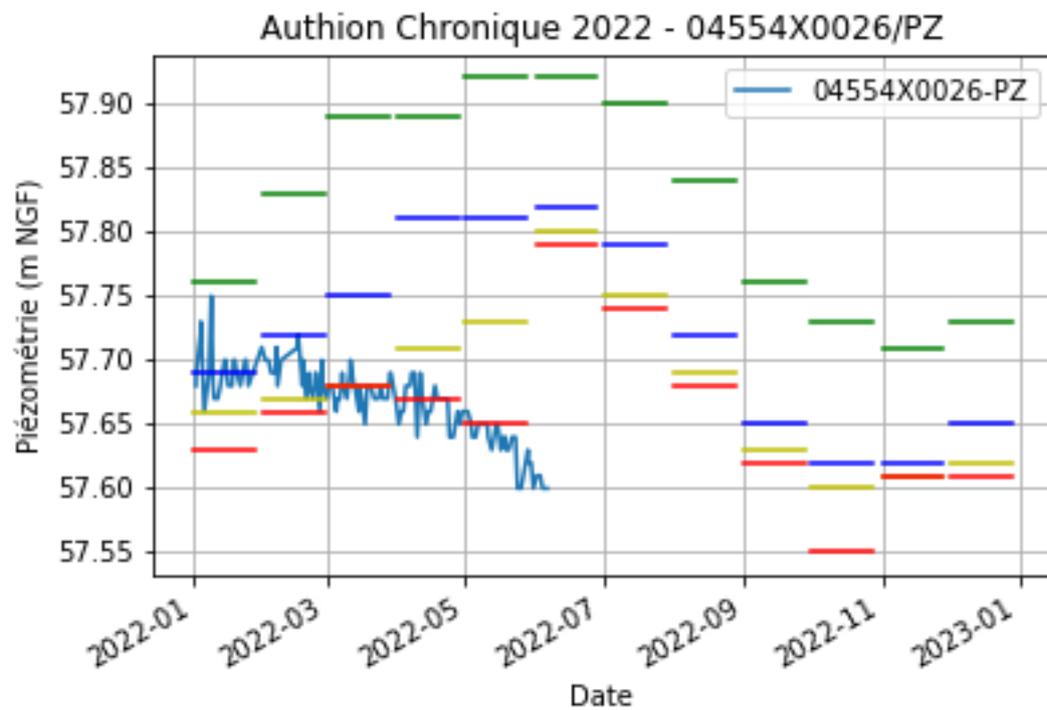
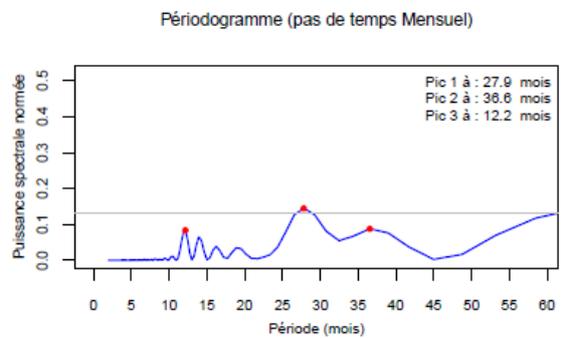
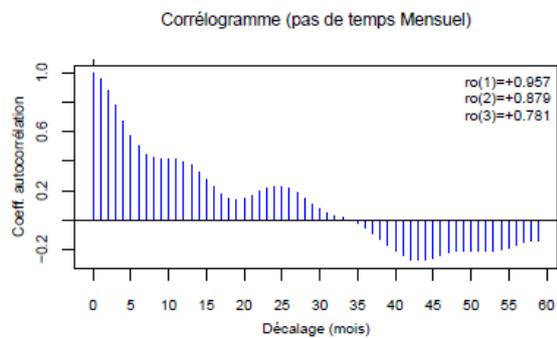
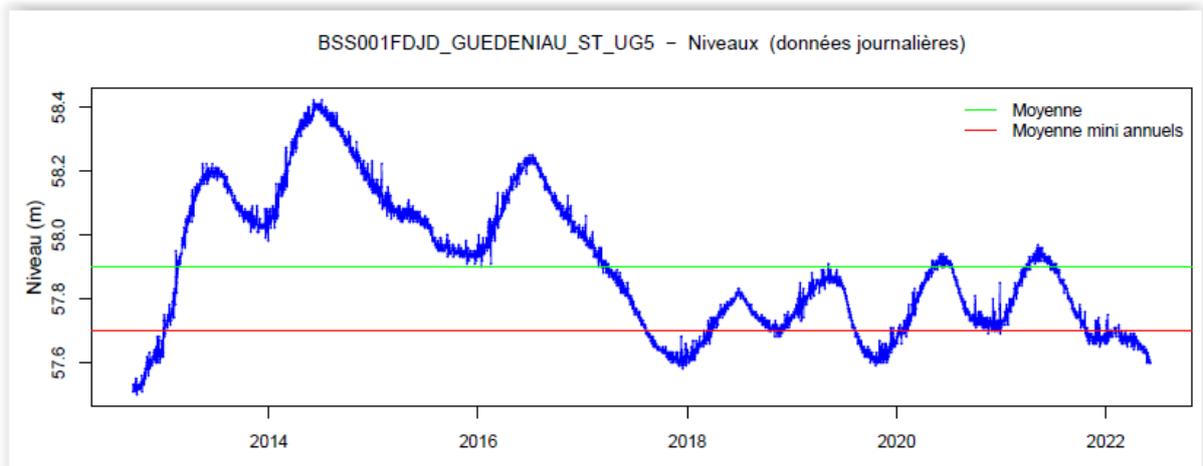
BSS001FDDV_FONTAINE_MILON_JUR_UG5



BSS001FDFU_BRION_CENO_UG5

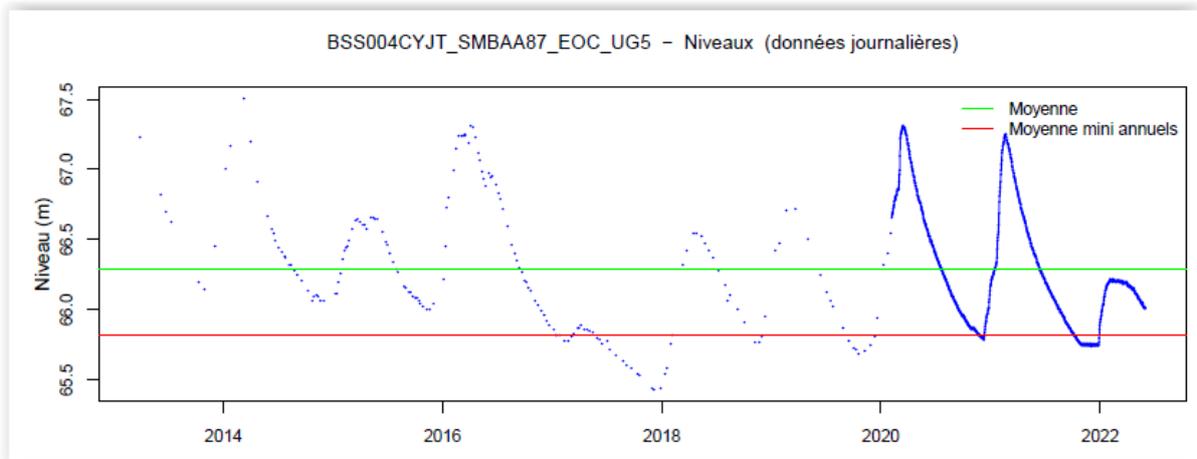


BSS001FDJD_GUEDENIAU_ST_UG5

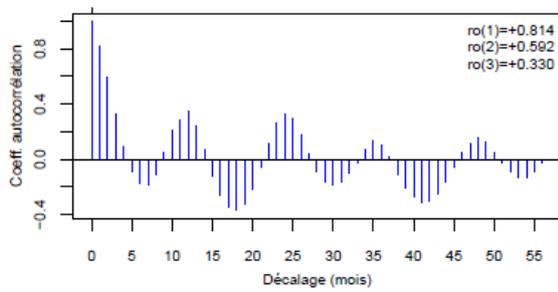


- Fréquence empirique 2 ans sec
- Fréquence empirique 5 ans sec
- Fréquence empirique 10 ans sec
- Fréquence empirique 20 ans sec

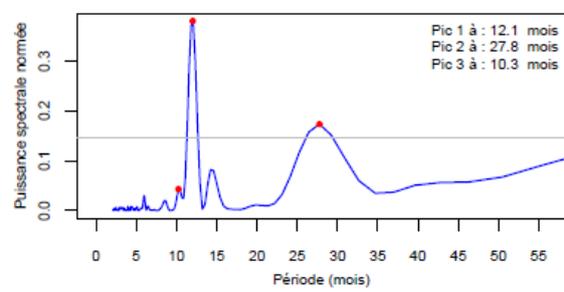
BSS004CYJT_SMBAA87_EOC_UG5



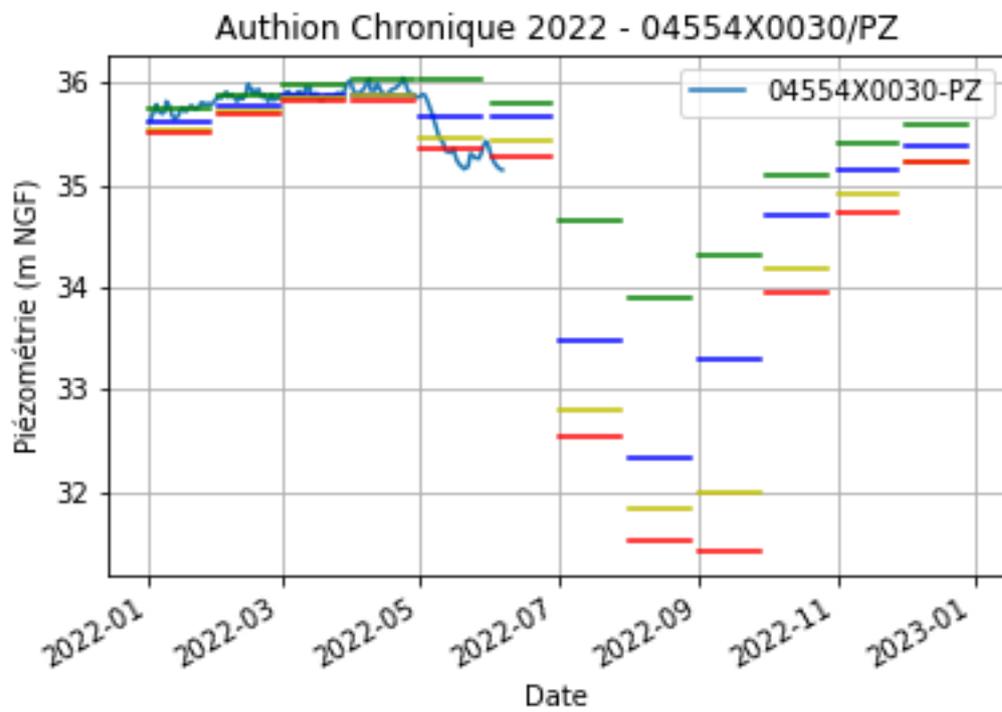
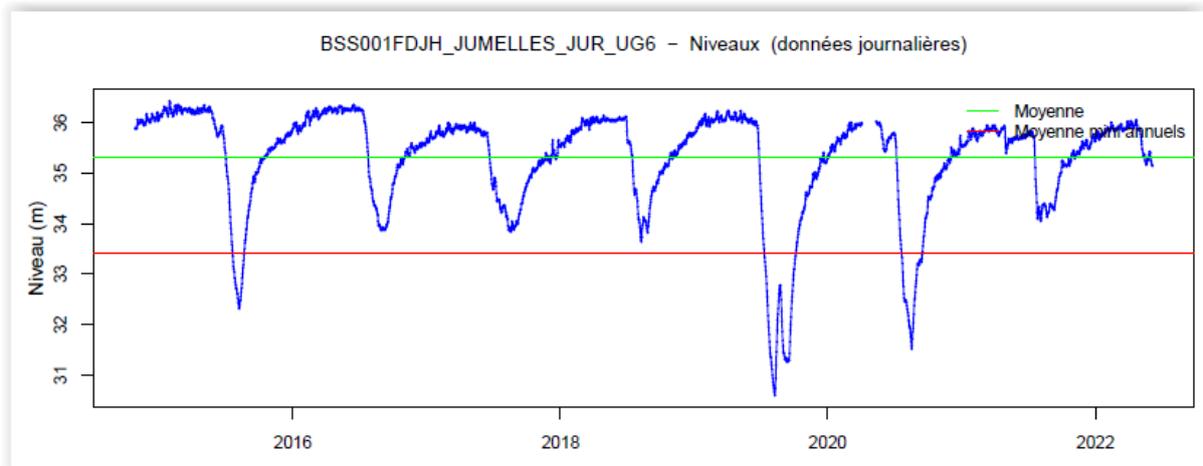
Corrélogramme (pas de temps Mensuel)



Périodogramme (pas de temps Mensuel)

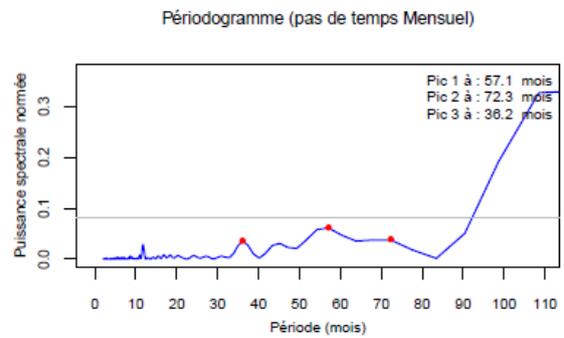
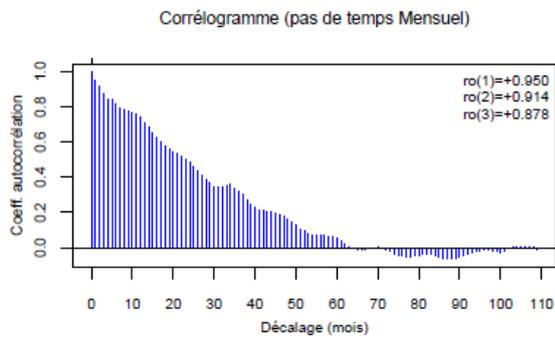
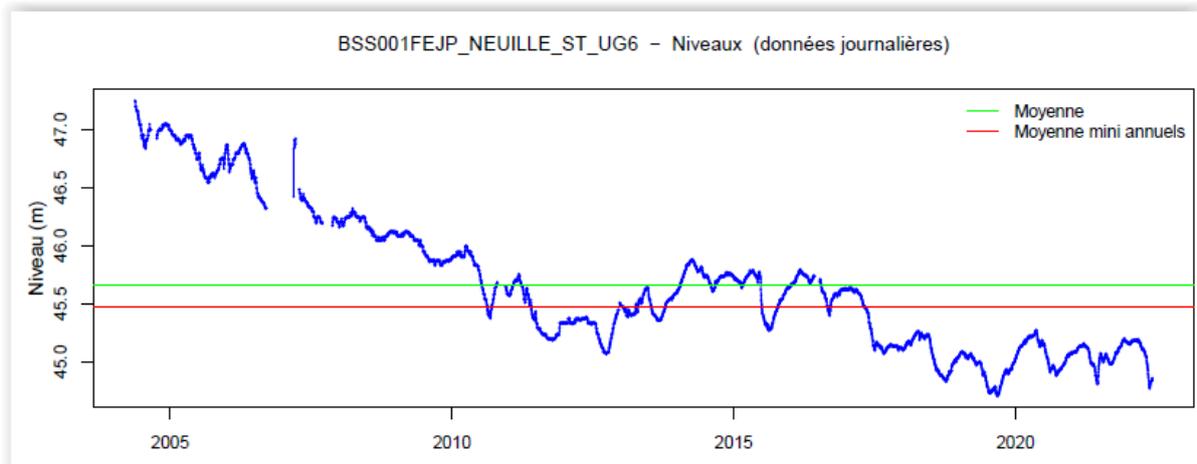


BSS001FDJH_JUMELLES_JUR_UG6

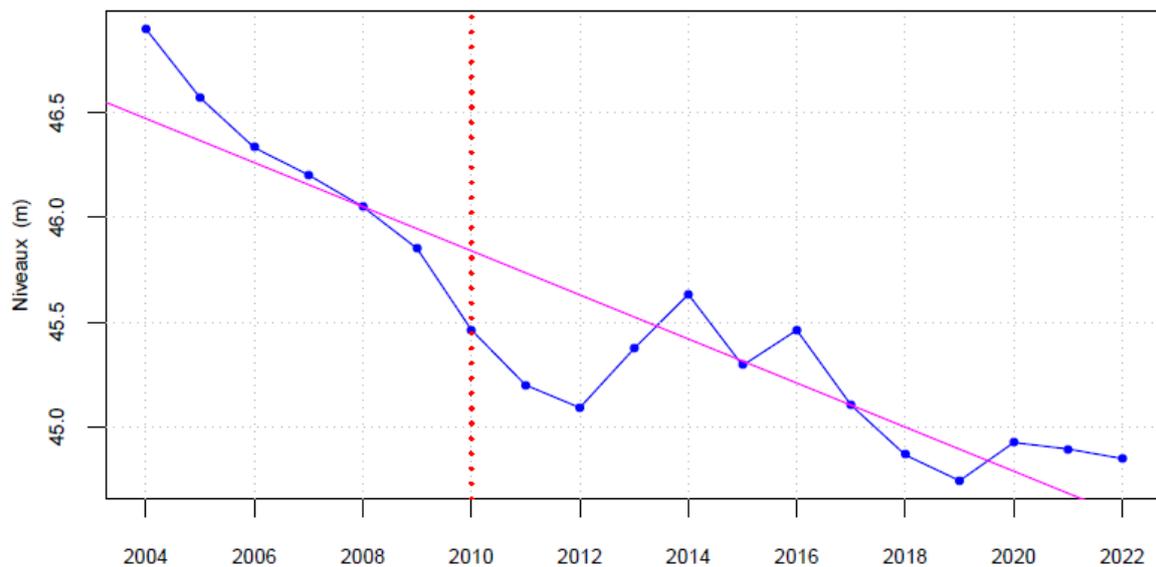


- Fréquence empirique 2 ans sec
- Fréquence empirique 5 ans sec
- Fréquence empirique 10 ans sec
- Fréquence empirique 20 ans sec

BSS001FEJP_NEUILLE_ST_UG6



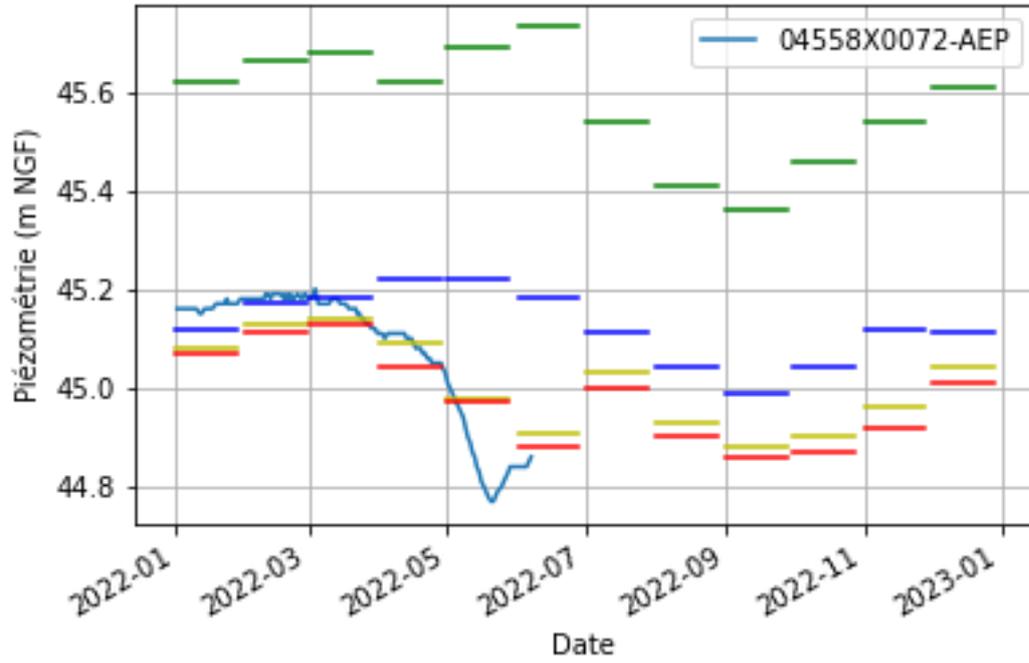
Tests sur niveau moyen mensuel minimal (HMNA) du point BSS001FEJP_NEUILLE_ST_UG6



Test de tendance

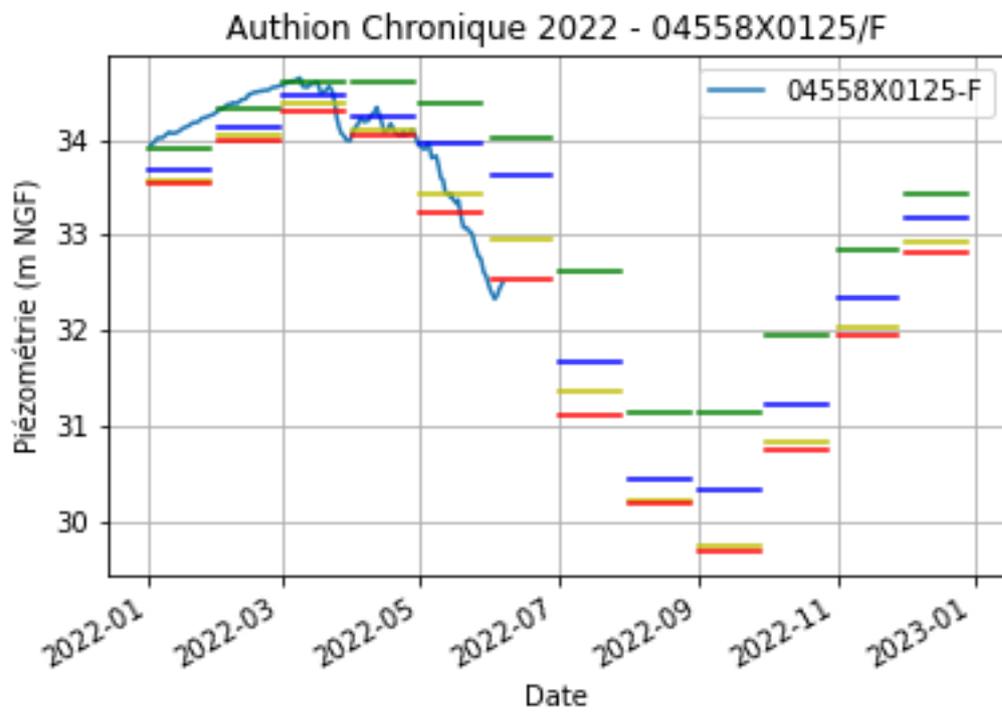
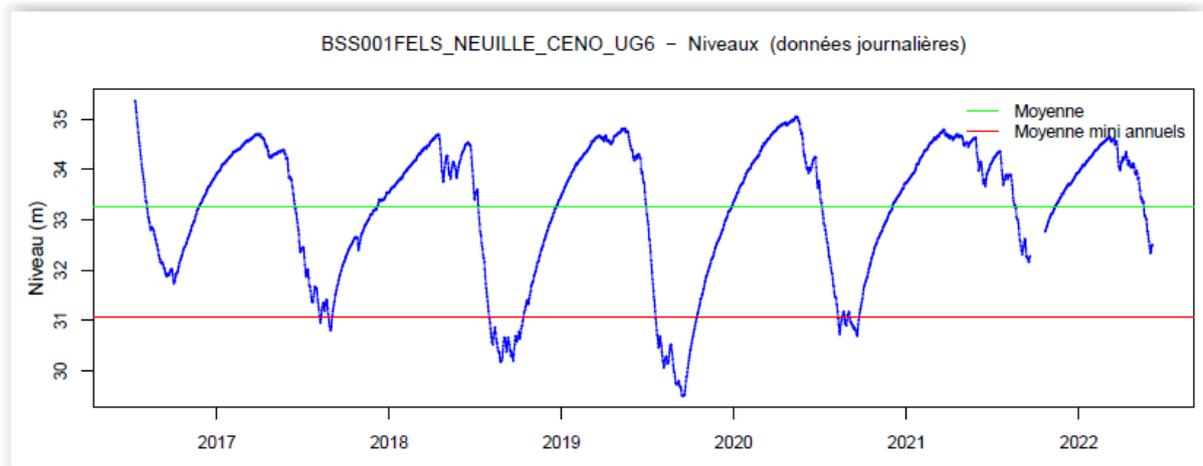
Mann-Kendall : pvalue non corrigée : 2.758e-06 corrigée (Hamed-Rao) : 4.226e-04
 pvalue selon méthode Yue-Pilon : 1.897e-03 et selon méthode Zhang 1.000e-02

Authion Chronique 2022 - 04558X0072/AEP



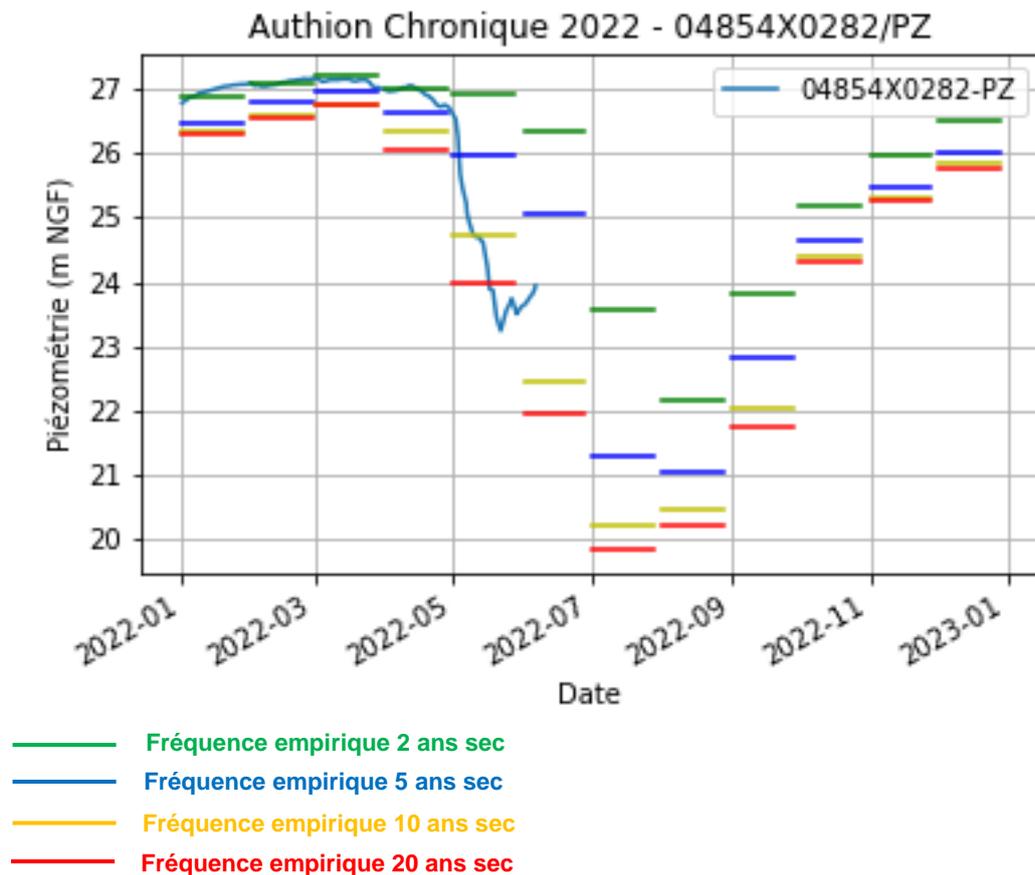
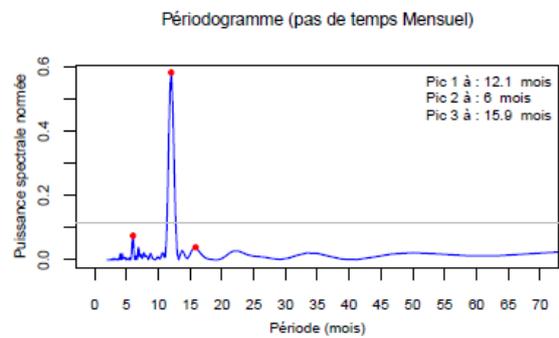
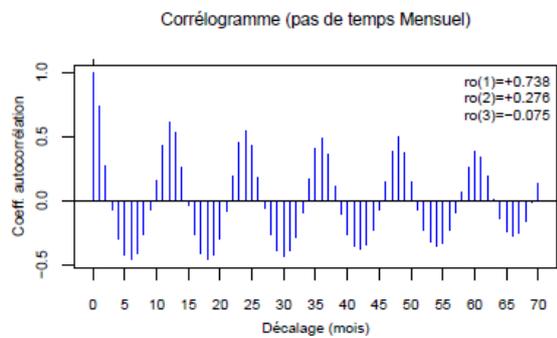
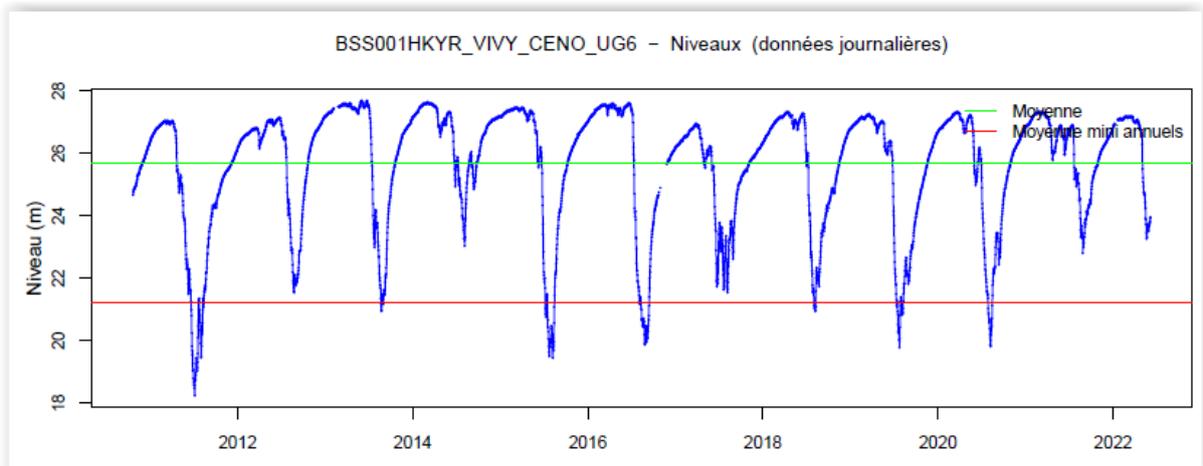
- Fréquence empirique 2 ans sec
- Fréquence empirique 5 ans sec
- Fréquence empirique 10 ans sec
- Fréquence empirique 20 ans sec

