

Communauté de communes de la Rochefoucauld Porte du Périgord

Périmètre ex-Bandiat-Tardoire

PLAN LOCAL D'URBANISME INTERCOMMUNAL

PIÈCE N° 3.1.12

RÈGLEMENT - PIÈCES ÉCRITES

LIVRET PÉDAGOGIQUE DU CEREMA SUR L'AMÉNAGEMENT EN CONTEXTE KARSTIQUE

AMENAGER EN CONTEXTE KARSTIQUE

L'essentiel des "bonnes pratiques"

Karst de la Touvre
(16)

**Livret
pédagogique**

Conseils et
recommandations

PRÉAMBULE

Dans l'objectif principal de limiter la vulnérabilité des territoires, ce livret de "bonnes pratiques" propose des recommandations d'ordre général sur les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde spécifiques à l'aménagement en contexte karstique (cavités d'origine naturelle).

Destiné aux élus confrontés à la prise en compte de la problématique karstique dans la gestion et l'aménagement de leurs territoires communaux, ce livret s'intéresse aux contraintes de constructibilité des bâtiments (habitations et autres) et propose des modes de gestion des eaux de surface ainsi que des mesures préventives.

Les contraintes en lien avec l'exploitation agricole des territoires karstiques ne sont pas traitées dans le présent livret.

INTRODUCTION

À la demande de la Préfecture de la Charente le 13 septembre 2019, le Cerema Sud-Ouest a élaboré le présent livret pédagogique afin d'aider les communes de RIVIÈRES et de LA ROCHEFOUCAULD-EN-ANGOUMOIS à prendre en compte la présence des réseaux karstiques au sein de leur sous-sol, dans l'aménagement de leur territoire. Rassemblant des principes généraux de constructibilité autrement nommés "bonnes pratiques", ce livret est, *in fine*, établi et valable pour l'ensemble des territoires communaux implantés dans le bassin hydrogéologique des sources de La Touvre appelé communément "karst de La Rochefoucauld" (hors doctrine ou règlement local éventuel).

Après un rappel succinct de la problématique karstique et des risques naturels terrestres associés pour les biens et les personnes, le livret propose des recommandations à prendre en considération, si possible pour les constructions existantes, mais aussi et surtout pour les futures constructions, avec trois types de dispositions spécifiques :

- des mesures constructives
- des mesures de gestion des eaux
- des mesures de prévention.

Élaborées sur la base de celles classiquement rencontrées dans le cadre des Plans de Prévention des Risques de mouvements de terrain, ces dispositions devront être relayées par les élus à leurs administrés via les différentes voies de communication à leur disposition et être incluses dans la mesure du possible dans les outils de gestion de l'aménagement (PLUi, par exemple) afin de réduire la vulnérabilité des biens existants et futurs.

Pour une information plus générale sur le risque cavités, le lecteur est renvoyé vers :

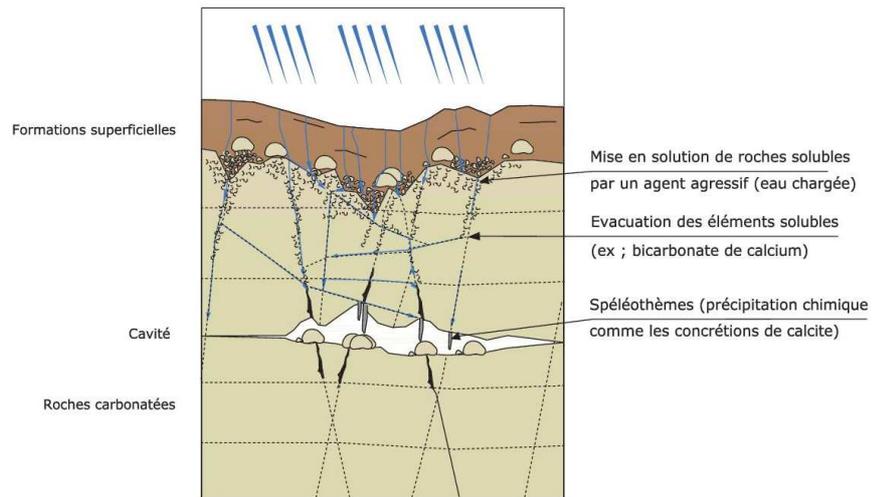
- le guide "*La gestion du risque cavités souterraines : Guide à l'usage des collectivités*" - Cerema / Collection / Références – MTEs. Ce guide présente le risque cavité mais évoque largement les responsabilités des acteurs du territoire et la gestion du risque. (téléchargeable gratuitement ici : <https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/gestion-du-risque-cavites-souterraines>)
- le site du Ministère de la Transition Écologique et Solidaire consultable sur ; www.ecologie-solidaire.gouv.fr/mouvements-terrain

CHAPITRE 1 - PROBLÉMATIQUE D'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE EN CONTEXTE KARSTIQUE

Un territoire en contexte karstique regroupe l'ensemble des terrains susceptibles d'être affectés par la présence de vides naturels dans les sols et les sous-sols, dits d'origine karstique.

Classiquement, le karst est un ensemble de vides ordonnés en un réseau de drainage d'eaux souterraines. Ces vides sont creusés naturellement par des processus lents de dissolution d'une roche soluble (par exemple, le calcaire).

Développés à travers les temps géologiques, des réseaux de conduits karstiques peuvent se développer sous l'action et la circulation des eaux météoriques et souterraines, plus ou moins agressives, le long des discontinuités de la roche (joints stratigraphiques et fractures, par exemple) (Cf. schémas ci-joints).



Principe général de la dissolution

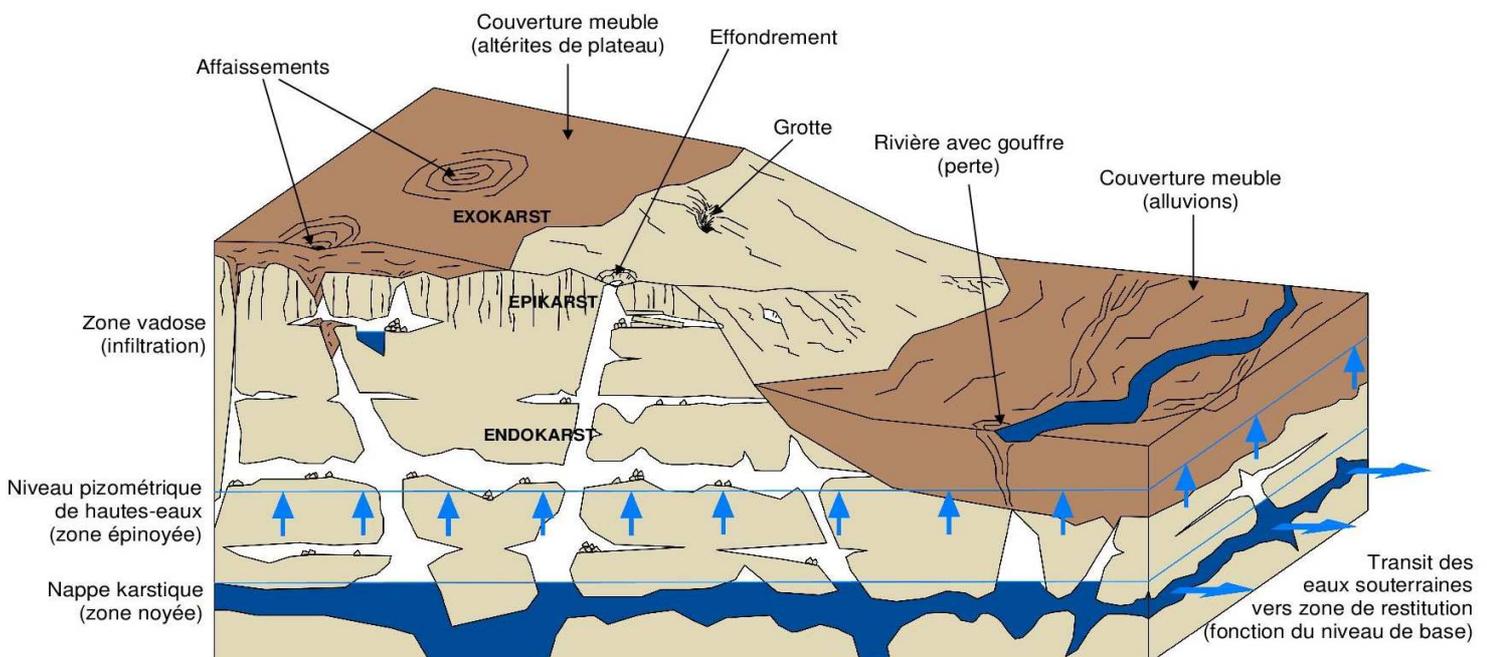


Schéma d'ensemble d'un système karstique

Les formations karstiques suivent une évolution par dissolution généralement lente et rarement perceptible à l'échelle humaine (dans le cas des calcaires). En revanche, la stabilité précaire des terrains affectés par des cavités karstiques proches de la surface conduit les aménageurs à prendre en compte le risque de mouvements de terrain d'origine karstique, dans les projets d'aménagements du territoire (Cf. photographies des désordres ci-après).

Les mouvements de terrain de surface liés à la présence de ces vides karstiques dans les formations géologiques, de type affaissement lent (mise en pente progressive des terrains) ou effondrement brutal (apparition d'un vide franc), sont le résultat de processus d'évolution spécifiques et variables selon la configuration et l'exposition des terrains karstiques.

Exemples de désordres karstiques en surface



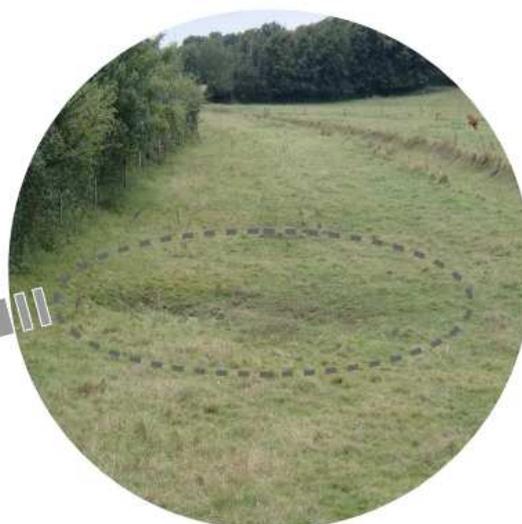
Effondrements



Exemple de
sinistre sur bâti



Reprise de fissures



Initiation d'un
affaissement

L'apparition en surface d'affaissement ou d'effondrement des terrains en contexte karstique découle de trois processus principaux plus ou moins complexes, schématisés ci-après et découlant de la combinaison entre les caractéristiques suivantes :

- la sensibilité du massif calcaire (sous-sol karstique) : nature de la roche, évolution des vides et du réseau de drainage, influence des discontinuités du massif
- le comportement d'une éventuelle couverture (formations superficielles de nature et d'épaisseur variables) régulant l'infiltration des eaux météoriques dans les vides sous-jacents et pouvant être sensibles aux mouvements de terrain
- le rôle des eaux (hydrologie et l'hydrogéologie) conditionnant les interactions hydrodynamiques entre la surface et les vides sous-jacents (importance du gradient hydraulique dans les sols)

Les désordres provoqués par des mouvements de terrain d'origine karstique sont fonctions de l'importance de l'évolution des sols (notion d'aléa) et de la sensibilité des structures aux déformations associées (notion de vulnérabilité).

A titre d'exemple¹, pour un affaissement de sol au droit d'ouvrages en béton armé, une déformation à la traction de la structure supérieure à 1,5 mm/m conduit à l'apparition de fissures, puis à des dommages sévères si la déformation est supérieure à 3 mm/m.

Concernant les effondrements (événements brutaux), ils peuvent engendrer un danger direct à la sécurité publique, avec des risques de chute et ensevelissement des personnes ainsi que des dégradations sur les bâtiments, pouvant être partielles ou complètes (ruine de maisons, rupture de canalisations, fermeture de voies de circulation) (Cf. photos précédentes).

Pour aller plus loin :

Un document spécifique du Cerema "Recensement des désordres sur les bâtiments et dispositions constructives de mitigation du risque" est disponible en **ANNEXES TECHNIQUES**.

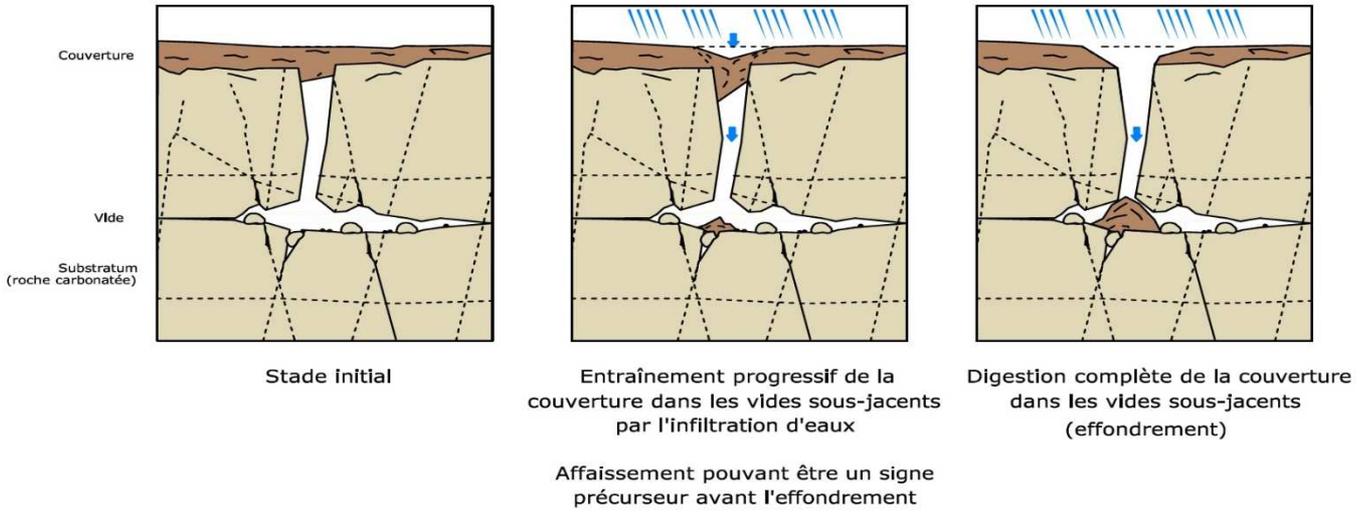
De nombreux **guides techniques** traitent de la vulnérabilité des bâtiments face à la déformation des sols supports.

A titre d'exemple, se référer aux Guides du CSTB "Dispositions constructives pour le bâti neuf situé en zone d'aléa de type affaissement progressif" de novembre 2011 et "Dispositions constructives pour le bâtiment situé en zone d'aléa de type fontis de niveau faible" de janvier 2012.

A compléter par les Guides INERIS "Evolution et traitement du risque de fontis lié à l'exploitation minière" n° DRS-07-86090-05803A d'avril 2007, "Recommandations pour l'évaluation et le traitement des conséquences des mouvements de terrain du sous-sol sur le bâti" n° DRS-08-95042-13683D de novembre 2008 et "Guide sur les solutions de mise en sécurité des cavités souterraines abandonnées d'origine anthropiques" n° DRS-15-149564-02401A de septembre 2016.

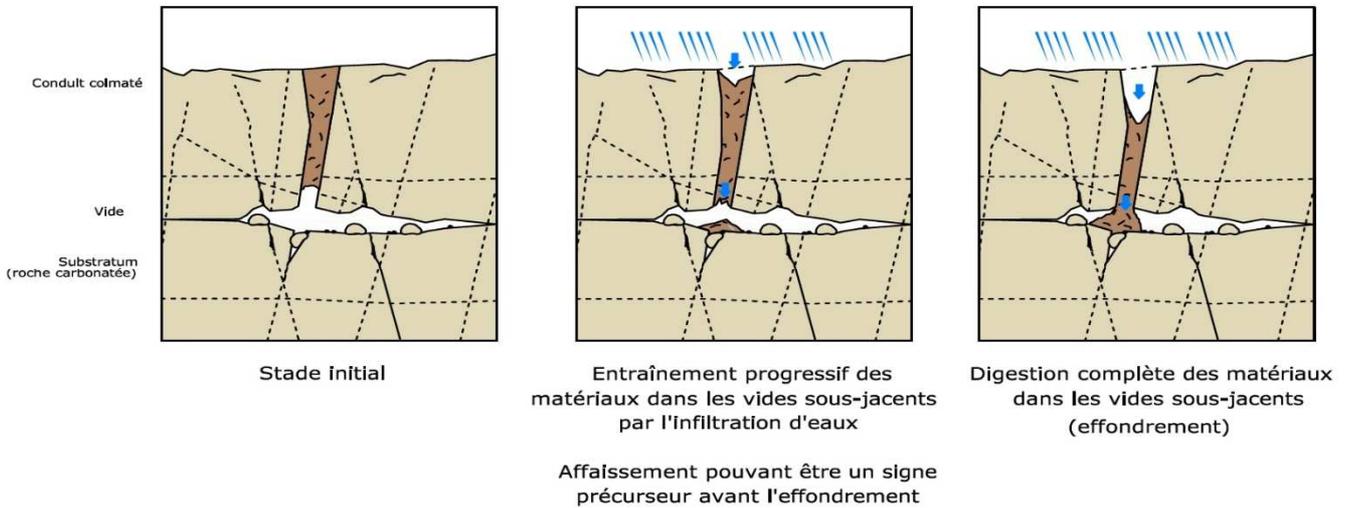
¹ Rapport INERIS DRS-08-95042-13683A de novembre 2008 (d'après BURLAND & WROTH – 1974)

Le processus "soutirage"



