

# Nature et conséquences des mouvements de terrain d'origine karstique

Typologie et processus impliqués

Emeric VEDIE (Cerema)



Séminaire national Risque karstique – Orléans – 04 et 05 avril 2024

# SOMMAIRE

## 1- Typologie des mouvements de terrain

- ❖ *Principaux mouvements de terrain de surface*
- ❖ *Autres désordres possibles*
- ❖ *Situations critiques annonciatrices d'instabilités*
- ❖ *Conséquence sur les enjeux en surface*

## 2- Processus conduisant aux mouvements de terrain

- ❖ *Suffosion/soutirage des matériaux de couverture*
- ❖ *Débouffrage d'un conduite karstique*
- ❖ *Rupture mécanique du toit d'une cavité*
- ❖ *Extrusion d'un conduite colmaté*

## 3- Facteurs aggravants



# SOMMAIRE

## 1- Typologie des mouvements de terrain

- ❖ Principaux mouvement de terrain de surface
- ❖ Autres désordres possibles
- ❖ Situations critiques annonciatrices d'instabilités
- ❖ Conséquence sur les enjeux en surface

## 2- Processus conduisant aux mouvements de terrain

- ❖ Suffosion/soutirage des matériaux de couverture
- ❖ Débouillage d'un conduite karstique
- ❖ Rupture mécanique du toit d'une cavité
- ❖ Extrusion d'un conduite colmaté

## 3- Facteurs aggravants

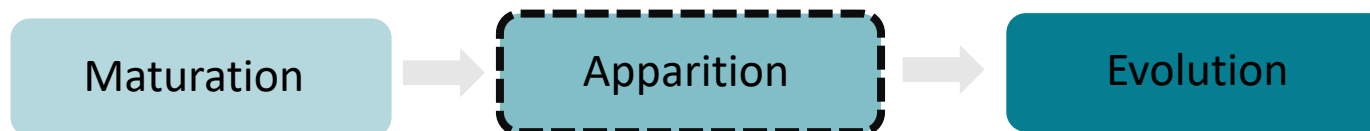


# 1- TYPOLOGIE DES MOUVEMENTS DE TERRAIN

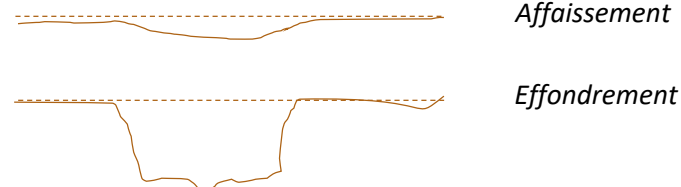
## PRINCIPAUX MOUVEMENTS DE TERRAIN

### Affaissements et effondrements :

Mouvements de terrain classiquement déclenchés par la descente des terrains de surface vers les vides souterrains : les **affaissements** et les **effondrements**



- ✧ Déformation en surface pseudo-circulaire
- ✧ Diamètre de qq décimètres à qq mètres (jusqu'à plus de 10 mètres)
- ✧ Profondeur de qq décimètres à qq mètres pour le cas des effondrements
- ✧ Différentiation selon :
  - La cinématique d'apparition
  - Les déformations engendrées



# 1- TYPOLOGIE DES MOUVEMENTS DE TERRAIN

## PRINCIPAUX MOUVEMENTS DE TERRAIN

### Affaissements

Dépression aux pentes peu marquées, **sans rupture des terrains**

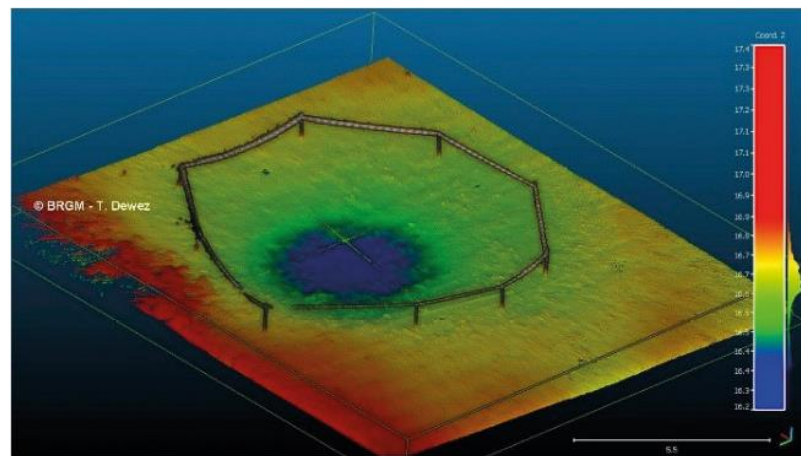
Considérés comme des **mouvements lents**, pouvant évoluer pendant plusieurs années, voire dizaines d'années, ce qui limite souvent l'observation de leur apparition et de leur évolution



