



Commune de La Chapelle-Saint-Mesmin (45)
Inventaire des cavités souterraines
Rapport final

BRGM/RP-54921-FR
octobre 2006

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2006 RISF06

N. Zornette, I. Bacquet et J.P. Leprêtre

Vérificateur :

Nom : Carole Lembezat

Date :

Signature :

(Ou Original signé par)

Approbateur :

Nom : Jean-Pierre Leprêtre

Date :

Signature :

(Ou Original signé par)

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.



Mots clés :

Cavité souterraine, affaissement, effondrement, base de données, inventaire, Loiret, La Chapelle-Saint-Mesmin.

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

N. Zornette, I. Bacquet et J.P. Leprêtre (2006) - Commune de La Chapelle-Saint-Mesmin (45) - Inventaire des cavités souterraines. Rapport final. BRGM/RP-54921-FR. 47 pages, 10 illustr. et 8 annexes.

Synthèse

La commune de La Chapelle-Saint-Mesmin est confrontée à l'existence de nombreuses cavités souterraines anciennes datant des années 1840 et relatives à l'extraction de matériaux (calcaires) de construction ou d'amendement principalement. La connaissance de la localisation géographique de ces cavités et leurs implantations sur des documents d'urbanisme sont indispensables pour une gestion équilibrée du territoire et pour prévenir des risques encourus par les futurs aménageurs.

La mairie a souhaité confier au BRGM la mission d'inventorier ces cavités selon une méthodologie développée au niveau national dans le cadre de ses missions de service public et plus particulièrement dans le domaine des risques naturels.

Une convention de recherche et développement partagée entre la commune de La Chapelle-Saint-Mesmin et le BRGM précise les termes de la mission du BRGM.

Les sources d'informations consultées sont issues d'une part, d'un inventaire réalisé par le BRGM au niveau départemental et d'autre part, de l'analyse de documents datant des années 1840 fournis par les services techniques de la mairie. Des visites de terrain ont également permis de collecter des informations complémentaires. A l'issue de cet inventaire, 174 cavités souterraines ont été recensées.

Les données numériques ont été mises à disposition de la mairie sous forme de bases de données sous ACCESS, et sous forme de documents scannés, toutes les données sont référencées dans le système Lambert II étendu.

D'un point de vue aménagement et prévention des risques liés aux cavités souterraines, il est recommandé à la mairie de :

- informer et sensibiliser les administrés du risque lié à une cavité souterraine et de la nécessité d'« entretenir » et / ou effectuer des travaux de confortement ;
- continuer l'inventaire des cavités au jour le jour ;
- mettre en place une réglementation grâce aux nombreux outils réglementaires disponibles pour la prévention des risques naturels.

Sommaire

1. Introduction	9
2. Situation géographique – Contexte géologique	11
2.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE	11
2.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE	12
2.2.1. Grands traits géologiques du département	12
2.2.2. Contexte géologique de la commune de La Chapelle-Saint-Mesmin.....	13
3. Inventaire des cavités souterraines	17
3.1. TYPOLOGIE	17
3.2. EXPLOITATION DES DONNEES RECUEILLIES	17
3.2.1. Archives départementales	17
3.2.2. Cadastre napoléonien et cadastre actuel	18
3.2.3. Informations diverses recueillies en mairie.....	19
3.2.4. Carte géologique	19
3.2.5. Cavités déjà recensées dans la base BDCavités	20
3.2.6. Autres informations.....	20
3.2.7. Visites de terrain.....	21
3.3. FICHE DESCRIPTIVE BDCAVITES PAR CAVITE RECENSEE.....	22
3.3.1. Numéro d'identifiant.....	22
3.3.2. Informations stockées.....	23
3.3.3. Contours cartographiques des cavités	24
3.3.4. Scans des archives départementales.....	25
3.3.5. Photographies	25
4. Préconisations en terme d'aménagement	27
4.1. FACTEURS D'INSTABILITE D'UNE CAVITE SOUTERRAINE.....	27
4.1.1. Typologie des mouvements de terrain lié à des cavités souterraines	27
4.1.2. Facteurs de prédisposition et facteurs de déclenchement	28
4.2. GENERALITES EN MATIERE DE PREVENTION DES RISQUES.....	29
4.2.1. La loi n° 2003-699 du 30 juillet 2003	29
4.2.2. Le projet local de prévention des risques naturels	30

4.2.3. Le Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM).....	31
4.2.4. Le Document Communal Synthétique (DCS)	31
4.2.5. Le Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs (DICRIM).....	31
4.2.6. L'information de l'acquéreur et du locataire	32
4.2.7. Le Plan Local d'Urbanisme (PLU).....	32
4.2.8. Le Plan de Prévention des Risques (PPR)	33
4.3. PROPOSITIONS DE MESURES PREVENTIVES	33
4.3.1. Mesures concernant les sites où une cavité est connue : reconnaissance des vides et stabilisation du site.....	34
4.3.2. Mesures de prévention visant à réduire l'aléa lié aux cavités souterraines dans les zones à enjeux.....	40
4.3.3. Mesures destinées à améliorer la connaissance de l'existence de cavités souterraines	41
4.4. MESURES A ENVISAGER AU SEIN DE LA COMMUNE.....	42
4.4.1. Rappel : le maire face aux mouvements de terrain.....	42
4.4.2. Synthèse	43
5. Conclusion.....	45
Bibliographie	47

Liste des illustrations

Illustration 1 – Localisation de La Chapelle-Saint-Mesmin (carte IGN réalisée au 1/25000 ^{ème}).....	11
Illustration 2 – Log lithostratigraphique synthétique issue de la carte géologique du département du Loiret (BRGM et Conseil Général du Loiret - édition 2002).....	12
Illustration 3 – Carte géologique de La Chapelle-Saint-Mesmin et tracé de la coupe géologique (Extrait de la carte géologique harmonisée réalisée au 1/50 000 ^{ème} , BRGM)	13
Illustration 4 – Logs validés des sondages n° 03635X0293 et n° 03635X033	16
Illustration 5 – Coupe géologique suivant le profil AB	16
Illustration 6 – Cavités présentes dans la base de données au début de l'étude.....	20
Illustration 7 – Origine des informations concernant cet inventaire	22
Illustration 8 – Effondrement de cavité.....	28
Illustration 9 – Schématisation d'un effondrement.....	35
Illustration 10 – Exemple de mesures de protection contre les effondrements	39

Liste des annexes

Annexe 1 – Glossaire	
Annexe 2 – Exemple de déclaration d'exploitation	
Annexe 3 – Calendrier des visites de cavités	
Annexe 4 – Observations effectuées sur le terrain	
Annexe 5 – 3 courriers transmis à la mairie suite aux visites de cavités	
Annexe 6 – Tableau synthétique des cavités recensées	
Annexe 7 – Reproduction d'un article du site http://geos1777.free.fr/	
Annexe 8 – Base de données BDCavités	

1. Introduction

La commune de La Chapelle-Saint-Mesmin est confrontée à l'existence de nombreuses cavités souterraines anciennes datant des années 1840 et relatives à l'extraction de matériaux (calcaires) de construction ou d'amendement principalement. La connaissance de la localisation géographique de ces cavités et leurs implantations sur des documents d'urbanisme sont indispensables pour une gestion équilibrée du territoire et pour prévenir des risques encourus par les futurs aménageurs.

La mairie a souhaité confier au BRGM la mission d'inventorier ces cavités selon une méthodologie développée par le BRGM dans le cadre de ses missions de service public et plus particulièrement le domaine des risques naturels. Le recensement a été effectué à partir des sources documentaires anciennes, puis ces données ont été mises sous forme numérique selon la méthodologie du BRGM explicitée ultérieurement. Ces données, référencées géographiquement dans le système Lambert II étendu, seront ensuite intégrées par les services techniques de la mairie dans le système d'information géographique communal.

Les sources d'informations consultées sont issues d'une part d'un inventaire réalisé par le BRGM au niveau départemental et d'autre part de l'analyse de documents datant des années 1840 fournis par les services techniques de la mairie. Des visites de terrain ont également permis de collecter des informations complémentaires.

2. Situation géographique – Contexte géologique

2.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE

La Chapelle-Saint-Mesmin, commune du département du Loiret, est située à environ 5 km à l'Ouest d'Orléans. Elle est bordée par la Loire au Sud, sur plus de 5 km (Illustration 1). Sa superficie est de 887 hectares. Lors du dernier recensement, effectué en 1999, la population atteignait 9 144 habitants.

L'essentiel du territoire communal est situé en contexte de plateau, à une altitude allant de + 107 à + 115 m NGF. A l'approche de la Loire, la topographie est plus accidentée. Elle est marquée par la présence d'un coteau séparant le plateau au Nord, de la vallée alluviale de la Loire, au Sud. L'altitude y varie brusquement de + 107 m à + 92 m NGF.

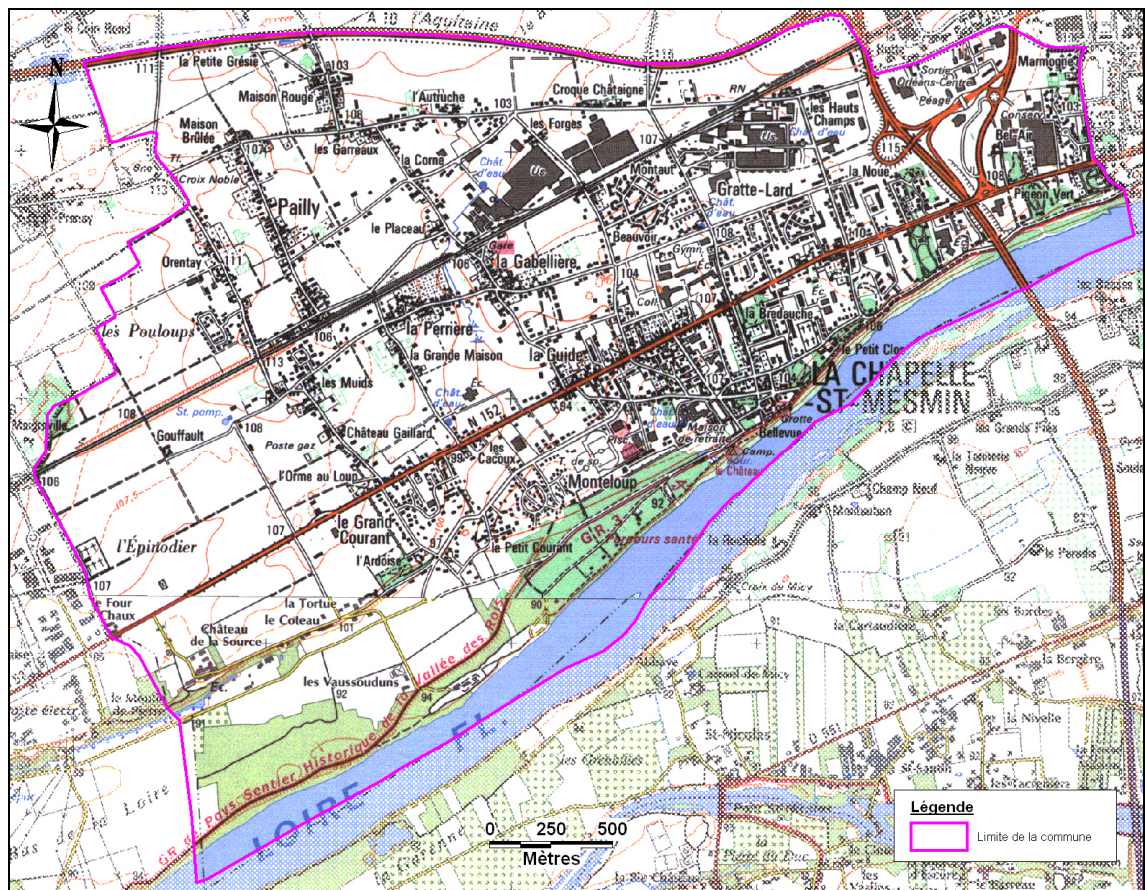


Illustration 1 – Localisation de La Chapelle-Saint-Mesmin (carte IGN réalisée au 1/25000^{ème})

2.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE

2.2.1. Grands traits géologiques du département

Le département du Loiret présente un substratum géologique qui se résume schématiquement à deux grandes unités principales :

- la première unité, la plus ancienne, correspond aux craies d'âge Crétacé supérieur (Cénomaniens-Turonien-Sénonien). Ces dépôts crayeux affleurent à l'Est du département et s'enfoncent progressivement vers l'Ouest, sous le bassin lacustre d'âge Tertiaire.
- la seconde unité concerne les calcaires lacustres tertiaires (calcaires de Beauce) qui recouvrent la Craie sur les trois-quarts du département notamment au Centre et à l'Ouest. Cette appellation générique « calcaires de Beauce » regroupe toute la série depuis les marnes et calcaires de l'Orléanais (Burdigalien), les calcaires de Pithiviers (Aquitanien) jusqu'aux calcaires d'Etampes (Oligocène : Stampien ou Rupélien). L'appellation « Calcaires de Beauce » est le plus souvent utilisée lorsqu'on ne sait pas à quelle formation précise attribuer le calcaire rencontré.

Le substratum du département est donc essentiellement carbonaté. Il est recouvert, dans sa majeure partie, par des formations sableuses, et surtout sablo-argileuses, aux épaisseurs variables et d'âges Tertiaire et Quaternaire (Illustration 2).

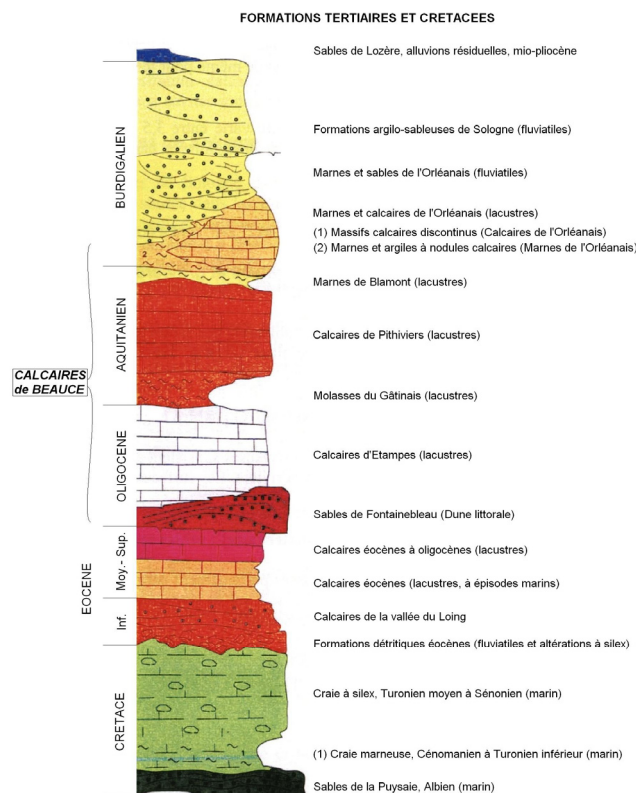


Illustration 2 – Log lithostratigraphique synthétique issue de la carte géologique du département du Loiret (BRGM et Conseil Général du Loiret - édition 2002)

2.2.2. Contexte géologique de la commune de La Chapelle-Saint-Mesmin

La commune de La Chapelle-Saint-Mesmin est située sur le bassin lacustre tertiaire, dans le domaine des calcaires de Beauce.

D'après les cartes géologiques au 1/50 000^{ème} d'Orléans (n°363, 1969, BRGM©) et de la Ferté-Saint-Aubin (n°398, 1970, BRGM©), la carte géologique harmonisée au 1/50 000^{ème} de la région Centre et les données BSS (Banque de données du Sous-Sol gérée par le BRGM et accessible au public), le sous-sol de la commune est constitué de cinq principales formations géologiques, dont quatre sont visibles à l'affleurement (Illustration 3).

L'ensemble des données du fond géologique de la commune est fourni à la mairie sous forme scanné et géoréférencé dans le système Lambert II étendu et au format MapInfo©.

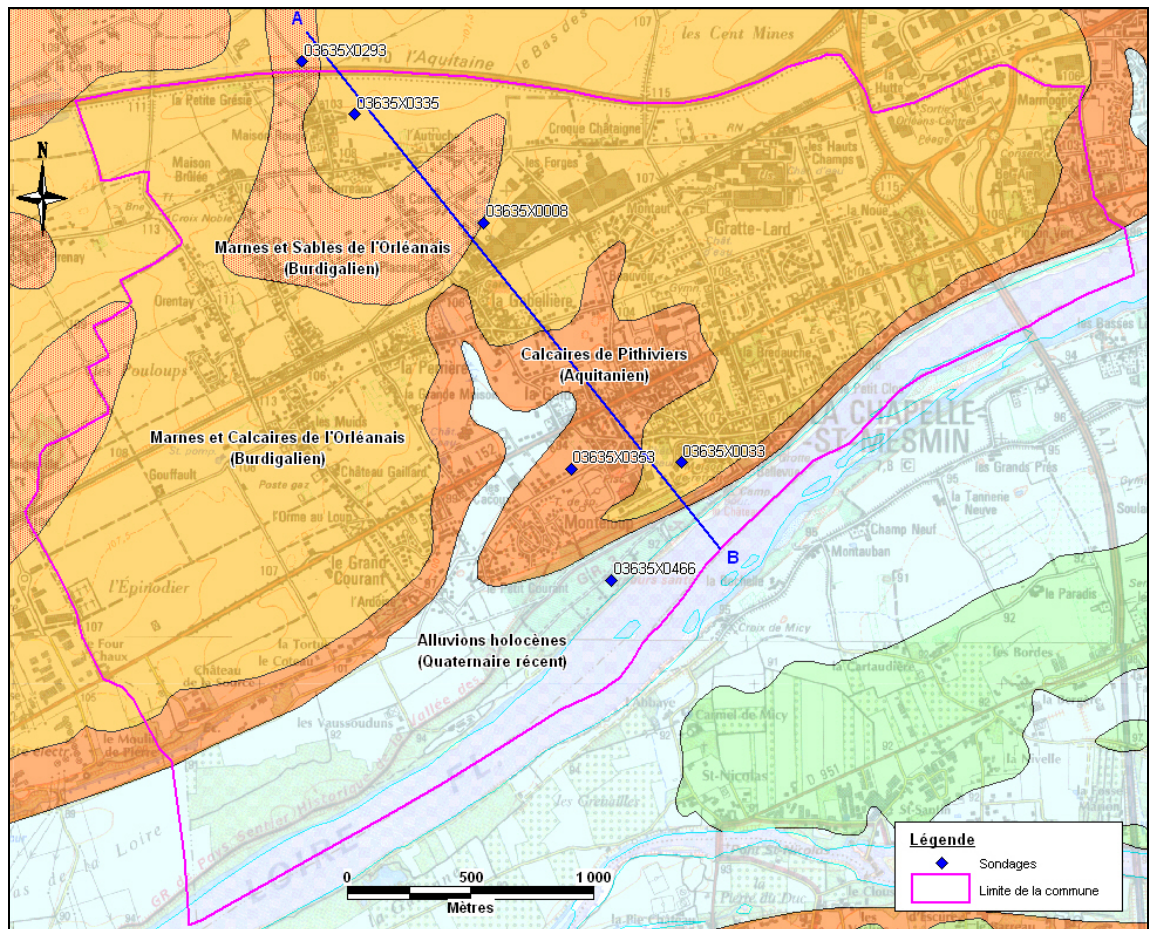


Illustration 3 – Carte géologique de La Chapelle-Saint-Mesmin et tracé de la coupe géologique (Extrait de la carte géologique harmonisée réalisée au 1/50 000^{ème}, BRGM)

a) **Description géologique des terrains**

De la base vers le sommet de la pile stratigraphique, nous trouvons :

– les Calcaires d'Etampes (Tertiaire : Stampien supérieur - Rupélien) :

Les Calcaires d'Etampes (également appelés Calcaires du Gâtinais) n'affleurent que sur la bordure est du bassin. Sur le territoire de la commune de La Chapelle-Saint-Mesmin ils se situent vers 20 mètres de profondeur ; leur épaisseur varie de 30 à 40 mètres.

