

INVENTAIRE ET ANALYSE DES INDICES KARSTIQUES DU BASSIN VERSANT DE LA RETREVE (45)

INVENTORY AND ANALYSIS OF KARSTIC FEATURES IN THE RETREVE WATERSHED (45)

Gildas NOURY¹, Alexis GUTIERREZ¹, Florian MASSON¹, Daniel LANGLOIS², Claire BRUGERON¹, Hélène BESSIERE¹, Rosalie VANDROMME¹, Anne-Gaëlle MOTHE¹

¹ BRGM, Orléans, France

² Groupe Spéléologique Orléanais, Saint-Denis-en-Val, France

RÉSUMÉ – La crise ayant suivi l'inondation d'un secteur du nord d'Orléans suite aux fortes pluies de fin mai 2016 a motivé une étude d'ampleur menée par le BRGM et le Cerema. Avec l'aide précieuse des spéléologues locaux, le BRGM a caractérisé la géomorphologie et le fonctionnement hydrogéologique des vallées sèches traversant la forêt à cet endroit et des formes karstiques associées. Des pistes pour mieux gérer ce risque ont été proposées.

ABSTRACT – The flooding of a northern sector of Orléans following heavy rains in May-June 2016 prompted a comprehensive study conducted by BRGM and Cerema. With the valuable assistance of local speleologists, BRGM characterized the geomorphology and hydrogeological functioning of the dry valleys crossing the forest in that area, along with associated karstic forms. Recommendations for better managing this risk were put forward.

1. Introduction

Au printemps 2016, la vallée sèche de la Retrève située au nord d'Orléans est inondée pendant une dizaine de jours suite à un épisode pluvieux exceptionnel. Cet événement a été attribué au changement climatique (van Oldenborgh et al. 2016).

L'inondation surprend, non seulement car elle n'en est pas survenue depuis plus de 30 ans mais aussi car elle atteint un niveau jamais observé. Les dommages sont importants et génèrent une crise systémique (Figure 1) : l'autoroute A10 et d'autres infrastructures sont coupées, plusieurs dizaines d'habitations sont évacuées, des effondrements liés à des cavités souterraines sont provoqués (Ricard et Boizard, 2016 ; Noury et al., 2018).



La Retrève à la décrue au niveau de l'A10



Effondrements d'une carrière souterraine à Gidy

Figure 1. Inondation de la Retrève et effondrements associés

Une large étude est alors lancée pour mieux comprendre le fonctionnement hydrologique et hydrogéologique du secteur à l'origine de l'inondation, dans le bassin

versant amont de la Retrève. . D'une surface totale de 73 km², il s'inscrit dans la forêt d'Orléans et était jusqu'alors très mal connu. Cette étude est menée à la demande conjointe de la Direction Départementale des Territoires du Loiret, du Département du Loiret, de la Métropole d'Orléans, de Cofiroute et de deux Communautés de Communes : celle de la Beauce Loirétaine et celle de la Forêt.

Le travail confié au BRGM et au Cerema comporte cinq tâches. Cet article présente le travail effectué par le BRGM pour la tâche 1 (Inventaire et l'analyse des indices karstiques – Noury et al., 2021) et quelques éléments de la tâche 4 (Etude hydraulique et hydrogéologique – Bessière et al., 2022). Les autres tâches concernent la caractérisation de la géologie de surface et la modélisation des inondations.

2. Contexte et connaissances préexistantes

Le sol de la forêt d'Orléans est parsemé de dépressions naturelles liées à la karstification du calcaire de Beauce et à l'érosion des terrains environnants. Ces formes sont généralement isolées, à l'exception de quatre secteurs situés en fond de vallée : ces impressionnantes « mégastructures » font plusieurs dizaines de mètres de long et souvent plusieurs mètres de profondeur (Ravins des Grands Gouffres, Fosses Guillaume – Figure 2, Gouffres des Pas-Ronds, Orfosses Mouillées).

