

RAPPORT D'ÉTUDE
DRS-13-132929-03169A

18/07/2014

**Assistance à Maîtrise d'Ouvrage pour la
réduction du risque lié à la présence de cavité
souterraine**

**Phase 1 : Document de sensibilisation du Maire
au risque lié à la présence de cavités
souterraines sur sa commune**

INERIS

maîtriser le risque |
pour un développement durable |

Assistance à Maîtrise d’Ouvrage pour la réduction du risque lié à la présence de cavité souterraine

Phase 1 : Document de sensibilisation du Maire au risque lié à la présence de cavités souterraines sur sa commune

Direction des Risques du Sol et du Sous-sol

DIRECTION DEPARTEMENTALE DES TERRITOIRES ET DE LA MER DU
NORD

Liste des personnes ayant participé à l'étude :

M. FREMONT, stagiaire à l'Unité Risques Géotechniques liés à l'Exploitation du sous-sol à la Direction des Risques du Sol et du sous-sol

PREAMBULE

Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient portés par l'INERIS dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Etant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS dégage toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	Jean-Marc WATELET	Xavier DAUPLEY	Mehdi GHOREYCHI
Qualité	Ingénieur à l'Unité Risques Géotechniques liés à l'Exploitation du Sous-sol	Responsable de l'Unité Risques Géotechniques liés à l'Exploitation du Sous-sol	Directeur des Risques du Sol et du Sous-sol
Visa	<i>C. PINON</i> 		

AVERTISSEMENT

La mission d'Assistance à Maîtrise d'Ouvrage demandée par la Direction Départementale des Territoires et de la Mer du Nord se compose de 3 phases :

- Phase 1 : Sensibilisation du Maire au risque lié à la présence de cavités souterraines sur sa commune ;
- Phase 2 : Démarche type pour la gestion du risque lié à la présence de cavité souterraine ;
- Phase 3 : Document d'aide à la rédaction d'un dossier de consultation pour un marché de maîtrise d'œuvre de travaux de mise en sécurité d'une cavité.

La première phase a pour objectif la réalisation d'un document comprenant les bases nécessaires à la compréhension du sujet, des aspects géologico-historiques à la réglementation, en passant par la détection et la gestion. Composé d'une vingtaine de pages, enrichi d'illustrations, il se veut simple et didactique afin de sensibiliser les élus au problème des cavités souterraines dans le département du Nord. Il fournit, de plus, des références intéressantes pour ceux qui désirent en savoir plus, certaines disponibles sur internet. C'est l'objet du présent rapport.

Les phases 2 et 3 entrent davantage dans la technique. La phase 2 développe les étapes permettant d'arriver au choix du mode de gestion du risque et la phase 3 propose une trame de consultation d'un maître d'œuvre pour le traitement de cavité. Ces deux phases sont illustrées d'exemples concrets sur les communes de Marly et de La Sentinelle (59).

Tous ces documents sont disponibles sur internet sur le site des « Services de l'Etat dans le Nord » et sur celui de l'INERIS.

RAPPORT JOINT



Direction Départementale des Territoires et de la Mer du Nord

CAVITÉS SOUTERRAINES DU NORD : DÉFINITION ET GESTION

**SENSIBILISATION DU MAIRE AU RISQUE LIÉ AUX
CAVITÉS SOUTERRAINES SUR SA COMMUNE**

**CAVITÉS SOUTERRAINES :
DÉMARCHE DE GESTION DES RISQUES DANS LE DÉPARTEMENT DU NORD**



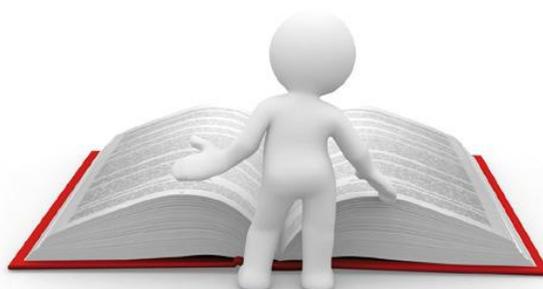
2014

De part son contexte géologique et historique, le département du Nord est fortement concerné par la problématique des cavités souterraines. Une centaine de ses communes environ est affectée ou présente des indices de présence de vides. Les arrondissements de Cambrai, Lille et Valenciennes sont les principaux concernés.

La craie, terrain le plus répandu de la région, a longtemps constitué une source de pierre à bâtir. Elle a également été utilisée pour l'amendement des champs et la fabrication de la chaux. Entre 5 et 30m, cette roche fut souvent exploitée en souterrain, laissant de nombreux vides sous les agglomérations ou à proximité de celles-ci.

Le département est également marqué par des souterrains et des ouvrages militaires enterrés liés aux grandes guerres. Leur position, difficile à localiser précisément, peut néanmoins se délimiter grâce à la position et l'évolution des fronts.

→ Cette superficie importante de vides implique de nombreux risques tels que l'égarement, la noyade ou l'asphyxie dans le cas de visites inappropriées des souterrains ou encore des problèmes de pollution et explosions (obus oubliés). Mais le phénomène le plus récurrent et inquiétant reste les mouvements de terrain liés aux développements d'instabilités vers la surface.



Le dossier d'aide à la gestion du risque lié à une cavité souterraine se compose en trois documents illustrés par des exemples concrets :

- **Phase 1 - « Cavités souterraines du Nord : Définition et gestion - Sensibilisation du Maire au risque lié à la présence de cavités souterraines sur sa commune ».** Vous trouverez dans le présent document les bases nécessaires à la compréhension du sujet, des aspects géologico-historiques à la réglementation, en passant par la détection et la gestion. Composé d'une vingtaine de pages, enrichi d'illustrations, il se veut simple et démonstratif afin de sensibiliser au problème. Il fournit, de plus, des références intéressantes pour ceux qui désirent en savoir plus, certaines disponibles sur internet ;
- **Phase 2 - « Démarche type pour la gestion du risque lié à une cavité souterraine - Présentation et modèles ».** Cette partie entre davantage dans la technique et développe chaque étape permettant d'arriver au choix du mode de gestion du risque. Elle est accompagnée, d'une part, des fiches de pré-visite, de secteurs sensibles et de proposition de décision et, d'autre part, de fiches illustrées de chaque mode de gestion potentiel (de la surveillance aux divers modes de traitement) ;
 - **Exemple 1 - « Mise en pratique de la méthode sur la carrière du Chemin Vert, commune de Marly (59) ».** On y trouve l'application de la démarche précédente sur le cas concret d'une carrière souterraine connue et accessible, ce qui permet de visualiser les divers enchaînements de tâches sur ce sujet ;
 - **Exemple 2 - « Mise en pratique de la méthode sur le site de la Friche Doublet, commune de La Sentinelle (59) ».** La démarche proposée est ici appliquée au cas d'un site supposé sous-cavé ;
- **Phase 3 - « Document d'aide à la rédaction d'un dossier de consultation pour un marché de maîtrise d'œuvre de travaux de mise en sécurité de cavité souterraine ».** Il s'agit d'un document pouvant être utilisé comme trame de consultation d'un maître d'œuvre pour le traitement de cavités sous-cavant une commune. Son organisation part du principe que les études de diagnostic du risque ont déjà été réalisées de manière à permettre le cadrage technique et financier de la mission de maîtrise d'œuvre. Pour chaque chapitre, il comprend une description de ce qu'il doit contenir, illustré par une rédaction banalisée et adaptable ;
 - **Exemple 1 - « Carrière du Chemin Vert, commune de Marly (59), Document d'aide pour le dossier de consultation pour la maîtrise d'œuvre d'un chantier de comblement et de surveillance ».** Dans la continuité de la phase 2, le document modèle de la phase 3 est appliqué au cas de la carrière du Chemin Vert à Marly. Il s'agit d'une aide pour la consultation d'un maître d'œuvre pour le comblement d'une carrière souterraine connue et accessible.

Tous ces documents sont disponibles sur internet sur le site des « Services de l'Etat dans le Nord » et sur celui de l'INERIS.

Les * renvoient au lexique en page 23

CAVITÉS SOUTERRAINES DU NORD (59): DÉFINITION ET GESTION

LES CAVITÉS SOUTERRAINES : POURQUOI ? QUOI ? COMMENT ?	4
Géologie : la craie du Nord, une roche inégale	4
Patrimoine industriel et historique	5
Typologie des cavités	6

LES CAVITÉS SOUTERRAINES : COMMENT EVOLUENT-ELLES?	9
Évolution naturelle	9
Facteurs aggravant la dégradation.....	10
Désordres associés en surface	11

LES CAVITÉS SOUTERRAINES : COMMENT LES DÉTECTER ET ÉVALUER LEUR ETAT? . 13	
Methodes d’investigation non destructives	13
Méthodes d’investigation destructives	14
Diagnostic de stabilité.....	14

LES CAVITÉS SOUTERRAINES : COMMENT LES GERER ?	15
Surveillance	15
Confortement de la cavité et réduction de la vulnérabilité	16
Comblement ou remblayage	17

LES CAVITÉS SOUTERRAINES : RÉGLEMENTATION, QUI FAIT QUOI ?	18
Propriété et responsabilité.....	18
Inventaire, mise à disposition de l’information et outils de planification	19
Présence d’une cavité : que faire ?	22

