BILAN Plan national

Prévention du risque d'effondrement de cavités souterraines 2013 - 2015

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE

Ministère de la Transition écologique et solidaire

www.ecologique-solidaire.gouv.fr

Photographies couverture :

1. Effondrement d'une cavité karstique à Gidy (45) suite à l'inondation de la Retrève en mai-juin 2016 © BRGM - G. NOURY
2. Remontée de fontis dans la carrière souterraine de Saint Maximin (60) MTES - S. Mahé
3. Effondrement au niveau d'un parking (45) MTES - S. Mahé

Sommaire

Introduction 2

1. Les actions menées 4

1.1. Axe A → Favoriser l'émergence de stratégies locales de prévention du risque 4

1.2. Axe B → Informer, former et sensibiliser les acteurs de la prévention du risque 8

1.3. Axe C → Améliorer le savoir et mieux partager la connaissance 13

2. Les outils de communication 16

2.1. Les deux journées nationales sur la prévention du risque d'effondrement de cavités souterraines 16

2.2. Les guides et outils mis à disposition 17

2.2.1. Les outils mis à disposition des collectivités 17

2.2.2. Les guides mis à disposition de la communauté scientifique 18

3. Les suites données au Plan National Cavité 22

Introduction

Les cavités souterraines sont présentes sur une large partie du territoire français. Elles peuvent être d'origine naturelle, en lien avec la dissolution de la roche en sous-sol, ou bien d'origine anthropique, suite à l'extraction de la roche ou au creusement d'anciennes constructions souterraines. Leur localisation, qui n'est pas toujours exacte ou même connue, soulève des problématiques liées à l'aménagement du territoire dans les zones urbanisées ou urbanisables.

Dès 2010, l'idée de lancer un plan national est engagée. C'est en 2011 qu'un projet national structuré en quatre axes et treize actions est proposé en consultation auprès des collectivités et des différents organismes déconcentrés concernés par ce risque. Les retours sur cette proposition de plan d'actions mettent en évidence un besoin d'aide pour la prise en charge des cavités par les collectivités et une nécessité de clarification en ce qui concerne la gestion du risque et des responsabilités des acteurs. Dans ce contexte et après réévaluation du projet initial, le projet définitif est établi en 2012. Le Plan national pour la prévention du risque d'effondrement de cavités souterraines dit « Plan National Cavité (PNC) », organisé selon trois axes et neuf actions (voir encadré), a été lancé en 2013 et s'est achevé en 2015.

Axe A → Favoriser l'émergence de stratégies locales de prévention du risque :

Action 1 : faciliter la politique d'intégration du risque dans l'aménagement du territoire

Action 2 : élaborer un dispositif contractuel entre l'État et une collectivité

Action 3 : appuyer l'expertise de proximité en favorisant l'émergence de services spécialisés dans la gestion des cavités

Action 4 : rédiger et diffuser à l'intention des maires une synthèse et un guide pratique définissant le cadre réglementaire et juridique sur les cavités

Axe B → Informer, former et sensibiliser les acteurs de la prévention du risque :

Action 5 : améliorer l'information du public sur le risque « cavité souterraine »

Action 6 : former les acteurs clés de la prévention du risque

Action 7 : inciter à la prévention de ce risque en s'aidant du caractère patrimonial de certaines cavités

Axe C → Améliorer le savoir et mieux partager la connaissance :

Action 8 : structurer et mettre en œuvre un programme national de recherche et développement

Action 9 : rédiger et diffuser des guides techniques à l'attention des maîtres d'ouvrage

Le Plan National Cavité avait pour objectif de guider les collectivités dans la gestion du risque lié aux cavités souterraines à l'aide de la mise en place d'une politique d'aménagement structurée. Il s'agissait également d'un moyen pour sensibiliser et mobiliser les acteurs (État, collectivités, professionnels, organismes techniques...) et ainsi développer des actions de prévention.

Lors de la période d'application du PNC, deux colloques ont été organisés afin d'informer les principaux acteurs et d'échanger avec le public concerné sur les actions menées dans le cadre de ce plan. Le premier a eu lieu en octobre 2013, au moment de son lancement. Il a permis aux représentants des collectivités concernées par la présence de cavités souterraines sur leur territoire de faire part de leur expérience et de leurs opérations en cours de réalisation. Le second colloque, organisé au mois d'octobre 2015, s'est plus particulièrement intéressé à l'état d'avancement du PNC et en a présenté les actions phares ainsi que les principaux résultats obtenus.

Des informations supplémentaires sont présentées dans le paragraphe 2.1. du présent bilan.

Ce bilan a pour objectif de présenter les actions menées, les principaux résultats obtenus ainsi que les suites à donner à certaines actions.

Colloque du 15 octobre 2015 (B. Suard - Terra).

1. Les actions menées

1.1. Axe A → Favoriser l'émergence de stratégies locales de prévention du risque

Action 1 : faciliter la politique d'intégration du risque dans l'aménagement du territoire

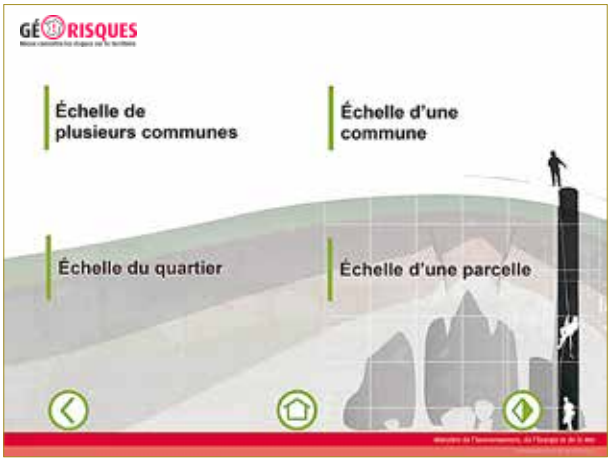
Cette première action du PNC avait pour objectif d'aider les collectivités territoriales à intégrer le risque lié aux cavités souterraines dans leur politique d'aménagement du territoire. Le but était d'orienter les maires vers les outils les mieux adaptés à leur territoire pour répondre aux problématiques qu'engendre la présence de cavités souterraines.

Dans ce contexte, un travail de réflexion, piloté par la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) et mené par le Centre d'Études et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement (CEREMA), a permis de créer **une boîte à outils** d'aide à l'aménagement, destinée aux maires et permettant d'aider les acteurs de la prévention à élaborer une stratégie locale de prévention. Cette boîte à outils se présente sous la forme d'un document informatique interactif en format PDF. Il a été construit selon trois thématiques concernant **la connaissance et la reconnaissance de l'aléa, l'aménagement du territoire** et **le financement des opérations**. Chacune est divisée en sous-thèmes faisant référence à différents contextes d'application. Par exemple, dans la partie « aménagement », si l'on cherche à gérer la contrainte du risque cavité via l'aménagement à l'échelle d'une parcelle ou d'une habitation, les outils proposés ne seront pas les mêmes suivant la stabilité de la cavité (bonne, mauvaise, indéterminée) et selon les enjeux (enjeux existants ou projets nouveaux).

Le contenu de la boîte à outil est détaillé plus précisément dans le **paragraphe 2.2.1.** du présent bilan.

La DGPR et le CEREMA ont organisé une journée d'échange en février 2015 qui accueillait une assemblée d'une quarantaine de participants composée de représentants de DDT, de DREAL, de collectivités territoriales concernées par les cavités et d'organismes spécialisés. L'objectif de cette réunion d'étape était de faire évoluer l'architecture des arborescences « connaissance et reconnaissance de l'aléa » et « aménagement du territoire » afin de rendre la boîte à outil la plus fonctionnelle et opérationnelle possible.

Première page de l'outil d'aide à l'aménagement (Géorisques).



Exemple de contexte dans l'arborescence « aménagement » (Géorisques).

Action 2 : élaborer un dispositif contractuel entre l'État et une collectivité – le Programme d'Action de Prévention des Risques Cavités (PAPRICA)

La deuxième action du PNC est considérée comme une des actions phares du plan. L'objectif de cette action était de mettre en place un dispositif de contractualisation entre l'État et les collectivités, en s'inspirant du Programme d'Actions de Prévention des Inondations (PAPI) et en se basant sur des exemples, passés ou en cours, de gestion locale de cavités souterraines en ville ou agglomération. Ce dispositif permet ainsi aux collectivités d'organiser une démarche de prévention et de sécurisation de leur territoire en bénéficiant d'un appui de la part de l'État.

a. Aperçu du cahier des charges

Le cahier des charges du dispositif a été établi par la DGPR et l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS). Il précise que la participation au PAPRICA est ouverte à toute ville, commune ou agglomération ayant des territoires exposés à des zones de vide (hors concessions minières) qui souhaiterait établir une stratégie préventive liée au risque d'effondrement de cavités. Pour cela, la collectivité devra s'inscrire dans l'un des trois types de projets correspondant à divers niveaux de connaissance des cavités et de démarches de prévention :

- Le **projet d'intention** dont le but est d'établir un inventaire et un diagnostic initial du territoire considéré pour ensuite mobiliser les acteurs autour d'un programme de mesures adaptées ;
- La **démarche complète** qui aboutira à la mise en place de solutions de réduction de la vulnérabilité ;
- La **continuité d'une démarche engagée** qui permet d'encourager les expériences menées à l'initiative des collectivités.

