



HAL
open science

Étude hydrogéologique du bassin versant du Commerce (Haute-Normandie) : participation à l'organisation et à la réalisation d'une campagne piézométrique et interprétation des résultats

Gwennaëlle Clermont

► To cite this version:

Gwennaëlle Clermont. Étude hydrogéologique du bassin versant du Commerce (Haute-Normandie) : participation à l'organisation et à la réalisation d'une campagne piézométrique et interprétation des résultats. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2017. dumas-01668869

HAL Id: dumas-01668869

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01668869>

Submitted on 10 Jan 2022

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.



Etude hydrogéologique du bassin versant du Commerce (Haute-Normandie)

Participation à l'organisation et à la réalisation d'une campagne piézométrique et interprétation des résultats

BRGM – Direction régionale de Normandie

Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme
d'Ingénieur de l'ENGEES
Spécialisation Hydrosystèmes – Eaux superficielles

Gwennaëlle CLERMONT
Promotion Paris 2014-2017

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes du BRGM Normandie pour les 6 mois de stage passés dans l'équipe.

Merci tout d'abord à mon maître de stage, Mr Pierre-Yann DAVID, hydrogéologue, de m'avoir offert la possibilité de réaliser ce stage et pour l'encadrement et les conseils prodigués tout au long du stage.

Merci à Erwann IDEE pour tous ses conseils.

Merci à Virginie HUGOT pour la gestion de toutes les questions administratives.

Merci aussi à Léa RIDEL, Kévin BATUT et Baptiste MEIRE pour leur aide sur leurs différents domaines de compétences.

Merci également à tous les stagiaires que j'ai croisé et qui ont animé les bureaux pour mes derniers mois de stage.

Résumé

Etude hydrogéologique du bassin versant du Commerce (Haute-Normandie) : Participation à l'organisation et à la réalisation d'une campagne piézométrique et interprétation des résultats

Lors de contrôles sanitaires en 2012, une pollution à la N-nitrosomorpholine est détectée dans les captages d'eau potable de la vallée du Commerce (Seine-Maritime). Les captages du Commerce sont alors fermés et l'origine de la pollution est trouvée au niveau de l'usine ORIL de Bolbec. D'autres mesures ont également détecté des traces de pollution au forage d'Yport, au Nord, dans la direction opposée aux écoulements supposés. Cette découverte relève un enjeu important, ce captage constituant désormais la quasi-totalité de l'approvisionnement en eau potable du Havre.

La zone d'étude est rendue particulièrement complexe par la présence de nombreux réseaux karstiques et d'une faille majeure, la faille de Fécamp-Lillebonne. Elle est encore mal connue du point de vue hydrogéologique. Afin de protéger au mieux la ressource en eaux et d'agir rapidement en cas de nouvelle pollution, la compréhension des circulations d'eaux souterraines devient essentielle. Une étude a donc été lancée, en parallèle d'une étude plus globale sur l'hydro-système de la vallée du Commerce.

Dans le cadre de ces études, une campagne de mesure est organisée en avril 2017 sur la zone d'étude de 836km². Des mesures piézométriques permettent ainsi d'établir une carte piézométrique de la zone, tandis que des mesures de lignes d'eau et de débits sur les rivières permettent d'étudier les relations existant entre les eaux superficielles et souterraines.

L'analyse des résultats de cette première campagne ne permet pas encore de comprendre le parcours de la pollution de Bolbec, mais permet d'apporter plus de compréhension sur les dynamiques hydrogéologiques de la région, notamment en déterminant les zones d'alimentation de la nappe par la rivière et inversement.

Abstract

Hydrogeological study of the Commerce watershed (Haute-Normandie, France): Participation in the organization and implementation of a piezometric campaign and interpretation of the results.

During sanitary inspections in 2012, pollution of N-nitrosomorpholine is detected in drinking water catchments in the Commerce valley (Seine-Maritime, France). The catchments of the valley are closed and the origin of the pollution is found at ORIL factory near Bolbec. Other measures also detected traces of pollution at the Yport catchment in the north, in the opposite direction to the supposed flows. This discovery raises an important stake, this capture now constituting almost all the drinking water supply of Le Havre.

The study area is made particularly complex by the presence of numerous karst networks and a major fault, the Fécamp-Lillebonne fault. The area is still poorly known from the hydrogeological point of view. To better protect water resources and to act quickly in the event of a new pollution, a better understanding of groundwater flows becomes essential. A study was then launched, in parallel with a more global study on the hydro-system of the Commerce valley.

As part of these studies, a measurement campaign was organized in April 2017 on the study area of 836 km². Piezometric measurements are used to establish a piezometric map of the area, while measurements of water lines and flows on rivers make it possible to study the relations existing between surface and underground waters.

The analysis of the results of this first campaign does not yet make it possible to fully understand the path of the Bolbec pollution, but gives a better understanding of the hydrogeological dynamics of the region, in particular by determining the areas of the rivers where the river supply the aquifer and vice versa.

Sommaire

Liste des figures	7
Index des sigles et abréviations	9
1. Présentation du BRGM	11
2. Introduction	13
3. Présentation générale et délimitation de la zone d'étude	15
3.1. CADRE GEOGRAPHIQUE	15
3.2. LE SAGE COMMERCE.....	17
3.3. DELIMITATION DE LA ZONE D'ETUDE.....	18
4. Etat des connaissances	21
4.1. GEOLOGIE.....	21
4.2. HYDROGEOLOGIE ET PIEZOMETRIE	23
4.2.1. Piézométrie	23
4.2.2. Rôle hydrogéologique des failles.....	24
4.2.3. Réseau karstique	25
4.2.4. Relations nappe-rivières*	27
5. Campagne de mesure	31
5.1. DIMENSIONNEMENT DE LA CAMPAGNE DE MESURE	31
5.1.1. Piézométrie	31
5.1.2. Jaugeage rivières.....	32
5.1.3. Jaugeage sources.....	33
5.1.4. Nivellement des cours d'eau.....	33
5.2. MISE EN ŒUVRE DE LA CAMPAGNE.....	33
5.2.1. Préparation du carnet de terrain	33
5.2.2. Organisation pratique.....	34
5.3. BILAN DE LA CAMPAGNE	35
6. Etablissement de la carte piézométrique	37
6.1. ETUDE DU ROLE HYDROGEOLOGIQUE DES FAILLES.....	37
6.2. METHODE D'INTERPOLATION.....	38
6.3. INTERPOLATIONS ET CORRECTIONS	40

6.4. DISCUSSIONS.....	45
7. Qualification et quantification des échanges nappe/rivières	46
7.1. QUALIFICATION DES ECHANGES NAPPE/RIVIERE PAR COMPARAISON DE LA LIGNE D'EAU ET DES NIVEAUX DE LA NAPPE	46
7.2. QUANTIFICATION DES RELATIONS NAPPE/RIVIERE PAR ANALYSE DES RESULTATS DE LA CAMPAGNE DE JAUGEAGE.....	51
8. Analyse des liens entre la structure et l'hydrologie.....	54
9. Recommandations pour la prochaine campagne.....	57
10. Conclusion.....	58
Bibliographie	59
ANNEXES.....	61
ANNEXE 1 CARTE DES POINTS DE JAUGEAGE	63
ANNEXE 2 CARTE DES POINTS DE NIVELLEMENT DE LA LIGNE D'EAU.....	65
ANNEXE 3 LISTE DES OUVRAGES HYDRAULIQUES PRESENTS SUR LE COMMERCE	67

Liste des figures

Figure 1: Situation de la zone d'étude	15
Figure 2: Répartition de la population sur la zone étudiée	16
Figure 3: Réseau hydrographique du SAGE du Commerce [2].....	17
Tableau 1: Liste des cartes piézométriques disponibles sur la zone d'étude	18
Figure 4: (a) bassins versants (BV) souterrains tracés à partir des différentes cartes piézométriques disponibles, bassin versant superficiel et emprise maximale retenue pour l'étude ; (b) zone d'étude de l'étude SAGE Commerce ; (c) zone d'étude de l'étude Fécamp-Lillebonne et zone d'étude totale de la campagne piézométrique.....	19
Figure 5: Schéma structural de la zone d'étude basé sur la corrélation des différents profils électriques. Mise en évidence de la structure en faisceau des failles.[3]	22
Figure 6 : Analyse comparée des données gravimétriques, électriques et sismiques le long d'un des profils électriques, qui montre une bonne corrélation entre les résultats au niveau du passage de la faille F2. Mise en évidence d'une structure anticlinale parallèle à la faille.[3].....	23
Figure 7: Localisation des failles de la zone d'étude	25
Figure 8: Bétoires et indices de bétoires recensés [BD bétoires, BRGM].....	26
Figure 9: Tracages positifs mettant en évidence les réseaux karstiques de la zone	27
Figure 10: Etat des connaissances sur les relations nappe/rivière dans la vallée du Commerce	29
Figure 11: Points de mesure piézométriques potentiels	32
Figure 12: Exemple de fiche terrain.....	34
Figure 13: Points mesurés lors de la campagne piézométrique d'avril 2017	35
Figure 14: Gradients piézométriques au passage de la faille	37
Figure 15: Analyse des pertes de rivières par rapport à la faille.....	38
Figure 16 : Interpolations de la surface piézométrique obtenues par les différentes méthodes a) krigeage, b) Spline , c) Spline avec interruption	39
Figure 17: Interpolations de la surface piézométrique obtenues par les différentes méthodes après correction des valeurs en puits secs a) krigeage, b) Spline , c) Spline avec interruption	40
Figure 18: Comparaison de la cote du terrain naturel et de la cote piézométrique interpolée par la méthode a) Spline et b) Spline avec interruption.....	41
Figure 19: Interpolation de la surface piézométrique obtenue par la méthode Spline avec interruption après ajout de valeurs supplémentaires.....	42
Figure 20: Exemple de perturbation des courbes piézométriques due à une mesure influencée par un pompage	42
Figure 21: Interpolation de la surface piézométrique obtenue par la méthode Spline avec interruption après vérification et correction des points pompés	43
Figure 22: Carte piézométrique finale obtenue par la méthode Krigeage - Isopièzes à 5m	44
Figure 23: Carte piézométrique finale obtenue par la méthode Spline avec interruptions - Isopièzes à 5m	44
Tableau 2: Ecart absolu relevés entre les mesures réelles et les valeurs interpolées par les méthodes de krigeage et de Spline avec interruption sous Arcgis.....	45
Figure 24: Profil nappe/rivière et gains de débit de la rivière du Commerce	49

Figure 25: Profil nappe/rivière des rivières des Aulnes, de la Vallée et du Théluet	50
Tableau 3: Légende des classes de gains de débit.....	51
Figure 26: Pertes et gains de débit le long des rivières du SAGE Commerce - Campagne de jaugeage d'avril 2017	53
Figure 27: Localisation des bétoires de Beusoleil vis à vis des failles mises en évidences par les investigatins géophysiques	55
Figure 28: Carte des sources de la Vallée du Commerce classée par types selon le lien avec la structure géologique.....	56

Index des sigles et abréviations

AESN : Agence de l'Eau Seine-Normandie

ARS : Agence Régionale de Santé

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

BSS : Banque du Sous-Sol

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux

AEP : Alimentation en Eau Potable

BV : Bassin versant

1. Présentation du BRGM

Le BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) est un Établissement Public à caractère Industriel et Commercial (EPIC), spécialisé en sciences de la terre, en gestion des ressources et dans les risques liés au sol et sous-sol. Le BRGM porte la mission de service géologique national français. Créé en 1959, cet établissement est placé sous la tutelle du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, du ministère de la Transition écologique et solidaire, et du ministère de l'Economie. [1]

Les actions du BRGM s'articulent autour de 5 missions :

- Recherche scientifique : l'objectif est d'améliorer la connaissance géologique et la compréhension des phénomènes liés au sol et au sous-sol. L'enjeu majeur consiste à répondre aux défis des changements globaux.
- Appui aux politiques publiques : elle regroupe l'ensemble des actions d'expertise, de surveillance et d'étude menées en soutien des politiques publiques.
- Coopération internationale : avec plus de 200 projets chaque année dans plus de 40 pays, le BRGM intervient pour la protection durable des populations et des ressources.
- Sécurité minière : regroupe la surveillance, la prévention des pollutions et risques sur les anciens sites miniers. Le BRGM est maître d'ouvrage délégué pour les travaux de mise en sécurité.
- Formation : intervention en soutien à l'enseignement supérieur dans le domaine des géosciences.

Le BRGM emploie aujourd'hui plus de 1000 personnes dans 29 implantations permettant de travailler avec les partenaires locaux (DREAL, ARS, DDT, Agences de l'eau,...). L'agence de Mont-Saint-Aignan est la direction régionale de Normandie et compte un effectif de 8 personnes. Les activités sont multiples : cartographie géologique, alimentation de la Banque de données du Sous-Sol (BSS), gestion des risques naturels et gestion de l'eau. La gestion de l'eau passe par le réseau de suivi piézométrique régional de Normandie qui permet de connaître le niveau des nappes normandes, l'appui aux services de l'Etat en charge de la Police de l'Eau, un partenariat académique et l'actualisation des synthèses hydrogéologiques.

2. Introduction

Le travail réalisé au cours de ce stage s'inscrit dans le cadre de deux études conjointes menées actuellement par le BRGM. La première fait suite à une pollution à la Nitrosomorpholine détectée en 2012 dans la région de Bolbec (Seine-Maritime) et qui a mis en évidence des écoulements souterrains inattendus vers le Nord. Une étude a alors été lancée afin d'améliorer la connaissance de la circulation des eaux souterraines et de leurs relations avec les rivières à l'échelle de la vallée du Commerce et au-delà en direction d'Yport. La seconde étude est réalisée pour le compte du SAGE de la Vallée du Commerce, et a pour objectif de mieux connaître le fonctionnement de l'hydro-système de la craie-rivières sur son territoire, notamment dans l'optique d'établir un modèle mathématique de l'hydro système et d'améliorer la gestion des ressources en eau du territoire du SAGE, dans lequel l'aquifère de la craie est identifié comme étant en tension quantitative.

La problématique de pollution est un enjeu majeur dans le secteur étudié car la pollution de 2012 a entraîné la fermeture des captages d'eau potable de la vallée du Commerce, et la diffusion vers le Nord observée alors met en péril les captages d'eau potable d'Yport, qui alimentent la ville du Havre. En 2012, seules des traces ont été détectées dans ces captages, mais il subsiste un risque d'existence de source ou de foyers résiduels de pollution qui pourrait toujours menacer l'alimentation en eau potable du Havre. Il est donc essentiel de mieux comprendre les cheminements des eaux souterraines notamment dans la région de Bolbec afin de mettre en place les suivis et les protections les plus adaptées.

Pour le SAGE de la Vallée du Commerce, il est nécessaire de collecter un maximum de données sur l'hydrologie et l'hydrogéologie du territoire en vue de pouvoir établir un modèle conceptuel de l'hydro-système qui permettra ensuite d'aboutir à un modèle mathématique le plus fidèle possible.

Les études dans le secteur de Bolbec ont déjà commencé, avec notamment une campagne d'investigations géophysiques fin 2016 qui a permis d'affiner la connaissance de la structure géologique de la zone.

Ce rapport se concentre sur l'étape suivante, à savoir l'organisation et l'analyse des résultats d'une campagne de mesures piézométriques, débitométriques et altimétriques. Cette campagne a pour but de collecter un maximum de mesures piézométriques afin d'établir une carte piézométrique de la zone d'étude plus précise que les cartes régionales existantes. Les mesures de débits et de ligne d'eau des rivières permettent quant à elles d'étudier les relations eaux de surface/eaux souterraines.

3. Présentation générale et délimitation de la zone d'étude

3.1. CADRE GEOGRAPHIQUE

La zone d'étude est située dans le bassin Seine-Normandie, en rive droite de la Seine, à environ 50km à l'ouest de Rouen. [2] D'une superficie de 836 km² (dont l'emprise est définie au §3.3), la zone d'étude est située en quasi-totalité dans le département de Seine-Maritime (cf Figure 1).

La zone étudiée recoupe 124 communes pour une population de plus de 120000 habitants.

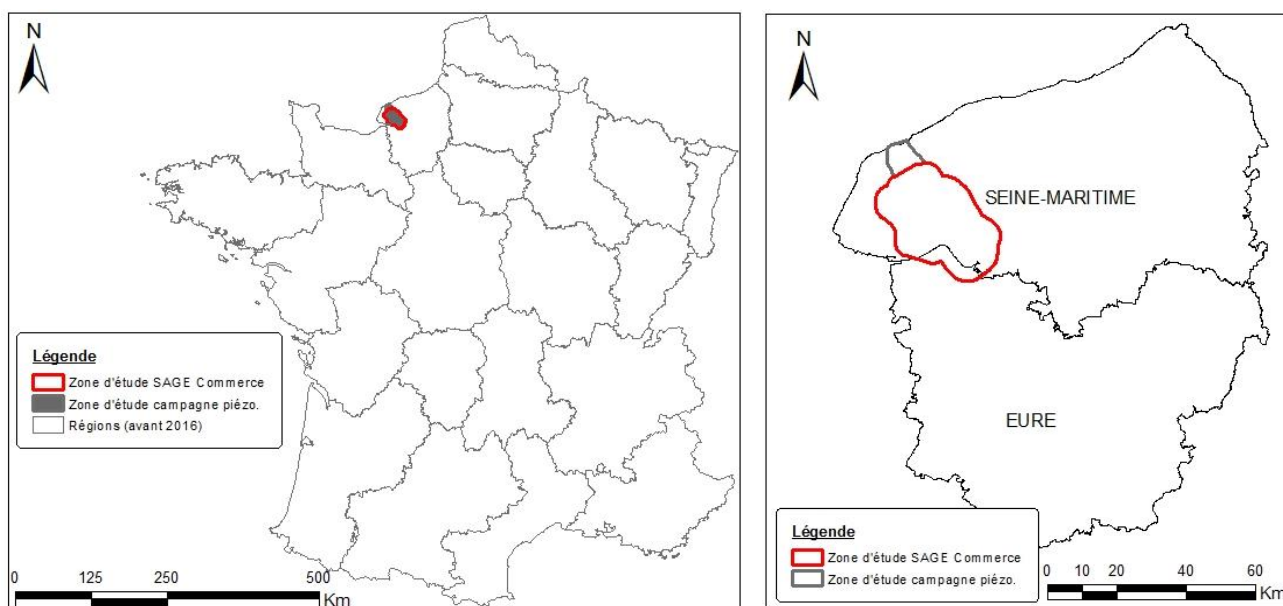


Figure 1: Situation de la zone d'étude

La population au sein de la zone d'étude est très inégalement répartie (cf Figure 2). La densité de population est plus forte dans la Vallée du Commerce, tandis que les plateaux en amont sont plutôt ruraux et agricoles. Les principales communes sont Bolbec, Lillebonne et Notre-Dame-de-Gravenchon.