Affaissement sur les rives de la Tardoire (16)  
Cerema



Affaissement soudain (24)  
Cerema



Traitement photogrammétrique d'un affaissement à Orléans  
(45) - BRGM

# 1- TYPOLOGIE DES MOUVEMENTS DE TERRAIN

## PRINCIPAUX MOUVEMENTS DE TERRAIN

### Effondrements

Dépression marquée aux bords francs (cratère, fontis, perte), **avec une rupture des terrains.**

Alors que leur maturation peut être longue, leur apparition en surface est souvent **soudaine** (quelques secondes à quelques heures).

Phénomène pouvant correspondre au stade « ultime » d'un affaissement.

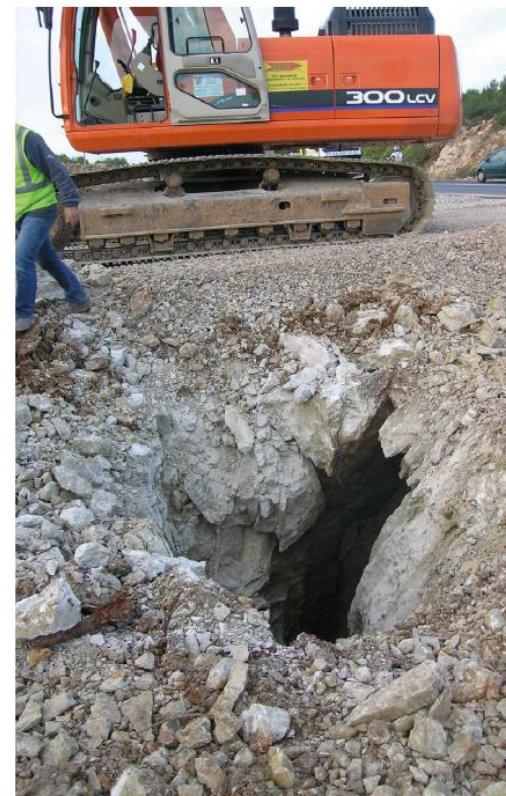
Diamètre inférieur à 3 m



Effondrement associé à un soutirage proche de l'aire du Larzac de l'A75 (12) Cerema



