

**RISSC**

**Amélioration transfrontalière de la Prévention et de la Gestion des Risques  
du Sous-Sol engendrés par les terrains sous-Cavés**

***Comment sécuriser une cavité ?***

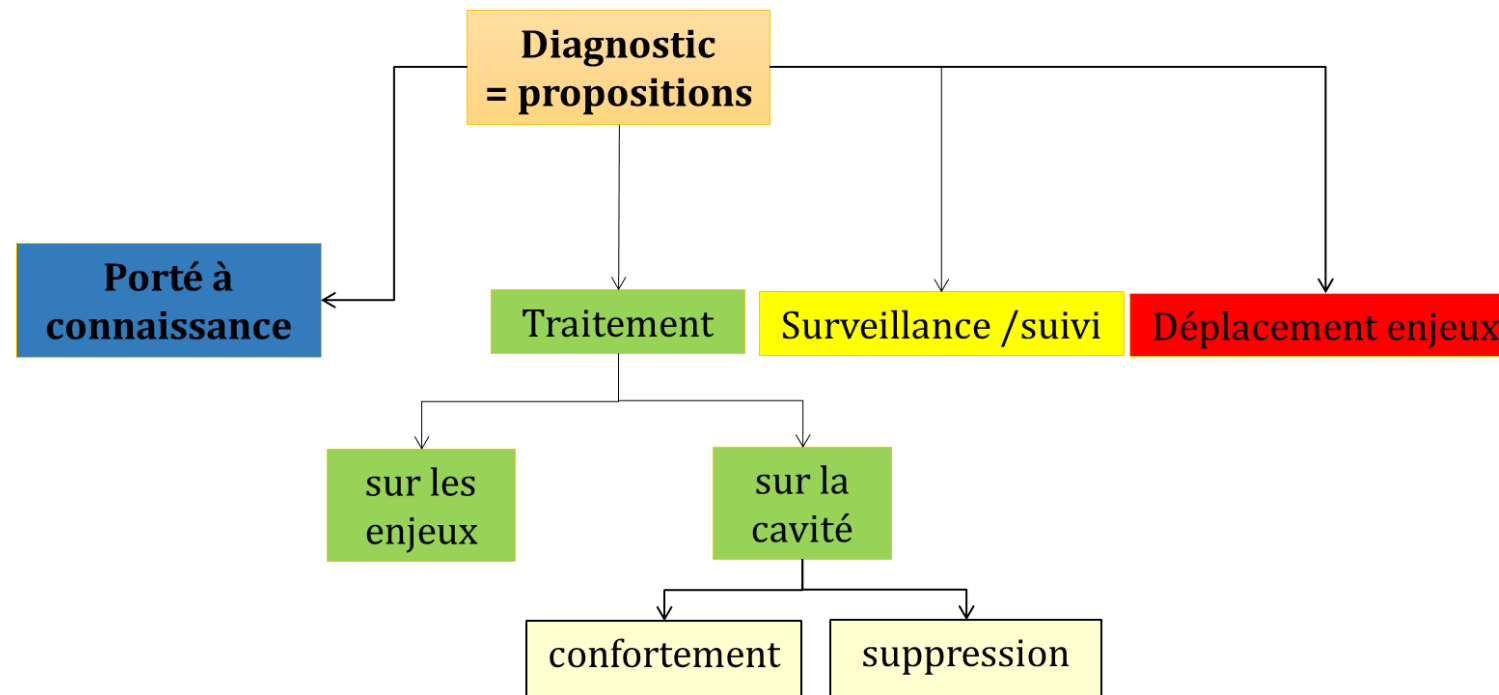
**Catherine PINON**

**Ineris**



# Objectifs du traitement

- Garantir la stabilité du site dans le long terme
- Valoriser les terrains de surface ou l'ouvrage souterrain
- Réduire le risque associé aux cavités



# Quand traiter ?

- Situation de crise : désordre en surface !
  - diagnostic : origine ? mécanisme ?



le PPR) :

ce en souterrain

structures existantes

(bâti, voirie et réseaux)

