

# Principes méthodologiques généraux d'évaluation de l'aléa

Données nécessaires vs données disponibles

**Emeric VEDIE (Cerema)**



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

# SOMMAIRE

## 1- Données bibliographiques

- ❖ *Données physiographiques*
- ❖ *Données historiques*

## 2- Investigations géologiques

- ❖ *Visites de terrain*
- ❖ *Photo-interprétation*
- ❖ *Reconnaitances géotechniques complémentaires*

## 3- Restitution cartographique



# SOMMAIRE

## 1- Données bibliographiques

- ❖ *Données physiographiques*
- ❖ *Données historiques*

## 2- Investigations géologiques

- ❖ *Visites de terrain*
- ❖ *Photo-interprétation*
- ❖ *Reconnaitances géotechniques complémentaires*

## 3- Restitution cartographique



# 1- DONNÉES BIBLIOGRAPHIQUES

## PHASE INFORMATIVE

### Objectifs :

- ✎ Obtenir la meilleure description possible du relief, du sol et du sous-sol du secteur d'étude → *données physiographiques*
- ✎ Obtenir le plus large recensement envisageable des phénomènes d'origine karstique → *données historiques*

### Analyse et synthèse permettant d'aboutir à pour chaque critère :

- ✎ une appréciation de son rôle dans le déclenchement des mouvements de terrain
- ✎ une bonne représentation cartographique de sa répartition spatiale

### Les sources :

- ✎ Inventaires locaux et nationaux
- ✎ Archives et articles de presse
- ✎ Services et organismes spécialisés, les associations
- ✎ Données physiographiques en ligne : géologie, pédologie, hydro(géo)logie, ods...

# 1- DONNÉES BIBLIOGRAPHIQUES

## PHASE INFORMATIVE

### Recherches documentaires:

- Données géologiques
- Etudes et articles scientifiques
- Données d'archives : SDIS, Grimp, Inrap...
- Synthèses : DDRM, Dicrim, inventaires départementaux, Bd Cavités, Bd Mvt
- Données spéléologiques : FFS, CDS, AFK, Ifreemis...
- Données hydro(géo)logiques : agences de l'eau, sandre, Ades, BdLisa, SIGES...

### Réalisation d'un enquête communale



# SOMMAIRE

## 1- Données bibliographiques

- ❖ Données physiographiques
- ❖ Données historiques

## 2- Investigations géologiques

- ❖ *Visites de terrain*
- ❖ *Photo-interprétation*
- ❖ *Reconnaitances géotechniques complémentaires*

## 3- Restitution cartographique



# 2- INVESTIGATIONS GÉOLOGIQUES

## VISITES DE TERRAIN

### Les données de terrain :

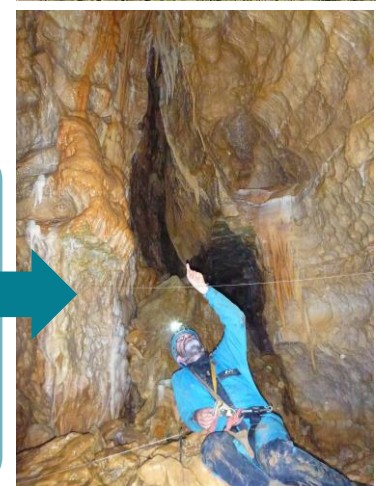
Visites de terrain, en compagnie des acteurs ou référents locaux

### Objectifs :

- ❖ Contrôler et **valider les données capitalisées** lors de la phase informative
- ❖ Recenser et **intégrer les nouveaux éléments observés** sur le territoires (caractéristiques physiographiques et événements historiques)

Capitaliser en précisant la localisation précise de chaque indice (cartes, GPS, applications de collecte – exemple SCOUT ® )

Si accessibilité, procéder à des **inspections souterraines** :  
Précision et qualification de nombreux critères → **fracturation du massif calcaire, géométrie des vides, niveau de la nappe par rapport au(x) réseau(x), taux de colmatage et nature des remplissages (endogène ou exogène), profondeur du réseau par rapport à la surface (si puits d'accès), etc**