Effondrement lié au déboufrage de cheminées à Saint-Maixant (33) - Cerema



Effondrement lié à la rupture du toit rocheux à Castelnau-le-Lez (34) - Cerema

# 1- TYPOLOGIE DES MOUVEMENTS DE TERRAIN

## PRINCIPAUX MOUVEMENTS DE TERRAIN

*Diamètre compris entre 3 et 10 m*



Effondrement à Thiviers (24) - Cerema



Effondrement à Darvoy (45) - BRGM

*Diamètre supérieur à 10 m*



Effondrement à Cézan (32) - BRGM



Effondrement à Sandillon (45) - BRGM



Effondrement dans le lit du Bandiat (16) - Cerema



Effondrement sur les rives du Bandiat (16) - Cerema

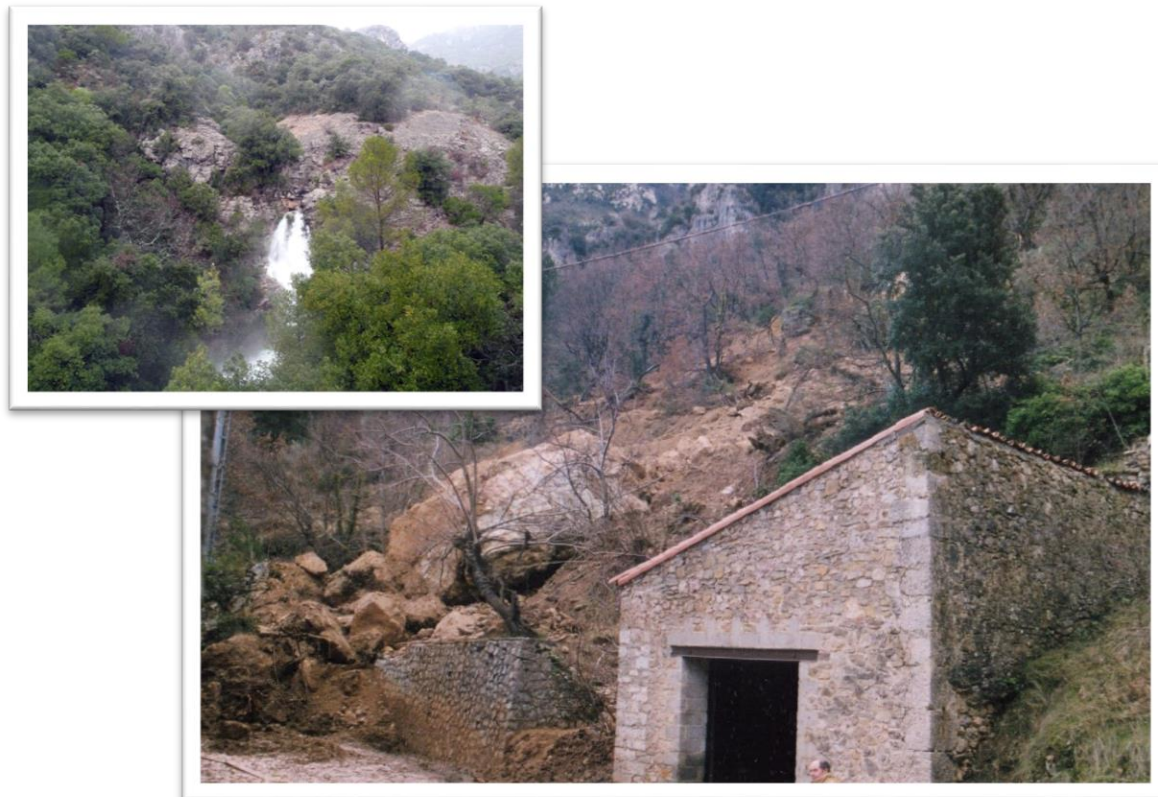
# 1- TYPOLOGIE DES MOUVEMENTS DE TERRAIN

## PRINCIPAUX MOUVEMENTS DE TERRAIN

### Glissements de terrain, coulées de boue et éboulements

Désordres au niveau des versants, sous la forme de glissements, de coulées de boue et/ou d'éboulements.

Associé à un **processus différent** (extrusion) de ceux impliqués dans les affaissements et effondrements mais directement en lien avec le réseau karstique.



*Exemple de coulée de boue et d'éboulement suite à une extrusion, Saint-Maurice-Navacelles (34) - Cerema*



# 1- TYPOLOGIE DES MOUVEMENTS DE TERRAIN

## AUTRES DÉSORDRES POSSIBLES

### Mouvements de terrain connexes à l'activité karstique

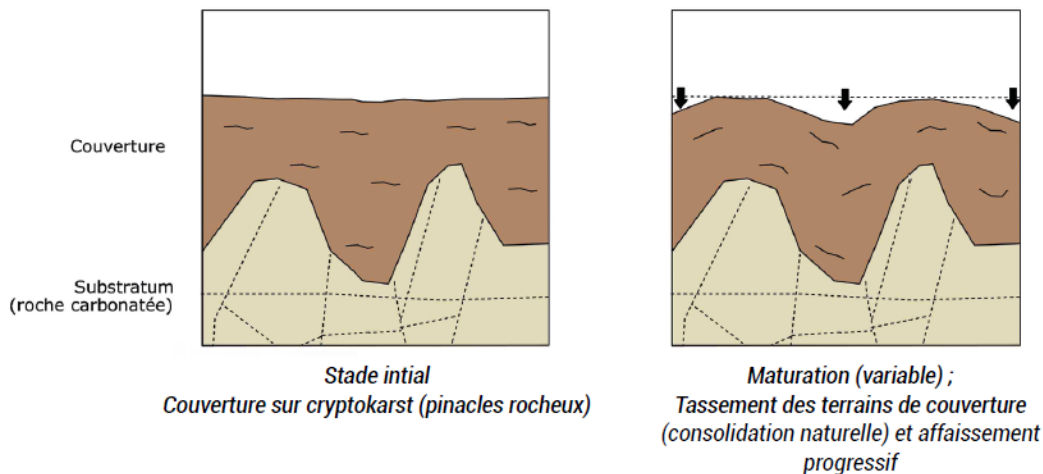
❖ Déstabilisation des bords des formes karstiques

