HAL
open science

Evolution des phénomènes karstiques dans la Risle Médiane, étude de la dynamique des pertes de débits, impacts sur les eaux souterraines

Pierre-Yann David, Didier Pennequin, Baptiste Meire, Jean-Baptiste Charlier, Veronique Feeny-Fereol, Stephane Helouin, Matthieu Fournier

To cite this version:

Pierre-Yann David, Didier Pennequin, Baptiste Meire, Jean-Baptiste Charlier, Veronique Feeny-Fereol, et al.. Evolution des phénomènes karstiques dans la Risle Médiane, étude de la dynamique des pertes de débits, impacts sur les eaux souterraines. Géologues, 2018, L'hydrogéologie de la craie, 199, pp.83-88. hal-02571271

HAL Id: hal-02571271

https://brgm.hal.science/hal-02571271

Submitted on 12 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Evolution des phénomènes karstiques dans la Risle Médiane, étude de la dynamique des pertes de débits, impacts sur les eaux souterraines

Pierre-Yann DAVID[1], Didier PENNEQUIN[2], Baptiste MEIRE[3], Jean-Baptiste CHARLIER, Bernard LADOUCHE[4], Veronique FEENY-FEREOL[5], Stephane HELOUIN[6], Matthieu FOURNIER[7]

Introduction

La rivière de la Risle (Normandie), dans sa partie médiane (***Figure 1***), est caractérisée par un fonctionnement hydrogéologique particulier : de nombreuses pertes provoquent une diminution de son débit, qui est ensuite restitué plus à l'aval, au droit de résurgences.

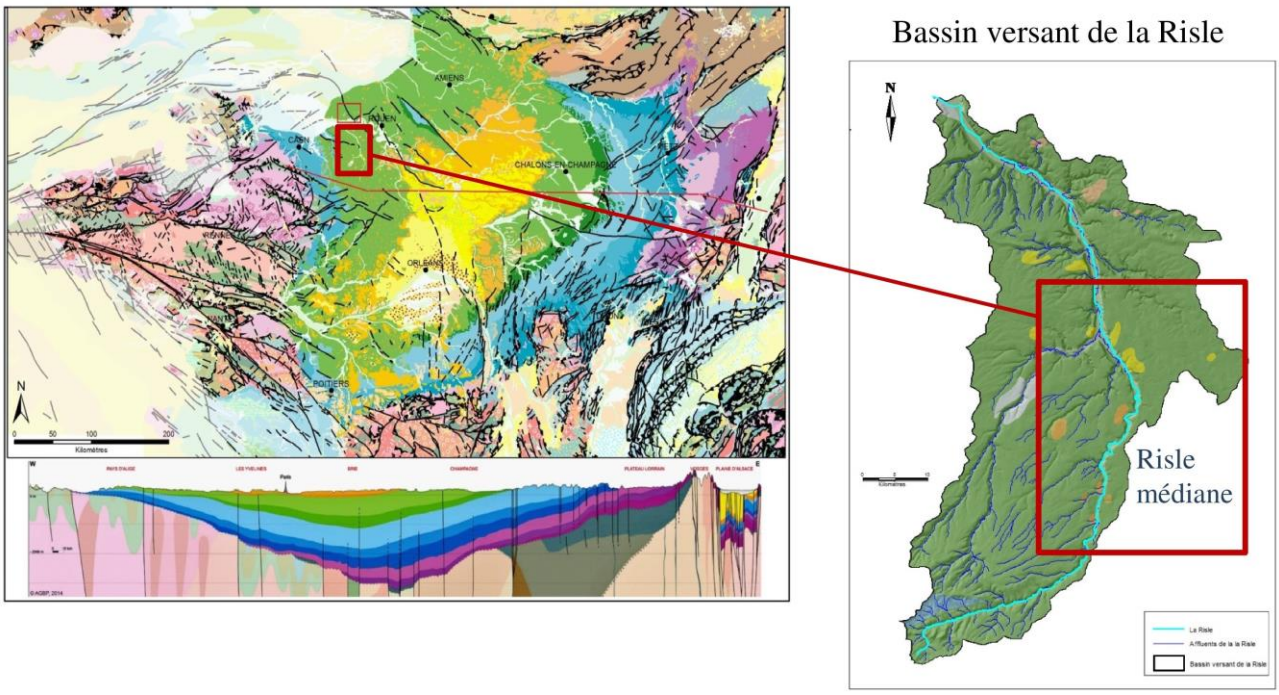

Figure 1 : Localisation de la Risle médiane au sein du bassin parisien (présentation BRGM – 22ieme journées technique du Comité Français d'Hydrogéologie de l'AIH : Hydrogéologie de la craie - Le Havre 2018)

