



Journée technique CFMS/AGAP du 22 novembre 2019

**« *Regards croisés sur les méthodes de reconnaissance géotechnique et géophysique* »**

## **La Démarche géophysique**

Pierre De Sloovere, PDS Consult – AGAP relations extérieures

# La géophysique c'est quoi ?

**C'est utiliser la physique pour étudier les sols, les roches, les structures massives.**

**Mais encore ?**

**On travaille à distance, pas au contact, donc on travaille avec les champs de forces physiques :**

- **Champs électromagnétiques**
- **Champ de pesanteur et ses déclinaisons**
- **Les forces nucléaires, marginalement**

## **Champs électromagnétiques définis par leur longueur d'onde ou leur fréquence**

- au-dessus du centimètre : ondes électromagnétiques stricto sensu (ondes radio), électrique, polarisation spontanée,
- entre 1 mm et 1 cm : radar (ondes TV -Téléphonie)
- 0,7  $\mu\text{m}$  et 1 mm : radar
- 0,4  $\mu\text{m}$  et 0,7  $\mu\text{m}$  : ondes visibles (lumière) – œil du géologue, géo...
- 10 nm à 400 nm : UV ultra-violet
- 10 picomètres à 10 nm : Rayons X
- < 1 picomètre : Rayonnement nucléaire faible à commencer par les rayons gamma jusqu'au muons

## **Champ de pesanteur et ses déclinaisons**

- Mesure de l'attraction de la pesanteur terrestre : gravimétrie
- Mesure de propagation du champ de contrainte par application d'un effet transitoire : sismique

**L'étude de ces champs n'est utile que s'ils présentent des contrastes reliés au problème géotechnique, géomécanique ou géologique posé !**

## Caractéristiques fondamentales

- La gravimétrie n'est sensible qu'aux déficits ou excès de masse
- La sismique ne dépend que des caractéristiques mécaniques et des contrastes de ces caractéristiques
- Les méthodes électromagnétiques sont toutes liées à une caractéristique intrinsèque du matériau : résistivité, permittivité électrique, ou à un état du matériau : infra-rouge
- **Le monde de l'électromagnétique et celui de la sismique s'ignorent complètement** ; on ne peut mesurer des caractéristiques mécaniques avec de l'électromagnétique et on ne fera pas avec de la sismique la différence entre une argile compacte et un sable présentant la même vitesse de propagation soit quasi le même module élastique
- **Deux méthodes obéissent au loi de propagation** : la sismique et le radar, ce sont les seules méthodes permettant d'obtenir des paramètres géométriques dans les terrains

## Autres questions

- L'émission est elle naturelle ou peut-elle être forcée ? *Non pour la gravimétrie*
- Peut-on en mesurer un effet transitoire, une atténuation ?
- Peut-on en mesurer la dérivée dans le temps ou dans l'espace ?
- Mesure-t-on un scalaire ou un vecteur et connaît-on sa direction ? *Oui si propagation*
- Peut-on mesurer la vitesse de propagation ? *Oui si propagation*
- Peut-on mesurer des fréquences et des variations de fréquence ? *Oui si propagation*

## Questions pratiques

- Peut-on s'étendre sur le site ou est-on confiné à un petit espace ?
- Peut-on mettre suffisamment de capteurs pour mesurer la forme du champ (EM) ou sa vitesse de propagation ?
- Peut-on l'utiliser en forage ou entre forage et surface ?