# 2- INVESTIGATIONS GÉOLOGIQUES

## PHOTO-INTERPRÉTATION

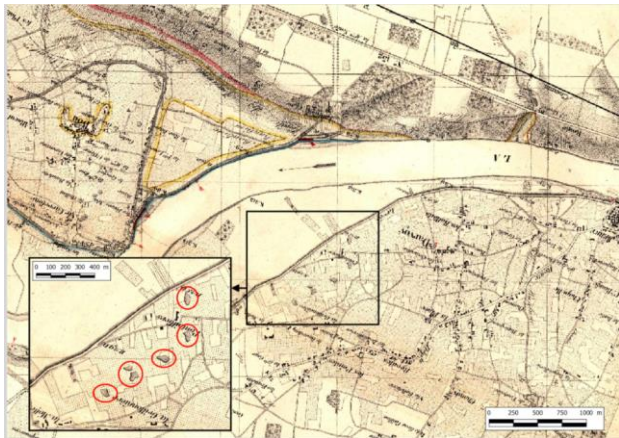
Analyse de l'évolution du territoire via l'analyse de photographies aériennes ou d'images satellitaires

Nombreuses sources : géoportail.fr ou Google Earth® permettent de « remonter le temps » + le site **Applisat.fr**

Porte d'entrée données satellitaires



Les sources :



Indices potentiellement karstiques (doline ou anthropique)



Exemple de photo-interprétation menée dans la vallée du Bandiat (16, Cerema)



# 2- INVESTIGATIONS GÉOLOGIQUES

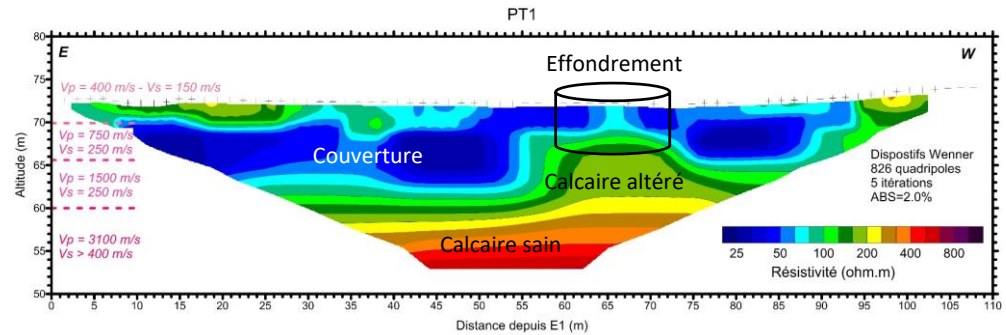
## PHOTO-INTERPRÉTATION



*Gouffre-perte détournant les eaux du cours d'eau  
Vallée du Bandiat (16, Cerema)*

Evolution de la forme de l'effondrement déterminée à partir de l'analyse d'images aériennes diachroniques

→ Analyse en cours du contexte karstique (protocole de suivi)



**BORDEAUX**  
**INP Ensegid**

Source : ENSEGID – Olivier LEROUX

# 2- INVESTIGATIONS GÉOLOGIQUES

## RECONNAISSANCES GÉOTECHNIQUES COMPLÉMENTAIRES

*RAPPEL : D'après les recommandations du ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer (guide PPRN 2016), la réalisation d'une cartographie de l'aléa mouvement de terrain doit pouvoir être menée sur la base des données existantes et **sans engager d'études complémentaires** spécifiques.*