Ce secteur connaît régulièrement sur certains tronçons des pertes totales en période d'étiage, liées à la formation de bétoires[8] qui peuvent entraîner un assec du lit mineur sur plusieurs kilomètres en aval. Ceci s'est notamment produit en 2005, 2012, 2016 et 2017 produisant des assecs sur 6 à 12 km (***Figure 2***).

[1] Hydrogéologue régional, BRGM Normandie, Mont-Saint-Aignan. Courriel : py.david@brgm.fr
2 Directeur, BRGM Normandie, Mont-Saint-Aignan
3 Géologue régional, BRGM Normandie, Mont-Saint-Aignan
4 Hydrogéologues, BRGM, Université Montpellier, Montpellier
5 Hydrogéologue, Cheffe adjointe du bureau de l'eau et milieux aquatiques, DREAL Normandie, Rouen
6 Technicien hydrométrie, SRN/B2HPC, DREAL Normandie, Rouen
7 Hydrogéologue, Université de Rouen UMR CNRS 6143 M2C, Mont-Saint-Aignan

[8] Terme normand désignant un point naturel d'engouffrement rapide des eaux de surface vers les eaux souterraines dans la craie karstique de normandie. Le terme « bétoire » regroupe des formes variées de l'exokarst qui ont pour origine des processus génétiques divers

Le manque de connaissance du fonctionnement du système Risle-Nappe de la craie empêchait de prendre des décisions éclairées en cas d'évènements naturels extrêmes comme une crue ou un étiage, mais aussi concernant l'aménagement ou non des bétoires *(David et al., 2010)*, là aussi avec des conséquences économiques qui peuvent être importantes.
Face à ces enjeux, un observatoire de la Risle médiane a été mis en place, avec pour objectif d'approfondir la connaissance du fonctionnement hydrogéologique et écologique de cet hydrosystème. Cette acquisition de connaissance visait à apporter des éléments nécessaires pour orienter la prise de décisions futures au niveau des aménagements et interventions à réaliser dans le bassin versant de la Risle.

Figure 2 : Bétoire B18262 ouverte dans le lit de la Risle dans la commune d'Ajou en 2012 et ayant provoqué un assec de 12km à l'aval (David et al., 2017)

Investigations mises en œuvre dans le cadre de l'observatoire de la Risle Médiane

En plus des trois partenaires financiers l'AESN, le Conseil départemental de l'Eure et le BRGM, sept principaux partenaires étaient engagés dans ce projet pour mettre en œuvre des investigations de terrain réparties en 6 volets, localisées à la Figure 3 : la DREAL (services hydrométrie et hydrobiologie), l'Université de Rouen (Département de Géologie), l'AFB (ex-ONEMA), la FDPPMA de l'Eure, le Comité départemental de spéléologie de l'Eure (CDS 27) et le BRGM.

