

RAPPORT D'ÉTUDE

18/07/2014

DRS-13-132929-05874B

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

**Phase 2 : Démarche type pour la gestion du
risque lié à une cavité souterraine**

Livrable 2.2 : Présentation et modèles

INERIS

maîtriser le risque |
pour un développement durable |

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

Phase 2 : Démarche type pour la gestion du risque lié à une cavité souterraine

Livrable 2.2 : Présentation et modèles

Livrable 2.3 : Mise en pratique de la démarche - Etat géotechnique de la carrière du Chemin Vert à Marly après inspection et propositions des modes de gestion

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 :

Magali FREMONT, stagiaire à la Direction des Risques du Sol et du sous-sol

Jean-Marc WATELET, référent « carrière souterraine » à la Direction des Risques du Sol et du sous-sol

M-P. HANESSE, Technicienne Supérieure à l’Unité Risques Géotechniques liés à l’Exploitation du sous-sol à la Direction du Sol et du Sous-sol.

G. GOUILLON, Technicien Supérieur à l’Unité Risques Géotechniques liés à l’Exploitation du sous-sol à la Direction du Sol et du Sous-sol.

PREAMBULE

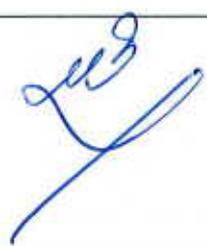
Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

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 équivalent 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	Catherine PINON	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			

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.

Le rapport ci-joint correspond à la phase 2 et comprend :

- le livrable 2.2 : présentation concrète de la démarche type de gestion du risque lié à une cavité souterraine. Il est accompagné en annexes de « documents modèles » ;
- le livrable 2.3 : application de la démarche à la carrière du Chemin Vert à Marly. Il synthétise les données recueillies le 26 avril 2013 lors de l'inspection visuelle, par une équipe de l'INERIS, de la carrière souterraine du Chemin Vert à Marly. Il comprend notamment un rapport d'inspection, une carte des secteurs sensibles et des propositions de gestion pour l'ensemble de ces secteurs.

RAPPORTS JOINTS



Direction Départementale des Territoires et de la Mer du Nord

DEMARCHE-TYPE POUR LA GESTION DU RISQUE LIE A UNE CAVITE SOUTERRAINE

PRESENTATION ET MODELES

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



2014

TABLE DES MATIÈRES

1. PRÉSENTATION DE LA DÉMARCHE-TYPE	3
2. ETAT DU SITE (PHASE INFORMATIVE)	5
3. INVESTIGATIONS	7
4. ETAT DES LIEUX EN SOUTERRAIN	9
4.1 Les paramètres de configuration du vide	10
4.2 Les paramètres relatifs à l'environnement de la cavité (Contexte).....	11
4.3 Les paramètres géotechniques ou problèmes géotechniques identifiés	11
4.4 Les paramètres liés à l'aspect évolutif de la cavité	12
5. FICHES DE PROPOSITION DE DÉCISION	13
5.1 Critères relatifs à l'état de l'ouvrage souterrain	13
5.2 Critères relatif au contexte de la cavité	14
5.3 Critères relatifs à la sécurité et hygiène du personnel.....	16
5.4 Note finale	16
5.5 Choix final du mode de gestion	17
6. FICHES DE GESTION	19
7. BIBLIOGRAPHIE	21
8. LISTE DES ANNEXES	23

1. PRÉSENTATION DE LA DÉMARCHE-TYPE

Afin d'homogénéiser la gestion du risque lié à une cavité souterraine, une démarche-type est proposée (Figure 1). Celle-ci se décompose en plusieurs étapes aboutissant à la proposition d'une gestion adaptée à la cavité dont il est question.

Dans un premier temps, un état du site doit être réalisé pour établir la situation de départ. Ce stade est formalisé par une note d'analyse des données existantes accompagnée d'une carte informative et d'une fiche de pré-visite.

Vient ensuite, un état des lieux en souterrain indiquant la situation des ouvrages au fond. Les documents synthétisant cette étape sont un rapport d'inspection, une carte précisant les secteurs sensibles et des fiches descriptives associées à chaque secteur.

Après avoir réalisé cet état détaillé (surface et souterrain) de la zone où se situe la cavité, il faut déterminer le mode de gestion qui sera le plus adapté. Pour cela, une fiche de décision permet d'orienter le choix.

Dans un dernier temps, pour conforter la décision prise, des fiches renseignent sur les objectifs et principes de chaque type de gestion.

Dans la suite du document, à chaque début de paragraphe, il sera précisé qui peut réaliser l'opération avec la signalétique suivante :

- Mairie, bureau d'études...

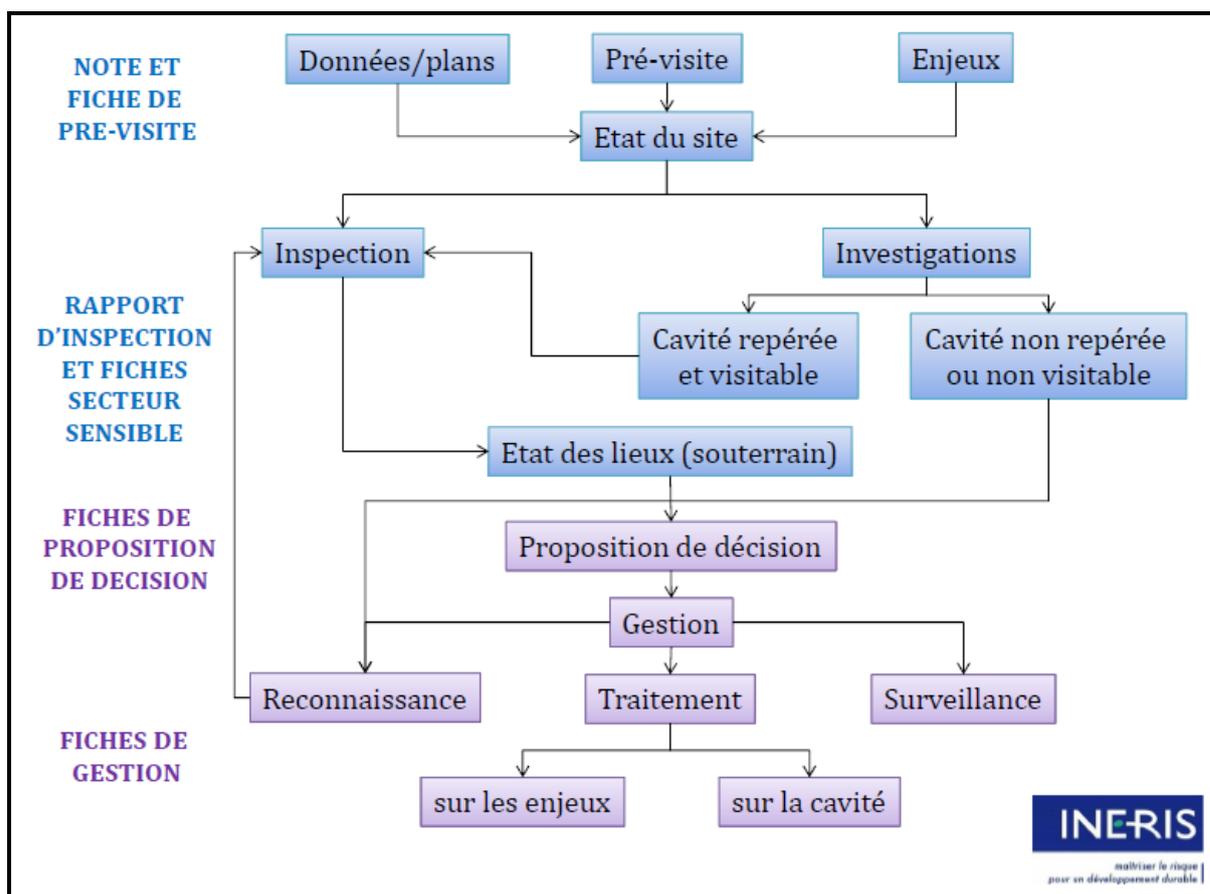


Figure 1 : Démarche-type de gestion du risque lié à une cavité souterraine

2. ETAT DU SITE (PHASE INFORMATIVE)

- Mairie ou service dédié aux cavités souterraines (SEISM par exemple)
- Bureau d'études spécialisé

La définition de l'état du site comprend :

- la recherche d'informations (plans, documents) concernant la cavité. Ces éléments peuvent se trouver dans les archives (départementales, nationales, privées...), en mairie, sur internet, auprès des Services Publics spécialisés (SEISM¹ par exemple), auprès de la population ou encore auprès d'associations.

