



# Cerema

## Partage d'expérience sur la gestion des signaux faibles

Retour d'expérience sur les mouvements de  
terrain

Laurent Dubois

# Mouvements de terrain

Expérience de suivis ou de surveillances opérationnelles au Cerema de plus de 40 ans :

- glissements de terrain (sols argileux / roches tendres)
- instabilités de grande ampleur de versants rocheux : glissements (La Clapière) et fauchages (Séchilienne)
- chutes de blocs et éboulements rocheux
- effondrements et affaissements liés à des carrières souterraines abandonnées ou en activité



# Mouvements de terrain

Cas général avant ou après un évènement :

- peu d'informations quantitatives : recherche documentaire (articles, BD, cartes, archives, comparaison de photographies multi-dates, photographies aériennes, témoignages, etc.)
- observations visuelles de signes naturels d'instabilité (géologie, géomorphologie, hydrogéologie)
- évaluation qualitative (« à dire d'expert ») du stade d'évolution du mouvement de terrain
- éventuellement reconnaissances lourdes (sondages, géophysique) et instrumentation



Pendant une « crise » liée à un mouvement de terrain de grande ampleur connu menaçant des enjeux :

- systèmes de surveillance opérationnelle : exploitation d'une grande masse d'informations quantitatives (Séchilienne : 140 capteurs interrogés toutes les 15 minutes) et qualitatives

Chambon (38)



25/06/2015 (12 h)



04/07/2015 (16 h)



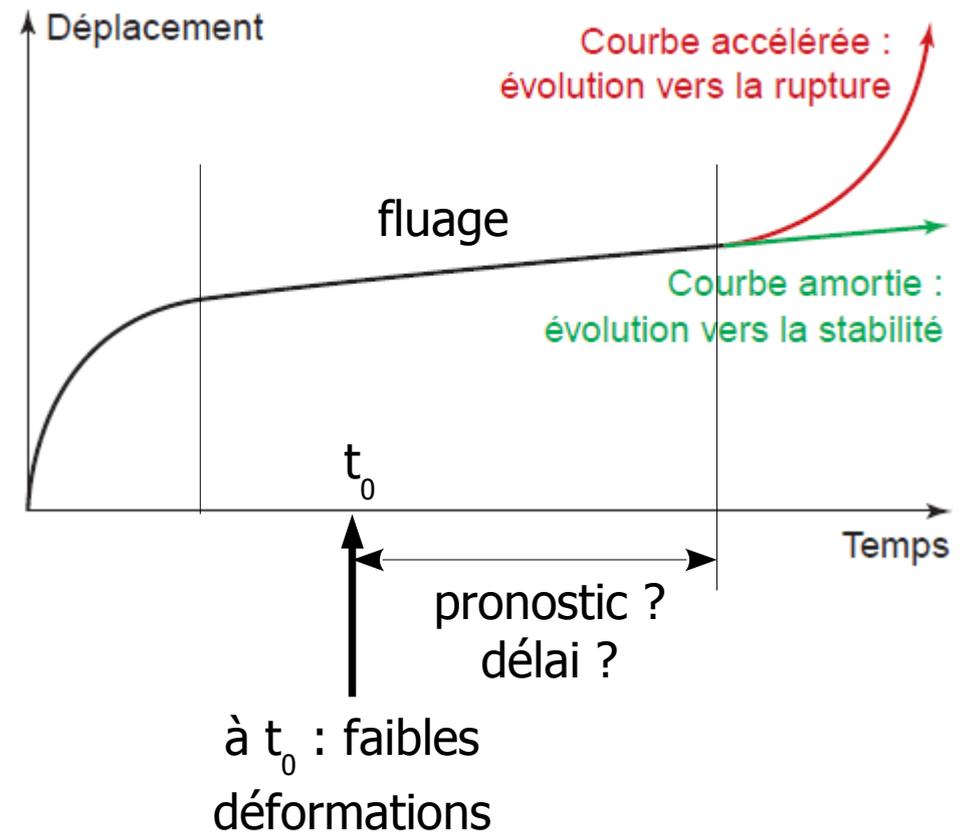
29/07/2015 (12 h)

# Évolution d'un mouvement de terrain

## Succesion de phases :

- pré-rupture : déformations très lentes de fluage (sous compression ou cisaillement), fatigue, vieillissement, viscosité, très souvent en lien avec la présence d'eau (phase très longue : jusqu'à plusieurs dizaines d'années, voire plus)
- rupture : phénomène brutal, parfois mécanisme de rupture progressive
- post-rupture (glissements de terrain et fauchages) : existence de réactivations en fonction des conditions piézométriques (et donc climatiques)

## Évolution d'une cavité souterraine



# Pourquoi instrumente-t'on ?

Plusieurs objectifs sont possibles :

- **améliorer la connaissance du phénomène géologique** → mécanisme de rupture, extension spatiale, volume, influence des facteurs externes (précipitations, température, fonte de neige, *etc.*)
- **améliorer la fiabilité de l'évaluation à « dire d'expert »** → décision de réaliser ou non des travaux de protection
- **différer la réalisation de travaux de protection** → coût élevé ou recherche d'une meilleure période pour le chantier
- **suivre le mouvement pendant la durée d'un chantier de travaux de protection** → puis arrêt (instrumentation provisoire)
- **suivre l'efficacité de travaux de confortement / stabilisation** → vérification des hypothèses de dimensionnement

# Pourquoi instrumente-t'on ?

Plusieurs objectifs sont possibles :

- **surveiller** → pour les sites à forts enjeux :
  - pronostiquer la rupture d'une instabilité parfaitement identifiée avec un préavis de quelques jours par extrapolation de mesures de déplacement (surveillance en temps réel)
  - intégrer la surveillance dans un processus de décision (mesures d'urgence dans les jours ou les heures précédant une situation à risque afin de protéger la population exposée et minimiser les dommages)

Plusieurs difficultés : quelles grandeurs physiques ? quels seuils d'alerte et/ou d'alarme ? combien de temps (risque de perte de mémoire) ? quelles fréquences ? quels coûts ? quels critères d'arrêt ? comment intégrer dans des dispositifs globaux de gestion de la sécurité et de la circulation en temps réel ?

