

# **ROLE DES INTEMPERIES DANS LES MOUVEMENTS DE TERRAIN LIES AUX CAVITES : RETOUR SUR LA CRISE « LOIRET » JUIN 2016**

## ***ROLE OF METEOROLOGICAL EVENTS ON SINKHOLES OCCURRENCE: CASE STUDY OF ORLÉANS AREA DURING SPRING 2016***

Gildas NOURY<sup>1</sup>, Jérôme PERRIN<sup>1</sup>, Sébastien GOURDIER<sup>1</sup>,  
<sup>1</sup> BRGM, Orléans, France

**RÉSUMÉ** – La crise météorologique du printemps 2016 dans le Loiret confirme le lien très fort entre situations climatiques extrêmes et effondrements : taux moyen d'apparition de fontis d'origine karstique multiplié par un facteur 16 000 à 24 000 (val d'Orléans), effondrements jusqu'alors jamais observés (Retrêve inondée au nord d'Orléans). Ce retour d'expérience est mis en perspective avec d'autres cas ayant touché la France et l'étranger.

**ABSTRACT** – The 2016 spring meteorological event in Loiret proves the role of intense rainfalls and floods on sinkholes occurrence. In the Loire valley, the spatial and temporal sinkhole frequency increased by an estimated factor of 16,000 to 24,000. In northern Orléans, unexpected sinkholes occurred. Integrating other cases in France and overseas provides interesting keys to manage that specific hazard for the future.

### **1.Introduction**

Les précipitations et les inondations du printemps 2016 ont engendré de nombreux désordres liés aux cavités (en particulier des effondrements) dans le Loiret. Le nombre et les conséquences de ces effondrements confèrent à cette période un caractère exceptionnel. Un retour d'expérience a été réalisé à la demande de la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR - Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire). Le rapport associé (RP-66462-FR) est disponible en ligne sur le site Internet du BRGM.

### **2.Contexte géologique et souterrain**

#### ***2.1. Le calcaire de Beauce, son réseau karstique et ses effondrements***

Le substratum rocheux du secteur d'Orléans est constitué de la formation du calcaire de Beauce, calcaire lacustre et palustre datant de l'étage Aquitanien (époque Miocène), c'est à dire de -23.0 à -20.5 millions d'années (Lorain, 1973).

Sa lente dissolution a abouti à la création d'un réseau karstique souterrain dont les manifestations les plus connues sont les pertes présentes dans le lit de la Loire, les résurgences, en aval du système et les effondrements sur son parcours (fontis, ou bîme = terme local). Son développement souterrain n'est connu qu'à quelques endroits, explorés au prix d'efforts intenses par les spéléologues locaux (par exemples : exploration subaquatique de la source du Loiret (Poinclou et al., 2004), désobstruction de gouffres dans la forêt d'Orléans (Moreau, 2002).

On peut distinguer deux configurations types suivant l'endroit (Figure 1) :

- Au nord de la Loire et au sud du Loiret, le calcaire de Beauce est recouvert, sur une faible épaisseur, par les sables et argiles de l'Orléanais et de Sologne (formations détritiques issus du démantèlement du Massif Central et datant de l'étage Burdigalien (époque Miocène) = -20.5 à -16.0 millions d'années) et par des lœss. La nappe de Beauce s'y établit à environ 20 m de profondeur. En surface, les rivières pérennes sont rares, mais il existe de nombreuses vallées sèches. Les formes karstiques sont nombreuses dans la forêt d'Orléans (gouffres), rares ailleurs, et considérées comme peu actives (rares désordres recensés).
- Au niveau du lit majeur de la Loire, en particulier entre Loire et Loiret (val d'Orléans), le calcaire de Beauce est recouvert par les alluvions fluviales récentes et actuelles sur 5 à 15 m d'épaisseur.

Cette zone de 170 km<sup>2</sup>, plus basse en altitude que la précédente, est baignée par deux nappes : celle du calcaire de Beauce et la nappe alluviale de la Loire. Les battements de nappes ainsi que la communication entre ces deux nappes génèrent des écoulements verticaux et des différences de charge. Ces sollicitations hydrauliques participent à l'érosion interne des alluvions vers le karst. Ce processus est celui généralement retenu pour expliquer l'apparition de fontis dans cette zone (soutirage en particulier). 3 à 4 fontis sont généralement rapportés chaque année. Environ 600 indices ont par ailleurs été consignés depuis 1903. Le désordre apparu en 2010 sous une habitation à St-Pryvé-St-Mesmin est le plus grand connu (diamètre : 16 m). Le taux moyen d'apparition de fontis est estimé à 0.02 à 0.03 par km<sup>2</sup> et par an.