Dans le département du Nord, toutes les données existantes relatives aux carrières souterraines ont été communiquées aux communes concernées par le SDICS².

Un inventaire national des cavités souterraines abandonnées (hors mine) a été confié au BRGM³ par le ministère en charge de l'Ecologie. Cette base de données indique les sapes de guerre et certaines caves qui n'étaient pas forcément prises en compte par le SDICS. Elle est disponible sur le site www.bdcavite.net.

L'ensemble des principaux mouvements de terrain historiques est recensé sur le site www.bdmvt.net et présentés à l'échelle 1/100 000.

Il s'agit de recueillir des plans de ou des cavité(s) concernée(s) et des données décrivant et localisant les accès, désordres, travaux déjà effectués... et tout autre indice susceptible d'apparaître sur les photos aériennes, cartes topographiques ou géologiques ;

- une pré-visite en surface pour vérifier l'accessibilité et l'environnement de la cavité et déterminer si une reconnaissance plus approfondie est réalisable. On recherchera également les indices de surface de présence de cavité(s) comme les désordres (effondrement, affaissement...). Cette tâche se synthétise par une « **fiche de pré-visite** » présentée en annexe 1 de ce document. Des photographies de l'accès et de l'environnement de la cavité seront nécessaires aux différents acteurs définis dans la procédure ;
- une définition, au droit de la cavité, des enjeux de surface existants et futurs (à reporter dans le critère **A1 de la fiche de pré-visite**). En effet, ils auront un rôle important dans les étapes suivantes.

Toutes les informations recueillies lors des recherches dans les archives et autres sources de données ainsi que celles relevées lors de la pré-visite sont regroupées dans une note appelée « **Note d'analyse des données existantes** ». Cette note est accompagnée, si possible, d'une « **Carte informative avant inspection** » comprenant le dernier plan à jour de la cavité, les données parcellaires et les

¹ Service d'Expertises et d'Ingénierie des Sols et Matériaux (service du Conseil Général du Nord)

² Service Départemental d'Inspection des Carrières Souterraines

³ Bureau de Recherches Géologiques Minières

éléments recueillis. Ces informations serviront de base à la prochaine étape de la démarche proposée par l'INERIS.

Deux exemples de note d'analyse des données existantes et de carte informative avant inspection sont présentés dans le dossier : l'un concerne la carrière du Chemin Vert à Marly (exemple 1 [3]), l'autre traite de la Friche Doublet à La Sentinelle (exemple 2 [1]).

Cette première étape permet de déterminer si la cavité souterraine en question est accessible ou non :

- si la cavité est accessible par l'homme, alors une inspection en souterrain avec diagnostic de stabilité est préconisée (§4). D'après les premiers éléments recueillis en archives et en surface, les conditions d'inspection peuvent toutefois se révéler complexes (déficit en oxygène, présence de la nappe...) pour la visite en souterrain. Dans ce cas, l'inspection sera par exemple différée dans le temps ou réalisée en plusieurs fois pour répondre aux conditions de sécurité du personnel en souterrain ;
- si toutes les conditions d'accessibilité à la cavité ne sont pas réunies, en particulier la teneur en oxygène, ou si la cavité n'est pas accessible (aucun accès ou accès condamné), il convient de réaliser des investigations complémentaires (§3).

3. INVESTIGATIONS

- Service public dédié aux cavités souterraines (SEISM par exemple) ou bureau d'études spécialisé en reconnaissance géotechnique

Si la phase préliminaire de recherche d'informations (§2) a révélé l'inaccessibilité à la cavité, on peut, pour vérifier ces premières informations, procéder à une recherche de cavité par la mise en œuvre d'une ou de plusieurs méthodes géophysiques. Certaines, parmi celles-ci, sont utilisées depuis de nombreuses années (microgravimétrie ou radar géologique, par exemple).

Puis, l'étape fondamentale de reconnaissance des vides est réalisée par forages destructifs (avec enregistrement des paramètres). Outre les informations qu'elle apporte sur la nature des terrains, la reconnaissance par forages permet, en effet, de situer exactement les cavités, de les reconnaître (par endoscopie, photographie ou caméra vidéo), de préciser la hauteur de vides, leur état apparent et de choisir ainsi les meilleurs points d'attaque pour le creusement d'éventuel puits d'accès ou de remblaiement.

Si ces investigations ne permettent pas de repérer la cavité et donc de la visualiser, des reconnaissances complémentaires peuvent être prévues. Toutefois, cette phase peut conclure à l'absence de vides ou à juger que l'état des anciennes cavités (effondrées, trop profondes...) n'impactera pas les terrains de surface à terme.

4. ETAT DES LIEUX EN SOUTERRAIN

- Service public dédié aux cavités souterraines (SEISM par exemple) ou bureau d'études spécialisé

Après avoir établi l'état général du site en phase informative (§2), une inspection en souterrain de la cavité est nécessaire si les vides sont accessibles. L'inspection visuelle et des levés géotechniques permettent d'établir un avis sur la stabilité de la cavité et de juger l'état actuel des ouvrages et les dégradations qui auraient pu se développer depuis les dernières inspections (s'il y en a eu).

Cet état des lieux en souterrain permet également de découper la cavité en **secteurs** qui en fonction de leur degré de dégradation seront qualifiés de sensibles ou non. Dans le cas d'une cavité non visitable, le secteur sensible correspondra à toute la cavité.

Les secteurs peuvent être classés en 3 catégories selon leur dégradation, leur évolution et l'avis de l'expert qui a inspecté l'ouvrage souterrain :

- « Rouge » : les désordres, de type montée de voûte⁴ ou chute de parement, sont clairement recensés et ont évolué fortement depuis la dernière inspection. Cet examen doit faire référence à la dernière visite du site (souvent réalisée par le SDICS) ;
- « Orange » : les évolutions depuis la dernière inspection sont moins nombreuses mais importantes ;
- « Vert » : les parements et ciel de carrière sont sains et/ou peu dégradés et ne semblent pas évolutifs.

Cet état des lieux comprend la rédaction d'un « **Rapport d'inspection** », la réalisation de fiches descriptives des secteurs sensibles (ou « **Fiche de secteur sensible** ») et d'une « **Carte de localisation des secteurs sensibles** ». Un exemple de ces deux types de document est donné pour une carrière souterraine de la commune de Marly [2].

Seuls les secteurs « Rouge » et « Orange » sont considérés comme sensibles et font l'objet d'une fiche descriptive. Pour chaque secteur sensible identifié, la fiche est complétée par le bureau d'études spécialisé en charge de déterminer l'état des lieux de l'ouvrage souterrain. Cette fiche permet de décrire l'état et l'évolution d'un secteur déterminé de la cavité. Le modèle de cette fiche est présenté en annexe 2.

La description de chaque secteur se base sur différents paramètres géométriques et géotechniques explicités dans les pages suivantes. Le Guide technique de mise en sécurité des cavités souterraines d'origine anthropique : surveillance – traitement [8], diffusé en 2007 par l'INERIS, détaille ces critères.

