



Amélioration de la connaissance de l'instabilité

Méthodes trajectographiques pour déterminer la zone d'impact dans le cas de versants sous-cavés

**Franck Bourrier**

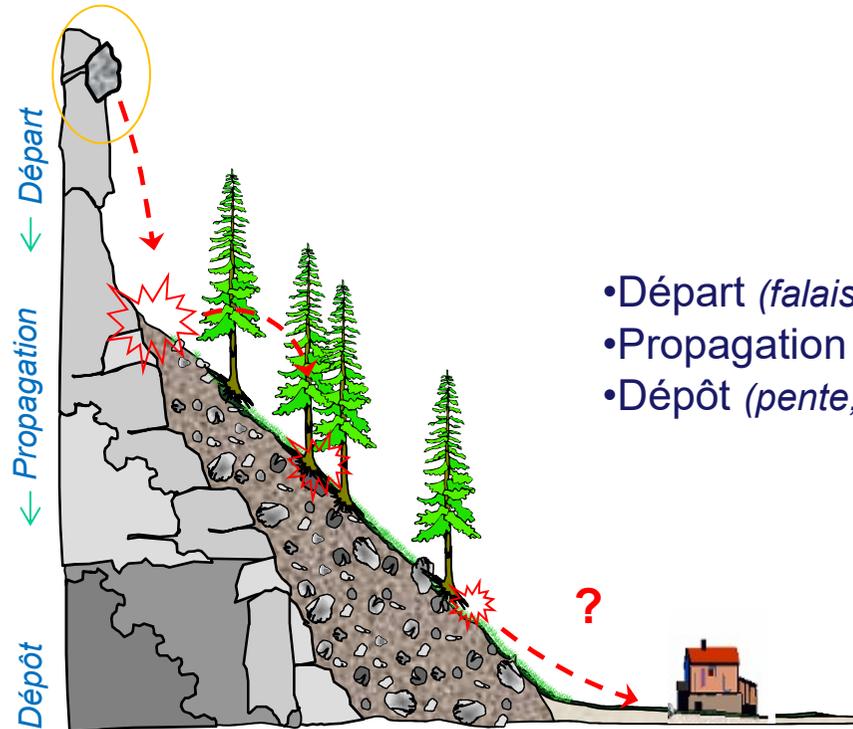
***Chargé de recherche - Irstea***

17 octobre 2019



# Contexte général

## Chute de bloc



- Départ (*falaise, pente*)
- Propagation (*pente*)
- Dépôt (*pente, structures de protection, enjeux*)



$$0.1 \text{ m}^3 < V_{\text{bloc}} < 100 \text{ m}^3$$

- Pas d'interactions entre les blocs (quasiment)



# Caractérisation de l'aléa de propagation

## Différentes approches possibles

### Objectifs

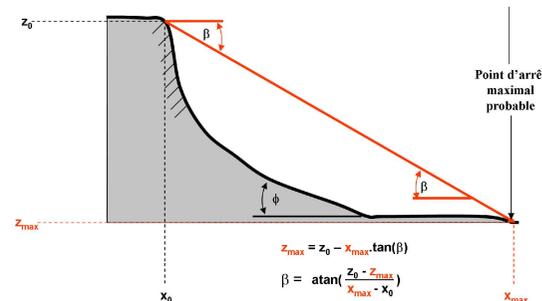
- Identifier les zones atteintes par les blocs
- Caractériser l'aléa (fréquence et intensité)
  - en tout point du site d'étude (zonage de l'aléa)
  - au niveau des enjeux (calcul de risque)
  - au niveau des ouvrages (dimensionnement des protections)

