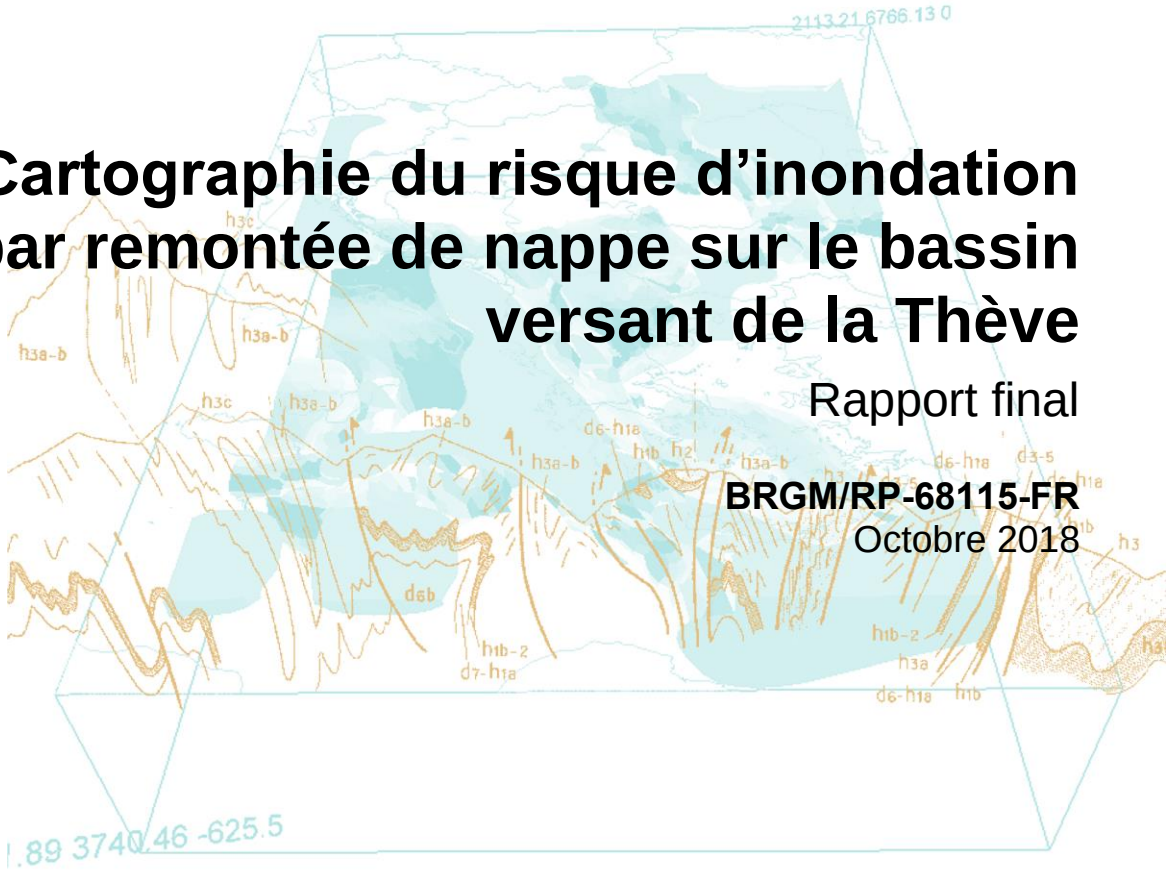


Document public

Cartographie du risque d'inondation par remontée de nappe sur le bassin versant de la Thève

Rapport final

BRGM/RP-68115-FR
Octobre 2018



Géosciences pour une Terre durable
brgm

Document public

Cartographie du risque d'inondation par remontée de nappe sur le bassin versant de la Thève

Rapport final

BRGM/RP-68115-FR
Octobre 2018

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

H. Bessière, L. Tillier

Vérificateur :	**Approbateur :**
Nom : D. Allier	Nom : L. Gourcy
Fonction : Responsable scientifique de programme	Fonction : Responsable unité EVE:
Date : 09/10/2018	Date : 12 octobre 2018
Signature :	Signature :

Le système de management de la qualité et de l'environnement est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.
Contact : qualite@brgm.fr

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Mots-clés : inondation par remontée de nappe, cartographie, bassin de la Thève, interpolation

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

Bessière H., Tillier L. (2018) – Cartographie du risque d'inondation par remontée de nappe sur le bassin versant de la Thève. Rapport final. BRGM/RP-68115-FR.

© BRGM, **2018**, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Le bassin versant de la Thève, situé à cheval entre l'Oise et le Val-d'Oise, avec deux communes au sud-est du bassin versant situées en Seine-et-Marne, est particulièrement sensible au risque de remontée de nappe. La présence d'une nappe dans les formations crayeuses à faible profondeur est avérée en partie basse de la vallée de la Thève, et particulièrement au droit de la commune de Lamorlaye (Oise).

La réalisation de la cartographie de sensibilité aux inondations par remontée de nappe à l'échelle du bassin versant de la Thève se base sur la méthode employée pour la carte nationale (Brugeron et al., 2018).

Un travail d'acquisition de données complémentaires a été mené : enquête auprès des communes, analyse des dossiers d'expertise réalisés dans le cadre d'une demande de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle, visites de terrain et analyse d'images satellites. Les données ainsi recueillies et les données piézométriques disponibles en bases de données (Banque du Sous-Sol, Enveloppe Approchée d'Inondation Potentielle Cours d'Eau…) ont été validées et utilisées pour interpoler par krigeage ordinaire et universel la surface piézométrique maximale probable qui permet, une fois soustraite aux cotes du Modèle Numérique de Terrain, d'obtenir les valeurs de débordement potentielles.

Cette cartographie nationale comporte de fortes incertitudes. Une estimation de la fiabilité des résultats est également jointe à la carte. Ces incertitudes, voire erreurs, sont notamment dues à :

- un manque de données fiables (aucun suivi piézométrique sur le bassin versant) ;
- une forte hétérogénéité dans la distribution spatiale des données ;
- des incertitudes sur les données altimétriques (Enveloppe Approchée d'Inondation Potentielle, Modèle Numérique de Terrain…).

Malgré cela, il a été possible d'améliorer le rendu cartographique à l'échelle locale. Ce changement d'échelle permet d'affiner le modèle géostatistique et la maille de la grille interpolée. Ce nouveau rendu (maille au pas de 25 mètres) précise les contours des zones potentiellement sensibles aux inondations par remontée de nappe. La cartographie finale est cohérente avec la carte nationale et ne présente pas de différences significatives susceptibles de modifier les enjeux régionaux relatifs aux inondations par remontée de nappe.

A l'échelle locale, la cartographie pourrait être améliorée en acquérant des données plus fiables :

- A l'aide d'un nivellement complet des points de mesure ;
- Avec un MNT plus précis ;
- Et l'ajout de données complémentaires (enquête approfondie, piézomètre avec suivi quantitatif régulier…).

Sommaire

1. Introduction 9

1.1. CONTEXTE DE L'ETUDE.....9
1.1.1. Phénomène de remontées de nappes 9

1.2. OBJECTIFS.....10

2. Présentation du bassin versant et des données disponibles 13

2.1. CONTEXTES GEOGRAPHIQUE ET HYDROGRAPHIQUE.....13

2.2. CONTEXTES GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE.....14

2.3. DONNEES HYDRO-CLIMATIQUES DISPONIBLES.....16
2.3.1. Pluviométrie et ETP 17
2.3.2. Débits de la Thève et de l'Ysieux 17
2.3.3. Niveaux piézométriques.....18
2.3.4. Bilan des données disponibles.....19

3. Acquisition de données complémentaires 21

3.1. TYPES DE DONNEES COMPLEMENTAIRES RECHERCHEES 21

3.2. VISITE DE TERRAIN.....21

3.3. ENQUETE RIVERAINS 23

3.4. IMAGERIE SATELLITALE 25
3.4.1. Portée de l'étude.....25
3.4.2. Informations générales 26
3.4.3. Données et traitement.....26
3.4.4. Cartographie des régions inondées 28
3.4.5. Analyse des séries chronologiques.....31
3.4.6. Discussion et recommandations 33

3.5. SYNTHESE ACQUISITION ET EXPLOITATION DES DONNEES COMPLEMENTAIRES 34

3.6. DIFFICULTES RENCONTREES.....34

4. Cartographie des remontées de nappe sur le bassin de la Thève 37

4.1. NOUVELLE CARTOGRAPHIE NATIONALE DE SENSIBILITE AUX REMONTEES DE NAPPE 37
4.1.1. Grands principes méthodologiques de construction de la carte nationale37
4.1.2. Les données utilisées 37

4.1.3. Estimation du niveau maximal probable des nappes 38
4.1.4. Estimation de la fiabilité 38
4.1.5. Résultats 39
4.1.6. Préconisations d'utilisation de la carte nationale 40
4.1.7. Aperçu de la carte nationale sur le bassin versant de la Thève 40

4.2. TENTATIVES D'AMELIORATION DE LA CARTE NATIONALE 43
4.2.1. Analyse, traitement et exploitation des données collectées 43
4.2.2. Etude géostatistique 45
4.2.3. Résultats 52

5. Conclusion 56

6. Bibliographie 57

7. Glossaire 59

Liste des illustrations

Illustration 1 – Extrait de la carte de remontée de nappe en domaine sédimentaire (www.georisques.gouv.fr) et secteurs ayant une sensibilité importante à l'aléa remontées de nappe en fond de vallée de la Thève 10

Illustration 2 - Bassin versant de la Thève et stations hydrologiques 13

Illustration 3 - Bassin versant de la Thève et stations hydrologiques 15

Illustration 4 – Carte géologique du bassin versant de la Thève et stations de mesure hydrologiques 16

Illustration 5 - Liste des stations de mesure en service au sein et à proximité du bassin de la Thève 16

Illustration 6 – Débits moyens mensuels de la Thève et de l'Ysieux à Viarmes 18

Illustration 7 - Fluctuations des niveaux piézométriques à Puiseux-en-France (en rouge) et Fresnoy-le-Luat (en bleu) 19

Illustration 8 – Calendrier des rencontres avec les communes 22

Illustration 9 – Campagne de mesures avec un GPS différentiel 23

Illustration 10 – Retour des questionnaires d'enquête auprès des riverains 24

Illustration 11 Hauteur de précipitation quotidienne maximale par mois et normale mensuel sur la période 1981-2010 pour la station pluviométrique de Senlis 25

Illustration 12 Précipations quotidiennes et cumul sur la station de Senlis de janvier à juillet 2016 26

Illustration 13 Sentinel-1A images satellites utilisées pour l'étude 27

Illustration 14 Schéma adopté pour le traitement des données SAR Sentinel-1 GRD 28

Illustration 15 Intensité moyenne en DAS pour la période du 12 mars 2016 au 27/08/2016 29

Illustration 16 Intensité minimale de DAS pour la période du 12 mars 2016 au 27/08/2016.. 29

Illustration 17 Différence (Min-Max) de l'intensité SAR pour la période 12/03 / 2016-27 / 08/2016. 30

Illustration 18. Classification SAR obtenue à l'aide d'une combinaison en RGB composite (R: Intensité SAR moyenne;G: d(Min-Max) SAR Intensité; B: Intensité SAR minimale). 30

Illustration 19 Schéma temporel des changements de rétrodiffusion SAR site inondé sélectionné 31

Illustration 20 Série chronologique de la rétrodiffusion SAR pour divers sites inondés. 31

Illustration 21 Série chronologique de la rétrodiffusion SAR pour divers sites inondés (suite)... 32

Illustration 22 Résultats du traitement des données SAR sur la Thève 33

Illustration 23 Modalité d'attribution des classes de fiabilité globale pour la méthodologie proposée 39

Illustration 24 – Cartographie de la sensibilité aux inondations par remontée de nappe sur le bassin versant de la Thève : Méthode nationale 41

Illustration 25 – Cartographie de la fiabilité globale de la sensibilité aux inondations par remontée de nappe sur le bassin versant de la Thève : Méthode nationale 42

Illustration 26 - Bassin versant de la Thève : Modèle numérique de terrain et localisation des différentes données 44

Illustration 27 – Histogramme et statistiques sur les données sélectionnées sur le bassin de versant de la Thève 45

Illustration 28 – Variogramme expérimental calculé sur les données et son modèle calqué sur celui de la méthode nationale 46

Illustration 29 – Validation croisée et schéma de répartition des données non robustes (ronds) dans le bassin versant de la Thève : méthode nationale 47

Illustration 30 – Variogramme expérimental calculé sur les données et son modèle cubique avec dérive de degré 1 48

Illustration 31 – Validation croisée et schéma de répartition des données non robustes (ronds) dans le bassin versant de la Thève : Modèle de variogramme cubique 49

Illustration 32 – Variogramme expérimental calculé sur les données et son modèle puissance avec dérive de degré 1 50

Illustration 33 – Validation croisée et schéma de répartition des données non robustes (ronds) dans le bassin versant de la Thève : modeèle de variogramme puissance 51

Illustration 34 – Cartographie de la sensibilité aux inondations par remontée de nappe sur le bassin versant de la Thève : modèle géostatistique amélioré pour l'échelle locale 53

Illustration 35 - Cartographie de l'écart-type de krigeage : représentation de la précision de l'interpolation de la surface piézométrique maximale sur le bassin versant de la Thève 55

Liste des annexes

Annexe 1 Enquête remontée de nappe sur le bassin versant de la Thève 61

1. Introduction

1.1. CONTEXTE DE L'ETUDE

1.1.1. Phénomène de remontées de nappes

La présence d'une nappe (dans les formations crayeuses) à faible profondeur est avérée en partie basse de la vallée de la Thève, et particulièrement au droit de la commune de Lamorlaye. Les phénomènes de remontée de nappe sont récurrents sur certaines zones du bassin versant de la Thève.

Le fond de la vallée de Thève est globalement situé dans une zone considérée comme sensible aux remontées de nappe (Cf. Illustration 1). D'après les niveaux des eaux souterraines disponibles en BSS, la nappe est peu profonde (2 à 4 m) à sub-affleurante sur ces secteurs.

Le Plan Local d'Urbanisme de la commune de Lamorlaye est en cours de révision. Ce document fait mention des risques naturels d'inondations, par débordement de cours d'eau et par remontée de nappe, et de coulées boueuses. Cependant, les règles d'urbanisme ne semblent pas intégrer les risques d'inondations par remontées de nappes. Aucune contrainte ou préconisation pour la construction de caves et sous-sol n'est indiquée sur la partie communale où la présence de la nappe de la craie à faible profondeur est avérée. En outre, aucun plan de prévention des risques d'inondations par remontées de nappe n'a été décrété à ce sujet pour les communes situées dans ces secteurs.

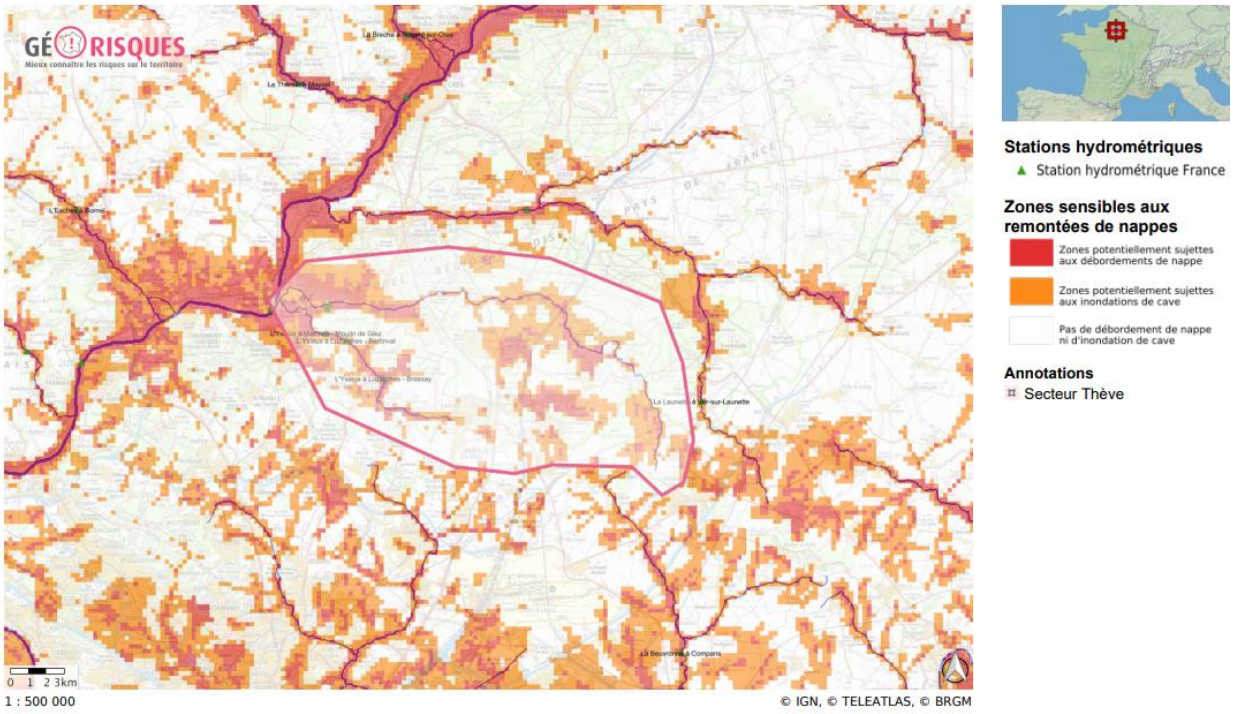


Illustration 1 – Extrait de la carte de remontée de nappe en domaine sédimentaire (www.georisques.gouv.fr) et secteurs ayant une sensibilité importante à l'aléa remontées de nappe en fond de vallée de la Thève

1.2. OBJECTIFS

La DDT60 (Direction Départementale des Territoires de l'Oise) souhaiterait qu'une cartographie de l'aléa inondation par remontées de nappe soit mis en place sur le bassin versant de la Thève.

Pour répondre à cette sollicitation de la DDT60, le BRGM a proposé un programme de travail **centré sur le bassin de la Thève** mais en cohérence avec l'étude cofinancée par le MTES (Ministère de la transition écologique et solidaire) et le BRGM, portant sur l'amélioration de la cartographie nationale de sensibilité aux remontées de nappe

L'idée est alors de s'inspirer de la méthodologie développée à l'échelle nationale et d'améliorer le rendu de la carte avec une meilleure précision à une échelle locale. Un bref rappel de la méthode nationale est fait au chapitre 4.1.

Ce rapport et la carte associée devraient aider la DDT60 à identifier les secteurs présentant des risques de remontée de nappe.

- **Un besoin** : Mise à jour de la cartographie de l'Enveloppe Approchée des Inondations Potentielles par remontée de nappe (EAIPrn) au droit du bassin versant de la Thève.

- **Objectif** : améliorer la cartographie nationale de sensibilité au risque d'inondation par remontée de nappe à l'échelle locale.
- **Méthodologie :** similaire celle développée pour la nouvelle cartographie nationale dans la mesure du possible :
    - détermination des points disponibles et validés
    - interpolation par krigeage linéaire sans dérive
    - amélioration du modèle géostatistique, en fonction des données disponibles et de l'emprise de la zone

.

2. Présentation du bassin versant et des données disponibles

2.1. CONTEXTES GEOGRAPHIQUE ET HYDROGRAPHIQUE

La Thève est un affluent de la rive gauche de l'Oise, d'une longueur de 33,5 km. Le cours d'eau prend sa source sur la commune d'Othis en Seine-et-Marne, à une altitude de 120 m NGF. Sur sa partie avale, la Thève marque la frontière entre la Picardie et l'Ile de France.

Son bassin versant occupe une superficie de l'ordre de 133 km². Il est encadré par les bassins hydrographiques de la Nonette au nord et de l'Ysieux au sud (68 km²).

Depuis Lamorlaye jusqu'à sa confluence avec l'Oise, elle est divisée en deux bras : la vieille Thève et la nouvelle Thève qui se jette dans l'Ysieux. La Thève et l'Ysieux se rejoignent juste avant la confluence (Illustration 3).