⁴ Pour la définition des termes techniques, se référer au document de sensibilisation aux élus (phase 1) [4]

4.1 LES PARAMÈTRES DE CONFIGURATION DU VIDE

B1 : Type de cavité – type d'exploitation

Il s'agit de définir le type d'ouvrage souterrain inclus dans le secteur à décrire : cave, sape de guerre, carrière... En particulier, s'il s'agit d'une carrière souterraine, il convient de préciser le mode d'exploitation utilisée : galerie filante, chambres et piliers, catiches ou méthode mixte.

En fonction de la typologie de la cavité, les conséquences en surface d'une instabilité ne seront pas les mêmes.

B2 : Hauteur moyenne des vides (m)

Elle correspond à la distance moyenne mesurée lors de l'inspection entre le toit et le sol de la cavité (voir également critère B7).

B3 : Largeur moyenne des galeries (m)

Elle correspond à la distance moyenne mesurée lors de l'inspection entre les parements de la cavité. Il peut s'agir d'une largeur de chambre, de galerie, de cavité.

B4 : Volume (m³)

Cette caractéristique est souvent difficile à évaluer par manque de données suffisantes des hauteurs et largeurs des vides souvent aux formes irrégulières. Il s'agit d'une estimation grossière en vue du traitement de la cavité (volume estimatif à combler par exemple).

Ce critère conditionne certaines techniques comme la surveillance instrumentée et le traitement par renforcement des ouvrages (confortation du fond) qui ne sont plus opérationnelles (pratiquement et économiquement) dès lors que la dimension des cavités et leur extension spatiale dépassent une certaine limite variable avec les configurations de site.

B5 : Dimensions des piliers (m)

Il s'agit de donner une indication sur la largeur, la longueur et la hauteur des masses rocheuses en place (piliers), si elles existent. Ces masses participent, en effet, au soutien du toit de la cavité et des terrains de recouvrement.

B6 : Profondeur (ou hauteur en mètre) et nature du recouvrement

La profondeur de la cavité est estimée en fonction par exemple, de la profondeur du puits d'accès, des forages à proximité... Elle va jouer un rôle sur la nature et l'ampleur du désordre potentiel en surface lié à la cavité souterraine.

Dans les sites souterrains inaccessibles, la hauteur du recouvrement est, toutes choses égales par ailleurs, un paramètre fondamental pour le choix de la méthode de traitement depuis la surface. Certaines méthodes ne sont adaptées qu'à des conditions de faible recouvrement (subsurface) comme le terrassement-comblement (voire le pilonnage intensif). Les techniques de remblaiement par déversement gravitaire (voie sèche ou semi-humide), ne sont adaptées qu'à de faibles ou moyennes profondeurs (jusqu'à 30 ou 40 m) pour des raisons de foration (diamètre, tubage, etc.).

B7 : Epaisseur supposée des remblais dans la cavité (m)

Du matériau de remblai (issu de l'extraction) recouvre très souvent le sol des carrières souterraines du Nord. Cela peut également être le cas dans les caves ou sapes, partiellement remblayés pour diverses raisons. Ce matériau peut s'avérer peu compact et être une source de « fuite » dans la phase de comblement si ce mode de gestion est choisi pour le secteur concerné par la fiche. Il est donc utile d'en estimer grossièrement l'épaisseur.

B8 : Epaisseur des terrains peu cohérents de surface (limons)

Il s'agit des terrains altérés et/ou peu cohérents proches de la surface. Cette épaisseur est estimée, par exemple, à partir de coupes de sondages disponibles dans la Banque du Sol et du Sous Sol (<http://infoterre.brgm.fr/>). Dans le cas d'un fontis, la présence de terrains peu cohérents est un paramètre accélérant sa survenue en surface, voire sa forme en surface.

B9 : Taux de défrètement (%)

Ce paramètre, calculable pour un vide de forte extension latérale (carrière surtout), correspond au rapport entre la surface exploitée et la surface totale du secteur. Plus ce taux est élevé, plus le secteur est sensible aux instabilités de terrain.

4.2 LES PARAMÈTRES RELATIFS À L'ENVIRONNEMENT DE LA CAVITÉ (CONTEXTE)

B10 : Gaz (O₂, CO₂, H₂S, CH₄, radon...)

Il s'agit de connaître (et de mesurer si possible) à l'aide d'instruments adaptés les teneurs en oxygène, en dioxyde de carbone, en H₂S, en CH₄ (si nécessaire), en radon... dans la cavité. En effet, l'atmosphère de la cavité conditionnera la possibilité d'accès et de visite.

B11 : Venues d'eau/ infiltrations/ nappe

La présence d'eau est un facteur aggravant la dégradation de la cavité. Il est donc important de noter si elle est présente dans le secteur concerné et sous quelle forme : goutte-à-goutte, nappe affleurante (cote inférieure)... Il convient également de préciser si la nappe est permanente, périodique ou sporadique, si les venues d'eau sont ponctuelles ou continues, étendues ou localisées.

B12 : Surveillance – traitement – confortement existant

Ce critère regroupe tous les modes de suivi qui ont pu être mis en œuvre dans la cavité avant cette phase de diagnostic. On peut citer : mise en peinture, surveillance par bâches, instrumentation, confortement, comblement...

4.3 LES PARAMÈTRES GÉOTECHNIQUES OU PROBLÈMES GÉOTECHNIQUES IDENTIFIÉS

B13 : Mouvements de terrain – zone inaccessible – désordres en surface

Il s'agit de référencer les éléments concernant l'état de dégradation de la cavité. Les dégradations observées doivent être détaillées de manière technique et précise afin de juger de l'état géotechnique du secteur. Cela

comprend les chutes de parements, montées de voûte, dégradations des puits...

Ce critère rassemble également les désordres apparus en surface, recensés dans les archives ou vus lors de la pré-visite.

Si des extensions de la cavité sont supposées, elles doivent être indiquées dans ce paragraphe.

4.4 LES PARAMÈTRES LIÉS À L'ASPECT ÉVOLUTIF DE LA CAVITÉ

B14 : Evolutions observées

Ce critère caractérise les évolutions géotechniques observées dans le secteur. Cela comprend toutes les évolutions repérées depuis la dernière inspection au droit des parements, du ciel ou encore des montées de voûte (Figure 2). Ces éléments permettent de conclure à l'état évolutif ou non du secteur de la cavité. Ce critère peut prendre en compte les résultats des instruments de surveillance (cane de convergence, extensomètre, fissuromètre...), s'ils existent et s'ils sont suivis dans le temps.

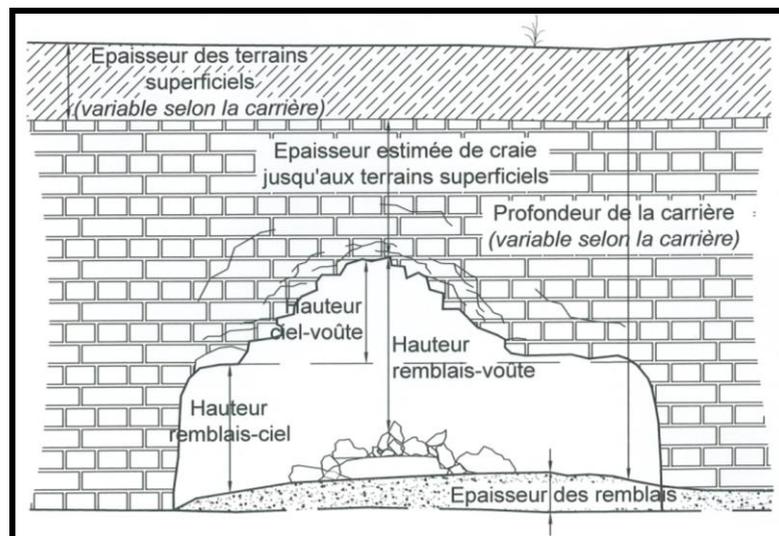


Figure 2 : Définition des termes utilisés pour les montées de voûte en carrière

5. FICHES DE PROPOSITION DE DÉCISION

- Mairie et/ou propriétaires
- Bureau d'études spécialisé

La « **Fiche de proposition de décision** » intervient après les fiches de pré-visite et de secteur sensible. Afin de tenir compte de tous les critères techniques, économiques, sociaux, politiques... (§5.5) pouvant influencer le choix, elle est à remplir conjointement par le bureau d'études spécialisé qui a réalisé l'inspection en souterrain et le maître d'ouvrage concerné par la cavité (mairie et/ou propriétaire/aménageur du terrain).

