



**HAL**  
open science

## Effondrements et inondation par ruissellement : la faute au karst ?

Gildas Noury, Eglantine Husson, Damien Salquère

► **To cite this version:**

Gildas Noury, Eglantine Husson, Damien Salquère. Effondrements et inondation par ruissellement : la faute au karst ?. Géosciences, 2019, GÉOSCIENCES ET RISQUES NATURELS. hal-03997497

**HAL Id: hal-03997497**

**<https://hal.science/hal-03997497v1>**

Submitted on 20 Feb 2023

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

1



# Effondrements et inondation par ruissellement : la faute au karst ?

Début juin 2016, un épisode pluvieux intense a entraîné l'inondation de plusieurs localités au nord d'Orléans, provoquant de nombreux dommages, ainsi que de spectaculaires effondrements de terrain. Une première analyse du contexte géologique a été menée pour comprendre l'origine de ces désordres, en suivre l'évolution et chercher à en anticiper les éventuelles conséquences.

Début juin 2016, la moitié nord de la France est touchée par un épisode pluvieux intense. Dans l'Orléanais, suite à un mois de mai déjà bien arrosé, l'équivalent d'environ 3 mois de précipitations tombe en 4 jours. Alors que ni la Loire ni ses principaux affluents ne menacent de déborder, de multiples inondations se produisent, surtout au nord d'Orléans. La plus sévère, celle de la vallée – habituellement « sèche »

– de la Retrève, va durer environ 2 semaines. C'est ce secteur qui est traité dans le présent article.

L'inondation va paralyser pendant plusieurs jours les accès habituels à l'agglomération (coupure de l'A10, de plusieurs routes départementales) et causer de multiples et coûteux dommages. Au retrait des eaux, de nombreux effondrements de terrain sont observés aux abords des routes et des bâtiments. Mobilisés, avec d'autres entités, les agents du BRGM ont fourni aux autorités publiques une première analyse du contexte géologique pour comprendre l'origine des inondations et des effondrements, en suivre l'évolution et chercher à en anticiper les possibles dommages.

## Contexte géologique de l'Orléanais

### > Histoire géologique

Le substratum rocheux de la région d'Orléans est constitué par le calcaire lacustre de Beauce. Cette formation carbonatée s'est déposée au fond d'un grand lac à l'Aquitainien (étage du Miocène datant d'il y a 20 millions d'années

AUTEURS



**Églantine HUSSON**  
Géologue,  
Direction des Géoressources, BRGM  
✉ [e.husson@brgm.fr](mailto:e.husson@brgm.fr)



**Gildas NOURY**  
Ingénieur géologue spécialisé  
en géotechnique, Direction Risques  
et Prévention, BRGM  
✉ [g.noury@brgm.fr](mailto:g.noury@brgm.fr)



**Damien SALQUÈBRE**  
Hydrogéologue, Direction régionale  
Centre-Val de Loire, BRGM  
✉ [d.salquebre@brgm.fr](mailto:d.salquebre@brgm.fr)



▲ PHOTO 1  
Survol en drone de l'inondation de la vallée de la Retrève, le 9 juin 2016 (après le pic de crue) : partie ouest de la commune de Cercottes.

© THOMAS DEWEZ, BRGM

environ). Puis le lac s'est progressivement comblé au cours du Miocène pour laisser place à de grandes plaines d'inondation, dont les marnes de Blamont, les sables de l'Orléanais et les sables et argiles de Sologne sont issus.

À la fin du Miocène et au Pliocène, la compression alpine a entraîné une surrection à l'origine d'une période d'altération généralisée au sud du bassin parisien (Wyns, 2014). Puis, au Quaternaire, l'érosion est devenue prédominante ; les formations miocènes ont été progressivement décapées. Dans la région d'Orléans, la Loire a entaillé son lit jusqu'aux calcaires de Beauce, lesquels sont recouverts par des alluvions quaternaires (figure 1).