# Quelques cas d'illustration

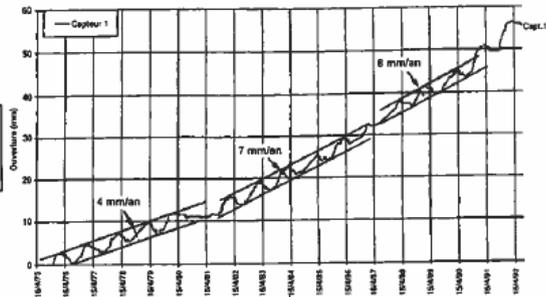


# Des réussites ...

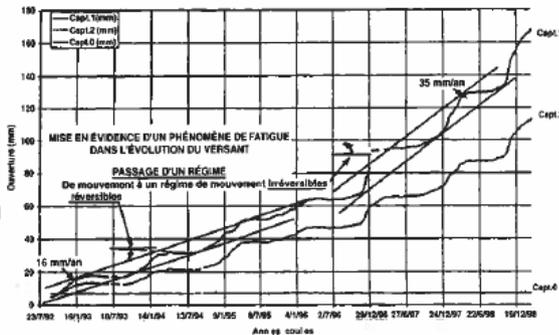
## Exemple : La Perrière (73)

- schistes et grès
- volume du compartiment instable avec fracture arrière : 600 m<sup>3</sup>
- instrumentation en 1975, rupture le 24 mars 1999 (après un processus de préparation et de développement s'étendant sur plusieurs décennies)
- 2 capteurs de déplacement (en continu à partir de 1992)
- accélération progressive : de 4 mm/an à la fin des années 1970 à 35 mm/an à la fin des années 1990
- composante cyclique régulière et réversible corrélée à la température moyenne mensuelle : ouverture en période hivernale, fermeture en période estivale

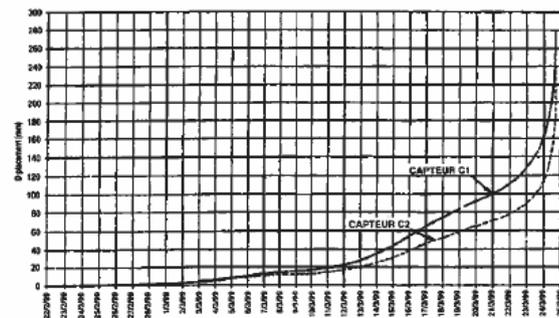
PITON DE LA BECQUA  
-COMMUNE DE LA PERRIÈRE (73)  
Evolution de l'ouverture des capteurs (mm)  
1975/1992



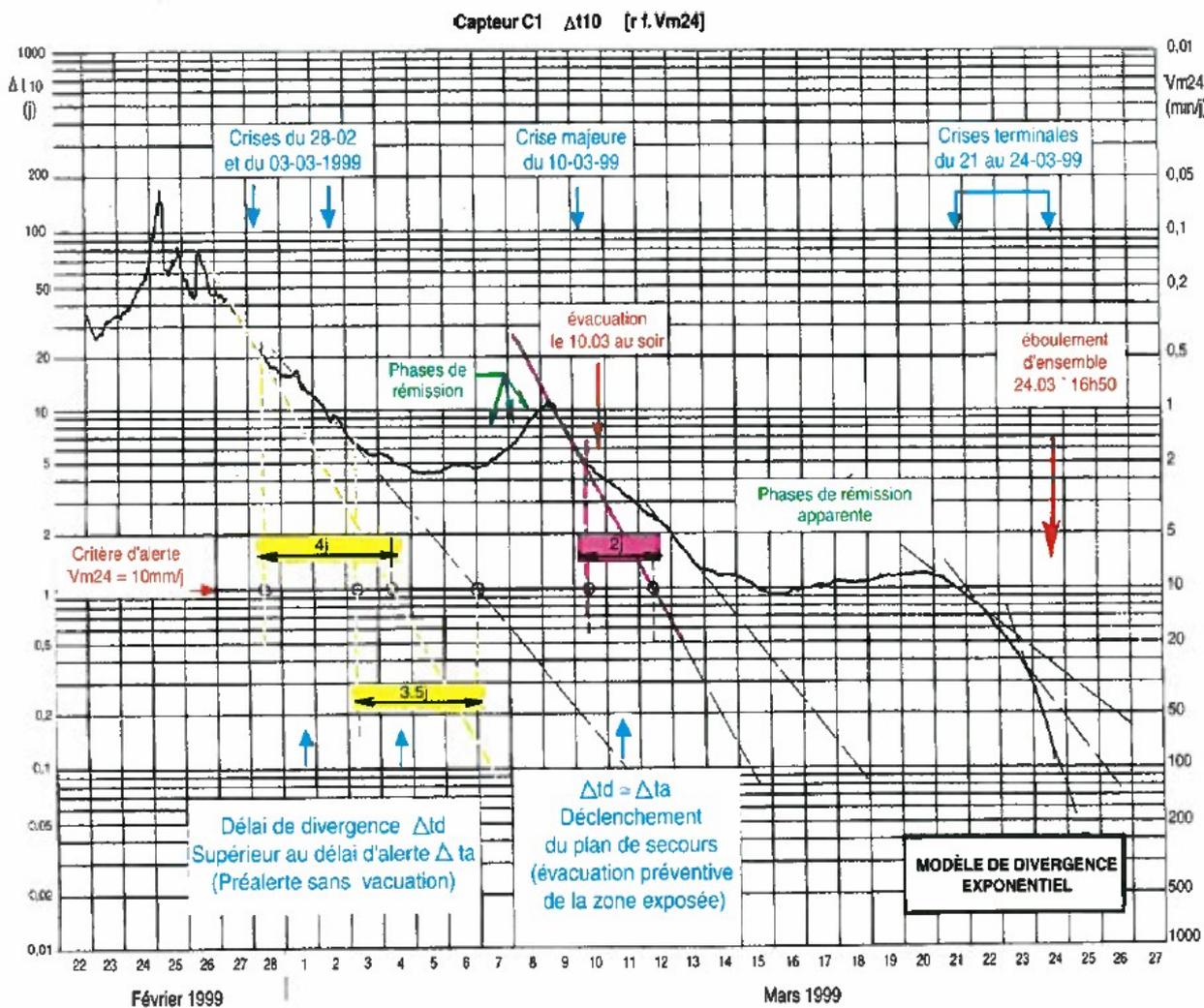
PITON DE LA BECQUA  
-COMMUNE DE LA PERRIÈRE (73)  
Evolution de l'ouverture des capteurs (mm)  
1992-28/02/1999