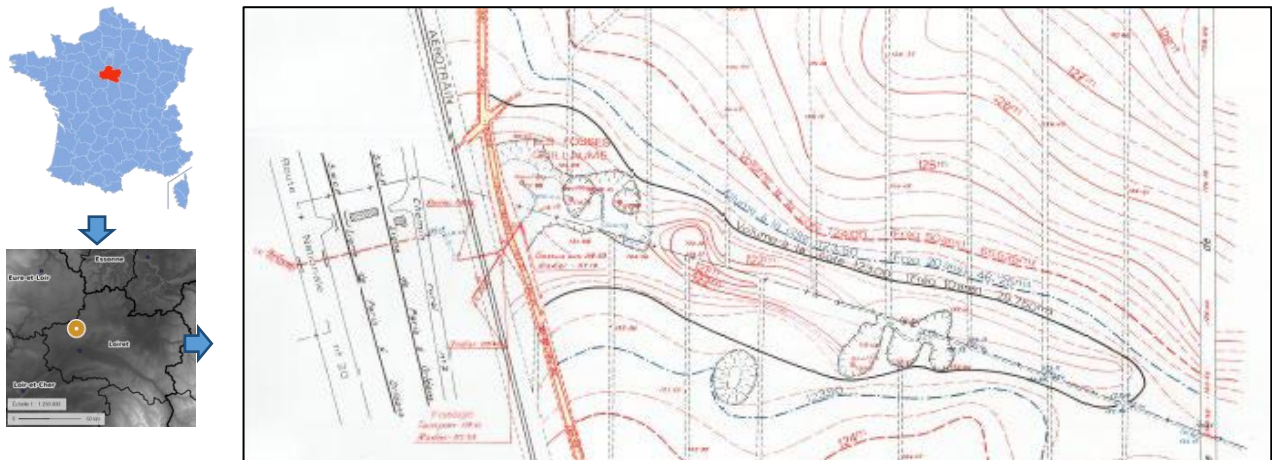


Figure 2. Localisation générale et carte des Fosses Guillaume (ONF, inédit)

Ces dépressions servent *a minima* à stocker naturellement les eaux arrivant sur le secteur. Certains gouffres jouent un rôle supplémentaire d'infiltration vers la nappe de Beauce (Figure 3) car ils sont connectés avec elle et non colmatés. Ces rôles doivent être connus pour savoir à quel point ils tamponnent les inondations de la Retrève.



Figure 3. Les gouffres des Fosses Guillaume à deux périodes de l'année

L'existence de ces dépressions est connue de longue date grâce aux inventaires d'Archambault (1964) et de Lorain (1973 – Figure 4). Archambault recense 411 dépressions sur 130 km² tandis que Lorain établit que 79 % se trouvent sous 125 m d'altitude.