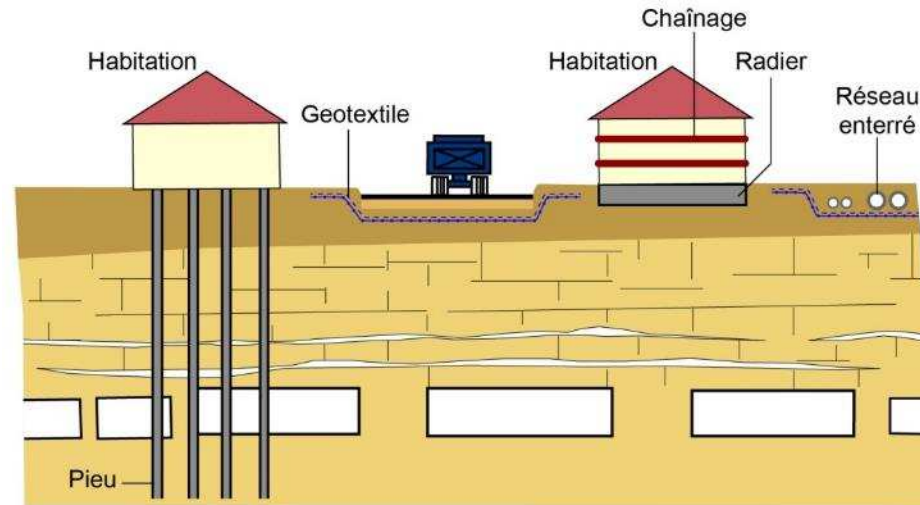
(bâti, voirie, espaces verts...)

- conserver la cavité ouverte (ERP...)

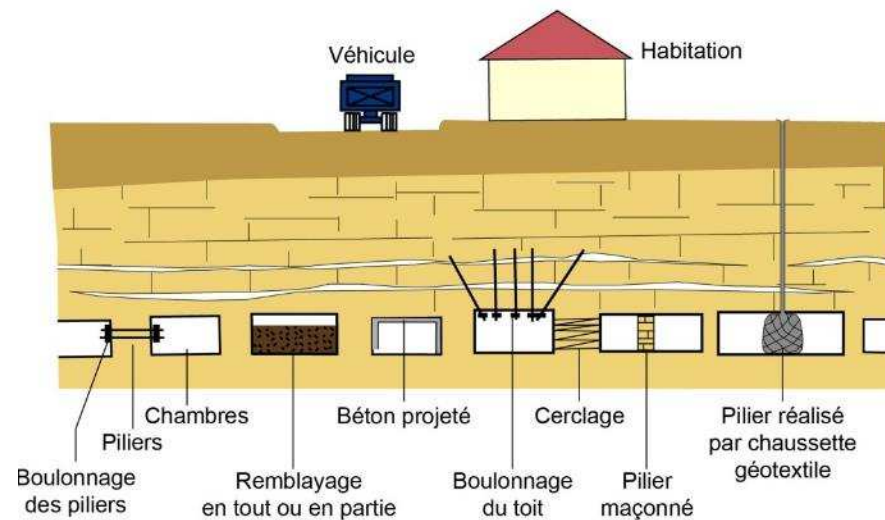


# Comment choisir la méthode de traitement ?

- Niveau de sécurité recherché ?
  - aléas redoutés ?
  - que peut-on admettre en surface ?
- Destination du site ?
  - prévention
  - réhabilitation de la surface
  - conserver la cavité ouverte (ERP...)
- Configurations du site ?
  - accessibilité
  - emprise/volume à traiter
  - présence d'eau
  - ...



Méthodes « passives »



Méthodes « actives »

Lille 14 novembre 2019

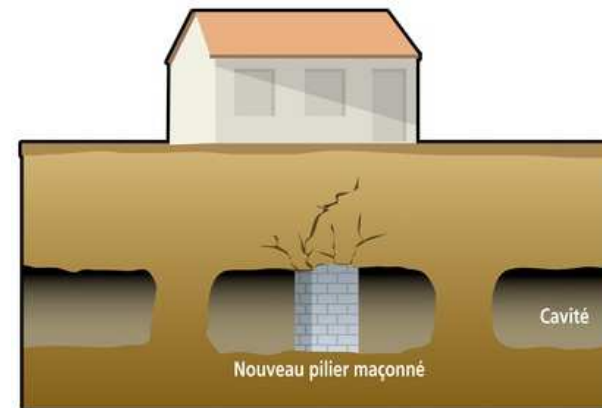
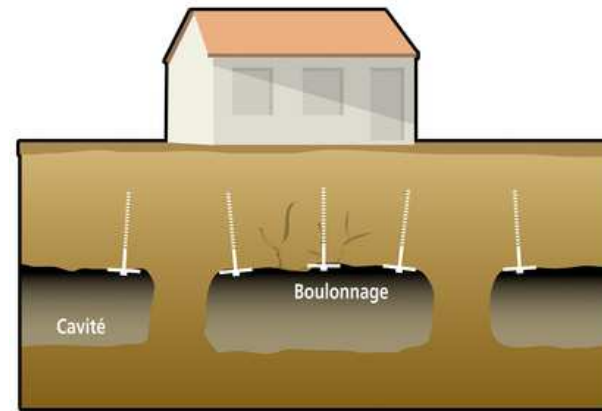
# Conserver la cavité ?