LEXIQUE	24
ACCEDER AUX INFORMATIONS EN 3 CLICS	25
SITES INTERNET ET DOCUMENTS UTILES	26

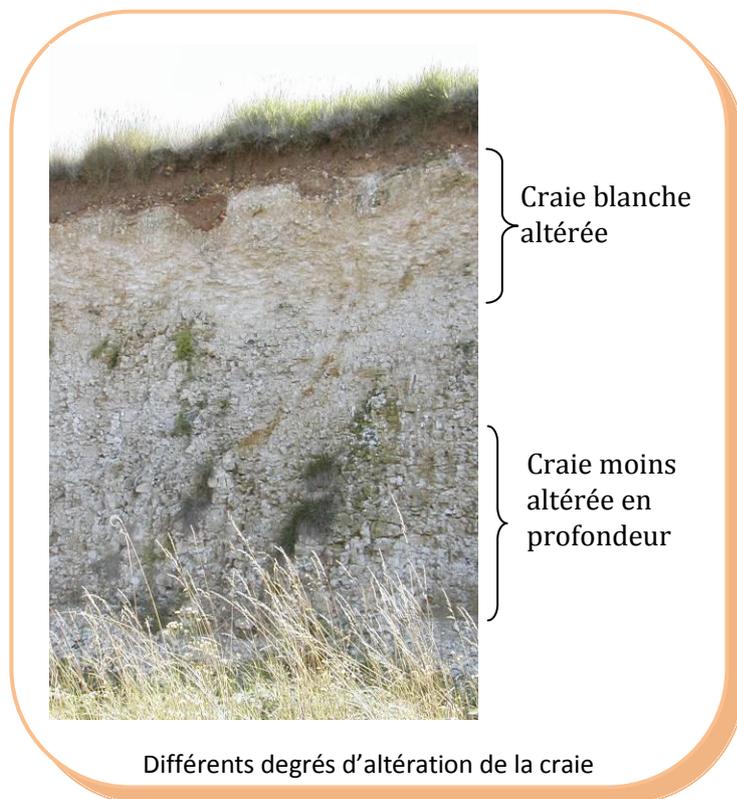
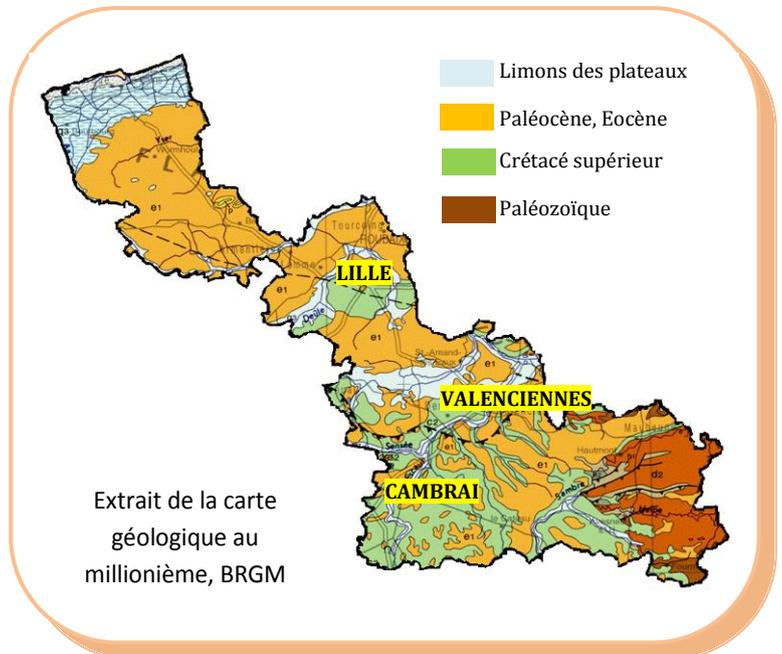
LES CAVITÉS SOUTERRAINES : POURQUOI ? QUOI ? COMMENT ?

GÉOLOGIE : LA CRAIE DU NORD, UNE ROCHE INÉGALE

Situé à l'extrémité nord du bassin parisien, le territoire du département se caractérise par des dépôts de sables, d'argiles et de limons, recouvrant **d'épaisses couches de craie**.

Les zones d'affleurement (en vert sur la carte ci-contre) se localisent principalement autour du **Cambrésis, du Valenciennois et de la métropole lilloise**.

Cette craie est différente selon son âge de dépôt. La craie blanche du Sénonien datant du Crétacé supérieur (déposée entre -88 à -65 millions d'années) est fine et pure. Naturellement fracturée, elle est **facilement altérable** et peut contenir des lits de silex.



En dessous se trouve la craie grise (Turonien : déposée entre -92 à -88 millions d'années) qui est plus massive.

Associée à ces craies, une nappe phréatique permet l'alimentation en eau potable de la région lilloise. Cette nappe, appelée Nappe de la Craie, est visible dans certaines carrières. En fonction du battement de son niveau, elle est plus ou moins proche de la surface et peut donc facilement être polluée

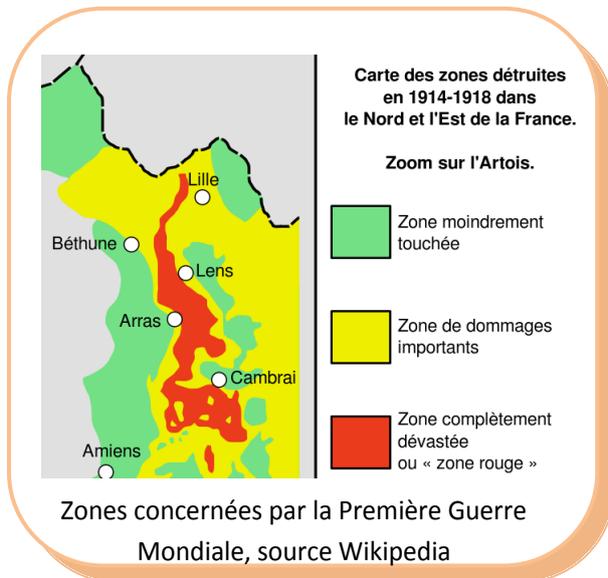
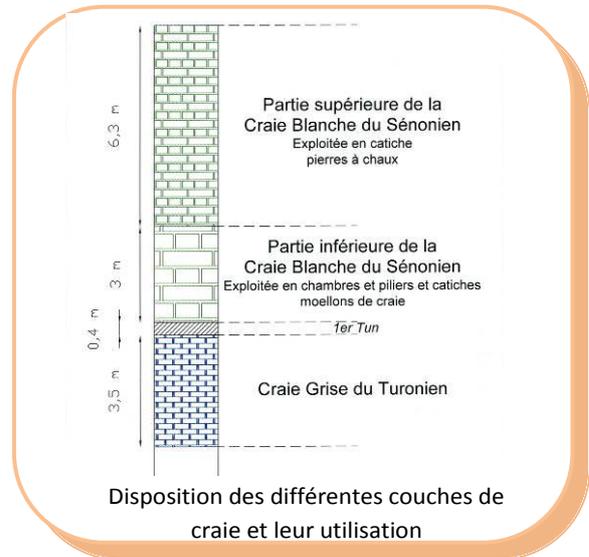
→ Les différentes craies se trouvant sur le territoire du département du Nord présentent des propriétés diverses et sont plus ou moins résistantes.

PATRIMOINE INDUSTRIEL ET HISTORIQUE

1) Patrimoine industriel :

L'exploitation de la craie pour l'**édification de monuments et de bâtiments** fût incontestablement l'activité la plus consommatrice. Vient ensuite, l'**industrie chaufournière*** qui a été très active au XIX^{ème} siècle. En dernier lieu vient le **marnage des champs**.

L'exploitation en souterrain a été incitée par les difficultés de transport et l'épaisseur des terrains recouvrant la craie. De plus, pour la pierre à bâtir, il fallait une craie saine. La protection par les terrains sus-jacents (limons, argile,...) était indispensable.



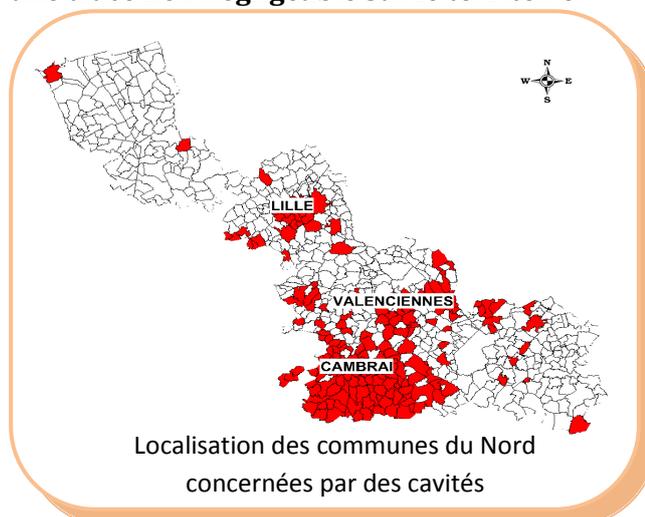
2) Patrimoine historique :

Le département du Nord a été touché par de nombreux conflits. Des villages entiers ont été détruits et reconstruits laissant derrière eux des vestiges parfois oubliés.

Durant la Première Guerre Mondiale, plusieurs fronts de batailles, orientés globalement nord-sud, se sont établis et ont laissé derrière eux plusieurs ouvrages enterrés : **sapes***, **dépôts de munitions**, **tunnels**, **blockhaus**...

A ces excavations de la Guerre 14-18 s'ajoutent celles de la Seconde Guerre Mondiale ainsi que d'autres conflits plus anciens.

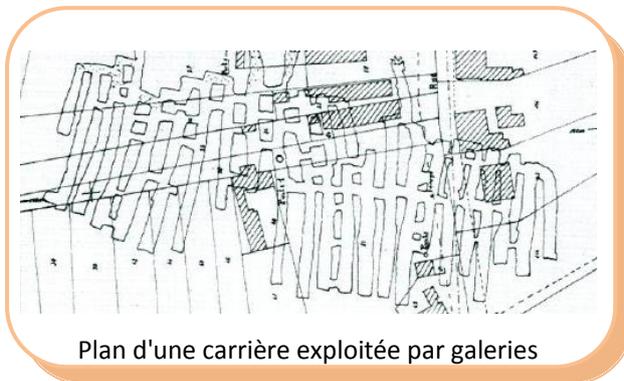
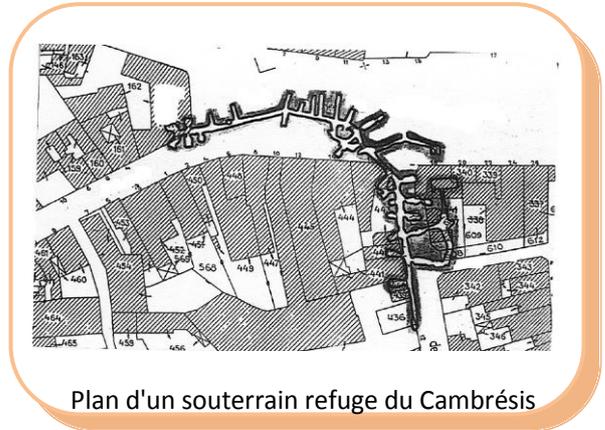
➔ Ce passé industriel et historique a induit l'existence de vides en grande quantité dans le département et a laissé une trace non négligeable sur le territoire.