BSS001FELS_NEUILLE_CENO_UG6

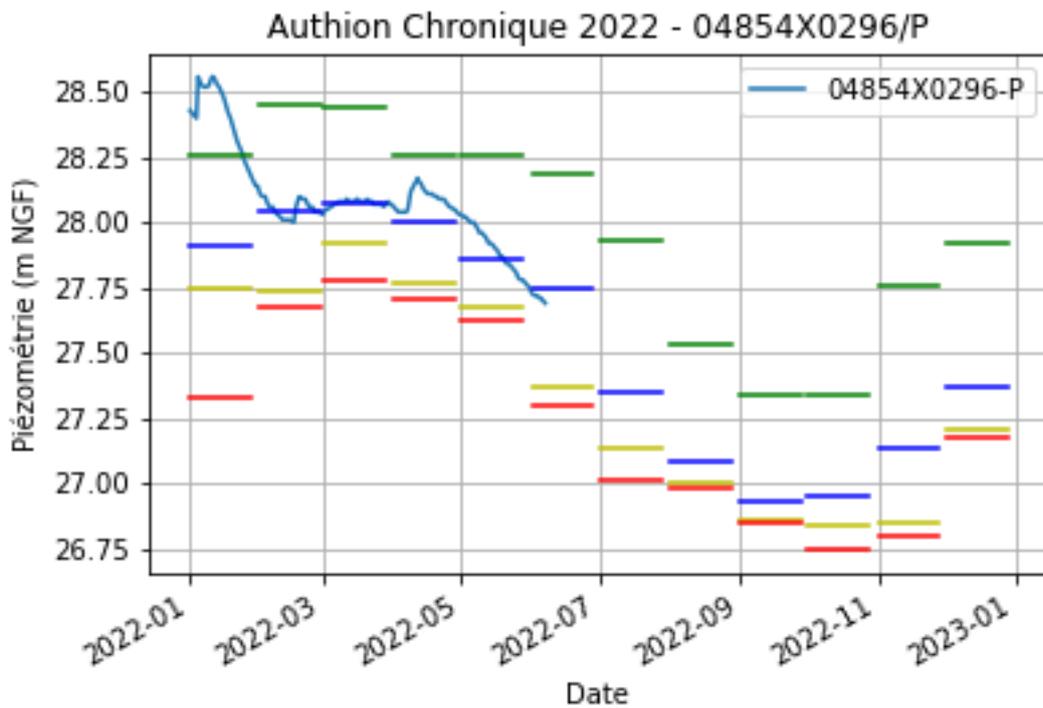
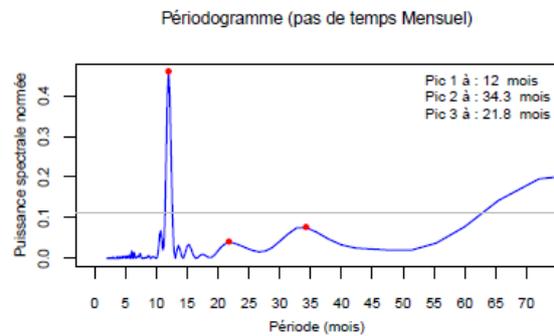
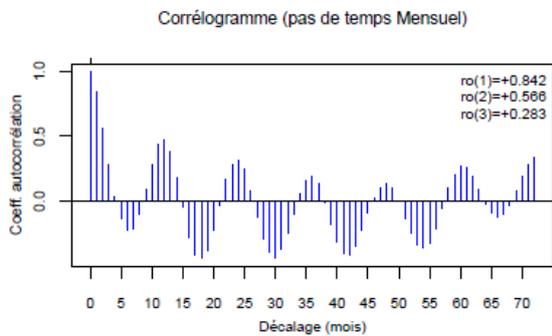
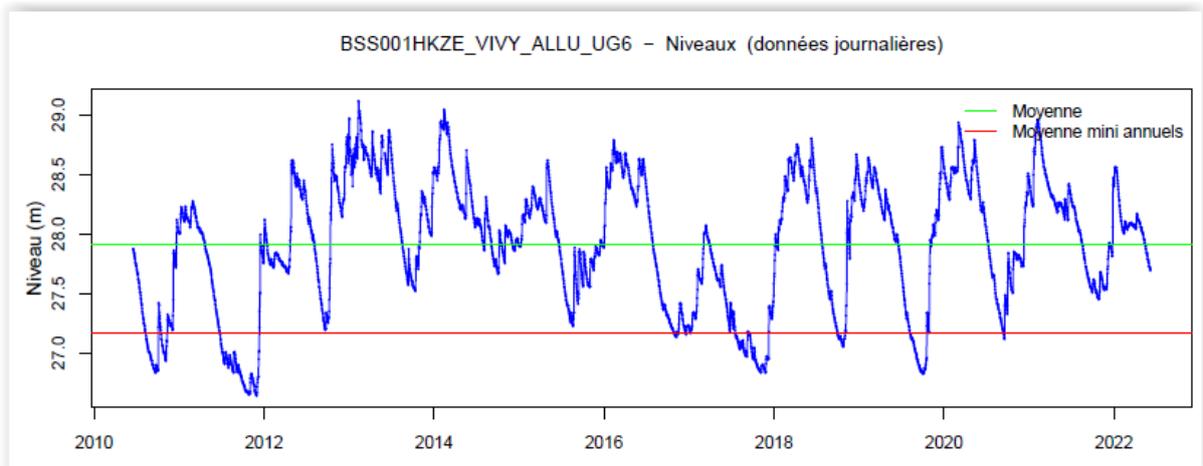


- Fréquence empirique 2 ans sec
- Fréquence empirique 5 ans sec
- Fréquence empirique 10 ans sec
- Fréquence empirique 20 ans sec

BSS001HKYR_VIVY_CENO_UG6

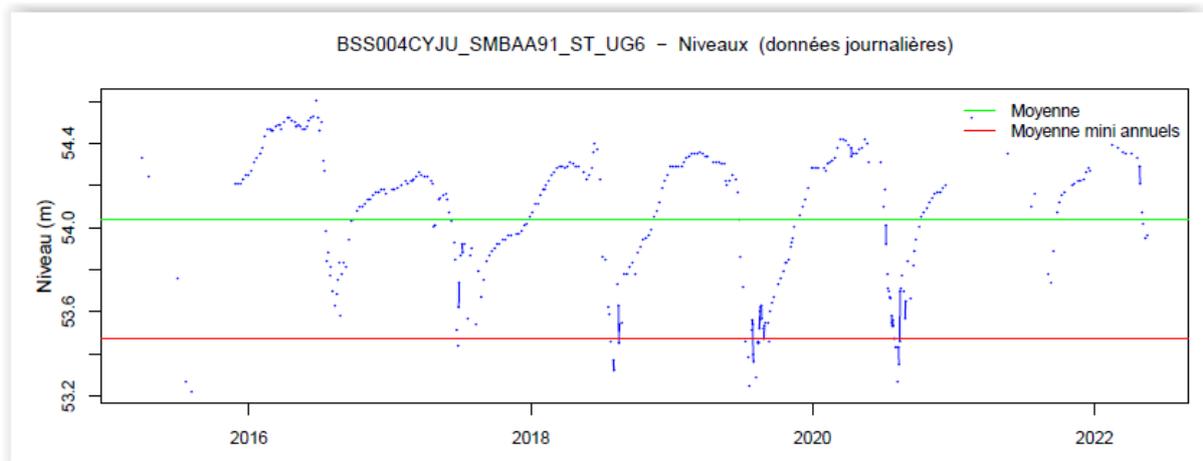


BSS001HKZE_VIVY_ALL_UG6

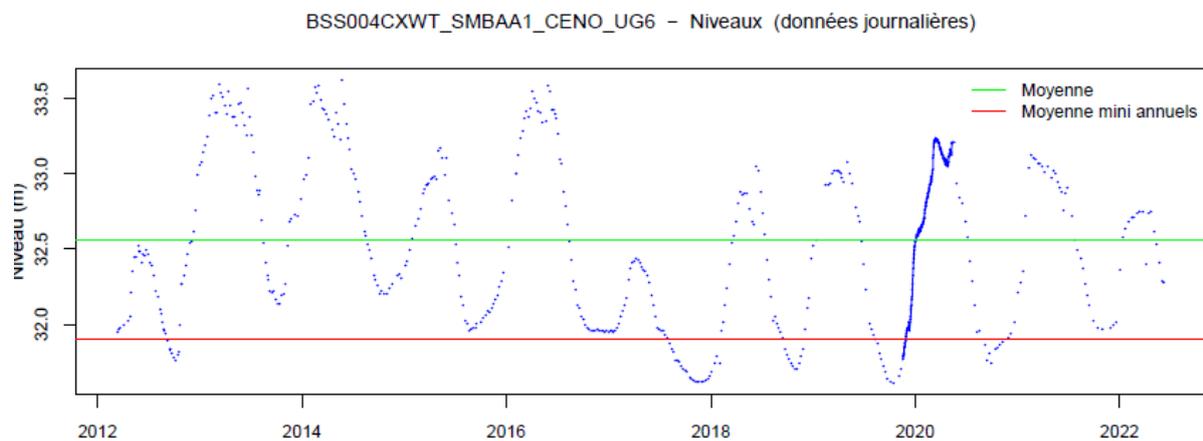


- Fréquence empirique 2 ans sec
- Fréquence empirique 5 ans sec
- Fréquence empirique 10 ans sec
- Fréquence empirique 20 ans sec

BSS004CYJU_SMBAA91_ST_UG6



BSS004CXWT_SMBAA1_CEN_UG6



Période de mesures : du 2012-03-13 au 2022-06-08

Nombre d'années avec mesures : 11 sur un total de 11

Nombre de jours lus avec mesures: 635 sur un total de 3740 jours, soit 17 %

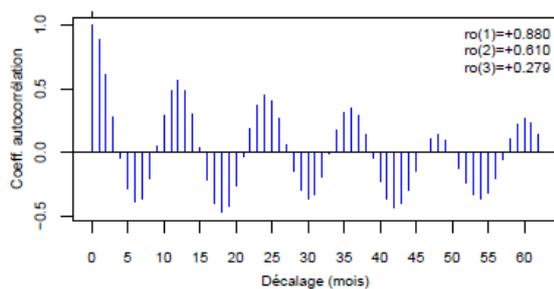
Moyenne : 32.56

Ecart-type : 0.54

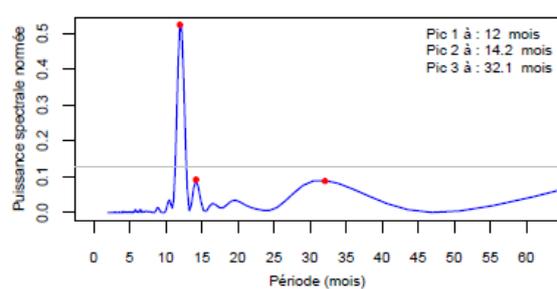
Maximum : 33.62 à la date : 2014-05-24

Minimum : 31.61 à la date : 2019-10-15

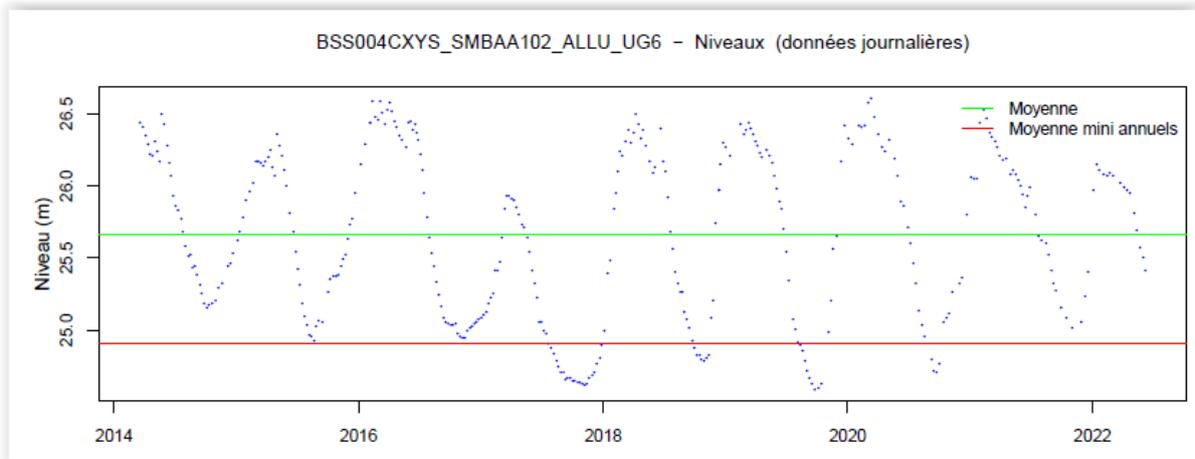
Corrélogramme (pas de temps Mensuel)



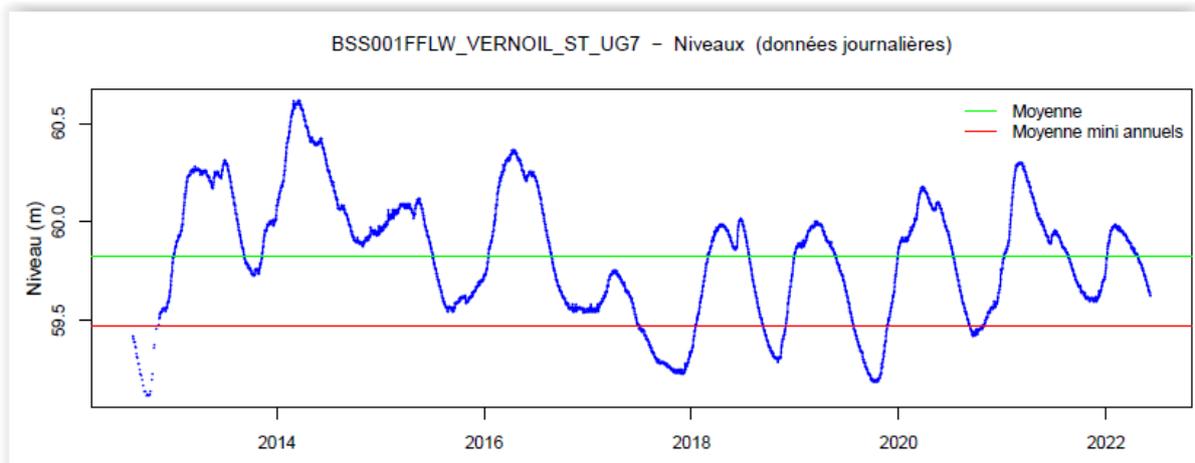
Périodogramme (pas de temps Mensuel)



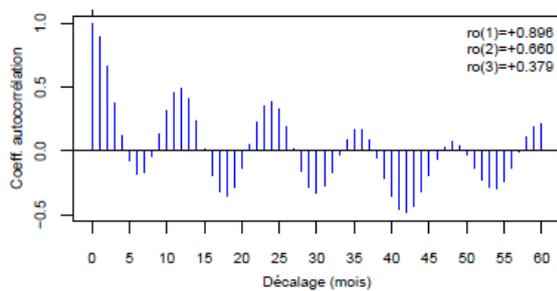
BSS004CXYS_SMBAA102_ALL_UG6



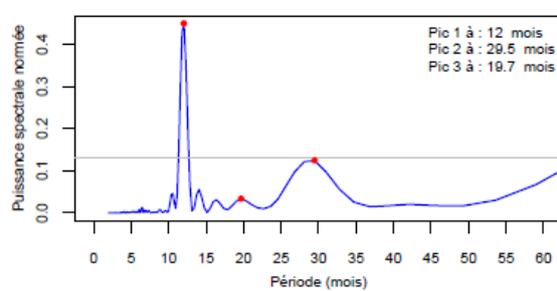
BSS001FFLW_VERNOIL_ST_UG7



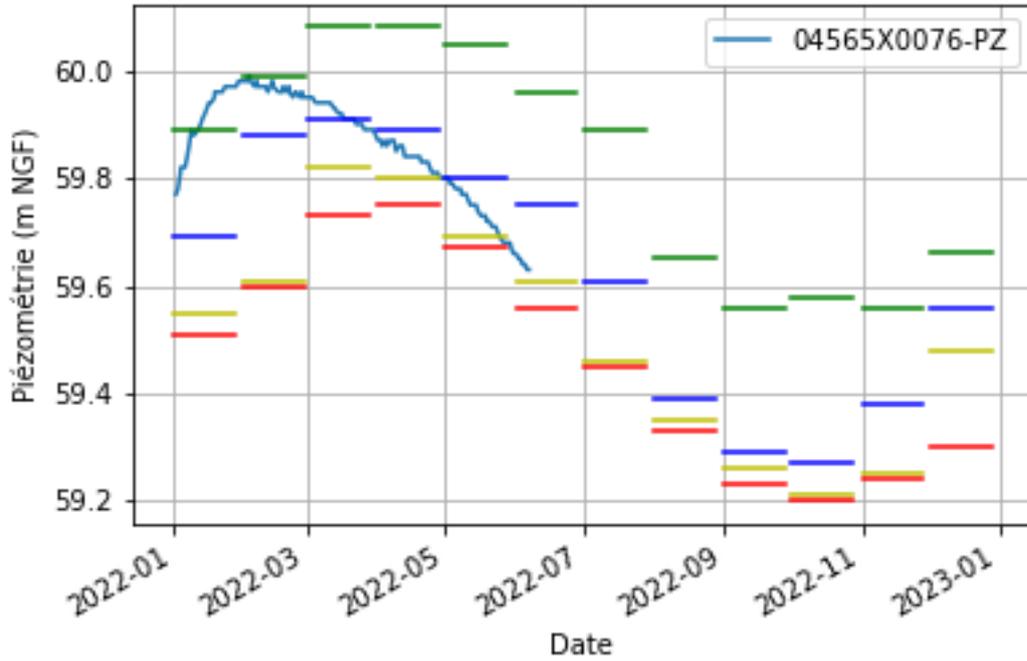
Corrélogramme (pas de temps Mensuel)



Périodogramme (pas de temps Mensuel)

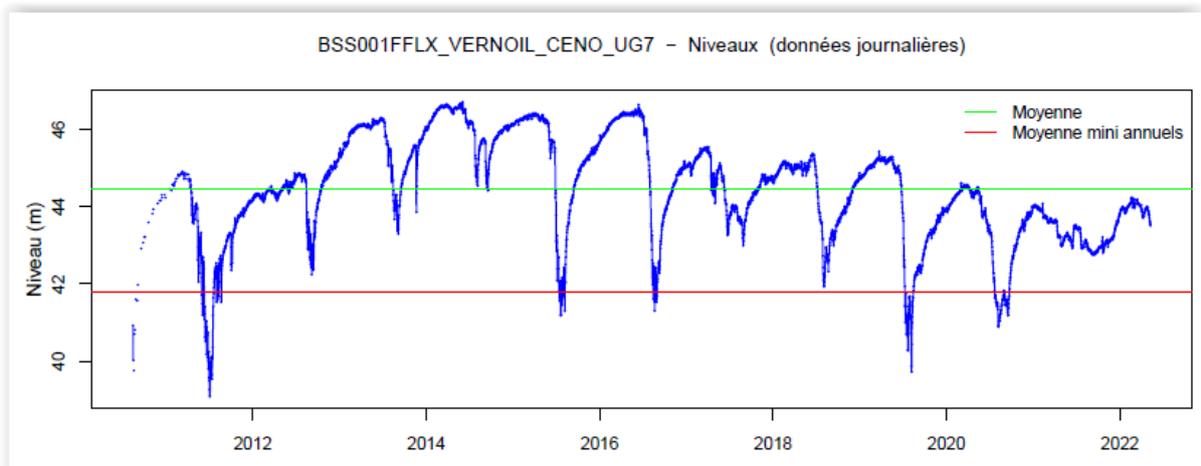


Authion Chronique 2022 - 04565X0076/PZ

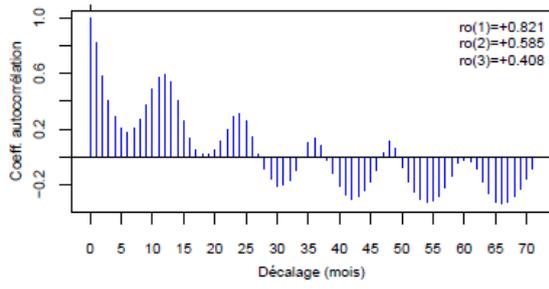


- Fréquence empirique 2 ans sec
- Fréquence empirique 5 ans sec
- Fréquence empirique 10 ans sec
- Fréquence empirique 20 ans sec

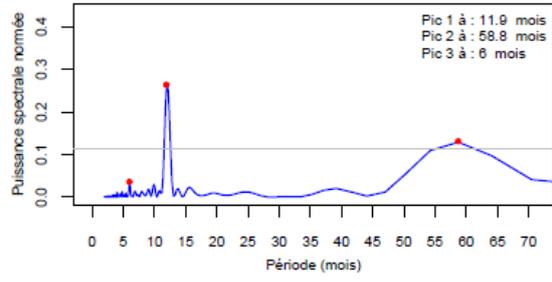
BSS001FFLX_VERNOIL_CENO_UG7



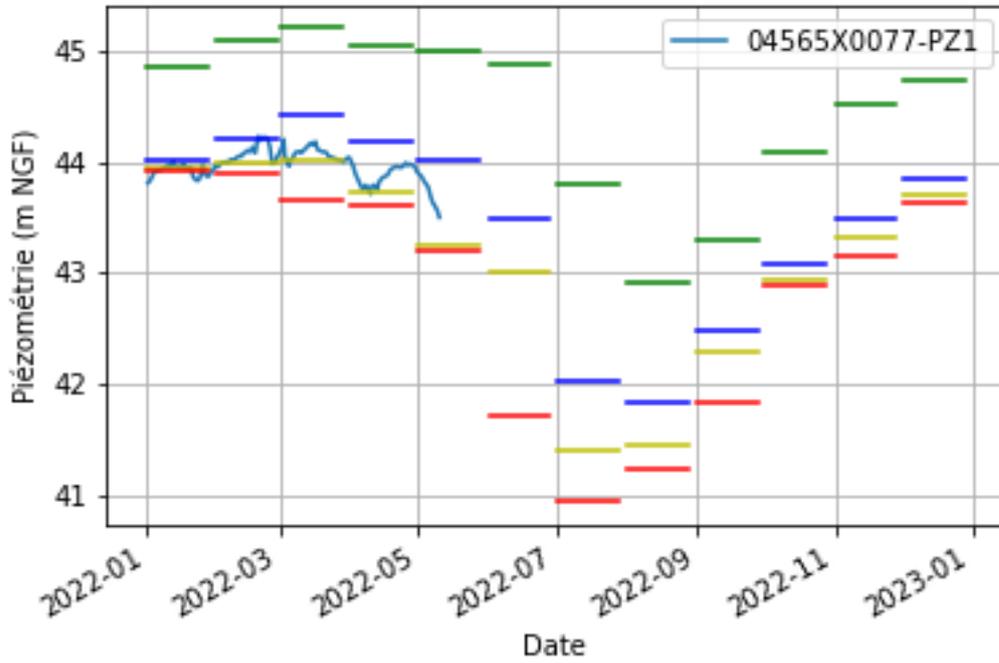
Corrélogramme (pas de temps Mensuel)



Périodogramme (pas de temps Mensuel)

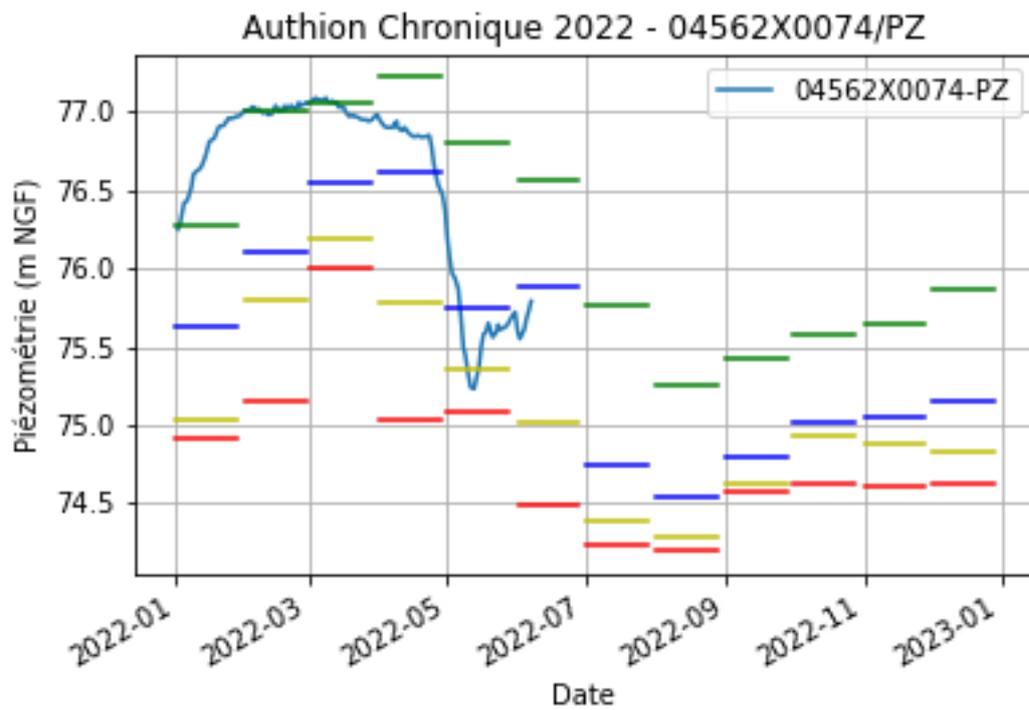
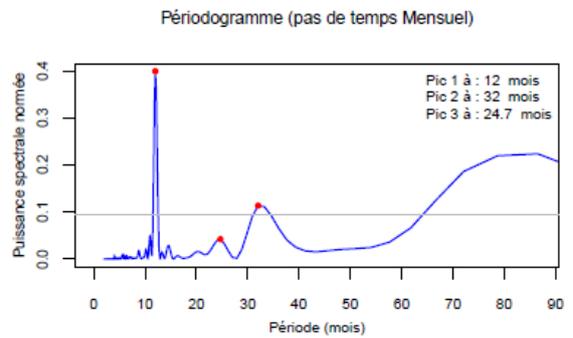
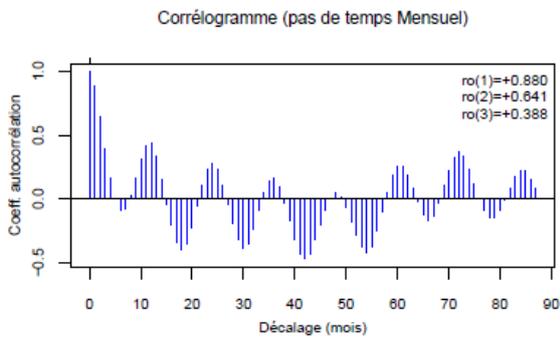
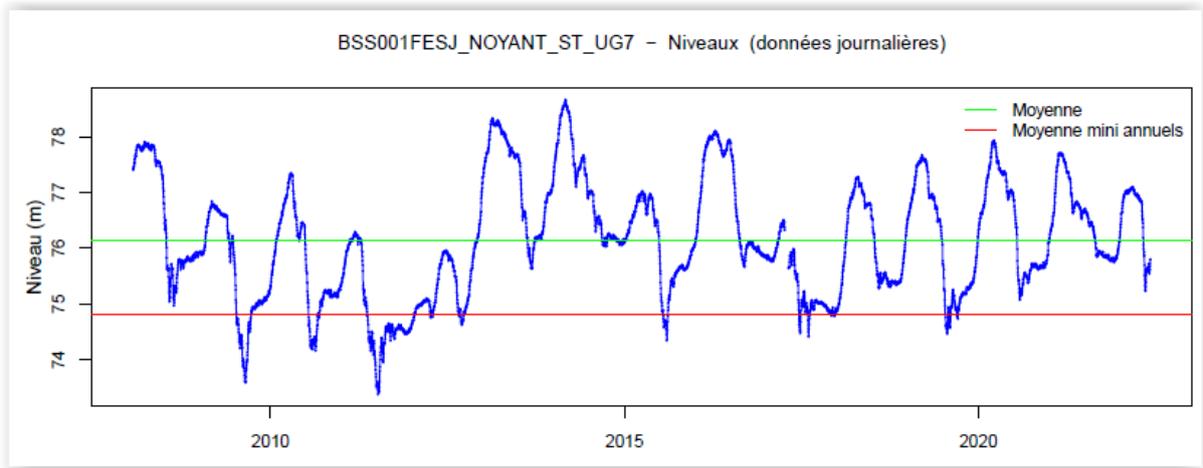


Authion Chronique 2022 - 04565X0077/PZ1



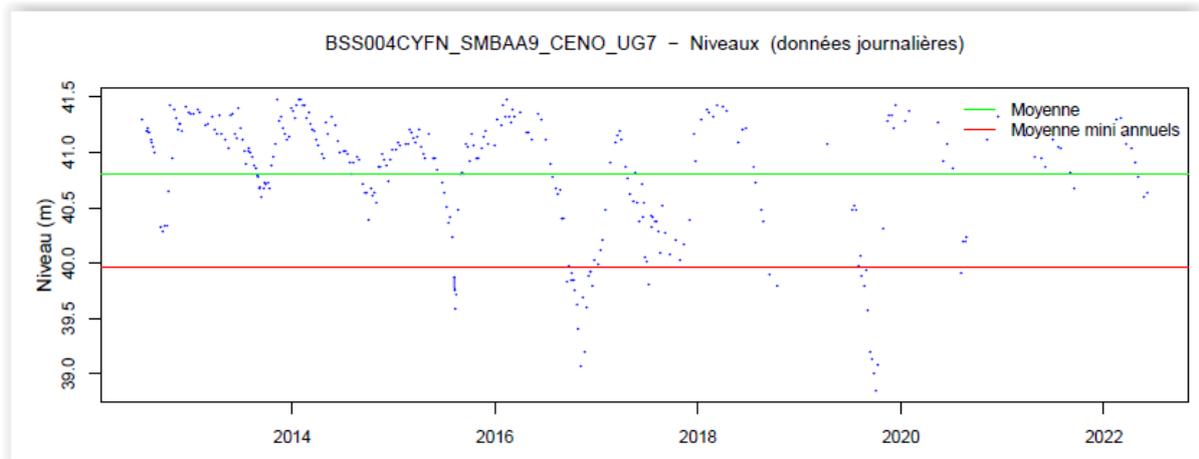
- Fréquence empirique 2 ans sec
- Fréquence empirique 5 ans sec
- Fréquence empirique 10 ans sec
- Fréquence empirique 20 ans sec