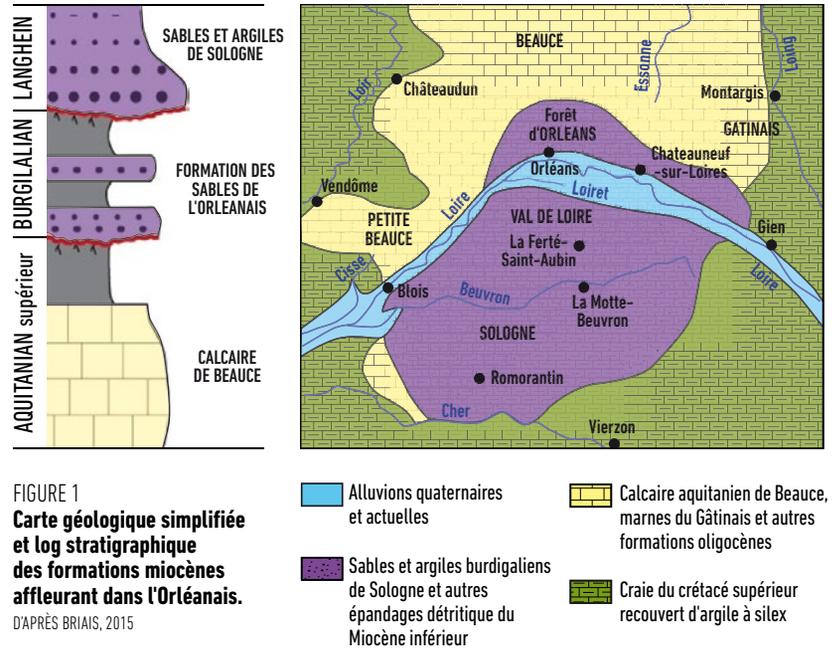


FIGURE 1  
Carte géologique simplifiée et log stratigraphique des formations miocènes affleurant dans l'Orléanais.

D'APRÈS BRIAIS, 2015

### ► La karstification

Le calcaire de Beauce est karstifié comme en attestent les circulations souterraines et les effondrements karstiques qui se produisent régulièrement dans le Val de Loire. Si le comportement hydrogéologique de l'aquifère du calcaire de Beauce est déjà bien étudié et documenté au sein du Val de Loire, l'origine de la karstification et son fonctionnement dans le reste de l'Orléanais l'est beaucoup moins.

Dans les zones où le calcaire de Beauce est encore recouvert (par les formations de l'Orléanais, les sables et argiles de Sologne...), il est souvent difficile d'accès. Mais, lorsqu'à l'occasion de travaux (routiers ou carrières), on peut observer le toit du calcaire de Beauce, on découvre une surface très chaotique, avec des creux et des bosses, couverte de sédiments détritiques. Cet aspect est dû à l'altération du calcaire, alors qu'il est encore sous recouvrement sédimentaire. On appelle cette altération une karstification sous couverture (voir encadré).

Cette karstification du calcaire de Beauce est à l'origine de sa perméabilité, en raison de la présence de conduits qui permettent aux eaux superficielles de s'infiltrer vers la nappe. L'altération sous couverture des sables et argiles de Sologne donne en revanche naissance à une couche de résidus argileux de nature peu perméable qui, elle, freine l'infiltration. Les altérites et ces sables et argiles sont par ailleurs soutirés, de manière progressive et localisée, dans le karst et évacués par celui-ci, ce qui donne naissance à des gouffres (« bîme » est le terme local) et à des affaissements.

Dans les zones situées entre les plateaux et le val d'Orléans, l'incision a créé un gradient altitudinal et donc un potentiel hydraulique amont-aval. Ce potentiel a permis l'évacuation et la purge des conduits karstiques, avec la mise en place de circulations d'eaux souterraines parfois rapides. Sur les plateaux, dans les zones encore sous recouvrement, le potentiel hydraulique est plus faible. Il est contenu entre la surface topographique et la nappe