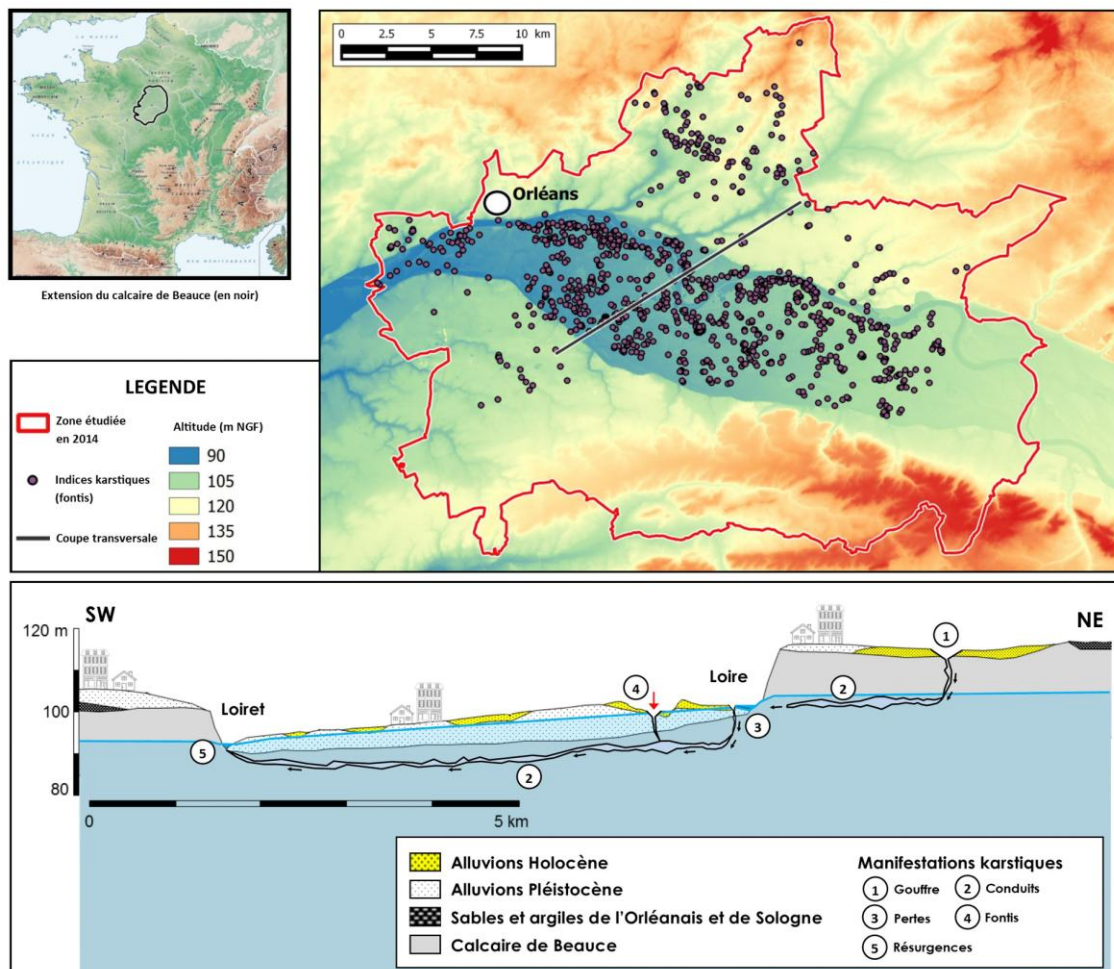


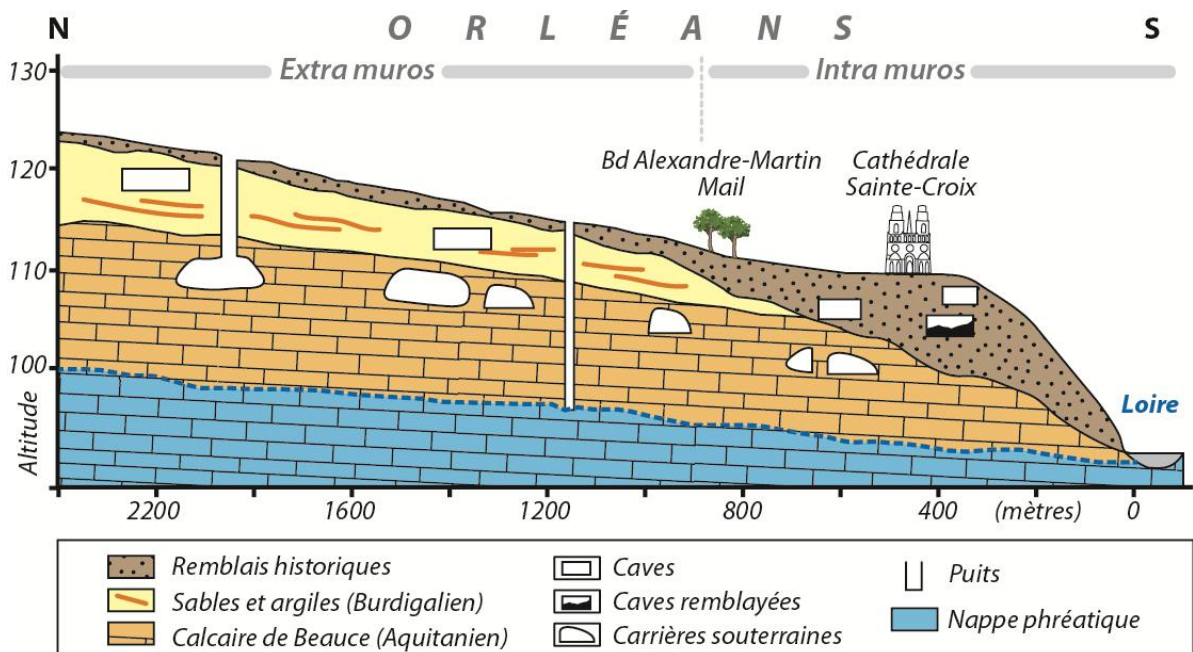
Figure 1 : Contexte géologique et précisions sur la karstification dans l'Orléanais

## 2.2. Les cavités anthropiques de l'orléanais et leurs effondrements

Depuis l'Antiquité, le calcaire de Beauce a été exploité comme matériau de construction (pierre de taille et pour les voiries). Cette exploitation s'est faite en particulier dans des carrières souterraines en chambres et piliers, avec galeries et puits d'aération et dont l'accès se faisait par des descenderies inclinées et/ou des puits verticaux (Noury et al., 2018). Certaines de ces carrières ont par la suite été reconverties en lieu de stockage (vinaigre par exemple) ou en abri (défense passive), en complément parfois des caves (Figure 2). Des puits pour l'alimentation en eau ont également été creusés.

La plupart des carrières s'établissent sur un niveau, parfois deux, très rarement trois. Leur profondeur est limitée par la présence de la nappe de Beauce, à 20 m. Leur surface varie entre 100 et 2500 m<sup>2</sup>. Les hauteurs de vides sont de l'ordre de 2-3 m.

Environ 700 cavités sont recensées sur la commune d'Orléans. En temps normal, les services de la ville réalisent une dizaine d'interventions par an concernant des désordres (affaissement ou fontis apparaissant en surface).



## 3. Les effondrements ayant suivi les pluies et inondations de mai-juin 2016

### 3.1. Les fortes précipitations de fin mai – début juin 2016

Fin mai - début juin 2016, le nord de la France est touché par de fortes précipitations (près de 140 mm de pluie sont enregistrés entre le 27 mai et le 1<sup>er</sup> juin à la station d'Orléans – source : Météo France). Celles-ci vont générer des inondations dans le bassin de la Seine (crue de la Seine, du Loing, etc.) et de la Loire (crue du Cher, inondation de la vallée sèche de la Retrève, etc.). Le coût des 180 000 sinistres est estimé à 1.5 milliards d'euros (CCR, 2016), ce qui en fait le second événement naturel le plus coûteux après celui de la tempête Xynthia.