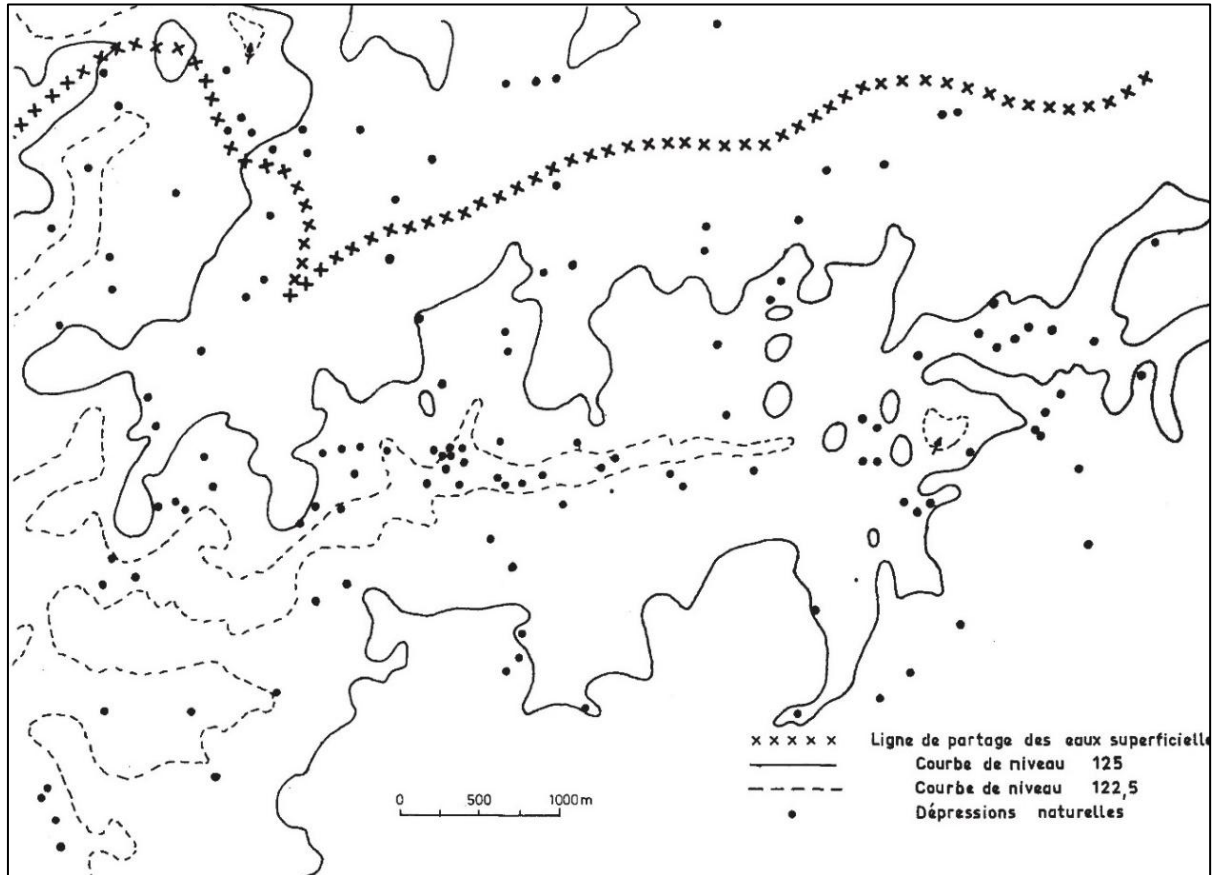


Figure 4. Esquisse topographique de la vallée de la Retrève (Lorain, 1973)

D'autres sources fournissent des informations parfois très détaillées :

- Les travaux du Groupe Spéléologique Orléanais (notamment GSO, 1980 et 2002) et ceux de Moreau et Langlois (2023) constituent une mine précieuse : 79 gouffres et dolines présents sur le secteur d'étude ont été observés parfois sur 70 ans.
- La Fédération Française de Course d'Orientation a cartographié 46 km² de la forêt d'Orléans ; plus de 600 dépressions et mares y sont dessinées.
- Les observations du syndicat du Nan (ruisseau rejoignant la Retrève en aval de la zone étudiée ici) ont également été intégrées à l'étude.

3. Méthodes d'étude

3.1. Etude géomorphologique

Les documents cités ci-dessus ont été analysés et intégrés à un SIG. Ils ont été complétés grâce à l'analyse approfondie du MNT haute résolution fourni par deux levés LiDAR (dont un levé acquis en 2019 dans le cadre du projet).

Un algorithme a ensuite été utilisé pour traiter ce LiDAR de manière à repérer automatiquement les dépressions endoréiques (fermées) et à en retirer les principales caractéristiques géométriques (longueur, largeur, profondeur, situation du point bas, circularité, etc. – cf. schéma de la Figure 5). Le code informatique utilisé s'inspire notamment des travaux de Cartannaz et Dewez (2015) et de Wu et al. (2016).

