



Retour d'expérience sur les effondrements de cavités dans l'Orléanais suite à la crise météorologique du printemps 2016



h19
h18
h2

-1.89 3740.46 -625.5

h18-2
c7-h18

h18-2
h30
d6-h18
h18

h3
h30
d6-h18
h18-2

Sébastien Gourdiér, Gildas NOURY, Jérôme Perrin (BRGM)
Li-Hua LUU, Pierre PHILIPPE (IRSTEA)



1. Contexte général et géologique

- 1.1 Le calcaire de Beauce
- 1.2 Le karst dans l'Orléanais
- 1.3 Autres cavités souterraines

2. La crise météorologique du printemps 2016

- 2.1 Des précipitations exceptionnelles...
- 2.2 ... à l'origine d'inondations « inhabituelles »

3. Les effondrements et leurs conséquences

- 3.1 Synthèse (Loiret)
- 3.2 Les effondrements de cavités anthropiques
- 3.3 Les effondrements au nord d'Orléans, focus sur les cas liés au karst
- 3.4 Les effondrements dans le val d'Orléans, focus sur les cas liés au karst

4. Perspectives

- 4.1 Amélioration des connaissances
- 4.2 Prise en compte dans la gestion des risques

1. Contexte général et géologique

- 1.1 Le calcaire de Beauce
- 1.2 Le karst dans l'Orléanais
- 1.3 Autres cavités souterraines

2. La crise météorologique du printemps 2016

- 2.1 Des précipitations exceptionnelles...
- 2.2 ... à l'origine d'inondations « inhabituelles »

3. Les effondrements et leurs conséquences

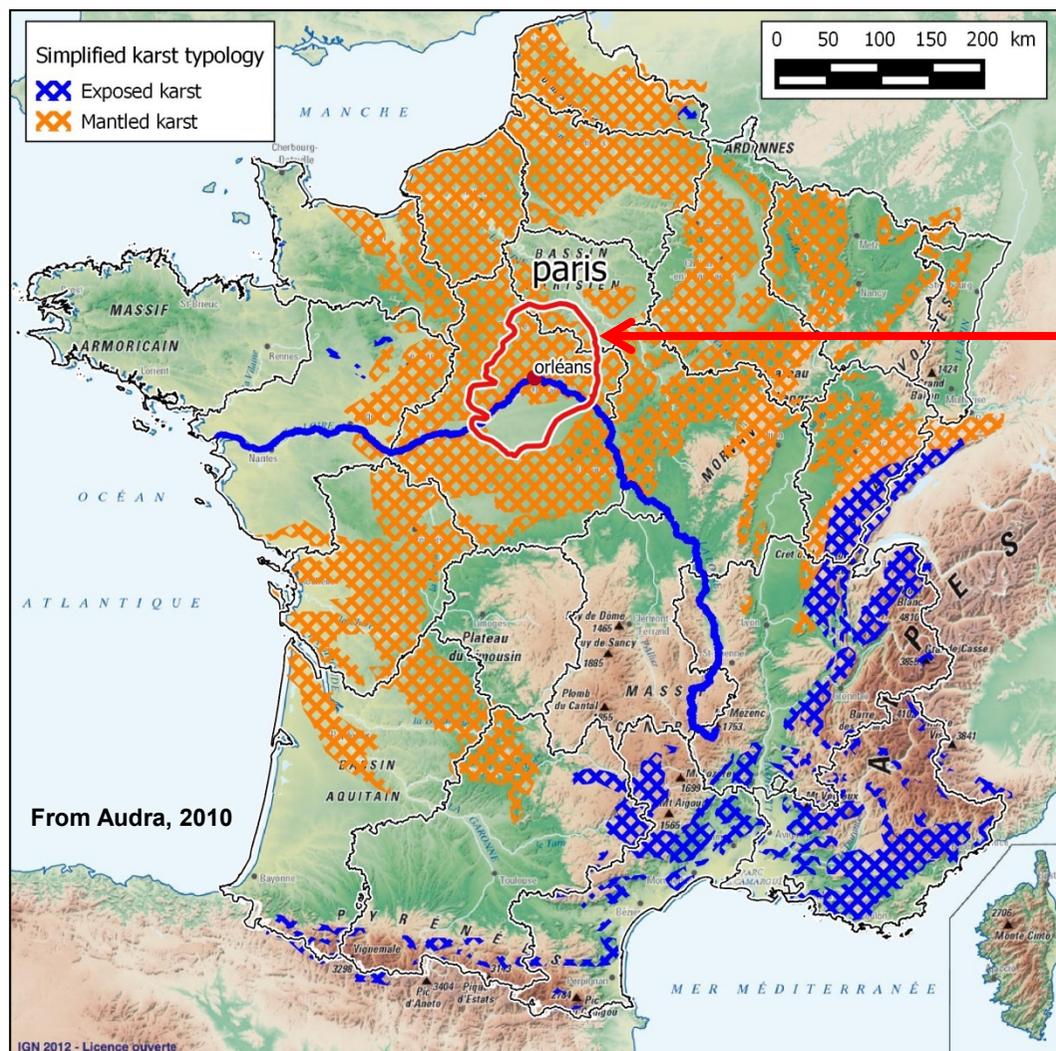
- 3.1 Synthèse (Loiret)
- 3.2 Les effondrements de cavités anthropiques
- 3.3 Les effondrements au nord d'Orléans, focus sur les cas liés au karst
- 3.4 Les effondrements dans le val d'Orléans, focus sur les cas liés au karst

4. Perspectives

- 4.1 Amélioration des connaissances
- 4.2 Prise en compte dans la gestion des risques

1. Contexte général et géologique

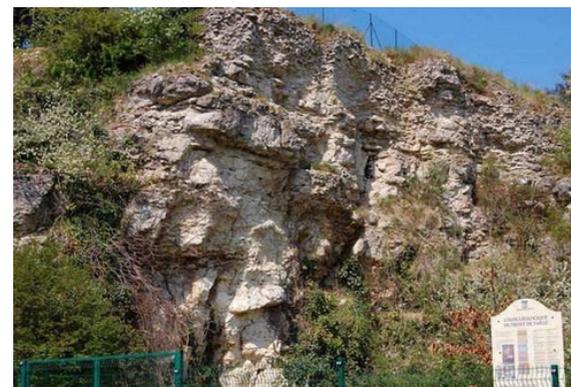
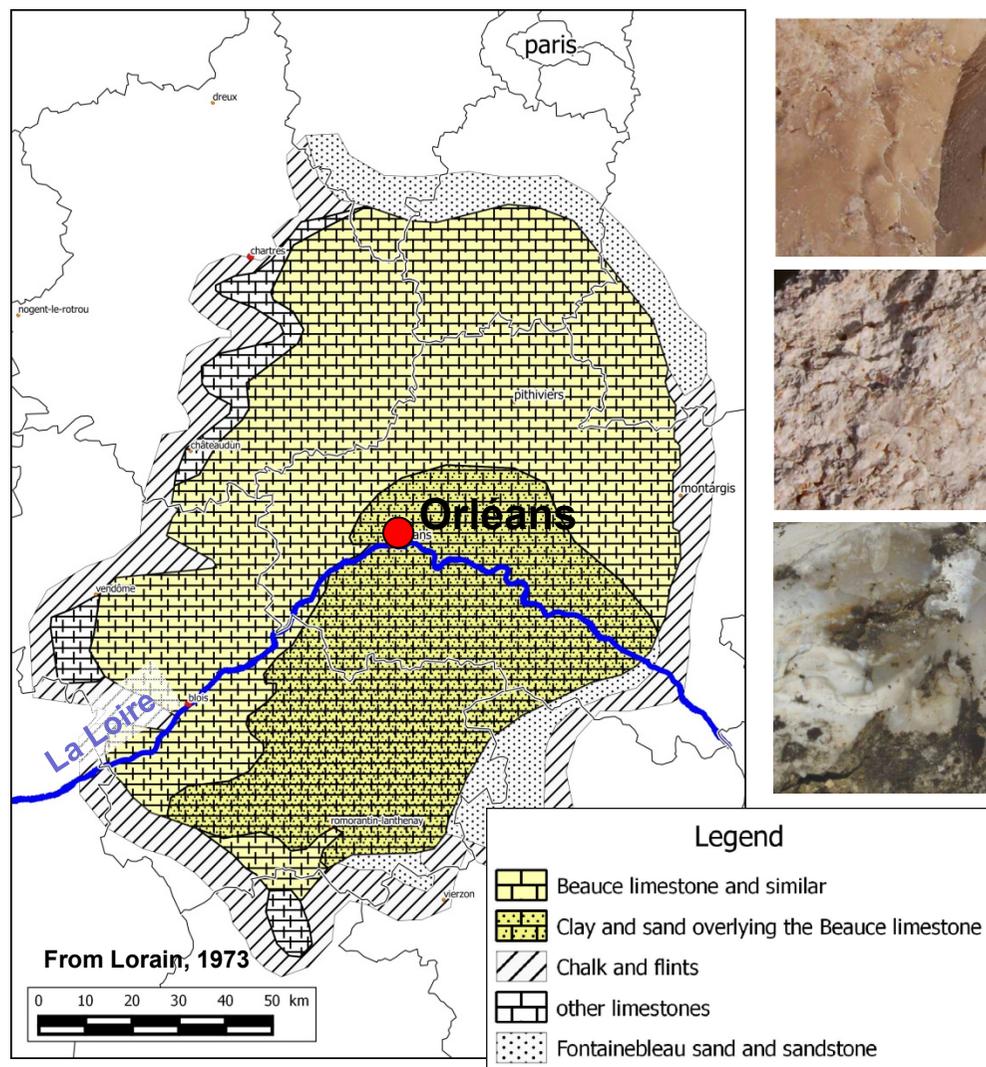
1.1 Le calcaire de Beauce



Contours du calcaire de Beauce

1. Contexte général et géologique

1.1 Le calcaire de Beauce

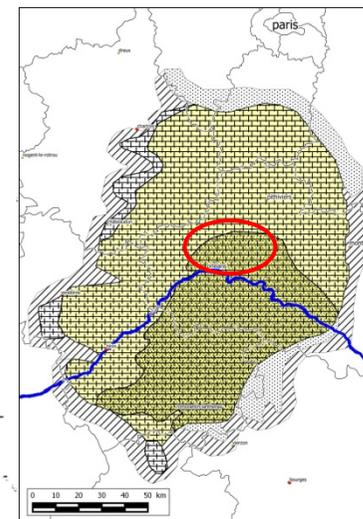
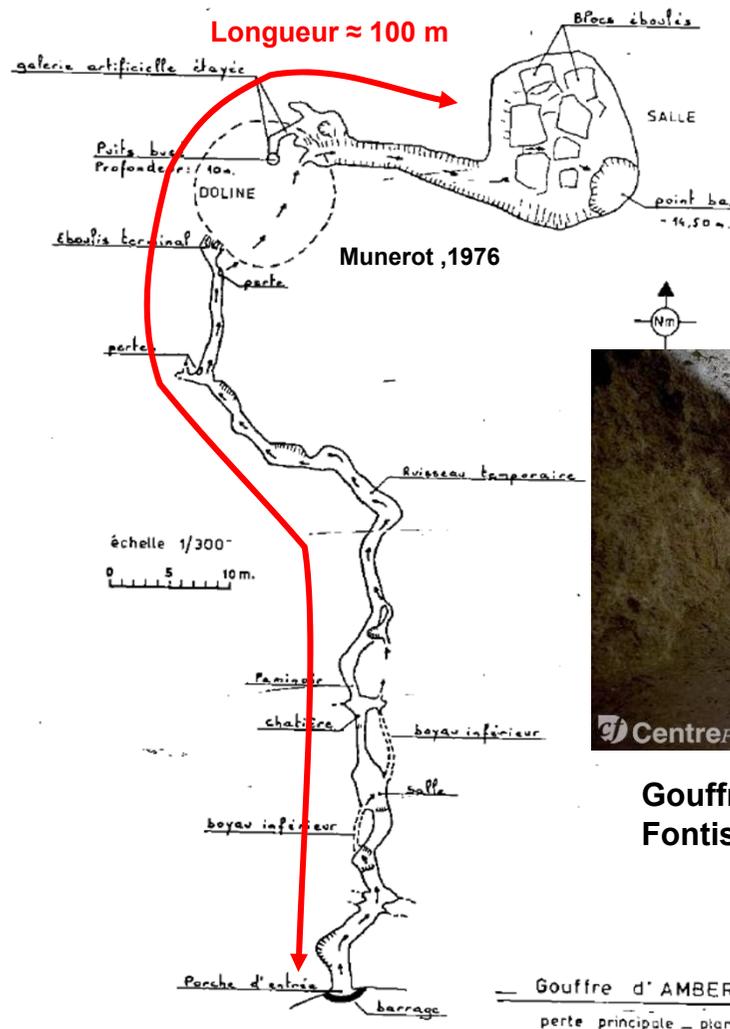


