Caractérisation des échanges nappe-rivières sur le bassin versant de l'Authion

Rapport de stage, pour l'obtention du
Master 2 : Hydrogéologie, Hydropédologie et Hydrobiogéochimie (H3)

Structure d'accueil : Entente Interdépartementale pour l'Aménagement et la mise en valeur de l'Authion
Maitre de Stage : David MOREL, animateur SAGE Authion

Structure de Formation : Université de Rennes 1 et Agro Campus Ouest
Référent : Olivier Bour, Enseignant-chercheur, OSUR-Université de Rennes 1

Auteur : **Tony GEORGETTE**

Année Universitaire : **2016-2017**

Observatoire des Sciences de l'Univers de Rennes
Terre, Écosystèmes et Sociétés

Résumé

Le bassin versant de l'Authion est soumis à une problématique de gestion de la ressource en eau. La mise en place du SAGE et la réalisation d'un modèle hydrogéologique de bassin dans le cadre de la réalisation d'une étude sur les volumes prélevables, a permis de fédérer les acteurs de l'eau sur le bassin pour permettre un développement économique dans le respect de la ressource et de l'environnement.

Toutefois, la qualité du modèle peut être augmentée significativement en fiabilisant et les points de suivi des eaux souterraines et superficielles. Le SAGE a su mettre en place un réseau interne de suivi extrêmement dense. Un des objectifs principal du stage est donc de fiabiliser les réseaux de suivi et de pérenniser la mesure, afin de pouvoir la partager. La mise en évidence, des problématiques de fiabilité d'acquisition et de traitement des données, ainsi que la critique des stations de mesure a permis de constituer une étape préalable à la réalisation d'un programme d'actions.

En parallèle, la réflexion concernant les relations nappe-rivière dans des secteurs d'intérêts pour l'alimentation en eau du bassin, à l'aide de jaugeage différentiel et d'interprétation d'observations, a permis de mettre en évidence des fonctionnement hydrogéologique et de créer des outils d'aide à la décision pour optimiser la gestion des ouvrages et les aménagements hydro-morphologique.

Ce rapport constitue donc la base méthodologique pour acquérir et traiter des données et la base théorique sur les relations nappes-rivières dans le bassin de l'Authion.

Mots-clé :relations nappe-rivière, jaugeage, hydrologie, réseau de mesure, ressource en eau

Abstract

The watersheds of Authion is subjected to a problem of management of the quantity resource in water. The implementation of the SAGE and the realization of a hydrogeologic model on the occasion of the realization of a study on the prélevables volumes, allowed to federate the actors of the water on the pond to allow an economic development in the respect for the resource and the environment.

However, the quality of the model can be significantly increased by enhancing reliability and the points of follow-up of underground and superficial waters. The SAGE knew how to set up an internal network of extremely dense follow-up. Thus one of the objectives main thing of the internship is to enhance reliability of the networks of follow-up and to perpetuate the measure, being able to share her. The highlighting, the problems of reliability of acquisition and data processing, as well as the criticism of measurement stations allowed to establish a preliminary stage in the realization of an action plan

In parallel, the reflection concerning the relations aquifer-river in sectors of interests for the water supply of the pond, by means of differential gauging and of interpretation of observations, allowed to highlight hydrogeologic functioning and to create decision-making tools to optimize the irrigation management tools and the hydro-morphological arrangements.

This report thus constitutes the methodological base to acquire and process data and the theoretical base on the relations aquifers-rivers in the pond of Authion

Keys words : relations aquifers-rivers, gauging, hydrology, measure network, water supply

Remerciement

Je tiens à remercier chaleureusement David Morel, mon maitre de stage qui m'a permis d'appréhender la problématique quantité de la ressource en eau, qui m'a donné le goût de la mesure, qui m'a confié des missions en autonomie (suivi de forage) et qui a susciter mon intérêt sur différentes problématiques.

Un « merci » également à tous les collègues de l'Entente, avec qui j'ai passé d'agréables moments. Jean-Baptiste et Quentin, m'ont permis de réfléchir sur de nombreux éléments et d'appréhender des domaines que je ne connaissais pas. Mon collègue de bureau, Bastien, avec qui on a bien rigolé et qui m'a donnée de bonne astuce en SIG

Je remercie les président(e)s de l'entente et la CLE, qui m'ont permis de réaliser mon stage de fin d'étude.

Une pensé également aux techniciens du SMBAA et du SCIACEBA, avec qui j'ai partagé quelques moments de terrain et qui m'ont fait connaitre le bassin.

Sommaire

Introduction 1

1- Présentation du site d'étude 4

1-1- Géographie (contexte général) 4

1-2- Géologie (contexte hydrogéologique) 5

1-3- Hydrologie (contexte hydrologique) 6

1-4- Occupation du sol (contexte socio-économique) 8

2- Matériel & Méthodes 9

2-1- Compréhension des relations entre Loire-Alluvions 9

2.1.1. Les Stations de La Loire et les piézomètres « Alluvions » 9

2.1.2. Analyse des chroniques de débit et de hauteur de Loire 9

2.2. Comprendre les relations nappes-rivières sur le bassin de l'Authion 10

2.2.1. Stations de mesure de débit et de piézométrie sur le bassin versant 10

2.2.2. Mise en place des jaugeages différentiels et des mesures piézométriques 10

2.2.3. Relation entre les observations d'écoulement et assec et la piézométrie 11

3- Résultats 12

3-1- Les relations Loire-Alluvions 12

3.1.1. Analyse niveau de Loire et piézométrie dans le Val d'Authion 12

3.1.2. Analyse des débits de la Loire 12

3-2- Comprendre les relations nappes-rivières sur le bassin de l'Authion, en particulier le nord du BV 14

3.2.1. Bilan des stations de mesure de débit et de piézométrie sur le BV 14

3.2.2. Relation entre débit spécifique et niveau piézométrique 14

3.2.3. Relation entre les observations d'écoulement et assec et la piézométrie 16

4- Discussion 17

Conclusion 19

Bibliographie 21

Liste des figures

Figure 1 : Localisation du bassin versant de l'Authion dans le Grand-Ouest..... 4

Figure 2 : Topographie du bassin versant de l'Authion (carte du PAGD du Sage Authion). 4

Figure 3 : Carte géologique et coupe géologique du bassin versant de l'Authion d'après Talbo, 1970..... 6

Figure 4 : Carte de localisation des cours d'eau, des ouvrages, des prises d'eau et du complexe de pompage sur le bassin de l'Authion. 7

Figure 5 : Occupation du sol sur le bassin versant de l'Authion 8

Figure 6 : Localisation des prélèvements en eaux superficielles et en eaux souterraines (source : agence de l'eau) 8

Figure 7 : Localisation des stations hydrométriques de la Loire et des piézomètres situés dans les alluvions 9

Figure 8 : Evolution du débit à Saumur (m3/s) et du différentiel de débit entre l'amont et l'aval (m3/s) pour les années 2000-2001 13

Figure 9 : Répartition des observations d'évolutions du débit amont-aval, en fonction de classe de débit à Saumur (200 mesures journalière). 13

Figure 10 : Carte des débits spécifiques des campagnes de mesures du 31/05/2017 et du 14/08/2017. Cartographie des zones d'apports d'eau des nappes vers les cours d'eaux 15

Figure 11 : Niveau d'écoulement du ruisseau de la cholinière selon la nomenclature ONDE et niveau piézométrique d'un point d'observation à proximité..... 16

Présentation de la structure d'accueil

La Commission Locale de l'Eau du SAGE du bassin versant de l'Authion a été constituée par arrêté préfectoral le 5 septembre 2005. Elle comprend à ce jour 49 membres répartis en 3 collèges :

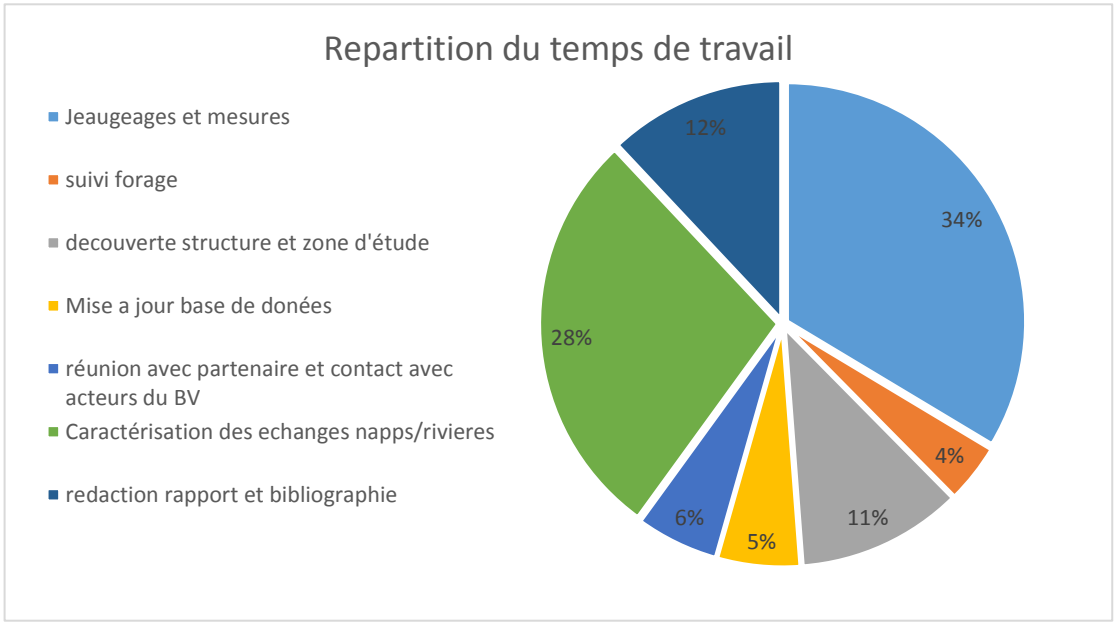
- Des représentants des collectivités territoriales et de leurs groupements, des établissements publics locaux et de l'Etablissement public Loire – établissement public territorial de bassin présent sur le territoire (26 membres).
- Des représentants des usagers, propriétaires fonciers, organisations professionnelles, et associations (14 membres).
- Des représentants de l'Etat et de ses établissements publics (9 membres).

La CLE est assistée dans son travail d'élaboration par un bureau (22 membres) et trois commissions thématiques ouvertes à plus de 100 membres dont les thèmes sont :

- La gestion quantitative de la ressource en eau et des inondations.
- Les écosystèmes aquatiques et la géomorphologie des cours d'eau.
- La qualité des eaux superficielles et souterraines.

Le SAGE est porté par l'Entente Interdépartementale, institution interdépartementale dotée d'une personnalité morale et de l'autonomie financière assure la gestion de la ressource et la prévention des inondations et gère l'alimentation des périmètres réalimentés pour l'irrigation. Elle met également en œuvre progressivement la gestion intégrée de la ressource. Elle est le partenaire privilégié des deux syndicats de rivière du bassin versant recensés à l'échelle du périmètre du SAGE, le SMBAA et le SIACEBA

Planning du stage et des tâches



Introduction

Le SDAGE Loire-Bretagne, dans sa disposition 7.B-4, demande de prévenir le déficit quantitatif dans le bassin réalimenté de l'Authion. Le SAGE Authion, en cours d'approbation, place la gestion quantitative de la ressource en Enjeux n° 1. Le moyen prioritaire qui doit être mis en œuvre sur le territoire est l'amélioration des connaissances, notamment sur le fonctionnement hydrogéologique et hydrologique du bassin. C'est dans ce contexte réglementaire et pour répondre à cet objectif, que ce stage sur la caractérisation des relations nappe-rivière a été élaboré.

Aujourd'hui, les acteurs du domaine de l'eau sont confrontés à des enjeux de société qui nécessitent une bonne connaissance des processus hydrologiques pour alimenter les choix d'organisation et les prescriptions de prévention et de restauration (DUPONT, 2011). Les politiques de développement durable, nécessite une bonne connaissance de la complexité des fonctionnements « naturels » et de leurs interactions avec les activités humaines. Une description exhaustive des flux dans les cours d'eau est requise pour identifier les potentiels de dilution des pollutions et de développement de la vie aquatique, potentiels, actuels ou naturels selon le caractère influencé ou non des écoulements (LEBECHEREL. L, 2015). Les interactions entre les eaux souterraines et les eaux de surface sont complexes et jouent un rôle prépondérant dans le fonctionnement des hydrosystèmes, tant en termes quantitatifs que qualitatifs (COUSQUER. 2017). Pour comprendre l'importance des relations nappes rivières, on peut se référer à L'Annexe II de la Directive Cadre sur l'Eau qui demande aux Etats de fournir un « inventaire des systèmes de surface avec lesquels les masse d'eau souterraines sont dynamiquement liées » ainsi que des « estimations des directions et taux d'échanges de l'eau entre les masses souterraines et les systèmes de surface associés. ». (DCE, 2000).

La compréhension de ces processus est nécessaire pour acquérir de la connaissance sur le fonctionnement des différentes masses d'eau, pour évaluer le bon état des masses d'eau et leur évolution et pour dimensionner et suivre les opérations de restauration (PARAN, 2017). A l'échelle du bassin versant de l'Authion, la cellule du SAGE de la commission locale de l'eau (CLE), souhaite acquérir de la connaissance sur les relations nappe-rivière pour anticiper l'évolution des stocks à court et moyen terme afin d'optimiser la gestion des ressources en eau du bassin, pour consolider les chroniques et améliorer les outils de modélisation. A ce jour, le modèle MARTHE de bassin, souffre d'un manque et d'un niveau de précision des données qui ont une incidence forte sur les résultats (ANTEA, 2015). Le

second objectif est de donner des bases solides de connaissances aux outils de programmation Contrat Quantité Qualité du SAGE et les contrats territoriaux milieux aquatiques (CTMA).

La vallée de l'Authion a subie de nombreux aménagement hydraulique pour permettre entre autres le développement de l'horticulture (NITARD, 1972), le programme de travaux prévoyez un ensemble d'aménagement, (rectification, recalibrage, drainage, curage,…) qui ont des impacts significatifs sur les relations nappe-rivière et les propriétés hydromorphologiques (MALAVOI, 2007). C'est dans ce contexte, d'aménagement hydraulique que la SADRAL (Société d'Aménagement et de Développement pour la Région Authion-Loire) dès les années 60, s'est intéressé aux relations nappe-rivière sur le bassin versant de l'Authion. Deux zones ont particulièrement été étudiées. Le complexe Loire-Alluvions-Authion, car générateur de crue de nappe en hiver et de déficit hydrique en période sèche et la partie Amont des affluents rive droite de l'Authion pour en faire des réservoirs d'eau disponible pour la période d'irrigation car possédant des apports de nappes 3 fois plus important qu'a l'aval (Débit spécifique 5l/s/km² au lieu de 2 l/skm²) (SADRAL, 1974). L'étude volume prélevable de 2015, met également en évidence la contribution des nappes en amont du bassin versant dans le débit des cours d'eaux, et décrit même des échanges cours d'eau vers nappe à l'aval de plusieurs affluents dans certaines conditions (ANTEA, 2015).

Concernant le Complexe Loire-Alluvions, TALBO (1969) à localiser les zones et quantifier les échanges potentiels entre la Loire, les alluvions et les canaux du val d'Authion. La Loire en période de crue, a tendance à alimenter les alluvions avec plus ou moins d'importance selon l'arrangement des alluvions (jalles ou non), avec une estimation de 0,5 à 1,5 m^3/s pouvant transiter via l'interface de 80km Loire/Alluvions. Cette relation est réversible, lors d'étiage de la Loire, les alluvions de la vallée, alimente la Loire.

Les études historiques, réalisées dans un contexte de pressions quantitatives moindres, et l'étude des volumes prélevables, réalisé à la lumière des connaissances sur les prélèvements, semble converger sur le fonctionnement des relations nappe-rivière. Il apparait, aujourd'hui nécessaire d'acquérir de nouvelles informations, sur ces deux zones à enjeux pour l'alimentation en eaux du bassin versant de l'Authion

Les objectifs principaux de ce stage, sont dans un premier temps de faire un état des connaissances sur le réseau de mesure des eaux superficielles et souterraines du SAGE, Il existe une problématique opérationnelle pour évaluer la ressource en eau en période d'étiage (CATALOGNE, 2012) car les problèmes de fiabilité des stations de mesure apparaissent aux

extrêmes (MASSON, 1987). Les principales informations qui font, dans une majorité des études, défaut sont les chroniques de débits et la piézométrie (CHABART. M, 2006).

Dans le cadre de l'analyse de la fiabilité et de la pérennisation des stations de mesures, un grand nombre de jaugeages sera réalisé pour vérifier la justesse des stations et évaluer les incertitudes liées aux courbes de tarage. Assurer la qualité des données de débits est un enjeu de première importance (MORLOT. T, 2014). Les jaugeages épisodiques sont primordiaux pour caler les modèles et augmentent significativement les résultats de la modélisation sur les bassins peu ou pas jaugés. (LEBECHEREL. L, 2015)

Le second objectif est de caractériser les relations nappes-rivières. Nous utiliserons comme le suggère de nombreuses études l'utilisation de jaugeages différentiels. L'objectif de cette méthode est d'estimer les volumes d'eau perdus ou gagnés entre deux sections de mesure par la différence de débit mesurée (COUSQUER. Y, 2017). De nombreux auteurs, depuis de nombreuses années ont utilisés cette méthode (FEKRI. A, 1991 ; ABAIDIA. S, 2008 ; CHABART. M, 2006 ; GRAILLOT. D, 2014 ; OBERLIN. G.R, 1973). En parallèle, des mesures de terrains, une modélisation simple via un logiciel de S.I.G devrait permettre de mettre en évidence la différence de charge hydraulique entre la rivière et la nappe, (COUSQUER . Y, 2017) en croissant ces données avec les propriétés hydrodynamiques de l'aquifère, l'on pourrait identifier et quantifier les échanges nappes/rivière (PARAN. 2008).

Une dernière approche sera mise en place pour appréhender les relations nappes-rivière. Le suivi dans le même temps de la piézométrie, des assecs et de leur reprise d'écoulements. Cette méthode permet une bonne compréhension des échanges nappes-rivières selon CHABART. M (2006).

L'analyse et la critique du réseau de mesure, et l'approche multi-méthode pour caractériser les relations nappes-rivières sur les deux grands ensembles géologiques d'intérêts pour la gestion quantitative doivent permettre :

- d'identifier les périodes de recharges et de décharge des nappes et de la Loire dans le bassin
- d'estimer quantitativement les échanges entres les compartiments souterrains et superficiels, en prenant en compte les incertitudes liées aux données.

1- Présentation du site d'étude

1-1- Géographie (contexte général)

Le Bassin versant de l'Authion s'étend sur 1 491 km², en rive droite de la Loire. Il se situe sur deux régions et deux départements (77,4% en Maine-et-Loire et 22,6% en Indre-et-Loire). La figure 1 permet de localiser le bassin dans l'ensemble appelé Grand-Ouest.