Cette fiche de proposition de décision est présentée en annexe 3.

Plusieurs paramètres sont à prendre en compte pour remplir cette fiche :

- une cavité n'évolue pas de la même manière sur toute son étendue. C'est pourquoi, il est souvent utile de diviser la cavité en plusieurs secteurs (comme explicité au début du paragraphe 4). Chaque secteur devra faire l'objet d'une fiche de proposition de décision et de gestion ;
- l'évaluation doit être réalisée en fonction des caractéristiques propres du secteur en question et non de la cavité entière ;
- si deux réponses sont possibles, la majorante ou la plus pessimiste (chiffre le plus élevé) sera retenue ;
- par critère, la note (dans la colonne intitulée « NOTE ») correspondant à la situation du secteur est à reporter dans la dernière colonne, en rouge, à droite de la fiche. Le total de celles-ci (en bas à droite de la page) permet de proposer un mode de gestion du secteur.

Les critères retenus pour la proposition de choix du mode gestion du secteur sensible de la cavité étudiée peuvent se décomposer en 3 parties :

5.1 CRITÈRES RELATIFS À L'ÉTAT DE L'OUVRAGE SOUTERRAIN

C1 : Type de cavité

Référence à **B1 de la fiche de secteur sensible**.

C2 : Profondeur à laquelle se situe la cavité

Référence à **B6 de la fiche de secteur sensible**.

Ce critère correspond à la profondeur moyenne du sol de la cavité. Par retour d'expérience, il a été observé, que toutes choses égales par ailleurs, la prédisposition à voir apparaître un effondrement en surface lié à une cavité à moins de 10 m de profondeur est plus importante que celle liée à une cavité à plus de 30 m de profondeur.

C3 : Accessibilité au secteur

Référence à **A3 de la fiche de pré-visite**.

Ce critère définit les conditions d'accès au secteur en question. Il comprend la nature et l'état des galeries d'accès (descenderie) ou des puits, réalisés et praticables ou même potentiellement réalisables (réouverture du site) pour

pouvoir accéder au fond. Ces conditions impliquent également une certaine stabilité des « ouvrages » souterrains (toit, piliers, galeries) à traverser pour atteindre le secteur (sans risque de chutes de blocs issus du toit ou des parements), mais aussi une ventilation convenable pour assurer une atmosphère salubre dans l'ensemble des chantiers souterrains (quartiers).

Tout naturellement, l'inaccessibilité au site souterrain interdit donc d'emblée, les méthodes de prévention par visites et inspection visuelle, par surveillance instrumentée, ainsi que les techniques de traitement depuis le fond par consolidation (boulonnage, piliers artificiels, béton projeté, etc.) ou comblement direct par engins mécanisés. L'inaccessibilité ne laisse donc place qu'à des solutions de traitement opérables depuis la surface (comblement gravitaire, injections, terrassement-comblement, ou foudroyage). On ne doit toutefois pas omettre la possibilité de foncer un puits d'accès dans les cas où l'enjeu le justifie.

C4 : Humidité du secteur

Référence à **B11 de la fiche de secteur sensible**.

Il prend en considération les infiltrations d'eau ainsi que la présence de la nappe phréatique, tous deux facteurs aggravant la dégradation de la cavité.

C5 : Etat géotechnique

Référence à **B13 de la fiche de secteur sensible**.

Il correspond à l'état de dégradation de la cavité. Il est évalué par un géotechnicien après l'inspection en souterrain (§4).

C6 : Etat évolutif

Référence à **B14 de la fiche de secteur sensible**.

Il est établi par un géotechnicien après l'inspection en souterrain (§4).



Les critères :

C5 « Etat géotechnique » = 20

+

C6 « Etat évolutif » = 20

sont prioritaires et renvoient automatiquement à une gestion à très court terme du risque. Il s'agit de procédures de péril imminent, d'évacuation ou encore d'expropriation⁵.

5.2 CRITÈRES RELATIF AU CONTEXTE DE LA CAVITÉ

C7 : Désordres connus en surface

Référence à **B13 de la fiche de secteur sensible**.

La présence de désordres connus en surface est un critère objectif de l'état de dégradation de la cavité.

⁵ Sauf dans le cas où le critère C11 = « Espace vert »

C8 : Type d'environnement

Référence à **A1 de la fiche de pré-visite.**

Il y a quatre possibilités pour ce critère :

- le milieu naturel correspond à un secteur sans urbanisation,
- le milieu rural comporte les secteurs agricoles,
- le milieu péri-urbain présente une faible proportion de bâtis associée à des terrains non bâtis (pâtures,...),
- le milieu urbain présente une forte concentration de bâtis.

C9 : Contexte parcellaire

Le secteur de la cavité peut concerner une seule parcelle ou plusieurs. Dans le cas d'un contexte multi-parcellaire, une concertation entre les différents propriétaires doit avoir lieu pour décider de la gestion qui sera effectuée.

C10 : Propriété publique ou privée

A l'aplomb du secteur à traiter, le domaine peut être soit public, soit privé, soit partagé entre les deux. Dans le dernier cas, la note la plus élevée sera retenue pour le choix.

C11 : Enjeu existant et/ou projet d'urbanisation

Référence à **A1 de la fiche de pré-visite.**

Ce critère est important pour la gestion de la cavité car s'il venait à y avoir un désordre en surface, les conséquences seraient potentiellement plus importantes pour un bâtiment qu'un espace vert. S'il y a plusieurs réponses possibles, la note la plus élevée sera retenue pour le choix.

Dans le cas d'un bâtiment existant, le type de fondation (pieux, dalle de répartition...) peut également jouer dans le choix du mode de gestion. Ce critère n'est pas expressément mentionné sur le recto de la fiche de proposition de décision mais il sera à préciser sur le verso, dans le paragraphe « Contexte local » par exemple.

Par ailleurs, les travaux préparatoires et les précautions à prendre en cas de remblayage depuis la surface sont évidemment plus complexes en zone urbanisée qu'en zone naturelle. De même, en zone urbanisée, les méthodes destructives comme le terrassement-comblement, le pilonnage ou le foudroyage sont à utiliser avec précautions à cause des nuisances engendrées.

Dans le cas de la mise en sécurité des populations dans les zones dites naturelles (espaces verts, zones de loisirs) par opposition aux zones urbanisées, il s'agit d'éliminer tout risque d'effondrement plus ou moins brutal susceptible de mettre en péril les personnes. On peut néanmoins considérer de légers affaissements (centimétriques ou décimétriques) ou tassements différés (à long terme), comme inoffensifs et les tolérer pour le niveau de sécurité minimal.

Pour les constructions nouvelles, les mesures de protection sont beaucoup plus draconiennes. Il convient d'éliminer tout risque de tassement, même minime, par la restitution d'une portance suffisante au sol ou édifier le bâtiment sur des fondations profondes reposant sur un horizon favorable en dessous des cavités (le plus souvent remblayées).

C12 : Présence de réseaux

La présence de réseaux enterrés au-dessus de la cavité constitue un facteur dangereux. En effet, la remontée d'une cloche de fontis en surface peut potentiellement engendrer une rupture de réseaux et avoir des conséquences importantes (fuite, explosion...).

5.3 CRITÈRES RELATIFS À LA SÉCURITÉ ET HYGIÈNE DU PERSONNEL

C13 : Teneur en gaz

Référence à **B10 de la fiche de secteur sensible**.