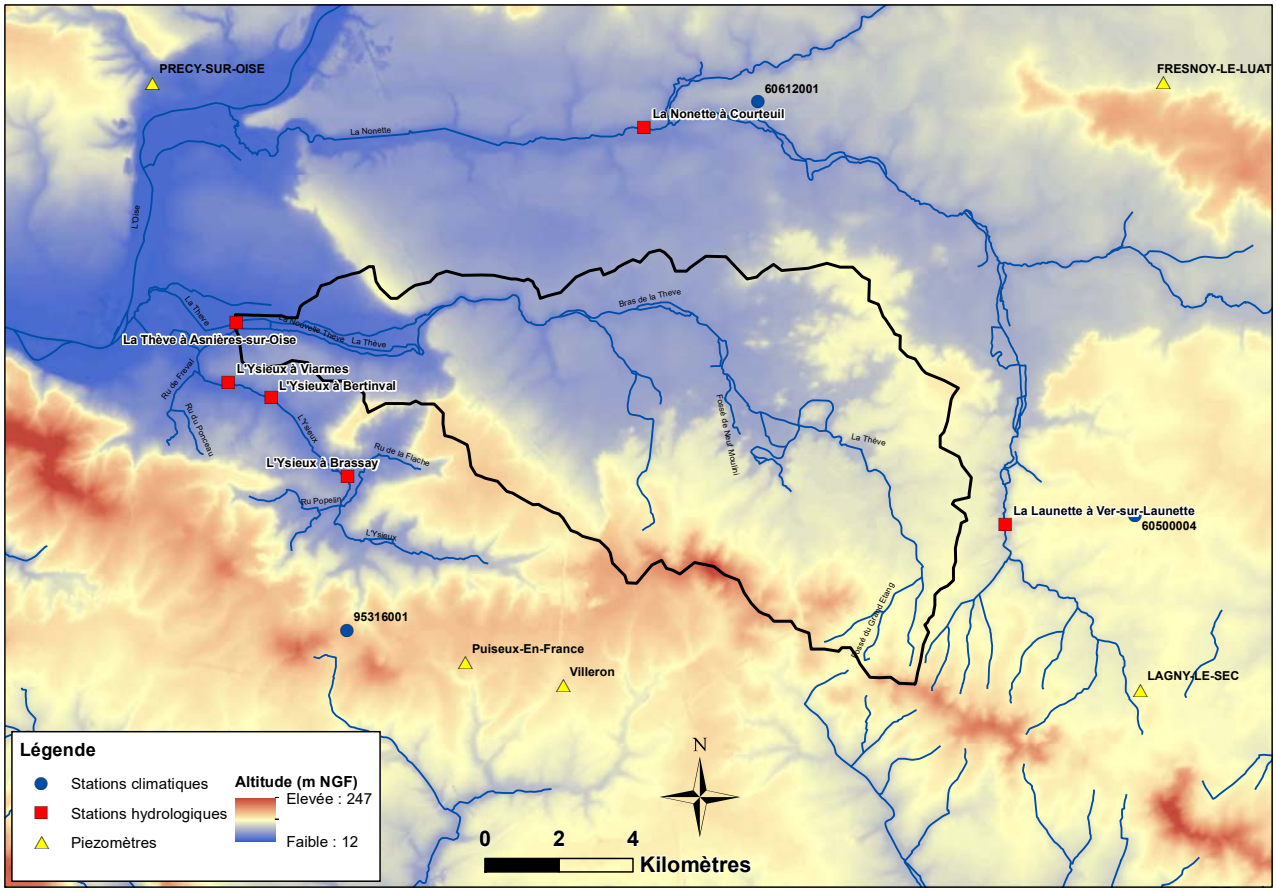


Illustration 2 - Bassin versant de la Thève et stations hydrologiques

2.2. CONTEXTES GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

Le bassin versant de la Thève appartient au plateau tertiaire du Valois, formé par les calcaires du Lutétien et dominé par des buttes de formations du Bartonien et de l'Oligocène (Stampien), alignées selon une direction nord-ouest/sud-est.

Les formations géologiques rencontrées sur le bassin versant sont, des plus anciennes aux plus récentes (Illustration 4) :

- la craie blanche à silex du Sénonien, substratum de la zone d'étude, n'affleure que sur les versants dans les parties avales de la Thève et de l'Ysieux. Sur le reste du bassin, elle est recouverte de formations tertiaires ;
- les sables et argiles du Thanétien (sables de Bracheux) et de l'Yprésien (argiles du Sparnacien et sables de Cuise) affleurent sur l'amont de la vallée de l'Ysieux et forment les coteaux des buttes tertaires dans le bassin de la Thève à Lamorlaye et Coye-la-Forêt ;
- les calcaires grossiers du Lutétien représentent la formation géologique dominante à l'affleurement et forment le soubassement des plateaux de la Thève ;
- les sables du Bartonien inférieur (sables d'Auvers et sables et grès de Beauchamps) affleurent à l'amont de la Thève et sur les versants du bassin de l'Ysieux ;
- les calcaires du Bartonien supérieur constituent les plateaux au sud des vallées de la Thève et de l'Ysieux ;
- les marnes et marnes gypseuses du Priabonien (Ludien) et les marnes et les sables de Fontainebleau du Stampien arment localement la ligne de crête qui délimite le bassin versant de la Thève au sud ;
- enfin, les alluvions, constituées de sables éocènes et plus particulièrement cuisiens (Yprésien inférieur), de colluvions remaniées et de tourbe, remplissent les basses vallées de la Thève et de l'Ysieux.

D'un point de vue hydrogéologique, le bassin de la Thève est ainsi caractérisé par plusieurs aquifères superposés, séparés par des niveaux argileux plus ou moins imperméables et continus. Ces niveaux aquifères étagés topographiquement renferment des nappes perchées sur les hauteurs des collines, des nappes libres sous celles-ci et sous les plateaux, des nappes captives sous les vallées ou en profondeur sous des couches imperméables, des nappes semi-captives à la périphérie des plateaux (Allier et al., 2012).

La Thève draine principalement l'aquifère des calcaires du Lutétien et des sables du Cuisien (Yprésien supérieur), mais également la nappe du Bartonien dans sa partie amont et la nappe de la craie dans sa partie avale (Illustration 3).

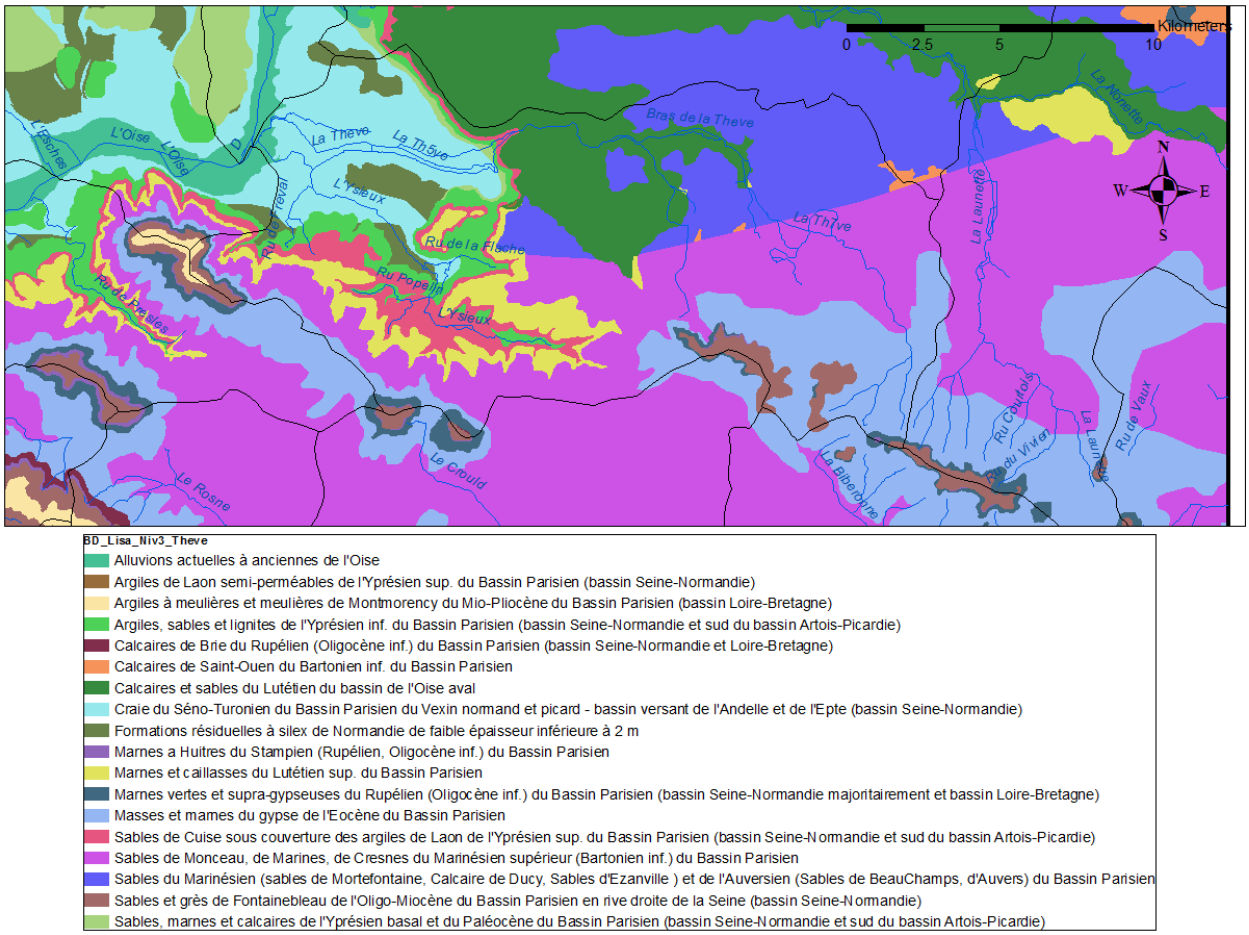


Illustration 3 – Entités hydrolgéologiques affleurantes de la BDLisa sur le bassin versant de la Thève

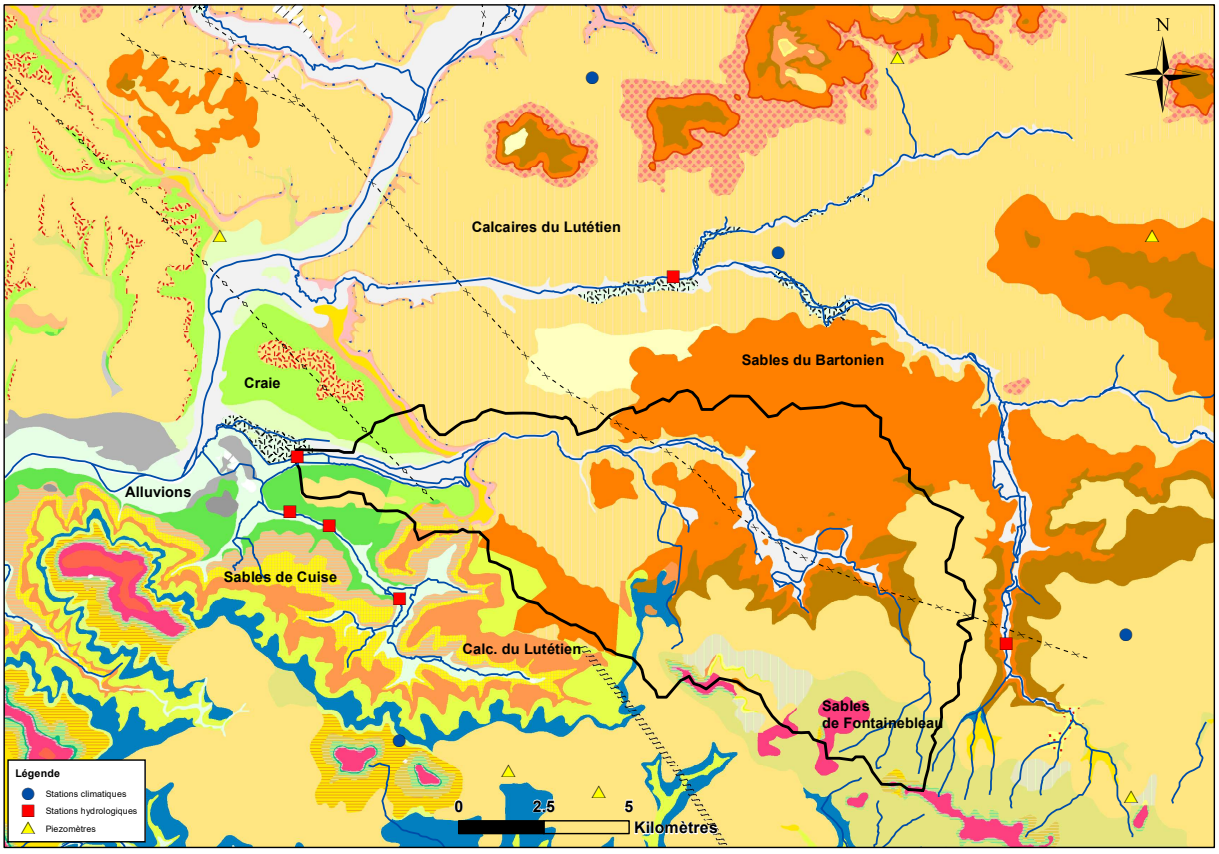


Illustration 4 – Carte géologique du bassin versant de la Thève et stations de mesure hydrologiques

2.3. DONNEES HYDRO-CLIMATIQUES DISPONIBLES

Le tableau de l'Illustration 5 dresse la liste des stations de mesure hydroclimatique disponibles au sein et à proximité du bassin versant de la Thève.

Stations pluviométriques	Stations ETP	Piézomètres	Stations hydrométriques
Creil 60175001 *1980-2018* **Plessis-Bellevile** 60500004 *1980-2018* **Senlis** 60612001 *1980-2018* **Jagny-sous-Bois** 95316001 *1980-2018*	**Beauvais** 60639001 *1980-2018* **Creil** 60175001 *1980-2018*	**Fresnoy-le-Luat** (Calcaires du Lutétien) 01287X0017 *1974-2018* **Puiseux-en-France** (Sables de Cuise) 01534X0049 *2007-2018* **Villeron** (calcaires du Lutétien, sables de l'Yprésien) 01541X0038 *2008-2018*	**La Thève à Asnières-sur-Oise** H7833010 (*1975-1984)* **L'Ysieux à Brassay** H7833530 (*1976-1984)* **L'Ysieux à Viarmes** H7833520 (*1968-2004)* **L'Ysieux à Bertinval** H7833540 (*2004-2018)* **La Nonette à Courteuil** H7813010 (*1968-2011)* **La Launette à Ver/Launette** *H7813210 (1993-2018)*

Illustration 5 - Liste des stations de mesure en service au sein et à proximité du bassin de la Thève

2.3.1. Pluviométrie et ETP

Quatre stations pluviométriques sont disponibles à proximité du bassin versant : Creil, Plessis-Belleville, Senlis et Jagny-sous-Bois (Illustration 5).

2.3.2. Débits de la Thève et de l'Ysieux

Le débit de la Thève a été suivi à Asnières-sur-Oise (H7833030) entre le 08/02/1975 et le 03/01/1984, soit 9 années de suivi au pas de temps journalier. Il faut signaler que la DREAL Ile de France a codé les débits disponibles en « validés douteux ».

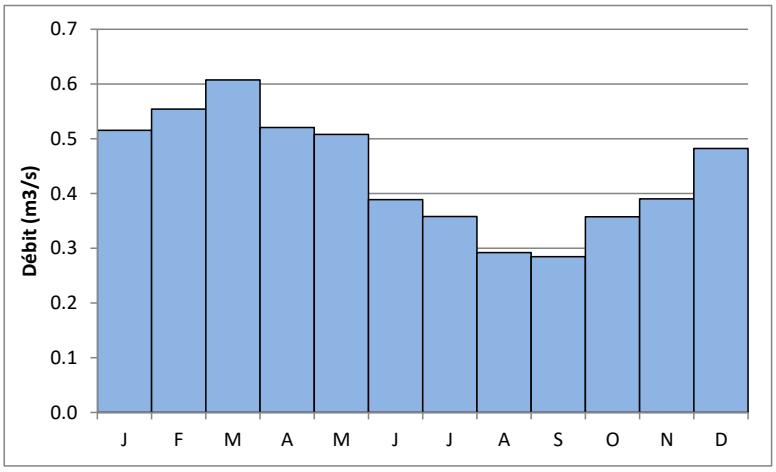
Sur la période 1975-1983, le débit mensuel interannuel de la Thève à Asnières-sur-Oise était de 0,44 m^3/s. Les basses eaux correspondent à un débit mensuel moyen de 0,28 m^3/s (septembre) et les hautes eaux portent ce débit à 0,61 m^3/s (mars) (Illustration 6).

Les débits de l'Ysieux ont été suivis en trois points avec d'aval en amont (Illustration 5) :

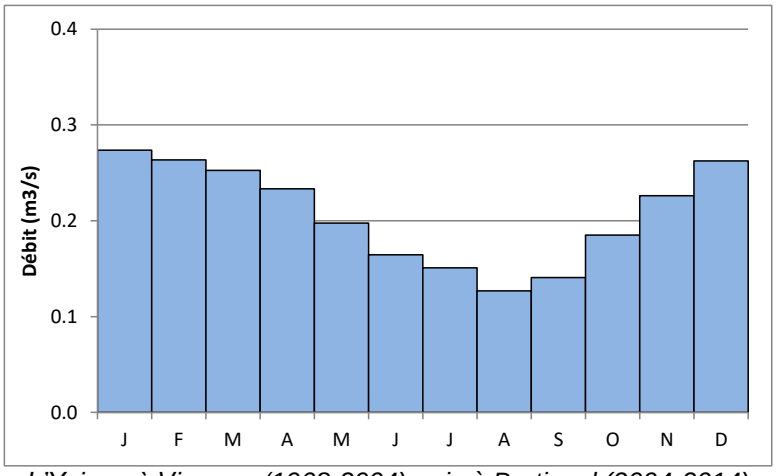
- à Viarmes de 1968 à 2004 ;
- à Luzarches (Bertinval) de 2004 à 2014 qui a pris le relai de la station précédente, 1 km en amont (sans affluent entre les deux) ;
- à Luzarches (Brassay) de 1976 à 1984.

Si l'on joint les données de débit des stations de Viarmes et Bertinval, on obtient un débit moyen annuel de 0,21 m^3/s. Les basses eaux correspondent à un débit mensuel moyen de 0,13 m^3/s (août) et les hautes eaux à un débit de 0,27 m^3/s (janvier) (Illustration 6).

Les débits spécifiques moyens des deux cours d'eau sont proches : 3,31 $l/s/km^2$ pour la Thève et 3.68 $l/s/km^2$ pour l'Ysieux.



La Thève à Asnières-sur-Oise (1975-1983)



L'Ysieux à Viarmes (1968-2004) puis à Bertinval (2004-2014)

Illustration 6 – Débits moyens mensuels de la Thève et de l'Ysieux à Viarmes

2.3.3. Niveaux piézométriques

Aucun piézomètre de surveillance n'est implanté au sein du bassin versant de la Thève. Trois piézomètres suivant les formations tertiaires sont identifiés à proximité : Puiseux-en-France et Villeron qui interceptent à la fois les calcaires du Lutétien, les sables de l'Yprésien et Fresnoy-le-Luat, implanté dans les calcaires du Lutétien, à la limite (crête piézométrique) des bassins versants de la Nonette et de l'Automne (Illustration 5).

La chronique piézométrique de Fresnoy-le-Luat présente des cycles annuels (hautes eaux et basses eaux) faiblement marqués auxquels se superposent des cycles pluriannuels (Illustration 7). Ces constats sont caractéristiques de la nappe des calcaires du Lutétien. Les fluctuations observées sur le piézomètre de Fresnoy-le-Luat depuis 1974 montrent un maximum de 84.6 m NGF et un minimum de 79.8 m NGF.

Les deux autres piézomètres semblent suivre des cycles annuels similaires avec en outre des pics de recharge de faible intensité en réaction directe aux précipitations et ce quelle que soit la saison. En revanche, la faible durée des chroniques (6 et 7 ans) ne permet pas de juger des cycles pluriannuels (Illustration 7).