### Approches possibles

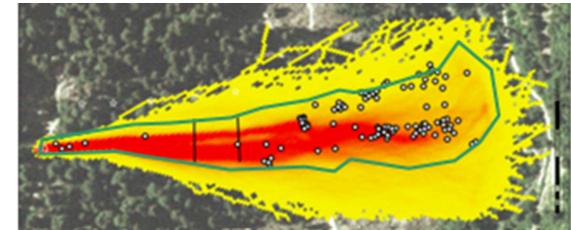
Dire d'expert



Méthodes empiriques



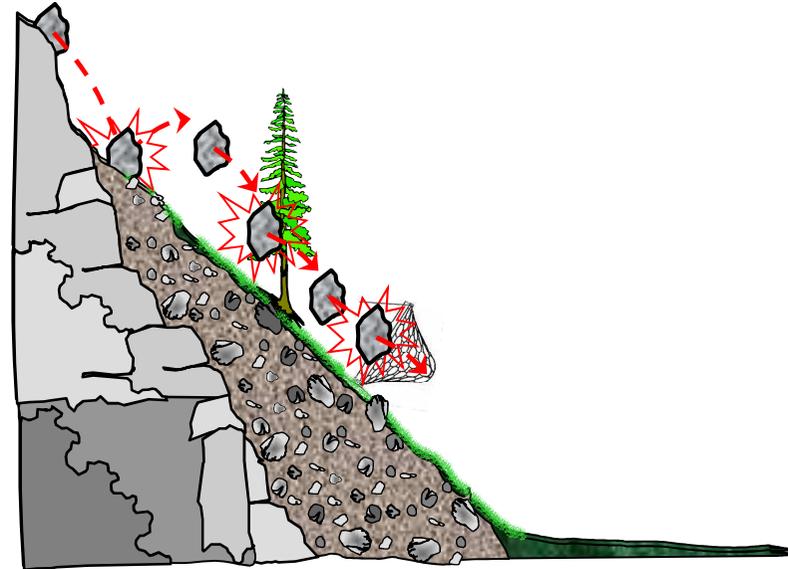
Modélisation trajectographique



# Modélisation de la propagation des blocs

## Processus de propagation

- Chute libre,
- Interactions avec le terrain naturel
  - ✓ Sol
  - ✓ Arbres
  - ✓ Structures de protection