- ✓ **Boulonnage** ou confinement par « coque » :
- Objectif : bloquer les déformations
  - ⇒ améliorer les caractéristiques de résistance globale

⚠ dimensionnement, essais d'arrachement, techniques et moyens de mise en œuvre (reco AFTES en France)

- **Soutènement** par piliers artificiels ou portique :
  - Objectif : transmettre le poids des terrains et des surcharges éventuelles au plancher de la cavité

⇒ adapté aux cavités accessibles et « pas trop » dangereuses en zone urbaine, sous l'existant bon sol et matage (notices IGC)



# Comblers la cavité ?

## Par comblement partiel :

un **vide résiduel** plus ou moins important est laissé en tête de la cavité

## Par comblement total (avec clavage) :

remplir **totalemment** la cavité  
(y compris les vides résiduels au toit de la cavité)



## Par injections de traitement :

restituer les **caractéristiques mécanique** des terrains de recouvrement

Comblement total (Valenciennes) © Ineris

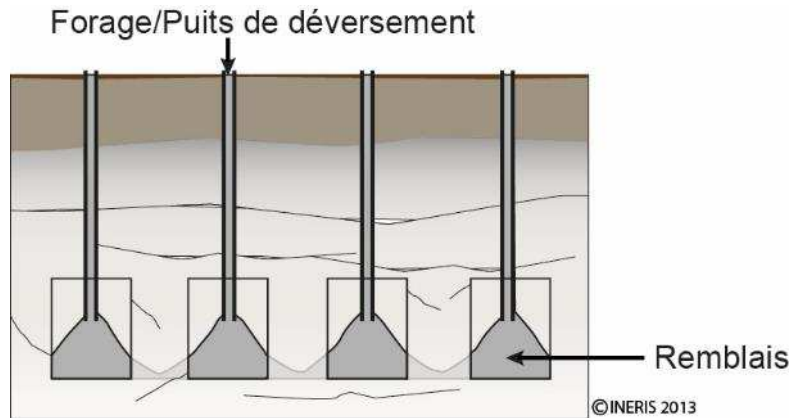


Opérations lourdes et coûteuses

# Comblir la cavité ?

Par déversement gravitaire depuis la surface :

Objectif : **remplir** la cavité avec un matériau grossier et inerte

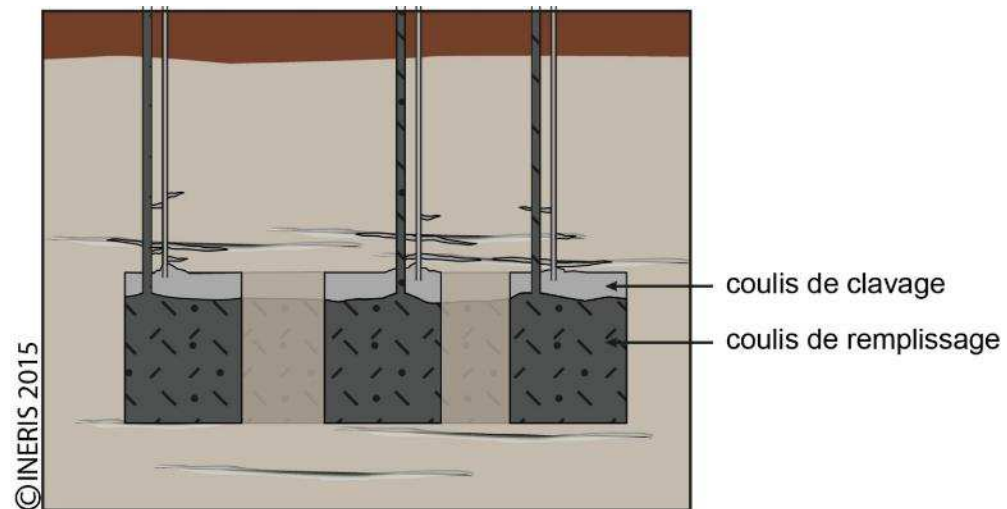


⇒ adapté aux cavités  
inaccessibles ou dangereuses...  
Possibilité de combler sous eau

Par injections depuis la surface :

Objectif : **consolider** des matériaux effondrés ou **comblir** des vides par injection sous pression de produits

En deux étapes : remplissage puis clavage  
(coulis plus riche en ciment)