Une fois le projet mis en place, son délai de réalisation peut être compris entre 3 et 6 ans. L'État peut apporter son aide principalement via le Fonds de Prévention des Risques Naturels Majeurs (FPRNM) pour les collectivités couvertes par un Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRN), prescrit ou approuvé. L'État peut également partiellement participer au financement de l'animation du PAPRICA, mise en place par le maître d'ouvrage.

Le PAPRICA est donc un moyen pour les collectivités de s'investir durablement dans la prévention du risque lié aux cavités en se proposant d'être porteuses du programme de prévention.

b. Lancement de la phase test

Avant de proposer ce dispositif à l'échelle nationale, une phase de test a été élaborée afin de mettre en pratique le PAPRICA et d'utiliser les retours d'expérience pour, si besoin, améliorer le cahier des charges. Pour cela, le PAPRICA a été proposé en juin 2015 à cinq collectivités pilotes. Elles ont été choisies au regard des remontées de terrain (DREAL, DDT et Réseau Scientifique et Technique, RST) selon des critères de sélection variés (le niveau du risque lié aux cavités, la géographie, le niveau de la démarche, le nombre d'habitants, l'échelle du bassin de vie, la typologie des cavités présentes sur son territoire...) dans le but de travailler sur des exemples les plus représentatifs possible de l'ensemble des problématiques rencontrées sur le territoire national.

Les premiers retours ont mis en exergue les difficultés pour certaines collectivités à s'impliquer dans le montage d'un PAPRICA. En effet, dans le cahier des charges proposé, excepté le financement de l'équipe projet, la majorité des financements proposés suit le modèle classique du FPRNM, sans priorisation par rapport aux demandes faites hors PAPRICA. D'autre part, le recrutement d'un agent, via cette ligne de financement « équipe projet », peut apparaître comme un point de difficulté si la collectivité ne peut cerner les compétences dont elle aura besoin. En outre la gestion du risque cavités n'apparaît pas toujours comme prioritaire par rapport à d'autres aléas. C'est un risque qui est généralement géré ponctuellement, à la survenue d'un problème particulier.

La réception et l'analyse des premiers dossiers permettra de cibler les pistes d'amélioration du PAPRICA.

Action 3 : appuyer l'expertise de proximité en favorisant l'émergence de services spécialisés dans la gestion des cavités

Généralement, seules les collectivités fortement impactées par la présence de cavités souterraines disposent d'un service dédié à la gestion du risque. C'est pourquoi, lors de la consultation du plan d'actions en 2011, les avis favorisaient l'émergence de services de proximité spécialisés à plusieurs niveaux (communal, intercommunal, départemental ou régional) afin de permettre aux collectivités impactées de disposer de moyens et d'aides pour la gestion des cavités.

Les conséquences engendrées par les cavités souterraines abandonnées ont incité les premiers services techniques à se créer à partir des années 1970 à l'échelle départementale. Par exemple, en 1985, le syndicat intercommunal d'Indre-et-Loire, plus connu sous le nom de Cavités 37, s'est formé suite aux demandes du Préfet et de certains maires du département. À l'échelle communale, la création de services spécialisés est généralement plus récente.

Les actions des services mis en place peuvent couvrir ces cinq missions principales :

- **l'inventaire** des cavités souterraines sur le territoire des collectivités par la création d'une base de données locale ;
- **la cartographie** des cavités découvertes en faisant appel à un cabinet de géomètres ou bien en formant du personnel en interne. Les nouvelles données sont ajoutées dans la base locale qui peut être reprise par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) pour compléter la base nationale. Cette classification permet ainsi aux acteurs concernés d'avoir accès aux informations nécessaires pour la création de documents tels que des cartes d'aléas ;
- **l'information**, à laquelle la population a accès par consultation directe ou via des procédures réglementaires ;
- **l'assistance** dans la maîtrise de l'urbanisme dans les secteurs à risques ;
- la mise en place d'une **méthodologie de suivi** des mesures préventives et de conservation des cavités souterraines.

Toutefois, pour des raisons politiques ou économiques (redéfinition des compétences des collectivités), le maintien de ces services peut poser problème. Dans le cadre du PNC, les avis et besoins des représentants de ces services ont été répertoriés pour connaître les critères essentiels au bon fonctionnement dans le long terme. Les principaux critères sont les suivants :

- une délimitation définie et étendue du bassin de risque sur plusieurs communes ;
- une qualification technique ou juridique du personnel des services pour répondre aux besoins des maîtres d'ouvrage ;
- la nécessité de missions d'assistance technique dépassant les actions d'inventaires et du Porter à connaissance local.
- l'aide au développement de la sensibilité patrimoniale du domaine souterrain.

Ces services de proximité présentent donc un réel appui réglementaire et technique pour les acteurs concernés par le risque lié aux cavités. Ils ont également un rôle de médiateur auprès de la population. Pour maintenir ou développer ces structures au niveau des collectivités territoriales, il existe des pistes d'étude :

- la constitution d'une Société Publique Locale (SPL) ou de syndicats intercommunaux soutenus par le département ou la région ;
- le développement de services déjà existants au sein d'une entité territoriale importante (agglomération, département).

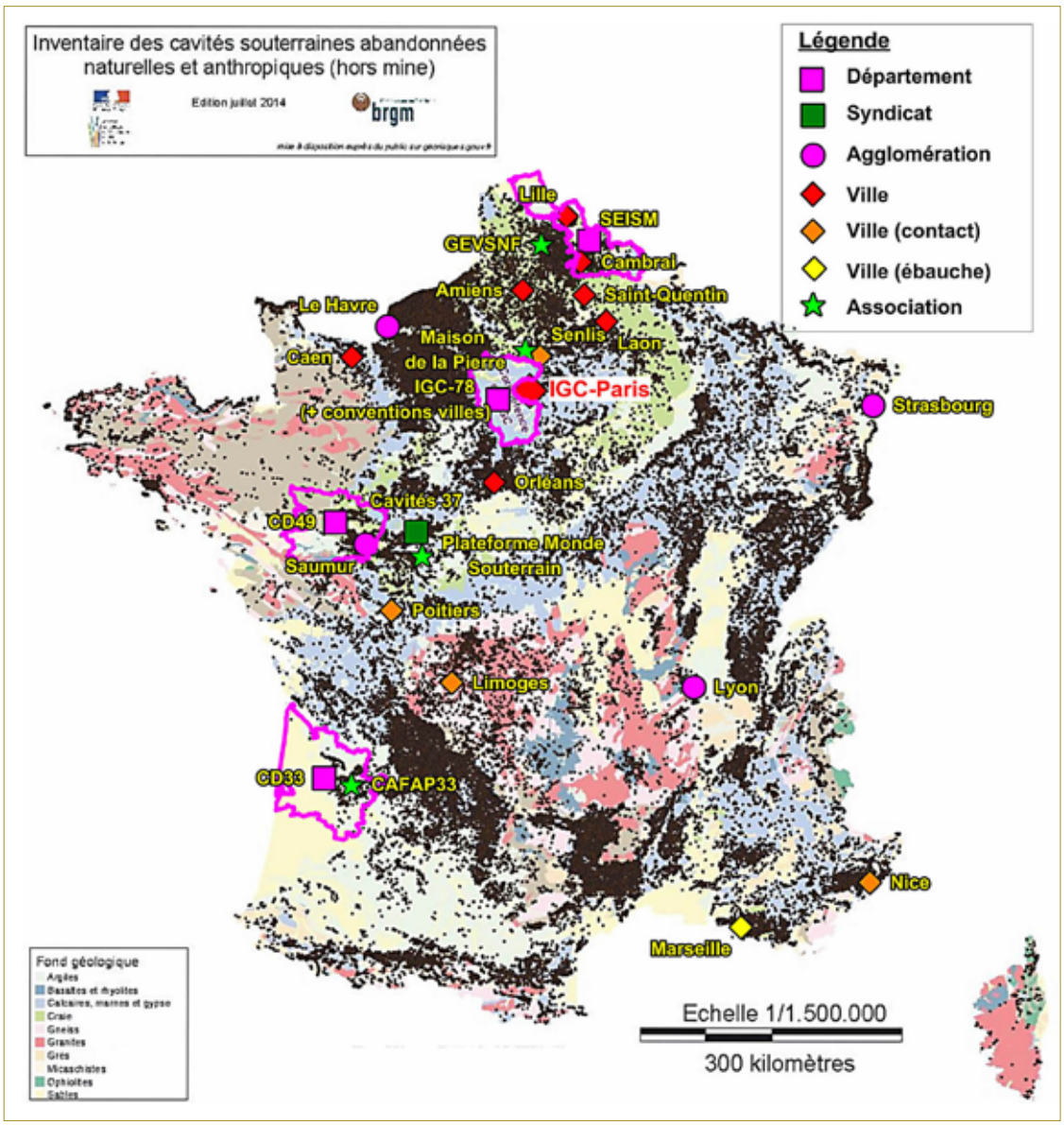
Un exemple d'organisme qui se met au service des collectivités : le syndicat Cavités 37.