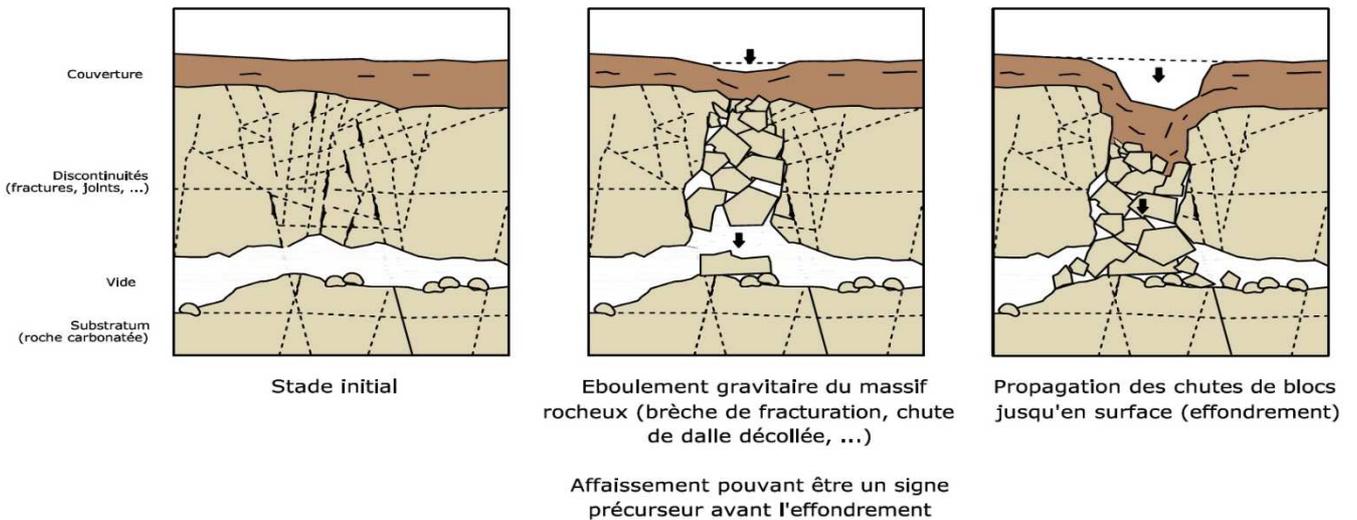
NOTA : Rôle possible des eaux souterraines (fatigue hydrogéologique)

Le processus "débouillage"



NOTA : Rôle possible des eaux souterraines (fatigue hydrogéologique)

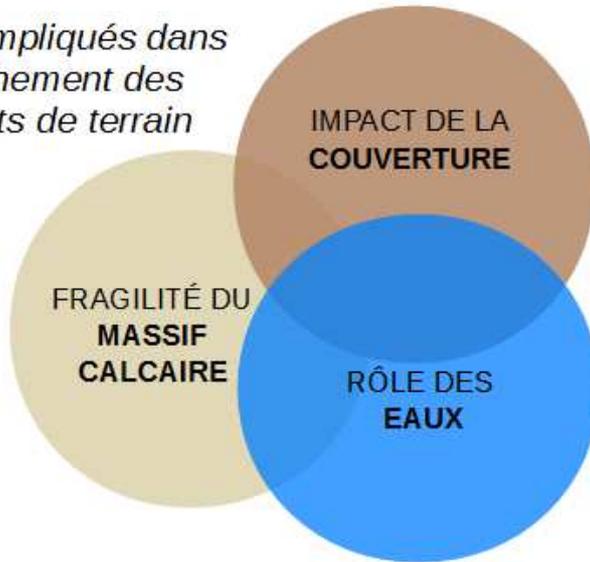
Le processus "rupture mécanique"



NOTA : Rôle possible des eaux superficielles et souterraines (fatigue hydrogéologique)

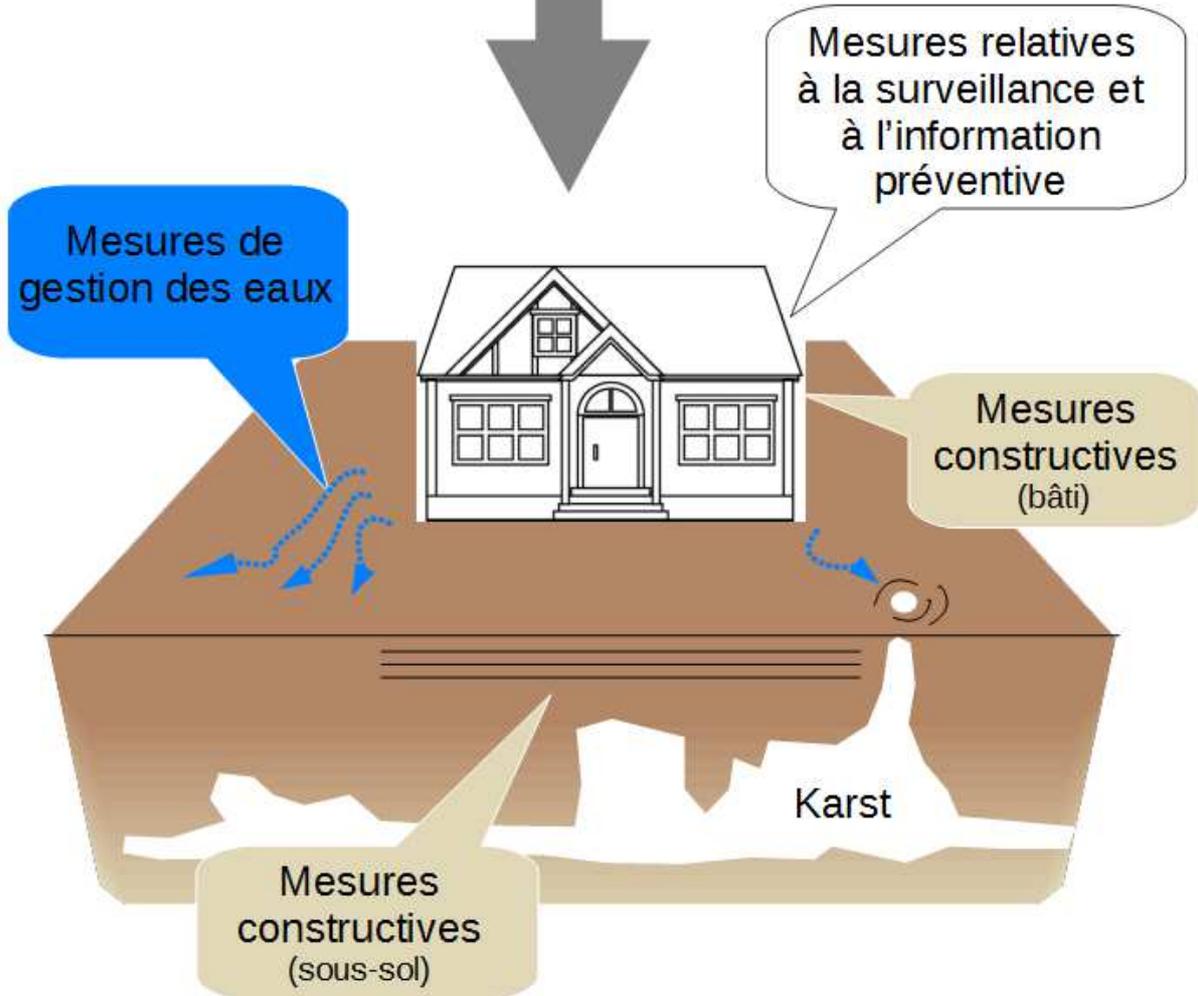
Schémas des processus d'instabilités d'origine karstique

Les 3 pôles impliqués dans le déclenchement des mouvements de terrain



=

La traduction en « BONNES PRATIQUES »



CHAPITRE 2 - PROPOSITION DE RECOMMANDATIONS DE "BONNES PRATIQUES" D'AMÉNAGEMENT EN CONTEXTE KARSTIQUE

D'après le droit commun français, le propriétaire de la parcelle surmontant une cavité souterraine est également responsable de tout désordre que l'effondrement de cette cavité pourrait induire en surface.

Trois types de dispositions sont présentées ci-après sous forme de fiches de "bonnes pratiques", pour application aux biens et activités existantes et futures (mesures constructives, gestion des eaux et mesures préventives).

FICHE DE "BONNES PRATIQUES" EN MATIÈRE DE MESURES CONSTRUCTIVES EN CONTEXTE KARSTIQUE

Mesure #C1
Vérifier l'absence de cavités karstiques et/ou de terrains décomprimés sous le projet

Ces trois mesures sont de la responsabilité du maître d'ouvrage (propriétaires et professionnels intervenant pour leur compte). Elles visent à limiter les sinistres qui pourraient apparaître sur le bâti lors de l'apparition d'effondrements localisés de diamètre limité mais aussi lors d'affaissements lents liés au soutirage de matériaux de surface.

Le géotechnicien en charge des études de fondation sera chargé de définir les adaptations et mesures de protection de la construction par un procédé adéquat (avec proposition d'assistance de la commune / service instructeur sur la qualité de ces adaptations / protections).

Pour aller plus loin :
Des recommandations techniques notamment sur les reconnaissances géotechniques spécifiques à la recherche de vides sous un bâtiment sont citées en ANNEXE 2

Mesure #C2
Veiller à la qualité des fondations des bâtiments

Selon les configurations rencontrées, deux cas sont possibles :

- ancrage sur le "bon sol", c'est à dire sur un sol dont les caractéristiques géomécaniques permettent de supporter (sans déformation) la charge du bâti
- à défaut, mise en œuvre de fondations spéciales

Mesure #C3
Définir, les cas échéant, un renforcement de la structure

En complément de la définition du type de fondations à prévoir (cas de projet neuf), il est utile de réfléchir à la possibilité/nécessité de renforcer également la structure du bâti (prévenir les conséquences d'éventuelles déformations du sol).



FICHE DE "BONNES PRATIQUES" EN MATIÈRE DE MESURES DE GESTION DES EAUX EN CONTEXTE KARSTIQUE

Mesure #E1 (à privilégier)
Raccorder les rejets d'eaux au(x) réseau(x) existant(s) ou à un exutoire identifié

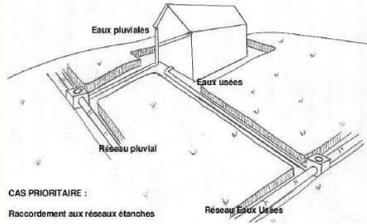
Dans le domaine des mouvements de terrains d'origine karstique, l'eau constitue un facteur déterminant car elle conditionne voire provoque leur initiation et leur déclenchement. Il est donc nécessaire de ne pas aggraver l'importance du facteur eau, voire si possible d'en atténuer les effets.

Sont concernés par ces propositions de "bonnes pratiques" :

- les eaux pluviales concentrées par l'imperméabilisation des sols
- les eaux usées (dans le cas d'assainissement autonome)
- les autres réseaux divers (eaux de piscine, de drainage, ...).

Mesure #E1 (à privilégier)
Raccorder les rejets d'eaux au(x) réseau(x) existant(s) ou à un exutoire identifié

Dans ce cas, il est nécessaire de procéder à un raccordement étanche et de vérifier dans le temps le bon état des canalisations. Cela passe par un entretien des réseaux au niveau de la parcelle (détection des fuites, curages réguliers, ...).



Mesure #E2
Réguler l'infiltration de l'eau dans le sous-sol

En l'absence de possibilité de raccordement à un réseau étanche (E1), l'infiltration doit être envisagée dans le sous-sol via un dispositif de régulation (bassin tampon de plus de 2 m³). Il est de restituer un niveau de rejet des eaux dans le milieu (si traitement si besoin) équivalent à l'existant (avant projet).

FICHE DE "BONNES PRATIQUES" EN MATIÈRE DE MESURES PRÉVENTIVES EN CONTEXTE KARSTIQUE

Mesure #P1
Renseigner la population sur les risques de mouvements de terrain d'origine karstique auxquels elle est exposée

- affichage en mairie d'un document d'informations générales (le cas échéant, mise en ligne sur le site internet de la commune)
- transmission de la connaissance du risque et des mesures associées par le biais du bulletin communal (pour l'ensemble des administrés)
- mise en place de réunion(s) publique(s) spécifique(s) une fois tous les deux ans pour les administrés concernés

Mesure #P2
Surveiller l'évolution éventuelle de l'état des biens

Une attention particulière devra être portée aux indices d'instabilités suivants :

- évolution topographique des sols : ondulation, crevasse, affaissement, voir effondrement
- apparition de sinistres (notamment fissurations) sur le bâti.

Mesure #P3
Anticiper en élaborant avec le représentant de l'État des procédures communales de gestion de crise

L'objectif est de prescrire des mesures de mise en sécurité (évacuation, sécurisation des biens, procédure d'expertise d'urgence). En cas de danger grave ou imminent, le Maire est chargé de prescrire "les mesures de sûreté exigées par les circonstances" (article L.2212.4 du CGCT).

Par ailleurs, le représentant de l'État (I) peut intervenir en cas de carence du Maire et (II) est seul compétent pour prendre toutes mesures à vocation intercommunale (article L.2215.1 du CGCT).

Une fois établies, ces mesures doivent être intégrées dans un document de type Plan Communal de Sauvegarde, ou équivalent (obligatoire si existence d'un PPRN sur la commune).

Pour aller plus loin :
Les responsabilités du maire et les outils d'aménagement : guide « La gestion du risque cavités souterraines : Guide à l'usage des collectivités » - Cerema / Collection / Références - MTE5 2017 - <https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/gestion-du-risque-cavites-souterraines>
Les principales méthodes de surveillance (ANNEXE 3)
Les recommandations spécifiques aux communes couvertes par un Plan de Prévention des Risques naturels (ANNEXE 4)
La procédure de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle et les financements de mesures préventives ou correctives au titre du Fonds d'urgence (ANNEXE 5)

Livret pédagogique : guide des bonnes pratiques pour l'aménagement en contexte karstique Avril 2020

FICHE DE "BONNES PRATIQUES" EN MATIÈRE DE MESURES CONSTRUCTIVES EN CONTEXTE KARSTIQUE

Mesure #C1

Vérifier l'absence de cavités karstiques et/ou de terrains décomprimés sous le projet

Ces trois mesures sont de la **responsabilité du maître d'ouvrage** (propriétaires et professionnels intervenant pour leur compte). Elles visent à limiter les sinistres qui pourraient apparaître sur le bâti lors de l'apparition d'effondrements localisés de diamètre limité mais aussi lors d'affaissements lents liés au soutirage de matériaux de surface.

Pour cela, il est indispensable de se rapprocher de la commune et des services instructeurs qui disposent logiquement des données relatives aux cavités souterraines sur le territoire (communal, départemental) : plans éventuels des galeries connues (à vérifier avec l'emplacement de sa parcelle / de son projet).

Si suspicion de cavité et/ou pour confirmation, réalisation d'une étude géotechnique dans le cadre d'une mission type de la norme NF P 94-500 et adaptée à l'aléa karstique.

Mesure #C2

Veiller à la qualité des fondations des bâtiments

Selon les configurations rencontrées, deux cas sont possibles :

- ancrage sur le "bon sol", c'est à dire sur un sol dont les caractéristiques géomécaniques permettent de supporter (sans déformation) la charge du bâti
- à défaut, mise en œuvre de fondations spéciales

Mesure #C3

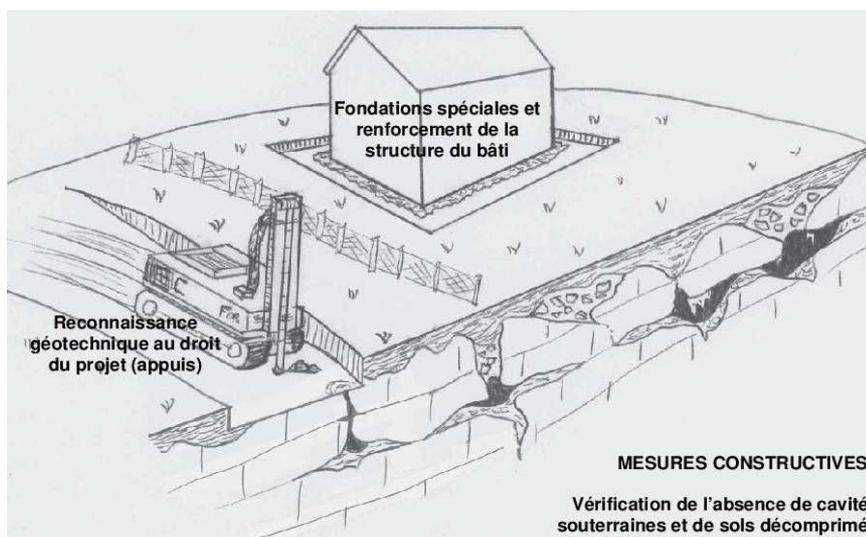
Définir, les cas échéants, un renforcement de la structure

En complément de la définition du type de fondations à prévoir (cas de projet neuf), il est utile de réfléchir à la possibilité/nécessité de renforcer également la structure du bâti (prévenir les conséquences d'éventuelles déformations du sols).

Le géotechnicien en charge des études de fondation sera chargé de définir les **adaptations et mesures de protection de la construction** par un procédé adéquat (avec proposition d'assistance de la commune / service instructeur sur la qualité de ces adaptations / protections).