Dans le Loiret, les mouvements de terrain générés par cet événement sont essentiellement liés aux cavités naturelles. Leur nombre et leurs conséquences sont inédits pour ce territoire.



### 3.2. Bilan global sur le Loiret

Entre juin et novembre 2016, à la demande de la préfecture du Loiret, 109 sites ont été expertisés par le BRGM (assisté ponctuellement par des spéléologues), le CEREMA et les services de la ville d'Orléans. 85 sites concernent des mouvements de terrain liés à des cavités : 69 effondrements et 16 mouvements plus « légers » (affaissement ou désordre resté souterrain). La majorité de ces événements concerne le secteur d'Orléans (Figure 3).

Les communes de Gidy (8 km au nord d'Orléans) et Chécy (7 km au sud-est d'Orléans) ont été les plus impactées par ces mouvements (plus de la moitié des visites). Dans ces deux secteurs, les désordres se concentrent dans les zones inondées.

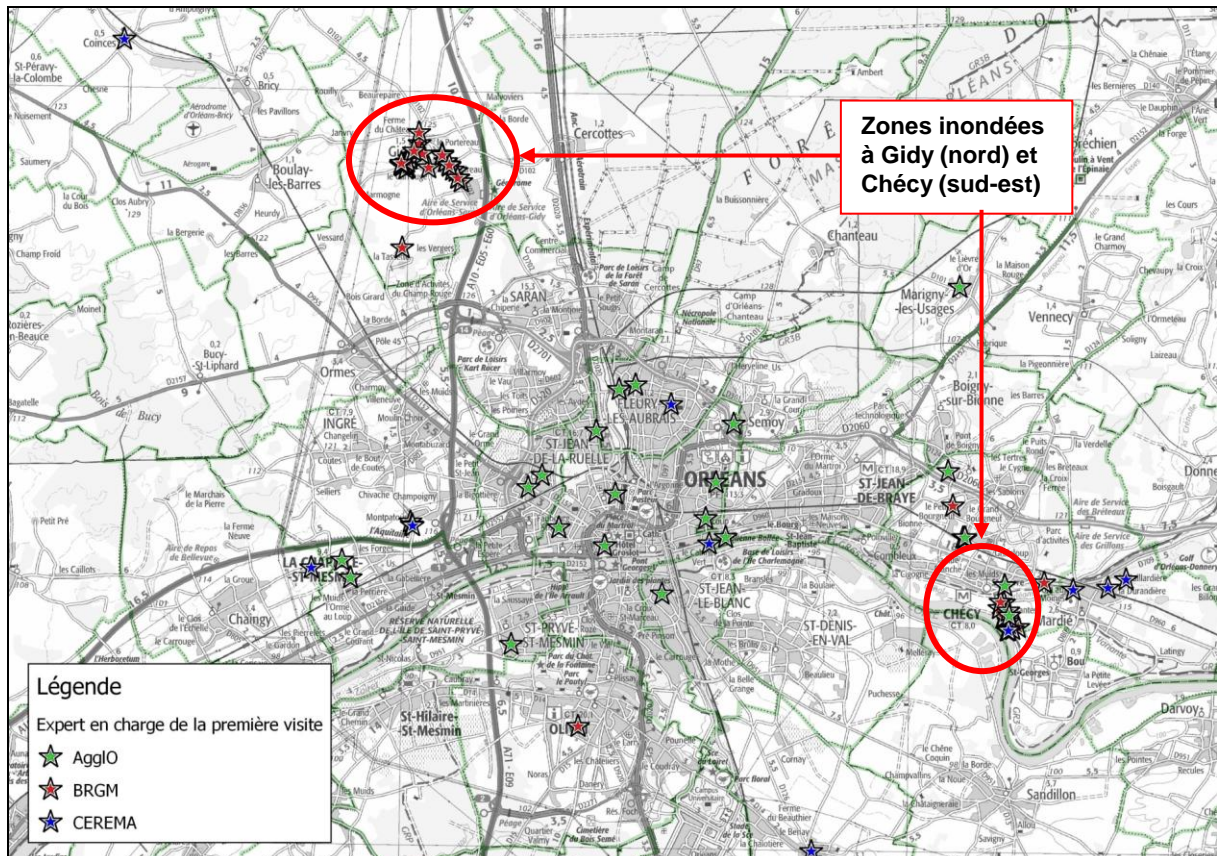


Figure 3 : Localisation des sites visités concernant des désordres liés aux cavités