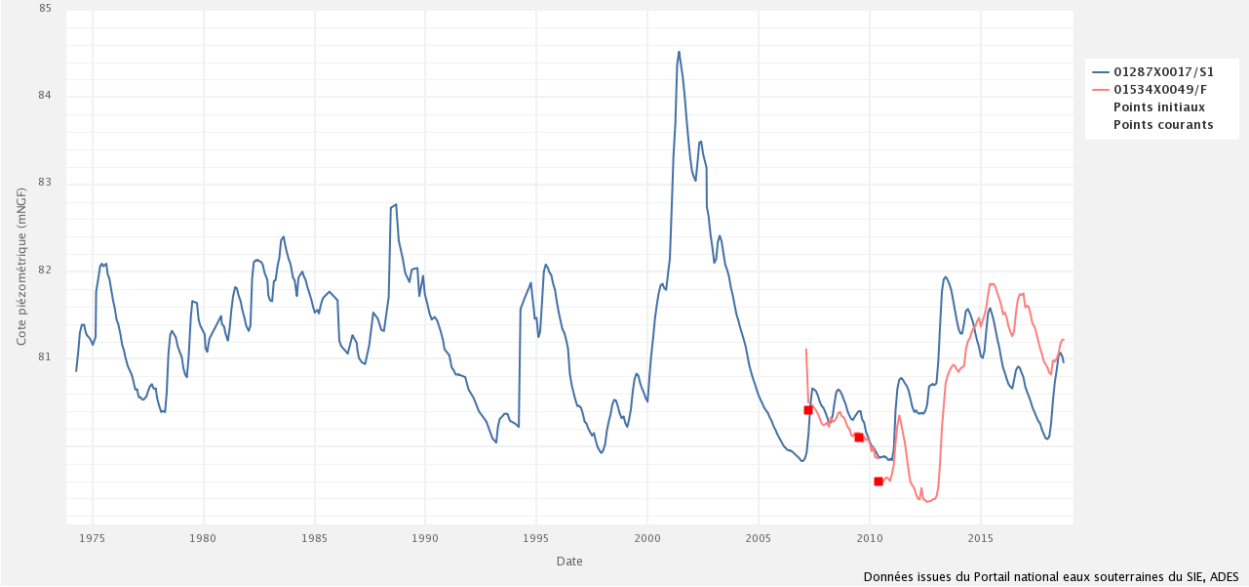


Illustration 7 - Fluctuations des niveaux piézométriques à Puiseux-en-France (en rouge) et Fresnoy-le-Luat (en bleu)

2.3.4. Bilan des données disponibles

Une première analyse des données de piézométrie disponibles a été effectuée pour la réunion de lancement du projet et de présentation de la méthodologie. Dans les bases de données nationales, aucun piézomètre n'est recensé sur le bassin versant. Cette absence de donnée fiable ne permettra pas d'appliquer strictement la même méthode de calcul du niveau piézométrique maximal, avec une période de retour de 100 ans, comme pour la carte nationale.

Pour pallier à ce manque d'informations, il a été proposé de réaliser une enquête auprès des habitants afin de recenser les phénomènes d'inondation ayant pour origine une remontée de nappe. Ce questionnaire a été distribué auprès de toutes les mairies concernées par la zone d'étude, avec l'aide des services de l'état et des mairies.

3. Acquisition de données complémentaires

3.1. TYPES DE DONNEES COMPLEMENTAIRES RECHERCHEES

L'absence de données piézométriques sur le bassin versant de la Thève contraint à trouver de nouvelles sources de données ponctuelles exploitables dans un modèle géostatistique. Les recherches ont conduit vers l'interrogation de structures susceptibles d'avoir des chroniques piézométriques ne figurant pas dans les bases nationales (réseaux spécifiques collectivités ou entreprises).

Les données utilisées lors de l'élaboration de la carte nationale de risque d'inondation par remontée de nappe comprennent la modélisation de points issus des dossiers d'expertise CATNAT - inondation par remontée de nappe[1]. Suite aux inondations de 2016, de nouveaux dossiers CATNAT ont été créés, dont un dossier concernant la commune de Lamorlaye.

En complément à ces données CATNAT, une enquête auprès des habitants des différentes communes du bassin versant de la Thève a été menée (Annexe 1).

3.2. VISITE DE TERRAIN

Une mission de terrain a été réalisée en octobre 2017. Des prises de rendez-vous ont été faites auprès de toutes les municipalités afin de les rencontrer, de leur présenter l'étude et enfin de s'assurer que les questionnaires aient bien été distribués (Illustration 8).

La visite de terrain a eu pour but de collecter, auprès des collectivités locales et/ou des riverains :

- les données mesurées (pluie, hauteur d'eau, débit, ETP) au droit des différentes stations climatologiques, hydrologiques et piézométriques situées dans le bassin versant ou à proximité immédiate,
- dans la partie aval du bassin versant, d'éventuels informations complémentaires à celles collectées en 2016 lors de la réalisation du dossier CATNAT, notamment auprès de la commune de Lamorlaye (PLU, photographies, vues aériennes ou satellitales…),
- des informations concernant les inondations par remontées de nappes antérieures à 2016,
- les informations concernant les autres communes situées dans le bassin versant.

[1] Dans le cadre d'une demande de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle et pour des inondations du type remontée de nappes, le BRGM rédige un rapport d'expertise à l'échelle communale.

communes	contact	Rdv
PLAILLY	M. Michel MANGOT mairie.plailly@wanadoo.fr	Rencontre le lundi 2 octobre avec M Mangot Enquête diffusée sur le site. Déposée dans boîte aux lettres Retour de quelques questionnaires Visite sur site Rencontre avec quelques habitants des propriétés inondées Renvoi des questionnaires papiers restant
Lamorlaye	Frederic LHERMITE - Mairie de Lamorlaye f.lhermite@ville-lamorlaye.fr Jean-Michel BARBIER barbierjm@sfr.fr Conseil de l'Association Syndicale Lys-Chantilly	Rencontre le mardi 3 octobre avec M Lhermite (services techniques de la mairie et M Barbier (Conseil de l'Association Syndicale Lys-Chantilly) Mercredi 4 octobre 9h – visite sur site (nous n'avons pas pu entrer dans les propriétés, refus des habitants) Plusieurs documents nous a été transmis par l'intermédiaire de M Barbier
La Chapelle en Serval	M Billière (adjoint)	Rencontre le mardi 3 octobre à 16h questionnaire non transmis
VER SUR LAUNETTE	M. Yves CHERON mairiedever@wanadoo.fr	Rencontre le mardi 3 octobre à 18h Visite sur site
ORRY LA VILLE	DHUIN JEAN- FRANCOIS	Mercredi 4 octobre 2017 (l'enquête n'a pas été diffusée mais il s'est engagé à le faire suite à notre rencontre)
Coye la Foret	M. DULMET (adjoint à la mairie)	Mercredi 4 octobre 14h rdv mairie Coye la Forêt

Illustration 8 – Calendrier des rencontres avec les communes

A la suite de cette visite, une campagne de nivellement et de localisation en X, Y, par le biais d'un GPS différentiel, a été effectuée pour :

- l'ensemble des points de débordement de la nappe observés lors de l'épisode de mai-juin 2016 et/ou des observations complémentaires collectées lors de la visite,
- les stations de mesures hydrologiques et piézométriques existantes.
- Plus d'une dixaine de mesures de nivellement ont été réalisées et sont directement incluses dans le système d'information géographique.



Illustration 9 – Campagne de mesures avec un GPS différentiel (photo crédit @Bessière)

Il a été possible de récupérer quelques questionnaires sur les communes de Plailly et de Lamorlaye. Une visite sur site a été possible sur la commune de Ver-sur-Launette pour les quelques cas connus. Cependant, il n'a pas été possible d'entrer dans les propriétés du lotissement du domaine du Lys Chantilly à Lamorlaye ; et les autres communes n'avaient pas encore distribué le questionnaire et/ou ne se sentaient pas tellement concernés par la problématique.

Une liste de documents papiers a été obtenue par le biais de monsieur Barbier, membre du Conseil de l'Association Syndicale Lys-Chantilly. Ils contenaient une ancienne étude de bureau d'étude, des photos, un plan, une carte piézométrique… Malheureusement, l'utilisation de ces documents n'a pu être qu'informatif et non décisif. Il n'a pas été possible de créer des données exploitables en raison de la marge d'erreur trop importante pour digitaliser des données ponctuelles : il n'y avait pas d'information suffisamment précise pour géoréférencer des événements d'inondations décrits sur ces schémas.

3.3. ENQUETE RIVERAINS

Celle-ci a permis de géo-référencer 29 points de données exploitables indiquant un débordement de nappe ou une inondation de cave. Ils sont principalement situés dans les communes de Lamorlaye et Plailly, et dans une moindre mesure à Coye-la-Forêt. La mesure de niveau d'eau de ces points est une estimation faite par les habitants. La côte du sol au droit de chacun de ces points est issue du MNT au pas de 25 mètres de la BD Topo de l'IGN. L'ensemble de ces mesures estimées impliquent un niveau de fiabilité bas à prendre en compte.

En résumé, les retours de l'enquête menée auprès des riverains donnent :

- 87 réponses dont 12 non renseignées
- 58 cas avec inondation dont 25 par remontée de nappe (sur 27 réponses renseignées sur l'origine de l'inondation)
- 1 habitant inondé 4 fois par remontée de nappe

- 2 cas avec débordements de puits et 5 réponses avec des informations sur les niveaux d'eau dans les puits

Le questionnaire d'enquête est disponible en annexe 1.

Communes	Retour enquête
Pontarmé	aucun cas
Lamorlaye	questionnaire mis sur le site officiel de la ville avec une communication en parallèle **43 réponses en ligne**
Plailly	Enquête diffusé sur le site internet de la mairie **21 réponses en ligne / 29 réponses papier**
Coye la Foret	Diffusion en ligne **9 réponses en ligne**
Mortefontaine	Il n'y aura pas de diffusion / Pas de cas recensé
Gouvieux	Des recensés mais sur le bassin versant de la Nonette pas sur la Thève
Thiers-sur-Thève	Pas de retour du questionnaire qui a été mis sur le site de la commune.
Ver sur Launette	**1 réponse en ligne**
La Chapelle en Serval	**2 réponses papier**
Orry-la-Ville	**2 réponses papier**
Fontaine Chaalis	

Illustration 10 – Retour des questionnaires d'enquête auprès des riverains

3.4. IMAGERIE SATELLITALE

3.4.1. Portée de l'étude

L'objectif de l'étude est d'utiliser l'imagerie satellitaire et les techniques de traitement pertinentes pour détecter et délimiter les zones du bassin de la Thève touchées par les inondations dues à la remontée de la nappe phréatique.

Le croisement entre la disponibilité des images satellitaires et la manifestation d'événements extrêmes sur le bassin de la Thève nous a amené à travailler sur l'épisode climatique de fin mai-début juin 2016 (autour du 30/05/2016 jusqu'au 28/06/2018).

A la date du 30 mai 2016, il a été enregistré le plus fort cumul de pluie quotidienne jamais enregistré au niveau de la station de Senlis (Illustration 11). En fait, deux épisodes intenses se sont succédés du 29 au 31 mai 2016 puis du 12 au 20 juin (Illustration 12) et ont généré des inondations sur le bassin, en particulier sur la commune de Lamorlaye ayant fait l'objet d'une déclaration en catastrophe naturelle (Bault, 2016 - BRGM/RP-66000-FR).

Senlis (mm)	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
Hauteur quotidienne max	47	29	32	28	54	57
	11/01/1993	03/02/1980	07/03/1989	19/04/1988	30/05/2016	15/06/1969
Normales 1981 - 2010	61.4	47.6	58.3	53.8	66.2	57.7

Senlis (mm)	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
Hauteur quotidienne max	52	53	62	42	42	30	62
	03/07/1966	24/08/1987	18/09/1954	20/10/2004	20/11/1965	05/12/1988	1905
Normales 1981 - 2010	64.5	58	56.9	71.3	58.9	70	724.6

Illustration 11 Hauteur de précipitation quotidienne maximale par mois et normale mensuel sur la période 1981-2010 pour la station pluviométrique de Senlis

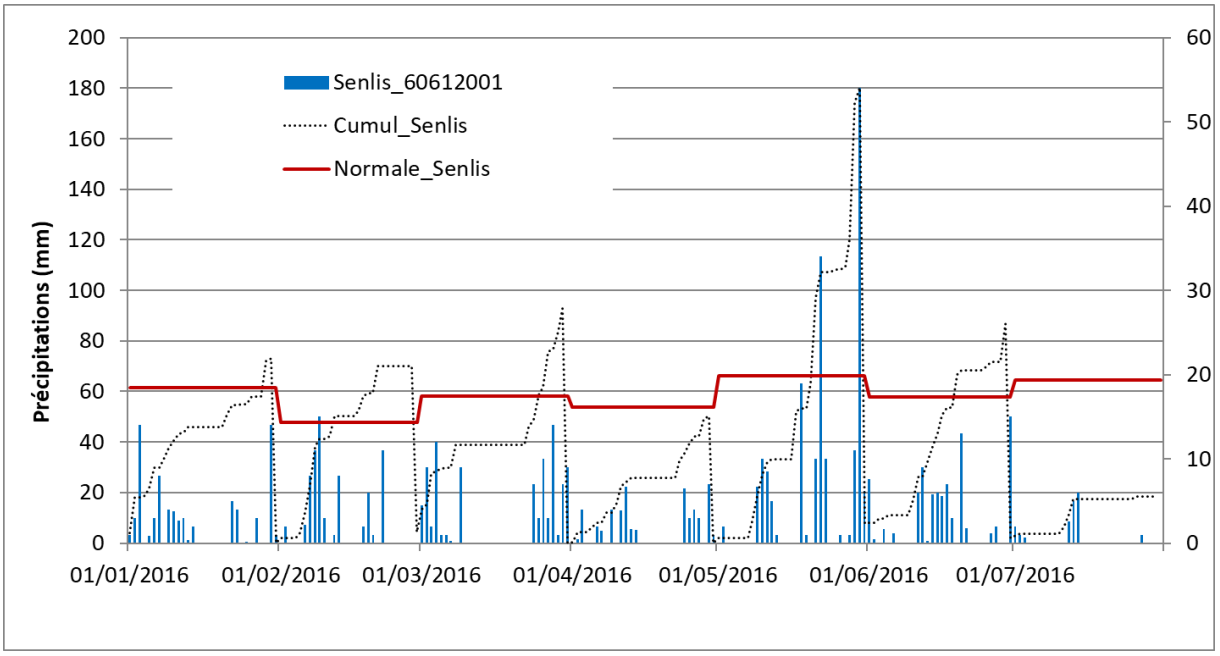


Illustration 12 Précipations quotidiennes et cumul sur la station de Senlis de janvier à juillet 2016

3.4.2. Informations générales

En général, lors des événements pluvieux, l'imagerie optique par satellite n'est pas une solution préférable en raison de la présence de nuages. Une alternative est souvent fournie par des données radar spatiales à ouverture synthétique (SAR) qui ne sont pas affectées par les conditions météorologiques (pénétration des nuages dans les micro-ondes).

3.4.3. Données et traitement

Aux fins de l'étude, les données SAR disponibles gratuitement de la mission Copernicus Sentinel-1 ont été utilisées. La mission Sentinel-1 comprend une constellation de deux satellites en orbite polaire, opérant jour et nuit en effectuant une imagerie SAR en bande C. Plus précisément, les produits de détection de distance au sol de niveau 1 (données SAR ciblées) ont été analysés pour identifier les changements de rétrodiffusion SAR attribués aux inondations.

Les données ont été consultées via le Open Access Hub de Copernic (https://scihub.copernicus.eu) et la plate-forme française PEPS (https://peps.cnes.fr). Le traitement a été effectué à l'aide de la boîte à outils open source ESA SNAP (http://step.esa.int). Le SNAP consiste en une collection d'outils de traitement, de lecteurs et d'écrivains de produits de données, ainsi que d'une application d'affichage et d'analyse pour prendre en charge les vastes archives de données provenant de diverses missions SAR. Les différents outils de traitement peuvent être exécutés indépendamment de la ligne de commande et également intégrés dans l'interface graphique.

Une approche de traitement couramment appliquée consiste à comparer des paires d'images et des régions de carte présentant une réduction significative de la rétrodiffusion des données SAR indiquant des zones potentiellement inondées. Cependant, en raison du fait que, dans notre cas, l'inondation ne s'est pas produite simultanément sur toute la zone d'intérêt (les précipitations intenses ont duré plusieurs jours), une adaptation de la méthodologie a été nécessaire.

Une augmentation de la période d'observation de mars 2016 à août 2016 (15 scènes SAR au total- Illustration 13) a été envisagée afin d'obtenir des valeurs de référence de la variation de la rétrodiffusion SAR et d'identifier les valeurs aberrantes attribuées à la présence d'eau de surface. L'avantage de cette méthodologie est la capacité d'identifier la période exacte pendant laquelle l'inondation s'est produite aux dépens d'un temps de calcul plus long.

Id	Date acquisition
1	12 Mars, 2016
2	24 Mars, 2016
3	05 Avril, 2016
4	17 Avril, 2016
5	29 Avril, 2016
6	11 mai 2016
7	23 mai 2016
8	Juin 04 2016
9	16 Juin, 2016
10	28 Juin 2016
11	10 Juillet 2016
12	22 Juillet 2016
13	03 Août 2016
14	15 Août 2016
15	27 Août 2016

Illustration 13 Sentinel-1A images satellites utilisées pour l'étude

Pour le traitement des images SAR plusieurs étapes présentées sur Illustration 14 ont été suivies, appliquées à l'ensemble des données sous la forme d'un script de traitement par lots. Dans les détails, le traitement a impliqué la mise à jour de vecteurs d'état précis de l'orbite des données afin de permettre une géolocalisation précise des sorties (https://qc.sentinel1.eo.esa.int), un étalonnage radiométrique, une recherche multiple de la réduction des tâches et enfin de l'ortho-rectification des résultats. La résolution spatiale finale (taille de pixel) des sorties était à 20 m.



Illustration 14 Schéma adopté pour le traitement des données SAR Sentinel-1 GRD

Le post-traitement d'images de rétrodiffusion SAR étalonnées et géocodées a impliqué le calcul de statistiques (par pixel) et la génération d'un composite de couleurs RVB (Rouge Vert Bleu) sur mesure dans lequel les régions inondées pendant la période d'observation (mars-août 2016) sont mises en évidence.

Enfin, l'examen des séries chronologiques de rétrodiffusion SAR pour certaines régions inondées a fourni des informations concernant l'initialisation et la fin de l'événement d'inondation.

3.4.4. Cartographie des régions inondées

La représentation spatiale des régions inondées pour la période allant de mars à août 2016 a été obtenue en combinant la moyenne, le minimum et la différence de rétrodiffusion (Min-Max) en tant que canaux dans un composite RVB (Illustration 15 à Illustration 18).

Sur l'Illustration 18**,** les régions en bleu représentent les zones inondées; dans les zones couleur cyan on retrouve les secteurs où l'humidité du sol est inchangée; en vert sont représentées les terres boisées et/ou à haute végétation et les centres urbains sont en jaunes.

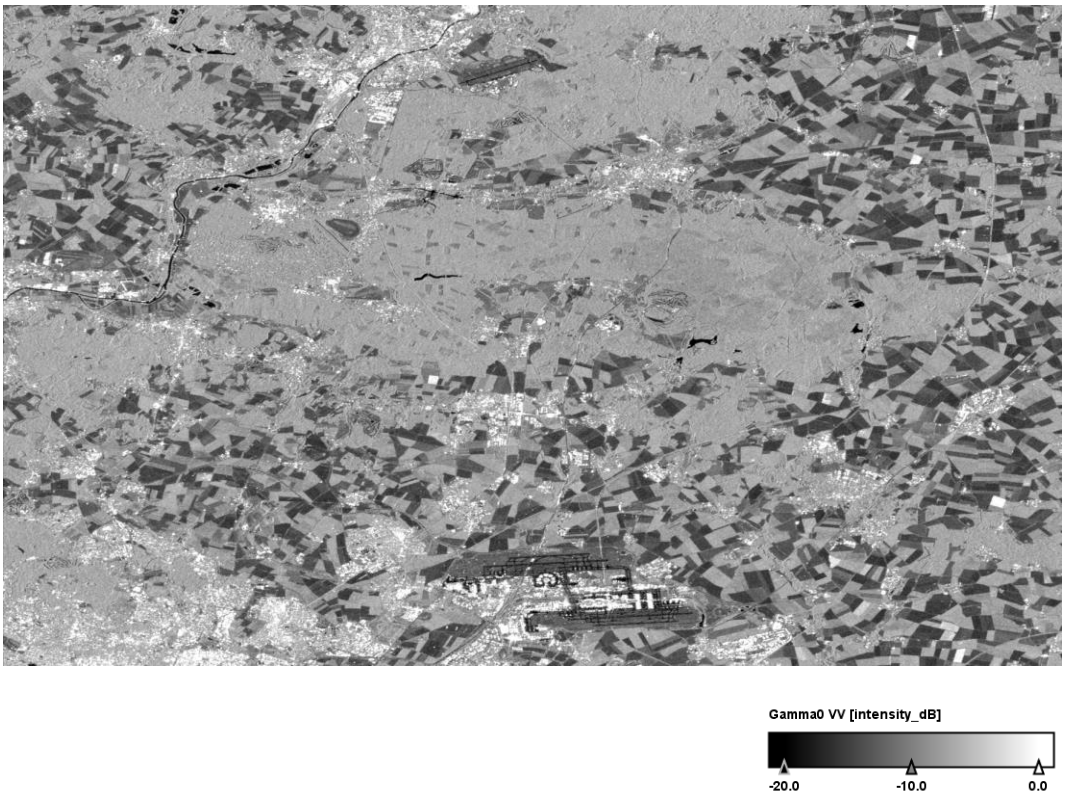


Illustration 15 Intensité moyenne en DAS pour la période du 12 mars 2016 au 27/08/2016

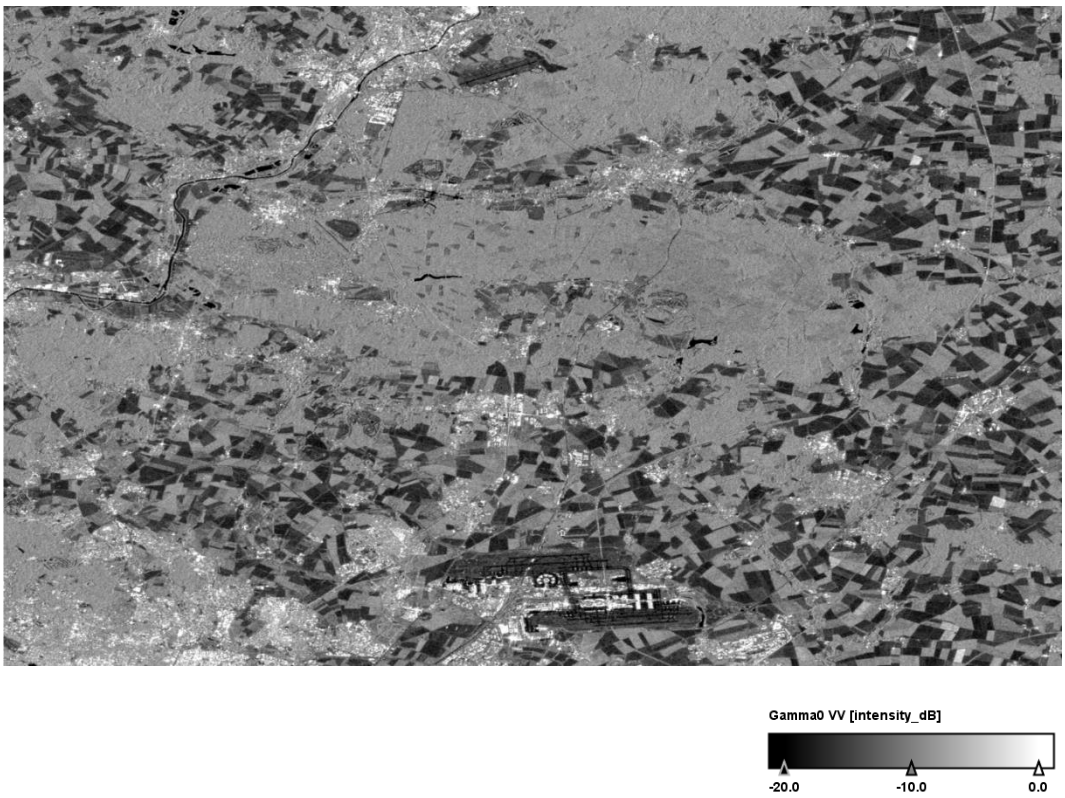


Illustration 16 Intensité minimale de DAS pour la période du 12 mars 2016 au 27/08/2016..