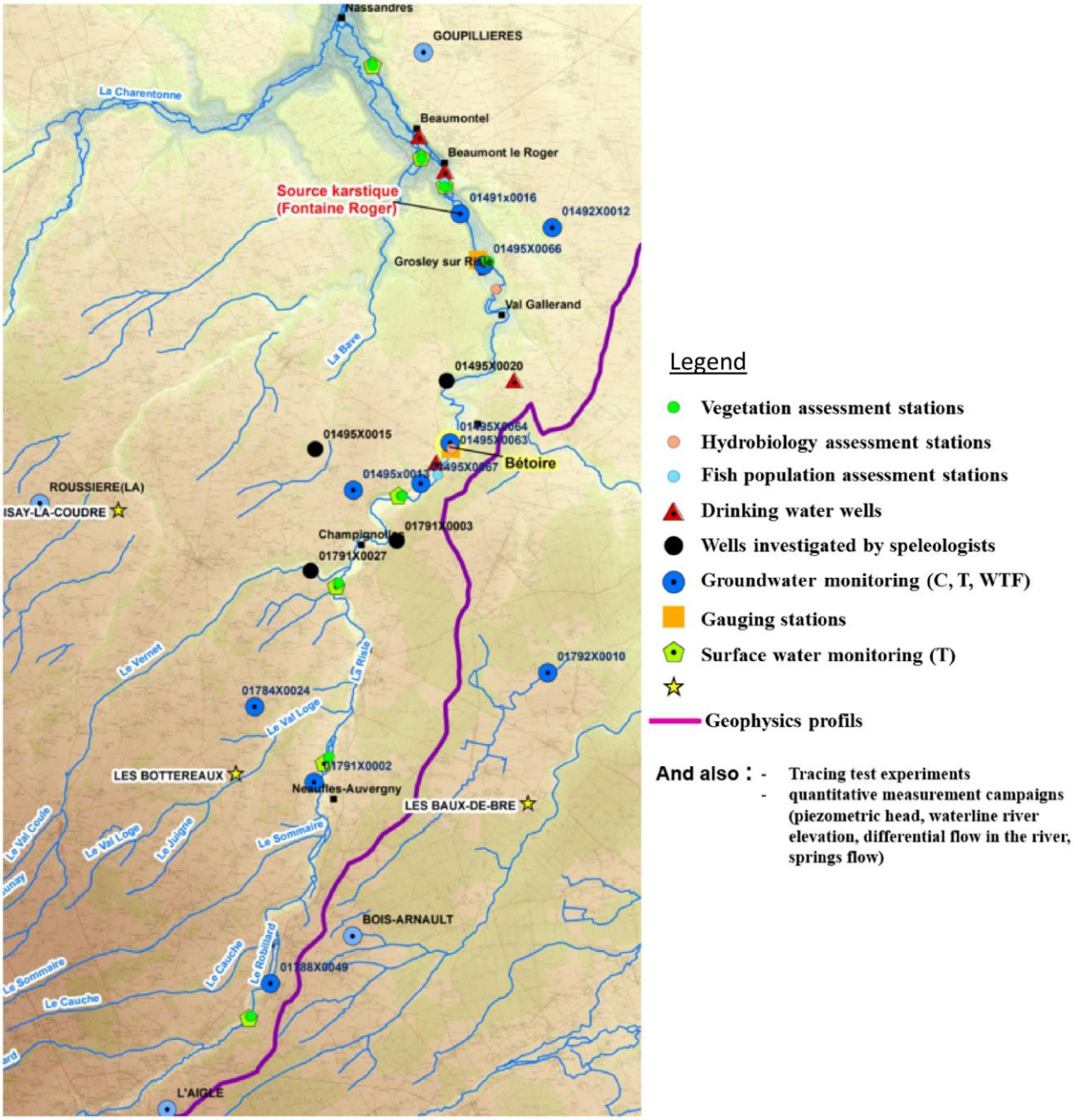

Figure 3 : Carte des investigations et des réseaux de mesure mis en œuvre dans le cadre de l'observatoire de la Risle (présentation BRGM - colloque AIH, Dubrovnik, septembre 2017)

Résultats des volets hydrologie/hydrogéologie de l'observatoire

L'observatoire de la Risle a permis de réaliser des avancées significatives dans la connaissance du fonctionnement de l'hydrosystème Risle – nappe de la craie.

Identification spatiale et temporelle des zones de connexion/déconnexion de la nappe et de la rivière

Un des objectifs de l'Observatoire était de mieux connaître le secteur de la Risle médiane où la nappe et la rivière ne sont pas directement connectées et où la rivière est en perte. Une approche pluridisciplinaire a été mise en œuvre et a permis de répondre à ces questions ; celle-ci a consisté à croiser les résultats acquis avec différentes techniques (analyses géologiques, investigations hydrodynamiques, comparaison des niveaux de la nappe et de la Risle, recherche de données historiques sur les zones d'assec, analyse différentielle des débits de la rivière, analyse des variations de température de la rivière).

Une analyse historique a montré que ces épisodes d'assec sont observés depuis plusieurs siècles. Des cartes scolaires du 19ème siècle ou même des cartes du 17ème (*Figure **4***), mentionnaient la perte de la Risle au lieu-

dit le Noyer-en-Ouche et représentaient la Risle comme un cours d'eau temporaire entre le Noyer-en-Ouche et La Fontaine Roger.