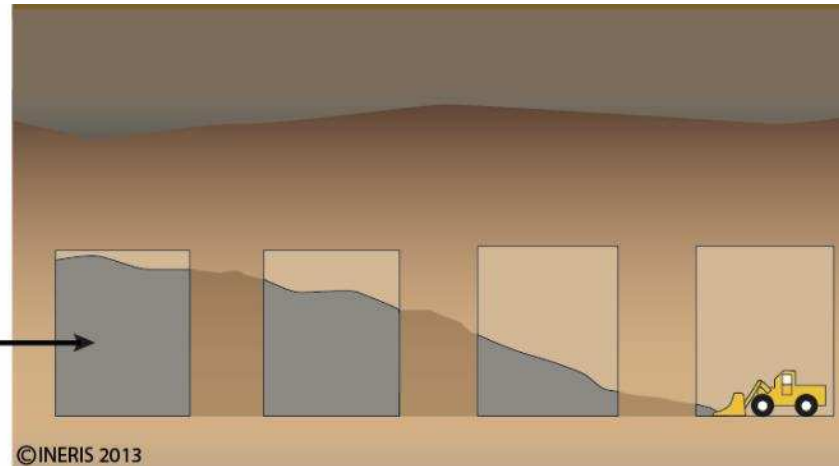
# Comblers la cavité ?

## Par poussage en souterrain:

Objectif : mise en place directe de remblais tout-venant, acheminés et déversés par des **engins mécaniques**

⇒ adapté aux cavités accessibles, grandes, bien ventilées et non dangereuses...

Remblais →





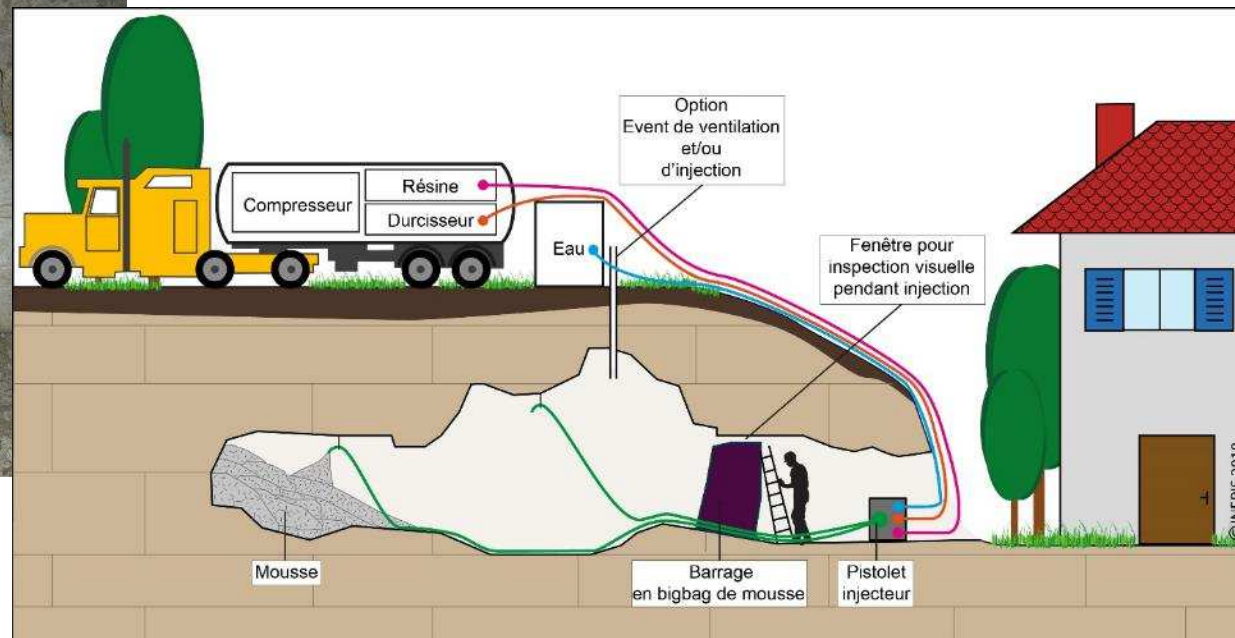
# Comblir la cavité ?

Par remplissage avec une mousse :

Objectif : remplir entièrement et rapidement la cavité



pérennité dans le temps,  
risques sanitaires ?



# Comblir la cavité ?

**Matériaux utilisés** : variés en fonction des opportunités et de la nécessité d'assurer une résistance mécanique minimale

= béton, tout venant, matériaux fins, sable/sablon ou coulis avec additif (ciment)

- par voie humide (sable et eau, cendres et eau, ...)
- par voie semi-humide (mélange moitié terre, moitié eau)
- par voie sèche (si eau « chère »)

Spécifications rigoureuses  
(cahier des charges)

Contraintes environnementales :  
volonté d'utiliser des matériaux dits  
« alternatifs »

- Prise en compte des fuites dans remblais
- Préserver les galeries d'accès  
(murs de barrage nécessaires)
- Pression d'injection faible pour éviter de  
causer des désordres au