Avec une cotisation annuelle de 0,70 € par habitant (pour l'année 2016, d'après le site Internet *http://cavites37.com*), une commune peut devenir adhérente et ainsi bénéficier des services tels que des relevés topographiques, l'aide à l'élaboration d'un Plan Local d'Urbanisme (PLU) en ce qui concerne la prise en compte du risque lié aux cavités souterraines. En cas de sinistre, le syndicat peut intervenir auprès de la collectivité et porter assistance en cas de catastrophe naturelle. Des études de sols sur une partie sensible d'un territoire communal peuvent être réalisées.

Le PAPRICA peut être une aide dans le développement d'un service de proximité dans la mesure où il peut subventionner la mise en place de l'équipe projet. Dans le cadre du PAPRICA, le fonctionnement du porteur de projet peut être financé par l'État à 60 % (à hauteur maximale de 24 000 € par an pendant la durée du projet). Cette aide peut permettre à la collectivité de mettre en place une équipe spécialisée ou de pérenniser un service de carrières déjà en place qui dédiera une partie de ses actions au programme du PAPRICA.

Action 4 : rédiger et diffuser à l'attention des maires une synthèse et un guide pratique définissant le cadre réglementaire et juridique sur les cavités

Suite à la consultation publique nationale du plan d'actions qui a eu lieu avant le lancement du PNC, les élus ont fait remonter leur besoin d'aide pour la recherche de solutions pratiques pour réduire le risque cavité sur leur territoire.



État des lieux (non exhaustif) des services dédiés aux cavités souterraines, octobre 2015 (BRGM-INERIS).

L'objectif de cette action était de permettre aux maires des collectivités concernées par les risques liés aux cavités souterraines naturelles ou anthropiques (hors minier) de disposer d'un document technique et juridique sur lequel s'appuyer : « **Le guide de gestion des cavités à l'usage des maires** ».

Afin d'offrir un contenu complet, partagé, compréhensible et à la portée de tous, le guide, dont la rédaction a été pilotée par le CEREMA, a été soumis à un comité de relecture composé de plusieurs organismes (établissements publics, services de l'État, collectivités) qui ont apporté leur savoir technique et scientifique, juridique et administratif.

Il est envisagé que ce guide soit disponible au second semestre 2017.

Le contenu de ce guide est décrit dans le **paragraphe 2.2.2.** de ce bilan.

1.2. Axe B → Informer, former et sensibiliser les acteurs de la prévention du risque

Action 5 : améliorer l'information du public sur le risque « cavités souterraines »

L'action 5 s'inscrit dans une démarche d'information auprès du public et des acteurs du risque lié aux cavités, en renforçant les inventaires des cavités souterraines et en facilitant l'accès aux données.

a. L'inventaire du BRGM

Les données concernant les cavités souterraines abandonnées d'origine naturelle et anthropique ont été inventoriées à l'aide **de recensements départementaux** entrepris par le BRGM à la demande de la DGPR. Le recensement a débuté en 2000 par la création de deux bases de données « bdcavité » et « bdmvt ». La « bdcavités » recense à l'échelle nationale la présence d'une cavité souterraine (toutes typologies confondues). Quant à la « bdmvt », elle répertorie tous les évènements à l'échelle nationale liés à un mouvement de terrain (effondrement de cavité, chute de blocs, glissement de terrain...). Ainsi, lorsqu'une cavité a engendré un effondrement, cette information est reprise à la fois dans la « bdcavité » et dans la « bdmvt ». Chaque inventaire, établi sur une durée de 18 mois, est fait à l'échelle départementale. Les informations recueillies proviennent des archives locales, des associations de spéléologues, des collectivités, ainsi que de différentes études techniques. À raison d'une dizaine d'inventaires départementaux de cavités chaque année, le traitement de tous les départements métropolitains est terminé depuis 2016, excepté les départements de l'ancienne région Haute-Normandie, pour lesquels le recensement est toujours en cours. En effet, en raison de la forte densité de cavités dans cette région (par exemple, on estime qu'il y a 120 000 marnières potentielles dans le département de la Seine Maritime), le recensement nécessite plus de temps. Enfin, cette base de données nationale est mise à jour annuellement à partir de nouvelles données disponibles, recueillies généralement via la réalisation d'études. Les rapports annuels de mise à jour sont disponibles sur le site Internet du BRGM[1].

b. La plate-forme Géorisques

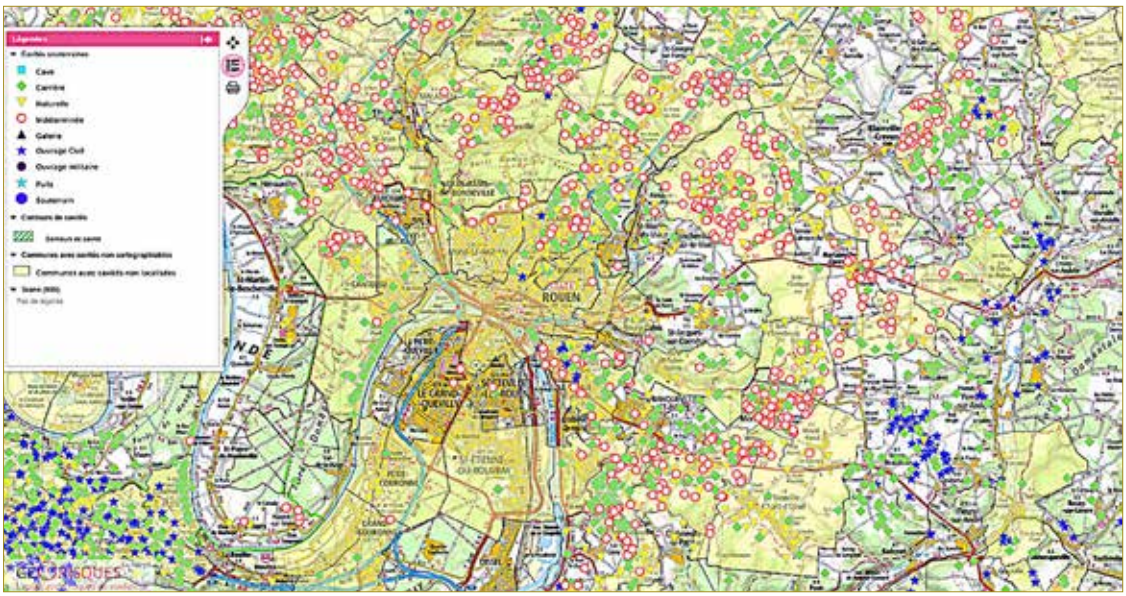
Géorisques[2], lancé en 2014, est une plate-forme gérée par la DGPR en lien avec le BRGM, qui met à disposition du public (particuliers, experts, professionnels...) les informations localisées concernant les risques naturels (séismes, mouvements de terrain, inondations...), les sites et sols pollués et les risques technologiques. Le site propose diverses méthodes d'approche :

- une recherche par **localisation** précise donnant accès aux risques répertoriés dans cette zone ;
- des **cartes thématiques** permettant d'effectuer des affichages croisés de plusieurs thèmes ;
- des **dossiers thématiques** apportant diverses informations sur le risque en question ;
- des articles thématiques en lien avec les risques naturels et technologiques.

En ce qui concerne les cavités souterraines, suite au recensement des données, toutes les cavités enregistrées sont synthétisées sur une carte, permettant ainsi de visualiser leur emplacement. Les données sont accessibles librement sous Géorisques qui affiche les deux anciennes bases de données « bdcavite » et « bdmvt ».

1 http://www.brgm.fr/production-scientifique/rapports-publics/rapports-publics
2 http://www.georisques.gouv.fr/

Page de présentation du portail Géorisques.



Carte extraite de Géorisques montrant la localisation de différents types de cavités souterraines.

Action 6 : former les acteurs clés de la prévention du risque

L'objectif de cette action était de sensibiliser les différents acteurs concernés par le risque lié aux cavités via différentes approches d'information et de communication.

La DGPR voulait développer une base de données d'images accessible au grand public sur la thématique des cavités souterraines. La mission a été confiée au CEREMA qui a constitué une équipe-projet pilotée par la Direction Territoriale Ouest (DTer Ouest) avec l'aide de l'INERIS et de l'Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR). L'équipe a choisi de mettre en place un outil-média de partage de type wiki[3] : **une photothèque**, qui est constituée d'images libres de droit couvrant un champ varié de types de cavités ou de phénomènes liés. L'alimentation de la photothèque se fait par des soumissions directes sans l'intermédiaire du gestionnaire. Les contributions sont volontaires et peuvent être externes au CEREMA : elles nécessitent

Page d'accueil de la photothèque sur wikigéotech.

simplement l'accès via un compte autorisé. Pour contribuer, il suffit de remplir un formulaire de saisie comprenant des champs obligatoires et un espace dédié aux commentaires.