→ *Ajustement progressif ou soudain des bordures instables*



❖ Tassement des sols de surface par consolidation

Tassements ↓ différentiels



Effondrement d'un drain karstique dans une couverture alluviale



# 1- TYPOLOGIE DES MOUVEMENTS DE TERRAIN

## AUTRES DÉSORDRES POSSIBLES

### Mouvements de terrain connexes à l'activité karstique

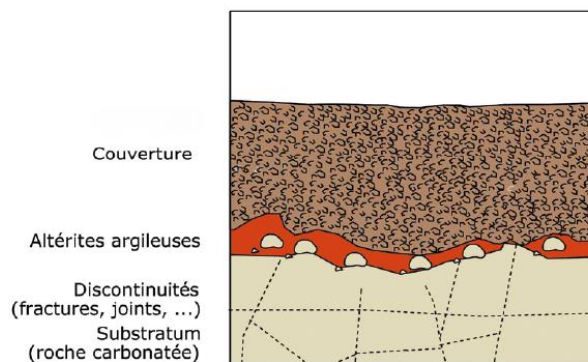
❖ Tassement des sols de surface par hydro-compaction (lessivage)

#### Transport vertical de

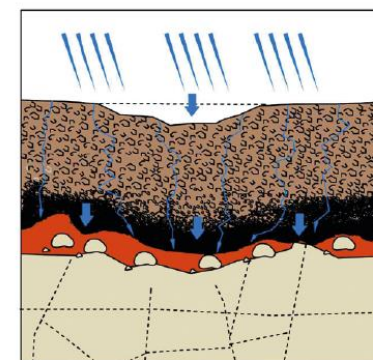
#### particules fines

vers le bas du profil  
pédologique (lessivage  
hydrique).

Création, en surface,  
d'une dépression  
topographique  
correspondant à ce qu'on  
appelle « **fausse doline** »



Stade initial



Maturation (variable) ;  
Infiltration d'eau et entraînement gravitaire  
des matériaux fins s'accumulant au toit du  
rocher (accumulation des particules lessivées)  
Affaissement des terrains de couverture par  
décompression progressive

# 1- TYPOLOGIE DES MOUVEMENTS DE TERRAIN

## AUTRES DÉSORDRES POSSIBLES

### Risques naturels hydrauliques

✎ Inondations des zones basses (dolines, poljes...)

Les points bas topographiques que constituent la plupart des formes karstiques peuvent être inondées par des arrivées d'eau → A l'origine d'instabilités potentielles



*Vallée sèche de la Retrève inondée suite à un épisode pluvieux intense (mai-juin 2016 - Loiret) - BRGM*



*Doline inondée dans le Lot-et-Garonne (janvier 2022) - Cerema*

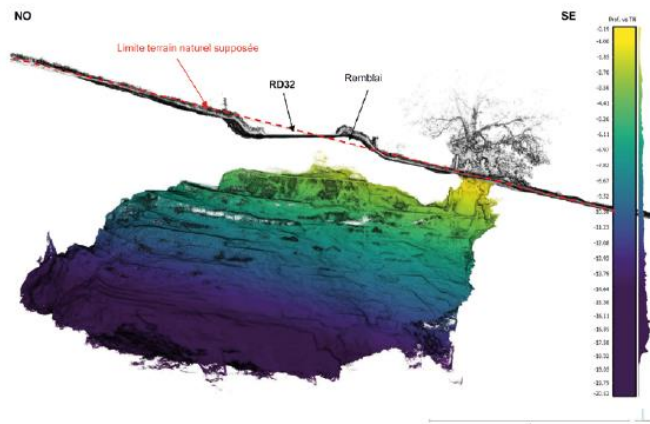
# 1- TYPOLOGIE DES MOUVEMENTS DE TERRAIN