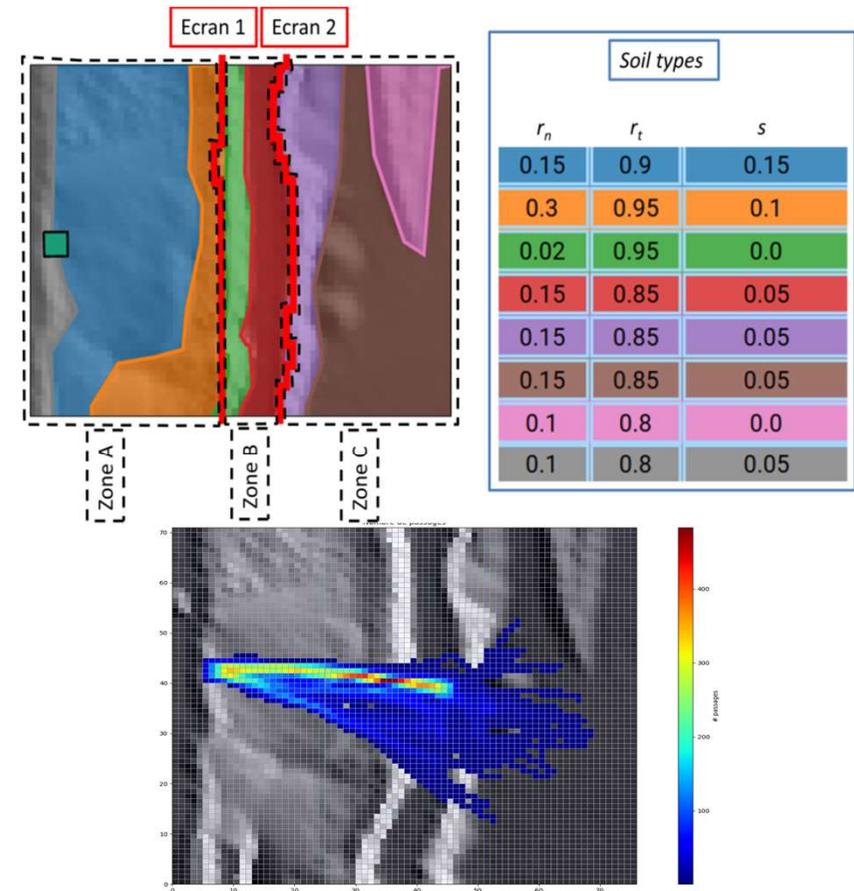
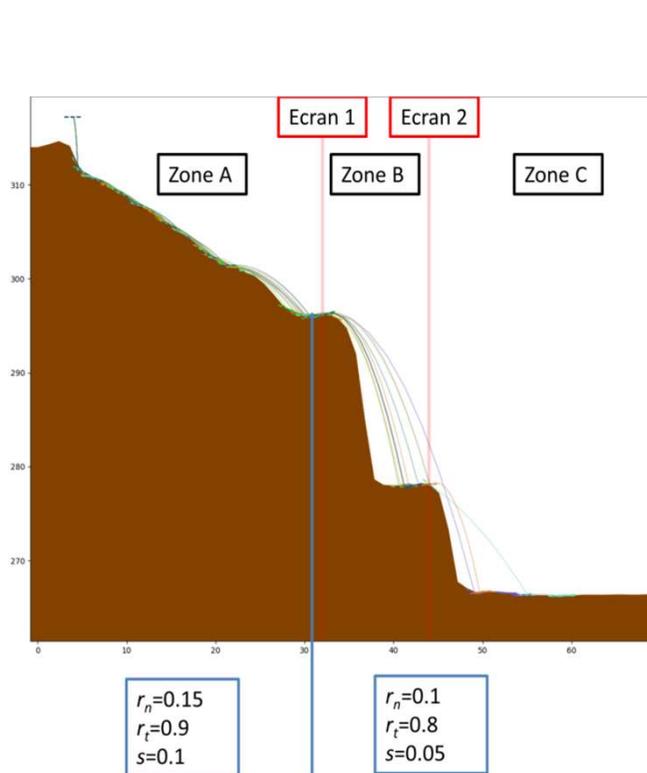
## ➔ Développement d'approches de modélisation

- Pertinence
- Temps de calcul limité
- Relevés de terrain « réalisables »

# Modélisation de la propagation des blocs

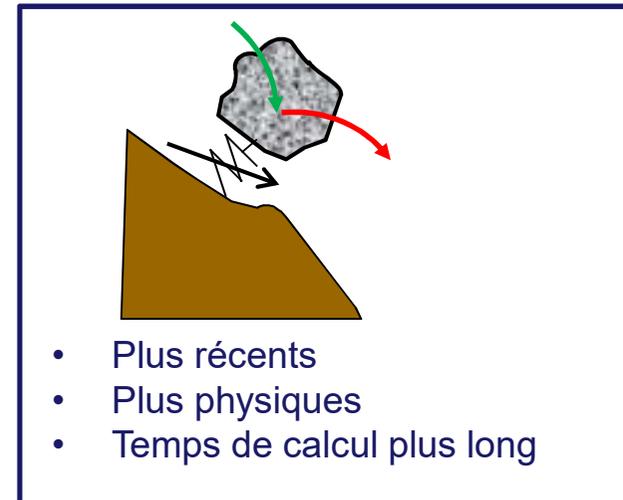
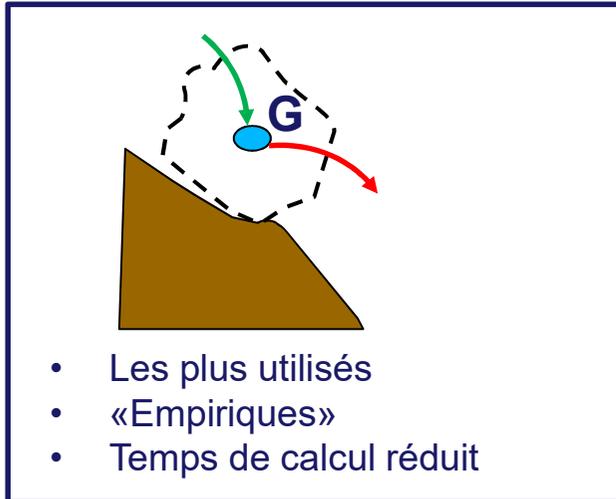
## Modèles 2D vs modèles 3D