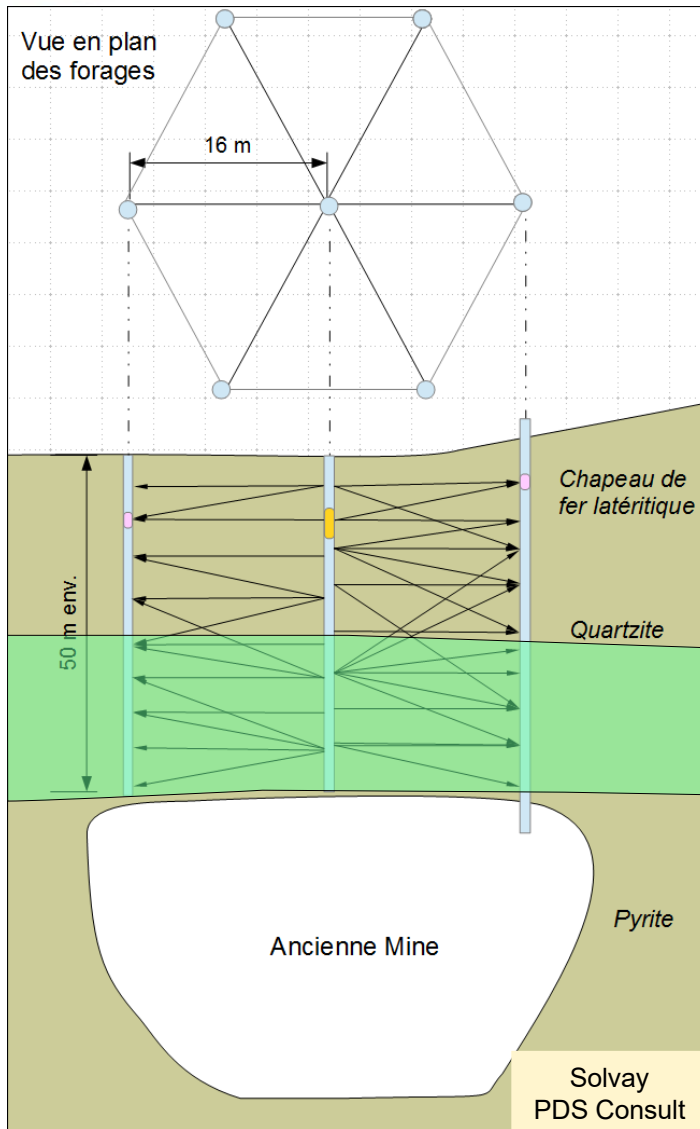
# Démarche géophysique

Elle consiste à prendre en main le problème posé, conjointement avec le décideur.

- Ce que l'on recherche se traduit-il par un contraste physique ?
- Quel est le type de contraste ?
  - Nature du matériau ? Solution a priori électromagnétique
  - Caractéristique mécanique ? Solution a priori sismique
- Le contraste physique est-il lié directement à la méthode que l'on va utiliser ou dépend-elle d'une hypothèse intermédiaire plus ou moins solide ?
- Vu le contexte, quelle méthode précise choisir ?
- Une seule approche est-elle suffisante ?

**Demander à la géophysique de trouver quelque chose, consiste donc à interroger la physique et à estimer quel contraste physique peut permettre de trouver ce « quelque chose ».**

*Il est évident que, ni le géophysicien, ni le géotechnicien ne peuvent seuls répondre à l'ensemble de ces questions ; un dialogue doit s'établir qui souvent ne s'établit que lorsque le problème est urgent et que la solution est à trouver rapidement.*



La mine de fer de Chizeuil (Saône et Loire) devait être foudroyée contre l'avis de Rhône- Poulenc devenue depuis Solvay.

Pour déterminer (ou non a priori) que le toit était stable, on a réalisé 7 forages de 50 mètres en hexagone, permettant de réaliser 18 panneaux sismiques (de type cross-hole)