Le site Internet est accessible via les adresses suivantes : *http://wikigeotech.developpement-durable.gouv.fr* (pour le wiki dédié à la géotechnique) ou *http://wikigeotech.developpement-durable.gouv.fr/index.php/Cat%C3%A9gorie:Phototh%C3%A8que_cavit%C3%A9s* (pour accéder directement à la photothèque cavités). Pour trouver des photographies ou des informations sur une ou plusieurs cavités, l'utilisateur peut effectuer une recherche dans une liste de mots-clés qui varie selon les filtres de recherche : origine de la cavité, contexte topographique, type d'affaissement en surface, facteur lié à l'instabilité de la cavité, etc. Étant donné les nombreux filtres proposés, il est possible de réaliser une recherche croisée. À chaque photo est associée une fiche descriptive donnant plus de renseignements sur la cavité et récapitulant toutes les informations, voire les autres photos transmises par le contributeur.

La formation des acteurs du risque (élus, techniciens des administrations d'État et Territoriale, aménageurs, voire associatifs de la société civile, aux responsables techniques de projets) reste une action importante à développer pour expliquer les phénomènes à l'origine du risque lié aux cavités souterraines, les moyens de les réduire et le cadre réglementaire. De nombreuses actions de sensibilisation dans ce sens se sont développées via des organismes de formation (Ponts Formation, CNFPT, INERIS Formation...) ou via des démarches locales (Cavités 37). L'État a assuré en 2016 la formation de ses agents par l'intermédiaire de l'Institut de Formation de l'Environnement (IFORE) lors d'une première session dédiée aux mouvements de terrain. Suite aux retours globalement positifs, de nouvelles journées de formation sont prévues pour la rentrée 2017.

3 Un wiki est un site Internet de partage dont la contribution se fait par les internautes autorisés.

Dans un objectif de sensibilisation des scolaires, des posters pédagogiques ont été conçus par le CEREMA, en lien avec le rectorat de Rouen. À destination du jeune public, ils donnent des informations en particulier sur l'origine des cavités anthropiques que l'on trouve dans cette région : extraction de matériaux pour la construction, la fabrication de verre, l'amendement des terres agricoles...

Posters pédagogiques (CEREMA).

Enfin, l'Université de Paris 8 de Saint-Denis prévoit **une formation universitaire diplômante** dès la rentrée scolaire 2017 : « patrimoine souterrain en environnements urbains ; gestion des risques et valorisation[4] ». Cette formation de niveau Master est issue d'un partenariat entre l'Université, la ville de Laon (Aisne, 02) et l'Association pour le développement de la Recherche et de l'Enseignement sur l'Environnement (ADREE). Elle est accessible aux professionnels et aux étudiants qui souhaitent développer leurs compétences sur tout ce qui concerne les thématiques liées aux cavités (établissement de PPRN, aménagement du territoire...). Le cursus se suit sur le campus de Paris 8 et à Laon, 3 jours par mois pendant neuf mois.

Action 7 : inciter à la prévention de ce risque en s'aidant du caractère patrimonial de certaines cavités

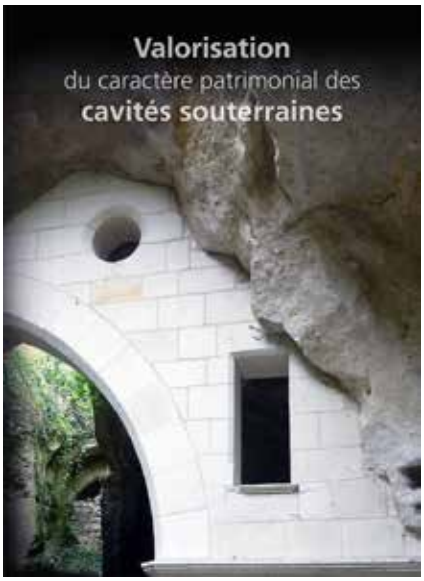
En raison des contraintes qu'elles peuvent induire, les cavités souterraines ont tendance à être perçues comme des freins à l'aménagement du territoire. De par la mise en valeur de leur caractère patrimonial, elles peuvent devenir source d'attrait, voire d'activité économique. L'attention dont elles font l'objet, notamment en termes de stabilité, permet de contrôler leur évolution dans le temps et de prévenir tout risque d'effondrement. Cette valorisation se révèle être un bon moyen de prévention. En effet, la sécurisation des structures souterraines historiques (anciennes carrières d'exploitation, abris de guerre...) entraîne la sécurisation des bâtis et infrastructures en surface. L'action 7 avait par conséquent l'objectif d'encourager ce type d'initiative qui se conjugue souvent avec l'accueil du public.

C'est dans ce contexte que Denis Montagne (ADREE), avec l'aide du service municipal d'inspection des carrières souterraines de la ville de Laon, a rédigé l'ouvrage « **Valorisation du caractère patrimonial des cavités souterraines[5]** » paru en 2015, présentant les principales problématiques à résoudre et

4 http://www.fp.univ-paris8.fr/Nouveau-en-Septembre-2017-Gestion
5 http://www.side.developpement-durable.gouv.fr/EXPLOITATION/DEFAULT/doc/IFD/IFD_REFDOC_0528140

les points à examiner en vue de l'ouverture d'un établissement souterrain : droit du sol, analyses géotechniques à réaliser pour s'assurer de la stabilité du site, surveillance, contraintes relatives à l'aménagement du site souterrain, normes à respecter pour accueillir du public, problématiques de ventilation, d'éclairage, de taux d'oxygénation, d'accès aux personnes en situation de handicap... Cet ouvrage donne également des exemples de retours d'expérience concernant des cas concrets de valorisation de cavités souterraines dont l'usage initial a été détourné pour aujourd'hui recevoir du public. Pour la plupart, ce sont d'anciennes carrières d'exploitation (de craie, de calcaire, d'ardoise ou de sable). Certaines, situées dans le Nord ou l'Est du pays, ont servi de zones de stockage ou d'abri lors de la deuxième Guerre Mondiale avant d'être réhabilitées pour l'ouverture au public. Les projets peuvent être variés ; le guide recense, entre autres, des musées expliquant le fonctionnement des carrières et les modes d'extraction, un lieu de stockage de vin dans l'Est de la France ou encore, un établissement thermal dans le Sud-Ouest de la France.

Cave à vin dans une ancienne cavité souterraine.



Couverture de l'ouvrage (D. Montagne/ADREE).

Fiche 2

Exemples de réalisations

Les thermes de Jonzac

Nature de la roche :
calcaire (Turonien)

Le site & son historique

Exemples de réalisations

Fiche 2

Les thermes de Jonzac

Année d'ouverture

Effectifs

Superficie des galeries

Equipements de sécurité, accessibilité et maintenance

Nombre de visiteurs par an

Budget

Contacts

Exemple de fiche (extrait du guide Valorisation du caractère patrimonial des cavités souterraines)

1.3. Axe C → Améliorer le savoir et mieux partager la connaissance

Action 8 : structurer et mettre en œuvre un programme national de recherche et développement

Cette action avait pour objectif de structurer et de mettre en œuvre un programme de recherche et développement pluriannuel et multi-partenarial sur la thématique de la « prévention du risque souterrain ». Les acteurs de ce programme sont les membres du Réseau Scientifique et Technique du Ministère. Des groupes de travail (GT) ont ainsi été formés avec des spécialistes de chaque organisme pour établir un programme d'actions en lien avec les cavités souterraines.

Les GT présentaient et échangeaient sur leurs travaux lors de journées plénières annuelles (des journées ont eu lieu régulièrement, en septembre 2014, janvier 2015, et juin 2016 ; les prochaines journées plénières auront lieu en septembre 2017) qui étaient dédiées aux principales thématiques relatives au risque lié aux cavités. Il s'agissait par ce biais de favoriser l'émergence de technologies innovantes, le développement de nouvelles recherches et les échanges entre les organismes scientifiques traitant de la prévention des risques liés aux effondrements de cavités souterraines. Sept GT ont ainsi été constitués et se découpaient suivants les thématiques suivantes :

- GT1 : La détection des cavités ;
- GT2 : La reconnaissance et la cartographie des cavités ;
- GT3 : L'étude du comportement à long terme des ouvrages souterrains ;
- GT4 : L'analyse de l'aléa lié aux cavités ;
- GT5 : La vulnérabilité des enjeux ;
- GT6 : Le traitement des cavités ;
- GT7 : La surveillance des cavités.

La **détection des cavités** doit d'abord passer par des recherches d'archives, de retours d'informations auprès des associations locales et de relevés de spéléologues. Ces approches nécessitent un temps important de recherche et n'aboutissent pas toujours au résultat attendu, qui est la détection ou la reconnaissance des cavités supposées ou non visitables.