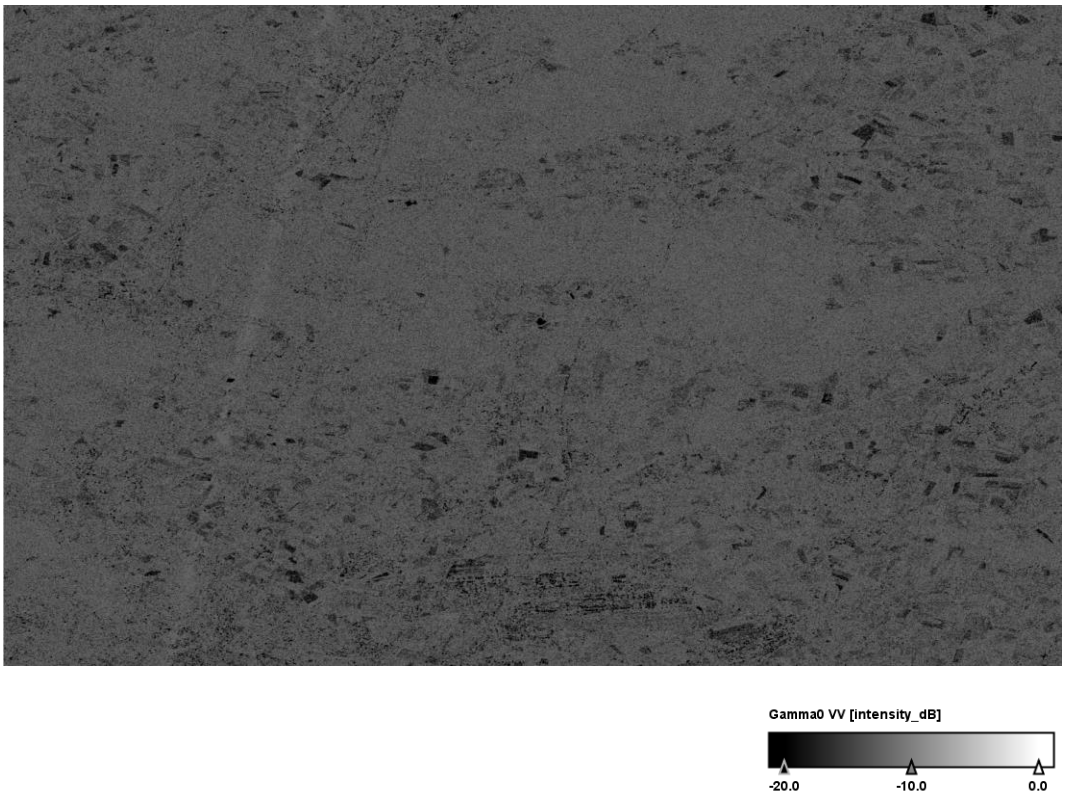


Illustration 17 Différence (Min-Max) de l'intensité SAR pour la période 12/03 / 2016-27 / 08/2016.

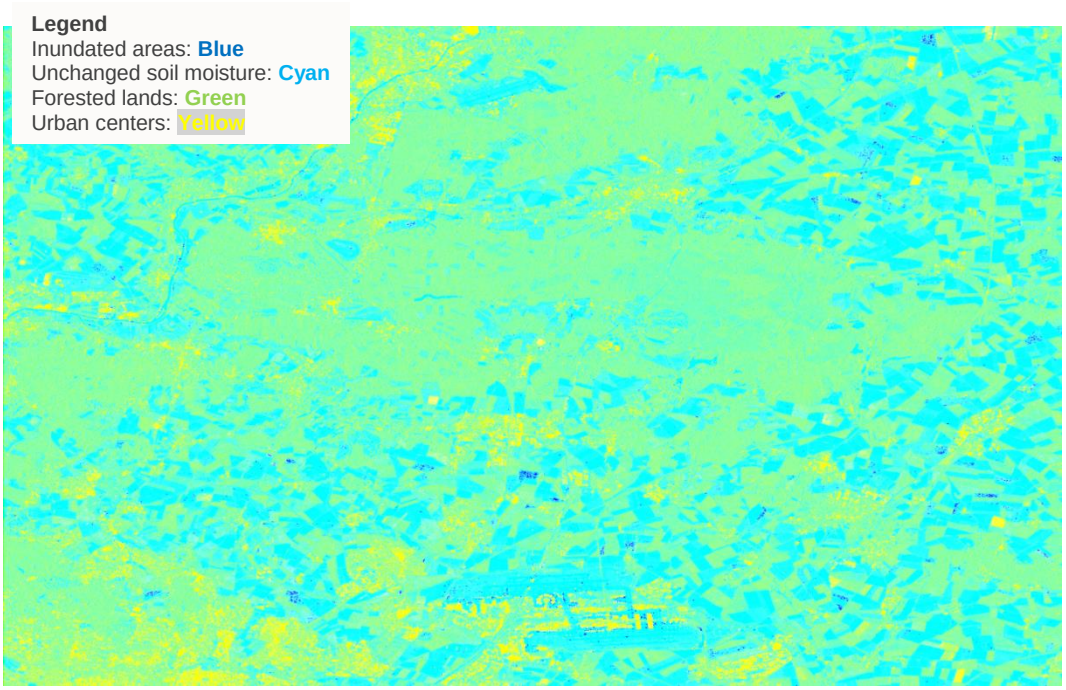
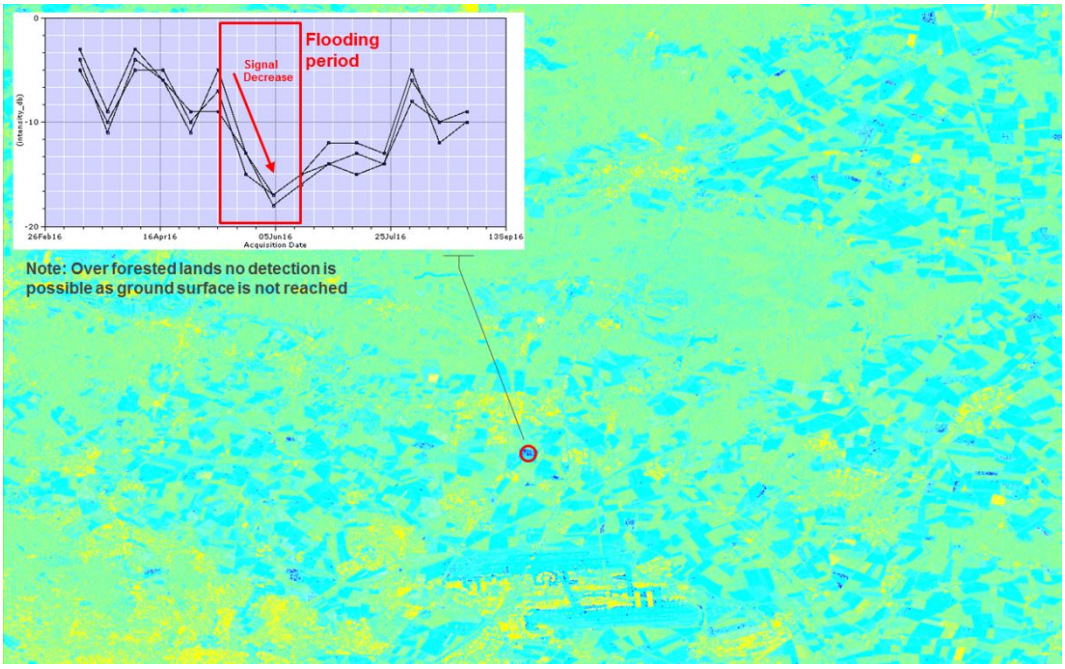


Illustration 18. Classification SAR obtenue à l'aide d'une combinaison en RGB composite (R: Intensité SAR moyenne;G: d(Min-Max) SAR Intensité; B: Intensité SAR minimale).

3.4.5. Analyse des séries chronologiques

Selon l'analyse des séries chronologiques, il semble que la réponse temporelle en termes d'inondation pour les divers sites n'était pas exactement la même (Illustration 19 à Illustration 21) : la phase de décroissance de l'intensité du signal correspondant aux périodes de forte humidité n'est pas simultanée pour chaque point. C'est pourquoi le traitement s'est fait sur une période d'acquisition de données allant du mois de mai au mois de juillet.

Pour la majorité des sites, les inondations ont eu lieu entre début mai 2016 et fin juin 2016, tandis que pour plusieurs autres sites, l'évacuation complète des eaux de surface a duré jusqu'à mi-juillet 2016.



RGB composite (R: Intensité SAR moyenne; G: d(Min-Max) Intensité SAR; B: Intensité SAR minimale)

Illustration 19 Schéma temporel des changements de rétrodiffusion SAR site inondé sélectionné

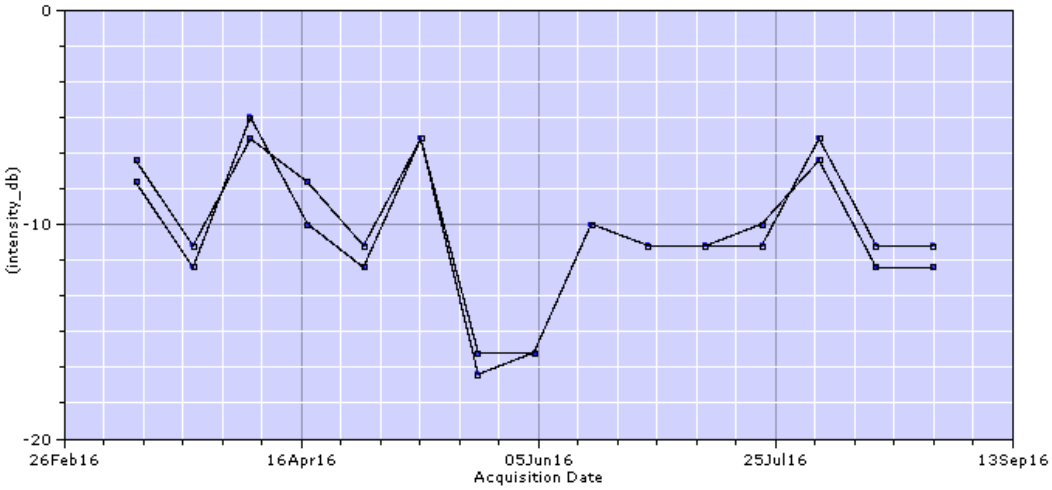


Illustration 20 Série chronologique de la rétrodiffusion SAR pour divers sites inondés.

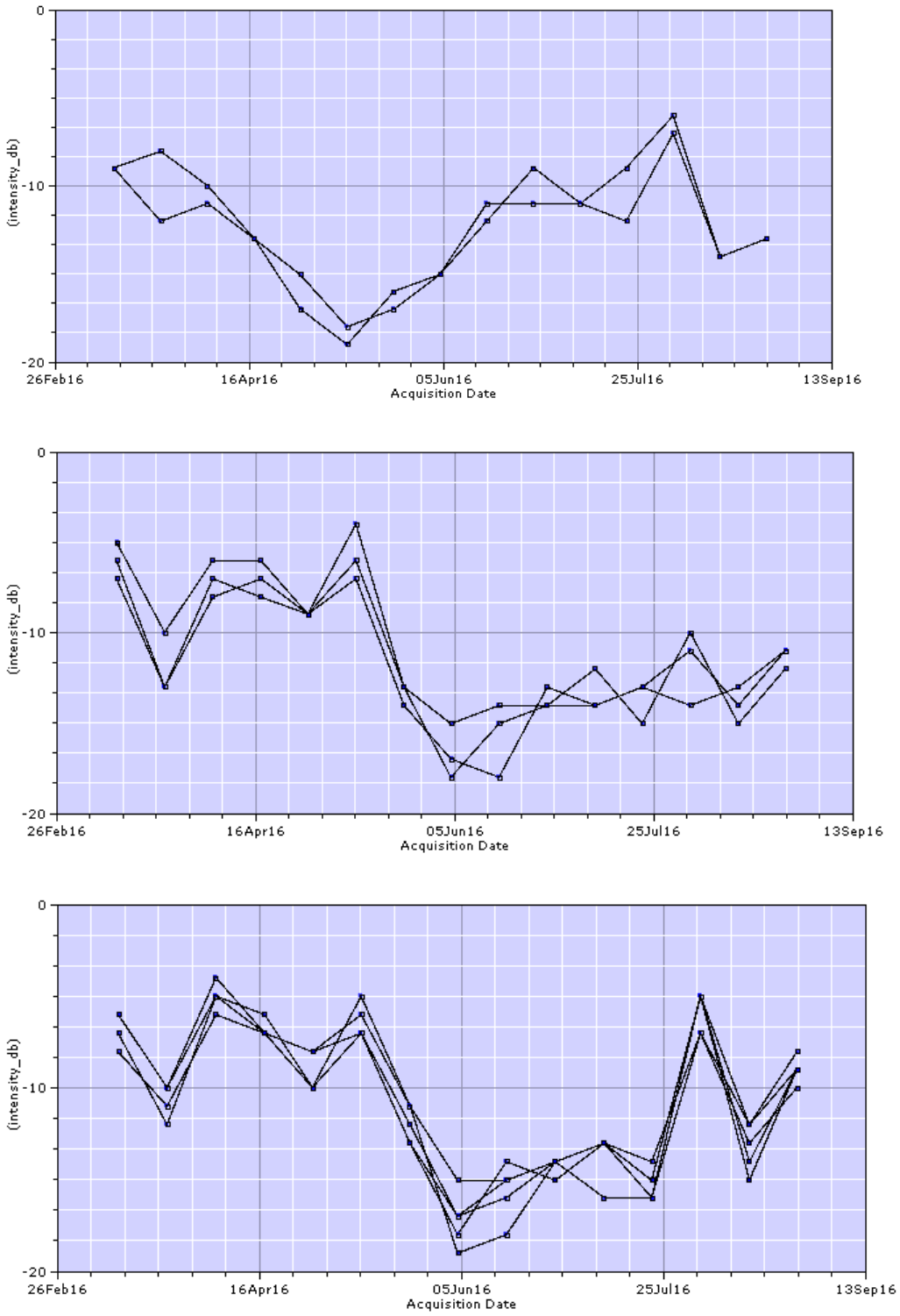


Illustration 21 Série chronologique de la rétrodiffusion SAR pour divers sites inondés (suite).

3.4.6. Discussion et recommandations

L'utilisation des données de SAR satellitaires pour la cartographie des inondations induites par les eaux souterraines de la vallée de la Thève a été présentée avec succès, fournissant des informations à la fois sur les régions affectées et sur le comportement temporel des phénomènes.

Un inconvénient de la technique concerne la limitation du signal SAR pour pénétrer dans les terres fortement végétalisées (forêts, etc.). Ainsi, une sous-estimation partielle du nombre et/ou de l'extension des régions inondées devrait être attendue.

En réalité, à l'échelle du bassin versant de la Thève très peu de pixels bleus représentant les zones inondées ressortent (Illustration 22).

L'utilisation de systèmes SAR spatioportés en bande L capables de pénétrer dans la canopée est recommandée dans de tels cas, même si un coût d'acquisition de ces données commerciales doit être pris en compte.

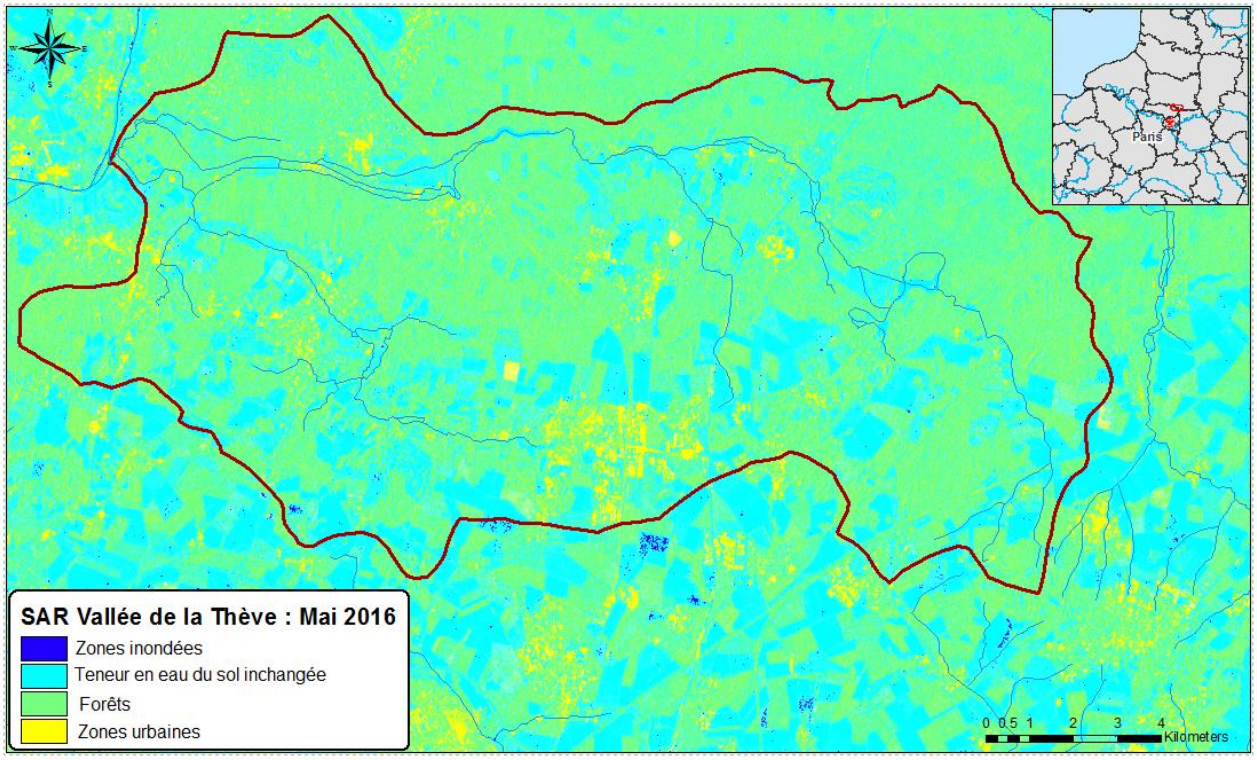


Illustration 22 Résultats du traitement des données SAR sur la Thève

3.5. SYNTHESE ACQUISITION ET EXPLOITATION DES DONNEES COMPLEMENTAIRES

Les données complémentaires issues des dossiers CATNAT (29) sont exclusivement localisées dans la commune de Lamorlaye, déjà identifiée pour sa forte sensibilité aux inondations par remontée de nappe. Le peu de retour de l'enquête n'apporte que quelques données supplémentaires dans la commune de Plailly (9) et de Coye-la-Forêt (3).