Concernant la dimension des désordres, les diamètres sont inférieurs à 5 m pour 87% des cas. Les diamètres des 4 désordres les plus grands sont de l'ordre de 10 m (désordres d'origine karstique). De manière générale, les désordres les plus grands se situent dans les zones inondées. Les profondeurs sont inférieures à 2 m pour 70% des cas. Les profondeurs les plus fortes (10 à 15 m) correspondent à des puits (débourrage).

Concernant les dommages engendrés, 43 % des désordres ont touché des bâtiments. Parmi ceux-ci, la moitié, soit 23 % du total, ont généré des dangers considérés comme élevés lors des interventions. Ils ont nécessité des arrêtés de mise en péril et la coupure d'une route départementale.

La nature des cavités à l'origine de ces désordres n'est pas connue pour 31% des cas, 47% sont attribuées à des cavités anthropiques et 22% le sont à des cavités naturelles.



### 3.3. Le cas de Gidy

La commune de Gidy (24 km<sup>2</sup>, 1900 habitants) se situe sur le plateau de Beauce. Elle a été inondée en 2016 au niveau de la vallée sèche de la Retrève. L'inondation a duré une dizaine de jours.

35 des 39 sites visités et présentant des désordres (soit 90%) se trouvent dans la zone inondée, et, plus précisément, sur ses bords extérieurs (Figure 4).