Figure 4 : Carte du diocèse de « l'évesché d'Evreux en Normandie » par P. Du Val d'Abbeville (de 1654 - XVIIième siècle) indiquant une rupture de l'écoulement de la Risle médiane (cf. cercle rouge sur la carte)

L'observatoire de la Risle médiane a permis de localiser plus précisément le secteur dans lequel la Risle et la nappe phréatique sont déconnectées : une analyse comparative des niveaux de la nappe et des rivières mesurés en 2014, montre que la déconnexion est constatée de Neauffles-Auvergny jusqu'à l'aval de Grosley-sur-Risle (*Figure **5***). Toutefois, l'analyse des variations de débits sur des campagnes de mesures datant de 1894, 2013 et 2014 montre que l'extension du tronçon de la Risle concerné par des pertes de débit peut varier dans le temps : ainsi l'amont de ce tronçon démarrait à Rugles en 1894, à Ambenay en 2013 et à Neauffles-Auvergny en 2014. Concernant le point de reconnexion nappe-Risle, il peut se situer selon les années entre l'aval du Val Gallerand et l'amont du moulin de la Bigottière à Grosley-sur-Risle. Des reconnexions temporaires sont également possibles en période de hautes-eaux dans le secteur aval de la vallée de Risle médiane où la nappe est très réactive. Une cartographie de ces secteurs est présentée dans le rapport BRGM RP-67480-FR (David et al. 2017).
De nombreuses cartes et coupes de synthèse reprenant ces résultats ont été établies dans le cadre de l'Observatoire et sont disponibles dans les rapports BRGM RP-67480-FR (David et al. 2017) et BRGM RP-66861-FR (Meire et al. 2017).

Étude de la dynamique spatiale et temporelle des pertes en rivière

Une analyse fine des variations de débits le long de la Risle médiane a mis en évidence que la répartition des pertes variait dans le temps et dans l'espace. En octobre 2014 ou en 1894 par exemple, 70% environ du débit perdu sur la Risle médiane l'a été entre Ambenay et Ajou, alors qu'en avril 2014, 68% du débit était perdu plus en aval, entre Ajou et Grosley (voir *Figure **5***).

Ainsi, le secteur situé à l'aval d'Ajou qui connait régulièrement les assecs n'est pas toujours le secteur où la rivière perd le plus de son débit. A certaines périodes, l'essentiel des pertes d'eau de la Risle prennent place plus en amont.

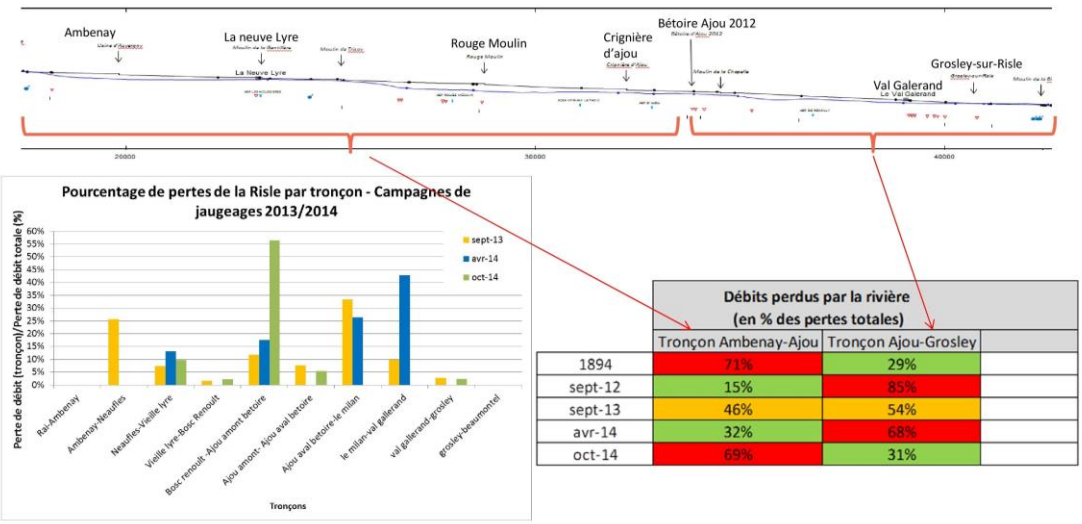

Figure 5 : Répartition et localisation des pertes de débits le long de la Risle médiane (David et al., 2017)