Les parties moyenne et supérieure de la formation sont composées de calcaires durs ou tendres, grumeleux, brèchiques, pisolithiques, siliceux, à intercalations de meulières, de marnes et parfois d'argiles. La teneur moyenne en carbonate est voisine de 80%. La phase argileuse montre une association de smectites, d'illite et de kaolinite.

Les Calcaires d'Etampes peuvent être localement affectés par des phénomènes de dissolution karstique au même titre que les autres horizons carbonatés des calcaires de Beauce.

Les Calcaires d'Etampes font encore actuellement l'objet d'exploitation pour l'usage de granulats concassés. Les carrières souterraines sont assez rares dans cette formation, les exploitations étant menées à ciel ouvert.

– les Calcaires de Pithiviers et les Marnes de Blamont (Tertiaire : Aquitanien) :

Les Calcaires de Pithiviers constituent le premier horizon très largement calcaire affleurant d'Orléans à Pithiviers. Leur épaisseur est voisine 20 mètres en Orléanais. Cette masse calcaire est, dans le détail, très diversifiée. Les dépôts de type lacustre, palustre et pédogénétique, ont engendrés des calcaires fins homogènes à des calcaires travertineux vacuolaires. Des brèches sédimentaires sont attribuables à des phénomènes de dessiccations et de bioturbations. Le calcaire est irrégulièrement cristallisé, généralement fin, partiellement crayeux (friable) et souvent en partie silicifié (meulière). Des passées marneuses ou crayeuses s'observent de façon aléatoire.

Ce niveau a été fortement exploité dans l'Orléanais pour les matériaux de construction, au travers d'exploitations généralement souterraines. Par ailleurs, cet horizon est le siège de phénomènes karstiques plus ou moins importants.

Les Marnes de Blamont sont situées au toit du calcaire de Pithiviers. Elles n'affleurent plus dans l'Orléanais et la Sologne, du fait de l'érosion. Mais elles sont présentes sous les marnes et calcaires de l'Orléanais (Burdigalien).

Ces marnes correspondent à des marnes blanches, vertes et grises, parfois à nodules calcaires et des calcaires tendres. Les teneurs en calcite restent assez élevées (50 à 80%). Les minéraux argileux sont un mélange variable de kaolinite, illite et smectites.

– les Marnes et Calcaires de l'Orléanais (Tertiaire : Burdigalien) :

Un ensemble de marnes dominantes (Marnes de l'Orléanais) à concentrations très hétérogènes de calcaire en nodules ou en masses (Calcaires de l'Orléanais) d'extension hectométrique à kilométrique est présent généralement au-dessus des Marnes de Blamont et du calcaire de Pithiviers (Aquitaniens).

Les Calcaires de l'Orléanais faisaient autrefois l'objet d'intenses exploitations, tant en carrières souterraines qu'à ciel ouvert, il fournissait des moellons de bonne qualité. Il servait également à alimenter quelques fours à chaux. Ils ne sont, aujourd'hui, plus guère utilisés que pour l'empierrement.

Des phénomènes de karstification affectent cette formation, pouvant générer des désordres de surface (dolines, fontis).

– les Marnes et Sables de l'Orléanais (Tertiaire : Burdigalien) :

Cette formation affleure majoritairement dans l'Ouest de la Sologne, en Orléanais et sur la bordure nord de la forêt d'Orléans.

Les matériaux sont des sables quartzo-feldspathiques, des argiles et des marnes. Les carbonates sont souvent des nodules calcaires développés dans les argiles et des ciments imprégnant les sables.

Ces niveaux n'ont pas fait l'objet d'exploitation souterraine.

– les Alluvions holocènes de la plaine alluviale de la Loire (Quaternaire récent) :

La plaine alluviale correspond au premier replat morphologique au-dessus du lit de la Loire. Les alluvions du Val de Loire sont constitués de l'imbrication de cordons sableux et graveleux, de chenaux argilo-tourbeux et généralement d'un recouvrement limoneux. Ce sont des sables s'enrichissant souvent en éléments graveleux en profondeur.

Entre Orléans et Beaugency, l'épaisseur du matériau sablo-graveleux varie de 5 à 9 mètres. Ces alluvions sont exploitables en carrières à ciel ouvert, partiellement ennoyées par la nappe alluviale.

b) Coupe géologique

La succession des formations précédemment décrites peut être visualisée sur deux sondages, dont les « logs » ont été validés, présents le long du profil AB (Illustration 4).

Une coupe géologique (Illustration 5) a été tracée le long du profil AB (Illustration 3) à l'aide des ouvrages suivants, extraits de la « Banque des données du Sous-Sol » (BSS) : 0363-5X-0293, 0363-5X-0335, 0363-5X-0008, 0363-5X-0353, 0363-5X-0033, 0363-5X-0466.

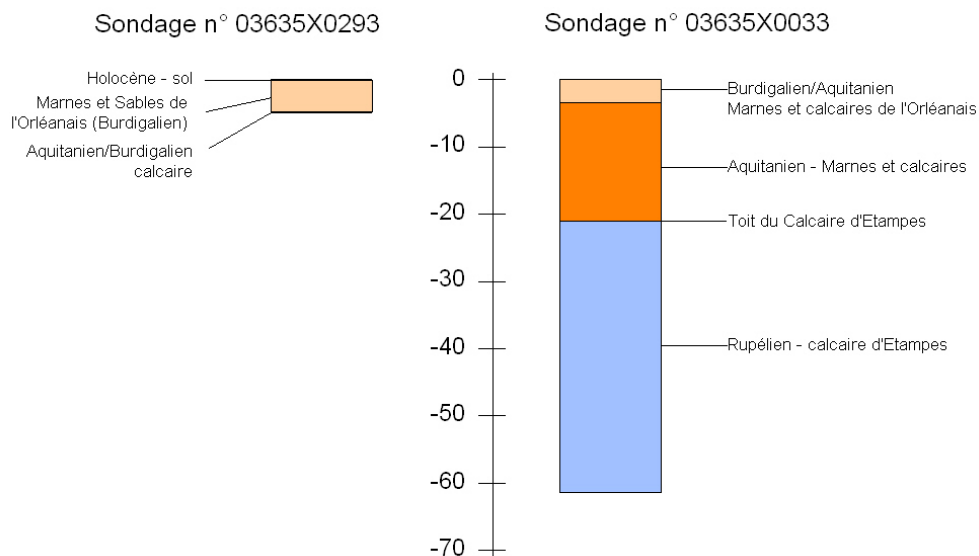


Illustration 4 – Logs validés des sondages n° 03635X0293 et n° 03635X0033

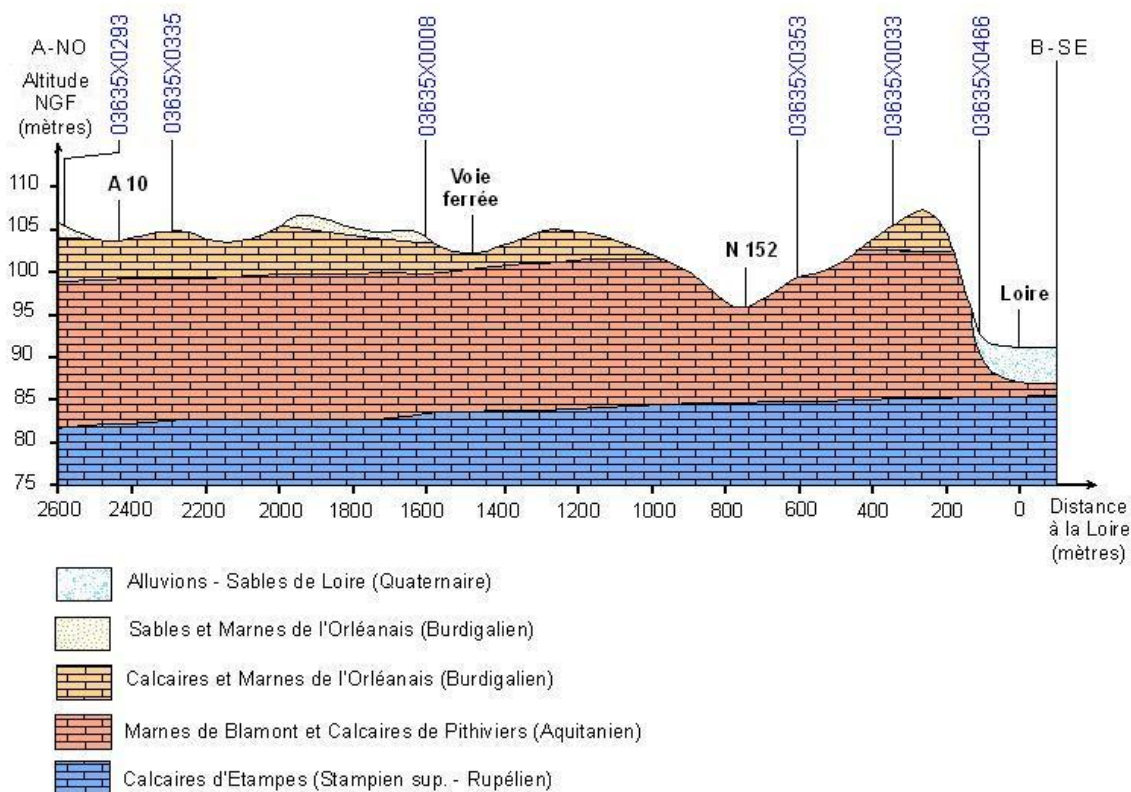


Illustration 5 – Coupe géologique suivant le profil AB

3. Inventaire des cavités souterraines

3.1. TYPOLOGIE

D'une façon générale, cinq grands types de cavités souterraines, concernées par cet inventaire communal, peuvent être distingués :

- les carrières souterraines de matériaux servant pour la construction (pierre de taille, four à chaux, silex) ou l'amendement des cultures ;
- les ouvrages civils abandonnés tels que les tunnels, les aqueducs, etc. ;
- les galeries et caves abandonnées ayant servies de stockage de substances diverses ;
- les habitations troglodytiques ou abris abandonnés ;
- les cavités naturelles (karsts calcaires, poches de dissolution, etc.).

Un glossaire des termes couramment employés dans la description des cavités souterraines est fourni en Annexe 1.

3.2. EXPLOITATION DES DONNEES RECUEILLIES

3.2.1. Archives départementales

Les services techniques de la mairie de La Chapelle-Saint-Mesmin nous ont transmis des documents en provenance des archives départementales de la préfecture du Loiret permettant ainsi de recueillir de nombreuses photocopies de documents relatifs à un total de 149 cavités.

Ces documents sont principalement :

- des déclarations ou autorisations d'ouverture/d'exploitation de carrières ;
- des déclarations d'abandon/de cessation d'exploitation de carrières ;
- des plans joints à ces déclarations.

Mais aussi :

- des lettres ;
- des contraventions ;
- des avis d'imposition sur les matériaux exploités.

Un exemple des documents les plus fréquemment rencontrés (déclaration d'exploitation et plan correspondant) est présenté en Annexe 2.

Les renseignements obtenus par ces différents documents sont, en général :

- le nom de l'exploitant de la carrière souterraine ;
- le nom du propriétaire du terrain ;
- la date de déclaration d'exploitation ;
- la date de déclaration de cessation d'exploitation ;
- la nature du matériau exploité ;

- l'utilisation du matériau extrait ;
- le lieu-dit où se situe l'exploitation ;
- la référence cadastrale napoléonienne du terrain concerné ;
- la profondeur du puits d'extraction ou la profondeur du toit de la cavité ;
- le contour de la cavité sur la parcelle ;
- la position du ou des puits d'extraction.

Après examen, certains de ces documents ont dû être écartés, en raison de leur imprécision, de leur localisation hors commune ou du fait qu'ils n'entraient pas dans le cadre de l'étude. Ces documents concernaient :

- 9 carrières à ciel ouvert (l'étude ne concerne que les cavités souterraines) ;
- 2 cavités souterraines présentes sur la commune de Chaingy, qui ont été stockées dans la base de données ;
- 4 cavités souterraines pour lesquelles nous savons que certaines sont sur le territoire de La Chapelle-Saint-Mesmin et d'autres sur celui de Chaingy, mais sans savoir lesquelles. Par défaut, une cavité a donc été créée au centroïde de chaque commune afin d'y faire référence.
- 15 cavités souterraines pour lesquelles nous savons que certaines sont sur le territoire de La Chapelle-Saint-Mesmin et d'autres sur celui de Saint-Jean-de-la-Ruelle, mais sans savoir lesquelles. Par défaut, une cavité a, là aussi, été créée au centroïde de chaque commune afin d'y faire référence.

A terme, il a donc été ainsi recensé 121 cavités souterraines (ayant fait l'objet de 121 fiches d'identification) localisées sur le territoire de la commune de La Chapelle-Saint-Mesmin ; il s'agit de 120 carrières souterraines et d'une cave.

3.2.2. Cadastre napoléonien et cadastre actuel

Dans les archives départementales, les références cadastrales des cavités souterraines correspondaient au cadastre napoléonien. Celui-ci a été fourni par la mairie sous format images scannées et géoréférencées dans le système Lambert II étendu.

La mairie a également fourni le cadastre actuel comprenant différentes « couches » d'informations géoréférencées. Celles qui ont été utilisées sont :

- le contour des parcelles par section ;
- les numéros des parcelles ;
- les contours des quartiers / lieux-dits ;
- le tracé de la voirie ;
- les noms des rues ;
- les numéros d'adresse ;
- l'emplacement du bâti.

A l'aide du système d'information géographique (SIG) MapInfo®, les deux cadastres ont été superposés, permettant ainsi d'établir la correspondance entre les parcelles napoléoniennes et les parcelles actuelles.

3.2.3. Informations diverses recueillies en mairie

Les services techniques de la mairie tiennent à jour un historique des événements liés à la présence de cavités. Les informations archivées relatives à ces événements sont des photos d'effondrements, de cavités, des comptes-rendus de travaux, des rapports de bureau d'études, des articles de journaux, des lettres de particuliers,...

A l'aide de ces documents, 7 cavités souterraines ont été ajoutées à la base de données « BDCavités ». Il s'agit :

- d'une cave (comblée actuellement) au n°63 bis rue de la Gabellière (numéro d'identifiant BDCavités CENAA0014473) ;
- d'une cavité naturelle (comblée actuellement) apparue lors d'un effondrement le 13 avril 2005 au niveau du n°23 bis rue de Pailly (numéro d'identifiant CENAA0014472) ;
- d'un désordre (de nature indéterminée) observé au n°17 rue de Pailly (numéro d'identifiant CENAA0014476) ;
- de formation de désordres de surface au n°19 rue des Chaffaults (numéro d'identifiant CENAA0014477) ;
- de la formation d'un puits au n°83 route d'Orléans (numéro d'identifiant CENAA0014478) ;
- d'un désordre de surface (de nature indéterminée) observé au n°9 route de Blois (numéro d'identifiant CENAA0014484) ;
- d'un désordre de surface observé le 20 sept. 2006 à l'occasion de travaux de voirie, rue du Petit Pailly (numéro d'identifiant CENAA0014508).

Ces documents faisaient également référence à la présence d'une cavité au n°41 rue d'Ingré. Celle-ci était déjà connue grâce aux archives départementales (numéro d'identifiant CENAA0014449). La fiche descriptive correspondante a donc été complétée.

Par ailleurs, lors de la réunion de lancement du projet en date du 11 mai 2006, M. Jacques Charuel (conseiller municipal) a fait mention d'une carte sur laquelle il avait localisé, de façon approximative, quelques cavités. Ce document nous a été fourni.

Il a été constaté que certains secteurs représentés par M. Charuel correspondaient bien à ceux où des cavités ont été observées grâce aux autres sources de données plus précises comme les archives départementales ou les visites de terrain. Il s'agit notamment du quartier des Montaux, du lieu-dit le Poirier-Baron, des environs du chemin de Fourneaux et de l'extrémité nord de la rue d'Orentay, la rue de la Perrière et la jonction entre la rue Gouffault et la rue du petit Muids. Les informations de cette carte ont ainsi confirmé les autres sources de données mais n'ont pas permis de compléter la base de données.

3.2.4. Carte géologique

Les cartes géologiques au 1/50 000^{ème} d'Orléans (n°363, 1969, BRGM©) et de la Ferté-Saint-Aubin (n°398, 1970, BRGM©) nous indique la présence de 10 dolines et d'une carrière situées sur le territoire de La Chapelle-Saint-Mesmin. Cette dernière

était déjà recensée dans la base de données BDCavités, ainsi que 8 des 10 dolines. Les 2 autres ont été ajoutées.

3.2.5. Cavités déjà recensées dans la base BDCavités

La base locale au sein du BRGM ou la base de données nationale « BDCavités », disponible en accès libre sur Internet (www.bdcavite.net), contenait déjà 16 cavités. Ces dernières sont toutes différentes de celles recensées lors de l'examen des archives départementales et des informations fournies par la mairie. Ces informations résultent principalement des résultats de l'inventaire départemental effectué par le BRGM en 2003 à partir d'archives papiers et de renseignements recueillies auprès des mairies.