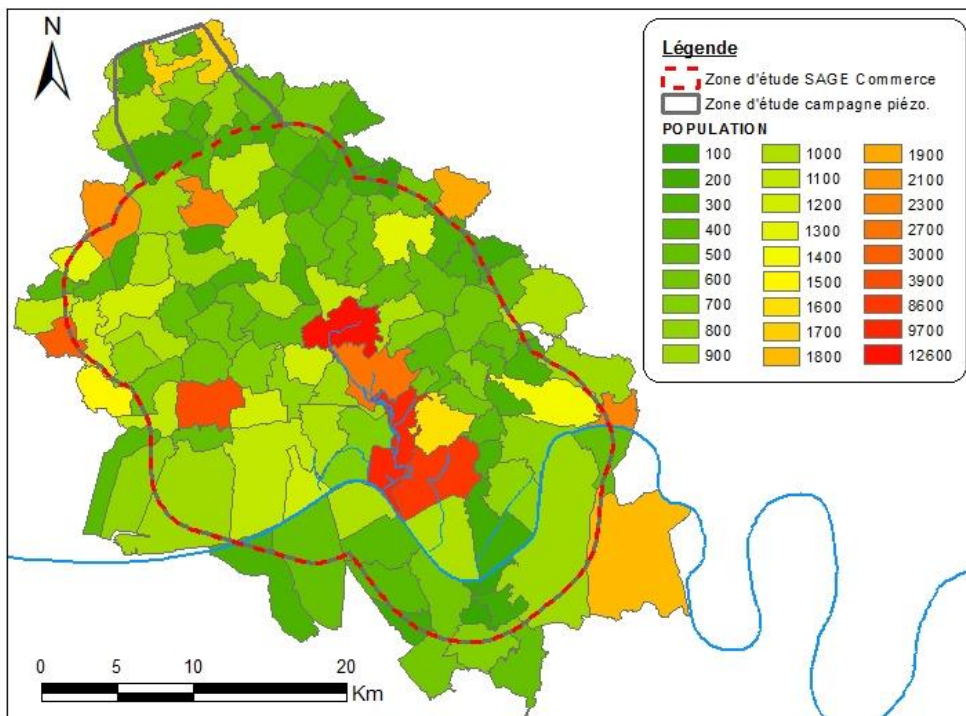


Figure 2: Répartition de la population sur la zone étudiée

Le réseau hydrographique de la zone d'étude est constitué des rivières du Commerce, du Vivier, du Théluet, du Hannetot et de la Brousseresse, qui se jettent toutes dans la Seine (cf Figure 3).

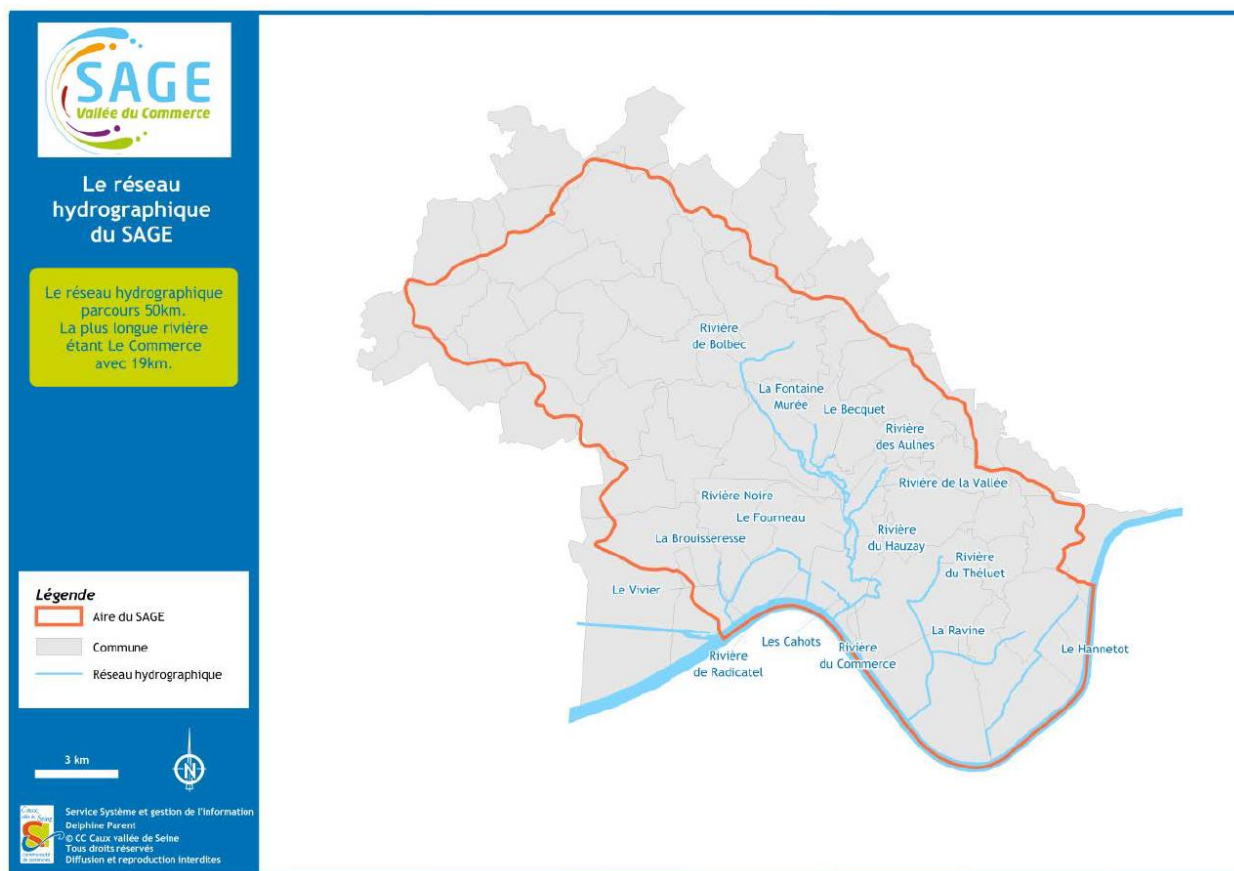


Figure 3: Réseau hydrographique du SAGE du Commerce [2]

3.2. LE SAGE COMMERCE

Un SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux) est un document de planification établi pour un périmètre hydrographique cohérent (un ou plusieurs bassins versants par exemple), qui fixe des objectifs notamment en termes d'utilisation et de protection quantitative et qualitative de la ressource en eau.

Le terme de SAGE est également couramment utilisé pour désigner la Commission Locale de l'Eau (CLE), chargée de l'animation et du développement de ce schéma d'aménagement.

Le SAGE de la Vallée du Commerce, abrégé SAGE Commerce dans ce rapport, porte sur l'unité hydrographique « Commerce », qui regroupe les bassins versants du Commerce, du Vivier, du Théluet, du Hannetot et de la Brousseresse. Les objectifs initiaux de ce SAGE, à partir des années 1980, étaient la lutte contre les inondations et la réduction des pollutions domestiques et industrielles qui entraînaient une dégradation de la qualité de la ressource en eau. A ces objectifs toujours présents s'est ajoutée la volonté de protéger, voire restaurer, les milieux naturels.

L'étude en cours actuellement et visant à établir un modèle de l'hydro-système s'inscrit dans l'objectif de protection des ressources en eau.

3.3. DELIMITATION DE LA ZONE D'ETUDE

Pour les bassins versants du Commerce et des autres rivières du SAGE Commerce et ce, quel que soit le régime hydrogéologique considéré (basses, moyennes ou hautes eaux), les bassins versants souterrains ne se superposent pas aux bassins versants topographiques. L'emprise de la zone d'étude retenue correspond au maximum d'extension des bassins versants hydrographiques (topographiques) et hydrogéologiques.

La délimitation du bassin hydrogéologique s'est appuyée sur l'ensemble des cartes piézométriques existantes, présentées dans le Tableau 1. Les bassins versants hydrogéologiques ont été tracés pour l'ensemble des cartes piézométriques listées ci-dessous. L'extension maximale de tous ces tracés a été retenue pour former la zone d'étude afin d'intégrer l'hydro-système dans son ensemble (Figure 4- a).

Une zone tampon de 4 km a ensuite été appliquée, de façon à intégrer les crêtes piézométriques de limite de bassin versant, en partie dans l'optique d'un éventuel développement de modèle numérique sur la zone (Figure 4- b).

Tableau 1: Liste des cartes piézométriques disponibles sur la zone d'étude

N°	Source	Secteur concerné	Situation hydrologique	Date des campagnes piézométriques
1	Carte hydrogéologique de Haute-Normandie, BRGM, 2010	Haute Normandie	Hautes-eaux	2001
2			Moyennes-eaux	Moyenne 2001-2006
3			Basses-eaux	2006
4	Atlas hydrogéologique départemental de Seine Maritime, CGG, 1998	Seine Maritime	Moyennes-eaux	Moyenne 1974-1995
5	Atlas hydrogéologique départemental de Seine Maritime, BRGM, 1990	Seine Maritime	Moyennes-eaux	Moyenne 1962-1990

Cette zone est par la suite recoupée avec la zone d'étude Fécamp-Lillebonne, qui a été déterminée de façon arbitraire de part et d'autre de la faille, de façon à couvrir la source de la pollution à Bolbec et le captage dans lequel la N-nitrosomorpholine a été retrouvé à Yport. L'union de ces deux zones détermine l'étendue de la zone d'étude de la campagne piézométrique (Figure 4- c).

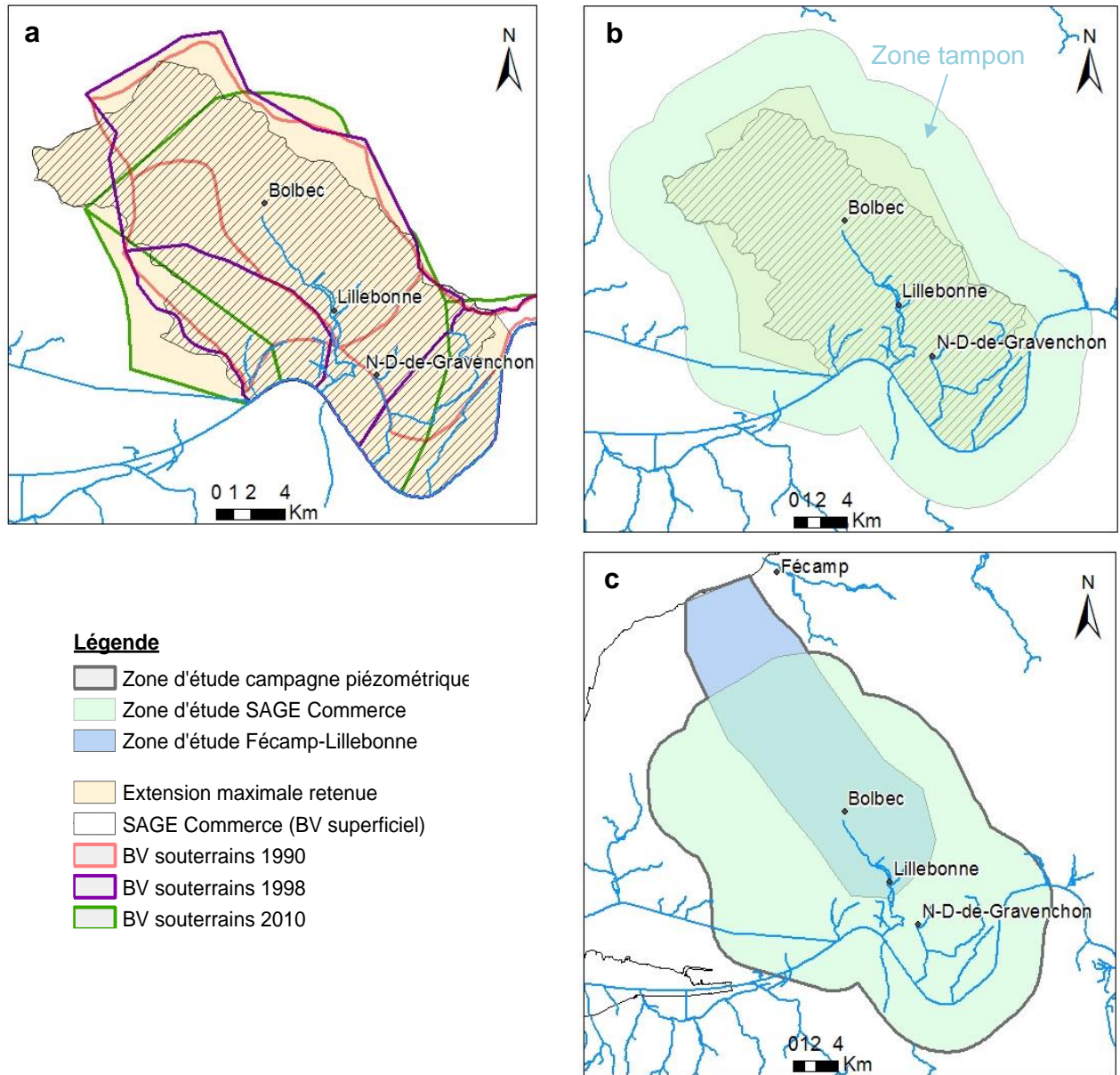


Figure 4: (a) bassins versants (BV) souterrains tracés à partir des différentes cartes piézométriques disponibles, bassin versant superficiel et emprise maximale retenue pour l'étude ; (b) zone d'étude de l'étude SAGE Commerce ; (c) zone d'étude de l'étude Fécamp-Lillebonne et zone d'étude totale de la campagne piézométrique

4. Etat des connaissances

4.1. GEOLOGIE

La zone d'étude se situe autour de l'accident géologique majeur de Lillebonne-Fécamp. Cette structure complexe a entraîné une sédimentation spécifique aux abords de l'accident, que l'on ne retrouve pas ailleurs dans le Pays de Caux.

La faille de Lillebonne-Fécamp est orientée SE-NO et traverse tout le pays de Caux avant de se prolonger dans la Manche en prenant une orientation E-O. Au Sud, elle n'atteint pas la Seine et vient buter contre l'accident de Villequier. C'est une faille normale avec une composante décrochante dextre, dont le rejet varie selon les secteurs. Au niveau de Bolbec, le rejet atteint 100 à 150m, puis s'amointrit vers Lillebonne pour atteindre environ 40m. Le rejet parfois important de cette structure entraîne donc des contacts anormaux entre des formations de faciès parfois très différents.

Lorsqu'étudiée plus en détail, la faille de Lillebonne-Fécamp s'avère plus complexe. Dans la région de Bolbec, cette structure est composée d'un faisceau de failles de 300m de large, associé à des cassures transversales qui forment des compartiments basculés en escaliers.

Des investigations géophysiques menées dans le cadre de cette étude fin 2016 dans le secteur de Bolbec ont permis d'améliorer la connaissance de la géologie et des structures présentes dans le sous-sol. Ces investigations ont été menées selon trois techniques différentes : investigations électriques, gravimétriques et profils sismiques.

Ces investigations ont permis de localiser précisément les failles au niveau de Bolbec, et de mettre en évidence une structure en faisceau se resserrant vers le Nord (cf Figure 5). Ces investigations ont également permis de mettre en évidence une structure anticlinale parallèle à la faille (cf Figure 6). [3]

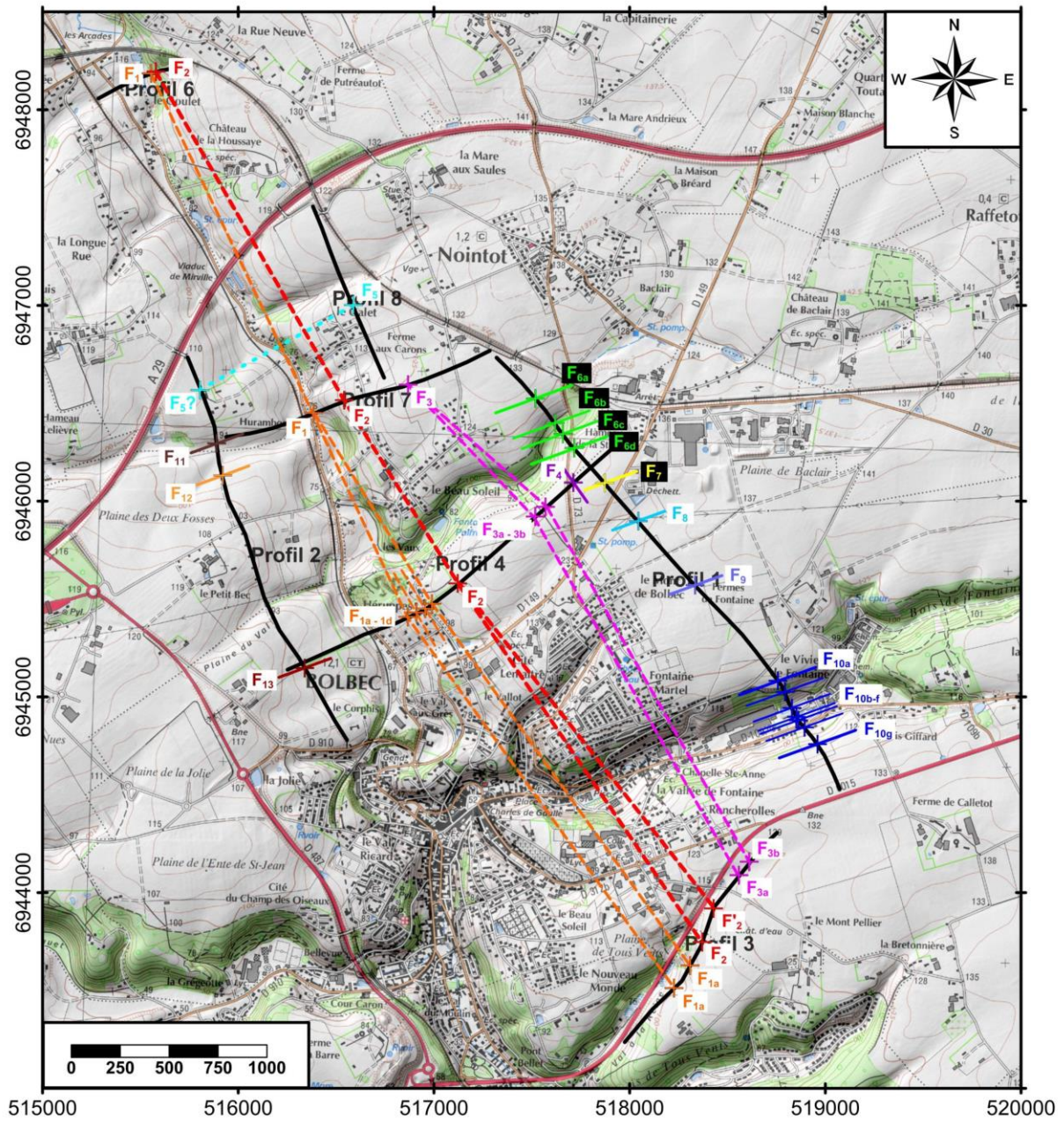


Figure 5: Schéma structural de la zone d'étude basé sur la corrélation des différents profils électriques. Mise en évidence de la structure en faisceau des failles.[3]

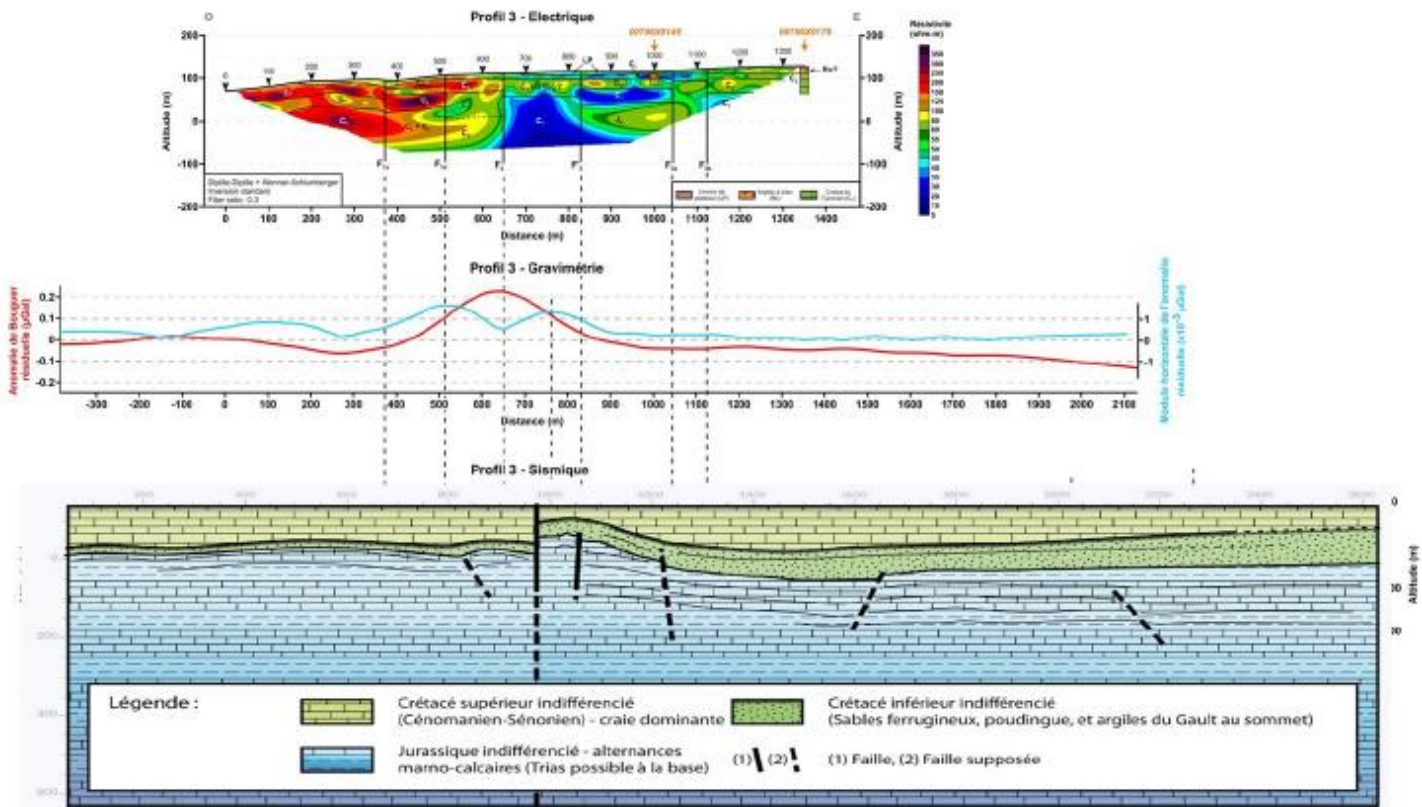


Figure 6 : Analyse comparée des données gravimétriques, électriques et sismiques le long d'un des profils électriques, qui montre une bonne corrélation entre les résultats au niveau du passage de la faille F2. Mise en évidence d'une structure anticlinale parallèle à la faille.[3]

4.2. HYDROGEOLOGIE ET PIEZOMETRIE

L'hydrogéologie de la zone d'étude est complexe en raison du caractère karstique des terrains.