Hétérogène :
- massif / "mou"
- réseau karstique
chaotique



1. Contexte général et géologique

1.2 Le karst dans l'Orléanais – au nord d'Orléans

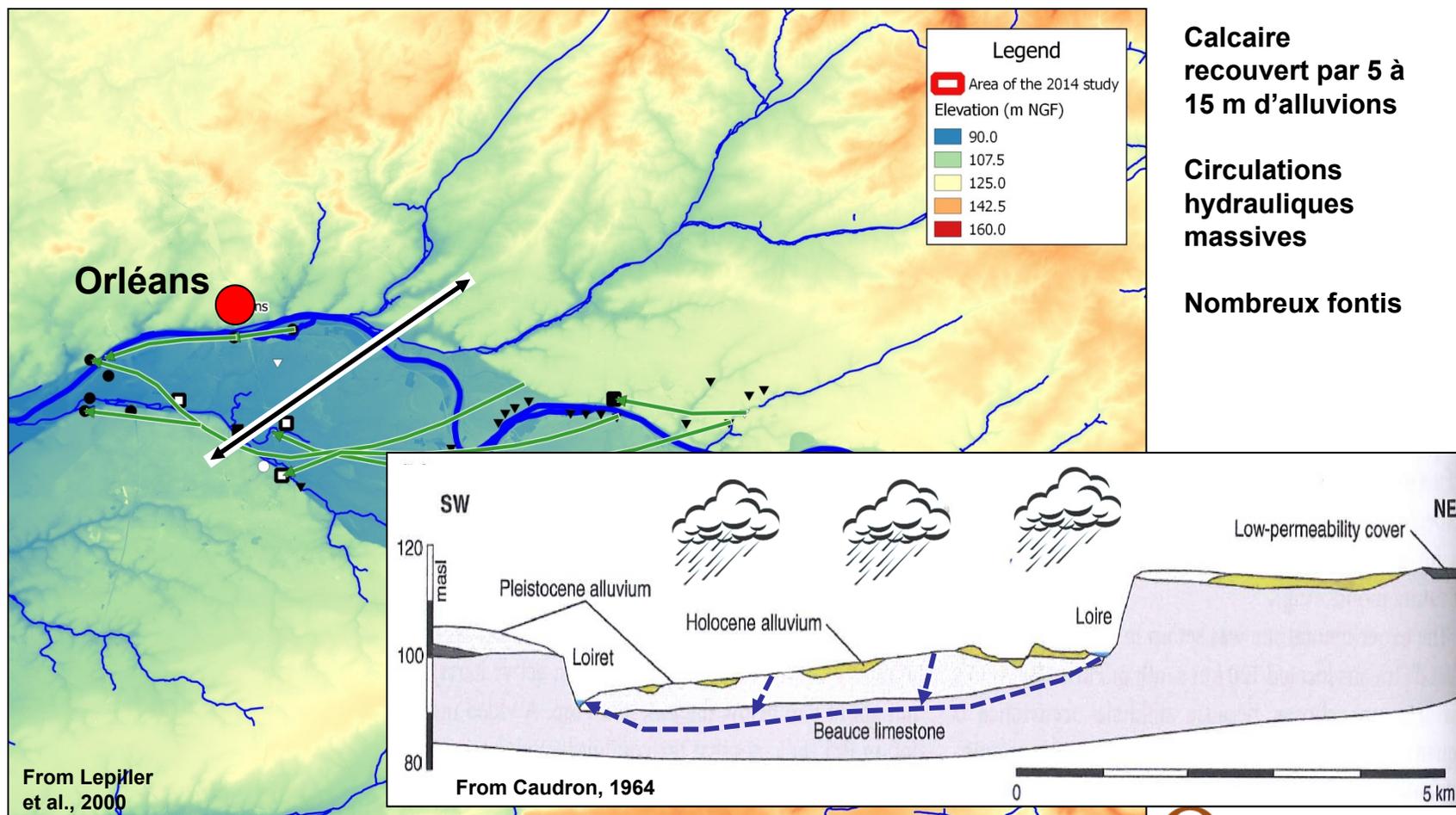


Gouffres verticaux bouchés
Fontis très rares



1. Contexte général et géologique

1.2 Le karst dans l'Orléanais – val d'Orléans



Calcaire recouvert par 5 à 15 m d'alluvions

Circulations hydrauliques massives

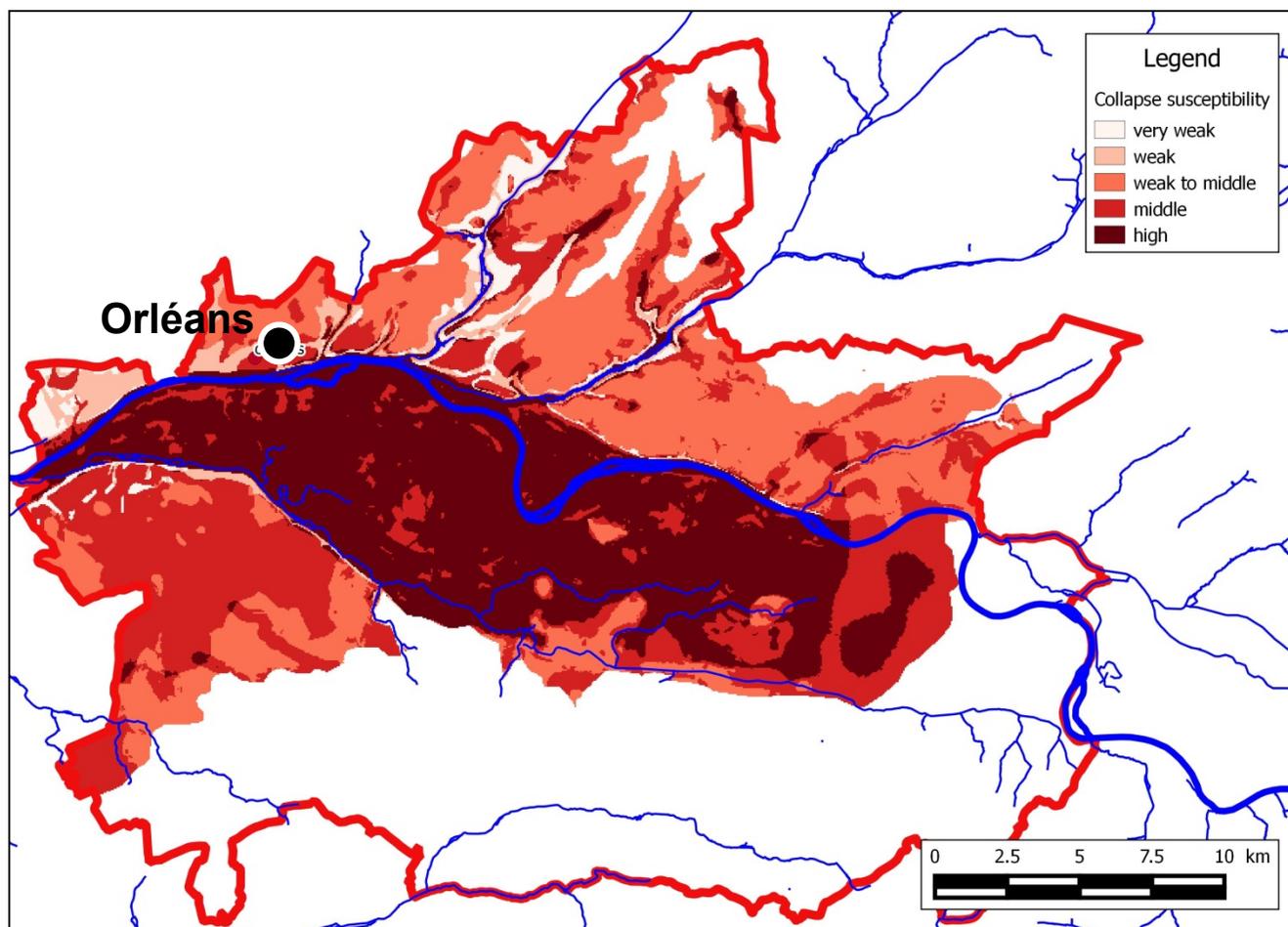
Nombreux fontis

From Lepiller et al., 2000

From Caudron, 1964

1. Contexte général et géologique

1.2 Le karst dans l'Orléanais – val d'Orléans



Val Orléans (170 km²) :

Depuis 1903 : +600
fontis → 3.5 / km²

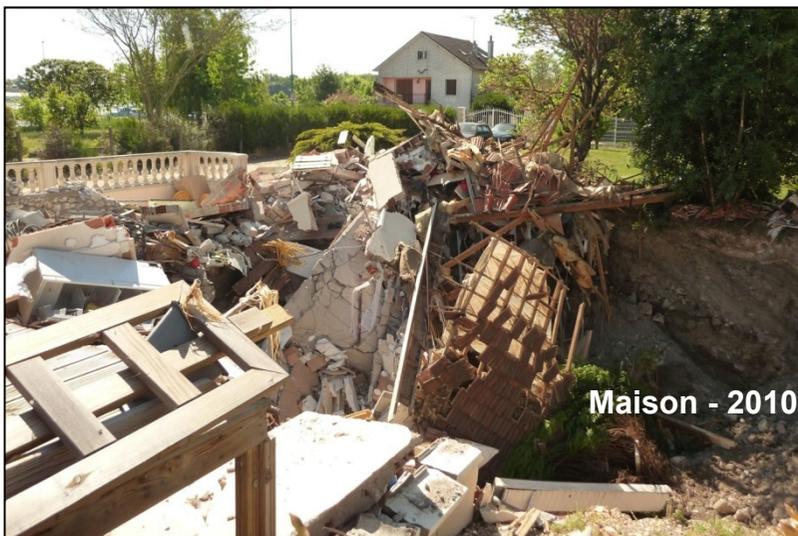
2010-2015 : 3-4 / an

0.02 to 0.03 / km² / an

Perrin, Noury et al., 2014. Suivant des données collectées par le CEREMA, l'INERIS et le BRGM