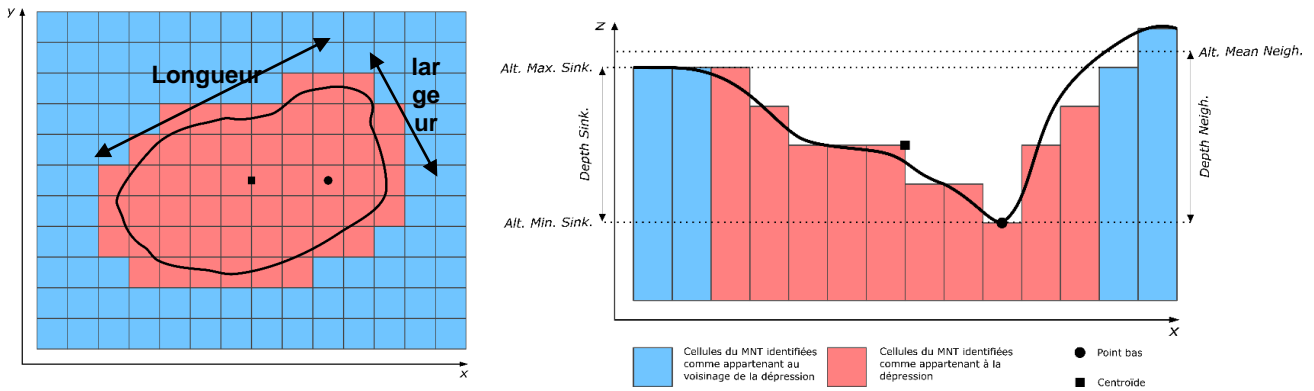


Figure 5. Caractéristiques morphologiques calculées via le MNT

Il a ensuite fallu trier les dépressions détectées pour écarter les nombreux artefacts non karstiques. Il s'agit de terrassements plus ou moins grands, tels que des fossés, des petites carrières à ciel ouvert, des descentes de garages. Les trous de bombes (seconde guerre mondiale, camp militaire) sont également à écarter. Après plusieurs tests, les formes ont été filtrées via leurs caractéristiques géométriques : les formes très longues (rapport longueur/largeur $\gg 1$), celles avec des contours irréguliers (circularité « faible »), celles proches des bâtiments ont ainsi pu être mises de côté en considérant qu'il s'agissait vraisemblablement et respectivement : des fossés, des carrières et des descentes de garage. Les zones bombardées et les terrains militaires ont dû être traités manuellement.

A l'inverse, il a fallu ajouter les mares : celles-ci ne peuvent pas être détectées comme des dépressions car elles sont plates sur le MNT, la méthode LiDAR classique ne permettant pas de mesure sous l'eau.

Plusieurs jours de visite sur le terrain ont enfin permis de confirmer la pertinence des analyses informatiques et de les préciser par des observations directes.

3.2. Etude hydrogéologique

Au début de l'étude, des mesures d'infiltration étaient initialement prévues dans quelques gouffres. Ces mesures sont finalement apparues comme trop complexes à réaliser et comme ne pouvant fournir de résultats suffisamment significatifs pour l'ensemble des formes repérées ; elles ont donc été abandonnées.

Les observations du GSO sur une vingtaine de gouffres ont à la place été analysées en détail. Quinze disposent de notes détaillant les infiltrations (évaluation empirique). Il s'agirait des gouffres les plus absorbants parmi les 79 ayant intéressé le GSO sur le secteur.

4. Résultats

4.1. Inventaire et analyse géomorphologique des indices karstiques

En reprenant les étapes précédemment décrites :

- 3529 dépressions endoréiques pluri décimétriques ont été repérées par l'algorithme sur les 73 km² de la zone d'étude.
- Les tris (cf. méthode ci-dessus) et les visites de terrain ont abouti à retenir au final 820 indices karstiques, soit une densité globale de 11,2 par km² (carte en Figure 6). Les 79 gouffres recensés par le GSO sont bien sûr compris dans cet inventaire.

L'inventaire d'Archambault de 1964 aboutissait à une densité de 3,2 dépressions par km² : l'étude du BRGM a donc largement complété ce travail.