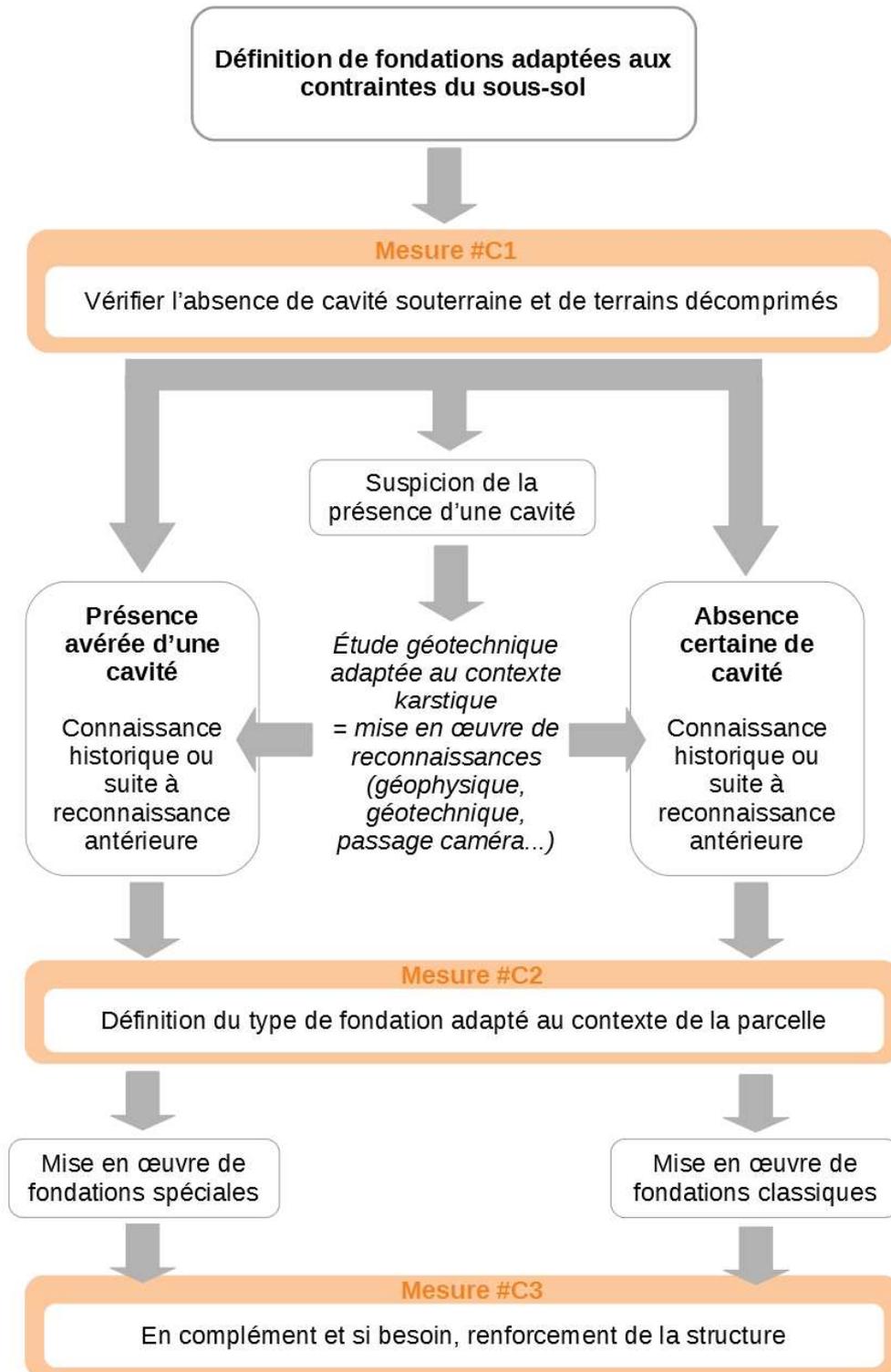
Pour aller plus loin :

Des recommandations techniques du Cerema concernant les **reconnaisances géotechniques spécifiques** à la recherche de vides sous un bâtiment sont disponibles en **ANNEXES TECHNIQUES**



**FICHE DE "BONNES PRATIQUES"
EN MATIÈRE DE MESURES CONSTRUCTIVES
EN CONTEXTE KARSTIQUE**

LA DÉMARCHE PROPOSÉE



FICHE DE "BONNES PRATIQUES" EN MATIÈRE DE MESURES DE GESTION DES EAUX EN CONTEXTE KARSTIQUE

Dans le domaine des mouvements de terrains d'origine karstique, l'eau constitue un facteur déterminant car elle conditionne voire provoque leur initiation et leur déclenchement. Il est donc nécessaire de ne pas aggraver l'importance du facteur eau, voir si possible d'en atténuer les effets.

Les mesures de gestion des eaux sont de la **responsabilité du maître d'ouvrage** et doivent être conformes aux recommandations de la commune / service instructeur (Police de l'eau) en matière d'assainissement des eaux usées et pluviales (gestion à la parcelle ou raccordement à un réseau collectif).

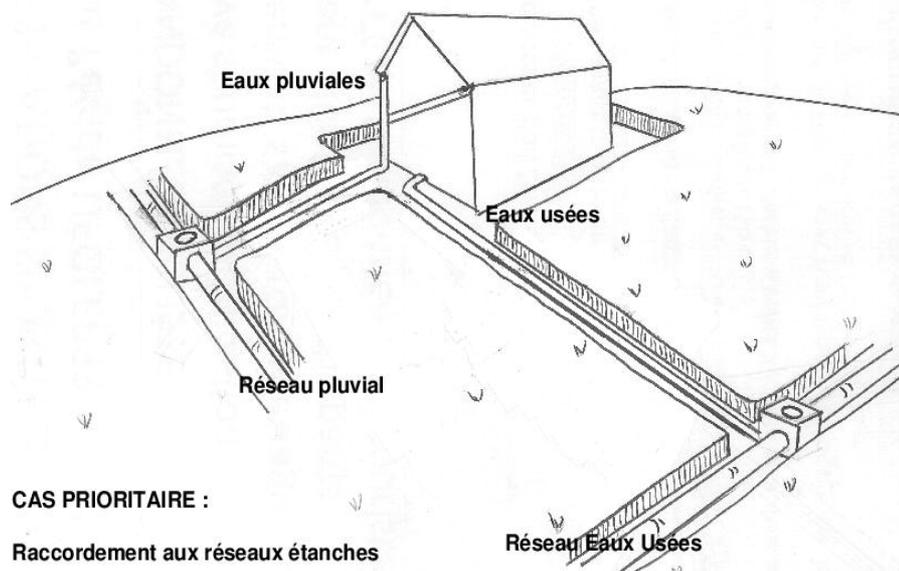
Sont concernés par ces propositions de "bonnes pratiques" :

- les eaux pluviales concentrées par l'imperméabilisation des sols
- les eaux usées (dans le cas d'assainissement autonome)
- les autres réseaux divers (eaux de piscine, de drainage, ...).

Mesure #E1 (à privilégier)

Raccorder les rejets d'eaux au(x) réseau(x) existant(s) ou à un exutoire identifié

Dans ce cas, il est nécessaire de procéder à un raccordement étanche et de vérifier dans le temps le bon état des canalisations. Cela passe par un entretien des réseaux au niveau de la parcelle (détection des fuites, curages réguliers, ...).



Le choix d'une filière d'assainissement autonome des eaux usées (traitement et dispositif d'évacuation) est défini selon la norme NF DTU 64.1. Dans ce cadre normatif, le bureau d'étude en assainissement mandaté par le maître d'ouvrage a en charge la prescription de la filière d'assainissement autonome et son dimensionnement, fonction de la taille du projet et du pouvoir épurateur des sols en place. Cette étude précise également la perméabilité des sols nécessaire au dimensionnement des tranchées d'infiltration (30 ml au minimum).

Mesure #E2

Réguler l'infiltration de l'eau dans le sous-sol

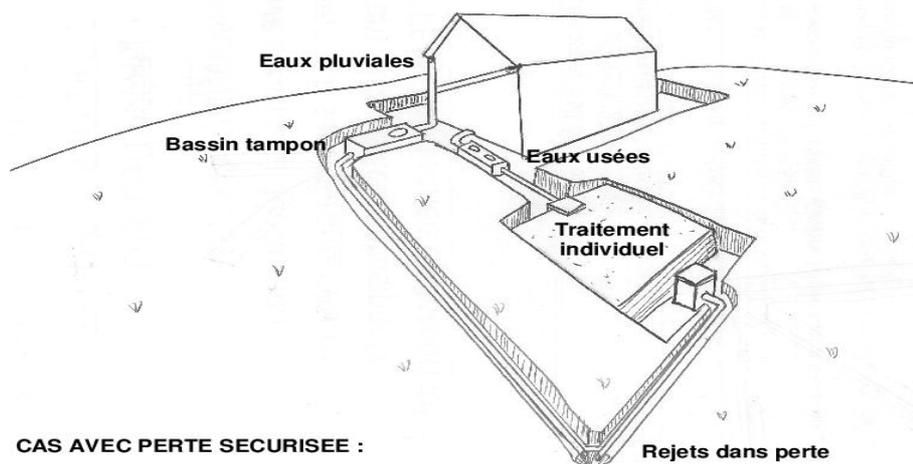
Si absence de possibilité de raccordement à un réseau étanche (mesure #E1), l'infiltration doit être envisagée dans le sous-sol via un dispositif de régulation (bassin tampon de plus de 2 m³).

L'objectif est de restituer un niveau de rejet des eaux dans le milieu naturel (après traitement si besoin) équivalent à l'existant (avant-projet).

Choisir le mode d'infiltration adapté à la configuration topographique et karstique de la parcelle

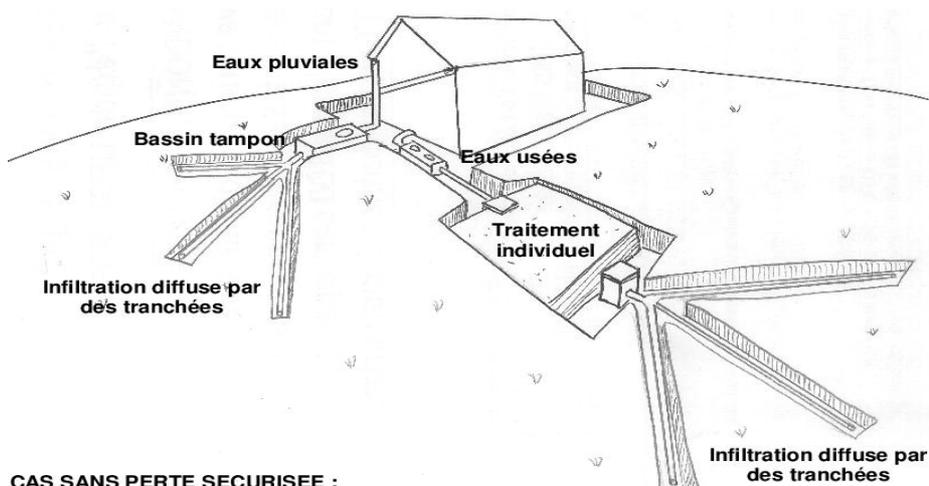
Selon la morphologie de la parcelle, et après régulation des débits (mesure #E2), il s'agit de définir le mode d'infiltration des eaux qui peut être :

- **ponctuel (mesure #E3-1)** s'il existe un point d'infiltration (de type perte) ou un exutoire. Dans ce cas, le point d'infiltration doit être actif (vérifier sa capacité d'infiltration) puis matérialisé et sécurisé



Mesure #E3-1

- **diffus (mesure #E3-2)** sur une surface à définir par une étude de sol (capacité d'infiltration). L'infiltration se fera alors via des tranchées d'infiltration (linéaire à calculer)



Mesure #E3-2

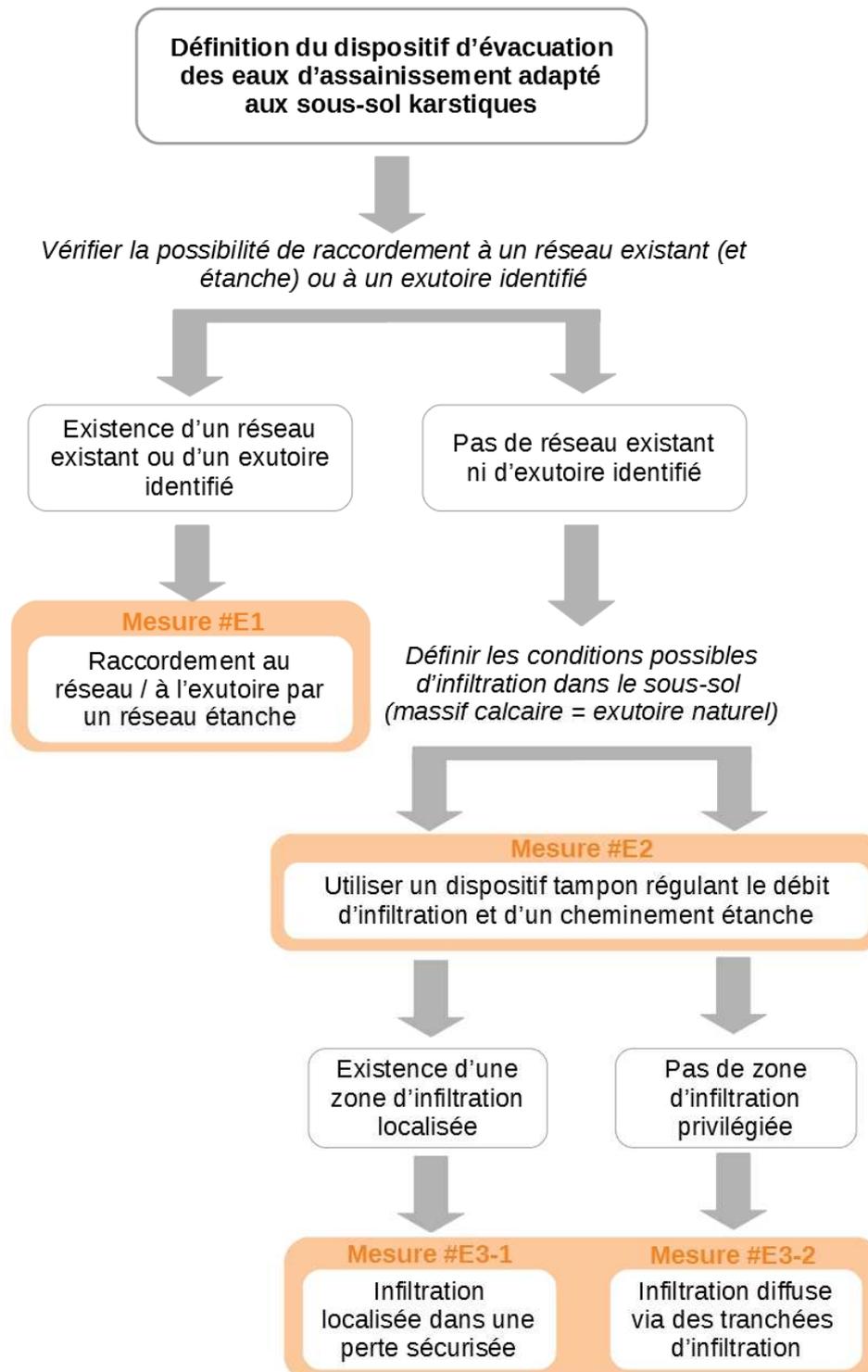
Pour aller plus loin :

L'essentiel du DTU 64-1 :

<https://www.actu-environnement.com/media/pdf/NF-DTU-64.1.pdf>

FICHE DE "BONNES PRATIQUES" EN MATIÈRE DE MESURES DE GESTION DES EAUX *EN* *CONTEXTE KARSTIQUE*

LA DÉMARCHE PROPOSÉE



* Perte sécurisée : Point local d'infiltration naturelle des eaux pluviales dans le sol/sous-sol, dans un contexte où les terrains avoisinants sont considérés comme stables (confortements éventuels)

FICHE DE "BONNES PRATIQUES" EN MATIÈRE DE MESURES PRÉVENTIVES EN CONTEXTE KARSTIQUE

L'information préventive est de la responsabilité de la commune.

Elle consiste à informer chaque citoyen sur les risques qu'il encourt et sur les mesures de sauvegarde qui peuvent être mises en œuvre.

Elle est définie notamment dans les articles L125.2 et R125.9 à 125.27 du Code de l'Environnement.

La surveillance des biens est de la responsabilité du maître d'ouvrage

(propriétaires et professionnels intervenant pour leur compte).

Le propriétaire du site est entièrement responsable vis-à-vis des tiers, du fait "des choses que l'on a sous sa garde", par le biais de sa propriété (article 1384 du Code Civil).

Le Maire (par ses pouvoirs de police - article L.2211.1 et suivants du Code Général des Collectivités Territoriales) peut se substituer au propriétaire **en cas de carence** de ce dernier (article L2212.2.5 du CGCT)

Mesure #P1

Renseigner la population sur les risques de mouvements de terrain d'origine karstique auxquels elle est exposée

- affichage en mairie d'un document d'informations générales (le cas échéant, mise en ligne sur le site internet de la commune)
- transmission de la connaissance du risque et des mesures associées par le biais du bulletin communal (pour l'ensemble des administrés)
- mise en place de réunion(s) publique(s) spécifique(s) une fois tous les deux ans pour les administrés concernés

Mesure #P2

Surveiller l'évolution éventuelle de l'état des biens

Une attention particulière devra être portée aux indices d'instabilités suivants :

- évolution topographique des sols : ondulation, crevasse, affaissement, voir effondrement
- apparition de sinistres (notamment fissurations) sur le bâti.

Mesure #P3

Anticiper en élaborant avec le représentant de l'État des procédures communales de gestion de crise

L'objectif est de prescrire des mesures de mise en sécurité (évacuation, sécurisation des biens, procédure d'expertise d'urgence). En cas de danger grave ou imminent, le Maire est chargé de prescrire "les mesures de sûreté exigées par les circonstances" (article L.2212.4 du CGCT).

Par ailleurs, le représentant de l'État (i) peut intervenir en cas de carence du Maire et (ii) est seul compétent pour prendre toutes mesures à vocation intercommunale (article L.2215.1 du CGCT).

Une fois établies, ces mesures doivent être intégrées dans un document de type Plan Communal de Sauvegarde, ou équivalent (obligatoire si existence d'un PPRN sur la commune).