BSS001FESJ_NOYANT_ST_UG7

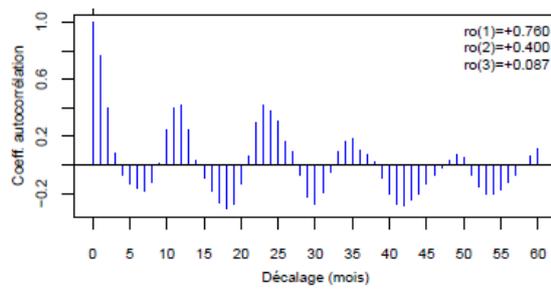


- Fréquence empirique 2 ans sec
- Fréquence empirique 5 ans sec
- Fréquence empirique 10 ans sec
- Fréquence empirique 20 ans sec

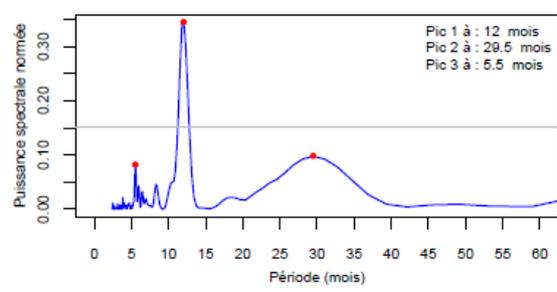
BSS004CYFN_SMBAA9_CENO_UG7



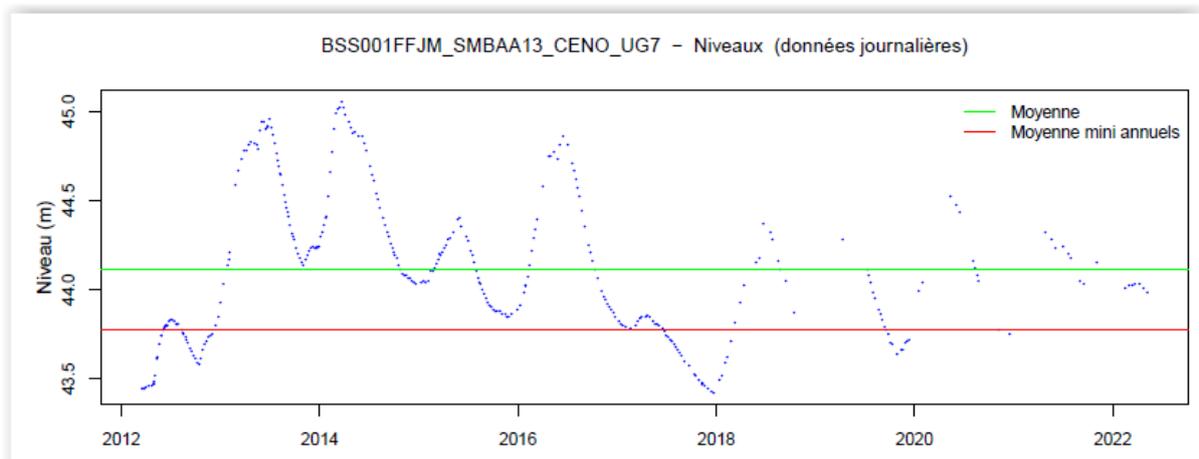
Corrélogramme (pas de temps Mensuel)

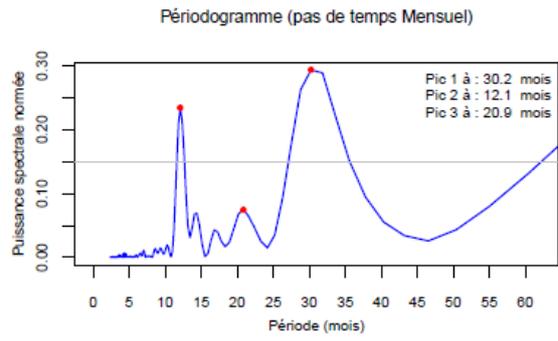
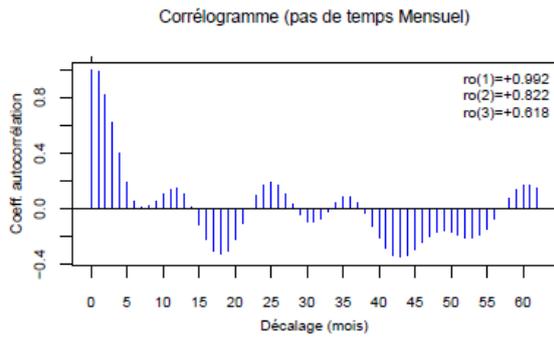


Périodogramme (pas de temps Mensuel)

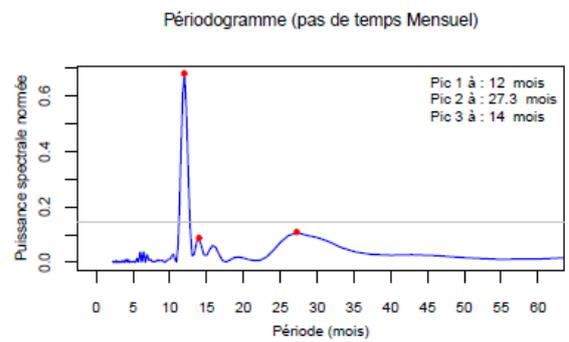
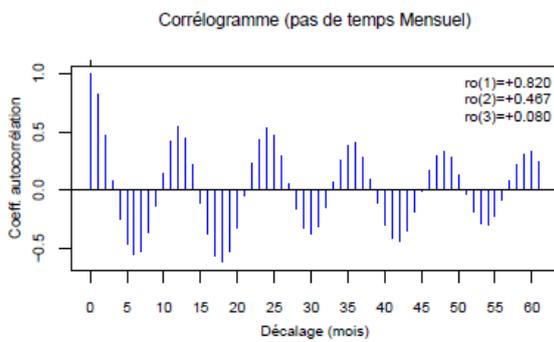
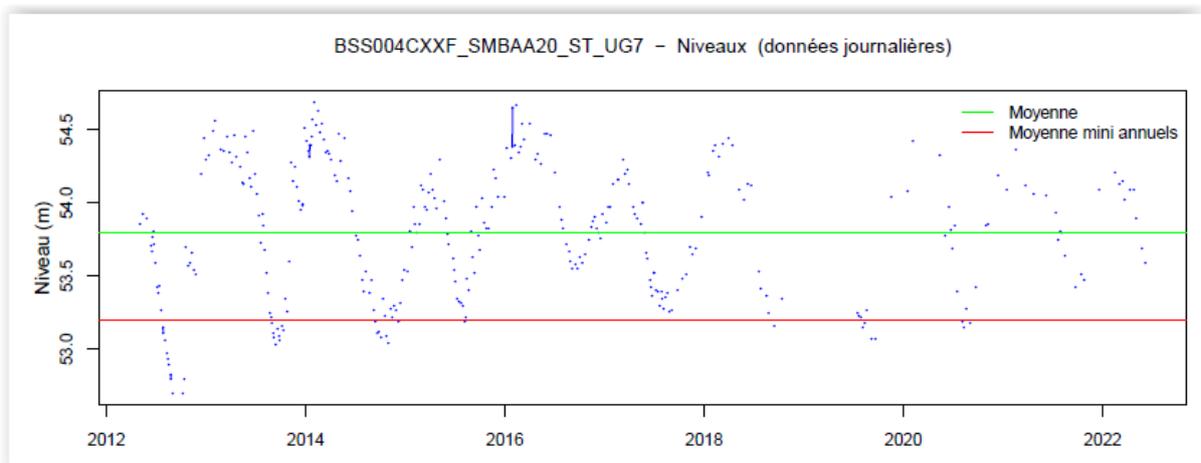


BSS001FFJM_SMBAA13_CENO_UG7

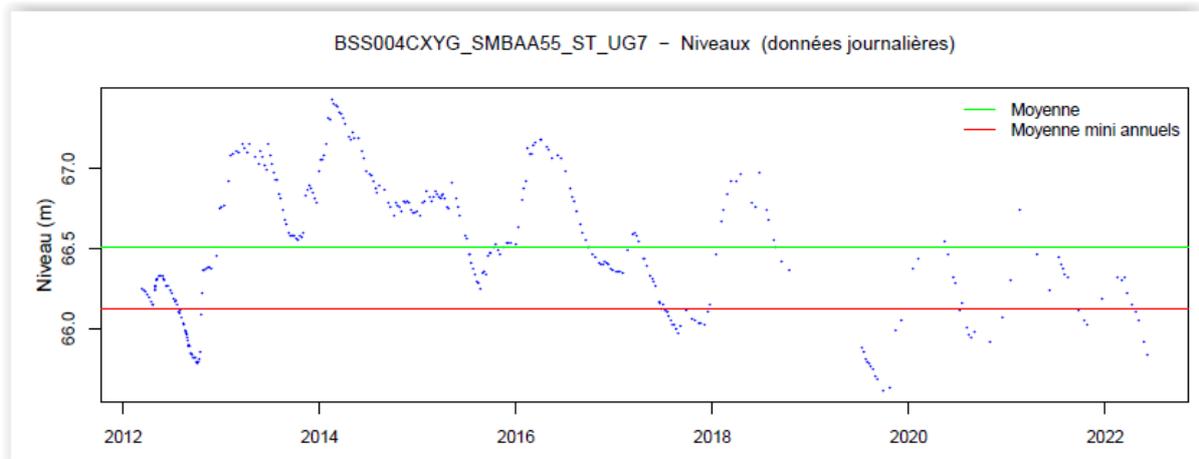




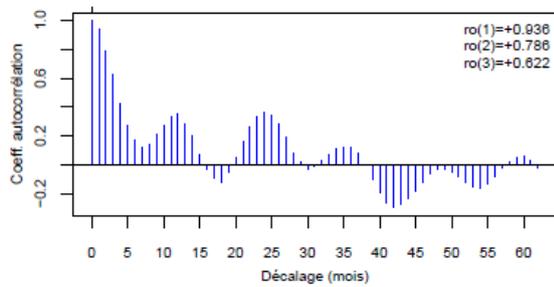
BSS004CXXF_SMBAA20_ST_UG7



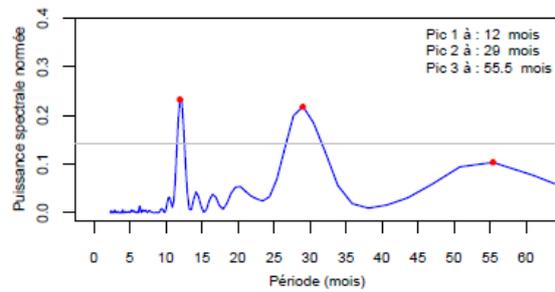
BSS004CXYG_SMBAA55_ST_UG7



Corrélogramme (pas de temps Mensuel)

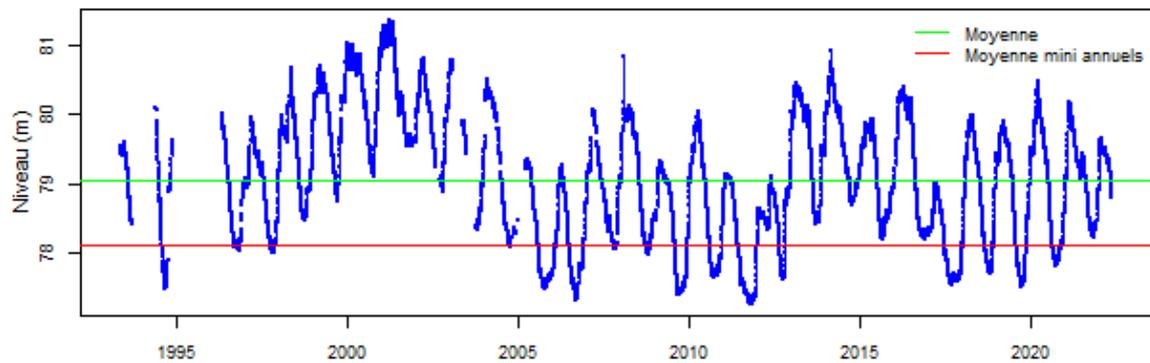


Périodogramme (pas de temps Mensuel)

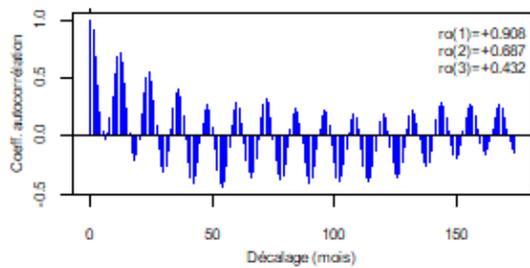


BSS001FEWY_LESSAY_ST_UG8

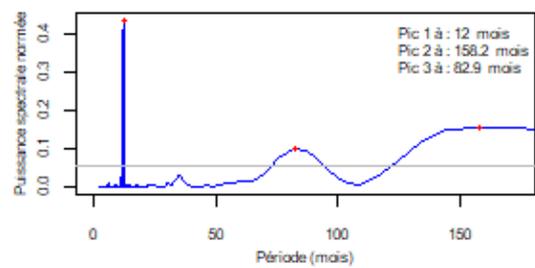
BSS001FEWY_LESSAY_ST_UG8 - Niveaux (données journalières)



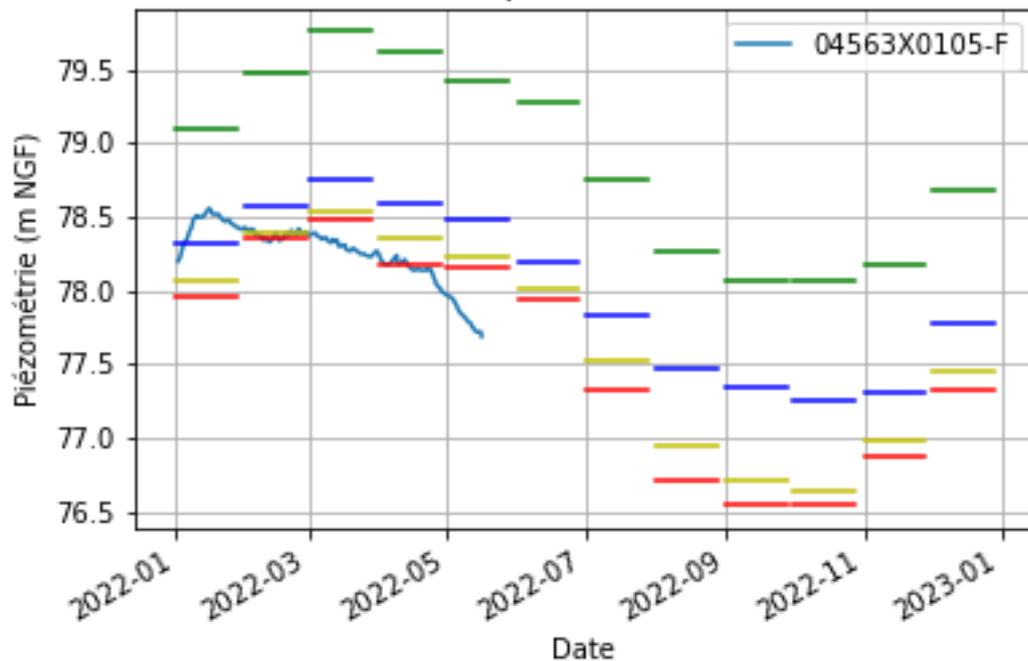
Corrélogramme (pas de temps Mensuel)



Périodogramme (pas de temps Mensuel)

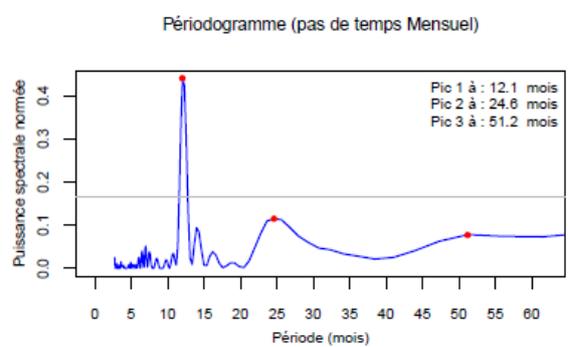
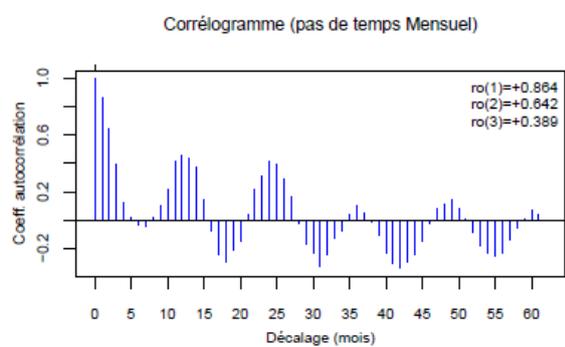
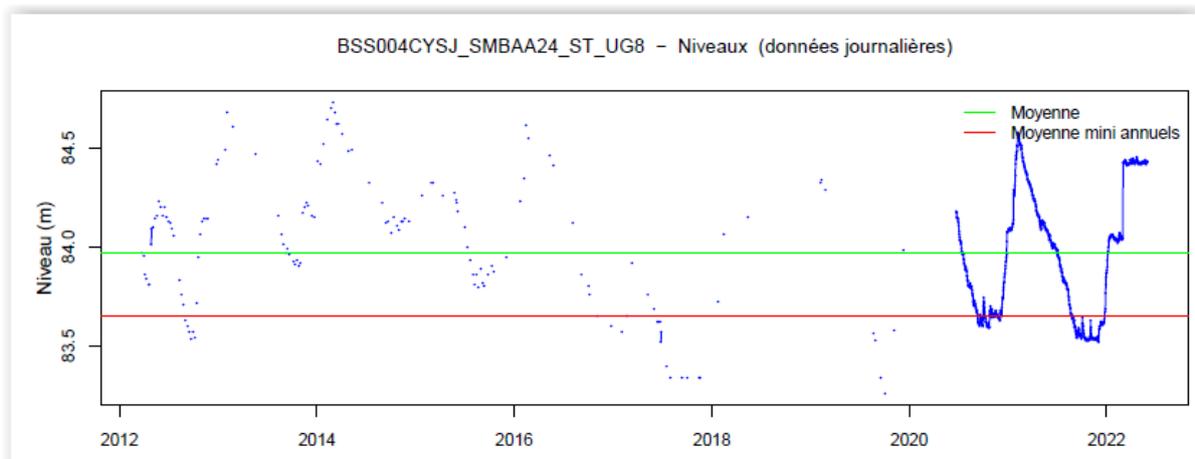


Authion Chronique 2022 - 04563X0105/F

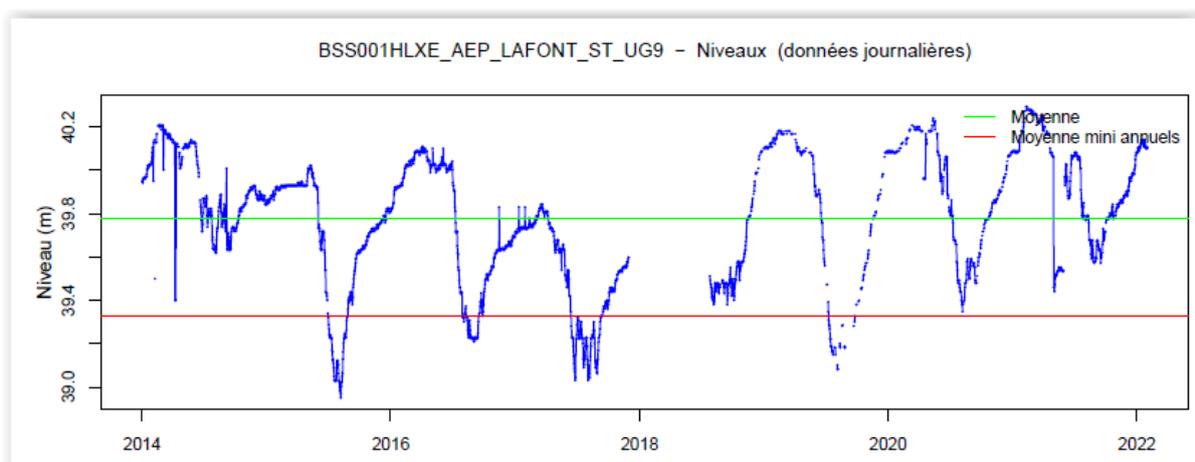


- Fréquence empirique 2 ans sec
- Fréquence empirique 5 ans sec
- Fréquence empirique 10 ans sec
- Fréquence empirique 20 ans sec

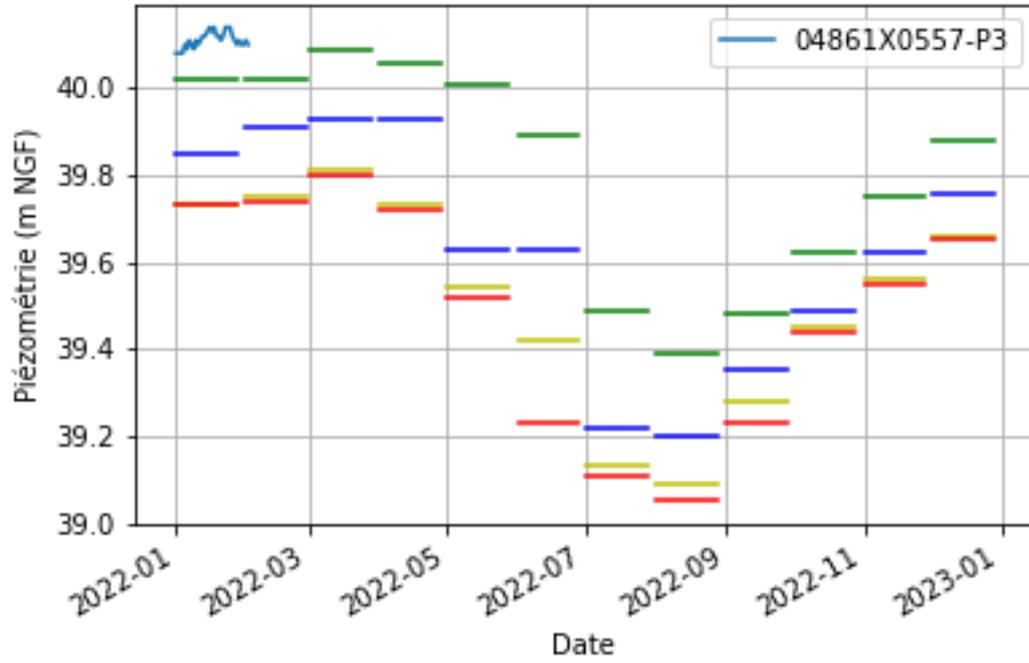
BSS004CYSJ_SMBAA24_ST_UG8



BSS001HLXE_AEP_LAFONTAINE_ST_UG9

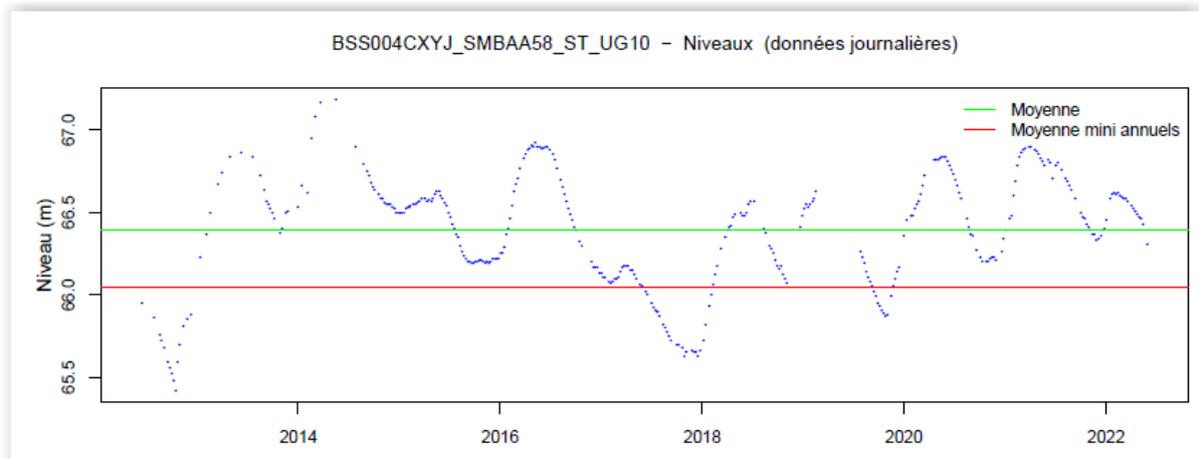


Authion Chronique 2022 - 04861X0557/P3

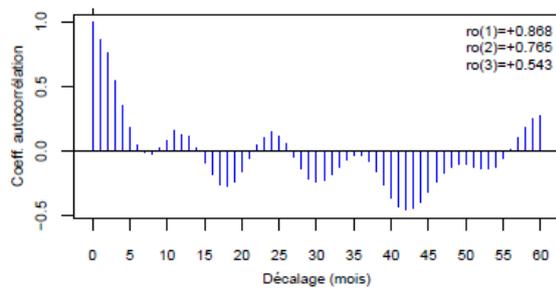


- Fréquence empirique 2 ans sec
- Fréquence empirique 5 ans sec
- Fréquence empirique 10 ans sec
- Fréquence empirique 20 ans sec

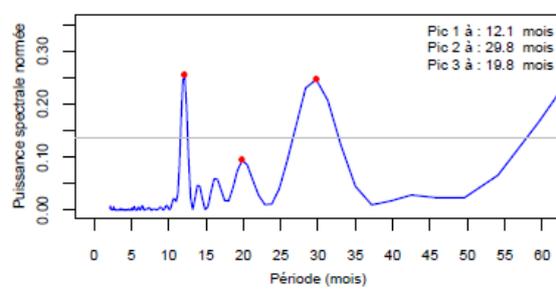
BSS004CXYJ_SMBAA58_ST_UG10



Corrélogramme (pas de temps Mensuel)



Périodogramme (pas de temps Mensuel)

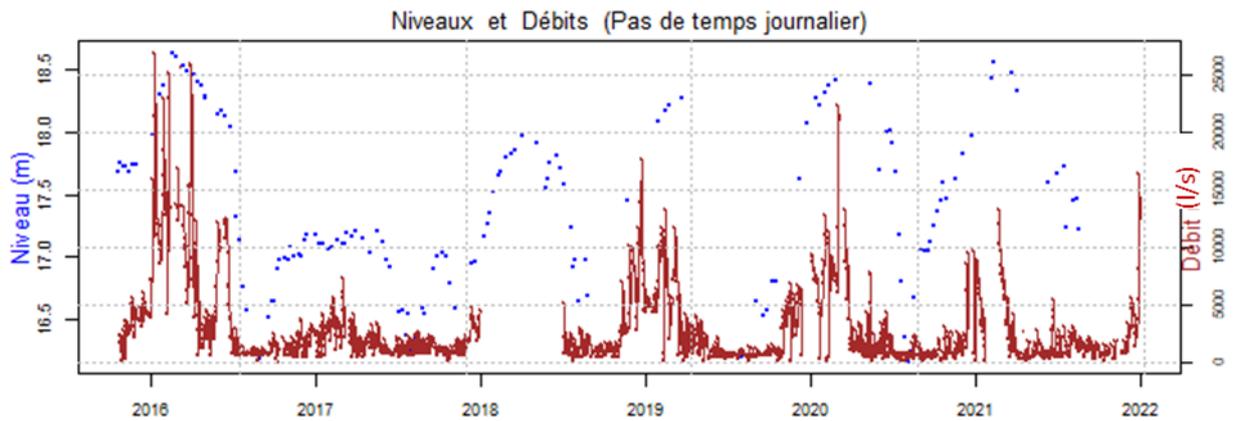


Analyse Débits(/Hauteurs)- Piézomètres

Nom BE/Hydro	No SMBAA	No BE	type mesure ESU	Dates BE	No_banque Hydro	Dates_Hydro	Station utiliser	Piézoétrie correspondante	Correlogramme maximale positif journalier	Jours décalage débit-piézoétrie	Correlogramme maximale positif mensuel	Décalage débit-piézoétrie	Débit de base
Authion - Pt Bourguignon	37	01	Débit	2008-2021	NON		ok	BSS001FDCQ_SMBAA109_CENO_UG1	0.6	44 jours	0.69	2 mois	NON
Authion Le gué de Frêne	28	02	Débits Niveau Eau (m)	2009-2021	NON		ok	BSS001FDCQ_SMBAA109_CENO_UG1	< 0.5				
Couasnon - (Gée) à Beaufort-en-Vallée	17	22	Niveau Eau (m)	2010-2021	L921 0004 01	2010-2020	ok	BSS001DPYT_PONTIGNE_ST_UG5 BSS001DQAF_PONTIGNE_CENO_UG5 BSS001FDDU_FONT_MILON_CENO_UG5 BSS001FDDV_FONT_MILON_JUR_UG5	0.6 <0.5 0.53 0.78	44 jours '- 17 24	0.54 '- < 0.5 0.73	1 mois '- '- 1 mois	Hauteur de base : 220 mm '- '- OUI?
Lathan aval Moulin Guet	6	33	Débit	2010-2021 (doute sur 2010/2011)	L911 0006 02	2012-2021	ok	BSS001FFLW_VERNOIL_ST_UG7 BSS001FFLX_VERNOIL_CENO_UG7	0.53 < 0.5	36 '-	0.63 '-	1 mois '-	NON '-
Lathan amont Pincemaille	1	36	Débit	2010-2021 (doute sur 2010/2011)	L911 0006 02	2012-2021	ne marche pas, trop de trous	BSS001FEWY_LESSAY_ST_UG8 BSS004CYSJ_SMBAA24_ST_UG8	0.58 < 0.5	12 '-	0.71 '-	1 mois '-	NON '-
Changeon Moulin Foulon	20	65	Niveau Eau (m)	2010-2020	L900 0007 01	2010-2021	ok	BSS004CXJ_SMBAA58_ST_UG10	0.6	6	0.7	2 mois	Hauteur de base : 50 mm
Le Loir à Seiches-sur-le-Loir	-		Hydro Niveau Eau (m)		M156 1610	2011-2022	dans le futur, en aval à l'ouest du UG4						

UG 1 – Débit Authion Pt Bourguignon Authion – piézométrie

BSS001FDCQ_SMBAA109_CENO_UG1



Niveaux (m)

Moyenne : 17.4

Ecart-type : 0.6

Maximum : 18.6

Minimum : 16.2

Mesures (%) : 6.94

Débits (l/s)