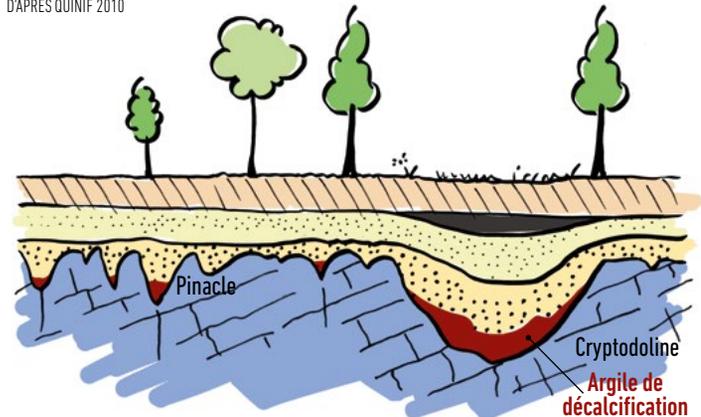
### ► LA KARSTIFICATION SOUS COUVERTURE

La karstification sous couverture est un concept développé dans les années 1980 par J.L. Gendon, J.N. Salomon et J. Nicod (1987). Décrite en premier lieu dans le sud de la France, elle est définie comme une dissolution du toit des calcaires, présentant des reliefs résiduels arrondis séparés de dépressions en entonnoir, et recouverts d'une frange superficielle de calcaire altéré et pulvérulent. L'approfondissement des poches de dissolution provoque le tassement puis l'effondrement du remplissage.

La karstification sous couverture, appelée aussi cryptokarstification, se développe au cours de périodes d'altération, majoritairement dans des contextes d'aquifère captif sous une couverture perméable à semi-perméable (non karstifiable). L'échelle de temps nécessaire à l'aboutissement de ces processus est de plusieurs centaines de milliers d'années. —

#### Coupe schématique présentant les morphologies en creux (cryptodolines) et bosses (pinacles) d'un cryptokarst se formant sous couverture sédimentaire.

D'APRÈS QUINIF 2010



« Les inondations auraient affecté à Gidy plus de 400 bâtiments sur les 700 que compte la commune. »

située à faible profondeur. L'évacuation de la couverture par soutirage se fait plus difficilement (voir figure 2).

Le phénomène est bien visible sur le terrain, comme en témoignent les nombreux gouffres et dolines de la forêt d'Orléans (photo 2). Suivant la dynamique du milieu, certaines zones sont plus ou moins actives et donnent des morphologies plus ou moins spectaculaires, mais les conduits karstiques restent colmatés en profondeur.

### La vulnérabilité de l'Orléanais face aux aléas inondations et cavités

#### > Inondations

La Beauce orléanaise, zone de plateau située au nord de la Loire relativement plane, peut sembler en première approche préservée des inondations. Pourtant, les vallées dites « sèches », telles que celles de la Retrève et du Nant, sont de véritables particularités géologiques, connues pour leur comportement atypique.

Dans sa partie amont, en forêt d'Orléans, la Retrève peut être temporairement en eau lors d'épisodes pluvieux, alors que sa partie aval reste sèche (sauf cas exceptionnel), jusqu'à rejoindre la rivière – celle-ci permanente – de la Conie, à Villeneuve-sur-Conie.

Sur le terrain, la vallée de la Retrève est peu marquée, mais un modèle précis du relief (un modèle numérique de terrain) permet de la visualiser. On observe ainsi que le lit aérien de la Retrève découle tout d'abord d'une histoire géologique en lien avec le Loir et

non la Loire. Le réseau hydrographique Retrève-Conie s'est mis en place lorsque la zone était encore complètement recouverte par la formation des sables et argiles de Sologne (Berger & Desprez, 1969). Au cours de l'érosion, lorsque l'épaisseur de la couverture diminue et que le fond du cours d'eau se rapproche du calcaire de Beauce sous-jacent, le calcaire se karstifie, en particulier à l'aplomb du cours d'eau. Lorsque le calcaire de Beauce est complètement mis au jour par l'érosion, l'infiltration au sein du calcaire préalablement karstifié prend le dessus sur le ruissellement. Dans la partie amont de la Retrève, les sables et argiles de Sologne sont encore très présents et permettent une circulation aérienne ponctuelle ; dans sa partie aval, l'eau se perd au contact des calcaires et rejoint la nappe de Beauce.

Dans ce contexte, la présence de gouffres dans le bassin de la Retrève conduit une partie des eaux à s'infiltrer vers la nappe souterraine. Leur capacité d'infiltration a cependant été largement dépassée lors de la crue de 2016, par la quantité exceptionnelle d'eau écoulee en surface.