4.2.1. Piézométrie

La zone d'étude dispose de deux aquifères principaux : la nappe des sables verts et la nappe de la craie. Ces deux nappes sont séparées par une formation d'argiles du Gault imperméables.

En Vallée de Seine, une nappe alluviale est également présente.

La nappe principale en termes de ressource pour l'alimentation en eau potable est la nappe de la craie. C'est sur celle-ci que porte l'étude.

La nappe de la craie est présente à des profondeurs variables sur la zone étudiée. Elle affleure dans la vallée du Commerce et à la limite de la vallée de Seine mais peut atteindre des profondeurs de plus de 100m au niveau des plateaux.

4.2.2. Rôle hydrogéologique des failles

L'un des éléments importants pour la piézométrie est la faille Fécamp-Lillebonne. Comme vu au 4.1, le rejet atteint par endroit 100 à 150m et met en contact des terrains de perméabilités différentes. La faille peut donc se comporter comme une barrière hydraulique. Le rôle de cette faille sur la piézométrie n'est cependant toujours pas connu avec précision. L'étude des documents disponibles sur le secteur de la vallée du Commerce permet de distinguer plusieurs hypothèses.

L'étude CPGF de 1978 [4] mentionne deux hypothèses : (1) une rupture piézométrique nette due à la faille et (2) un franchissement de la faille avec une augmentation significative du gradient piézométrique. La première hypothèse a été retenue pour la carte CPGF de 1982 où la faille présente un rôle étanche sur tout son linéaire, avec rupture des isopièzes de part et d'autre. Ces hypothèses n'ont cependant pas pu être validées par des données de terrain.

Le rapport d'expertise de 2013 [5] relève que les cartes piézométriques départementales, régionales et locale témoignent toutes d'un rôle drainant de la faille au Nord de Bolbec.

Au Sud de Bolbec, la faille ne semble cependant pas entraîner d'effets sur la piézométrie. Cette innocuité est en accord avec la synthèse bibliographique de 1998 [6] qui concluait à une inactivité de la faille entre Bolbec et Lillebonne. Cette conclusion repose notamment sur l'hypothèse que la source Auger, qui capterait la nappe du compartiment NE relevé, est située de l'autre côté de la faille, dans le compartiment SO abaissé.

Au Nord vers Yport, la faille ne semble pas être considérée comme affectant la piézométrie. L'atlas hydrogéologique de Haute-Normandie de 2010 fait figurer cette faille de la même façon qu'au Sud de Bolbec, soit ne décalant pas la piézométrie.

La faille de Villequier est un évènement majeur, avec un rejet important de 200m environ. Cette faille est connue pour occasionner la perte du ruisseau du Bébec, dont on observe la résurgence au niveau de la source du Hannetot. [7]

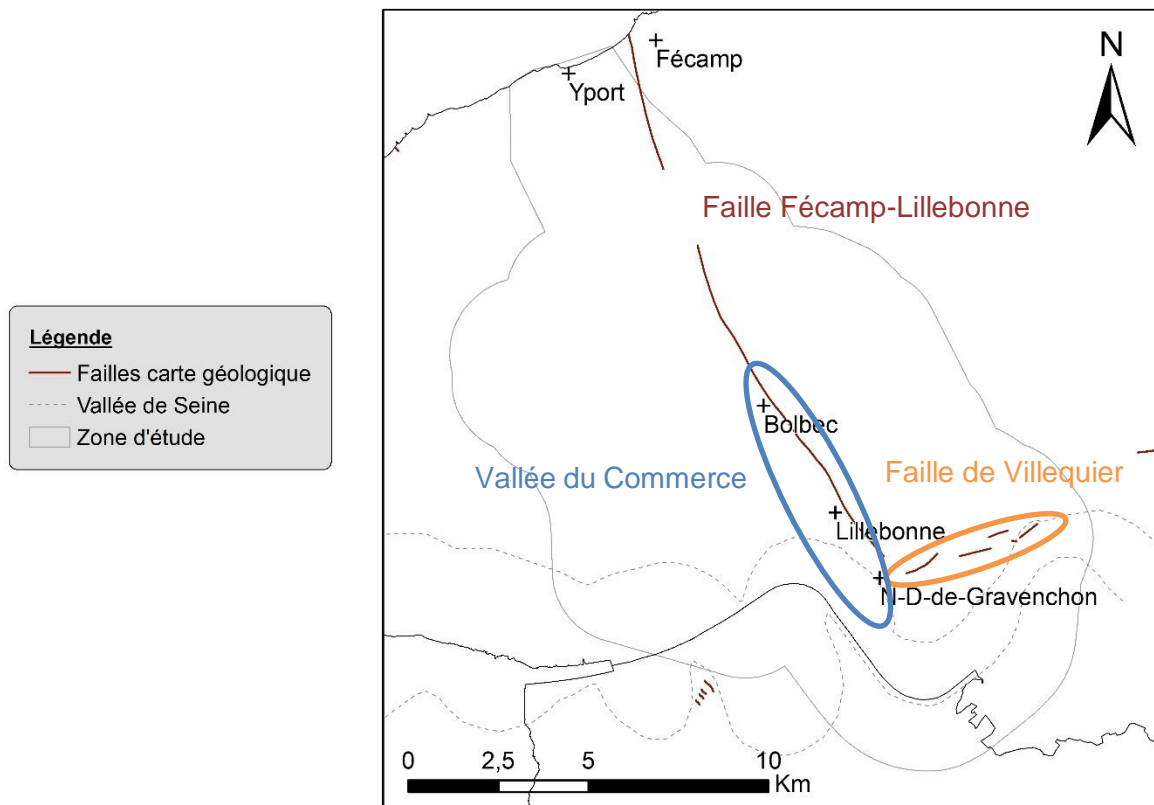


Figure 7: Localisation des failles de la zone d'étude

4.2.3. Réseau karstique

Le réseau karstique (conduits résultant de processus d'altération physico-chimique de la craie) de la région est très développé mais difficile à appréhender. La présence de ces réseaux est le plus souvent mise en évidence lors de la formation d'avens, localement nommés bétoires, qui correspondent aux structures visibles en surface des réseaux karstiques. Ces structures sont dues par exemple à l'effondrement de cavités karstiques, ou à une dissolution de la craie en un point d'infiltration préférentiel.

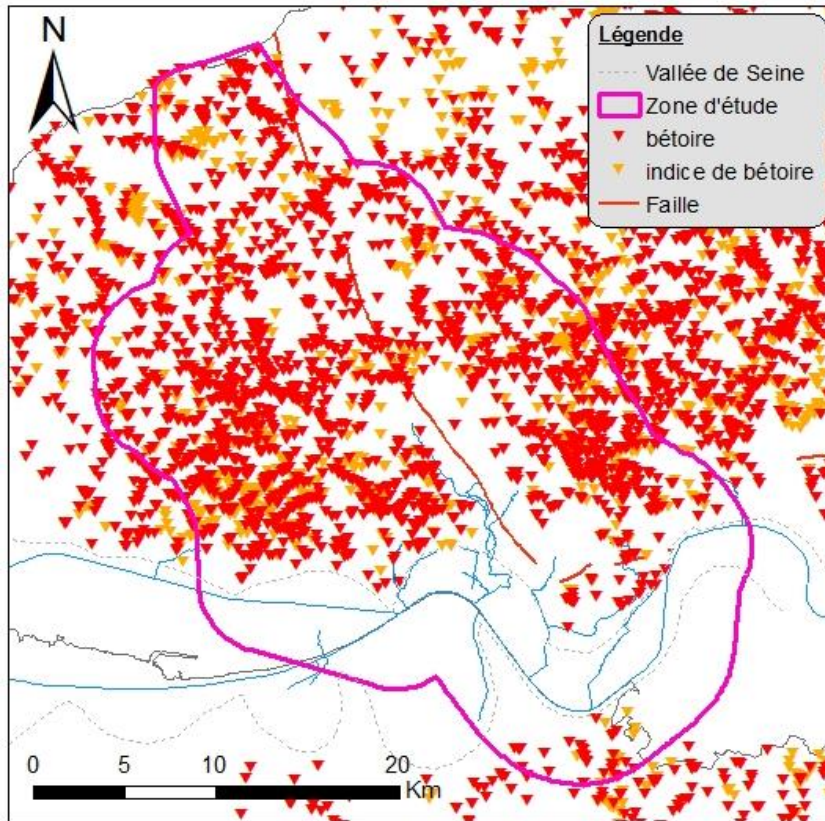


Figure 8: Bétoires et indices de bétoires recensés [BD bétoires, BRGM]

La présence de ces nombreux réseaux karstiques complexifie beaucoup l'hydrogéologie de la zone. Ces différents conduits constituent en effet des chemins préférentiels pour l'eau qui s'y engouffre, et peuvent entraîner des circulations d'eau inattendues, et à des vitesses importantes.

De nombreux traçages ont été réalisés afin de mieux cerner les circulations d'eau induites par ces conduits. Une meilleure connaissance de ces circulations d'eau permet en effet de définir les zones d'alimentation des captages d'eau potable, et ainsi d'en définir des zones de protection, ou d'anticiper la propagation de polluants.

Plusieurs réseaux ont ainsi été mis en évidence : dans la zone d'étude, on peut notamment distinguer les réseaux karstiques d'Yport, de Radicatel, du Commerce et du Bébec.

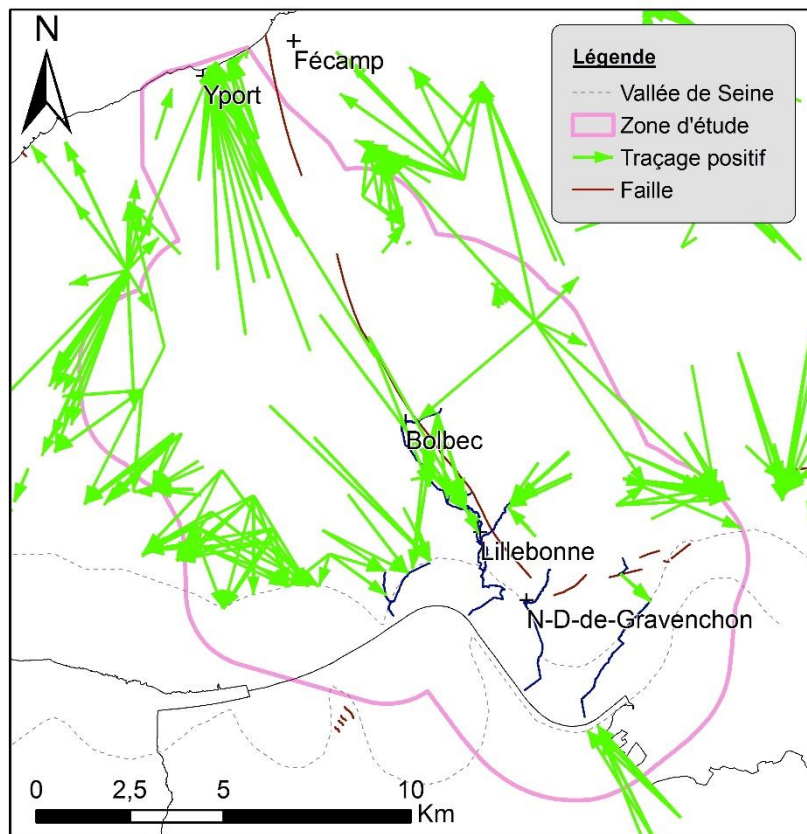


Figure 9: Tracages positifs mettant en évidence les réseaux karstiques de la zone

4.2.4. Relations nappe-rivières*

La synthèse bibliographique BRGM de 1998 [6] constitue encore aujourd'hui une synthèse de la majorité des informations disponibles sur la vallée du Commerce. Elle permet de mettre en évidence des relations variables selon les lieux considérés :

- Dans le secteur de Gruchet-le-Valasse, la rivière du Commerce est perchée 6 à 10m au-dessus de la nappe.
- La rivière du Commerce est déconnectée de la nappe entre Gruchet-le-Valasse et l'aval de l'abbaye du Valasse, puis est en équilibre hydrostatique sur la majeure partie de son cours aval.
- Le ruisseau de la Fontaine Murée, formé par les sources de la « Fontaine Murée » et « Auger », coule environ 12m au-dessus de la nappe, avec laquelle il ne communique donc pas. Le ruisseau se perd cependant au niveau du talus du chemin de fer dans une béttoire par laquelle il rejoint la nappe à quelques mètres de profondeur.
- Le ruisseau des Aulnes correspond à une émergence de la nappe, ce qui a notamment été confirmé par son assèchement partiel lors d'un essai de pompage du forage d'AEP du Becquet situé à proximité.
- Au niveau de la confluence avec la vallée de la Fontaine Murée, le Commerce coule en pied de flanc droit de la vallée, soit 2 ou 3 m au-dessus du fond de la vallée. Son cours est alors 1m au-dessus de celui du ruisseau des Aulnes, ce qui indique une absence de relations nappe/rivière sur ce tronçon.

L'étude CPGF de 1980 [4] a mis en évidence, par des jaugeages, une augmentation de débit entre le forage du Becquet et Lillebonne qui témoigne d'échanges entre la nappe et la rivière. La zone de tourbière, qui correspond aujourd'hui à la zone humide du parc des Aulnes à Lillebonne, est de plus considérée comme correspondant au toit de la nappe.

Au niveau du ruisseau de la Vallée, une perte de débit est mesurée entre l'aval de la pisciculture et Lillebonne. Ces pertes sont attribuées soit à des pertes soit à une surexploitation de la nappe par les forages, ce qui témoigne dans les deux cas de relations nappe-rivière dans la zone.

En amont du Commerce, des nivellements réalisés en 2014 [8] ont permis d'écarter un drainage de la nappe par la rivière au niveau du site ORIL. Le rapport stipule cependant qu'en l'absence de mesures à l'aval du site, il est impossible d'affirmer que cette situation perchée est homogène jusqu'à la faille. L'hypothèse d'une évolution des relations nappe/rivière selon la recharge de la nappe est également envisagée.

A l'aval de la faille, au niveau de Bolbec, l'hypothèse admise actuellement est une situation perchée avec présence d'horizons plus imperméables.

Au niveau de l'usine Senoble, en amont de l'abbaye du Valasse, la rivière du Commerce est isolée de la nappe par plusieurs mètres d'argile. Un colmatage du lit a également été mis en évidence lorsque des fouilles réalisées à proximité du cours d'eau sont restées à sec.

Le secteur du Bébec a également été très étudié par l'Université de Rouen. Le Bébec se perd complètement dans une bétoire et est acheminé par un conduit karstique jusqu'à la source du Hannetot. [7, 9]

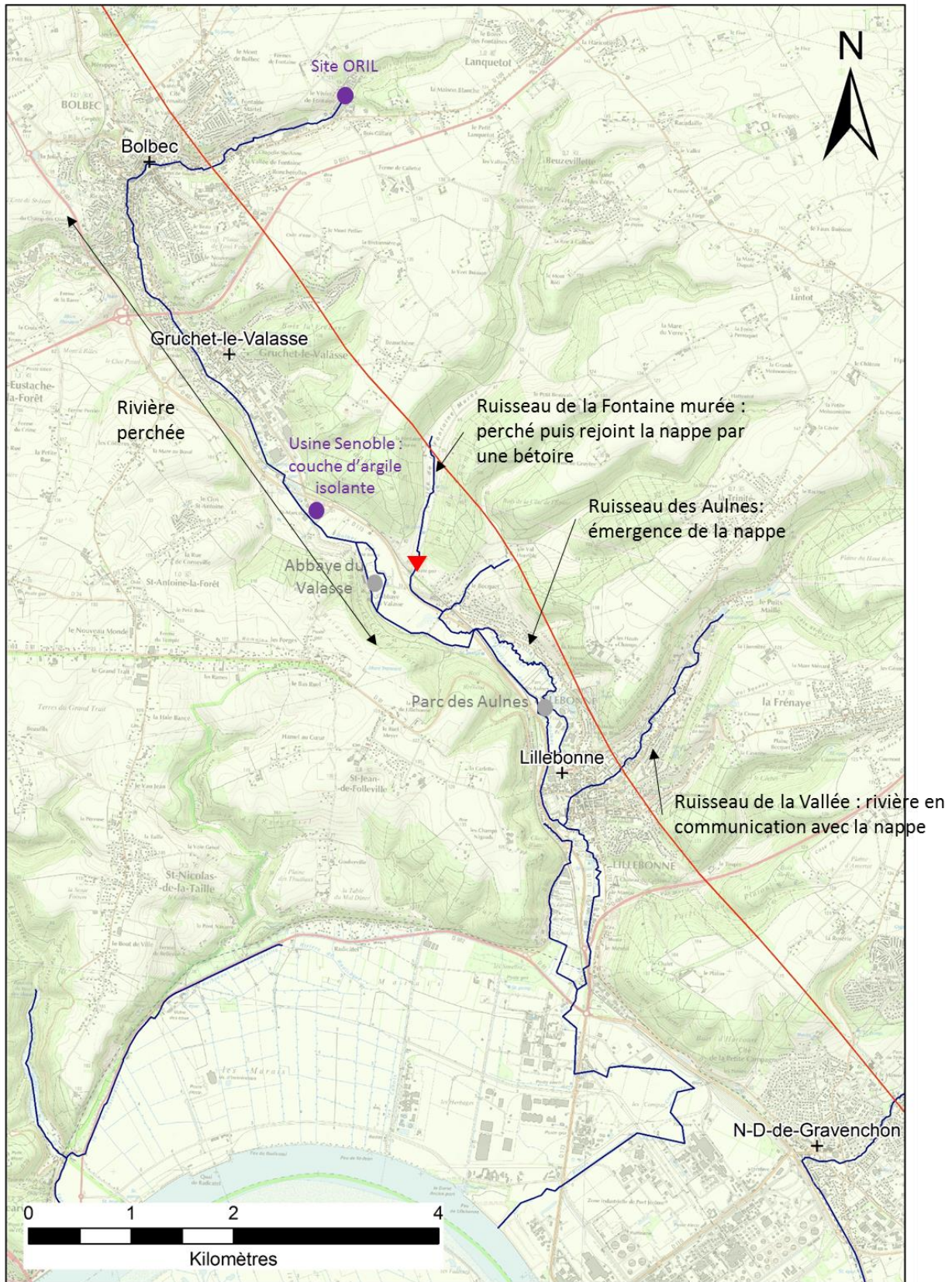


Figure 10: Etat des connaissances sur les relations nappe/rivière dans la vallée du Commerce

5. Campagne de mesure

La campagne de mesure avait pour but de collecter des mesures de piézométrie, de débit et de ligne d'eau en période de hautes-eaux. Ces mesures permettent ensuite de réaliser une carte piézométrique et d'analyser les relations nappe-rivières.