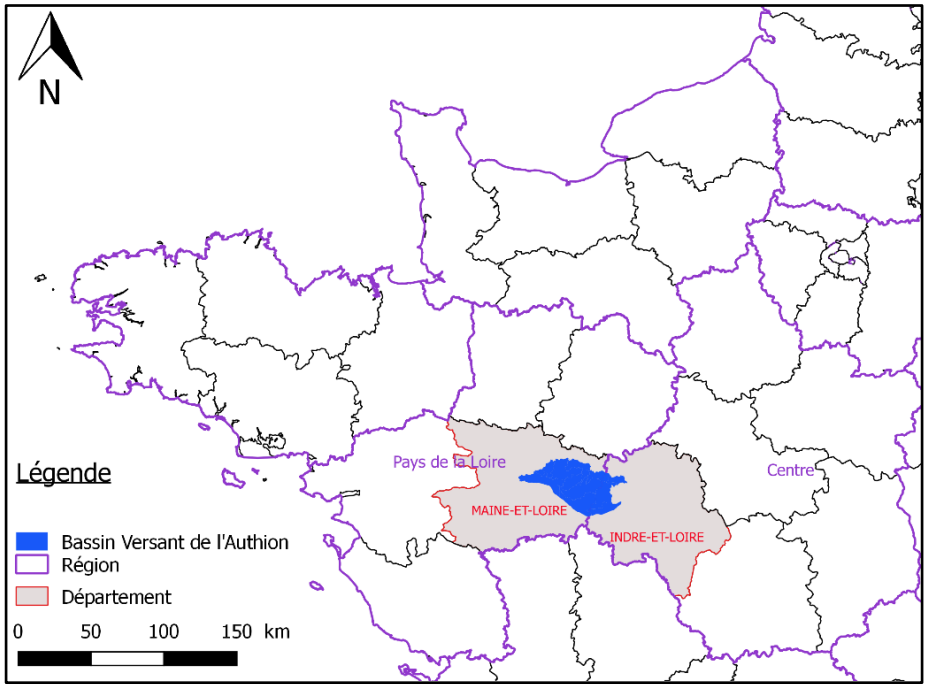


Figure 1 : Localisation du bassin versant de l'Authion dans le Grand-Ouest.

Situé dans la région climatique de la moyenne vallée de la Loire (Météo-France) entre le climat océanique et le climat semi-continental, le bassin versant reçoit en moyenne 668mm/an dont 170 mm sont efficaces (la moyenne nationale étant de 370 mm). L'ensoleillement y est important avec 1850 h/an et les températures plutôt douces avec en moyenne un minimum de 2,2°C en février et un maximum de 24,6°C en juillet. Les dimensions du bassin sont une longueur d'Ouest en Est de 73km, une largeur du Nord au Sud de 40km et une altitude variant de 17 à 119 mNGF. La figure 2, permet de mettre en évidence la morphologie du bassin versant. Avec au Sud, la vallée de l'Authion bordant la Loire, territoire très plat (pente de 1,5‰) correspondant au lit majeur de la Loire et au Nord, les collines et plateaux dont l'altitude varient entre 0 et 119 mNGF dans lesquels s'écoule les affluents de l'Authion.

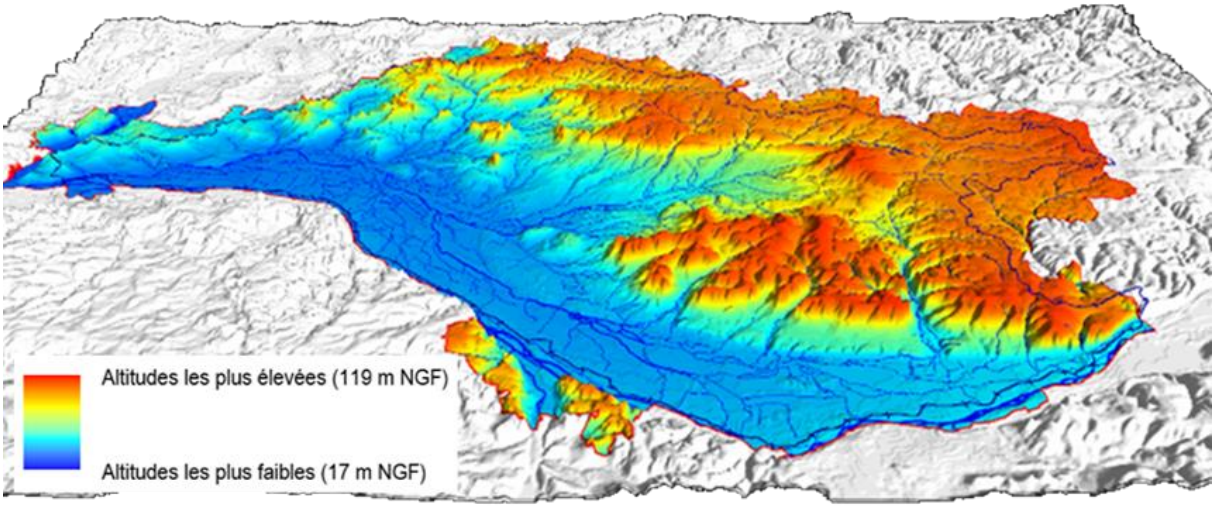


Figure 2 : Topographie du bassin versant de l'Authion (carte du PAGD du Sage

1-2- Géologie (contexte hydrogéologique)

Sur le bassin versant de l'Authion on peut distinguer quatre grandes entités hydrogéologiques. Selon un axe Sud-Ouest/Nord-Est on trouve:

- La nappe des Alluvions, elle s'étend dans le lit majeur de la Loire et peut se diviser en deux grandes parties, l'une en amont de Saumur, qui est homogène et constitué essentiellement de matériaux très perméable, l'autre entre Saumur et Angers, qui est un complexe sablo-argileux, avec le plus souvent trois bancs argileux (la jalle) qui rendent ces alluvions moins perméables. (T = varie entre 1.10^{-2} et 1.10^{-4} m^2/s)
- La nappe du Cénomanien, est captive sous les alluvions au Sud et sous les autres formations au Nord. Elle est libre de la bordure Nord du val d'Authion aux contreforts des plateaux formée par un jeu de faille. L'aquifère du cénomanien peut se diviser en deux parties. La partie inférieure ou basale et la partie moyenne, constituées de sable et graviers présentent les meilleurs paramètres hydrodynamiques ($T=1.10^{-3}$ m^2/s). La partie supérieure, constituée de marnes à huitres constitue le toit de l'aquifère cénomanien.
- La nappe Séno-Turonienne, s'étend sur la partie Est et Nord du bassin. Libre dans la Vallée du Changeon, en rive droite du Lathan et sur une partie du Couasnon amont, elle est captive sur le reste du bassin. La partie Turonienne, à la base de la formation est constitué de calcaire et de sable. Dans les vallons, le calcaire fissuré donne des caractéristiques hydrodynamiques intéressantes. La partie Sénonienne, composée de sable très fin, possède une transitivité estimé à 6 à 8.10-3m^2/s.
- La nappe des calcaires lacustre et des faluns, s'étendant sur le nord du bassin versant est composé de calcaire et de sable. La transmissivité dans cette aquifère varie entre 1.10^{-3} et 5.10^{-4} m^2/s. Les faluns ayant une plus faible extension géographique que les calcaires de l'Eocène, ils sont de moindre importance en ce qui concerne l'alimentation des eaux superficielles.

La figure 3, permet de localiser les formations affleurantes dans le bassin versant et une coupe permet de mettre en évidence l'organisation des aquifère entre eux. On distingue ainsi les grands complexes hydrogéologiques du bassin versant. La partie Nord et Est, regroupe l'ensemble des couches géologiques du jurassique au miocène, il existe entre ces couches des phénomènes de drainance, qui peuvent varier dans la saison hydrologique. La partie Sud, qui correspond au complexe des alluvions dans lesquelles des relations sont possible avec le cénomanien et la Loire elle-même. La partie centrale composée

essentiellement du cénomanien reposant directement sur le jurassique, constitue l'exutoire et la zone de transition entre les deux ensembles présentés précédemment.

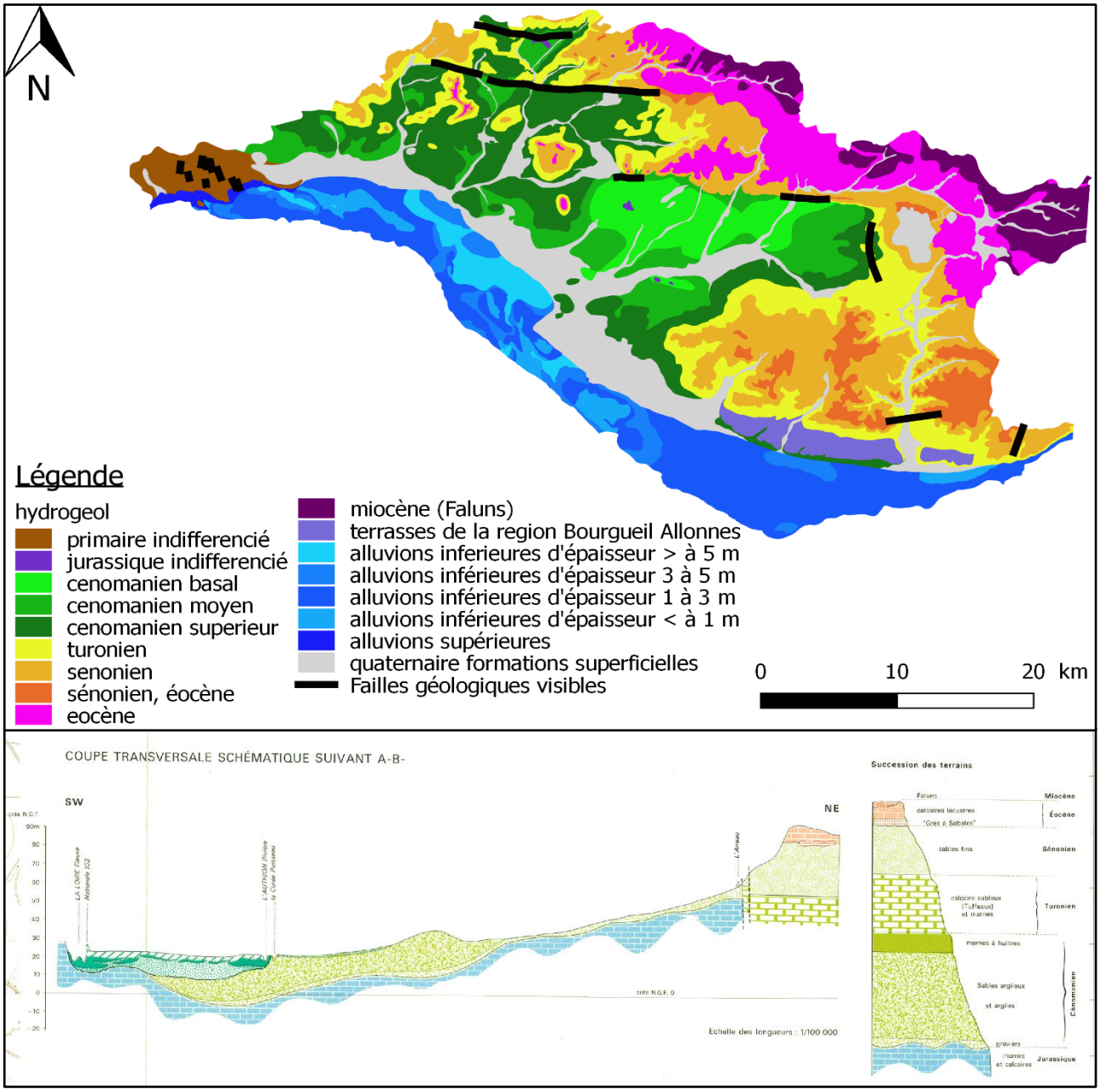


Figure 3 : Carte géologique et coupe géologique du bassin versant de l'Authion d'après Talbo, 1970

1-3- Hydrologie (contexte hydrologique)

Le bassin versant de l'Authion est composé de 5 rivières majeures, l'Authion (61km) et ces principaux affluents, le Lathan (50km), le Couasnon (30km), le Changeon (25km) et le Lane (25km). Le bassin de l'Authion est caractérisé par un aménagement hydraulique très important. Dans les années 60-70, l'aval du bassin a été déconnecté hydrauliquement de la Loire par l'installation de vannes de régulation pour empêcher les inondations de la vallée par

la Loire. Pour éviter, les inondations par l'Authion lorsque les vannes sont fermées un complexe de pompage a été mis en place pour évacuer les crues du bassin vers la Loire.

Les différentes rivières du bassin versant sont classées comme sensible et moyennement sensible au phénomène d'étiage (DREAL. 2009). Ce déficit hydrologique a conduit pour le développement agricole de la région à l'aménagement hydraulique du bassin. L'Authion, le Lane et le Lathan sont réalimentés par trois pompages en Loire pour les deux premiers et par une réserve d'eau de 5.10^6 m^3 pour le dernier. Pour contenir l'eau sur le bassin, l'ensemble des rivières du bassin sont jalonnées de clapet qui permette de maintenir un volume et un niveau d'eau suffisant pour les pompages. L'aménagement hydraulique extrême du bassin conduit sur certains cours d'eau à un taux d'étagement de 100%.

La figure 4 permet de mettre en évidence la complexité de trouver un site non influencé par les aménagements hydrauliques, la complexité de l'organisation du val d'Authion avec son réseau de canaux et fossés maillés ainsi que la difficulté de raisonner classiquement sur le fonctionnement hydrologique des rivières puisque une partie est réalimentée en basses eaux et drainée en hautes eaux.

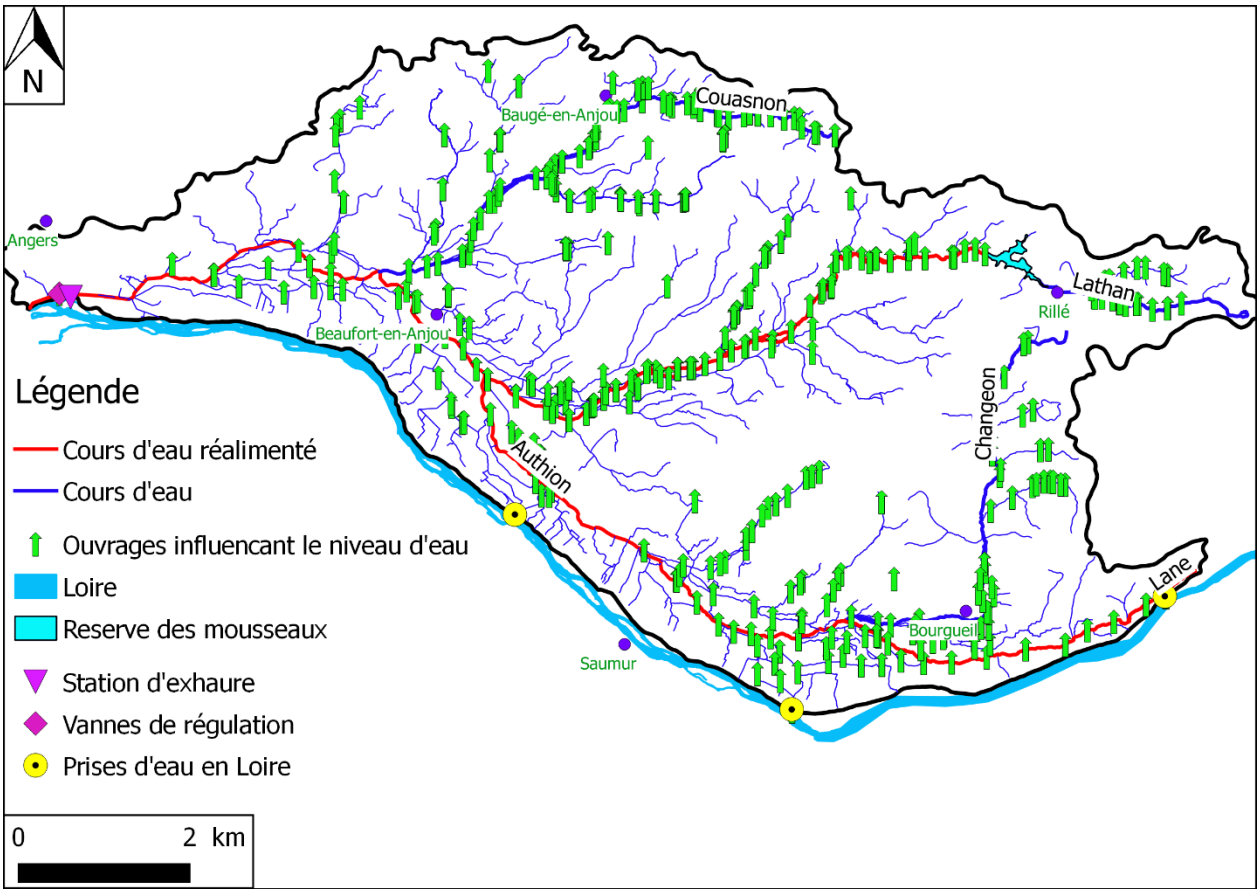


Figure 4 : Carte de localisation des cours d'eau, des ouvrages, des prises d'eau et du complexe de pompage sur le bassin de l'Authion.

1-4- Occupation du sol (contexte socio-économique)

La figure 4, met en évidence l'occupation du sol sur le bassin. La surface agricole cultivée représente 55% de la surface totale du bassin. Les massifs forestiers couvrent 26% du territoire, les prairies permanentes 13% et les surface urbanisées 6%. Cette carte ne rend pas compte de l'hétérogénéité des orientations technico-économiques des exploitations agricoles. Ce contexte socio-économique conduit à une pression de prélèvement très importante, dans l'espace et dans le temps (figure 5).