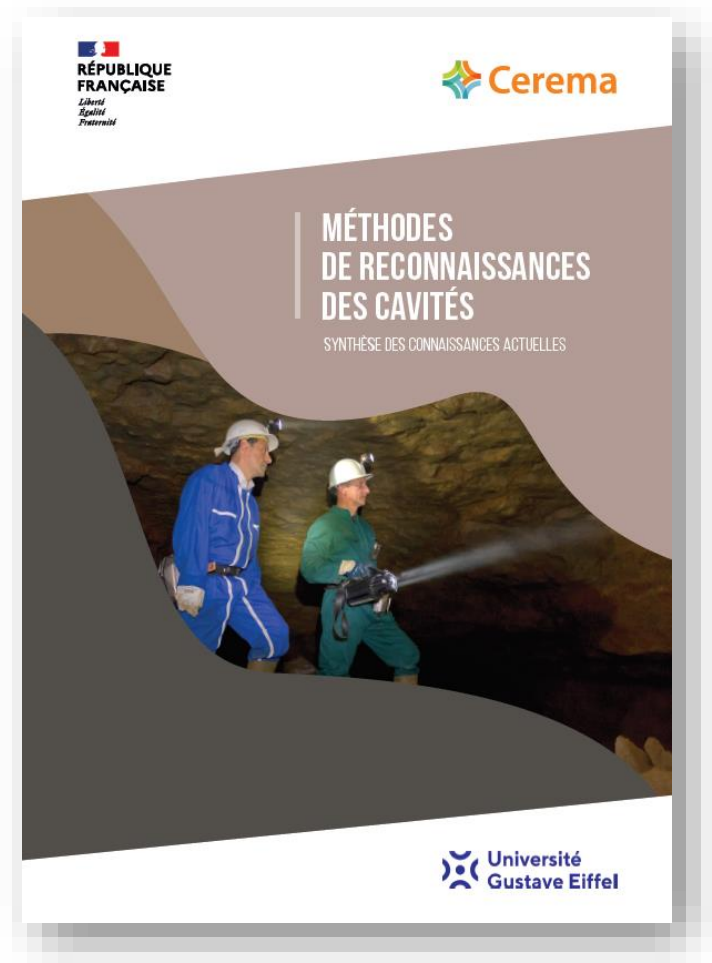
NEANMOINS

**Si disponibles, ou selon les besoins,** définition de moyens de reconnaissance complémentaires :

❖ 1- Etape préalable : expertise géologique et recherche documentaire

❖ 2- Relevés topographiques et géométriques des cavités visitables (reconnaissances directes)

❖ 3- Reconnaissance des vides/cavités non visitables  
Reconnaissances géophysiques et géotechniques



# 2- INVESTIGATIONS GÉOLOGIQUES

## RECONNAISSANCES GÉOTECHNIQUES COMPLÉMENTAIRES

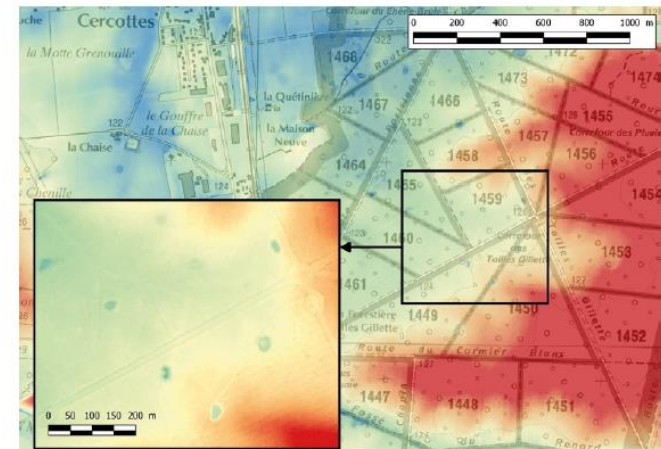
### Topographie de surface

- ❖ Appréciation de la géomorphologie globale (MNT en ligne au pas de 25 ou 50 m)
- ❖ Détection d'indices d'activité récente ou ancienne (MNT Lidar au pas de 1 ou 5 m)

### Sont ainsi observables :

- ❖ les (micro)-reliefs du territoire étudié
- ❖ les ruptures de pentes
- ❖ Les variations topographiques peu marquées
- ❖ les dolines d'affaissement,
- ❖ les fontis (si diamètre > 5 m),
- ❖ l'axe des thalwegs,
- ❖ les limites et surfaces des bassins versants,
- ❖ les éventuels affleurements calcaires
- ❖ ...