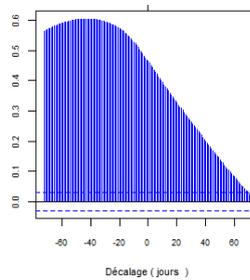
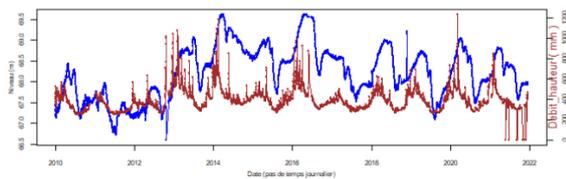
Moyenne : 2936.333

Ecart-type : 3508.014

Maximum : 26890

Minimum : 10

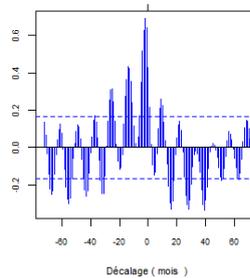
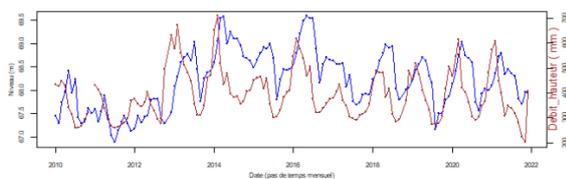
Mesures (%) : 81.65



Valeurs journalières

Partie droite
Corrélation maximale positive: 0.46
obtenue avec un décalage de : 0 jours
Corrélation maximale négative: 0.02
obtenue avec un décalage de : 72 jours

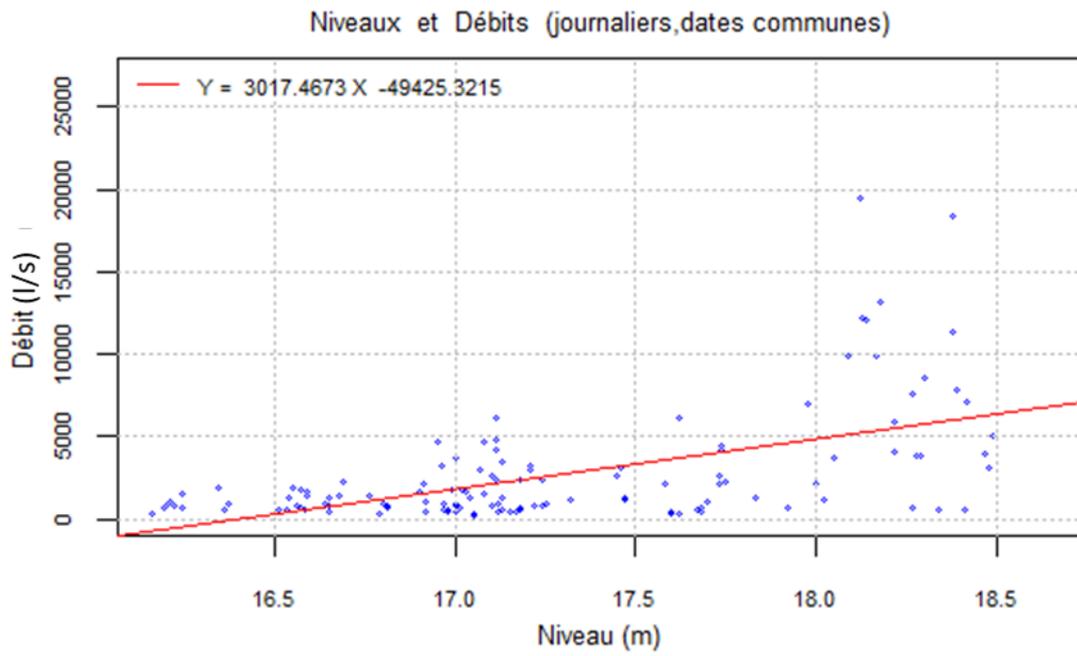
Partie gauche
Corrélation maximale positive : 0.6
obtenue avec un décalage de : -44 jours
Corrélation maximale négative : 0.47
obtenue avec un décalage de : -1 jours



Valeurs moyennes mensuelles

Partie droite
Corrélation maximale positive: 0.43
obtenue avec un décalage de : 0 mois
Corrélation maximale négative: -0.34
obtenue avec un décalage de : 39 mois

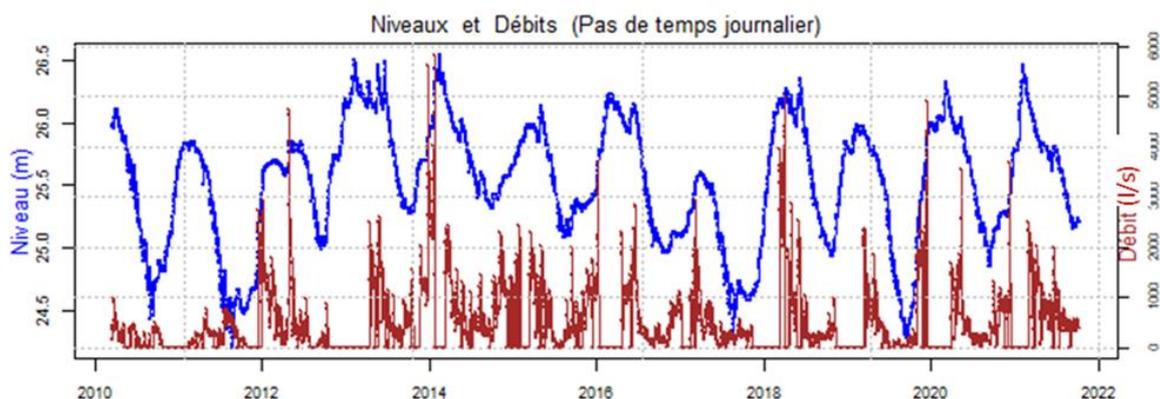
Partie gauche
Corrélation maximale positive : 0.69
obtenue avec un décalage de : -2 mois
Corrélation maximale négative : -0.3
obtenue avec un décalage de : -55 mois



→ La nappe soutient peu le cours d'eau

UG 2 – Débit Authion Le gué de Frêne– piézométrie

BSS001HKXQ_VILLEBERNIER_ALLU_UG2



Niveaux (m)

Moyenne : 25.5

Ecart-type : 0.5

Maximum : 26.5

Minimum : 24.2

Mesures (%) : 99.76

Débits(l/s)

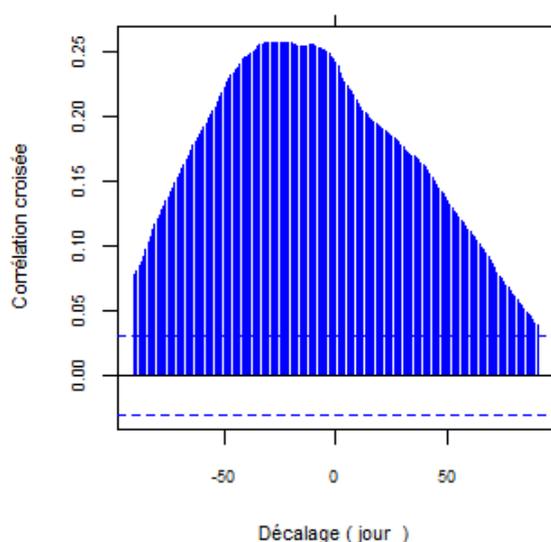
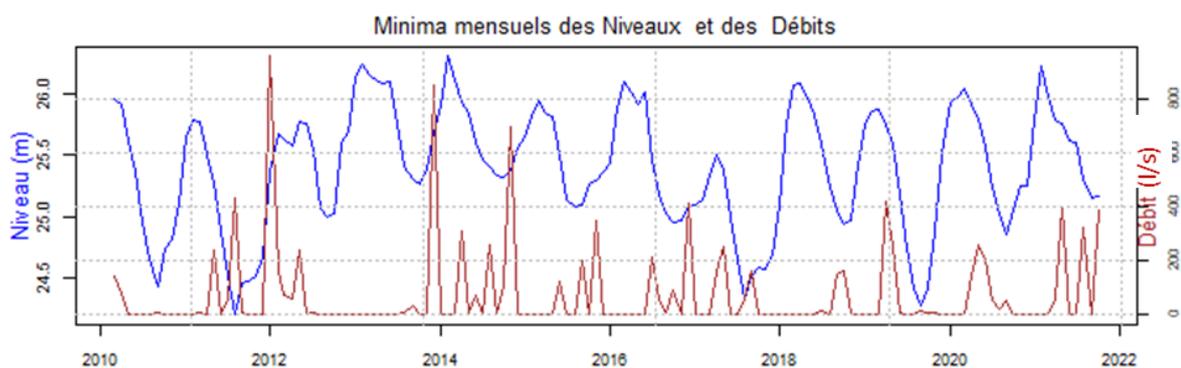
Moyenne : 491.857

Ecart-type : 678.041

Maximum : 5830

Minimum : 0

Mesures (%) : 99.98



Valeurs journalières

Partie droite

Corrélation maximale positive: 0.24

obtenue avec un décalage de : 0 jour

Corrélation maximale négative: 0.04

obtenue avec un décalage de : 90 jour

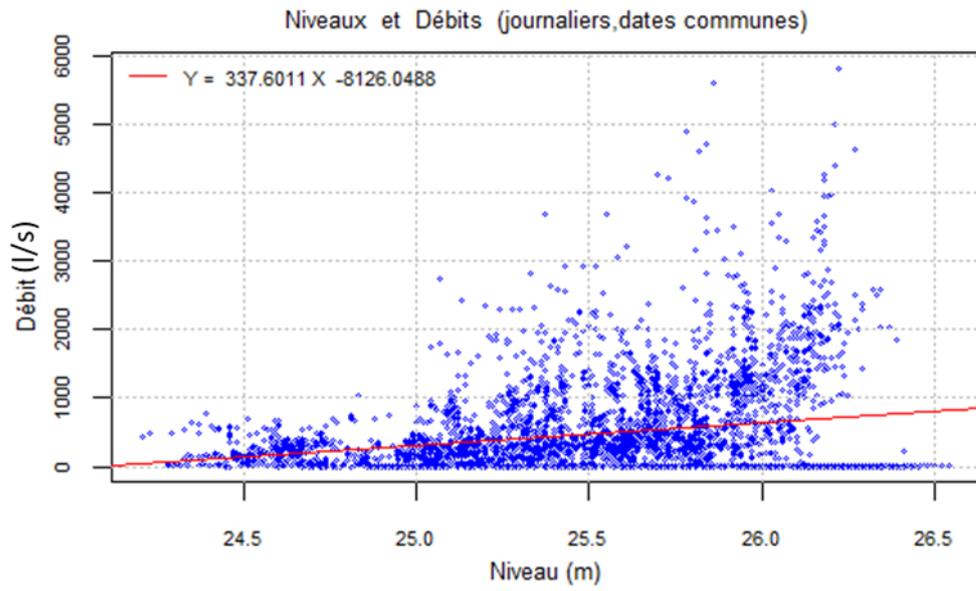
Partie gauche

Corrélation maximale positive : 0.26

obtenue avec un décalage de : -22 jour

Corrélation maximale négative: 0.08

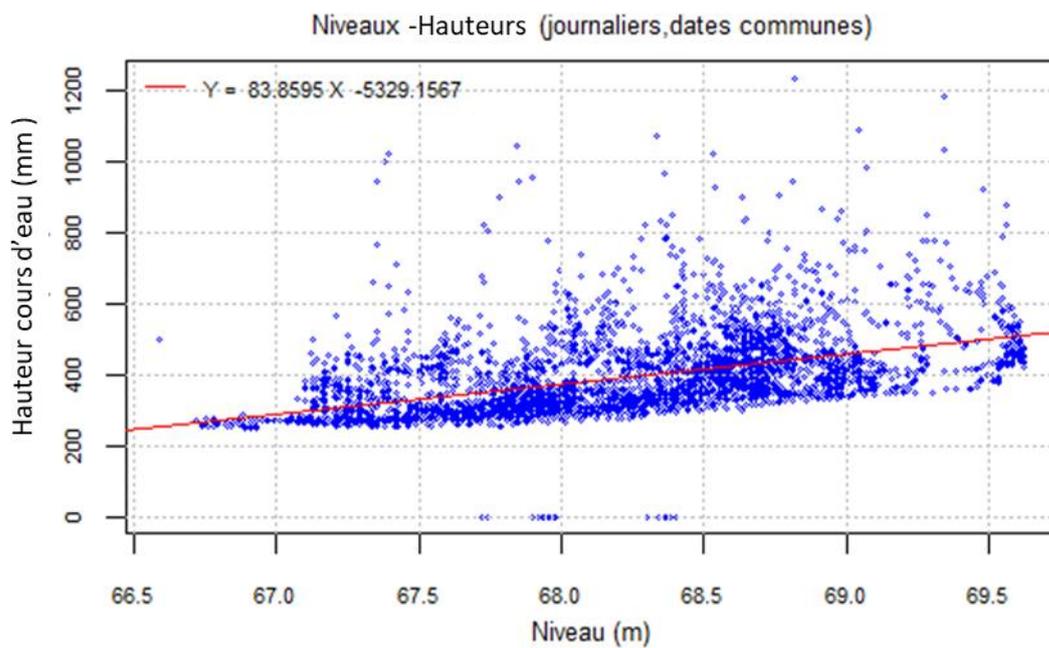
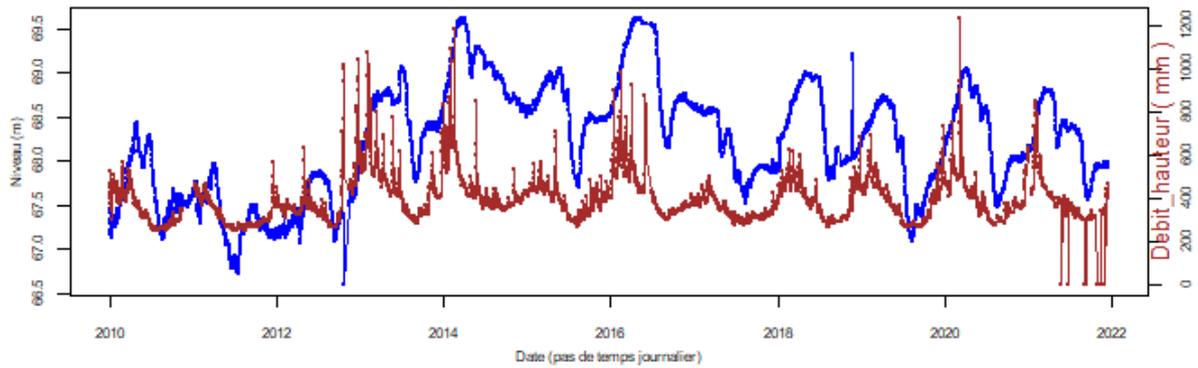
obtenue avec un décalage de : -90 jour



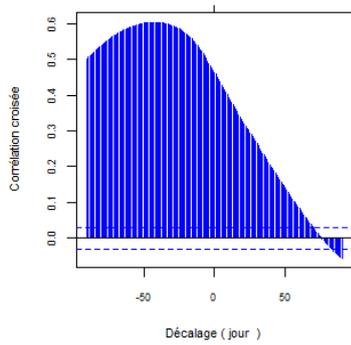
→ La nappe soutient peu le cours d'eau

UG 5 – Hauteur cours d'eau Couason – (Gée) à Beaufort-en-Vallée- piézométrie

BSS001DPYT_PONTIGNE_ST_UG5

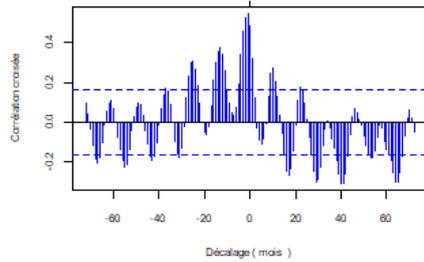


! Attention, il s'agit de hauteurs en mm et pas de débit !!



Valeurs journalières
 Partie droite
 Corrélation maximale positive: 0.46
 obtenue avec un décalage de : 0 jour
 Corrélation maximale négative: -0.06
 obtenue avec un décalage de : 90 jour

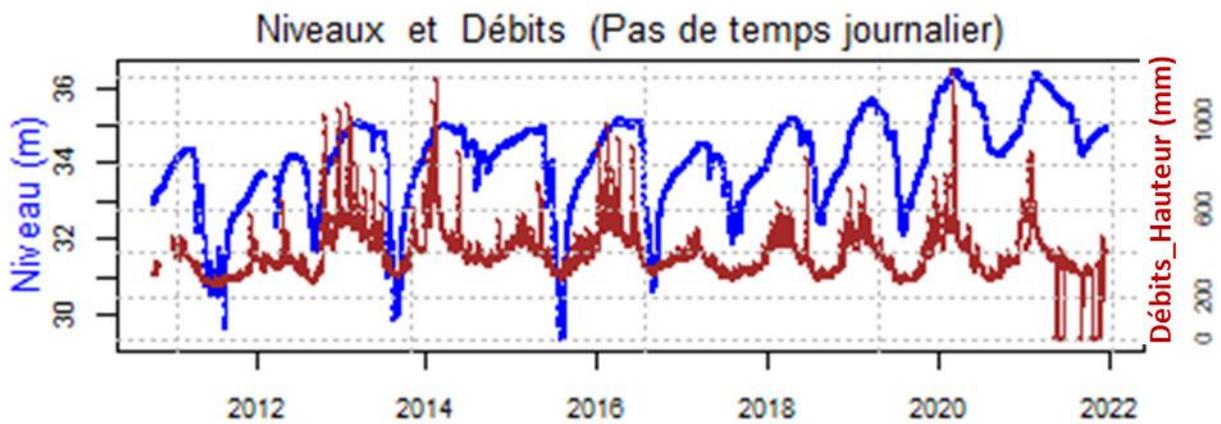
Partie gauche
 Corrélation maximale positive : 0.6
 obtenue avec un décalage de : -44 jour
 Corrélation maximale négative: 0.47
 obtenue avec un décalage de : -1 jour



Valeurs minimales mensuelles
 Partie droite
 Corrélation maximale positive: 0.48
 obtenue avec un décalage de : 0 mois
 Corrélation maximale négative: -0.31
 obtenue avec un décalage de : 41 mois

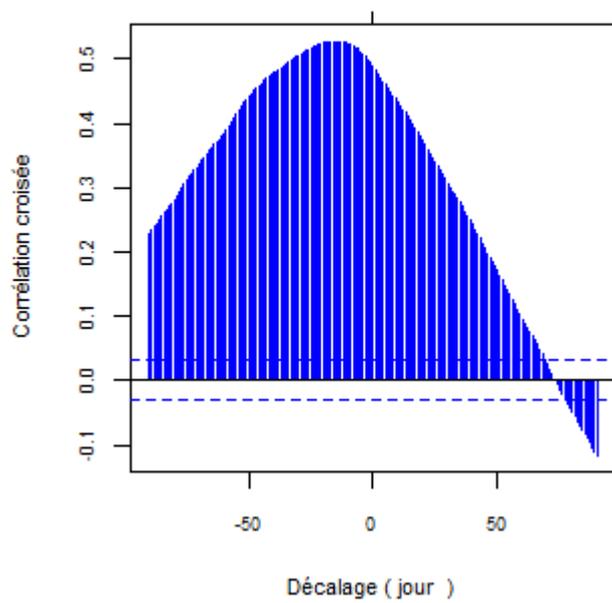
Partie gauche
 Corrélation maximale positive : 0.54
 obtenue avec un décalage de : -1 mois
 Corrélation maximale négative: -0.22
 obtenue avec un décalage de : -55 mois

BSS001FDDU_FONT_MILON_CENO_UG5



Niveaux (m)
 Moyenne : 34.1
 Ecart-type : 1.2
 Maximum : 36.5
 Minimum : 29.3
 Mesures (%) : 98.33

Hauteur (mm)
 Moyenne : 396.322
 Ecart-type : 114.853
 Maximum : 1235
 Minimum : 0
 Mesures (%) : 98.23



Valeurs journalières

Partie droite

Corrélation maximale positive: 0.49

obtenue avec un décalage de : 0 jour

Corrélation maximale négative: -0.12

obtenue avec un décalage de : 90 jour

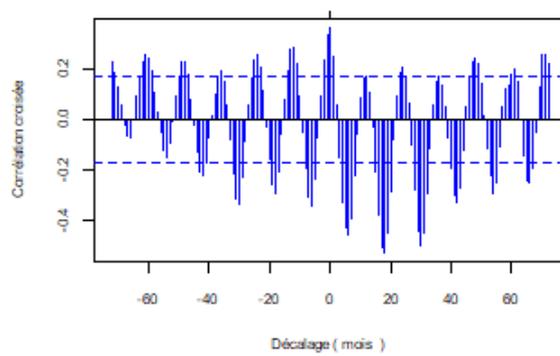
Partie gauche

Corrélation maximale positive : 0.53

obtenue avec un décalage de : -17 jour

Corrélation maximale négative: 0.23

obtenue avec un décalage de : -90 jour



Valeurs minimales mensuelles

Partie droite

Corrélation maximale positive: 0.36

obtenue avec un décalage de : 0 mois

Corrélation maximale négative: -0.53

obtenue avec un décalage de : 18 mois

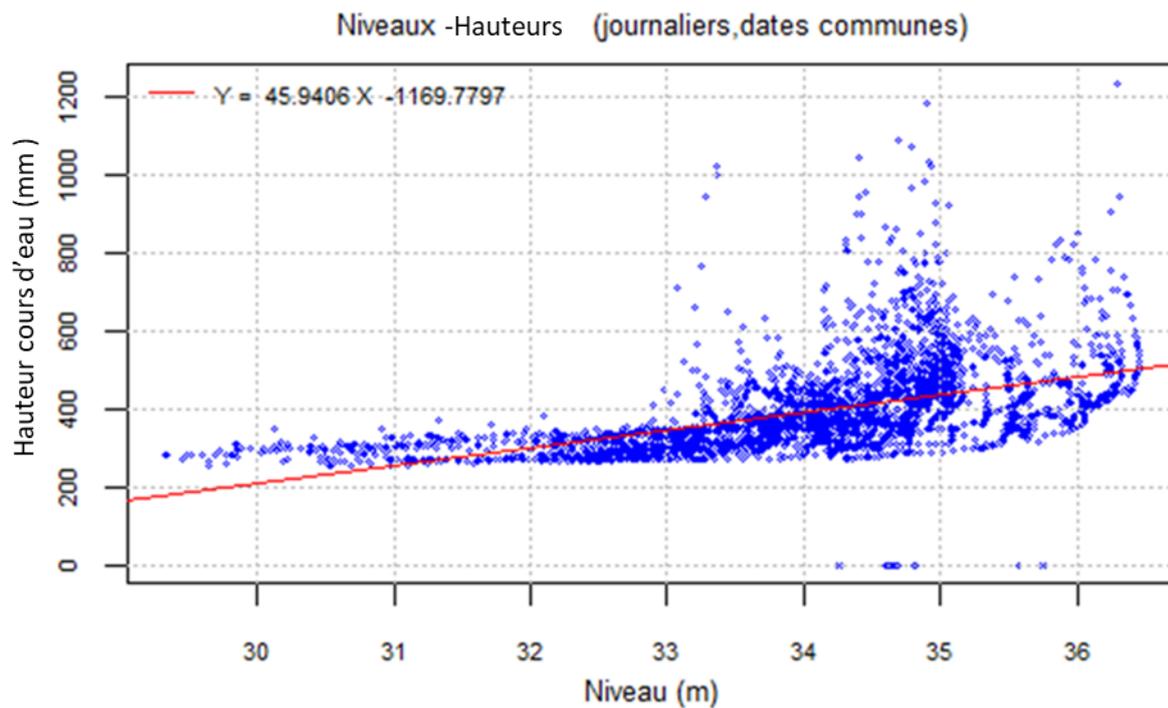
Partie gauche

Corrélation maximale positive : 0.33

obtenue avec un décalage de : -1 mois

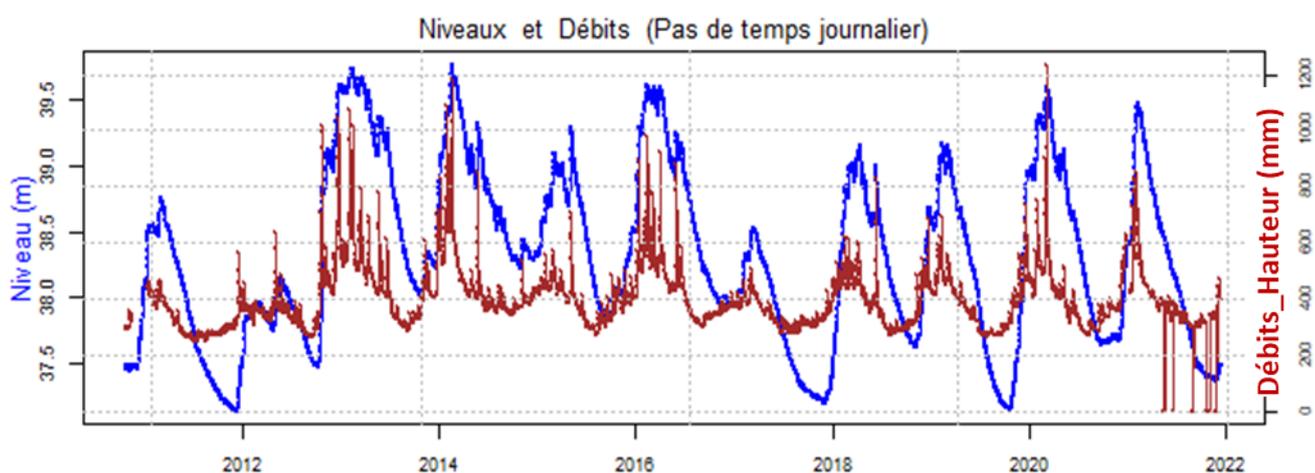
Corrélation maximale négative: -0.34

obtenue avec un décalage de : -6 mois



!Attention, c'est le niveau d'eau en mm et pas des débits !

BSS001FDDV_FONT_MILON_JUR_UG5



Niveaux (m)

Moyenne : 38.3

Ecart-type : 0.7

Maximum : 39.8

Minimum : 37.1

Mesures (%) : 99.98

Hauteur (mm)

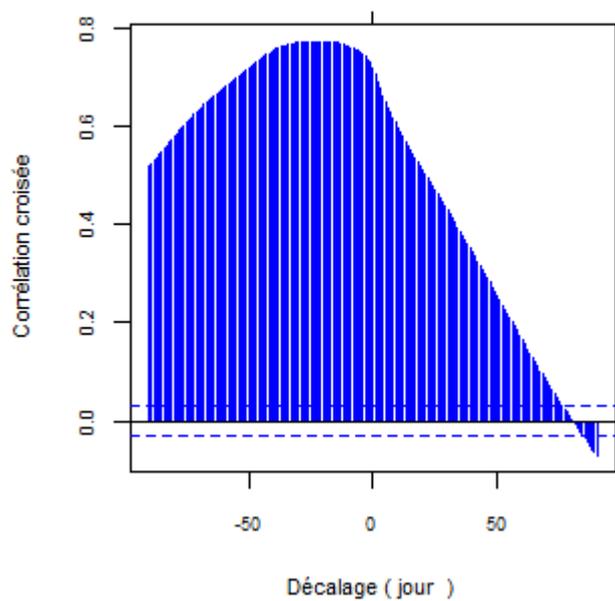
Moyenne : 396.322

Ecart-type : 114.853

Maximum : 1235

Minimum : 0

Mesures (%) : 98.23



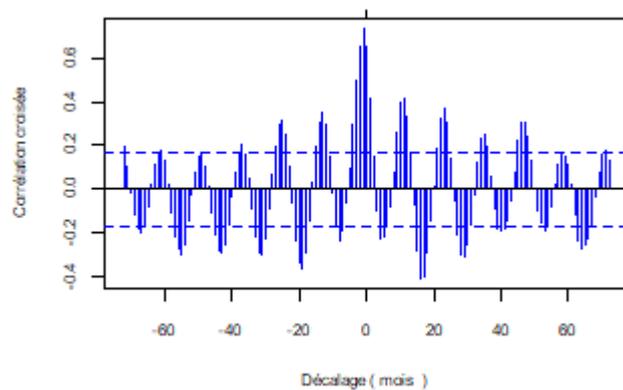
Valeurs journalières

Partie droite

Corrélation maximale positive: 0.72
 obtenue avec un décalage de : 0 jour
 Corrélation maximale négative: -0.07
 obtenue avec un décalage de : 90 jour

Partie gauche

Corrélation maximale positive : 0.77
 obtenue avec un décalage de : -24 jour
 Corrélation maximale négative: 0.52
 obtenue avec un décalage de : -90 jour



Valeurs minimales mensuelles

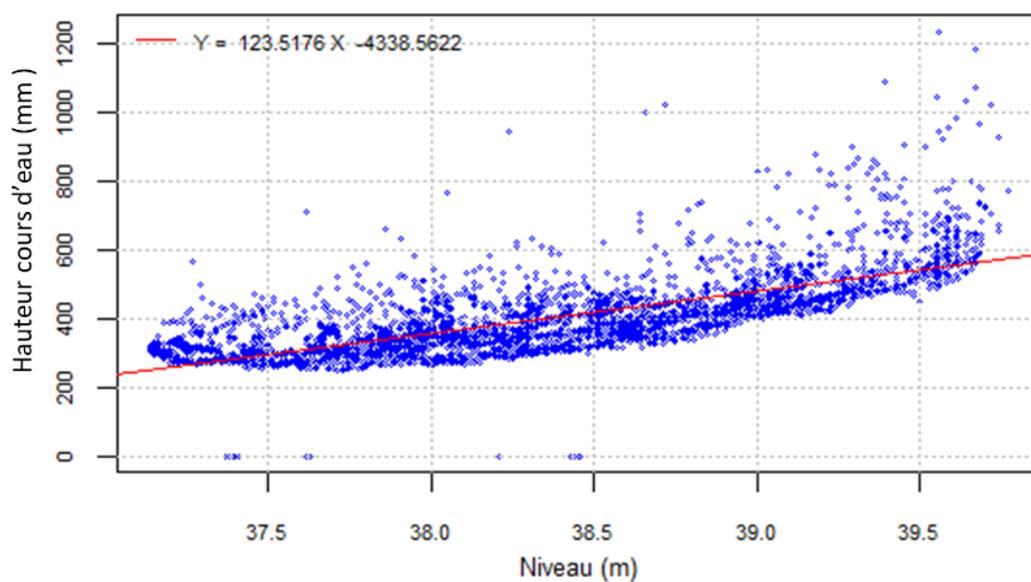
Partie droite

Corrélation maximale positive: 0.66
 obtenue avec un décalage de : 0 mois
 Corrélation maximale négative: -0.41
 obtenue avec un décalage de : 16 mois

Partie gauche

Corrélation maximale positive : 0.73
 obtenue avec un décalage de : -1 mois
 Corrélation maximale négative: -0.38
 obtenue avec un décalage de : -19 mois

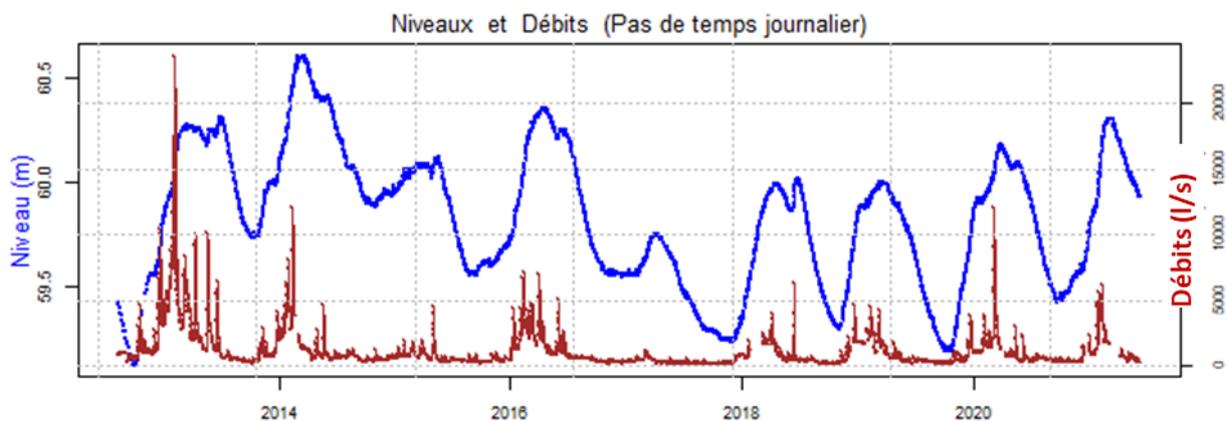
Niveaux-Hauteurs (journaliers, dates communes)



!Attention, c'est le niveau d'eau en mm et pas des débits !