## SITUATIONS CRITIQUES ANNONCIATRICES DE MOUVEMENTS DE TERRAIN

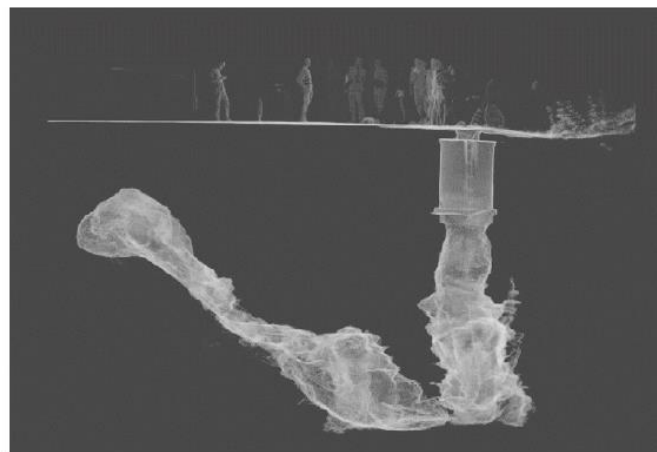
### Quels indices rechercher ?

- ❖ L'observation est parfois possible, en souterrain (explorations spéléologiques) ou depuis la surface via des reconnaissances.

→ Vides karstiques proches de la surface du sol (ici accessibles)



Levé 3D à Reugney (25) – BRGM  
L'épaisseur résiduelle de terrains rocheux fracturés séparant le vide de la surface varie entre 1 et 3 m.



Levé 3D à Bordeaux (33) – Parallèle 45 / Cerema  
Cette cavité se trouvait sous une voirie très empruntée.  
Elle a été rapidement comblée pour supprimer tout risque pour les usagers.

# 1- TYPOLOGIE DES MOUVEMENTS DE TERRAIN

SITUATIONS CRITIQUES ANNONCIATRICES DE MOUVEMENTS DE TERRAIN

Quels indices rechercher ?

→ Indices observables en cavité lors de visites et diagnostics



Décollement des bancs à Bèze (21) – BRGM



Chute de dalle du toit dans le réseau de La Fuié (16) – Cerema



Zone bréchique instable dans le réseau de Camelot (16) - Cerema



Salle en partie effondrée dans le réseau de Camelot (16) - Cerema

# 1- TYPOLOGIE DES MOUVEMENTS DE TERRAIN

CONSÉQUENCES SUR LES ENJEUX EN SURFACE

Quels risques lorsque l'aléa rencontre un enjeu ?



Rupture d'un dallage dans une maison (45) - BRGM



Trou dans une chaussée (45) - Cofiroute



Chute d'un engin (40) - M. Pochon



Chute mortelle dans un effondrement (33) - Sud-Ouest

Figure 30 : Exemples d'effondrements ayant généré des chutes



Route emportée (16) - Cerema



Maison détruite (45) - DDT45



Bâtiment en situation critique (45) - M. Lepiller



Canalisations proches de la rupture (45) - BRGM

→ Risques y compris en contexte naturel (exemple des pertes en rivière → biodiversité)

# SOMMAIRE

## 1- Typologie des mouvements de terrain

- ❖ Principaux mouvement de terrain de surface
- ❖ Autres désordres possibles
- ❖ Situations critiques annonciatrices d'instabilités
- ❖ Conséquence sur les enjeux en surface

## 2- Processus conduisant aux mouvements de terrain

- ❖ Suffosion/soutirage des matériaux de couverture
- ❖ Débourrage d'un conduite karstique
- ❖ Rupture mécanique du toit d'une cavité
- ❖ Extrusion d'un conduite colmaté

## 3- Facteurs aggravants



# 2- PROCESSUS LIES AUX MOUVEMENTS DE TERRAIN

QUATRE PROCESSUS A RETENIR

## Processus à l'origine des affaissements, effondrements et/ou glissements de terrain

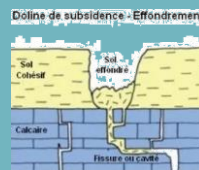
### A l'origine d'affaissements et d'effondrements

❖ La suffosion / le soutirage des matériaux de couverture

Exclusivement en karst sous couverture

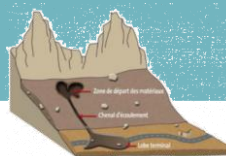
❖ Le déboufrage d'un conduit karstique colmaté