TYPOLOGIE DES CAVITÉS

1) Les cavités liées aux guerres et conflits :

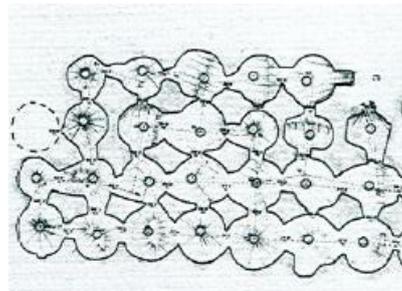
- **Les souterrains refuges (=muche*)** se présentent sous la forme d'une galerie unique comportant de part et d'autre plusieurs chambres isolées.
- **Les abris individuels (=boves*) et caves** correspondent à une chambre creusée en sous-sol et servant de stockage et de protection. Les boves, étant le plus souvent en prolongement de la cave, se retrouvent parfois sous la voirie et posent un problème de propriété.
- **Les souterrains militaires** tels que ceux situés sous les bastides ou les citadelles participaient à la défense des places fortes et stratégiques.



2) Les carrières d'exploitation :

Dans le Nord, quatre méthodes d'extraction ont été observées :

- **L'exploitation par galeries.** Cette méthode très ancienne, consistait à tracer des galeries de manière anarchique ou en profitant d'une direction préférentielle des fractures naturelles pour découper le massif.
- **L'exploitation dite en bouteille ou catiche*.** Pour cette technique, des puits verticaux étaient foncés jusqu'aux terrains crayeux. Une fois atteints, l'extraction se poursuivait en évasant les bords donnant une forme de bouteille. **La quasi-totalité de la craie était extraite, il n'y avait pas de déchets laissés au fond.** Après excavation, les puits d'accès étaient scellés par un assemblage de moellons*. Les différentes catiches étaient séparées d'une dizaine de mètres et reliées entre elles à leur base par une galerie. La géométrie de cette méthode d'exploitation suit souvent un schéma régulier.



• **L'exploitation dite en chambres et piliers.**

Cette méthode se développait à partir de puits verticaux, (de quelques mètres à 30 m de profondeur selon les terrains), creusés pour atteindre le banc de craie exploitable.

De part et d'autre de ces puits, les carriers creusaient des réseaux de galeries dans lesquelles des piliers étaient laissés pour soutenir le toit* de la carrière.

Les blocs de craie, taillés directement au fond, étaient remontés par les puits alors que **les déchets restaient sur place constituant le remblai de pied***. Celui-ci peut atteindre plusieurs mètres car la craie était soigneusement sélectionnée et taillée afin d'obtenir des moellons avec de bonnes caractéristiques. Jusqu'au XIX^{ème} siècle, l'excavation se faisait de manière plus ou moins anarchique ne donnant guère de géométrie régulière.



Plan d'une exploitation par chambres et piliers

Quantité importante de remblais de pied

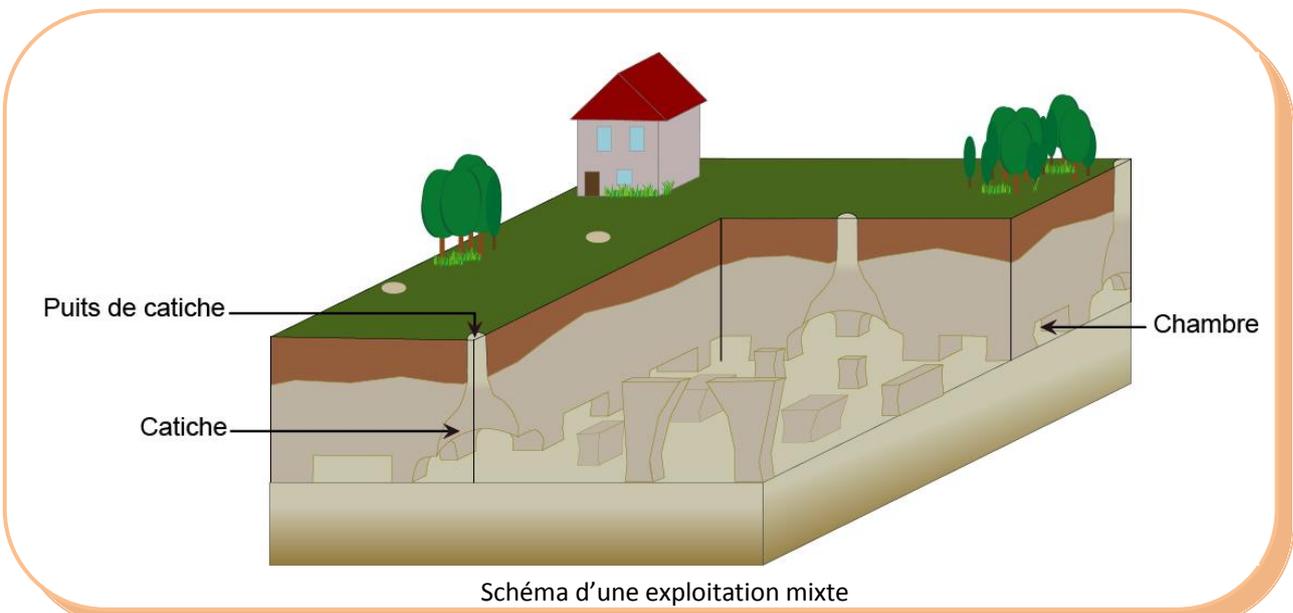
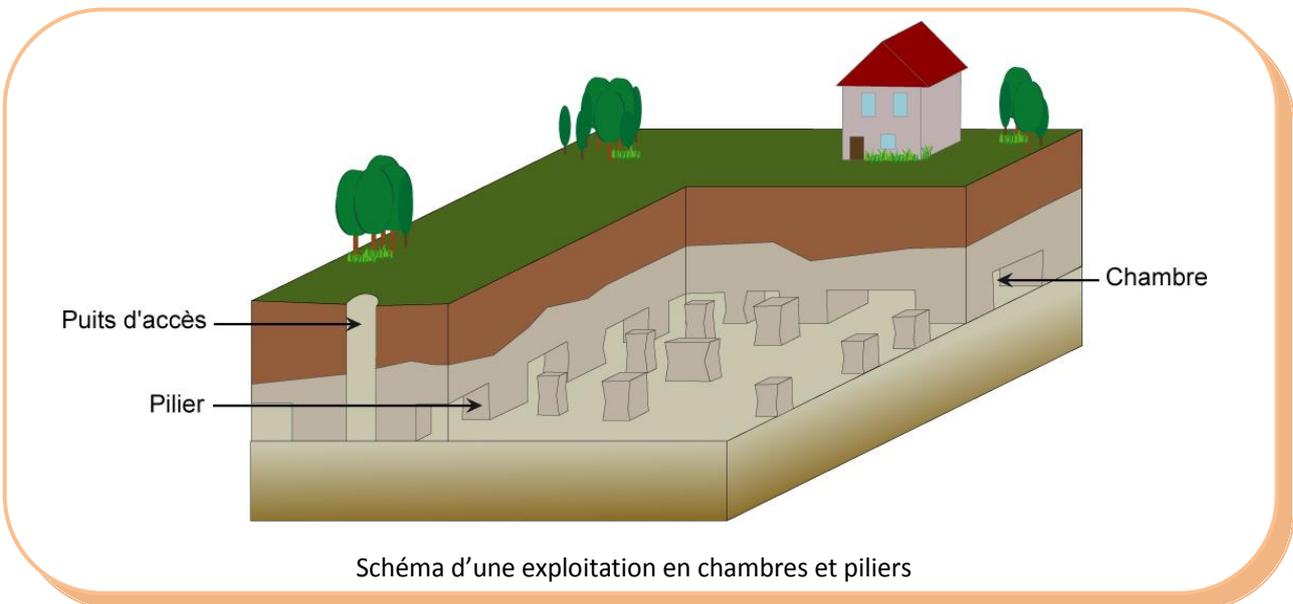
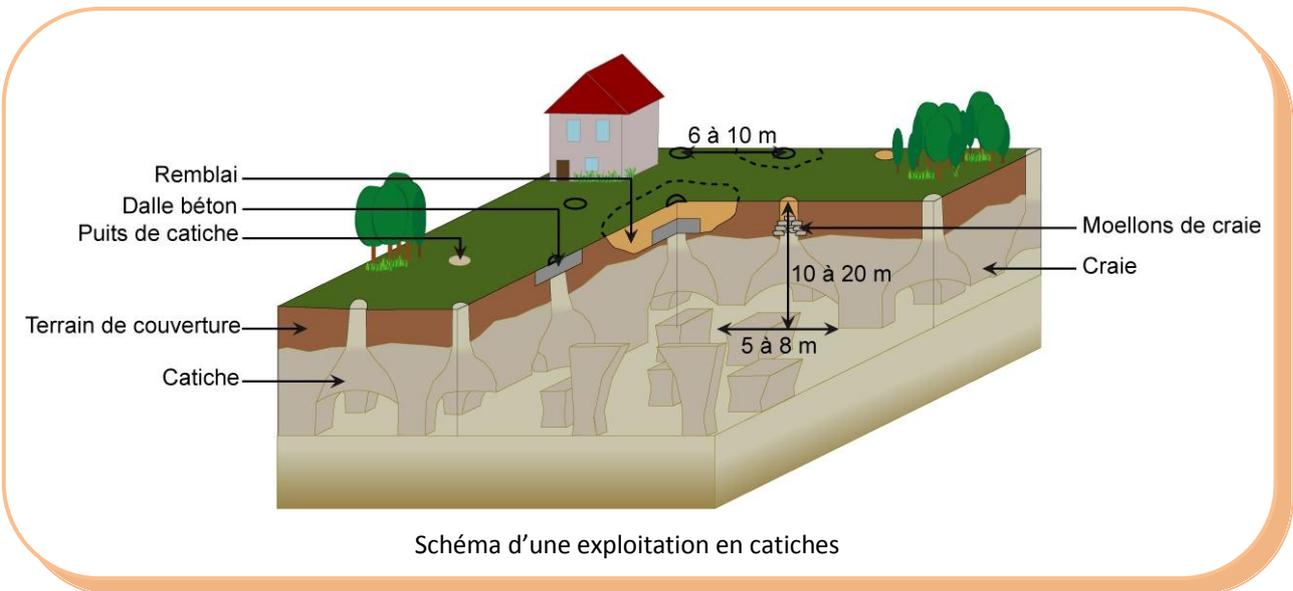


• **L'exploitation mixte.** Cette exploitation, correspondant à **une association de catiches et de chambres et piliers**, est particulière à la région lilloise.