Indice Cavité	Type	Nom	Date de validité	Statut	Origine
CENAA0012100	Carrière	Les Garreaux	26/11/1986	abandon	SFES
CENAA0006596	Carrière	Carrière 6595	03/07/2003	abandon	Carte géologique
CENAA0004857	Naturelle	Doline	03/07/2003		Carte géologique
CENAA0004869	Naturelle	Doline	03/07/2003		Carte géologique
CENAA0004870	Naturelle	Doline	03/07/2003		Carte géologique
CENAA0004871	Naturelle	Doline	03/07/2003		Carte géologique
CENAA0004872	Naturelle	Doline	03/07/2003		Carte géologique
CENAA0004873	Naturelle	Doline	03/07/2003		Carte géologique
CENAA0004874	Naturelle	Doline	03/07/2003		Carte géologique
CENAA0004875	Naturelle	Doline	03/07/2003		Carte géologique
CENAA0012098	Ouvrage civil	n°4 place de l'Eglise	05/08/1986	abandon	SFES
CENAA0012099	Ouvrage civil	Patronage	06/09/1986	abandon	SFES
CENAA0012209	Naturelle	Source de Bellevue	13/01/2004		
CENAA0012210	Naturelle	Source du petit Clos	13/01/2004		
CENAA0014747	Naturelle				IGN
CENAA0014748	Naturelle				IGN

Illustration 6 – Cavités présentes dans la base de données au début de l'étude

3.2.6. Autres informations

Le Groupe d'Histoire Locale de La Chapelle-Saint-Mesmin est une association ayant pour but la recherche et la conservation de tout document concernant l'histoire et la culture locale. Il fait paraître une brochure annuelle sur l'histoire de La Chapelle-Saint-Mesmin.

Dans le bulletin annuel n°3, un article avait pour objet les « Carrières et souterrains » de la commune. Il y était indiqué les quartiers qui avaient connu une exploitation des matériaux du sous-sol par carrières souterraines : Monteloup, les Montaux, les Dangeaux, l'Orme au loup, les Ecauts, l'Ardoise, les Garreaux, Gouffaux, Orentay et le clos de la Source. Lors de l'inventaire réalisé à l'aide des archives départementales, des cavités ont effectivement été recensées dans tous ces quartiers cités par le Groupe d'Histoire locale. De plus, l'article indiquait que 120 à 130 carrières avaient été exploitées dans la commune entre 1880 et 1914 environ. Ceci correspond bien en ordre de grandeur au nombre de cavités recensées grâce aux documents provenant des archives départementales et couvrant à peu près la même période. Ce document

vient donc confirmer nos résultats mais ne peut pas nous permettre d'obtenir des informations précises.

3.2.7. Visites de terrain

La mairie de La Chapelle-Saint-Mesmin a contacté des particuliers possédant des cavités, des caves et/ou des désordres de surface, dans leur propriété afin que des visites soient effectuées. Celles-ci se sont déroulées les 19 et 20 juillet 2006, puis les 13, 14 et 15 septembre 2006. L'Annexe 3 présente le calendrier des visites et l'Annexe 4 fournit le compte-rendu des observations effectuées lors de ces visites.

Les visites ont permis de dresser pour chaque cavité une ébauche de plan, de les décrire sommairement et de les illustrer en photographies (Annexe 4). D'une façon générale, les cavités comportent un unique niveau et se situent en moyenne à une profondeur d'environ 7 m¹ pour une hauteur de galeries d'environ 2 m. Ces cavités sous-cavent très souvent la maison principale. Elles sont creusées dans un calcaire très marno-argileux. Les puits ou soupiriaux, permettant initialement une aération, sont fréquemment obstrués. Il en résulte habituellement une humidité présente sur les parois et parfois une dégradation des matériaux non résistants (matrice argileuse) même si il n'a jamais été observé d'infiltration ponctuelle et concentrée.

Suites à ces visites, le BRGM a jugé que la stabilité de plusieurs cavités était préoccupante et présentait un risque pour les personnes et les biens exposés. Le BRGM a ainsi envoyé plusieurs courriers (Annexe 5) informant la mairie. D'une façon générale, les cavités, même si elles ne présentent pas de « danger jugé immédiat », doivent être entretenues et confortées ponctuellement. Parfois, certains propriétaires n'étaient pas descendus dans leur cavité depuis plus de 20 ans !

A partir de ces visites de cavités, des fiches d'identifications de cavités ont pu être complétées et d'autres créées.

Ainsi, une fiche a été complétée :

- CENAA0014449 suite à la visite de carrière au n°41 rue d'Ingré.

Et vingt-huit fiches d'identification ont été créées :

- CENAA0014479 pour la carrière souterraine située au 50bis rue Cahotus ;
- CENAA0014480 pour la dépression observée dans le jardin de la Mairie ;
- CENAA0014481 pour la carrière souterraine située au 64 rue de la Gabellière ;
- CENAA0014482 pour la carrière souterraine située au 5 rue du petit Château ;
- CENAA0014483 pour la carrière souterraine située au 40 rue de la Perrière ;
- CENAA0014485 pour la carrière souterraine située au 53 rue de la Gabellière ;
- CENAA0014486 pour la carrière souterraine située au 3 rue de la Tortue ;
- CENAA0014487 pour la carrière souterraine située au 8 rue de Pailly ;

¹ Pour accéder aux cavités, on descend généralement un escalier comptant 30-35 marches, dont chacune mesure 20 cm environ.

- CENAA0014488 pour la carrière souterraine située au 54 rue Cahotus ;
- CENAA0014489 pour la carrière souterraine située au 42bis rue des Auvernaiss ;
- CENAA0014490 et CENAA0014491 pour les carrières souterraines situées au 54 rue de la Perrière ;
- CENAA0014492 pour la carrière souterraine située au 2 impasse des Muids ;
- CENAA0014493 pour la carrière souterraine située rue de la Grésie ;
- CENAA0014494 pour la cave du Conseil Général située rue des Hauts ;
- CENAA0014495 pour la carrière souterraine située au 6 rue de Bellevue ;
- CENAA0014496 pour la carrière souterraine située au 33 rue des Auvernaiss ;
- CENAA0014497 pour la carrière souterraine située au 13 rue des Hauts Champs ;
- CENAA0014498 pour la carrière souterraine située au 35 rue des Muids ;
- CENAA0014499 pour la carrière souterraine située au 24 rue de la Perrière ;
- CENAA0014500 pour la carrière souterraine située au 3 rue de Bellevue ;
- CENAA0014501 pour la carrière souterraine située au 5 rue des Muids ;
- CENAA0014502 et CENAA0014503 pour les carrières souterraines situées au 1 rue d'Orentay ;
- CENAA0014504 pour la carrière souterraine située au 1 rue du Petit Courant ;
- CENAA0014505 pour la carrière souterraine (« Grotte du Dragon ») située sous l'église ;
- CENAA0014506 et CENAA0014507 pour les carrières souterraines situées rue de la Source, près du centre d'apprentissage du Ministère de la Justice.

3.3. FICHE DESCRIPTIVE BDCAVITES PAR CAVITE RECENSEE

L'ensemble des cavités recensées, un total de 174, est stocké dans la base de données BDCavités. Le tableau suivant donne l'origine des informations concernant cet inventaire :

Origine	Archives départementales	Site Internet BDCavités	Informations Mairie	Carte géologique	Visites de cavités
Nombre de cavités	121	16	7	2	28

Illustration 7 – Origine des informations concernant cet inventaire

Un tableau de synthèse de cet inventaire se trouve en Annexe 666.

3.3.1. Numéro d'identifiant

Pour chaque cavité recensée, un numéro d'identifiant « cavité » unique a été attribué par la base nationale des cavités souterraines gérée par le BRGM.

Pour la plupart d'entre elles, un numéro d'identifiant « site » a également été attribué. Un site peut regrouper plusieurs cavités, mais dans le cas présent, chaque numéro de site créé n'a été associé qu'à une seule cavité.

3.3.2. Informations stockées

La description globale de la base de données BDCavités est présentée en Annexe 8.

a) *Fiche descriptive « Cavité »*

Une fois le numéro d'identifiant « cavité » attribué, différents onglets ont été remplis. Les différentes informations qui ont été stockées sont présentées ci-dessous.

- **Onglet « Cavité » :**

- Nom du département et de la commune ;
- Nom de la cavité ;
- Genre : carrière, cavité naturelle, cave,... ;
- Nature : chambre et piliers, galeries filantes,... ;
- Repérage de la cavité : par le centre de la cavité, la position du puits,...
- Précision du positionnement : approchée, imprécise, au centre de la commune, au centre de la rue,...
- Auteur de la description ;
- Date de validité : date des informations ayant permis d'établir la fiche descriptive ;
- Description géographique : zone Lambert, coordonnées XY dans le système choisi ;
- Précision des coordonnées : la valeur indiquée est exprimée en mètres.

Lorsque toutes ces informations sont indiquées, il est nécessaire de valider l'onglet pour poursuivre la description de la cavité. Un numéro d'identifiant « site » est alors automatiquement créé si la nature de la cavité est compatible (carrière, cave,...). Pour les cavités naturelles, il n'a pas été créé de numéro d'identifiant « site ».

- **Onglet « Description » :**

- Nature et utilisation du matériau exploité ;
- Classe de surface de la cavité ;
- Profondeur minimale et maximale du toit de la cavité ;
- Origine de la connaissance de l'ouvrage : archives départementales, mairie,... ;
- Nombre d'accès à la cavité.

- **Onglet « Accès à la surface » :**

- Type d'accès : puits, escalier,... ;
- « Praticabilité » : impossible, libre, réglementée,... ;
- Localisation de l'accès : adresse, coordonnées XY.

- **Onglet « Sources d'informations » :**

- Nature de l'information : déclaration d'exploitation, plan,...
- Lieu d'archivage de cette information.

- **Onglet « Références cadastrales » :**

- Date de la référence ;
- Section et numéro de la ou des parcelles ;
- Emprise : pourcentage de la parcelle occupée par la cavité.

b) **Fiche descriptive « Site »**

Le numéro d'identifiant « site » est créé automatiquement lors de la création de la fiche descriptive de la cavité. Une fiche descriptive du site peut alors être renseignée. Les éléments qui y ont été indiqués sont présentés ci-après.

- **Onglet « Site » :**

- Reprise automatique des informations de l'onglet « Cavité » de la fiche descriptive « Cavité » ;
- Date de début et de fin d'exploitation.

- **Onglet « Sources d'information » :**

- nature de la source d'informations (archives départementales, communales,...)

- **Onglet « Description » :**

- Nature du matériau exploité ;
- Contexte morphologique du site : plateau, coteau,... ;
- Classe de surface du site ;
- Usage troglodyte ou non ;
- Nombre d'ouvrages associés au site : pour cet inventaire un site n'est associé qu'à un seul ouvrage ;
- Nombre d'accès au site ;
- Surveillance ou suivie du site ;
- Commentaires libres.

- **Onglet « Repérage géographique » :**

Si la localisation du site est ponctuelle, les coordonnées XY de ce point ont été indiquées dans cet onglet.

Si le contour du site a été localisé, celui-ci a été importé depuis un fichier MapInfo (format .mif). Les coordonnées XY de l'ensemble des points formant ce contour ont alors été automatiquement transférées dans cet onglet lors de l'import.

- **Onglet « Département » :**

- nom de la commune concernée.

- **Onglet « Carte au 1/50 000 » :**

- la ou les cartes géologiques sur laquelle se situe la cavité : il s'agit principalement de la carte géologique n° 363 d'Orléans sauf pour quelques cavités situées au sud-ouest de la commune où il s'agit de la carte n° 398 de La Ferté-Saint-Aubin.

3.3.3. **Contours cartographiques des cavités**

Pour la plupart des cavités (139 sur 174), un contour de la cavité ou une approche de son emprise a pu être déterminé. Ainsi il s'agit soit du contour de la cavité obtenu d'après des plans en archives ou des visites de terrain, soit de la périphérie de la parcelle (cadastre napoléonien) concernée par une déclaration d'exploitation. En effet, les parcelles du cadastre napoléonien constituent une approche intéressante du contour réel d'une cavité compte tenu généralement de leur petite taille (par rapport

aux parcelles du cadastre actuel). Il a donc été jugé que ce pourtour de parcelle fournissait a priori une bonne indication de la localisation et de l'extension présumées de la cavité sur les parcelles actuelles.

Une table MapInfo (fichier au format .tab) a été créée pour chaque cavité avec contour. Chaque fichier a été nommé par le numéro d'identifiant de la cavité (ex : CENAA0014503.TAB). Ces fichiers comprennent également un certain nombre d'informations : les numéros d'identifiant de la cavité et du site, le nom de l'exploitant et du propriétaire de la cavité ainsi que les références cadastrales napoléoniennes et actuelles. Chacun de ces fichiers a été transformé au format .mif afin de pouvoir importer les contours dans la base de données.

Enfin, l'ensemble de ces contours a été regroupé dans un fichier MapInfo .tab pour avoir une vue générale de la localisation des cavités souterraines. Ce fichier² a été nommé « Ensemble.tab ». Ce fichier comprend également les cavités sans contour mais dont les coordonnées sont connues. Il comprend 168 cavités. Finalement seules 6 cavités ne sont pas incluses dans ce fichier car positionnées au centroïde de la commune faute d'information suffisante sur leur localisation

3.3.4. Scans des archives départementales

Les 284 photocopies des documents provenant des archives départementales ont été scannées (format .jpg). Chaque fichier a été nommé par le numéro d'identifiant de la cavité auquel le document scanné fait référence. Si plusieurs scans concernaient la même cavité, un indice (-a, -b,...) a été ajouté à la suite du numéro. Si un scan faisait référence à plusieurs cavités, le fichier a été dupliqué et nommé par les différents numéros de cavités concernées.

3.3.5. Photographies

Les photographies des cavités réalisées au cours des différentes visites sont fournies au format .jpg. Ces fichiers ont été nommés par le numéro d'identification de la cavité, de la date de visite et suivi d'un indice (-a, -b,...) :

Ex : CENAA0014482-20-07-06-a.jpg

² Ce fichier a également été converti au format .dxf grâce à l'outil Traducteur Universel du logiciel MapInfo.

4. Préconisations en terme d'aménagement

4.1. FACTEURS D'INSTABILITE D'UNE CAVITE SOUTERRAINE

4.1.1. Typologie des mouvements de terrain lié à des cavités souterraines

La typologie ci-dessous des mouvements de terrain lié aux cavités souterraines se base en grande partie sur les définitions établies dans le guide méthodologique (cf. Bibliographie) « Plans de Prévention des Risques Naturels – Risques de mouvements de terrain » réalisé par le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement et le Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement. Trois types de phénomènes, liés à l'existence d'une cavité souterraine, ont ainsi été différenciés :

- les phénomènes de surface : effondrement et affaissement ;
- un phénomène souterrain : chute de toit dans une cavité souterraine.

Ces phénomènes correspondent à un même mécanisme, à savoir la rupture du toit d'une cavité souterraine, mais dont l'impact en surface est différent. On peut les différencier de la façon suivante :

- **Les effondrements**

Ils résultent de la rupture du toit d'une cavité souterraine avec propagation jusqu'en surface (Illustration 8). Cela se traduit donc par l'ouverture d'une excavation.

Suivant les dimensions du phénomène, on peut distinguer plusieurs classes d'intensité :

- intensité très faible : débouillage d'un puits à eau ou d'un puits d'accès ;
- intensité faible : effondrement localisé d'une cave, d'une petite carrière ;
- intensité moyenne à forte : effondrement généralisé d'un secteur de grande carrière, d'une grande salle.

- **Les affaissements**

Ils résultent également de la rupture du toit d'une cavité souterraine, mais sans propagation brutale jusqu'en surface. Ils se traduisent au niveau du sol par un abaissement localisé et progressif de la topographie, et non par une excavation avec une surface de rupture nette. La cavité à l'origine du phénomène est dans la plupart des cas hypothétique. Une des raisons qui explique que la rupture du toit d'une cavité donne en surface un affaissement plutôt qu'un effondrement est que le foisonnement des terrains sus-jacents a comblé le vide et la rupture ne s'est donc pas propagée jusqu'à la surface : c'est notamment le cas pour les cavités de petites dimensions ou situées à grande profondeur.

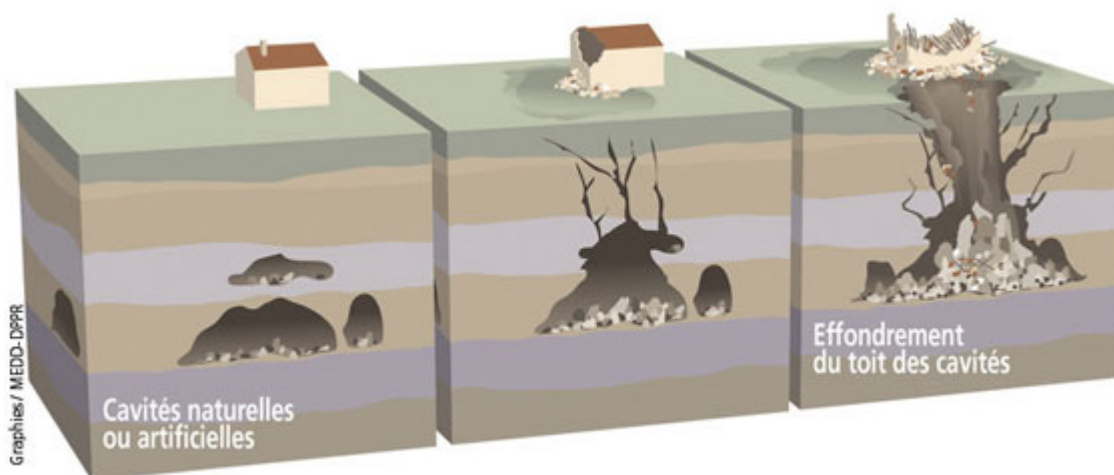


Illustration 8 – Effondrement de cavité

- **Les chutes de toit**

Ce phénomène qui se produit à l'intérieur d'une cavité n'est en général pas considéré comme un mouvement de terrain stricto sensu car n'affectant pas la surface du sol.

La chute de toit correspond le plus souvent à la rupture du ou des premiers niveaux de terrain au toit d'une cavité souterraine, mais sans propagation jusqu'en surface. Ils peuvent avoir comme conséquence un affaissement en surface, mais ce n'est pas obligatoire.

4.1.2. Facteurs de prédisposition et facteurs de déclenchement

Une analyse de la répartition spatiale et/ou de la répartition temporelle des phénomènes permet en général de caractériser les mouvements de terrain, leur contexte et les différents facteurs qui en sont à l'origine. Elle permet également de décrire les mécanismes de déstabilisation des cavités souterraines à l'origine de la plupart des mouvements de terrain.

- **Facteurs de prédisposition : analyse de la répartition spatiale**

1. La présence de nombreuses cavités souterraines constitue le premier facteur de prédisposition. Bien que la localisation des cavités soit a priori bien connue pour celles recensées, l'inventaire n'est pas exhaustif. De plus, les origines de ces cavités sont diverses (carrière, cave, abris de guerre, karst...).
2. La nature géologique du sous-sol : les différents niveaux de calcaires ont fait l'objet d'exploitation ou sont le siège de dissolution karstique. L'épaisseur de recouvrement des cavités peut parfois être faible, et leur toit est dans ce cas en général situé dans un niveau superficiel plus altéré et/ou fissuré, ce qui est un facteur d'instabilité.