5.1. DIMENSIONNEMENT DE LA CAMPAGNE DE MESURE

5.1.1. Piézométrie

Sélection des points d'eau à mesurer lors des campagnes de terrain

La première étape a constitué à identifier les ouvrages potentiels qui pourraient être mesurés sur la zone d'étude. L'extraction des données de la Banque du Sous-Sol (BSS) sur la zone d'étude a donné 1441 points.

Dans un premier temps, un tri sur la nature de ces points a été effectué, supprimant les points de nature : Affleurement, Carrière, Cavité naturelle, Excavation, Gite, Station de Jaugeage et Travaux Souterrains. A l'issue de ce premier tri, il est resté 488 points Puits/Forage, 100 points Piézomètre, 53 points Source et 771 points Sondage.

Le tri suivant a porté sur l'utilisation enregistrée. Ce tri a permis de supprimer des sondages n'atteignant pas la nappe, comme des sondages géotechniques, mais également de repérer des points enregistrés en sondage mais qui sont apparemment des puits. Il y a alors 620 points Puits/Forage/Piézomètre et 740 points Sondages.

Les Sources, Sondages, et Puits/Forages sont séparés, et les Puits/Forages sont classés dans les catégories d'usage suivantes (Figure 11) :

- Alimentation Eau Potable (données BSS) [AEP_BSS] (67)
- Agricole (68)
- Domestique (96)
- Géothermie (4)
- Industriel (32)
- Piézomètre (143)
- Puisard (43)
- Usage indéterminé mais lié à l'eau [Eau_indéterminé] (50)
- Usage non renseigné (117)

Ce classement a permis de déterminer les points pour lesquels il était nécessaire de prendre des rendez-vous pour effectuer les mesures (sites industriels, captages AEP...).

Un travail préliminaire avait été réalisé en décembre 2016 au cours duquel un courrier avait été envoyé à chacune des mairies de la zone d'étude afin de leur présenter le projet, ses objectifs et ses impératifs, et de les informer du passage prochain de techniciens du BRGM sur leur commune.

A ce courrier furent jointes des cartes de localisation des points situés sur leur commune. Il leur était demandé de signaler l'existence éventuelle d'ouvrages n'apparaissant pas sur les cartes et de corriger les points existants selon leur connaissance. Les réponses des mairies ont ainsi permis de préciser l'emplacement de certains points, d'en ajouter de nouveaux et également d'en supprimer.

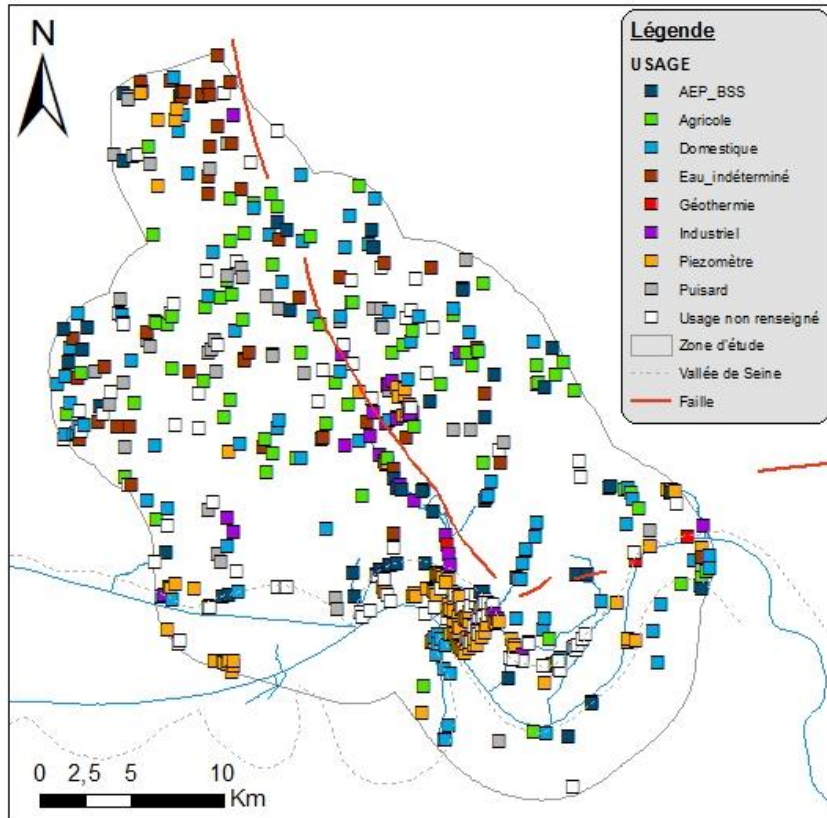


Figure 11: Points de mesure piézométriques potentiels

Une reconnaissance de terrain avait également eu lieu sur les points recensés du « cœur d'étude ». Cette reconnaissance a permis d'éliminer certains points n'existant plus, ainsi que le repérage de nouveaux points.

La zone d'étude ne présentant pas une densité de points très importante, aucun tri n'a été réalisé sur les points à mesurer, et l'ensemble des points a été retenu.

Au final, 627 points ont été retenus pour cette campagne, et intégrés dans les carnets de terrain.

5.1.2. Jaugeage rivières

La détermination des points de jaugeage des rivières s'est faite de façon à permettre une interprétation des relations nappe/rivières sur le territoire étudié. Les points de mesures ont donc été placés de façon à encadrer les zones de failles pouvant entraîner des communications entre la rivière et la nappe. Des points sont également placés au niveau des confluences afin de connaître le débit de chaque cours d'eau.

Différents apports ponctuels sont à prendre en compte : de nombreuses sources alimentent en effet les rivières jaugées et on relève également quelques rejets industriels et 3 rejets de stations d'épuration. Des points de mesures ont été placés à proximité de ces rejets pour évaluer leur impact sur le débit.

5.1.3. Jaugeage sources

Les sources ont été jaugées pendant la campagne, afin de connaître leur apport de débit aux rivières. Ces éléments permettent une meilleure analyse des relations nappes/rivières.

Un nivellement des sources a également été réalisé, celles-ci constituant souvent des points d'affleurement de la nappe. Ces nivellements ont été utilisés dans l'interpolation de la surface piézométrique.

5.1.4. Nivellement des cours d'eau

Afin de compléter les valeurs de piézométrie et de jaugeages des cours d'eau, on a également procédé à un nivellement des cours d'eau afin d'étudier les relations nappe/rivières, notamment en termes de connexion.

Les points de nivellements sont placés régulièrement le long des cours d'eau, et en particulier à l'amont et à l'aval des ouvrages hydrauliques de hauteur de chute importante (>1m).

La carte des points de mesures et la liste des ouvrages hydrauliques sont en Annexes 1 et 2.

5.2. MISE EN ŒUVRE DE LA CAMPAGNE

5.2.1. Préparation du carnet de terrain

Afin de faciliter au mieux la tâche des techniciens et de procéder aux mesures des niveaux piézométriques dans des délais les plus courts possibles, un carnet de terrain a été préparé avant les campagnes. Celui-ci avait plus spécifiquement pour objectif de localiser au mieux et au plus vite les points de mesures.

La zone d'étude était divisée en 9 zones. Un classeur de terrain a été préparé pour chaque zone. Il contenait une carte générale de la zone concernée, sur laquelle étaient reportés tous les points de mesures.

Une fiche descriptive a été réalisée pour chaque point d'eau (Figure 12). Elle était d'une part composée des informations relatives à l'ouvrage lui-même, telles que la nature de l'ouvrage (puits, forage ou piézomètre) ; son utilisation ; son état ; sa profondeur ; son diamètre ; le nom du propriétaire ; son emplacement sur une carte de localisation ; ses coordonnées ; la date de la dernière mesure piézométrique et sa valeur. D'autre part, la fiche proposait un espace pour des informations à compléter par le technicien sur le terrain en vue de préparer le carnet de terrain de la campagne suivante.

- l'accessibilité de l'ouvrage (optimale, limitée ou inaccessible) ;
- la présence d'un danger (oui ou non et commentaires) ;
- l'accès (cour, champs/pré, bordure de route, place publique, bois/forêt, sol ou autre) ;
- la protection de l'ouvrage (aucune, capot/plaque verrouillé ou non verrouillé, abrité) ;
- la nature du repère (margelle, dalle en béton, sol, sommet du tubage, sommet du tube piézométrique ou autre) et sa hauteur par rapport à la mesure GPS ;
- la profondeur de l'eau par rapport au repère ;
- la date et l'heure de la mesure ;
- la profondeur du puits ;

- la présence ou non d'une pompe ainsi que son activité ou non lors de la mesure.

Carnet de terrain - ZONE 5 Indice BSS **00756X0182**

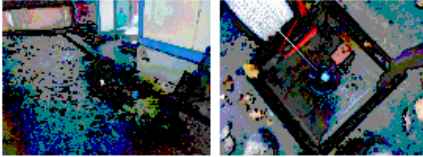
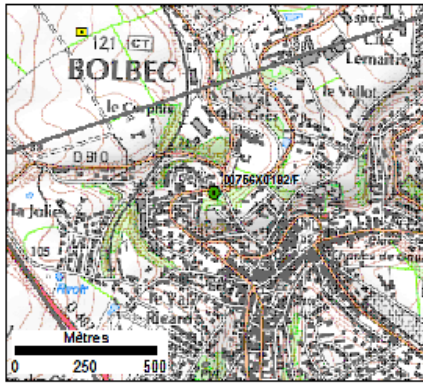
<p>Accès</p> <p><u>Accessibilité du puits</u></p> <p><input type="checkbox"/> mesure accessible <input type="checkbox"/> optimale <input type="checkbox"/> limitée</p> <p><input type="checkbox"/> puits rebouché/obstrué</p> <p><input type="checkbox"/> puits cadennassé/inaccessible</p> <p>Présence d'un danger : OUI NON</p> <p>Précisez :</p> <p><u>Situation</u></p> <p><input type="checkbox"/> cour <input type="checkbox"/> place publique</p> <p><input type="checkbox"/> champs/pré <input type="checkbox"/> bois/forêt</p> <p><input type="checkbox"/> bordure de route <input type="checkbox"/> rond-point</p> <p><input type="checkbox"/> autre :</p> <p><u>Protection du puits</u></p> <p><input type="checkbox"/> aucune <input type="checkbox"/> abrité</p> <p><input type="checkbox"/> capot/plaque verrouillé</p> <p><input type="checkbox"/> capot/plaque non verrouillé</p> <p><u>Repère de mesure</u></p> <p><u>nature du repère</u></p> <p><input type="checkbox"/> margelle <input type="checkbox"/> sommet du tubage</p> <p><input type="checkbox"/> dalle en béton <input type="checkbox"/> sol</p> <p><input type="checkbox"/> sommet du tube piézométrique</p> <p><input type="checkbox"/> autre :</p> <p><u>Référence altimétrique</u></p> <p><input type="checkbox"/> margelle <input type="checkbox"/> sommet du tubage</p> <p><input type="checkbox"/> dalle en béton <input type="checkbox"/> sol</p> <p><input type="checkbox"/> autre :</p> <p>hauteur repère/point de mesure GPS :m</p>	<p>Localisation</p> <p>Commune 76114 BOLBEC</p> <p>Lieu-Dit RUE JACQUES FAUQUET</p> <p>X : 516871 Y : 6944639 Z : 63</p> <p>Projection: Lambert 93</p> <p>Longitude : 0,46883049 Latitude : 49,57456888</p> <p>Ouvrage</p> <p>Type d'ouvrage FORAGE</p> <p>Utilisation</p> <p>Profondeur 90 m Diamètre 113 mm</p> <p>Etat de l'ouvrage CREPINE.</p> <p>PROPRIETAIRE EUROL LEADER LAVAGE</p> <p>EXPLOITANT EUROL LEADER LAVAGE</p> <p>Mesure précédente</p> <p>Profondeur de l'eau à la dernière mesure 45 m</p> <p>Date de la dernière mesure 19/02/2014</p>
<p>Mesure</p> <p>profondeur de l'eau / repère :m</p> <p>date et heure de la mesure :</p> <p>profondeur du puits :m</p> <p>présence d'une pompe : OUI NON inconnu</p> <p><input type="checkbox"/> active débit de pompage :</p> <p>temps de pompage :</p> <p><input type="checkbox"/> inactive temps d'arrêt de pompage :</p> <p>présence de pompage aux alentours : OUI NON inconnu</p> <p><u>Commentaire et/ou contact</u></p>	<p>Photos (quand disponibles)</p>  <p>Carte de localisation</p> 

Figure 12: Exemple de fiche terrain

Des fiches vierges ont été ajoutées à la fin des classeurs pour renseigner d'éventuels niveaux piézométriques mesurés dans des ouvrages non recensés en BSS.

5.2.2. Organisation pratique

Les mesures ont été réalisées par 6 techniciens, la plupart sur 2 semaines, du 03 au 14 avril 2017. Les semaines qui ont suivies ont également permis de repasser dans certaines zones en déficit de mesures pour essayer de trouver des ouvrages non enregistrés en BSS.

Chaque technicien disposait d'un carnet de terrain, d'une sonde piézométrique de 100m (et éventuellement une de 150m) et d'un GPS centimétrique. Le GPS confié au technicien permettait

d'obtenir la localisation des puits (X,Y) et la cote du repère de mesure avec une précision décimétrique voire centimétrique.

5.3. BILAN DE LA CAMPAGNE

La campagne a eu lieu au mois d'avril 2017 (et jusqu'en juillet pour les dernières mesures). Les conditions climatiques se sont avérées particulières, avec un hiver exceptionnellement sec qui n'a pas permis de recharge des aquifères. Cette campagne prévue initialement en conditions de hautes-eaux a donc finalement eu lieu en conditions de basses-eaux.

A l'issue de la campagne, on dispose de 200 mesures piézométriques (nivellements de sources inclus) (Figure 13). Ce faible nombre de mesure s'explique par les caractéristiques hydrogéologiques de la région : la zone d'étude comprend en effet des plateaux où la profondeur de la nappe peut atteindre des profondeurs importantes allant par endroit jusqu'à plus de 100m. Les puits sont donc dans certaines zones rares, les citernes ayant été privilégiées pour l'alimentation en eau des maisons. De plus de nombreux puits ont été rebouchés, soit à cause d'un assèchement, soit du fait de l'arrivée de l'eau de ville qui a rendu l'utilisation de ces points d'eau obsolète.

Il faut également souligner le nombre important de forages agricoles parmi les points en plateaux. Ces ouvrages sont étroits et la présence d'une pompe empêche souvent l'accès à la nappe et par conséquent la mesure.

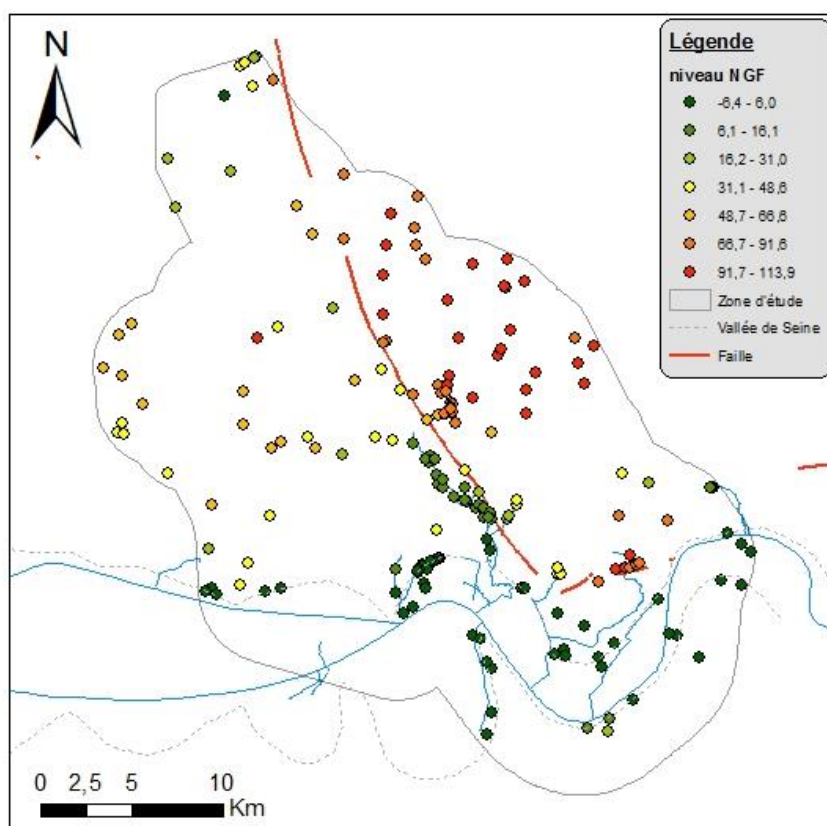


Figure 13: Points mesurés lors de la campagne piézométrique d'avril 2017

Les pompes des ouvrages exploités (eau potable, irrigation, industriel) n'ont parfois pu être arrêtées que peu de temps avant la mesure et le niveau statique n'était alors probablement pas atteint lors de la mesure. Dans ces cas, et lorsque cela était possible, le débit et le temps d'arrêt du pompage ont été notés, afin d'identifier les mesures éventuellement influencées par un pompage.

En raison des contraintes d'accès aux sites industriels, la réalisation des mesures au niveau de la zone industrielle pétrochimique de Port-Jérôme, en vallée de Seine, a dû être reportée de plusieurs semaines et a finalement eu lieu en juillet. Compte tenu de ce délai, les résultats n'ont pas pu être pris en compte dans ce rapport.

Les jaugeages ont été réalisés par la DREAL pour le Commerce et ses affluents, ainsi que pour la Brouisseresse. Le reste des jaugeages a été effectué par des agents du BRGM.

Les nivellements de cours d'eau ont également été réalisés par des agents du BRGM, à l'aide des GPS centimétriques.

6. Etablissement de la carte piézométrique

6.1. ETUDE DU ROLE HYDROGEOLOGIQUE DES FAILLES

La faille de Villequier, de par son rejet très important, constitue une barrière hydraulique. Le rôle de la faille de Fécamp-Lillebonne est en revanche incertain.

Plusieurs éléments permettent d'étudier le rôle de la faille, entre autres le gradient piézométrique et les pertes de débit de rivières.

Le gradient piézométrique évolue le long de la faille, et est maximum au Nord de Bolbec, de la même façon que le rejet de la faille. L'importance de ces gradients montre une influence de la faille sur la piézométrie de la région. Les deux hypothèses émises dans la bibliographie, à savoir une rupture nette de la piézométrie ou une augmentation importante du gradient au niveau de la faille, semblent donc vérifiées.