UG 7 – Débit Lathan aval - Moulin Guet- piézométrie

BSS001FFLW_VERNOIL_ST_UG7



Niveaux (m)

Moyenne : 59.8

Ecart-type : 0.3

Maximum : 60.6

Minimum : 59.1

Mesures (%) : 98.01

Débits (l/s)

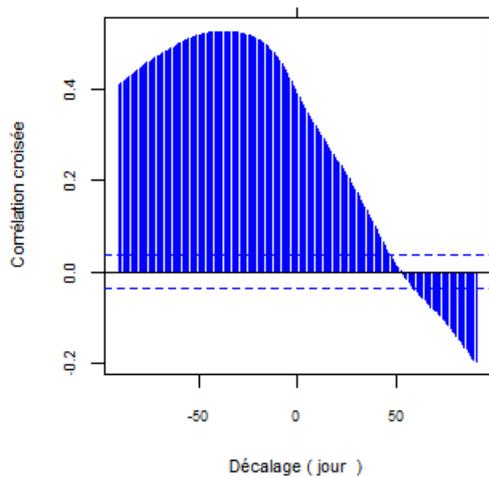
Moyenne : 1146.894

Ecart-type : 1555.712

Maximum : 23625

Minimum : 55

Mesures (%) : 95.16



Valeurs journalières

Partie droite

Corrélation maximale positive: 0.39

obtenue avec un décalage de : 0 jour

Corrélation maximale négative: -0.2

obtenue avec un décalage de : 90 jour

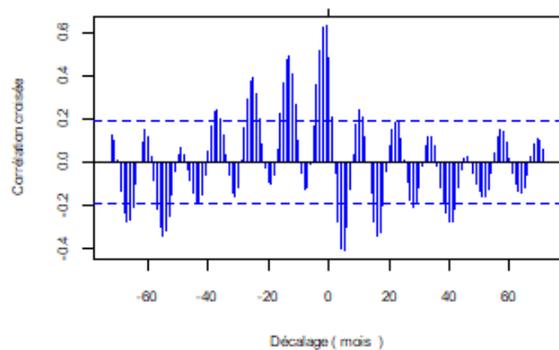
Partie gauche

Corrélation maximale positive : 0.53

obtenue avec un décalage de : -36 jour

Corrélation maximale négative: 0.4

obtenue avec un décalage de : -1 jour



Valeurs minimales mensuelles

Partie droite

Corrélation maximale positive: 0.48

obtenue avec un décalage de : 0 mois

Corrélation maximale négative: -0.41

obtenue avec un décalage de : 5 mois

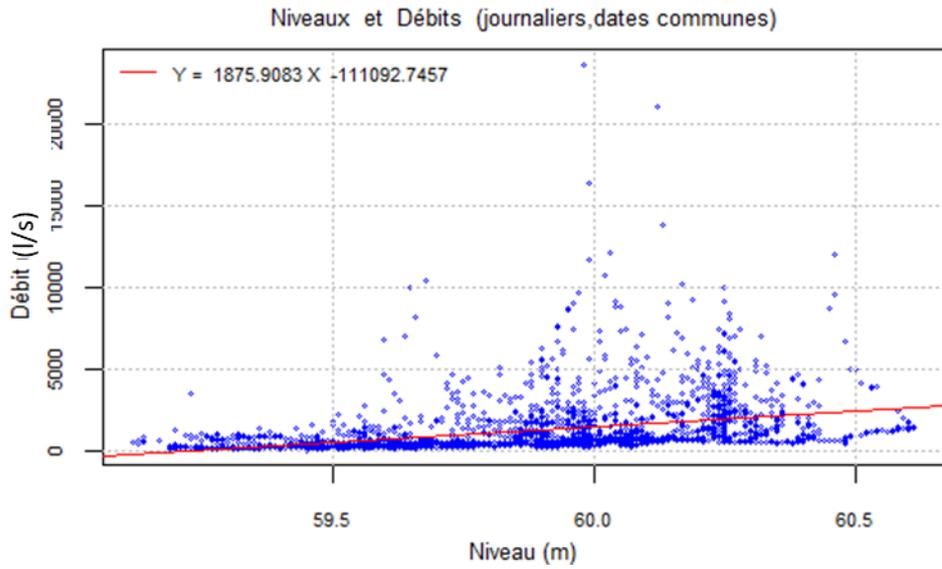
Partie gauche

Corrélation maximale positive : 0.63

obtenue avec un décalage de : -1 mois

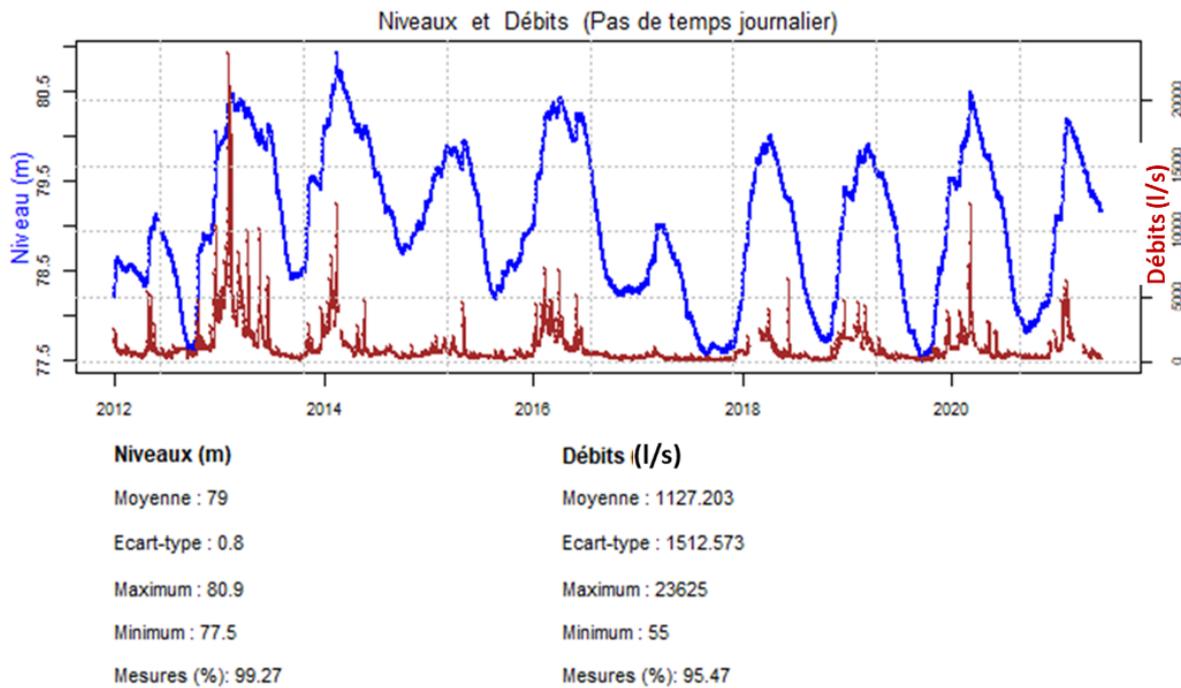
Corrélation maximale négative: -0.34

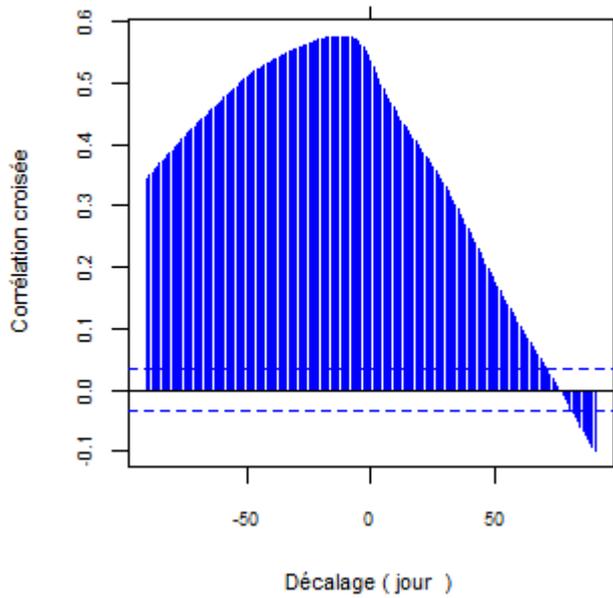
obtenue avec un décalage de : -55 mois



➔ La nappe soutient peu le cours d'eau

BSS001FFLX_VERNOIL_CENO_UG7





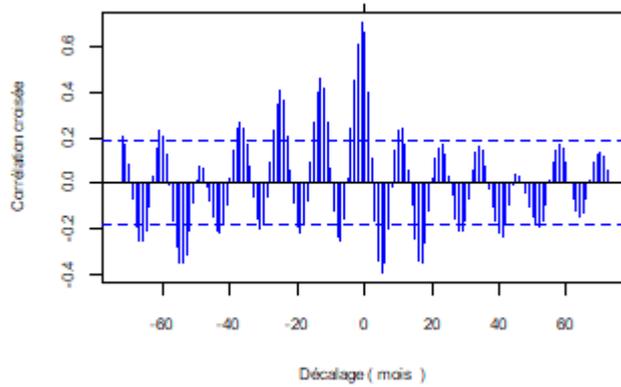
Valeurs journalières

Partie droite

Corrélation maximale positive: 0.54
 obtenue avec un décalage de : 0 jour
 Corrélation maximale négative: -0.1
 obtenue avec un décalage de : 90 jour

Partie gauche

Corrélation maximale positive : 0.58
 obtenue avec un décalage de : -12 jour
 Corrélation maximale négative: 0.34
 obtenue avec un décalage de : -90 jour



Valeurs minimales mensuelles

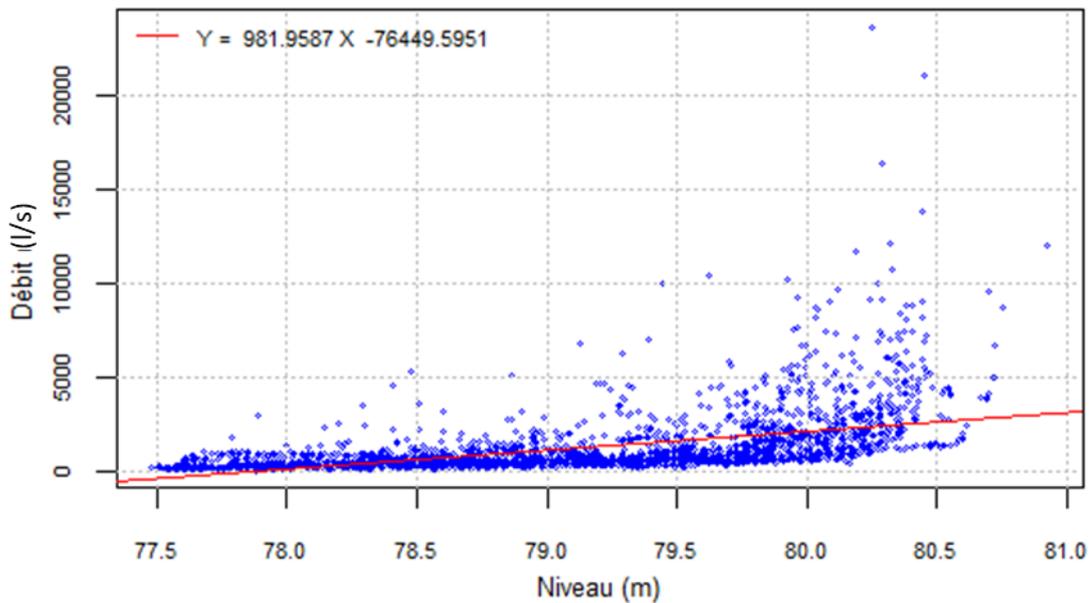
Partie droite

Corrélation maximale positive: 0.66
 obtenue avec un décalage de : 0 mois
 Corrélation maximale négative: -0.4
 obtenue avec un décalage de : 5 mois

Partie gauche

Corrélation maximale positive : 0.71
 obtenue avec un décalage de : -1 mois
 Corrélation maximale négative: -0.35
 obtenue avec un décalage de : -54 mois

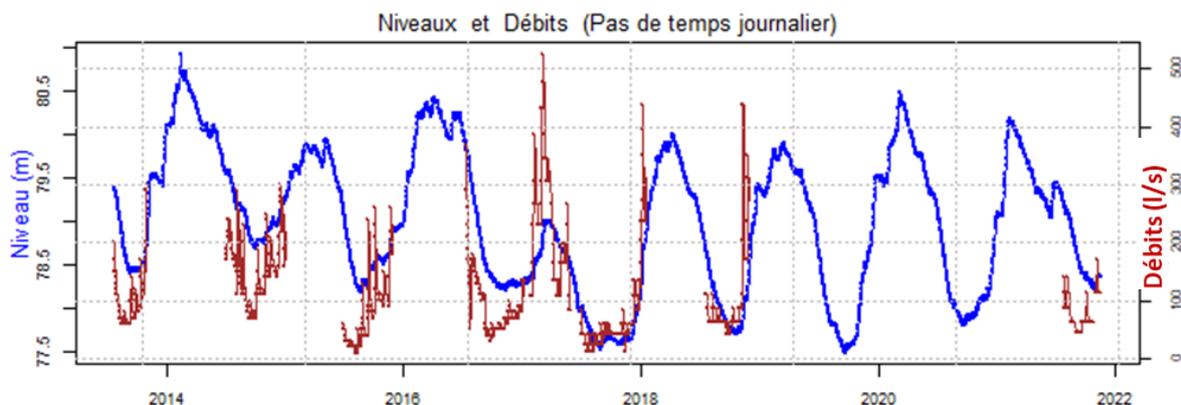
Niveaux et Débits (journaliers, dates communes)



➔ La nappe soutient peu le cours d'eau

UG 8 – Débit Lathan amont – Pincemaille - piézométrie

BSS001FEWY_LESSAY_ST_UG8

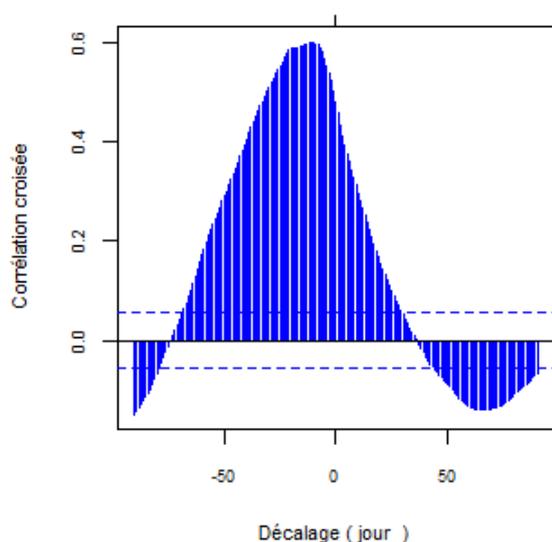


Niveaux (m)

Moyenne : 79
 Ecart-type : 0.8
 Maximum : 80.9
 Minimum : 77.5
 Mesures (%) : 99.6

Débits (l/s)

Moyenne : 112.917
 Ecart-type : 82.695
 Maximum : 526
 Minimum : 10
 Mesures (%) : 39.37



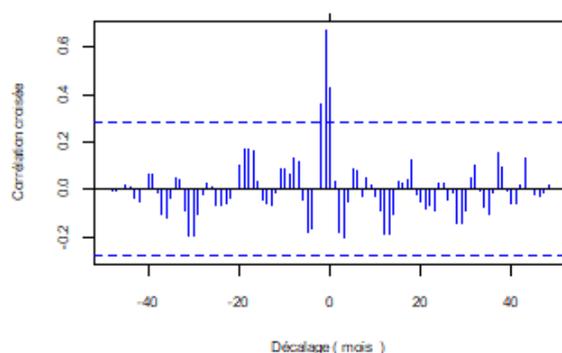
Valeurs journalières

Partie droite

Corrélation maximale positive : 0.48
 obtenue avec un décalage de : 0 jour
 Corrélation maximale négative : -0.14
 obtenue avec un décalage de : 67 jour

Partie gauche

Corrélation maximale positive : 0.6
 obtenue avec un décalage de : -11 jour
 Corrélation maximale négative : -0.15
 obtenue avec un décalage de : -90 jour



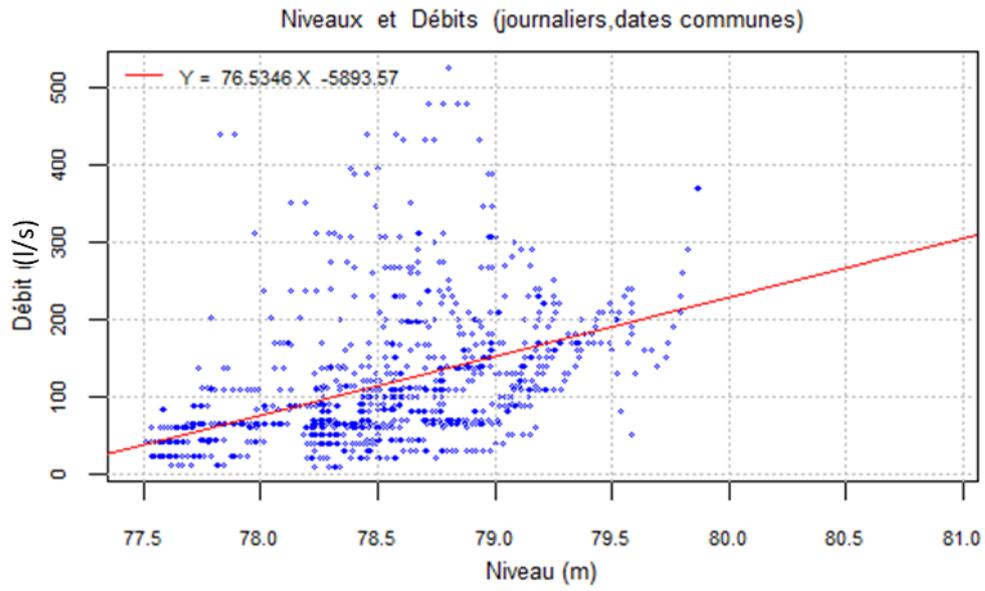
Valeurs minimales mensuelles

Partie droite

Corrélation maximale positive : 0.43
 obtenue avec un décalage de : 0 mois
 Corrélation maximale négative : -0.2
 obtenue avec un décalage de : 3 mois

Partie gauche

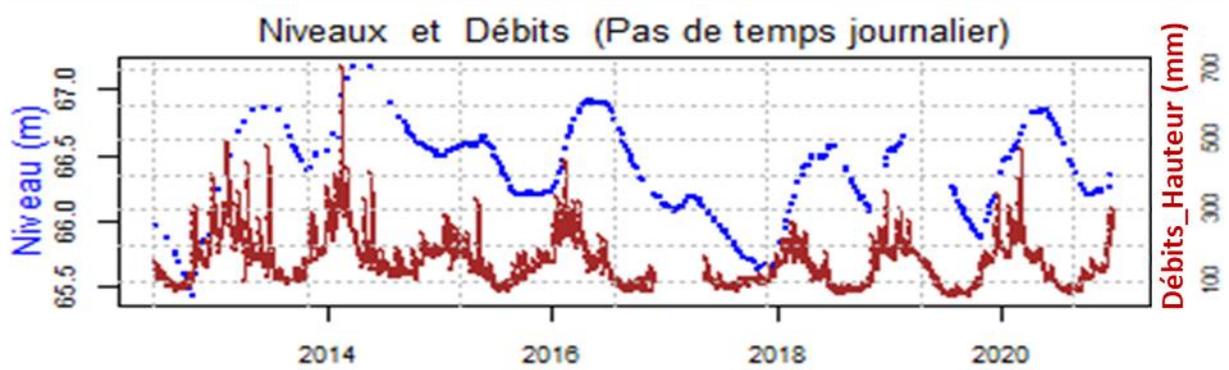
Corrélation maximale positive : 0.67
 obtenue avec un décalage de : -1 mois
 Corrélation maximale négative : -0.2
 obtenue avec un décalage de : -30 mois



→ La nappe soutient peu le cours d'eau

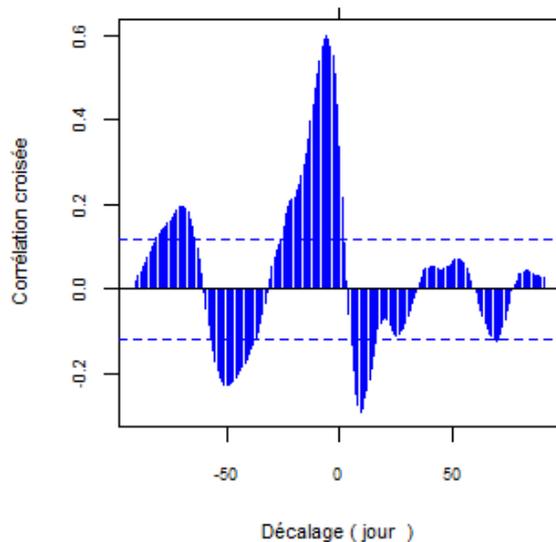
UG 10 – Changeon - Moulin Foulon— piézométrie

BSS004CXYJ_SMBAA58_ST_UG10



Niveaux (m)
Moyenne : 66.3
Ecart-type : 0.3
Maximum : 67.2
Minimum : 65.4
Mesures (%) : 9.58

Hauteur (mm)
Moyenne : 153.229
Ecart-type : 69.757
Maximum : 709
Minimum : 56
Mesures (%) : 94.75



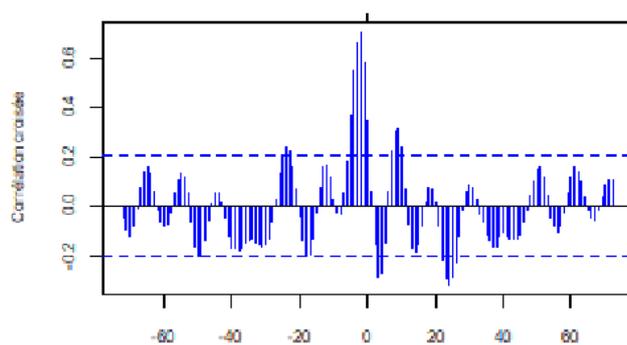
Valeurs journalières

Partie droite

Corrélation maximale positive: 0.34
obtenue avec un décalage de : 0 jour
Corrélation maximale négative: -0.29
obtenue avec un décalage de : 9 jour

Partie gauche

Corrélation maximale positive : 0.6
obtenue avec un décalage de : -6 jour
Corrélation maximale négative: -0.23
obtenue avec un décalage de : -49 jour



Valeurs minimales mensuelles

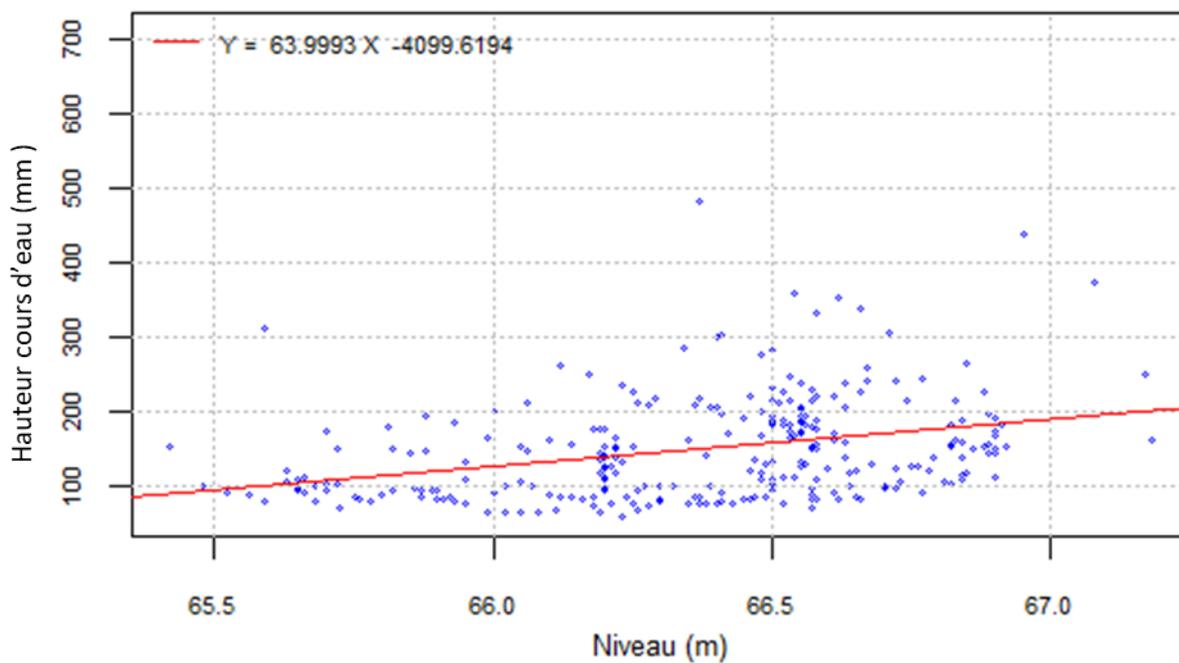
Partie droite

Corrélation maximale positive: 0.34
 obtenue avec un décalage de : 0 mois
 Corrélation maximale négative: -0.32
 obtenue avec un décalage de : 24 mois

Partie gauche

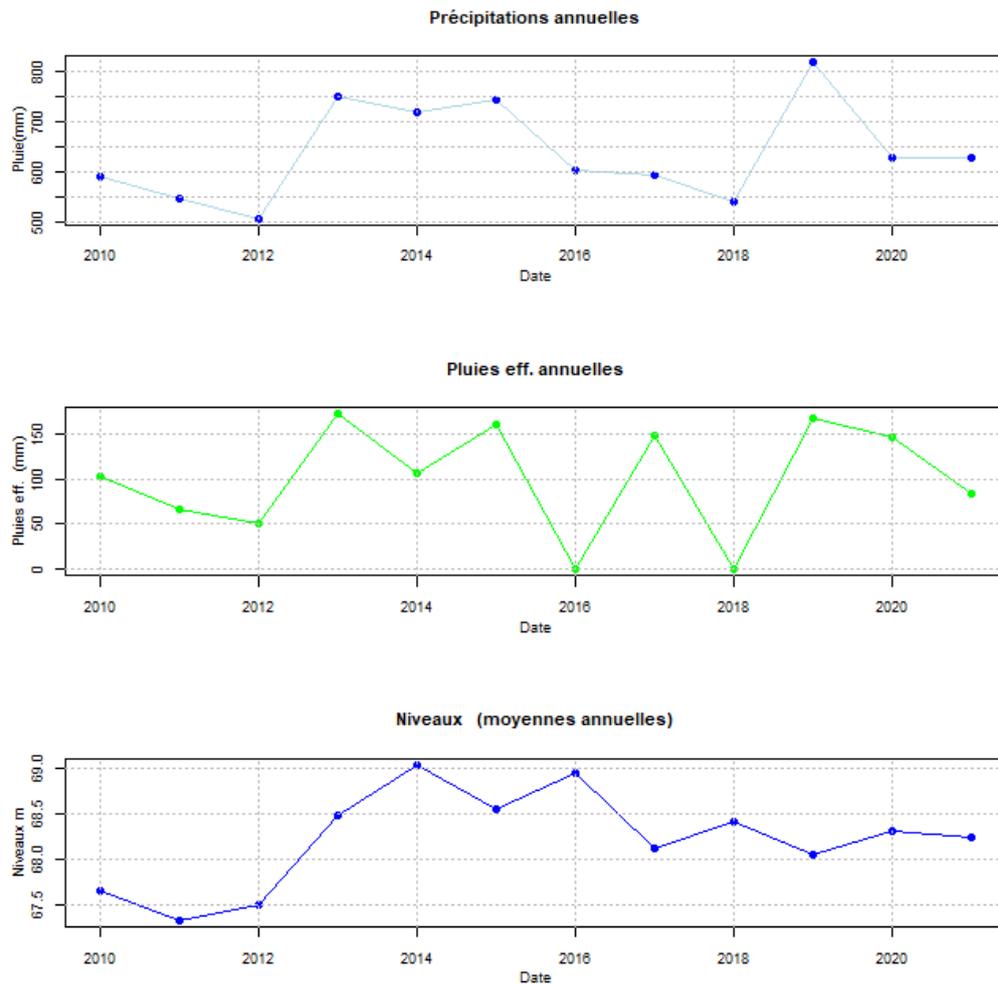
Corrélation maximale positive : 0.7
 obtenue avec un décalage de : -2 mois
 Corrélation maximale négative: -0.21
 obtenue avec un décalage de : -50 mois

Niveaux -Hauteurs (journaliers, dates communes)