FIGURE 2 / Coupe schématique N-S entre Beauce et Sologne, présentant le fonctionnement global du système karstique de l'Orléanais. La couverture sédimentaire est progressivement entraînée dans le karst. Aux abords de la Loire, le gradient hydraulique devient suffisamment important pour exporter cette charge sédimentaire et purger les réseaux karstiques. Dans les zones en amont, les vitesses de circulations au sein de la nappe sont relativement faibles ; le soutirage et l'évacuation de la couverture sont beaucoup plus lents. © EGLANTINE HUSSON, B

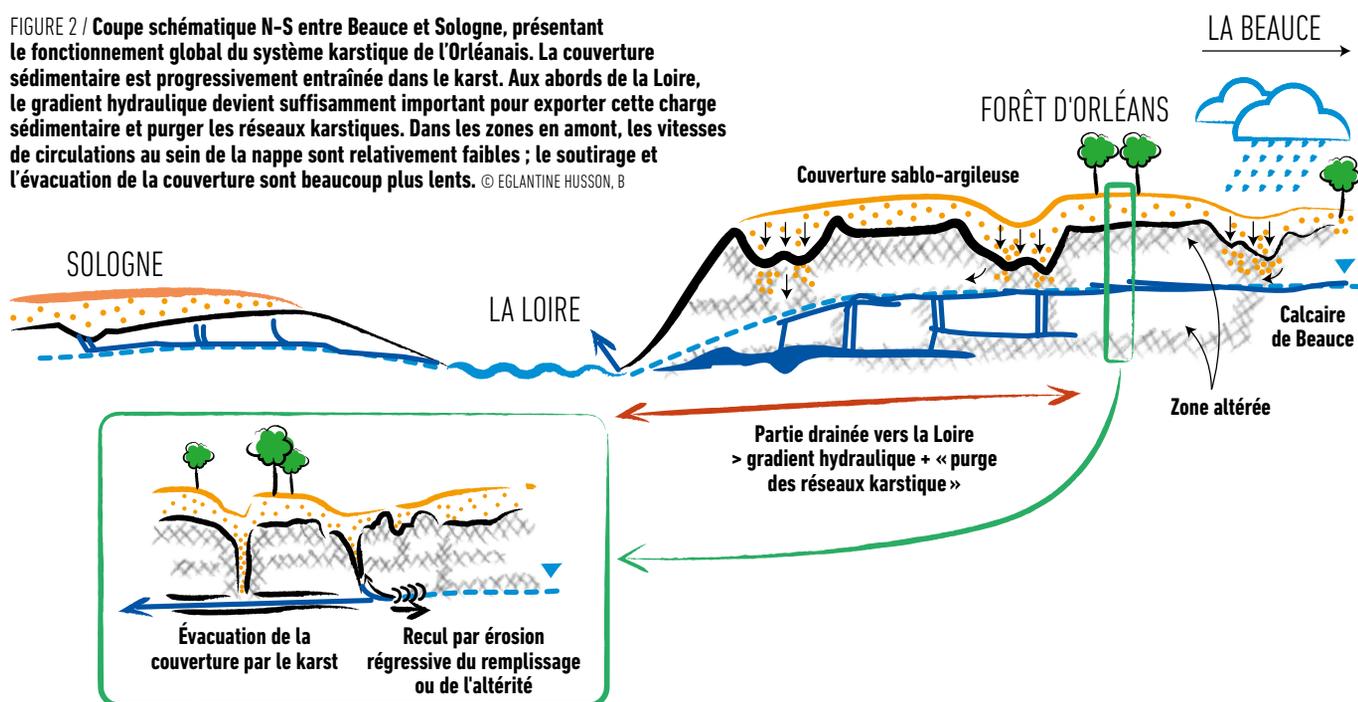




PHOTO 2  
**Dolines parsemant  
 le bassin de la Retrève  
 en forêt d'Orléans.**  
 © GILDAS NOURY, BRGM

2

Le centre-bourg de Gidy est en partie construit dans le lit de la « rivière fantôme » de la Retrève. Seuls d'anciens petits ponts sont les témoins d'écoulements liés à d'anciennes crues de la Retrève. Avant 2016, la dernière apparition notable de la Retrève datait de 1983 : à l'époque, l'autoroute A10 avait été coupée dans le sens Province-Paris pendant quelques heures (Boizard et Ricard 2016).