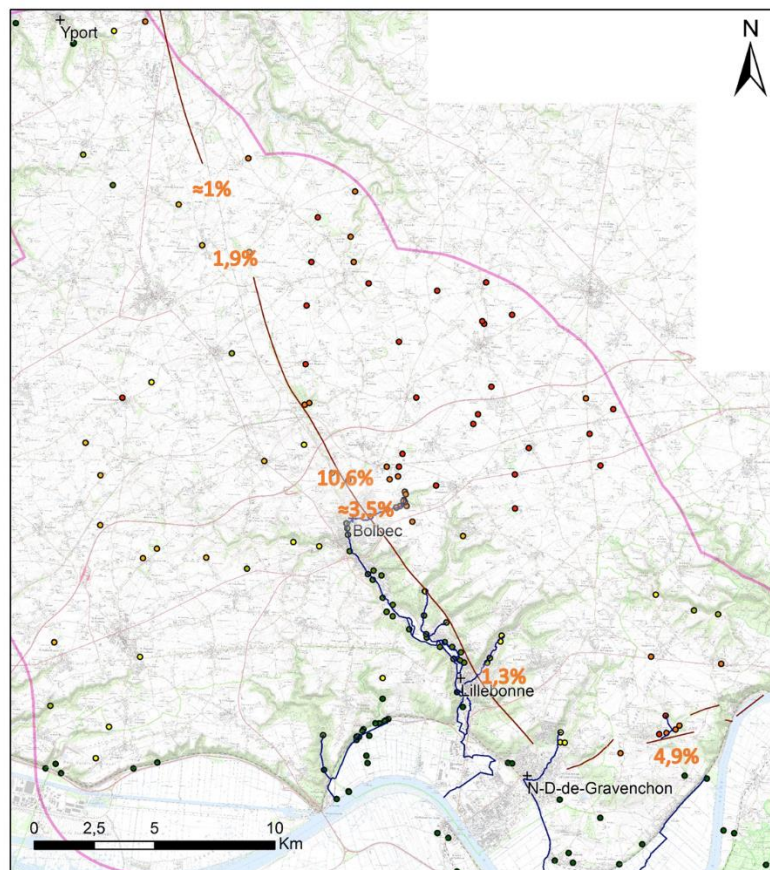


Figure 14: Gradients piézométriques au passage de la faille

L'étude de certaines rivières de la zone apporte aussi des éléments. Plusieurs ruisseaux, comme celui de Mirville, prennent en effet leur source sur le compartiment Est surélevé et s'écoulent jusqu'au compartiment affaissé où elles se perdent dans des bétoires (cf Figure 15). Cette configuration tend à montrer une remontée de la nappe avant la faille entraînant la formation de sources et une chute de la nappe au passage de la faille, les cours d'eau se perdant dans des bétoires pour rejoindre soit la nappe en profondeur soit des conduits karstiques.

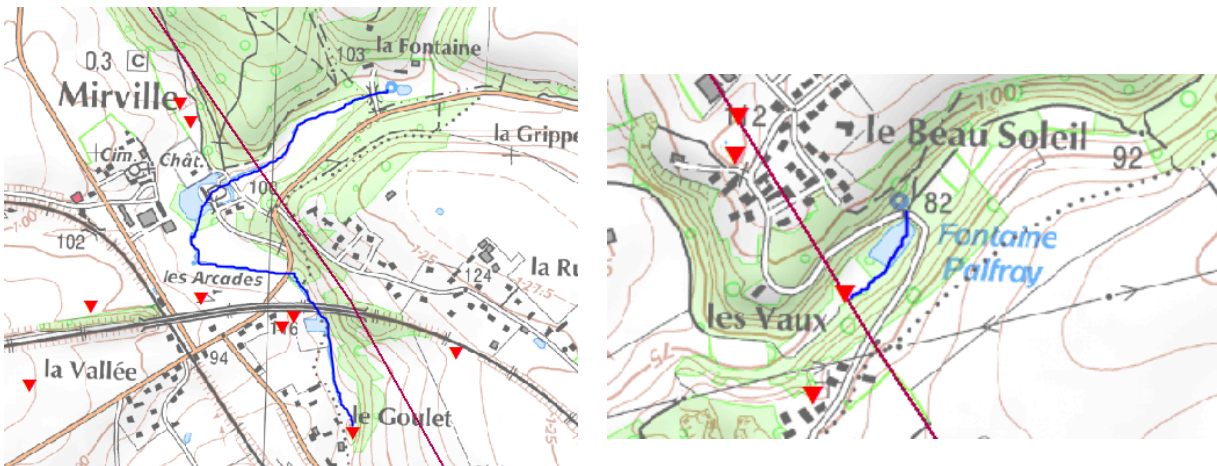


Figure 15: Analyse des pertes de rivières par rapport à la faille

Ces différentes observations ne permettent pas d'établir avec certitude le rôle de la faille sur l'ensemble de son tracé. On considère cependant que quelque que soit le rôle exact de la faille, elle entraîne toujours une perturbation de l'écoulement des eaux souterraines.

6.2. METHODE D'INTERPOLATION

L'interprétation des données collectées pendant la campagne de mesures a été réalisée sous ArcGis. Une interpolation a été réalisée pour obtenir une carte piézométrique de la zone. Une autre interpolation sera par la suite effectuée sous le logiciel du BRGM GDM (Geological Data Management) qui permettra un traitement plus poussé, prenant notamment en compte les variations du relief.

Il existe plusieurs méthodes d'interpolation, la plus couramment utilisée étant le krigeage, qui repose sur de la géostatistique.

ArcGis propose plusieurs méthodes d'interpolation, dont le krigeage.

La zone d'étude présente cependant une caractéristique importante que le krigeage a du mal à prendre en compte : la faille Fécamp-Lillebonne. Cette faille constitue, d'après les éléments dont on dispose, une perturbation de l'écoulement souterrain. Pour tenir compte de cet impact de la faille, Arcgis ne propose que peu d'options. La méthode Spline avec interruption permet d'entrer des axes d'interruption, ce qui entraîne une indépendance de l'interpolation de part et d'autre de cette structure. Cette méthode procède à l'interpolation de la surface par courbure minimum et passage exact par les points de mesures. Il a néanmoins été mis en évidence que cette méthode entraîne parfois la présence de dômes piézométriques au niveau de plateaux, ces dômes étant

parfois supérieurs à la topographie du terrain. Il convient donc d'être vigilant sur les résultats obtenus par cette méthode.

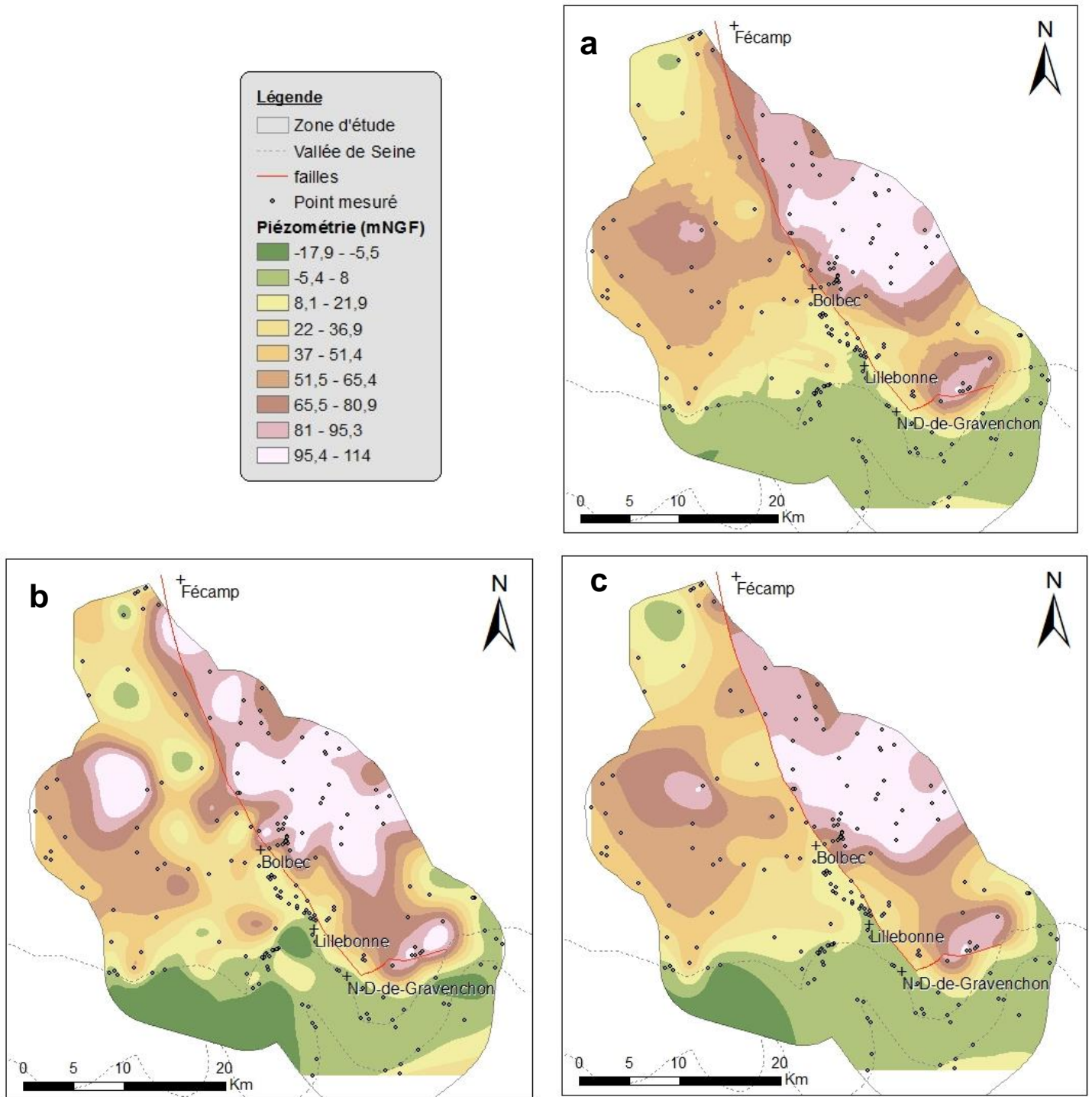


Figure 16 : Interpolations de la surface piézométrique obtenues par les différentes méthodes a) krigage, b) Spline , c) Spline avec interruption

6.3. INTERPOLATIONS ET CORRECTIONS

Les premières interpolations ont été réalisées avec les méthodes Krigeage, Spline et Spline avec interruption, afin de pouvoir comparer les résultats obtenus.

Une des vérifications faites dans un premier temps a été la vérification de la piézométrie interpolée par rapport aux profondeurs des puits secs mesurés sur le secteur.

Une dizaine de points ont présentés des incohérences, des corrections ont donc été appliquées, par extrapolation des valeurs de niveau disponibles en BSS par rapport aux chroniques des piézomètres suivis par le BRGM quand cela était possible, ou par la définition d'un niveau factice fixé quelques mètres en dessous de la profondeur du puits mesurée.

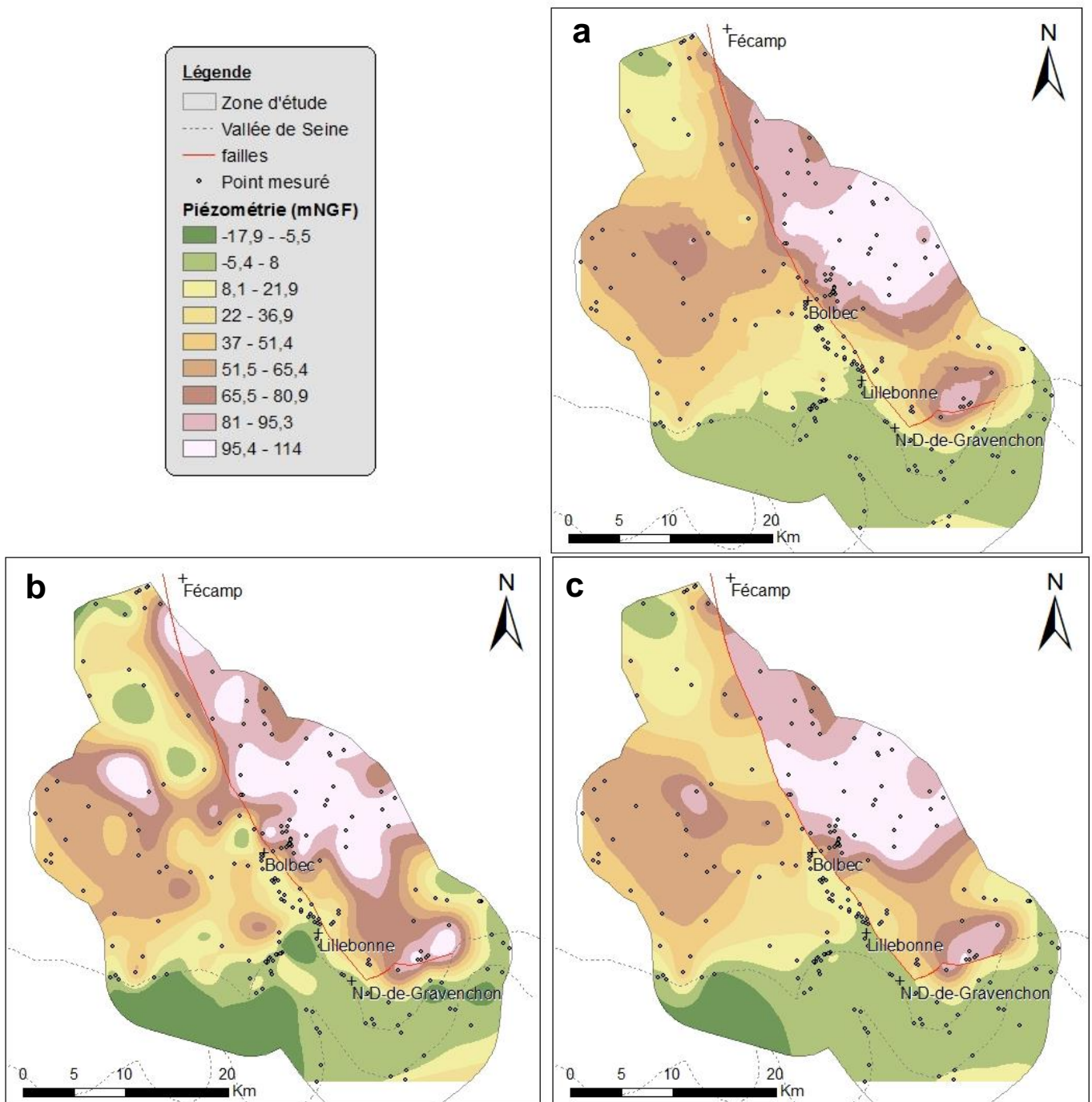


Figure 17: Interpolations de la surface piézométrique obtenues par les différentes méthodes après correction des valeurs en puits secs

a) krigeage, b) Spline, c) Spline avec interruption

Les cartes obtenues par krigeage et Spline avec interruption sont assez similaires. La méthode Spline simple donne en revanche une carte assez différente, avec des valeurs tendant plus vers les extrêmes. La vérification des valeurs interpolées par rapport à la topographie montre de plus que cette méthode entraîne un pic piézométrique particulièrement incohérent, puisque que dépassant le terrain naturel (cf Figure 18). Ce problème est certainement dû au mode d'interpolation qui essaye d'obtenir une courbure de la surface interpolée minimum, et qui gère donc mal la différence de piézométrie importante au passage de la faille.

L'introduction d'une interruption de l'interpolation au niveau de la faille donne donc de bien meilleurs résultats.

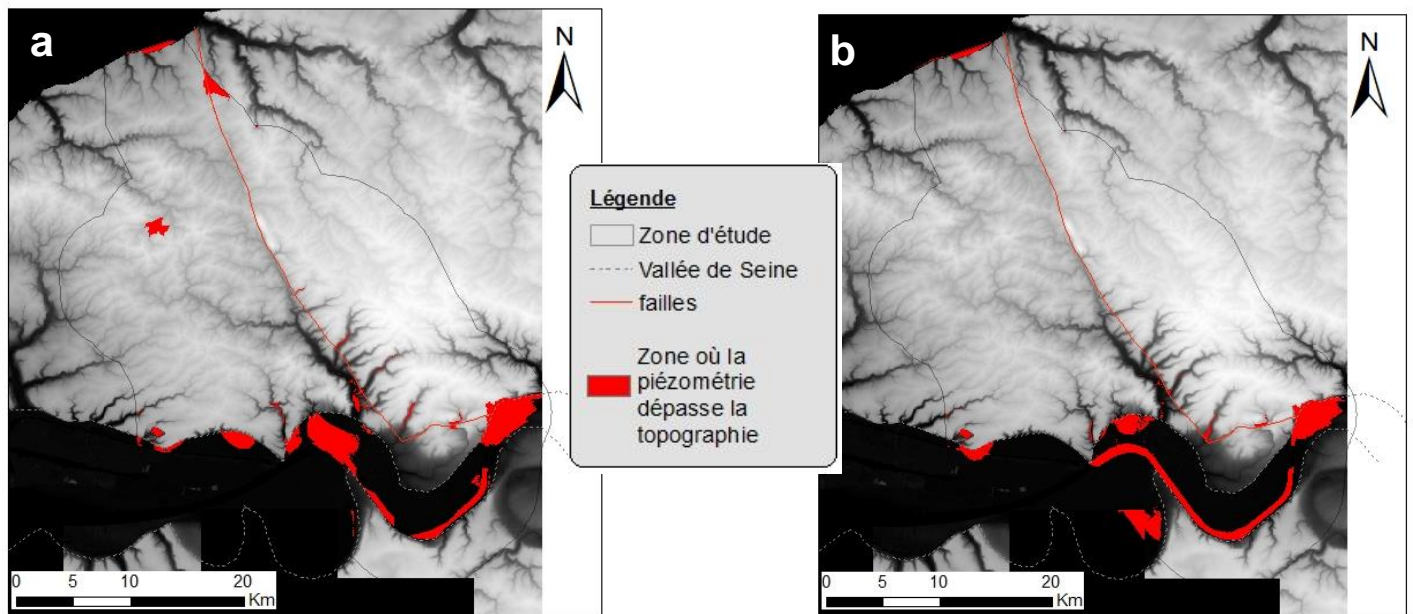


Figure 18: Comparaison de la cote du terrain naturel et de la cote piézométrique interpolée par la méthode a) Spline et b) Spline avec interruption

Les mesures obtenues lors de la campagne ne sont pas équitablement réparties et laissent plusieurs zones, notamment les plateaux, dépourvues de points de mesures.

On a cherché à densifier ces zones en extrapolant les valeurs de niveau d'eau enregistrées en BSS, qui correspondent le plus souvent au niveau rencontré lors de la création du forage. L'extrapolation s'est appuyée sur les chroniques piézométriques disponibles sur les 3 piézomètres suivis par le BRGM dans la région. Une attention a été portée sur la localisation du point dans le bloc affaissé ou surélevé, ces derniers ne variant pas tout à fait de la même façon.

Ces extrapolations ont ainsi conduit à ajouter 20 nouveaux points.