- **Facteurs de déclenchement : analyse de la répartition temporelle**

1. Le facteur prépondérant dans le déclenchement de mouvements de terrain liés aux cavités souterraines est l'infiltration excessive et ponctuelle d'eaux météoriques (période pluviométrique excédentaire, série d'orages violents). L'eau est en effet au cœur des différents mécanismes de ruptures dans les cavités souterraines.
2. La remontée du niveau de nappe au sein de cavités anthropiques ou bien un écoulement accru au sein du réseau karstique peuvent localement être un facteur de déclenchement.

4.2. GENERALITES EN MATIERE DE PREVENTION DES RISQUES

D'une manière générale, la présence de cavités naturelles ou anthropiques dans le sous-sol est associée à un aléa, qui en fonction des enjeux de surface, constitue un risque non négligeable pour les personnes et les biens.

La carte de répartition des cavités souterraines permet de faire une hiérarchisation préliminaire des secteurs pour lesquels il conviendrait d'envisager des mesures de prévention au travers des documents d'urbanisme ou d'information.

À ce titre, plusieurs types de documents officiels servent directement ou indirectement à la prévention des risques naturels. Certains d'entre eux ont uniquement un but d'information, tandis que d'autres ont un impact direct sur l'aménagement du territoire.

On citera différents documents officiels et texte de loi essentiels pour la prévention des risques :

4.2.1. La loi n° 2003-699 du 30 juillet 2003³

I - Les communes ou leurs groupements compétents en matière de documents d'urbanisme élaborent, en tant que besoin, des cartes délimitant les sites où sont situées des cavités souterraines et des marnières susceptibles de provoquer l'effondrement du sol.

II - Toute personne qui a connaissance de l'existence d'une cavité souterraine ou d'une marnière dont l'effondrement est susceptible de porter atteinte aux personnes ou aux biens, ou d'un indice susceptible de révéler cette existence, en informe le maire, qui communique, sans délai, au représentant de l'Etat dans le département et au président du conseil général les éléments dont il dispose à ce sujet.

³ Loi relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages – titre II – article 42 : Article L 563-6 du code de l'environnement.

La diffusion d'informations manifestement erronées, mensongères ou résultantes d'une intention dolosive relatives à l'existence d'une cavité souterraine ou d'une marnière est punie d'une amende de 30 000 €.

III - Le représentant de l'Etat dans le département publie et met à jour, selon les modalités fixées par décret en Conseil d'Etat, la liste des communes pour lesquelles il a été informé par le maire de l'existence d'une cavité souterraine ou d'une marnière et de celles où il existe une présomption réelle de l'existence d'une telle cavité.

On notera que ce texte de loi avait déjà au préalable été présenté dans la loi « Démocratie de proximité » du 27 février 2002.

4.2.2. Le projet local de prévention des risques naturels

Le projet local de prévention des risques naturels constitue une démarche globale de prise en compte des risques naturels par les collectivités locales au regard des enjeux de leur développement futur.

Cinq étapes jalonnent l'élaboration d'un projet local de prévention des risques naturels :

- le diagnostic sur le risque encouru : connaître et comprendre les situations à risque du territoire concerné,
- l'évaluation de la vulnérabilité des populations et des biens : évaluer les dommages potentiels au niveau humain, économique, social et environnemental,
- l'identification d'une stratégie de développement territorial : poser les bases du développement durable du territoire sous contraintes risque et au-delà faire de la prévention un facteur d'innovation territoriale,
- l'établissement du projet local :
 1. Informer et sensibiliser les habitants et les acteurs locaux : diffuser et promouvoir la culture et la mémoire du risque auprès de la population et des acteurs locaux ;
 2. Intégrer les contraintes dans les documents d'urbanisme : traduire les contraintes liées aux risques en mesures d'aménagement et d'urbanisme ;
 3. Définir les conditions d'aménagement en secteur à risque moyen ou faible : permettre le développement local sur les zones à risque en limitant la vulnérabilité des personnes et des biens ;
 4. Valoriser les zones à risque : redéfinir les fonctions des zones rendues inconstructibles en s'appuyant sur leurs atouts ;
 5. Réaliser les travaux de réduction de la vulnérabilité : Réduire la vulnérabilité des personnes et des biens ;
 6. Définir les conditions de gestion de crise et assurer une surveillance active : Mettre en place des mesures opérationnelles de gestion de crise.
- la mise en oeuvre du projet : assurer le suivi et l'efficacité du projet

4.2.3. Le Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM)

Il s'agit d'un document de sensibilisation, illustré par des cartes d'aléas (atlas des risques) et fixant les priorités communales. Il regroupe les principales informations sur les risques majeurs naturels et technologiques du département.

Il peut comprendre :

- un rapport de présentation justifiant les mesures envisagées ;
- une carte par bassin de risque et type de risque ;
- l'historique des évènements antérieurs principaux ;
- la réglementation relative aux risques (périmètre de risque, plans d'urgence) ;
- les mesures collectives prises (aménagement, surveillance, alerte, plans de secours..) ;
- les mesures individuelles à connaître.

4.2.4. Le Document Communal Synthétique (DCS)

Ce document spécifique à la commune a exclusivement une vocation d'information et de sensibilisation des populations. Il constitue un document de base du droit à l'information fixé par la loi. Il présente les risques naturels et technologiques encourus par les habitants de la commune.

Généralement, à partir du DDRM, sont extraits les éléments relatifs à la commune (information, cartes), avec éventuellement des ajouts (particularisme de la commune).

Les DCS, élaborés par les services de l'Etat, sont notifiés au maire par arrêté préfectoral. Dans la pratique, une fois le DDRM établi, les DCS sont généralement dressés assez rapidement pour les communes exposées du département.

4.2.5. Le Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs (DICRIM)

Il correspond au DCS, enrichi de mesures de prévention ou de protection qui auraient été prises par la commune, complété par des informations nécessaires à la mise en œuvre de l'information préventive dans la commune ou des fiches ou plaquettes d'information destinées aux citoyens.

Les DICRIM sont établis par les maires.

Il s'agit alors, en plus de sensibiliser les citoyens, d'établir un catalogue de recommandations de base permettant de limiter les risques en matière de désordres afférents aux cavités souterraines (périmètres de sécurité autour des cavités connues, protection des accès, entretien de la signalisation préventive, maîtrise des rejets d'eau, inspections régulières, rappel des techniques de recherches de cavités..).

Dans la pratique, dans la mesure où les DICRIM sont directement élaborés par les mairies, relativement peu de municipalités en ont rédigé. Cet outil est généralement

réservé aux municipalités importantes possédant des moyens importants ou à des municipalités particulièrement exposées aux risques naturels ou technologiques.

4.2.6. L'information de l'acquéreur et du locataire

La loi du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages a créé dans son article 77, codifié à l'article L 125-5 du code de l'environnement, une obligation d'information de l'acheteur ou du locataire de tout bien immobilier (bâti et non bâti) situé en zone de sismicité et/ou dans un plan de prévention des risques prescrit ou approuvé. A cet effet sont établis directement par le vendeur ou le bailleur :

- un état des risques naturels et technologiques pris en compte par ces servitudes, à partir des informations mises à disposition par le préfet de département ;
- une déclaration sur papier libre des sinistres ayant fait l'objet d'une indemnisation consécutive à une catastrophe reconnue comme telle.

Le préfet arrête la liste des communes dans lesquelles cette obligation s'applique ainsi que, pour chaque commune concernée, la liste des risques (pris en compte par le plan de prévention des risques excepté le risque minier et le risque sismique) et des documents à prendre en compte. Conformément à l'article R125-24 du code de l'environnement, les documents de référence peuvent être :

- les documents graphiques et la note de présentation du PPR approuvé ;
- les documents d'information tenus à la disposition du public qui permettent une délimitation et une qualification des phénomènes ;
- la carte régionale du découpage cantonal du zonage sismique (annexe prévue à l'article 4 du décret n°91-461 du 14 mai 1991 ;
- le(s) arrêté(s) de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle ou technologique.

Conformément à l'article R125-24 du code de l'environnement, le maire concerné par cette obligation doit organiser dans sa mairie la consultation des documents de référence et du dossier transmis par le préfet avec l'arrêté préfectoral. Conformément à l'article R125-25 du code de l'environnement, les arrêtés sont affichés en mairie.

4.2.7. Le Plan Local d'Urbanisme (PLU)

Ce document, entré en vigueur en avril 2001, se substitue progressivement au Plan d'Occupation des Sols (POS). Il exprime le projet d'aménagement et de développement durable de la commune. Il fixe les affectations du sol au regard des prévisions économiques et démographiques et des besoins répertoriés en matière de développement économique, d'aménagement de l'espace, d'environnement, d'équilibre social de l'habitat, de transport, d'équipements et de services.

La prévention des risques naturels prévisibles reste un des objectifs des documents d'urbanisme au terme de l'article L.121-1 du code d'urbanisme. À ce titre, les PPR, qui valent servitudes d'utilité publique, doivent être annexés aux POS, révisés en PLU, en vertu de l'article L. 562-4 du Code de l'Environnement. De même, les POS, révisés en

PLU, doivent permettre de déterminer les conditions dans lesquelles les risques naturels peuvent être prévenus, conformément à l'article L.121-10.

4.2.8. Le Plan de Prévention des Risques (PPR)

Ce type de document, introduit par la loi n° 95-101 du 2 février 1995, permet de prévenir les risques naturels en s'appuyant sur une politique précise d'aménagement du territoire. Il a une portée réglementaire. En effet, à partir d'une évaluation détaillée de l'aléa (à l'échelle 1/10 000 ou 1/5 000), il conduit à établir un zonage réglementaire sur chaque commune concernée. Chaque zone est associée à un règlement qui prescrit les mesures de prévention retenues. Celles-ci vont d'un simple rappel des règles de l'art en matière de construction dans les zones blanches, à une interdiction de construire la plupart des édifices neufs en zone rouge, en passant par des obligations en terme de dispositions constructives en zone bleu (reconnaitances géotechniques obligatoires, fondations sur radier, interdiction de piscines ou de bassins, etc. ...).

Le PPR se décline en trois parties :

- la note de présentation ;
- le zonage graphique ;
- le règlement.

Les PPR sont prescrits par arrêté sur l'initiative du préfet. Ils sont instruits par l'Etat et soumis à enquête publique. Après avis des communes concernées, les PPR sont approuvés par arrêté préfectoral et obligatoirement annexés au PLU.

On notera que le passage du DDRM aux PPR peut se faire via des études d'aléa plus précises sur les bassins de risques permettant d'affiner d'une part les contours des zones exposées et d'autre part la quantification de l'aléa en procédant à des visites systématiques des cavités visitables ce qui permettra d'apprécier la tenue des souterrains. Une fois cette étape intermédiaire achevée, l'Etat pourra plus précisément choisir ses priorités en terme de lancement de PPR et soulager d'autant le travail d'évaluation de l'aléa au 1/10 000.

4.3. PROPOSITIONS DE MESURES PREVENTIVES

Il faut rappeler que, dans bon nombre de cas, l'existence de la cavité responsable d'un mouvement de terrain n'est pas connue au préalable, et que, même après la survenance d'un phénomène, le positionnement, l'extension et l'origine de la cavité demeurent souvent inconnus ou du moins mal connus. Cela explique que les principaux enjeux de la politique de prévention des risques passent par le recensement et l'expertise des cavités souterraines.

Les mesures proposées dans le présent rapport ont été réparties en trois familles :

- les mesures spécifiques concernant les sites où un mouvement s'est déjà produit (c'est-à-dire où une cavité est connue), principalement pour les zones à fort enjeu ;
- les mesures visant à réduire l'aléa dans les zones à fort enjeu ;

- et enfin les mesures, plus générales, destinées à accroître la connaissance de l'existence des cavités souterraines.

4.3.1. Mesures concernant les sites où une cavité est connue : reconnaissance des vides et stabilisation du site

Ces mesures concernent principalement les zones à enjeux, c'est-à-dire les zones urbanisées et les tracés des voies de communication importantes. En effet, les effondrements dans les champs peuvent être comblés avec la terre disponible et, excepté à proximité de zones à enjeux, le coût d'investigations supplémentaires destinées à déterminer l'extension des vides rend ces méthodes difficiles à justifier au regard de l'enjeu.

a) Mesures immédiates

En cas d'effondrement de terrain, la première mesure à prendre est de mettre en place un périmètre de sécurité (barrières, rubalise...) pour éviter qu'une personne ne tombe dans l'excavation. Ensuite, suivant la gravité de l'événement et les enjeux menacés, il sera ou non fait appel à un spécialiste qui détaillera aux autorités compétentes (mairie, préfecture) les mesures de sécurité adéquates.

Le comblement immédiat du fontis est à proscrire sans l'accord d'un spécialiste, car il peut permettre d'accéder à la cavité sans ou moyennant peu de travaux de déblaiement. Si, en particulier pour des raisons de délais d'intervention, le comblement s'impose, il doit être parfaitement repérable pour les reconnaissances ultérieures, recouvert d'une bâche étanche et mis à l'abri des écoulements superficiels.

b) Reconnaissance indispensable de la cavité

L'effondrement se produit au point de plus grande faiblesse de l'ouvrage souterrain, mais ne concerne pas forcément la cavité dans son ensemble. La plupart du temps, le foisonnement des terrains effondrés dans la cavité ne va combler que partiellement cette dernière et des vides résiduels pourront subsister. Or ceux-ci ne sont en général pas accessibles depuis la surface : la cavité souterraine initiale est souvent masquée par les terrains effondrés (Illustration 9).

Pour les affaissements, l'existence de vides résiduels est encore plus probable, car ces phénomènes peuvent être dus à des chutes de toit dans des cavités sous-jacentes, qui peuvent évoluer en effondrement de l'ensemble des terrains de couverture.

Ces considérations conduisent à la conclusion qu'**un simple comblement de l'excavation de surface n'est pas un gage de stabilité. Il est donc indispensable de procéder à une reconnaissance de la cavité à l'origine de l'effondrement, dès qu'un bâtiment se trouve au droit ou à proximité de celui-ci.** L'objectif de cette reconnaissance est de déterminer l'extension des vides résiduels, ce qui nécessite l'aménagement d'un accès à la cavité pour l'expertiser. Les méthodes utilisées pour cette reconnaissance dépendent des moyens disponibles et des enjeux exposés.

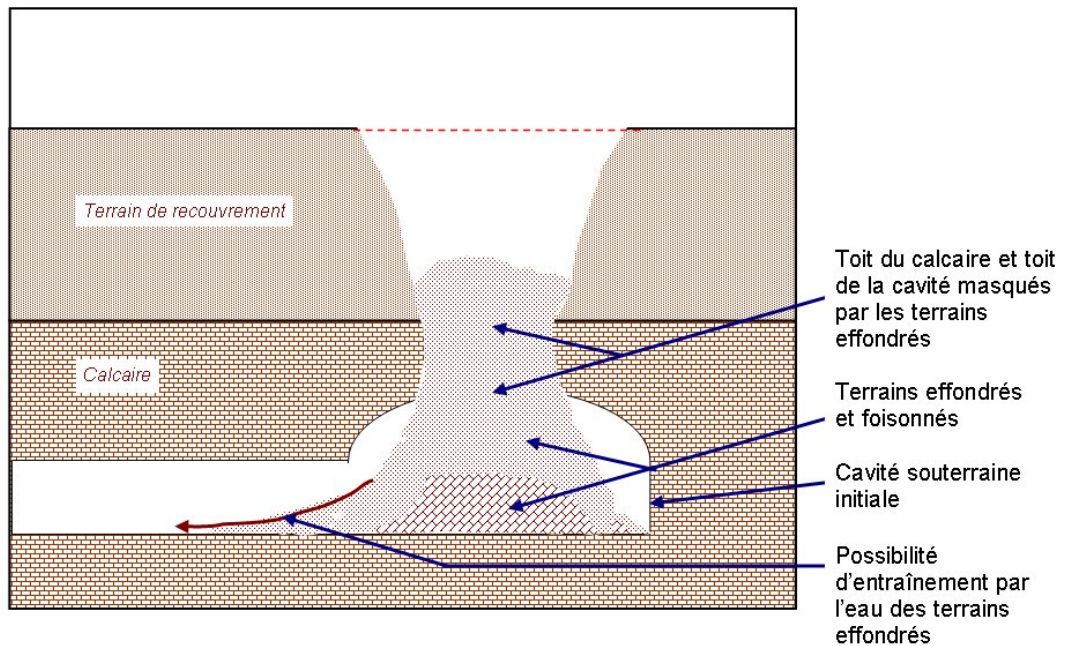


Illustration 9 – Schématisation d'un effondrement

c) Les méthodes de reconnaissance de cavités

- **Excavation à la pelle mécanique**

L'excavation à la pelle mécanique peut permettre dans certains cas d'effectuer la reconnaissance des cavités avec des moyens modestes. Cette méthode ne peut être retenue si l'agrandissement de l'excavation entraîne une menace sur un bâtiment, notamment dans le cas d'effondrements survenus contre ou à proximité immédiate de constructions. Cette méthode n'est pas adaptée dans le cas de terrains trop durs ou pour des cavités situées dans la nappe phréatique.

Des mesures de sécurité, définies en fonction des caractéristiques du site, doivent impérativement être prises pour éviter tout accident lié à ce type de travaux, notamment l'effondrement des parois de l'excavation ou la chute de l'engin provoqué par un nouvel effondrement. Il est ainsi indispensable de procéder à un blindage de la fouille, dès que l'excavation excède 1,75 m de profondeur. Le risque d'un nouvel effondrement, sous l'engin, peut être réduit en employant des dispositifs de répartition des charges, comme des bastaings sur lesquels l'engin sera installé.

- **Sondages destructifs**

Un autre moyen de reconnaissance des vides est le sondage destructif avec enregistrement des paramètres de foration (vitesse d'avancement, pression sur l'outil, pression d'injection, couple de rotation) : la présence de vides ou de zones décomprimées se traduit en effet par une augmentation de la vitesse de foration (tout

autre paramètre technique restant constant par ailleurs). Cette méthode est adaptée à la plupart des cas rencontrés et peut être utilisée à proximité des bâtiments (voire à l'intérieur, certaines sondeuses de petites dimensions étant conçues dans ce but). Des sondages inclinés peuvent également permettre de faire des investigations sous des bâtiments, mais, dans ce cas et pour une profondeur supérieure à 10 m, les frottements du train de tiges contre les parois du sondage peuvent masquer la présence des vides et des terrains décomprimés.