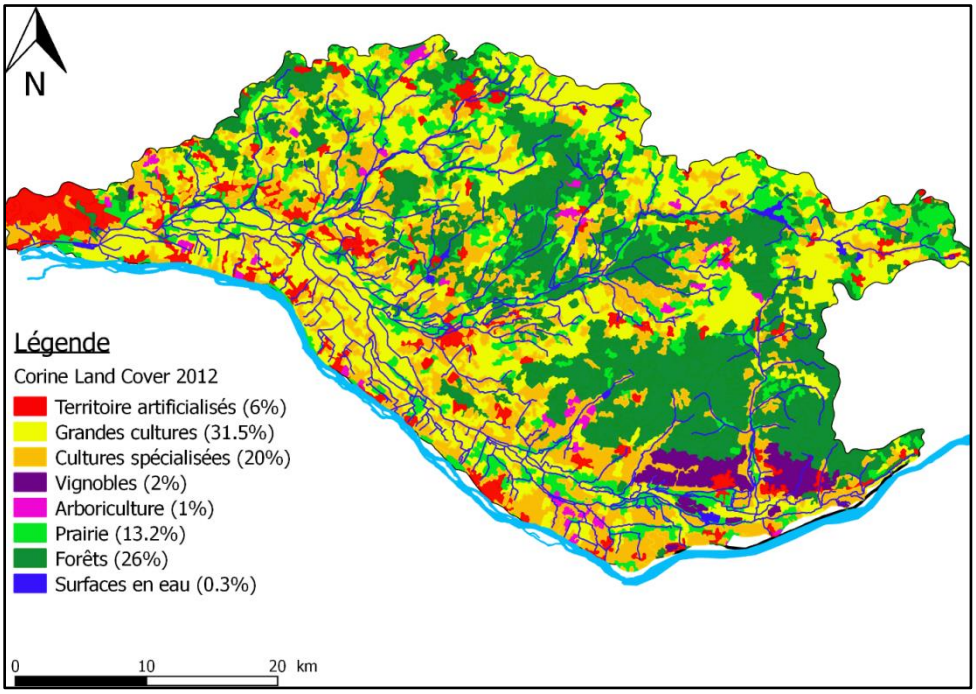


Figure 5 : Occupation du sol sur le bassin versant de l'Authion

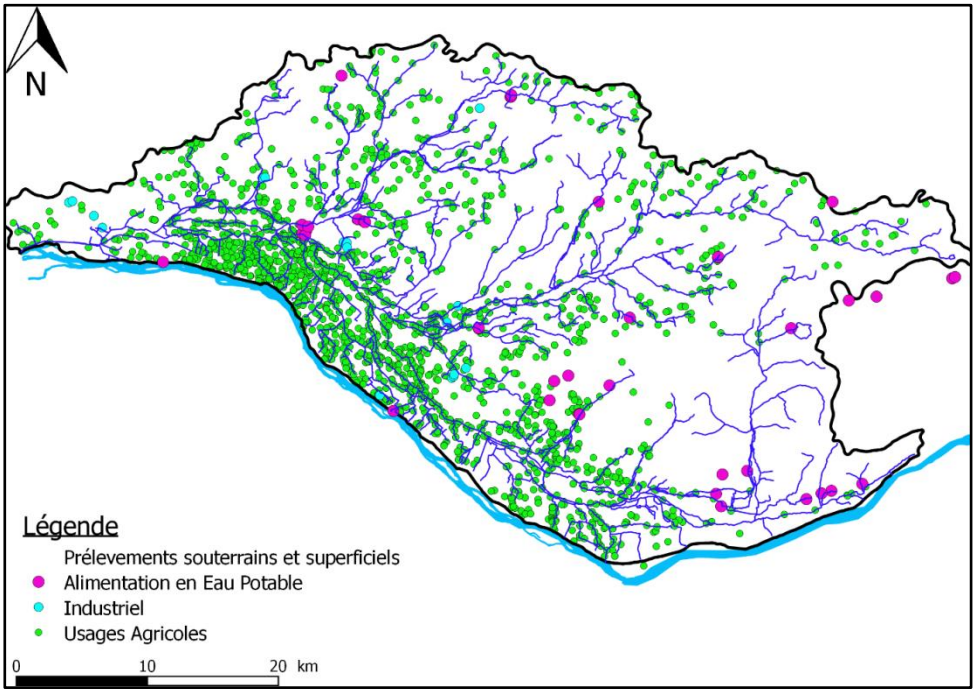


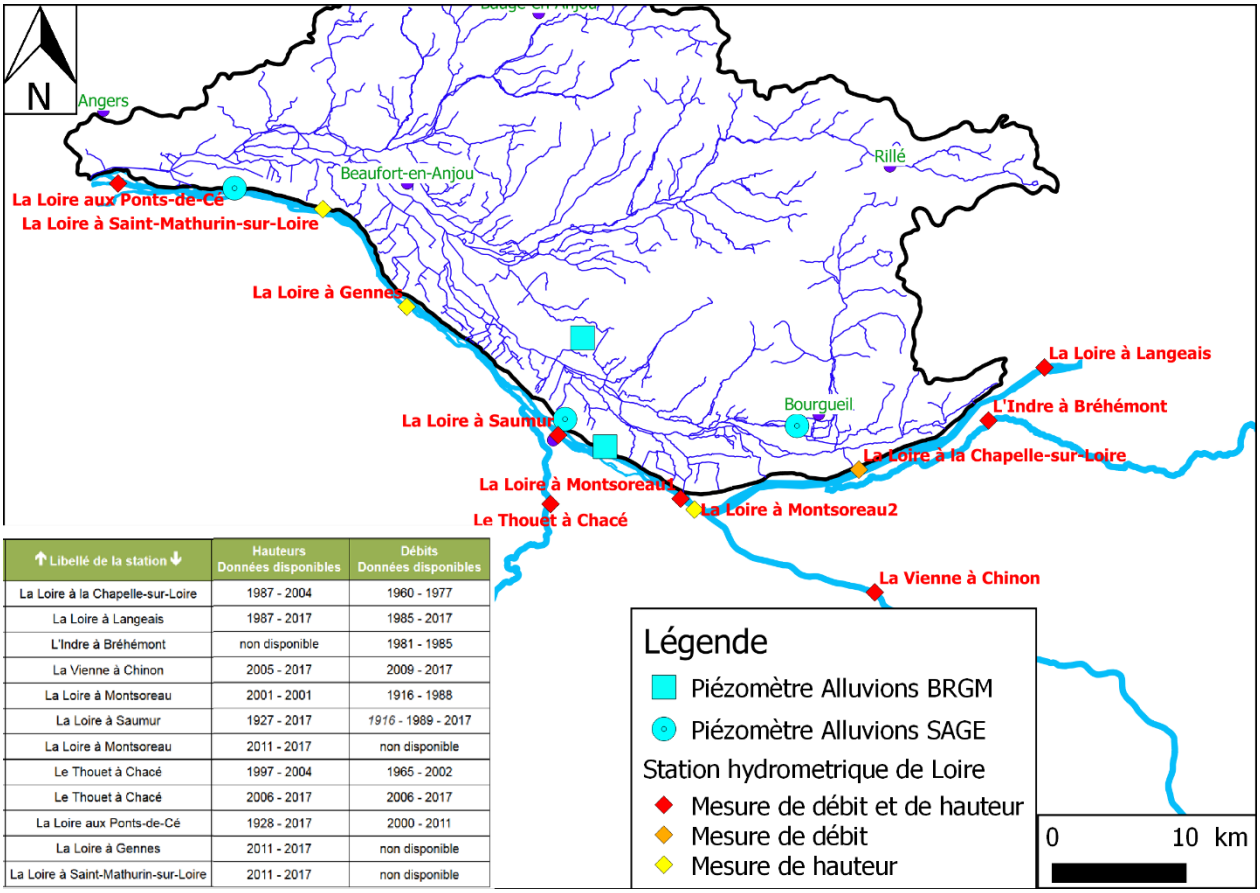
Figure 6 : Localisation des prélèvements en eaux superficielles et en eaux souterraines (source : agence de l'eau)

2- Matériel & Méthodes

2-1- Compréhension des relations entre Loire-Alluvions

2.1.1. Les Stations de La Loire et les piézomètres « Alluvions »

Pour déterminer les périodes et les volumes d'eau pouvant transiter de la Loire au bassin de l'Authion par l'intermédiaire des alluvions, l'étude s'appuiera sur l'analyse des chroniques des hauteurs et de débits sur les différentes stations hydrométriques du réseau DREAL et sur l'analyse des chroniques piézométriques dans les piézomètres du réseau BRGM et du réseau du SAGE dans les alluvions. La figure 7 permet de localiser les stations hydrométriques, le type de mesure et les chroniques de mesure, ainsi que les piézomètres.



Libellé de la station	Hauteurs Données disponibles	Débits Données disponibles
La Loire à la Chapelle-sur-Loire	1987 - 2004	1960 - 1977
La Loire à Langeais	1987 - 2017	1985 - 2017
L'Indre à Bréhémont	non disponible	1981 - 1985
La Vienne à Chinon	2005 - 2017	2009 - 2017
La Loire à Montsoreau	2001 - 2001	1916 - 1988
La Loire à Saumur	1927 - 2017	1916 - 1989 - 2017
La Loire à Montsoreau	2011 - 2017	non disponible
Le Thouet à Chacé	1997 - 2004	1965 - 2002
Le Thouet à Chacé	2006 - 2017	2006 - 2017
La Loire aux Ponts-de-Cé	1928 - 2017	2000 - 2011
La Loire à Gennes	2011 - 2017	non disponible
La Loire à Saint-Mathurin-sur-Loire	2011 - 2017	non disponible

Figure 7 : Localisation des stations hydrométriques de la Loire et des piézomètres situés dans les alluvions

2.1.2. Analyse des chroniques de débit et de hauteur de Loire

Dans un premier temps, une comparaison sur l'évolution des hauteurs d'eau en Loire et sur le niveau piézométrique des alluvions devrait permettre de mettre en évidence les périodes de décharges de la Loire vers le bassin de l'Authion. En plus de mettre en évidence les périodes et le sens des échanges, cette analyse devra permettre de définir le gradient

hydraulique existant entre la Loire et le bassin de l'Authion. En utilisant la Loi de Darcy, le débit pourra être estimé. Cette analyse est identique à celles réalisés par la SADRAL dans les années 60, ce qui permettra de confirmer les observations réalisés et de les mettre en relation avec l'évolution de la pression quantitative.

Cette étude sur les hauteurs, sera complétée par une analyse de l'évolution des débits en Loire pour estimer les pertes ou gains de débit qui pourrait apparaitre le long de la Loire. Cette analyse permettra de confirmer ou d'infirmer les observations réalisées, ainsi que de compléter l'estimation du débit transitant dans les alluvions. Cette analyse sera réalisée pour confirmer et détaillée, le phénomène d'inversion de débit entre l'amont et l'aval qui a été mis en évidence par les services de l'état (DDT49) en 2011, lorsque la Loire a connu un étiage sévère.

2.2. Comprendre les relations nappes-rivières sur le bassin de l'Authion.

2.2.1. Stations de mesure de débit et de piézométrie sur le bassin versant

Pour comprendre les relations nappe-rivière sur le bassin versant de l'Authion, l'étude s'appuiera entre autres sur l'analyse des chroniques piézométriques du réseau BRGM et du réseau SAGE, ainsi que sur les chroniques débimétriques des stations gérées en régie et sur le réseau d'observations des écoulements et assecs, l'ensemble de ces réseaux sont présentés en Annexe 1, pour permettre de les localiser et de mettre en évidence la qualité des observations réalisées. Une analyse sera réalisée sur les stations du réseau souterrain et superficiel, afin de pouvoir critiquer les données et proposer un plan pour la pérennisation et la fiabilisation des réseaux de suivi. La densité du réseau de suivi est un atout pour le bassin versant de l'Authion, toutefois il apparait que certains points présentent des limites. Un tableau pour chacun des réseaux sera présenté en annexe, il permet une analyse rapide et un classement des stations selon la priorité des actions à mener pour faire du réseau interne un réseau fiable pouvant être partager avec l'ensemble des acteurs.

2.2.2. Mise en place des jaugeages différentiels et des mesures piézométriques

Le jaugeage différentiel consiste à jauger dans un laps de temps qui ne doit pas dépasser une journée (BRGM), plusieurs tronçons d'une rivière afin de rendre compte des gains ou pertes de débit le long du cours d'eau. Les variables qui constituent le débit total d'une rivière sont de deux types : les apports et les pertes. Dans les apports, on retrouve les ruissellements de surface et les écoulements souterrains, les ruissellements sont des

phénomènes plus ou moins limités dans le temps et liée au type de pluviométrie. En réalisant les jaugeages à la suite d'une période sèche de plusieurs jours on peut considérer, que le débit n'est composé que des écoulements souterrains. Les pertes pouvant existées sont dues aux éventuels pompages ou au phénomène d'évaporation. Ces paramètres devront être évalués de manière fiable pour donner un sens hydrogéologique cohérent aux mesures.

Les tronçons de rivière jaugés devront si possible ne pas drainer un bassin versant supérieur à 20-35km² et ne pas excéder 10km de linéaire, comme le préconise le BRGM. Les points de mesure sont définis pour respecter les éléments présentés ci-dessus et tiennent compte des moyens humains et matériels. L'objectif étant de définir les relations nappes-rivières, les points de mesures seront placés afin de pouvoir différencier les apports en fonction des différentes nappes présentent sur le bassin. Ainsi certains points permettront de caractériser les apports de l'éocène, du séno-turonien ou du cénomanien. Trois niveaux de suivi ont été arrêtés et permettre d'évaluer les relations nappes-rivières à différentes échelles (Annexe 2), le niveau 1 correspond au suivi de base pour déterminer le moment critique ou des inversions de débits apparaissent sur le bassin, le niveau 2 permet d'évaluer les débits et les niveaux de nappe sur la partie Nord du bassin afin d'identifier les aquifères les plus sensibles et le niveau 3, permet de détaillé le comportement de chacune des UG. Trois campagnes de jaugeages vont être menées sur la période du stage, en fonction des moyens humains et matériels (1 suivi de niveau 2 et 2 suivi de niveau 3).

En parallèle des mesures sur les eaux superficielles, une campagne de mesure de niveau piézométrique permettra de caractériser l'état des différentes nappes et de modéliser via un S.I.G les zones d'apports sur le bassin. Cette approche permet de localiser les zones où les nappes alimentent les cours d'eaux et les zones où la charge dans les cours d'eau est supérieure à la charge piézométrique (potentiellement les zones d'infiltration). La réalisation en simultané de mesure in situ et de modélisation via S.I.G est recommandés par l'ONEMA et le BRGM, car elles sont les plus simples à mettre en œuvre et elles permettent une bonne évaluation quantitative des échanges.

2.2.3. Relation entre les observations d'écoulement et assec et la piézométrie

Une seconde approche va être mise en place pour valoriser le grand nombre d'observations d'écoulement et assec réalisé sur l'ensemble des cours d'eau du bassin. L'observation de l'écoulement des cours d'eau renseigne sur la situation des nappes les alimentant. Ainsi, une mise en parallèle des assecs et des niveaux de nappe permet de déterminer des niveaux piézométriques critiques.

3- Résultats

3-1- Les relations Loire-Alluvions

3.1.1. Analyse niveau de Loire et piézométrie dans le Val d'Authion

Les figures en Annexe 3, mettent en évidence plusieurs éléments et une hétérogénéité du comportement des alluvions. Premièrement, la Loire n'influence pas les alluvions sur la même distance, pour exemple dans la région de Bourgueil la Loire peut avoir une charge supérieure à celle d'un piézomètre situé à 4km alors qu'en aval de Saumur, la charge de la Loire n'est jamais supérieure à celle d'un piézomètre situé à la même distance.

La charge de la Loire est supérieure à celles des alluvions du val qu'une partie de l'année, principalement durant les hautes eaux (octobre-mai). En période de basses eaux de la Loire, celle-ci n'est plus en mesure d'alimenter le bassin de l'Authion à une distance supérieure à 0,5km. Cette généralité n'est pas vraie pour le secteur de La Bohalle, où, à partir de 2014 la charge de la Loire est continuellement supérieure à celle des alluvions.

La première conclusion de cette analyse sur les différences de charges entre Loire et alluvions du val laisse penser que l'alimentation naturelle du val par la Loire, n'est possible qu'en période de hautes eaux de la Loire ou lors de crue. Le phénomène observé à La Bohalle nécessite d'être expliqué car il pourrait être lié à l'augmentation du débit de pompage de la Station AEP à proximité, et mettrait donc en évidence l'influence des pompages à proximité de la Loire. L'ensemble de ces résultats seront discutés par la suite.

3.1.2. Analyse des débits de la Loire

La figure 8, permet de mettre en évidence les débits critiques pour lesquels on observe des inversions de débit entre l'amont et l'aval. Les inversions de débit significatives ont lieu durant deux périodes, les bases eaux de la Loire, en dessous de 300m^3/s et les crues de Loire au-delà de 3000m^3/s. Le différentiel de débit entre la station de Saumur et celle des Ponts-de-Cé est d'environ 50m^3/s lors des basses eaux et peut atteindre 400m^3/s lors des crues. Ces observations réalisées pour une année sur le débit horaire sont reproductibles pour toutes les années de la chronique, traduisant un phénomène cyclique. Une analyse fréquentielle sur la période 2000-2011, a permis de mettre en évidence que pour les débits les plus faibles apparaissant 15% du temps, des inversions de débit sont constatées dans 70% des cas. Plus les débits sont proches de la médiane, plus l'évolution du débit semble être normale. En Annexe 4, la même analyse fréquentielle a été réalisée pour caractériser l'évolution du débit entre

Langeais et Saumur et entre les Ponts-de-Cé et Montjean-sur-Loire. Cette comparaison n'a pas permis de mettre aussi clairement en évidence le lien entre basses eaux et inversion de débit, même si de manière cyclique on observe des inversions de débits. Ces observations seront discutées dans le paragraphe 5 de ce rapport.

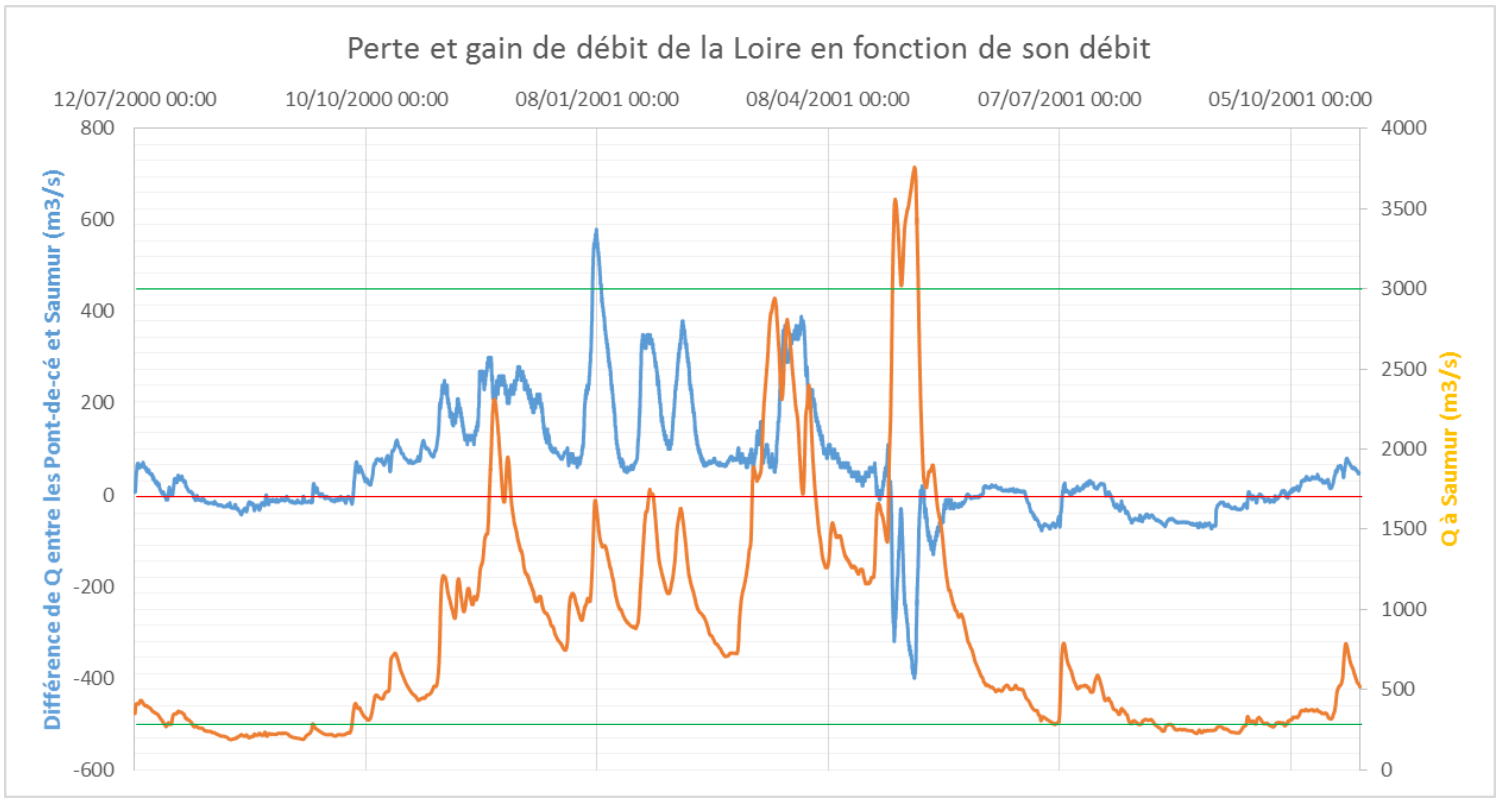


Figure 8 : Evolution du débit à Saumur (m3/s) et du différentiel de débit entre l'amont et l'aval (m3/s) pour les années 2000-2001