Barrage béton (Cuemes) © L. Funcken



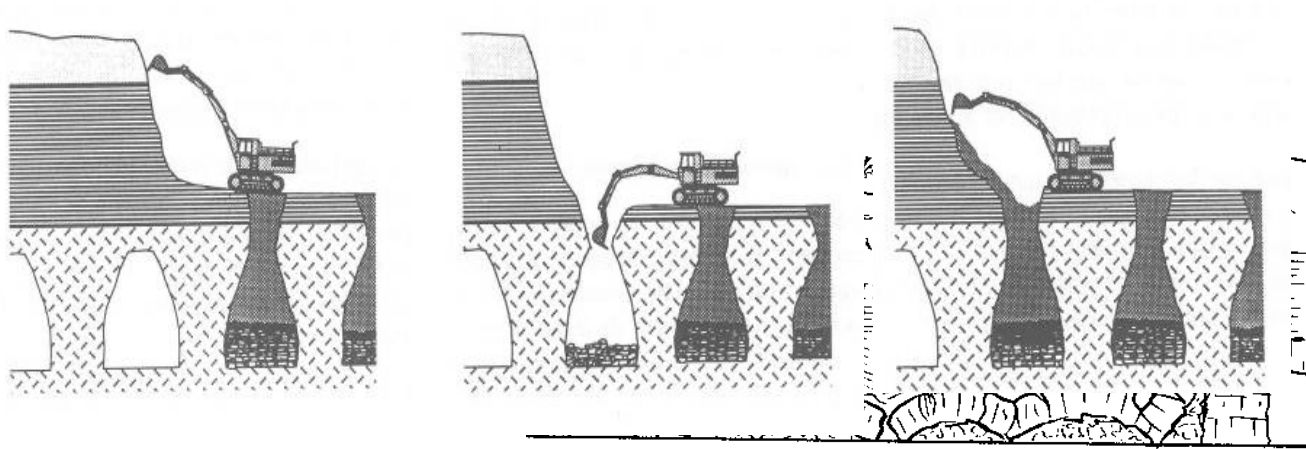
Barrages en mo

Remblai (Amiens) © Ineris

# Supprimer/détruire la cavité ?

## Par terrassement-comblement :

Objectif : **supprimer**, depuis la surface, les vides sous-jacents par déblaiement des terrains de couverture puis terrassement



## Par foudroyage :

Objectif : **abattage** systématique des piliers à l'explosif (courant dans les mines)

- risque de vides résiduels
- sol très remanié et terrain inconstructible immédiatement



⇒ En France pour utilisation en espaces verts

Lille 14 novembre 2019

# Supprimer/détruire la cavité ?

Par foudroyage :

cas de la carrière de la Malogne à Cuesmes

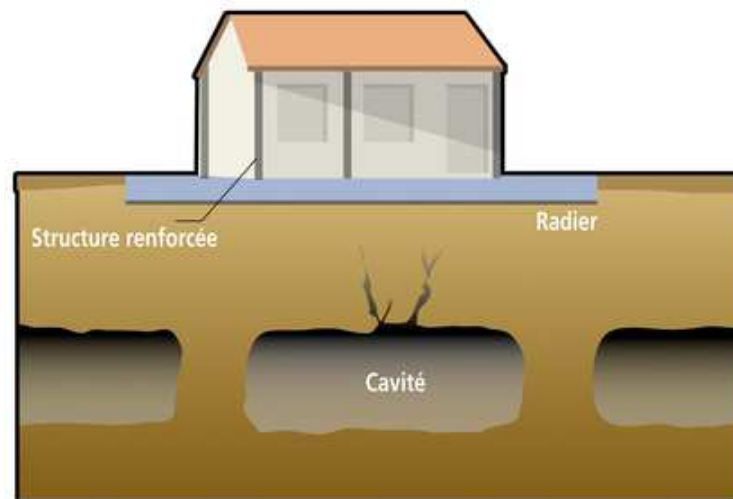


# Agir sur les enjeux de surface ?

## Par renforcement de la structure des enjeux :

Objectif : rendre la construction « **monolithique** » (chaînages, fondations superficielles renforcées). Les fondations sont calculées pour répondre à une condition de fontis définie selon l'expérience locale

⇒ adapté aux cas de petits vides dont la répartition est inconnue : karst, marnières, sapes, sites imparfaitement remblayés, foisonnés ou décomprimés



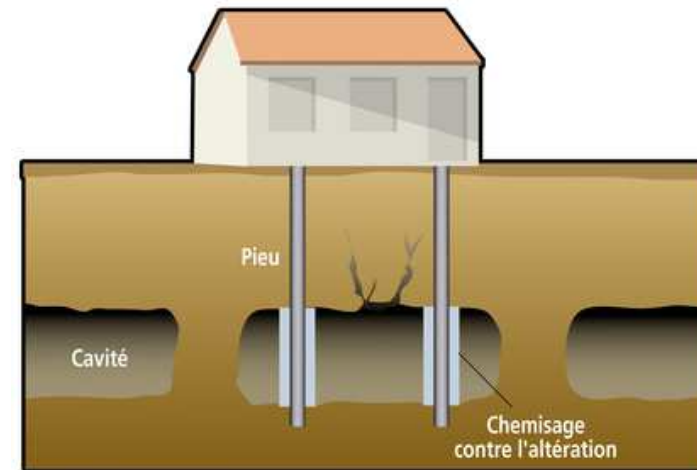
# Agir sur les enjeux de surface ?