Plan d'une exploitation mixte (en bas à gauche chambres et piliers, en haut à droite catiches)

Ces grandes configurations n'empêchaient pas la mise en œuvre de méthodes très diverses adaptées au contexte historique ou géologique local. On peut ainsi retrouver des formes de galeries particulières comme celles d'Anzin se développant directement sous le tuffeau ou celles d'Avesnes-le-Sec quasiment remblayées par des déchets de tailles... .



LES CAVITÉS SOUTERRAINES : COMMENT EVOLUENT-ELLES?

ÉVOLUTION NATURELLE

Au cours du temps, les caractéristiques physiques et mécaniques des roches évoluent par effet de fatigue lié aux contraintes* et déformations qui modifie localement les propriétés du massif et amplifie l'apparition de fractures d'origine mécanique ou le rejeu des diaclases*. Les étapes principales sont l'amorçage de fissures, leur propagation et la rupture finale de la roche.

Les processus d'**altération** interviennent également dans la fatigue de la craie. Elle perd une grande partie de sa résistance en passant de l'état sec à l'état saturé en eau. Les circulations d'eau dans la craie sont à l'origine de phénomènes de **dissolution et de lessivage**. Ces mécanismes **conditionnent fortement la résistance des structures**.



Diaclases présentes dans la craie

Les mécanismes de fatigue peuvent également fragiliser les piliers. Sous des contraintes trop fortes, le **pilier s'écaille** réduisant ainsi de façon sensible la surface portante déjà insuffisante. On dit alors que le pilier prend une forme de « diabolo » (cf illustration ci-après).



Pilier "ruiné"

FACTEURS AGGRAVANT LA DÉGRADATION

Les désordres apparaissent le plus souvent suite aux modifications des conditions d'équilibre du milieu induites par des facteurs aggravants.

Un de ces principaux facteurs est la **variation d'hygrométrie** qui accélère le processus d'altération de la craie. Ainsi les **pluies intensives et les périodes de gel-dégel** accélèrent la fragilisation de la roche dans les parties exposées au courant d'air.

Les **fluctuations du niveau de la nappe souterraine** peuvent également diminuer la stabilité des cavités en les inondant.



Nappe phréatique dans une cavité



Canalisation artisanale
rejetant des eaux usées
dans la cavité

La **présence de végétation** dans la cavité peut constituer un facteur aggravant. Les racines, en se propageant dans la roche, induisent et agrandissent les fractures déjà présentes.

Une **fuite ou rupture de canalisations d'eau** induisent une venue d'eau à fort débit et pression. Cela entraîne une surcharge hydraulique continue et ponctuelle par infiltration d'eau dans les terrains sus-jacents et active des mécanismes d'instabilité d'ensemble.

De manière similaire, **une surcharge**, à l'aplomb d'une cavité proche de la surface, peut déstabiliser l'ouvrage. Cette surcharge peut correspondre à l'édification d'un bâtiment ou encore au stationnement d'un véhicule lourd.

L'utilisation des vides souterrains comme **décharges sauvages** entraîne l'accélération de la dégradation de par la présence de matières organiques putrescibles ou encore de substances chimiques.



Présence de végétation
dans la cavité



Décharge sauvage dans
une catiche

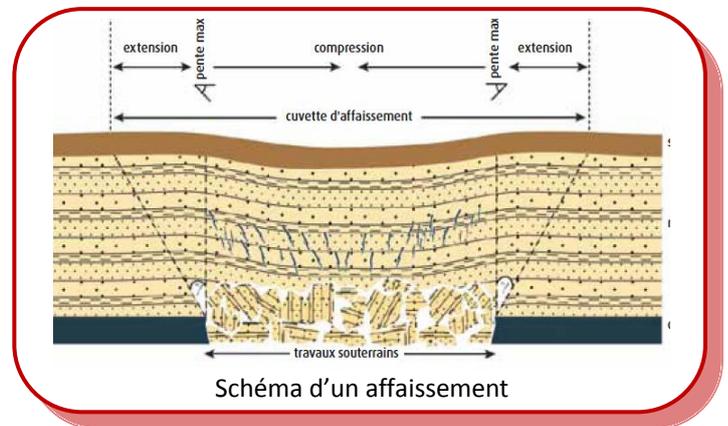
DÉSORDRES ASSOCIÉS EN SURFACE

Les désordres redoutés en surface sont liés à l'évolution des dégradations des cavités souterraines. Ceux-ci **dépendent de la configuration de la cavité et de la profondeur** à laquelle elle se situe. Parmi ces phénomènes on retiendra :

1) Les affaissements de terrain :

Un affaissement correspond à une déformation souple et progressive qui intervient sans rupture brutale des terrains de surface. Ce type de désordre, plus souvent rencontré dans le domaine des mines profondes, est symptomatique des cavités souterraines avec des terrains plastiques sus-jacents et/ou mal remblayés.

Les **affaissements occasionnent peu de danger** car ce sont des phénomènes lents.



Débourrage d'un puits vu de la cavité

2) Les effondrements

Les effondrements sont des phénomènes brutaux. Dans le cas d'un **effondrement localisé**, il y a peu de risque de victimes mais les **dommages peuvent être importants**. **L'effondrement en masse**, bien que **très rare**, mobilise des volumes de terrain de plusieurs centaines à plusieurs milliers de m³ et **peut être très meurtrier**.

Se présentant comme un cratère plus ou moins profond, l'effondrement de terrain peut avoir pour origine plusieurs mécanismes de rupture :

- **Le déboufrage** d'anciens puits d'accès à la cavité correspond à l'entraînement gravitaire des remblais (par exemple remobilisés par la présence d'eau).

- **La rupture d'un « bouchon » de catiche ou de la tête de catiche** : les puits d'accès aux catiches étant fermés par des moellons posés les uns sur les autres, il arrive que ces structures cèdent et entraînent les terrains situés au-dessus dans la cavité. L'effondrement est généralement contraint au diamètre du puits. Lors de la rupture de la tête de catiche, le diamètre est plus large.

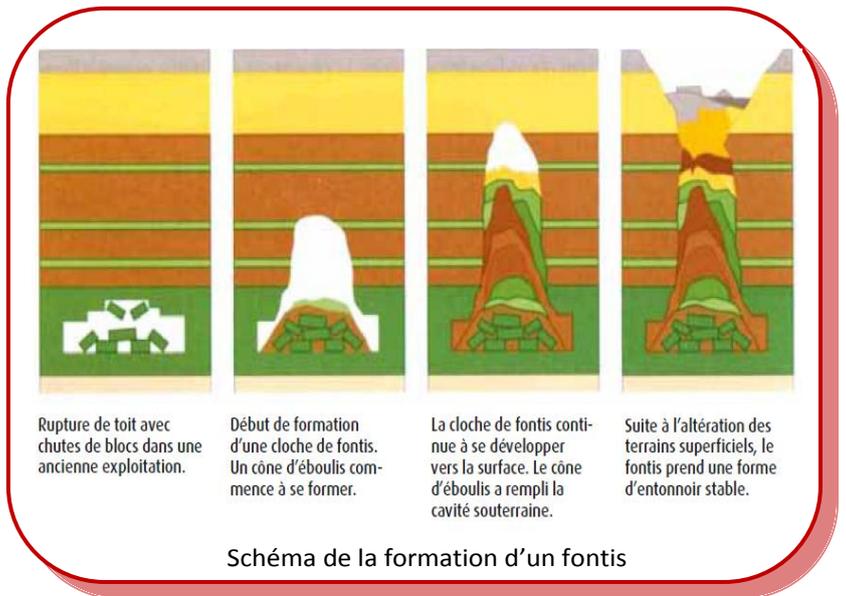


Débourrage d'un puits vu de la surface

- **La rupture du toit de la cavité** dans le cas d'un effondrement localisé= fontis*.

En surface, le fontis se présente sous la forme d'un entonnoir et va de quelques mètres à une dizaine de mètres de diamètre en fonction de la géométrie de l'excavation sous-jacente.

Il correspond à un éboulement initié au toit d'une cavité qui remonte de manière progressive (remontée de voûte).



Arrivé en surface, le phénomène provoque un effondrement des terrains. Ce désordre ne présente pas de signes précurseurs et apparaît de manière brutale.



- **La rupture d'un pilier :** la dégradation avancée d'un pilier (occasionnée par exemple par un sous dimensionnement) peut entraîner un effondrement des terrains sus-jacents.

- La rupture de plusieurs piliers entraîne, quant à elle, la chute du toit de la carrière au niveau de tout un secteur. On parle alors **d'effondrement généralisé (effondrement de masse)**.



LES CAVITÉS SOUTERRAINES : COMMENT LES DÉTECTER ET ÉVALUER LEUR ETAT?

METHODES D'INVESTIGATION NON DESTRUCTIVES

Le positionnement et l'identification des risques passent d'abord par une **recherche d'informations sur les vides potentiels** (enquête auprès de la population, de sachants locaux, monographies spécifiques, archives, documents, recherche d'« indices » visibles en surface laissant supposer la présence de cavités).