Pour aller plus loin :

Les **responsabilités du Maire** et les **outils d'aménagement** : guide "La gestion du risque cavités souterraines : Guide à l'usage des collectivités" - Cerema / Collection / Références – MTEs 2017 - <https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/gestion-du-risque-cavites-souterraines>

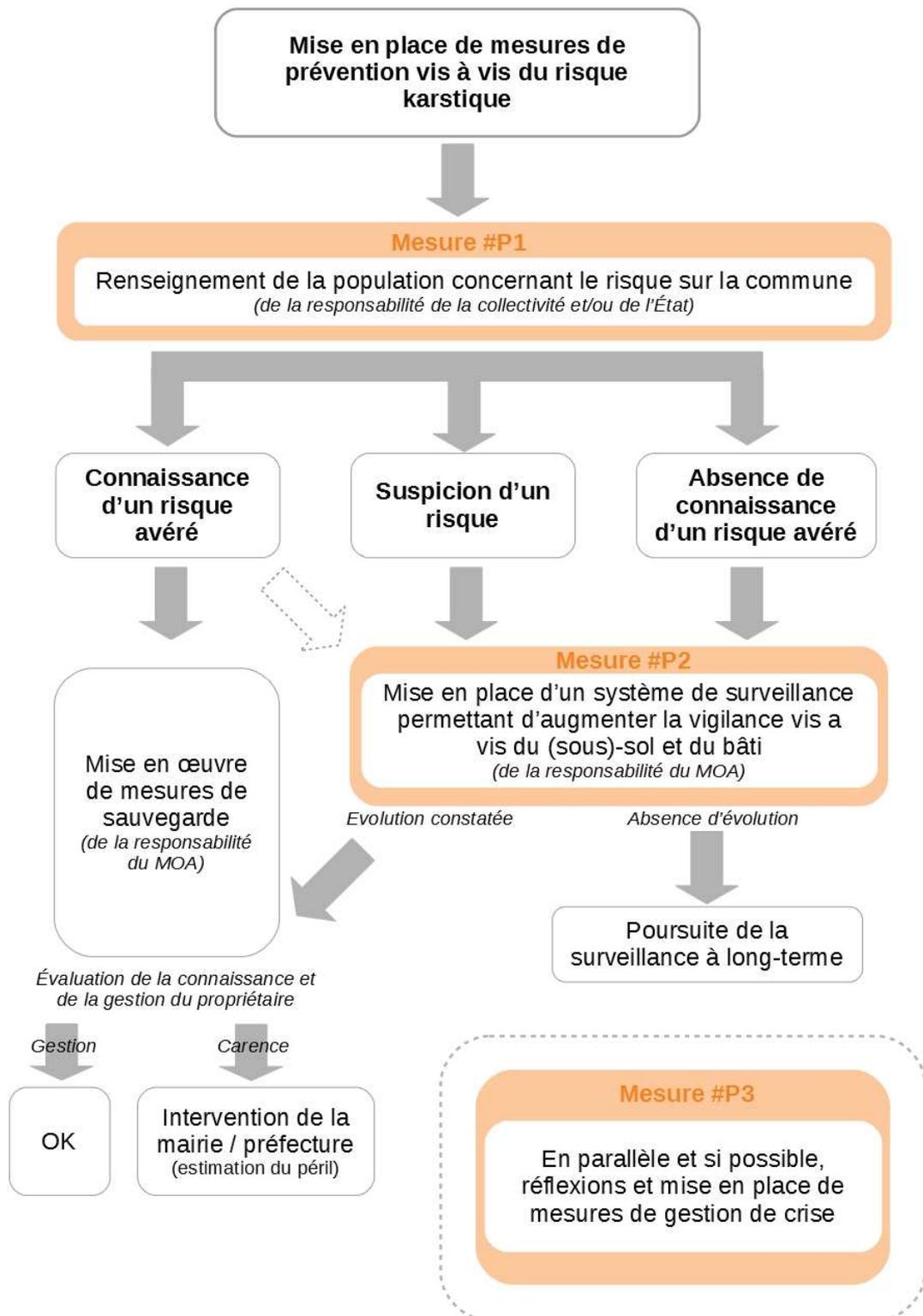
Les principales **méthodes de surveillance** (ANNEXES TECHNIQUES).

Les recommandations spécifiques aux communes couvertes par un **Plan de Prévention des Risques naturels** (ANNEXES TECHNIQUES).

La procédure de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle et les financements de mesures préventives ou correctives au titre du fonds Barnier (ANNEXE DU PRÉSENT LIVRET)

FICHE DE "BONNES PRATIQUES" EN MATIÈRE DE MESURES PRÉVENTIVES EN CONTEXTE KARSTIQUE

LA DÉMARCHE PROPOSÉE



Pourquoi un livret pédagogique ?

Comme demandé lors de la réunion en Préfecture le 13 septembre 2019, ce livret pédagogique, établi sur la base des attentes des deux communes de RIVIERES et de LA ROCHEFOUCAULD-EN-ANGOUMOIS, a été réalisé afin de rassembler les mesures les plus courantes à mettre en œuvre pour se prémunir ou du moins limiter les conséquences de potentiels mouvements de terrain d'origine karstique sur les biens et les personnes.

Un livret pour qui ?

Ces mesures d'ordre général rassemblées dans ce livret, doivent permettre d'orienter les acteurs locaux dans l'aménagement de leur territoire en contexte karstique. A ce titre, il peut être étendu / valable à l'ensemble des territoires communaux implantés dans un contexte karstique similaire (réseau de La Touvre, voire au-delà).

Comment ce livret a-t-il été établi ?

Ce livret est établi par le Cerema, sur la base de son expérience sur le sujet karstique (aléa, diagnostic, gestion, confortement) et plus particulièrement à partir d'un retour d'expérience tiré d'une analyse technique d'un Plan de Prévention des Risques de Mouvements de terrain en Corrèze (contexte de karst de plateaux).

Que contient ce livret ?

Ce livret propose :

- (i) un rappel de la problématique karstique et des mouvements de terrain associés (processus souterrains et type de désordre en surface)
- (ii) une liste des principales dispositions à tenir en contexte karstique pour limiter l'exposition des biens et des personnes : la prévention, la gestion des eaux (biens existants et nouveaux) et les mesures constructives
- (iii) des précisions sur la procédure de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle et les financements de mesures préventives ou correctives au titre du Fonds Barnier.

L'essentiel des mesures

- **les mesures constructives** : elles sont sous la responsabilité du Maître d'ouvrage (et des professionnels intervenant pour leur compte), qui doit veiller à la qualité des fondations des bâtiments, et prévoir, si nécessaire, le renforcement de la structure afin de prévenir les conséquences d'éventuels mouvements de terrain d'origine karstique.
Pour cela et en premier lieu, le Maître d'ouvrage doit rester vigilant et vérifier l'absence de cavité karstique sous le projet (information disponible en mairie ou auprès du service instructeur). En cas de cavité(s) avérée(s) ou fortement suspectée(s), il doit adapter ses fondations et le cas échéant sa structure pour renforcer la construction par un procédé adéquat (avec proposition d'assistance de la commune / service instructeur sur la qualité de ces adaptations / protections).

***Nota** : Les règles de construction sont appliquées sous la seule responsabilité du Maître d'ouvrage. Elles doivent tenir compte du risque, en particulier dans la détermination et le dimensionnement des fondations, des soutènements, des réalisations de terrassements, en veillant notamment à la stabilité des terrains voisins et intégrer les contraintes liées à la gestion des eaux. L'impact du projet sur le risque devra toujours être analysé et déterminé.*

- **les mesures de gestion des eaux** (facteur majeur dans le déclenchement des mouvements de terrain d'origine karstique) : les principales recommandations à mettre en œuvre consisteront à se raccorder aux réseaux étanches existants (eaux usées et pluviales, séparatifs ou unitaires). Dans le cas d'absence de réseaux existants, les eaux usées traitées par une filière d'assainissement autonome conforme aux normes en vigueur et les eaux pluviales pourront être infiltrées dans le milieu naturel soit par un exutoire existant (fossé, cours d'eau, perte active sécurisée), soit par un système de diffusion de type tranchées d'infiltration et, dans tous les cas, après une régulation des débits par un bassin tampon (débit de fuite limité restituant des rejets d'eaux pluviales équivalents ou proches de l'état initial, c'est-à-dire avant réalisation du projet).

Nota : Pour les canalisations, l'utilisation de matériaux présentant le maximum de garantie d'étanchéité sera recherchée. Une surveillance (détection de fuites) et un entretien régulier des réseaux et dispositifs d'assainissement sont à encourager également.

- **les mesures de prévention** : une attention particulière devra être portée par les occupants de bâtiments aux indices d'instabilité (apparition ou évolution d'affaissement ou d'effondrement de terrain, désordres sur les constructions). La mairie et les services d'État auront, pour leur part la responsabilité (i) de diffuser l'information relative à la connaissance de risques (information préventive) et (ii) de prévoir, si cela le nécessite, des mesures de gestion de crise (anticipation et gestion).

ANNEXE



La procédure de reconnaissance CAT NAT
et les financements de mesures préventives
et correctives au titre des fonds Barnier
(source DDT 16)

LA PROCÉDURE DE RECONNAISSANCE DE L'ÉTAT DE CATASTROPHE NATURELLE ET LES FINANCEMENTS DE MESURES PRÉVENTIVES OU CORRECTIVES AU TITRE DU FONDS BARNIER

Le Fonds de Prévention des Risques Naturels Majeurs (FPRNM) ou fonds Barnier a été créé par la loi du 2 février 1995 relative au renforcement de la protection de l'environnement.

Il était originellement dédié au financement de l'expropriation de biens exposés à un risque naturel majeur. Il a été progressivement élargi à d'autres dépenses dans le domaine de la prévention des risques naturels majeurs.

Deux critères sont utilisés pour caractériser la menace grave :

- les circonstances de lieu et de temps dans lesquelles le phénomène est susceptible de se produire
- l'évaluation des délais nécessaires à l'alerte des populations et à leur complète évacuation

La comparaison du coût des moyens de sauvegarde et de protection et du montant de l'indemnité d'acquisition se fait en caractérisant la valeur de la réalisation...
...de travaux éventuels et la mise en place de moyens de surveillance, d'alerte et

La procédure de reconnaissance Catastrophe Naturelle

Les sinistres consécutifs à des mouvements de terrain d'origine naturelle sont indemnisables au titre du régime des catastrophes naturelles. Dès la survenance d'un sinistre, les administrés doivent contacter leur assurance ainsi que leur mairie, qui devra déposer une demande de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle pour l'ensemble de la commune. Celle-ci peut le faire de manière dématérialisée (site internet iCatNat) ou en remplissant un formulaire en préfecture. La demande doit être faite dans un délai de 18 mois après le début du phénomène. Une commission interministérielle statue sur la demande, notamment en évaluant le caractère exceptionnel de l'événement. Les sinistrés disposent d'un délai de 10 jours maximum après publication de l'arrêté interministériel au journal officiel pour faire parvenir un état estimatif des pertes à leur compagnie d'assurance, s'ils ne l'ont pas fait immédiatement après la survenance du sinistre.

Les financements des mesures préventives ou curatives au titre du fonds Barnier

L'expropriation de biens exposés à un risque naturel majeur

Conditions d'éligibilité

- 1 - Menace grave pour les vies humaines
- 2 - Moyens de sauvegarde et de protection des populations plus coûteux que le montant de l'indemnité d'acquisition

Taux de financement maximum

100% des dépenses (indemnités et frais annexes)

L'acquisition à l'amiable de biens exposés à un risque naturel majeur

Conditions d'éligibilité

- 1 - Bien couvert par un contrat d'assurance incluant la garantie catastrophes naturelles
- 2 - Bien situé dans une zone soumise à un aléa menaçant gravement la vie humaine
- 3 - Moyens de sauvegarde et de protection des populations plus coûteux que le montant de l'indemnité d'acquisition

Taux de financement maximum

100 % des dépenses (indemnités et frais annexes)

L'acquisition à l'amiable de biens sinistrés à plus de 50 % par une catastrophe naturelle

Conditions d'éligibilité

- 1 - Existence d'un arrêté de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle

d'évacuation (les frais d'entretien et de maintenance ne sont pas compris) par rapport au montant de l'indemnité d'acquisition, c'est-à-dire la valeur vénale du bien en l'absence de risque augmentée de l'indemnité de emploi.

Ces deux caractérisations doivent être réalisées par un expert reconnu (géologue, géotechnicien).

En complément :
Lorsque la commune est couverte par un plan de prévention des risques (PPR) prescrit ou approuvé, deux mesures permettant de mobiliser des financements supplémentaires sont applicables :

- les études, travaux ou équipements de prévention ou de protection contre les risques naturels des collectivités territoriales (ETECT) avec des taux différents selon que le PPR est prescrit ou approuvé :
- les études et travaux de réduction de la vulnérabilité imposés par un plan de prévention des risques naturels prévisibles (ETPPR) permettant une prise en charge de 40 % pour les biens à usage d'habitation ou à usage mixte et de 20 % pour les biens utilisés dans le cadre d'activités professionnelles employant moins de 20 salariés.

2 - Le bien concerné doit :

- être à usage d'habitation ou utilisé dans le cadre d'activités professionnelles employant moins de 20 salariés
- avoir été sinistré à plus de la moitié de la valeur vénale initiale
- avoir été indemnisé au titre de la garantie "catastrophe naturelle"

Taux de financement maximum

100 % de la dépense non indemnisée par la garantie "catastrophe naturelle" (plafond de 240 000€ par unité foncière)

Les dépenses d'évacuation temporaire et de relogement

Conditions d'éligibilité

1- Menace grave pour les personnes exposées

2- Décision d'évacuation prise par l'autorité compétente pour répondre à la manifestation d'un risque (arrêté de péril, interdiction d'accès)

Les demandes présentées dans ce cadre devront faire l'objet d'un dossier présenté par le maire de la commune concernée à la préfecture, précisant les risques, et incluant l'arrêté d'évacuation, une copie des justificatifs de dépenses engagées et l'indication des mesures envisagées pour le retour des personnes évacuées et leur relogement définitif.

Taux de financement maximum

100 % de la dépense jusqu'à ce qu'une solution durable soit trouvée

Cumul des aides

Si un sinistre est survenu, d'autres dispositifs d'aides peuvent être mobilisés prioritairement, notamment :

- certains contrats multirisques ;
- le fonds d'aide au relogement d'urgence (FARU) géré par le ministère chargé de la sécurité civile

La vérification du non-cumul des aides sera faite lors de l'instruction des demandes par les services déconcentrés de l'État.

Les opérations de reconnaissance et les travaux de comblement ou de traitement des cavités souterraines et des marnières

Conditions d'éligibilité

Biens couverts par un contrat d'assurance et exposés à un risque d'effondrement

Opérations de reconnaissance : dangers avérés pour les constructions ou menace grave pour les vies humaines

Travaux de comblement ou de traitement : menace grave pour les vies humaines et traitement moins coûteux que l'acquisition du bien.

Si une indemnité d'assurance est perçue au titre de la garantie catastrophes naturelles, la part de cette indemnité est déduite de la contribution du FPRNM.

Taux de financement maximum

30 %

Les opérations visant à la sécurisation d'infrastructures (routières par exemple) ne sont pas éligibles au FPRNM.

ANNEXES TECHNIQUES

PRÉAMBULE

Dans l'objectif principal de limiter la vulnérabilité des territoires, le Cerema Sud-Ouest a réalisé, pour la DDT de la Charente, un livret de "bonnes pratiques"* proposant des recommandations d'ordre général sur les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde spécifiques à l'aménagement en contexte karstique (cavités d'origine naturelle).

Destiné aux élus confrontés à la prise en compte de la problématique karstique dans la gestion et l'aménagement de leurs territoires communaux, ce livret s'intéresse aux contraintes de constructibilité des bâtiments (habitations et autres) et propose des modes de gestion des eaux de surface ainsi que des mesures préventives.

Le présent document regroupe des annexes techniques destinées aux Maîtres d'ouvrage, aux Maîtres d'Œuvre et aux collectivités confrontés à ces projets d'aménagements de bâtiments en contexte karstique et souhaitant approfondir les différentes méthodes de gestion de cette problématique spécifique.

	Titre	Destinataire
Document 1	Recensement des désordres sur les bâtiments et dispositions constructives de mitigation du risque	Maîtres d'œuvre
Document 2	Reconnaitances géotechniques spécifiques à la recherche de vides sous un bâtiment	Maîtres d'ouvrage et Maîtres d'œuvre
Document 3	Principales méthodes de surveillance	Maîtres d'ouvrage
Document 4	Recommandations spécifiques aux communes couvertes par un plan de prévention des risques naturels	Collectivités

* Référence complète "Aménager en contexte karstique : l'essentiel des "bonnes pratiques" – Cerema 2020 / DDT16"

DOCUMENT 1



**RECENSEMENT DES DÉSORDRES
SUR LES BÂTIMENTS ET
DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES
DE MITIGATION DU RISQUE
(source Cerema)**

à destination des Maîtres d'œuvre

Ce chapitre repose en grande partie sur le document de l'Institut National de l'Environnement industriel et des Risques de novembre 2008 "Recommandations pour l'évaluation et le traitement des conséquences des mouvements du sous-sol sur le bâti" - DRS-08-95042-13683A.

Pour le chapitre concernant les dispositions constructives, le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment établit des guides spécifiques pour le bâti neuf situé en zone d'aléa type fontis de niveau faible (janvier 2012) et l'affaissement progressif (novembre 2011). Une étude sur la vulnérabilité des bâtiments existants vis-à-vis du fontis a déjà été menée par le CSTB.