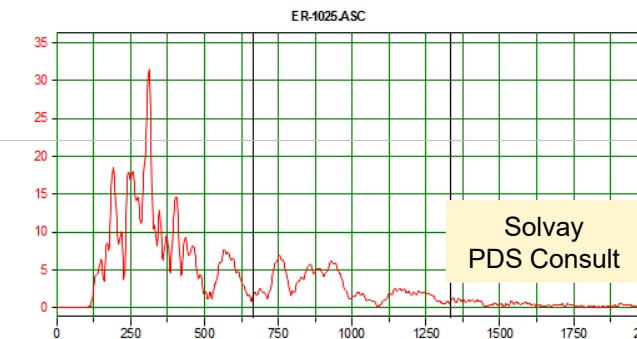
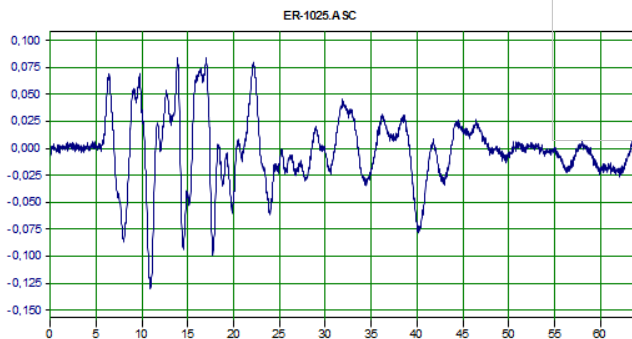
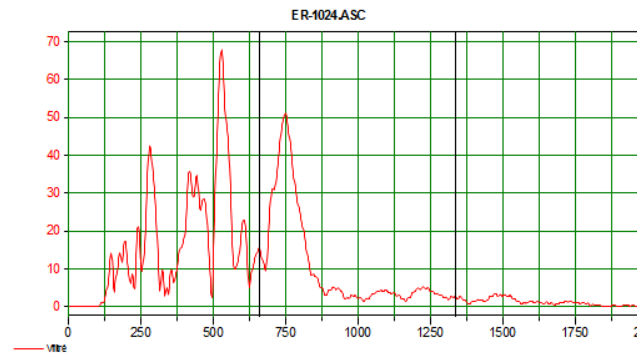
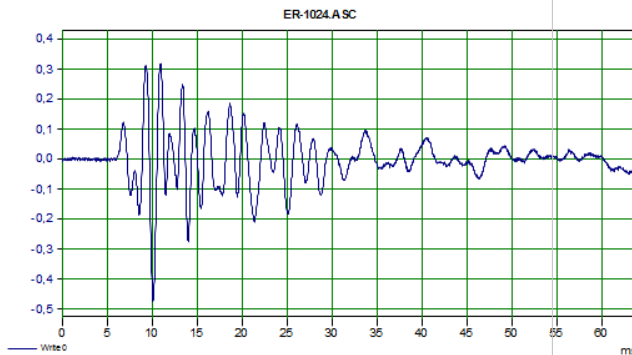
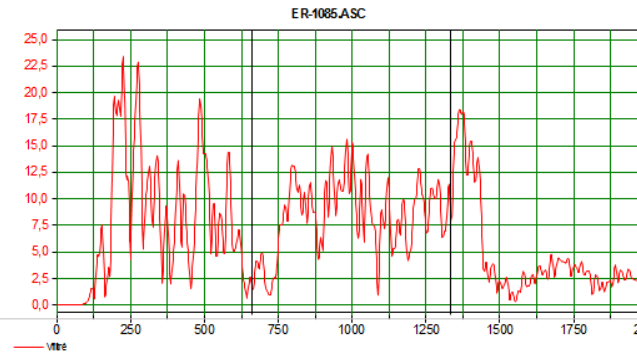
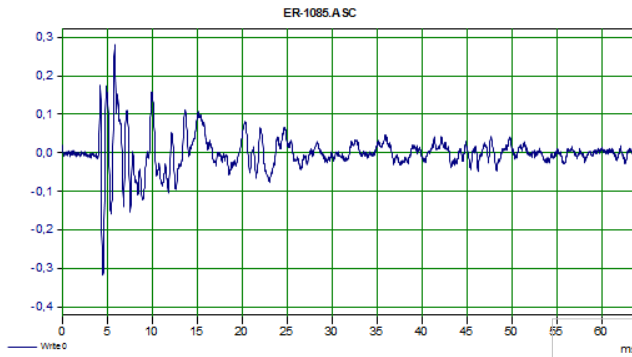
Les résultats de la sismique fréquentielle montrent qu'une voûte existe ou s'est formée sur au moins 15 mètres au-dessus de la chambre d'exploitation.