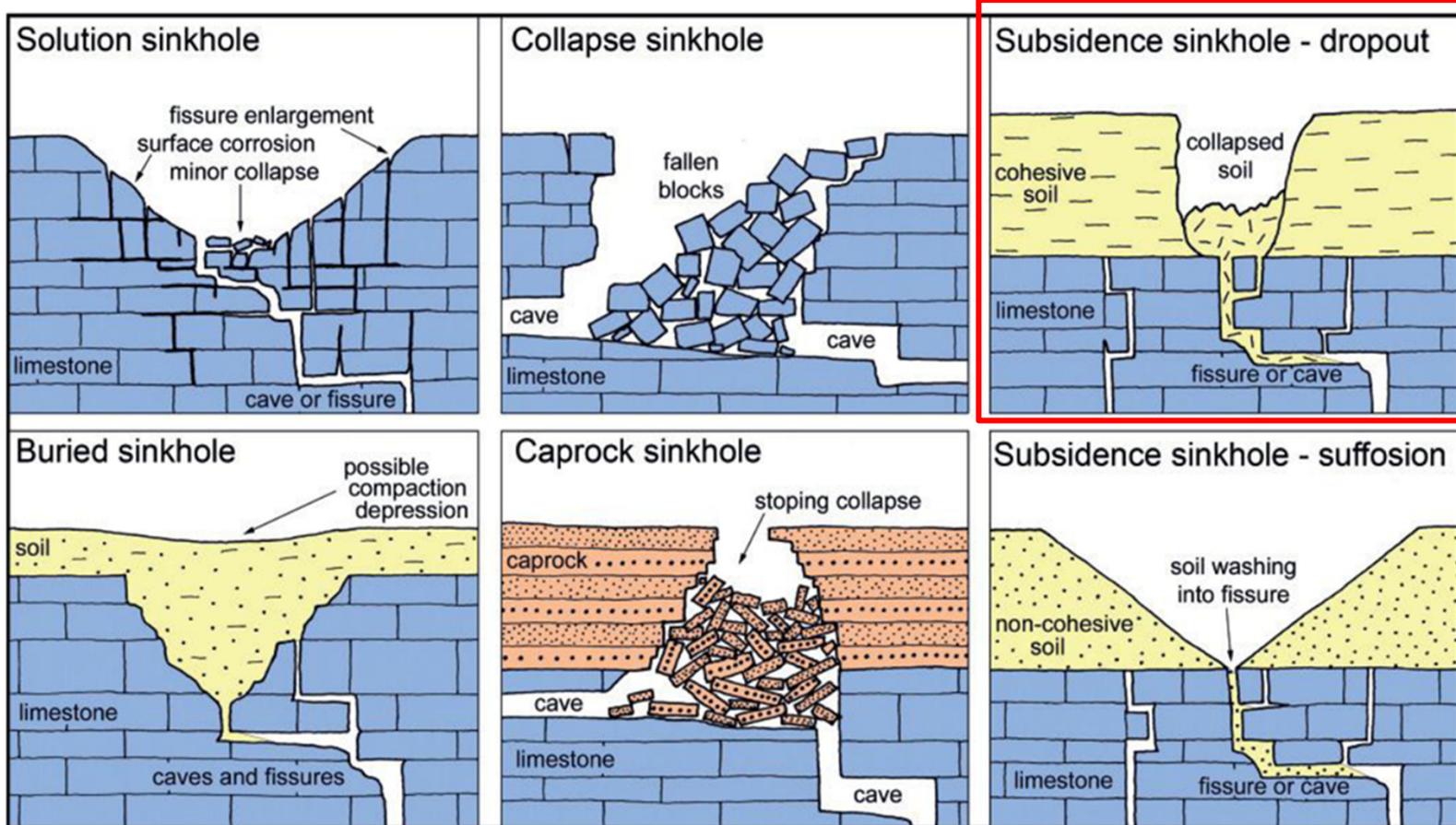
1. Contexte général et géologique

1.2 Le karst dans l'Orléanais – val d'Orléans



1. Contexte général et géologique

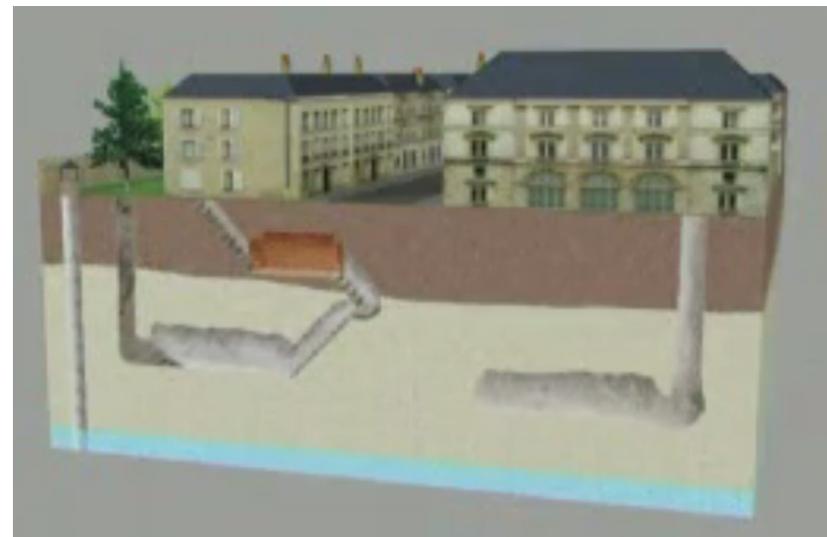
1.2 Le karst dans l'Orléanais – val d'Orléans



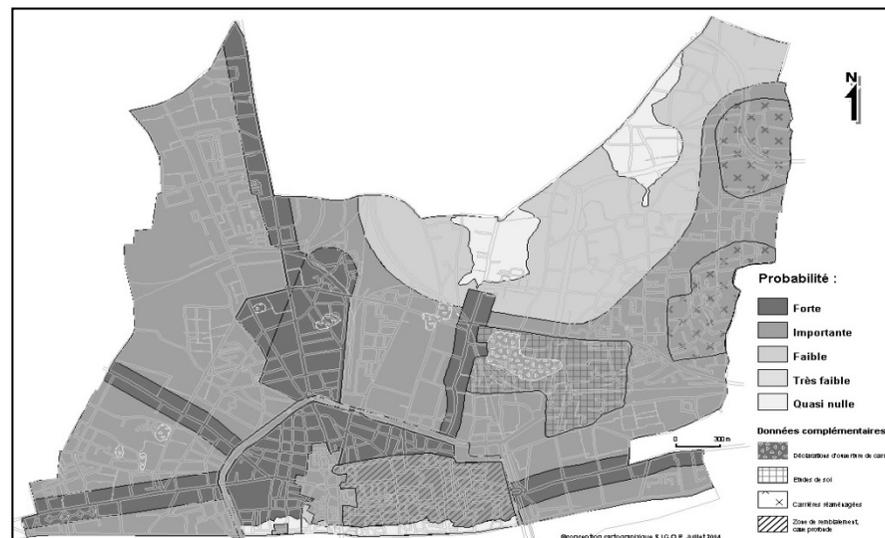
Waltham, 2008

1. Contexte général et géologique

1.3 Autres cavités souterraines



- Caves, puits, carrières plus ou moins étendues
- Un service dédié à Orléans Métropole



Service Prévention des Risques de la ville d'Orléans, 2001

1. Contexte général et géologique

- 1.1 Le calcaire de Beauce
- 1.2 Le karst dans l'Orléanais
- 1.3 Autres cavités souterraines

2. La crise météorologique du printemps 2016

- 2.1 Des précipitations exceptionnelles...
- 2.2 ... à l'origine d'inondations « inhabituelles »

3. Les effondrements et leurs conséquences

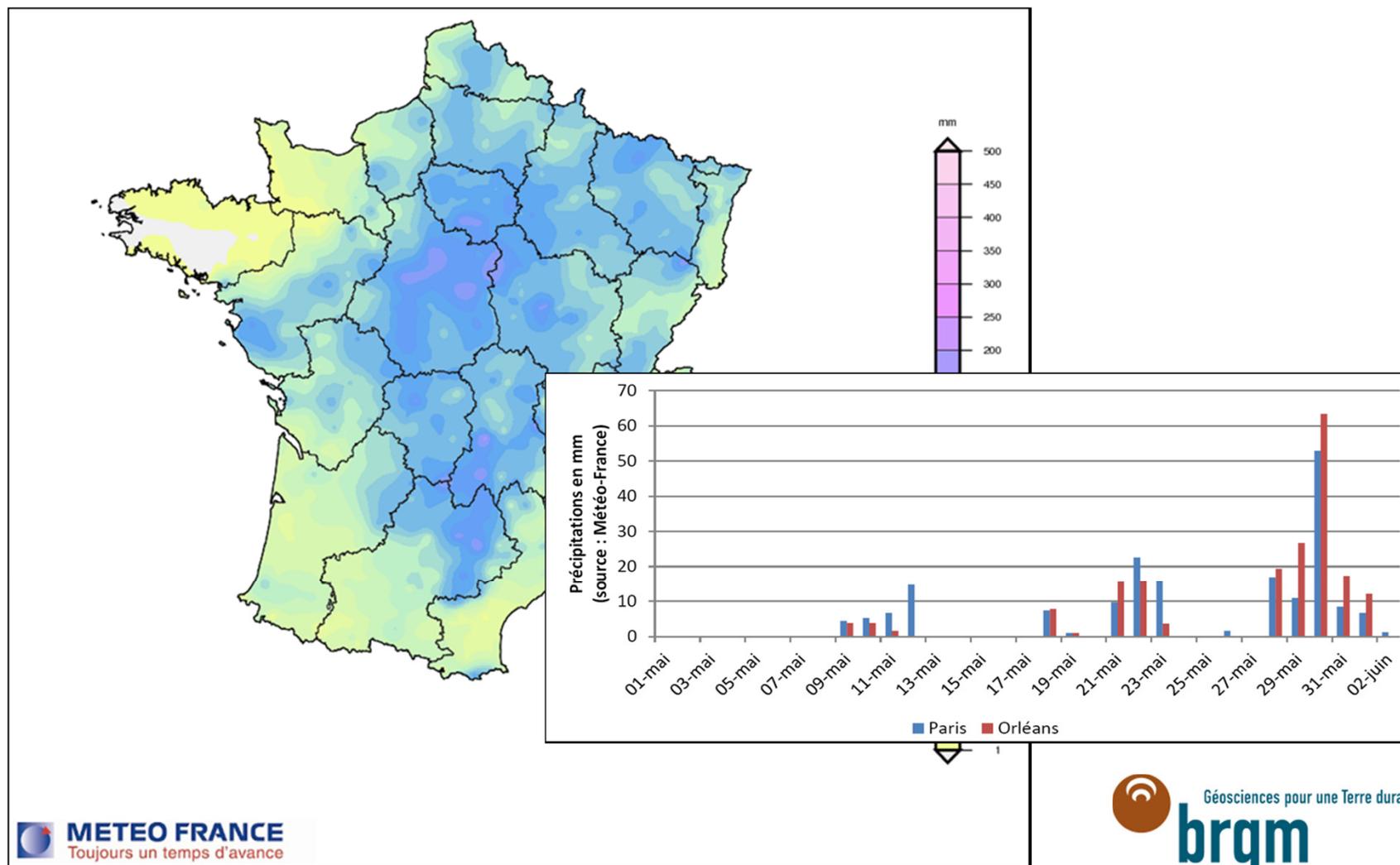
- 3.1 Synthèse (Loiret)
- 3.2 Les effondrements de cavités anthropiques
- 3.3 Les effondrements au nord d'Orléans, focus sur les cas liés au karst
- 3.4 Les effondrements dans le val d'Orléans, focus sur les cas liés au karst

4. Perspectives

- 4.1 Amélioration des connaissances
- 4.2 Prise en compte dans la gestion des risques

2. La crise météorologique du printemps 2016

2.1 Des précipitations exceptionnelles...



2. La crise météorologique du printemps 2016

2.2 ... à l'origine d'inondations « inhabituelles »



Au nord d'Orléans :
inondation (par
ruissellement) de
vallées sèches



Dans le Val :
débordement
d'un canal

1. Contexte général et géologique

- 1.1 Le calcaire de Beauce
- 1.2 Le karst dans l'Orléanais
- 1.3 Autres cavités souterraines