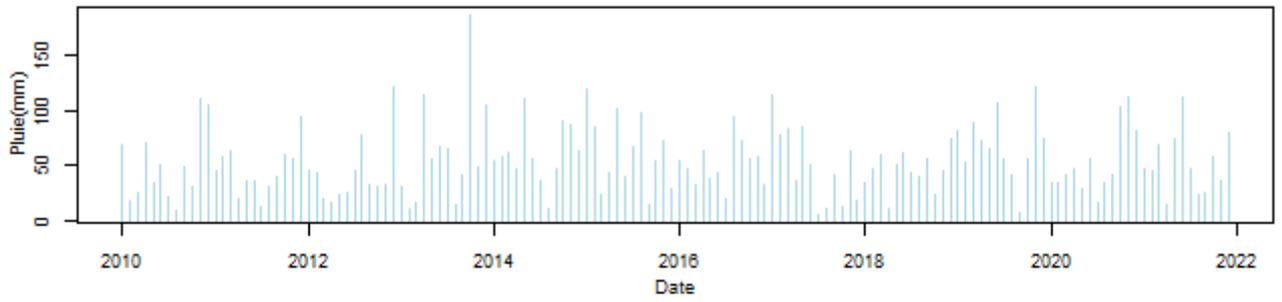


➔ La nappe soutient peu le cours d'eau

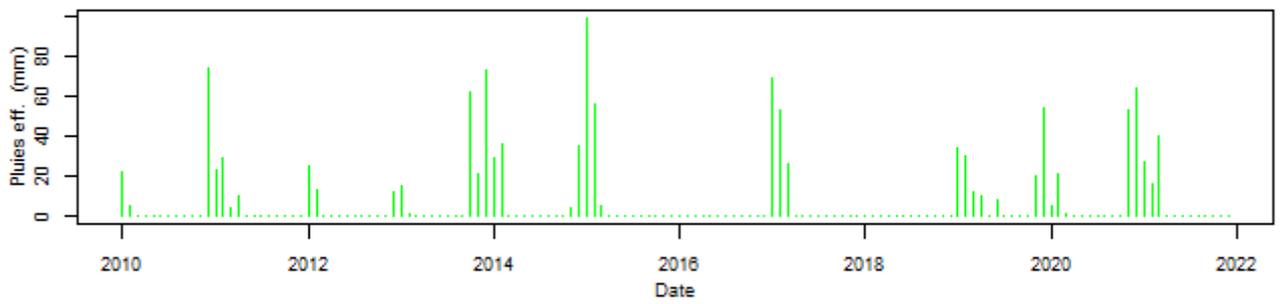
UG 5 : Graphique de comparaison entre le débit - le niveau piézométrique et pluies efficaces, calculées à partir des pluies, ETP et RU (=100 mm)



Précipitations mensuelles



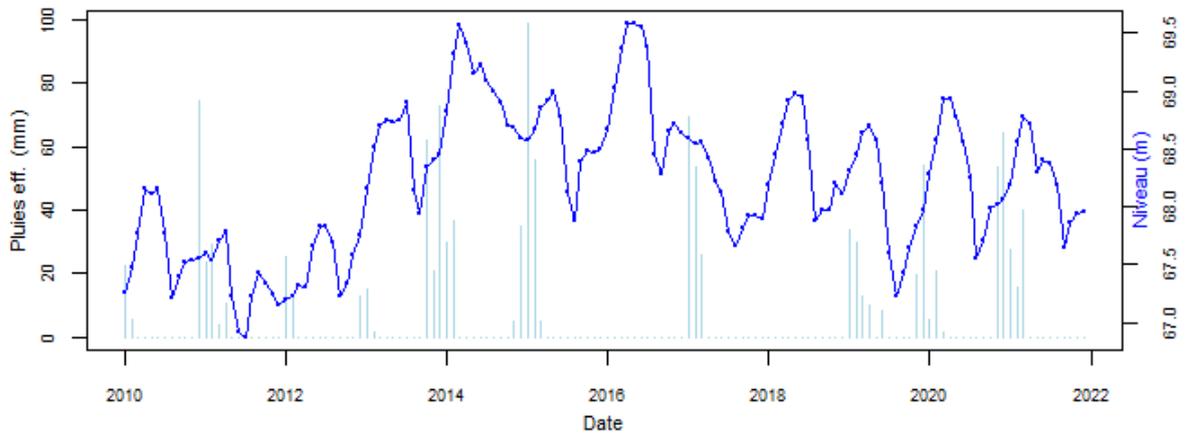
Pluies eff. mensuelles



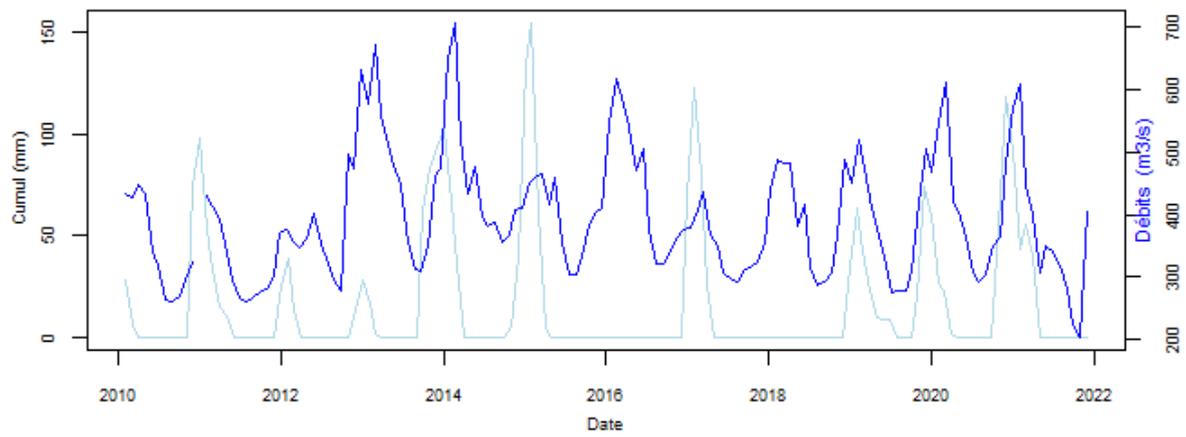
Niveaux (moyennes mensuelles)

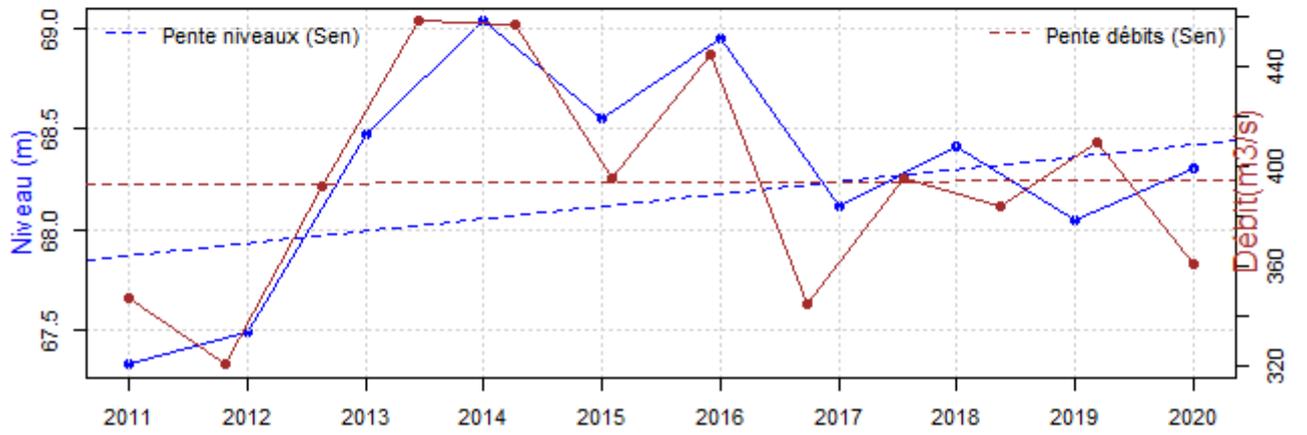
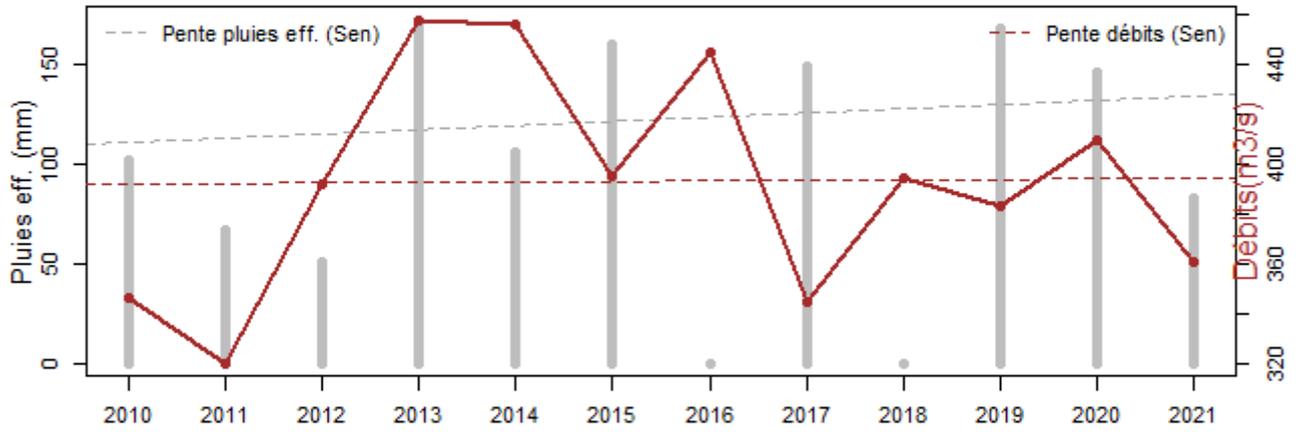
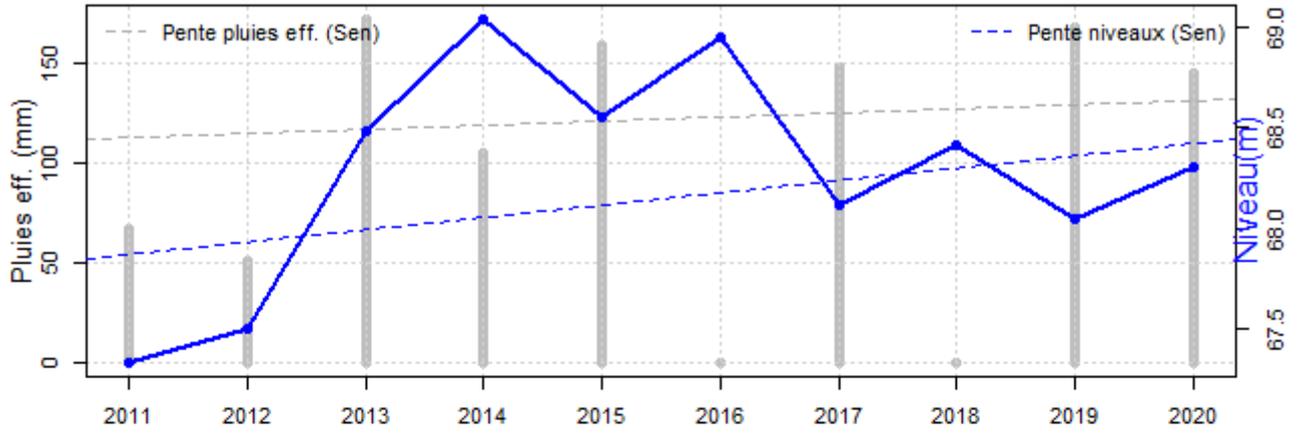


Pluies eff. et Niveaux (pas de temps mensuel)



Pluies eff. cumulées sur 2 mois



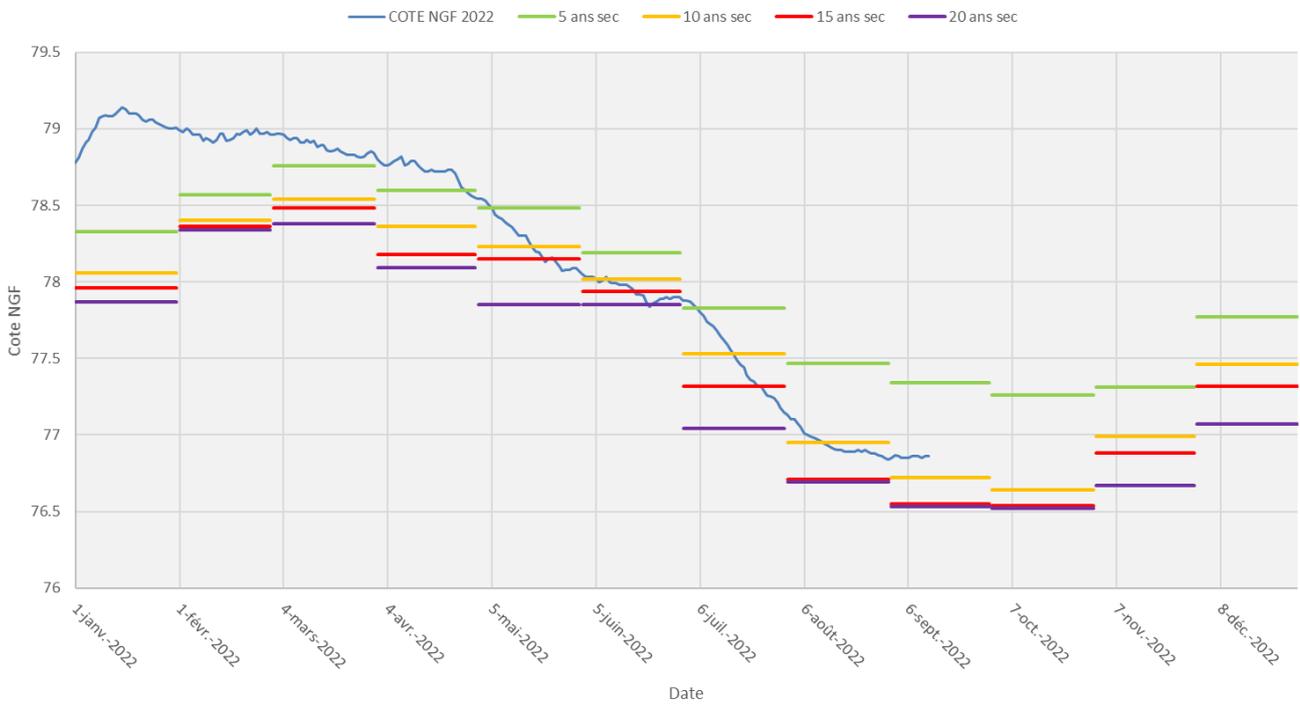


Annexe 3

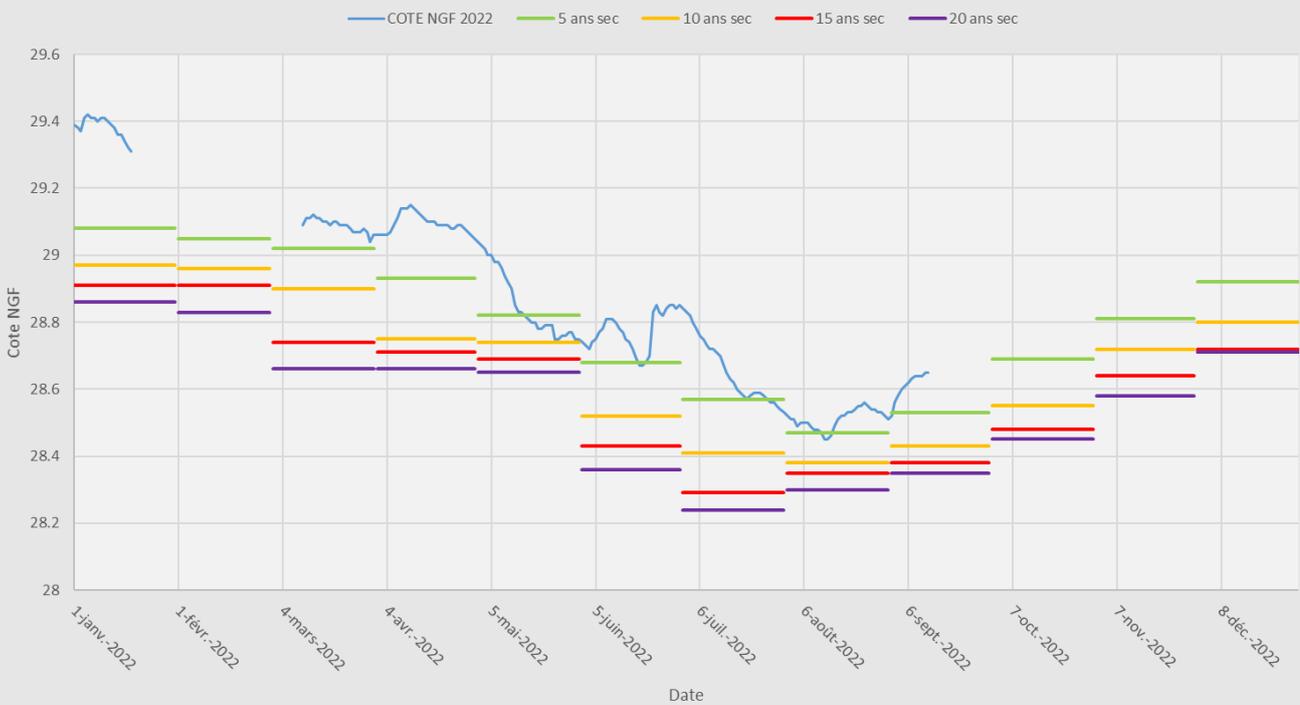
Résultats des calculs statistiques fréquentiels pour tous les piézomètres retenus

CODE_BSS	month	2 ans sec	5 ans sec	10 ans sec	Min2 ans s	Min5 ans s	Min10 ans s	CODE_BSS	month	2 ans sec	5 ans sec	10 ans sec	Min2 ans sec	Min5 ans sec	Min10 ans sec
04248X0022/F 19 ans	1	68.2	67.62	67.28				04562X0074 /PZ 15 ans	1	76.27	75.62	75.04			
	2	68.46	67.67	67.46					2	77	76.1	75.8			
	3	68.65	68.07	67.67					3	77.05	76.55	76.19			
	4	68.75	68.22	67.92					4	77.22	76.61	75.78			
	5	68.74	68.09	67.58					5	76.81	75.74	75.36			
	6	68.6	68.13	67.83					6	76.57	75.88	75.01			
	7	68.57	67.81	67.5					7	75.76	74.74	74.38			
	8	67.81	67.47	67.21					8	75.26	74.54	74.29			
	9	67.9	67.46	67.38					9	75.42	74.8	74.63			
	10	67.96	67.59	67.38					10	75.57	75.01	74.93			
	11	67.97	67.6	67.29					11	75.64	75.05	74.88			
	12	68.03	67.58	67.21	67.81	67.46			12	75.86	75.16	74.82	75.26	74.54	
04248X0058/F 7 ans	1	45.18	44.53	44.45				04563X0105 /F 30 ans	1	79.1	78.33	78.06			
	2	45.02	44.63	43.97					2	79.48	78.57	78.4			
	3	45.21	44.97	44.85					3	79.76	78.76	78.54			
	4	45.4	45.22	44.79					4	79.62	78.6	78.36			
	5	45.44	44.82	44.69					5	79.43	78.48	78.23			
	6	45.42	45.08	44.98					6	79.28	78.19	78.02			
	7	45.02	44.47	44.17					7	78.75	77.83	77.53			
	8	44.39	43.48	43.3					8	78.26	77.47	76.95			
	9	44.18	43.32	43.2					9	78.07	77.34	76.72			
	10	44.28	43.54	43.38					10	78.06	77.26	76.64			
	11	44.58	43.91	43.59					11	78.17	77.31	76.99			
	12	44.94	44.32	44.18	44.18				12	78.68	77.77	77.46	78.06	77.26	76.64
04552X0110/PZ 13 ans	1	34.59	34	33.83				04565X0076 /PZ 11 ans	1	59.89	59.69	59.55			
	2	34.86	34.27	34.13					2	59.99	59.88	59.61			
	3	35.01	34.79	34.35					3	60.08	59.91	59.82			
	4	35.01	34.42	33.67					4	60.08	59.89	59.8			
	5	34.91	34.1	33.89					5	60.05	59.8	59.69			
	6	34.75	34.07	33.47					6	59.96	59.75	59.61			
	7	34.1	32.4	31.34					7	59.89	59.61	59.46			
	8	32.56	31.24	30.52					8	59.65	59.39	59.35			
	9	32.89	32.14	31.5					9	59.56	59.29	59.26			
	10	33.46	33	32.79					10	59.58	59.27	59.21			
	11	33.82	33.45	33.12					11	59.56	59.38	59.25			
	12	34.18	33.73	33.41					12	59.66	59.56	59.48	59.56	59.27	
04552X0111/PZ 13 ans	1	38.53	38.01	37.85	32.56	31.24		04565X0077 /PZ1 13 ans	1	44.86	44.02	43.95			
	2	38.94	38.37	38.17					2	45.09	44.21	44			
	3	38.99	38.48	38.26					3	45.2	44.42	44.02			
	4	38.8	38.28	38.1					4	45.04	44.19	43.72			
	5	38.56	38.1	38					5	45	44.01	43.24			
	6	38.56	37.98	37.88					6	44.88	43.49	43			
	7	38.2	37.71	37.61					7	43.8	42.04	41.41			
	8	37.91	37.48	37.42					8	42.92	41.83	41.45			
	9	37.69	37.33	37.29					9	43.29	42.48	42.28			
	10	37.66	37.26	37.21					10	44.08	43.09	42.94			
	11	37.7	37.38	37.22					11	44.51	43.5	43.31			
	12	38.03	37.47	37.29	37.66	37.26			12	44.73	43.85	43.7	42.92	41.83	
04553X0023/F 19 ans	1	43.09	42.78	42.53				04854X0257 /PZ 17 ans	1	25.78	25.59	25.33			
	2	43.22	42.99	42.72					2	25.91	25.81	25.39			
	3	43.36	43.06	42.97					3	25.97	25.79	25.67			
	4	43.33	43.11	43.07					4	25.92	25.73	25.63			
	5	43.58	43.27	43.08					5	25.82	25.65	25.5			
	6	43.56	43.23	43.05					6	25.71	25.42	25.24			
	7	43.49	43.04	42.98					7	25.49	25.06	24.83			
	8	43.35	42.93	42.83					8	25.19	24.67	24.56			
	9	43.2	42.78	42.7					9	25.08	24.64	24.53			
	10	43.07	42.67	42.62					10	25.07	24.66	24.58			
	11	43.03	42.61	42.55					11	25.22	24.92	24.67			
	12	43	42.68	42.49	43	42.61			12	25.48	25.2	25.08	25.07	24.64	
04554X0026/PZ 11 ans	1	57.76	57.69	57.66				04854X0282 /PZ 13 ans	1	26.9	26.48	26.35			
	2	57.83	57.72	57.67					2	27.1	26.81	26.59			
	3	57.89	57.75	57.68					3	27.2	26.98	26.78			
	4	57.89	57.81	57.71					4	27.01	26.65	26.33			
	5	57.92	57.81	57.73					5	26.94	25.98	24.72			
	6	57.92	57.82	57.8					6	26.36	25.08	22.45			
	7	57.9	57.79	57.75					7	23.56	21.27	20.21			
	8	57.84	57.72	57.69					8	22.14	21.04	20.44			
	9	57.76	57.65	57.63					9	23.82	22.84	22.01			
	10	57.73	57.62	57.6					10	25.18	24.64	24.4			
	11	57.71	57.62	57.61					11	25.97	25.49	25.31			
	12	57.73	57.65	57.62	57.71	57.62			12	26.51	26.03	25.84	22.14	21.04	
04554X0030/PZ 9 ans	1	35.76	35.61	35.54				04854X0296 /P 13 ans	1	28.26	27.91	27.75			
	2	35.88	35.78	35.73					2	28.45	28.04	27.74			
	3	35.98	35.88	35.86					3	28.44	28.07	27.92			
	4	36.04	35.89	35.87					4	28.26	28	27.77			
	5	36.03	35.67	35.46					5	28.26	27.86	27.68			
	6	35.79	35.66	35.44					6	28.19	27.75	27.37			
	7	34.66	33.49	32.8					7	27.93	27.35	27.13			
	8	33.9	32.34	31.85					8	27.53	27.08	27			
	9	34.32	33.29	31.99					9	27.34	26.93	26.86			
	10	35.1	34.7	34.19					10	27.34	26.95	26.84			
	11	35.4	35.14	34.92					11	27.76	27.13	26.85			
	12	35.58	35.38	35.24	33.9				12	27.92	27.37	27.21	27.34	26.93	
04558X0072/AEP 19 ans	1	45.62	45.12	45.08				04861X0557 /P3 9 ans	1	40.02	39.85	39.73			
	2	45.66	45.17	45.13					2	40.02	39.91	39.75			
	3	45.68	45.18	45.14					3	40.09	39.93	39.81			
	4	45.62	45.22	45.09					4	40.06	39.93	39.73			
	5	45.69	45.22	44.98					5	40.01	39.63	39.54			
	6	45.73	45.18	44.91					6	39.89	39.63	39.42			
	7	45.54	45.11	45.03					7	39.49	39.22	39.13			
	8	45.41	45.04	44.93					8	39.39	39.2	39.09			
	9	45.36	44.99	44.88					9	39.48	39.35	39.28			
	10	45.46	45.04	44.9					10	39.62	39.49	39.45			
	11	45.54	45.12	44.96					11	39.75	39.62	39.56			
	12	45.61	45.11	45.04	45.36	44.99			12	39.88	39.76	39.66	39.39		
04558X0125/F 7 ans	1	33.91	33.67	33.58				04862X0003 /FAEP 30 ans	1	29.22	29.08	28.97			
	2	34.33	34.12	34.04					2	29.24	29.05	28.96			
	3	34.6	34.47	34.37					3	29.21	29.02	28.9			
	4	34.62	34.25	34.11					4	29.09	28.93	28.75			
	5	34.37	33.95	33.44					5	28.98	28.82	28.74			
	6	34.02	33.62	33.27					6	28.85	28.68	28.52			
	7	32.63	31.66	31.37					7	28.73	28.57	28.41			
	8	31.13	30.43	30.22					8	28.67	28.47	28.38			
	9	31.15	30.33	29.75					9	28.71	28.53	28.43			
	10	31.94	31.21	30.83					10	28.83	28.69	28.55			
	11	32.85	32.33	32.04					11	28.99	28.81	28.72			
	12	33.42	33.17	32.92	31.13				12	29.14	28.92	28.8	28.67	28.47	28.38

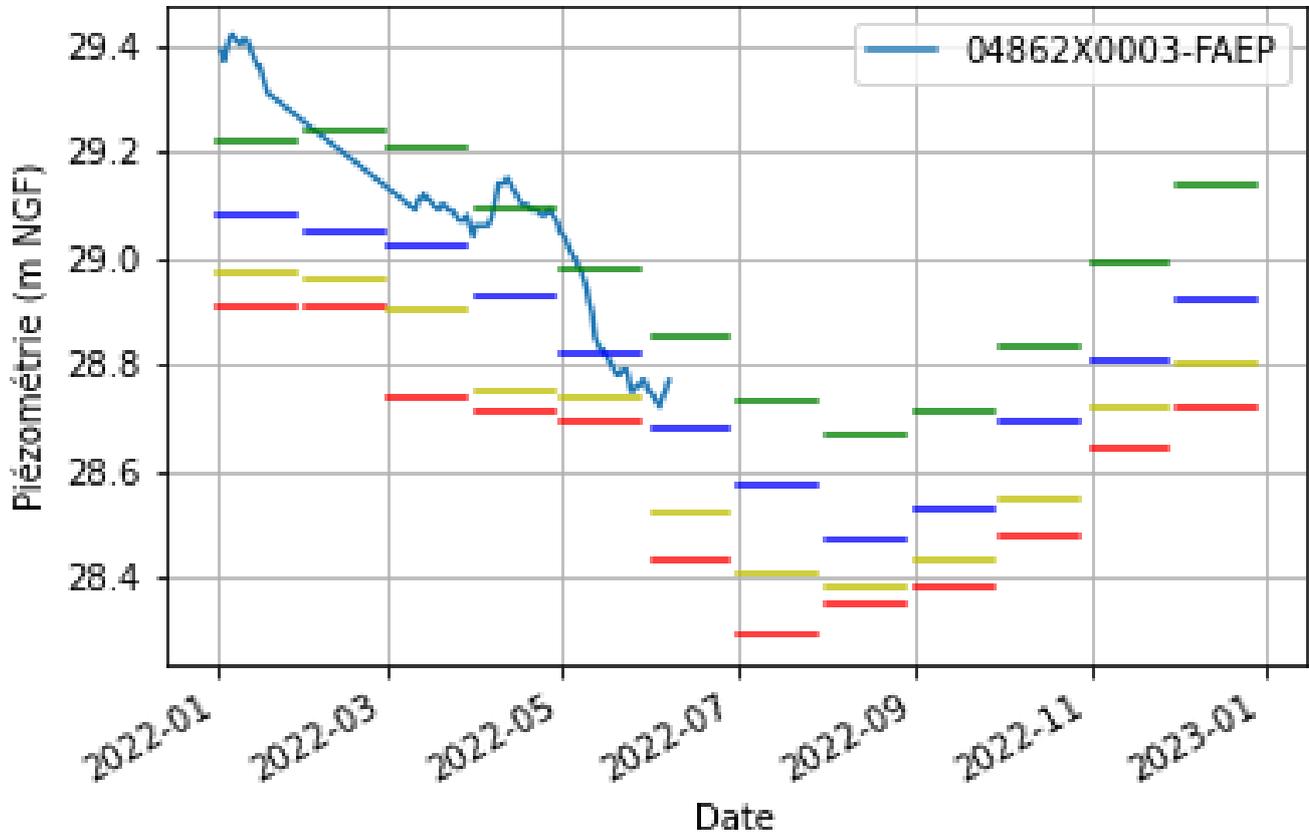
Niveaux piézométriques mensuels statistiques
 Lessay 04563X0105 (BSS001FEWY)



Niveaux piézométriques mensuels statistiques
 Bourgueil 04862X0003 (BSS001HMAP)