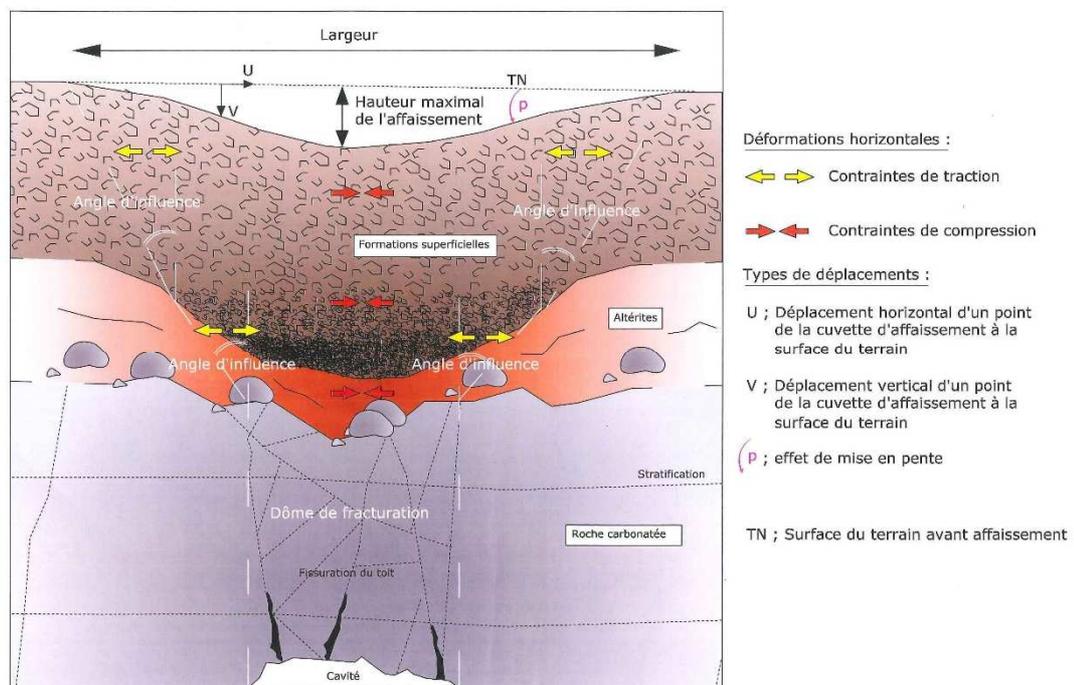
L'ensemble de ces guides a été rédigé pour des événements liés à des cavités anthropiques (mines et carrières). Nous considérons, dans le présent document, que l'approche des désordres en surface est transposable aux cavités karstiques.

1 - IMPACT DES ÉVÈNEMENTS SUR LES BÂTIMENTS

Les désordres sont fonction de l'importance des mouvements de sols et de la sensibilité des structures aux déformations associées. Compte tenu de leurs conséquences différentes, on distingue les phénomènes d'affaissement et d'effondrement.

1.1 - LES PHÉNOMÈNES D'AFFAISSEMENT

La déformation des terrains de surface lors des phénomènes d'affaissement peut affecter les bâtiments par des efforts horizontaux et des effets de mise en pente, prédominants dans la dégradation d'une structure. Ces contraintes peuvent être définies dans le cadre d'une étude géotechnique spécifique. Le schéma ci-dessous représente les effets d'un affaissement des sols.

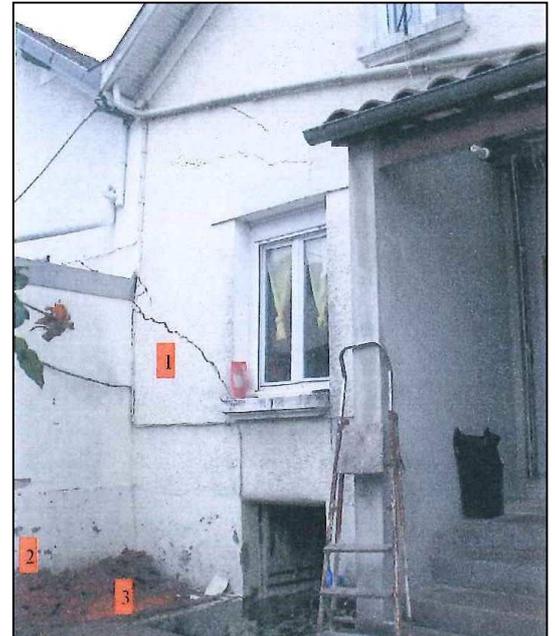


*Effets de déformations horizontales et mise en pente lors d'un affaissement de terrain d'origine karstique
(source INERIS/LRB)*

Selon sa position par rapport à la cuvette d'affaissement, le bâtiment subit des efforts de compression ou d'extension se manifestant par l'apparition de pliures et de fractures dans le premier cas et des fissures assez larges dans le cas d'extension.



Exemples de désordres (fissures) sur un bâtiment



Comme le montrent les photographies ci-dessus, des fractures en extension se produisent généralement là où l'effet d'allongement est le plus important. Les fractures se propagent sur toute la hauteur de la structure et se développent en particulier aux angles des fenêtres et des portes.

Remarque : D'après BURLAND (1974), pour des ouvrages en béton armé, la déformation à la traction de la structure doit être au moins égale à 1,5 mm/m pour qu'apparaissent des fissures (dommages sévères si la déformation est supérieure à 3 mm/m). En compression, la déformation horizontale admissible est d'environ 3,5 mm/m (Eurocode 2).

→ **Seuils de déformation admissibles**

La pente, les déformations horizontales et le rayon de la courbure (effets concernant principalement les ouvrages de grandes longueurs - rares pour les bâtiments courants), sont les paramètres les plus fréquemment retenus concernant les dommages subis par le bâti (prises en compte dans la normalisation). Des seuils admissibles pour les structures sont disponibles dans le rapport d'étude INERIS du 15 novembre 2008. Il ressort principalement de l'analyse de ces tableaux que les seuils admissibles pour les structures, sont :

- 2 mm/m de variation de longueur du sol (en extension ou en compression)
- 0,75 % de mise en pente (seuil de gêne pour une habitation)
- 20 km de rayon de courbure (en cuvette).

Une synthèse des déformations admissibles pour les bâtiments est disponible dans le document "Calcul des fondations superficielles et profondes" - Presses de l'Ecole Nationale des Ponts-et-Chaussées - Mai 1999.

D'après le guide du CSTB "Dispositions constructives pour le bâti neuf situé en zone d'aléa de type affaissement progressif" de novembre 2011, 5 niveaux d'endommagement ont été établis, par ordre croissant de sinistralité (N1 à N5). Ces niveaux d'endommagement sont décrits ci-dessous :

NIVEAU D'ENDOMMAGEMENT	SÉCURITÉ DES OCCUPANTS	NATURE DES DÉSORDRES	VARIATION DE LONGUEUR DES BATIMENTS
N1 (dommage très léger ou négligeable)	Sécurité des occupants assurée car absence de risque de chutes d'éléments porteurs ou d'équipements	Fissures d'aspect : Fissures très légères dans le plâtre Légères fissures isolées dans le bâtiment, non visibles de l'extérieur	Jusqu'à 0,1 %
N2 (dommage léger)		Fissures légères dans les murs : Plusieurs fissures légères visibles à l'intérieur de l'immeuble Les portes et fenêtres peuvent se coincer Des réparations aux murs et plafonds peuvent être nécessaires	0,1 à 0,2 %
N3 (dommage appréciable)		Portes coincées et murs bombés : Fissures légères visibles de l'extérieur Les portes et les fenêtres peuvent se coincer Les canalisations sont rompues	0,2 à 0,3 %
N4 (dommage sévère)	Sécurité des occupants menacée	Poutres déchaussées et murs bombés : Fissures visibles de l'extérieur Les portes et les fenêtres peuvent se coincer Les canalisations sont rompues Parquets et sols en pente Murs hors d'aplomb ou bombés Quelques déchaussements dans les poutres En cas de compression, chevauchement des joints dans les toits et soulèvement du gros œuvre en maçonnerie, avec crevasses horizontales	0,3 à 0,4 %
N5 (dommage très sévère)		Planchers et murs désolidarisés et instables : Le bâtiment doit être reconstruit partiellement ou complètement Les poutres de la charpente et des planchers sont déchaussés Les murs penchent très fort et doivent être étayés Fenêtres brisées et tordues Gauchissement et bombement des planchers et des murs en zone de compression	Au-delà de 0,4 %

Les effets d'affaissement sur le bâtiment sont décrits dans le guide CSTB de novembre 2011.

Alors que plusieurs méthodes analytiques et numériques d'évaluation des affaissements et des effondrements sont applicables aux cavités d'origine humaine (mines et carrières souterraines - Cf. rapport INERIS de novembre 2008 et les guides de dispositions constructives du CSTB de novembre 2011 et janvier 2012), la prédiction de ces phénomènes au droit de cavités naturelles karstiques, est très délicate, voire impossible. Celle-ci sera entièrement basée sur des retours d'expérience (méthode empirique).

1.2. - LES PHÉNOMÈNES D'EFFONDREMENT

Ces phénomènes se distinguent des affaissements par leur rapidité d'apparition (événement brutal) et par la formation de fractures et/ou de cratères (mouvements gravitaires de composante essentiellement verticale).

Les publications portant sur la prise en compte de ces effondrements sont développées pour partie dans le cadre des règles de construction parasismique. Nous ne développerons donc pas ce paragraphe dans le présent document, laissant le lecteur se rapprocher de ces ouvrages.

Toutefois, nous insistons sur la définition pertinente de l'aléa à considérer dans la conception de l'ouvrage.

Les effondrements (partiels ou complets) peuvent engendrer un danger direct ou indirect à la sécurité publique. Les dégradations sur les bâtiments peuvent être partielles ou complètes, avec destruction de maisons, rupture de canalisations, fermeture de voies de circulation, ...

Bien qu'il n'existe aucun document officiel traitant des seuils géométriques admissibles pour les bâtiments, le SDICS (Schéma Départemental de l'Inspection des Cavités Souterraines) de la Région Nord/Pas-de-Calais a édicté des règles empiriques s'appuyant sur plus de 10 ans d'expérience dans le domaine des fontis. La structure doit être capable de résister à :

- un fontis de 2,5 m de rayon en pleine poutre ou dalle (au centre)
- un fontis de 3 m de rayon en porte-à-faux (en extrémité).

Sans ce dimensionnement de la structure, le moindre effondrement peut être destructeur de bâtiments.

Le guide établi par le CSTB en janvier 2012 "Guide de dispositions constructives pour le bâtiment situé en zone d'aléa de type fontis de niveau faible" propose des règles d'implantation et des dispositions constructives en matière de bâti (gros œuvre, seconde œuvre) dans les secteurs soumis à des aléas fontis de diamètre limité à 3 m (fontis minier).

La conception d'un bâtiment en zone d'aléa fontis doit permettre à la structure de ce bâtiment de présenter une robustesse suffisante vis-à-vis des diverses actions susceptibles de solliciter la structure. Selon la situation du projet, différentes approches de conception peuvent être retenues. L'adoption d'une méthode de conception dépend de la stratégie retenue pour assurer au bâtiment une robustesse suffisante (supporter certaines détériorations sans s'effondrer).

D'après le CSTB, il convient qu'un bâtiment résiste à une action accidentelle au moins pendant la durée nécessaire à l'évacuation des personnes. Des niveaux plus élevés de sécurité peuvent être requis pour les bâtiments destinés à la manipulation de matières dangereuses, à la fourniture de services indispensables ou bien pour des raisons de sécurité nationale (NF EN 1991-1-7). Notons que ces exigences sont très générales et sont respectées moyennant l'adoption de dispositions constructives et d'un dimensionnement des structures selon des critères particuliers à chaque type de construction.

La norme NF EN 1991-1-7 propose des "classes de conséquences" des bâtis permettant de définir une hiérarchie dans les stratégies à retenir pour les mises en sécurité vis-à-vis des actions de type accidentel (usage du bâtiment et catégorisation).

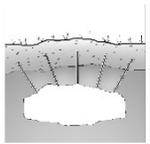
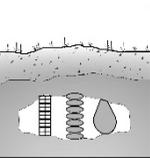
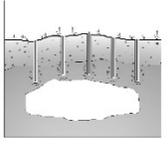
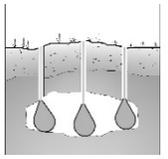
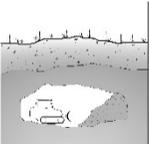
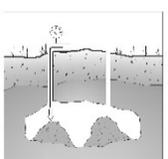
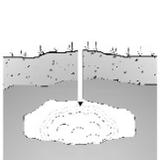
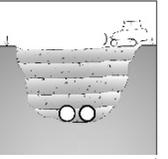
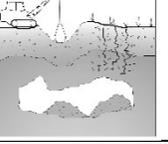
Notons que le seul paramètre retenu par le CSTB pour la prise en compte de l'action d'un fontis dans la conception des ouvrages, est son diamètre (le fontis est considéré comme un puits infiniment profond).

Dans les modèles de calcul du CSTB, l'action du fontis est prise en compte comme une perte d'appuis (action statique accidentelle). Les structures doivent résister aux sollicitations issues du nouvel état d'équilibre.

Les expériences du Laboratoire de BORDEAUX sur des fondations de Génie Civil ont conduit à prescrire des solutions :

- d'adaptation des fondations pour limiter les tassements différentiels et éviter les rotations des appuis
- de surdimensionnement de la structure pour prendre en compte des dénivellations d'appui limitées.

Dans la zone d'influence d'un effondrement (zone de tassements différentiels), une analyse spécifique pourra être menée pour une éventuelle prise en compte des dispositions énoncées en 1.1. (phénomènes d'affaissement).

MÉTHODES DE TRAITEMENT DES VIDES SOUTERRAINS				
OBJECTIFS	MÉTHODES	TECHNIQUES DE RÉALISATION	Par le fond	Depuis la surface
Eviter la rupture du toit d'une cavité (tout en conservant des vides)	Consolidation/renforcement ponctuel (techniques nécessitant un entretien et une surveillance de l'évolution)	<ul style="list-style-type: none"> . Soutènement de toit par boulonnage, scellement à la résine, injection . Création de "piliers" artificiels de type maçonnés (coffrage, clavage), grout-bags, big-bags 	 	 
Diminuer ou supprimer les vides	Comblement intégral ou partiel (principe d'auto-comblement) des vides (problèmes des pertes dans les karsts nécessitant un confinement des matériaux de comblement, risque de pollution des nappes souterraines, risque d'altération des remblais en milieu agressif, besoin de contrôle de la qualité du remblayage, opérations délicates au droit des bâtiments)	<ul style="list-style-type: none"> . A partir du fond par des engins mécanisés . Par déversement gravitaire à partir de forages depuis la surface (voies sèches, semi-humides ou par remblayage hydraulique) . Par injection de mortier ou de coulis depuis des forages en surface (granulats fins + ciment) . Par mousses therm durcissables 		  
	Comblement terrassement et pilonnage (méthodes destructives et problèmes de nuisances pouvant être importants, voire très importants)	<ul style="list-style-type: none"> . Décaissement des sols puis remblayage (compactage + injection si besoin pour construction de bâtiments) - Maintien des continuités hydrauliques par busage en fond . Effondrement provoqué par foudrayage (explosifs), abattage mécanique (compaction dynamique par chutes de pilon, vibro-compaction) 	 	

2 - SOLUTIONS DE MITIGATION DU RISQUE ET DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES

La gestion des risques liée à la manifestation de phénomènes d'origine karstique en surface, passe par l'évaluation de l'aléa "Mouvements de terrain en surface d'origine karstique" et le choix de la technique de mitigation du risque décrit dans le présent chapitre.

Le choix de la technique de mitigation du risque peut être le traitement, l'adaptation de la structure du bâtiment, la surveillance ou le déplacement des enjeux (exemple de bâtiments).

Les méthodes de traitement et les solutions mises en œuvre pour éviter ou minimiser les dégâts sur les structures de bâtiment peuvent être divisées en 4 catégories :

- les méthodes de traitement des vides souterrains
- les méthodes de renforcement des sols
- les méthodes applicables aux fondations du bâtiment
- les méthodes de consolidation de la résistance de la structure.

Le choix entre ces différentes méthodes de traitement est fait par le Maître d'ouvrage et dépend :

- des conditions d'accessibilité et/ou de stabilité du site (profondeur, propriétés géomécaniques du recouvrement, ...)
- du type de l'instabilité (fontis ou affaissement) et de son évolution (avant ou après son apparition en surface)
- de la nature des structures en surface
- du niveau de protection adapté à la destination du site (sécurité des personnes, protection du bâti existant, projet d'aménagement urbain, ...)
- du coût de l'opération (réparation) et du type de dommage (architectural, fonctionnel ou structurel).

Ce travail ne traite pas des travaux de confortement des bâtiments après apparition en surface de phénomènes d'origine karstique (reprise en sous-œuvre par vérins, injection des vides et des fissures de la structure, démolition, reconstruction sur micropieux, soutènement à l'aide de poutres, poteaux, câbles, ...).

→ Traitement des vides liés à la présence de cavités karstiques

Les opérations de traitement des cavités karstiques consistent à supprimer ou à diminuer la prédisposition du site à subir des instabilités.

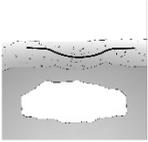
On distingue les parades passives qui visent à atténuer, à titre temporaire ou définitif, les conséquences des effondrements sans traiter les causes (renforcement des sols de fondation, des structures) et les parades actives qui traitent de ces causes (présence de vides en profondeur et propagation vers la surface).

Le tableau ci-contre synthétise les différentes techniques de parades actives traitant la présence de cavités souterraines karstiques (efficaces au droit d'ouvrages neufs ou anciens).

Des fiches de synthèse des techniques de prévention active, établies par l'INERIS (Guide Technique "Mise en sécurité des cavités souterraines d'origine anthropique" – DRS-07-86042-02484A de février 2007), sont consultables sur internet.

→ **Méthodes de renforcement des sols**

Ces méthodes permettent de supprimer ou réduire les conséquences d'une instabilité en profondeur sans supprimer la cause (vide karstique). Le tableau ci-dessous indique les différentes méthodes de parade passive par renforcement des sols de fondation.