Extrait du MNT 1 m de la forêt d'Orléans (45) - BRGM



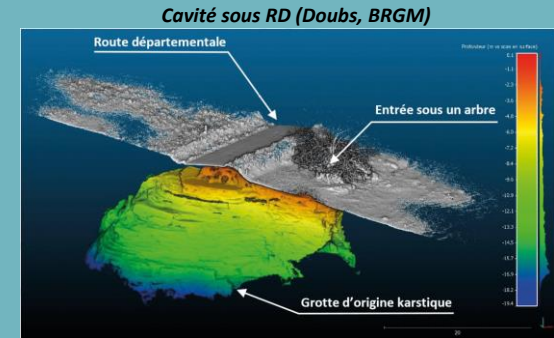
*Les dépressions, circulaires à elliptiques, sans rebord, sont des dolines (origine karstique). Celles au relief chaotique, aux rebords marqués, sont liées à des emprunts de matériaux.*

# 2- INVESTIGATIONS GÉOLOGIQUES

## RECONNAISSANCES GÉOTECHNIQUES COMPLÉMENTAIRES

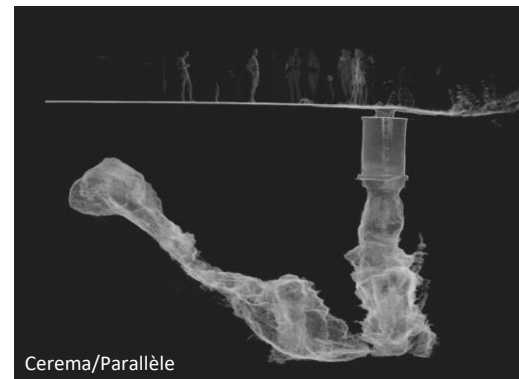
### Topographie souterraine

- ❖ Beaucoup plus rarement disponible (vs accessibilité)
- ❖ Consulter les associations et comités départementaux de spéléologie
- ❖ Possibilité de solliciter un bureau de géomètres (scan laser 3D ou photogrammétrie)



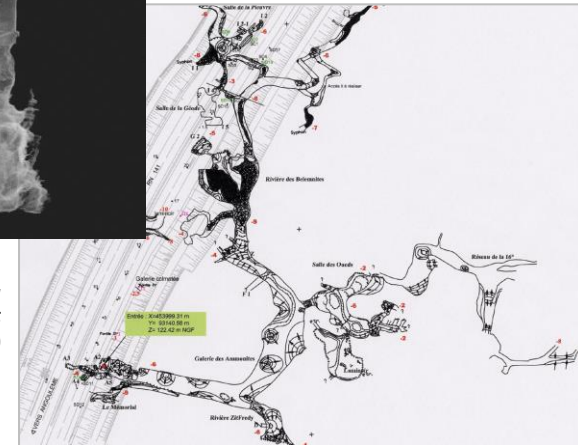
### Sont ainsi observables :

- ❖ La topographie des entrées
- ❖ Les volumes des vides (boyaux, salles)
- ❖ La densité de fracturation
- ❖ Les volumes effondrés
- ❖ Les départs de boyaux
- ❖ ...



**Cavité sous autoroute (Gironde, Cerema)**

**Extension d'un réseau karstique en Charente (ARS LR & Cerema)**



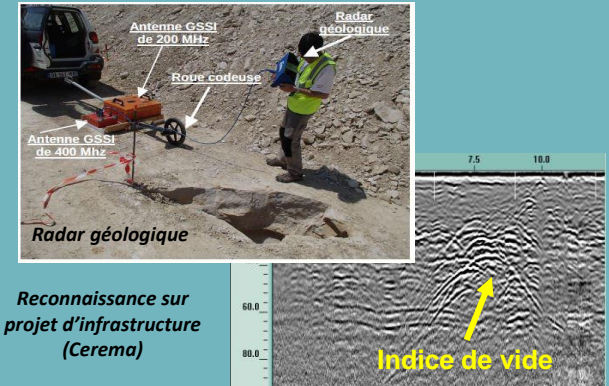
Permet la constitution d'un état « zéro » → protocole de suivi

# 2- INVESTIGATIONS GÉOLOGIQUES

RECONNAISSANCES GÉOTECHNIQUES COMPLÉMENTAIRES – DONNÉES GÉOPHYSIQUES

Exploration du sous-sol **depuis la surface** ou **depuis la cavité** en utilisant certaines propriétés physiques des sols/roches : conductivité électrique, propagation des vibrations, densité des roches, propriétés magnétiques, radioactivité