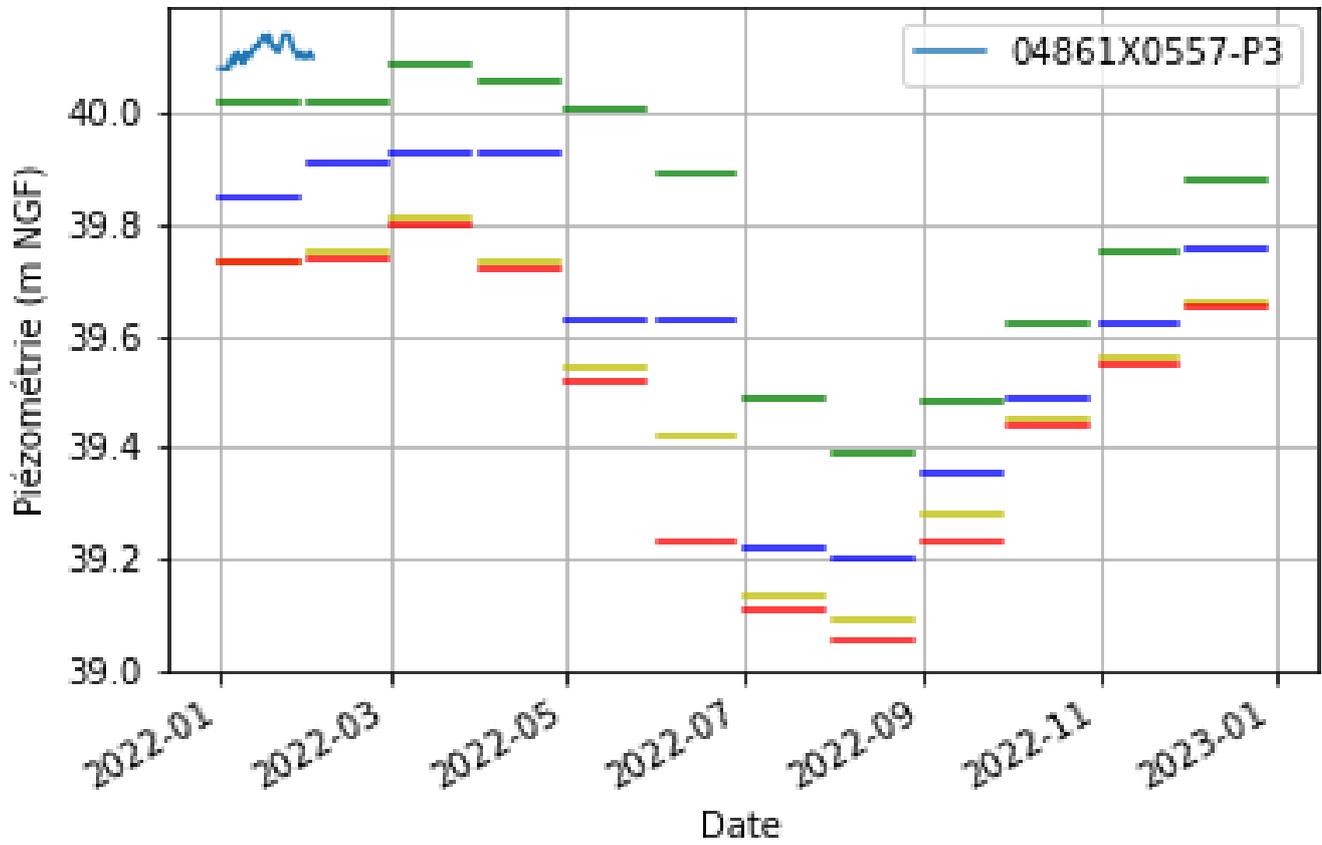


Authion Chronique 2022 - 04862X0003/FAEP



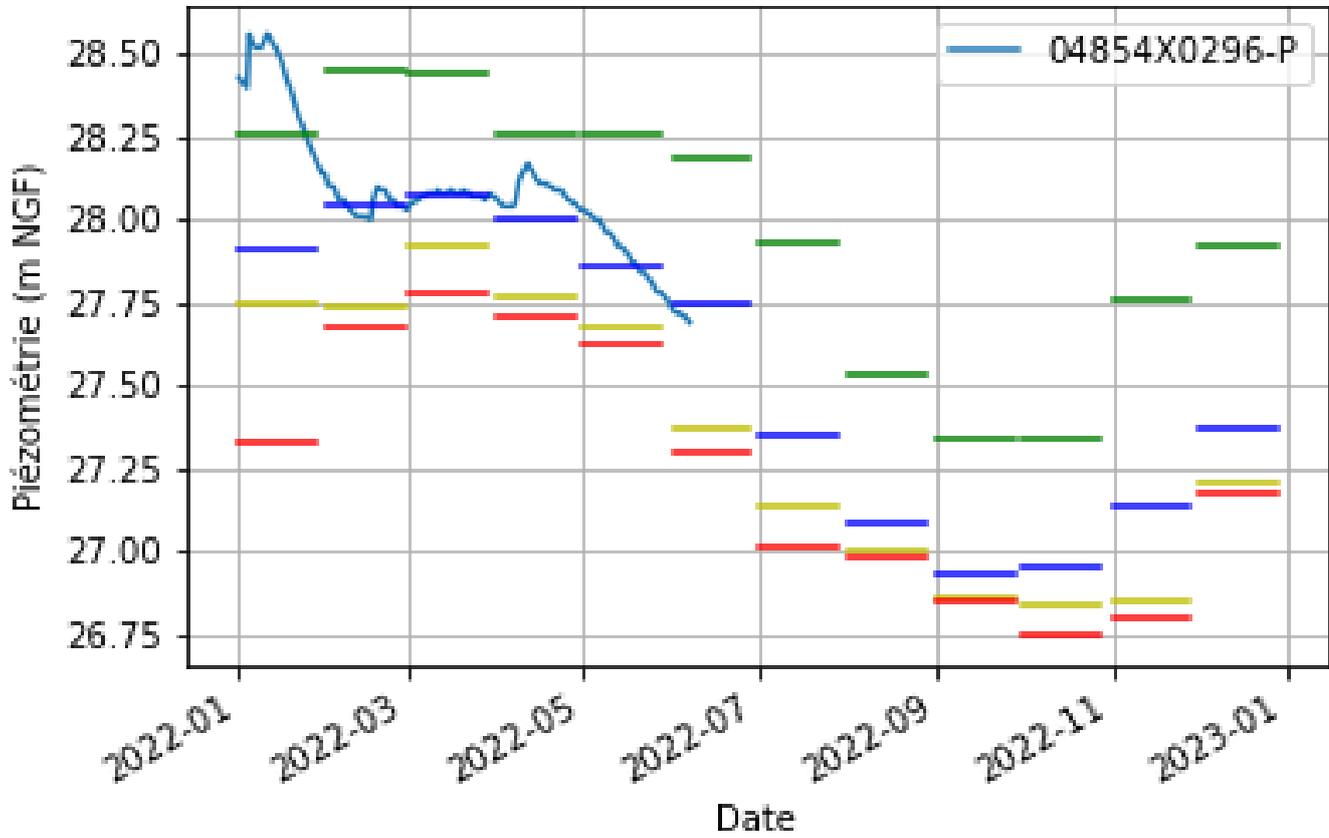
- Fréquence empirique 2 ans sec
- Fréquence empirique 5 ans sec
- Fréquence empirique 10 ans sec
- Fréquence empirique 20 ans sec

Authion Chronique 2022 - 04861X0557/P3



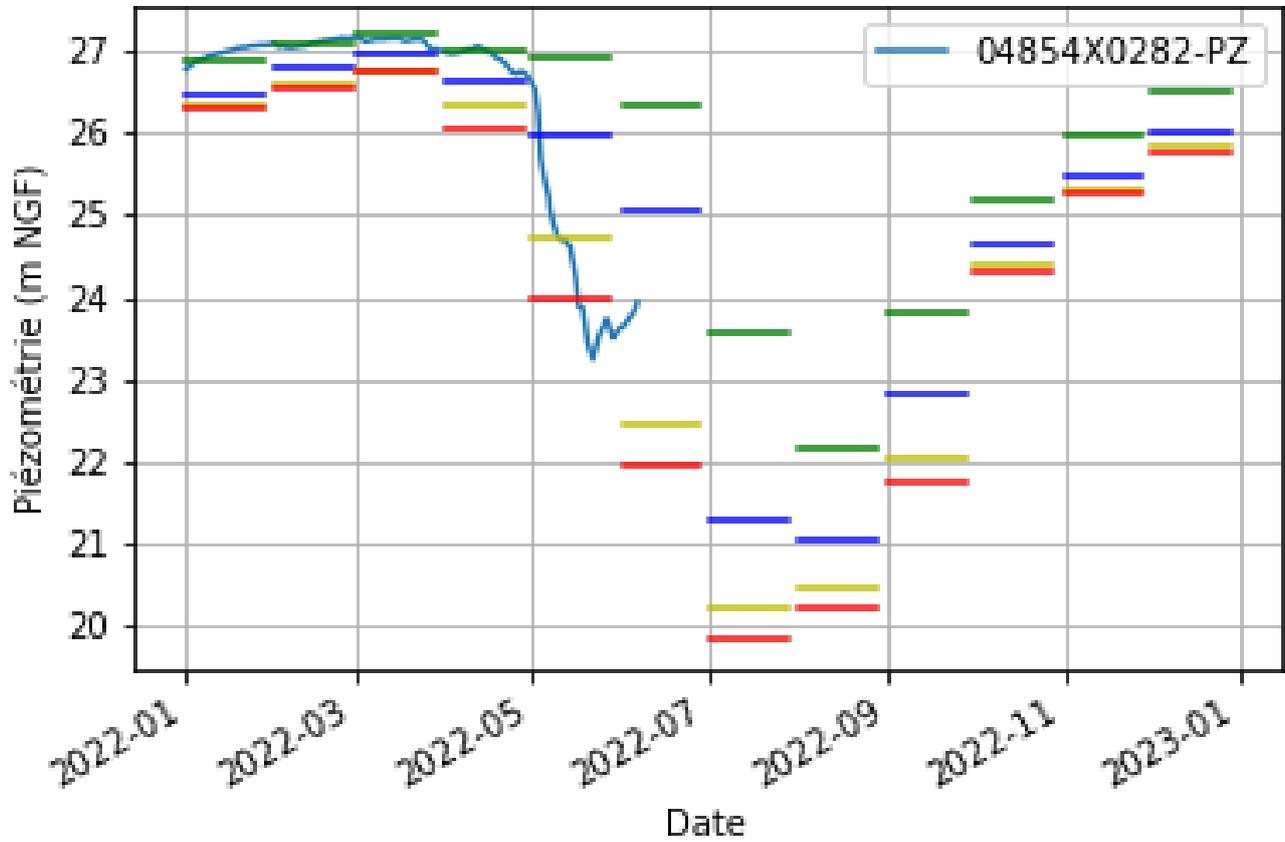
- Fréquence empirique 2 ans sec
- Fréquence empirique 5 ans sec
- Fréquence empirique 10 ans sec
- Fréquence empirique 20 ans sec

Authion Chronique 2022 - 04854X0296/P



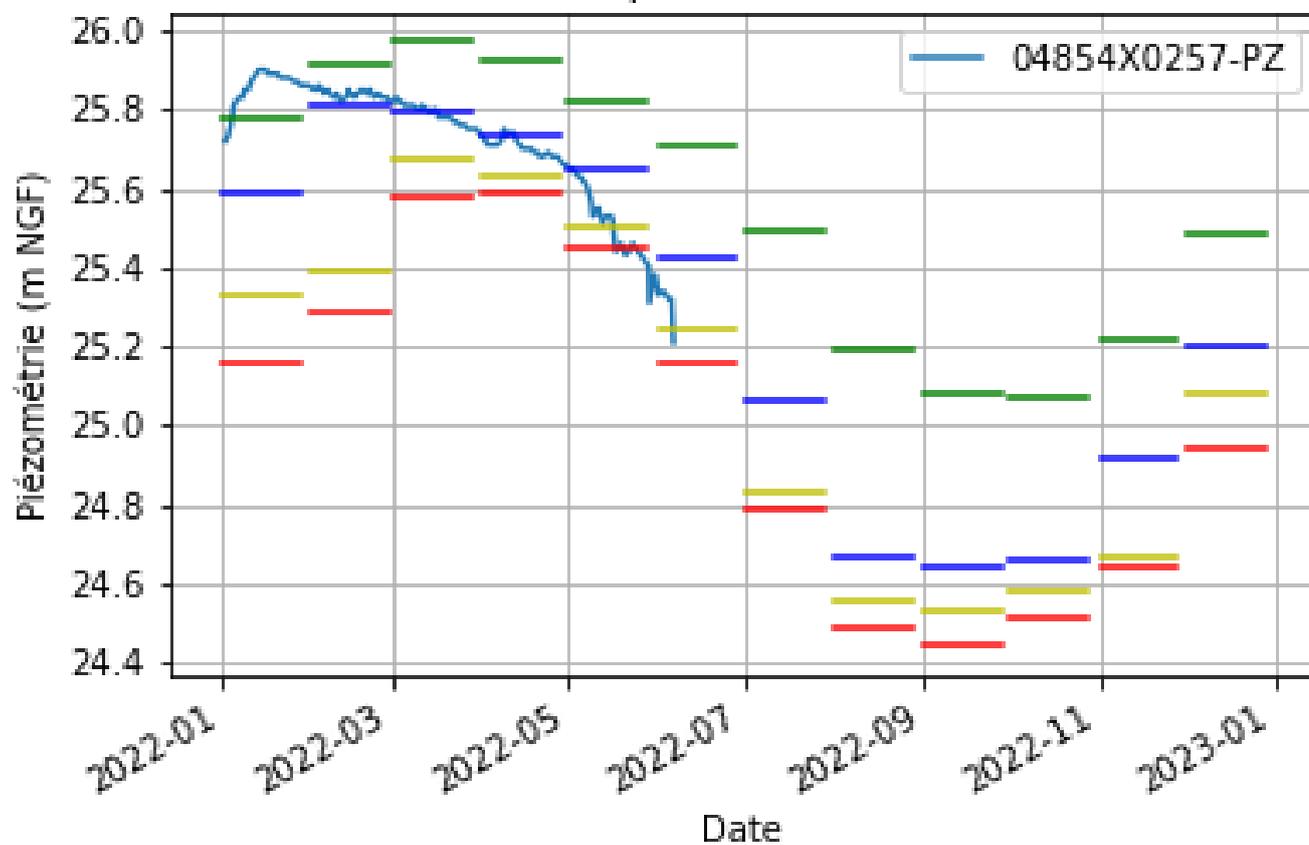
- Fréquence empirique 2 ans sec
- Fréquence empirique 5 ans sec
- Fréquence empirique 10 ans sec
- Fréquence empirique 20 ans sec

Authion Chronique 2022 - 04854X0282/PZ



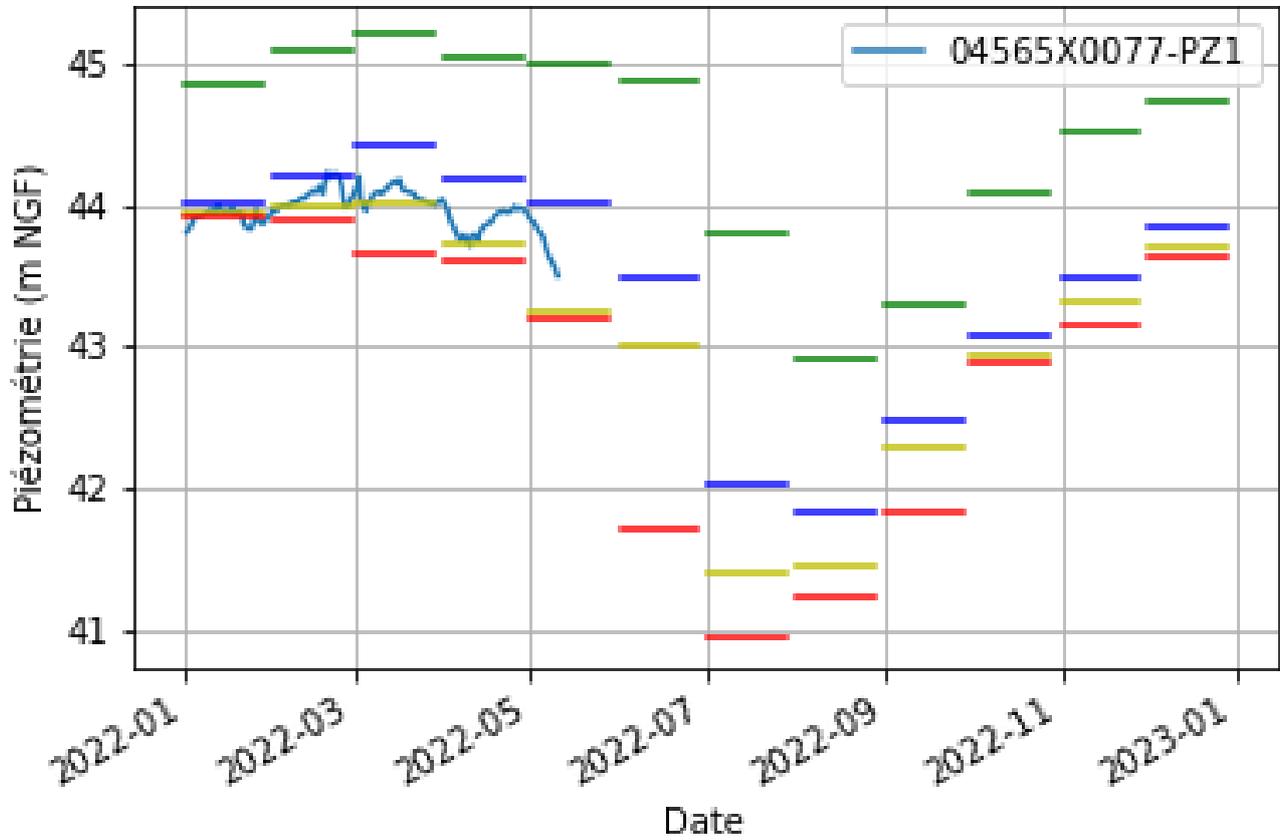
- Fréquence empirique 2 ans sec
- Fréquence empirique 5 ans sec
- Fréquence empirique 10 ans sec
- Fréquence empirique 20 ans sec

Authion Chronique 2022 - 04854X0257/PZ



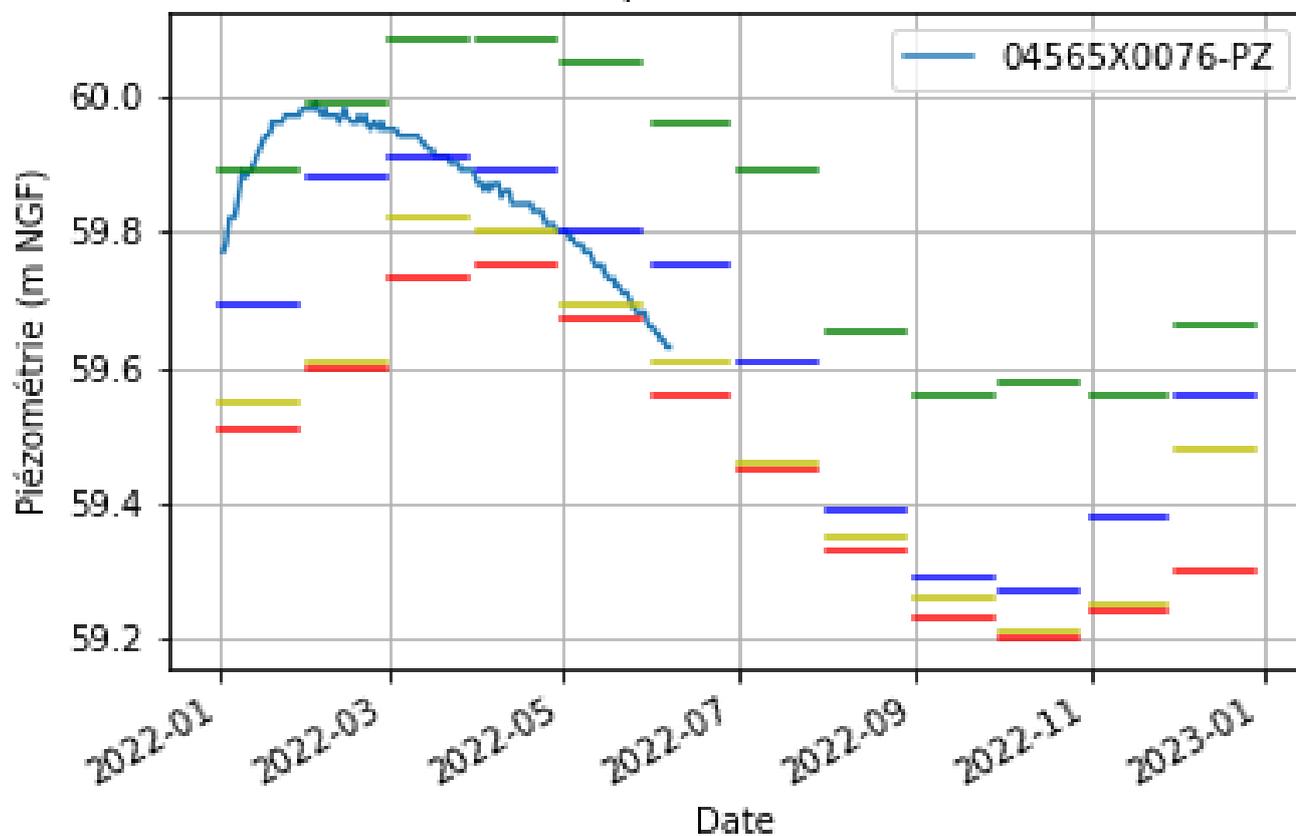
- Fréquence empirique 2 ans sec
- Fréquence empirique 5 ans sec
- Fréquence empirique 10 ans sec
- Fréquence empirique 20 ans sec

Authion Chronique 2022 - 04565X0077/PZ1



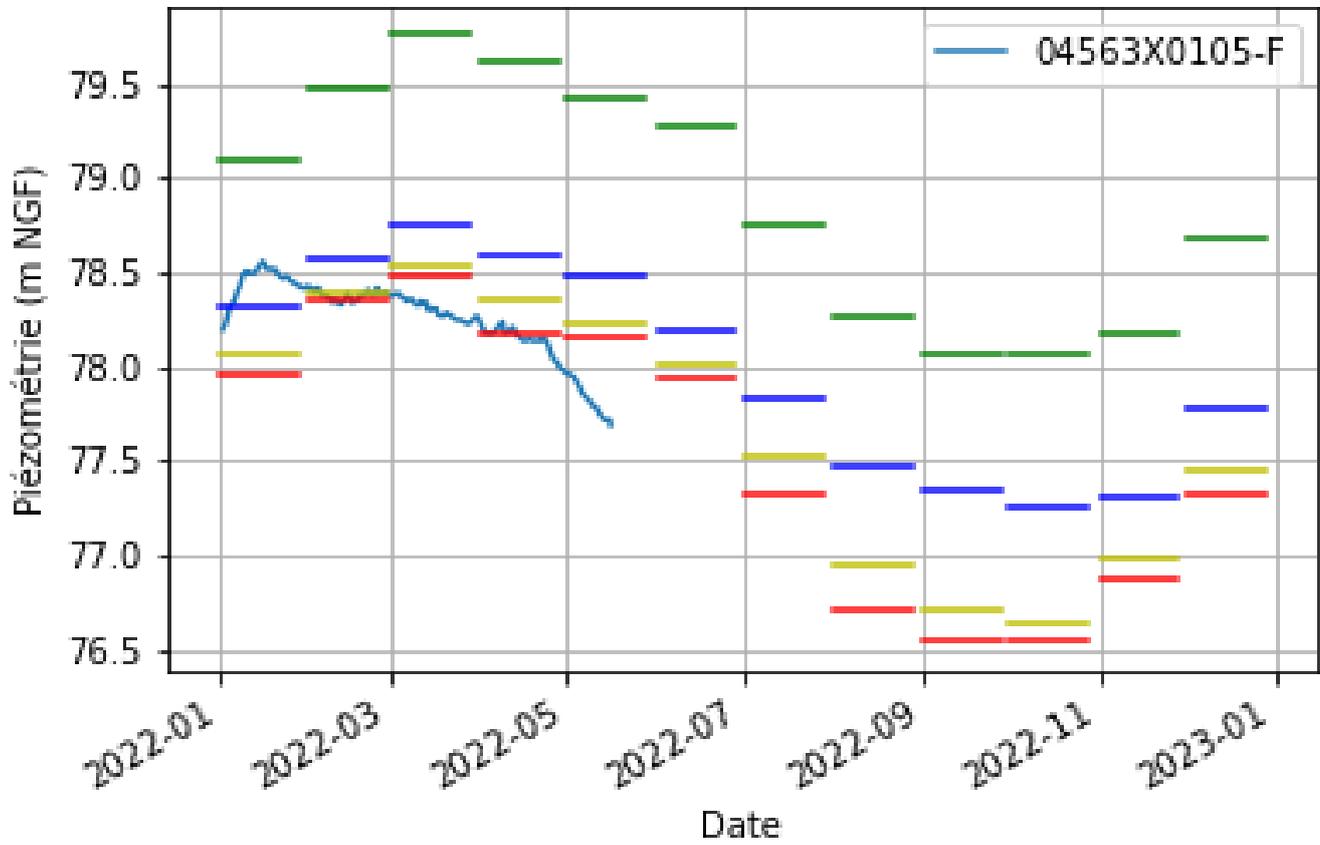
- Fréquence empirique 2 ans sec
- Fréquence empirique 5 ans sec
- Fréquence empirique 10 ans sec
- Fréquence empirique 20 ans sec

Authion Chronique 2022 - 04565X0076/PZ



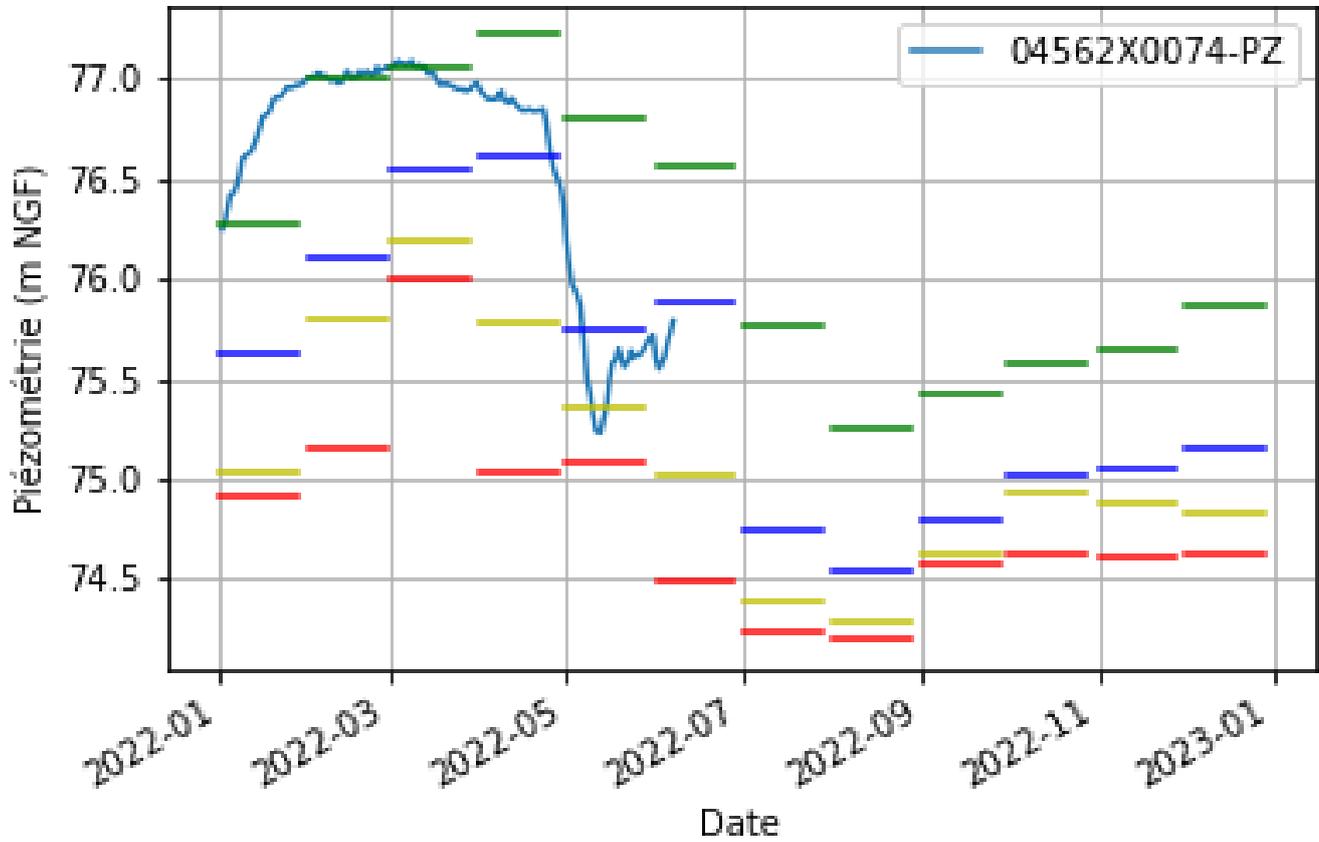
- Fréquence empirique 2 ans sec
- Fréquence empirique 5 ans sec
- Fréquence empirique 10 ans sec
- Fréquence empirique 20 ans sec