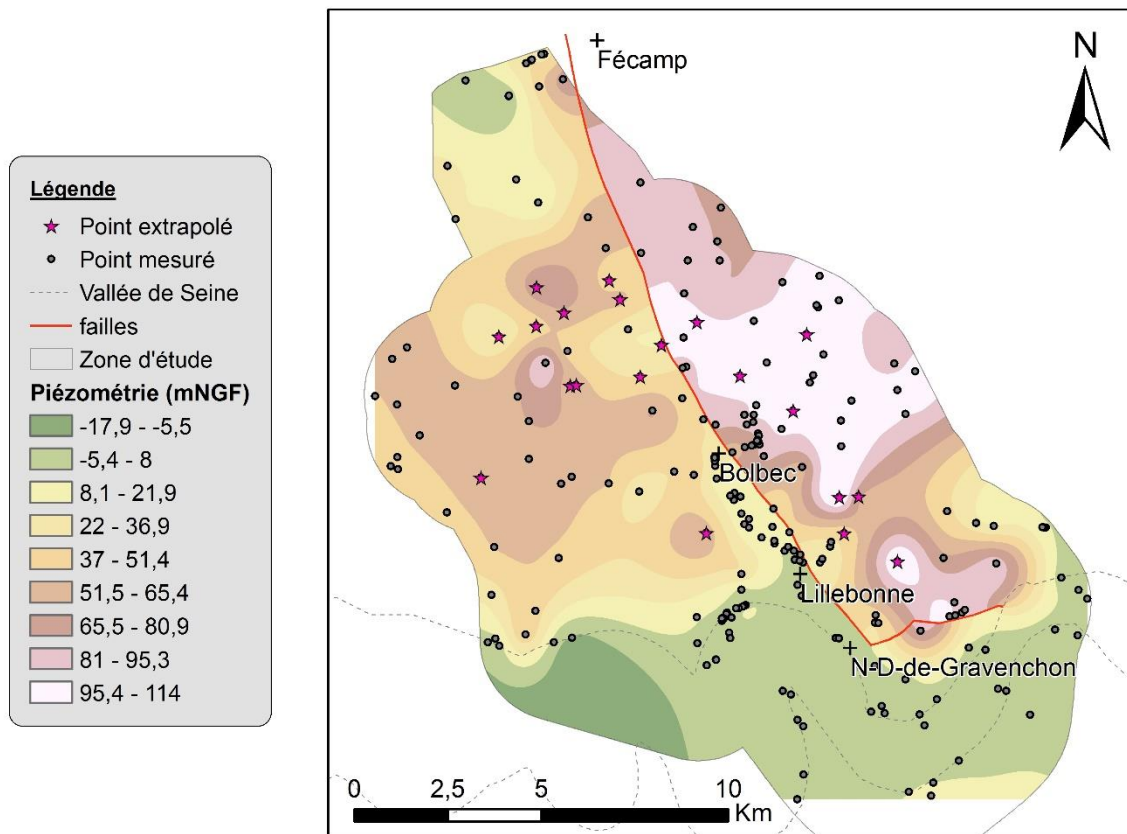


Figure 19: Interpolation de la surface piézométrique obtenue par la méthode Spline avec interruption après ajout de valeurs supplémentaires

Enfin, une dernière vérification a été réalisée sur les points signalés en pompage lors de la campagne. La valeur mesurée lors de la campagne a été comparée à la valeur obtenue par extrapolation de la valeur enregistrée en BSS. Cette vérification n’a pas mis en évidence de grosses différences en dehors de 2 points, dont l’un pour lesquels la valeur a alors été corrigée, et l’autre qui a été supprimé faute de valeur enregistrée en BSS.

Ce type de valeurs influencées par un pompage peut également être repéré sur les interpolations, se traduisant par une incohérence des courbes piézométriques au niveau d’un des points mesurés (cf Figure 20).

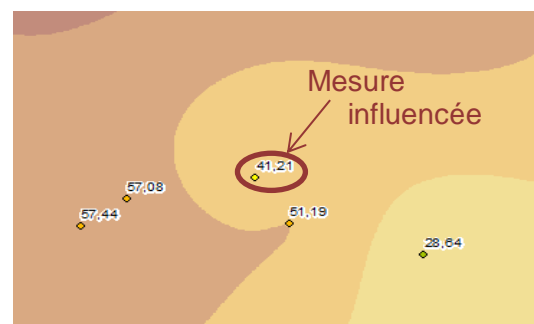


Figure 20: Exemple de perturbation des courbes piézométriques due à une mesure influencée par un pompage

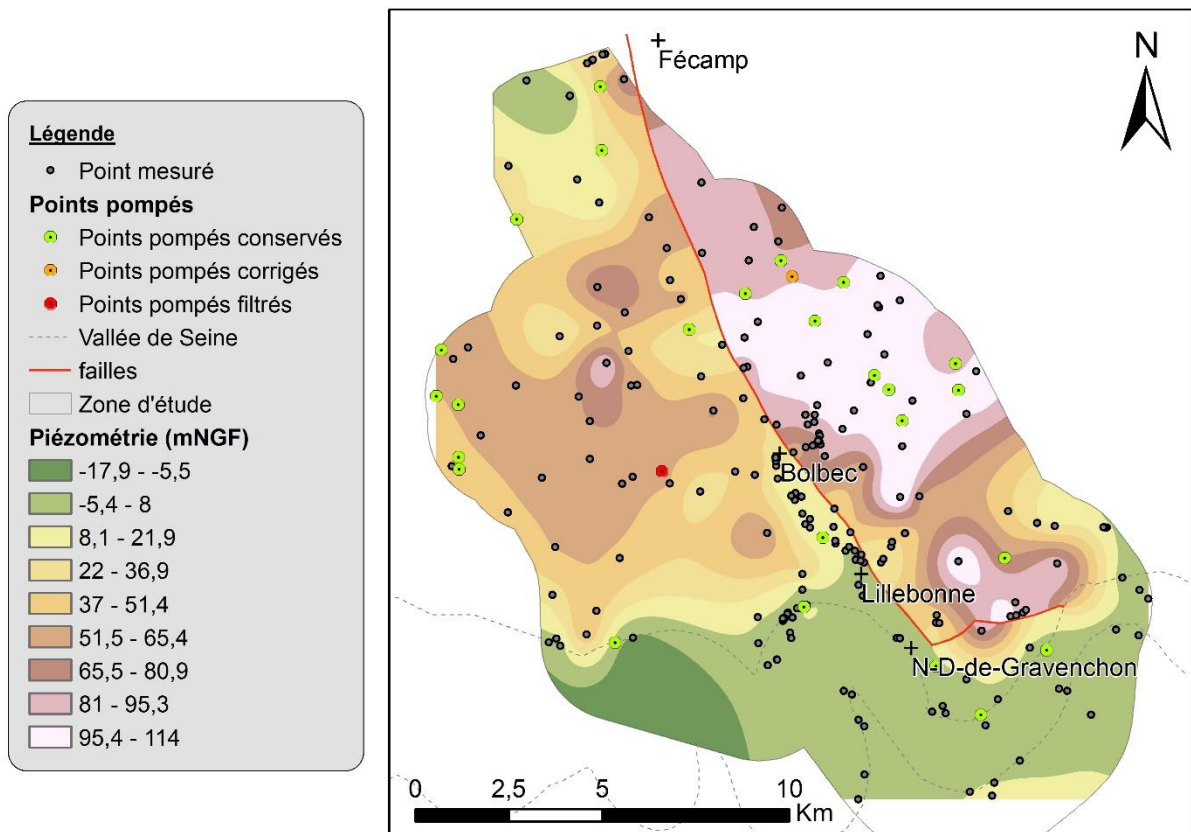


Figure 21: Interpolation de la surface piézométrique obtenue par la méthode Spline avec interruption après vérification et correction des points pompés

Les cartes finales obtenues par les deux méthodes (krigeage et Spline avec interruption) sont assez similaires en termes de reliefs relatifs (cf Figure 23 et Figure 22). Les altitudes piézométriques interpolées en revanche varient. Le fait que la méthode avec interruption soit cohérente avec les résultats de la méthode du krigeage semble confirmer le rôle de barrière hydraulique de la faille.

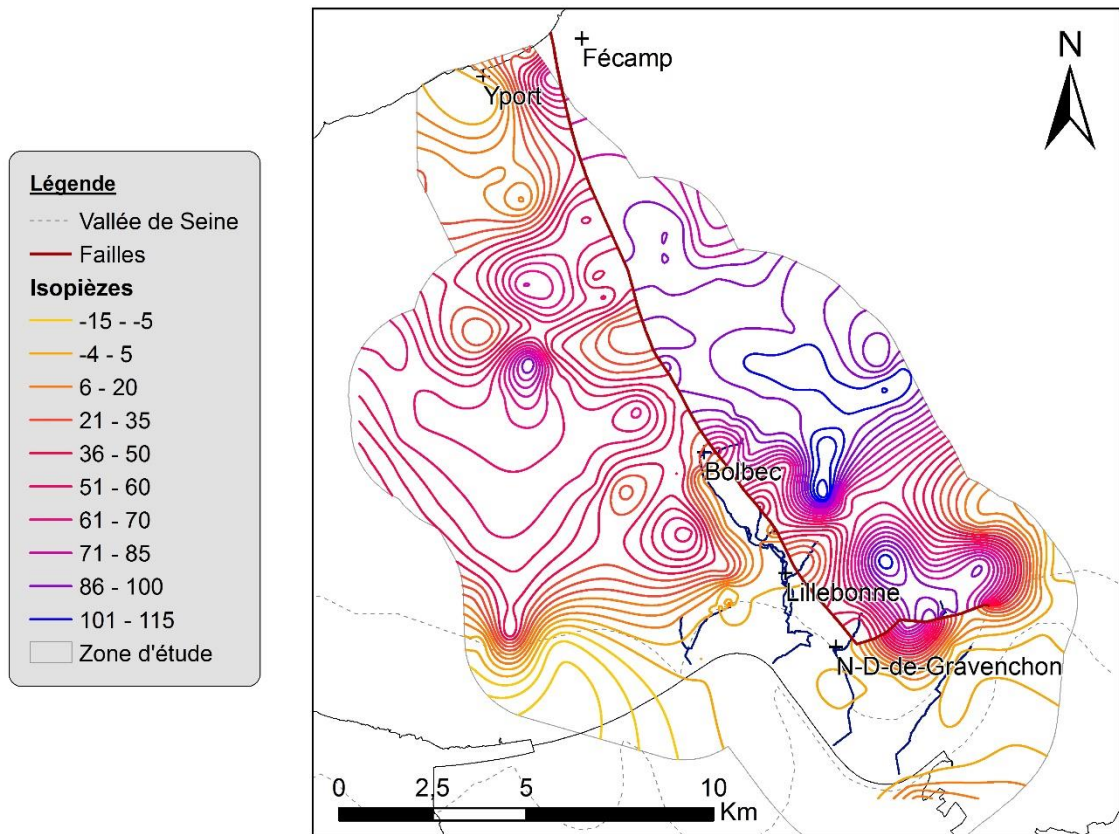


Figure 23: Carte piézométrique finale obtenue par la méthode Spline avec interruptions - Isopièzes à 5m

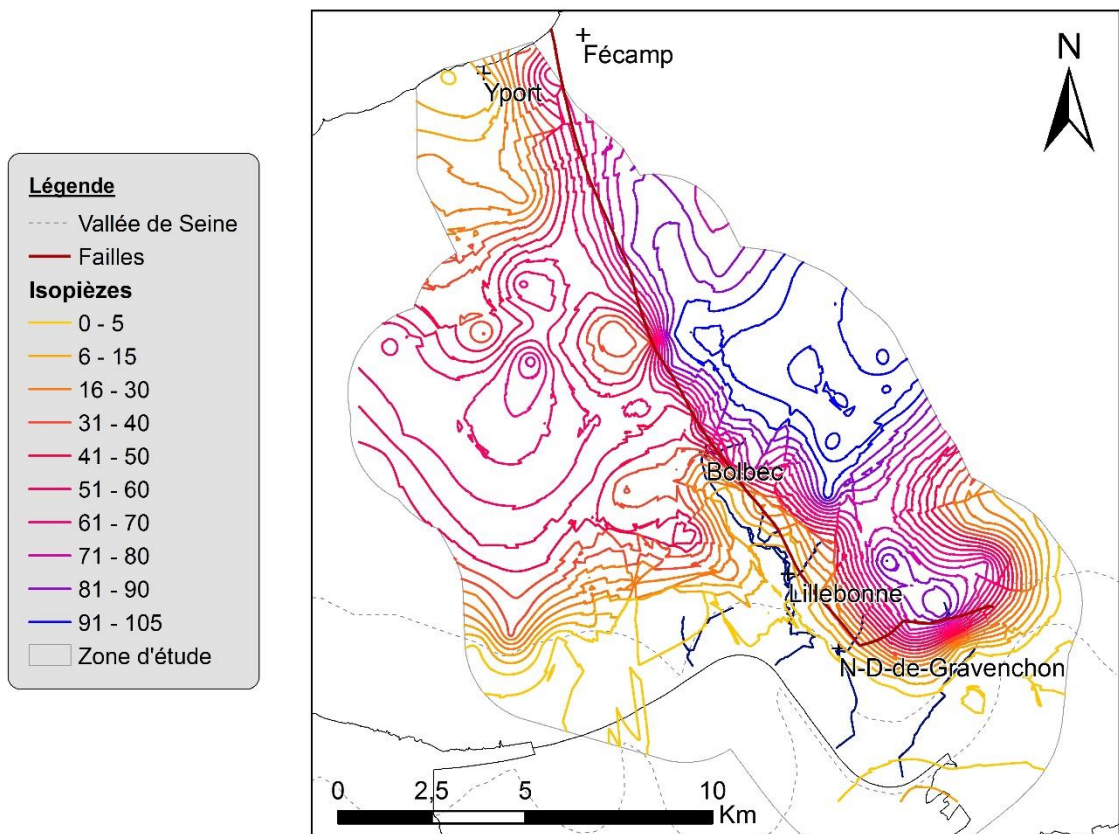


Figure 22: Carte piézométrique finale obtenue par la méthode Krigeage - Isopièzes à 5m

6.4. DISCUSSIONS

L'exactitude de la carte obtenue peut être discutée à plusieurs niveaux.

D'une part, le manque de mesure par endroit, notamment au niveau des vallées, ne permet pas de rendre compte des variations locales de piézométrie.

L'utilisation d'Arcgis pour l'interpolation de la surface piézométrique est également moins précise que certains logiciels spécialisés. C'est pourquoi il est prévu pour cette étude qu'un expert du BRGM réalise les cartes piézométriques finales à l'aide du logiciel GDM, qui permettra le contrôle de plus de paramètres tels que la topographie.

Les méthodes d'interpolation proposée par Arcgis ne présentent également que des options limitées. Il n'est par exemple possible de demander que l'interpolation par krigeage passe exactement par les valeurs en entrée. En comparant les valeurs mesurées avec les valeurs obtenues par interpolation au niveau des points de mesures, on remarque donc qu'il peut y avoir des écarts allant jusqu'à 18m (cf Tableau 2).

Tableau 2: Ecart absolu relevés entre les mesures réelles et les valeurs interpolées par les méthodes de krigeage et de Spline avec interruption sous Arcgis

Ecart absolu Valeurs mesurées/interpolées (nombre de points par classe)		
(m)	Krigeage	Spline avec interruption
[5 ; 18]	38	0
[1 ; 5]	98	0
[0,5 ; 1]	36	4
[0,1 ; 0,5]	39	32
[0 ; 0,1]	17	192

Enfin afin d'obtenir une carte la plus cohérente possible, plusieurs corrections ont été appliquées, ajoutant chacune des incertitudes. C'est ainsi 41 points sur 229 qui sont intégrés dans l'interpolation finale avec des valeurs corrigées, soit 18% des valeurs.

En dépit des quelques complications durant le déroulement de la campagne, celle-ci a permis l'établissement d'une carte piézométrique du bassin du Commerce plus détaillée que la carte régionale existante. L'analyse des données mesurées, si elle n'a pu vraiment éclaircir le cheminement de la pollution de 2012, semble toutefois confirmer le rôle de barrière hydraulique de la faille de Fécamp-Lillebonne. Aucun indice ne semble en revanche venir étayer l'hypothèse d'un rôle drainant de la faille. En l'absence de ce drainage, une hypothèse qui subsiste quant à la diffusion de la N-Nitrosomorpholine en 2012 est une diffusion par le biais des réseaux karstiques.

7. Qualification et quantification des échanges nappe/rivières

Les études menées dans le secteur de la vallée du Commerce visent à comprendre les dynamiques hydrauliques qui ont lieu, notamment pour comprendre les voies de diffusion possibles d'une pollution. Parmi les voies possibles, un transfert de polluant par une rivière dont les eaux se perdent ensuite vers la nappe est envisageable. Pour étudier ce point, des mesures de nivellement de la ligne d'eau et des jaugeages ont été réalisés sur les rivières de la zone étudiée.

7.1. QUALIFICATION DES ECHANGES NAPPE/RIVIERE PAR COMPARAISON DE LA LIGNE D'EAU ET DES NIVEAUX DE LA NAPPE

L'analyse de l'écart qui existe entre le niveau piézométrique au droit de la rivière et la ligne d'eau de celle-ci permet de fournir des éléments pour estimer en première approche le lien hydraulique éventuel qui existe entre la nappe et la rivière. Cette analyse peut également apporter des éléments par rapport à l'orientation du gradient hydraulique et au sens des échanges de flux entre les eaux souterraines et les eaux de surface.

Les mesures de nivellements des cours d'eau effectuées pendant la campagne et les interpolations de surface piézométrique réalisées précédemment ont permis de tracer un profil nappe/rivière.

Le profil réalisé montre un décrochement significatif de la nappe par rapport au niveau du Commerce sur environ la moitié de son parcours (cf Figure 24). L'écart d'altitude maximal est d'environ 15m, au niveau de Gruchet-Le-Valasse. Il est important de noter que bien que réalisées au printemps, ces mesures correspondent à une période de basses-eaux, elles constituent donc probablement un décrochement maximal à l'échelle d'une année hydrologique moyenne.

Cette déconnexion est observée depuis le début du cours d'eau jusqu'à l'amont de Lillebonne. On remarque toutefois qu'en amont de la zone faillée à Bolbec, la différence de niveau reste faible, avec de possibles reconnections localisées. Compte tenu de ces éléments, il est possible d'imaginer un régime variable selon les périodes, les échanges se faisant tantôt dans le sens nappe-rivière, tantôt dans le sens rivière-nappe, avec éventuellement une traversée de terrains alluvionnaires.

Une reconnexion nappe/rivière semble toutefois avoir lieu entre les faisceaux de failles F2 et F3.

La reconnexion théorique nappe/rivière se fait en amont de Lillebonne, au niveau du captage du Becquet, soit au niveau du ruisseau des Aulnes. Cette observation est en accord avec les informations trouvées en bibliographie.

On remarque que la méthode Spline avec interruption occasionne des effets de bord au niveau de la faille principale, sur les profils du Commerce et de la Vallée. Les résultats restent sinon assez proches de ceux obtenus avec la méthode du krigeage.

Les profils tracés pour les ruisseaux des Aulnes et de la Vallée montrent tous deux une connexion avec la nappe. Le profil du ruisseau des Aulnes est assez plat et montre les imprécisions de l'interpolation, la piézométrie se retrouvant par endroit à 1m au-dessus de la ligne d'eau.

Pour les autres rivières du territoire étudié, les mesures n'ont pas été concluantes pour le traçage de profils nappe/rivière. Le niveau du Hannebot par exemple est très influencé par la marée, de même que la piézométrie dans cette zone, où très peu de points sont de plus disponibles. Le Vivier a été nivelé mais sa vallée étroite ne dispose pas de point piézométrique et est donc gommée par l'interpolation sous Arcgis. La comparaison des niveaux piézométriques et de ligne d'eau est donc inutile. Il pourra cependant être intéressant de réaliser ce travail avec les valeurs de piézométrie interpolée par GDM.