Dans ce cas, il convient d'utiliser des méthodes indirectes depuis la surface, du type géophysique ou forage, et éventuellement les décapages de surface. Si ces deux dernières techniques sont bien connues et permettent de disposer de résultats conclusifs (selon les régions, les modes de forages et l'application de démarches confirmées par des opérateurs locaux constituent des gages de détection importants), elles se révèlent destructives et parfois assez coûteuses.

En revanche, les méthodes géophysiques sont souvent considérées en première approche comme utiles pour délimiter des zones susceptibles de contenir des cavités souterraines. La plupart de ces procédés restent toutefois perfectibles et nécessitent d'être régulièrement améliorés en bénéficiant des progrès technologiques. La principale technique géophysique utilisée en détection de cavités souterraines reste la micro-gravimétrie qui s'intéresse à la variation locale du champ de pesanteur dans le sol pour en déduire la répartition des masses. D'autres techniques sont complémentaires (par exemple la sismique de surface) et permettent de déduire des caractéristiques des terrains de recouvrement.

Dans ce contexte, les spécialistes du GT1 ont travaillé sur le perfectionnement de la micro-gravimétrie et sur le couplage de méthodes permettant de détecter une cavité de grande taille et peu profonde. La méthode par thermographie infra-rouge, qui permet de reconnaître les accès des cavités en fonction de la température de la surface, a également été étudiée. Les démarches de ce GT se sont orientées en priorité sur l'efficacité des méthodes couplées, et vers les ondes de surface pour mettre en avant des anomalies en zone urbaine, principalement, très contraignante pour la géophysique.

En ce qui concerne la reconnaissance des cavités, les études se sont plus particulièrement portées sur l'utilisation d'outils rapides et fiables (par exemple le Scan 3D, ou la photogrammétrie) pour obtenir une cartographie tridimensionnelle des cavités accessibles et ainsi disposer d'éléments précis pour les analyses d'aléas. Ces techniques sont aussi utilisables pour mettre en place un suivi des dégradations et ainsi permettre une visualisation 3D des ouvrages constituant également un outil de communication efficace vis-à-vis des populations exposées.

Photo d'une cavité.

Représentation 3D de la cavité par Scan 3D après traitement (INERIS, Arras)

Dans les perspectives de ce GT, l'attention a été portée sur les conditions d'utilisation de drones volants ou roulants en souterrain pour compléter les capacités d'expertise des techniciens appelés à intervenir dans ces milieux difficiles.

Les travaux impulsés au sein du GT3 sur le **comportement à long terme des ouvrages souterrains** concernent actuellement plus particulièrement la sensibilité à l'eau des grandes formations affectées par la présence de cavités (différentes craies du bassin parisien par exemple). En raison de tous les paramètres qui entrent en compte et qui diffèrent suivant les sites, la caractérisation dans le long terme s'avère très complexe et suppose de connaître et bien apprécier les divers critères (facteurs aggravants naturels ou anthropiques) susceptibles de modifier les conditions de stabilité des ouvrages. Les échanges du GT ont permis de remettre à jour et de finaliser un guide technique publié par l'IFSTTAR sur la démarche d'études de stabilité[6]. Ils ont également conduit à engager plusieurs travaux de recherche dans le cadre de thèses, pour améliorer les connaissances relatives au vieillissement des roches et à leur stabilité en présence d'eau ; et pour développer un modèle numérique de simulation de remontées de fontis.

Les travaux sur l'**analyse de l'aléa** lié aux cavités, menés par l'INERIS, le CEREMA et le BRGM, ont principalement porté sur la dissolution de gypse et les formations karstiques. L'objectif est de disposer de critères simples pour évaluer la formation et la dégradation de ce type de cavité naturelle, et à terme, disposer d'éléments pour hiérarchiser ce type d'aléa diffus. De plus, les analyses cherchent à apprécier l'influence des facteurs humains (drainage, géothermie...) sur l'extension de ces cavités de dissolution. Le travail mené vise à établir une méthodologie pour l'évaluation des aléas et d'en faire un retour d'expérience commun afin de pouvoir l'améliorer.

Les travaux du GT en lien avec la vulnérabilité des enjeux, en cours, se basent sur les études de l'INERIS, du BRGM et du CEREMA. Ils s'intéressent aux conséquences que peuvent avoir les cavités sur les enjeux de surface et en premier lieu, « le bâti ».

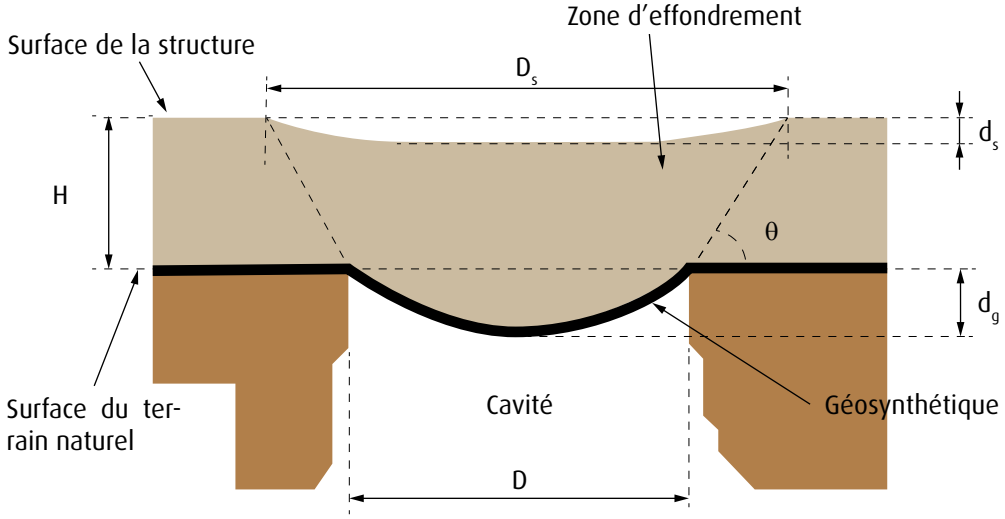
Plusieurs actions ont été engagées sur cette thématique, elles portent :

- d'une part, sur l'enrichissement de bases de données susceptibles d'être améliorées afin de mieux caractériser les dommages aux habitations ;
- d'autre part, sur le développement de modèles physiques et la réalisation de tests in situ de techniques de mise en sécurité comme l'utilisation alternative de textile géosynthétique au droit de têtes de puits. Les travaux sur la vulnérabilité s'intéressent également à la possibilité de réutiliser la Maison Individuelle Soumise à Sollicitation (MISS)[7] pour évaluer en grandeur nature les effets d'un effondrement brutal sous les fondations d'une maison.

Pour les techniques concernant le traitement de l'aléa à l'origine des cavités, plusieurs pistes ont pu être étudiées :

- L'utilisation de matériaux « alternatifs » dans la composition des produits de comblement. Un GT piloté par le BRGM a examiné les démarches à mettre en œuvre pour autoriser l'emploi de matériaux non « nobles ». Un guide à ce sujet est actuellement en cours de finalisation par le BRGM[8] ;

6 Diagnostic de stabilité des carrières souterraine, http://www.ifsttar.fr/fileadmin/user_upload/editions/lcpc/GuideTechnique/GuideTechnique-LCPC-DIAGCAR.pdf
7 Il s'agit d'une station d'essais conçue en vraie grandeur dans le cadre du projet ARGIC pour expérimenter les réactions de la structure d'une maison individuelle soumise à une forte sécheresse.
8 Guide méthodologique de comblement de cavités à l'aide de matériaux alternatifs, BRGM, version modifiée à paraître en décembre 2017.



Mise en place et utilisation du géotextile (INERIS).

- Les modes de traitement des cavités karstiques qui, du fait de l'origine et de la configuration de ces vides, présentent toujours des risques de perte de coulis et de pollution associée. Dans ce contexte, le CEREMA a suivi des opérations de mise en sécurité de karsts sous voirie et le développement de dispositifs opérationnels à base de textiles géosynthétiques ;

L'évaluation et le développement de techniques innovantes de surveillance de cavités ont fait l'objet des travaux du dernier GT. Outre l'amélioration des méthodes classiques, les échanges ont notamment porté sur le développement de techniques de surveillance à grande échelle des cavités :

- Soit avec des dispositifs micro-sismiques et/ou phoniques, utilisés seuls ou en les combinant à intervalles réguliers avec des images 3D (levées dans les cavités au scan ou en photogrammétrie) ;

Soit en utilisant depuis la surface des mesures interférométriques permettant de suivre des affaissements lents (de l'ordre du centimètre au décimètre de déplacement) pour une très grande zone, de préférence urbaine.

Des propositions ont également été faites pour mettre en place une base de stockage publique destinée à valoriser le retour d'expérience des mesures acquises sur différents sites à différentes époques. Cette démarche reste toutefois assez délicate, du fait de la plupart des données qui ne sont pas publiques.