Authion Chronique 2022 - 04563X0105/F



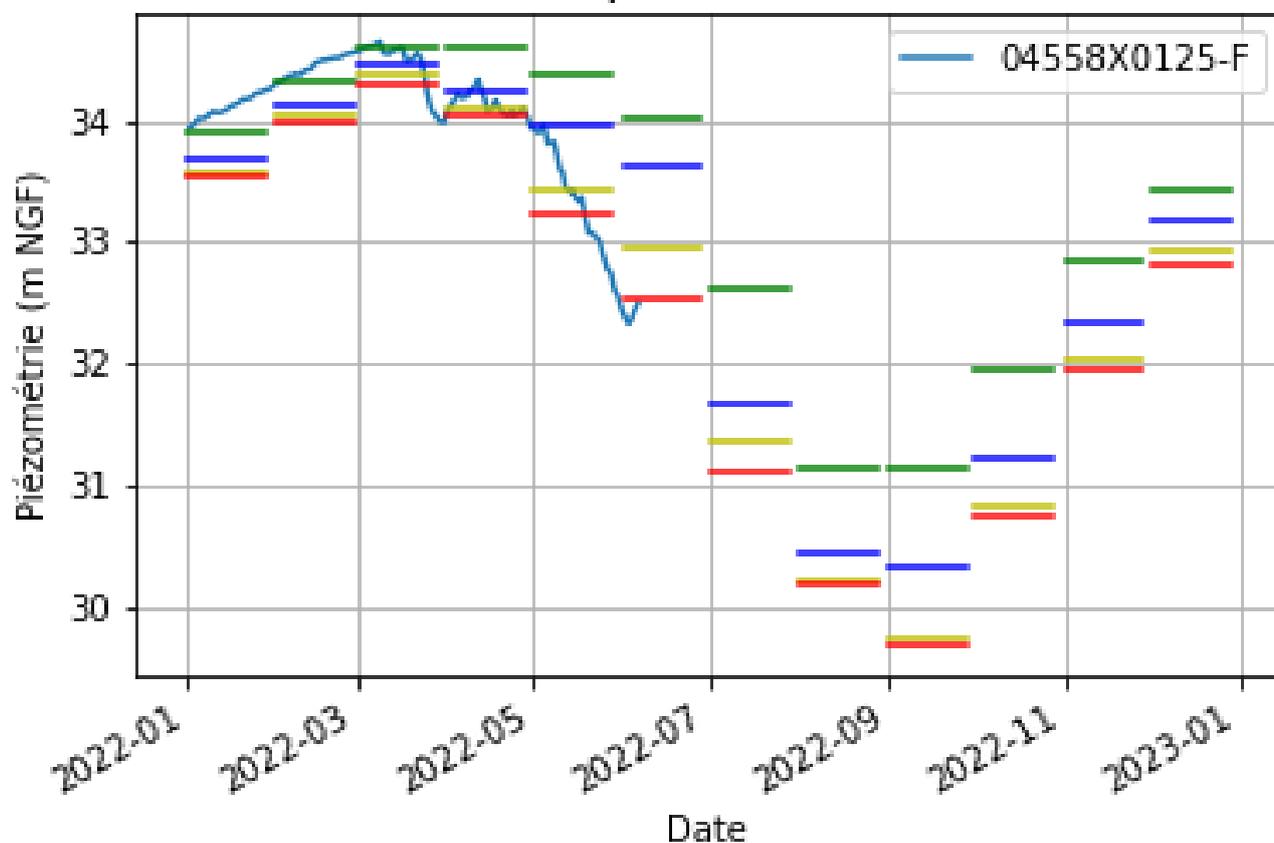
- Fréquence empirique 2 ans sec
- Fréquence empirique 5 ans sec
- Fréquence empirique 10 ans sec
- Fréquence empirique 20 ans sec

Authion Chronique 2022 - 04562X0074/PZ



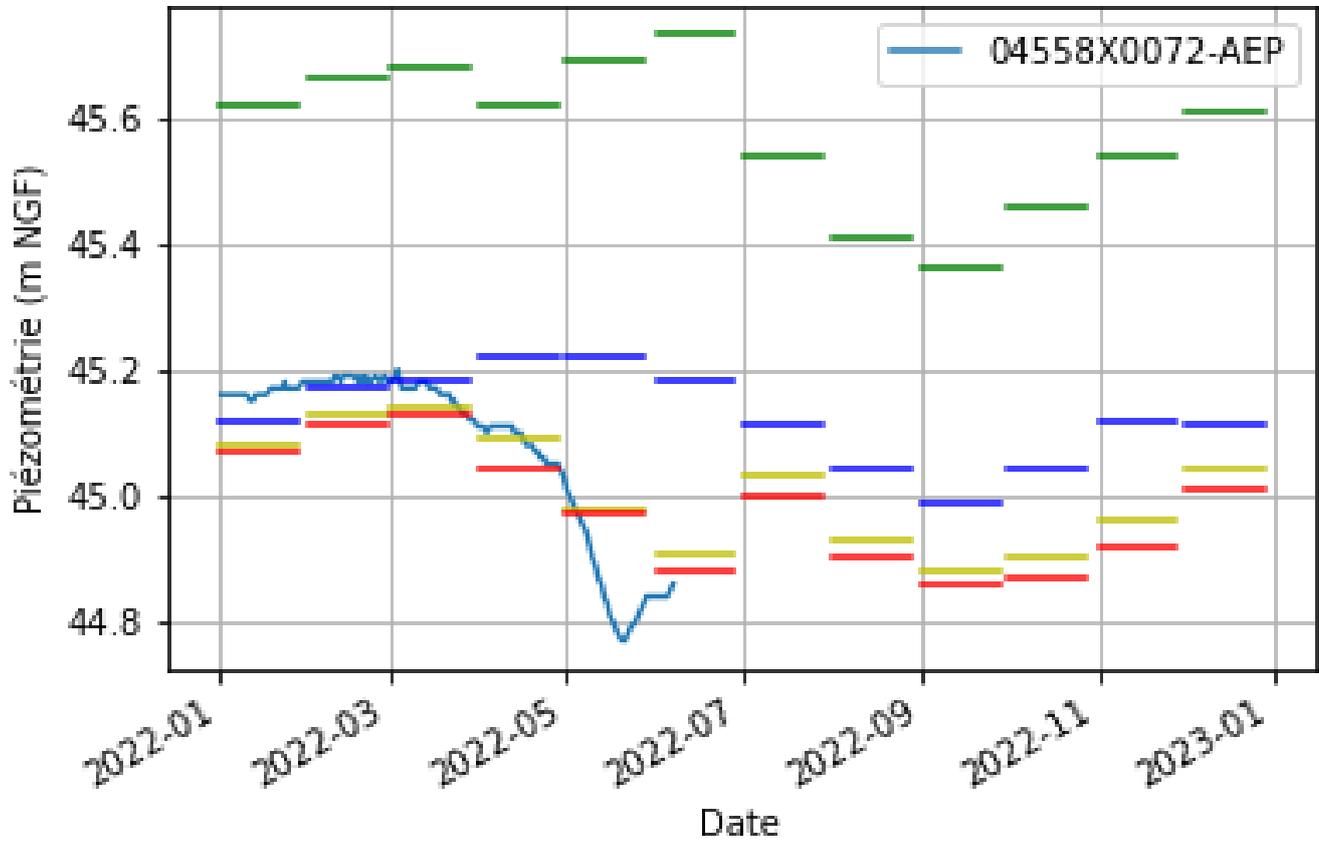
- Fréquence empirique 2 ans sec
- Fréquence empirique 5 ans sec
- Fréquence empirique 10 ans sec
- Fréquence empirique 20 ans sec

Authion Chronique 2022 - 04558X0125/F



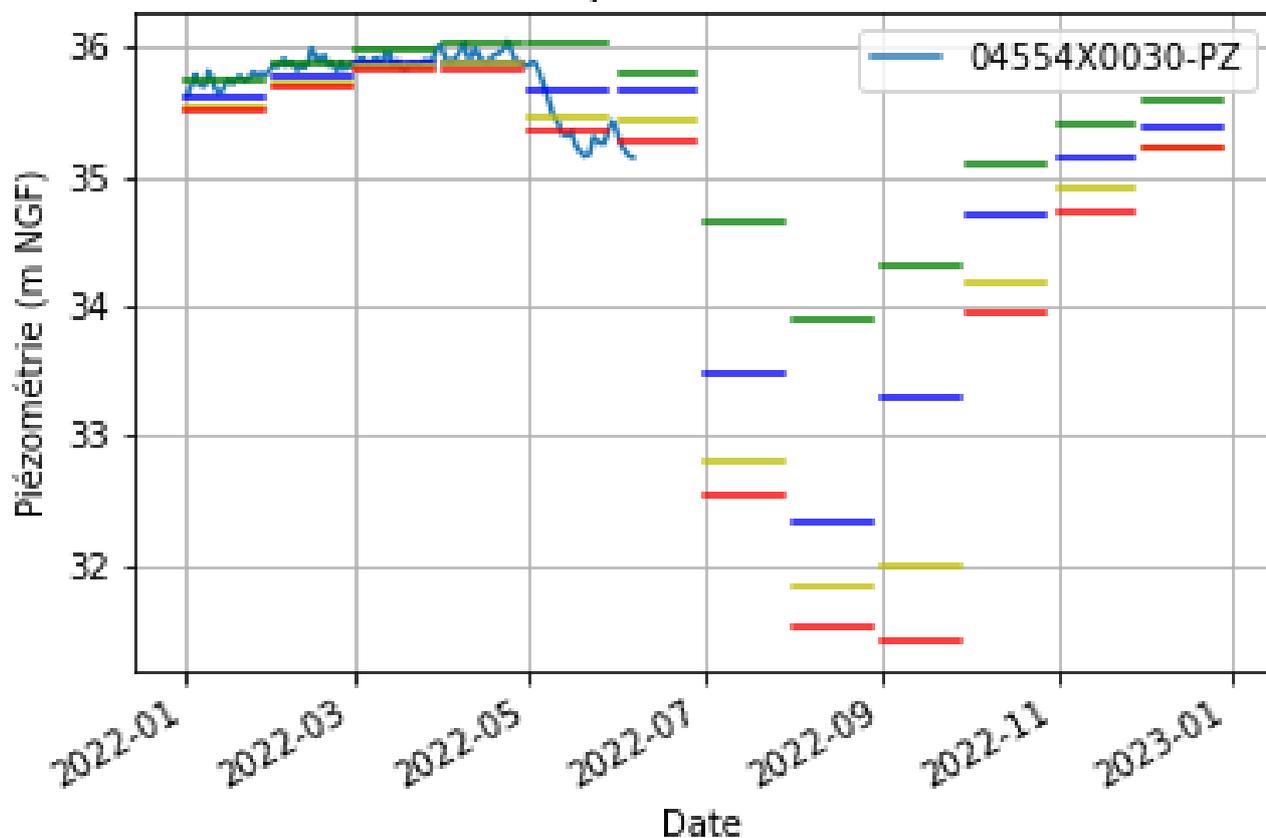
- Fréquence empirique 2 ans sec
- Fréquence empirique 5 ans sec
- Fréquence empirique 10 ans sec
- Fréquence empirique 20 ans sec

Authion Chronique 2022 - 04558X0072/AEP



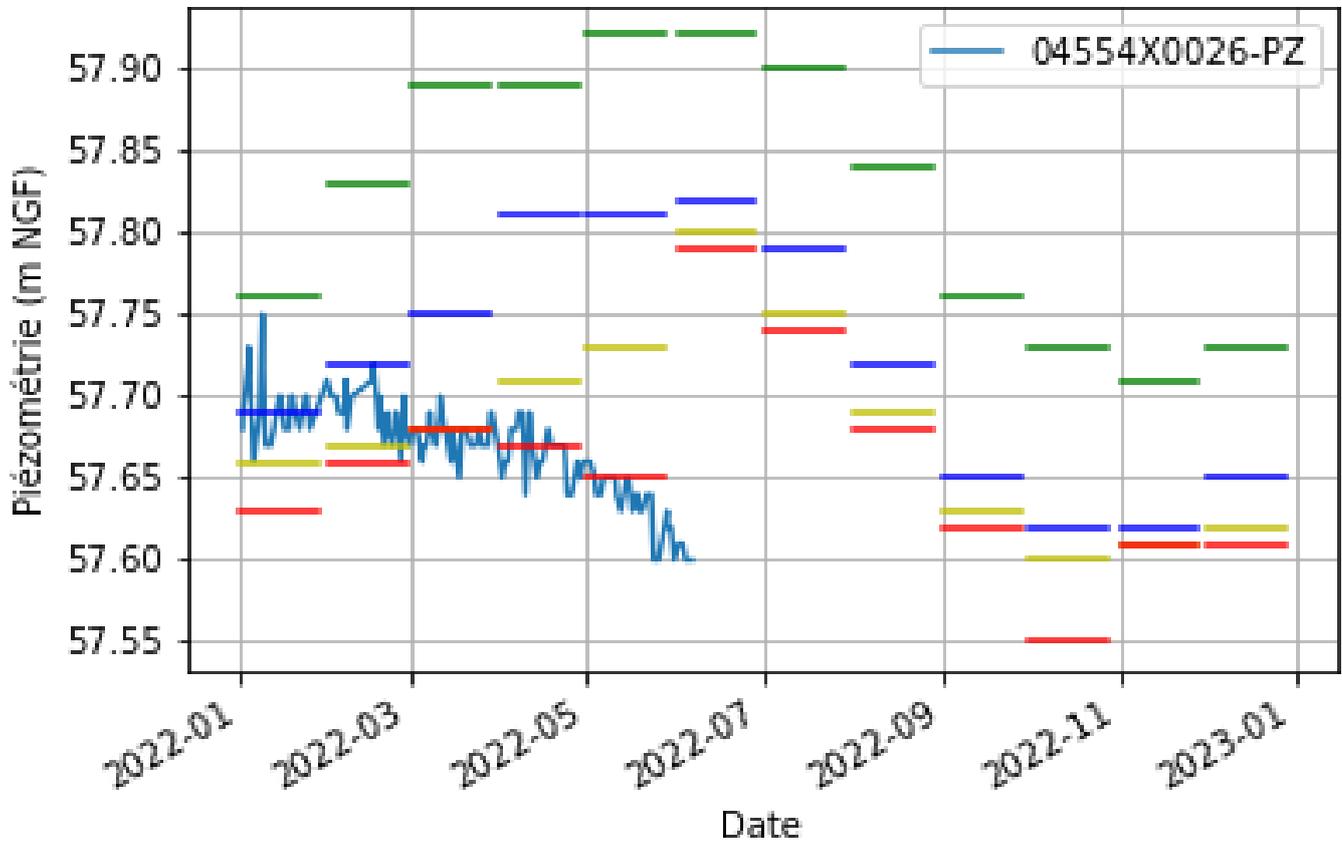
- Fréquence empirique 2 ans sec
- Fréquence empirique 5 ans sec
- Fréquence empirique 10 ans sec
- Fréquence empirique 20 ans sec

Authion Chronique 2022 - 04554X0030/PZ



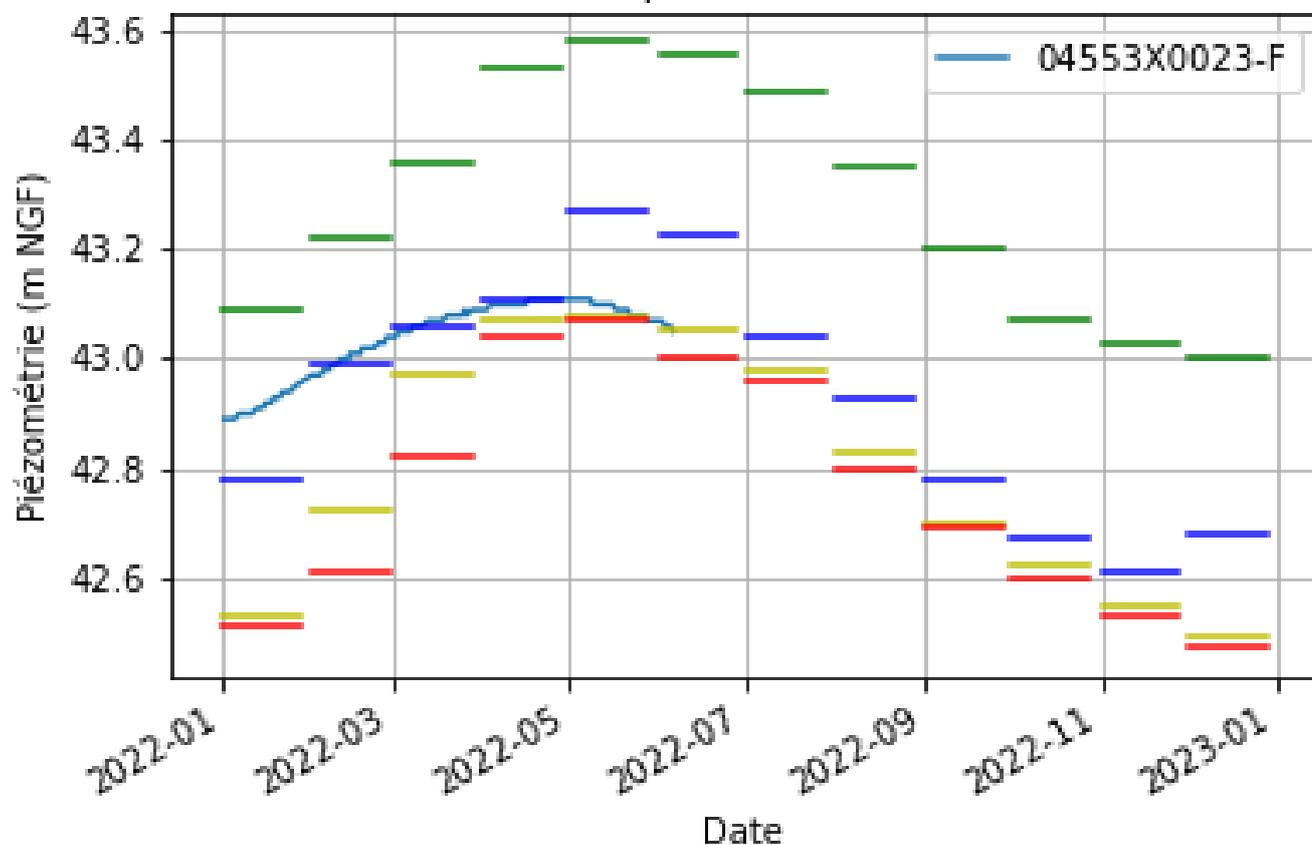
- Fréquence empirique 2 ans sec
- Fréquence empirique 5 ans sec
- Fréquence empirique 10 ans sec
- Fréquence empirique 20 ans sec

Authion Chronique 2022 - 04554X0026/PZ



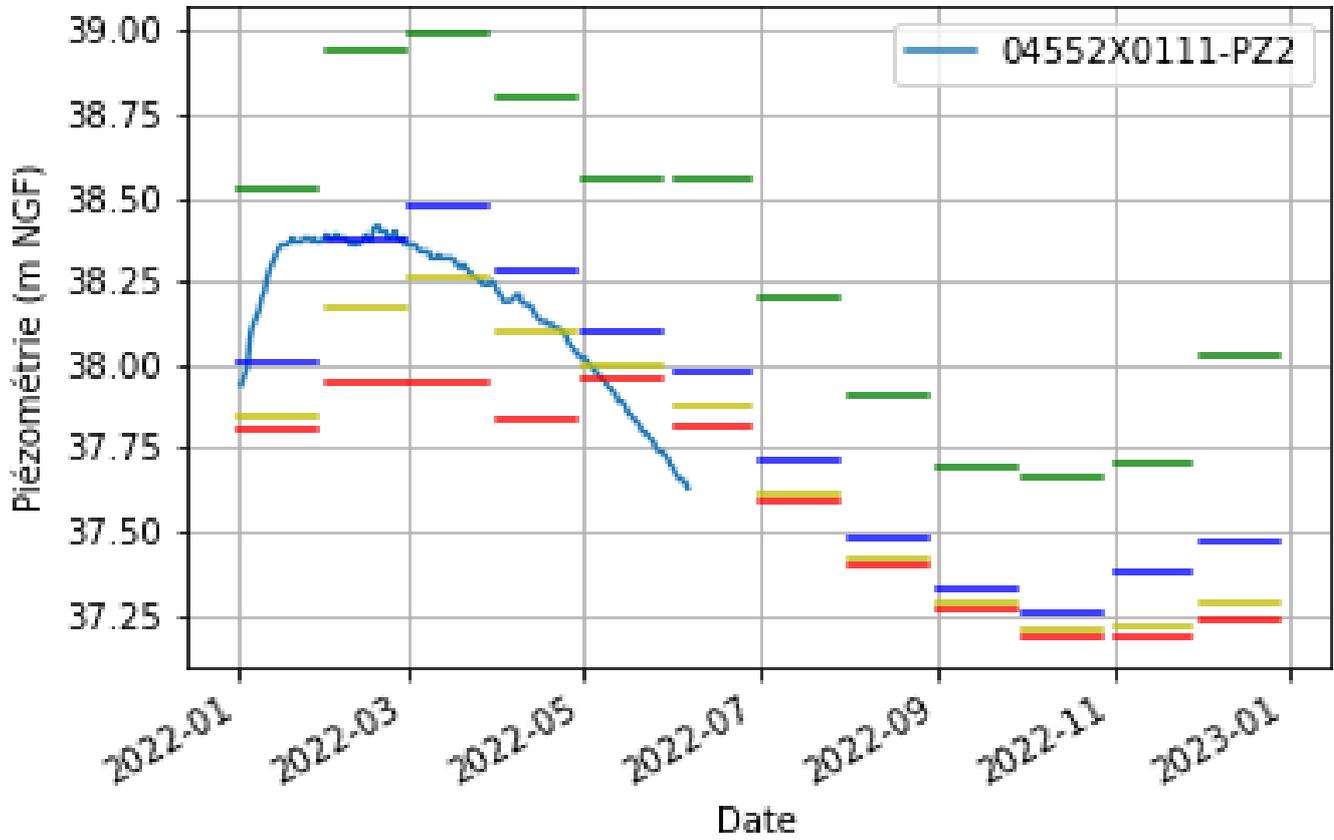
- Fréquence empirique 2 ans sec
- Fréquence empirique 5 ans sec
- Fréquence empirique 10 ans sec
- Fréquence empirique 20 ans sec

Authion Chronique 2022 - 04553X0023/F



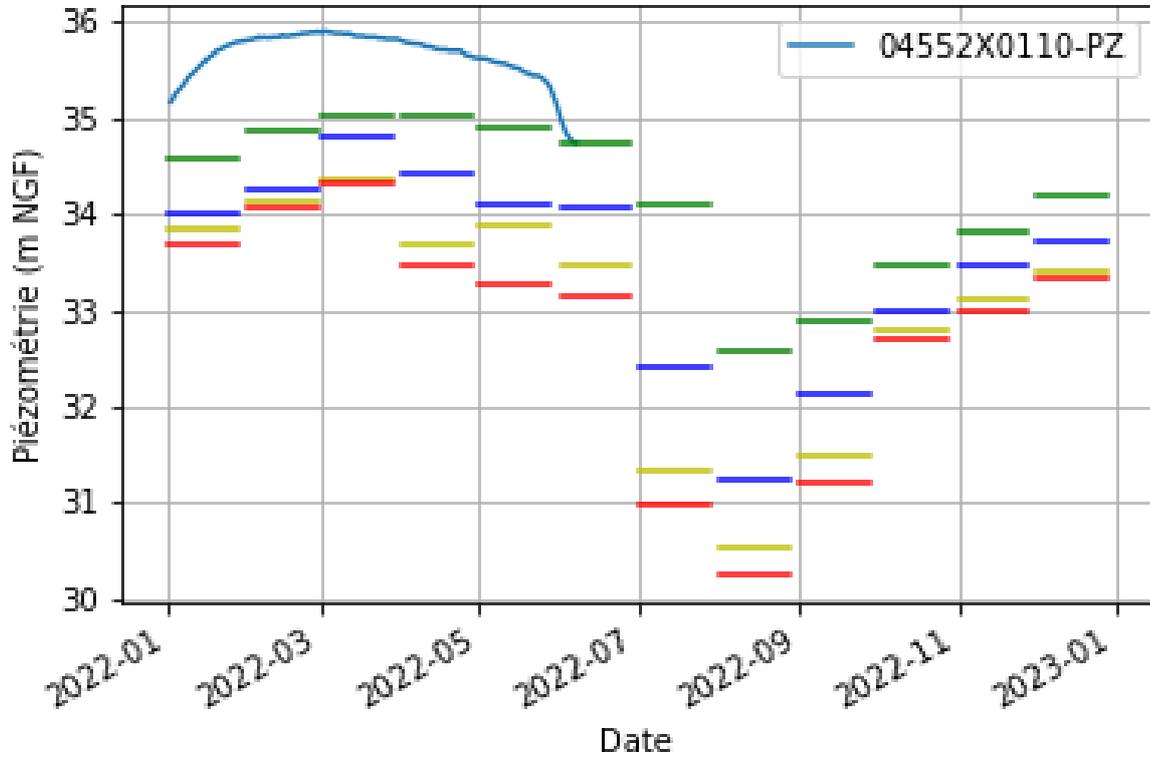
- Fréquence empirique 2 ans sec
- Fréquence empirique 5 ans sec
- Fréquence empirique 10 ans sec
- Fréquence empirique 20 ans sec

Authion Chronique 2022 - 04552X0111/PZ2



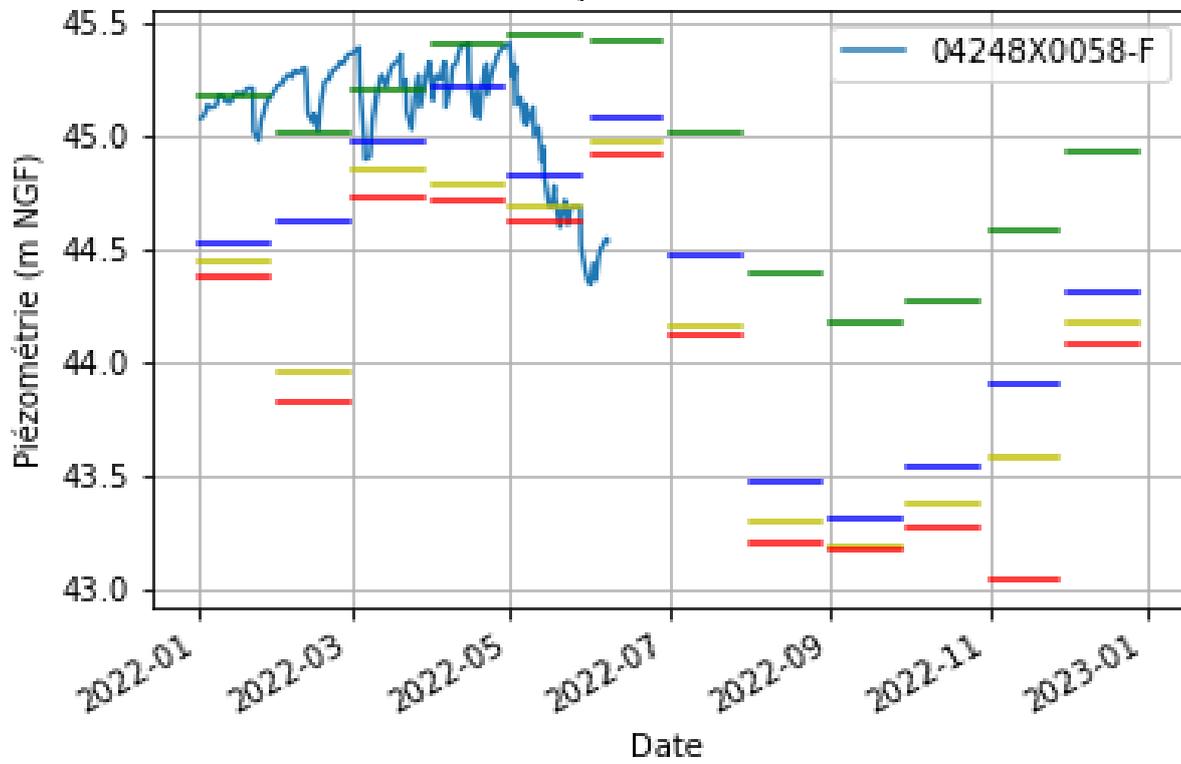
- Fréquence empirique 2 ans sec
- Fréquence empirique 5 ans sec
- Fréquence empirique 10 ans sec
- Fréquence empirique 20 ans sec

Authion Chronique 2022 - 04552X0110/PZ



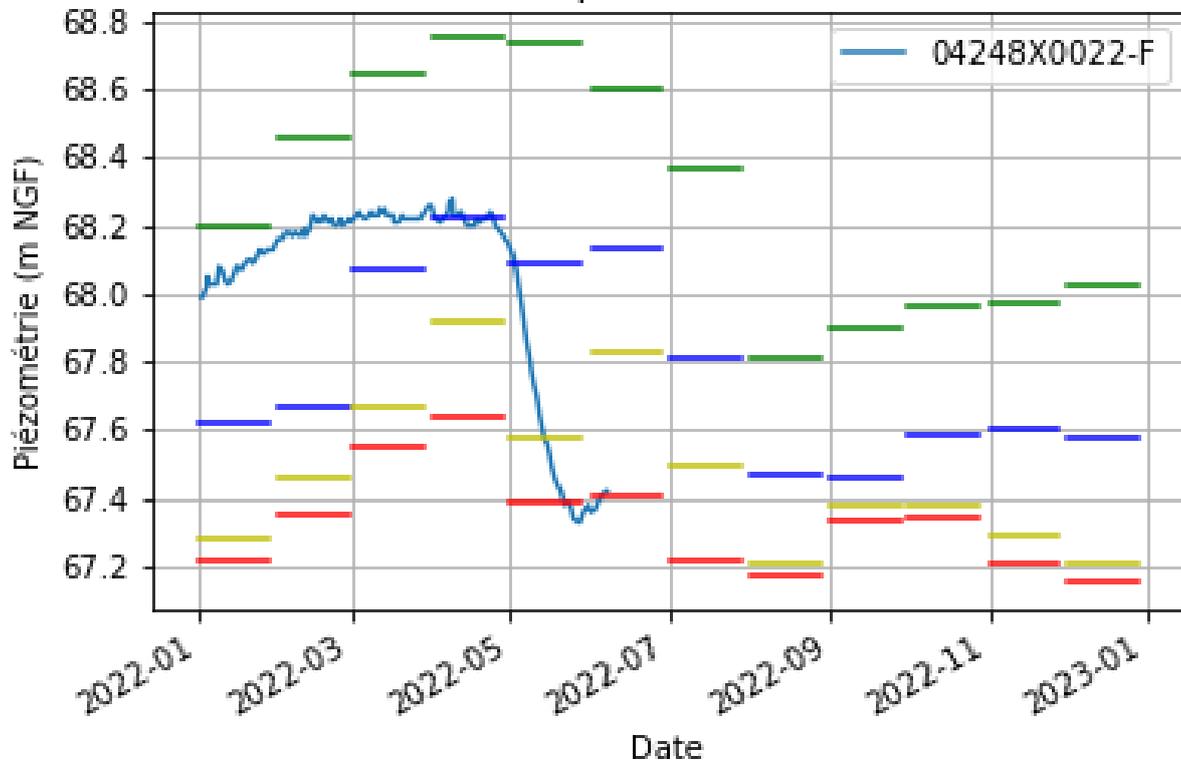
- Fréquence empirique 2 ans sec
- Fréquence empirique 5 ans sec
- Fréquence empirique 10 ans sec
- Fréquence empirique 20 ans sec

Authion Chronique 2022 - 04248X0058/F



- Fréquence empirique 2 ans sec
- Fréquence empirique 5 ans sec
- Fréquence empirique 10 ans sec
- Fréquence empirique 20 ans sec

Authion Chronique 2022 - 04248X0022/F



- Fréquence empirique 2 ans sec
- Fréquence empirique 5 ans sec
- Fréquence empirique 10 ans sec
- Fréquence empirique 20 ans sec



*Liberté
Égalité
Fraternité*

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34

Direction régionale Pays-de-la-Loire

1 rue des Saumonières
44323 Nantes cedex 3

Tél. : 02 51 86 01 51