L'atmosphère de la cavité est un paramètre important car celui-ci conditionne la possibilité d'accès aux personnes devant y circuler (inspection, travaux au fond,...). Il faut pouvoir assurer une ventilation convenable pour garantir une atmosphère salubre dans l'ensemble de l'ouvrage souterrain.

En ce qui concerne le radon, si le niveau de seuil fixé à 400 Bq/m³ par les articles R. 4457-3, R. 4457-6 et R. 4457-11 du code du travail⁶ est dépassé l'employeur est tenu de prendre les mesures techniques ou organisationnelles nécessaires pour réduire le risque d'exposition des travailleurs.

C14 : Circulation dans le secteur

Référence aux critères **B2, B3, B7 et B13 de la fiche de secteur sensible**.

Il est important de connaître les conditions de circulation dans le secteur afin de pouvoir évoluer dans un espace souterrain de dimensions suffisantes que ce soit pour circuler librement à pied (surveillance) ou pour procéder à des travaux au fond avec des engins mécanisés encombrants (remblaiement direct, ou opérations de confortement des cavités...).

5.4 NOTE FINALE

Le total obtenu au bas de la 4^e et dernière colonne de la première page de la fiche de proposition de décision est un indicateur pour le choix, selon l'avis de l'expert géotechnique, du mode de gestion le plus adapté.

Si la note finale est faible et s'il n'y a pas de contre-indications majeures, une gestion du secteur par surveillance peut être envisagée. Si la surveillance n'est pas réalisable, des solutions de consolidation ou de comblement pourront être proposées.

Plus la note finale est élevée, plus les méthodes de traitement (comblement, consolidation, terrassement...) sont à préférer à la surveillance.

Il est difficile de déterminer une valeur seuil qui délimite la gestion par surveillance et la gestion par les différentes méthodes de traitement. En effet, les critères techniques pris en compte sont dépendants des sites étudiés et la note

⁶ Décret n°2007-1570 du 5 novembre 2007 relatif à la protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants qui modifie le code du travail et Circulaire DGT/ASN n°04 du 21 avril 2010 relative aux mesures de prévention des risques d'exposition aux rayonnements ionisants.

finale peut être variable d'une cavité à l'autre. Cette note finale reste un indicateur pour l'expert géotechnique.

Toutefois, la comparaison entre les totaux obtenus pour les différents secteurs d'une même cavité permet d'établir un ordre de priorité de gestion : le secteur avec le total le plus élevé devra être traité avant les autres.

Rappelons qu'indépendamment de la note finale, un score de 20 pour les critères C5 (« Etat géotechnique ») et C6 (« Etat évolutif ») engage de facto une gestion à court terme.

5.5 CHOIX FINAL DU MODE DE GESTION

Les critères non pris en compte ci-dessus, en particulier les critères de décision non techniques, mais pouvant influencer la décision peuvent être renseignés au verso de la fiche de proposition de décision. Il s'agit de déterminer le contexte local, les critères socio-économiques... Par exemple, il sera intéressant d'y préciser le type de fondation du bâtiment existant au droit de la cavité ou encore s'il y a des problèmes de pollution dans l'ouvrage souterrain (stock de déchets, eaux ou écoulements insalubres...).

Ces autres critères sont à compléter préférentiellement par le maître d'ouvrage (public ou privé) en concertation avec le bureau d'études spécialisé. Le choix final du mode de gestion conclut ainsi la fiche de proposition de décision et résulte donc de la combinaison de tous les critères cités ci-dessus, c'est-à-dire :

- des objectifs à atteindre en termes de maîtrise du risque et de destination du site ;
- des domaines d'utilisation, c'est-à-dire des configurations de site et des caractéristiques du milieu dans lequel le traitement est envisagé ;
- du niveau de sécurité admissible en fonction des enjeux en surface.
- des aspects techniques ;
- des aspects économiques.

L'application au cas de la carrière du Chemin Vert à Marly et au cas de la Friche Doublet sur la commune de La Sentinelle sont disponibles dans la suite du dossier [2][1].

6. FICHES DE GESTION

La démarche-type de gestion du risque lié aux cavités souterraines proposée par l'INERIS se termine par une description du mode de gestion choisi.

Chaque mode de gestion est défini succinctement dans une fiche nommée « **fiche de gestion** ». L'objectif des fiches est de présenter de manière synthétique, sans entrer dans les détails techniques⁷, le mode gestion qui aura été choisi suite aux fiches de proposition de décision.

Réalisées par l'INERIS, les fiches de gestion sont :

- une fiche « reconnaissance »  **Reconnaissance**
 - une fiche « surveillance »  **Surveillance**
 - une fiche « traitement sur les enjeux »  **Traitement des enjeux**
 - une fiche « traitement par consolidation »
 - une fiche « traitement par terrassement-comblement de la cavité »
 - une fiche « traitement par comblement total de la cavité »
 - une fiche « traitement par comblement partiel de la cavité »
-  **Traitement de la cavité**

Pour chaque mode de gestion, il s'agit d'une « plaquette » qui expose les rôles, les principes, les techniques, les avantages et les inconvénients des modes de gestion d'une cavité souterraine. Les 7 fiches de gestion sont données en annexe 4 de ce document.

A terme, il s'agit d'associer à chaque secteur sensible défini par sa **fiche de secteur sensible**, une **fiche de proposition de décision** et une **fiche de gestion**.

⁷ Le détail de chaque méthode de surveillance et de traitement est accessible dans le document réalisé par l'INERIS en 2007 intitulé : Mise en sécurité des cavités souterraines d'origine anthropique Surveillance - traitement [8].

7. BIBLIOGRAPHIE

- [1] Phase 2 – exemple 2 : Friche Doublet à La Sentinelle (59) – Note de synthèse des données existantes et propositions du mode de gestion - *rapport INERIS DRS-13-132929-11251B pour la DDTM 59, PINON C., 2014.*
- [2] Phase 2 – exemple 1 : Carrière du Chemin Vert à Marly (59) – Etat géotechnique de la carrière après inspection et propositions des modes de gestion - *rapport INERIS DRS-13-132929-05874B pour la DDTM 59, PINON C., 2014.*
- [3] Phase 2 – exemple 1 : Carrière du Chemin Vert à Marly (59) – Note de synthèse des données existantes (état du site) - *rapport INERIS DRS-13-132929-04456B pour la DDTM 59, PINON C., 2014.*
- [4] Phase 1 : Sensibilisation du Maire au risque lié à la présence de cavités souterraines sur sa commune – Cavités souterraines du Nord : Définition et gestion - *rapport INERIS DRS-13-132929-03169A pour la DDTM 59, WATELET J.M., 2014.*
- [5] Programme additionnel au « Plan national pour la prévention des risques liés aux effondrements des cavités » - Mise en sécurité d'effondrement de cavités souterraines situé en domaine privé dans le département du Nord (59) - Procédure d'intervention et guide technique - *rapport INERIS DRS-12-128945-07936A, LAMBERT C., 21 décembre 2012 : <http://www.ineris.fr/centredoc/drs-12-128945-07936a-unique-1360658975.pdf> et <http://www.ineris.fr/centredoc/guideeffondrement-web-1360659356.pdf>*
- [6] Guide de gestion des cavités souterraines à l'usage des maires – *Préfet du Nord, 15 avril 2011.*
- [7] Evaluation et traitement du risque de fontis lié à l'exploitation minière, *rapport INERIS DRS-07-86090-05803A, LAMBERT C. et SALMON R., 16 avril 2007 : www.ineris.fr/centredoc/DRS-07-86090-05803A_total.pdf*
- [8] Guide technique : Mise en sécurité des cavités souterraines d'origine anthropique : surveillance - traitement, *rapport INERIS référencé DRS-07-86042-02484A, TRITSCH J.J., 12 février 2007 : www.ineris.fr/centredoc/Guide_carrieres.pdf*
- [9] Evaluation et gestion des risques liés aux carrières souterraines abandonnées, Séminaire de restitution et de valorisation des travaux INERIS – Réseaux des LPC, *Actes des journées scientifiques du LCPC, 11 mai 2005.*
- [10] Portail de prévention des risques majeurs : www.prim.net
- [11] Site internet de recensement des cavités souterraines : www.bdcavite.net
- [12] Site internet de recensement des principaux mouvements de terrain : www.bdmvt.net

8. LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation	Nombre de pages
Annexe 1	Modèle de fiche de pré-visite	2 A4
Annexe 2	Modèle de fiche de secteur sensible	1 A4 et 1A3
Annexe 3	Modèle de fiche de proposition de décision	3 A4
Annexe 4	Fiches de gestion : Reconnaissance Surveillance Traitement des enjeux Traitement par comblement partiel Traitement par comblement total Traitement par consolidation Traitement par terrassement-comblement	8 A4

ANNEXE 1 : MODÈLE DE FICHE DE PRÉ-VISITE

COMMUNE	
NOM DE LA CAVITE	

Date visite				
Observateurs				
Localisation de la cavité				
A1 Occupation de la surface (enjeux, réseaux...)				
A2 Superficie de la cavité (ha)				
A3 Accès - Environnement	Nombre d'accès			
	Coordonnées des accès (en Lambert RGF 93)			
	Type d'accès			
	État actuel des accès	ouvert	fermé	autre
	Photographies (environnement, enjeux, accès...)	<i>Photographie 1 : Environnement de la cavité</i>		<i>Photographie 2 : Accès de la cavité</i>
	Gaz	O ₂ : % CO ₂ : % H ₂ S : % CH ₄ : % Radon : Bq/m ³		
Commentaires				

ANNEXE 2 : MODÈLE DE FICHE DE SECTEUR SENSIBLE

MEMENTO

COMMUNE	
NOM DE LA CAVITE	
Date visite	
Observateurs	
Nom du secteur	
Localisation du secteur (plan ou schéma si possible)	

CONFIGURATION DES VIDES

B1 - Type de cavité – Type d'exploitation	
B2 - Hauteur moyenne des vides (m)	
B3 - Largeur moyenne des galeries (m)	
B4 - Volume (m ³)	
B5 - Dimensions des piliers (m)	
B6 - Profondeur (m)	
B7 - Epaisseur supposée des remblais en pied (m)	
B8 - Epaisseur des terrains peu cohérents de surface (limons)	
B9 - Taux de défrusement (%)	

CONTEXTE

B10 - Gaz (O ₂ , CO ₂ , H ₂ S, CH ₄ , radon...)	O ₂ : % CO ₂ : % H ₂ S = CH ₄ = Radon : Bq/m ³
B11 - Venues d'eau/ infiltrations/ nappe	
B12 - Surveillance – traitement – confortement existant	

PROBLEMES IDENTIFIES

B13 - Mouvements de terrain – zone inaccessible – désordres en surface			
	Indices de dégradation	Etat dégradé	Etat très dégradé

EVOLUTIONS

B14 - Evolutions observées		
	Secteur non évolutif	Secteur évolutif

CONCLUSION

Classe du secteur	Rouge	Orange	Vert
--------------------------	-------	--------	------

B1 : cave, sape de guerre, carrière... En particulier, s'il s'agit d'une carrière souterraine, il convient de préciser le mode d'exploitation utilisée : galerie filante, chambres et piliers, catiches ou méthode mixte.

B2 : correspond à la distance moyenne mesurée lors de l'inspection entre le toit et le sol de la cavité (voir également critère B7).

B3 : correspond à la distance moyenne mesurée lors de l'inspection entre les parements de la cavité.

B5 : indications sur la largeur, la longueur et la hauteur des masses rocheuses en place (piliers), si elles existent.

B6 : estimée en fonction, par exemple, de la profondeur du puits d'accès, des forages à proximité...

B7 : matériau de remblai (issu de l'extraction) qui recouvre très souvent le sol des carrières souterraines du Nord.

B8 : épaisseur des terrains altérés et/ou peu cohérents proches de la surface, estimée à partir de coupes de sondages par exemple.

B9 : calculable pour un vide de forte extension latérale (carrière surtout), correspond au rapport entre la surface exploitée et la surface totale du secteur.

B10 : teneurs connues et/ou mesurées à l'aide d'instruments adaptés.

B11 : présence et nature de l'eau dans la cavité (goutte-à-goutte, nappe affleurante...) Il convient également de préciser si la nappe est permanente, périodique ou sporadique, si les venues d'eau sont ponctuelles ou continues, étendues ou localisées.

B12 : mise en peinture, surveillance par bâches, instrumentation, confortement, comblement...

B13 : éléments concernant l'état de dégradation de la cavité : chutes de parements, montées de voûte, dégradations des puits... mais également les désordres apparus en surface, recensés dans les archives ou vus lors de la pré-visite.

B14 : évolutions repérées depuis la dernière inspection au droit des parements, du ciel ou encore des montées de voûte. Ce critère peut prendre en compte les résultats des instruments de surveillance (cane de convergence, extensomètre, fissuromètre...), s'ils existent et s'ils sont suivis dans le temps.

ANNEXE 3 : MODÈLE DE FICHE DE PROPOSITION DE DÉCISION

FICHE DE PROPOSITION DE DECISION

COMMUNE	
NOM DE LA CAVITE	

NOM DU SECTEUR

CRITERES	NOTE
----------	------

CAVITE		
C1 Type de cavité Type d'exploitation	Sape ou cave	1
	Carrière exploitée en chambres et piliers	3
	Carrière exploitée par la méthode en catiches	4
	Carrière exploitée par la méthode mixte (catiche + chambres et piliers)	4
C2 Profondeur à laquelle se trouve la cavité	>30 m	1
	10-30 m	2
	0-10 m	4
C3 Accessibilité au secteur	Oui sans contrainte	0
	Oui avec contraintes	3
	Non	
C4 Humidité du secteur (venues d'eau et nappe)	Pas d'infiltration / Non présence de la nappe	0
	Goutte à goutte / Présence de la nappe par endroit ou période	3
	Infiltrations importantes / Secteur ennoyé	4
C5 Etat géotechnique	Indices de dégradation (fissures, chutes de ciel,...)	2
	Etat dégradé	10
	Etat très dégradé	20
C6 Etat évolutif	Non évolutif	0
	Potentiellement évolutif ou évolutif	20

CONTEXTE		
C7 Désordres connus en surface	Non	0
	Indices (flash, rumeurs,...)	2
	Oui (au moins un désordre connu et vérifié)	10
	Nombreux ou étendus	20
C8 Type d'environnement	Milieu naturel / rural	1
	Milieu peri-urbain / urbain	4
C9 Contexte parcellaire	Monoparcellaire	1
	Multiparcellaire	4
C10 Propriété	Privée	2
	Publique	3
C11 Enjeu existant et/ou projet d'urbanisation	Espace vert	1
	Voirie	4
	Bâti vulnérable	10
	Etablissement très vulnérable (école, ERP, hôpital,...)	20
C12 Présence de réseaux	Non	1
	Electricité, gaz de ville, eaux usées	2
	Inconnu	3
	Réseau sensible, eau sous pression	4

HYGIENE ET SECURITE DU PERSONNEL		
C13 Teneur en gaz	Taux acceptables	0
	Problème ponctuel	2
	Problème récurrent	20
C14 Circulation	Facile (Hauteur de vide > 2m / faible dénivelé)	1
	Difficile (Hauteur de vide < 2m / fort dénivelé)	4
		TOTAL

Si C3 = NON → RECONNAISSANCE
 Si C5 = 20 + C6 = 20 → GESTION IMMINENTE DU RISQUE

MODE DE GESTION PROPOSE PAR L'EXPERT :

CONTEXTE LOCAL :

CRITERES SOCIO-ECONOMIQUES :

AUTRES REMARQUES :

CHOIX FINAL DU MODE DE GESTION :

ANNEXE 4 : FICHES DE GESTION



RECONNAISSANCE

➤ ROLES

- Localisation des cavités souterraines (visualisation, orientation et dimensions)
- Réalisation de diagnostic de stabilité