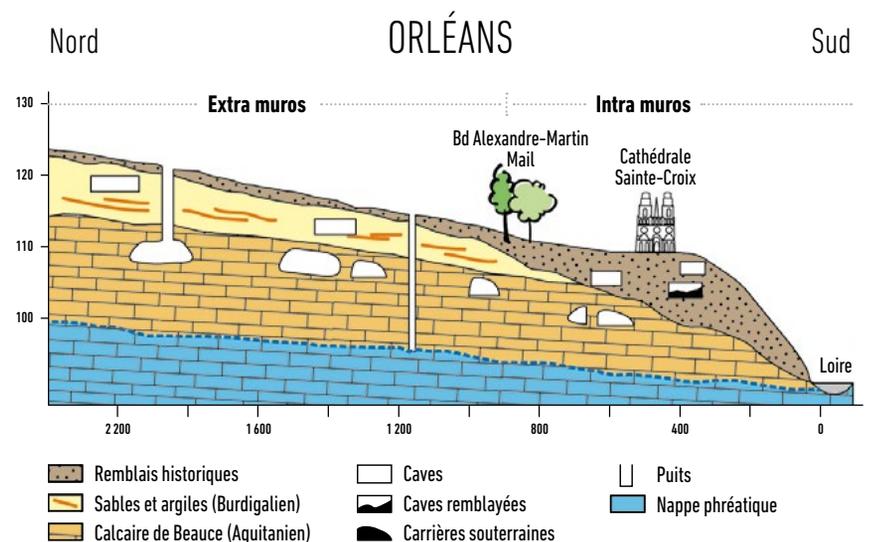
> **Cavités**

La nature calcaire du substratum géologique orléanais explique à elle seule la présence de deux des trois types de cavités présentes sur le territoire. Les cavités karstiques naturelles « cohabitent » avec les carrières qui, elles, n'ont rien de naturel puisqu'elles ont été aménagées par l'homme : certains faciès du calcaire de Beauce constituaient à l'époque un matériau pour la construction, les voiries et l'amendement agricole. Le troisième type de cavité est la cave associée aux habitations : ces espaces de stockage des aliments et boissons étaient courants dans la plupart des fermes et habitations de la région (figure 3).

L'usage ancien de ces cavités a été totalement bouleversé par les évolutions liées à l'époque contemporaine.

FIGURE 3 / **Coupe géologique d'Orléans montrant l'emplacement des caves et des carrières dans le sous-sol.**

SOURCE : CHARLES, 2015



Les caves sont peu à peu condamnées et oubliées. Devenus inutiles, les accès aux carrières ont pour la plupart été comblés. Quant au karst, à l'exception des naturalistes, il reste inconnu du grand public.

Malgré son apparente stabilité, cette configuration souterraine complexe constitue un risque pour la sécurité des biens et des personnes : les maçonneries des caves fatiguent ; même comblés, les puits d'accès aux carrières finissent par céder ; et pour ce qui concerne les karsts, des phénomènes complexes peuvent aboutir à l'apparition d'effondrements (fontis/bime) ou d'affaissements en surface. Jusqu'à la crise de 2016, ces mouvements de terrain étaient plutôt recensés dans l'agglomération d'Orléans (carrières et caves) et dans le lit majeur de la Loire (karst), mais pas en Beauce.

– source : Météo France), plusieurs secteurs de l'Orléanais sont inondés plus ou moins durablement.

Le mardi 31 mai, la Retrève en eau commence par inonder les lotissements situés à l'orée de la forêt d'Orléans, à Cercottes. Elle passe ensuite sous les ouvrages de la RD2020, puis submerge l'A10 avant d'atteindre une zone industrielle (laboratoires pharmaceutiques Servier, entre autres) et la commune de Gidy. Le pic de l'inondation est atteint vers le 2-3 juin. L'autoroute est remise en service à partir du 10 juin, après des travaux entrepris par Cofiroute pour pomper l'eau, la stocker, dégager les véhicules et remettre en état la chaussée. Les eaux de la Retrève continuent de s'écouler en surface, dans le secteur de Gidy, jusqu'au 16 juin (Salquèbre *et al.*, 2016). Au total, les inondations auraient affecté à Gidy plus de 400 bâtiments sur les 700 que compte la commune.