MÉTHODES DE RENFORCEMENT DES SOLS DE FONDATION			
OBJECTIFS	MÉTHODE	TECHNIQUES DE RÉALISATION	Depuis la surface
Améliorer et agir sur les terrains superficiels (zone de propagation des vides vers la surface)	Méthodes préventives de type "parachute" (évite des déformations inadmissibles en modérant les vides. A associer à des renforcements de structure au droit des bâtiments)	<p>. Techniques pour les ouvrages neufs :</p> <ul style="list-style-type: none"> - géotextiles renforcés (effet d'arche) - géogrilles, treillis galvanisés, structure en béton armé (complexe radier, poutres transversales) <p>- Enjambement par poutres ("bridging beam")</p> <p><i>Remarque : L'utilisation de remblais renforcés par nappes géotextiles ou bandes métalliques peut permettre une protection de la surface face à l'apparition de fontis (effondrement localisé). La superposition de bandes métalliques entrecroisées, noyées dans un matériau granulaire, permet le renforcement des sols et empêche toutes déformations significatives (utilisé en infrastructure routière)</i></p>	 
	Renforcement des sols par inclusions (risques résiduels d'affaissement)	<p>. Inclusions rigides/micropieux (effet "banc raide" interceptant la propagation des instabilités vers la surface)</p> <p>. Injection dans les terrains de surface, peu utilisée (effet "barrage")</p>	

Remarque : La réalisation d'une tranchée périphérique autour des ouvrages neufs ou anciens permet de limiter les déformations du sol au droit de l'ouvrage à protéger (cas des affaissements de terrain). Remplie de matériaux compressibles (exemple de la tourbe), la tranchée joue un rôle "tampon" encaissant les petites sollicitations du sol (technique inadaptée aux effondrements).

Enfin, une dernière méthode préventive d'amélioration des sols concerne la gestion des eaux superficielles.

Les aménagements de collecte et d'évacuation des eaux de ruissellement (principalement les réseaux d'eaux pluviales) ont un rôle majeur dans la rapidité de la concentration des eaux. Les aménageurs doivent donc prendre en compte l'impact de cette concentration des eaux sur les zones karstiques.

Par exemple, des ouvrages d'écrêtement / régulation et de stockage des eaux collectées permettront de limiter cette concentration rapide et de réduire (voir fiche spécifique du livret), voire supprimer le risque d'apparition d'une charge hydraulique susceptible de déclencher un effondrement karstique de type soutirage.

De plus, le choix des exutoires est primordial afin de ne pas concentrer les infiltrations des eaux collectées au droit d'une zone karstique particulièrement sensible (type doline, aven, perte, etc ...) ou à enjeux forts (zone urbaine, infrastructures, etc...). Par exemple, les rejets d'eaux pluviales des constructions ne doivent pas être réalisés dans des puisards sans étude spécifique de la vulnérabilité du sol mais évacués hors des secteurs sensibles. De plus, l'aménagement de trottoirs ou terrasses imperméables en périphérie des bâtiments (avec collecte et évacuation des eaux hors des zones karstiques), permet d'éviter l'apparition d'effondrements localisés par processus de soutirage en bordure des fondations.

Enfin, certains dispositifs de gestion des eaux de ruissellement peuvent conduire à des modifications de la nature des eaux (exemple du lessivage de zones polluées raccordées au réseau pluvial). Ceci peut influencer sur l'agressivité des eaux collectées, facteur important dans le phénomène de karstification des roches carbonatées.

Par ailleurs, en cas d'écoulement important dans une cavité (notamment après un soutirage), le ruissellement est susceptible de modifier la géométrie des vides par le déplacement de terrains déconsolidés (éboulis, remblais), impactant sur la stabilité d'ensemble du massif karstique.

L'infiltration diffuse peut sembler préférable car elle limite l'impact des eaux d'infiltration sur les matériaux de couverture (percolation lente à travers la masse de la couverture, réduisant le risque de soutirage). Cependant, ces eaux finissent par rejoindre la masse calcaire sous-jacente. Ce phénomène qui conduit donc à générer un étalement d'une partie du flux hydrique sur plusieurs mois, participe plus ou moins au changement de conditions hydriques du massif et à son évolution karstique.

Dans les secteurs exposés aux effondrements karstiques par soutirage, la gestion des eaux de ruissellement par des dispositifs d'assainissement pluvial adaptés apparaît comme un outil adéquat pour la mitigation du risque.

La définition de ces aménagements spécifiques nécessite une bonne connaissance du système karstique et la hiérarchisation des enjeux.

Pour la gestion des eaux à la parcelle en contexte karstique, le Cerema propose des mesures spécifiques (Cf. Livret de Bonnes Pratiques).

→ **Méthodes applicables aux fondations des bâtiments et renforcement de la structure**

Ce chapitre est extrait du rapport de l'INERIS DRS-07-86090-05803A d'avril 2007 "Evaluation et traitement du risque de fontis lié à l'exploitation minière" et du rapport de l'INERIS DRS-08-95042-13683A de novembre 2008 "Recommandations pour l'évaluation et le traitement des conséquences des mouvements du sous-sol sur le bâti".

Le CSTB établit également des guides de dispositions constructives pour le bâti neuf situé en zone d'aléa de type fontis, de niveau faible ($\phi < 3$ m), pour l'affaissement progressif, ainsi que la vulnérabilité des bâtiments existants vis-à-vis de l'aléa fontis.

Ces propositions de dispositions constructives établies pour des phénomènes d'affaissement et d'effondrement minier peuvent être applicables dans le cas d'affaissement d'origine naturelle, notamment karstique (règles d'implantation et de voisinage, caractéristiques des matériaux, formes du bâtiment, types de fondations et superstructure, éléments non structuraux et réseaux).

En général, plusieurs solutions techniques sont possibles pour améliorer la résistance d'un bâtiment. Le choix définitif de la mise en œuvre d'une ou de plusieurs solutions devra être réalisé par un organisme compétent, dans le respect des règles de bon sens technique et économique.

Remarque : Le Maître d'ouvrage doit tenir compte des règles de construction et des éventuelles interdictions ou prescriptions issues de documents d'urbanisme. Par ailleurs, les solutions employées devront être compatibles avec le comportement des structures vis-à-vis d'éventuels autres aléas.

De plus, des mesures renforcées relatives à la gestion des eaux près des bâtiments devront être envisagées (éloignement de l'assainissement autonome, raccordement au réseau, éloignement des zones d'infiltration des eaux de ruissellement, drainage, raccord souple, vérification de l'étanchéité) (Cf. fiche "Mesures de gestion des eaux" du présent Livret).

→ Conception des fondations

Le choix et la conception des fondations exigent la prise en compte des descentes de charge et des déformations admissibles par l'ouvrage. Dans le cas de fondation en zone karstique, il convient d'examiner également la classe de risque associé à l'aléa faible, moyen ou fort (résultant d'une caractérisation de l'aléa - se rapprocher des Services Instructeurs du projet).

Cas d'un aléa faible : Pour minimiser le risque, on peut avoir recours à des fondations isolées superficielles. Cette solution doit être associée à un drainage efficace et un sol relativement renforcé qui permet de contrôler les tassements différentiels entre les différents éléments de la structure. Des poutres (longrines) doivent être associées aux fondations isolées (réseau rigide interdisant tout déplacement relatif). Elles permettent de former des ponts au-dessus des zones de fontis de petit diamètre.

Cas d'un aléa moyen : Les fondations de type dalle (radier fortement armé) avec poutres porteuses (ensemble rigide) peuvent être utilisées dans le cas d'un risque de fontis faible à moyen.

Cas d'un aléa fort : Les fondations profondes sont généralement réservées aux constructions entreprises dans les secteurs présentant un risque élevé à très élevé. Ce type de fondation peut être constitué de palplanches, de micropieux, de pieux ou de puits. Les fondations profondes sont très efficaces mais présentent des coûts de réalisation très élevés. Le rôle est de reporter les charges dans le massif sain (vérification de la qualité du sous-sol par reconnaissance à l'aide de sondages destructifs, tout particulièrement en pointe de la fondation).

La réalisation de fondations profondes n'empêche pas la remontée des fontis mais limite les dégradations sur le bâti. On lui associe, le plus souvent, un traitement des vides par remplissage ou par des renforcements ponctuels.

Toutefois, on remarque que le dimensionnement de ces pieux est malaisé dans la mesure où le concepteur doit prendre en compte :

- les efforts horizontaux
- les frottements négatifs dus à l'affaissement des sols
- la qualité de la pointe du pieu (absence de vide).

De manière générale, on s'attachera à concevoir des fondations reliées entres-elles par des longrines intérieures et périphériques rendant l'ensemble rigide. Au final, on cherchera à se rapprocher d'une allure générale de radier en forme de gaufre. Cet élément présente l'avantage d'être extrêmement rigide dans les deux directions de son plan principal.

Une alternative pourra cependant être également retenue. Elle consiste en la réalisation de fondations flexibles ayant pour objectif d'amortir les mouvements des terrains en s'ajustant à sa forme et en ne transmettant à la superstructure qu'une part réduite des mouvements.

Pour ce faire, deux techniques sont proposées :

- le radier flexible ou "diaphragme". C'est un radier fortement armé mais possédant de nombreux joints afin de lui fournir une rigidité importante en traction/compression et une grande souplesse en flexion. L'idée est donc de permettre à la fondation de s'adapter à la courbure des terrains mais de résister à la déformation
- désolidarisation des fondations et de la superstructure. Cette technique rejoint celle des joints horizontaux au-dessus des fondations.

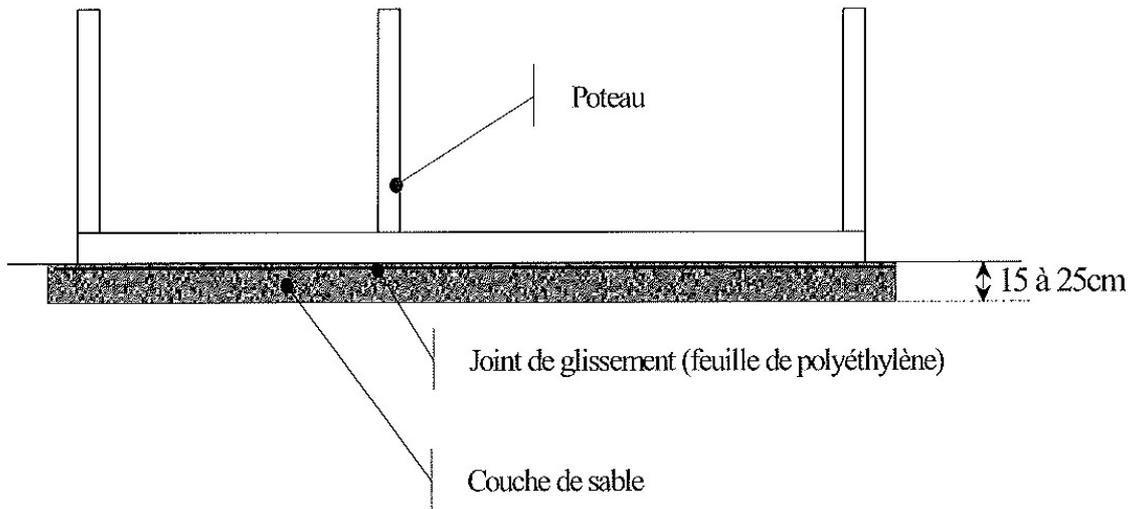
Le CSTB préconise, par exemple, lorsque cela est possible (hors aléa retrait/gonflement) :

- que toutes les fondations soient fondées sur un même niveau, sans décrochement vertical
- qu'elles soient superficielles et ne descendent pas plus bas que la cote hors gel
- que, dans la mesure du possible, les charges doivent être réparties au mieux sur l'ensemble des fondations et la contrainte du sol doit être la plus homogène possible
- que les fondations soient filantes et constituent un système homogène. Dans le cas de fondations isolées, elles doivent être reliées aux autres fondations par un réseau de longrines interdisant tout déplacement relatif
- que le réseau des fondations ait la forme d'un caisson, de maille maximale $5\text{ m} \times 5\text{ m}$
- que l'ensemble fondations/longrines/diaphragme soit ferrailé conformément au BAEL 91 sous combinaisons accidentelles pour résister à un effort de traction égal à $P_B \times 0,35$, selon les deux axes du bâtiment, P_B étant le poids du bâtiment.

Remarque : La nécessaire adaptation des réseaux souterrains et de la voirie : il s'agit de limiter le risque de rupture et, en particulier, d'éviter les fuites d'eau qui peuvent accélérer le processus de dégradation d'une cavité.

Les techniques consistent à utiliser des raccords souples adaptés aux déformations ou, au contraire, à renforcer l'ouvrage (pour des canalisations en gros diamètre) pour s'opposer aux déformations.

Dans le cas des affaissements de sols et pour minimiser les sollicitations transmises par le terrain à la structure des bâtiments neufs (effets de frottement sol/structure), on peut réaliser des interfaces horizontales sur l'ouvrage, de type joint de glissement.



Réalisation d'un joint horizontal sous l'ouvrage (Source INERIS)

L'action principale consiste donc à diminuer le coefficient de frottement qui caractérise l'interaction sol/structure. Pour ce faire, on est amené à construire les fondations sur une couche de matériau adéquat, possédant un faible angle de frottement interne ou un faible coefficient de frottement avec la fondation. Le but de l'opération est de favoriser le glissement au sein de la couche de sol ajoutée ou à l'interface sol/structure.

Les fondations étant généralement réalisées en béton coulé sur place, cette interface ne peut être considérée comme "parfaitement lisse" et il n'est guère possible d'obtenir simplement un coefficient de frottement faible. On peut cependant avoir recours à une technique consistant à intercaler une ou plusieurs membranes synthétiques sous la fondation de manière à réduire "artificiellement" le coefficient de frottement apparent sol/structure. Différents auteurs suggèrent de déposer celles-ci sur une couche de sable de 15 cm (YOKEL & AI - 1982) à 25 cm (BELL - 1988) d'épaisseur.

NEUHAUS (1965) estime que, quelle que soit la solution adoptée, il est difficile d'atteindre un coefficient de frottement à l'interface entre la fondation et le sol inférieur à 0,66 (soit un angle de frottement de 33°).

→ Dispositions constructives concernant la structure

Type des ouvrages neufs

Les présentes dispositions constructives visent les bâtiments courants d'habitation (ou de bureaux). Le principe général de la construction doit permettre à l'ouvrage de se comporter comme un "bloc rigide" ne subissant que des dégradations limitées.

Sur ce principe, **les structures en béton armé seront préférentiellement utilisées**. Elles pourront comporter plusieurs étages (au maximum 3) dans les zones de mise en pente réduite.

Ce type d'ouvrage présente l'avantage d'être particulièrement résistant, ce qui permet de limiter les dégâts. En cas de dépassement de la résistance maximale, la rupture risque toutefois d'être brutale. Cette disposition devra donc s'accompagner d'une instrumentation permettant d'évaluer les sollicitations auxquelles la structure est soumise (jauges de contraintes, par exemple).

Implantation

Pour éviter de cumuler les effets néfastes qui ne manqueront pas de s'exercer sur la structure en cas de mouvements de terrain, il est important de définir une implantation de l'ouvrage qui ne risque pas de provoquer elle-même des effets induits. Aussi, de manière générale, **les constructions devront être éloignées des zones susceptibles de subir des désordres induits indirectement par les mouvements du sol (terrains en pente, talus, ...)**.

Architecture d'ensemble

L'architecture d'ensemble d'un bâtiment, sa forme en plan ou en élévation, la localisation des éléments porteurs, la présence ou non de sous-sols, ... peuvent avoir une grande importance. Les mesures visent, en premier lieu, à éviter que les mouvements de terrain ou les sollicitations qui en résultent, ne se transmettent à l'ouvrage et, en second lieu, à éviter l'apparition de concentrations de contraintes dans la structure. Les recommandations sont les suivantes :

- **la forme de la structure doit être simple, de "forme parallélépipède rectangle** et, en tous cas, ne pas présenter de saillies importantes ni en plan, ni en profil"
- depuis les fondations jusqu'à la superstructure, **les éléments structuraux doivent être correctement alignés et superposés** afin de permettre un comportement le plus homogène possible de la structure

Dimension et conception des structures

Dans la mesure du possible, on essaiera de concevoir une structure **dont la forme au sol se rapproche le plus possible du carré** et dont la surface maximale au sol reste inférieure à 200 m², avec des arrêtes de l'ordre de 15 m.

Les constructions dont les dimensions souhaitées sont supérieures, doivent être divisées en modules indépendants.

Pour ce qui concerne la partie conception, deux méthodes antagonistes sont envisageables : l'augmentation de la souplesse ou l'augmentation de la rigidité de la structure.

- l'augmentation de la souplesse : elle permet à la structure d'encaisser, sans casser, des déformations importantes. Ces déformations seront facilement observables visuellement. Cette méthode a vocation à protéger les personnes qui, alertées par les mouvements, pourront se mettre à l'abri.

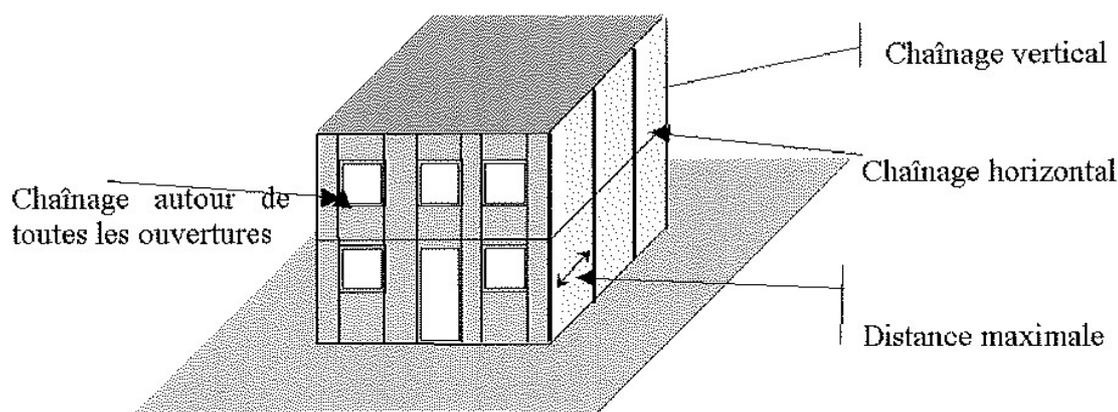
Si les auteurs qui conseillent d'augmenter la souplesse de l'ouvrage ou de la structure sont nombreux, peu vont jusqu'à proposer des solutions technologiques opérationnelles. Pour des ouvrages en béton ou en maçonnerie, la fragilité des matériaux de construction rend difficile l'augmentation de la souplesse. La solution consiste alors à augmenter la ductilité de l'ensemble afin d'autoriser "la structure à se déformer sans en entraîner la rupture". C'est l'exemple des structures bois et des ossatures en acier.