PITON DE LA BECQUA  
-COMMUNE DE LA PERRIÈRE (73)  
CRISE TERMINALE



# Des réussites ...



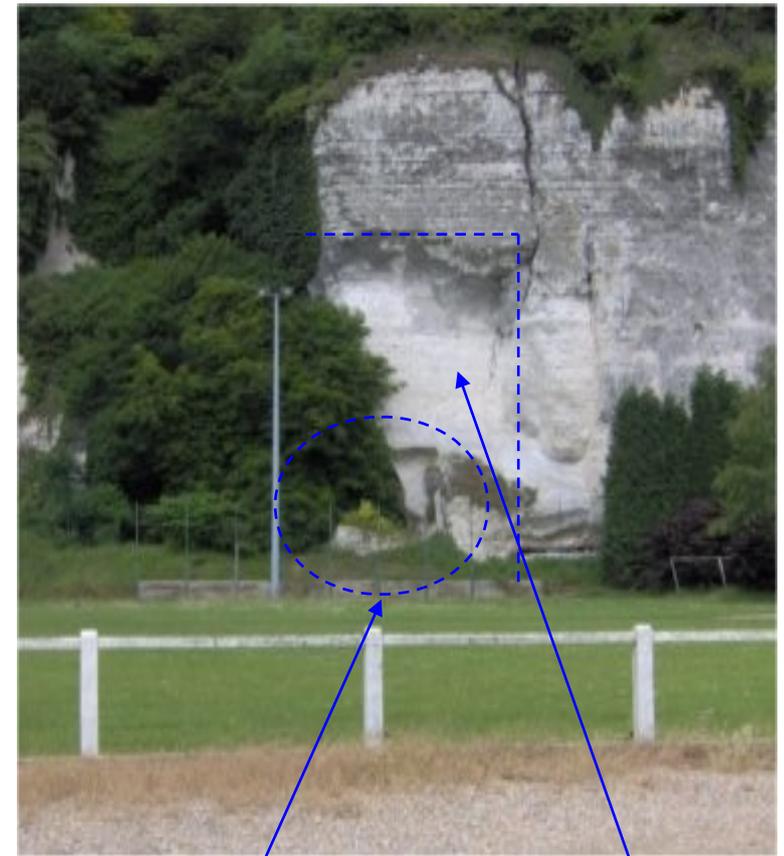
## Exemple : La Perrière (73)

- crise terminale
- variable retenue :  $Dt_{10} = 10 / V_{m24}$  avec  $Dt_{10}$  en j et  $V_{m24}$  en mm/j
- évaluation toutes les 15 minutes (modèle de pronostic glissant)
- représentation graphique sous la forme d'une courbe semi-logarithmique
- seuils de pré-alerte et d'alerte (éboulement imminent) fixés à l'avance à 1 et 10 mm/j
- évolution chaotique : 2 phases de rémission et 3 phases d'accélération brutale

# ... et des échecs

## Exemple : colonne à Canteleu (76)

- hauteur de la falaise : 30 à 32 m
- craie à silex du Sénonien (craie du Seaford) : craie fine, tendre et poreuse (gélive)
- volume de la colonne délimitée par 2 fractures ouvertes : 2500 à 3000 m<sup>3</sup>
- sommet en surplomb de 5 m
- étude de stabilité (1984) : « Le centre de gravité se situe légèrement à la verticale de la surface de base de la masse. Cette dernière peut donc être considérée comme stable dans les conditions actuelles. »
- période d'auscultation : octobre 1984 - décembre 1988 (1 mesure manuelle tous les 15 j)



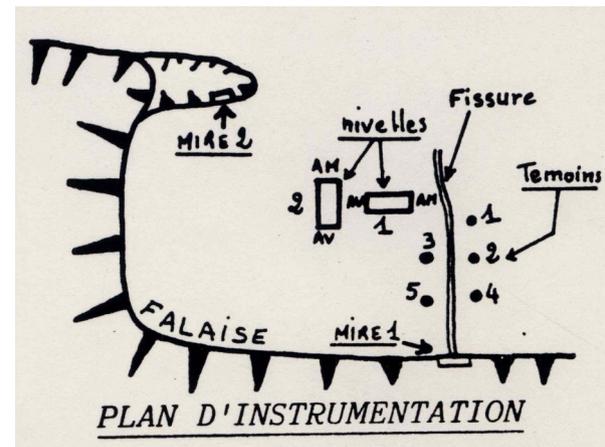
éboulement en  
pied en 1997

rupture du pied de  
panneau avant  
octobre 1984

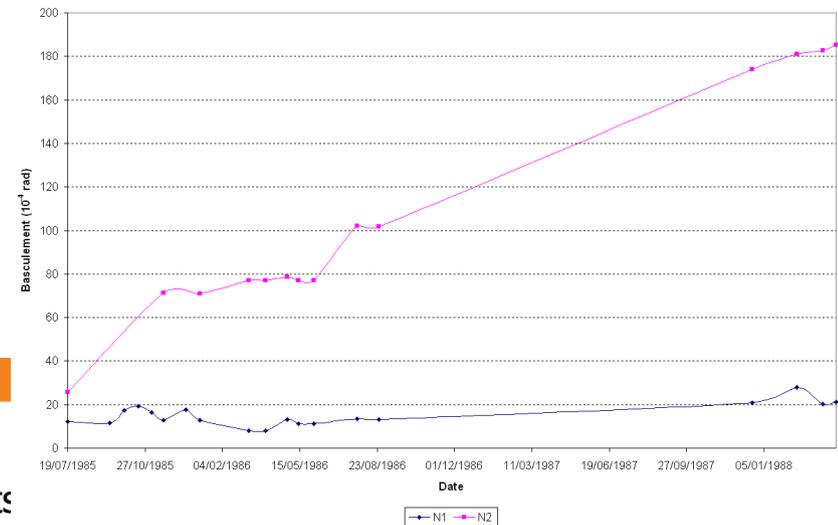
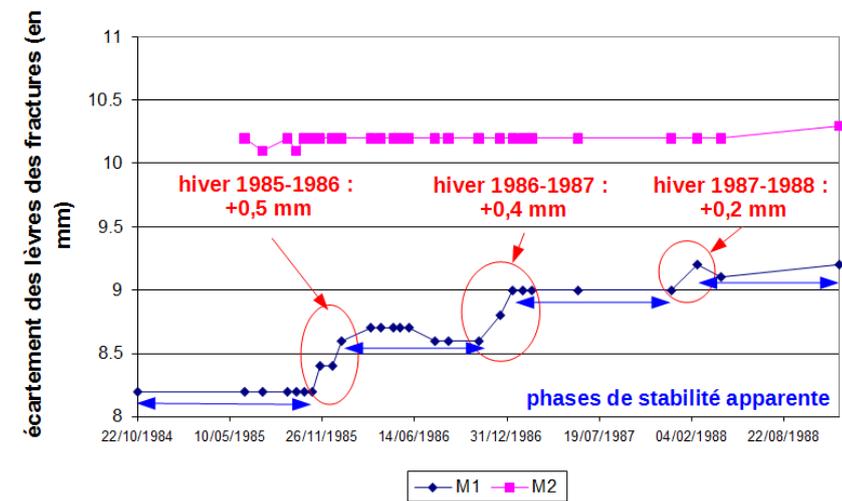
# ... et des échecs