→ A chaque propriété une méthode de prospection

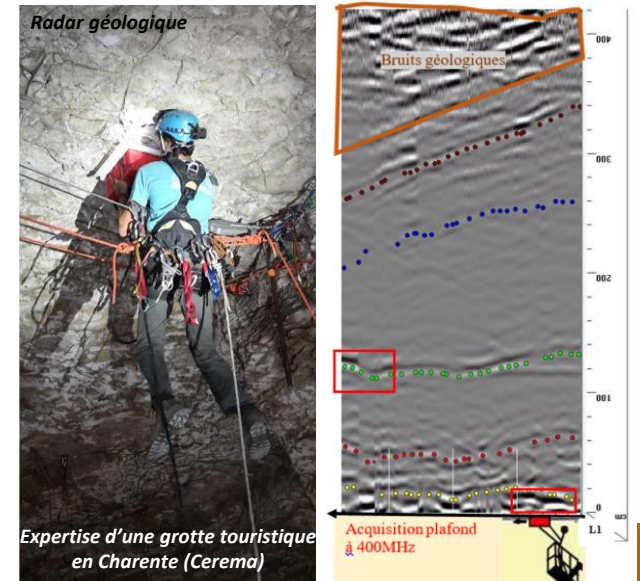


Reconnaissances nécessaires lorsque l'indice de surface n'est pas bien localisé ni circonscrit.

Le choix de la technique géophysique dépend des caractéristiques de la cavité (taille, profondeur, remplissage...) définies lors de l'expertise géologique et de son environnement;

Trois guides pour vous orienter :

- *Guide Cerema. Méthodes de reconnaissances des cavités. Synthèse des connaissances actuelles. Cerema, 2021. ISBN : 978-2-37180-486-9*
- *Guide technique de « Détection des cavités souterraines par méthodes géophysiques » - PN CriTerre, Co-édition LCPC, 168 pages. (Fauchard et Pothérat, 2004),*
- *CODE de Bonne Pratique – Géophysique appliquée AGAP-Qualité (www.agapqualite.org)*



# 2- INVESTIGATIONS GÉOLOGIQUES

RECONNAISSANCES GÉOTECHNIQUES COMPLÉMENTAIRES – DONNÉES GÉOPHYSIQUES

Il existe une méthode directement sensible au vide : la micro-gravimétrie...

... et des **méthodes indirectes** (chacune ses capacités et limites, y compris concernant le rendement).

**Les méthodes étant complémentaires**, il est parfois utile d'en utiliser plusieurs : information complémentaire (plus précise) ou une validation.

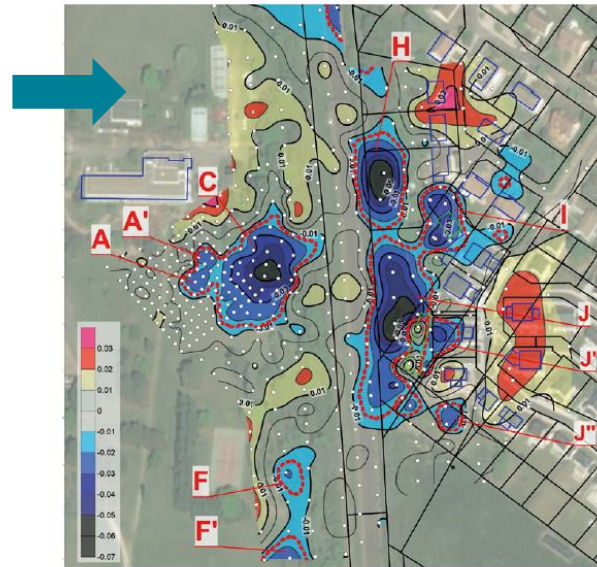
**Résultat de l'interprétation géophysique**

=

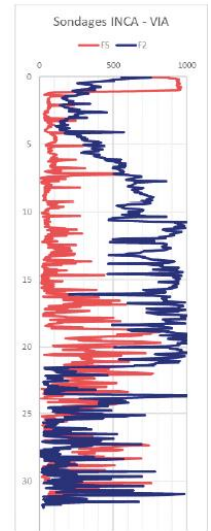
**Cartographie des anomalies ou indices de présence de vide**

+

**Proposition d'implantation de forages de validation**



Extrait de la carte d'anomalie microgravimétrique résiduelle. Les points blancs localisent les points de mesure. Les anomalies négatives sont repérées par des lettres.