Les pertes financières pour ce qui concerne l'habitat individuel ne sont pas précisément connues. Celles causées à l'autoroute A10 et à l'entreprise Servier sont de l'ordre de 12 millions d'euros (Boizard et Ricard 2016).

Lors de la crise, des explications ont été données par le BRGM au service de la préfecture du Loiret (Salquèbre



### ▼ PHOTO 3

L'inondation de la vallée de la Retrève le 9 juin 2016 (après le pic de crue) : partie ouest de la commune de Gidy – survol réalisé par le BRGM.

© THOMAS DEWEZ, BRGM

## La crise météorologique de 2016 sur le secteur de la Retrève

### Des pluies exceptionnelles suivies d'inondations...

Après un mois de mai déjà bien arrosé et les fortes précipitations du mois de juin (près de 140 mm de pluie sont enregistrés entre le 28 mai et le 1<sup>er</sup> juin à la station d'Orléans





*et al.*, 2016) : l'inondation du secteur de Cercottes-Gidy est liée à un afflux d'eaux de ruissellement venant de la forêt d'Orléans, provoqué par un cumul de précipitations exceptionnel sur des sols déjà saturés en eau. La nappe souterraine de la Beauce, habituellement située à 15-20 m de profondeur, n'est montée « que » de 1 mètre lors de la crise et est donc restée très éloignée de la surface. La durée, visiblement exceptionnelle, de l'inondation pour la commune de Gidy peut quant à elle s'expliquer par une conjonction de facteurs dont il reste à préciser les parts relatives : cumul de précipitations exceptionnel, rôle de la nappe superficielle « perchée », colmatage des gouffres karstiques, effet « entonnoir » au niveau d'une topographie particulièrement plate, aménagements pouvant limiter l'écoulement des eaux, etc.

À noter que, lors de la crise, l'entreprise Servier a réussi à limiter les effets de l'inondation, grâce à l'utilisation d'un bassin tampon et à l'injection des eaux dans trois gouffres présents sur son emprise (Boizard et Ricard, 2016 ; Salquèbre *et al.*, 2016).

### **... et suivies d'effondrements liés à des cavités souterraines**

Dès le 4 juin, la fin de l'épisode pluvieux, puis la décrue sont marquées par de nombreux mouvements de terrain. Dans le Loiret, près de 90 sites sont affectés par de tels désordres (Noury *et al.*, 2016), la majorité se concentrant dans deux zones inondées, dont celle de Cercottes-Gidy.

À Gidy, les 34 sites touchés par des désordres en surface se répartissent principalement dans la zone inondée (30 sites), plus exactement sur les bords de cette zone, ce qui laisse penser que cette inondation, apparemment l'une



**▲ PHOTO 4**  
**Effondrements de terrain ayant suivi l'inondation de la Retrève. L'analyse a montré qu'il s'agissait d'une ancienne carrière souterraine.**

© THIERRY LEBLAY

des plus fortes connues à cet endroit, serait venue déstabiliser des terrains et des ouvrages jusqu'alors épargnés par les événements précédents.

Dans un champ, une série d'effondrements/affaissements a marqué les esprits au moment de la crise du fait de la concentration (14 mouvements sur une surface d'un demi-hectare, voir photo 4), de la taille des désordres (trois d'entre eux font 10 mètres de diamètre pour des profondeurs de 7-8 mètres) et de leur origine, au début inexplicable. Les témoignages d'habitants, des documents d'archive et une exploration spéléologique ont permis de montrer qu'une ancienne carrière souterraine avait été en partie détruite par l'inondation. Ailleurs, d'autres effondrements ont été associés à des cavités karstiques naturelles : la pression de l'eau aurait fait « débousser » les « bouchons » masquant ces gouffres. Un autre type de désordre est lié à la dégradation, par l'eau, du mortier jointoyant les moellons d'anciennes caves.