❖ La rupture du toit d'une cavité



Indépendamment en karst nu ou en karst sous couverture

❖ L'extrusion d'un conduit colmaté



### A l'origine de glissements de terrain / coulées de boue



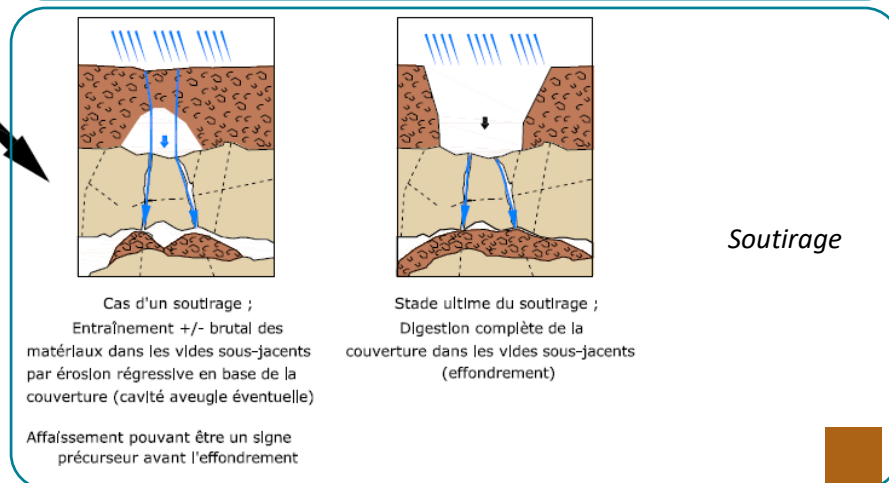
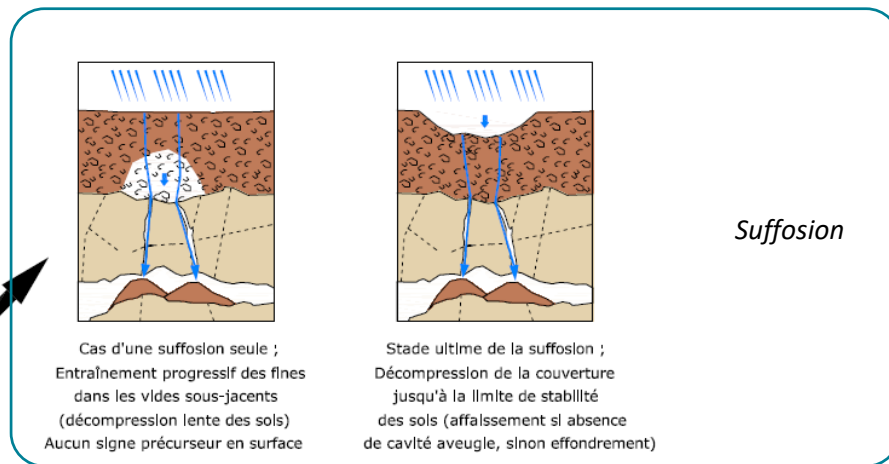
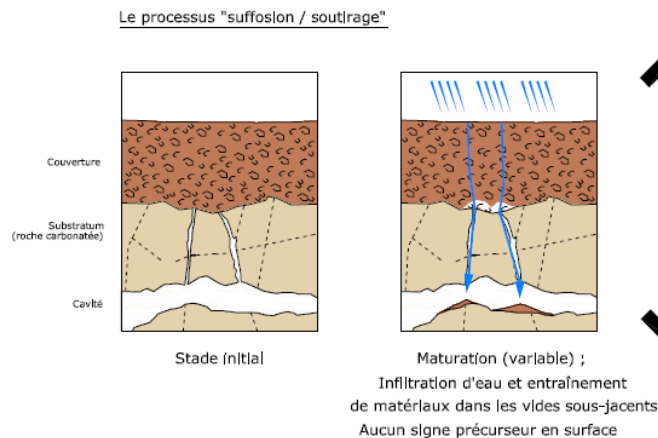
# 2- PROCESSUS LIES AUX MOUVEMENTS DE TERRAIN

QUATRE PROCESSUS A RETENIR

## La suffosion / le soutirage des matériaux de couverture

Conditions nécessaires :

- Présence de vides connectés
- Erodabilité des matériaux de surface
- Circulations d'eau



Plusieurs manifestations :

- Affaissement
- Effondrement progressif (sablier)
- Effondrement soudain (cavité aveugle)