2. La crise météorologique du printemps 2016

- 2.1 Des précipitations exceptionnelles...
- 2.2 ... à l'origine d'inondations « inhabituelles »

3. Les effondrements et leurs conséquences

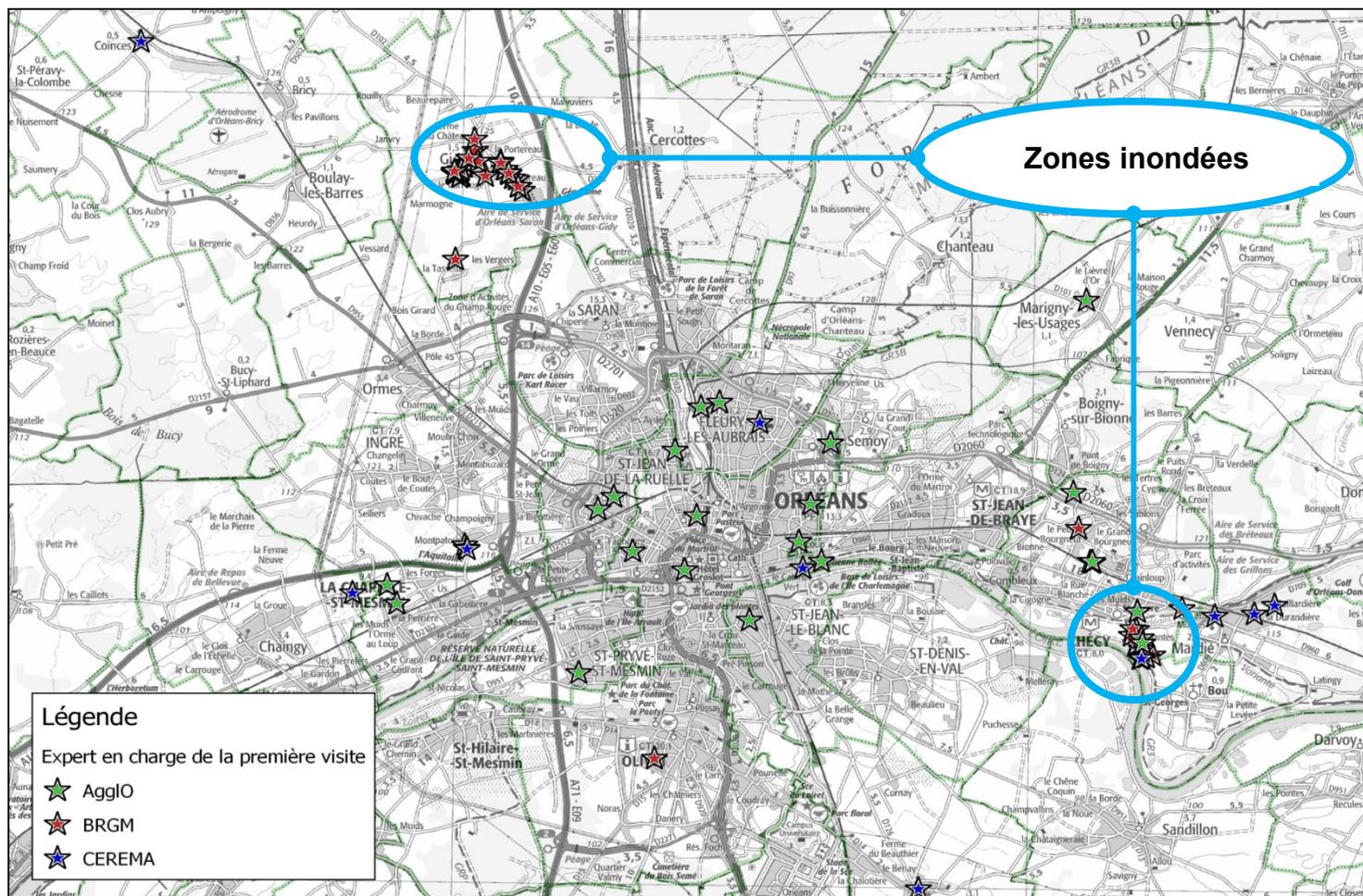
- 3.1 Synthèse
- 3.2 Les effondrements de cavités anthropiques
- 3.3 Les effondrements au nord d'Orléans, focus sur les cas liés au karst
- 3.4 Les effondrements dans le val d'Orléans, focus sur les cas liés au karst

4. Perspectives

- 4.1 Amélioration des connaissances
- 4.2 Prise en compte dans la gestion des risques

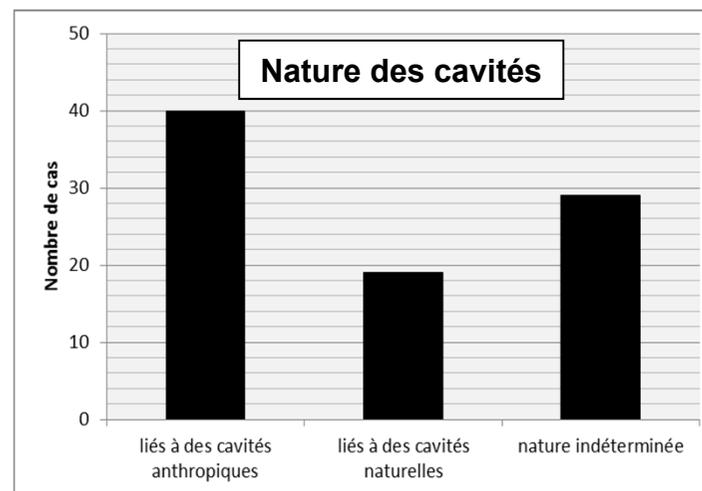
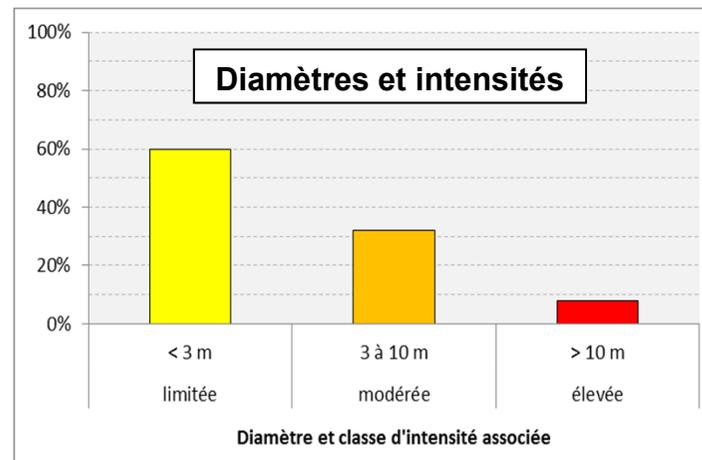
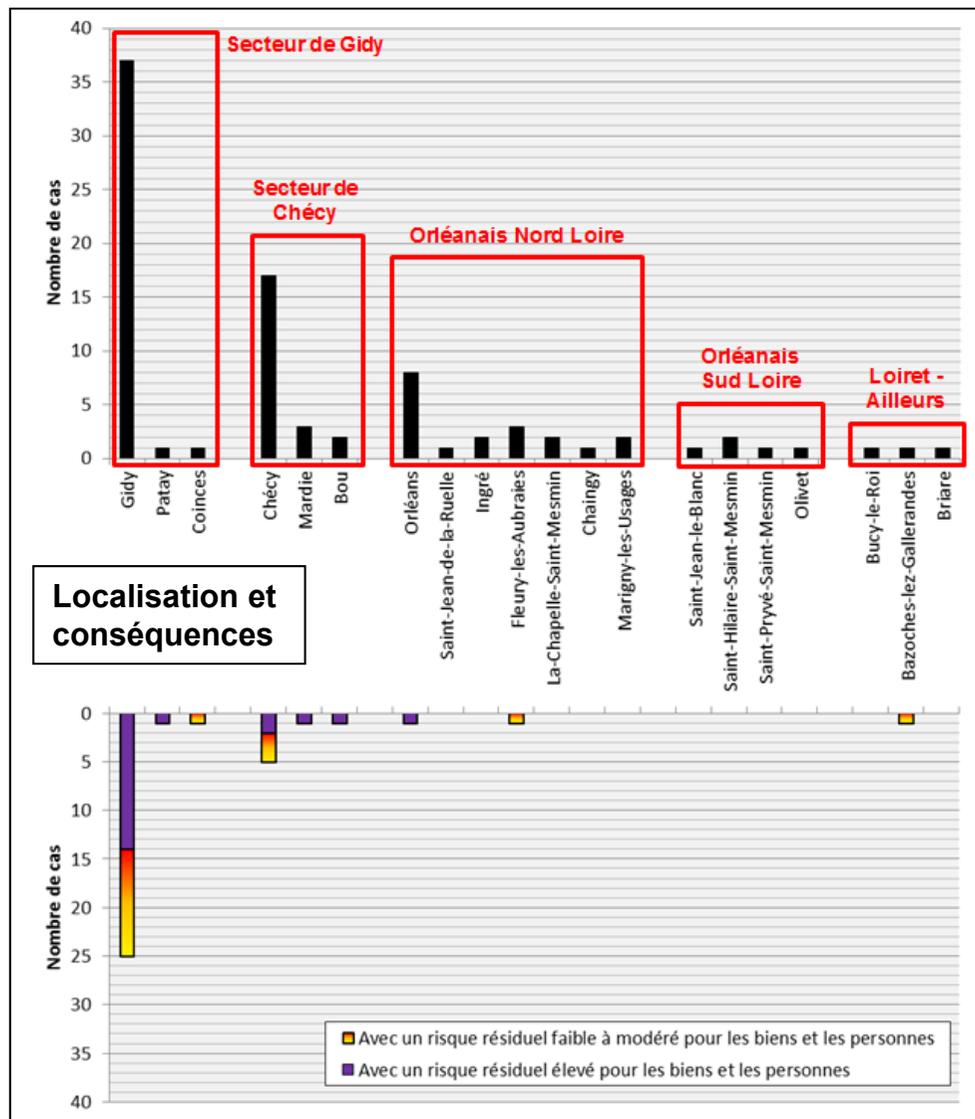
3. Les effondrements et leurs conséquences

3.1 Synthèse



3. Les effondrements et leurs conséquences

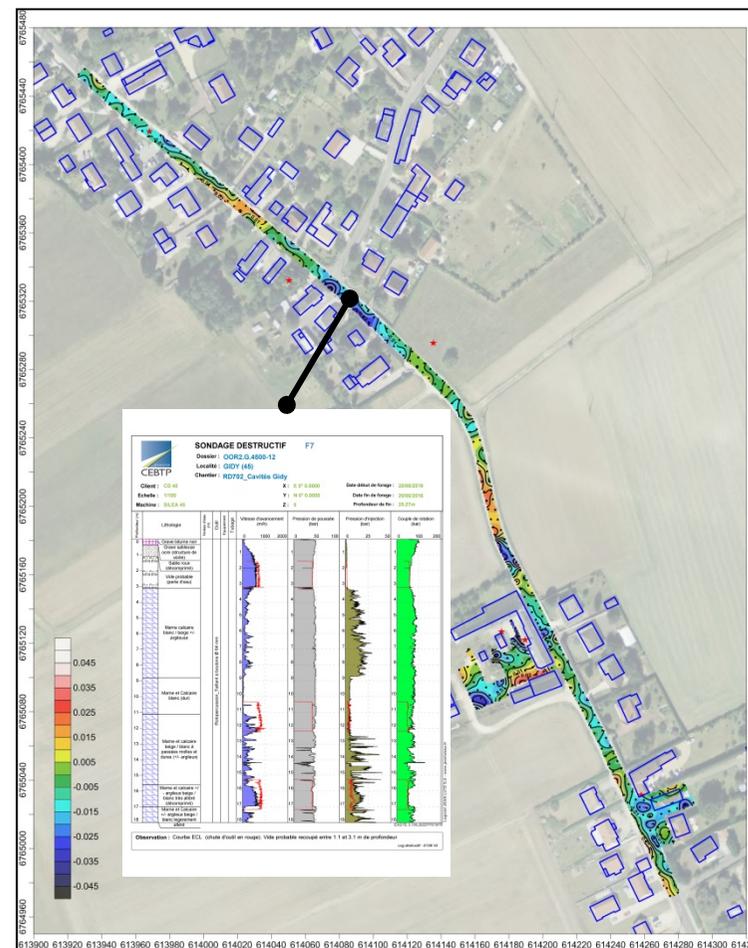
3.1 Synthèse



3. Les effondrements et leurs conséquences

3.1 Synthèse

- **Pas de victime** mais 2 « presque accidents » (chute personne et véhicule)
- Dégâts matériels avec sécurisations préventives : **20 désordres = 25 %** :
 - o Maisons évacuées
 - o Routes coupées
 - o Digue détériorée
- Des **inquiétudes** résolues par investigations approfondies:
 - Enquête documentaire,
 - Survol aérien,
 - Géophysique + Sondages