➤ PRINCIPES

- Phase de localisation (mesures géophysiques, sondages...)
- Phase de reconnaissance (forages destructifs avec auscultations)

➤ TYPES

- Méthodes géophysiques (microgravimétrie, radar géologique...)
- Forages destructifs, diagraphies
- Inspection par camera vidéo, laser ou endoscope

➤ RECOMMANDATIONS

- Prise en compte des contraintes liées aux enjeux
- Détermination préalable des limites de la zone à inspecter



Microgravimètre



Géophysique

- Utilisation sur de grandes étendues
- Aucune installation de chantier nécessaire
- Durée de la campagne assez courte
- Moins coûteuse que les forages seuls

Forage et auscultation

- Renseignements sur la nature et l'épaisseur des terrains de recouvrement (diagraphie)
- Confirmation de la présence ou non de cavités
- Permet l'auscultation et le diagnostic des cavités non accessibles



Forage pour inspection par endoscope ou caméra vidéo



Caméra vidéo



Géophysique

- Interprétation délicate des résultats
- Nécessité de vérifier les anomalies par forages
- Méthodes non adaptées si recouvrement important, géologie et topographie défavorables ou perturbées

Forage et auscultation

- Coût des forages
- Nécessité d'études préliminaires pour la réalisation des forages (détermination du nombre, de l'espacement...)



SURVEILLANCE

➤ ROLE

- Assurer une surveillance périodique de l'état du site et de son évolution.
- Prévenir en cas d'évolution des dégradations
- Solution palliative permettant de différer les travaux de traitement

➤ PRINCIPE

- Reconnaissance par observations visuelles accompagnées, éventuellement, de relevés instrumentés
- Suivi de l'évolution des dégradations grâce à un circuit de visite (avec ou sans mesures). Périodicité mensuelle à annuelle.

➤ TYPE

- Inspection par examen visuel
- Surveillance instrumentée permettant d'obtenir des mesures de vitesse, d'accélération des déformations (convergence des murs, expansion du toit, dilatation des piliers)

➤ RECOMMANDATIONS

- Exige un personnel qualifié et expérimenté
- Accessibilité à la cavité (dans le temps, dans des conditions d'accès salubres...)
- La périodicité de la surveillance dépend de l'état de dégradation et du caractère évolutif de la cavité.



- Conserver ouvert les ouvrages souterrains

Inspection par examen visuel

- Méthode économique
- Possible pour de grande surface de vide
- Permet de différer les travaux

Surveillance instrumentée

- Surveillance à distance



- Méthode de prévention, pas de mise en sécurité définitive du site
- Non réalisable dans des cavités insalubres

Inspection par examen visuel

- Méthode purement qualitative, possibilité d'erreurs
- Pas adaptée à une évolution brusque

Surveillance instrumentée

- Maintenance obligatoire des dispositifs de mesure
- Caractère local et ponctuel, pertinence du choix d'implantation

TRAITEMENT DES ENJEUX*

➤ ROLE

- Rendre la construction assez rigide pour qu'en cas d'effondrement localisé de la surface, elle ne présente que des mouvements d'ensemble
- Isoler la construction des mouvements de terrain par des fondations prenant leur assise sous le niveau des cavités dans un bon sol
- Supporter les éléments surplombant les cavités et éviter toute déformation inadmissible susceptible de mettre en péril la stabilité des enjeux présents en surface

➤ PRINCIPE

- Renforcement par radiers, longrines, poutres, chaînage, ...
- Types de fondations profondes : pieux, puits bétonnés...
- Pose de treillis galvanisés ou de géosynthétique

➤ TYPE

- Renforcements de structure et reprises en sous œuvre
- Réalisation de fondations spéciales
- Méthodes « parachutes »
- Adaptation des réseaux de canalisations et voiries

➤ RECOMMANDATIONS

- Ancrage des pieux dans le bon sol sous le niveau dans lequel se trouvent les cavités
- Précaution à prendre pour la traversée des cavités
- Utilisation de pieux chemisés
- Localisation précise en surface de la zone à traiter



- Techniques peu coûteuses et faciles à mettre en œuvre
- Les fondations profondes peuvent supporter des charges élevées



Mise en place d'un géosynthétique



- Terrain accessible à des engins de chantier, peu accidenté pouvant être terrassé

Fondations profondes

- Sécurisent seulement la structure concernée
- Matériel lourd

Méthodes parachutes

- Ne protègent pas le bâti (seulement mise en sécurité des personnes)

* On désigne par enjeux les personnes, animaux, biens, activités, moyens, infrastructures, patrimoines, etc. susceptibles d'être affectés par un mouvement de terrain.

COMBLEMENT PARTIEL

➤ ROLE

- Diminuer la gravité du risque d'effondrement
- Améliorer à moindre coût la stabilité des ouvrages

➤ PRINCIPE

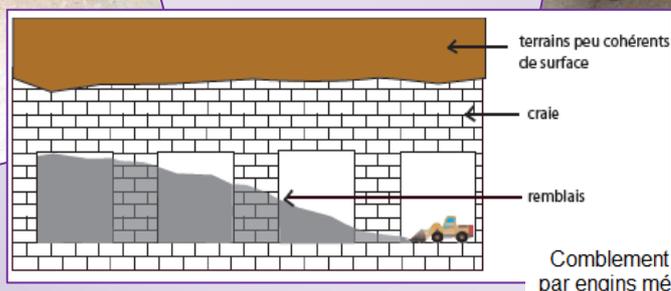
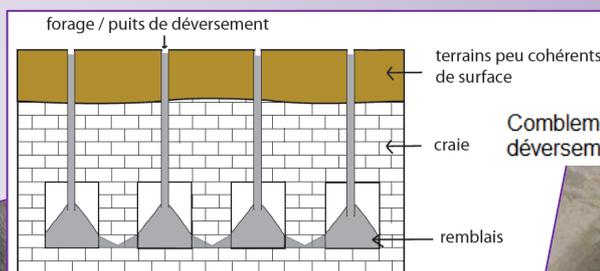
- Comblement limité à une certaine hauteur (sur la base du foisonnement des matériaux et de l'autocomblement de l'effondrement)
- Confortement des piliers par confinement
- Diminution du volume de vide

➤ TYPE

- Comblement directement par le fond
- Comblement depuis la surface

➤ RECOMMANDATIONS

- Nature des produits à ne pas utiliser : matériaux argileux, organiques, polluants



- Méthode simple et peu coûteuse
- Utilisation le plus souvent des déchets de carrière présents sur place



- Mise en sécurité minimale du site
- N'exclut pas l'apparition d'affaissement en surface
- Solution provisoire avant traitement plus complet
- Non adaptée pour les constructions nouvelles (sauf si elles sont fondées sur pieux)
- Nécessité de reconnaissances préliminaires développées
- Nécessité de contrôles rigoureux pendant et après la mise en place : volume et nature des matériaux...