Pour aller plus loin dans la compréhension des variations des pertes de débits de cette rivière, le BRGM a réalisé une modélisation des échanges latéraux entre deux stations hydrométriques du cours d'eau (approche inverse du modèle de l'onde diffusante d'Hayami avec échanges latéraux appliqué aux bassins karstiques (Charlier et al., 2015) afin de mieux comprendre les interactions surface-souterrain. Cette modélisation a confirmé la forte variabilité temporelle et spatiale des pertes le long de la Risle médiane. Elle a également montré que la variabilité temporelle des pertes est d'une part expliquée par la connectivité de la rivière à l'aquifère karstique (i.e. activité des bétoires), mais qu'elle était d'autre part corrélée au débit de la rivière. Ainsi des pertes vers le karst atteignant jusqu'à 7 m^3/s ont pu être estimées par le modèle lors de l'épisode de crue de décembre 2013 sur le tronçon compris entre Ajou et Grosley-sur-Risle (*Figure* ***6***a). De plus, la comparaison de ces simulations avec la piézométrie mesurée à proximité du tronçon (Figure 6b) montre une bonne cohérence entre la dynamique des pertes et la recharge de l'aquifère. Sur la base des simulations, on suppose que le karst joue le rôle d'atténuation des pics de crues, réduisant alors le risque d'inondation tant que l'aquifère est suffisamment désaturé.

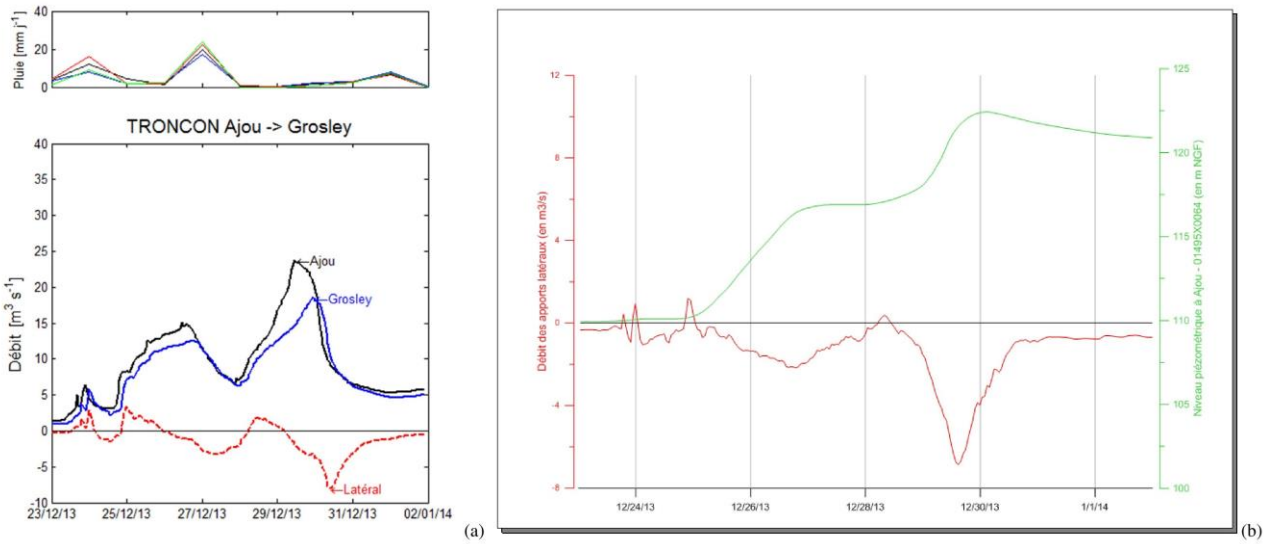

Figure 6 : (a) simulation des échanges latéraux sur le tronçon Ajou-Grosley lors du passage de la crue de décembre 2013 (les valeurs de débit négatif illustrent des pertes, et les valeurs positives des apports latéraux) ; (b) comparaison des échanges latéraux simulés sur le tronçon Ajou-Grosley (en rouge) et du niveau piézométrique mesuré dans le karst à Ajou sur le piézomètre 01495X0064 (David et al., 2017)

Dynamique de l'hydrosystème et schéma conceptuel

L'examen des chroniques de débit, piézométrie, température, conductivité, turbidité et nitrate dans le secteur Ajou-Fontaine Roger, par des analyses corrélatoires et spectrales (logiciel TEMPO) a permis de mieux caractériser les échanges eaux de surface / eaux souterraines et les transferts au sein du karst.