- Modèle Numérique de Terrain (profil vs MNT 3D)
- Temps de calcul
- Temps de relevé terrain



# Modélisation de la propagation des blocs

## Modèles « point matériel » vs modèles « prenant en compte la forme »



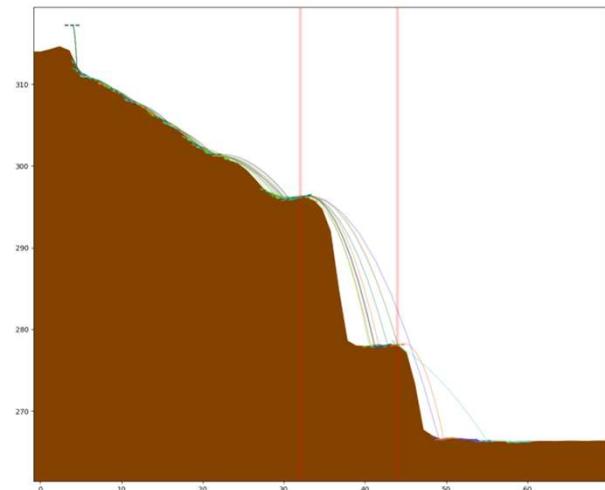
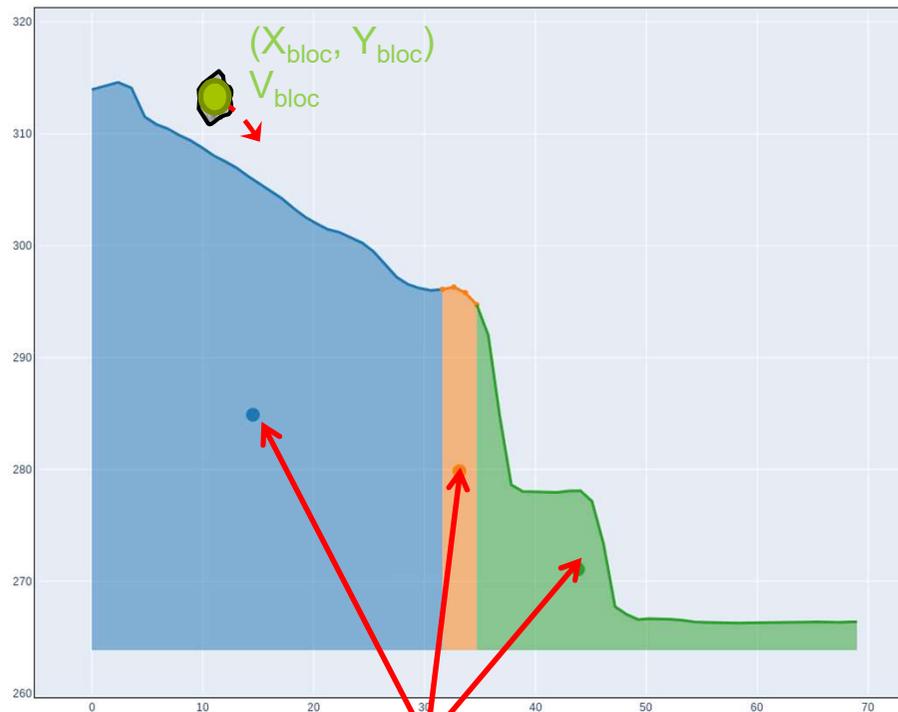
# Modélisation de la propagation des blocs