1) lorsque les cavités sont connues et accessibles :

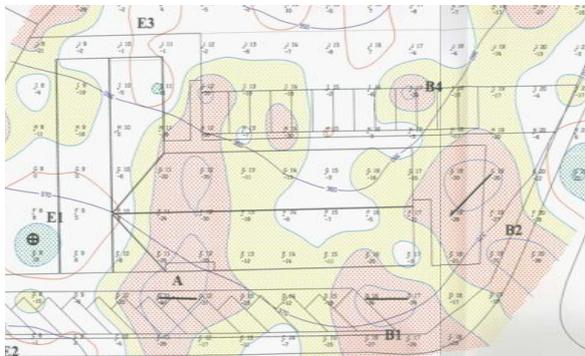
Une **reconnaissance visuelle** des travaux permet de recueillir des **informations**, tant **qualitatives** que **quantitatives**, sur la géométrie des vides, la lithologie et la fracturation de la roche.



Reconnaissance visuelle d'une cavité souterraine

2) lorsque les cavités ne sont pas localisées et/ou inaccessibles :

Pour acquérir un premier niveau d'informations, il est souvent utile de mener une recherche préliminaire par des **méthodes géophysiques** telles que la microgravimétrie, les méthodes sismiques, les méthodes électriques ou encore les méthodes électromagnétiques.



Exemple de résultat obtenu après interprétation des données de gravimétrie

- **La microgravimétrie** mesure la différence relative de gravité en surface. Elle est influencée par la répartition des densités dans le sous-sol. Les cavités créent un déficit de densité par rapport aux terrains encaissants et sont donc, à priori, visualisables. Les mesures, faites avec un gravimètre, sont réparties avec un espacement constant le long de profils ou d'une grille. L'espacement doit être adapté à la cavité recherchée (petite cavité, maille plus serrée).

- **Le radar géologique** émet de brèves impulsions électromagnétiques de hautes fréquences (50MHz à 2MH) qui se réfléchissent partiellement sur les interfaces de milieux présentant des caractéristiques électriques différentes. Le coût de reconnaissance par géoradar n'est pas onéreux mais suppose que les galeries recherchées ne soient pas profondes (moins de 10 m dans le meilleur des cas) et nécessite des tests de calage spécifiques.

- **La méthode de sismique réflexion haute résolution** est également utilisée. Elle exploite les propriétés de la propagation temporelle des ondes de volume pour identifier la présence ou l'absence de réflecteurs clairement associés aux cavités (couches géologiques notamment).

Applicables plus facilement en milieu rural et souvent perturbées en milieu urbain, ces méthodes géophysiques restent des outils complémentaires qui n'établissent pas systématiquement la présence d'une cavité avec certitude.

MÉTHODES D'INVESTIGATION DESTRUCTIVES

Pour détecter la présence de cavités, il est possible soit de procéder à un décapage des terrains de surface de manière à localiser, par exemple, des puits d'accès (absence totale d'enjeux en surface), soit de mener une campagne de sondages mécaniques. Ces techniques permettent de compléter les informations obtenues par les méthodes d'investigation non destructives décrites précédemment et également de confirmer les indices repérés par les méthodes géophysiques.

Il s'agit de **forages destructifs ou carottés** ponctuels qui peuvent être valorisés par l'enregistrement de mesures de diagraphies* permettant l'obtention des caractéristiques mécaniques et physiques des terrains traversés.

La réalisation de ces forages se fait après avoir bien identifié les secteurs à prospector (forte présomption de présence de vides).



Forages réalisés suivant une maille au niveau d'une zone sous-cavée



Inspection par caméra vidéo à travers un forage

Ils doivent être réalisés avec un maillage adapté (5 à 10 m dans le cas d'une carrière) et la profondeur du forage doit correspondre au moins à celle de la base de la cavité présumée plus 5 m de marge.

Les forages qui identifieront avec certitude un vide seront suivis d'une **reconnaissance par endoscopie ou caméra vidéo**. Un outil de lasermétrie pourra apporter des précisions sur la hauteur des vides et le volume à combler.

DIAGNOSTIC DE STABILITÉ

Après la localisation de la cavité et si celle-ci est accessible, un diagnostic peut être établi. Il se fait suivant plusieurs types d'analyses et aboutit à des scénarios d'instabilités potentielles.

L'analyse lithostratigraphique* permet de déterminer la répartition des couches et leur variation. La nature et la résistance de la roche ainsi que son degré d'altération sont également analysés. S'en suit une analyse structurale qui relève toutes les discontinuités existantes constituant les points de faiblesse. Le contexte hydrogéologique est également étudié. Le diagnostic doit conclure à **l'évaluation des conditions d'équilibre du milieu** et proposer des modes de gestion (surveillance, traitement, délocalisation des enjeux ...).

LES CAVITÉS SOUTERRAINES : COMMENT LES GERER ?

SURVEILLANCE

Lorsque la cavité souterraine est accessible, une surveillance peut être mise en œuvre pour contrôler l'évolution des instabilités. Elle représente souvent une **solution alternative dans l'attente d'un traitement définitif** de la cavité.

1) La surveillance par inspection visuelle permet de **contrôler l'évolution des désordres** affectant les cavités souterraines (fracturation de la roche, écaillage d'un pilier, chute de blocs). Elle contribue à anticiper les secteurs où des travaux doivent être entrepris pour éviter un risque d'effondrement menaçant.



Inspection visuelle

Surveillance par bâche



Surveillance par marquages de peinture

2) La surveillance par bâche au droit des montées de voûte permet de visualiser directement la chute de blocs provenant du toit de la cavité.

3) La surveillance par peinture facilite la reconnaissance visuelle des blocs qui se sont décrochés du parement ou du ciel*. Elle peut être apposée sur toute la surface de la cavité ou seulement au niveau de certains points critiques.

4) La surveillance instrumentée est le plus souvent basée sur des mesures de déplacements du massif. Des appareils du type **canne de convergence ou fissuromètre** mesurent et enregistrent des variations de l'ordre du 10^e de millimètre. **Un dispositif en télémessure ou télé-surveillance** permet de contrôler à distance l'évolution des désordres. La technique consiste à interroger des capteurs (canne de convergence, fissuromètre,...), situés dans la cavité, à une fréquence déterminée grâce à un automate programmable puis à transmettre par modem les données enregistrées.



Surveillance par canne de convergence



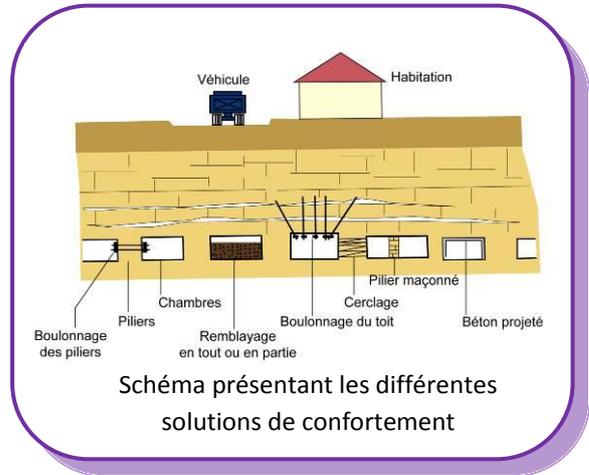
Surveillance par fissuromètre

Il est à noter que la surveillance est une solution qui nécessite un entretien vis-à-vis du matériel. De plus, si le risque est jugé inacceptable lors d'une visite de contrôle, une solution plus radicale devra alors être mise en place à court terme.

CONFORTEMENT DE LA CAVITÉ ET RÉDUCTION DE LA VULNÉRABILITÉ

1) **Le confortement** est un moyen de traitement des cavités souterraines **permettant de maintenir ou rétablir une stabilité suffisante à plus ou moins long terme**. Les techniques de confortement sont limitées par deux facteurs essentiels qui sont : l'accessibilité à la cavité et les conditions de sécurité des ouvrages.

- **Le confortement par boulonnage (nommée aussi clouage)** permet de supporter les blocs désolidarisés du toit et de freiner les mouvements de paroi au niveau des piliers. Le boulonnage a donc un rôle de soutien, de confinement et de renforcement du massif.



Reprise d'un pilier par maçonnerie

- **Le confortement par ceinturage-cerclage ou reprise de maçonnerie** intervient lorsqu'un pilier est trop endommagé pour assurer son rôle d'appui. Le but de cette technique est de bloquer définitivement les déformations tout en augmentant la capacité de portance.

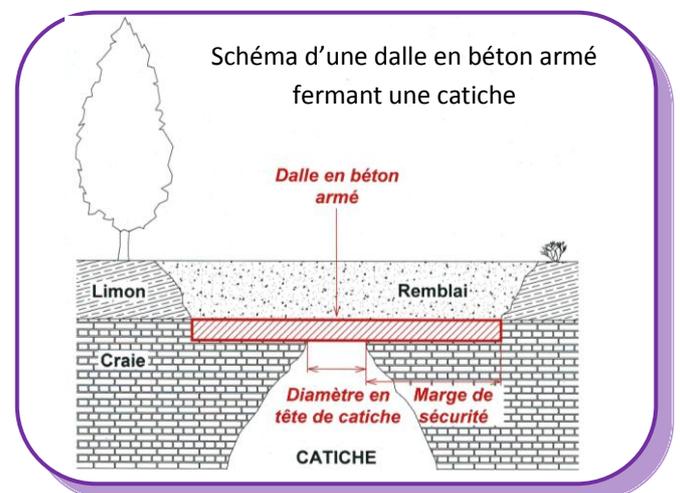
2) **Réduction de la vulnérabilité depuis la surface**: pour les nouveaux enjeux (constructions, réseaux), il est possible de diminuer le risque. Par exemple, les réseaux de canalisations peuvent être adaptés pour éviter les fuites.

- **Dans le cas des catiches, l'édification d'une dalle en béton armé** permet de parer au manquement de stabilité du bouchon qui ferme le puits d'accès. Elle est disposée au niveau de la tête de catiche et déborde de part et d'autre du bouchon (marge de sécurité).