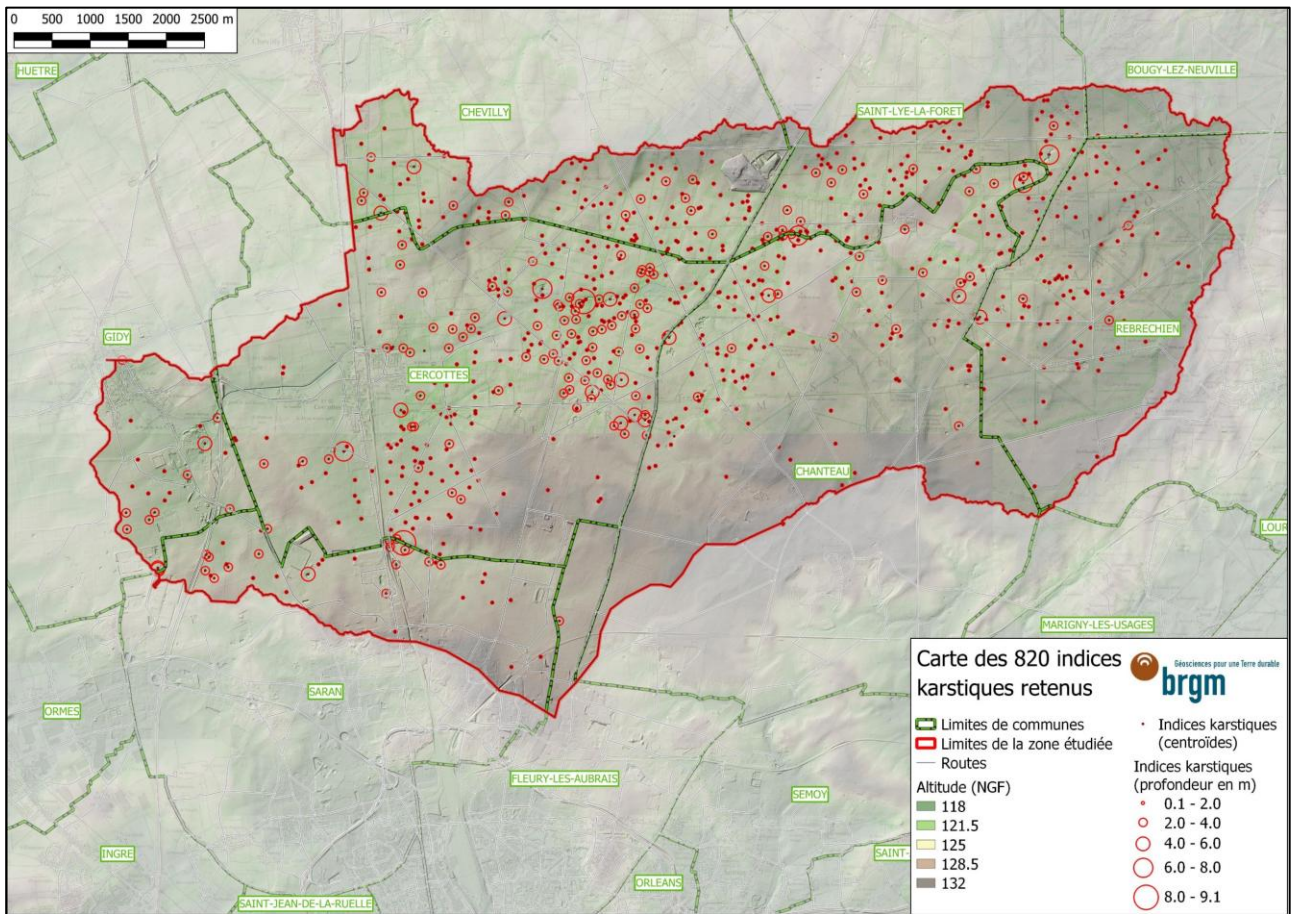


Figure 6. Cartes des 820 indices karstiques retenus

Ces 820 indices se concentrent avant tout dans la partie nord du bassin versant, dont les terrains de surface seraient, suivant la carte géologique à 1/50 000 (Figure 7), constitués de la formation m1a (Marnes et sables de l'Orléanais) alors qu'au sud, il s'agirait de la formation m1b (Sables et argiles de Sologne).