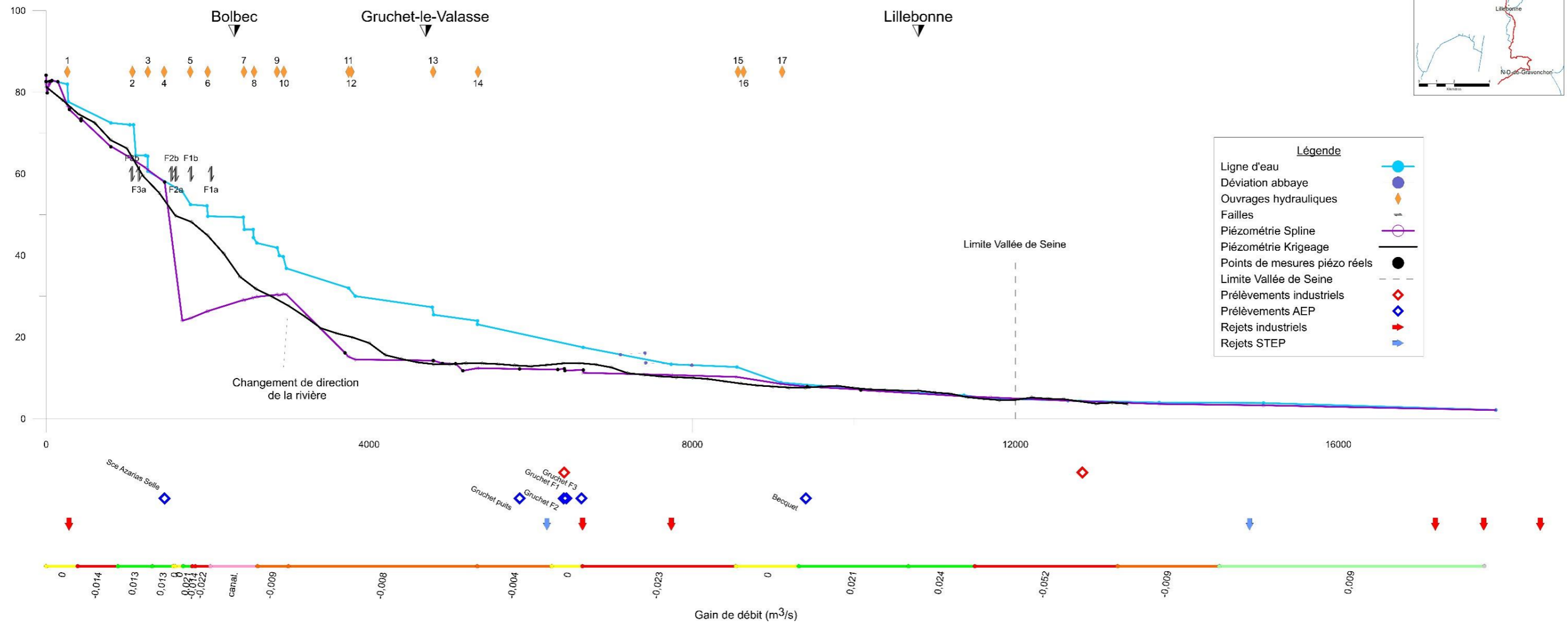


Figure 24: Profil nappe/rivière et gains de débit de la rivière du Commerce

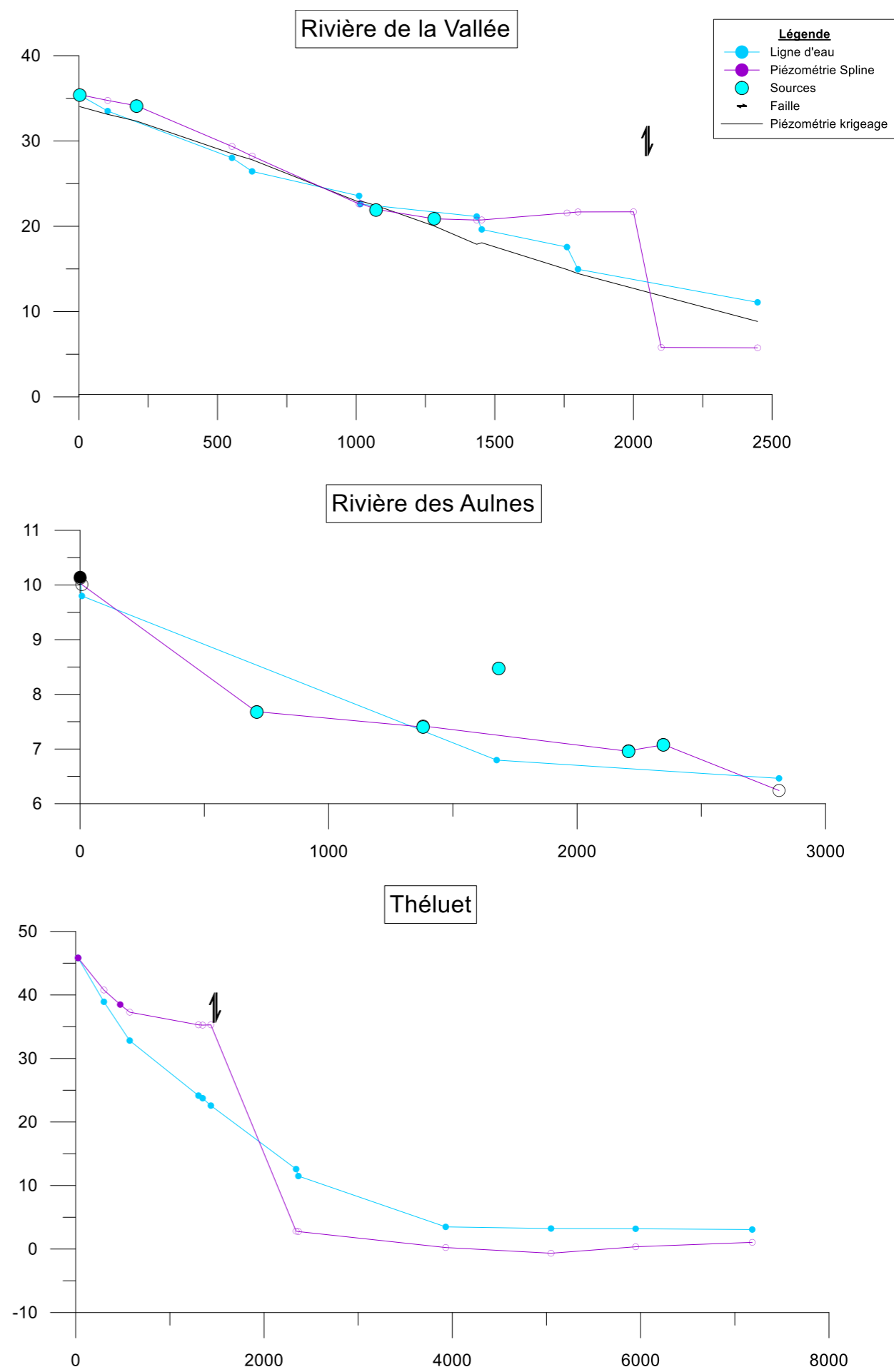


Figure 25: Profil nappe/rivière des rivières des Aulnes, de la Vallée et du Théluet

7.2. QUANTIFICATION DES RELATIONS NAPPE/RIVIERE PAR ANALYSE DES RESULTATS DE LA CAMPAGNE DE JAUGEAGE

Les échanges entre la nappe et la rivière ne sont plus ici abordés en comparant les altitudes des niveaux d'eau, mais par étude de l'évolution du débit du cours d'eau entre deux points de mesures. Cette méthode permet une approche plus quantitative et vérifiable que la précédente.

L'analyse des résultats de la campagne de mesure de débits sur les rivières de la zone d'étude permet ainsi de localiser les principales zones de gain/ perte de débits, où ont donc lieu des échanges nappe/rivière. Le principe consiste à calculer la différence entre 2 points de jaugeage à laquelle on retranche également les éventuels apports de débits des affluents.

La campagne ayant eu lieu pendant une période de basses-eaux importantes, les débits dans les rivières étaient faibles. Les différences calculées doivent donc être considérées en prenant en compte les incertitudes de mesure.

Les calculs de variations de débit ont été réalisés de deux façons, en soustrayant les débits des sources jaugées ou non. La version sans les débits de sources permet d'étudier les échanges nappe/rivière par le lit de la rivière.

Les catégories de débits choisies sont les suivantes :

Tableau 3: Légende des classes de gains de débit

Gain de débit (m ³ /s)	
<0,01	pas de données
[-0,01 ; -0,002]	Tronçon canalisé
[-0,002 ; +0,002]	tronçon sec
[0,002 ; 0,01]	
[0,01 ; 0,1]	
[0,101 ; 0,231]	

Sur le Commerce et ses affluents, les zones de gains/pertes sont cohérentes avec les zones définies grâce aux profils nappe/rivières. Des gains de débits sont en effet observés juste en amont de la faille à Bolbec et à partir du niveau du ruisseau des Aulnes. La Vallée est également en gain de débit sur sa partie amont.

Il y a peu de zones de pertes importantes, avec une perte maximale relevée de -0,052 m³/s. Ces zones de pertes se situent juste à l'aval du site ORIL, en amont du Commerce, au niveau de l'abbaye du Valasse et à l'aval de l'agglomération de Lillebonne. La zone de perte observée au niveau de l'abbaye du Valasse a lieu peu avant la reconnexion avec la nappe. Il est donc possible que le rapprochement des deux entités hydrauliques facilite des échanges, à travers des terrains humides par exemple.

La zone de perte située à l'aval de Lillebonne après la confluence avec le Commerce ressort ici importante mais étant située à l'aval de la rivière, la perte mesurée reste faible par rapport au débit (-0,052 m³/s pour 0,642 m³/s, soit 8% du débit). Cette perte n'est pas expliquée, l'une des hypothèses possibles étant un drainage de la rivière dû à la proximité de la vallée de Seine et de sa nappe alluviale.

Les cours d'eau du Vivier et de la Brouisseriesse sont tous deux en gain de débit, ce qui est cohérent avec la présence de nombreuses sources en pied de coteau (captages de Radicatel) et dans la vallée du Vivier, qui comporte une importante zone humide.

Les résultats obtenus sur le Théluet ne permettent pas réellement de conclure sur les échanges nappe/rivière. L'amont est en gain de débit, avec plusieurs sources qui alimentent le cours d'eau. En revanche le tronçon suivant présente une évolution quasi nulle et le suivant un faible gain, peut-être lié à l'arrivée en vallée de Seine. Le dernier tronçon est en perte mais ce résultat est probablement influencé par la marée. Une influence de la marée sur les niveaux d'eau et donc les débits a en effet été relevée pendant la campagne.

De même, le Hannetot est un cours d'eau situé exclusivement en vallée de Seine, et est donc influencé par la marée. La perte observée sur le tronçon jaugé peut également être causée par les nombreux canaux de drainage existants dans les champs environnants le cours d'eau.

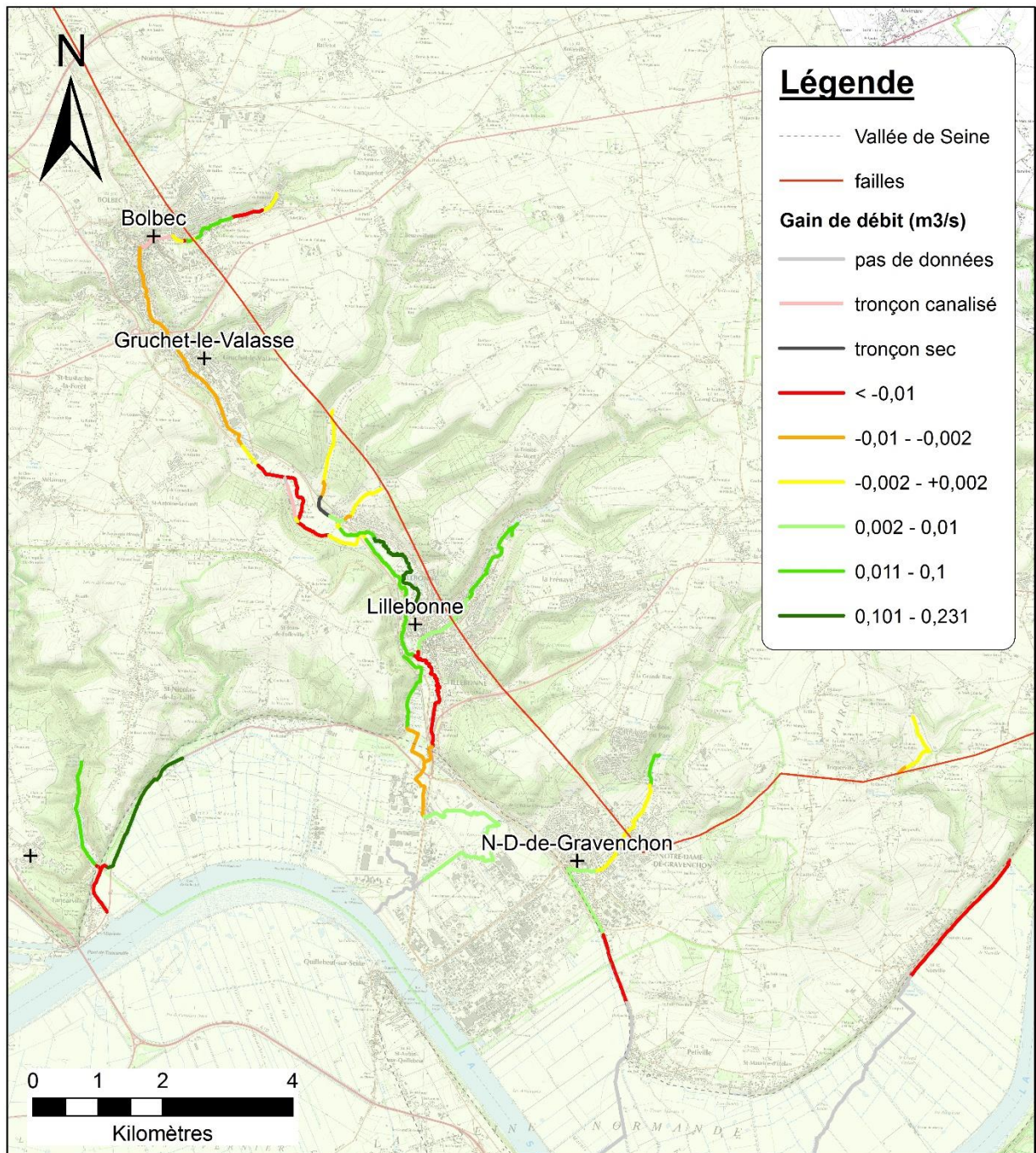


Figure 26: Pertes et gains de débit le long des rivières du SAGE Commerce - Campagne de jaugeage d'avril 2017

8. Analyse des liens entre la structure et l'hydrologie

L'interprétation des données acquises lors des investigations géophysiques de fin 2016 a fourni de nouvelles informations quant à la structure géologique et tectonique de la région de Bolbec. Ces nouvelles informations apportent une nouvelle compréhension de l'hydrogéologie de la zone.

L'observation de la localisation des sources à proximité de la vallée du Commerce permet de distinguer 4 groupes principaux (cf Figure 28). Un premier groupe correspond aux sources d'émergence de pied de coteaux au niveau de la vallée du Commerce ; le deuxième groupe correspond à des sources localisées juste avant la faille principale, dans le compartiment surélevé ; le troisième groupe regroupe les sources situées plus en amont de la faille toujours dans le compartiment surélevé, généralement au niveau de l'amont des vallées annexes.

Les sources de Beausoleil et de Bolbec sont situées entre les faisceaux de failles F2 et F3. Cet emplacement correspond à la structure anticlinale mise en évidence lors des investigations géophysiques de 2016. Cette remontée des terrains sous-jacents entraîne probablement une hausse locale du niveau de la nappe, qui est ensuite recoupée par les vallées, causant ainsi les sources observées.

La source de Mirville, plus au nord, est située à peu près à la même distance de la faille principale F2. Il est donc possible que cette source soit également liée cet anticlinal.

Le groupe de sources amont, situées en amont des rivières du Commerce et du Théluet et sur la Vallée peut peut-être être subdivisé en 2 sous-groupes. D'une part les sources situées en amont du Commerce et de la Vallée, qui sont certainement des sources liées à l'incision des vallées ou au recoupement d'un niveau de discontinuité dans la craie. Pour les sources situées plus bas sur la Vallée et à l'amont du Théluet, ces explications sont également une hypothèse plausible. On peut cependant également se demander pour ces dernières si elles pourraient plutôt correspondre au groupe des sources liées à l'anticlinal. Cette hypothèse impliquerait néanmoins un élargissement de la structure anticlinale vers le Sud de Bolbec, ces sources étant plus éloignées de la faille que celles de Bolbec (plus de 600m contre 300m). Ce dernier point devra être étudié par un géologue afin d'en déterminer la possibilité.

Les sources des ruisseaux du Becquet et de la Fontaine murée sont quant à elles situées juste après la faille, voire sur la faille. Ces sources sont donc probablement des sources issues de la fracturation.

En analysant plus en détail les zones de gains et pertes de débit sur le Commerce au niveau de la zone de failles, on s'aperçoit que les gains sont situés au même endroit que les sources, y compris dans le calcul ou on soustrait le débit des sources. Ces gains ont lieu entre F3 et F2. On remarque au contraire qu'entre F2 et F1, on trouve une zone de perte. C'est également dans cet axe que l'on retrouve de nombreuses bétoires au Nord de Bolbec, notamment les bétoires des ruisseaux de Beausoleil et de Mirville vus en partie 6.1.