3. Les effondrements et leurs conséquences

3.2 Les effondrements de cavités anthropiques

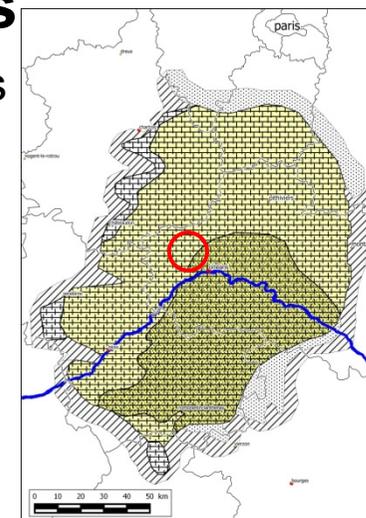


- Carrières souterraines oubliées
- Caves et souterrains



3. Les effondrements et leurs conséquences

3.3 Les effondrements au nord d'Orléans, focus sur les cas liés au karst



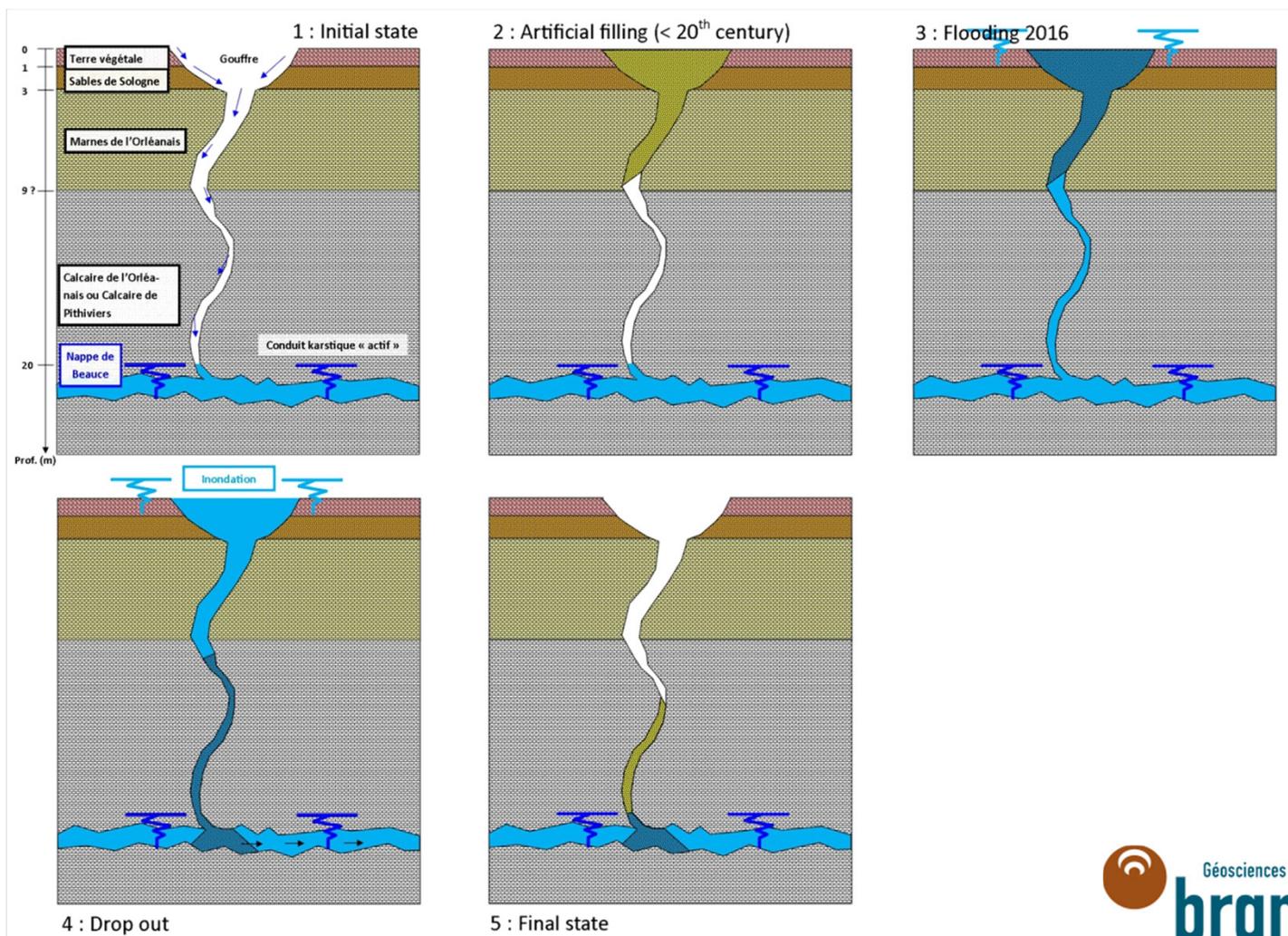
33 fontis

90 % dans la zone inondée

≈ 12 liés au karst

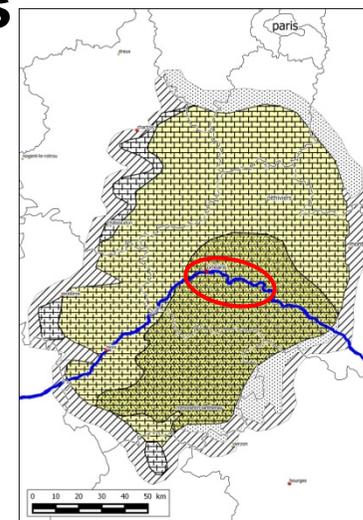
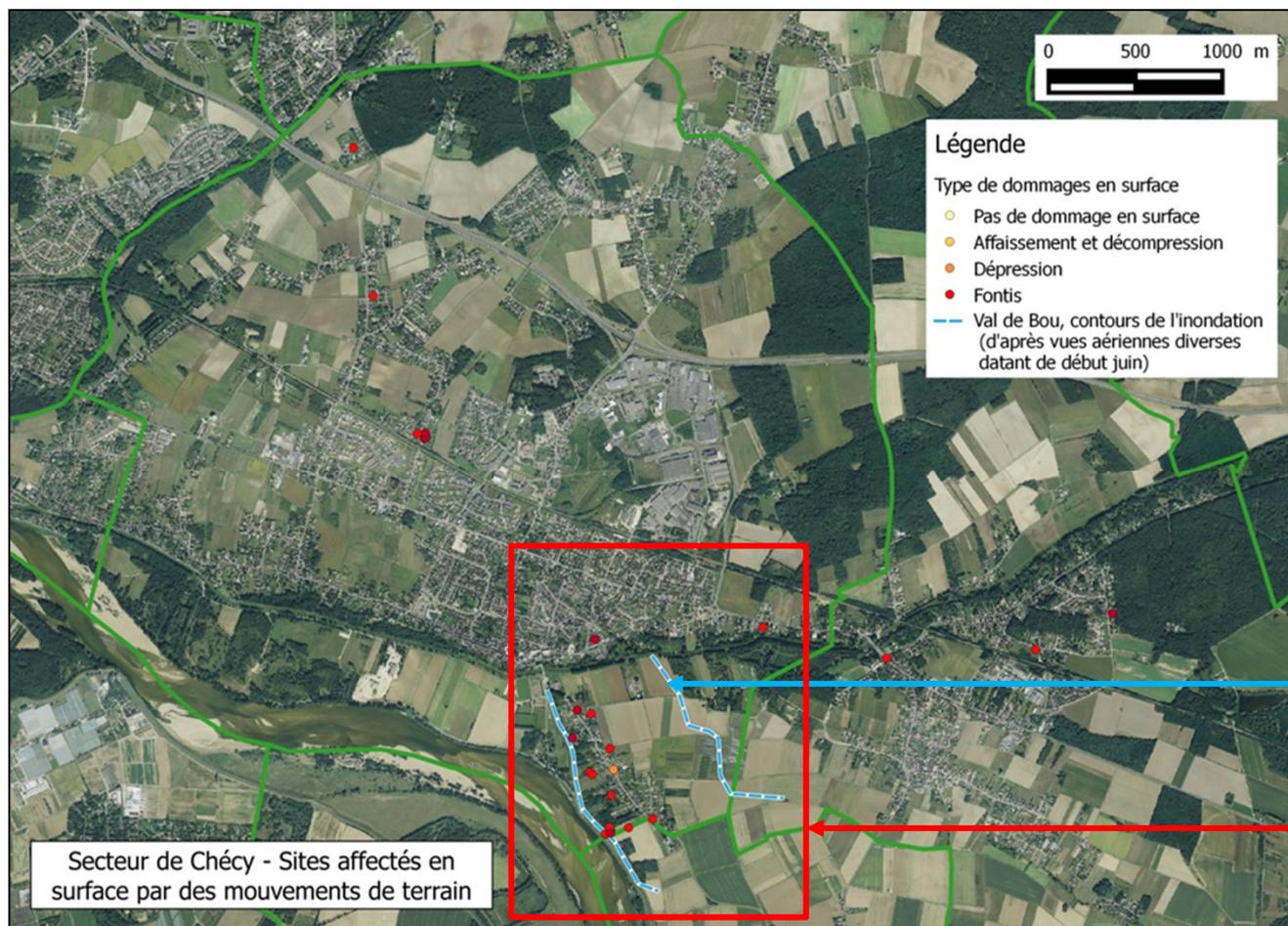
3. Les effondrements et leurs conséquences

3.3 Les effondrements au nord d'Orléans, focus sur les cas liés au karst



3. Les effondrements et leurs conséquences

3.4 Les effondrements dans le val d'Orléans, focus sur les cas liés au karst



24 fontis

65 % dans la zone inondée (10 jours)