Logs des forages F2 et F5. Représentation de la VIA



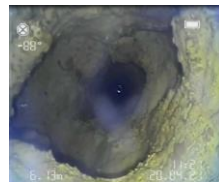
Suite aux mesures microgravimétriques et à leur traitement, une série de sondages de contrôle ont été programmés.

# 2- INVESTIGATIONS GÉOLOGIQUES

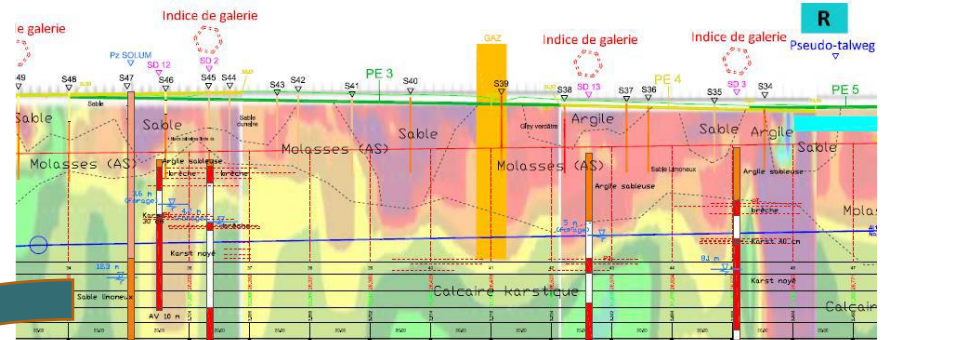
RECONNAISSANCES GÉOTECHNIQUES COMPLÉMENTAIRES – DONNÉES GÉOPHYSIQUES

Exemple de caractérisation du risque à l'échelle d'une infrastructure

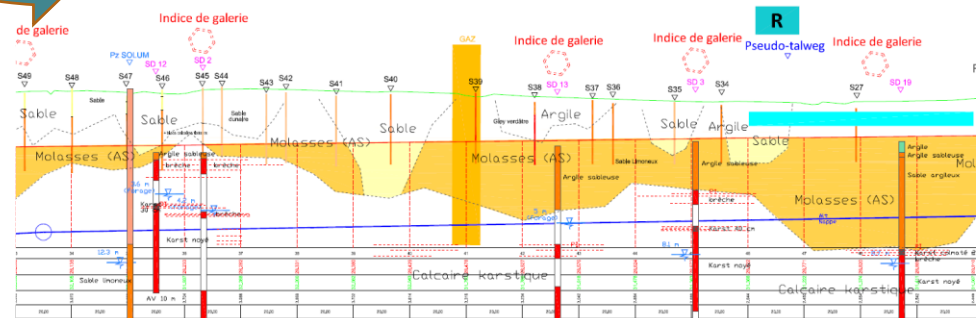
- Reconnaissances géologiques de "terrain"
- Reconnaissance par méthode magnétique (Indice de modification du champ terrestre par la présence de vide)
- Reconnaissances géophysiques par panneaux électriques (Mise en évidence des hétérogénéités du sous-sol = différence de résistivité des matériaux)
- Reconnaissances géologiques par sondages destructifs, au droit des anomalies géophysiques → Sondages + passages caméra (Cerema)



Qualification de l'aléa sur un linéaire d'infrastructure en Gironde (Cerema)



= Modèle géologique



Prédisposition		Caractéristique		Prédisposition		Caractéristique		Prédisposition		Caractéristique	
Forte	Calcaire karstique fracturé +/- altéré	Forte	Calcaire karstique fracturé +/- altéré	Forte	Calcaire karstique fracturé +/- altéré	Forte	Calcaire karstique fracturé +/- altéré	Forte	Calcaire karstique fracturé +/- altéré	Forte	Calcaire karstique fracturé +/- altéré
Forte	Couverture sableuse très fine à absente	Forte	≈ 5 m de matériaux peu cohésifs	Forte	≈ 5 m de matériaux peu cohésifs	Forte	≈ 5 m de matériaux peu cohésifs	Forte	≈ 7 m de matériaux peu cohésifs	Forte	≈ 7 m de matériaux peu cohésifs
Très faible	Nappe profonde et absence de concentration d'eaux superficielles	Très faible	Nappe profonde et absence de concentration d'eaux superficielles	Très faible	Nappe profonde et absence de concentration d'eaux superficielles	Très faible	Nappe profonde et absence de concentration d'eaux superficielles	Moyen à Fort	Nappe en base de la couverture et présence d'un pseudo-talweg (concentration d'eaux superficielles)	Moyen à Fort	Nappe en base de la couverture et présence d'un pseudo-talweg (concentration d'eaux superficielles)
Moyenne (présence de boyaux sans effet sablier)		Fort (présence de boyaux et effet sablier dans les sables)		Fort (présence de boyaux et effet sablier dans les sables)		Fort (présence de boyaux et effet sablier dans les sables)		Fort (présence de boyaux et effet sablier dans les sables)		Fort (présence de boyaux et effet sablier dans les sables)	
Moyen (R) à Faible (S)(D)		Fort (S)(R) à Moyen (D)		Fort (S)(R) à Moyen (D)		Fort (S)(R) à Moyen (D)		Fort (S) (D) (R)		Fort (S) (D) (R)	