La précision du diagnostic revêt ici toute son importance pour la prise de décision. Si les 14 mouvements observés dans le champ avaient été de nature karstique, la possibilité que se produisent de nombreux autres effondrements/affaissements à proximité, et donc sous des habitations, aurait imposé des mesures de sécurisation contraignantes pour les habitants (évacuation et surveillance).

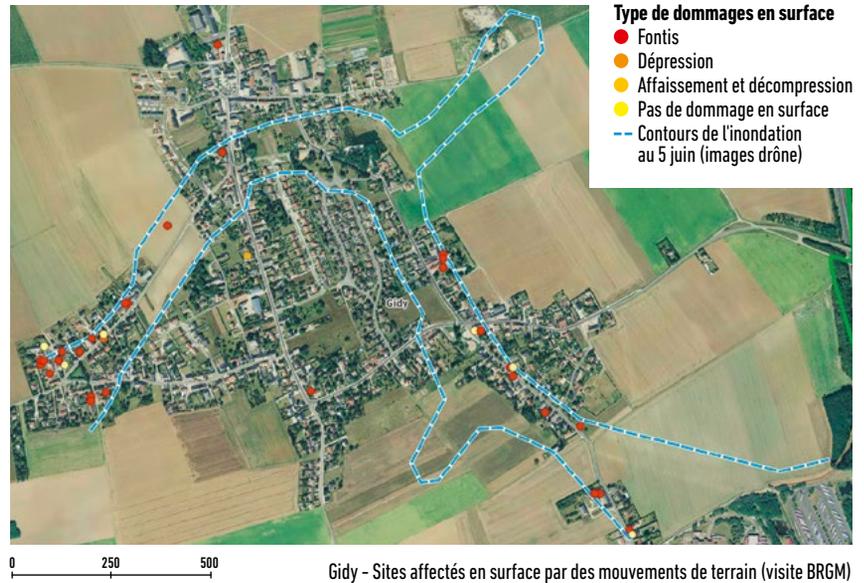
Les recommandations effectuées au cas par cas ont abouti, pour Gidy, à des interdictions temporaires d'accès pour huit habitations. La circulation des véhicules sur la RD 702 a par ailleurs été coupée pendant plusieurs semaines : des investigations géophysiques et géotechniques y ont été entreprises pour préciser le niveau de risque (celui-ci s'est

**Intervention  
des services de  
Secours du Loiret  
dans les rues  
inondées de Gidy.**

© GILDAS NOURY



FIGURE 5  
Localisation des  
effondrements ayant  
suivi l'inondation de  
la Retrève à Gidy.  
© GILDAS NOURY



finalment révélé suffisamment faible pour que la circulation reprenne normalement).

## Perspectives

Les inondations de 2016 du secteur de Cercottes-Gidy ont non seulement rappelé la présence d'une menace en partie oubliée, mais, par leur caractère exceptionnel (hauteur atteinte et durée de l'événement), ont également révélé les difficultés à pouvoir les anticiper avec les éléments disponibles à l'époque. Elles ont enfin mis en évidence l'aléa particulier lié aux cavités souterraines, d'un niveau jusqu'alors insoupçonné à cet endroit.

Les dégâts causés ainsi que les enjeux d'urbanisation et la nécessaire prise en compte des conséquences du changement climatique (multiplication attendue des pluies intenses) ont incité les décideurs à améliorer la connaissance et l'évaluation des aléas inondations et cavités dans ce secteur. Deux retours d'expérience ont été édités par le BRGM à la suite de ces événements (Salquèbre *et al.*, 2016 ; Noury *et al.*, 2016). Une étude d'envergure, regroupant le BRGM et le Cerema, est par ailleurs prévue en 2019-2020. Il s'agira de préciser les spécificités karstiques, hydrogéologiques et hydrodynamiques du système de la Retrève afin de définir la relation infiltration/ruissellement sur ce bassin versant et de tenter une cartographie des zones les plus menacées en cas de crue.