Par exemple, l'examen des chroniques des ouvrages 01495X0067 et 01495X0064, forages de 32m et 20m de profondeurs respectivement, situés tous deux dans la vallée de la Risle à Ajou mais distants de 1.8 km, indique que le transfert de pression entre ces 2 points se produit dans un réseau karstique en charge car aucun décalage temporel n'est observé dans les chroniques piézométriques (***Figure 7***).

L'examen des chroniques de conductivité et de température sur ces deux points a montré en revanche des types de transferts différents sur ces deux ouvrages. Des transferts de masse depuis la rivière ont en effet été mis en évidence sur le piézomètre 01495X0064. En revanche sur le piézomètre 01495X0067 situé plus à l'amont, les variations de température et de conductivité observées mettent en évidence des transferts de masse provenant de l'exokarst drainant le ruissellement du plateau.

Ainsi, si ces deux ouvrages sont en connexion hydraulique dans un réseau karstique en charge, l'ouvrage aval 01495X0064 semble situé sur un drain principal recevant les pertes de la rivière, tandis que le piézomètre 01495X0067 semble situé sur un drain annexe connecté au drain principal, ne recevant pas les pertes de la rivière mais plutôt les eaux de ruissellement du plateau drainées par l'exokarst.

L'étude du transfert au sein de l'aquifère entre la zone de pertes de la Bétoire d'Ajou (01495X0063) et le principal exutoire (source Fontaine Roger - 01491X0016) a ensuite pu être abordée à l'aide des chroniques de température et de conductivité des eaux, le débit de cette source n'étant pas suivi en continu. Les dynamiques d'évolution mesurées à l'exutoire apparaissent très comparables à celles mesurées en entrée, les amplitudes des températures et de la conductivité apparaissent néanmoins plus faibles. L'analyse spectrale réalisée sur les eaux de la Fontaine Roger permet de mettre en évidence l'existence de phénomènes périodiques à 24 et 12 h. Le spectre croisé indique que les pics à 24 h sont assez cohérents (0.6) pour la température et la conductivité ce qui témoigne globalement du lien de causalité entre les variables, les variations périodiques des signaux de sortie apparaissent fortement atténuées. L'analyse spectrale permet de corroborer les informations de l'essai de traçage, réalisé par l'Université de Rouen (Fournier, 2015), qui démontre l'existence du lien hydraulique entre la zone des pertes d'Ajou et l'exutoire.