Action 9 : rédiger et diffuser des guides techniques à l'attention des maîtres d'ouvrage

La diffusion des connaissances techniques constitue une opération indispensable dans le cadre de l'axe C et fait suite à une demande forte de la part des acteurs non spécialisés (collectivités, administrations déconcentrées), mais aussi des bureaux d'étude de référence pour disposer d'ouvrages spécialisés rédigés par les experts techniques. Dans ce contexte, plusieurs guides ont été rédigés :

- Le diagnostic de stabilité des carrières souterraines abandonnées[9] (CEREMA et IFSTTAR, septembre 2014) ;
- Le guide sur les solutions de mise en sécurité des cavités souterraines abandonnées d'origine anthropique[10] (INERIS) ;
- Le guide de surveillance des cavités souterraines d'origine anthropique[11] (INERIS, 2016).

Chaque ouvrage a été rédigé par un organisme pilote qui l'a ensuite soumis à un comité de relecture permettant ainsi d'échanger et d'aboutir à une vision partagée du contenu entre les différents organismes spécialisés.

Le contenu des guides est détaillé dans le **paragraphe 2.2.2.**

9 http://www.ifsttar.fr/fileadmin/user_upload/editions/lcpc/GuideTechnique/GuideTechnique-LCPC-DIAGCAR.pdf
10 http://www.ineris.fr/centredoc/drs-15-149564-02401b-rap-guide-traitement-cavit%C3%A9s-unique-1498660848.pdf
11 http://www.ineris.fr/centredoc/drs-16-156834-00810b-rap-guide-surveillance-unique-1484642941.pdf

2. Les outils de communication

2.1. Les deux journées nationales sur la prévention du risque d'effondrement de cavités souterraines

Afin de faire connaître le PNC auprès des collectivités, des DREAL, DDT, et autres organismes, et d'échanger autour de ses thématiques, deux colloques ont été organisés entre 2013 et 2015. Le premier s'est tenu au début du Plan, en octobre 2013, à la cité Universitaire de Paris. Deux cents personnes étaient présentes pour l'événement, dont l'objectif était de promouvoir le PNC auprès des acteurs concernés par le risque lié aux cavités souterraines. Le programme de la journée s'est articulé autour du partage de la connaissance et de l'information, de la problématique des cavités souterraines dans l'aménagement du territoire et de la présentation des outils mis à disposition des élus et des citoyens par la prévention du risque. Les actes du colloque sont disponibles sur le site internet du Ministère SIDE[12] et *téléchargeable ici*.

Colloque du 13 octobre 2013 (MTES).

Le deuxième colloque s'est tenu en octobre 2015 à l'hôtel de Roquelaure. Plus d'une centaine de personnes étaient présentes à cette journée dont l'objectif était de faire un point sur l'avancement du PNC depuis son lancement en 2013 et de présenter les principaux résultats obtenus. La journée a ainsi été l'occasion de faire un rappel général sur le PNC et ensuite de présenter les nouveaux outils mis à disposition des acteurs concernés par le risque lié aux cavités. Les actes de ce colloque sont disponibles sur le site Internet du Ministère SIDE et *téléchargeable ici*.

Colloque du 15 octobre 2015 (B. Suard - Terra)

L'objectif principal de ces deux rencontres nationales était de faire de ces journées des moments d'échanges privilégiés avec l'ensemble des acteurs de la prévention du risque cavités et en particulier les représentants des collectivités concernées.

12 http://www.side.developpement-durable.gouv.fr/

2.2. Les guides et outils mis à disposition

2.2.1. Les outils mis à disposition des collectivités

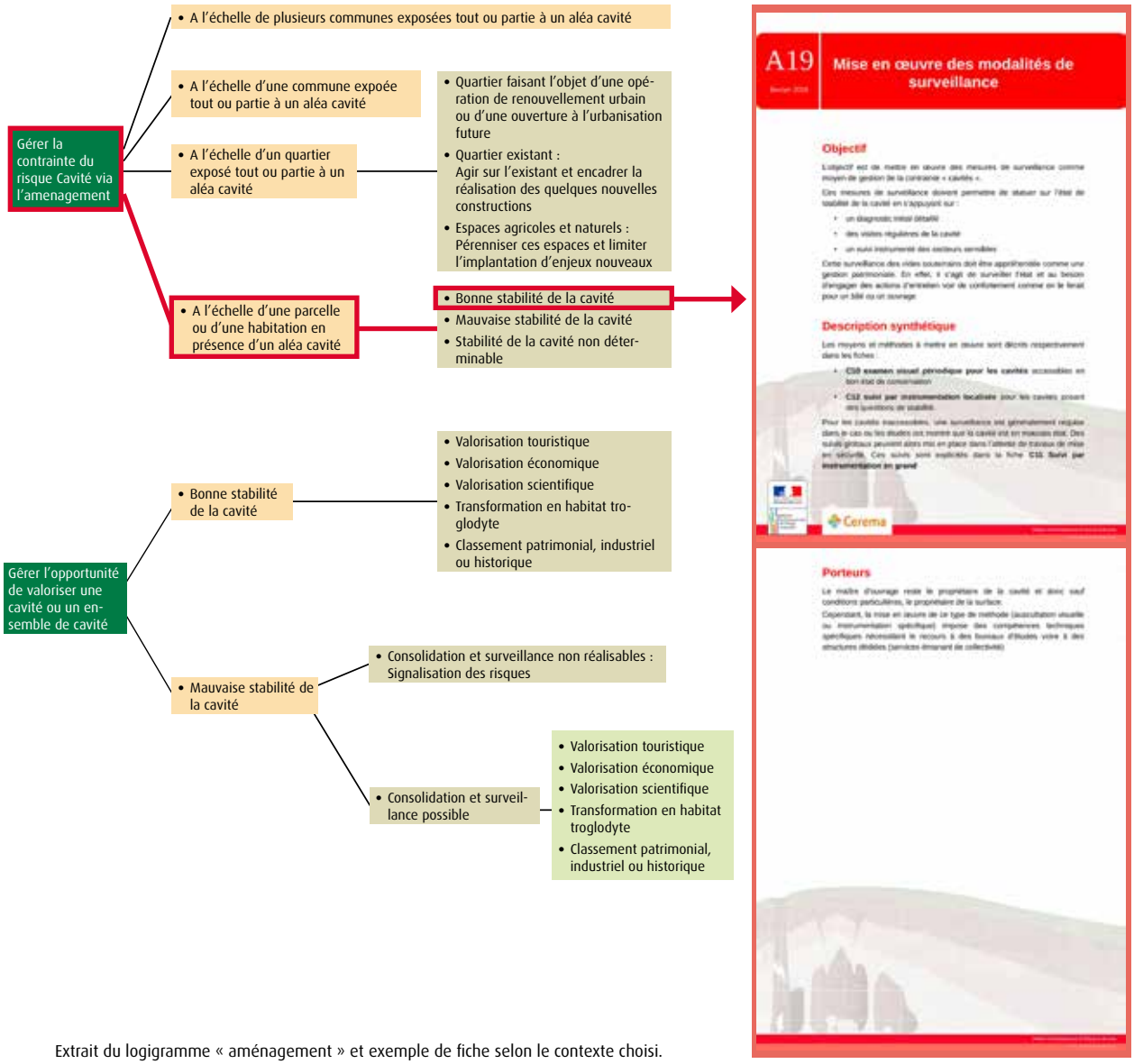
La boîte à outil d'aide à l'aménagement

Cette boîte à outils s'adresse en premier lieux aux maires. Elle a pour vocation de les aider à identifier les outils les mieux adaptés à leur territoire pour mettre en œuvre leur démarche de prévention. Elle se présente sous la forme d'un document au format informatique de type diaporama. Sa conception repose sur trois logigrammes ou arbres de décision traitant respectivement du financement, de la (re) connaissance des cavités et de l'aménagement du territoire. Chaque branche des arbres de décision pointe vers une fiche descriptive présentant un outil précis : 30 fiches pour l'aménagement, 21 fiches pour la connaissance et enfin, 8 fiches sont proposées pour le logigramme financement.

L'accès aux fiches peut se faire selon deux modes :

- En parcourant le logigramme

L'utilisateur choisit l'une des trois thématiques disponible et déroule le logigramme en sélectionnant les situations correspondant à sa propre problématique.



Extrait du logigramme « aménagement » et exemple de fiche selon le contexte choisi.

- Par accès direct

L'affichage des logigrammes dans leur totalité permet d'avoir une vision globale des trois thématiques et d'accéder directement à une fiche donnée.

La boîte à outils d'aide à l'aménagement est actuellement disponible en téléchargement sur le site Géorisques dans la rubrique dossiers thématiques.

Le guide de gestion des cavités à l'usage des maires (CEREMA)

Ce guide fournit aux maires les informations juridiques et techniques nécessaires pour gérer les problématiques liées aux cavités souterraines lorsque leur commune est concernée. Il donne ainsi des éléments de contexte et de réponse sur les quatre thématiques suivantes :

- la présentation générale des cavités souterraines (hors concessions minières), les facteurs de dégradation et les risques liés aux cavités ;
- le régime juridique des cavités souterraines abandonnées et la responsabilité du maire et autres acteurs concernés ;
- la gestion des risques liés aux cavités souterraines ;
- les différents fonds pouvant être mobilisés pour les maires pour traiter des problématiques liées aux cavités.