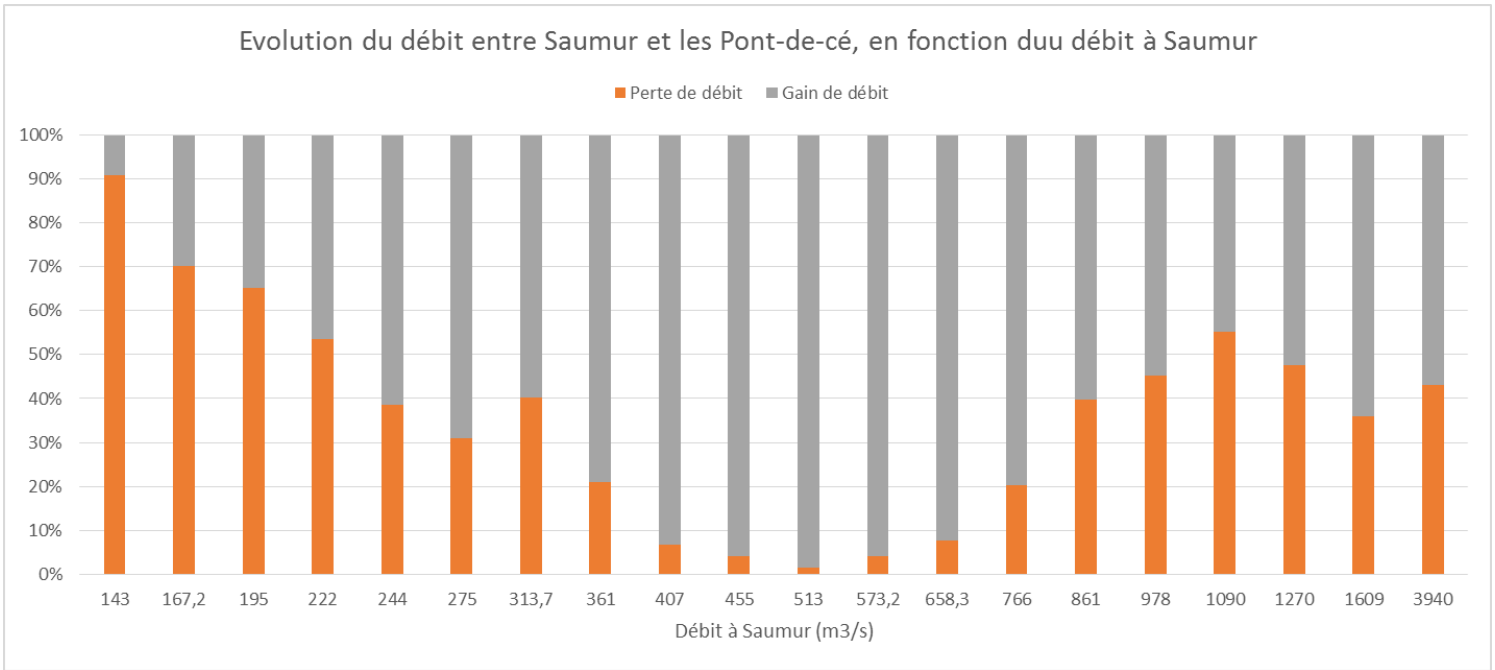


Figure 9 : Répartition des observations d'évolutions du débit amont-aval, en fonction de classe de débit à Saumur (200 mesures journalière).

3-2- Comprendre les relations nappes-rivières sur le bassin de l'Authion, en particulier le nord du BV

3.2.1. Bilan des stations de mesure de débit et de piézométrie sur le BV

Les annexes 5 et 6, sont les résultats de l'analyse de fiabilité et de pérennisation des stations de suivi des eaux de surfaces et des eaux souterraines. Les principaux éléments de cette analyse sont les suivants :

Pour les mesures de débit :

- Fiabiliser la station de mesure des Ponts-de-Cé, station prioritaire.
- Automatiser la mesure de hauteur d'eau pour les stations en sortie d'UG et multiplier les jaugeages pour le tarage des stations (≈1500 €HT/station + 0,3 ETP)
- Mettre en place des échelles limnimétriques pour fiabiliser le parc de mesure ponctuel (≈100 €HT/station)
- Optimiser certains point de mesure automatisé car ils ne prennent pas en compte des déviations dans d'autres bras ou canaux. Les stations de Moulin Guet et du Gué de Fresnes. Pincemaille nécessite également une optimisation car la mesure n'est pas fiable une partie de l'année.
- Plus généralement, les observations doivent être intensifiées ou une réflexion soit être menée sur une régionalisation à partir des stations supervisées. Le rythme des mesures est d'environ 1 à 2 par mois, ce qui ne permet pas construire des chroniques hydrologiques intéressantes.

Pour les mesures piézométriques :

- Sur le parc de 132 piézomètres, il n'en reste plus que 67 qui sont suivis de manière plus ou moins régulière. 44 de ces piézomètres font l'objet de mesure plus de deux fois par mois. Sur les 67 piézomètres du réseau actif, 43 se situe dans les unités de gestion 6 et 7.
- 48% des piézomètres permettent l'observation du cénomanien, 33% du Seno-Turonien, 21% de l'Eocène, 9% pour les alluvions et 7% pour les faluns du miocène.
- Il apparait nécessaire de réactiver certains suivis pour couvrir une plus grande zone géographique et mieux appréhender les niveaux piézométriques sur le bassin.

3.2.2. Relation entre débit spécifique et niveau piézométrique

Dans cette partie nous détaillerons peu la campagne de mesure de niveau 2, sur l'ensemble de la partie Nord, car les pompages été trop important et les résultats ne rendent pas compte des relations nappes-rivière. Toutefois certains résultats ont été utilisés pour la compréhension générale du bassin.

Les campagnes de jaugeage différentiel sont regroupées dans la figure 10. Les trois campagnes de jaugeage n'ont pas pu toutes être menées dans les mêmes conditions environnementales, ce qui peut expliquer certaines variations. Les campagnes du 31/05/2017 et du 14/08/2017 sont celles qui apportent le plus d'informations car elles sont moins influencées par les éventuels pompages en eaux superficielles. On observe entre les deux campagnes une baisse générale des débits spécifiques de l'ordre de 5 à 2 fois plus faible. Pour le Cénomanien on observe une division des débits spécifiques de l'ordre de deux, dans les parties filtrantes le débit d'infiltration varie entre 0,6 et 1,2 l/s/km². Pour les bassins versants en amont, le débit spécifique du mois de mai est divisé par 5, à l'exception du bassin versant du Graboteau (divisé par 1,6) et le bassin du pont de Lignère (divisé par 1,3).

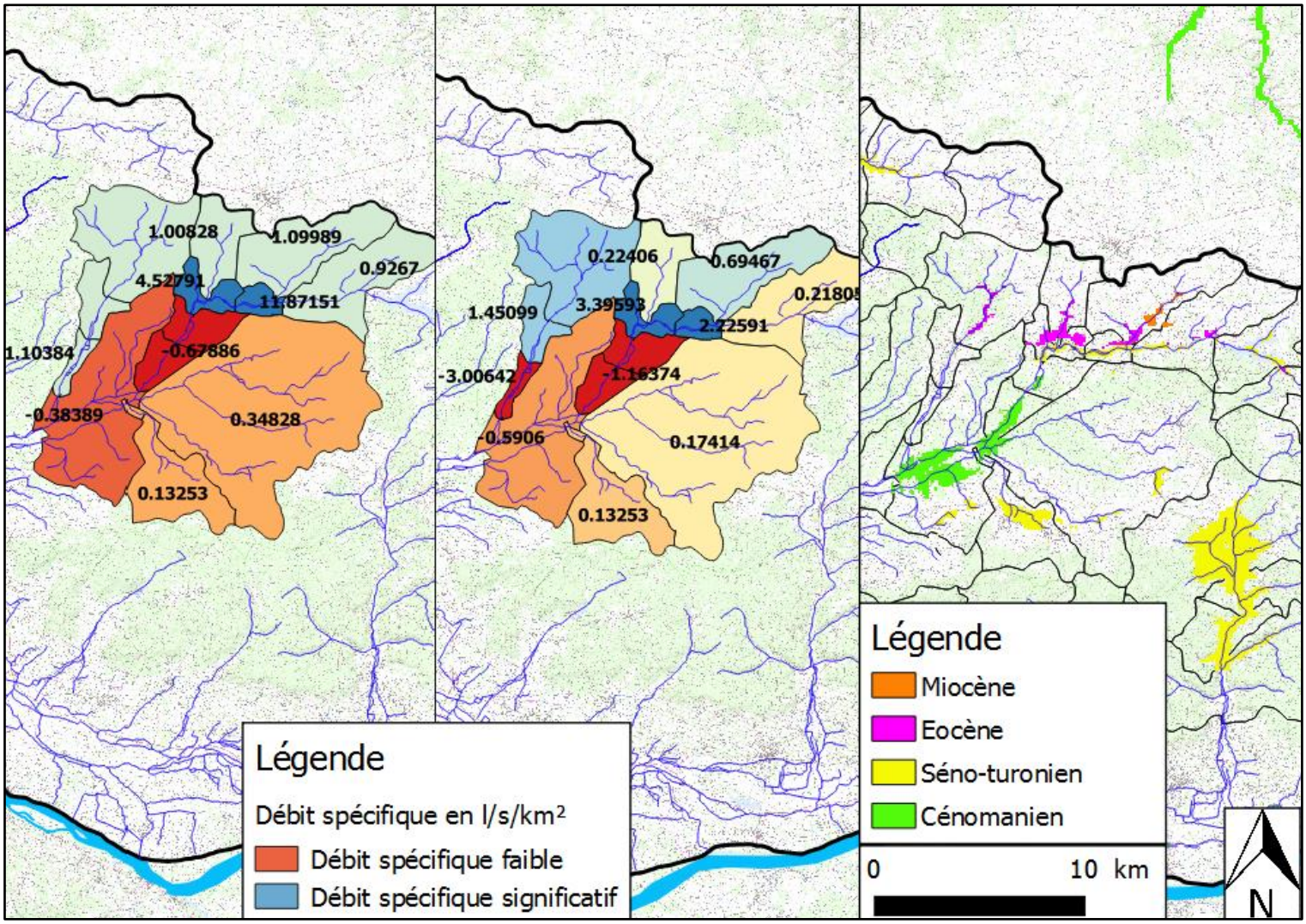


Figure 10 : Carte des débits spécifiques des campagnes de mesures du 31/05/2017 et du 14/08/2017. Cartographie des zones d'apports d'eau des nappes vers les cours d'eaux

La figure 10, en mettant en parallèle les zones d'alimentation des cours d'eau et les variations de débit spécifique, permet d'identifier les aquifères qui fléchissent le plus dans l'alimentation des cours d'eau. Ainsi, On remarque que les zones majoritairement alimentées

par le Seno-turonien souffre plus de la baisse de la charge piézométrique. Au contraire, les calcaires lacustres de l'Eocène semblent mieux soutenir l'étiage. Dans les zones où la nappe du Cénomanien est la plus déprimé, l'infiltration est accentuée comme en aval de la Riverolle.

Ces observations seront discutées car elles sont entachées de certaines incertitudes qu'il convient de précisé afin de données l'ensemble des clés de lecture de ces résultats.

3.2.3. Relation entre les observations d'écoulement et assec et la piézométrie

La recherche de corrélation entre les observations d'écoulements et assec et le niveau piézométrique, permet de caractériser les échanges nappes-rivières en définissant des seuils pour lesquels la nappe n'alimente plus la rivière ou commence à présenter des signes de fléchissement. La figure 11, est un exemple de fonctionnement qui peut être mis en évidences par la corrélation de ces observations. Dans le cas ci-dessous, La cholinière se met en assec, lorsque l'éocène à Pontigné (château du Bouchet) atteint une côte inférieur à -10.5m. L'écoulement est satisfaisant pour des cotes supérieures à -9.5m. Une côte inférieur à -6.0m en avril, traduit un stock faible pour la saison à venir, puisque en dessous de cette côte, on s'attend à observer des assecs.

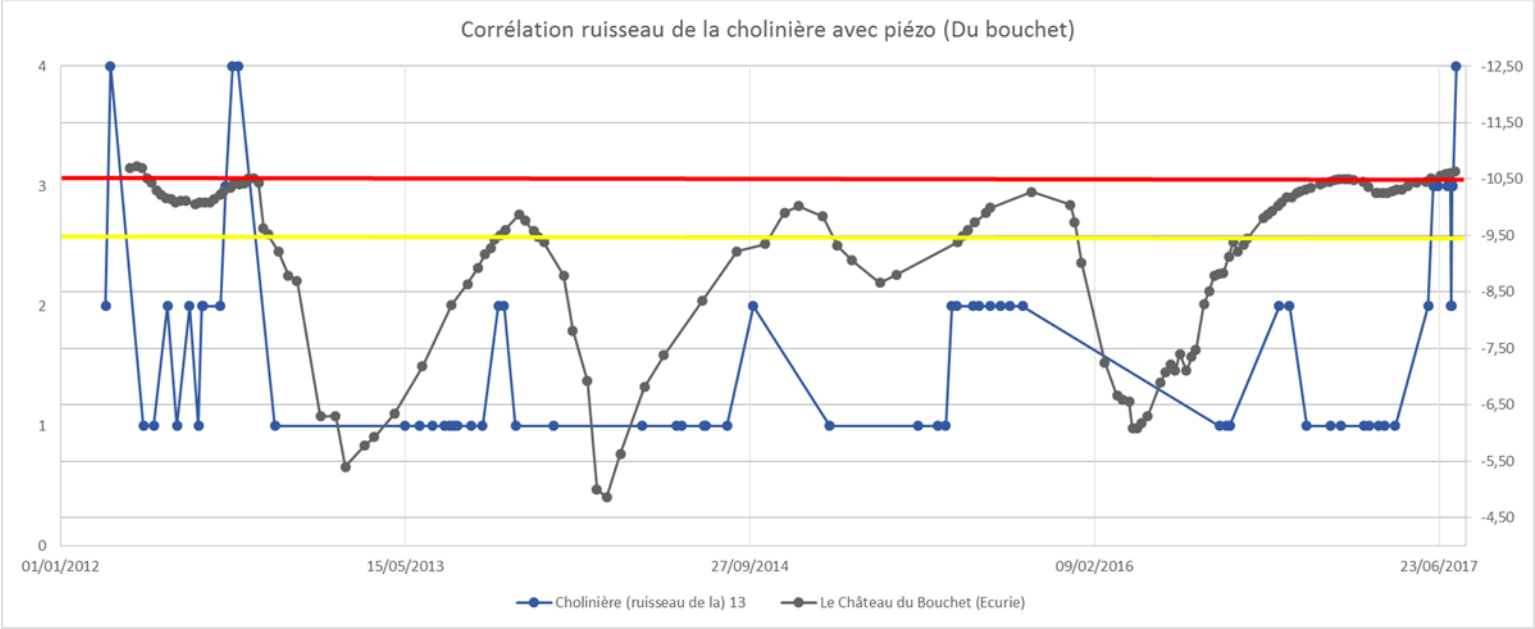


Figure 11 : Niveau d'écoulement du ruisseau de la cholinière selon la nomenclature ONDE et niveau piézométrique d'un point d'observation à proximité.

En Annexe 7, l'ensemble des observations réalisées est retranscris afin d'offrir une clé de lecture aux acteurs du bassin. Le suivi de l'ensemble de ces indicateurs permettra de mieux prévenir les déficits quantitatifs.

4- Discussion

4-1- Relations Loire-Alluvions-Authion

Une partie de l'analyse a porté sur la différence de charge entre la Loire et les piézomètres dans les alluvions disponibles sur le bassin versants, il convient de dire que la faible densité de piézomètre ne permet pas de faire une analyse détaillée du comportement de l'aquifère alluvionnaire. Les premiers éléments semblent montrer que dans la partie la plus transmissive, en amont de Saumur, l'absence de jalles permet à la Loire de recharger le secteur de Bourgueil à une distance avoisinant les 4km. Ceci s'explique par le faible gradient hydraulique dans les alluvions homogènes. Au contraire, en aval de Saumur la zone d'influence est limitée, puisque le gradient de charge dans les alluvions est plus important.
Le piézomètre de La Bohalle est caractéristique par sa proximité avec la Loire moins de 300m, on remarque que ce dernier est susceptible d'être alimenté par la Loire toute l'année. Toutefois, ce piézomètre semble être influencé par un pompage constant. Il conviendrait de suivre plusieurs piézomètres dans le secteur pour évaluer l'impact du pompage dans l'espace et le temps.

L'analyse sur les débits de Loire est confrontée aux problèmes inhérents aux stations hydrométriques de la Loire. Un entretien avec Mme Poligot-Pitsch (Cheffe division Hydrologie Hydrométrie et Prévision des Crues DREAL Pays de la Loire) a permis de mettre en évidence les incertitudes liées à la mesure. Pour exemple, la station des Ponts-de-Cé, ne prends pas en compte une dérivation de la Loire dans le Louet. Ce qui conduit pour les conditions extrêmes à une surestimation des débits « perdus ». Le tarage difficile de certaines stations conduit également à prendre avec précautions les mesures comme représentatives de la réalité, pour les Ponts-de-Cé le début de la chronique est fiable à 5% prés, à la fin de la chroniques l'incertitude a atteint plus de 10%. L'analyse des débits est rendu difficiles, lorsque des affluents majeurs rejoignent la Loire (Vienne, Maine,…), car certains phénomènes sont masqués ou accentués en fonction du temps de transfert entre les stations. L'analyse des débits ne semble pas être une méthode très pertinentes pour évaluer le déficit quantitatifs, de nombreux processus entre en jeux (évaporation, infiltration dans les bancs de sable, pompage direct en Loire, mise en eaux de bras mort,…). Toutefois cette analyse permet de mettre en évidence un fonctionnement de la Loire qui pose question.

Le suivi de piézomètre répartis le long de la frontière entre Loire et Bassin de l'Authion à des distances différentes de la Loire devrait permettre à termes d'établir une carte piézométrique permettant d'évaluer le sens et la quantité des échanges.

4-2- Relation nappe-rivière sur la partie Nord du bassin versant

Sur les trois campagnes de jaugeages différentiels, l'importance des pompages superficiels sur le Lathan a mis en évidence la difficulté de quantifier de manière fiable les relations nappe-rivière. Ainsi des inversions de débit ne sont pas forcément à mettre au crédit d'une infiltration dans la nappe ou d'une évaporation. Dans ce contexte de forts prélèvements, il apparait essentiel de multiplier les observations et de réaliser des jaugeages lors de période bien défini afin de s'affranchir de cette contrainte. Ainsi les périodes de restrictions de l'usage de l'eau, la fin de saison de l'irrigation et les mesures en hautes eaux peuvent apporter des informations représentatives des relations nappe-cours d'eau. A default, il est primordial de définir clairement la pression de pompage.

La réalisation de mesure de niveau dans chaque compartiment étudié (nappe/rivière) est essentielle, mais cette approche peut être complétée par une approche physique. Le BRGM suggère de suivre en même temps que les débits, la conductivité et la température afin d'avoir une image plus complète des échanges entre compartiments et des sources de provenance de l'eau.