≈ 13 liés au karst

Taux moyen :
0.02 to 0.03 / km² / an

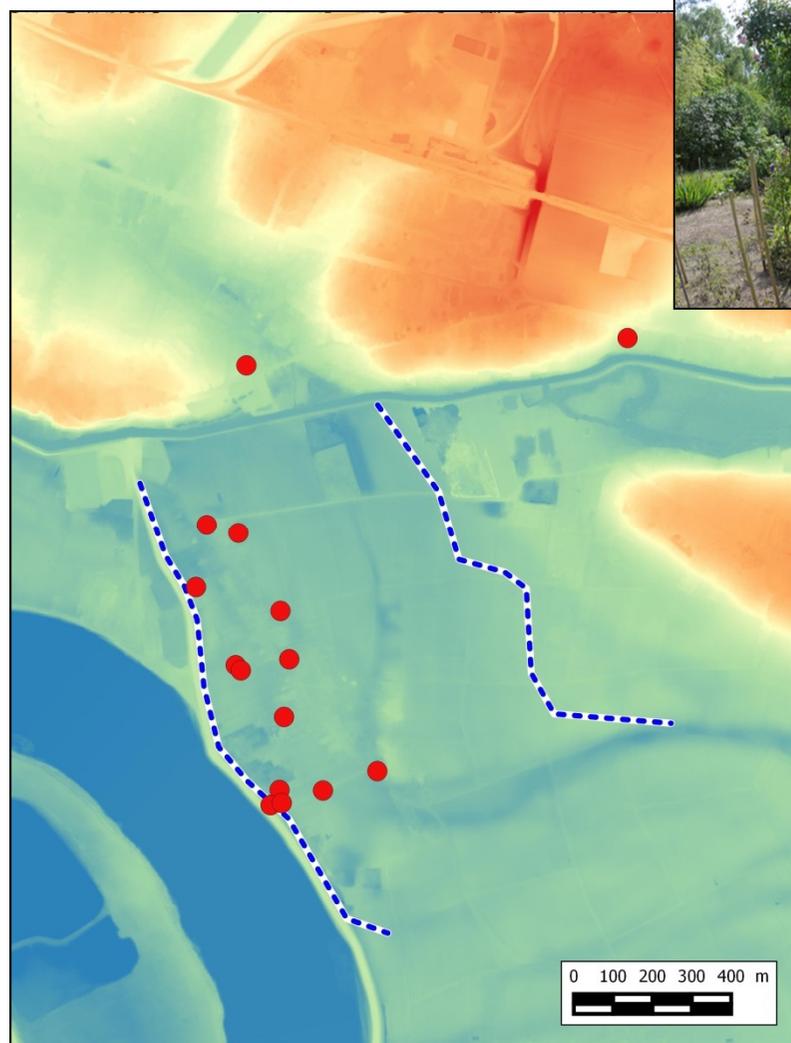
x 15 000 à 23 000

2016 (10 jours) → taux :
≈ 470 / km² / an



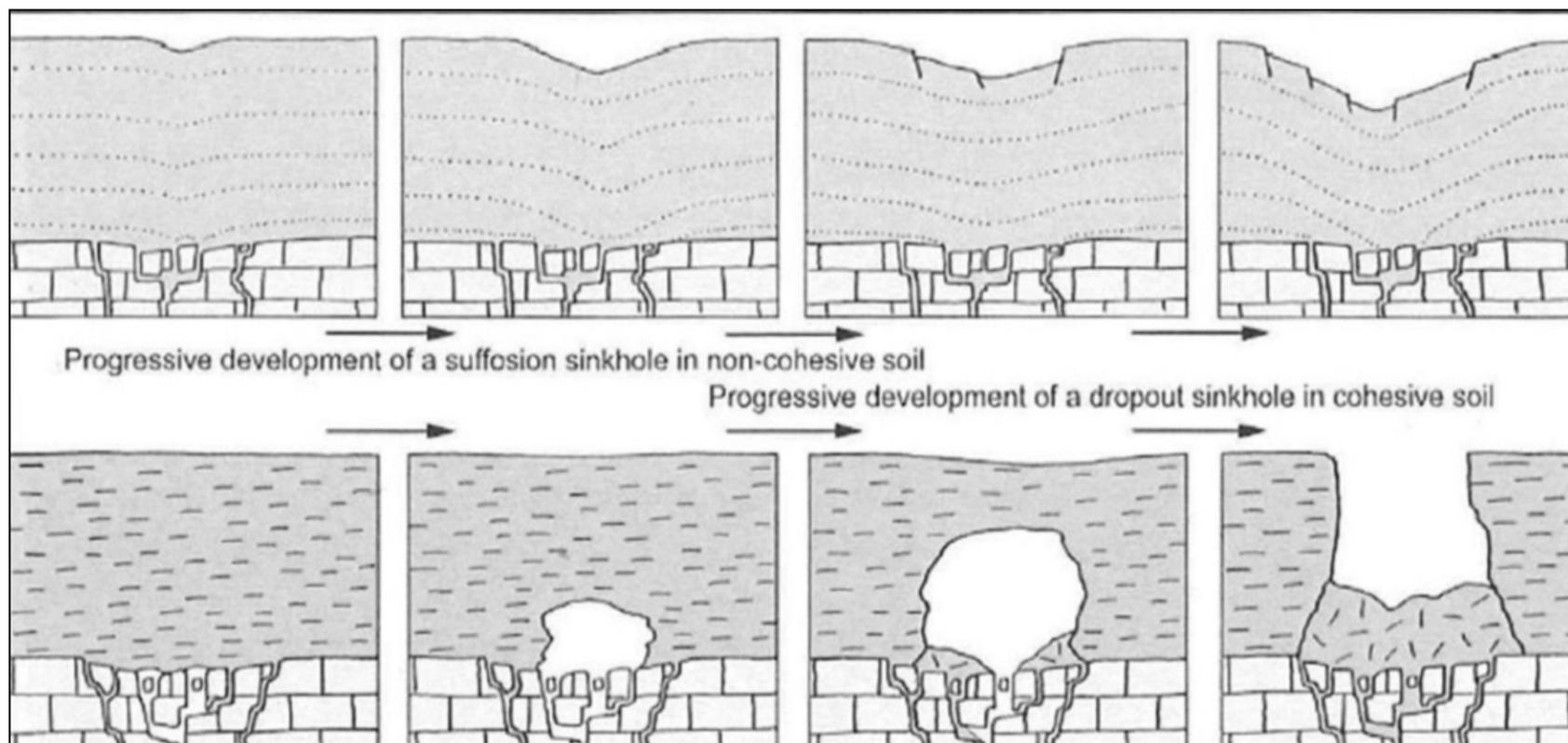
3. Les effondrements et leurs conséquences

3.4 Les effondrements dans le val d'Orléans, focus sur les cas liés au karst



3. Les effondrements et leurs conséquences

3.4 Les effondrements dans le val d'Orléans, focus sur les cas liés au karst



Waltham, 2007

1. Contexte général et géologique

- 1.1 Le calcaire de Beauce
- 1.2 Le karst dans l'Orléanais
- 1.3 Autres cavités souterraines

2. La crise météorologique du printemps 2016

- 2.1 Des précipitations exceptionnelles...
- 2.2 ... à l'origine d'inondations « inhabituelles »

3. Les effondrements et leurs conséquences

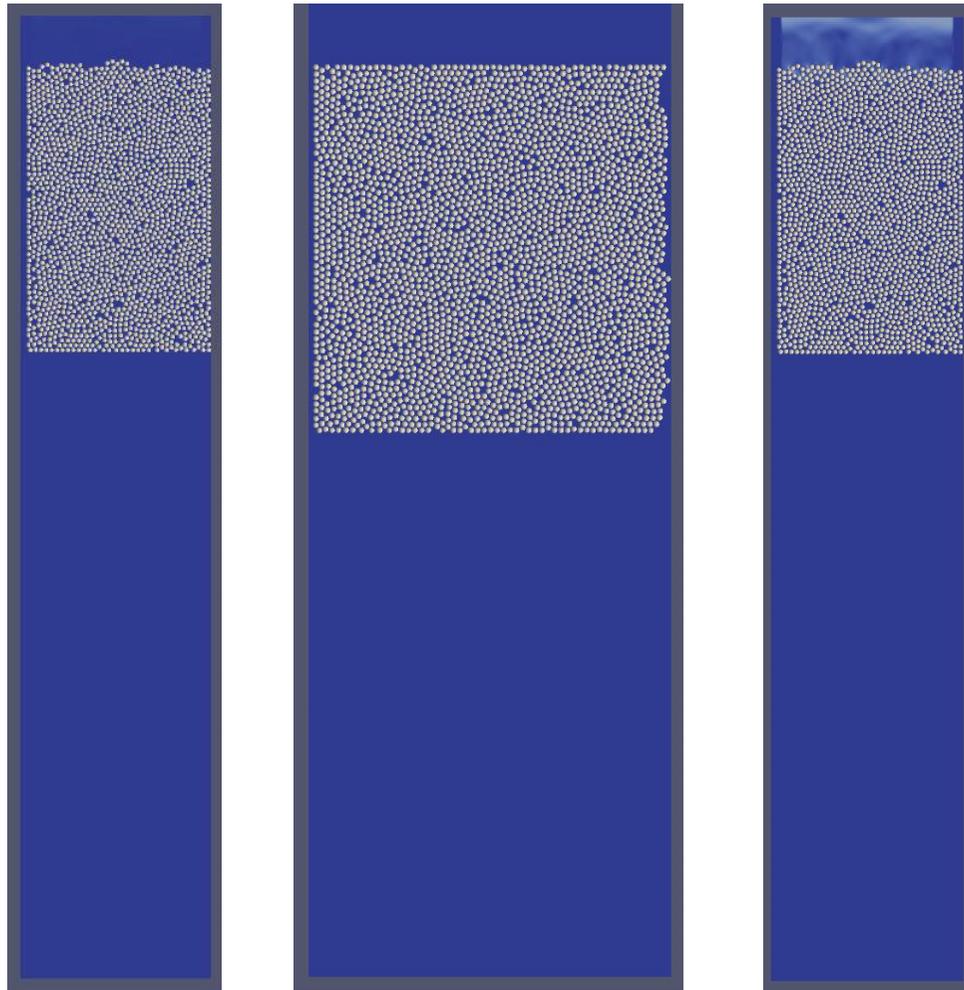
- 3.1 Synthèse (Loiret)
- 3.2 Les effondrements de cavités anthropiques
- 3.3 Les effondrements au nord d'Orléans, focus sur les cas liés au karst
- 3.4 Les effondrements dans le val d'Orléans, focus sur les cas liés au karst

4. Perspectives

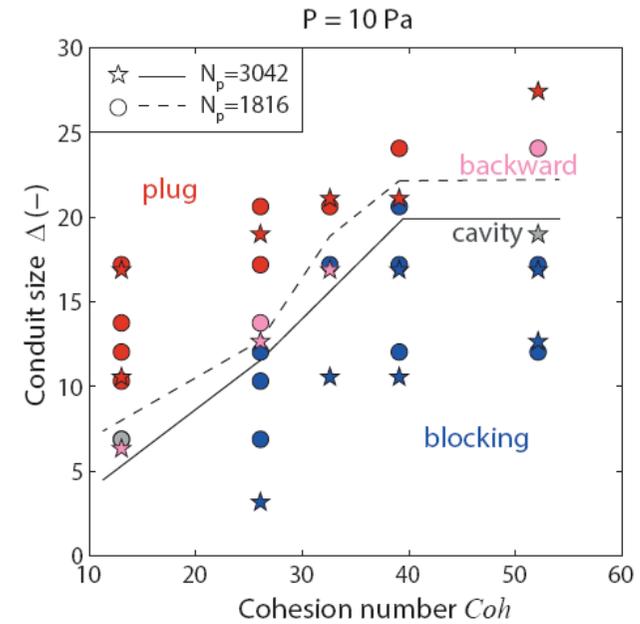
- 4.1 Amélioration des connaissances
- 4.2 Prise en compte dans la gestion des risques

4. Perspectives

4.1 Amélioration des connaissances – modélisation



2D numerical modelling
(combines Discrete Element and
Lattice Boltzmann methods)