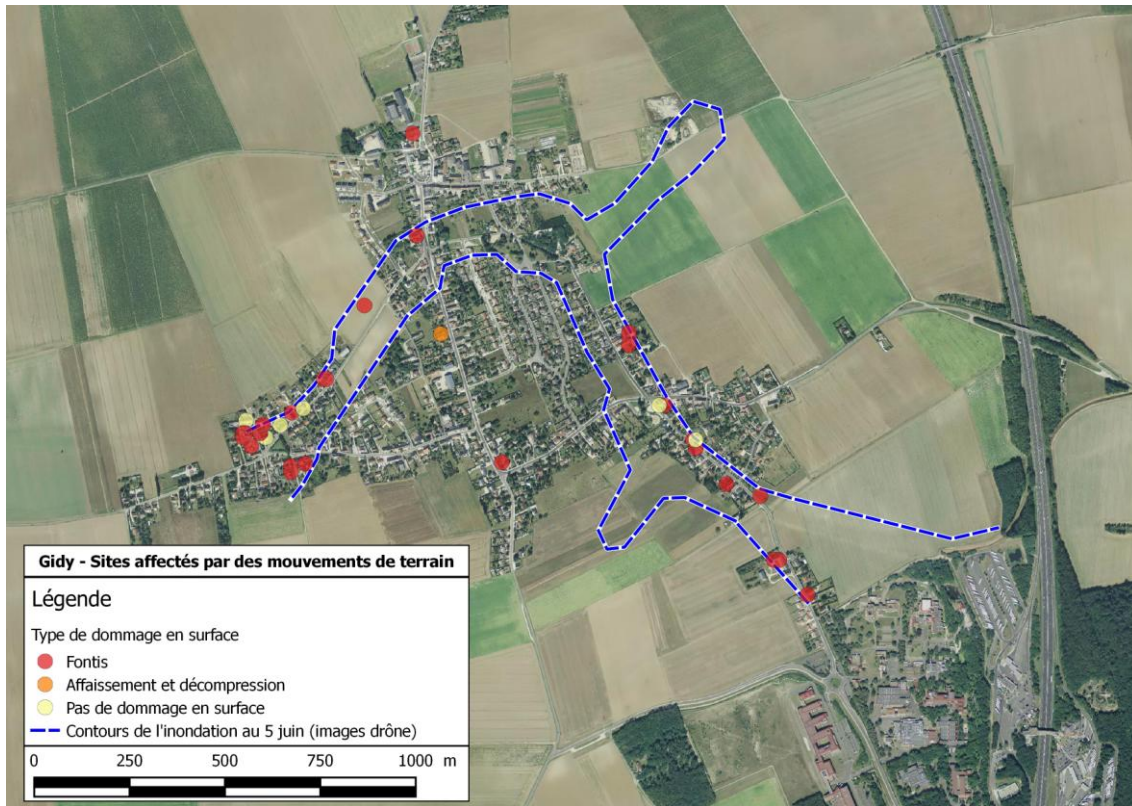


Figure 4 : Gidy – Localisation des sites visités

Un champ a concentré à lui seul 14 effondrements et 6 affaissements sur un demi hectare. L'enquête auprès des habitants et la consultation des archives départementales a permis d'identifier l'origine des instabilités, à savoir la ruine d'une ancienne carrière souterraine (Figure 5).



Figure 5 : Gidy – Multiples mouvements liés à la ruine d'une carrière souterraine

Les observations et analyses réalisées indiquent par ailleurs que 12 des 39 sites visités sur la commune sont vraisemblablement concernés par des désordres d'origine karstique (Figure 6). Plusieurs sont de grandes dimensions : deux présentent un diamètre de l'ordre de 10 m. Il s'agirait d'anciens conduits verticaux ou d'anciens gouffres (tels que ceux présents dans la forêt d'Orléans, situé à 4 km à l'Est de Gidy), naturellement colmatés, voire artificiellement comblés et oubliés. L'inondation en aurait provoqué le déboufrage (scénario proposé en Figure 7).



Figure 6 : Gidy – Effondrements d'origine vraisemblablement karstique

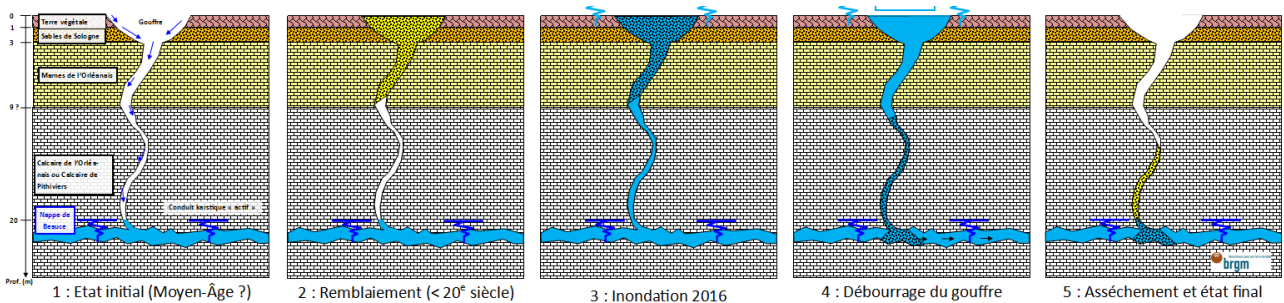


Figure 7 : Gidy – Scénario aboutissant au déboufrage d'un gouffre karstique

Des études complémentaires ont été effectuées dans certaines zones afin de mieux évaluer le risque et de le traiter avant d'envisager le retour à la normale. Une route départementale a ainsi fait l'objet d'une série d'investigations suivies par le BRGM (géophysique et sondages de contrôle) et de travaux de sécurisation (comblement des cavités repérées). Elle a été rouverte 1 mois et demi après la fin des inondations.

### 3.4. Le cas de Chécy

La commune de Chécy (15 km<sup>2</sup>, 8800 habitants) s'implante en partie sur le plateau du calcaire de Beauce et en partie dans le val d'Orléans (lit majeur de la Loire endigué), voir Figure 1 et Figure 8. Ce dernier secteur a été inondé en 2016 par le débordement du canal d'Orléans. L'inondation a duré une dizaine de jours.

Dans ce secteur (1 km<sup>2</sup> environ), 13 désordres ont été recensés. 12 sont d'origine karstique (Figure 9). L'inondation aurait accéléré le soutirage des alluvions de la couverture vers le karst calcaire. En comparant le taux moyen d'apparition de fontis sur l'ensemble du val d'Orléans (0.02 à 0.03 fontis par km<sup>2</sup> et par an) à celui calculé pour cette zone pendant l'inondation (13 fontis sur 1 km<sup>2</sup> apparus suite à 10 jours d'inondation), le facteur d'augmentation de ce taux est estimé à 16 000 à 24 000. Deux effondrements ont atteint un diamètre d'environ 10 m pour 3 m de profondeur. L'un d'entre eux se situe au niveau d'une digue de protection des inondations (Figure 9).