La réalisation de carte piézométrique permettant de localiser les zones de résurgence de nappe, est confrontée à la qualité et à la quantité des données. Ainsi l'analyse du réseau de piézomètres du SAGE, a mis en évidence une hétérogénéité des informations disponibles sur les nappes. Ainsi, les unités de gestion 6 et 7 sont plutôt bien fournies en informations sur le souterrain, notamment sur le Cénomanien. En revanche, il apparait un déficit d'information sur le Seno-turonien et l'Eocène dans le secteur du Couasnon, du Lathan amont, du Changeon aval et des trois rus. De même, le Cénomanien qui semble jouer un rôle important dans le val d'Authion est très peu suivi dans ce secteur. Ainsi, il apparait nécessaire de réfléchir à la réactivation de certains points de suivi ou à leur équipement. Notons également, que l'interpolation réalisée par la méthode I.D.W, n'est pas la meilleur qu'elle confère beaucoup de poids à des mesures pouvant être jugées extrême, La méthode du Krigeage semble apporter de bien meilleur résultats pour la réalisation de carte piézométrique (TRIKI. I, 2014), alors que l'ONEMA dans son guide pour l'utilisation du SIG pour interpréter les relations nappe-rivière recommande la méthode d'interpolation TIN.

Conclusion

Le bassin versant de l'Authion peut se caractériser par un fonctionnement hydrologique complexe, fortement influencé par les aménagements hydraulique et les pressions liées à l'occupation du sol. La problématique quantitative de la ressource est un pilier pour le développement économique et pour maintenir les objectifs environnementaux de bon état des masses d'eau. L'objectif de cette étude était donc de caractériser les relations nappes-rivières sur deux zones d'intérêt pour l'alimentation en eaux du bassin.

L'étude sur les relations entre la Loire et les alluvions, a mis en évidence le manque de données piézométrique et la fragilité de l'étude des débits de Loire. L'étude des débits de Loire, ne parait pas être une approche pertinente pour caractériser les relations Loire/alluvions. La variabilité des phénomènes pouvant impliqués des inversions de débits amont-aval, ne permettent pas par une simple analyse pour quantifier ou interpréter ces phénomènes. De plus, les mesures de débit en Loire sont entachées d'incertitudes importantes.

En revanche, la comparaison des différences de charges entre compartiment, permet de mettre en avant le sens et d'estimer la quantité des échanges. Il apparait nécessaire de trouver de nouveau point de suivi dans les Alluvions et de suivre attentivement les rabattements qui peuvent être causé par les nombreux pompages.

La mise en place de jaugeage différentiel à différentes échelles d'observations, a permis de mettre en évidence la complexité d'une telle analyse dans un contexte de prélèvements importants en eau superficiels. Malgré, le faible recule que l'on peut avoir sur les campagnes réalisées, il semblerait que sur la partie amont du Lathan, la baisse des niveaux piézométriques dans le Seno-Turonien est un fort impact sur les cours d'eau. Alors que les bassins alimentés par les calcaires de l'Eocène semblent mieux résister à l'étiage. En revanche, la comparaison des écoulements et assecs et des niveaux piézométriques ainsi que la campagne de mesure du 01/08/17, montre pour la partie amont du bassin versant du Couasnon, un apport majoritaire du Seno-turonien et une mise en assec des affluents drainant l'Eocène.

Prochainement, il apparait intéressant d'évaluer la pression de prélèvement dans chacun des aquifères, puisque à une échelle géographique relativement faible, les aquifère ne semblent pas régir les relations avec les cours d'eau de la même manière, il est probable que le phénomène à l'origine de cette variations de comportement ne soit pas naturel mais anthropique.

Dans l'ensemble des analyses effectuées que ce soit sur La Loire ou sur le bassin versant, il ressort un manque de données en quantité et en qualité. Certains des aquifères sont bien suivis, mais d'autres souffrent d'un déficit de données qui complique la modélisation ou plutôt la représentation des niveaux piézométriques. L'analyse qui a porté sur les réseaux de suivi souterrains et superficiels, a fait l'objet d'une proposition pour la fiabilisation et la pérennisation du réseau en vue d'obtenir des données fiables et représentatives dans l'espace et dans le temps.

La fiabilisation de ce réseau permettra d'enrichir le modèle de bassin qui fait l'objet d'une convention de recherche BRGM-SAGE-Agence de l'Eau. Ayant pour objectif, que ce modèle devienne un outil de gestion et de prévision, il devra être utilisé avec des données fiables et représentative. La qualité de la mesure apparait dans la bibliographie comme le facteur limitant de toutes les études. De plus, l'utilisation de données de qualité pourrait permettre de retracer des chroniques par une approche de régionalisation et permettrait de caractériser finement le fonctionnement hydrologique de ce bassin très influencé. A terme une pérennisation du réseau et un partage des données sur une plate-forme pour les acteurs de l'eau du Bassin permettrait d'optimiser la gestion de la ressource et l'aménagement des cours d'eau.

Bibliographie

ABAIDIA. S, 2008. Impact des lâchers des barrages Ghrib et Boukourdane sur la recharge artificielle de la nappe alluviale. Thèse. Hydraulique. Université Hassiba Ben Bouali-Chlef

ANTEA, 2015. Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion : Phase 3 Détermination des seuils d'objectif d'étiage et de crise des cours d'eau et des nappes. Rapport. A71213/F. 95p.

ANTEA, 2015. Détermination des volumes prélevables sur le périmètre du SAGE Authion :Phase 2 Analyse des données et définition des unités de gestion. Rapport. A70443/F. 119p.

CATALOGNE. C, 2012. Amélioration des méthodes de prédétermination des débits de référence d'étiage en sites peu ou pas jaugés. Thèse. Océan, Atmosphère, Hydrologie. Université de Grenoble, 285p.
Necessité de faire des jauaes episodique explication de l'importance des mesueres

CHABART. M, PANNET. P, 2006. Etude des bassins versants de la Somme-Soude et de la Coole (51) Acquisitions de données complémentaires et mise en œuvre d'un SIG. BRM/RP-54978-FR. 62 p.

COUSQUER. Y, 2017. Modélisation des échanges nappe-rivière à l'échelle intermédiaire : conceptualisation, calibration, simulation. Thèse. Hydrogéologie. Université Bordeaux Montaigne, 205p.

DCE, 2000. Directive n°2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau (J.O.C.E n° *L 327 du 22/12/2000 1-73p.*.

DUPONT. J.P, 2011. Fonctionnement hydrologique et enjeux de société : exemples de l'aquifère crayeux de l'Ouest du Bassin de Paris. In : VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne], Hors-série n°10, mis en ligne le 14 juin 2012. DOI : 10.4000/vertigo.12055

FEKRI. A, 1991. Contribution à l'étude hydrogéologique et hydrogéochimique de la zone synclinale d'Essaouira (Bassin synclinal d'Essaouira). Thèse. Hydrologeologie. Université Cadi Ayyad, 241p.

GRAILLOT. D, PARAN. F, DUJARDIN. F, 2014. Caractérisation des échanges nappes/rivières de l'échelle du tronçon à l'échelle régionale par métrique expérimentale ou modélisation. ONEMA, 209p.

LEBECHEREL. L,2015. Sensibilité des calculs hydrologiques à la densité des réseaux de mesure hydrométrique et pluviométrique. Thèse. Hydrologie. AgroParisTech, 280p.

MALAVOI. J.R, ADAM. P, 2007. Les interventions humaines et leurs impacts hydromorphologiques sur les cours d'eau. *In :* Ingénieries, n° 50,pp 35-48

MASSON, J.M., 1987. Débitmétrie : précision des stations de jaugeage. *In :* LA HOUILLE BLANCHE, N" 4/5, pp 333-338.

MORLOT. T, 2014 La gestion dynamique des relations hauteur-débit des stations d'hydrométrie et le calcul des incertitudes associées. Thèse. Terre, Univers et Environnement. Université de Grenoble, 295p.

NITARD. J, DOSSEUR. H, 1972. Un exemple d'études hydrologiques récentes: le bassin de l'authion. In :La Houille Blanche, n° 1, pp23-34.

OBERLIN, G.R., 1973. Intérêt des jaugeages épisodiques pour l'estimation des étiages de petits bassins non équipés, Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrol., vol. X, no 4,

PARAN, Frédéric, DECHOMETS, Roland, GRAILLOT, Didier, 2008. Identification et quantification des échanges nappes/rivière par analyse spatiale : Contexte de données fragmentées et hétérogènes. Application au fleuve Rhône. In : Géomatique Expert, n°64, pp73-79.

PARAN. F, AUGEARD. B, 2017. Guide technique Interactions nappe/rivière Des outils pour comprendre et mesurer les échanges. 106p

DREAL Pays de la Loire, 2009. *Caractérisation des étiages en Pays de la Loire* [en ligne]. Ministère de la Transition écologique et solidaire, publié le 3 décembre 2009, mis à jour le 28 août 2017

SADRAL, 1974. Bassin de l'Authion, étude hydrologique, étude hydrogéologique. Rapport interne.

TALBO. H, 1969, Hydrogéologie de la vallée de l'Authion, etat des travaux réalisés. Rapport. BRGM, 32p.

TRIKI. I, HENTATI. I, 2014, Evaluation de techniques d'interpolation spatiale de la piézométrie à l'aide de l'extension Geostatistical Analyst d'ArcGIS. In : Géomatique Expert, n° 99, pp53-63.

Les cartes et notices géologiques:

TALBO. H. Carte hydrogéologique du bassin versant de l'Authion 1/50 000. 1er éd., 1970

Bureau de Récherche Géologique et Minière (France). Carte géologique de la France 1/50 000 : Chinon (feuille 486). 1er éd..Orléans : BRGM, 1978

Bureau de Récherche Géologique et Minière (France). Carte géologique de la France 1/50 000 : Noyant (feuille 456). 1er éd..Orléans : BRGM, 1976

Annexes

ANNEXE N°1 : Réseaux de mesure du SAGE pour les eaux superficielles, souterraines et les observations d'écoulements et assec.

ANNEXE N°2 : Localisation des stations de mesures en fonction des niveaux de suivi mis en place.

ANNEXE N°3 : Comparaison des niveaux de Loire et des niveaux piézométriques dans les alluvions de 3 secteurs du bassin (Bourgueillois, Saumurois, La Bohalle).

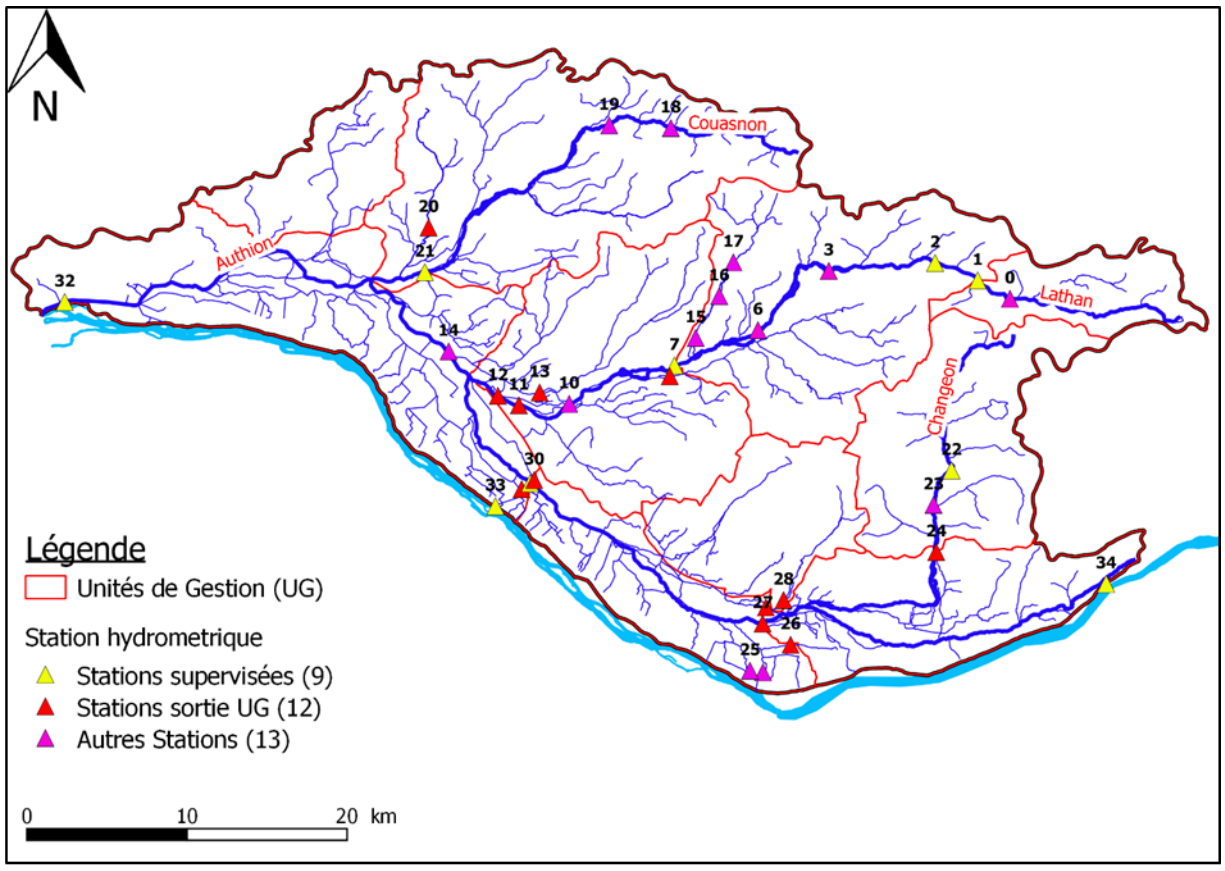
ANNEXE N°4 : Analyse fréquentielle des périodes d'inversion de débit selon le débit de la Loire, en Amont du Bassin (Langeais/Saumur) et en aval (Ponts-de-Cé/Montjean).

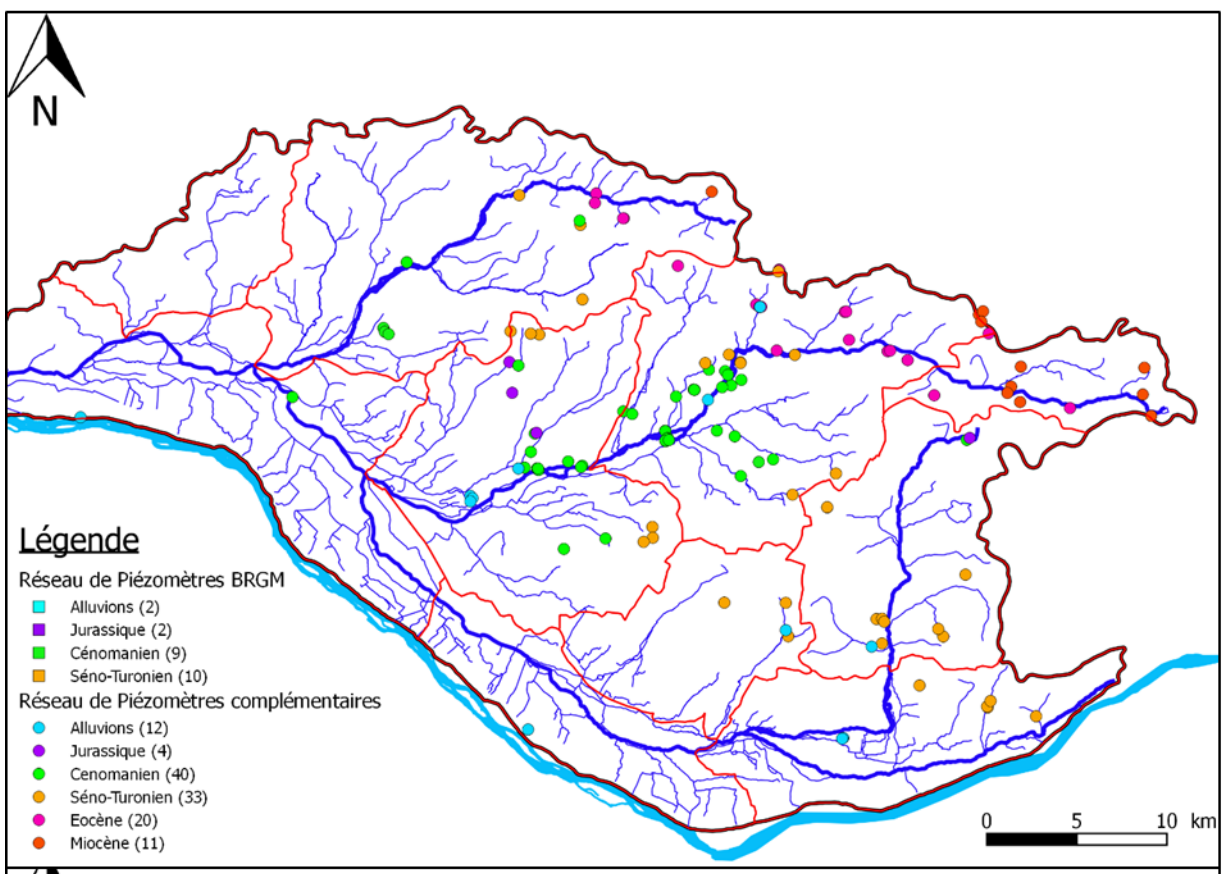
ANNEXE N°5 : Bilan des stations de suivi des eaux superficielles et proposition d'actions pour pérenniser le réseau.

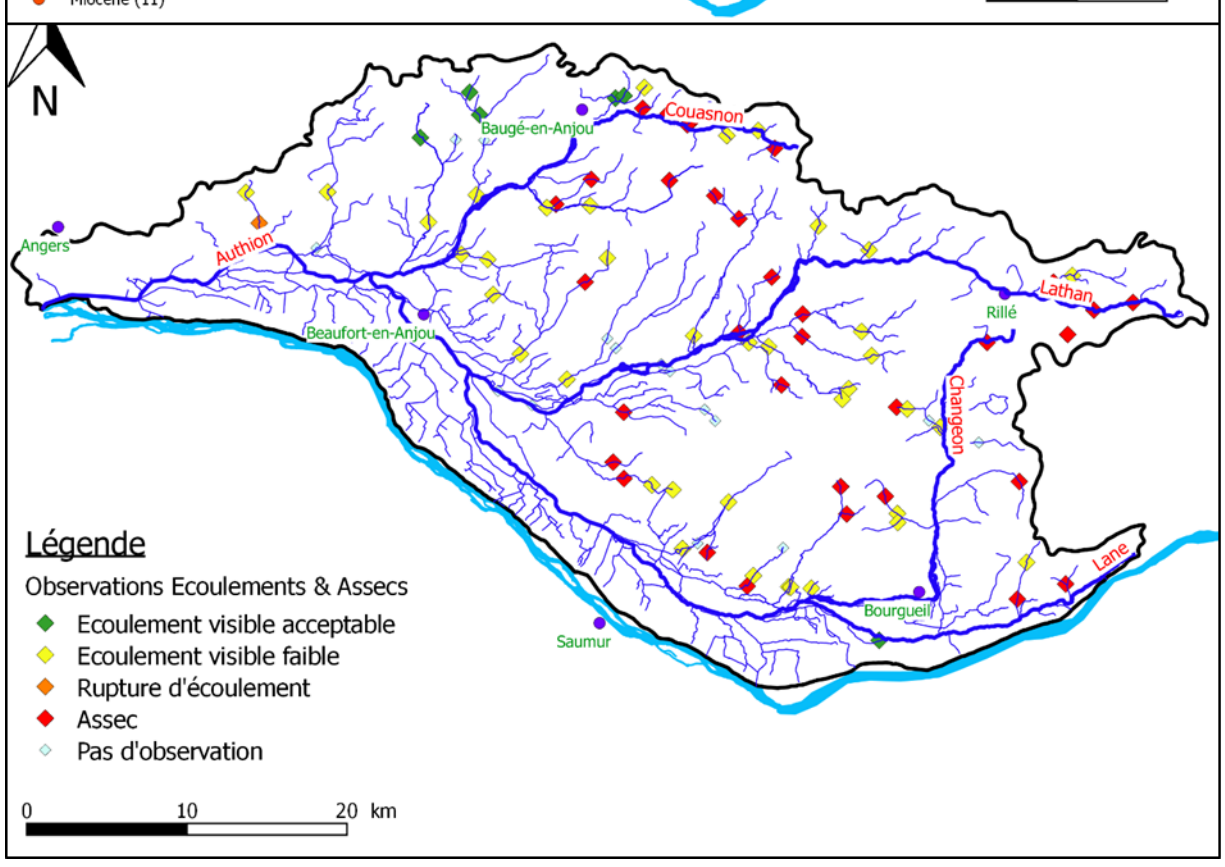
ANNEXE N°6 : Bilan des stations de suivi des eaux souterraines et proposition d'actions pour pérenniser le réseau.