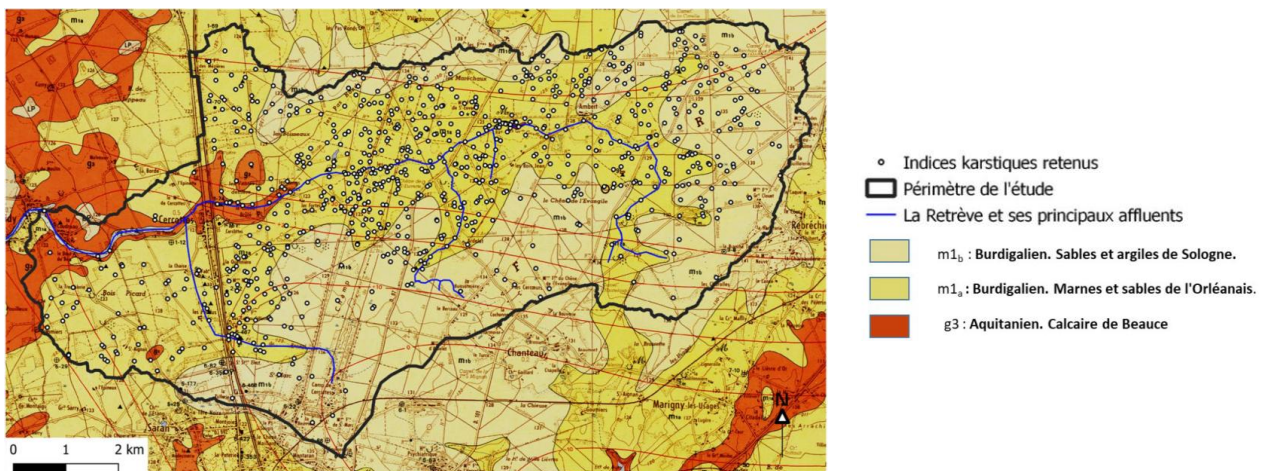


Figure 7. Position des 820 indices karstiques sur fond de carte géologique

Cette partie nord est également plus basse que la partie sud, ce qui fait penser que l'épaisseur des terrains recouvrant le calcaire karstique y est plus faible qu'au sud, car ces dépôts sont discordants sur les affleurements des calcaires lacustres de Beauce. Cette double différence (épaisseur et nature de la couverture) pourrait expliquer la répartition des indices : les terrains du nord seraient plus sensibles à la karstification. On notera également que les ruissellements y sont d'autant plus concentrés qu'ils sont proches de la

vallée de la Retrève (et loin des crêtes de bassin), et donc plus compétents dans l'entraînement de particules. Ces hypothèses nécessiteraient d'être confirmées par une analyse approfondie, en particulier en précisant ces trois paramètres à l'échelle du bassin versant.

Pour ce qui concerne la forme des indices, leurs contours sont généralement oblongs (dimensions médianes : 30 m x 20 m) et leur profondeur est majoritairement inférieure à 3 m (profondeur médiane = 0,9 m). Ces valeurs masquent toutefois d'importantes disparités (Figure 8). Leurs volumes s'étalent ainsi globalement entre 15 et 2000 m³ et atteignent plusieurs dizaines de milliers de mètres cubes pour les plus grandes formes.

Le volume total de ces 820 indices karstiques est de 600 000 m³, soit 160 piscines olympiques. Les quatre « mégastructures » citées plus haut cumulent un volume de 146 000 m³, soit près du quart de ce volume total.

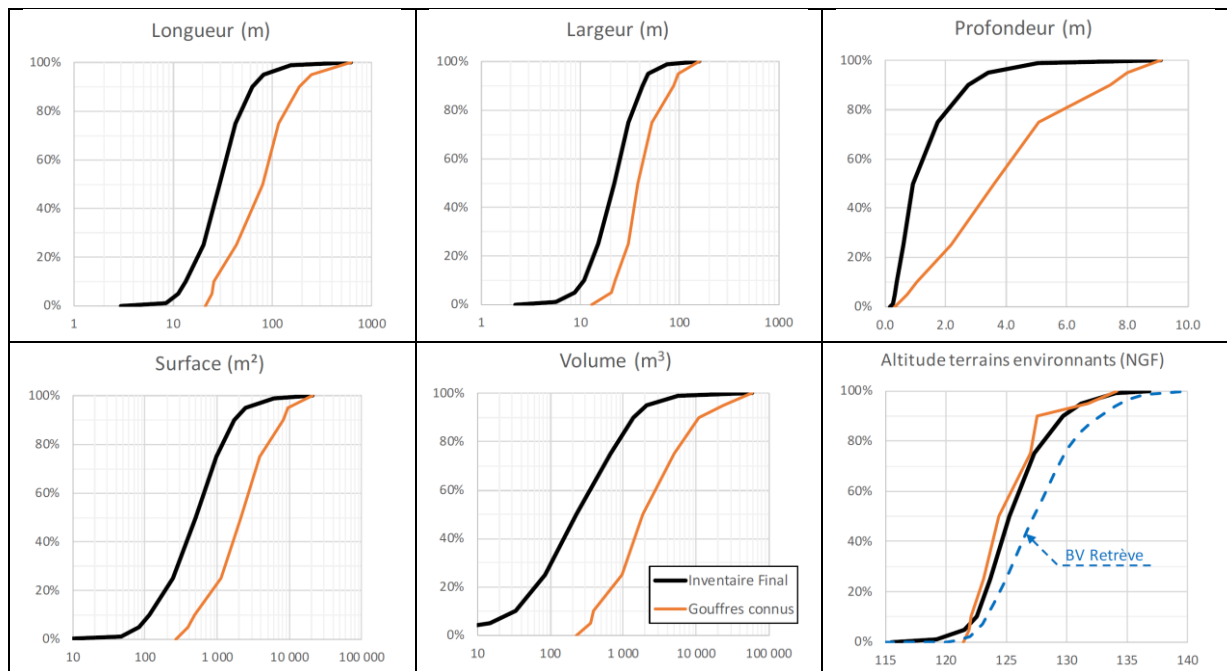


Figure 8. Principales caractéristiques des 820 indices retenus et des gouffres connus, représentées en répartition cumulée

Un traitement complémentaire (non détaillé ici) aboutit à distinguer 211 gouffres (présentant des pentes marquées autour du point bas), 363 dolines (à fond plat) et 246 formes restant indéterminées faute de données (mares pérennes et formes en eau au moment du levé LiDAR). Les premières sont considérées par la suite comme absorbantes à l'inverse des secondes et des troisièmes.