Exemple : colonne à Canteleu (76)

- résultats des mesures :
  - fissuromètre M1 : mouvements irréversibles, mais ouverture inférieure à 2 mm en 4 ans (seuil initialement retenu) → paliers liés aux cycles climatiques
  - nivelle N1 : léger mouvement de basculement
  - nivelle N2 : mouvements irréversibles de basculement vers l'aval (4 à  $6 \cdot 10^{-4}$  rad par mois en moyenne entre juin 1985 et décembre 1988)
- décision : arrêt de l'auscultation en décembre 1988
- diagnostics ultérieurs en 1991, 1994, 1997 et 1999



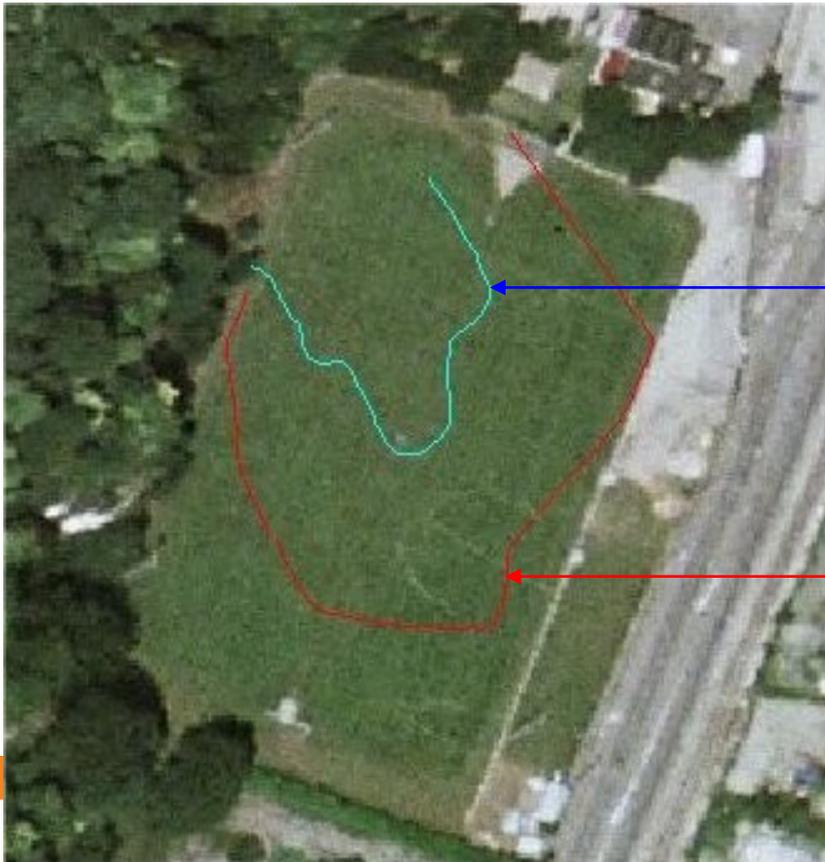
nivelle



# ... et des échecs

## Exemple : colonne à Canteleu (76)

- éboulement le 2 février 2006 18 ans après l'arrêt de l'auscultation (phase de préparation sur de nombreuses années)