Concernant le traitement de l'imagerie satellitale, le bassin étant recouvert en majorité par la forêt et par des terrains végétalisées, l'extension des zones inondées obtenue est très faible. Elle sera toutefois utilisée comme validation.

La nouvelle extraction de données de la Banque du Sous-Sol des données sur l'eau (BSS Eau) n'a pas apporté de nouvelles mesures piézométriques par rapport à celles utilisées lors de l'élaboration de la nouvelle cartographie nationale.

Les données collectées sur le terrain sont peu nombreuses et malheureusement insuffisante pour améliorer de manière significative l'incertitude générale liée à la cote NGF.

La trop faible densité de données ne donne pas la possibilité de faire une carte à petite échelle, utilisable pour des besoins règlementaires.

De ce fait, l'étude s'oriente vers la possibilité d'améliorer la carte nationale de sensibilité aux remontées de nappe (cf. chapitre 4) à l'échelle du bassin versant de la Thève. Pour cela, une étude géostatistique a été réalisée à cette échelle locale, menant à une interpolation par krigeage, résultant sur une grille de mailles plus fine :

- grandeur de la maille des grilles interpolées : 25 mètres contre 250 mètres pour la grille nationale ;
- amélioration du modèle de variogramme : il est calculé à partir de l'ensemble des données du bassin versant de la Thève. La zone étant plus restreinte, la corrélation spatiale entre les données est théoriquement meilleure et permet de garder une cohérence hydrogéologique.

3.6. DIFFICULTES RENCONTREES

A ce stade de l'étude, des difficultés sont apparues, dues d'une part au faible nombre de données disponibles et d'autre part à celles rencontrées sur le terrain, ces difficultés impactent l'échelle de rendu de la cartographie des remontées de nappe sur ce territoire.

Il n'y a que trop peu de données issues de mesures du niveau piézométrique et celles-ci sont ponctuelles : une mesure à une date donnée ne permet pas de caractériser le niveau comme étant bas ou haut. Plusieurs méthodes de caractérisation de ces données peu fiables requièrent l'appui de piézomètres avec suivi quantitatif sur une période suffisamment longue (10 à 15 ans) et avec une acquisition d'au minimum 120 mesures par an. Mais il n'y en a aucun dans le bassin versant de la Thève.

L'enquête réalisée auprès des habitants n'a eu que peu d'écho. Les 29 points géoréférencés permettent tout de même d'avoir des données dans la commune de Plailly, mais cela reste insuffisant. Il n'y avait que trop peu de moyen pour communiquer autour de cette enquête.

A défaut, le niveau piézométrique mesuré par ces points sera pris en compte dans l'interpolation puisque ces derniers sont mesurés dans les niveaux de nappe affleurante et ont été en partie utilisés lors de campagne piézométrique (Bault & al, 2015).

Les habitants du lotissement « le domaine du Lys Chantilly » à Lamorlaye ont refusé de laisser les équipes du BRGM entrer dans leurs propriétés pour des relevés GPS aux niveau des zones inondées lors de l'épisode : aucune mesure n'a été possible dans le domaine.

Nota Bene : La précision et fiabilité des résultats seront directement dépendantes du nombre et qualité des données collectées

4. Cartographie des remontées de nappe sur le bassin de la Thève

4.1. NOUVELLE CARTOGRAPHIE NATIONALE DE SENSIBILITE AUX REMONTEES DE NAPPE

4.1.1. Grands principes méthodologiques de construction de la carte nationale

Après plusieurs tentatives en 2006 et 2011, le BRGM a de nouveau été sollicité par le Ministère de la transition écologique et solidaire (MTES) afin d'améliorer, valider et fiabiliser la méthode de cartographie de la sensibilité des territoires au « risque d'inondation par remontée de nappe » à l'échelle nationale.

Une nouvelle cartographie des zones sensibles aux inondations par remontée de nappe a été finalisée fin 2017 et le rapport associé a été édité début 2018 (Brugeron A. et al., 2018) BRGM/RP-65452-FR).

La réalisation de cette carte a reposé principalement sur l'exploitation de données piézométriques et de leurs conditions aux limites d'origines diverses qui, après avoir été validées, ont permis, par interpolation, de créer une grille nationale des cotes maximales probables. Par soustraction aux cotes du Modèle Numérique de Terrain de la BDALTI®, les valeurs de débordement potentielles ont ensuite pu être obtenues. Par ailleurs, la fiabilité des résultats a été évaluée en s'appuyant sur deux critères : fiabilité du Modèle Numérique de Terrain et fiabilité des données eaux souterraines.

Nous rappelons très brièvement dans les paragraphes ci-dessous les grandes lignes méthodologiques de construction de la carte mais nous invitons le lecteur à se rapporter au rapport détaillé de l'étude (Brugeron et al, 2018 - BRGM/RP-65452-FR). Les paragraphes suivants sont directement extraits de ce rapport.

Cette cartographie nationale est à considérer comme un outil d'identification maximisant de grandes zones potentiellement soumises à la remontée de nappe. Les résultats de ces travaux sont publiques et mis à disposition sur le site http://georisques.gouv.fr.

4.1.2. Les données utilisées

Les données eaux souterraines

Ces données proviennent notamment de piézomètres répartis sur l'ensemble du territoire sur lesquels sont mesurés à pas de temps régulier le niveau de l'eau souterraine. Une extraction des piézomètres présents dans la banque nationale d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines (ADES) et de leurs chroniques piézométriques respectives a donc été réalisée en excluant toutefois les mesures qualifiées d'incorrectes ou d'incertaines

Les zones potentiellement inondables par débordement de cours d'eau (EAIPce) et par submersion marine (EAIPsm).

Ces zones constituent l'enveloppe maximale des inondations potentielles décrites dans les différents documents référents existants dans ce domaine. Les EAIPce ont été collectées et complétées, en tant que besoin, par le CEREMA avec, notamment, l'aide d'un logiciel qui permet de tracer une évaluation de l'emprise des inondations dans un fond de vallée pour une hauteur d'eau fixée. Chaque tronçon, hormis sa partie terminale amont, figurant dans le référentiel BD Carthage® a fait ainsi l'objet d'un tracé EAIPce.

Les données historiques, principalement les arrêtés « catastrophe naturelle » (CATNAT)

Ces données apportent de bonnes indications sur les communes touchées par le passé par des inondations par remontées de nappes. Ce critère a tout de même ses limites ; en effet toutes les communes touchées par des inondations par remontées de nappes n'ont pas fait l'objet d'une procédure de déclaration en arrêté CATNAT (notamment si les zones touchées ne représentent pas un enjeu particulier) et à l'inverse certains arrêtés CATNAT ne font pas la distinction entre inondation par ruissellement et inondation par remontées de nappes.

Les cartes piézométriques

Elles représentent la surface piézométrique d'une nappe par des lignes équipotentielles (construites elles-mêmes par une interpolation de mesures ponctuelles). L'utilisation de ces cartes piézométriques pour l'établissement du niveau des nappes a deux avantages majeurs : elles sont issues d'études locales, faites à partir de données synchrones (l'ensemble des données sont acquises lors d'une campagne sur un pas de temps relativement court) et lors de leurs tracés, elles ont fait l'objet d'une expertise d'un hydrogéologue.

4.1.3. Estimation du niveau maximal probable des nappes

L'objectif de l'étude étant la détermination des zones potentiellement inondables par remontée de nappe, il convient de définir des niveaux correspondant à des périodes de retour très élevées. Celles-ci, si l'on se base sur la fréquence retenue pour les EAIPce, devraient être comprises entre cent et cinq cent ans.

Pour les besoins d'estimation du niveau maximal probable des nappes, il a donc été procédé au calcul des cotes piézométriques minimale, moyenne et maximale, de l'écart-type des mesures et du battement maximal pour chacun des 17714 points d'eau collectés. Une loi de distribution de Gauss a été utilisée pour ramener les niveaux piézométriques maximaux observés en niveaux piézométriques ayant une période de retour 100 ans.

4.1.4. Estimation de la fiabilité

Une estimation de la fiabilité des résultats a été réalisée en s'appuyant sur différents critères : fiabilité du Modèle Numérique de Terrain et fiabilité des données eaux souterraines. Cette dernière est basée sur la fiabilité de la donnée source utilisée et la distance à la donnée source la plus proche.

Les deux indices de fiabilité décrits dans les chapitres précédents ont été croisés pour aboutir à un indice de fiabilité global. Les modalités d'attribution des classes de fiabilité globale sont décrites dans le tableau ci-dessous (Illustration 23).

		FIABILITE VIS-A-VIS DU MNT	
		FAIBLE	FORT
FIABILITE VIS-A-VIS DES DONNEES « EAU SOUTERRAINE »	FAIBLE	**FAIBLE**	**FAIBLE**
	MOYEN	**FAIBLE**	**MOYEN**
	FORT	**MOYEN**	**FORT**

Illustration 23 Modalité d'attribution des classes de fiabilité globale pour la méthodologie proposée

Il s'en est suivi la qualification de la fiabilité globale de la cartographie suivante : « forte », « moyenne », « faible » ou « inconnue » ; indexée à chaque point de la grille au pas de 250 m.

4.1.5. Résultats

La cartographie des zones sensibles aux remontées de nappe a été obtenue, par maille de 250 m, par différence entre les cotes du MNT moyen agrégé par maille de 250 m et les cotes obtenues, suivant une grille de 250 m par interpolation des points de niveau maximal probable.

Au regard des incertitudes liées aux cotes altimétriques, il a été décidé de proposer une représentation en trois classes qui sont :

• « zones potentiellement sujettes aux débordements de nappe » : lorsque la différence entre la cote altimétrique du MNT et la cote du niveau maximal interpolée est négative ;

• « zones potentiellement sujettes aux inondations de cave » : lorsque la différence entre la cote altimétrique du MNT et la cote du niveau maximal interpolée est comprise entre 0 et 5 m ;

• « pas de débordement de nappe ni d'inondation de cave » : lorsque la différence entre la cote altimétrique du MNT et la cote du niveau maximal interpolée est supérieure à 5 m.

La carte proposée pour la métropole et la Corse, permet de localiser les zones où il y a de fortes probabilités d'observer des débordements par remontée de nappe. La réalisation de la carte des zones sensibles aux inondations par remontée de nappe reste un exercice délicat qui « in fine » comporte de fortes incertitudes dues :

- une accumulation d'informations manquantes, incomplètes ou imprécises,
- l'ordre de grandeur des valeurs recherchées,
- la complexité des milieux mis en jeu.

Par suite de ces différentes remarques, il n'a pas été possible de réaliser une interpolation avec des mailles de dimension inférieure à 250 m. En outre, la carte réalisée n'est pas valide pour les zones karstiques (manifestant un comportement particulier et relativement mal connu sur certains secteurs), les zones urbaines (dont les aménagements modifient les écoulements souterrains) et les secteurs après mine (subissant des modifications des écoulements souterrains dues aux pompages des eaux d'exhaure ou à l'arrêt des pompages).

4.1.6. Préconisations d'utilisation de la carte nationale

La carte nationale réalisée n'est pas valide pour les zones karstiques (manifestant un comportement particulier et relativement mal connu sur certains secteurs), les zones urbaines (dont les aménagements modifient les écoulements souterrains) et les secteurs après mine (subissant des modifications des écoulements souterrains dues aux pompages des eaux d'exhaure ou à l'arrêt des pompages).

Le rendu cartographique a donc été réalisé en considérant comme unité de base une maille carrée de 250 mètres. Cette carte n'est donc exploitable, au stade actuel, qu'à une échelle inférieure au 1/100 000ème.

L'utilisation de la carte nationale de sensibilité aux remontées de nappe (illustration 15) se fait avec plusieurs recommandations (Brugeron A. et al., 2018).

- L'exploitation de la carte de sensibilité aux remontées de nappe n'est possible qu'à une échelle inférieure à 1/100 000. Autrement dit, pour des études locales, ayant besoin d'une résolution fine (échelle parcellaire ou au 1/25 000, au 1/50 000), cette carte nationale ne doit pas être utilisée.
- Ajout du masque sur les secteurs avec terrains affleurants imperméables (fourni avec la carte, source BRGM). Dans ces secteurs, la présence d'une couche imperméable empêche le débordement en surface de nappes captives pouvant présenter des niveaux piézométriques maximaux supérieurs au terrain naturel. Cependant, il n'est pas complètement exclu que des problématiques liées aux remontées de nappe aient lieu dans ces secteurs : non continuité des couches imperméables BD LISA, aménagements souterrains sous la couche imperméable, débordement plus important au niveau des limites perméables/imperméables, ...
- Les contours et points intérieurs des EAIPce et sm ont été utilisés comme « points de forçage » pour l'interpolation du niveau maximal piézométrique probable → ces zones correspondent donc à des secteurs dans lesquels il peut y avoir concomitance de 2 phénomènes cumulatifs : débordement de cours d'eau + remontée de nappe ou submersion marine + remontée de nappe.
- Les aquifères karstiques présentent une forte hétérogénéité des écoulements et l'approche globale mise en œuvre ici ne peut pas avoir de réalité physique dans ces contextes spécifiques.
- Dans les zones urbaines, les écoulements souterrains sont perturbés par les différents aménagements souterrains. Ces perturbations piézométriques ne sont pas prises en compte dans l'approche globale mise en œuvre.

4.1.7. Aperçu de la carte nationale sur le bassin versant de la Thève

Sur l'Illustration 24 est faite une représentation de la carte nationale de sensibilité aux remontées de nappe à l'échelle du bassin de la Thève. Elle indique une zone potentiellement sujette au débordement de nappe dans la commune de Plailly, sur laquelle il n'y a aucune donnée piézométrique disponible. L'enquête a permis d'apporter des données dans cette zone et vient confirmer l'interprétation de la carte nationale.

Cette cartographie est accompagnée de carte de fiabilité globale (Illustration 25). Celle-ci ne pourra pas être améliorée à l'échelle du bassin versant de la Thève. En dehors des communes de Orry-la-Ville, Pontarmé, Thiers-sur-Thève sur lesquelles la fiabilité des résultats est « moyenne », la majorité du bassin se trouve en fiabilité « faible ».

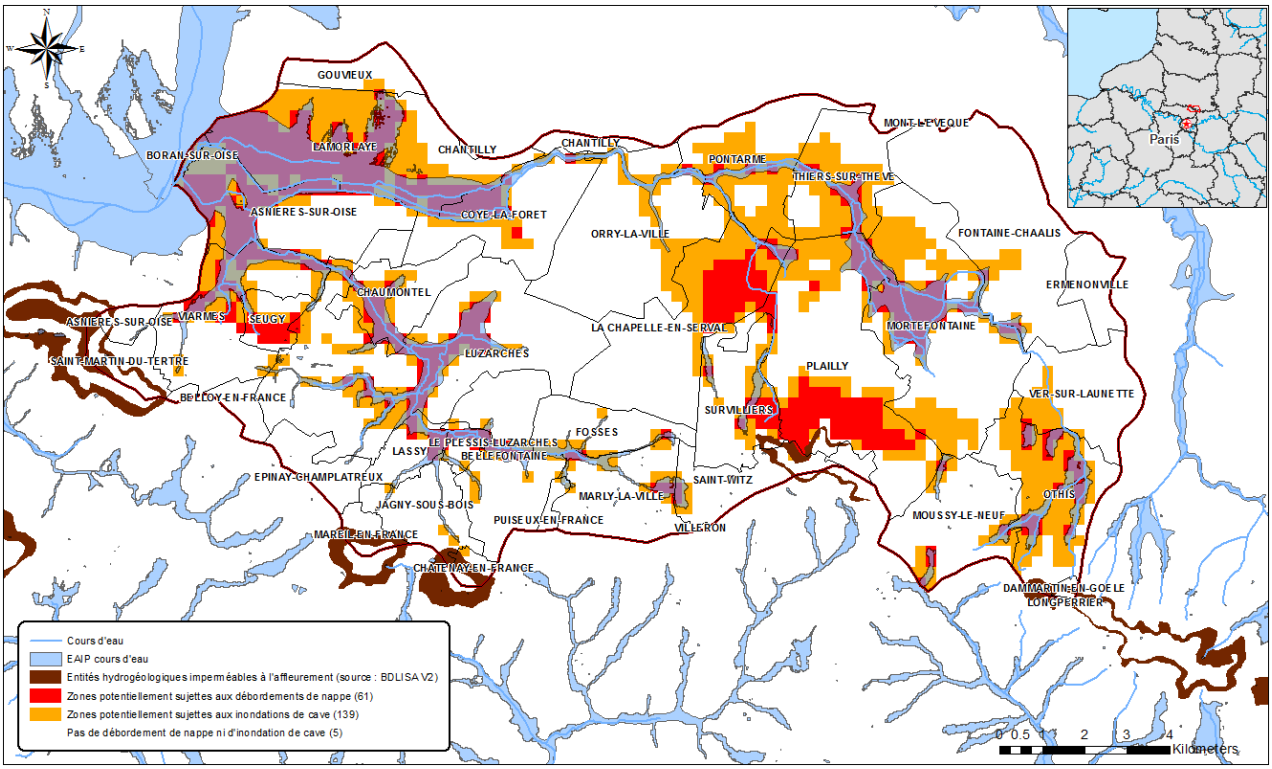


Illustration 24 – Cartographie de la sensibilité aux inondations par remontée de nappe sur le bassin versant de la Thève : Méthode nationale

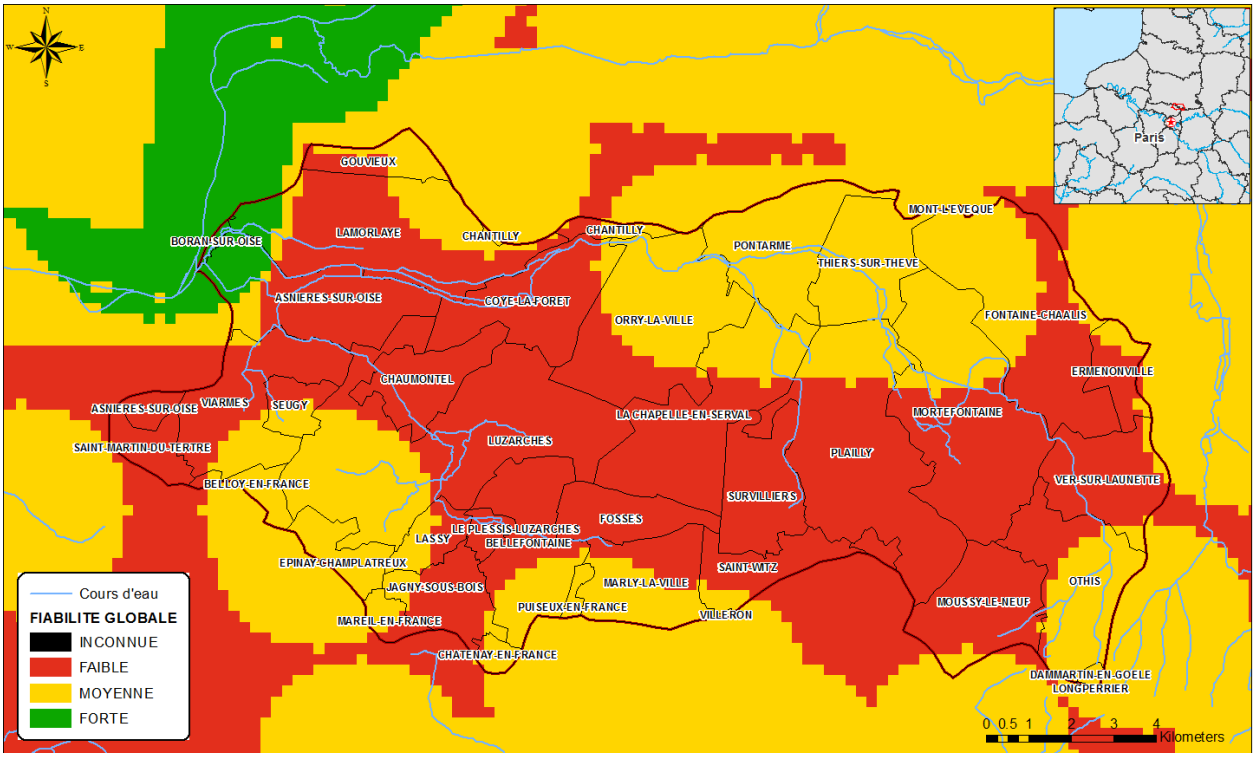


Illustration 25 – Cartographie de la fiabilité globale de la sensibilité aux inondations par remontée de nappe sur le bassin versant de la Thève : Méthode nationale

4.2. TENTATIVES D'AMELIORATION DE LA CARTE NATIONALE

4.2.1. Analyse, traitement et exploitation des données collectées

Comme pour la méthode à l'échelle nationale, les données utilisées sont issues des différentes bases de données : Banque du Sous-Sol (BSS), BSS Eau, campagne piézométrique, Enveloppes Approchée des Inondations potentielles des cours d'eau (EAIPce).