La nécessaire cartographie de la nature géologique des formations superficielles et du substratum, et sa qualification en termes de capacité de ruissellement ou d'infiltration pourraient par ailleurs profiter des enseignements d'une étude prospective comparant les résultats d'un levé géophysique aéroporté (spectrométrie gamma) réalisé par le BRGM et les analyses physico-chimiques du sol sur ce secteur. L'inventaire et la caractérisation des gouffres émaillant la forêt d'Orléans devraient par ailleurs permettre de savoir dans quelle mesure ces zones d'infiltration naturelles peuvent ou non contribuer à limiter les inondations. La combinaison de ces informations fournira ensuite les données utiles pour quantifier les flux d'eaux aboutissant au réseau hydrologique de surface et, par là même, les données indispensables au dimensionnement d'éventuels nouveaux aménagements de lutte contre les inondations. ●

## ABSTRACT

*Early June 2016, an intense rainfall event led to multiple floods north of Orleans, paralyzing access to the city and its surrounding area for several days, and causing extensive damage. Several occurrences of sinkholes were observed along roads and alongside buildings. This is due primarily to the local geological configuration of the land, but is also explained by the area's planning history.*

*The Beauce limestone, covered by Sologne sands and clay, went through a particular alteration process (cryptokarstification) causing conduits to appear, and allowing surficial water to infiltrate towards the groundwater table. This process also transformed the limestone roof into a layer with low permeability which slows down the infiltration process. Additionally, the cover is down-washed, progressively and on some localized site, into the karstic caves causing sudden sinkhole or slow surface subsidence. Infiltration and subterranean drainage absorb rainfall up to a certain threshold beyond which runoff becomes predominant. In 2016, existing installations did not prove sufficient to prevent flooding; in fact, some of them may have even contributed to exacerbating the problem. The ground movement causes are varied: some are linked to karst, others are caused by the existence of anthropogenic cavities (caves, subterranean tunnels, decommissioned quarries).*

*Several analyses have come to complete the information gathered, all of which will form the basis of studies to better understand the hydrological and hydrogeological function of the drainage basin, and to provide recommendations in terms of future installations.*

## BIBLIOGRAPHIE

- Charles N., « Guide géologique du Val de Loire », éd. Omniscience-BRGM, 2015. Berger G., Desprez N. (1969) – Carte géologique détaillée de la France – Orléans. BRGM. Boizard P., Ricard F. (2016) – Coupure de l'autoroute A10 et autres infrastructures lors des inondations de fin mai 2016. Rapport final n°010735-01. Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable, 86 p. Briaux J. (2015) - Le Cénozoïque du bassin de Paris : un enregistrement sédimentaire haute résolution des déformations lithosphériques en régime de faible subsidence. Thèse de doctorat, Université de Rennes, 450pp. Guendon J.L., Salomon J.N., Nicod J. (1987) – Karstification sous couverture, comparaison entre karst tropical actuel et paléokarst. Annales de géographie, n 537, 557-563p. Noury G., Perrin J., Gourdier S., Raucoules D., avec la collaboration de : Masson F., Greffé C., Negulescu C., Peter M., Langlois D., Munerot J., Cantaloube O., Mathon D., Ksibi I. (2016) – Retour d'expérience sur les mouvements de terrains liés à des cavités survenus dans le Loiret suite à la crise météo du printemps 2016. Rapport final. BRGM/RP-66462-FR, 111 p., 73 fig., 5 ann. Quinif Y. (2010) – Fantômes de roche et fantômisations : Essai sur un nouveau paradigme en karstogénèse. Karstologia Mémoires, 18, 196 pp. Salquèbre D., Perrin J., Stollsteiner P., Gutierrez A. (2016) – Contexte hydrogéologique du bassin de la Retrève : bilan de l'inondation de début juin 2016. Rapport d'expertise. Rapport BRGM/RP-66019-FR. 58 p., 21 ill., 5 ann. Wyns R. (2014) – Le bassin parisien du Tertiaire à l'Actuel, in : Gély JP. & Hanot F. (Eds), Le bassin de Paris, un nouveau regard sur la géologie. AGBP, 85-93p. Berger G. & Desprez N. (1969) – Notice explicative et carte géologique de la France (1/50 000), feuille d'Orléans. BRGM, Orléans, 8pp.