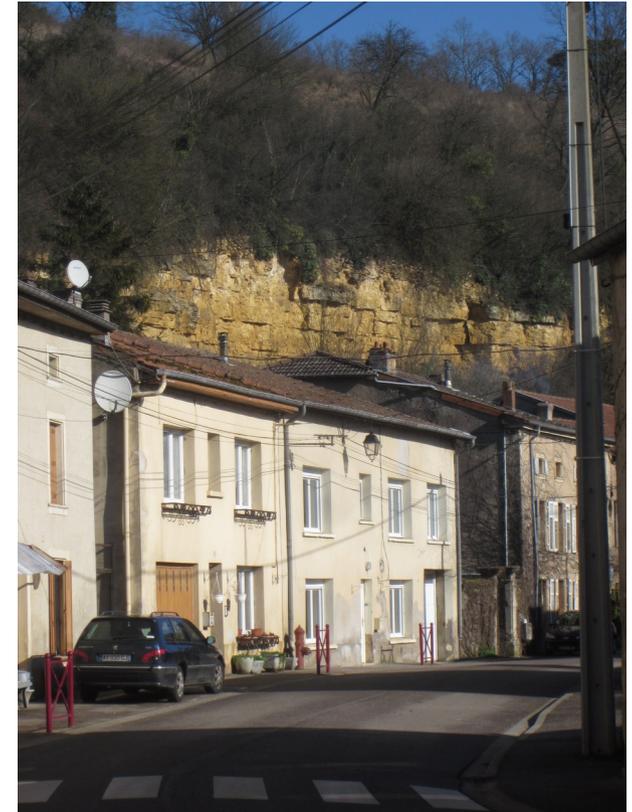
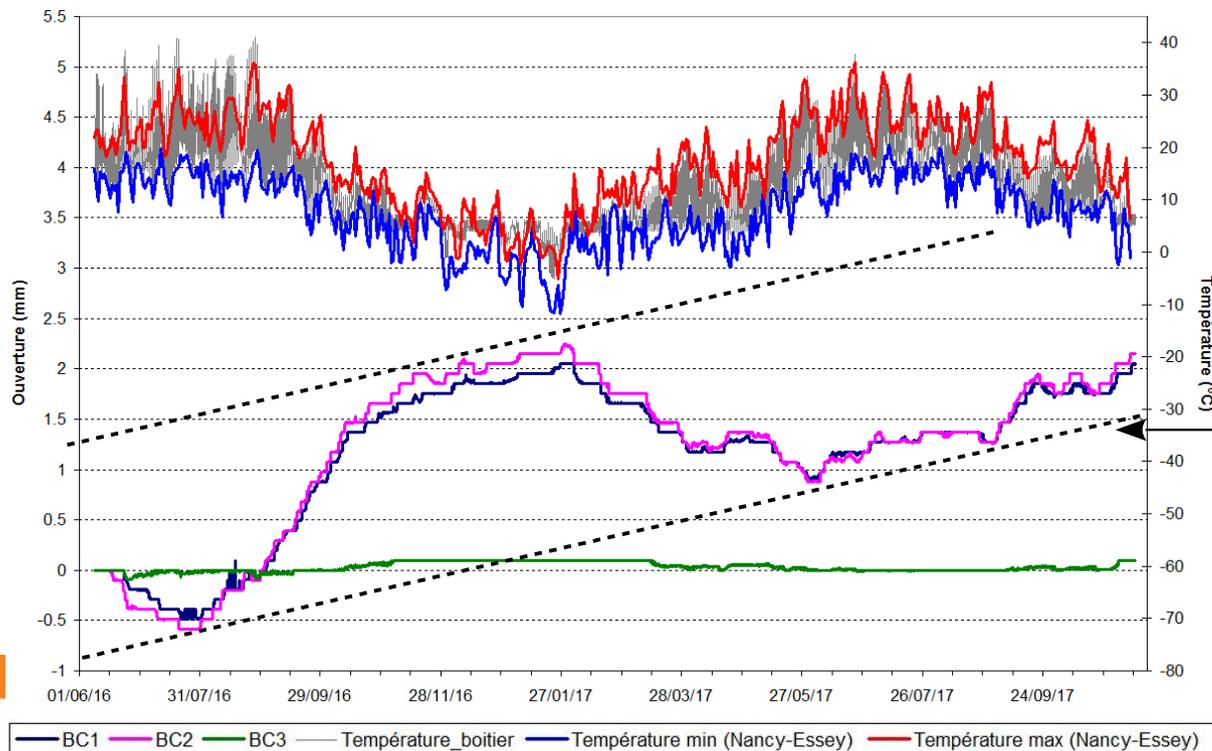
limite de propagation de la quasi-totalité de l'éboulement

limite de propagation des projections de pierres et de petits blocs

# Exemples récents

## Exemple : Meurthe-et-Moselle (54)

- hauteur de la falaise : 20 à 25 m
- calcaires fracturés (colonnes de quelques m<sup>3</sup>)
- surveillance débutée en juin 2016 :  
3 capteurs, 1 mesure toutes les 15 minutes

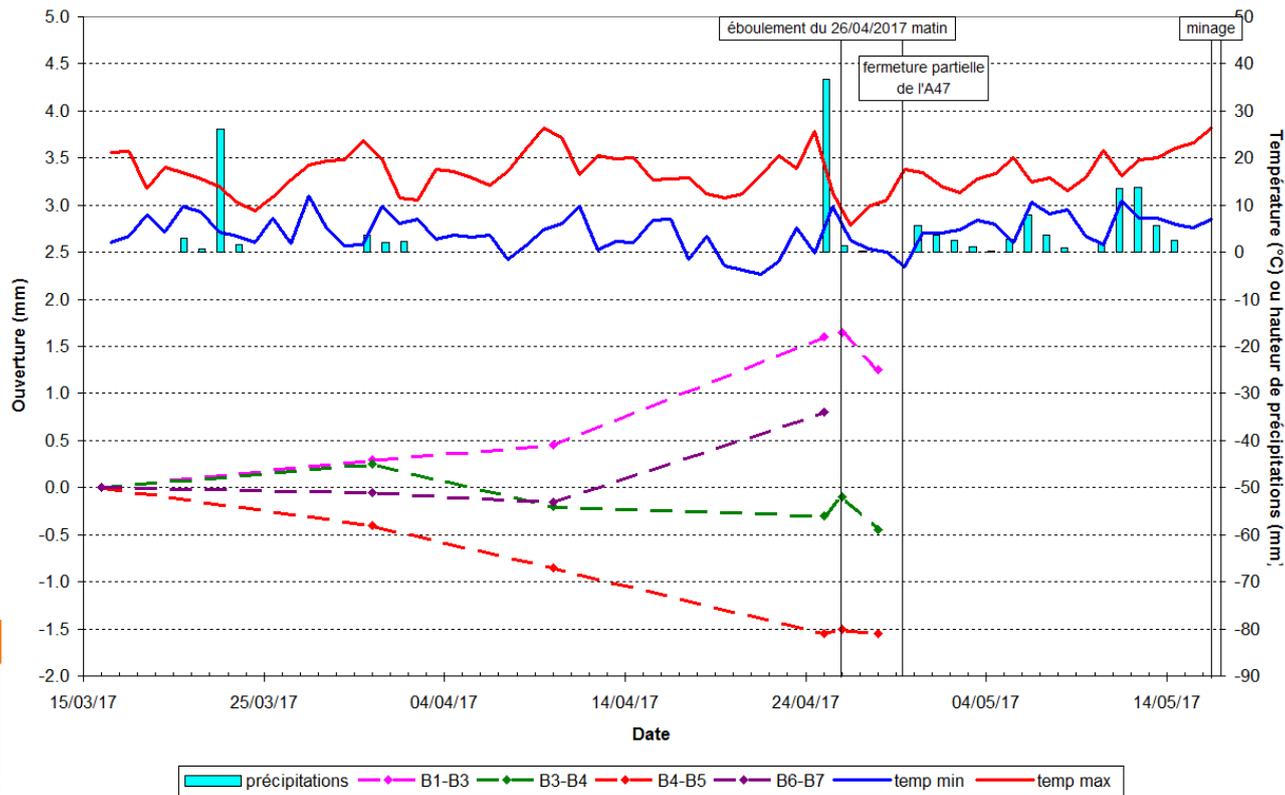


→ BC1+BC2 : composante régulière irréversible (+1,5 mm/an) + composante cyclique saisonnière réversible ( $\pm 2$  mm)  
→ confirmation du caractère instable du compartiment instrumenté : aléa « moyen à court terme » à « très élevé à moyen terme »