L'enquête auprès des habitants ainsi que les derniers dossiers classés CATNAT (CATastrophe NATurelle) ont été digitalisés pour étoffer le semi de points. Malheureusement cela reste insuffisant pour garantir une couverture de données satisfaisante sur la zone.

A l'échelle du bassin versant de la Thève, la quantité de données est faible et leur répartition très hétérogène, ce qui rend l'estimation par interpolation plus difficile.

De plus, la majorité des données disponibles ne présentent pas une grande fiabilité. Quelle qu'en soit la source, la précision des mesures est empreinte d'incertitude. De même pour la cote NGF du sol au droit du point, à l'exception des points nivelés lors de la campagne de terrain. Pour les points non nivelés, la cote est déduite du Modèle Numérique de Terrain (MNT) au pas de 25 mètres pour la majorité des points. Seuls quelques points extraits de la Banque du Sous-Sol ont un nivellement de précision inférieure au mètre.

L'absence de piézomètres représentatifs à proximité ne nous permet pas de qualifier les maximums piézométriques de la même manière que dans la méthode nationale. Les côtes piézométriques (Z en mètres NGF) des différentes données ont été quantifiées comme suit :

- EAIP : Z eau = Z MNT_25 m
- CATNAT : Z eau = Z MNT_25 m + 0.5 m (Valeur moyenne du niveau d'eau maximal pour une période de retour de 100 ans)
- Enquête, inondation de cave ou de sous-sol : Z eau = Z MNT_25m – 2m + hauteur d'eau estimée par les habitants
- Enquête, inondation de jardin : Z eau = Z MNT_25m
- Ouvrages issus de la BSS : Z eau = Z eau mesurée

Contrairement à la cartographie nationale de la sensibilité au risque d'inondation par remontée de nappe (Brugeron et al., 2018), nous n'utiliserons pas ici de degré de fiabilité pour qualifier les données ; considérées ici comme globalement peu fiables.

Le MNT au pas de 25 mètres est issu de la BD ALTI ® de l'IGN et la grille interpolée de la piézométrie prendra les mêmes paramètres (contre une maille de 250 mètres pour la méthode nationale, Illustration 26)

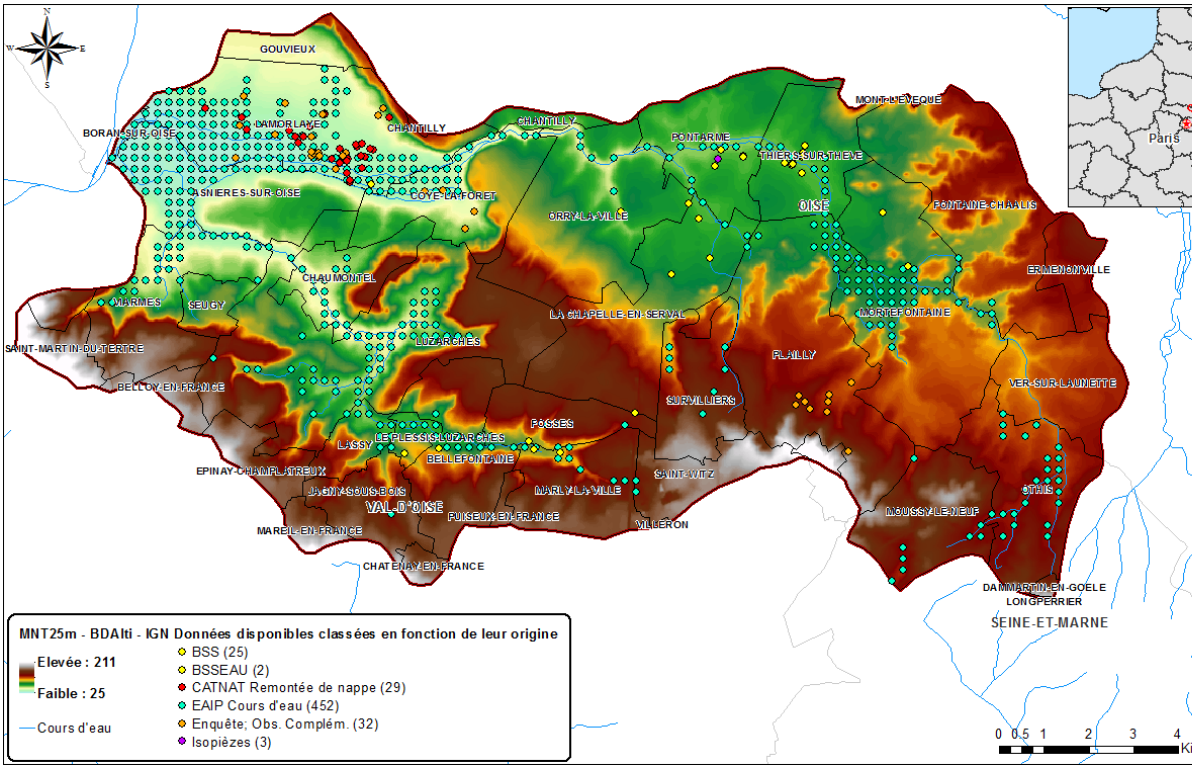


Illustration 26 - Bassin versant de la Thève : Modèle numérique de terrain et localisation des différentes données

4.2.2. Etude géostatistique

Traitement géostatistiques des données sur le bassin de la Thève

L'histogramme de l'Illustration 27 présente les statistiques sur le niveau piézométrique Z_Eau des données.

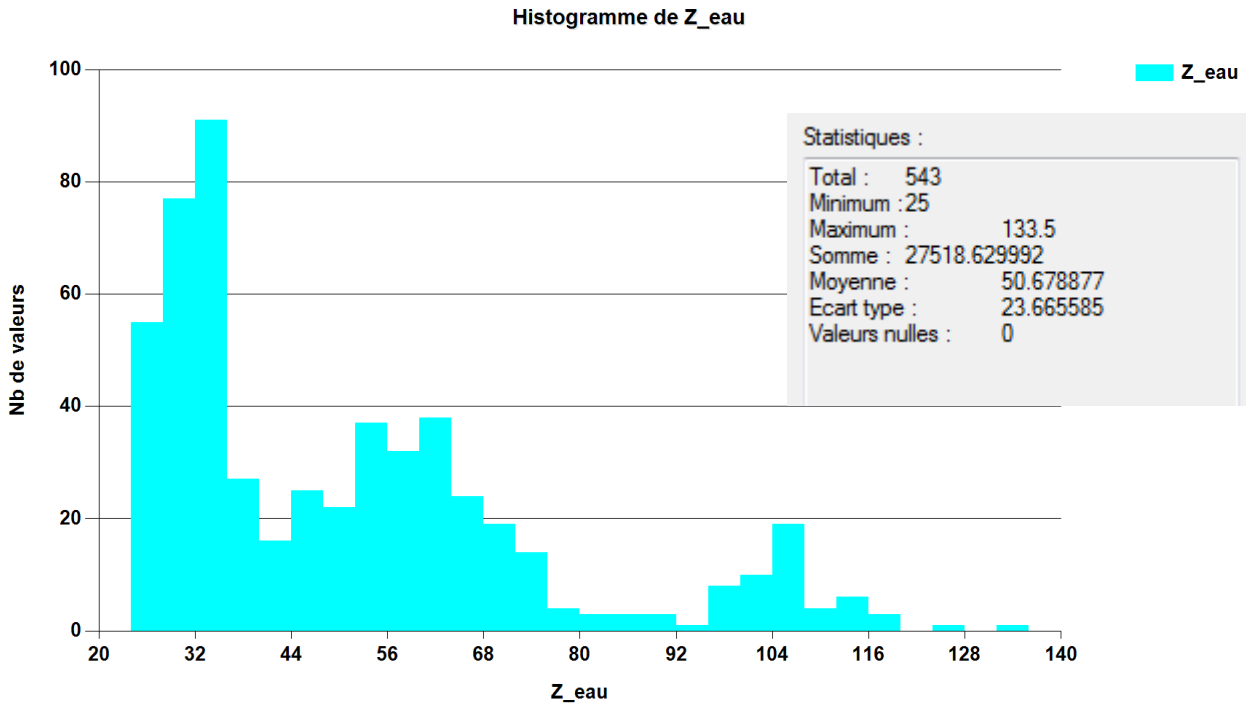


Illustration 27 – Histogramme et statistiques sur les données sélectionnées sur le bassin de versant de la Thève

Le travail consiste à créer un modèle statistique, dont la fiabilité est estimée à l'aide d'une validation croisée, afin de calculer une grille par krigeage du niveau piézométrique estimé lors des événements de 2016, sur l'ensemble du bassin versant de la Thève.

La méthode est la même que pour l'échelle nationale mais le variogramme est calculé sur une zone plus restreinte, permettant ainsi de reproduire la surface piézométrique via un modèle local.

L'étude géostatistique permet de corriger ou de retirer certaines données aberrantes laissant un total de 543 points présentant une valeur de cote piézométrique exploitable.

La validation croisée est une méthode d'estimation de la fiabilité d'un modèle géostatistique. Le coefficient de corrélation est le rapport entre la valeur estimée (Z*) et la valeur mesurée (Z). L'estimation est d'autant meilleure que ce coefficient tend vers 1.

L'erreur brute est la différence entre la valeur estimée et la valeur réelle au droit des données. La valeur réduite est le rapport entre cette différence et l'écart-type de cette erreur brute. Plus elle s'approche de 1, meilleure est l'estimation.

Modèles géostatistiques

Dans un premier temps, le modèle linéaire de la méthode nationale a été adapté et utilisé, avant de tester différentes options d'amélioration, en gardant une interpolation par krigeage ordinaire ou universel.

Ces différentes options de modèles géostatistiques envisagés, ainsi que celle du modèle linéaire sont comparées et analysées afin de déterminer laquelle permet d'améliorer la cartographie des zones potentiellement sujettes aux inondations par remontée de nappe sur le bassin de la Thève. Pour les trois options testées, le variogramme expérimental et la validation croisée sont décrits ci-dessous. Les différents variogrammes présentent la corrélation spatiale des données entre elles dans différentes directions (Nord 0° ; Nord 45°, Nord 90°, Nord 135°). La direction moyenne de ces dernières est utilisées pour caler les modèles de variogrammes.

1. Méthode nationale : Variogramme expérimental avec modèle linéaire

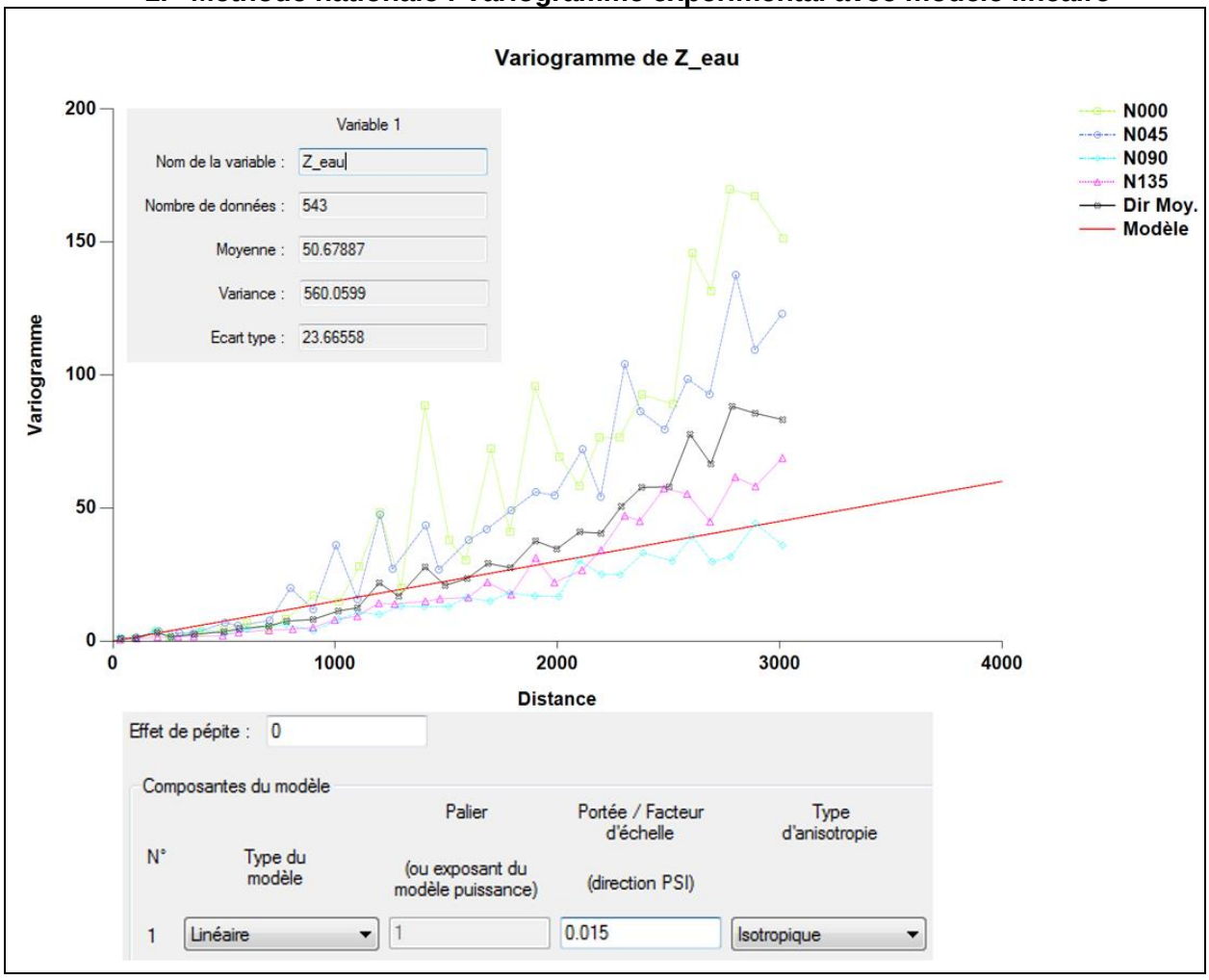


Illustration 28 – Variogramme expérimental calculé sur les données et son modèle calqué sur celui de la méthode nationale

Le modèle linéaire n'est pas très représentatif de la distribution spatiale des données au-delà de 2 km (Illustration 28). Cela pourrait poser problème dans la zone d'étude, notamment au centre du bassin versant où on retrouve une zone vide de données d'environ 5 km de diamètre.

Validation croisée avec le modèle de variogramme linéaire :

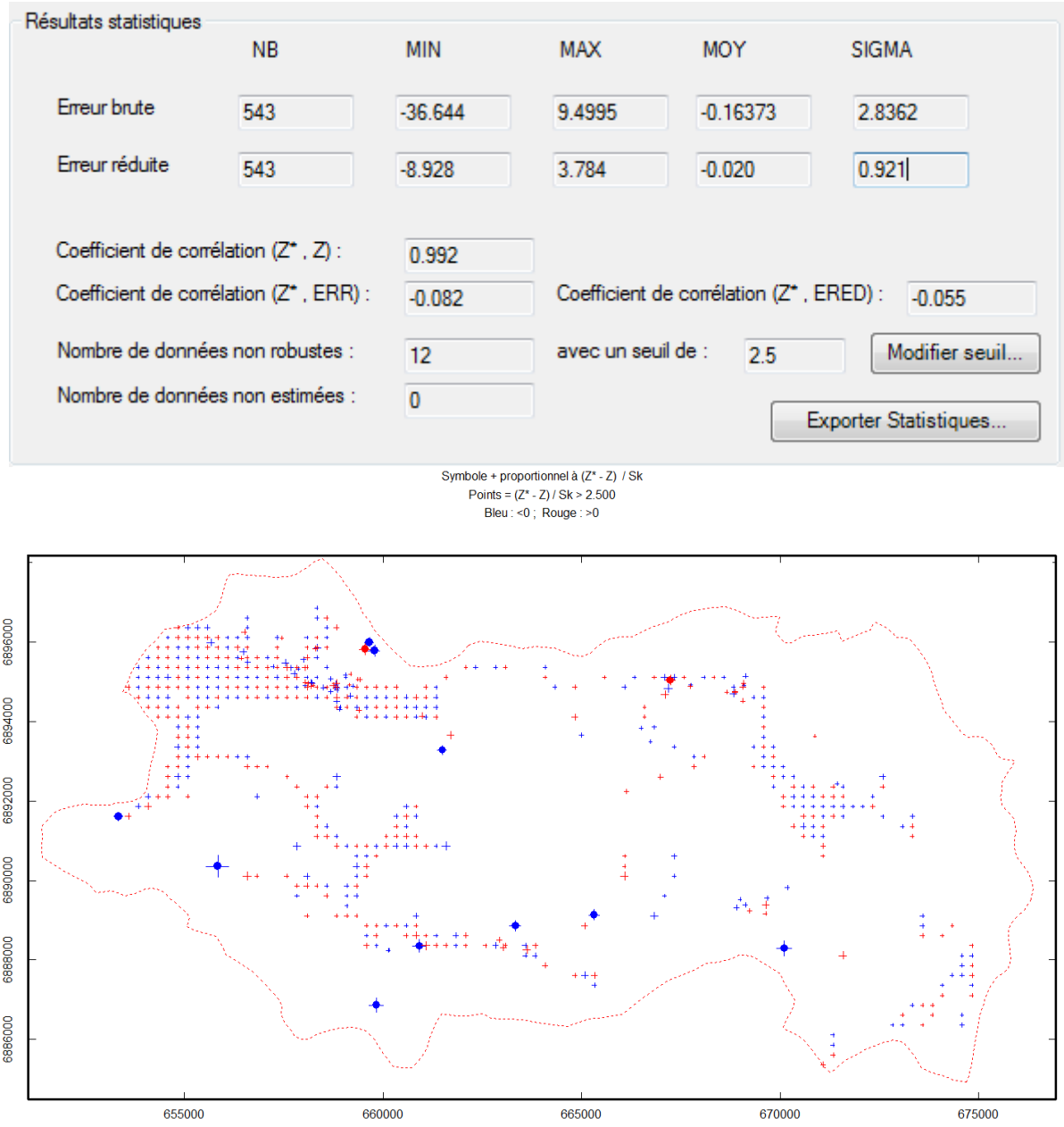


Illustration 29 – Validation croisée et schéma de répartition des données non robustes (ronds) dans le bassin versant de la Thève : méthode nationale

Au niveau de la validation croisée des données, avec seulement 12 données non robustes (environ 2% des données qui présentent un erreur brute supérieure à 2.5 mètres), ce modèle donne une estimation correcte au droit des données (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). M ais l'hétérogénéité de leur répartition sur l'ensemble du bassin versant ne permet pas d'avoir cette précision en tout point.