Au-dessus, la zone est plus fracturée.

Le chapeau de fer latéritique montre parfois une bonne compacité, mais n'est pas homogène.

Les premiers mètres sont plus décomprimés.

1400 signaux sismiques ont été effectués pour obtenir ce résultat sans ambiguïté, tel qu'on peut le voir sur la diapositive « résultats synthétiques »



**2 types de signaux :**  
**temporels à gauche**  
**(0-60 ms),**  
**fréquentiels à droite**  
**(0-2000 Hertz)**

**En haut, signal laissant**  
**passer les fréquences**  
**jusque 1400 Hertz**



**Au milieu, les fréquences**  
**ne passent plus que**  
**jusque 750 Hertz**

**En bas, les fréquences**  
**sont limitées**  
**à 250 Hertz**

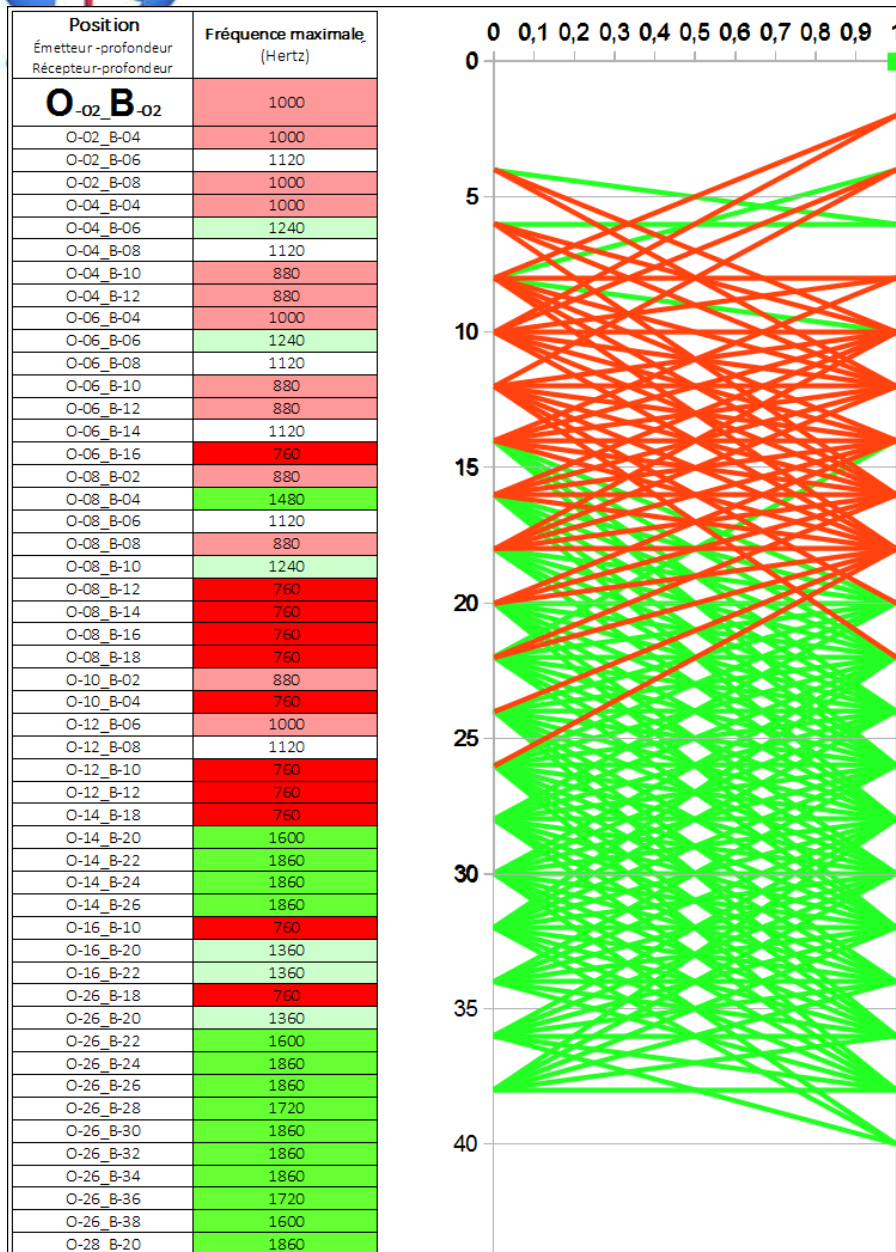
Solvay  
PDS Consult

**On voit que les résultats sont simples à interpréter**  
**dans le domaine fréquentiel**





# CHIZEUIL - Résultats sur un panneau



Les 18 panneaux 6 radiaux, 6 périphériques et 6 formant 2 triangles ont donné les résultats en fréquences maximales visibles à gauche sous forme de tableaux et à droite sous forme de trajets.

Le code de couleur - simplifié à droite - est explicite et sans ambiguïté

Les deux ou trois trajets qui apparaissent en rouge sont tous, et sur tous les panneaux, observés sur des trajets obliques dont la partie haute se situe à moins de 20 mètres de profondeur, c'est à dire dans la zone fracturée.

Sur la diapositive suivante les 18 panneaux interprétés automatiquement avec un traitement unique et identique pour tous montre clairement la voûte saine au-dessus de l'exploitation minière.

**Conclusion : la voûte n'a pas été foudroyée.**



## **Autres exemples**

La même méthode de sismique fréquentielle appliquée en 87-88 aux injections de la ligne C du RER dans Paris avait démontré que les injections ne modifiaient pas les caractéristiques mécaniques du sol.