- **La construction sur pieux ancrés** dans le sol de la carrière permet de sécuriser les enjeux en surface.



Pieu traversant une cavité



COMBLEMENT OU REMBLAYAGE

Le comblement de tout ou d'une partie de la cavité reste la solution la plus efficace et la plus pérenne pour assurer la sécurité des terrains en surface. En fonction des enjeux et des projets futurs, le remblayage pourra être partiel (espaces verts) ou total (restitution du terrain naturel en vue de nouvelle construction).

1) Remblayage par déversement gravitaire depuis la surface. Cette technique consiste à remplir la cavité avec du remblai inerte par le biais de forages. Plusieurs méthodes sont possibles : voie sèche (matériau granuleux sans ajout d'eau), voie semi-humide (moitié eau, moitié matériau) et voie humide (forte quantité d'eau). Des vides résiduels peuvent subsister en fin de traitement.



Comblement par déversement gravitaire



Comblement par coulis de silicates

2) Remplissage et traitement par injections.

Le principe consiste à injecter sous pression un mélange capable de durcir dans le temps qui remplira totalement la cavité. Ces mélanges, nommés « coulis », ont des natures et propriétés différentes selon les cas.

3) Remplissage par une mousse thermodurcissable. Cette solution onéreuse comble entièrement et rapidement la cavité. La mousse est injectée sous pression par forage. La pérennité dans le temps de la mousse n'est à ce jour pas prouvée.

Dans le cas de comblement limité à une partie de la carrière, des barrages sont disposés afin de confiner le coulis ou remblai. Le passage entre les différentes zones de la cavité peut être maintenu par le biais de « tunnel » ou par la création de puits d'accès (trou d'homme).



Tunnel édifié à travers de la mousse expansive et permettant de maintenir un passage

LES CAVITÉS SOUTERRAINES : RÉGLEMENTATION, QUI FAIT QUOI ?

PROPRIÉTÉ ET RESPONSABILITÉ

Le contexte réglementaire associé aux cavités souterraines abandonnées est particulier. Suivant le Code civil, article 552 :

**« La propriété du sol emporte la propriété du dessus
et du dessous »**

La propriété souterraine est donc délimitée, par projection dans le sous-sol, suivant la limite séparative des parcelles se trouvant en surface.

De plus, l'article 1384 de ce même code stipule que le **propriétaire est responsable des dommages causés par des choses qu'il a sous sa garde**. La responsabilité du propriétaire d'une cavité souterraine pourra être engagée si celle-ci a causé des dommages à autrui.

A noter également que la **propriété du dessous peut être dissociée juridiquement de celle du dessus**. Le propriétaire du sol peut vendre, donner ou louer le sous-sol de son terrain.

En outre, l'article 682 du Code civil, stipule que « le propriétaire est fondé à réclamer un passage suffisant pour assurer la desserte complète de sa propriété, [...] ». Cette servitude de passage permet d'assurer l'accessibilité et le suivi s'il y a lieu des cavités. Dans ce cas, la meilleure solution consiste à passer une convention entre le propriétaire de l'accès et l'autorité concernée.

Responsabilité de toute personne informée de l'existence d'une cavité souterraine. Plusieurs acteurs sont concernés par les règles d'acquisition et de diffusion des informations sur les cavités souterraines. D'après l'article **L.536-6 du Code de l'environnement** :

- « **Les communes** ou leur groupement compétent en matière d'urbanisme qui élaborent, **en tant que besoin**, les cartes délimitant les sites où sont situées les cavités souterraines [...],

- **Toute personne** qui a connaissance de l'existence d'une cavité souterraine (dont l'effondrement est susceptible de porter atteinte aux personnes et aux biens) ou d'un indice susceptible de révéler cette existence, en informe le maire, qui communique, sans délai, au représentant de l'état [...] et au Président du Conseil Général les éléments dont il dispose à ce sujet.

- Le **représentant de l'Etat** dans le département publie et met à jour, [...], la liste des communes pour lesquelles il a été informé [...] de l'existence d'une cavité souterraine [...] et de celles où il existe une présomption réelle et sérieuse de l'existence d'une telle cavité. »

En outre, cet article stipule que la diffusion d'informations manifestement erronées, mensongères ou résultant d'une intention dolosive [...] est punie d'une amende [...].

Article 1384 du Code Civil

On est responsable non seulement du dommage que l'on cause par son propre fait, mais encore de celui qui est causé par le fait des personnes dont on doit répondre, ou des choses que l'on a sous sa garde.

Article 682 du Code Civil

Le propriétaire dont les fonds sont enclavés et qui n'a sur la voie publique aucune issue, ou qu'une issue insuffisante, soit pour l'exploitation agricole, industrielle ou commerciale de sa propriété, soit pour la réalisation d'opérations de construction ou de lotissement, est fondé à réclamer sur les fonds de ses voisins un passage suffisant pour assurer la desserte complète de ses fonds, à charge d'une indemnité proportionnée au dommage qu'il peut occasionner.

INVENTAIRE, MISE À DISPOSITION DE L'INFORMATION ET OUTILS DE PLANIFICATION

1) **L'inventaire.** Pour prévenir du risque lié aux cavités souterraines, il faut d'abord connaître ce risque. Cette étape passe par la collecte des données par témoignages oraux, analyses d'archives, études diverses.

- Une vaste **campagne de recensement**, financée par le ministère en charge de l'écologie et du développement durable, a été lancée en 2000. Cette collecte des données est réalisée par le BRGM qui banarise les données sur le site www.bdcavite.fr.

- Le département du Nord a bénéficié d'un service spécialisé : **le SDICS** (Service départemental d'inspection des Carrières Souterraines). Créé en 1967 à l'initiative du Conseil général du Nord, ce service avait pour missions de faire l'inventaire, d'établir des plans et de procéder à l'inspection périodique des cavités souterraines du département.

Lors du recadrage de ces activités en 2006, les données recueillies par ce service ont été transmises aux maires des communes concernées dans le cadre du porter à connaissance. Ces données, papiers ou numériques, peuvent contenir les plans des carrières, des périmètres de susceptibilité, un historique des désordres en relation avec les cavités ou encore des rapports de visite des cavités.



Exemple de plan fourni par le SDICS

- Associée à cette collecte nationale, des **démarches complémentaires** (à des échelles plus précises) sont également nécessaires et restent **assurées par les acteurs locaux** (collectivités, associations).

2) **L'information préventive** passe par le biais de documents tels que le **DDRM (Dossier Départemental des Risques Majeurs)** établis par le préfet et envoyés aux communes. Associé à cela, des éléments d'informations et des cartes concernant les risques d'une commune peuvent également être transmis au maire.

Le maire, quant à lui, élabore un **Document d'Information Communale sur les Risques Majeurs (DICRIM)** qui reprend les informations transmises par le préfet et qui présente les mesures de prévention incluses dans le plan communal de sauvegarde (si établi).

L'information des acquéreurs ou locataires sur les risques est une obligation lors des transactions immobilières quand la commune possède un PPR ou a fait l'objet d'une reconnaissance CAT NAT.

Article R.125-11 du Code de l'Environnement

L'information donnée au public sur les risques majeurs comprend la description des risques et de leurs conséquences prévisibles pour les personnes, les biens et l'environnement, ainsi que l'exposé des mesures de prévention et de sauvegarde prévues pour limiter leurs effets.

Cette information est consignée dans un dossier départemental sur les risques majeurs (DDRM) établi par le préfet, ainsi que dans un document d'information communal sur les risques majeurs établi par le maire. Sont exclues de ces dossiers et documents les indications susceptibles de porter atteinte au secret de la défense nationale, à la sûreté de l'Etat, à la sécurité publique ou aux secrets en matière commerciale et industrielle.

Article L.121-1 du Code de l'Urbanisme

Les schémas de cohérence territoriale (SCOT), les plans locaux d'urbanisme et les cartes communales déterminent les conditions permettant d'assurer, dans le respect des objectifs du développement durable : [...] la prévention des risques naturels prévisibles, des risques technologiques, des pollutions et des nuisances de toute nature.

Article R.123-11 du Code de l'Urbanisme

Les documents graphiques du règlement du PLU font, en outre, apparaître s'il y a lieu : Les secteurs où les nécessités du fonctionnement des services publics, de l'hygiène, de la protection contre les nuisances et de la préservation des ressources naturelles ou l'existence de risques naturels, tels qu'inondations, incendies de forêt, érosion, affaissements, éboulements, avalanches, ou de risques technologiques justifient que soient interdites ou soumises à des conditions spéciales les constructions et installations de toute nature, permanentes ou non, les plantations, dépôts, affouillements, forages et exhaussements des sols ;

Article R.111-2 du Code de l'Urbanisme

Le projet peut être refusé ou n'être accepté que sous réserve de l'observation de prescriptions spéciales s'il est de nature à porter atteinte à la salubrité ou à la sécurité publique du fait de sa situation, de ses caractéristiques, de son importance ou de son implantation à proximité d'autres installations.

3) **La prévention des risques est également prise en compte dans l'aménagement du territoire.** Cette **planification** se retrouve dans les documents tels que le **SCOT** (Schéma de Cohérence Territoriale), le **PLU** (Plan local d'Urbanisme) et les **cartes communales de risques**.

Le **PPR** (Plan de Prévention des Risques) est un outil institué par l'état et constitue une servitude d'utilité publique pouvant prescrire des mesures de prévention visant à la réduction de la vulnérabilité.

En dernier lieu, le permis de construire peut être refusé ou accepté sous certaines conditions en vertu de l'article R.111-2 du Code de l'Urbanisme, si le maire a connaissance d'un indice de la présence d'un risque de cavité.

Article L.2212-2 5° du Code des collectivités territoriales

Le maire détenteur des pouvoirs de police a pour objet d'assurer le bon ordre, la sûreté, la sécurité et la salubrité publique. Elle comprend notamment :

Le soin de prévenir, par des précautions convenables, et de faire cesser, par la distribution des secours nécessaires, les accidents et les fléaux calamiteux ainsi que les pollutions de toute nature, tels que les incendies, les inondations, les ruptures de digues, les éboulements de terre ou de rochers, les avalanches ou autres accidents naturels, les maladies épidémiques ou contagieuses, les épizooties, de pourvoir d'urgence à toutes les mesures d'assistance et de secours et, s'il y a lieu, de provoquer l'intervention de l'administration supérieure.