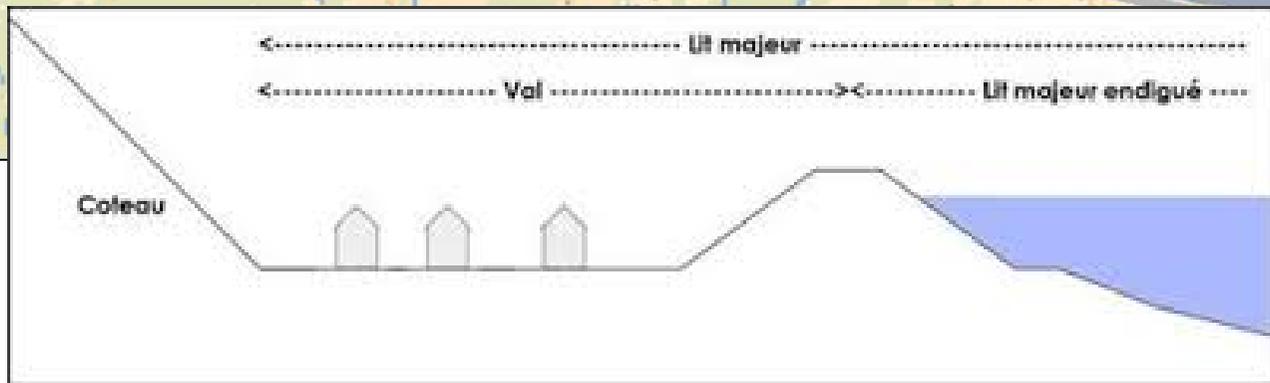
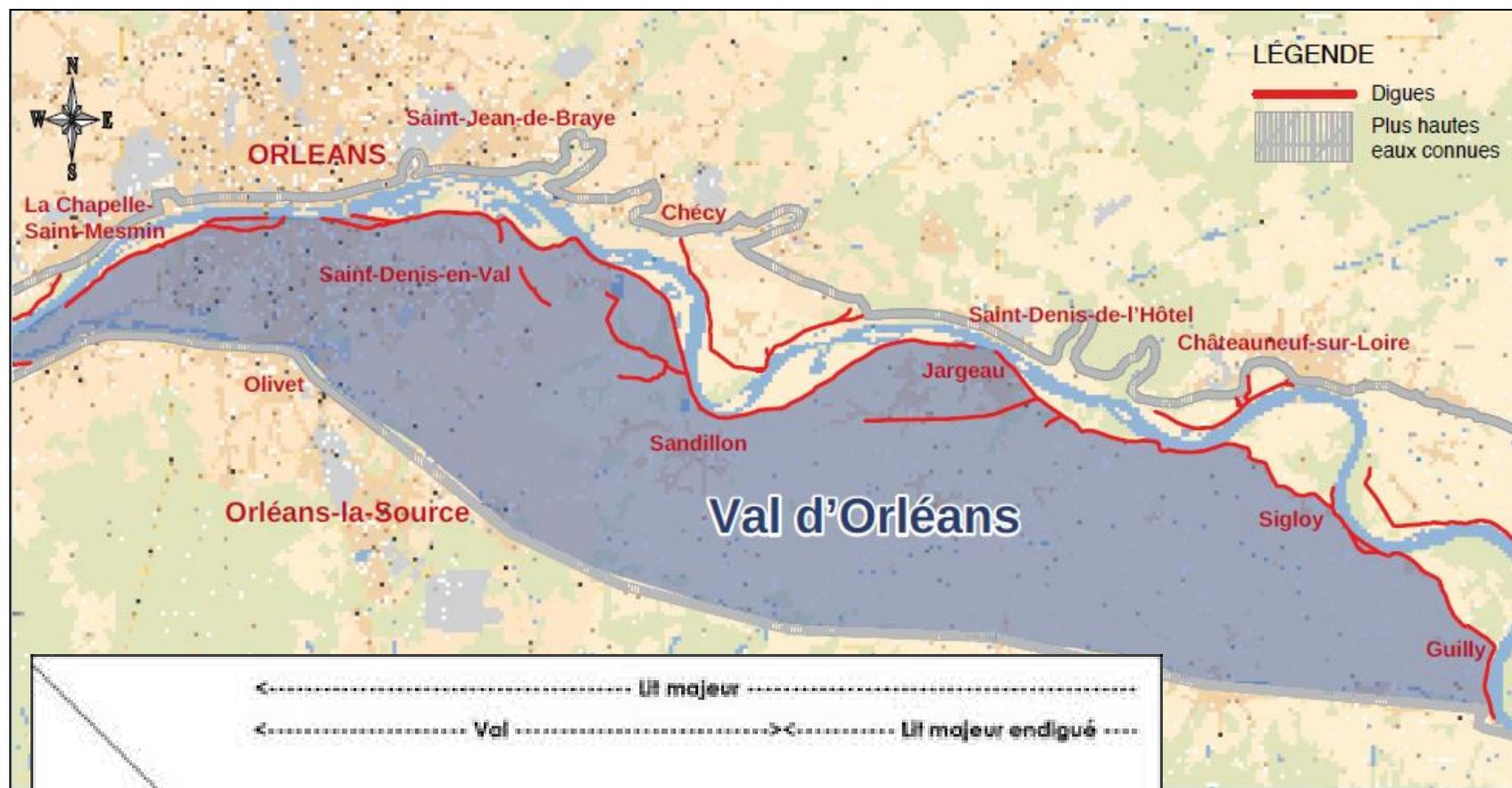


Luu et al., 2017
IRSTEA (French agronomic
and environment Institute)



4. Perspectives

4.2 Prise en compte dans la gestion des risques



Conclusion et éléments de bibliographie

Noury G., Perrin J., Gourdière S., Raucoules D., avec la collaboration de : Dewez T., Masson F., Greffier C., Negulescu C., Peter M., Langlois D., Munerot J., Cantaloube O., Mathon D., Ksibi I. (2017) – 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, 155 p., 107 fig., 6 ann.

Audra Ph. (Dir.) 2010 - Grottes et karsts de France. Karstologia Mémoires, n° 19, 360 p. Association française de karstologie

Caudron M., (1964). Les sources du Loiret : livret guide hydrogéologique. BRGM

Lorain J.M. (1973). La géologie du calcaire de Beauce. Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées

Lepiler M., Leclerc B., Albéric P., Boismoreau P. (2000). Carte des circulations karstiques du val d'Orléans

Luu, L.-H., Philippe, P., Noury, G., Perrin, J. & Brivois, O. (2017) Numerical modelling of sinkhole formation by means of a coupled LBM-DEM model. In 1st GdRi GeoMech, Nantes

Perrin J., Noury G., Cartannaz C., Gutierrez T., Van Laere A. 2014, ALEA-Karst : vers une approche multicritères de l'aléa lié aux cavités karstiques en contexte calcaire. Volume 2 : étude de sites - Rapport BRGM/RP-63771-FR, 119 pages

Waltham, T., Bell, F. G., & Culshaw, M. (2007). Sinkholes and subsidence: karst and cavernous rocks in engineering and construction. Springer Science & Business Media.

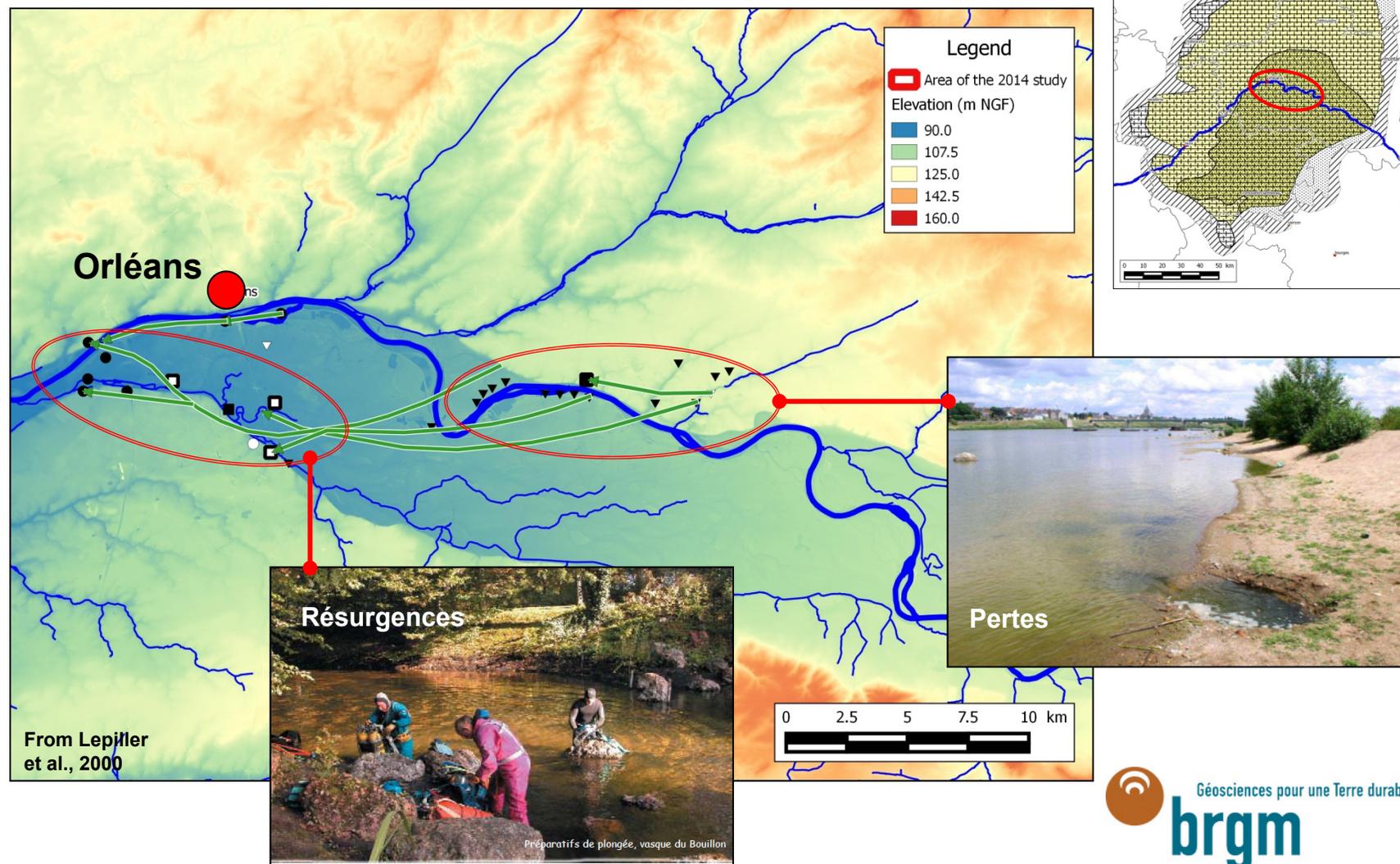
Waltham, T. (2008). Sinkhole hazard case histories in karst terrains. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 41(3), 291-300.