Ce guide sera disponible au second semestre de 2017.

2.2.2. Les guides et autres documents mis à disposition de la communauté scientifique

Le diagnostic de stabilité des carrières souterraines abandonnées (CEREMA et IFSTTAR, septembre 2014) ;

Ce guide s'adresse aux maîtres d'ouvrage, il propose un ensemble de recommandations et de méthodes permettant le diagnostic de stabilité générale des cavités souterraines. Il aborde quatre grands thèmes :

- les origines diverses des cavités souterraines, leur utilisation et l'énumération des facteurs qui entraînent les désordres ;
- la présentation des différents niveaux de diagnostic ;
- les différents moyens de reconnaissance de la dégradation des cavités en surface et les différentes méthodes de suivi de l'évolution de la dégradation ;
- l'évaluation de la stabilité des cavités.

Le document est disponible en ligne sur le site Internet de l'IFSTTAR : *http://www.ifsttar.fr/fileadmin/user_upload/editions/lcpc/GuideTechnique/GuideTechnique-LCPC-DIAGCAR.pdf*.

Couverture du guide de diagnostic de stabilité des carrières souterraines abandonnées (IFSTTAR).

Le guide sur les solutions de mise en sécurité des cavités souterraines abandonnées d'origine anthropique (INERIS) ;

Ce guide, destiné notamment aux élus, aux administrations, aux gestionnaires ou aux particuliers, traite de la sécurisation des terrains impactés par des cavités souterraines abandonnées. Il est composé de quatre grandes parties :

- les conditions et les objectifs pour la mise en place d'un système de sécurité ;
- la présentation des méthodes de traitement avant ou après effondrement d'une cavité souterraine ;
- le rappel des principales contraintes rencontrées lors de la mise en sécurité des cavités et les précautions à prendre ;
- la synthèse des méthodes de traitement de mise en sécurité selon les principaux critères (accessibilité, profondeur, pérennité de la méthode...).

Ce guide est disponible en ligne sur le site Internet de l'INERIS : *http://www.ineris.fr/centredoc/drs-15-149564-02401b-rap-guide-traitement-cavit%C3%A9s-unique-1498660848.pdf*

Le guide de surveillance des cavités souterraines d'origine anthropique (INERIS) ;

Ce guide s'adresse aux maîtres d'ouvrage et aux collectivités territoriales. Il explique comment mettre en place une politique de surveillance qui soit efficace et bien gérée. Des recommandations sont également formulées pour la mise en place de projets de surveillance. Il aborde les trois sujets suivants :

- la définition générale de la surveillance ;
- les différents points à vérifier avant d'envisager la mise en œuvre d'une surveillance ;
- la méthodologie nécessaire pour mettre au point un projet de surveillance.

Ce guide est disponible en ligne sur le site Internet de l'INERIS : *http://www.ineris.fr/centredoc/drs-16-156834-00810b-rap-guide-surveillance-unique-1484642941.pdf*

Liste (non exhaustive) des principaux rapports publics produits dans le cadre du Plan National Cavités

Le rapport de synthèse de l'opération PRECAS (2012-2016)	
Rapport Cerema/IFSTTAR, à paraître	Ce rapport, actuellement en cours de rédaction, a pour objectif de rappeler et synthétiser toutes les actions entreprises dans le cadre de l'opération Prévention du Risque d'Effondrement de Cavités Souterraines (PRECAS), pilotée par le CEREMA entre 2012 et 2016 dans le cadre du Plan National Cavité. Les divers sujets abordés concernent le traitement de la cavité et de l'aléa, la détection et le suivi par méthodes géophysiques, la localisation physique des cavités, la vulnérabilité du territoire, l'analyse de la stabilité des cavités, la connaissance de l'aléa et la diffusion de l'information.

Contribution à la caractérisation géomécanique de la craie	
Rapport INERIS, DRS-17-157284-01291A, 2017	Cette synthèse présente un état de l'art sur le comportement de la craie et détaille les principaux résultats d'essais menés à partir de sites instrumentés par l'INERIS, ainsi que des analyses réalisées dans le cadre du travail de thèse de N. Lafrance (2016)

Méthodes innovantes de résistivité électrique pour la détection des cavités – CAVEL	
Rapport BRGM, RP-64198-FR, 2014 *Rapport BRGM, RP-66631-FR, 2017*	Ces rapports posent des bases de réflexion visant à déterminer une méthodologie de prospection des cavités vides par méthodes électriques.

Préconisation pour la mise en œuvre de techniques d'auscwultation de type surcarottage dans les carrières souterraines	
Rapport INERIS DRS-16-157282-07048, 2016	Ce rapport propose des protocoles de mesures de contraintes par surcarottage adaptés aux contraintes de déploiement existant dans les cavités souterraines et avec un matériel adapté à ce milieu particulier.

Les drones et les ouvrages souterrains – synthèse des actions 2016	
Rapport INERIS DRS-16-157290-11726A, 2016	Ce rapport présente des tests de drones volants effectués en milieu souterrain et dresse un bilan des possibilités de leur utilisation dans un tel contexte.

Couplage de méthodes géophysiques pour la détection et le monitoring de cavités	
Rapport BRGM RP-64256-FR, 2014 *Rapport BRGM RP-66133-FR, 2016*	Face aux limites de l'utilisation de méthodes gravimétriques seules pour la détection des cavités souterraines, l'étude propose de coupler la gravimétrie à une autre méthode géophysique (sismique, par exemple) afin d'améliorer la détection.

Éléments techniques d'évaluation des matériaux de comblement de cavités	
Rapport BRGM, RP-66500-FR, 2016	Il s'agit, au travers de cette étude et de divers retours d'expérience, d'établir une méthodologie permettant de définir si un matériau alternatif peut être utilisé ou non en comblement de cavités souterraines.

Surveillance instrumentée des carrières souterraines – Retour d'expérience sur l'instrumentation géotechnique par capteurs de déplacement	
Rapport INERIS, DRS-15-149560-10629A, 2015	Ce document technique est une réflexion sur le caractère opérationnel de la surveillance par mesures de déformations. Il se base sur un bilan d'expérimentation de surveillances instrumentées, de la conception à l'installation, jusqu'à l'interprétation des mesures.

Études des mécanismes initiateurs des désordres dans les contextes de dissolution de gypse – Retour d'expérience et approche bibliographique	
Rapport INERIS, DRS15-149562-12454A, 2015	Ce rapport approfondit la connaissance des mécanismes initiateurs de désordres dans les environnements gypseux en réalisant un retour d'expérience, notamment sur des cas documentés de la littérature scientifique.

Préconisations pour la mise en œuvre de techniques d'auscultation dans les carrières souterraines	
Rapport INERIS, DRS-15-149556-11615A, 2015	Les objectifs de ce rapport technique sont d'une part de situer le contexte en détaillant les types d'ouvrages existants, les conditions de site et les dégradations géotechniques particulières qui les concernent, et d'autre part de présenter les principes d'auscultation présentant un intérêt dans le cadre d'études de stabilité.

Rapport dimensionnement des exploitations par chambres et piliers – Synthèse et analyse	
Rapport INERIS, DRS-15-149560-12439A, 2015	Ce rapport discute les relations permettant d'estimer au mieux le coefficient de sécurité d'une exploitation par chambres et piliers.

Approche analytique et expérimentale de l'utilisation des géosynthétiques pour réduire le risque associé à l'effondrement des cavités souterraines	
Rapport INERIS, DRS-16-149566-00014A, 2015	L'objet de ce rapport est de décrire le phénomène d'effondrement en analysant le comportement de remblais granulaires lors d'un déplacement vertical, et de vérifier la pertinence des méthodes de conception analytiques utilisées pour prédire le comportement de la nappe de renforcement.

Comportement sur le long terme et changement climatique – application au comportement des piliers d'une carrière souterraine de craie	
Rapport INERIS, DRS-15-149560-072118A, 2015	Cette étude paramétrique est basée sur une variation cyclique, pendant 100 ans, du niveau d'ennoyage d'une portion représentative d'une carrière, afin d'appréhender le comportement à long terme des piliers d'une carrière souterraine.

Valorisation des cavités souterraines anthropiques	
Rapport INERIS, DRS-15-149582-06400A, 2015	L'objectif de ce rapport est d'établir des considérations générales pour la valorisation des carrières souterraines abandonnées, dans le cadre notamment du développement de ville souterraine (projet national Ville10D).

Valorisation des cavités souterraines abandonnées	
Rapport INERIS, DRS-14-141880-11766A, 2014	Ce rapport décrit des expériences de valorisation (au sens large) ayant bien fonctionné. Il pointe également les travaux de sécurisation et de stabilisation nécessaires.