# 2- INVESTIGATIONS GÉOLOGIQUES

RECONNAISSANCES GÉOTECHNIQUES COMPLÉMENTAIRES – DONNÉES GÉOTECHNIQUES

Exemples de reconnaissance : (1) sondages à la pelle mécanique et (2) sondages « destructifs » en profondeur.

Plusieurs outils possibles, à adapter au contexte souterrain (nature des sols).

**Implantation des sondages** selon les **indices géophysiques**, les désordres en surface, la taille des vides supposés...

En cas de vide détecté (ou de zone décomprimée), des sondages supplémentaires peuvent être nécessaires afin de déterminer **l'étendue du vide**.

La profondeur du sondage est variable et dépend de la typologie du vide; la reconnaissance doit se poursuivre au-delà du vide (importance du choix du critère d'arrêt).





# 2- INVESTIGATIONS GÉOLOGIQUES

RECONNAISSANCES GÉOTECHNIQUES COMPLÉMENTAIRES – DONNÉES GÉOTECHNIQUES

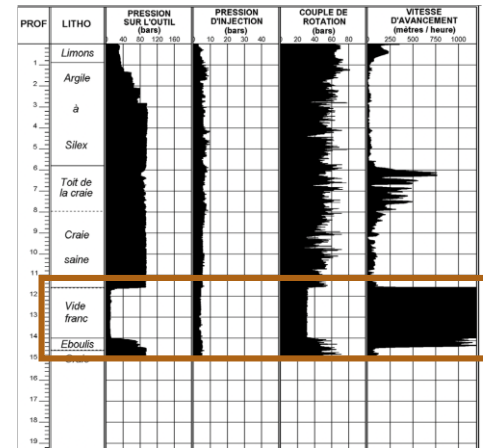
Au cours du sondage, on enregistre les paramètres de sondage ce qui fournit des diagraphies.

Nécessite un étalonnage et une qualification du sondeur et du géotechnicien.

Une interprétation minutieuse est nécessaire.

Plusieurs guides pour l'interprétation :

- LCPC (2010). Paramètres de forage en géotechnique. Méthode d'Essai n°79. 54 pages.
- Forages, sondages et essais in situ géotechniques (2012) - les outils pour la reconnaissance des sols et des roches - Presse des Ponts.



Forage traversant une marnière (76-Cerema)

Sondage destructif avec passage caméra (tube transparent) : détection d'un laminoire (RN 141 - Charente, Cerema, Semm Logging)

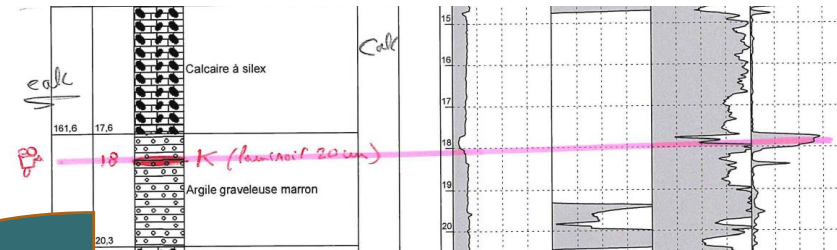


Figure 4 : Profonde ouverture dans le SD2

# 2- INVESTIGATIONS GÉOLOGIQUES

RECONNAISSANCES GÉOTECHNIQUES COMPLÉMENTAIRES – DONNÉES GÉOTECHNIQUES

Auscultation par des moyens vidéo

Passage d'une caméra vidéo au sein des sondages de gros diamètre → aperçu de la cavité, de son étendue et de son état