# Exemples récents

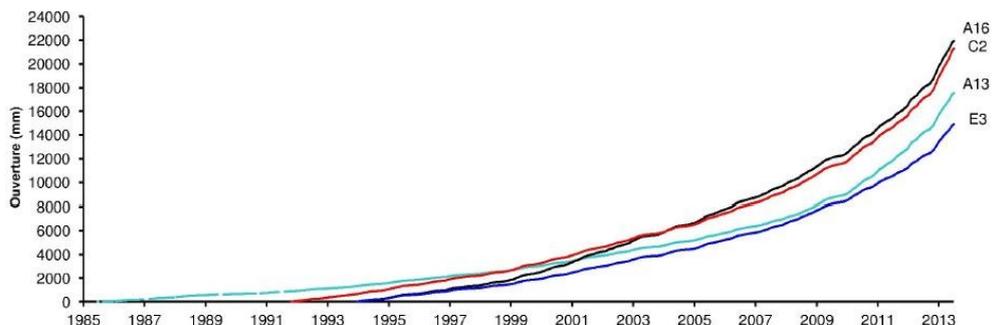
## Exemple : La Grand'Croix (42)

- hauteur de la falaise : 20 m
- Houiller : schistes / grès / conglomérats / charbon
- compartiment de près de 200 m<sup>3</sup> au dessus de l'A47 découvert le 07/12/2016 (fracture arrière)
- début du suivi : mars 2017, 1 mesure manuelle tous les 15 jours

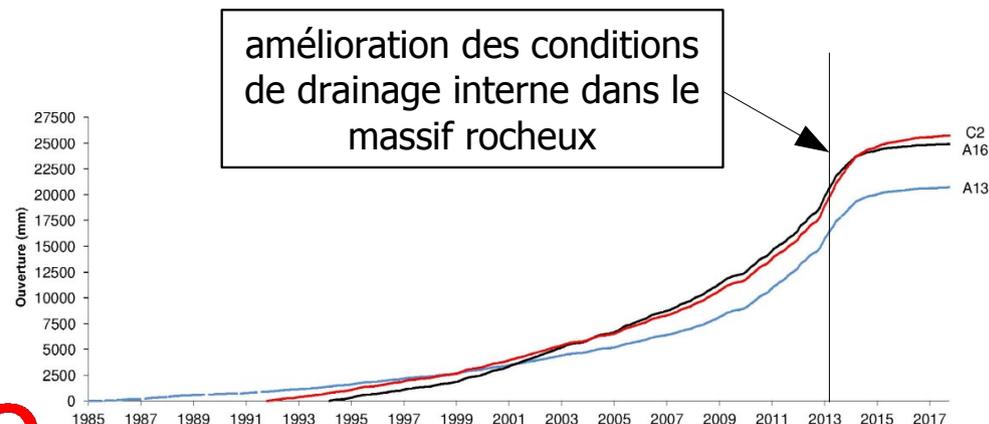
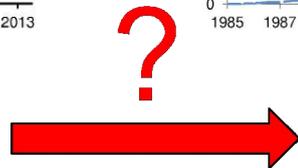


# Grands mouvements de versants

Deux exemples le long de la RD1091 (38) : Ruines de Séchilienne (fauchage suivi depuis 1985)



fin juin 2013 : 270 à 420 cm/an



fin septembre 2017 : 10 à 20 cm/an avec chute brutale de la sensibilité aux apports d'eau

ISÈRE / RISQUES NATURELS

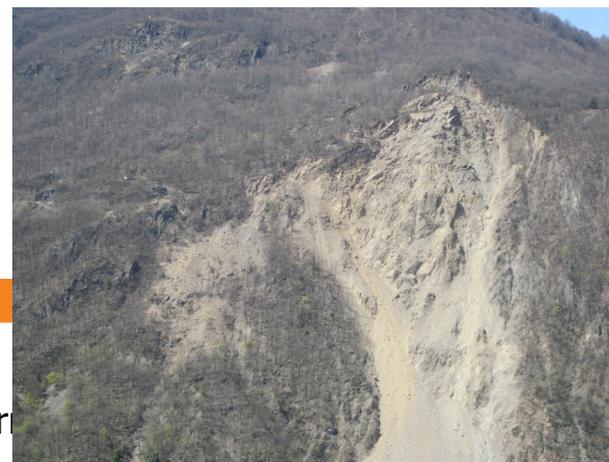
L'effondrement des Ruines de Séchilienne prévu dans les deux ans



Alors que le site devient de plus en plus sensible, la Préfecture de l'Isère et les experts affichent une assurance sans faille...

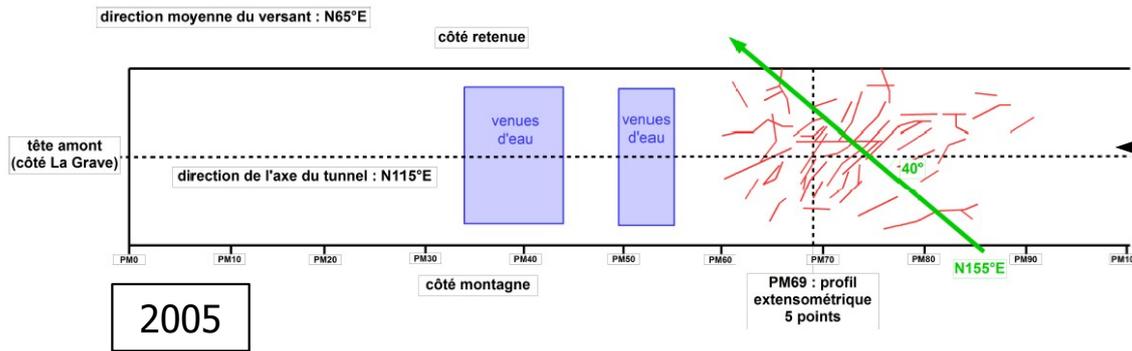
commission CLAIRS du 25 juin 2013 (Dauphiné Libéré)