ANNEXE N°7 : Bilan des relations entre observations d'assecs et niveaux piézométriques.

ANNEXE N°2 : Réseaux de mesure du SAGE pour les eaux superficielles, souterraines et les observations d'écoulements et assec

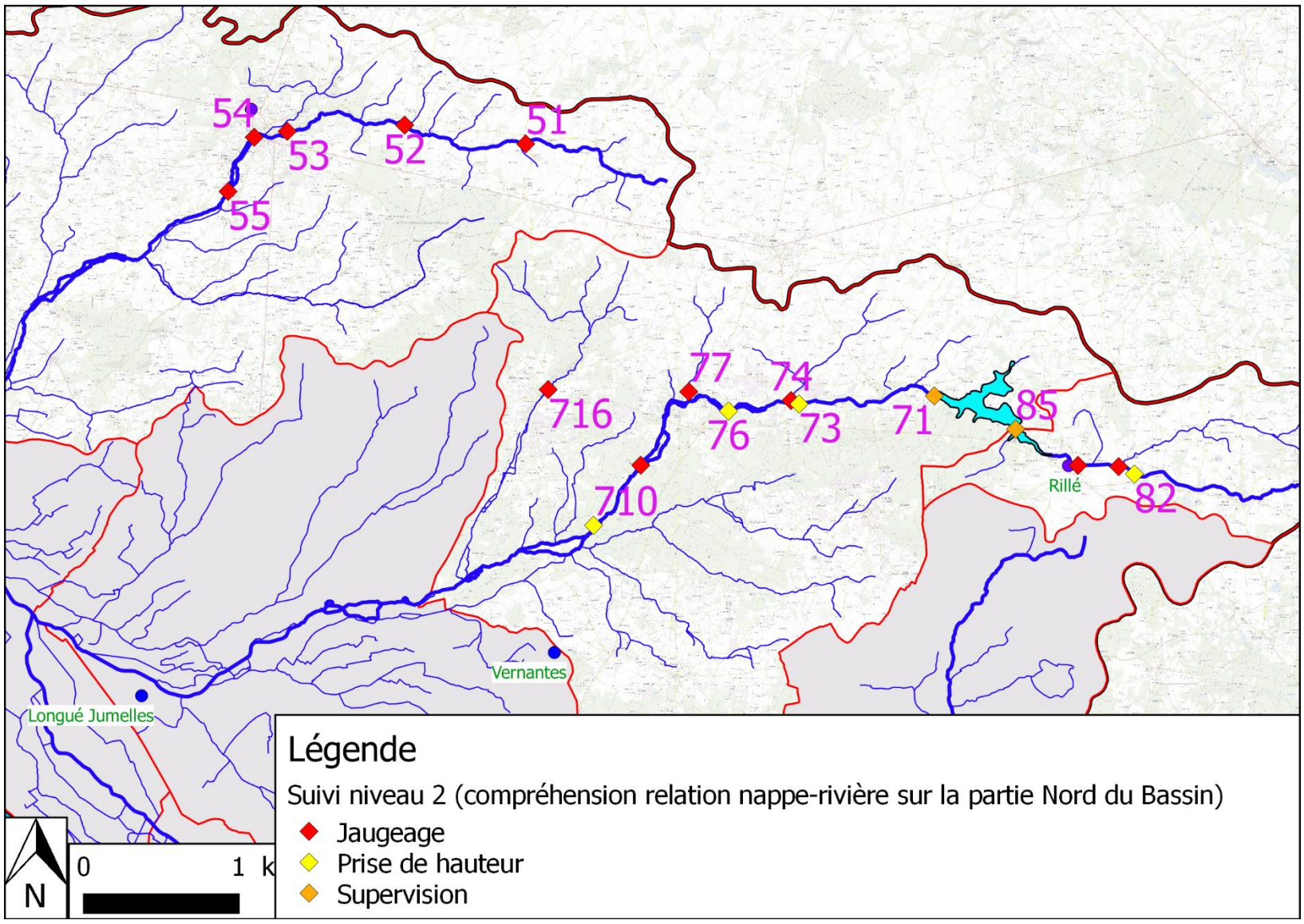




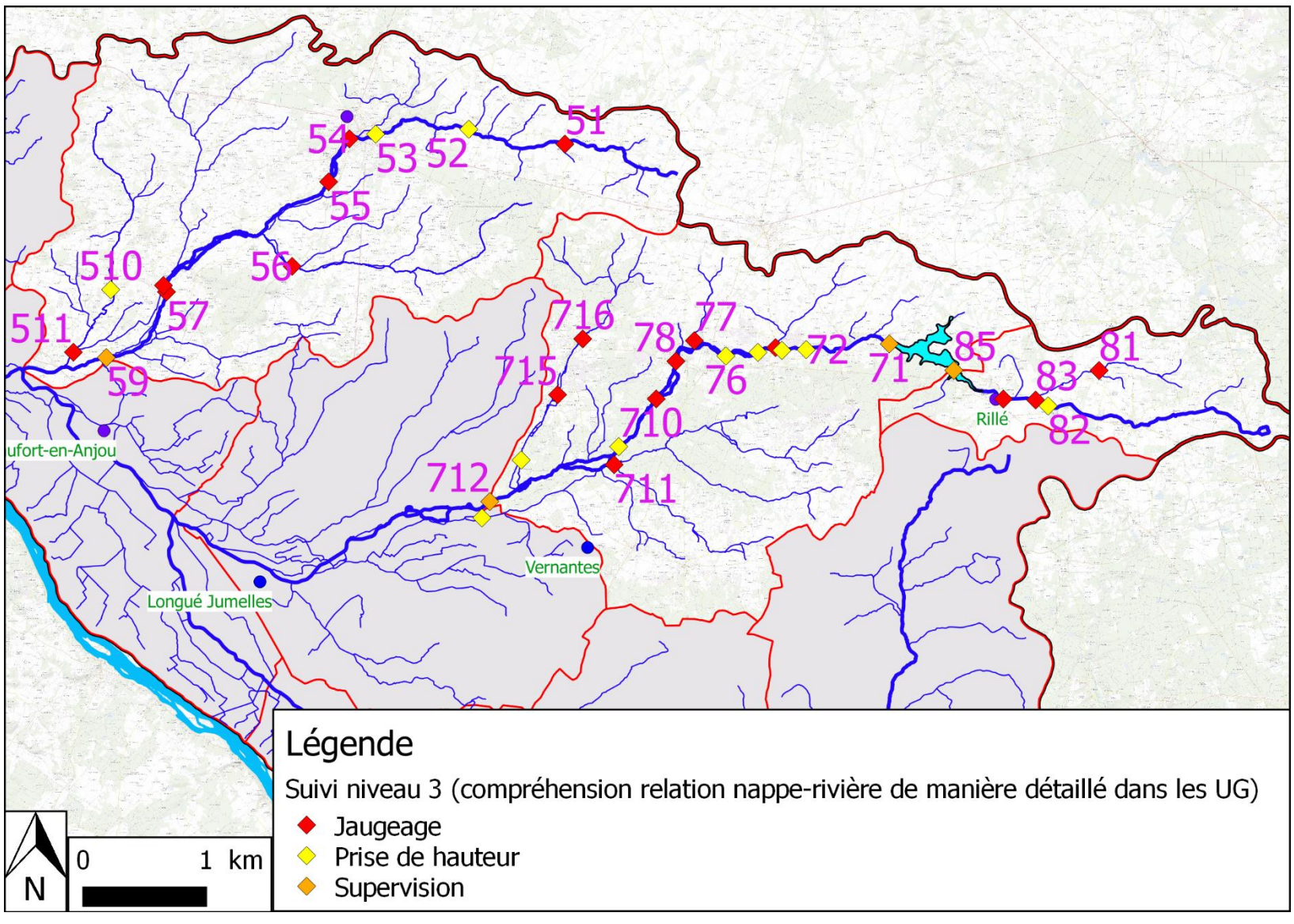


ANNEXE N°1 : Localisation des stations de mesures en fonction des niveaux de suivi mis en place

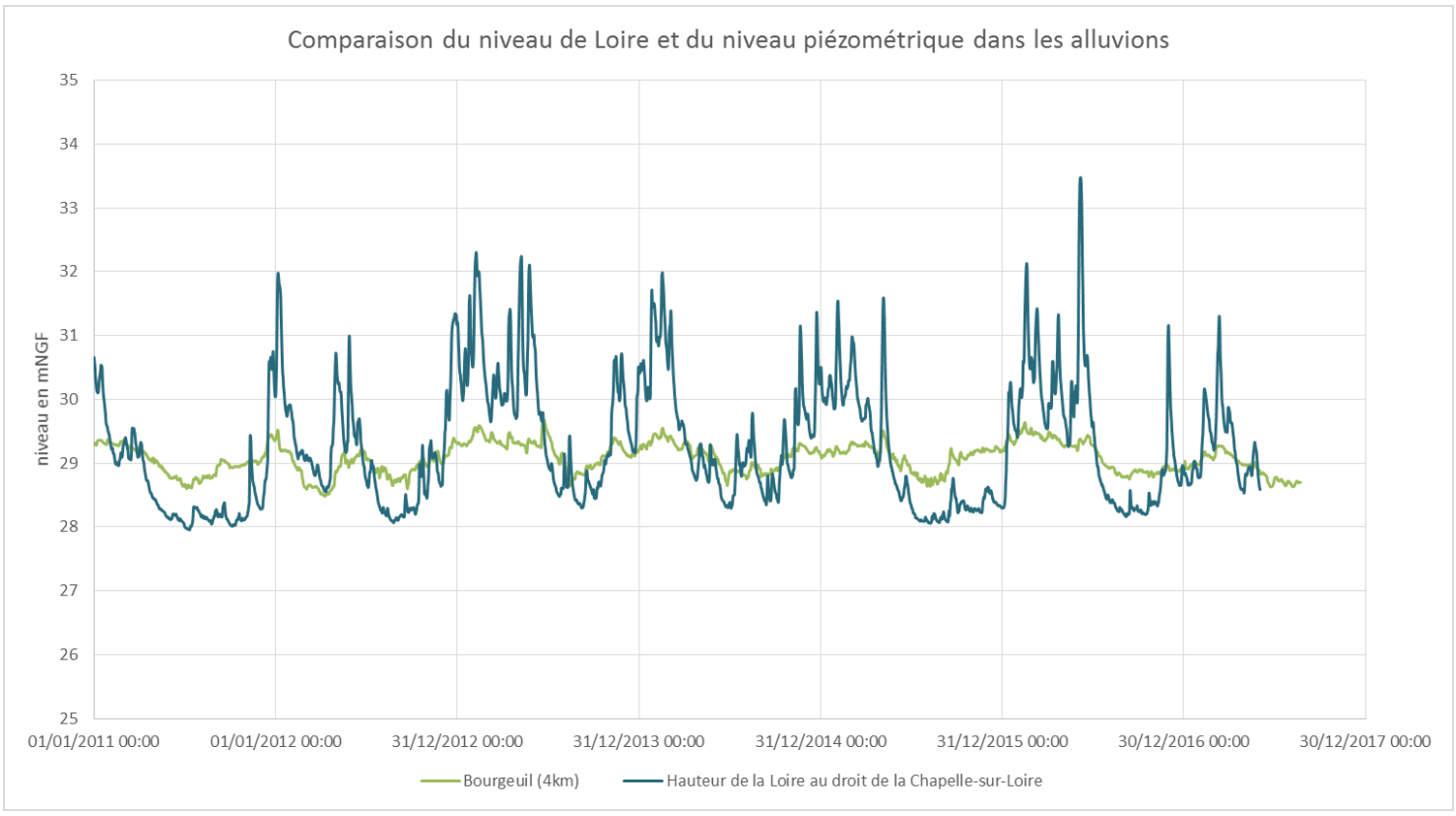
Le niveau 2, correspond au niveau de suivi permettant de caractériser l'état des masses d'eau après une observation d'inversion de débit en niveau 1. Ce niveau ce compose d'une série de jaugeage différentiel, d'une campagne de mesure piézométrique et d'observation des écoulements et assec. L'objectif est de définir qu'elle aquifère n'assure plus son plein potentiel d'alimentation des cours d'eau.

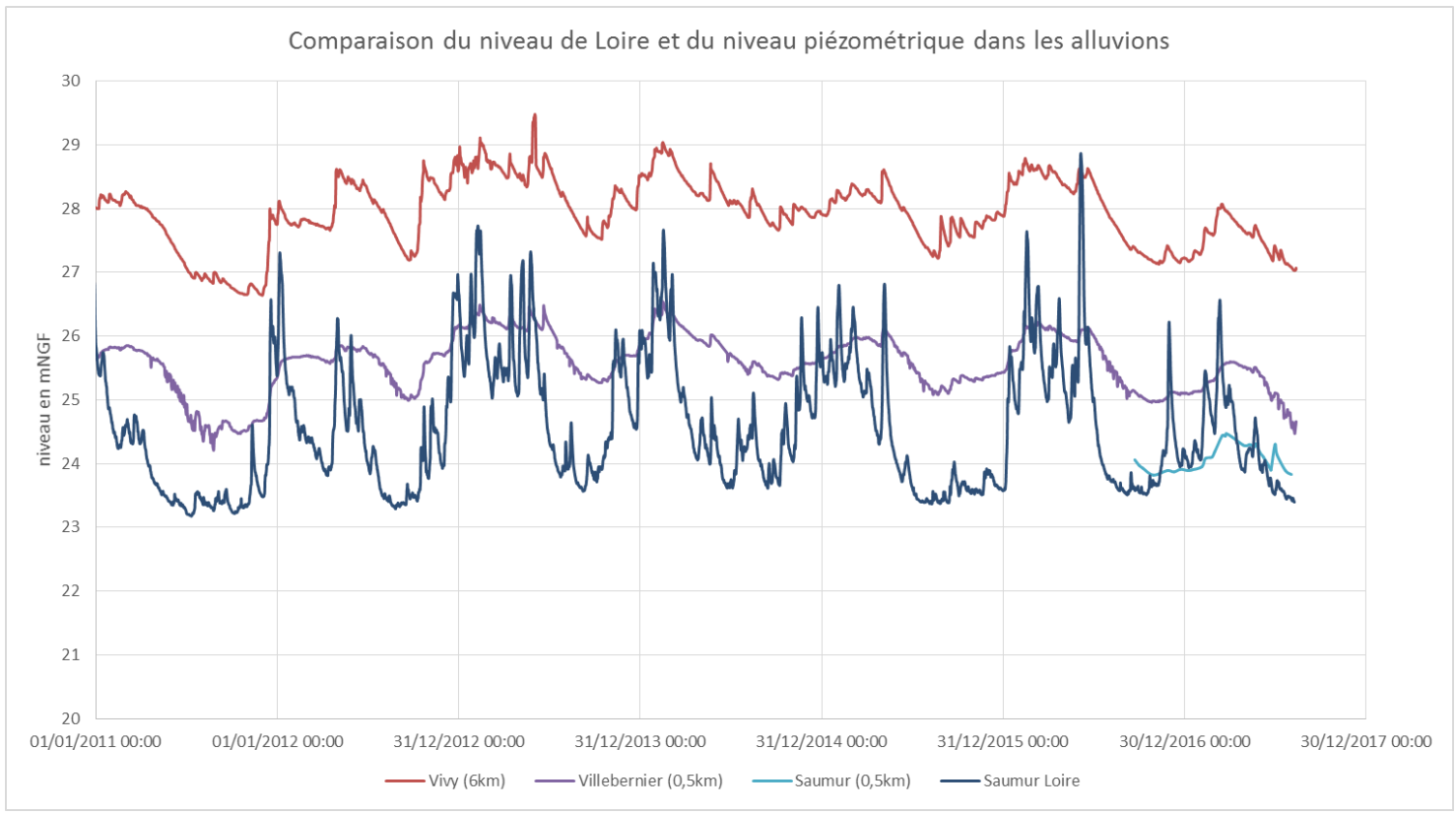


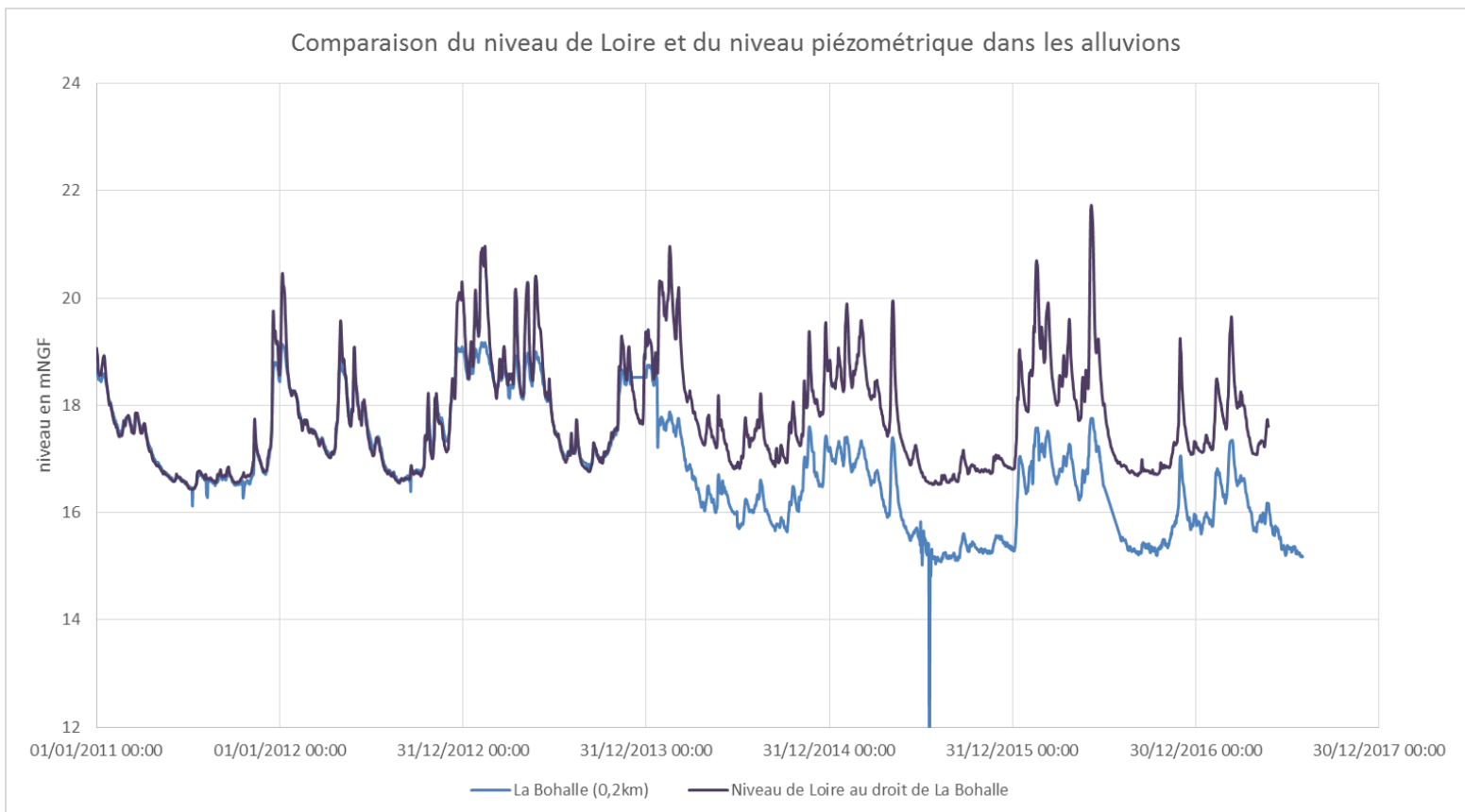
Le niveau 3, correspond à une analyse du comportement des unités de gestion en période de crise. Ce niveau est déclenché à la demande des techniciens de rivière intéressés par la compréhension du fonctionnement du bassin. Ce niveau ce compose d'une série de jaugeage différentiel et d'une campagne d'observation des écoulements et assec. L'objectif est de détaillé le fonctionnement des sous bassins versants et d'identifier les zones à enjeux pour la restauration.