Ces méthodes doivent être mises en œuvre par une équipe qualifiée, capable d'interpréter les variations des paramètres de foration : en effet, d'autres causes que la présence de vides ou de zones décomprimées peuvent faire varier la vitesse de foration, comme la variation de la pression exercée sur l'outil ou de sa vitesse de rotation, ou encore les variations lithologiques naturelles des terrains rencontrés.

La profondeur des sondages devra être définie en fonction du site.

- **Puits de visite**

En fonction des résultats obtenus par les sondages de reconnaissance, un puits de reconnaissance de plus gros diamètre (0,8 à 1 m), pourra être implanté de façon judicieuse pour permettre de visiter la cavité. Là encore, les mesures de sécurité en vigueur doivent être respectées pour éviter tout accident : présence d'une personne en surface et de deux dans la cavité -dont un spécialiste capable de déceler le risque d'effondrement-, port du casque, tubage du puits, utilisation de systèmes de détection de gaz, etc. Le levé de l'extension de la cavité et l'examen des conditions de stabilité permettront de déterminer les solutions adaptées à la stabilisation du site (confortement, comblement total ou partiel...).

- **Utilisation de la vidéo et du laser**

Si la visite de la cavité s'avère impossible (en cas de forte instabilité de la galerie souterraine notamment), d'autres solutions existent : reconnaissance par caméra descendue à l'intérieur d'un forage (diamètre 200 mm environ) ou endoscopie laser. Pour la reconnaissance par caméra, des problèmes liés à l'éclairage se posent fréquemment. L'endoscopie laser, quant à elle, se révèle onéreuse, mais permet de mesurer l'extension des vides et il est ainsi possible de reconstituer la géométrie en trois dimensions de la cavité. Ces deux méthodes peuvent présenter des inconvénients lorsqu'il y a des angles morts (présence de piliers de soutènements, couloirs distribuant des salles, galeries non rectilignes...). Il est alors nécessaire de procéder à des investigations à partir de plusieurs forages. Enfin, lorsque la cavité est noyée, l'investigation peut être réalisée à l'aide d'un sonar.

- **Nécessité de conserver l'information**

Il est indispensable que le levé des cavités soit archivé en mairie et également transmis aux autorités compétentes, afin qu'une trace écrite en soit conservée dans le domaine public. Il est à noter que la déclaration au BRGM permet une saisie dans les bases de données nationales. De même, dans le cas de cavités présentant un intérêt

historique, il est nécessaire d'informer la DRAC (Direction Régionale des Affaires Culturelles).

- **Apport des méthodes géophysiques**

Les méthodes géophysiques (par exemple la micro-gravimétrie, le géoradar, la sismique réfraction ou réflexion - cf. Bibliographie) peuvent dans certains cas être mises en œuvre en tant qu'outil d'aide à la décision pour la détection des cavités souterraines, quand l'enjeu le justifie. Elles permettent de positionner avec plus d'objectivité et de précision les sondages de reconnaissance.

Il faut garder à l'esprit que les méthodes géophysiques ne sont qu'un des éléments d'une démarche de reconnaissance des cavités souterraines. Elles doivent être précédées d'une phase comprenant des recherches d'archives, un repérage sur le terrain d'éventuels indices de surface, la collecte d'informations locales, le recueil d'informations géologiques et hydrogéologiques, etc. Elles doivent ensuite impérativement être suivies de sondages de reconnaissance, indispensables pour valider l'interprétation des résultats de l'étude géophysique. En effet, l'étude est basée sur la mise en évidence d'une anomalie d'un paramètre géophysique mesuré dans un environnement géologique particulier, anomalie dont l'origine n'est pas forcément unique : l'anomalie peut effectivement provenir de la présence d'une cavité souterraine, mais aussi être liée à d'autres facteurs, comme par exemple la présence de poches de dissolution entaillant le toit du calcaire, ou de variations lithologiques.

d) Les méthodes de stabilisation du site

C'est la reconnaissance de la cavité qui va permettre de spécifier quelles sont les solutions de stabilisation adaptées. Deux types de méthodes peuvent être utilisés : le renforcement de la cavité ou son comblement (partiel ou total).

- **Renforcement des cavités**

Les méthodes de renforcement ont été développées pour des carrières souterraines de grande extension. Elles comprennent les différentes techniques suivantes : renforcement des piliers existants, construction de piliers de maçonnerie, boulonnage du toit, mise en place de plots en coulis ou mortier depuis la surface, béton projeté.

Il est important de s'assurer au préalable par des reconnaissances adaptées (sondages ou étude microgravimétrique) que la cavité ne comporte pas de niveaux inférieurs.

- **Comblement**

Lorsque la cavité est de grande extension, un remblaiement partiel peut suffire : cela nécessite que les vides résiduels soient de bonne tenue ou qu'ils ne soient pas situés au-dessous de zones à enjeu. Dans ce cas, des écrans de coulis dense ou des murs intérieurs en maçonnerie doivent être mis en place pour confiner les secteurs à combler. Les secteurs qui ne seront pas comblés devront être cartographiés avec

précision, et, dans la mesure du possible, demeurer accessibles par l'intermédiaire d'un puits de visite.

Le comblement proprement dit peut être réalisé avec différents types de matériaux, qui doivent avant tout être non polluants, non évolutifs (non solubles en particulier) et très peu compressibles. Le choix du matériau utilisé dépendra de la taille et du type des vides, de la tolérance de tassement admissible en surface et des moyens financiers disponibles.

Le comblement avec du sable mis en place par voie hydraulique reste le moyen le plus économique. Il s'agit de remplir les cavités avec du sable dont le transport et la mise en place sont facilités par l'eau, en général depuis des sondages réalisés en surface. La proportion d'eau est de l'ordre de 30 % du volume total de mélange et les caractéristiques sur le sable sont peu contraignantes : il ne doit pas contenir d'éléments végétaux, de matières putrescibles, instables ou toxiques ou de matières organiques et sa granulométrie doit être régulière (entre 0,1 et 6 mm, par exemple, mais la fourchette peut être plus étroite). Il est important que le sable ne soit pas argileux, pour éviter des tassements ultérieurs et assurer une bonne mise en place. Certaines prescriptions exigent que le cône de sable issu du déversement par voie hydraulique ne présente pas une pente excédant 1/10. Le but est en effet que le sable occupe l'ensemble du vide, excepté bien sûr la partie supérieure résiduelle. Le tassement, qui suit la mise en place du sable et le départ de l'eau, peut être long (parfois plusieurs mois), suivant la perméabilité des terrains encaissants.

Le vide résiduel qui se forme après tassement du sable doit être clavé si l'on veut éviter des tassements en surface. Ce procédé consiste à injecter un coulis (mélange de ciment, d'eau et éventuellement de bentonite) sous pression depuis la surface, de manière à combler les vides résiduels. A l'aplomb des espaces vides, on peut tolérer un vide résiduel de l'ordre de 1/15 de la hauteur de recouvrement et se dispenser ainsi du clavage.

Le comblement avec du sable par voie hydraulique ne peut être réalisé dans la nappe phréatique, car la consolidation ne pourra pas avoir lieu et la mise en place ne sera pas satisfaisante. Dans ce cas, il est possible d'utiliser des matériaux plus grossiers (graviers par exemple), mais le nombre de forages nécessaire à leur mise en place sera plus élevé. Il peut également être décidé d'attendre la baisse de la nappe phréatique, car les cavités actuellement noyées ne le sont pas continuellement.

Une autre méthode est le comblement par injection de coulis, qui consiste à mettre en place sous pression, depuis des forages, un mortier (mélange de sable, de ciment, d'eau et éventuellement de bentonite) ou un coulis (mélange de ciment, de bentonite, et d'eau), dont la fluidité permettra de combler les vides. Elle est relativement onéreuse et doit donc être réservée aux cavités de petites dimensions ou aux comblements partiels. L'injection de coulis permet également de traiter les zones décomprimées situées au-dessus des cavités ayant déjà fait l'objet d'effondrement.

Par ailleurs, le comblement doit être contrôlé pendant la phase de réalisation, en mesurant les volumes mis en place et en les comparant aux volumes des vides

reconnus. Pour les zones où la tolérance de tassement en surface est faible, des contrôles pourront être réalisés par sondages destructifs ou carottés.

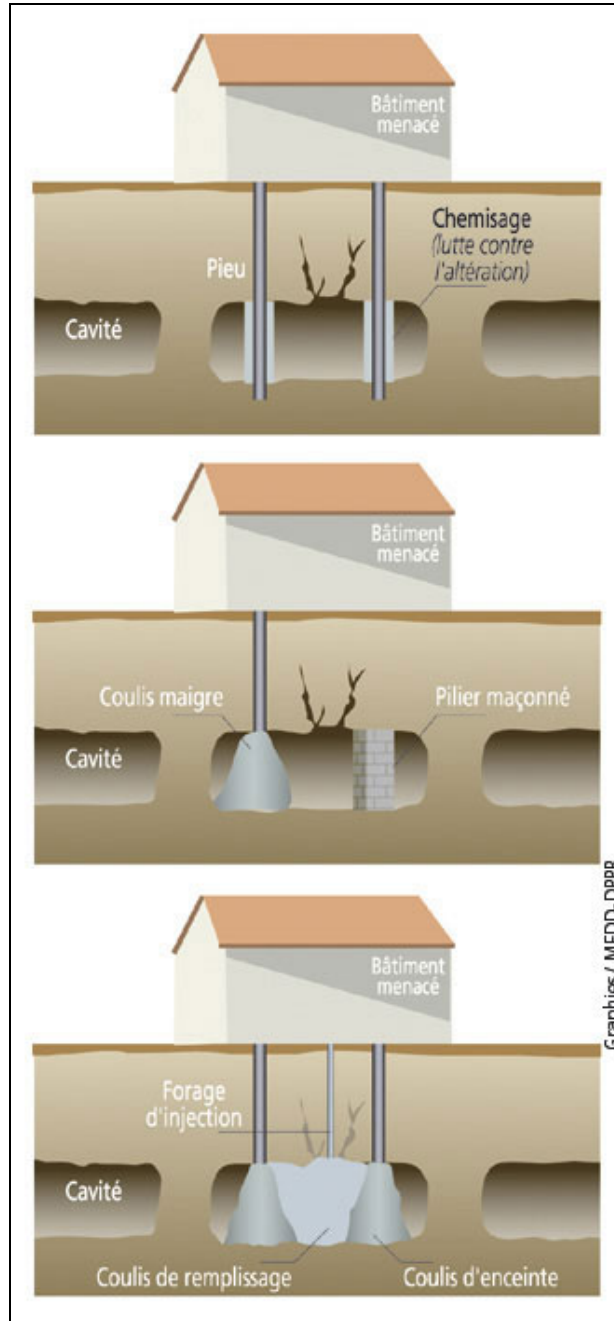


Illustration 10 – Exemple de mesures de protection contre les effondrements

4.3.2. Mesures de prévention visant à réduire l'aléa lié aux cavités souterraines dans les zones à enjeux

a) Inspection des caves

Il est indispensable d'entreprendre un programme d'inspection des caves creusées sous ou à proximité des maisons, en vue de s'assurer de leur stabilité et de préconiser, le cas échéant, des travaux de confortement. Ce programme pourrait être limité aux secteurs les plus affectés par des mouvements de terrain mettant en cause des caves.

b) La maîtrise des eaux pluviales et usées

Le rôle joué par l'infiltration et la circulation de l'eau dans le déclenchement des effondrements est très important. Aussi, la maîtrise des eaux pluviales et d'assainissement est nécessaire pour réduire l'aléa mouvements de terrain dans la commune.

Lorsqu'un réseau collectif existe, tous les rejets correspondants doivent s'y effectuer. Lorsque ce n'est pas le cas, les rejets doivent se faire à distance suffisante de tout bâtiment (plus de 10 m). **Les rejets par infiltration directe dans des cavités sont à proscrire absolument.** Ces mesures sont valables à la fois pour les eaux pluviales et les eaux usées (qui sont plus agressives, mais dont le volume est moins important), tout en veillant au respect de la législation en vigueur, notamment pour les eaux usées avec la réglementation concernant les fosses septiques.

c) Reconnaissance des terrains à bâtir

Afin de réduire le risque d'effondrement sur des nouvelles constructions et étant donné la forte densité de cavités souterraines dans la commune, nous préconisons de réaliser une étude de recherche/reconnaissance de vides avant toute nouvelle construction. Conduite par un bureau d'études qualifié, elle permettra soit de s'assurer qu'il n'y a pas de cavité sous le futur projet, soit de prendre les mesures appropriées (renforcement de la structure d'une construction, réalisation de fondations profondes...) si des vides sont décelés. Cette reconnaissance devra en général s'appuyer sur la réalisation de sondages destructifs, éventuellement guidés par une étude géophysique préalable.

d) Mise en place d'une réglementation

La mise en place d'une réglementation permet de rendre obligatoire l'exécution des mesures préconisées (inspection des caves, maîtrise des eaux pluviales et usées, reconnaissance des terrains à bâtir,...) dans les zones où celles-ci sont nécessaires.

Dans cette optique, l'outil le plus adapté est le Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles (PPR), constitué d'une carte de zonage réglementaire qui résulte de la combinaison de la cartographie de l'aléa mouvement de terrain et de celle des

enjeux. Ce document est annexé au Plan Local d'Urbanisme (PLU) et régit l'urbanisme et la construction dans chacune des différentes zones définies. Il faut par ailleurs rappeler que la prescription d'un PPR dans une commune permet de supprimer la modulation de franchise applicable à l'indemnisation des dommages consécutifs aux catastrophes naturelles⁵. En effet, lorsqu'une commune est reconnue en état de catastrophe naturelle plus de deux fois pour le même phénomène, la franchise applicable à l'indemnisation est majorée (doublée pour le 3^{ème} arrêté, triplée pour le 4^{ème}, quadruplée pour le 5^{ème}). Ainsi, pour les administrés des communes déjà reconnues une ou plusieurs fois en état de catastrophe naturelle pour les mouvements de terrain, la prescription d'un PPR facilitera l'indemnisation des dommages en cas de nouvelle catastrophe, sans compter évidemment la réduction de l'aléa qui découlera à terme de l'application du PPR.

4.3.3. Mesures destinées à améliorer la connaissance de l'existence de cavités souterraines

La connaissance des cavités souterraines est un des points clés de la réduction de l'aléa. Le travail réalisé au cours de la présente étude a permis de recenser un très grand nombre de cavités souterraines, mais il doit être replacé dans une démarche plus globale d'inventaire continu.

a) Inventaire systématique et continu des mouvements de terrain et des cavités souterraines

C'est sur la base de la loi n° 2003-699 du 30 juillet 2003 qu'il convient d'organiser un inventaire continu des mouvements de terrain et des cavités souterraines dans la commune. Il est donc nécessaire d'entreprendre une sensibilisation auprès des populations concernées pour que cet inventaire soit effectif.

Une des possibilités pour mettre en place cet inventaire permanent serait, suite à la restitution des résultats de la présente étude, de réaliser une enquête publique auprès des habitants de la commune et de leur proposer de saisir les données dont ils auraient connaissance dans un tableau afin de recenser le maximum d'informations (localisation, caractéristique géométriques...) et de garder une homogénéité entre les différentes informations. Une centralisation générale de l'information pourrait ensuite avoir lieu au sein de la mairie grâce à la base de données.

⁵ Arrêté du 5 septembre 2000

b) Poursuite du recueil et de la diffusion de l'information à travers les bases de données nationales BDMVT et BDCavités

Bien que l'outil, fourni dans le cadre de cette étude, permette à la commune de La Chapelle-Saint-Mesmin de saisir et/ou modifier les informations en base locale (uniquement), il est important également de mettre à jour via le BRGM les bases nationales et les sites Internet.

Les bases de données BDMVT et BDCavités, respectivement consacrées aux mouvements de terrain et aux cavités souterraines, permettent de conserver, centraliser et diffuser l'information et participent à la sensibilisation de la population aux risques liés aux mouvements de terrain. Elles sont consultables sur Internet aux adresses suivantes :

- BDMVT : <http://www.bdmvt.net>
- BDCavités : <http://www.bdcavite.net> ou <http://bdcavite-redirect.brgm.fr/>

4.4. MESURES A ENVISAGER AU SEIN DE LA COMMUNE

4.4.1. Rappel : le maire face aux mouvements de terrain

Au titre de la sécurité publique, en cas de sinistre ou situation dangereuse, le maire doit par exemple :

- organiser et diriger les secours,
- gérer l'alerte à la population,
- prendre les mesures préventives d'urbanisme (limiter le nombre de personnes exposées),
- exécuter les travaux de protection,
- déclencher les procédures d'indemnisation.

Le préfet peut toutefois se substituer aux maires (si le maire en fait la demande en cas de carence).

La gestion communale quotidienne du problème des mouvements de terrain, et en particulier de l'instabilité liée aux cavités souterraines, s'articule autour de trois missions essentielles :

a) Informer la population sur les risques encourus

L'information du public est une responsabilité conjointe de l'État et des collectivités locales : article L.125-2 du Code de l'environnement

« Les citoyens ont droit à une information sur les risques majeurs auxquels ils sont soumis dans certaines zones du territoire et sur les mesures de sauvegarde qui les concernent. Ce droit s'applique aux risques technologiques et aux risques naturels prévisibles ».

b) Maîtriser l'urbanisme dans les secteurs à risque

La commune doit prendre en compte l'existence du risque de mouvement de terrain :

- possibilité de délimiter des zones sensibles où les constructions sont interdites ou réglementées,
- prise en compte au niveau du PLU,
- possibilité de refuser un permis de construire pour raison de sécurité (intervention du préfet possible).

c) Gérer le risque

Le maire est le gestionnaire permanent du risque sur sa commune. Le maire doit prendre toute mesure appropriée pour faire cesser une situation dangereuse liée aux risques naturels.

En fait, il n'existe pas de réglementation spécifique pour la gestion du risque des mouvements de terrain et le maire dispose d'un certain nombre de moyens d'intervention, que cela soit avant ou après un sinistre, comme par exemple la procédure de catastrophe naturelle, les procédures de péril...

4.4.2. Synthèse

Compte tenu de l'existence du risque lié aux cavités souterraines sur la grande majorité du territoire de La Chapelle-Saint-Mesmin, il convient de mettre en œuvre un certain nombre de dispositions visant à gérer le risque via la prévision, la prévention et la protection. Voici une proposition chronologique :

1. Informer et sensibiliser les administrés du risque lié à une cavité souterraine :

Il s'agit en particulier de diffuser les informations disponibles en mairie sur les cavités souterraines à travers la publication par exemple d'une plaquette, d'un site internet, du Document Communal Synthétique ou d'une réunion publique d'information.

Il s'agit également de sensibiliser les personnes sur le caractère dangereux d'une cavité souterraine, de la nécessité d'« entretenir » et de surveiller régulièrement une cavité, de les inciter à effectuer des travaux de confortement voire d'établir un diagnostic de stabilité. L'établissement d'un Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs peut alors être utile.