**Conclusion** : 15 ans après on a réinjecté toute cette ligne.

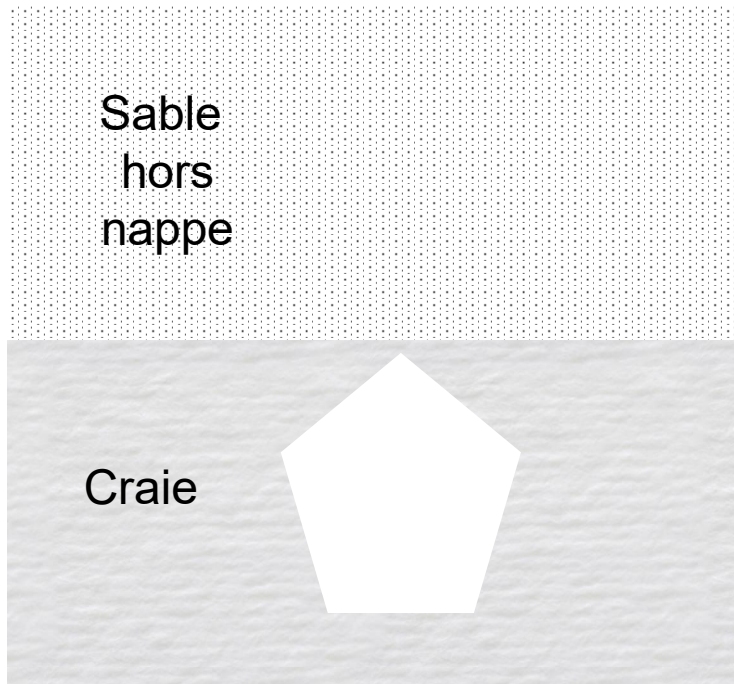
## **Gravimétrie**

*exemple de Pierre Frappin (CPGF)*

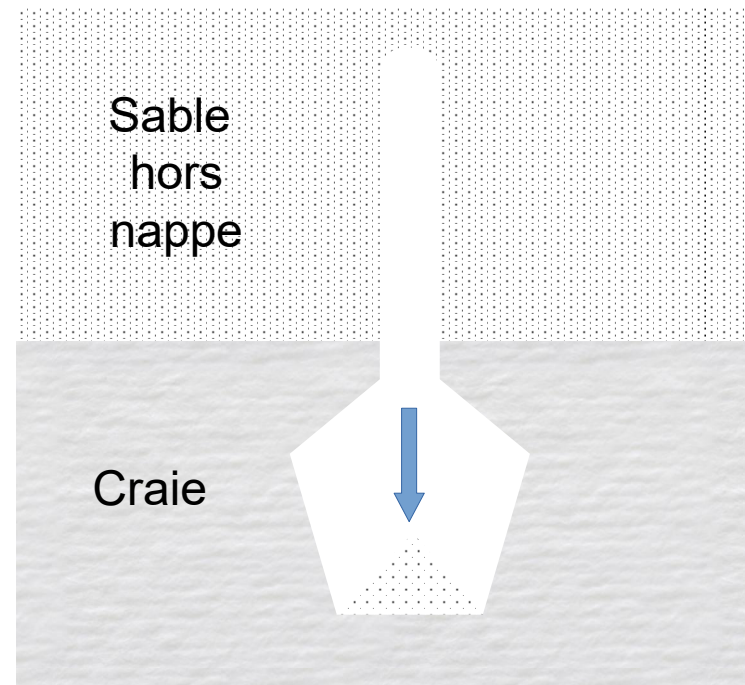
Egalement dans les années 1980, la microgravimétrie appliquée pour le métro de Lyon, rue de Bourgogne entre la gare de Vayze et la