TOURAINE. — Rupture de la digue de Conneuil (huit kilomètres en avant de Tours). (Croquis envoyé par M. Estienne)

ANNEXES

1. Contexte général et géologique

1.2 Le karst dans l'Orléanais – val d'Orléans



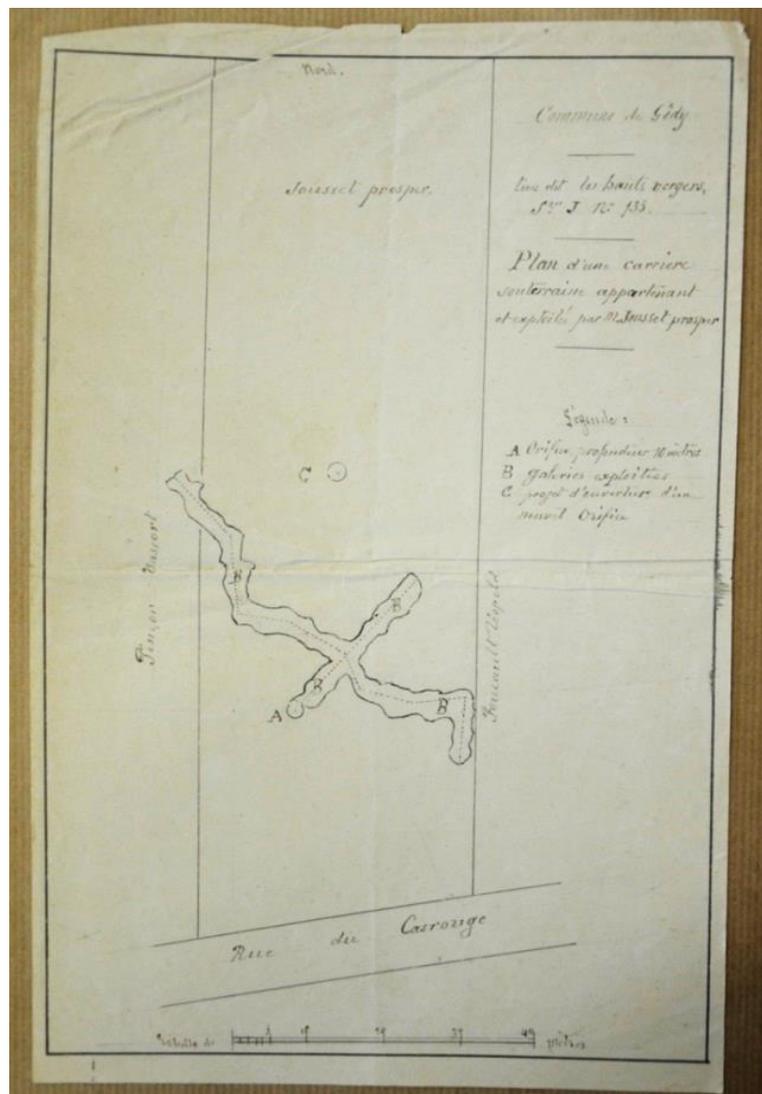
2. La crise météorologique du printemps 2016

2.2 ... à l'origine d'inondations « inhabituelles »



3. Les effondrements et leurs conséquences

3.2 Les effondrements de cavités anthropiques

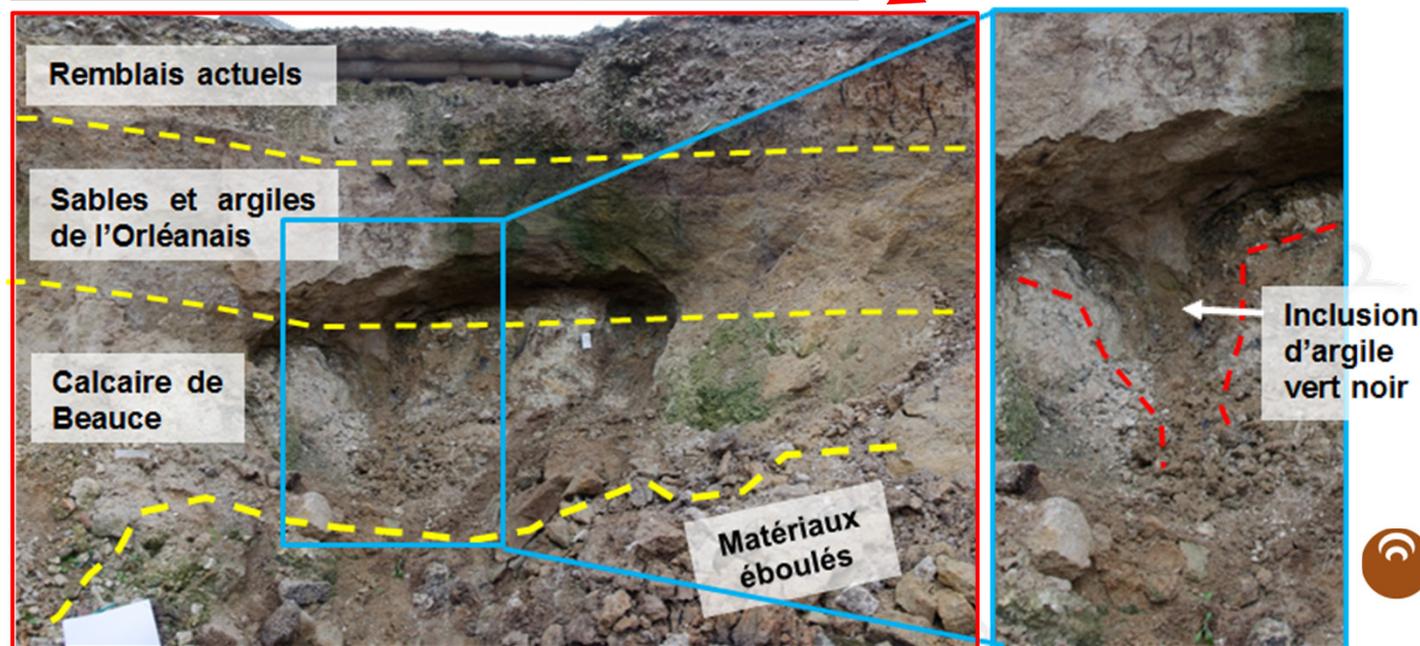


IGN, 1922



3. Les effondrements et leurs conséquences

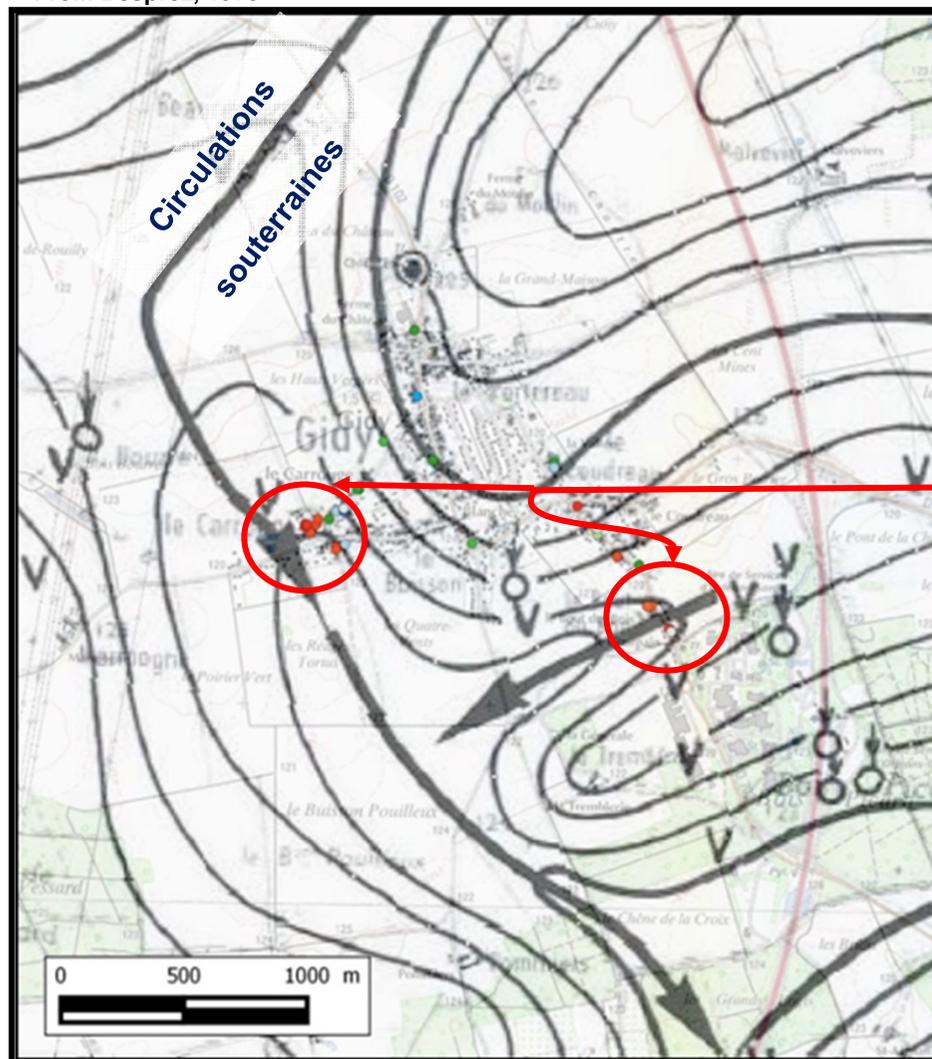
3.3 Les effondrements au nord d'Orléans, focus sur les cas liés au karst



3. Les effondrements et leurs conséquences

3.3 Les effondrements au nord d'Orléans, focus sur les cas liés au karst

From Desprez, 1975



Fontis liés au karst

3. Les effondrements et leurs conséquences



Direction territoriale Normandie-Centre

Affaire suivie par :
David MATHON
Laboratoire de Blois
Groupe Environnement-Risques
Tél : +33 (0) 2 54 55 49 36
david.mathon@cerema.fr

PCD 382 – DDT 45
SLRT -PR

Fiche technique remblayage des effondrements karstiques Val d'Orléans

Observations importantes et préalables

- Cette fiche s'applique uniquement dans la configuration suivante :
- Effondrement ponctuel de diamètre inférieur à 4 mètres et de moins de 2,5 mètres de profondeur ;
 - Effondrement survenu dans un espace non bâti (distance minimale de 10 fois le diamètre de l'effondrement entre celui-ci et le bâti) ;
 - nécessité d'un remblayage rapide pour réduire les risques à court terme (chute, érosion régressive de l'effondrement...).

L'utilisation de cette fiche ne permet pas de s'affranchir d'une étude globale du risque à l'échelle adaptée aux phénomènes (parcelle, zone plus étendue..).

La responsabilité de l'utilisateur de la fiche reste de fait engagée.

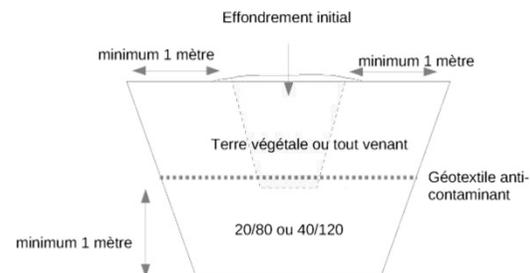
Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
Direction territoriale Normandie Centre (site de Blois) : 11 rue Laplace - CS 2912 - F-41029 Blois - Tél : +33 (0)2 54 55 49 00
Siège social : Ode des Mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 303 - F-69674 Bron Cedex - Tél : +33 (0)4 72 14 30 30
Établissement public - Siret 130 018 310 00289 - IVA Intracommunautaire : FR 94 130018310 - www.cerema.fr



Direction territoriale Normandie-Centre

La technique décrite vise à rétablir les caractéristiques mécaniques des sols superficiels tout en assurant une continuité hydraulique (ne pas faire un bouchon aux écoulements d'eau souterrains).

1. Utiliser une pelle mécanique à bras long pour éviter le basculement de l'engin dans l'effondrement ;
2. Élargir le vide existant sur environ 1 mètre autour de l'effondrement initial ;
3. Approfondir l'effondrement initial d'environ 1 mètre ;
4. Remplir le fond de la cavité (**et au minimum sur un mètre**) par des matériaux frottants angulaires de type 20/80 ou 40/120. Réaliser une mise en place soignée au dos de godet pour tasser les matériaux et permettre un accrochage dans les terrains en place ;
5. Positionner un géotextile anticontaminant ;
6. Finir le remblayage par des matériaux type « tout venant » (0/31,5) ou terre végétale selon l'usage de l'espace. Compactage léger au dos de godet ou compacteur pour tranchées ;
7. Aérer le remblai en modelant « une bosse » à l'emplacement de l'effondrement pour éviter les accumulations d'eau à cet endroit et anticiper des tassements prévisibles.



Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
Direction territoriale Normandie Centre (site de Blois) : 11 rue Laplace - CS 2912 - F-41029 Blois - Tél : +33 (0)2 54 55 49 00
Siège social : Ode des Mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 303 - F-69674 Bron Cedex - Tél : +33 (0)4 72 14 30 30
Établissement public - Siret 130 018 310 00289 - IVA Intracommunautaire : FR 94 130018310 - www.cerema.fr