le 28/06/2013 à 08:03

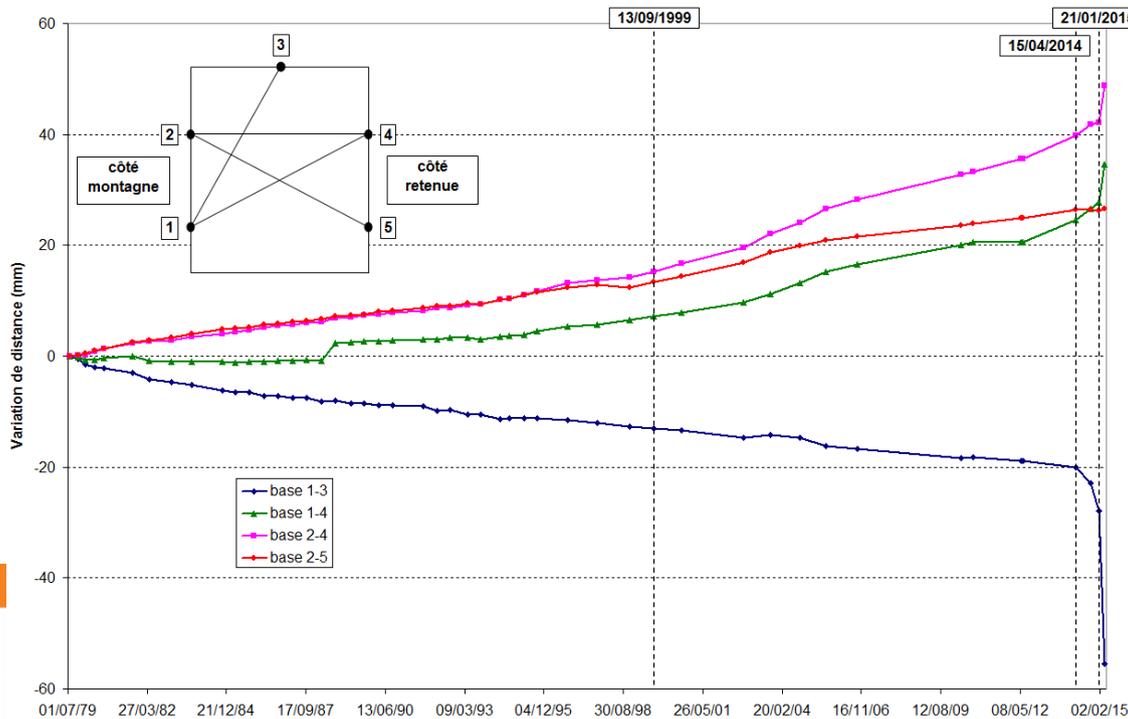


# Grands mouvements de versants

Deux exemples le long de la RD1091 (38) : grand tunnel du Chambon (fluage suivi depuis 1979, puis glissement en 2015)



10/04/2015 : décision de fermeture du tunnel par CD38  
 14/04/2015 : soutenance de la thèse de Lionel Causse « Analyse et modélisation des interactions géomécaniques entre tunnels et versants instables » : aide à l'interprétation



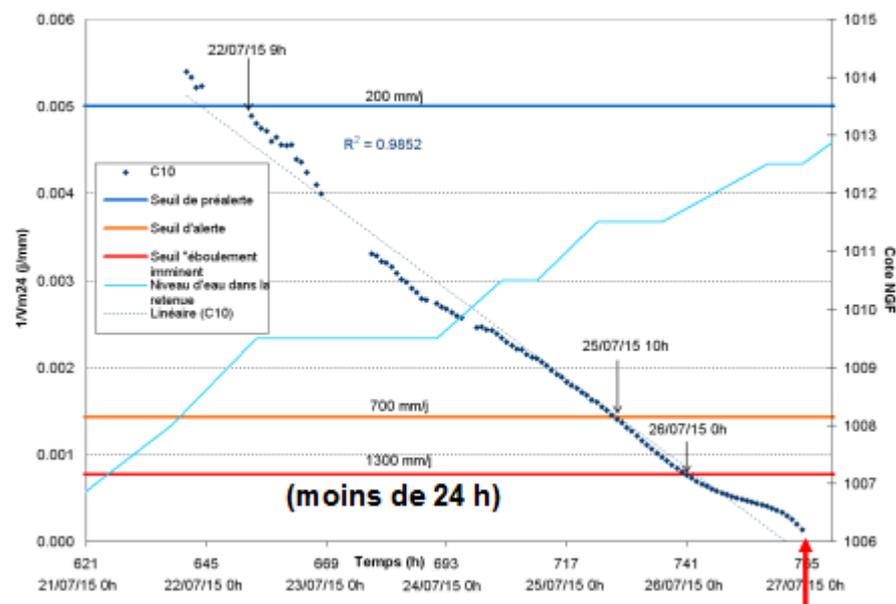
s de terrai



# Grands mouvements de versants

Deux exemples le long de la RD1091 (38) : grand tunnel du Chambon (fluage suivi depuis 1979, puis glissement en 2015)

Vitesses maximales :  
C2 : 2,5 m/j (26/07/2015 à 18h30)  
C10 : 7,5 m/j (26/07/2015 à 23h30)  
puis absence de mesures



dernier contact avec la Préfecture :  
rupture brutale attendue dans la  
seconde partie de la nuit

Juillet 2015 : gestion de la crise

## Tunnel du Chambon : ils ont envisagé de détruire la montagne à coups de missile

Mercredi 01 juillet 2015 à 06h00 [0 commentaire](#)