Figure 8 : Chécy – Localisation des sites visités



Figure 9 : Chécy - Exemples de fontis d'origine karstique

Les effondrements les plus « sensibles » ont été rapidement sécurisés (comblement du fontis ayant touché la digue, expropriation d'une maison).

## 4. Perspectives et conclusions

### 4.1. Autres effondrements recensés en 2016 et autres cas historiques

Les intempéries de 2016 ont généré 20 à 40 autres effondrements liés à des cavités ailleurs en France : nombreuses sapes de guerre dans le Pas-de-Calais (8 communes), 9 marnières dans l'Eure, 4 autres cas dans la Somme, la Marne, la Haute-Marne et la Nièvre (2 liés à des cavités anthropiques et 2 à des karsts).

D'autres événements similaires ont eu lieu dans le passé : en Seine-Maritime, 700 effondrements ont été recensés pendant l'hiver 1994-1995 ; dans la Somme : 2000 événements en 2000-2001 ; à Draguignan en 2010 ; dans le Sud de l'Angleterre en 2013-2014. Rappelons également l'effondrement dramatique (7 morts) de la carrière de Lorroy

en Seine-et-Marne en 1910 (Watelet et al., 2016) et les 312 fontis d'origine karstique apparus dans la vallée de la Flint River en 1994 en Géorgie-USA (Hyatt, 1996).

#### **4.2. Influence des intempéries sur les effondrements de cavités**

Les intempéries sont considérées comme un facteur déclenchant des effondrements. Les effondrements à Gidy et Chécy constituent dorénavant des exemples du rôle extrême joué par l'inondation dans certains contextes. Celui du val d'Orléans est particulièrement préoccupant car son éventuelle inondation par la Loire générera vraisemblablement des centaines voire des milliers d'effondrements, ce qui complexifiera le retour à la normale. L'impact des changements globaux nécessite également d'être complété. Celui du changement climatique a été étudié (Didier et al., 2010), mais surtout pour ce qui concerne les carrières. Il pourrait être complété pour les cavités naturelles. Une étude portée par le BRGM (financement DGPR) apportera prochainement des éléments nouveaux sur ce sujet.

#### **5. Références bibliographiques**

- CCR – Inondations de mai-juin 2016 en France. Modélisation de l'aléa et des dommages. 2016, 21 pages. Rapport en ligne : <https://www.ccr.fr/-/inondations-mai-juin-2016>.
- Charles, N., (2015). Guide géologique du Val de Loire. Omniscience-BRGM Éditions, 256 pages.
- Didier, C. (2010). Impact of climate change on the stability of underground shallow cavities. The case of a tragedy in France in relation with the Seine flooding in 1910. In ISRM International Symposium 2010 and 6. Asian Rock Mechanics Symposium" Advances in Rock Engineering" (p. NC).
- Hyatt, J. A., & Jacobs, P. M. (1996). Distribution and morphology of sinkholes triggered by flooding following Tropical Storm Alberto at Albany, Georgia, USA. *Geomorphology*, 17(4), 305-316.
- Lorain J.M. (1973). La géologie du calcaire de Beauce. Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées. N° spécial U - juin 1973.
- Moreau J. (2002). Les gouffres du nord d'Orléans. Groupe spéléologique orléanais – Bulletin N°7/2002. 28 pages.
- Noury G., Ksibi I., Froidevaux M. (2018 – en cours de publication) - Apport de la collaboration entre le BRGM et le service Prévention des Risques d'Orléans-Métropole : Intégration de la géologie et évaluation des risques d'effondrement via, entre autre l'utilisation d'un nouvel outil de cartographie souterraine en 3D. Acte du colloque « Caves et celliers du Moyen Age à l'époque moderne ».
- Poinclou C., Munerot J., Boismoreau P. (2004). Bulletin spécial spéléologie. Le bulletin de la rivière du Loiret – Hors-série.
- Watelet J.M., Kreziak C., Al Heib M. (2016). Analyse et interrogations liées à l'effondrement de la carrière souterraine de craie de Lorry en 1910. Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'ingénieur.