4.2. Fonctionnement hydrogéologique des formes karstiques

La capacité d'absorption des 211 gouffres considérés comme absorbants, est déterminée en compilant l'ensemble des données disponibles, notamment les observations du GSO sur quelques gouffres et en cherchant une corrélation extrapolable au reste des formes. Le volume des formes karstiques se corrèle assez bien avec le débit maximal d'absorption estimé (Figure 9). Pour simplifier, plus une forme est volumineuse, plus elle absorbe.

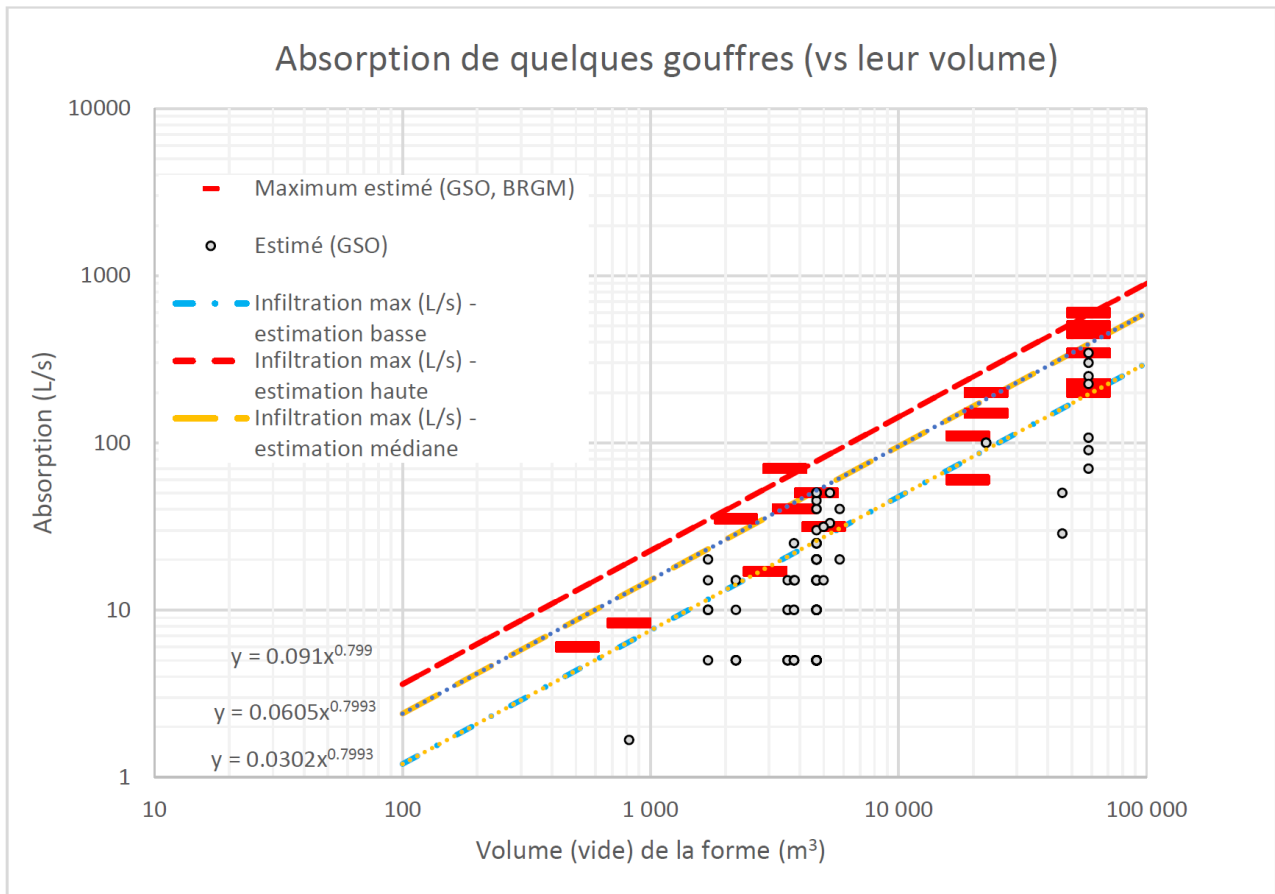


Figure 9. Estimation de l'absorption maximale des gouffres à partir des données historiques

Les observations réalisées montrent également que l'infiltration est souvent limitée à cause d'un colmatage de l'entrée des gouffres. Autrement dit, si les gouffres étaient entretenus (régulièrement nettoyés et protégés), ils pourraient davantage absorber.