## Processus de modélisation:

- Plusieurs paramètres probabilistes ( $V_{\text{bloc}}$ , prop. Sol)
- Lâchers de blocs successifs



**Variabilité du processus de propagation**



Propriétés du sol

# Capacités prédictives des modèles

Benchmark du projet national C2ROP

## Protocole :

- Levé topographique + visite des participants
- Rendu de simulations
- Essais de lâcher (50 blocs / profil) + mesures (pts arrêt, vitesses, % passages)

Profil 1

- Sol très meuble  
- Pente 32°

2 ressauts topo.  
successifs

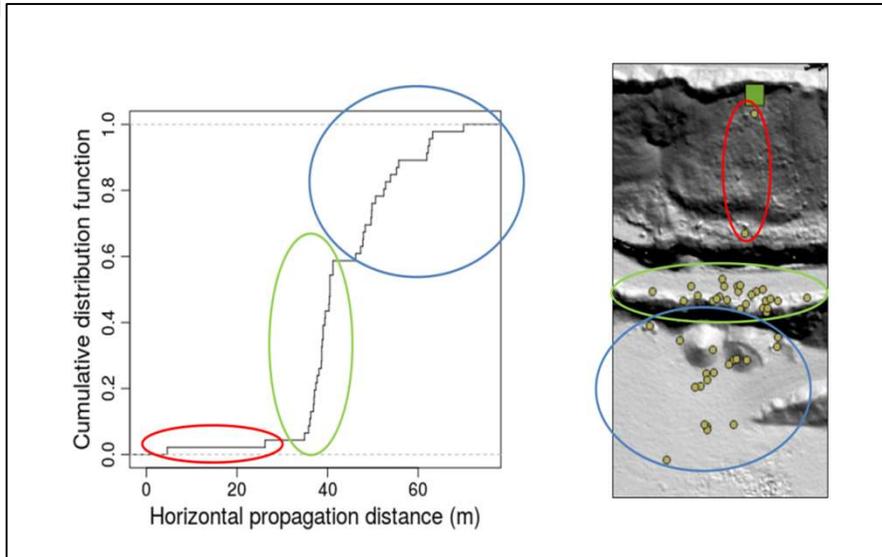


## De nombreuses difficultés pour les « participants » :

- Simulations prédictives « en aveugle »
- Sol meuble + pente faible
- Ressauts topographiques