## Par réalisation de fondations profondes :

Objectif : **reporter** la charge sous le niveau des cavités au moyen de puits ou de pieux

- vérifier l'absence d'autres niveaux exploités sous la pointe des pieux de fondation
- n'empêche pas la remontée des fontis : danger aux abords de la construction, désordres dans les caves et les sous-sols, possibilités de frottement négatif ou d'efforts horizontaux sur les pieux qui doivent être armés

⇒ compatible avec comblement et/ou renforcements ponctuels



# Agir sur les enjeux de surface ?

## Par adaptation des réseaux :

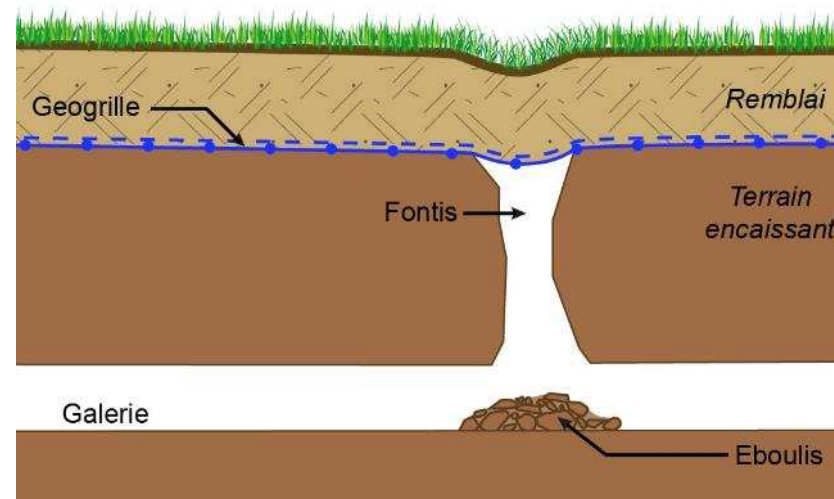
Objectif : limiter les risques de rupture de canalisations ou de fuites d'eau pouvant accélérer le processus de dégradation des cavités sous-jacentes => via des raccords souples et déformables

## Par renforcement depuis la surface (réseaux, voirie) :

Objectif : supporter les éléments surplombant les cavités (effet d'arche) et éviter les déformations inadmissibles susceptibles de mettre en péril la stabilité des ouvrages de type route, réseaux... présents en surface et la sécurité des personnes