En prenant en compte les différentes incertitudes et en ajoutant aux gouffres la capacité de forages absorbants mis en place dans les années 1970 au niveau de l'étang de la Retrève (calculs non présentés ici), il est au final retenu que la capacité d'infiltration actuelle dans les gouffres de l'ensemble du bassin versant étudié est d'environ 3,1 m³/s .

5. Conclusions

Le débit d'infiltration présenté ci-dessus est une des valeurs nécessaires à la modélisation des crues du bassin versant amont de la Retrève. Les autres valeurs (pluies, ruissellement, hydrogramme, etc.) ont été déterminées par les autres tâches du projet qui ne sont pas résumées dans cet article. On retiendra simplement ici qu'une fois soustrait ce débit d'infiltration, les modélisations aboutissent à un débit de pointe de 22 m³/s en sortie de forêt d'Orléans pour l'épisode de 2016.

Cette étude a permis d'améliorer la compréhension du rôle de l'ensemble de la forêt d'Orléans, et notamment les capacités d'absorption par les formes karstiques. Même si cette capacité n'est pas déterminante pour les crues les plus importantes (12 % pour 2016), ces gouffres permettent bien de tamponner les arrivées d'eau à l'aval. Cela devrait relancer leur entretien : l'aménagement de certains gouffres dans les années 1970 avait visiblement amélioré la situation mais leur état s'était depuis dégradé.

Une autre perspective opérationnelle de cette étude est la mise en place d'un réseau de surveillance dans la forêt : des mesures sur le long terme permettraient non seulement d'améliorer la compréhension de ce système hydrogéologique complexe mais également d'anticiper les inondations.

6. Références bibliographiques

- Archambault G. (1964). Les dépressions fermées au nord-est d'Orléans. Mémoire d'études supérieures, Faculté des Sciences, Université de Paris.
- Bessière H., Gutierrez A., Noury G., Braibant G. (2022) – Etude hydraulique et hydrogéologique du bassin versant de la Retrève. 4 : Hydrologie. Rapport final V0. BRGM/RP-71960-FR, 124 p.
- Cartannaz C., T. Dewez (2015) – Outils de traitement des Modèles Numériques de Terrain (MNT) pour la détection de cuvette. Rapport final. BRGM/RP-65463-FR, 57 p., 44 fig., 2 ann., 1 CD.
- Groupe spéléologique orléanais (1980). Bulletin n°4.
- Groupe spéléologique orléanais (2002). Bulletin n°7.
- Lorain J-M. (1973). Principe d'étude du réseau karstique de la forêt d'Orléans.
- Moreau J., Langlois D. (2023). Les gouffres de la forêt d'Orléans.
- Noury G., Perrin J., Gourdié S. Rôle des intempéries dans les mouvements de terrain liés aux cavités : retour sur la crise « Loiret » Juin 2016. Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'ingénieur, Jun 2018, Champs-sur-Marne, France. [\(hal-01799134\)](#)
- van Oldenborgh, G. J., Philip, S., Aalbers, E., Vautard, R., Otto, F., Haustein, K., ... & Cullen, H. (2016). Rapid attribution of the May/June 2016 flood-inducing precipitation in France and Germany to climate change. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 2016, 1-23.
- Noury G., Gutierrez A., Masson F. (2021). Etude hydraulique et hydrogéologique du bassin versant de la Retrève. 1. Inventaire et analyse des indices karstiques. Rapport BRGM/RP-71330-FR. Version 0, 91 p., 1 carte, 3 annexes.
- Ricard F., Boizard P. (2016). Coupure de l'autoroute A10 et autres infrastructures lors des inondations de fin mai 2016. Rapport du Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable, 86 p.
- Wu, Q., Deng, C., & Chen, Z. (2016). Automated delineation of karst sinkholes from LiDAR-derived digital elevation models. *Geomorphology*, 266, 1-10.