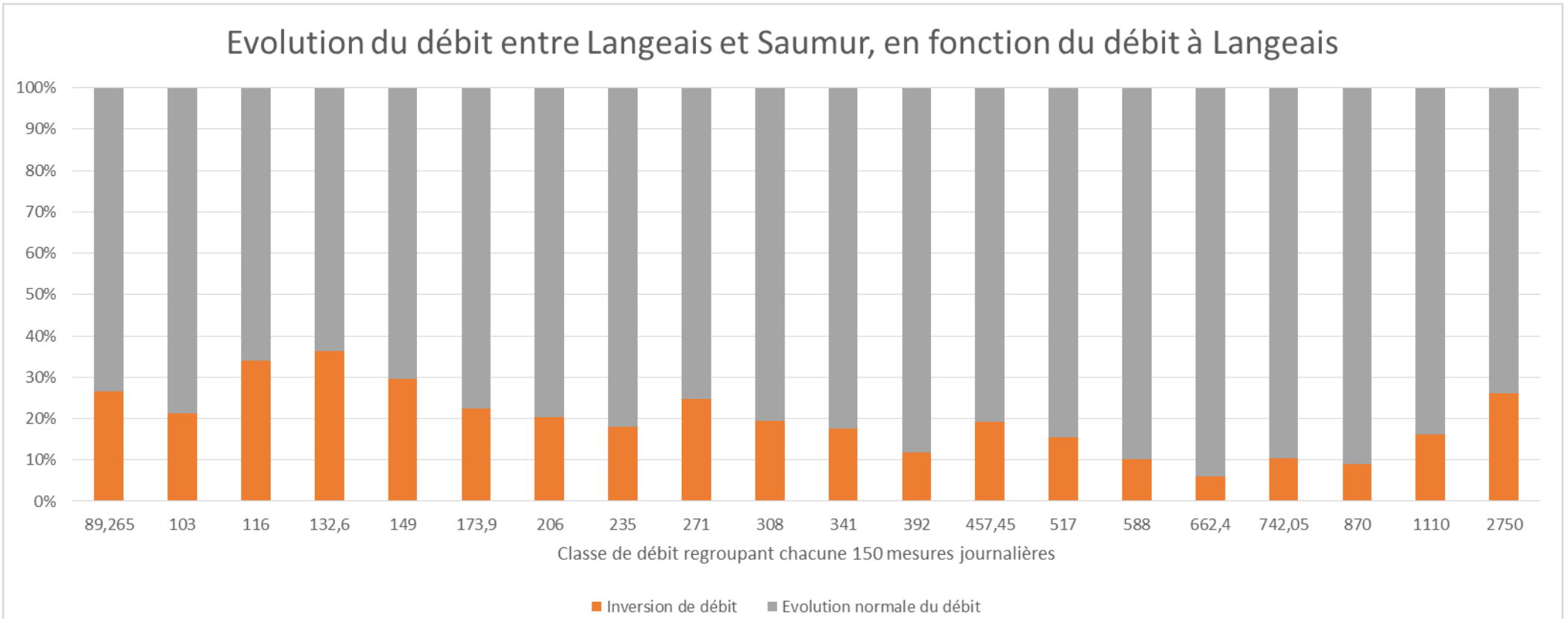
ANNEXE N°3 : Comparaison des niveaux de Loire et des niveaux piézométriques dans les alluvions de 3 secteurs du bassin (Bourgueillois, Saumurois, La Bohalle)

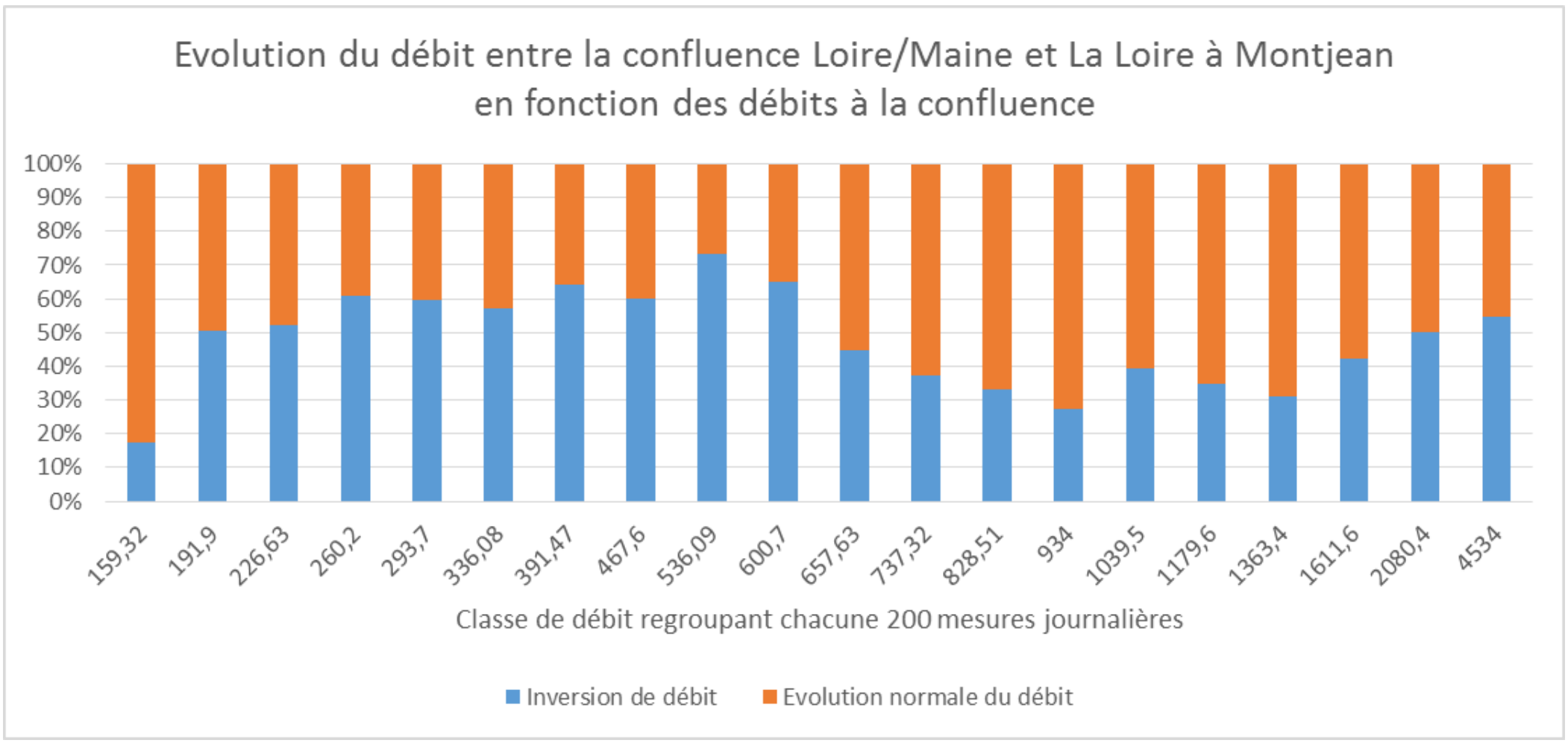






ANNEXE N°4 : Analyse fréquentielle des périodes d'inversion de débit selon le débit de la Loire, en Amont du Bassin (Langeais/Saumur) et en aval (Ponts-de-Cé/Montjean)





ANNEXE N°5 : Bilan des stations de suivi des eaux superficielles et proposition d'actions pour pérenniser le réseau.

N° Station	Cours d'eau	Nom de station	équipement		Qualité		Nb de point pour tarage	Méthode de mesure		Nombre de mesur	Début des mesures	Nb de mesure par mois	Interet		Nombre de pt d'assec en lien	Priorité	Action
32	Authion	Pont de Cée	supervision	1	incohérent	0	4	automatique	2	-	23/08/2007	continu	sortie UG	0	-	0,75	Multiplier les jeaugeages pour calage ou amélioriation de la station de mesure
29	Authion	Canal 100	aucun	1	médiocre	1	0	manuelle	1	5	30/03/2017	1,0	sortie UG	1	-	1	mise en place d'une formule hydraulique et multiplication des jeaugeages
30	Authion	Authionceau	aucun	1	médiocre	1	0	manuelle	1	5	30/03/2017	1,0	sortie UG	1	-	1	mise en place d'une formule hydraulique et multiplication des jeaugeages
24	Changeon	Moulin Boutard	repère	2	médiocre	1	6	manuelle	1	18	23/06/2015	0,7	sortie UG	1	4	1,25	mise en place d'une échelle et multiplication des jeaugeages
28_2	Les loges	Les Rousselières	repère	2	médiocre	1	4	manuelle	1	12	23/03/2017	2,4	sortie UG	1	4	1,25	mise en place d'une échelle et multiplication des jeaugeages
25_1	Station de Varennes	Canal de Varennes	aucun	1	moyenne	2	0	manuelle	1	89	10/08/2007	0,8	Irrigation	2	-	1,5	Mise en place d'une mesure automatisé
25_2	Station de Varennes	Canal de Gaure	aucun	1	moyenne	2	0	manuelle	1	89	11/08/2007	0,8	Irrigation	2	-	1,5	Mise en place d'une mesure automatisé
0	Lathan	Rillé	aucun	1	médiocre	1	0	manuelle	1	1	28/06/2017	0,5	historique	3	4	1,5	Aménagement de la section, mise en place échelle, multiplication des jeaugeages
11	Lathan	la Moutonnerie	repère	2	satisfaisante	3	5	manuelle	1	55	09/06/2012	0,9	sortie UG	1	-	1,75	mise en place échelle et multiplication des jeaugeages
12	Pingretière	Marais du Bois du Long	clapet	4	médiocre	1	0	manuelle	1	15	04/08/2016	1,2	sortie UG	1	-	1,75	mise en place d'une formule hydraulique pour faciliter la mesure et d'une échelle
13	Curée	Cours des montils	clapet	4	médiocre	1	9	manuelle	1	43	23/07/2012	0,7	sortie UG	1	3	1,75	Prévoir aménagement et multiplication des jeaugeages
8	Lathan	Bras du Perray	echelle limnimétrique	3	moyenne	2	29	manuelle	1	72	24/08/2012	1,2	sortie UG	1	-	1,75	mise en place échelle et multiplication des jeaugeages
19	Couasnon	Etang de Baugé	repère	2	médiocre	1	6	manuelle	1	9	31/05/2015	0,3	hydrologie	4	2	2	mise en place échelle et multiplication des jeaugeages
20	Tarry	Gruteau	echelle limnimétrique	3	médiocre	1	4	manuelle	1	7	06/07/2016	0,5	historique	3	2	2	mise en place échelle et multiplication des jeaugeages
23	Changeon	Paluau	repère	2	médiocre	1	4	manuelle	1	35	02/06/2010	0,4	hydrologie	4	0	2	mise en place échelle et multiplication des jeaugeages
1	Lathan	Pincemaille	supervision	5	médiocre	1	15	automatique	2	-	01/08/2013	continu	sortie UG	1	-	2,25	Amenagement de la section de mesure ou calibrage de l'automate et verouillage des seuils
3_2	Lathan	Chantreau Bief	repère	2	moyenne	2	14	manuelle	1	33	31/07/2014	0,9	hydrologie	4	-	2,25	mise en place échelle et multiplication des jeaugeages
18	Couasnon	Singé	repère	2	satisfaisante	3	7	manuelle	1	13	31/07/2015	0,5	historique	3	6	2,25	mise en place échelle et multiplication des jeaugeages
26	Authion	Patillaut	clapet	4	satisfaisante	3	0	manuelle	1	16	01/07/2016	1,2	sortie UG	1	-	2,25	multiplication des observations et calage formule
27	Authion	pont des Malheurs	clapet	4	satisfaisante	3	2	manuelle	1	38	09/07/2014	1,0	sortie UG	1	-	2,25	multiplication des observations et calage formule
28_1	Authion	Boire des Etrepés	clapet	4	satisfaisante	3	0	manuelle	1	19	11/07/2016	1,4	sortie UG	1	-	2,25	multiplication des observations et calage formule
7	Lathan	Moulin Guet	supervision	5	moyenne	2	54	automatique	2	-	01/01/2010	continu	sortie UG	1	-	2,5	Intensification des prises de hauteurs pour vérification calage
31	Authion	Gué de Fresne	supervision	5	moyenne	2	9	automatique	2	-	01/01/2010	continu	sortie UG	1	-	2,5	Intensification des prises de hauteurs pour vérification calage (GM)
15	Riverolle	Le pont des Champs	repère	2	satisfaisante	3	1	manuelle	1	8	21/05/2015	0,3	hydrologie	4	1	2,5	multiplication des jeaugeages
16	Riverolle	Le Frébot	repère	2	satisfaisante	3	1	manuelle	1	5	21/05/2015	0,2	hydrologie	4	0	2,5	multiplication des jeaugeages
17	Riverolle	Mouilherne	repère	2	satisfaisante	3	1	manuelle	1	5	21/05/2015	0,2	hydrologie	4	2	2,5	multiplication des jeaugeages
10	Curée	La Cascade	repère	2	satisfaisante	3	4	manuelle	1	16	17/03/2017	3,0	hydrologie	4	-	2,5	mise en place echelle
3_1	Lathan	Chantreau Bras principal	echelle limnimétrique	3	satisfaisante	3	25	manuelle	1	95	21/12/2011	1,4	hydrologie	4	-	2,75	multiplication des observations
6	Lathan	Chant d'oiseau	echelle limnimétrique	3	satisfaisante	3	51	manuelle	1	75	28/03/2012	1,2	hydrologie	4	-	2,75	multiplication des observations
21	Couasnon	Gée	supervision	5	satisfaisante	3	17	automatique	2	-	01/01/2010	continu	sortie UG	1	-	2,75	autres : reflexion continuité ecologique
33	Station Saint-Martin	Saint-Martin	supervision	5	moyenne	2	0	automatique	2	-	2007	continu	Irrigation	2	-	2,75	autres : reflexion ensablement et jeaugeage pour calage station ou amélioriation de la mesure de débit
2	Lathan	Mousseaux	supervision	5	satisfaisante	3	157	automatique	2	-	2005	continu	Irrigation	2	-	3	R.A.S
14	Curée	Pont neuf	clapet	4	satisfaisante	3	0	manuelle	1	12	16/03/2017	2,3	hydrologie	4	-	3	R.A.S
34	Station Saint-Patrice	Saint-Patrice	supervision	5	satisfaisante	3	0	automatique	2	-	2004	continu	Irrigation	2	-	3	R.A.S
22	Changeon	Moulin Foulon	supervision	5	satisfaisante	3	18	automatique	2	-	01/01/2010	continu	hydrologie	4	7	3,5	R.A.S

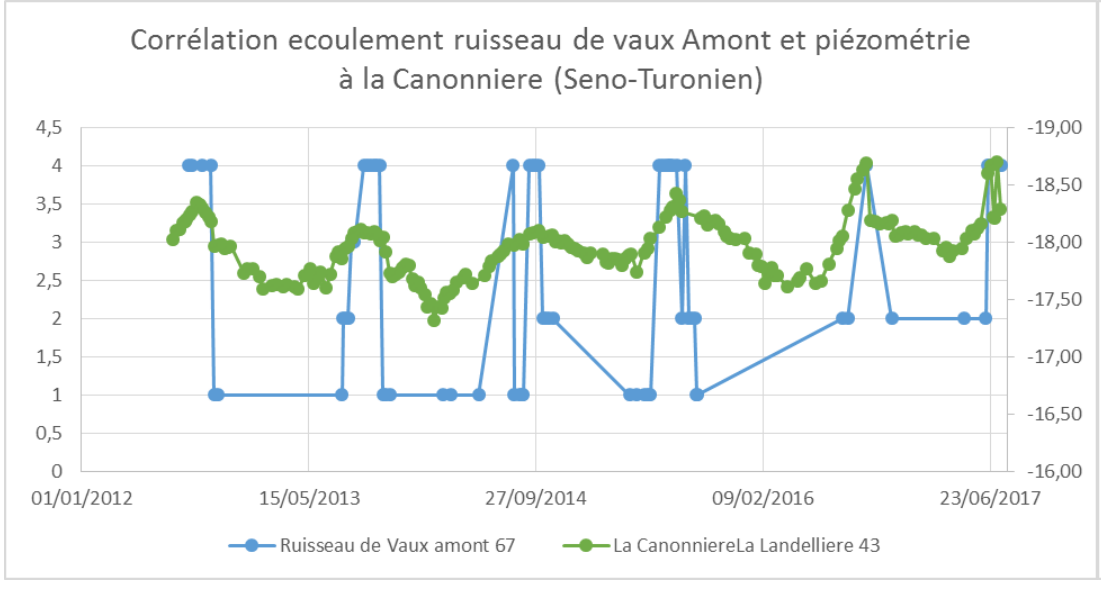
ANNEXE N°6: Bilan des stations de suivi des eaux souterraines et proposition d'actions pour pérenniser le réseau.