2. Continuer l'inventaire des cavités :

Le travail d'inventaire initié par cette étude doit être poursuivi afin d'obtenir un inventaire le plus exhaustif possible. L'obtention d'informations complémentaires de la part des administrés peut se faire via une enquête publique.

De plus, à l'occasion de la survenance d'un effondrement ou d'un affaissement de terrain, il est important de conserver les informations recueillies telles la date, la géométrie, les dégâts occasionnés, les travaux effectués... et des photographies.

3. Mettre en place une réglementation :

Les outils réglementaires permettant de prévenir les risques naturels sont multiples. En premier, il convient de modifier le PLU afin que la recherche de cavité soit systématique avant construction. En effet, au titre de l'article R 123-11 du code de l'urbanisme, le PLU peut créer des zones soumises à des restrictions en raison des risques.

Ensuite, il convient d'effectuer une étude technique spécifique, évaluant le risque encouru à travers la détermination de l'aléa effondrement / affaissement et la cartographie des enjeux, en vue de l'établissement d'un projet local de prévention des risques naturels à l'initiative de la commune ou d'un Plan de Prévention des Risques suite à la prescription du préfet.

5. Conclusion

L'étude menée sur la commune de La Chapelle-Saint-Mesmin a permis de recenser 174 cavités ou indices de surface pouvant résulter de la présence de cavité sous-jacente.

Ces données toutes numérisées ont été fournies aux services techniques de la mairie, le système de gestion fourni simultanément permettra au service en charge de l'urbanisme de compléter la base au fur et à mesure de l'acquisition de nouvelles données ou de l'apparition de phénomènes de surface. Il est évident que toute modification de l'applicatif aussi substantielle qu'elle puisse être ne pourra faire l'objet d'une réclamation auprès du BRGM.

Les données pourront être intégrées dans les systèmes d'information de la mairie de manière à compléter les documents d'urbanisme à venir.

D'un point de vue aménagement et prévention des risques liés aux cavités souterraines, il est recommandé de :

- informer et sensibiliser les administrés du risque lié à une cavité souterraine et de la nécessité d'« entretenir » et / ou effectuer des travaux de confortement ;
- poursuivre l'inventaire des cavités au jour le jour ;
- mettre en place une réglementation grâce aux nombreux outils réglementaires disponibles pour la prévention des risques naturels.

Bibliographie

BOUCHUT J., VINCENT M., avec la collaboration de SAINT-OMER P., ROUXEL-DAVID E., JACQUOT P., CAUDRON M., ZORNETTE N., DEMANGEON G., CORDONNIER G. (2002) - Recensement et analyse des mouvements de terrain survenus en 2000 et 2001 dans les arrondissements de Montdidier (Somme) et Clermont (Oise). BRGM/RP-51763-FR, 103 p., 38 fig., 3 tabl., 3 ann., 2 pl.

BRGM (1999) - Détection des cavités souterraines par méthodes géophysiques en Région Haute-Normandie – *Guide de synthèse*. BRGM/RR-40626-FR, 18 p.

CARRARA M. (2004) - Propriété de Monsieur Bazin. Expertise géotechnique d'une cavité souterraine rue d'Ingré à La Chapelle-Saint-Mesmin (Loiret). Antea A 34715/A.

CHRETIEN P. et ZORNETTE N. (2006) - Plan de Prévention des Risques Naturels « mouvements de terrain » portant sur 43 communes de l'arrondissement de Montdidier (Somme). Phase 2a - Analyse et caractérisation de l'aléa. Rapport intermédiaire. BRGM/RP-54572-FR.

CHRETIEN P., COLIN S. et ZORNETTE N. (2006) - Observations effectuées en bordure ouest d'une carrière souterraine située sous la rue Saint-Léger. Quartier de Longpré-lès-Amiens. Commune d'Amiens (Somme) - Compte-rendu de la visite du 1er mars 2006. BRGM/RP-54558-FR, 19 p., 4 illustr, 1 ann.

CHRETIEN P. et ZORNETTE N. (2005) - Plan de Prévention des Risques Naturels « mouvements de terrain » portant sur 43 communes de l'arrondissement de Montdidier (Somme). Phase 1 - Analyse et caractérisation des phénomènes naturels. Rapport intermédiaire. BRGM/RP-54252-FR. 45 p., 19 ill. et 7 ann.

COLLEAU A., GIOT D. et LEPRETRE J-P. (2002) - Inventaire des cavités souterraines et des désordres de surface, analyse du contexte géologique. Département du Loiret. Rapport BRGM RP-51622-FR, 46p, 4 fig., 1 tabl., 3 pl., 2 ann.

GIOT D., LEPRETRE J-P., NEDELLEC J-L., BOUCHUT J. et TROUILLARD C. (2003) - Cartographie de l'aléa global relatif à la présence de cavités souterraines et de désordres de surface concernant le département du Loiret. Rapport BRGM RP-52491-FR, 31p, 7 fig., 8 photos, 7 tabl., 19 cartes

HUGON Aimé (1986) - Carrières et souterrains. Bulletin annuel n° 3 du Groupe d'Histoire Locale de La Chapelle-Saint-Mesmin, p7-13

Ministère de l'Aménagement, du Territoire et de l'Environnement, Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement - Plans de prévention des risques naturels (PPR) risques mouvements de terrain - guide méthodologique - *La documentation française*.

TROUILLARD-PERROT C., LEPRETRE J-P. et ZORNETTE N. (2003) - Inventaire des cavités souterraines du Loiret. Rapport BRGM RP-52565-FR, 57p, 24 fig., 3 tabl., 10 ann.

ZORNETTE N. (2006) - Observations effectuées suite à deux effondrements de terrain. Commune de Nurlu (Somme). Compte-rendu de la visite du 18 août 2006. BRGM/RP-54859-FR, 18 p., 11 illustr, 2 ann.

ZORNETTE N. (2006) - Observations effectuées suite à la découverte d'un vide. Commune de Moliens (Oise). Compte-rendu de la visite du 22 août 2006. BRGM/RP-54868-FR, 16 p., 7 illustr, 1 ann.

Sites Internet

Portail officiel de la prévention des risques majeurs. <http://www.prim.net/>

Le Plan de prévention des risques (PPR).

http://www.prim.net/professionnel/procedures_regl/r2_ppr.html

Le Projet local de Prévention des Risques naturels.

http://www.prim.net/professionnel/documentation/projet_local/projet.pdf et

http://www.prim.net/professionnel/documentation/projet_local/PPR20p.pdf

Procédures et réglementation applicables aux risques technologiques et naturels majeurs.

http://www.prim.net/cgi_bin/professionnel/etude_procerisq.html

Portail officiel du droit français. <http://www.legifrance.gouv.fr/>

Portail éducatif francophone sur les risques naturels. <http://www.prevention2000.org/>

Cavités 37 est un syndicat intercommunal, à vocation technique, spécialisé dans la surveillance des cavités souterraines et des masses rocheuses d'Indre-et-Loire.

<http://www.catp-asso.org/cavites37/>

Les catacombes de Paris <http://geos1777.free.fr/>, site fournissant en particulier un article relatif aux « Risques d'évolution des anciennes carrières souterraines et solutions envisageables » (reproduit en Annexe 7).

Lexique des termes karstiques dialectaux de langue française.

<http://lofab.free.fr/Articles/Lexique.htm>

Annexe 1
—
Glossaire

Aven : gouffre s'ouvrant sur les profondeurs.

Bourrage : remblais mis en place dans une carrière souterraine.

Bétoire : dépression circulaire de modelé karstique (cf. doline).

Cale (ou pilier à bras) : pilier formé de pierres superposées à sec.

Cavages : carrières souterraines.

Ciel : banc rocheux laissé au toit d'une carrière.

Ciel tombé : chute de blocs provenant du banc de ciel.

Cloche de fontis : cavité formée par l'effondrement d'un ciel de carrière et des terrains de recouvrement, dont la forme rappelle généralement celle d'une cloche.

Doline : dépression circulaire de modelé karstique (cf. bétoire).

Fontis : effondrement du toit d'une cavité naturelle ou d'une galerie souterraine anthropique.

Gouffre : vide s'ouvrant sur les profondeurs (cf. aven).

Hague : mur en pierres sèches servant à retenir les bourrages.

Karst : calcaire affecté par des dissolutions provoquant des vides.

Mardelle : petite dépression fermée d'origine inconnue : doline ?

Marnière : exploitation, généralement de petite dimension, de matériaux servant à l'amendement des cultures.

Masse : ensemble du gisement rocheux.

Mur : surface inférieure d'une formation ou bien toit des terrains situés immédiatement sous elle.

Pilier à bras : cf. cale.

Pilier tourné : pilier de masse laissé en place pour soutenir le ciel.

Puits de service : puits servant à l'exécution de travaux en souterrain.

Recouvrement : épaisseur des terrains rencontrés au dessus d'une cavité. Le banc de ciel est compris dans le recouvrement.

Taux de défrètement : pour une carrière souterraine, il s'agit du pourcentage de vides par rapport à la surface des terrains restant en place.

Toit : surface supérieure d'une formation ou bien base (ou mur) des terrains la surmontant immédiatement.

Annexe 2

—

Exemple de déclaration d'exploitation

Numéro d'identifiant CENAA0014366

MAIRIE
de
LA CHAPELLE ST-MESMIN
—
Canton d'Orléans Nord-Ouest
LOIRET

1884 Service des Mines. (Carrières)

Declaration d'exploitation

Le M^r Grossier Rouilly-Laurent

L'an mil huit cent quatre-vingt-quatre,
le vingt-un février, à deux heures du soir, j'ai deva-
nous Blanchard Frédéric, Maire de la Commune
de La Chapelle-Saint-Mesmin, Canton d'Orléans
Nord-Ouest, Département du Loiret, est comparu
sieur Grossier Rouilly-Laurent, vigneron domicilié en
notre commune, quartier des mines, lequel nous a déclaré: Que
instruction d'exploiter une carrière souterraine au cas des Mines,
dite commune de La Chapelle-Saint-Mesmin, sous un terrain
à lui appartenant Section N^o 163 du plan cadastral, borna-
du Nord Rouillon Sureau, du Nord Louis-Mathison du levant
Sureau Hannon et en cauchant la venue Didier, en nous faisant
observer que cette exploitation a pour but de l'occuper pendant l'hiver
de lui fournir des matériaux pour son usage personnel et de
vendre le surplus s'il y a lieu.

Que cette carrière se trouve située à une distance de trois
cents mètres environ des bâtiments les plus proches, (maison
des Mines),

Que la masse à extraire consiste en pierre ou meulons
et que l'épaisseur qui recouvre cette masse (terre végétale et
tauf) est de sept mètres.

Et qu'il existe déjà dans cette carrière des travaux souterrains
exécutés depuis 1879.

Maire de La Chapelle-Saint-Mesmin le
vingt-un février mil huit cent quatre-vingt-quatre.

Le Déclarant

Grossier

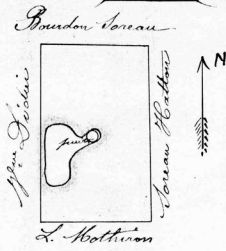


Le Maire
Blanchard

21 février 1884

Commune de La Chapelle St-Martin

Cavité souterraine des muids
appartenant à M^r Gossier Rouilly Lamant.
Section N 26:163



Echelle de 0.002
Vu et certifié exact
Le Maire
M. Rouilly

Accès réservé

Annexe 3

—

Calendrier des visites de cavités

Accès réservé

Annexe 4

—

Observations effectuées sur le terrain

Accès réservé

Annexe 5

—

**3 courriers transmis à la mairie
suite aux visites de cavités**

Accès réservé

Annexe 6

—

Tableau synthétique des cavités recensées

Annexe 7

Reproduction d'un article du site <http://geos1777.free.fr/>

Risques d'évolution des anciennes carrières souterraines et solutions envisageables

Par Monsieur MARTIN
Chef du service Géothermique
Société ANTEA du groupe BRGM

Introduction

1. **Dégradation des anciennes carrières souterraines et répercussions en surface**
 - a) *Rupture de toit*
 - b) *Rupture des piliers*
 - c) *Rupture du radier*
2. **Catalogue sommaire des techniques de mise en sécurité**
 - a) **Techniques de prévention actives**
 - Consolidation de la cavité
 - Renforcement des piliers existants
 - Construction de piliers en maçonnerie
 - Boulonnage du toit
 - Mise en place de plots en coulis ou mortier depuis la surface
 - Béton projeté
 - Stabilisation par comblement
 - Remblaiement total
 - Remblaiement partiel
 - Injection par forages
 - b) **Techniques de prévention passives**
 - Renforcement de la structure d'une construction
 - Réalisation de fondations profondes
 - Adaptation des réseaux souterrains
 - Adaptation de la voirie
 - c) **Techniques de suppression du vide souterrain**
 - Foudroyage
 - Terrassement de la cavité
3. **Critères de choix d'une solution**
 - a) *Aménagements actuels ou prévus*
 - b) *Objectifs de sécurité recherchés*
 - c) *Données du site naturel*
 - d) *Contraintes pour les travaux de prévention*
 - e) *Enveloppe financière disponible ?*

Conclusions

Introduction

Le souci de ceux qui ont exploité les anciennes carrières souterraines était sans nul doute la rentabilité de leur exploitation plutôt que d'assurer la stabilité à long terme de la carrière.

Sur certains sites même, dans le cas d'exploitation par piliers tournés, les piliers ont été retaillés une seconde fois pour extraire encore un peu de matériau.

Les matériaux ayant été extraits jusqu'à la limite de stabilité des cavités, il est raisonnable de prévoir que ces anciennes exploitations souterraines évoluent plus ou moins rapidement vers leur ruine. La lente altération des matériaux est en général à l'origine de la dégradation des conditions de stabilité, également le comportement différé des matériaux soumis à des contraintes. Des facteurs extérieurs peuvent également jouer un rôle prépondérant comme les infiltrations d'eau ou les vibrations. Ils peuvent brutalement accélérer un processus de dégradation qui semblait être jusqu'alors plus ou moins stabilisé.

Après un bref aperçu des dégradations types pouvant survenir à d'anciennes carrières souterraines et des répercussions en surface associées, nous examinerons le catalogue sommaire des méthodes envisageables pour la mise en sécurité de ces sites.

Quelques éléments de réponse seront ainsi esquissés pour répondre à la question posée : "Quand vaut-il mieux combler ? Quand vaut-il mieux consolider ?".

1. Dégradation des anciennes carrières souterraines et répercussions en surface

Plusieurs processus peuvent conduire à la ruine d'une carrière souterraine. Parmi les paramètres les plus déterminants qui influencent cette évolution, citons : les caractéristiques naturelles du massif exploité, le mode d'exploitation et la géométrie des cavités, le taux de défrètement (pourcentage des vides par rapport à la surface des pleins).

Les accidents peuvent être localisés ou généralisés, progressifs ou brutaux.

Présentons quelques cas typiques de rupture, parmi ceux rencontrés le plus fréquemment en région parisienne :

a) Rupture de toit

Il s'agit des fontis. Ils naissent en général à l'intersection des galeries, là où les portées entre appuis sont les plus importantes. Cela commence par un ciel tombé, c'est-à-dire la chute d'un banc qui se détache du ciel de la cavité. Lorsque plusieurs bancs se sont ainsi détachés successivement et que la cavité est remontée dans les matériaux meubles qui surmontent la roche exploitée, on parle de cloche de fontis. La progression est alors souvent beaucoup plus rapide.

La manifestation en surface d'un tel phénomène est très variable. Le foisonnement des matériaux effondrés a tendance en effet à combler progressivement la cavité qui remonte. L'évolution du fontis est donc grandement fonction de la nature des matériaux en présence de

même que du rapport entre la hauteur du recouvrement et la hauteur du vide initial (hauteur de la galerie d'exploitation). Dans certains cas la venue à jour du fontis peut donc se traduire par un effondrement brutal de plusieurs mètres de diamètre (de quelques mètres à 25 ou 30 mètres) et d'une profondeur équivalente. La cloche de fontis peut également se résorber avant d'atteindre la surface, mais dans ce cas une modification du régime des nappes souterraines ou d'autres phénomènes peuvent activer de nouveau le processus et conduire à un effondrement en surface.

b) Rupture des piliers

Après l'exploitation souterraine, les charges naturelles des terrains de couverture sont reportées sur les éléments de soutènement qui subsisteront : les piliers laissés en place, dans le cas des exploitations par piliers tournés ou, dans le cas des carrières de calcaire grossier par exemple, les bourrages, les piliers à bras et les confortements maçonnés.

Pour les raisons évoquées précédemment, les sollicitations mécaniques de ces éléments de soutènement sont en général élevées avec une distribution des contraintes complexe et évolutive. Leur forte compression peut provoquer leur dégradation par écaillage, fissuration et rupture finale.

L'affaissement d'un pilier entraîne souvent une reprise des efforts par les piliers voisins qui peuvent se trouver à leur tour en limite de stabilité. Dans certaines configurations, la généralisation d'une telle situation risque d'entraîner un effondrement généralisé et brutal qui peut concerner plusieurs hectares de carrières.

c) Rupture du radier

On peut considérer le radier d'une exploitation comme le massif de fondation des piliers. Ceux-ci transmettent en général des charges à la fois concentrées et élevées.

L'assise des piliers peut ainsi être défaillante de plusieurs manières : lorsqu'elle est fragilisée par un autre niveau de galeries sous-jacentes, dans le cas fréquent d'exploitation sur plusieurs niveaux, ou par des phénomènes de dissolution ou de lessivage en cas de venues d'eau ou de galeries partiellement noyées.

On observe également dans les carrières souterraines de gypse, le poinçonnement de la planche résiduelle de gypse laissé en radier, notamment lorsque celle-ci n'est pas assez épaisse. Dans ce cas le pilier s'enfonce en perdant rapidement son intégrité par expansion et écaillage. Parallèlement, on constate un soulèvement du plancher dans les galeries adjacentes, du fait du développement de coins de poussée sous le pilier et du fluage des marnes inter-bancs. On parle alors de "soufflage de mur".

La rupture du radier entraîne donc à terme la ruine du pilier, le mécanisme conduisant en général à des désordres en surface.

2. Catalogue sommaire des techniques de mise en sécurité

On suppose identifié et évalué, au moins approximativement, l'aléa lié aux carrières souterraines. L'objectif est de définir la stratégie et les méthodes de prévention les mieux adaptées au problème.

On reprendra, dans l'exposé qui suit, le schéma retenu à l'issue du séminaire sur les carrières souterraines abandonnées de Nainville-les-Roches (décembre 1993) : Atelier n° 2, stratégies et méthodes de prévention.

Parmi les techniques de prévention dites actives, deux stratégies se présentent, en première analyse : combler les vides ou consolider les cavités.

Les techniques de prévention dites passives consistent à agir sur l'ouvrage à protéger, et non pas sur les cavités souterraines.