Saône, a mis en évidence une série de vides affectant le tracé du métro dans un contexte difficile nécessitant de nombreuses corrections dues à la présence d'immeubles .

**Conclusion** : le tracé de la ligne a été modifié pour éviter la zone de vides

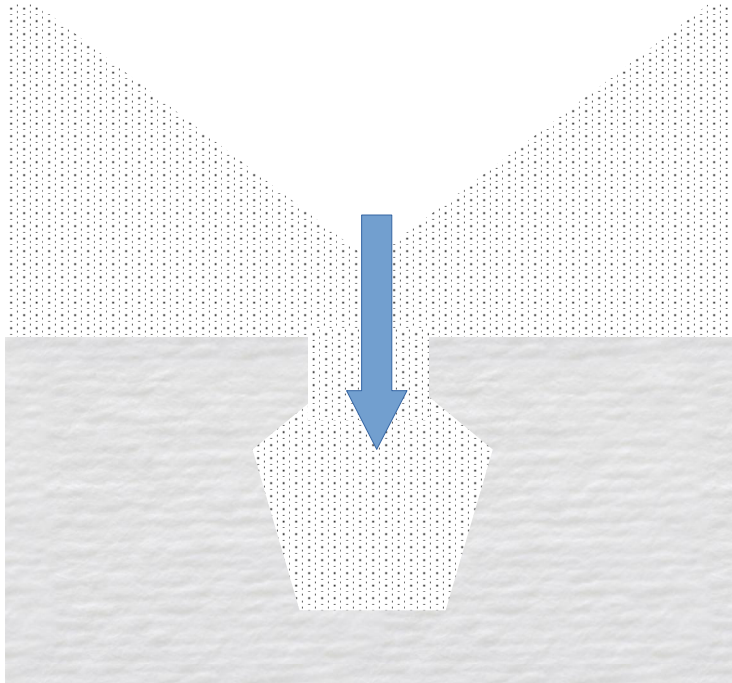
**1**  
**cavité dans la craie marnière ?**