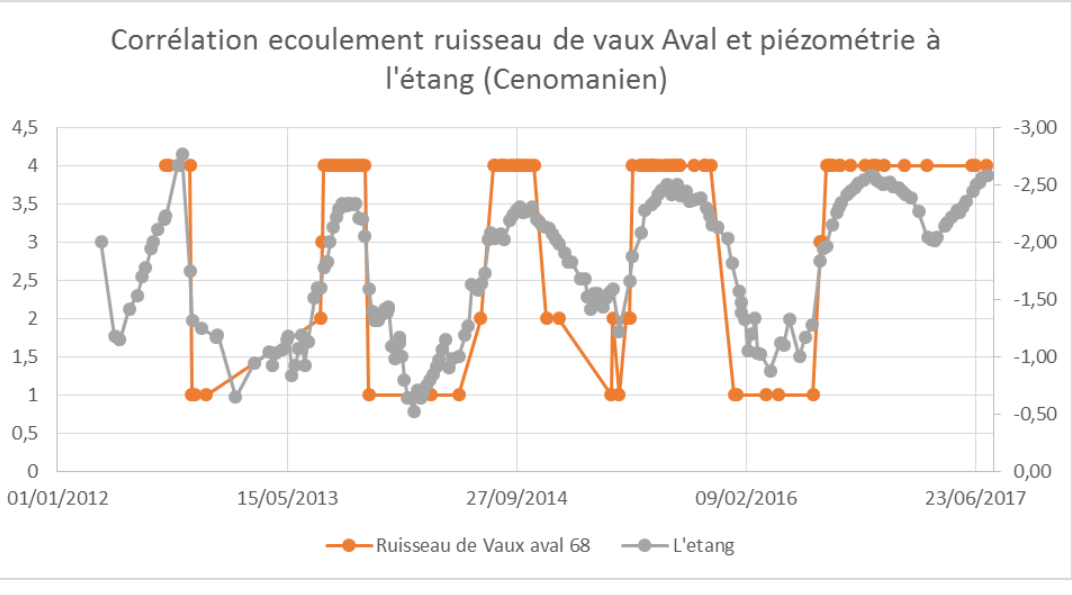
N°	Nom	Aquifère	Actif / Inactif	Nb de piézo actif dans la même nappe/ Nb de piézo total dans la même nappe	UG	Nb de mesure dans la même UG	nb de mesure au 21/07/2017	Nb de mesure /mois	Objectif	Action à mener	Priorité
122	Le Loroux château 4	Cenomanien basal	Actif	24/39	7	15	3	3,2	Evaluer l'impact des ouvrages	intensifier les mesures	1
117	Cauveaux	Cenomanien basal	Actif	24/39	7	15	8	0,8	Suivre le cénomanien	Intensifier les mesures	1
118	Les Auberts	Cenomanien basal	Actif	24/39	7	15	6	0,6	Suivre le cénomanien	Intensifier les mesures	1
10	Le Loroux 1 - rive droite	Cenomanien basal	Actif	24/39	7	15	266	4,3	Evaluer l'impact des ouvrages	Mesurer également le niveau d'eau aval et amont du clapet	2
11	Le Loroux 2 - rive gauche	Cenomanien basal	Actif	24/39	7	15	239	3,9	Evaluer l'impact des ouvrages	Mesurer également le niveau d'eau aval et amont du clapet	2
33	La Vieillerie	Eocène	Actif	14/20	7	9	14	1,1	Suivre l'eocène	intensifier les mesures	2
34	Le Mont (Chavaignes)	Miocène	Actif	5/11	5	1	87	1,4	Suivre les faluns	intensifier les mesures	2
38	La Harnière Gaudin	Cenomanien basal	Actif	24/39	5	2	192	3,2	Suivre le cénomanien	Caler la chronique avec celle du BRGM	2
53	Cimetière guédéniau	Senonien	Actif	9/10	5	3	82	1,6	Suivre le senonien	caler la chronique avec le piézomètre BRGM	2
67	Les Grands Champs	Senonien	Actif	9/10	9	3	42	0,6	Suivre le senonien	Intensifier les mesures	2
70	Buisson Pouilleux	Miocène	Actif	5/11	8	4	77	2,0	Suivre les faluns	intensifier les mesures	2
83	Champeigné	Miocène	Actif	5/11	8	4	41	0,9	Suivre les faluns	intensifier les mesures	2
84	Les Pièces de Gourmois	Miocène	Actif	5/11	8	4	36	1,0	Suivre les faluns	intensifier les mesures	2
85	Clapet La Fortaiserie	Miocène	Actif	5/11	8	4	37	1,0	Suivre les faluns	intensifier les mesures	2
101	Grenouillère PZ1	Turonien	Actif	8/23	6	2	58	1,5	Suivre le turonien	intensifier les mesures	2
103	La Milletrie (butte)	Senonien	Actif	9/10	5	3	68	1,6	Suivre le senonien	Intensifier les mesures	2
110	La Papinerie	Alluvions	Actif	6/12	2	1		0,0	Relation Loire	recuperer les données sur ADES	2
111	La Nouillière	Senonien	Actif	9/10	9	3	15	0,8	Suivre le senonien	Intensifier les mesures	2
119	Plessis au Maire _ basse cour	Eocène	Actif	14/20	7	9	9	0,7	Suivre l'eocène	intensifier les mesures	2
120	Plessis au Maire _ entrée	Eocène	Actif	14/20	7	9	9	0,7	Suivre l'eocène	intensifier les mesures	2
121	Plessis au Maire _ jardin	Senonien	Actif	9/10	7	3	11	0,9	Suivre le senonien	Intensifier les mesures	2
131	Puit bour de BREIL	Eocène	Actif	14/20	7	9	3	1,1	Suivre l'eocène	intensifier les mesures	2
5	Les Groseilliers 1	Jurassique	Actif	1/4	6	1	242	3,9	Suivre le Jurassique	Trouver d'autres points pour comprendre le rôle du Jurassique (nombreux point ADES)	3
108	Essart	Cenomanien basal	Actif	24/39	6	6	36	2,4	Suivre le cénomanien	Intensifier les mesures	3
41	Les Coursannes 1 voirie ZAC Bourgueil	Alluvions	Actif	6/12	3	1	51	0,8	Relation Loire	intensifier les mesures	3
123	Piezo Loges mme. ….ski	Senonien	Actif	9/10	9	3	10	1,2	Etude tourbiere des loges	intensifier les mesures	3
0	La Mare	Cenomanien basal	Actif	24/39	6	6	271	4,3	Suivre le cénomanien	R.A.S	4
1	Bois Le Mortier	Cenomanien basal	Actif	24/39	6	6	275	4,4	Suivre le cénomanien	R.A.S	4
2	Etiau1Cour	Cenomanien basal	Actif	24/39	6	6	271	4,3	Suivre le cénomanien	R.A.S	4
3	Etiau2Pré	Cenomanien basal	Actif	24/39	6	6	270	4,3	Suivre le cénomanien	R.A.S	4
4	Les Groseilliers 2	Cenomanien basal	Actif	24/39	6	6	242	3,9	Suivre le cénomanien	R.A.S	4
8	Plaisance Bord Route (anct. le bâtiment)	Cenomanien basal	Actif	24/39	7	15	237	4,0	Suivre le cénomanien	R.A.S	4
9	Plaisance AEP (anct. le bâtiment)	Cenomanien basal	Actif	24/39	7	15	227	3,8	Suivre le cénomanien	R.A.S	4
13	Les Brisolles	Cenomanien basal	Actif	24/39	7	15	257	4,1	Suivre le cénomanien	R.A.S	4
17	Les Tranchardières	Cenomanien basal	Actif	24/39	7	15	237	3,8	Suivre le cénomanien	R.A.S	4
19	La Carrelière	Senonien	Actif	9/10	7	3	197	3,2	Suivre le senonien	R.A.S	4
20	Le Bourg n°1 / D208	Turonien	Actif	8/23	7	5	244	4,0	Suivre le turonien	R.A.S	4
21	Le Bourg n°2 / D208	Turonien	Actif	8/23	7	5	236	4,0	Suivre le turonien	R.A.S	4
22	La Corne	Cenomanien basal	Actif	24/39	7	15	276	4,5	Evaluer impact des aménagement hydraulique	R.A.S	4
24	4 rue du 11 novembre	Eocène	Actif	14/20	8	1	129	2,1	Suivre l'eocène	R.A.S	4
35	Chateau du Bouchet (cave)	Eocène	Actif	14/20	5	4	133	2,2	Suivre l'eocène	R.A.S	4
36	Chateau du Bouchet (écurie)	Eocène	Actif	14/20	5	4	141	2,3	Suivre l'eocène	R.A.S	4
37	Maison Forestière de la Harnière	Senonien	Actif	9/10	5	3	204	3,3	Suivre le senonien	R.A.S	4
41	Les Coursannes 1 voirie ZAC Bourgueil	Alluvions	Actif	6/12	3	1	51	0,8	Relation Loire	intensifier les mesures	3
43	La Canonière / La Landelière	Senonien	Actif	9/10	7	3	196	3,3	Suivre le senonien	R.A.S	4
55	Bignon de Vert	Turonien	Actif	8/23	7	5	256	4,1	Suivre le turonien	R.A.S	4
56	La Ville au Fourrier	Cenomanien basal	Actif	24/39	7	15	BRGM		Suivre le cénomanien	R.A.S	4
57	La Goupillière	Turonien	Actif	8/23	7	5	156	2,7	Suivre le turonien	R.A.S	4
58	Impasse du Closeau1	Turonien	Actif	8/23	10	1	178	3,0	Suivre le turonien	R.A.S	4
77	L'étang terrain	Cenomanien basal	Actif	24/39	7	15	211	3,4	Suivre le cénomanien	R.A.S	4
80	La Chapelle	Cenomanien basal	Actif	24/39	5	2	244	4,6	Suivre le cénomanien	R.A.S	4
86	La Glordière	Eocène	Actif	14/20	5	4	99	1,9	Evaluer impact des aménagement hydraulique	R.A.S	4
87	La Luctière	Eocène	Actif	14/20	5	4	135	2,7	Evaluer impact des aménagement hydraulique	R.A.S	4
91	Bellevue	Turonien	Actif	8/23	6	2	106	3,9	Suivre le turonien	R.A.S	4
99	Saumur	Alluvions	Actif	6/12	2	1	28	2,9	Relation Loire	R.A.S	4
102	Gué fût	Alluvions	Actif	6/12	6	1	161	4,1	Alluvions	R.A.S	4
104	Moulin Corbin	Turonien	Actif	8/23	7	5	153	4,1	Suivre le turonien	R.A.S	4
106	Moulin Brégeon	Cenomanien basal	Actif	24/39	7	15	119	3,5	Suivre le cénomanien	R.A.S	4
109	Le Port a fondu	Cenomanien basal	Actif	24/39	1	1	67	3,3	Suivre le cénomanien	R.A.S	4
115	trou tourbière des loges	Alluvions	Actif	6/12	9	1	59	3,2	Etude tourbiere des loges	R.A.S	4
116	Puits Graboteau	Eocène	Actif	14/20	7	9	18	1,7	Evaluer impact des aménagement hydraulique	R.A.S	4
124	Prairie (PZ2)	Cenomanien basal	Actif	24/39	7	15	12	2,5	Evaluer impact des aménagement hydraulique	R.A.S	4
125	PZ1 D207	Cenomanien basal	Actif	24/39	7	15	17	3,5	Evaluer impact des aménagement hydraulique	R.A.S	4
126	PZ3	Eocène	Actif	14/20	7	9	14	4,7	Evaluer impact des aménagement hydraulique	R.A.S	4
127	PZ4	Eocène	Actif	14/20	7	9	14	4,7	Evaluer impact des aménagement hydraulique	R.A.S	4
128	PZ5	Eocène	Actif	14/20	7	9	15	5,1	Evaluer impact des aménagement hydraulique	R.A.S	4
129	PZ6	Eocène	Actif	14/20	7	9	13	4,7	Evaluer impact des aménagement hydraulique	R.A.S	4
130	tube PVC RG boudardiere	Alluvions	Actif	6/12	7	1	18	1,7	Evaluer impact des aménagement hydraulique	R.A.S	4

ANNEXE N°7 : Bilan des relations entre observations d'assecs et niveaux piézométriques

Exemple des incidences du niveau des aquifère Seno-Turonien et Cénomanien, sur l'écoulement d'un même ruisseau

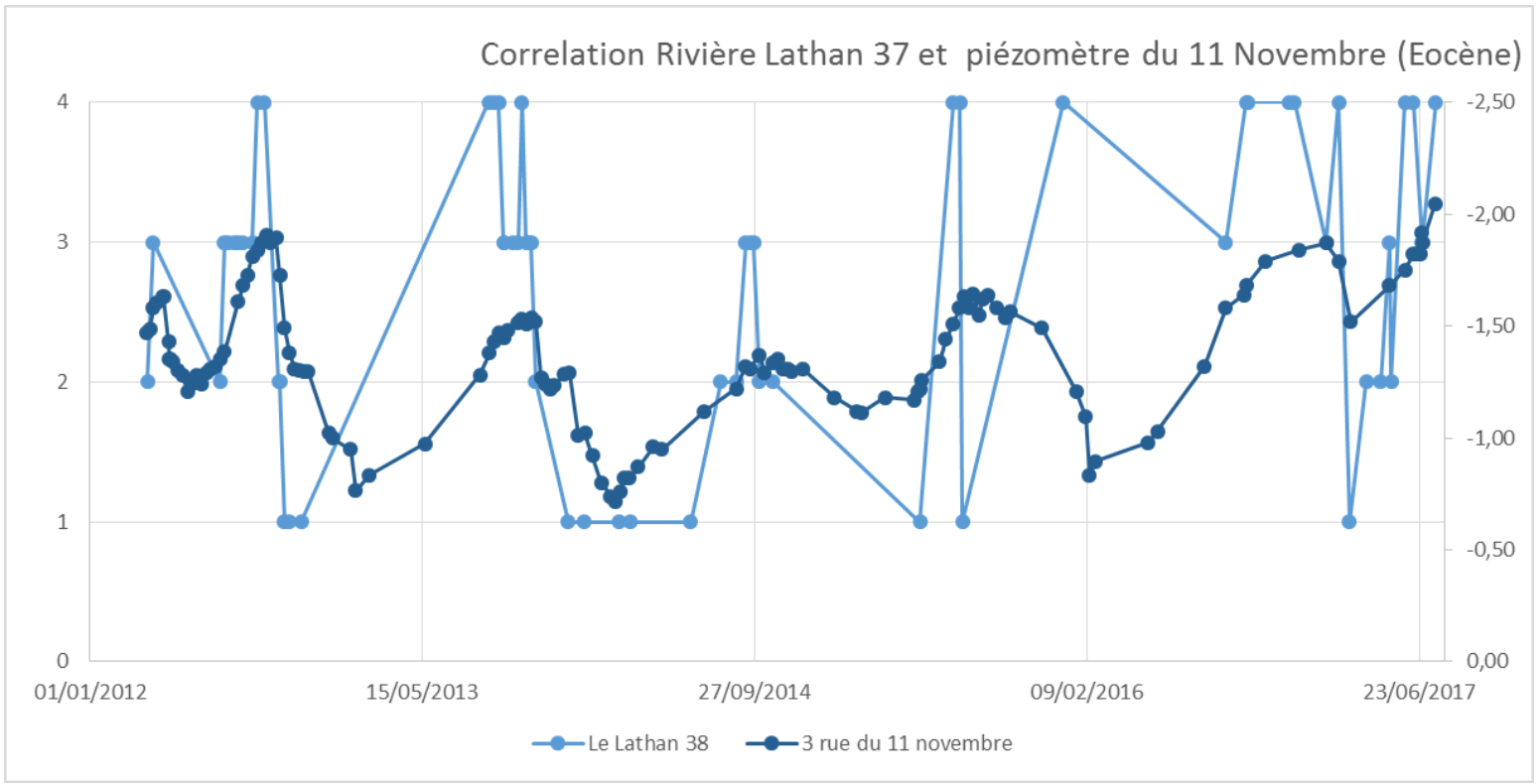
Rupture d'écoulement en Amont lorsque le Seno-turonien atteint -18 m à La Canonnière et Rupture d'écoulement en aval lorsque le Cénomanien est à – 1.8 m à L'Etang

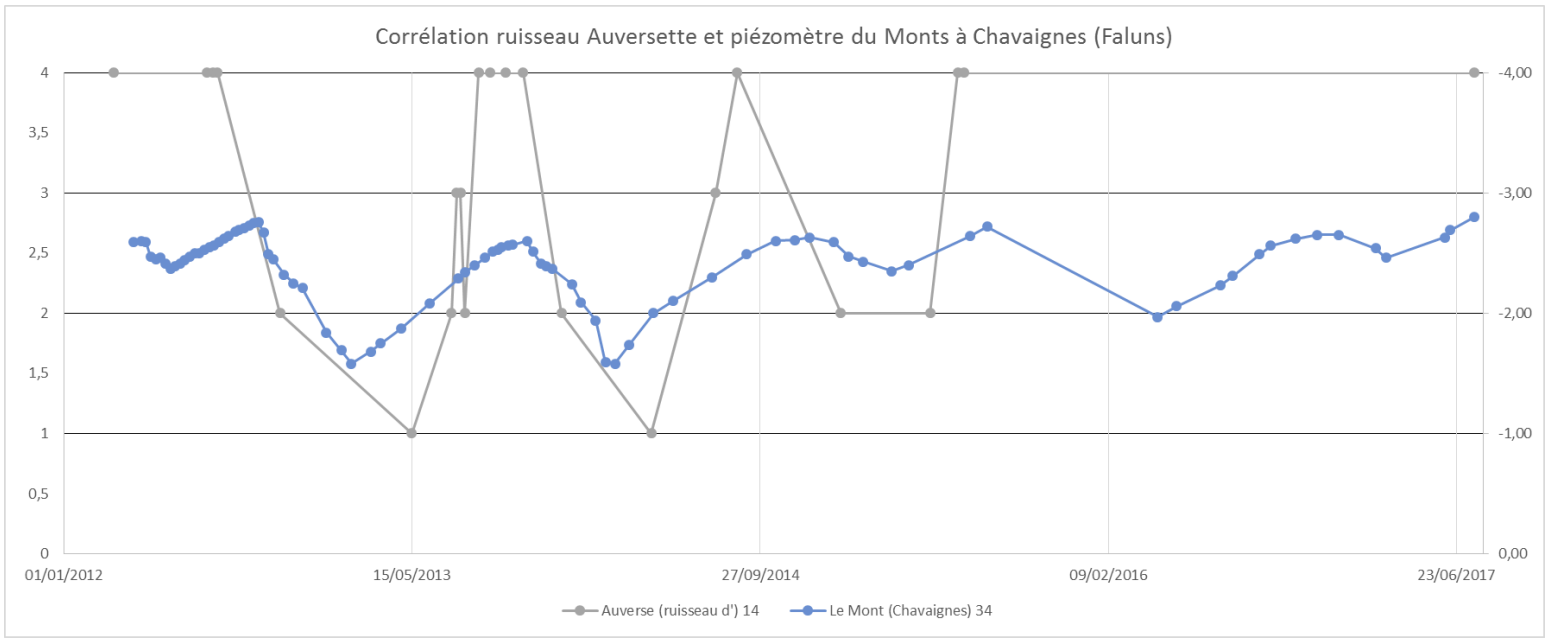




Exemple des incidences du niveau de l'aquifère Eocène, sur l'écoulement du Lathan

Rupture d'écoulement pour une piézométrie rue du 11 Novembre à Savigné-sur-Lathan inférieur a -1m20 (Forte sensibilité à l'étiage)



Exemple des incidences du niveau de l'aquifère Miocène, sur l'écoulement d'un affluent du Couasnon

Rupture d'écoulement pour une piézométrie au Mont à Chavaignes inférieur à -2m30 (Forte sensibilité à l'étiage)