- Géosynthétique



Terrassement  
Vides « bien » connus

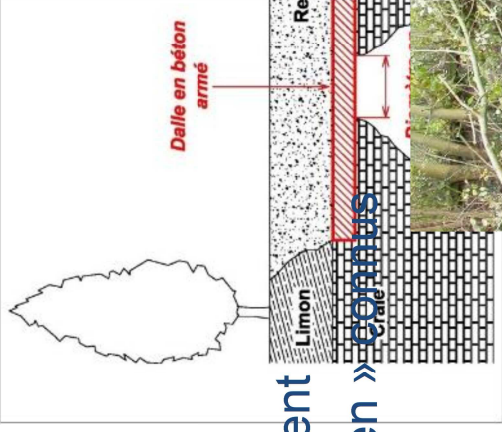
Lille 14 novembre 2019

# Fermeture des puits ?

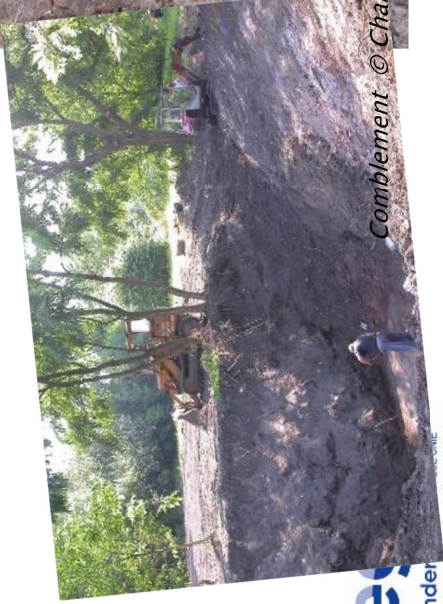
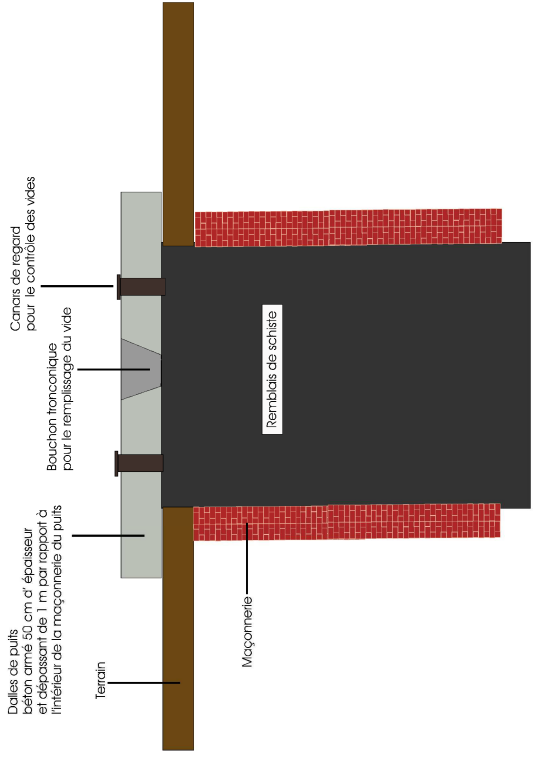
- Dalle de surface



terrassement  
vides « bien » comblés



- Comblement





# En situation de crise ?

## Cas particulier : reprise en sous-œuvre du bâti

Objectif :

**renforcer** les fondations existantes insuffisantes  
assurer la stabilité des constructions mitoyennes de fouilles  
(en particulier lors d'apparition de **désordre en surface**)