Nécessité de mettre en place un tubage PVC qui protège et permet le passage d'autres sondes

Technique de vidéoscopie : caméra vidéo couplée à un télémètre laser → Cartographie et diagnostic sommaire



# SOMMAIRE

## 1- Données bibliographiques

- ∨ Données physiographiques
- ∨ Données historiques

## 2- Investigations géologiques

- ∨ Visites de terrain
- ∨ Photo-interprétation
- ∨ Reconnaissances géotechniques complémentaires

## 3- Restitution cartographique



# 3- RESTITUTION CARTOGRAPHIQUE

BASE DE DONNÉES GÉORÉFÉRENCÉES

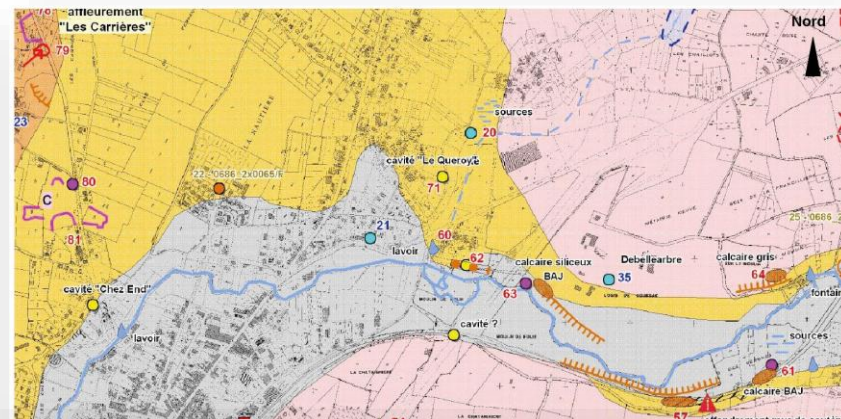
Produire d'une ou plusieurs cartes pour :

- **partager le travail** réalisé avec le maître d'ouvrage et les collectivités
- pour **communiquer** sur les spécificités du territoire étudié
- **préparer** efficacement la phase de **construction de l'aléa** → **vers des cartes de répartition spatiale des critères impliqués**

Réalisation d'une **carte synthétique** « **informative** » regroupant :

- Événements et indices historiques
- Configurations géomorphologiques

Echelle : 1/ 5 000 à 1/10 000



LEGENDE :

10 N° de référence d'événement (voir fiche rapport)

**Désordres d'origine karstique (naturels) :**

- Doline / fosse (dépression localisée)
- Méga - doline (dépression de grande taille)
- Effondrement / fontis
- Cavité connue, visitable - grotte

**Détails hydrologiques :**

- Cours d'eau
- Écoulement (cours d'eau temporaire)
- Source
- Puits (observation de terrain)
- Captage / puits (irrigation) - Source Info-Terre (BRGM) + n° réf.
- Zone de pertes - point d'absorption des eaux superficielles
- Zone humide (écoulement temporaire)
- Mouillère (végétation hygrophile)

**Désordres de surface (non naturels) :**

- Surface remblayée - Dépôt de blocs (ancienne fosse)  
D : décharge sauvage
- Zone de piétinement de bovins - dépression localisée
- Ancien fossé
- Zone d'emprunt / Exploitation / Ancienne carrière  
C : calcaire & chaux  
All : graves alluvionnaires  
A : Argile (briques - tuiles)
- Exploitation minéral de fer

**Détails topographiques :**

- Ressaut topographique (rocher sub-affleurant - géomorphologie)
- Glissement

**Détails géologiques :**

- Affleurement rocheux naturel
- Cailloutis (rochers sub-affleurant)
- Forage - Source Info-Terre (BRGM) + n° réf.

**Détails historiques :**

- Souterrain (ancien refuge)

**Géologie :**

- Alluvions (postglaciaire à Actuel)
- Altérites : argiles rouges et argiles à silex
- Calcaires du Bajocien
- Calcaires du Bathonien
- Limite communale



**Merci de votre attention**

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