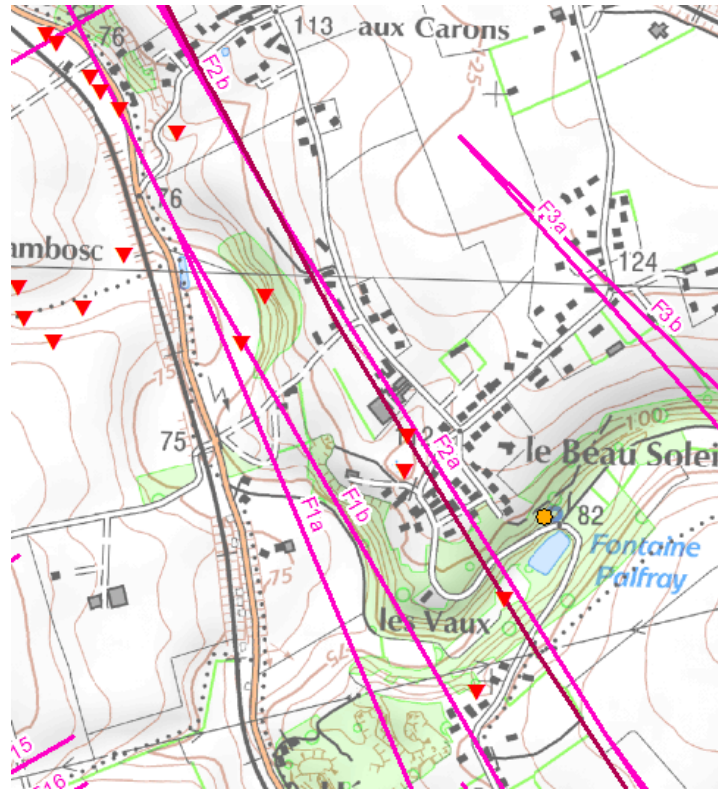


Figure 27: Localisation des bétoires de Beausoleil vis à vis des failles mises en évidences par les investigations géophysiques

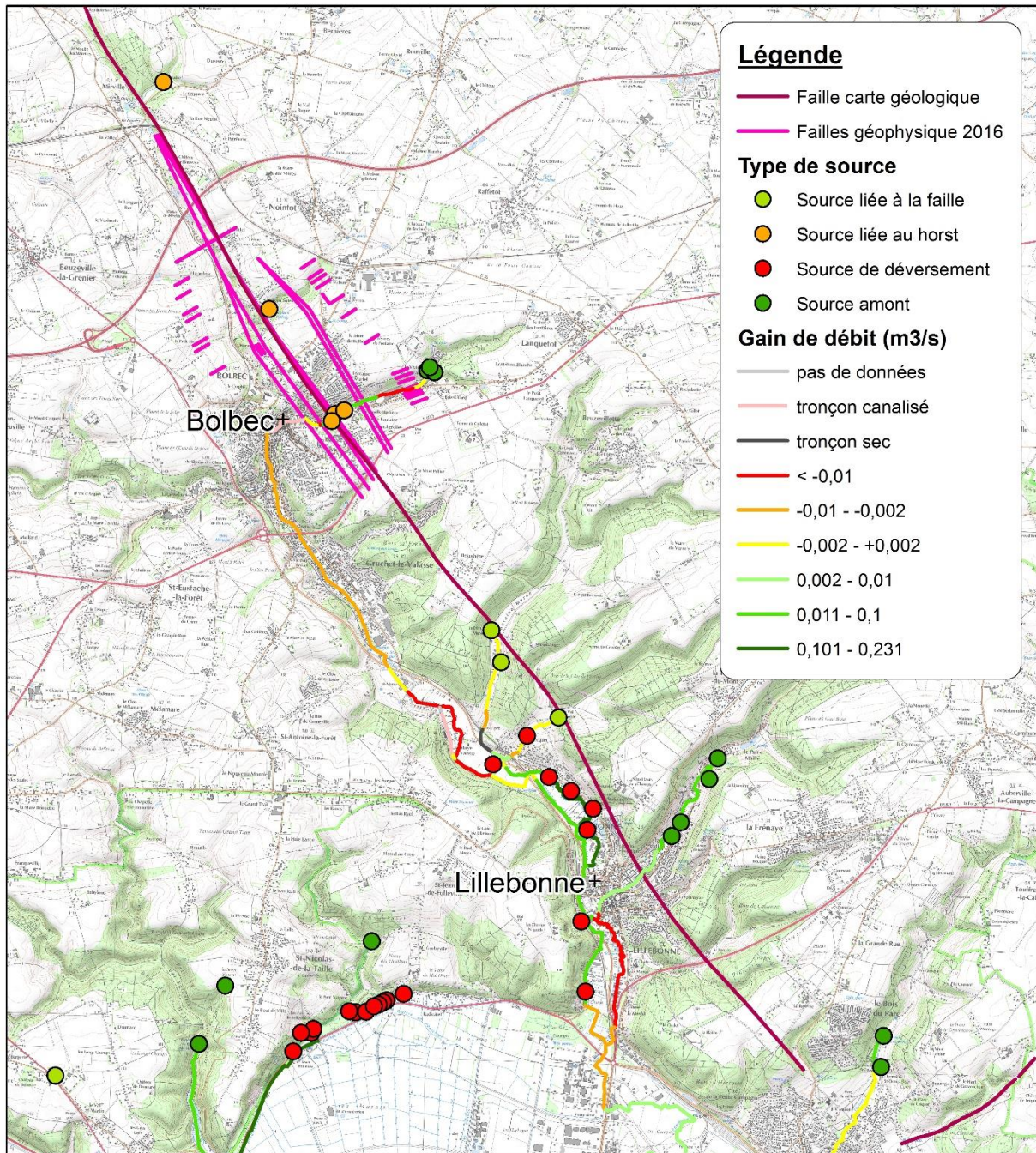


Figure 28: Carte des sources de la Vallée du Commerce classée par types selon le lien avec la structure géologique

Ces différentes observations montrent bien qu'il existe un lien fort entre la structure géologique de la région et les échanges eaux superficielles et souterraines ainsi que les écoulements souterrains.

9. Recommandations pour la prochaine campagne

La campagne de mesures réalisées cette année était la première campagne de mesures réalisées dans le cadre de ces études. Afin d'aboutir à une représentation correcte des dynamiques de la zones, il est nécessaire d'avoir des données lors des deux conditions extrêmes d'une année hydrologique : période de hautes-eaux, où le niveau des nappes et des rivières est important, généralement après la période de recharge hivernale des nappes et période de basses-eaux, généralement après l'été.

Le premier point important qui ressort de la première campagne est donc la période hydrologique où réaliser cette seconde campagne. En effet compte tenu des conditions exceptionnelles pendant lesquelles s'est déroulée la première campagne, les conditions de hautes-eaux attendues se sont avérées finalement être des conditions de basses-eaux, la recharge hivernale n'ayant pas eu lieu. Pour disposer de données en hautes et basses-eaux, il sera donc nécessaire de changer la période prévue pour la seconde campagne et ainsi espérer obtenir des conditions de hautes-eaux.

L'analyse des résultats de cette campagne de mesures a également permis de mettre en évidence des points sur lesquels porter plus d'attention lors de la seconde campagne qui doit avoir lieu l'an prochain.

Piézométrie

Au niveau des points de mesures piézométriques, il sera important de contacter les industriels de la zone pétrochimique de Port-Jérôme bien plus en avance que lors de cette campagne. Les contraintes d'accès aux sites industriels ont en effet entraînés des reports de plus de 2 mois des mesures. Il n'était pas très gênant de réaliser ces mesures aussi tardivement par rapport au reste de la campagne, les conditions de basses-eaux importantes entraînant peu de variations des niveaux de nappes. En conditions de hautes-eaux, un tel délai serait problématique et entraînerait des imprécisions dans la carte piézométrique finale.

Pour le reste des points de piézométrie, les zones pauvres en points lors de cette campagne ont déjà fait l'objet de recherches approfondies lors de cette campagne, généralement sans grand succès. Une attention particulière devra être portée sur les déclarations de forages qui pourraient être faites dans la zone d'étude d'ici la prochaine campagne.

Jaugeages

L'analyse des jaugeages a mis en évidence des tronçons qu'il serait intéressant de redécouper.

Sur le ruisseau de la Vallée notamment, seules 3 mesures ont été réalisées, une à l'amont du ruisseau, une un peu avant la faille et une dernière juste avant la confluence avec le Commerce dans Lillebonne. Ce dernier tronçon présente une évolution quasi nulle du débit, mais il est impossible de déterminer si cela correspond à une perte de débit au niveau de la faille puis à un

gain de débit après la faille ou non. Il faudra donc préciser ce point en ajoutant si possible un point de jaugeage juste en aval de la faille.

Sur le Théluet également, le tronçon qui est traversé par la faille présente une évolution nulle, on retrouve donc la même problématique.

10. Conclusion

L'étude menée sur le bassin versant du Commerce a montré la grande complexité du territoire. Cette étude vise à approfondir les connaissances sur ce territoire complexe afin d'y améliorer la gestion de la ressource en eau. Une meilleure connaissance des dynamiques hydrogéologiques permettra également de prévoir au mieux la diffusion d'une pollution telle que celle survenue en 2012 à Bolbec et d'agir au mieux pour protéger les ressources utilisées pour l'alimentation en eau potable de la région.

La campagne de mesures menée au printemps 2017 a permis d'apporter de nouvelles connaissances sur la piézométrie de la zone, par la réalisation d'une carte piézométrique, ainsi que sur les échanges eaux superficielles/eaux souterraines au niveau des rivières du territoire, en permettant notamment de localiser des zones d'alimentation de la rivière par la nappe, et inversement. Ces échanges ont également été mis en relation avec les structures mises en évidence lors des investigations géophysiques de fin 2016.

La seconde campagne de mesures qui doit avoir lieu l'an prochain permettra d'affiner ces connaissances par la réalisation d'une seconde carte piézométriques dans d'autres conditions hydrologiques, et en affinant les connaissances sur les échanges nappes/rivières.

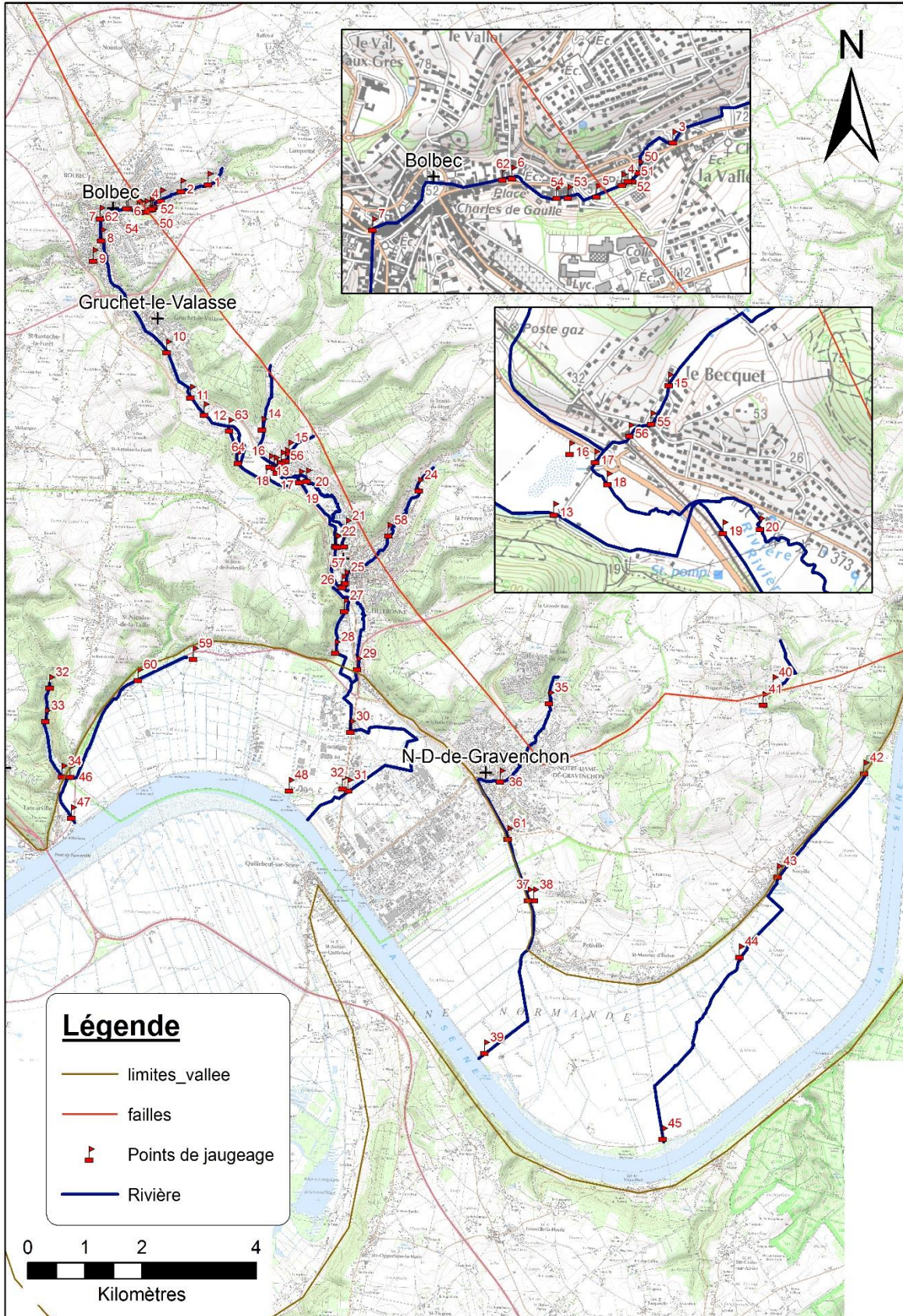
Bibliographie

1. Le BRGM, service géologique national | BRGM. [en ligne]. [Consulté le 15 juin 2017]. Disponible à l'adresse : <http://www.brgm.fr/brgm/le-brgm-service-geologique-national/brgm-service-geologique-national>
2. SAGE de la vallée du Commerce - Plan d'Aménagement et de Gestion Durable. 14 octobre 2017. SAGE de la vallée du Commerce - Plan d'Aménagement et de Gestion Durable approuvé par l'arrêté préfectoral du 14 octobre 2015
3. MEIRE, B., PORTAL, A., JACOB, T., PAQUET, F. et DAVID, P.-Y. RP-67087-FR: *Fonctionnement de l'hydro-système, interactions et cheminements des eaux naturelles et de la n-nitrosomorpholine dans le secteur de la Faille de Lillebonne – Fécamp (76) – Volet géologique*. Rapport provisoire. BRGM, [sans date].
4. Etude 1809-phase 2: *Etude des ressources en eau du bassin de la rivière du Commerce - Syndicat mixte d'études de la vallée du Commerce*. CPGF, 1979.
5. DAVID, P.-Y. et PENNEQUIN, D. RP-62004-FR: *Pollution par la morpholine et la N-nitrosomorpholine dans le secteur de Bolbec et au-delà - Avis du BRGM*. Rapport d'expertise. BRGM, 2013.
6. LANGEVIN, C. RR-40488-FR: *Vallée du Commerce (Seine-Maritime). Relations nappe/rivière. Etude bibliographique et synthèse*. BRGM, 1998.
7. MASSEI, N. *Transport de particules en suspension dans l'aquifère crayeux karstique et à l'interface craie/alluvions*. Université de Rouen, 2001.
8. Oril Industrie, *Opération de traçage colorimétrique quantitatif à l'Uranine (BD Traçage T757) Injection depuis le forage Desgenetais 00756X0142, Suivi de restitution au forage AEP d'Yport et sur la rivière Bolbec*. IDDEA, 2016.
9. FOURNIER, M. *Identification des modalités de transport et de la vulnérabilité du karst de la craie. Application de nouveaux outils statistiques d'analyse des données au système du Hannetot (Seine-Maritime, France)*. Université de Rouen, 2006.

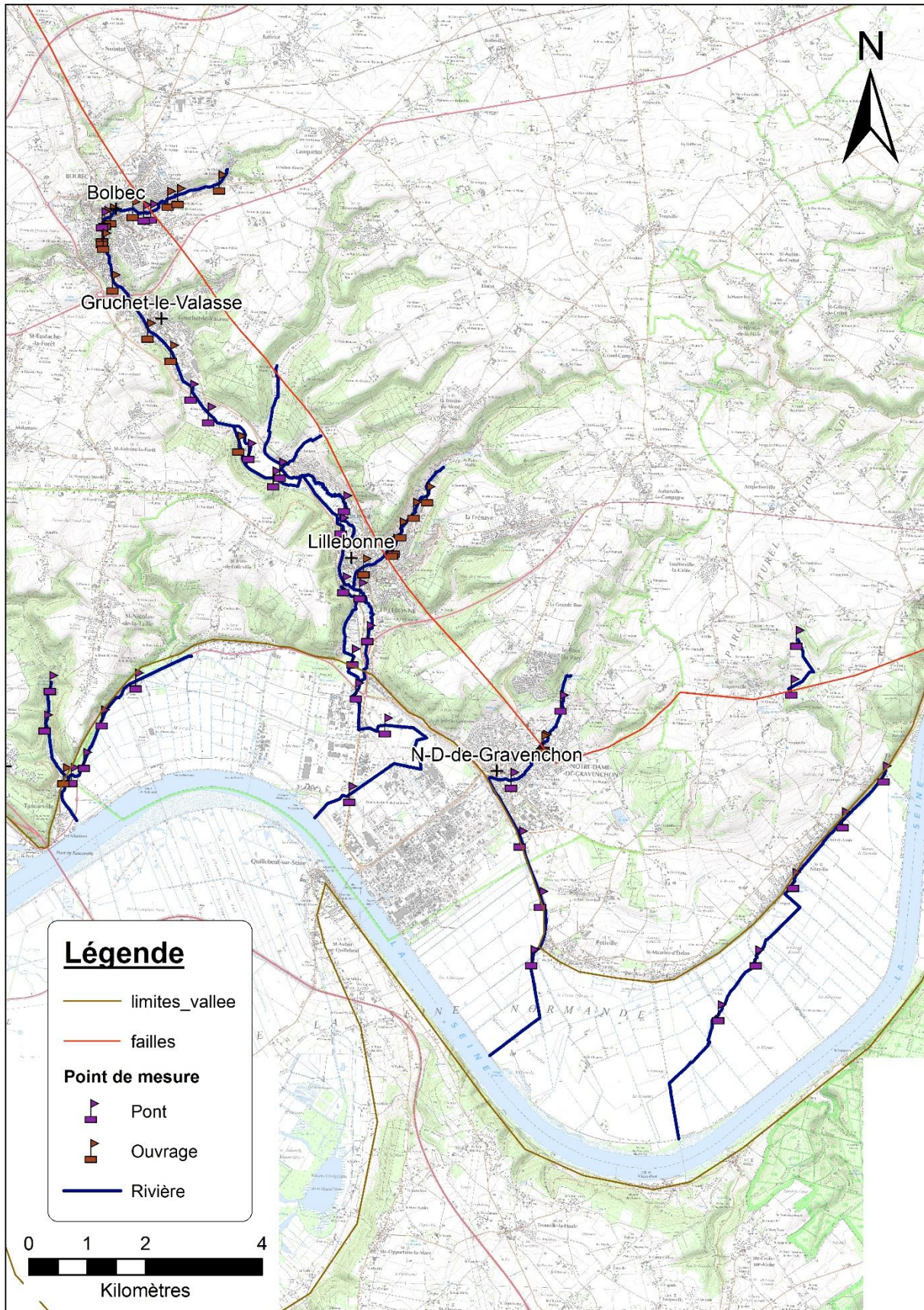
ANNEXES

Annexe 1 Carte des points de jaugeage.....	63
Annexe 2 Carte des points de nivellement de la ligne d'eau	65
Annexe 3 Liste des ouvrages hydrauliques présents sur le Commerce	67

Annexe 1 Carte des points de jaugeage



Annexe 2 Carte des points de nivellement de la ligne d'eau



Annexe 3**Liste des ouvrages hydrauliques présents sur le Commerce**

	code ROE	Nom	Hauteur de chute (cm)
1		Seuil 9 - ouvrage oril	400
2		usine lemaitre - mag 2 oril	400
3		Seuil 8 - aval Chapelle ste-Anne	400
4		Siphon rue F.Lemaitre	131
5	ROE44163	Buse - aval piscine	0
6	ROE44165	Seuil 7 - Bolbec centre (ancien moulin)	240
7		Deversoir - Bolbec ville (aval de Gaulle)	300
8		moulin aval Papvoine	200
9		moulin 1 rue Gambetta (amont rue G.Auger)	240
10		moulin 2 rue Gambetta (aval rue G.Auger)	290
11	ROE44065	Seuil 6 - rue damboise	140
12	ROE44065	Radier pont rue damboise	30
13	ROE44091	Seuil 5 - centre Gruchet	160
14	ROE44152	Seuil 4 - stade	90
15	ROE44114	Seuil 2 - pont entree GR2	3
16	ROE44117	Seuil 1 - ancien moulin	60
17		Pont	0
18	ROE44174	Exutoire Seine	0

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Diplôme(s) Ingénieur de l'ENGEES

Spécialité Hydrosystèmes – Eaux superficielles

Auteur

CLERMONT Gwennaëlle

Année

2017

Titre

Etude hydrogéologique du bassin versant du Commerce (Haute-Normandie) : Participation à l'organisation et à la réalisation d'une campagne piézométrique et interprétation des résultats

Nombre de pages texte **59** annexes **3**

Nombre de références bibliographiques **9**

Structure d'accueil BRGM Normandie, Mont-Saint-Aignan

Maître de stage Pierre-Yann DAVID, hydrogéologue régional

Résumé

Une pollution survenue en 2012 dans le secteur de Bolbec (Seine-Maritime) a mis en évidence des écoulements souterrains inattendus menaçant le captage d'alimentation de la ville du Havre. Des études sont lancées pour améliorer la compréhension des dynamiques hydrogéologiques de cette région complexe. Une campagne de mesure est organisée pour collecter des mesures piézométriques, débitmétriques et altimétriques qui permettent la réalisation d'une carte piézométrique et l'analyse des relations eaux superficielles / eaux souterraines.

Mots-clés

Hydrogéologie, bassin versant, pollution, campagne de mesure, carte piézométrique, Commerce, Seine-Maritime