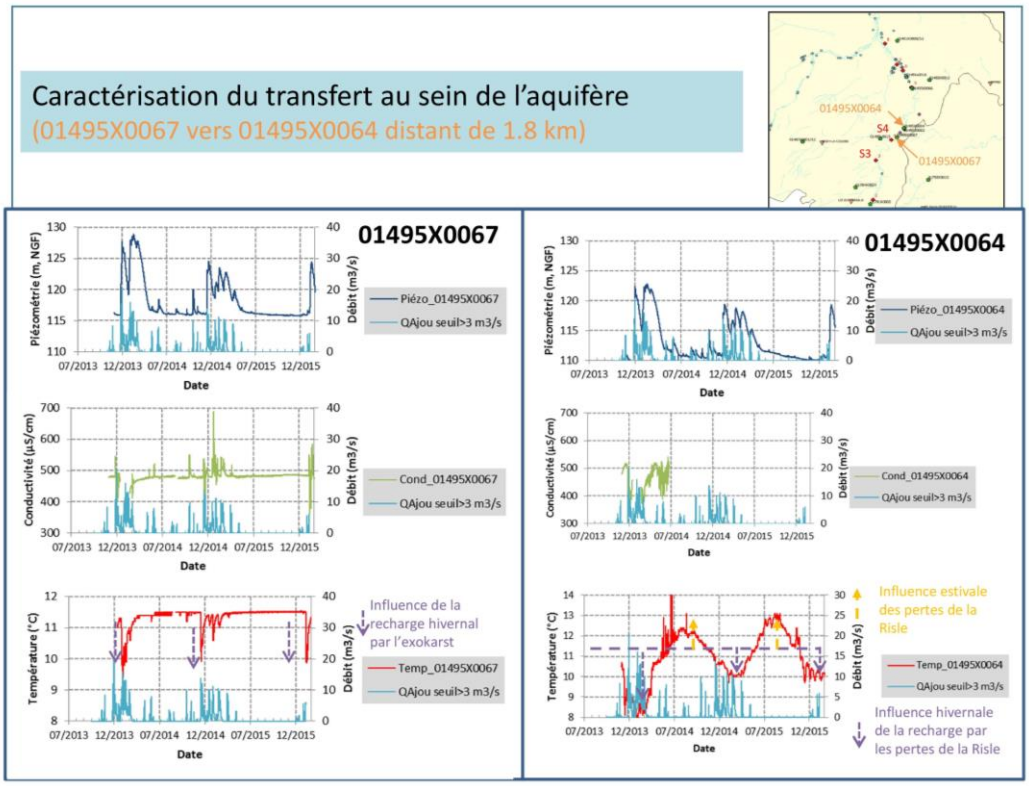

Figure 7 : Examen des évolutions des niveaux, de la minéralisation et de la température de l'eau souterraine au voisinage des ouvrages 01495X0067 (amont hydraulique de la Bétoire d'Ajou) et 01495X0064 (piézomètre à proximité de la Bétoire d'Ajou) (David et al., 2017)

A partir des analyses fonctionnelles, il a ensuite été tenté d'établir un schéma conceptuel de représentation du fonctionnement du karst et d'essayer de comprendre comment l'eau de l'exutoire pourrait être expliquée par le mélange d'eau de diverses composantes qualifiées au sein de l'aquifère. Les résultats de ces analyses du signal indiquent que les composantes d'écoulement liées aux pertes semblent globalement expliquer près de 65% de la variance totale observée à l'exutoire, les 35 % restants sont attribuées à la composante inertielle des plateaux qui apparaît ici plus minéralisée que l'eau des pertes de la Risle.
Enfin, des modélisations globales réalisées à l'aide du logiciel GARDENIA ont permis d'estimer les composantes (lente et rapide) des débits de la Risle aux différentes stations, de réaliser des bilans quantitatifs et d'estimer les flux souterrains, notamment karstiques, dans la vallée de la Risle.
L'ensemble des résultats sont présentés dans les rapports BRGM/RP-67480-FR (David et al., 2017) et BRGM/RP-66861-FR (Meire et al., 2017)

Références bibliographiques :

- Charlier J.-B., Moussa R., Vailly-Comte V., Danneville L., Desprats J.-F., Ladouche B., and Marchandise A., 2015. Use of a flood-routing model to assess lateral flows in a karstic stream: implications to the hydrogeological functioning of the Grands Causses area (Tarn River, Southern France). Environmental Earth Sciences, 74: 7605–7616, DOI 10.1007/s12665-015-4704-0 .
- David P.-Y., Charlier J.-B., Ladouche B., Cary L., Pennequin D., Meire B., Schaefer I., Hugot V., 2017. Observatoire de la Risle médiane – Volets n°2, 3, 4 et 5 : Etude de l'hydro-système Risle-Nappe de la craie. Rapport final. BRGM/RP-67480-FR http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-67480-FR.pdf
- DAVID P.Y., MOISAN J., NACHBAUR A., DORFLIGER N., 2010. Aménagement des bétoires en Haute-Normandie – Etat de l'art et préconisations de bonnes pratiques – Rapport final. BRGM/RP-58795-FR, 218 p., 39 ill., 10 ann. http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-58795-FR.pdf
- Fournier M., 2015. Apport d'une campagne de multitraçage artificiel à la connaissance des relations surface-souterrain sur la Risle médiane. Décembre 2015
- Helouin S., 2016. Observatoire de la Risle. Données quantitatives des eaux superficielles. Rapport du Service Ressources Naturelles. Bureau Hydrologie Hydrométrie et Prévision des crues du 25/04/2016
- Meire B., David P.Y., 2017. Observatoire de la Risle médiane – volet 1 : synthèse géologique et structurale Rapport final. BRGM/RP-66861-FR, 81 p., 27 ill., 1 tabl., 2 ann. http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-66861-FR.pdf