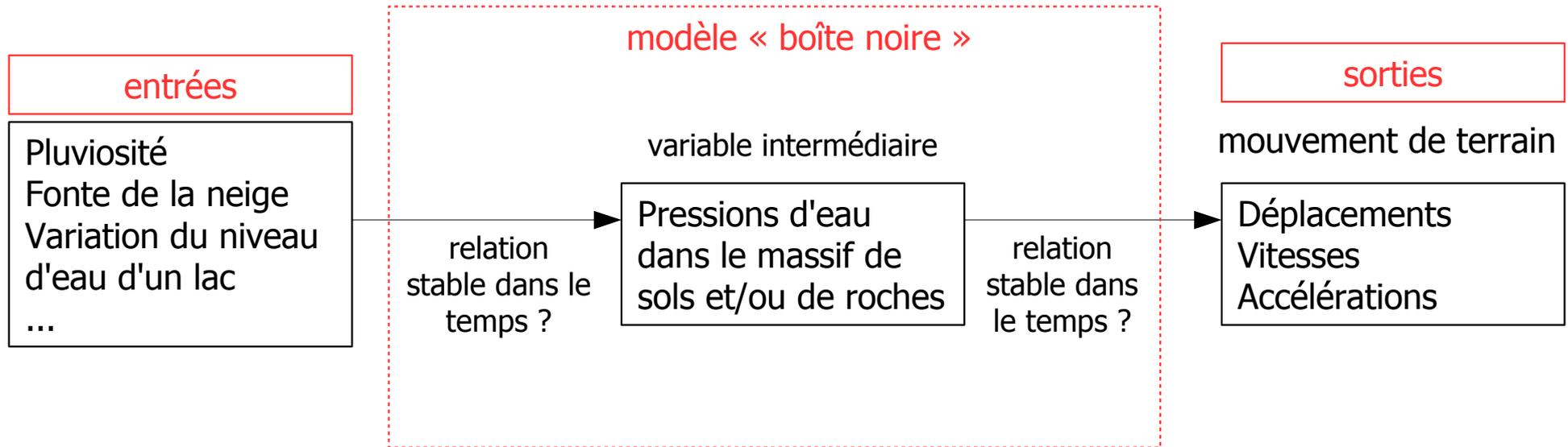
Depuis le mois d'avril le tunnel du Chambon, entre l'Isère et les Hautes-Alpes, est bloqué à cause du risque d'effondrement qui pèse sur l'ouvrage. Un glissement de terrain situé au-dessus a interrompu les travaux et plusieurs solutions ont été envisagées pour accélérer les choses, notamment l'envoi de missiles pour purger la zone !



# Recommandations

Quelques enseignements :

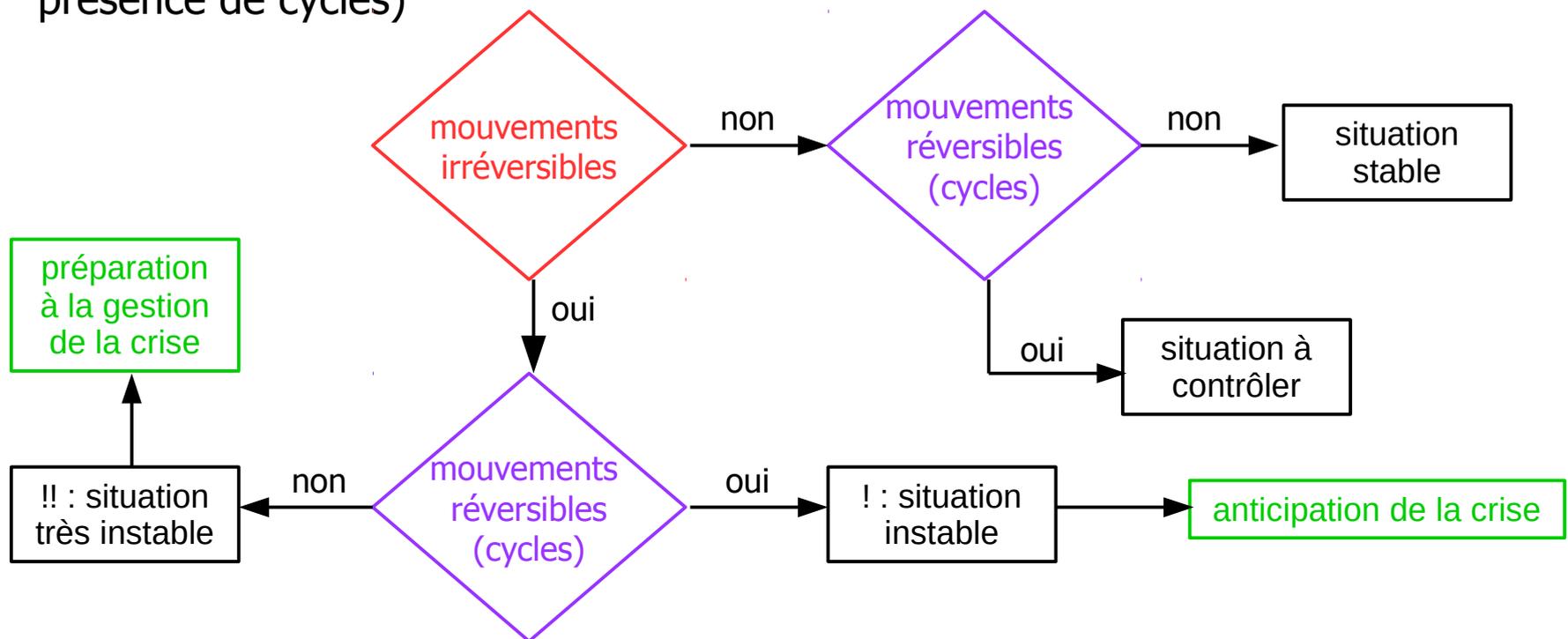
- nécessité d'une réactualisation en continu de la connaissance du phénomène géologique par les données de l'instrumentation → limites des modèles de type « boîte noire » (entrées / sorties sans prise en compte ou compréhension des phénomènes géomécaniques)
- nécessité d'une identification fiable des facteurs externes d'influence : température, pluviosité, fonte de la neige, variation du niveau d'eau d'un lac, *etc.*



# Recommandations

## Quelques enseignements :

- prise en compte des phénomènes géologiques *in situ* dépendant du temps (fluage, vieillissement, fatigue, viscosité, rupture progressive, *etc.*) : mauvaise connaissance, d'où la pertinence d'un suivi instrumental pour détecter d'éventuels changements de comportement d'un mouvement de terrain (paliers croissants, présence de cycles)



# Recommandations

## Quelques enseignements :

- en fonction des objectifs poursuivis lors de la décision d'une instrumentation, de bonnes connaissances en géologie / géotechnique / instrumentation / retours d'expérience doivent permettre d'optimiser et fiabiliser les systèmes à mettre en place :
  - type, nombre et localisation des capteurs
  - valeurs seuils
  - fréquence des mesures
  - synthèse de données de qualité hétérogène et de natures diverses : géologie / géotechnique / hydrogéologie / géophysique / géomorphologie
  - interprétation / analyse critique des mesures : informations précises sur le stade d'évolution du mouvement, pronostics de rupture à échéance de quelques jours
- capitaliser : REX, BD (géorisques), cartes, articles, *etc.*



# Cerema

## Merci de votre attention

Laurent Dubois  
Cerema Centre-Est  
Département Laboratoire de Lyon  
[laurent.dubois@cerema.fr](mailto:laurent.dubois@cerema.fr)

[www.cerema.fr](http://www.cerema.fr)