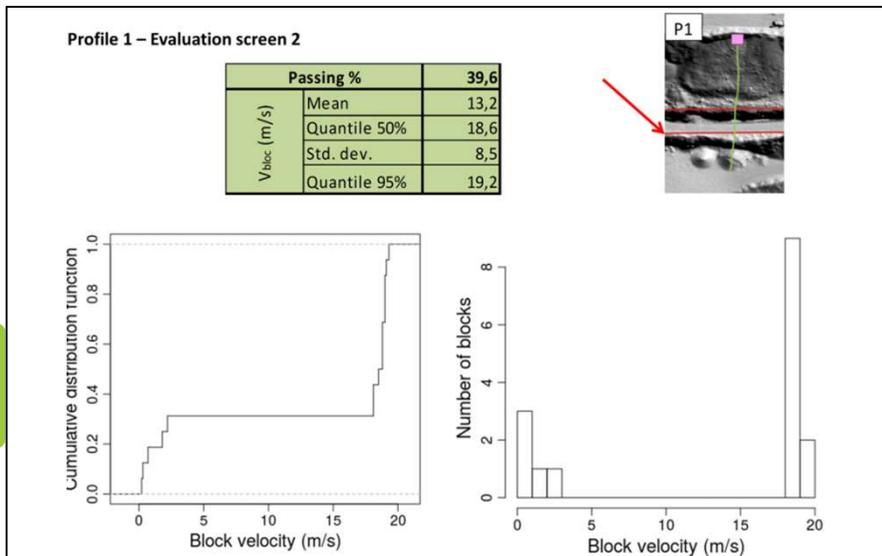
# Capacités prédictives des modèles

Benchmark du projet national C2ROP



## Points d'arrêt :

- Grande variabilité
- 3 zones d'arrêt



## Vitesses:

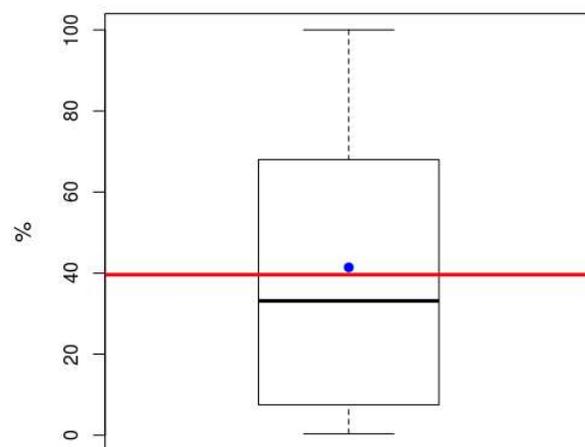
- 2 gammes distinctes
- Moyennes difficiles à prédire