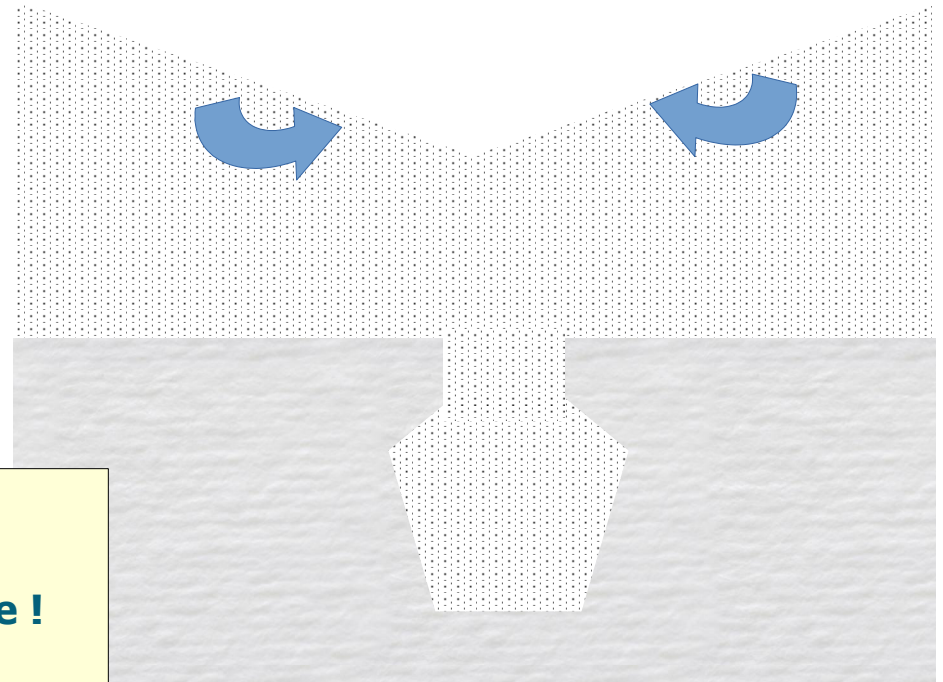
**2**  
**formation d'un fontis**



**3**  
**Eboulement**



**4**  
**Etude gravimétrique dans  
et autour de l'éboulis,  
corrections de terrain  
indispensables mais faites  
en modélisant : R.A.S.  
plus de vide sous l'éboulis**



**5**  
**nouvel éboulement  
par instabilité de la pente !  
La géophysique avait  
géotechniquement tort !**

## Ne concluons pas, mais approfondissons

- La géophysique peut amener des apports parfois fondamentaux à des problèmes, mais s'ils ne sont pas posés à des géophysiciens....
- La géophysique pourrait souvent faire gagner du temps et de l'argent sur des projets notamment grâce à sa faculté d'interpolation entre zones connues
- Connaître la démarche du géophysicien : Quel problème ? Quel contraste de champ ? Quel contexte ? Cherche-t-on une réponse sur une caractéristique mécanique ou sur une nature de terrain ? n'est pas l'apanage du géophysicien, il est commun au géophysicien et au géotechnicien
- Il ne faut pas demander à la géophysique de résoudre des problèmes qu'elle ne peut résoudre, mais c'est aussi du ressort du géophysicien de ne pas accepter ni de proposer des méthodes qui n'ont qu'une faible chance d'aboutir,
- Les difficultés viennent essentiellement du manque de concertations dû :
  - Aux appels d'offre souvent trop peu imaginatifs
  - Ce n'est qu'en cas de problème que l'on songe à la géophysique
- Il me semble qu'il faudrait autant que les géotechniciens participent à la critique des documents que l'AGAP produit que les géophysiciens parlent de géophysique au sein du CFMS
- .....