Une présentation de différents systèmes constructifs alternatifs est jointe en annexe 16 (Extrait du Guide CSTB de novembre 2011).

- l'augmentation de la rigidité évite les déformations de la structure mais induira, en cas de sollicitations en provenance du sous-sol, des contraintes (non visibles sans instrumentation) très élevées dans la structure, jusqu'au moment brutal de la rupture. Cette méthode protège, dans une certaine limite, les biens et les personnes. Au-delà de cette limite qui peut être surveillée par une instrumentation adaptée, le risque pour la structure et ses occupants est très important.

L'une des méthodes couramment préconisée concerne la mise en place d'un chaînage qui participe à l'augmentation de la résistance de la structure. Il est recommandé un chaînage autour des murs, autour des ouvertures et un chaînage vertical tous les 2,5 m maximum.

Le CSTB préconise des mesures similaires avec un ferrailage horizontal qui concerne chaque plancher et un espacement du chaînage vertical inférieur à 3 m.



Chaînages verticaux et horizontaux (Source INERIS)

Matériaux employés

Les matériaux employés, de préférence du type "**béton armé**" **devront répondre aux spécifications techniques les plus exigeantes**. A ce sujet, le projeteur pourra se reporter aux règles de Calcul du Béton Armé et du Béton Précontraint définies dans les Eurocodes correspondants.

Joint vertical (pour les ouvrages neufs et en cas d'affaissement uniquement).

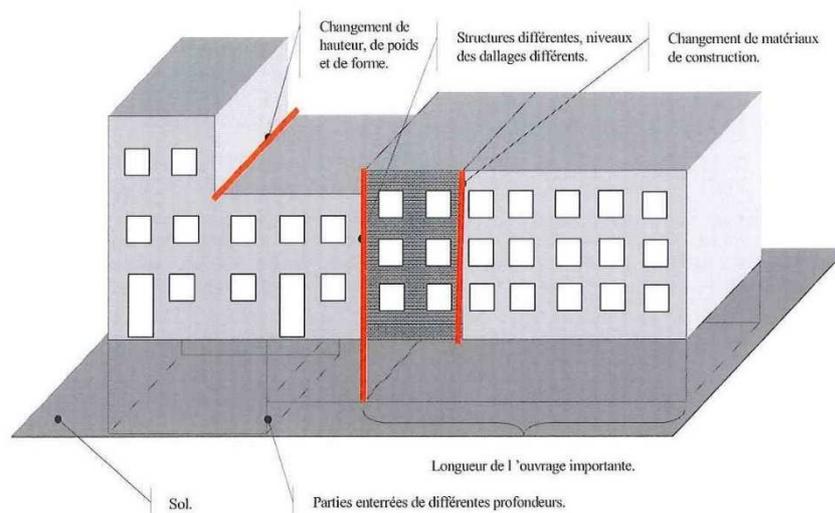
En général, les maisons séparées ou semi-détachées se comportent mieux que les blocs ou les barres (bâtiments longs).

Les joints verticaux, également appelés joints de rupture ou joints d'affaissement, peuvent être considérés comme une "parade" à l'impossibilité de diminuer à la fois le poids des ouvrages et leurs dimensions tout en garantissant une superficie habitable adaptée aux objectifs de l'aménageur. Ils ont pour principal objectif de séparer une structure en plusieurs modules de dimensions réduites.

Les problèmes essentiels consistent à dimensionner les modules et les joints, puis à les réaliser. Notons **qu'il est essentiel que les joints verticaux se prolongent jusqu'à la base des fondations de manière à permettre aux modules d'être réellement indépendants.**

Remarque : La relation entre la position des joints et l'architecture de l'ouvrage est très importante dans le comportement de la structure.

Un joint doit être mis en place à chaque "variation architecturale" de l'ouvrage, c'est-à-dire à chaque changement de hauteur, de poids, de matériaux, de forme ou encore à chaque reprise de construction. Cette mesure a pour but de rendre les modules les plus homogènes possibles afin d'éviter les concentrations de contrainte aux points singuliers.



Schématisme des configurations de structure conduisant à préconiser des joints verticaux (Source INERIS)

En ce qui concerne la largeur des joints, on trouve des valeurs assez importantes, entre 50 cm et 1 m, comparées aux quelques centimètres préconisés pour des joints sismiques ou thermiques en France. L'ouverture doit être dimensionnée pour que, malgré les déformations induites par les mouvements de sol, aucun module de l'ouvrage ne puisse entrer en collision avec un module adjacent (Cf. rapport INERIS DRS-08-95042-13683A de novembre 2008).

Remarque : La seule existence de ces joints verticaux ne garantit pas la préservation des différents modules qui demeurent soumis à des déformations et des distorsions. Les joints constituent des mesures bénéfiques indéniables mais ne peuvent être considérées comme des solutions à part entière.

Renforcement de l'ouvrage

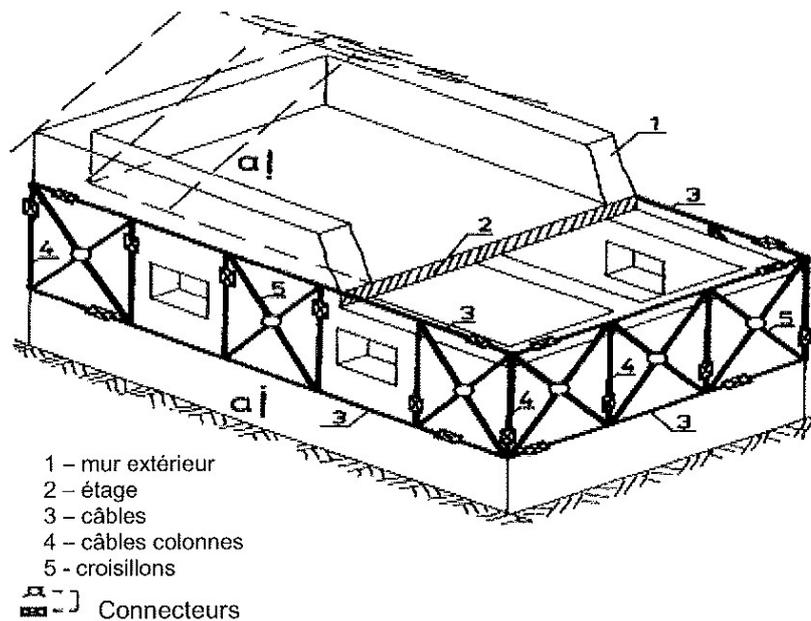
Les méthodes de renforcement de la structure, considérées comme complémentaires dans le cas d'ouvrages neufs, passent dans le cas d'ouvrages anciens pour des méthodes principales.

On peut citer :

- le cerclage de la structure par un ou plusieurs câbles ou par un anneau de béton
- la réalisation de semelles en béton précontraint capable de mieux résister aux réductions de compression (éviter les efforts de traction) en leur sein
- la conception d'une structure très souple ou, au contraire, très rigide en appui sur le radier rigide
- la prise en compte d'un chaînage minimum entre les éléments de la structure
- un ferrailage complémentaire enrobé de béton à tous les niveaux dans le but d'encaisser d'éventuels efforts parasites de traction.

Le dimensionnement de ces éléments devra être assuré par un bureau d'études de structure qui devra tenir compte de l'ensemble des contraintes.

- Cas du renforcement par câbles : les câbles permettent de solidariser les éléments de structure et d'éviter la ruine. Cette technique semble essentiellement adaptée aux structures de petites dimensions. L'objectif peut être atteint par la pose de câbles au niveau des façades visant à rendre les différentes parties de la structure comme un seul élément plus résistant. Ces éléments peuvent être déplacés ou réutilisés en fonction des besoins.



Renforcement d'une ancienne maison avec des câbles (Source INERIS)

Pour des ouvrages classiques, le dimensionnement de câbles peut être très simple. Les câbles mis en place doivent avoir une résistance minimale (P_{\min}) sans toutefois dépasser une résistance maximale (P_{\max}) qui conduirait à un endommagement de la structure.

- Dans le cas spécifique des effondrements localisés : la perte d'appui du sol n'est pas progressive, ni diffuse. Elle est plus ou moins localisée mais surtout quasi totale pour la surface concernée par le fontis. Aussi, il est nécessaire de concevoir des ouvrages capables :
 - de transférer très rapidement les efforts non repris, par les zones soumises aux fontis, vers des zones stables. Cela suppose qu'il existe durant le phénomène, une partie de l'ouvrage suffisante non concernée par le phénomène
 - de résister au transfert des efforts sans ruiner l'ouvrage. Cela suppose que l'ouvrage et ses fondations soient surdimensionnés par rapport à l'usage courant.

A la différence du cas des affaissements, on comprend que seule une structure rigide monobloc serait adaptée pour répondre aux besoins sus-cités.

Ainsi, le renforcement pourra se concentrer sur deux points particuliers :

- le radier inférieur de la structure pour lequel une géométrie en "gaufre" apparaît la plus capable de reprendre des efforts de flexion et de torsion dans les deux directions du plan horizontal
- le système de fondation superficiel ou profond qui devra être dimensionné pour garantir un bon fonctionnement dans le cas d'une perte d'appui correspond aux valeurs de seuil.

Des renforcements complémentaires, similaires à ceux préconisés pour le cas des affaissements, sont possibles.

L'occurrence possible de l'effondrement localisé doit donc conduire le projeteur à concevoir des ouvrages très résistants, capables d'encaisser une perte d'appui, source de sollicitations très pénalisantes pour la structure.

Les tableaux de synthèse des principales mesures conservatoires applicables aux bâtiments face au risque de mouvements de terrain d'origine karstique sont joints ci-après.

MESURES D'ÉCHAPPEMENT AUX EFFORTS INDUITS PAR LES MOUVEMENTS DU SOUS-SOL
(AFFAISSEMENT OU EFFONDREMENT LOCALISÉ)
SOURCE INERIS - RAPPORT D'AVRIL 2007

TECHNIQUE	OBJECTIFS	UTILISATION ET/OU RECOMMANDATIONS
Forme et choix de la fondation de l'ouvrage	Augmenter la rigidité, la résistance en traction et la souplesse en flexion	Construction neuve et ancienne
Limiter la hauteur des ouvrages	Eviter les risques de basculement	Construction neuve : 2 étages maximum et hauteur/largeur < 1,5
Respecter une distance minimale entre deux structures proches	Eviter les risques d'entrechoquement	2 m minimum entre deux ouvrages, mais cette seule solution n'est pas suffisante
Conception des ouvrages pour que la petite longueur soit dans le direction de la pente	Minimiser les distances sur lesquelles agissent les sollicitations	Tout type d'ouvrage
Réaliser les fondations sur le sol (faible partie enterrée)	Annuler la poussée des terrains sur les parties enterrées	Cette solution est utile pour les constructions neuves : profondeur des fondations < 3 m
Concevoir des structures isostatiques	Sur trois points pour minimiser les sollicitations dans l'ouvrage et qu'il ne trouve pas en porte-à-faux	Cette solution reste, pour l'instant, théorique mais elle peut être développée pour des ouvrages importants
Joints de glissement entre dallage et fondation (pour les affaissements uniquement)	Minimiser les déformations transmissibles à la superstructure	Réalisation rare et reste difficile à réaliser, mais qui pourrait être améliorer
Joints de glissement entre fondation et sol (pour les affaissements uniquement)	Minimiser les déformations transmissibles aux fondations	Idem à la solution précédente
Réaliser un terrassement et mettre une couche de sable, plus éventuellement une feuille de polyéthylène sous les fondations (pour les affaissements uniquement)	Minimiser les déformations transmissibles aux fondations	Elle pourrait être recommandée mais peu de mesures pour vérifier son efficacité. L'épaisseur de sable proposée est de 25 cm ou 15 cm, plus une feuille de polyéthylène
Tranchées autour de l'ouvrage (pour les affaissements uniquement)	Absorber les déformations du sol	Très efficace, réalisable pour toutes sortes d'ouvrages. S'adapte pour des structures anciennes et récentes
Joints verticaux d'affaissements	Diviser la structure en petits éléments moins vulnérables. Autoriser des déplacements horizontaux, des rotations (3 axes). Minimiser le frottement	Solution de plus en plus pratiquée surtout pour des constructions neuves. Réalisables sur des ouvrages anciens
Joints horizontaux entre la superstructure et le soubassement en parpaings	Diminuer les efforts transmis sur la partie supérieure de la structure	Solution peu utilisée
Utilisation de géotextiles (pour les petits effondrements localisés)	Eviter les déformations et les dommages des structures grâce à la capacité des géotextiles	Utilisation sous des talus ou des ouvrages d'infrastructure neufs dans des zones de fontis

MESURES DE RÉSISTANCE AUX EFFORTS
SOURCE INERIS - RAPPORT D'AVRIL 2007

TECHNIQUE	OBJECTIFS	UTILISATION ET/OU RECOMMANDATIONS
Semelles en béton armé ou pré-fabriquées	Améliorer la résistance de la fondation vis-à-vis des déformations induites et le tassement différentiel	Cette solution est surtout recommandée pour des structures peu importantes pour lesquelles l'usage est l'utilisation de fondations simples
Fondations rigides et superstructure souple	Obtenir des structures avec une grande résistance vis-à-vis des mouvements du sous-sol grâce aux fondations avec chaînage et des structures souples avec des joints	Solution de plus en plus pratiquée. Il reste que la rigidité de la structure est difficile à évaluer
Chaînage minimum	Rendre solidaire les différentes parties de la structure. Le chaînage est réalisé avec un minimum de ferrailage	Il est très utile pour les zones d'affaissement et de fontis de petits diamètres. Il est exigé pour les structures neuves (pavillons) et même réalisé après relevage pour les structures anciennes
Radier cellulaire rigide en flexion et torsion	Son rôle est identique au chaînage. Le radier pourrait être plus efficace que le chaînage	Il est souvent recommandé dans des zones d'affaissement ou de fontis
Structures en béton fortement armé	Augmenter la ductilité (1,2 % d'armatures aux jonctions)	Utilisation dans des bâtiment d'une certaine importance. Il n'y a jamais eu de retours d'expérience. Solution inspirée des recommandations parasismiques
Surdimensionnement des poteaux ou surdimensionnement des voiles en béton armé	Se prémunir de tout risque de flambement	L'efficacité de cette solution n'a jamais été vérifiée
Fondations ajustables	Eviter le risque de tassement différentiel et d'inclinaison	Ouvrages d'une certaine importance
Injection des vides ou remblayage	Eviter le développement d'affaissement ou d'effondrement localisé	Radical mais coûteux. Essentiellement adaptée aux risques de fontis à l'aplomb de travaux à faible profondeur
Construction des piliers en fond de cavité	Eviter le développement d'affaissement ou d'effondrement	L'accès par le fond est nécessaire, dimensionner pour supporter la totalité de la charge des ouvrages

MESURES DE RÉPARATION

TECHNIQUE	OBJECTIFS	UTILISATION ET/OU RECOMMANDATIONS
Structure sur vérins	Renforcer la structure pendant la phase dynamique de l'affaissement Réparer la structure après les dommages (fontis, assainissement)	Elle est justifiée pour des structures d'une certaine importance
Injection des vides et des fissures de la structure	Eviter la dégradation de l'état de la structure	Technique très utile pour les zones de fontis. La mise en place de l'injection doit être très rapide
Soutènement à l'aide de poutres, de câbles ou de tirants	Eviter le basculement des murs	Solution provisoire. Le dimensionnement des câbles est obligatoire
Installation à l'intérieur d'un réseau de poutres et poteaux	Eviter l'effondrement des planchers désolidarisés et la ruine de l'édifice	

DOCUMENT 2



RECONNAISSANCES GÉOTECHNIQUES SPÉCIFIQUES À LA RECHERCHE DE VIDES SOUS UN BÂTIMENT (source Cerema)

à destination des Maîtres d'ouvrage
et Maîtres d'œuvre

Dans une construction de bâtiment, autant l'ouvrage est maîtrisé (structure, matériaux, mise en œuvre, ...), autant le sol recèle de risques bien souvent mal connus (d'après l'Agence Qualité Construction – Fiche d'information 2015).

La présence de vides souterrains (y compris les karsts), peut menacer une opération de construction. Pour identifier ces risques liés au sol, il convient de suivre la démarche suivante :

- prendre connaissance des éventuels règlements locaux en vigueur : pour cela, consultez la Mairie du lieu de construction, la préfecture du département ou encore le site internet Géorisques (www.georisques.gouv.fr),
- consulter les recensements d'événements historiques sur la commune, notamment via les banques de données nationales publiques (données sur le sous-sol accessibles sur le site internet Infoterre (<http://infoterre.brgm.fr/>),

A défaut de donnée existante ou au contraire pour confirmer la suspicion de vides ou réseaux karstiques sur une parcelle, il faudra mener une étude géotechnique qui sera à la charge du Maître d'ouvrage ou de son représentant.

L'étude géotechnique, faite le plus en amont possible, permettra d'adapter le projet et les fondations aux contraintes géologiques du terrain. Cette étude de sol, basée sur les investigations sur site et sur l'ingénierie géotechnique, définira les adaptations à mettre en œuvre pour réduire les risques en phase chantier et durant la vie de l'ouvrage.

L'étude de conception G2 (selon la norme NF P 94-500 de novembre 2013), doit définir le type de fondations, le mode de traitement de la structure porteuse et d'éventuelles améliorations de sol, les précautions à prendre sur la gestion des eaux, etc...

Lors du chantier, l'entreprise chargée des travaux de construction doit étudier l'exécution des ouvrages géotechniques (fondations, drainage, terrassement) au même titre que l'exécution de la structure. Les conclusions de l'étude de conception G2 sont alors utilisées par l'entreprise et son bureau d'études techniques (interne ou extérieur) afin de dimensionner les fondations et la structure du futur bâtiment.

L'ÉTUDE GÉOTECHNIQUE DE CONCEPTION OU QUELLES INVESTIGATIONS MENER SUR SITE EN CONTEXTE KARSTIQUE ?