Consolidation par  
augmentation de la surface  
d'appui




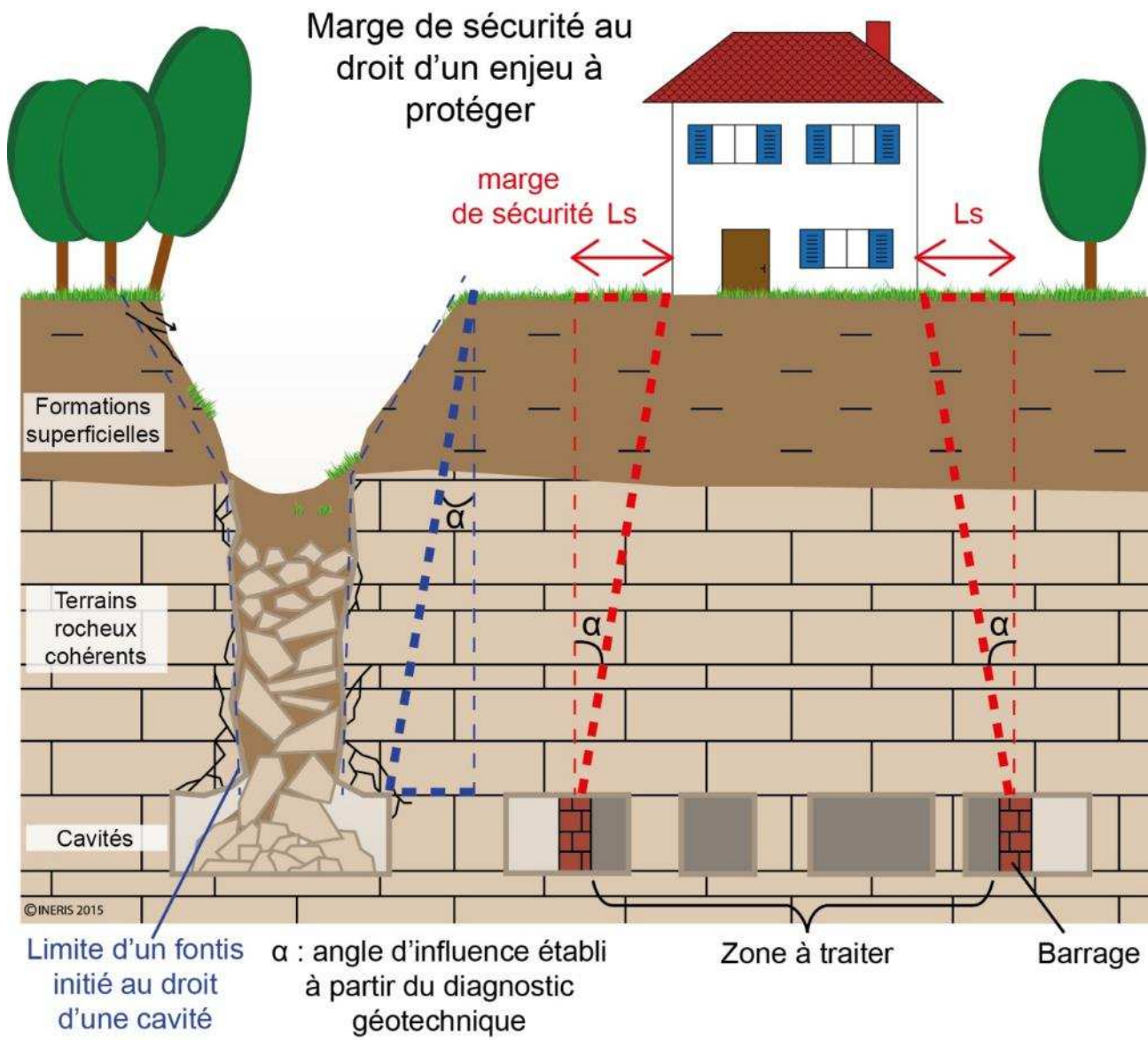
Etalement avant consolidation

# Hauts de France / Wallonie ?

- Contexte « cavités » comparable => techniques de traitement comparables
- Méthode la plus répandue = comblement des vides avec coulis (eau + sable + ciment ou béton)

Quelques variantes :

- ✓ béton-mousse en Belgique (ciment + eau + agent moussant)
  - ✓ mousses urée-formol en France
- 
- Contrôle des travaux : essais Rc (en France), surveillance visuelle et sondages de contrôle
- 
-  Notion de marge de sécurité (non prise en compte en Belgique car l'objectif est de bloquer rapidement le désordre dès son apparition)



# Les critères de choix d'une solution ?

5 critères principaux :

- Quels sont les aménagements actuels ou prévus ?
- Quels sont les objectifs de sécurité recherchés ?
- De quelles données du site naturel dispose-t-on ?
- Quelles sont les contraintes pour les travaux ?
- Quelle est l'enveloppe financière disponible ?

# Quelles autres questions à se poser ?

- Quelle emprise traitée ? Quel volume ?
- La cavité est-elle accessible ?
- A quelle profondeur se trouve la cavité ?
- Comment faire en zone urbanisée ?
- Quelle procédure administrative ?
- Quelles sont les contraintes environnementales à ne pas négliger ?
- Quel matériau choisir ?
- Les impacts et la traçabilité des travaux ?

# Solutions minimales de traitement en fonction de la destination du site

Destination		DEFORMATIONS ACCEPTABLES DE LA SURFACE		DEFORMATIONS NON ADMISSIBLES DE LA SURFACE		ESPACE SOUTERRAIN REUTILISE
		ESPACES VERTS, ZONE DE LOISIRS, PARC, PARKING	INFRASTRUCTURES LINEAIRES ET RESEAUX DIVERS	CONSTRUCTION EXISTANTE	CONSTRUCTION NOUVELLE	
Critères de site						
<b>CAVITE SOUTERRAINE ACCESSIBLE</b>		Traitement des enjeux et/ou confortement ou comblement partiel	Confortement ou comblement et/ou renforcement des structures et adaptation éventuelle des réseaux	Confortement ou comblement total avec injections <sup>13</sup> et/ou reprise en sous-œuvre	Confortement ou comblement total avec injections <sup>13</sup> et/ou renforcement du bâti et/ou fondations adaptées	Toutes méthodes de confortement
<b>CAVITE SOUTERRAINE INACCESSIBLE</b>	<b>Hauteur de recouvrement &lt;10 m</b>	Terrassement-comblement et/ou comblement partiel ou traitement des enjeux	Comblement partiel et/ou renforcement des structures et adaptation éventuelle des réseaux	Comblement total avec injections <sup>13</sup>	Terrassement-comblement ou comblement total avec injections <sup>13</sup> et/ou renforcement du bâti et/ou fondations adaptées	SO
	<b>Hauteur de recouvrement &gt;10 m</b>	Comblement partiel et/ou traitement des enjeux	Comblement partiel et/ou renforcement des structures et adaptation éventuelle des réseaux	Comblement total avec injections <sup>13</sup>	Comblement total avec injections <sup>13</sup> et/ou renforcement du bâti et/ou fondations adaptées	SO
<b>CAVITE SOUTERRAINE EFFONDREE</b>		Traitement des enjeux	Injections de traitement de terrain et/ou renforcement des structures et adaptation éventuelle des réseaux	Injections de traitement du terrain et/ou reprise en sous-œuvre	Injections de traitement du terrain et/ou renforcement du bâti et/ou fondations adaptées	SO

# Merci de votre attention !