# 2- PROCESSUS LIES AUX MOUVEMENTS DE TERRAIN

## QUATRE PROCESSUS A RETENIR

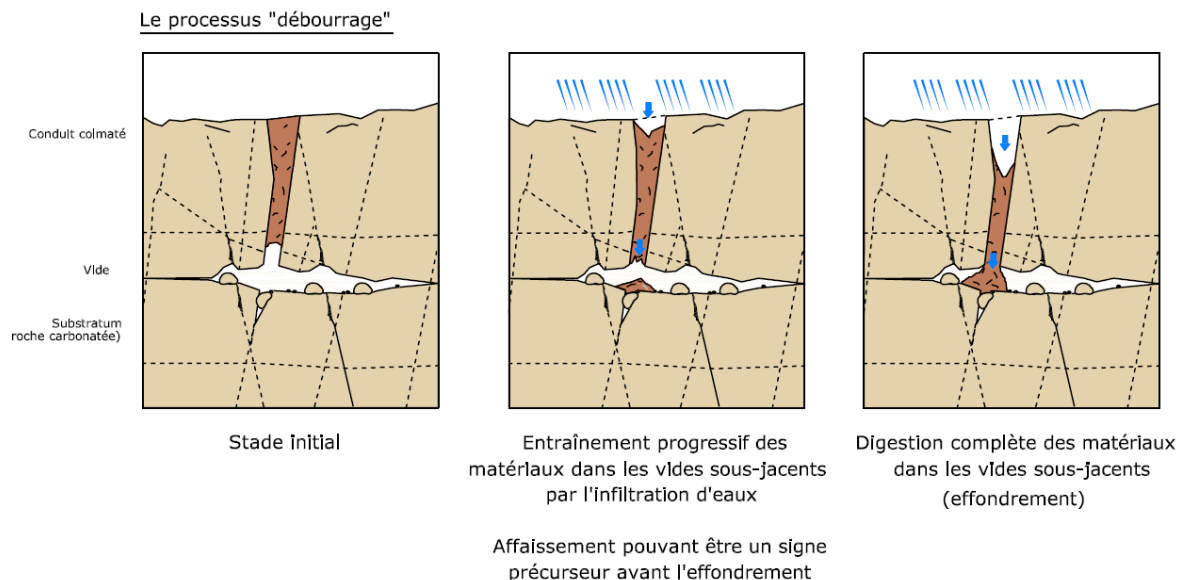
### Le déboufrage d'un conduit karstique colmaté

Conditions nécessaires :

- Conduit colmaté dans l'encaissant
- Gradient hydraulique

Plusieurs manifestations :

- Variable si présence d'une couverture
- Effondrement en cas de karst nu



NOTA : Rôle possible des eaux souterraines (fatigue hydrogéologique)

# 2- PROCESSUS LIES AUX MOUVEMENTS DE TERRAIN

## QUATRE PROCESSUS A RETENIR

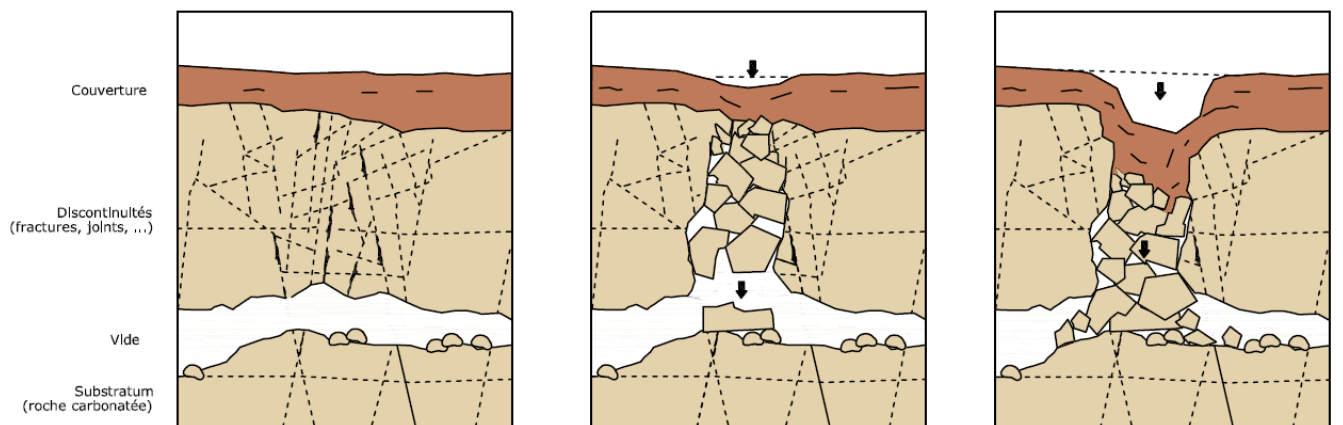
### La rupture du toit d'une cavité calcaire

Conditions nécessaires :

- Toit rocheux fracturé/altéré
- Importante portée

Plusieurs manifestations :

- Rare à l'échelle humaine
- Dépendante du foisonnement
- Diamètre lié au vide



Stade Initial

Eboulement gravitaire du massif rocheux (brèche de fracturation, chute de dalle décollée, ...)