Les paragraphes suivants s'inspirent de nombreux guides techniques traitent des méthodes de reconnaissance des cavités souterraines.

A titre d'exemples, se référer aux guides du Cerema :

- *"Détection et reconnaissance des cavités souterraines" du MTES / P. POTHERAT 2004,*
- *"Méthodes de reconnaissance des cavités – Synthèse des connaissances actuelles" de l'IFSTTAR 2013,*
- *"Méthode de reconnaissance des cavités souterraines – Détection et gestion des cavités sous itinéraires" COTITA RISSC / V. BERCHE 2018.*

A compléter pour le Guide INERIS :

"Evolution et traitement du risque de fontis lié à l'exploitation minière" n° DRS-07-86090-05803A d'avril 2007

Historiquement, les moyens de reconnaissances des vides présentés dans la plupart des guides sont établis plus généralement pour des cavités d'origine anthropique (anciennes carrières souterraines et mines).

Pour le karst, le développement naturel (donc aléatoire) des conduits et la grande variété des morphologies karstiques nécessitent des méthodes de reconnaissance du sol et du sous-sol particulières et très spécifiques, devant répondre à la difficile caractérisation du risque karstique (type et profondeur des vides, processus d'instabilité probables, etc ...).

Pour cela, la complémentarité des méthodes de reconnaissance, associant des moyens d'investigations spécifiques (1) à la recherche des vides naturels et (2) à la caractérisation des terrains vulnérables, est souvent indispensable. Pour autant, à l'échelle d'un projet de construction de bâtiment courant (de type habitation individuelle), les investigations géotechniques (et géophysiques le cas échéant) doivent être de facture classique afin de rester financièrement abordable pour le maître d'ouvrage (exemple d'un particulier propriétaire de la parcelle à aménager). Elles sont à intégrer dans l'étude de conception G2.

Ainsi, issues de nos retours d'expérience et visant à répondre au mieux à la nécessité d'estimer l'ampleur des travaux et la définition des traitements les plus appropriés au contexte karstique, le Cerema Sud-Ouest propose les investigations de sol suivantes (à titre indicatif) :

- **étape 1** : réalisation de sondages destructifs au droit des principaux appuis du bâti,
- **étape 2** : inspection vidéo de tous les trous de forages
- **étape 3** (optionnelle) : reconnaissances géophysiques complémentaires.

Étape 1 : Vers la réalisation de forages destructifs pertinents

Le mode de forage devra être de diamètre > 90 mm et adapté à la nature des terrains traversés. Toutefois, comme décrit dans la méthode d'essai des Ipc n° 79 "Paramètres de forage en géotechnique", on retiendra le protocole de forage suivant :

- la **rotation pure**. La roto-percussion pourra être choisie dans le cas de roche dure comme le calcaire, en utilisant le paramètre " Vibrations Réfléchie" E_{VR}
- au préalable, un **calage au vide** (en chute libre) en tête de forage, à plusieurs pressions de translation (30, 40, 50 et 60 bars)
- l'utilisation d'un fluide de forage de type eau, voir non mouillant de type GSP dans les cas le justifiant. **L'air sera systématiquement refusé**
- tous les paramètres de forage suivants seront enregistrés, notés et fournis sous forme de graphique sur la coupe de sondage :
 - **vitesse d'avancement (V_A)**
 - **poussée sur l'outil corrigée (P_O)**
 - **pression du liquide d'injection corrigée (P_I)**
 - **pression de retenue corrigée (P_R)***

* Le couple de rotation corrigée (C_R) peut remplacer la pression de retenue corrigée (P_R)

L'enregistrement doit être continu et automatique.

Concernant la profondeur des sondages destructifs, une longueur minimum de 10 ml par appui est attendue (classique pour le dimensionnement d'une fondation courante), avec au moins **3 m successifs de roche saine** (sans vide franc ni passage argileux). Ce critère d'arrêt "qualitatif" permet de garantir un "effet dalle" du substratum (supportant sans déformation la charge du bâti).

Dans le cas d'un massif rocheux affleurant en surface (karst nu), l'attention est exclusivement portée sur cette recherche de vides ou de passées argileuses fragilisant le massif. En revanche, pour les terrains montrant la présence d'une couverture de sols meubles plus ou moins épaisse reposant sur le massif rocheux (cas d'un karst sous couverture), une attention particulière sera portée sur les variations de compacité des sols et leurs états hydriques (recherche de zones décomprimées en lien avec de l'érosion interne de type suffosion / soutirage).

Étape 2 : Caractéristiques des inspections vidéo en forages

L'inspection vidéo des sondages destructifs sera réalisée sur toute la hauteur des forages. Classiquement, le diamètre de la sonde optique est < 70 mm.

Un tubage provisoire en PVC de diamètre > 80 mm pourra être mis en œuvre en cas de problème de tenue des parois (par exemple, formations superficielles lâches), et permettra l'auscultation optique des parois rocheuses (recherche de vides et passages argileux).

Cette diagraphie de forage permettra de visualiser directement sur site l'état des terrains traversés, en précisant l'implantation, la profondeur, la nature et l'extension des vides éventuels, le niveau de fracturation de la roche et son altération.

Les auscultations caméra pourront être effectuées à l'aide d'une caméra de type endoscopique à tête rotative (observations dans l'axe du forage et à l'horizontale).

L'enregistrement des auscultations caméra doit être continu avec indication de la profondeur.

Étape 3 : les reconnaissances complémentaires (étape optionnelle)

Lorsque le projet de construction est implanté dans un terrain à risque karstique avéré (information de la commune / service instructeur), il est conseillé de réaliser des reconnaissances complémentaires de type géophysique (de préférence, prestataire spécifique en sous-traitance du bureau d'étude en charge de l'étude de conception G2).

Deux cas sont envisageables :

- cas 1 : **karst sous couverture** (massif rocheux recouverts de terres meubles plus ou moins épaisses) : auscultation géophysique des sols à l'aide de **panneaux électriques** (au droit du projet en priorité)
- cas 2 : **karst nu** (massif rocheux affleurant en surface) : auscultation géophysique des sols à l'aide du **radar géologique** (au droit du projet en priorité)

Suite aux auscultations géophysiques, des sondages destructifs complémentaires avec passage caméra en forages pourront être nécessaires pour caractériser les anomalies géophysiques observées.

Éléments financiers concernant les investigations spécifiques

Nous proposons ci-dessous une estimation des investigations géotechniques réalisées pour une maison individuelle dans le cadre de l'étude de conception G2 spécifique au contexte karstique (prix d'entreprise janvier 2020 en H.T.) :

- Investigations de base :
(4 sondages destructifs avec passages caméra) 5.000,00 €
- option 1 :
Panneaux électriques (karst sous couverture) 3.700,00 €
- option 2 :
Radar géologique (karst nu) 3.700,00 €

à laquelle s'ajoute le coût des traitements (non chiffrés car très variables).

Estimation des investigations :

	Quantité	PU € HT*	Montant HT
1 Installation, préparation, suivi et repli de chantier			
le forfait	1	500	500,00
2 Mise à disposition de matériel de forage			
le forfait.....	1	500	500,00
3 Mise en station pour sondage destructif Ø≥90 mm			
L'unité.....	4	100	400,00
4 Sondage destructif Ø≥90 mm			
le mètre linéaire,	40	30	1 200,00
5 Levé topographique des sondages			
Le point	4	30	120,00
6 Fourniture et pose de tubes PVC (tenue des parois)			
Le mètre.....	20	15	300,00
7 Mise à disposition de matériel de diagraphie optique de forage			
Le forfait.....	1	500	500,00
8 Diagraphie de forage			
Imagerie de parois numérique, le mètre	40	25	1 000,00
9 Rapport géotechnique "Recherche de vides"			
le forfait,	1	500	500,00
TOTAL HT			5 020,00 €
TVA			1 004,00 €
TOTAL TTC			6 024,00 €

* Prix unitaire estimé (voir devis des entreprises)

	Quantité	PU € HT*	Montant HT
OPTION 1 Mise à disposition de matériel géophysique pour panneaux électriques			
Le forfait.....	1	1500	1 500,00
Auscultation par panneaux électriques			
Le mètre linéaire.....	240	5	1 200,00
Rapport de reconnaissance géophysique			
le forfait,	1	1000	1 000,00
TOTAL HT			3 700,00 €
TVA			740,00 €
TOTAL TTC			4 440,00 €

* Prix unitaire estimé (voir devis des entreprises)

	Quantité	PU € HT*	Montant HT
OPTION 2 Mise à disposition de matériel géophysique pour mesures électro-magnétiques (Radar)			
Le forfait.....	1	1500	1 500,00
Auscultation par mesures au radar géologique			
Le mètre linéaire.....	240	5	1 200,00
Rapport de reconnaissance géophysique			
le forfait,	1	1000	1 000,00
TOTAL HT			3 700,00 €
TVA			740,00 €
TOTAL TTC			4 440,00 €

* Prix unitaire estimé (voir devis des entreprises)

DOCUMENT 3



PRINCIPALES MÉTHODES DE SURVEILLANCE

Fiches extraites du document de l'INERIS d'avril 2007
"Évaluation et traitement du risque de fontis lié à l'exploitation minière"
DRS-07-86090-05-803 A

DISPONIBLE GRATUITEMENT EN LIGNE SUR LE SITE INTERNET DE L'INERIS

à destination des Maîtres d'ouvrage

Fiche A : INSPECTION PAR EXAMEN VISUEL

Rôle	<ul style="list-style-type: none"> • Opérer des investigations en site inconnu • Assurer une surveillance périodique de l'état du site et de son évolution • Prévenir en cas d'évolution rapide des dégradations
Principe	<ul style="list-style-type: none"> • Reconnaissance par observations visuelles accompagnées, éventuellement, de relevés instrumentés sommaires (points fixes, jauges de déformation, ...) • Suivi de l'évolution des dégradations à partir d'un circuit de visite (périodicité mensuelle à annuelle)
Techniques	<ul style="list-style-type: none"> • Cartographier la géométrie des travaux du fond • Etablir un état des lieux, des relevés géologiques et géotechniques • Contrôler les évolutions par des observations sur témoins de plâtre, surfaces peintes, etc.
Domaines d'utilisation	<ul style="list-style-type: none"> • Cavités obligatoirement accessibles ou rendues telles sous le bâtiment • Accessibilité définie à la fois par les conditions d'accès et les conditions de sécurité (dégradations, effondrements, présence d'eau, atmosphère insalubre...) • Possibilité occasionnelle de reconnaissance voire de surveillance en mine inaccessible par investigations effectuées par forages depuis la surface (endoscopie, vidéo, etc.)
Performances	<ul style="list-style-type: none"> • Examens purement visuels mais souvent très efficaces (carte géotechnique évolutive) • Méthode préliminaire de contrôle permettant d'établir à terme une stratégie de mise en sécurité
Niveau de sécurité	<ul style="list-style-type: none"> • Méthode de prévention élémentaire, considérée comme préliminaire à toute solution de maîtrise du risque
Exigences de la technique	<ul style="list-style-type: none"> • Méthode de surveillance exigeant un personnel qualifié et expérimenté (services d'inspection spécialisés)
Pérennité	<ul style="list-style-type: none"> • Sans objet, elle peut s'exprimer toutefois sous forme d'adaptation de la fréquence des visites au contexte du site
Contrôle	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de contrôles spécifiques autres que des investigations complémentaires visant à lever une incertitude
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Méthode rustique mais économique • Surveillance possible de grandes surfaces de vides
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Méthode purement qualitative faisant souvent appel au « sens » du géotechnicien • Possibilités d'erreurs de diagnostic (difficultés d'interprétation, mécanisme d'évolution non perceptible par absence de signes prémonitoires, etc.) • Périodicité des visites non adaptée à une évolution brusque des instabilités • Méthode adaptée aux sites souterrains en bon état et peu évolutifs
Aspects économiques	<ul style="list-style-type: none"> • Méthode économique réservée principalement à des agents de services publics spécialisés
Références Recommandations	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de méthode normalisée

Fiche B : SURVEILLANCE INSTRUMENTÉE

Rôle	<ul style="list-style-type: none"> • Améliorer le diagnostic de stabilité • Fournir une alarme (télésurveillance avec système d'alerte) • Solution palliative permettant de différer les travaux de traitement
Principe	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse de l'évolution des mouvements par mesures des vitesses et accélération de déformations • Possibilité de transmission des données à distance (télésurveillance)
Types	<ul style="list-style-type: none"> • Surveillance instrumentée par : <ul style="list-style-type: none"> ◆ lecture directe sur place ◆ télémessure avec raccordement à un système centralisé ◆ télésurveillance avec interrogation à distance
Techniques	<ul style="list-style-type: none"> • Convergence entre épontes / fissures • Expansion du toit / murs • Dilatation des piliers / bâti • Pression dans les piliers / bâti • Chutes de blocs (filets instrumentés)
Domaines d'utilisation	<ul style="list-style-type: none"> • Cavités obligatoirement accessibles ou rendues telles • Conditions d'accès <ul style="list-style-type: none"> ◆ accès par galerie ou puits ◆ état de stabilité suffisant des ouvrages • Cavités non accessibles : possibilité de mise en œuvre de techniques depuis la surface (caméra vidéo en sondage, dispositifs de mesures en forages)
Performances	<ul style="list-style-type: none"> • Dispositifs de mesure : Mesures normalement très précises, effectuées avec une sensibilité de l'ordre de 1 micron jusqu'à 1/10ème de mm, et le plus souvent à 1/100ème de mm (selon le type de capteur) • Autres performances dépendant des caractéristiques électroniques de la chaîne d'acquisition et du traitement des informations (précision résiduelle, vitesse de scrutation, etc.)
Niveau de sécurité	<ul style="list-style-type: none"> • Méthode de prévention par alerte ne garantissant pas une mise en sécurité définitive et totalement sûre, quelle que soit la qualité du système de surveillance
Exigences de la technique	<ul style="list-style-type: none"> • Technique qui ne devrait être mise en œuvre que par des organismes spécialisés • Compétences exigées dans les domaines de la géotechnique, de la métrologie et de l'électronique
Pérennité	<ul style="list-style-type: none"> • Bonne fiabilité des capteurs classiques (potentiométriques), durée de vie d'une dizaine d'année, difficile à estimer et dépendant étroitement du site • Système de mesures électronique ou informatisé : 5 à 10 ans de vie • La maintenance de l'ensemble des instrumentations est nécessaire annuellement
Contrôle	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôles périodiques du fonctionnement des matériels • Maintenance (annuelle) obligatoire des dispositifs de mesure
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Conserver ouverts ouvrages (stockages souterrains, ERP, tels que musées, etc.) • Différer les travaux (aspect financier ou autre) • Surveiller à distance (en conditions difficiles)

Fiche B : SURVEILLANCE INSTRUMENTÉE

(suite)

Inconvénients	<ul style="list-style-type: none">• Surveillance réservée à des zones minières peu importantes (quelques hectares au maximum)• Caractère local et ponctuel, pertinence du choix de l'implantation• Difficulté du diagnostic et fausses alertes• Définition de cadence d'interrogation• Instrumentation (fiabilité, pérennité,...), dysfonctionnements• Organisation pour une gestion de la crise en cas d'alerte• Responsabilités en situation de crise
Aspects économiques	<ul style="list-style-type: none">• Ponctuellement, pour un système automatique de télésurveillance sur un à quelques hectares :<ul style="list-style-type: none">♦ coût équipement et installation = 30 à 60 k€ (investissement de base)♦ coût annuel maintenance et exploitation = 10 à 15 k€ (par année)• Inspection SDICS (Nord) sur 400 ha dont 10 - 15 ha instrumentés activité par an :<ul style="list-style-type: none">♦ 3 à 3,5 technicien♦ 0,2 ingénieur
Références Recommandations	<ul style="list-style-type: none">• Guide méthodologie de la Surveillance à la Télésurveillance, 1994. Projet National ITELOS

DOCUMENT 4



RECOMMANDATIONS SPÉCIFIQUES AUX COMMUNES COUVERTES PAR UN PLAN DE PREVENTION DES RISQUES NATURELS (Cerema)

à destination des Collectivités

Conformément au décret du 13 septembre 2005, les communes couvertes par un PPR doivent élaborer un **Plan Communal de Sauvegarde** (PCS). Il précisera notamment :

- les modalités d'information et d'alerte de la population
- le protocole de secours et d'évacuation des établissements sensibles (cliniques, maisons de retraite, établissements scolaires, ...)
- le plan de circulation et de déviations provisoires ainsi que d'évacuation des rues.

Les communes couvertes par un PPR sont soumises aux obligations suivantes :

- Elles doivent élaborer un **Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs** (DICRIM) mis à la disposition du public afin de présenter précisément les risques sur le territoire communal et de donner des consignes de comportement en cas de survenance d'un événement grave.

Elles doivent, par ailleurs, arrêter les **modalités d'affichage des risques et consignes** sur leur territoire. Cet affichage doit se faire dans les ERP, immeubles destinés à l'exercice d'une activité industrielle, commerciale, agricole ou de service lorsque le nombre d'occupants est supérieur à 50 personnes ainsi que dans les terrains de camping avec plus de 15 emplacements.

- Les communes faisant l'objet d'un Plan de Prévention des Risques Naturels approuvé ou prescrit doivent, par ailleurs, informer par des **réunions publiques** communales ou tout autre moyen approprié, leurs administrés au moins une fois tous les 2 ans sur l'existence de ces risques et sur les mesures mises en œuvre afin de les prévenir. Sur ces communes, l'information des acquéreurs et locataires est également obligatoire, les bailleurs ou vendeurs doivent fournir un "état des risques" (formulaire type et cartographie associée) pour toute transaction immobilière concernant un bien situé sur une zone exposée à un risque.

Nota : selon l'article R123.3 du Code de la Construction et de l'Habitation "les constructeurs et exploitants des établissements recevant du public sont tenus, tant au moment de la construction qu'au cours de l'exploitation, de respecter les mesures de prévention et de sauvegarde propres à assurer la sécurité des personnes".