COMBLEMENT TOTAL

➤ ROLE

- Supprimer tout risque de fontis à long terme
- Minimiser le risque de tassement résiduel en surface
- Réhabiliter les terrains de surface en restituant les propriétés mécaniques du sol
- Traiter des terrains décomprimés ou d'anciens remblais

➤ PRINCIPE

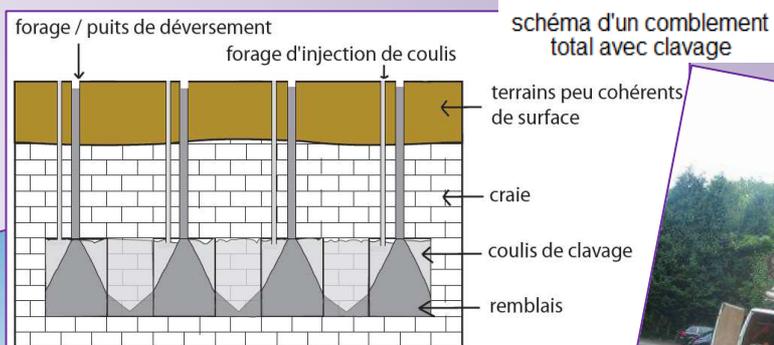
- Déverser un matériau de remblai ou un coulis de façon gravitaire ou sous pression depuis la surface à partir de forages
- Possibilité d'effectuer un clavage final

➤ TYPE

- Déversement gravitaire par voie sèche, voie semi-humide ou humide
- Traitements par injections

➤ RECOMMANDATIONS

- Prise en compte d'une marge de recul par rapport à la zone à traiter
- Prévoir des barrages s'il faut limiter la zone à traiter
- Nature des produits à ne pas utiliser : matériaux argileux, organiques, polluants
- Prise en compte des fuites dans le remblai de pied en carrière si comblement avec des coulis fins et fluides



Centrale d'injection



- Méthodes efficaces et sûres supprimant quasiment tout risque de dégâts
- Traitement assurant une pérennité suffisante
- Possibilité de mise en œuvre à forte profondeur
- Protection du bâti existant
- Méthodes adaptées pour les constructions nouvelles



foreuse



- Techniques complexes dans le cas du traitement par injections
- Techniques longues et onéreuses
- Nécessité de reconnaissances préliminaires développées
- Nécessité de contrôles rigoureux pendant et après la mise en place : volume et nature des matériaux, des barrages...

coulis de silicates





CONSOLIDATION

➤ ROLE

- Améliorer les conditions de stabilité locales d'un site souterrain
- Mise en sécurité des terrains de surface (espaces verts, voirie, bâti existant)

➤ PRINCIPE

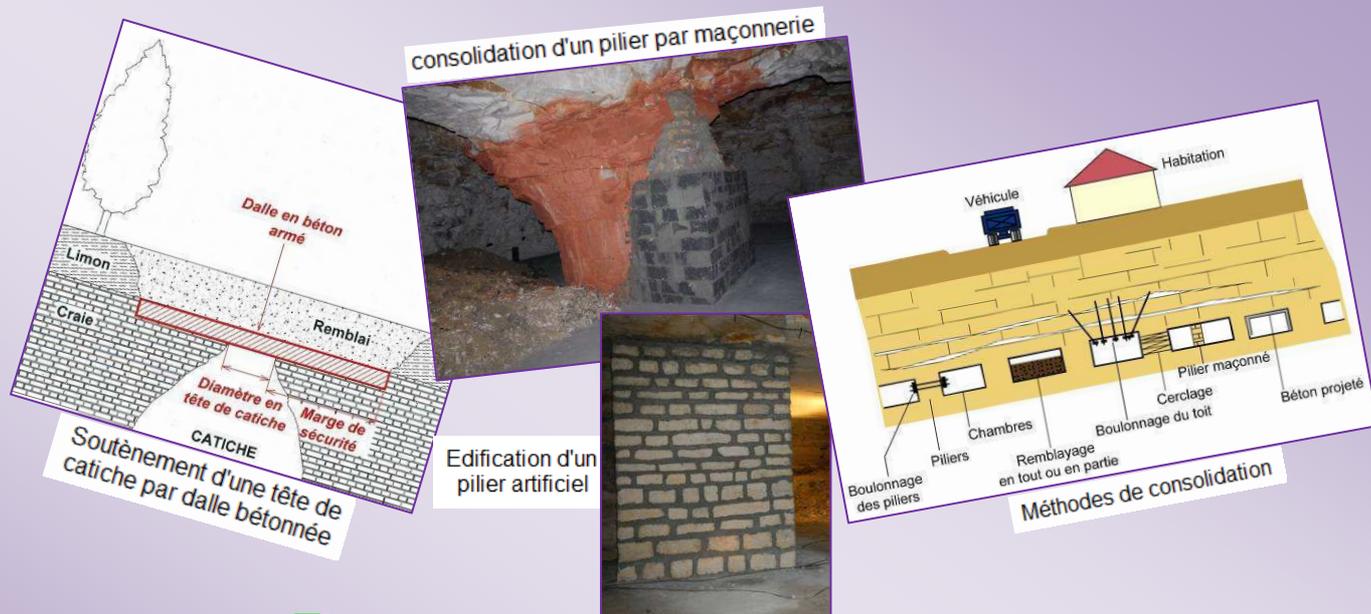
- Augmenter la portance (piliers)
- Améliorer la solidarisation entre bancs (toit)
- Assurer un revêtement protecteur (parements et toit)
- Améliorer la résistance globale de l'ouvrage par confinement (piliers et galeries)

➤ TYPE

- Traitement **du toit et des galeries** par boulonnage, maçonnerie, cadres, revêtement bétonné...
- Traitement **des piliers** par injections de consolidation, boulonnage des parements, projection de béton, ceinturage...
- Edification de **piliers artificiels**
- Création d'une **dalle en tête** de catiche

➤ RECOMMANDATIONS

- Exige un personnel compétent
- Accessibilité dans le temps pour contrôle régulier des ouvrages



- Permet la conservation ou le réaménagement des sites (parking, stockage, musée,...)
- Minimise les nuisances sur l'environnement
- Réalisable pour des cavités profondes



- Non réalisable dans des cavités trop dégradées ou non accessibles
- Solution localisée et non pérenne à long terme
- Non préconisé pour des constructions nouvelles
- Etudes préalables de dimensionnement
- Contrôle à posteriori des travaux
- Coût élevé et personnel qualifié



TERRASSEMENT-COMBLEMENT

➤ **ROLE**

- Supprimer les vides
- Supprimer tout risque de fontis à long terme
- Réhabiliter les terrains de surface

➤ **PRINCIPE**

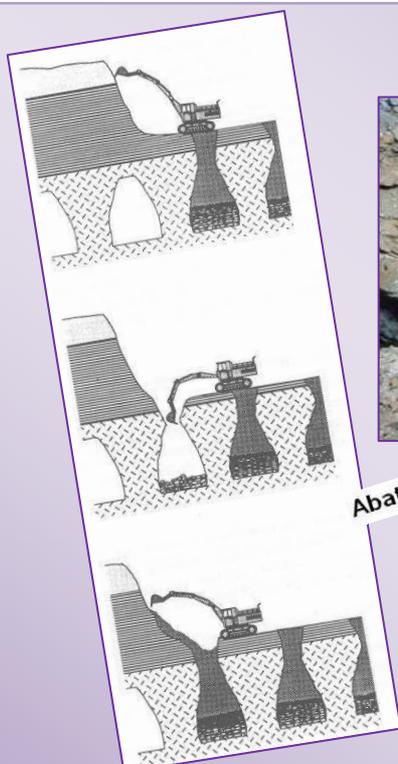
- Comblement direct des cavités sous-jacentes à partir des matériaux de recouvrement abattus par voie mécanique
- Remblaiement avec les matériaux de recouvrement (suivi d'un compactage), effectué après mise à jour des cavités par décaissement mécanisé

➤ **TYPE**

- Abattage mécanique
- Abattage à l'explosif
- Décaissement des terrains de recouvrement
- Pilonnage intensif

➤ **RECOMMANDATIONS**

- Prévoir un phasage précis des opérations



Abattage mécanisé



Pilonnage intensif



- Méthodes efficaces et pérennes supprimant quasiment tout risque de dégâts
- Facilité de mise en œuvre
- Coût économique intéressant
- Applicable dans le cas de cavité non accessible
- Méthodes adaptées pour les constructions nouvelles

- Non applicable en zone déjà bâtie
- Applicable dans le cas de cavité peu profonde (< 20 m)
- Tassement des remblais avec le temps
- Nécessité d'évaluer les vibrations induites si enjeux sensibles à proximité
- Législation stricte quant au type, à la détention, au transport et à l'utilisation d'explosifs
- Explosifs à proscrire pour les cavités présentant des risques d'émission de gaz explosifs