Enfin, on évoquera les techniques de suppression du vide souterrain.

a) *Techniques de prévention actives*

Elles consistent à intervenir au niveau des cavités pour éviter leur effondrement.

- **Consolidation de la cavité**

· Renforcement des piliers existants

Le renforcement des piliers est une technique surtout utilisée lorsque l'on souhaite conserver l'usage d'une cavité.

On utilise en général la combinaison du béton projeté et du boulonnage. Le frettage des piliers par des câbles ou des barres métalliques est quelquefois employé.

La réparation des piliers fortement endommagés (en post-rupture) est délicate. On pourra utiliser dans ce cas un chemisage en béton armé ou une virole métallique remplie depuis la surface par un coulis fluide.

· Construction de piliers en maçonnerie

Le principe est de transmettre le poids des terrains sous-jacents et des surcharges éventuelles au plancher de la carrière.

La surface totale de piliers est fonction de la charge qu'ils ont à supporter. Les piliers de renforcement doivent représenter au minimum 20% de la surface de la construction projetée, de laquelle on peut déduire les piliers tournés existants.

Pour être efficace, un pilier de renforcement doit avoir une déformabilité voisine de celle des piliers en matériau naturel laissés par l'exploitation. Les matériaux utilisés en général sont les moellons ou les parpaings pleins liés au mortier de ciment. L'IGC de Paris exige une résistance à l'écrasement d'au moins 6 MPa.

Les dimensions demandées pour les carrières de Calcaire grossier en région parisienne sont les suivantes :

- Piliers parallélépipédiques : largeur supérieure au 1/3 de la hauteur, sans être inférieure à 1,20 m.
- Murs : épaisseur supérieure au 1/3 de la hauteur, sans être inférieure à 0,50 m.

Une attention doit être portée au sol support (ce doit être le terrain en place, non remanié) et au matage sous le ciel (clavage au mortier, après durcissement du mortier d'assemblage du pilier).

La carrière doit évidemment être accessible, ou rendue telle avec des conditions minimales de sécurité.

Le coût est élevé en général (beaucoup de main d'oeuvre) : entre 1000 et 1600F le m³ de pilier maçonné suivant les conditions d'accès. Ramené au m² de construction en surface le coût peut varier entre 1500 et 4500F le m².

· Boulonnage du toit

Le principe est d'armer et de rendre monolithique la masse rocheuse en ciel pour la rendre capable de reporter le poids des terres sur les piliers ou sur les flancs des galeries.

C'est notamment le cas d'un toit lié en bancs horizontaux.

Il convient de tenir compte de la corrosion pour le dimensionnement du boulonnage : surdimensionnement du diamètre des boulons métalliques ou adoption de boulons en fibre de verre.

Cette solution convient bien aux carrières occupées puisque les volumes restent vides.

En fonction de la densité du boulonnage nécessaire (nombre de boulons au mètre carré) et de leur longueur, les prix peuvent varier grandement. Lorsqu'elle est applicable, c'est une solution économique (ordre de grandeur de 350F TTC le mètre linéaire de boulon fourni, posé).

· Mise en place de plots en coulis ou mortier depuis la surface

Deux variantes :

- Piliers en sable-ciment dont le coffrage est une chaussette en géotextile ou piliers en micro-béton avec coffrage en bois ou métallique. La réalisation du coffrage suppose l'accessibilité.
- Plots à fort angle de talus naturel injectés par des forages. L'injection s'effectue depuis la surface par des forages (de diamètre 100 mm en général). On utilise un coulis de ciment pourvu d'un adjuvant rigidifiant. Dimension type : plot de 1,50 m de diamètre en tête. Technique assez délicate (mise au point du coulis) et chères (pertes importantes). Technique limitée aux carrières non accessibles ou difficilement accessibles.

- Béton projeté

Le béton projeté s'emploie lorsque la roche est sujette à altération ou à desquamation : gypse, craie... Il s'applique au ciel ou sur les piliers. Il s'utilise en général avec pose d'un treillis soudé. L'épaisseur est de l'ordre de 15 cm.

Coût : 200 à 500 F TTC par m² suivant les sujétions de mises en oeuvre.

- **Stabilisation par comblement**

- Remblaiement total

Le principe est de supprimer l'essentiel du vide souterrain par mise en place de matériaux sans liant hydraulique. Ces matériaux peuvent être variés et fonction des opportunités : déblais criblés, terres de fouille en provenance de gros chantiers voisins, stériles miniers ...etc.

La mise en place s'effectue :

- par engins mécaniques si l'accès est possible pour les engins. Le matériau peut être acheminé à partir d'une entrée en cavage ou être déversé par un puits et repris ensuite par les engins au fond.
- par déversement gravitaire :
 - voie humide (sable et eau, cendre et eau, ...) par des forages de diamètre 100 à 200 mm, suivant une maille de 7x7 à 10x10 m. Cette technique permet de traverser d'importantes couvertures, couramment de 40 à 80 m.
 - voie semi-humide (mélange moitié terre, moitié eau), si de grandes quantités d'eau sont disponibles sur le site. Sur certains chantiers de ce type, l'eau est directement pompée dans la nappe. Les puits ont un diamètre de 700 à 1000 mm. Le maillage est en général compris entre 15x15 et 20x20 m/
 - voie sèche en l'absence d'approvisionnement économique en eau, par l'intermédiaire de puits de 100 à 400 mm de diamètre. La distance entre puits doit être inférieure à deux fois la hauteur des vides, car l'étalement des matériaux n'est pas très bon, ce qui implique de réaliser un grand nombre de forages.

Il se forme un vide résiduel après tassement : le clavage est nécessaire si l'on prévoit une construction au dessus. Le clavage est réalisé à l'aide d'un coulis de ciment mis en oeuvre à travers des forages disposés entre les puits de déversements, après essorage des matériaux. En cas de recherche d'une stabilisation totale en surface, il convient de sélectionner le matériau de comblement et son mode de mise en fonction du tassement différé attendu.

Le clavage apparaît donc facultatif pour les espaces verts : on peut tolérer un vide résiduel de l'ordre de 1/15 de la hauteur du recouvrement.

Le coût est très variable en fonction des quantités et des opportunités de matériaux disponibles :

- remblaiement par voie semi-humide : 70 à 100F TTC le m³ pour les gros chantiers.
- remblaiement par voie sèche : 400 à 500 F TTC le m³.

· Remblaiement partiel :

Le principe est d'assurer un certain fretage des piliers à leur base, là où ils sont le plus fragile en général, dans le cas de carrières de gypse. Cette disposition réduit leur élancement et augmente leur résistance.

Ce traitement a également pour effet de charger le radier et de s'opposer ainsi à son soulèvement lorsqu'il y a risque de "soufflage du mur".

· Injection par forages :

Ce mode de comblement est adapté aux carrières inaccessibles.

Les matériaux injectés sont des sablons ou des cendres volantes traitées au ciment (quelquefois non traitées, dans le cas d'espaces verts en surface, auquel cas il convient de s'assurer que les matériaux ne risquent pas d'être entraînés par des circulations d'eau).

Il convient de s'assurer de la comptabilité des matériaux injectés vis-à-vis des contraintes environnementales.

Il faut au préalable établir un barrage pour circonscrire la zone à traiter. L'injection se déroule ensuite en deux phases : emplissage gravitaire puis clavage (coulis plus riche en ciment).

Les caractéristiques mécaniques du coulis doivent être adaptées : l'ICG de Paris demande des résistances à 90 jours de 2 à 2,5 MPa pour des espaces verts en surface, de 4,5 à 5 MPa dans le cas de constructions.

Un ordre de grandeur pour la densité des forages d'injection est donné par les maillages ci-après : 3x3 m ou 4x4 m sous une construction, 5x5 m à 6x6 m sous une voirie et en périphérie de construction, 8x8 m à 10x10 m sous un espace vert.

La pression d'injection est faible, de façon à éviter de causer des désordres au voisinage : 0,1 à 0,3 MPa.

Le coût est très variable selon les chantiers. Il est fonction du dosage en ciment des coulis, des quantités mises en oeuvre, des facilités d'approvisionnement.

On ne peut donner qu'une fourchette : 200 à 1500F par m³ de matériau injecté.

Un cas particulier est le traitement d'une zone effondrée. Deux parties doivent être traitées :

- au niveau de la carrière : injection des éboulis foisonnés après ceinturage de la zone effondrée (construction de murs si le secteur est accessible ou de barrière par injection dans le cas contraire).
- dans la zone décomprimée au-dessus de la cavité : traitement de consolidation. On injectera un coulis plus fluide sous une pression de 0,3 à 1 MPa, en veillant à ne pas provoquer le soulèvement des ouvrages environnants.

b) Techniques de prévention passives

Ce sont des actions au niveau de la construction ou de sa fondation destinées à la rendre insensible aux dégradations dues à l'évolution de la cavité. Ces techniques sont utilisées dans le cas de carrières inaccessibles ou considérées comme telles en raison de conditions de sécurité insuffisantes et possédant un recouvrement d'épaisseur suffisante. Elles s'appliquent essentiellement aux constructions et ouvrages neufs.

- Renforcement de la structure d'une construction

Le principe est de rendre la construction quasi-monolithique : chaînages, fondations superficielles renforcées. Les fondations sont calculées pour répondre à une condition de fontis définie selon l'expérience locale.

Cette solution est en principe réservée aux cas de petits vides dont la répartition est inconnue : karst, marnières, sapes, sites imparfaitement remblayés, foisonnés ou décomprimés.

- Réalisation de fondations profondes

Le principe consiste à reporter la surcharge au-dessous du niveau des carrières au moyen de puits ou de pieux. Il faut évidemment vérifier qu'il n'y a pas d'autres niveaux exploités sous la pointe des pieux de fondation.

Il y a nécessité de ceinturage des pieux ou de chemisage, à la traversée de la cavité.

On notera que la réalisation de fondations profondes n'empêche pas la remontée des fontis, avec les conséquences évidentes : danger aux abords de la construction, désordres dans les caves et les sous-sols, possibilités de frottement négatif ou d'efforts horizontaux sur les pieux qui doivent être armés,

On pourra donc jumeler cette solution avec un remplissage ou des renforcements ponctuels.

- Adaptation des réseaux souterrains

L'objectif est de limiter les risques de rupture et en particulier d'éviter les fuites d'eau qui peuvent accélérer le processus de dégradation d'une cavité.

On procédera soit par renforcement, soit en utilisant des raccords souples et déformables.

- Adaptation de la voirie

Le renforcement de la structure de chaussée par des nappes de géotextiles réduit la déformation et donc limite le risque d'accident, mais n'évite pas certains désordres.

Cette méthode est utilisée lorsque les vides sont soupçonnés mais non identifiés et localisés.

c) Techniques de suppression du vide souterrain

- Foudroyage

Le foudroyage est un procédé courant dans les mines.

Pour les carrières, il se révèle bien adapté lorsqu'il est prévu dès l'exploitation (géométrie régulière des piliers notamment) : c'est l'affaissement dirigé.

Même dans ce cas là, il peut subsister quelques vides résiduels. Par ailleurs le sol est très remanié et le terrain n'est pas considéré comme constructible. L'utilisation en espaces verts, en revanche, est tout à fait possible.

Dans le cas de carrières accessibles, mais non conçues à l'origine pour cette technique, la prudence s'impose et dans la plupart des cas un traitement des vides résiduels sera nécessaire. Pour les carrières non accessibles, le résultat est trop aléatoire.

- Terrassement de la cavité

La technique consiste à mettre à jour la cavité par terrassement et de procéder à un remblaiement avec compactage.

C'est une solution possible lorsque la carrière est à faible profondeur.

3. Critères de choix d'une solution

Parmi les différentes techniques de prévention disponibles, le choix d'une solution sera guidé par un certain nombre de données, regroupées ci-dessous en cinq familles, pour lesquelles les principales questions à se poser sont présentées.

Il faut insister sur le fait qu'une bonne reconnaissance des terrains et des vides est une condition indispensable pour que le géotechnicien puisse utilement contribuer au choix optimal.

a) Aménagements actuels ou prévus

Quelle est l'occupation du sol en surface : actuelle, en projet ? Avec quelle présence humaine permanente, occasionnelle ?

Y a-t-il une utilisation du vide souterrain : actuelle, en projet ? (champignonnière, stockage, musée ...).

b) Objectifs de sécurité recherchés

Veut-on seulement protéger les vies humaines ? Veut-on aussi limiter les désordres aux ouvrages ? Quelle est la tolérance des constructions et ouvrages vis-à-vis des déformations en surface ? Cas d'une construction, d'une ligne de TGV, de voirie, de terrain de sport ...

Quel degré de fiabilité exige-t-on ? recherche-t-on le "risque nul" ? Cette question s'applique aussi bien au niveau d'une cartographie des risques qu'à celui d'une confortation ponctuelle de sous-sol.

c) Données du site naturel

Quel est le contexte géologique (qualité du matériau, pendage des couches, fracturation, présence d'éventuelles nappes, etc...).

Quel a été le mode d'exploitation ? Quelle est la géométrie de la carrière (profondeur, hauteur et largeur des galeries) ? Quelle est la superficie sous-minée ?

Quel est l'état de la carrière ? (sain, avec quelques chutes de toit ou écaillages de piliers, avec des désordres généralisés, etc..).

A quel type de rupture faut-il s'attendre ? Quels seront la nature et les dimensions probables des désordres en surface ?

d) Contraintes pour les travaux de prévention

Est-il possible d'accéder à la carrière de façon économique (accès à pied ou en véhicule, existant ou réalisable) ? Est-il possible, compte tenu de l'état de la carrière, de travailler sans risque pour les personnes ? La carrière est-elle parfois inondée ?

Quelle est l'accessibilité en surface ? peut-on installer une centrale d'injection ? Faire des sondages ?

Y a-t-il des matériaux disponibles à proximité pour le comblement ?

e) Enveloppe financière disponible ?

On n'insistera pas sur le problème du coût, si ce n'est pour souligner que la plupart des solutions de mise en sécurité d'une maison individuelle sont trop onéreuses pour pouvoir être acceptées et mises en oeuvre. La seule reconnaissance par forage (deux forages à 30 m de profondeur par exemple) est bien souvent trop lourde à supporter pour un propriétaire individuel.

Conclusions

Le choix d'une solution ou d'une stratégie de mise en sécurité, on le voit, est du ressort d'un homme de l'art qui devra tenir compte, dans ses propositions, des objectifs et des contraintes énoncées par le propriétaire des lieux (Maître d'Ouvrage). Le projet final d'aménagement, quant à lui, pourra utilement tenir compte des contraintes et des ressources du site, telles qu'elles apparaîtront à l'issue des opérations de reconnaissance.

Le projet d'aménagement et de mise en sécurité d'un secteur sous-miné par d'anciennes carrières souterraines passe donc en général par plusieurs phases interactives entre aménageur et géotechnicien.

La remarque d'ordre financier, présentée ci-dessus à l'échelle d'un particulier, s'applique également à l'échelle d'une propriété foncière plus importante, voire d'une commune. La qualité du diagnostic et l'analyse du risque revêtent alors toute leur importance.

Un diagnostic fiable associé à une procédure de surveillance du site constituée, vis-à-vis d'un risque naturel, une stratégie d'attente intéressante : les mesures apportant une solution ne sont pas prises immédiatement, mais reportées en fonction du risque.

C'est la procédure qui permet d'échelonner et de planifier le coût des travaux et de gérer ainsi au mieux l'aléa que constituent les carrières souterraines abandonnées.

Annexe 8

—

Base de données BDCavités

1. Présentation

L'outil informatique Base de Données nationale sur les Cavités souterraines (BDCavités) a été développé dans le cadre des inventaires départementaux des cavités souterraines. La base s.s. est gérée par le BRGM en collaboration -pour ce qui concerne la fourniture de données- avec l'INERIS, le LCPC et les services RTM avec le soutien du Ministère de l'Education Nationale, de la Recherche et de la Technologie et de celui de l'Ecologie et du Développement Durable.

Ce projet répond à un besoin national et local, et la base a pour objectif de centraliser et de mettre à disposition, via Internet et dans le réseau d'agences régionales du BRGM, l'information concernant les cavités souterraines sur le territoire métropolitain.

2. Architecture et champs de base de BDCavités

Parmi les outils informatiques développés, se distinguent, dans la base centrale (sous Oracle) à partir de laquelle sont faites les interrogations du site Internet, l'interface Web du site correspondant et un applicatif local permettant les saisies régionales ainsi qu'une interface de saisie centralisée via le réseau interne BRGM.

Le contenu thématique sera variable en fonction du type de cavité étudié.

Deux grands types de cavités souterraines sont à distinguer : les cavités d'origine naturelle et les cavités d'origine anthropique, et parmi celles-ci les types déclinés ci-dessous.

a) Cavités souterraines d'origine anthropique

- Cavités souterraines abandonnées :
 - carrières (intègrent les différents modes d'exploitation, la présence éventuelles de plusieurs étages, leur état, ...),
 - caves,
 - ouvrages souterrains de génie civil,
 - ouvrages souterrains militaires.

b) Cavités souterraines d'origine naturelle

Pour modéliser ces différents types de cavités, deux notions, ou entités, distinctes ont été dégagées :

- une entité localisée par l'enveloppe simplifiée (site) de son emprise au sol (carrière, cave) ou par un réseau de segments (réseau de cavités naturelles) ;
- une entité localisée par un seul point (ouvrage de carrière, de cave, orifice de cavité naturelle, ouvrage souterrain civil ou militaire).