Participation au plan cavité – réduction de la vulnérabilité	
Rapport IFSTTAR, convention 2101388232, 2014 *Rapport IFSTTAR, convention 2107672190, 2015*	Ces rapports synthétisent les résultats d'avancement de chaque année de thèse de Y. Ikezouhene sur l'analyse de la stabilité des cavités souterraines anthropiques

Faisabilité de l'utilisation des drones – Synthèse des tests réalisés en 2014	
Rapport INERIS, DRS-15-149558-02423A, 2014	Dans le but d'étudier de nouvelles techniques d'observation à distance des cavités et de leur état, ce rapport présente un état de l'art sur le développement des drones de tous types, en vérifiant leur adaptation au milieu souterrain.

Évaluation de dommage de bâtis dans des zones de mouvements de terrains	
Rapport INERIS, DRS-14-141882-11779A, 2014	Ce travail d'analyse et de synthèse a pour but une actualisation des recommandations pour l'évaluation et le traitement des conséquences des mouvements du sous-sol sur le bâti.

Scanner laser 3D – Synthèse des tests réalisés avec le scanner laser 3D en 2014	
Rapport INERIS, DRS-14-141854-10374A, 2014	Ce rapport prend en compte les tests réalisés les années précédentes et explore les perspectives et les limites de l'utilisation du scanner laser 3D.

Approche multicritères de la susceptibilité et de l'aléa effondrement de cavités karstiques en contexte calcaire (Volume 1 : trame méthodologique, Volume 2 : études de sites)	
Rapport BRGM, RP-63771-FR, 2014	Sur la base d'une étude bibliographique et d'études de site, ce rapport propose une trame méthodologique permettant d'évaluer l'aléa lié aux cavités karstiques en contexte calcaire.

Interaction sol-structure en cas de grands déplacements dus aux cavité	
Rapport BRGM, RP-64164-FR, 2014	Cette étude a pour objectif d'établir des courbes de vulnérabilité pour les bâtiments soumis à de grands déplacements dus aux instabilités de cavités, en utilisant des méthodes éprouvées pour le risque sismique.

Qualité environnementale des matériaux en comblement de cavités	
Rapport BRGM, RP-64257-FR, 2014	Cette étude constitue une revue des aspects réglementaires liés au comblement des cavités, ainsi qu'un l'état de l'art des méthodes d'évaluation environnementale en condition de comblement.

3. Les suites données au Plan National Cavité

Les cavités souterraines concernent une large partie du territoire français. Il s'agit d'un risque souvent sous-estimé qui peut avoir de lourdes conséquences dans les zones urbanisées en cas d'effondrement. Le plan national cavité a permis d'aider les collectivités pour la gestion de ce risque en leur fournissant des outils plus appropriés et plus interactifs, et a ainsi créé une dynamique permettant de fédérer et de mobiliser les différents acteurs (l'État, les collectivités, les professionnels, les organismes techniques...) autour de cette thématique. Le bilan précédemment décrit a montré les objectifs atteints et les avancées effectuées à la fin du PNC en 2015. Pour assurer la continuité de la prévention des risques liés aux effondrements de cavités souterraines, des actions de prévention perdurent au-delà des trois années du plan national cavité selon plusieurs thématiques :

1. Les bases de données « bdcavités » et « bdmvt », consultables via le site Géorisques, continuent à être annuellement mises à jour par les organismes techniques. Les ajouts viennent des nouvelles données acquises et des retours d'expériences faisant suite à divers évènements plus ou moins remarquables (par exemple, les effondrements consécutifs aux inondations de mai-juin 2016 dans le Loiret).

2. La réalisation des PAPRICA a débuté pendant le PNC, elle est basée sur la contractualisation entre l'État et une collectivité. Il s'agit de projets à long terme qui s'établissent dans le temps sur une durée minimale de 3 années. Actuellement, le dispositif est toujours en phase test auprès des collectivités pilotes. À terme, il vise à promouvoir et soutenir une gestion territoriale du risque lié aux cavités souterraines afin de réduire les accidents et les conséquences qu'elles peuvent avoir sur les biens et les personnes.

3. Les actions de formation et d'information initiées au cours du PNC ont suscité un fort intérêt. L'IFORE pérennise ainsi son offre de stage sur les cavités souterraines en la renouvelant pour la rentrée 2017. Quant au wikigeotech, il reste ouvert aux contributeurs qui voudraient partager les informations dont ils disposent sur une cavité souterraine en particulier.

4. Les actions de recherche et développement, en fédérant les divers organismes scientifiques autour de thèmes communs, ont mis en marche une dynamique de collaboration qui perdure au-delà du PNC. Des axes de travail ont émergé des différentes journées plénières organisées dans le cadre du plan national, notamment des travaux sur l'effet des vibrations de surface sur les cavités, ou bien le développement de l'utilisation des drones volants ou roulant pour une meilleure cartographie des cavités souterraines. De plus, dans le cadre du PNC, des travaux de thèse multi-partenaires ont été initiés. La première, pilotée par l'IFSTTAR et co-encadrée par l'INERIS, s'intéresse aux mécanismes de propagation des fontis et à leurs conséquences en surface (thèse de Y. Ikezouhene, 2017). La seconde, dirigée par l'INERIS en collaboration avec le CEREMA, la ville de Lille et un industriel, s'intéresse à l'utilisation de nappes de géotextiles pour prévenir en surface l'effondrement d'une cavité.

5. Comme présenté dans le dernier chapitre de ce bilan, le cadre du PNC a permis l'élaboration de plusieurs guides techniques à l'usage des maîtres d'ouvrage. À ceux-ci s'ajoutent les deux guides suivants dont la rédaction est en cours :

- le guide des **méthodes de reconnaissance des cavités – synthèse des connaissances actuelles**, dont la rédaction est pilotée par le CEREMA. Il a pour objectif d'établir une démarche d'identification de l'aléa, puis, il présente les méthodes de reconnaissance des cavités souterraines par méthodes directes (plan, visites de cavités...) et indirectes (géophysique et sondages géotechniques) ;

- le guide de **gestion des aléas mouvements de terrain liés aux mécanismes de dissolution naturelle du gypse dans le sous-sol**, qui s'adresse aux acteurs locaux concernés par le risque d'apparition de cavités souterraines dans des contextes gypseux. Ce document traitera de la formation des cavités par dissolution du gypse, des moyens pour évaluer cet aléa et les solutions pour y remédier. La rédaction du guide est pilotée par l'INERIS, et partagée avec le CEREMA.

Le Plan National Cavité a ainsi permis de lancer une dynamique dans laquelle se sont investis de nombreux acteurs concernés par le risque d'effondrement de cavités souterraines. Ce plan est aujourd'hui terminé, mais une partie des actions initiées ont vocation à s'installer dans le temps, permettant ainsi de pérenniser le travail déjà accompli, en particulier, l'action de recherche et développement dans laquelle le réseau technique et scientifique du Ministère en charge de l'environnement est impliqué depuis le début.

Les prochains avancements sur la prévention des risques liés aux effondrements de cavités pourront donner lieu à une nouvelle rencontre nationale permettant ainsi aux acteurs concernés, et en premier lieu les collectivités territoriales, de suivre les avancées techniques et scientifiques dans le domaine.

Liste des sigles

ADREE	Association pour le Développement de la Recherche et de l'Enseignement sur l'Environnement
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
CEREMA	Centre d'Études et d'Expertises sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement
CNFPT	Centre National de la Fonction Publique Territoriale
DDT	Direction Départementale des Territoires
DGPR	Direction Générale de la Prévention des Risques
DREAL	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
Dter Ouest	Direction Territoriale de l'Ouest (du CEREMA)
ERP	Établissement Recevant du Public
FPRNM	Fonds de Prévention des Risques Naturels Majeurs
GT	Groupe de Travail
IFORE	Institut de Formation de l'Environnement
IFSTTAR	Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux
IGC	Inspection Générale des Carrières
INERIS	Institut National de l'Environnement industriel et des Risques
MISS	Maison Individuelle Soumise à des Sollicitations
PAPI	Programme d'Actions de Prévention des Inondations
PAPRICA	Programme d'Actions de Prévention des Risques liés aux Cavités
PLU	Plan Local d'Urbanisme
PNC	Plan National Cavité
PPRN	Plan de Prévention des Risques Naturels
PRECAS	Prévention du Risque d'Effondrement de Cavités Souterraines
RST	Réseau Scientifique et Technique
SPL	Société Publique Locale

Ministère de la Transition écologique et solidaire

Direction générale de la prévention des risques

Service des risques naturels et hydrauliques

Bureau des risques naturels terrestres

Tour Séquoia - 92055 La Défense cedex
Tél. : +33 (0)1 40 81 21 22

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE
DE LA TRANSITION
ÉCOLOGIQUE
ET SOLIDAIRE

Conception graphique : MTES/MCT/SG/SPSSI/ATL2/E. RILLARDON - Crédits photos : B. Suard - Terra, Fotolia - impression : MTES/MCT/SPSSI/ATL2 - imprimé sur du papier certifié écolabel européen - octobre 2017