# Capacités prédictives des modèles

Benchmark du projet national C2ROP

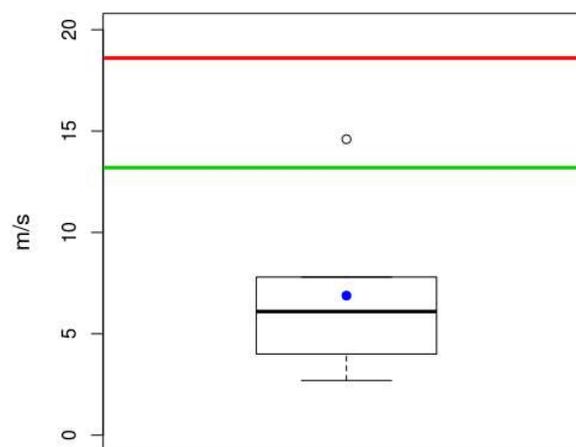
Exemple : Profil 1 - Ecran 2

## Probabilité de Passage



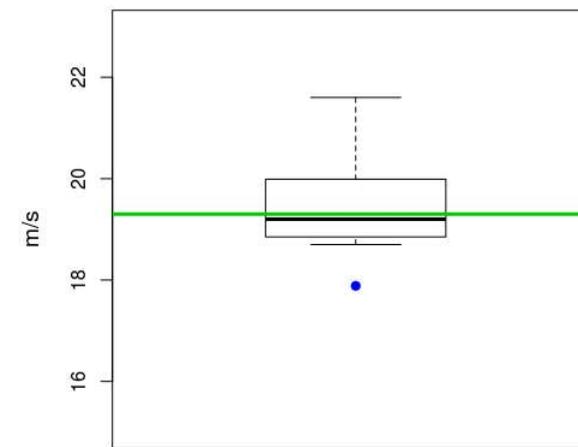
— *Exp.*

## Vitesse moyenne



— *Exp. : Q<sub>50</sub>*  
— *Exp. : Mean*

## Vitesse max



— *Exp. : Q<sub>95</sub>*  
— *Exp. : Max.*

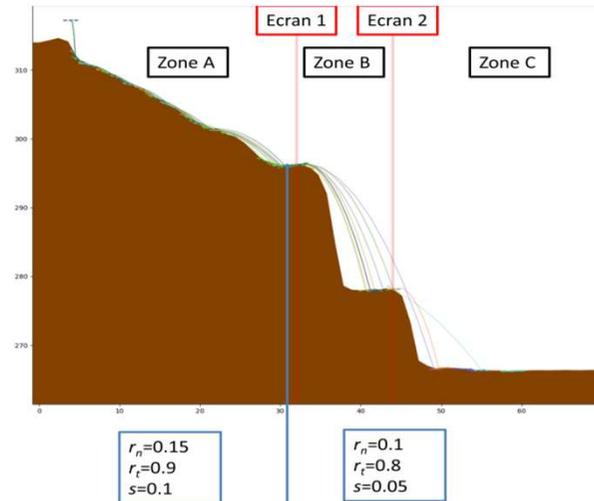


- Grande variabilité des résultats de simulation
- Pas de « gagnant partout »
- Valeurs max « mieux prédites »

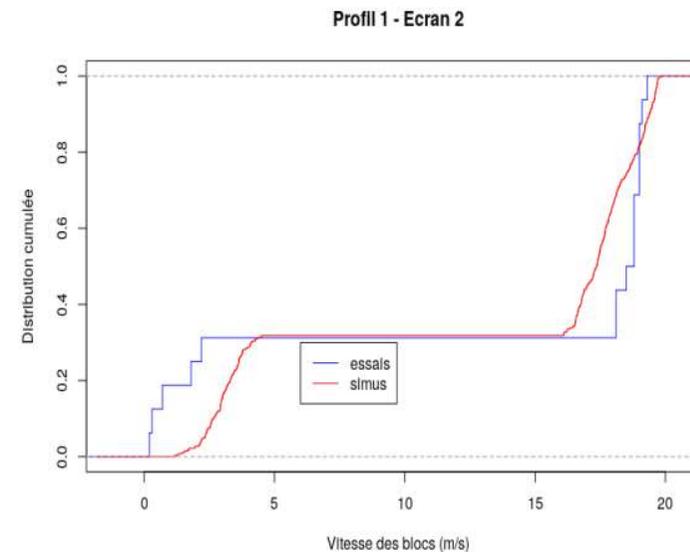
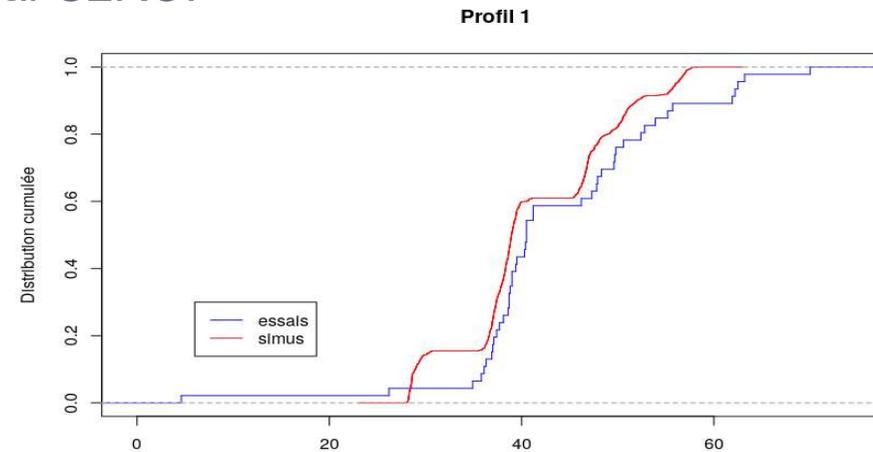
# Capacités prédictives des modèles

Benchmark du projet national C2ROP

Simulations après calibration  
Modèle très simple ( $r_n$ ,  $r_t$ , rugosité)



Plateforme logicielle  
PlatRock (Irstea)



- Meilleure adéquation avec les essais
- Données de calibration → meilleures capacités prédictives