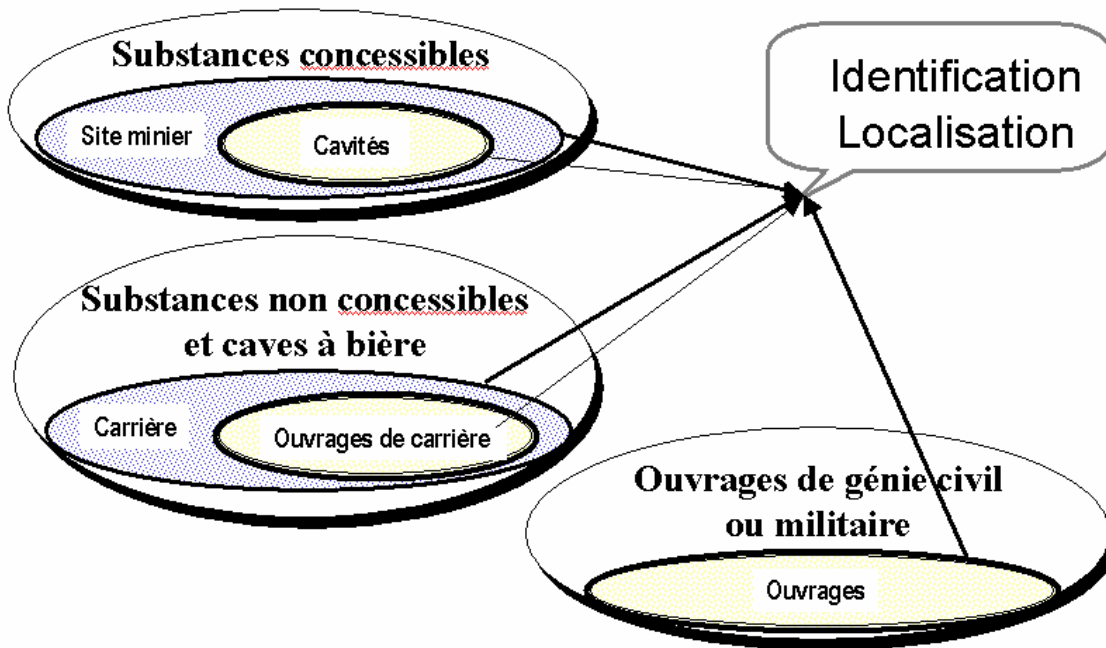


Figure 1 - Thème « identification/localisation » de la base de données pour les cavités anthropiques

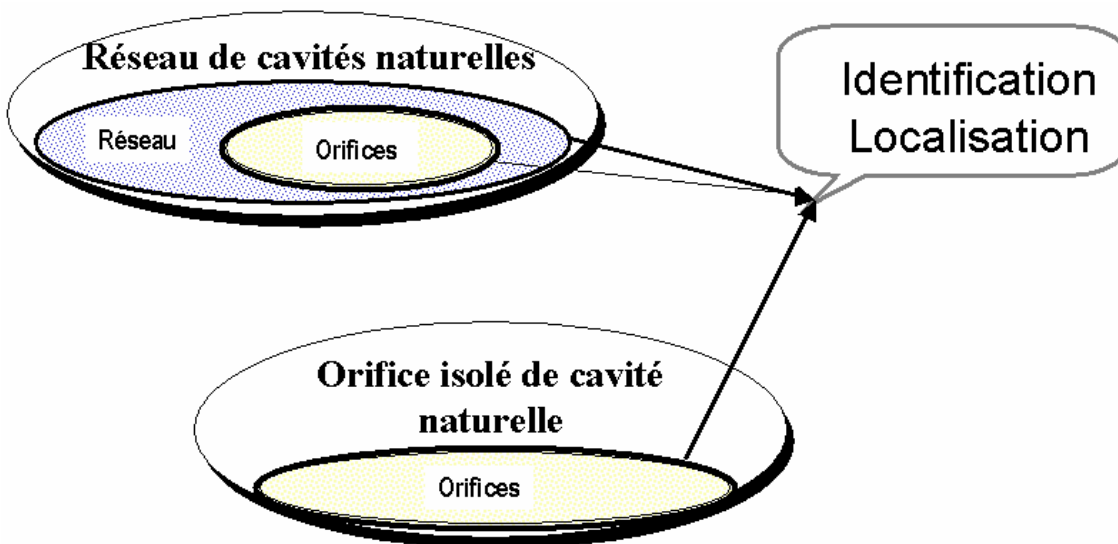


Figure 2 - Thème « identification/localisation » de la base de données pour les cavités naturelles

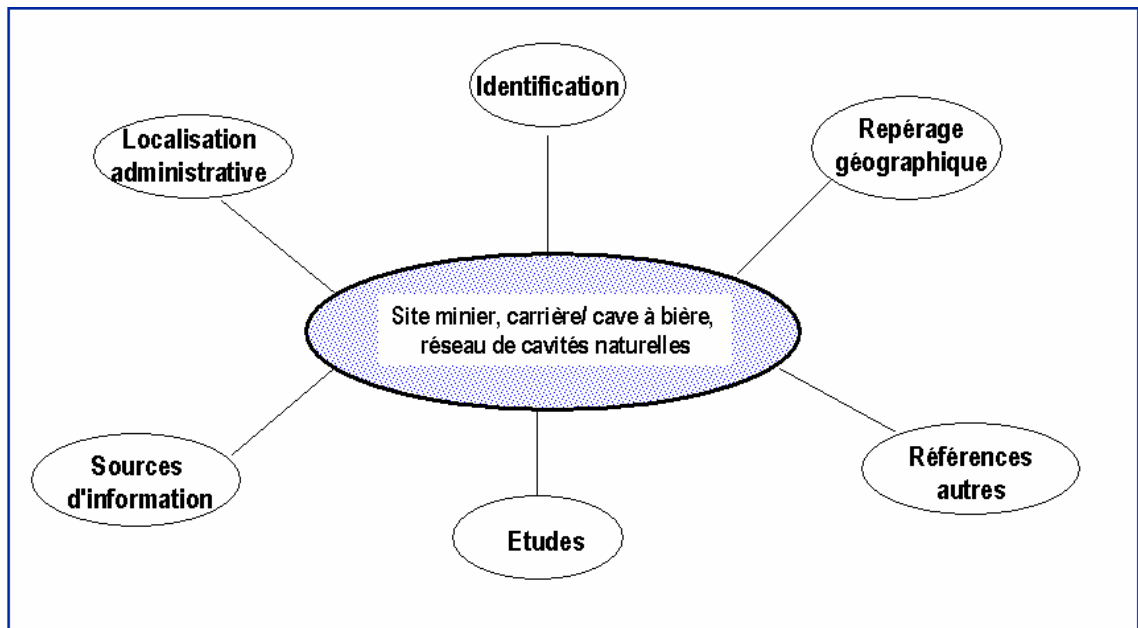


Figure 3 - Autres thèmes spécifiques à chaque type de site

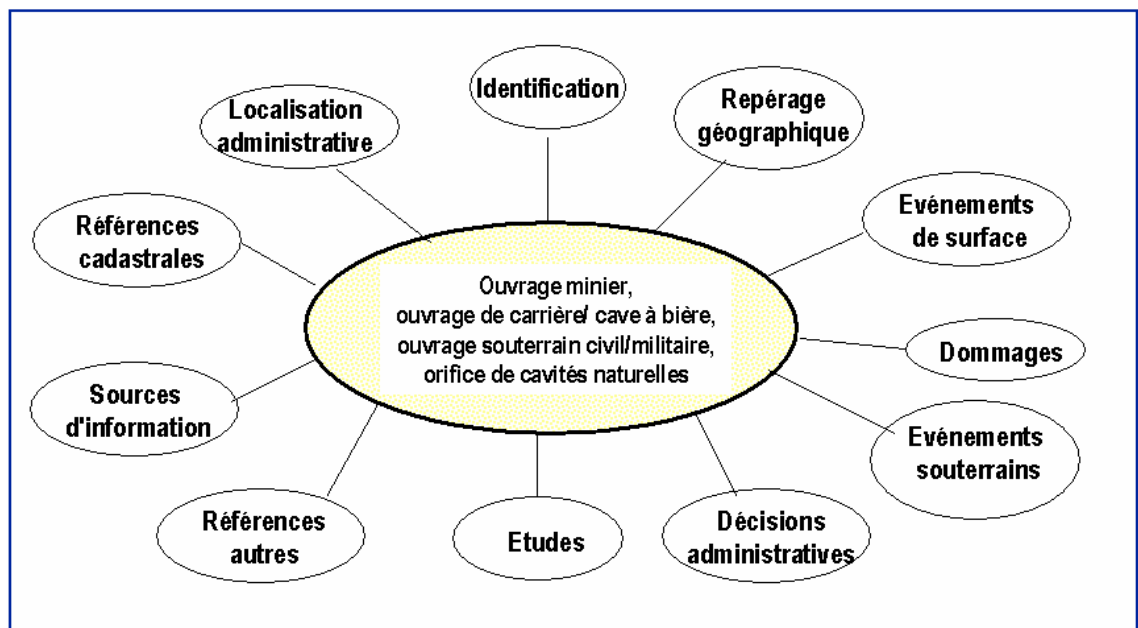


Figure 4 - Autres thèmes spécifiques à chaque type de cavité identifiée

L'utilisation de ces deux notions permet une identification et une localisation par entité, indépendamment du type de cavité telle que le montre la Figure 1 et la Figure 2. Le thème « identification/localisation » est le « tronc commun » du modèle conceptuel de données des divers types de cavités souterraines. D'autres thèmes spécifiques à chaque type de cavité sont accessibles (Figure 3 et Figure 4).

La base BDCavités dont il est question ici ne concerne pas les cavités d'origine minière. Les figures suivantes (Figure 5 et Figure 6) donnent quelques exemples de descriptions synthétiques de cavités de type anthropique.

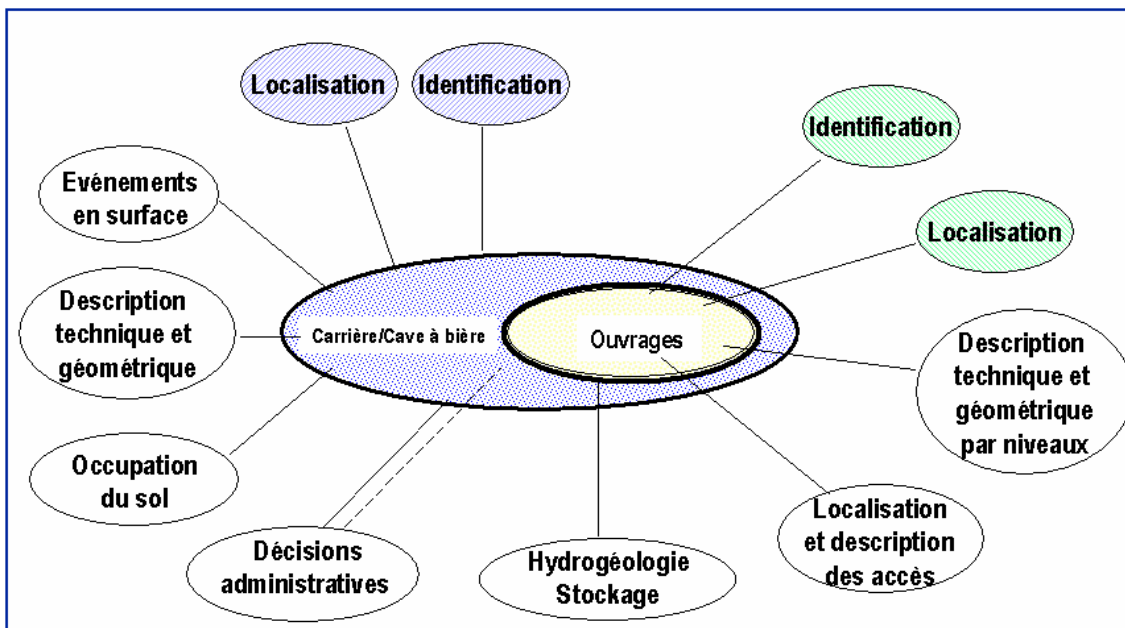


Figure 5 - Cas d'une carrière ou d'une cave

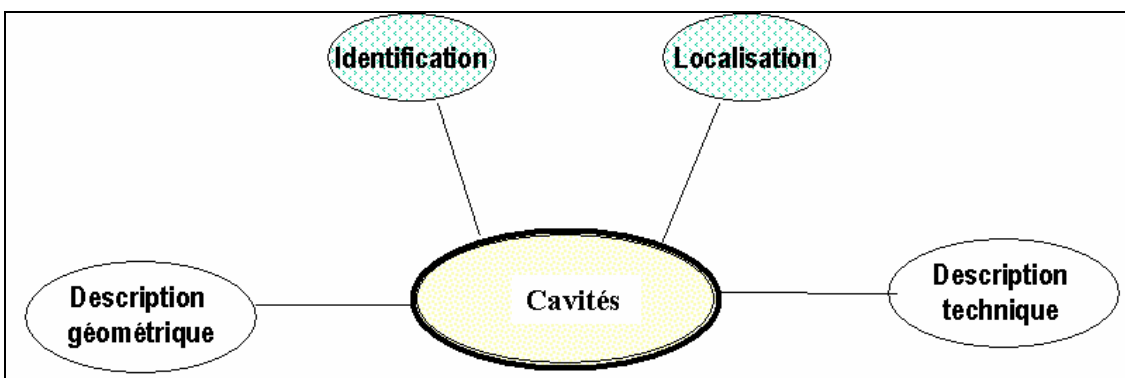


Figure 6 - Génie civil

3. Acquisition des données

L'acquisition des données se fait via l'appliquatif « Cavisout » (§4) et essentiellement à partir d'inventaires effectués par le BRGM. L'origine des informations est diverse, leur provenance peut aller d'un simple dépouillement d'archives plus ou moins complètes, à des visites de terrain. La saisie des données est réalisée par les Services Géologiques Régionaux du BRGM.

L'outil, fourni dans le cadre de la convention liant la commune de La Chapelle-Saint-Mesmin et le BRGM, permet également de saisir et/ou modifier les informations en base locale uniquement. Pour la mise à jour de la base nationale et du site Internet, l'intervention du BRGM est nécessaire.

4. Interfaces « cavité » et « description » de l'appliquatif Cavisout

The screenshot shows the 'Gestion des Cavités souterraines' application window. The 'Cavité' tab is active, displaying a form for data entry. The form includes fields for 'Identifiant' (CENAA0013169), 'Département' (28 Eure-et-Loir), 'Communes' (28265 MONTLONDON), 'Nom' (MONTLONDON, souterrain), 'Genre' (ouvrage civil), 'Nature' (ouvrage linéaire), 'Statut' (abandon), 'Confidentialité' (public), 'Repérage' (extrémité d'un ouvrage souterrain civil type tunnel sans pente), 'Positionnement' (situation approchée), 'Date de Mise à jour' (25/06/2004), 'Auteur' (Rodicq), 'Source coord.' (carte au 1/25000), 'Date validité' (04/05/210), and 'Site père'. A 'Description géographique' section contains 'Zone Lambert' (5 Lambert 2 Etendu), 'Précision des coordonnées' (25), and coordinate fields for X (km), Y (km), Z (m) and X (m), Y (m). A red warning message states: 'Attention, le symbole décimal est le point et non la virgule'. Buttons for 'Ajouter', 'Ajouter automatiquement un site père', 'Modification', 'Supprimer', 'Description', 'Décisions Administratives', 'Exporter vers Excel', and 'Imprimer' are visible.

Figure 7 - Interface « cavité » de l'appliquatif Cavisout

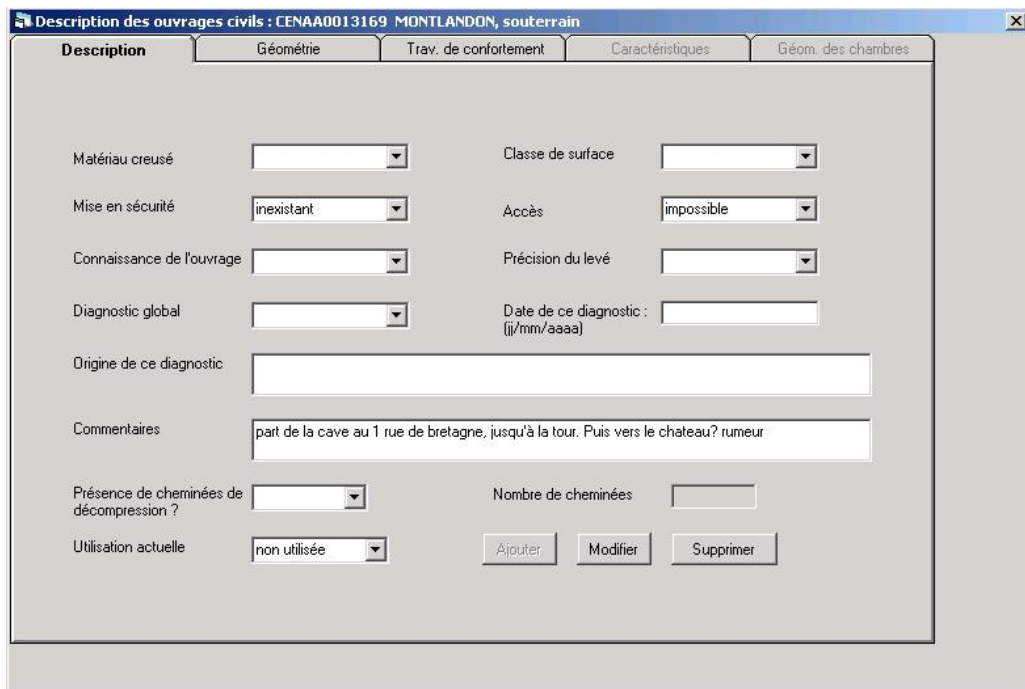


Figure 8 - Interface « description » de l'appli Cavisout

5. Mise à disposition de l'information

La mise à disposition de l'information saisie par le BRGM s'effectue grâce au site Internet www.bdcavite.net ou <http://bdcavite-redirect.brgm.fr/>. La Figure 9 montre l'interface d'accueil du site ainsi que ses principales fonctionnalités.

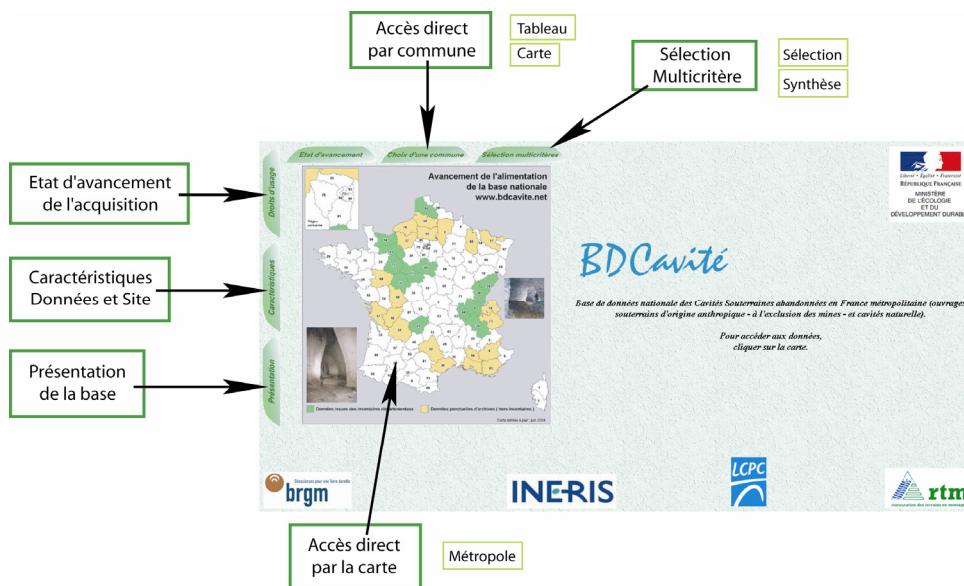


Figure 9 - Présentation du site internet



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 6009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional Centre
3, avenue Claude Guillemain
BP 6009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 31 92