2. Nouveau modèle : Variogramme expérimental avec modèle cubique et dérive de degré 1

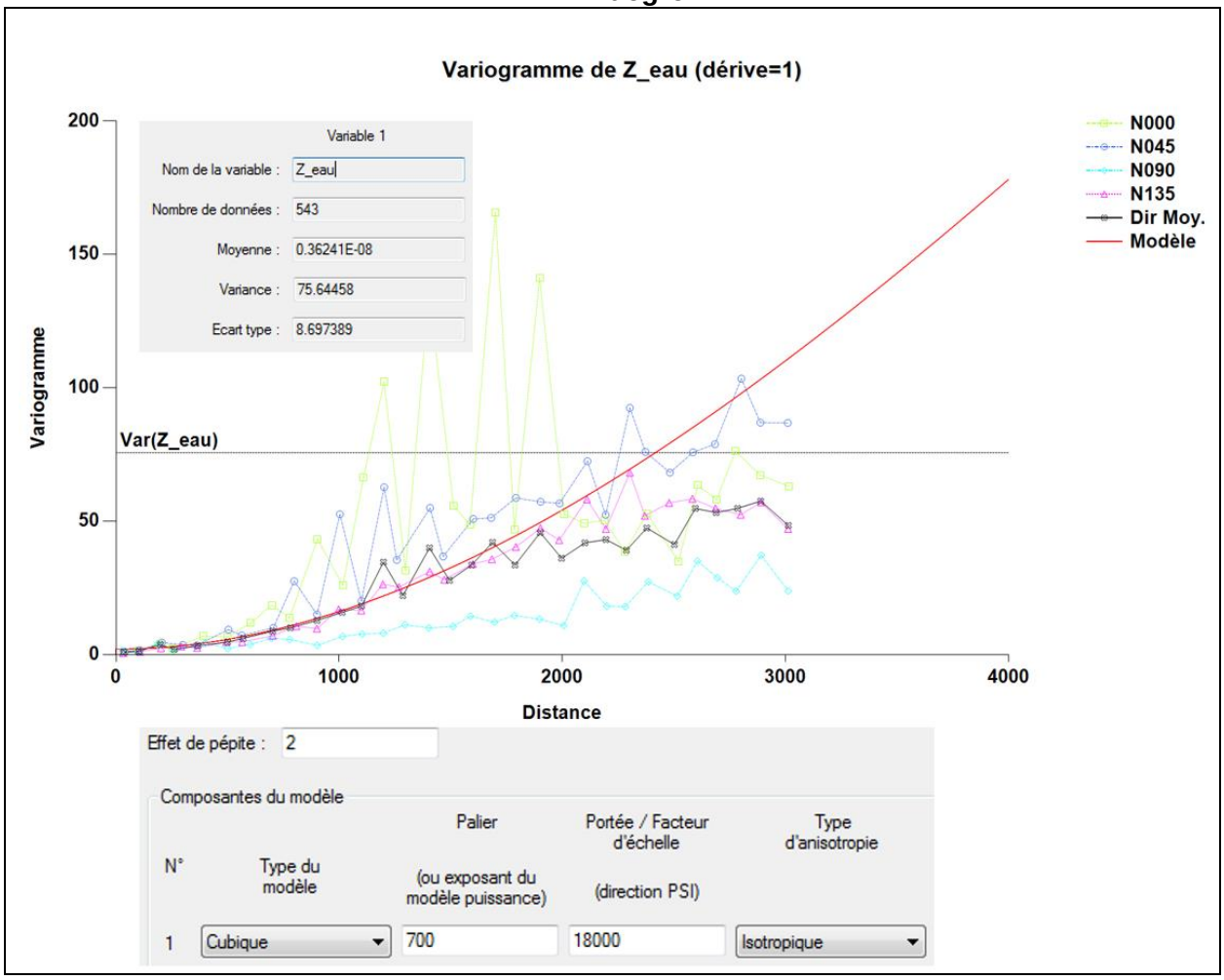
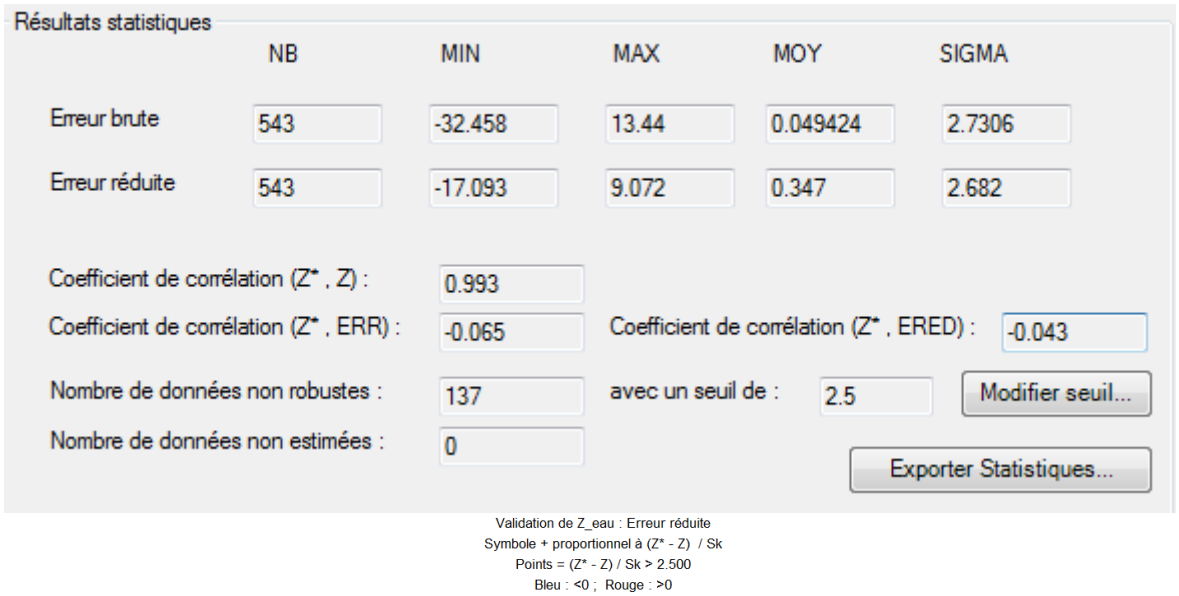


Illustration 30 – Variogramme expérimental calculé sur les données et son modèle cubique avec dérive de degré 1

De même que pour le modèle linéaire, ce modèle cubique n'est pas non plus représentatif de la variabilité des données à partir de 2 km (Illustration 30).

Validation croisée avec le modèle de variogramme cubique avec une dérive de degré 1 :



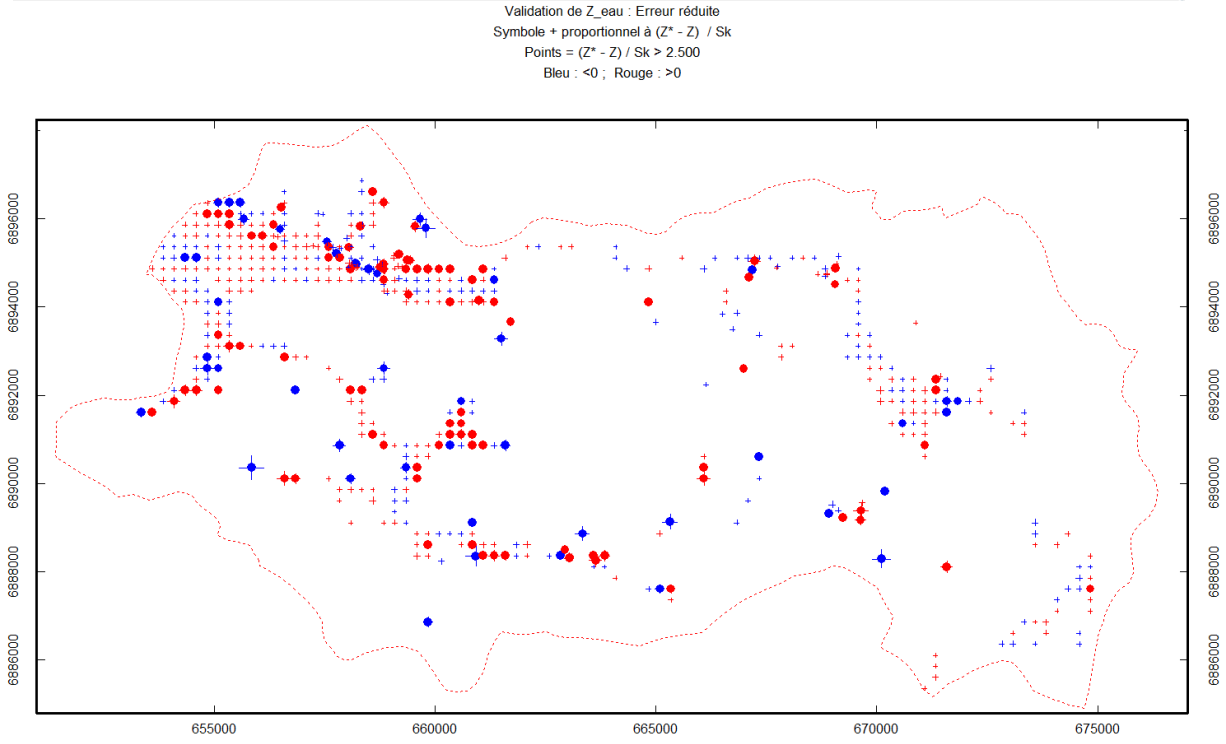


Illustration 31 – Validation croisée et schéma de répartition des données non robustes (ronds) dans le bassin versant de la Thève : Modèle de variogramme cubique

Ce modèle est clairement moins bon que le modèle linéaire. Malgré un coefficient de corrélation correct, l'erreur réduite est nettement supérieure au modèle linéaire et le nombre de données non robustes s'élève à plus de 25% (Illustration 31).

3. Nouveau modèle : Variogramme expérimental avec modèle puissance et dérive de degré 1

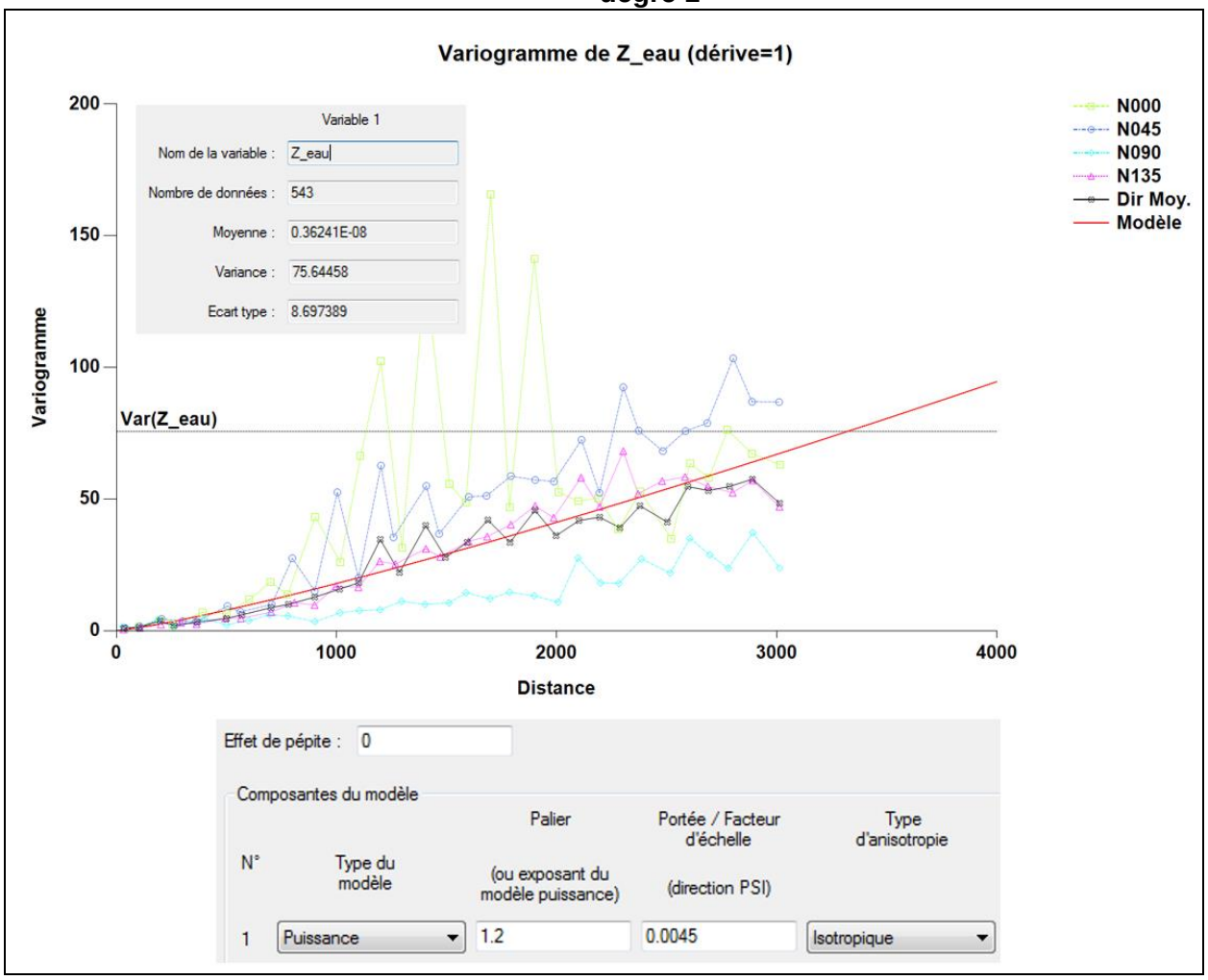


Illustration 32 – Variogramme expérimental calculé sur les données et son modèle puissance avec dérive de degré 1

Mieux représentatif de la distribution des données à cette échelle locale, ce modèle nous propose les meilleures statistiques (Illustration 32).

➔ Validation croisée avec le modèle de variogramme puissance avec une dérive de degré 1 :

Résultats statistiques

	NB	MIN	MAX	MOY	SIGMA
Erreur brute	543	-33.292	10.555	-0.13647	2.5896
Erreur réduite	543	-7.904	4.211	-0.012	0.967

Coefficient de corrélation (Z* , Z) : 0.994

Coefficient de corrélation (Z* , ERR) : -0.077

Coefficient de corrélation (Z* , ERED) : -0.037

Nombre de données non robustes : 15

avec un seuil de : 2.5

Modifier seuil...

Nombre de données non estimées : 0

Exporter Statistiques...

Validation de Z_eau : Erreur réduite
Symbole + proportionnel à (Z* - Z) / Sk
Points = (Z* - Z) / Sk > 2.500
Bleu : <0 ; Rouge : >0

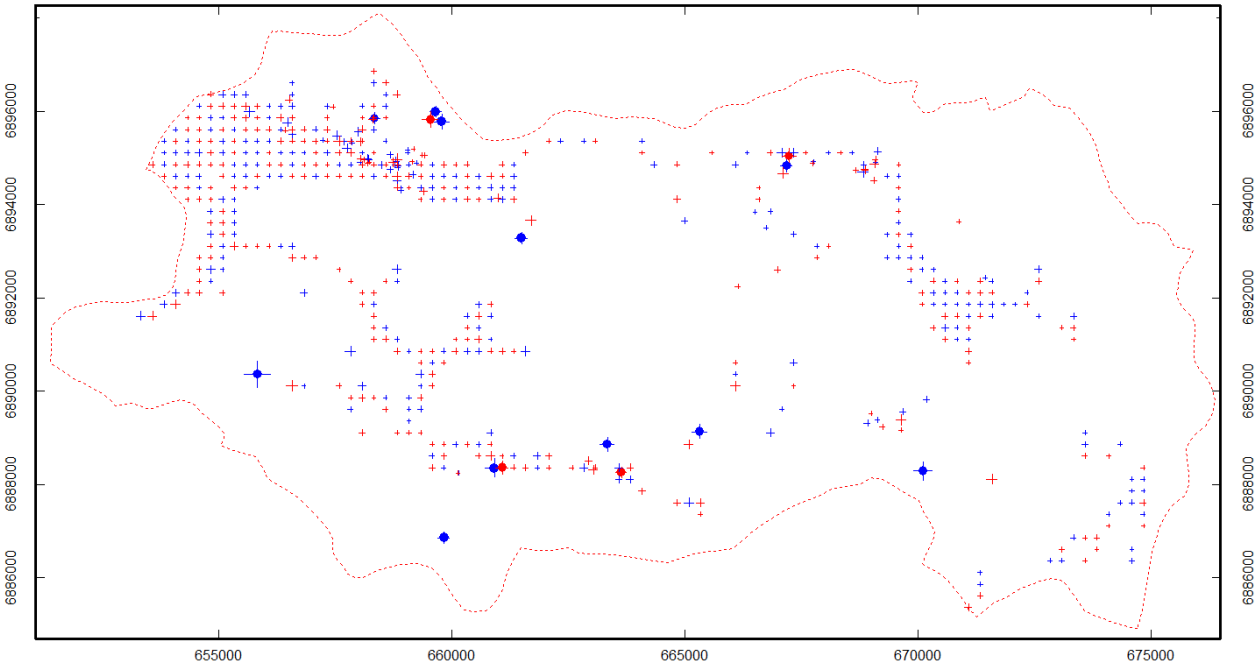


Illustration 33 – Validation croisée et schéma de répartition des données non robustes (ronds) dans le bassin versant de la Thève : modeèle de variogramme puissance

Avec environ 2,7 % de données non robustes, ce modèle est le plus optimisé statistiquement dans le sens où il donne les meilleurs scores pour le coefficient de corrélation et l'écart-type d'erreur réduite (Illustration 33).

Comparativement aux modèles précédents, ce dernier modèle (puissance) est bien meilleur que le modèle cubique et très proche du modèle linéaire, utilisé pour la méthode nationale. La mise en place d'un nouveau modèle, bien que plus représentatif des données à cette échelle locale,

est assez équivalent d'un point de vue statistique au modèle de variogramme utilisé pour la méthode nationale.

Quel que soit le modèle utilisé, le manque de données fiables, ainsi qu'une mauvaise couverture spatiale de celles-ci, resteront les facteurs limitants pour obtenir un meilleur résultat à l'échelle locale.

4.2.3. Résultats

Grille interpolée

De la même manière que pour la méthode nationale, la grille interpolée du niveau piézométrique est soustraite au MNT (au pas de 25 mètres) afin de mettre en évidence les zones où le niveau d'eau maximal affleure ou déborde.

Zones potentielles de débordement =

Cotes altimétriques du MNT – Cotes grille interpolée du niveau piézométrique maximal

Les résultats des zones potentielles de débordement sur le bassin de la Thève au pas 25 m sont présentées sur l'Illustration 34.

Outre la différence de résolution, cette nouvelle grille (Illustration 24) présente, sans surprise, de fortes similitudes avec la grille de la méthode nationale. On retrouve les mêmes étendues avec un contour plus découpé (dû au changement de résolution). Autrement dit, la maille plus fine de cette nouvelle grille permet de préciser les contours.

On observe tout de même une différence notable : d'une manière générale, les zones sujettes aux inondations de cave ont pris plus d'importance que celles sujettes aux remontées de nappe (communes de Lamorlaye, Chaumontel, Othis…).

Les points issus des EAIP des cours d'eau sont, de par leur quantité, très influents sur ce résultat final.

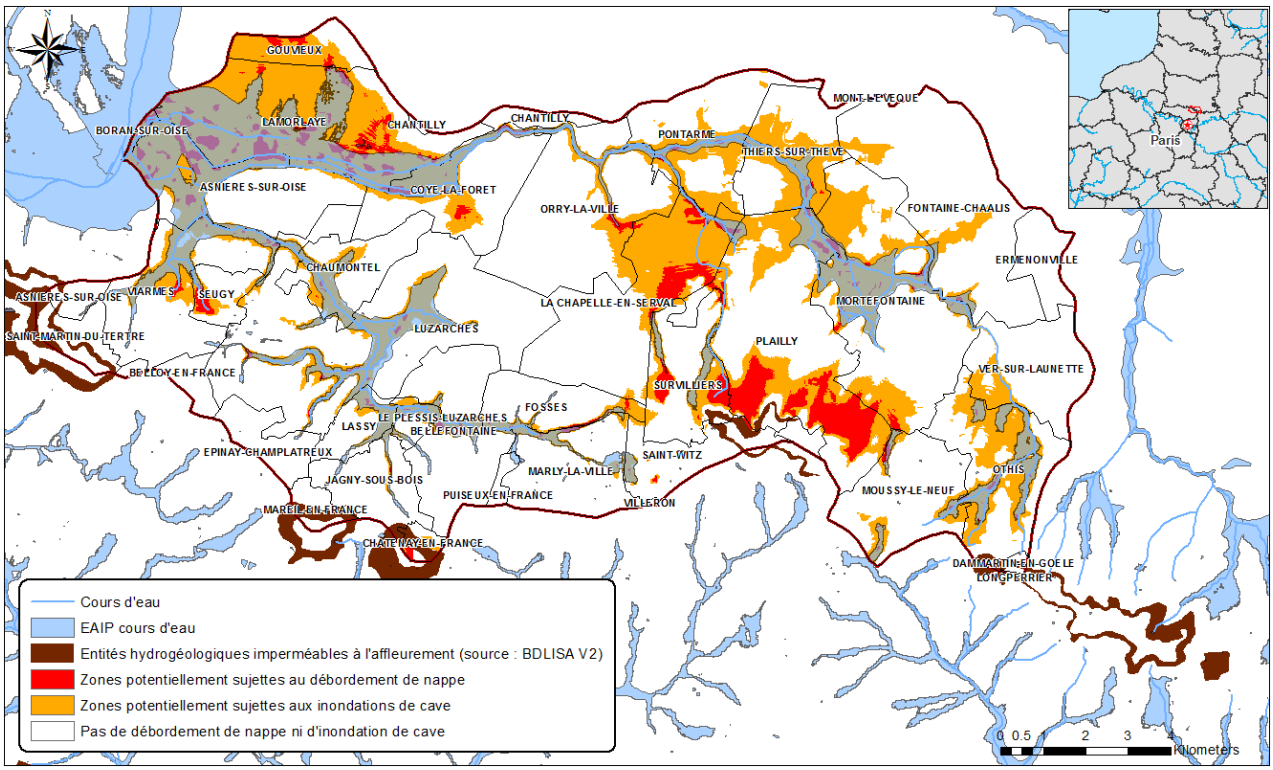


Illustration 34 – Cartographie de la sensibilité aux inondations par remontée de nappe sur le bassin versant de la Thève : modèle géostatistique amélioré pour l'échelle locale

Fiabilité de l'interpolation

Un moyen rapide et fiable d'estimer la précision de l'interpolation réalisée est d'utiliser l'écart-type de krigeage (Illustration 35). Plus ce dernier est faible, meilleure est l'estimation.