Propagation des chutes de blocs jusqu'en surface (effondrement)

Affaissement pouvant être un signe précurseur avant l'effondrement

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

# 2- PROCESSUS LIES AUX MOUVEMENTS DE TERRAIN

## QUATRE PROCESSUS A RETENIR

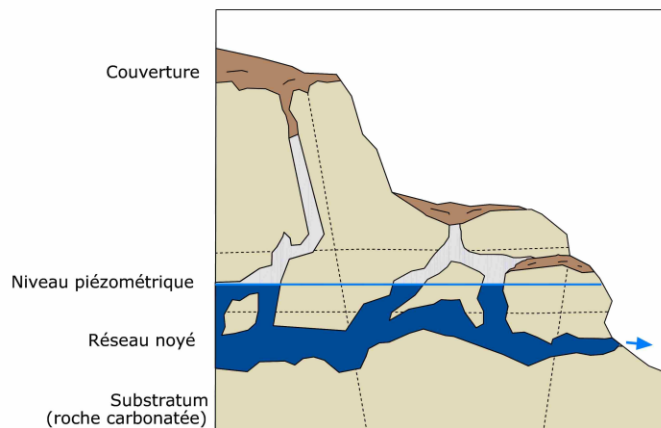
### L'extrusion d'un conduit colmaté

Conditions nécessaires :

- Conduit colmaté interceptant une pente
- Mise en charge hydraulique

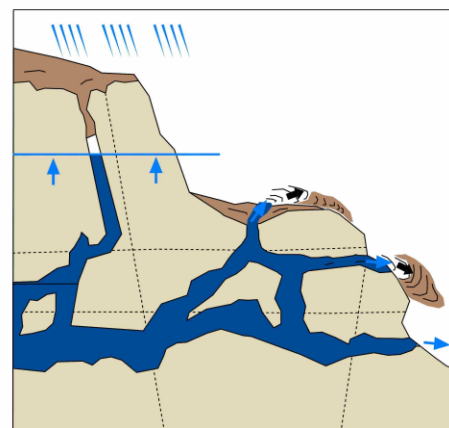
Plusieurs manifestations :

- Glissement de terrain / coulée de boue
- Déclenchement soudain (danger)
- Volumes variables



Stade initial  
(exemple d'un karst couvert)

Fonctionnement courant d'une zone épinoyée avec source de décharge



Mise en charge exceptionnelle du réseau karstique ( $Q \text{ décharge} < Q \text{ recharge}$ )

Remaniement et évacuation vers l'extérieur des matériaux de colmatage

# SOMMAIRE

## 1- Typologie des mouvements de terrain

- ❖ Principaux mouvement de terrain de surface
- ❖ Autres désordres possibles
- ❖ Situations critiques annonciatrices d'instabilités
- ❖ Conséquence sur les enjeux en surface

## 2- Processus conduisant aux mouvements de terrain

- ❖ Suffosion/soutirage des matériaux de couverture
- ❖ Débouillage d'un conduite karstique
- ❖ Rupture mécanique du toit d'une cavité
- ❖ Extrusion d'un conduite colmaté

## 3- Facteurs aggravants



# 3- FACTEURS AGGRAVANTS

## Les facteurs naturels

- Inondations (cf prochain cas d'étude dans l'Orléanais)
- Impacts du changement climatique

## Les facteurs anthropiques

- Rôle des aménagements (*Brgm 2015 et 2016*) :
  - Concentration des eaux d'infiltration (bassins, canalisations aériennes et enterrées, ouvrages ponctuels d'infiltration...)
  - Pompage d'eau
  - Percement de tunnel entraînant un déboufrage
- Rôle des terrassements :
  - Surcharge
  - Modification des écoulements
  - Réduction de l'épaisseur de la couverture
  - ...

Non pris en compte pour la qualification de l'aléa



**Merci de votre attention**

**Emeric Védie ([emeric.vedie@cerema.fr](mailto:emeric.vedie@cerema.fr))**