4) **L'alerte et la situation de crise.** La présence de cavités souterraines peut engendrer des mouvements de terrain parfois dangereux pour les personnes. Si la cavité est surveillée et menace de s'effondrer, une alerte peut être lancée :

• **A l'échelle départementale**, lorsque plusieurs communes sont concernées par une catastrophe, le plan de secours départemental dit ORSEC est déclenché. Il permet l'organisation des secours et la mobilisation de plusieurs services nécessaires à l'intervention. A ce niveau, c'est le préfet qui déclenche et dirige les opérations de secours.

• **A l'échelle communale**, la charge d'assurer la sécurité de la population revient au maire, détenteur des pouvoirs de police (code des collectivités territoriales).

Article L.561-1 du Code de l'environnement:

[...]lorsqu'un risque prévisible de mouvements de terrain, ou d'affaissements de terrain dus à une cavité souterraine ou à une marnière, d'avalanches ou de crues torrentielles menace gravement des vies humaines, l'Etat peut déclarer d'utilité publique l'expropriation par lui-même, les communes ou leurs groupements, des biens exposés à ce risque, dans les conditions prévues par le code de l'expropriation pour cause d'utilité publique et sous réserve que les moyens de sauvegarde et de protection des populations s'avèrent plus coûteux que les indemnités d'expropriation.

Article L.125-1 du Code des assurances:

Les contrats d'assurance, souscrits par toute personne physique ou morale autre que l'Etat et garantissant les dommages d'incendie ou tous autres dommages à des biens situés en France, ainsi que les dommages aux corps de véhicules terrestres à moteur, ouvrent droit à la garantie de l'assuré contre les effets des catastrophes naturelles, dont ceux des affaissements de terrain dus à des cavités souterraines et à des marnières sur les biens faisant l'objet de tels contrats.

L'effondrement d'une cavité abandonnée est régi par les mesures établies au titre de la sauvegarde des populations menacées par un risque naturel (Art L.561-1 CE). L'article L.125-1 du code des assurances peut alors être sollicité pour la reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle.

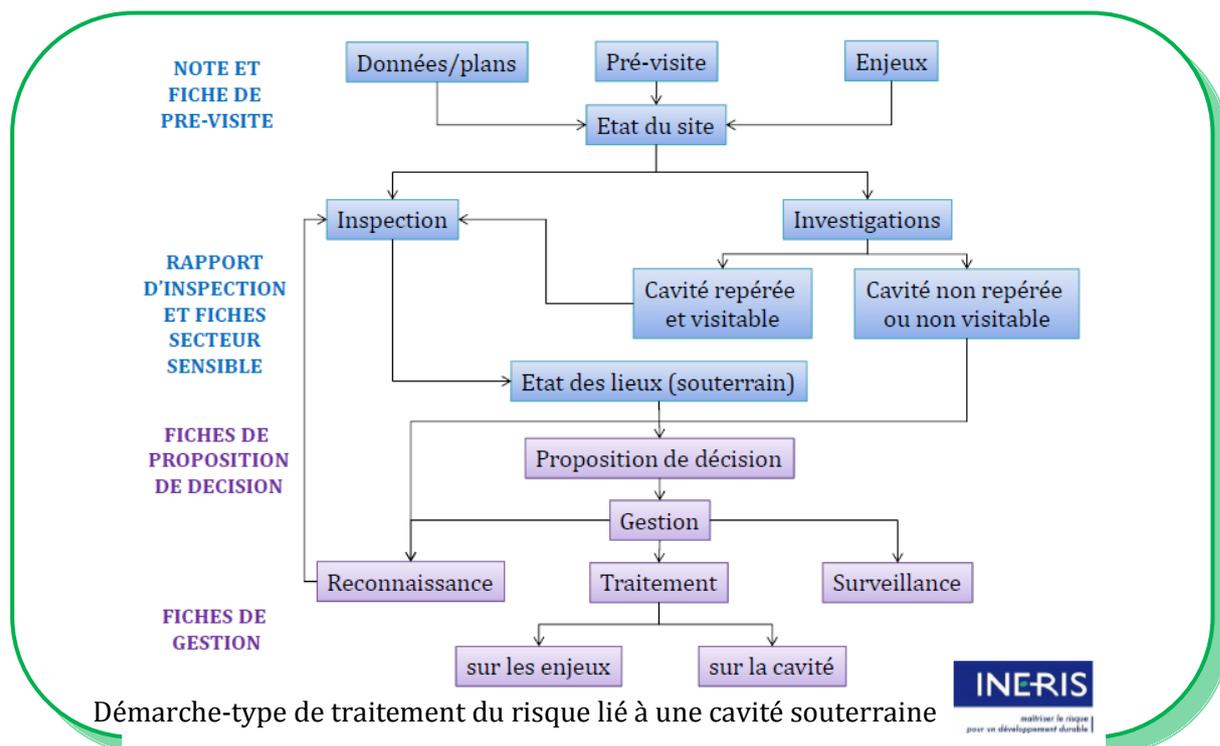
PRÉSENCE D'UNE CAVITÉ : QUE FAIRE ?

1) Présence de cavités en domaine privé. Ceci concerne la majorité des cas et relève de la **pleine et entière responsabilité des propriétaires**. Deux situations sont possibles :

- La cavité est sous le domaine bâti : - si un désordre survient et affecte le bâti, il est possible de faire une demande d'indemnisation de catastrophe naturelle sous certaines conditions (<http://www.risquesmajeurs.fr/guide-juridique-indemnisation-des-catastrophes-naturelles>),
- si le propriétaire veut faire des opérations de reconnaissance et/ou des travaux de comblements ou de traitement à titre préventif des cavités souterraines, il peut faire une demande de financement par le Fonds de Prévention des Risques Naturels Majeurs (FPRNM) (cf Fiche II-2-(5) du dossier de présentation du financement par le Fonds de Prévention des Risques Naturels Majeurs (FPRNM)).
- La cavité est sous un domaine non bâti, si un désordre survient, le propriétaire peut se référer au guide pour la mise en sécurité d'effondrement de cavités souterraines situé en domaine privé publié par l'INERIS (<http://www.ineris.fr/centredoc/guideeffondrement-web-1360659356.pdf>).

2) Présence de cavités en domaine public. Que se soit à la découverte d'une cavité lors d'un effondrement ou pour un projet communal situé en zone de cavités, la commune ou la collectivité doit dans un premier temps rassembler les informations disponibles sur ces cavités. Si les informations ne sont pas suffisantes, il faudra compléter par des investigations afin d'établir un état des lieux le plus complet possible. **Il est également important de caractériser le type d'enjeux (actuels ou futurs) exposés au risque afin d'adapter la décision et la solution de traitement.**

Après avoir établi cet état des lieux, la gestion du risque pourra être définie, de manière concertée, en s'aidant des fiches proposées dans le document de la phase 2 « Démarche-type – Présentation et modèles » (cf. diagramme suivant). Deux applications de cette démarche sont données en exemple. Une fois la solution de gestion choisie, le document de la phase 3 « Document d'aide à la rédaction d'un dossier de consultation de maîtrise d'œuvre » sert de trame au maître d'ouvrage pour consulter un bureau d'études qui suivra les travaux.



3) Les aides :

• **Le fonds de prévention des risques naturels majeurs (FPRNM) nommé fonds Barnier a été créé** pour financer les actions prévues dans le cadre de la politique de prévention des risques naturels majeurs. Ce fonds est alimenté par la prime catastrophe naturelle des contrats multirisques.

Parmi les différentes mesures de réduction de la vulnérabilité face au risque, les opérations de reconnaissance, de comblement ou de traitement des cavités souterraines ou marnières font l'objet de conditions d'éligibilité et de consignes particulières (Fiche II-2-(5) du document financement par le Fonds de Prévention des Risques Naturels Majeurs, document édité par le Ministère en charge de l'Ecologie et du Développement Durable, téléchargeable sur le site www.prim.net) :

- Les biens doivent être couverts par un **contrat d'assurance multirisques** habitation incluant la garantie contre les effets des catastrophes naturelles.
- Une **menace grave et imminente doit être avérée** pour les personnes.
- les **opérations éligibles doivent être moins coûteuses que l'expropriation.**

Le fonds peut contribuer au financement dans le cas d'une **acquisition amiable** par une collectivité sous réserve que le prix de l'acquisition amiable s'avère moins coûteux que les moyens de sauvegarde et de protection des populations.

Le fonds peut également être sollicité pour financer une **procédure d'expropriation** dans les mêmes conditions que l'acquisition amiable.

Le dossier de demande de subvention peut être retiré auprès des services du SIRACEDPC, bureau de la prévention, à la préfecture du Nord. La demande peut être faite par la commune ou le propriétaire mais l'instruction du dossier relève de la compétence du préfet. Le guide de gestion des cavités à l'usage des maires (Préfet du Nord, 15 avril 2011) précise les pièces à fournir à l'appui d'une demande de subvention et les modalités de son instruction (en référence à l'arrêté du 12 janvier 2005 relatif aux subventions accordées par le fonds Barnier).

• Il existe **d'autres aides moins spécifiques** au risque cavité souterraine comme par exemple le **FEDER** (Fonds Européen de Développement Régional), ou encore le Prêt du Secteur Public Local (PSPL) proposé par la **Caisse des Dépôts**.

Article L.561-1 et 3 du Code de l'Environnement modifié par la loi 2003-699 du 30 juillet 2003 dite loi « Bachelot »

I. Le fonds de prévention des risques naturels majeurs est chargé de financer, dans la limite de ses ressources, [...] les dépenses liées à la limitation de l'accès et à la démolition éventuelle des biens exposés afin d'en empêcher toute occupation future. En outre, il finance, dans les mêmes limites, les dépenses de prévention liées aux évacuations temporaires et au relogement des personnes exposées.