Les zones avec peu de données ont un écart-type de krigeage plus fort (tendent vers rouge) et inversement. Cela met en évidence la forte hétérogénéité des données qui fait défaut dans cette zone d'étude, en plus du manque de données fiables (piézomètre ADES avec suffisamment de mesures).

Les marges de la zone d'étude présentent sans surprise un écart-type fort, notamment la bordure Est, pour laquelle les données disponibles sont très éloignées.

En revanche, dans les secteurs disposant d'une forte densité de données, l'écart-type est faible et indique une faible variabilité et donc une estimation du niveau piézométrique relativement bonne.

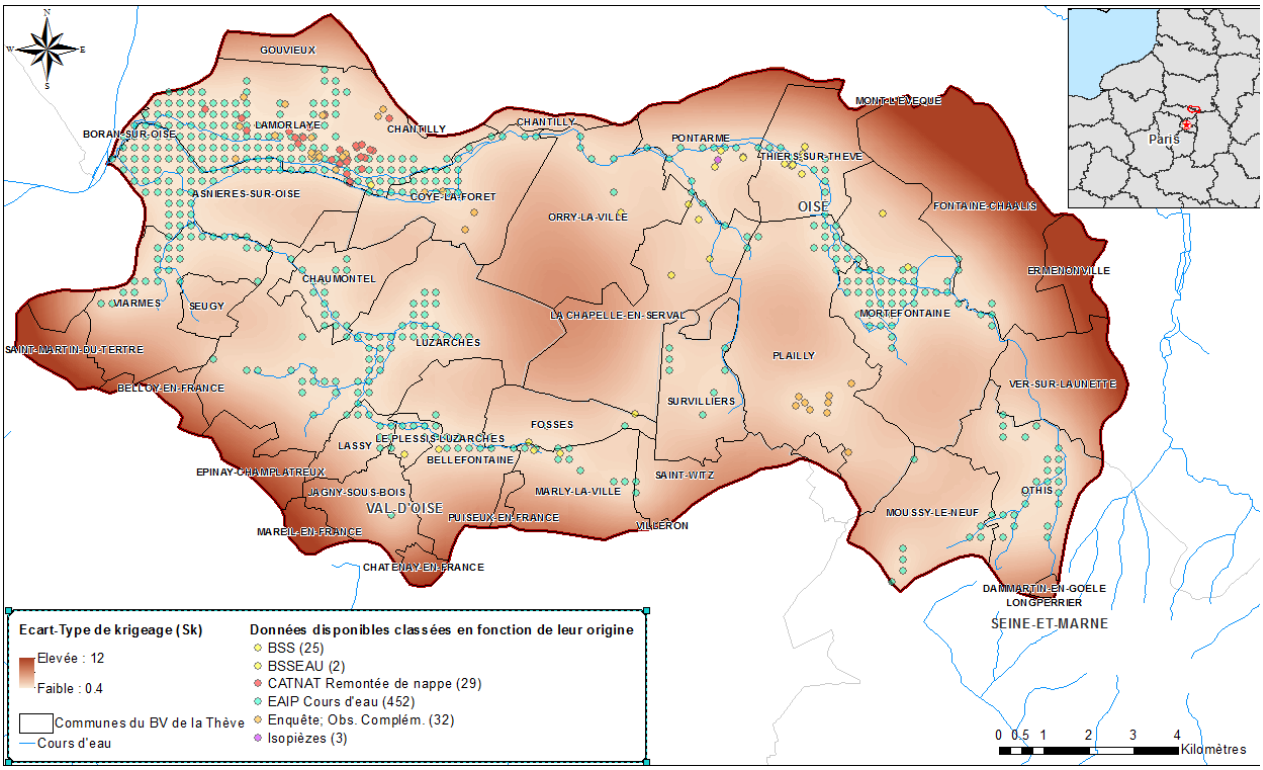


Illustration 35 - Cartographie de l'écart-type de krigeage : représentation de la précision de l'interpolation de la surface piézométrique maximale sur le bassin versant de la Thève

5. Conclusion

Une cartographie de la sensibilité aux inondations par remontée de nappe sur le bassin versant de la Thève a pu être réalisée, à l'échelle du 10 000ème. Malheureusement, le manque de données et leur répartition très hétérogène n'impliquent pas une amélioration significative par rapport à la carte nationale.

Le traitement des images satellitaires permet pour l'épisode climatique de 2016 de faire ressortir les zones qui ont été inondées et la période pendant laquelle cela s'est produit. Mais ce traitement n'a apporté que des informations partielles car le signal du radar à synthèse d'ouverture (SAR) utilisé ne peut pénétrer dans les terres fortement végétalisées (forêts, etc.). Le résultat obtenu aboutit à une sous-estimation du nombre et/ou de l'extension des régions inondées à la suite du traitement. De même, les résultats de l'enquête et les visites de terrain apportent des données intéressantes mais très localisées.

Le modèle géostatistique calculé pour interpoler une surface piézométrique maximale plus représentative à cette échelle locale a été calé au mieux avec les données disponibles en 2018. Le résultat de l'estimation est statistiquement bon, mais est à mettre en perspective avec la faible fiabilité des mesures des données de niveau d'eau et du modèle numérique de terrain, utilisé à la fois comme cote du sol pour la grande majorité des données et comme opérande.

Ces incertitudes relativement élevées font de ce document cartographique un outil indicatif de l'étendue spatiale possible d'un événement extrême, mais les valeurs de cotes piézométriques associées ne sont pas suffisamment précises pour être utilisées en tant que valeurs exactes.

Il y a plusieurs pistes d'améliorations possibles. Le principal facteur limitant à l'établissement d'une cartographie plus précise dans cette zone est la faible quantité de données et leur fiabilité. Sur le long terme, l'établissement d'un réseau de piézomètres captant la nappe de la Craie dans le bassin versant de la Thève et disposant d'un suivi sur plusieurs dizaines d'années permettrait de mieux appréhender les fluctuations piézométriques et d'estimer les périodes de retour des évènements extrêmes.

6. Bibliographie

ALLIER D., TORMO F., BRUGERON A. (2011). Évaluation préliminaire du risque d'inondations par remontées de nappes. Rapport BRGM/RP-59890-FR.

ALLIER D., AMRAOUI N., BAULT V., BESSIERE H. et STOLLSTEINER Ph. (2012) – Prévision des niveaux piézométriques et des débits d'étiage de 2012 sur 11 bassins versants en Picardie. Rapport final. BRGM/RP-61164-FR, 234 p., 210 ill., 22 tabl., 2 ann., 1 CD.

ARNAUD L. et BAULT V. (2014) – Prévision des niveaux piézométriques et des débits d'étiage 2014 sur deux bassins versants en Picardie. Rapport final. BRGM/RP-63655-FR, 67 p., 54 ill., 1 ann., 1 CD.

BAULT V., BORDE J., FOLLET R., LAURENT A., TOURLIERE B. avec la collaboration de Leveau E. et Willefert V. (2012) – Atlas hydrogéologique numérique de l'Oise. Phase 3 : Notice. Rapport final. BRGM/RP-61081-FR, 320 p., 81 ill., 55 tab., 2 ann., 1 cd-rom, 1 carte A0.

BAULT V., BESSIERE H. (2013) – Prévision des niveaux piézométriques et des débits d'étiage de 2013 sur 4 bassins versants en Picardie. Rapport final. BRGM/RP-62449-FR, 116 p., 87 ill., 18 tabl. 1 ann., 1 CD.

BAULT V., BOURGINE B., LOISELET C. et Anquetil E. (2015) avec la collaboration de BelA., Chabart M., Braibant G., Gallais Q., Joublin F., Koch F., Leconte S., Lefèvre Y., Legendre S., Merlin E., Neveux A., Nicolas J., Rouseaux E., Vieville A. Cartes piézométriques basses eaux 2013 et hautes eaux 2014 des nappes du Lutétien et de l'Yprésien supérieur dans le Bassin parisien. Rapport Final BRGM/RP-64887-FR

BAULT V. (2016) – Avis hydrogéologique suite aux inondations par remontée de nappe survenues du 30 mai à fin juin 2016 sur la commune de Lamorlaye (60), dans le cadre d'une demande de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle. Rapport d'expertise CATNAT. Rapport BRGM/RP-66000-FR. 29 p., 18 ill., 3 ann.

BRUGERON A., BESSIERE H., BOURGINE B., STOLLSTEINER P. (2018) – Etude méthodologique pour l'amélioration de la cartographie de sensibilité aux remontées de nappes et réalisation d'une carte nationale - BRGM/RP-65452-FR

DENIAUD Y., MACHARD DE GRAMONT H., DUMONT E., THIEBAUD E., MOREL M., GRESSELIN F., PHILIPPE M., MARLY X., MARDHEL V. (2012) : Directive inondation - cartographie - Mission n°6 'Remontée de nappes', Centre d'études techniques de l'équipement Département Risques et développement des territoires, Dossier 2012 - 119 (affaire 110300235), 2012.

FINCH J. W., BRADFORD R. B., HUDSON J. A. (2004): « The spatial distribution of groundwater flooding in a chalk catchment in southern England ». Hydrol. Process. 18: 959-971. doi:10.1002/hyp.1340.

HUGHES A., VOUNAKI T., PEACH D., IRESON A., JACKSON C., BUTLER A., BLOOMFIELD J., FINCH J., WHEATER H. (2011): « Flood risk from groundwater: examples from a Chalk catchment in southern England ». Journal of Flood Risk Management, 4: 143-155. doi:10.1111/j.1753-318X.2011.01095.x.

JACOBS (2004): Strategy for flood and coastal erosion risk management: Groundwater flooding scoping study (LDS 23). DEFRA. (http://www.defra.gov.uk/environ/fcd/policy/strategy/gw1.pdf).

MACDONALD D., DIXON A., NEWELL A., HALLAWAYS A. (2012): « Groundwater flooding within urbanised flood plain ». J. Flood Risk Manage, 5: 68-80. doi:10.1111/j.1753-318X.2011.01127.x.

MACHARD DE GRAMONT H., MARDHEL V. (2006) : Atlas des remontées de nappes en France métropolitaine. Rapport BRGM/RP-54414-FR.

7. Glossaire

ADES : Accès aux Données sur les Eaux Souterraines

BSS : Banque du Sous-Sol regroupant les ouvrages souterrains français*

BSSEAU : Banque du Sous-Sol regroupant les ouvrages souterrains relatifs aux eaux souterraines

CATNAT : CATastrophe NATurelle

EAIP ce et sm : Enveloppe Approchée d'Inondation Potentielle Cours d'Eau ou de Submersion Marine

ETP : EvapoTranspiration Potentielle

MNT : Modèle Numérique de Terrain

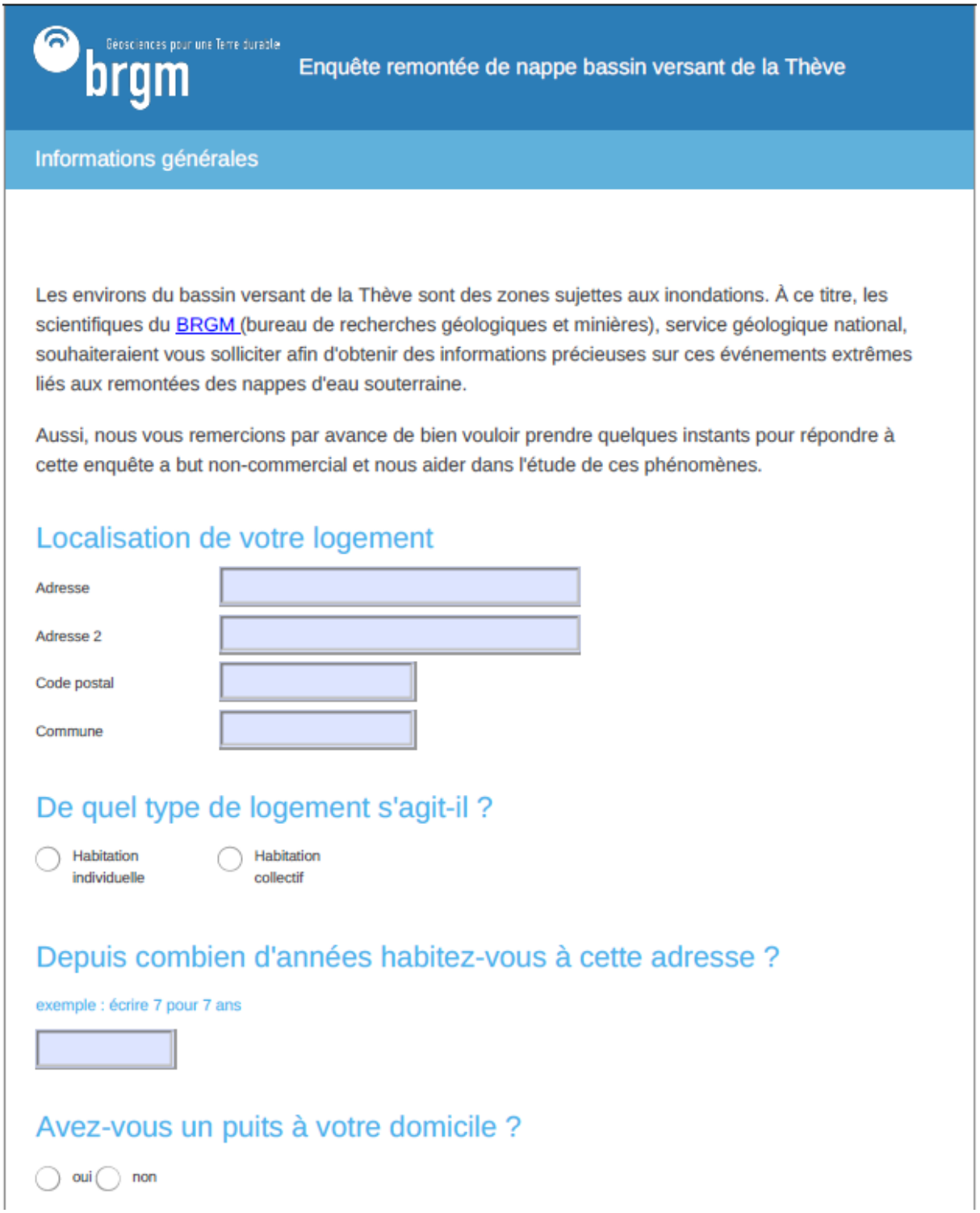
NGF : Nivellement Général Français

PLU : Plan Local d'Urbanisme

SAR : Synthetic Aperture Radar, ou Radar à Synthèse d'Ouverture en français

Annexe 1

Enquête remontée de nappe sur le bassin versant de la Thève



Geosciences pour une Terre durable
brgm

Enquête remontée de nappe bassin versant de la Thève

Informations générales

Les environs du bassin versant de la Thève sont des zones sujettes aux inondations. À ce titre, les scientifiques du BRGM (bureau de recherches géologiques et minières), service géologique national, souhaiteraient vous solliciter afin d'obtenir des informations précieuses sur ces événements extrêmes liés aux remontées des nappes d'eau souterraine.

Aussi, nous vous remercions par avance de bien vouloir prendre quelques instants pour répondre à cette enquête a but non-commercial et nous aider dans l'étude de ces phénomènes.

Localisation de votre logement

Adresse

Adresse 2

Code postal

Commune

De quel type de logement s'agit-il ?

Habitation individuelle

Habitation collectif

Depuis combien d'années habitez-vous à cette adresse ?

exemple : écrire 7 pour 7 ans

Avez-vous un puits à votre domicile ?

oui non

Enquête remontée de nappe bassin versant de la Thève

Votre puits

Est-il déjà arrivé que votre puits déborde ?

oui non

Si oui, en quelle(s) année(s) ?

année 1

année 2

année 3

année 4

Disposez-vous d'observations sur les niveaux d'eau de votre puits ?

oui non

Si oui, quel est son niveau d'eau moyen (en profondeur) ?

exemple : 4.5 pour une profondeur de 4,5 mètres

Quels sont les niveaux d'eau maximaux atteints (en profondeur) et leurs dates associées ?

exemple : 2,25 m le 15/05/2007

* Votre habitation a-t'elle déjà été inondée ?

oui non

Enquête remontée de nappe bassin versant de la Thève

Inondation n°1

Si vous avez subi de multiples inondations, nous vous proposerons de remplir une page différente pour déclarer chaque épisode.

À quelle date a eu lieu votre première inondation ?

Date JJ / MM / AAAA

Combien de jours a-t-elle duré ?

exemple : 1.5 pour 1,5 jour

Combien de mètres d'eau avez-vous eu dans votre sous-sol ?

exemple : 0.5 pour 0,5 mètres

Et au rez-de-chaussée ?

exemple : 0,5 pour 0,5 mètres

Quelle était la source de l'eau à l'origine de cette inondation ?

- [ ] de la pluie
- [ ] d'une remontée de nappe d'eau souterraine
- [ ] d'une rivière (si oui, veuillez préciser son nom)

Avez-vous subi d'autres inondations à votre domicile ?

( ) oui ( ) non

Enquête remontée de nappe bassin versant de la Thève

Inondation n°2

Si vous avez subi de multiples inondations, nous vous proposerons de remplir une page différente pour déclarer chaque épisode.

À quelle date a eu lieu votre deuxième inondation ?

Date JJ / MM / AAAA

Combien de jours a-t-elle duré ?

exemple : 1.5 pour 1,5 jour

Combien de mètres d'eau avez-vous eu dans votre sous-sol ?

exemple : 0,5 pour 0,5 mètres

Et au rez-de-chaussée ?

exemple : 0,5 pour 0,5 mètres

Quelle était la source de l'eau à l'origine de cette inondation ?

- [ ] de la pluie
- [ ] d'une remontée de nappe d'eau souterraine
- [ ] d'une rivière (si oui, veuillez préciser son nom)

Avez-vous subi d'autres inondations à votre domicile ?

( ) oui ( ) non

Enquête remontée de nappe bassin versant de la Thève

Inondation n°3

Si vous avez subi de multiples inondations, nous vous proposerons de remplir une page différente pour déclarer chaque épisode.

À quelle date a eu lieu votre troisième inondation ?

Date JJ / MM / AAAA

Combien de jours a-t-elle duré ?

exemple : 1.5 pour 1,5 jour

Combien de mètres d'eau avez-vous eu dans votre sous-sol ?

exemple : 0,5 pour 0,5 mètres

Et au rez-de-chaussée ?

exemple : 0,5 pour 0,5 mètres

Quelle était la source de l'eau à l'origine de cette inondation ?

- [ ] de la pluie
- [ ] d'une remontée de nappe d'eau souterraine
- [ ] d'une rivière (si oui, veuillez préciser son nom)

Avez-vous subi d'autres inondations à votre domicile ?

( ) oui ( ) non

Enquête remontée de nappe bassin versant de la Thève

Inondation n°4

Si vous avez subi de multiples inondations, nous vous proposerons de remplir une page différente pour déclarer chaque épisode.

À quelle date a eu lieu votre quatrième inondation ?

Date JJ / MM / AAAA

Combien de jours a-t-elle duré ?

exemple : 1.5 pour 1,5 jour

Combien de mètres d'eau avez-vous eu dans votre sous-sol ?

exemple : 0,5 pour 0,5 mètres

Et au rez-de-chaussée ?

exemple : 0,5 pour 0,5 mètres

Quelle était la source de l'eau à l'origine de cette inondation ?

- [ ] de la pluie
- [ ] d'une remontée de nappe d'eau souterraine
- [ ] d'une rivière (si oui, veuillez préciser son nom)



Enquête remontée de nappe bassin versant de la Thève

Vos coordonnées

Afin d'étudier plus en détails les remontées des nappes d'eau souterraines, pourrions-nous vous rendre visite durant le dernier trimestre 2017 svp ?

Attention : Toutes les personnes acceptant cette visite ne seront pas sollicitées pour autant. Nous effectuerons un choix en fonction de l'intérêt que représenterons vos réponses pour nos scientifiques (emplacement de votre habitation, nombre et volume des inondations, etc.).

oui non

Si vous acceptez cette visite, merci de préciser vos coordonnées

Nom

Prénom

Adresse email

Numéro de téléphone

Commentaires, remarques éventuelles

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Centre scientifique et technique
Direction eau environnement et ecotechnologies
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34
www.brgm.fr