Il peut également [...] contribuer au financement des mesures de prévention intéressant des biens couverts par un contrat d'assurance [...]. Les mesures de prévention susceptibles de faire l'objet de ce financement sont :

- L'acquisition amiable par une commune, un groupement de communes ou l'Etat d'un bien exposé à un risque prévisible de mouvements de terrain ou d'affaissements de terrain du à une cavité souterraine ou à une marnière, d'avalanches, de crues torrentielles ou à montée rapide menaçant gravement des vies humaines ainsi que les mesures nécessaires pour en limiter l'accès et en empêcher toute occupation, sous réserve que **le prix de l'acquisition amiable s'avère moins coûteux que les moyens de sauvegarde et de protection des populations ;**

- Les opérations de reconnaissance des cavités souterraines et des marnières, dont les dangers pour les constructions ou les vies humaines sont avérés, ainsi que le traitement ou le comblement des cavités souterraines et des marnières qui occasionnent des risques d'effondrement du sol menaçant gravement des vies humaines, **dès lors que ce traitement est moins coûteux que l'expropriation prévue à l'article L. 561-1 ;**

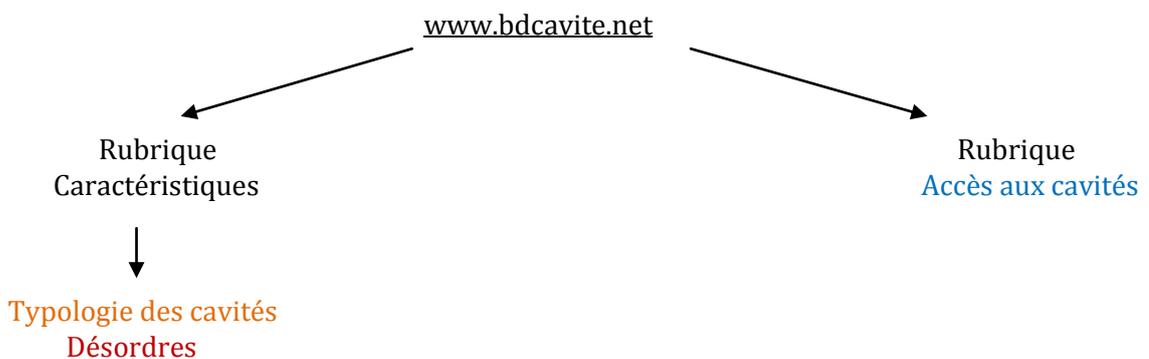
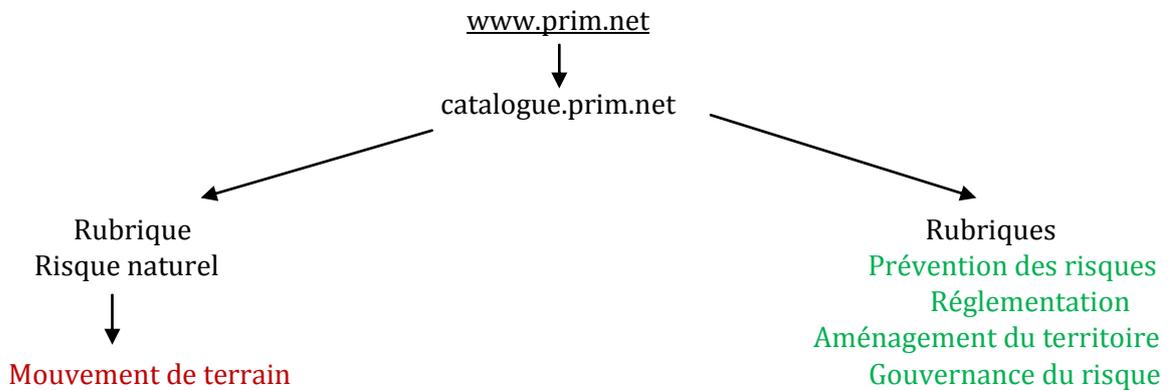
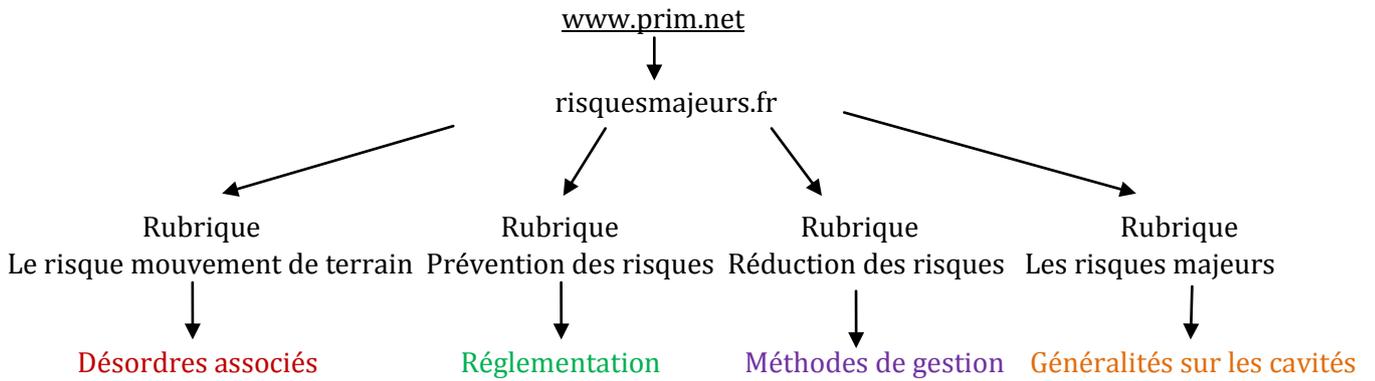
- Les études et travaux de prévention définis et rendus obligatoires par un plan de prévention des risques naturels prévisibles [...] sur des biens à usage d'habitation ou sur des biens utilisés dans le cadre d'activités professionnelles [...];

- Les campagnes d'information, [...]

LEXIQUE

BANC	Niveau de roche sédimentaire de même grain, couleur, aspect, dureté... (épaisseur allant du centimètre à plusieurs mètres).
BOUCHON DE CATICHE	Fermeture du puits d'accès à la catiche.
BOVE	Dans le Nord, représente un abri individuel creusé à partir de la cave. (En Picardie, représente des habitations troglodytes).
CATICHE	Appellation employée dans le Nord de la France pour désigner une exploitation de craie en forme de bouteille.
CIEL	Banc rocheux constituant le plafond de la carrière.
CONTRAINTE	Sollicitation du massif exercée sur un ouvrage souterrain.
DIACLASE	Fracture, d'origine naturelle, affectant la masse rocheuse, en général à peu près perpendiculaire aux bancs, sans déplacement relatif des compartiments.
DIAGRAPHIE	Mesure et enregistrement en continu d'un paramètre géophysique et mécanique le long d'un forage.
FONTIS	Cratère en surface formé par l'effondrement brutal et inopiné des terrains consécutivement à l'arrivée en surface d'un éboulement du toit d'une cavité souterraine.
INDUSTRIE CHAUFOURNIERE	Industrie utilisant la craie pour fabriquer de la chaux.
LITHOLOGIE	Nature des roches d'une formation géologique.
LITHOSTRATIGRAPHIE	Etude des couches basée uniquement sur leurs différences de natures, indépendamment de leur contenu en fossiles.
MOELLON	Parallélépipède de craie taillé dans un bloc abattu.
MONTEE DE VOUTE	Eboulement localisé et progressif du toit d'une cavité. Cette instabilité prend naturellement la forme d'une voûte.
MUCHE	Souterrain creusé à des fins de protection des habitants et de leurs biens lors de conflits (muche signifie « cachette » en Picard).
REMBLAI DE PIED	Déchets d'exploitation laissés sur place formant une couche sur le sol de la carrière.
SAPE	Ouvrage militaire creusé à faible profondeur et présentant différentes formes.
TOIT	Limite supérieure de l'exploitation.
TUFFEAU	Variété de calcaire crayeux.

ACCEDER AUX INFORMATIONS EN 3 CLICS



SITES INTERNET ET DOCUMENTS UTILES

Références générales	<ul style="list-style-type: none"> • www.irma-grenoble.com • www.bdcavites.net • www.nord.equipement-agriculture.gouv.fr → rubrique risques • Guide Mouvement de terrains du MEDD (http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/mvmt_terrain.pdf)
Documents relatifs aux cavités souterraines du Nord	<ul style="list-style-type: none"> • BIVERT B., Les souterrains du Nord - Pas-de-Calais, 1988 _ ISBN : 2-950-2930-0-X • LAMBERT C., Mise en sécurité d’effondrement de cavités souterraines situé en domaine privé dans le département du Nord (59) Procédure d’intervention, INERIS, 2012 (http://www.ineris.fr/centredoc/drs-12-128945-07936a-unique-1360658975.pdf) • PREFET DU NORD, Dossier Départemental des Risques Majeurs 2011 du Nord, risque mouvement de terrain, p55 à 71. (http://www.nord.gouv.fr/Annonces-avis/Dossier-departem.-des-risques-majeurs-DDRM/Dossier-departemental-des-risques-majeurs-DDRM)
Guides à l’usage des maires	<ul style="list-style-type: none"> • CETE NORD PICARDIE, Guide de gestion des cavités souterraines à l’usage des maires du département du Nord, 2011. • PREFET DU NORD, Guide de gestion des cavités souterraines à l’usage des maires, 2011.
Guides techniques	<ul style="list-style-type: none"> • FAUCHARD C., Guide technique_détection des cavités souterraines par méthodes géophysiques, LCPC, 2004. • KAZMIERCZAK J-B. et AL HEIB M., Recommandations pour l’évaluation et le traitement des conséquences des mouvements du sous-sol sur le bâti, INERIS, 2008 (http://www.ineris.fr/centredoc/DRS-08-95042-13683A.pdf) • TRITSCH J-J., Mise en sécurité des cavités souterraines d’origine anthropique : surveillance – traitement, INERIS, 2007. http://www.ineris.fr/centredoc/Guide_carrieres.pdf)