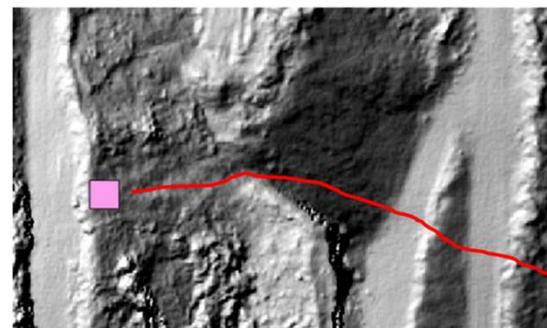
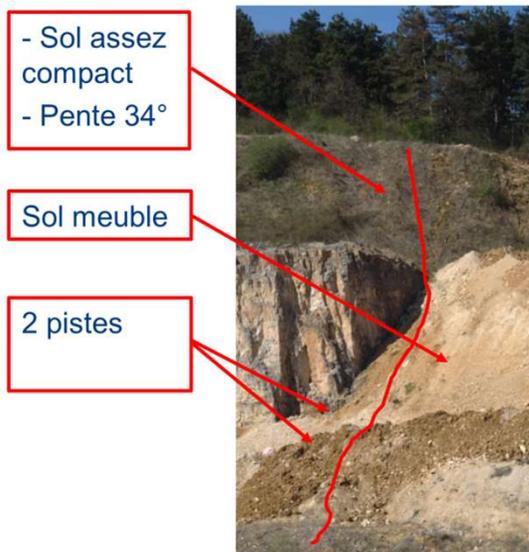
# Contexte spécifique

## Versants sous-cavés

### Spécificités

- Versants courts (15m à 30m de dénivelé)
- Effets 3D
- Discontinuités topographiques

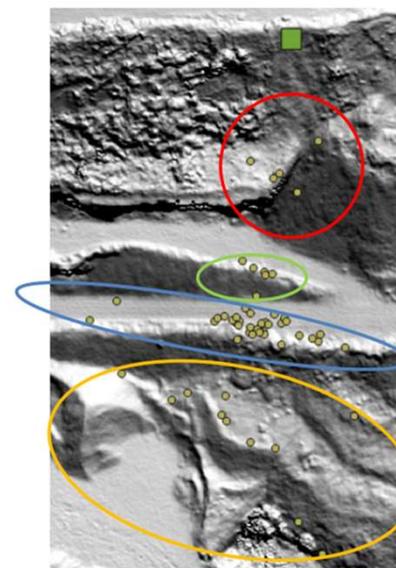
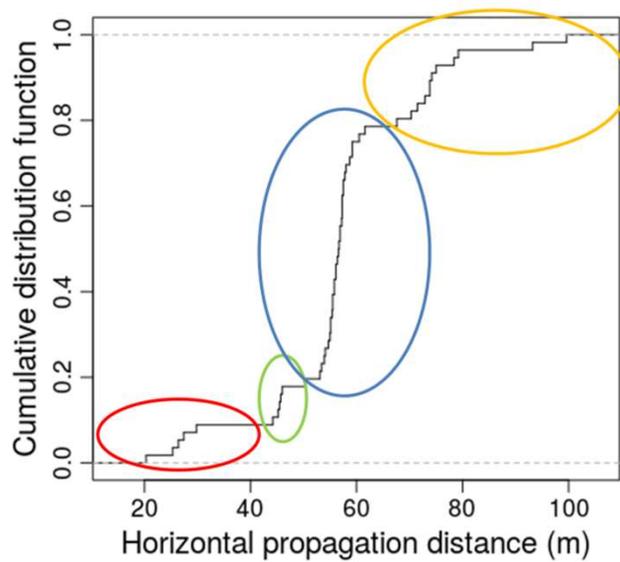
### Illustration



# Contexte spécifique

Versants sous-cavés : illustration

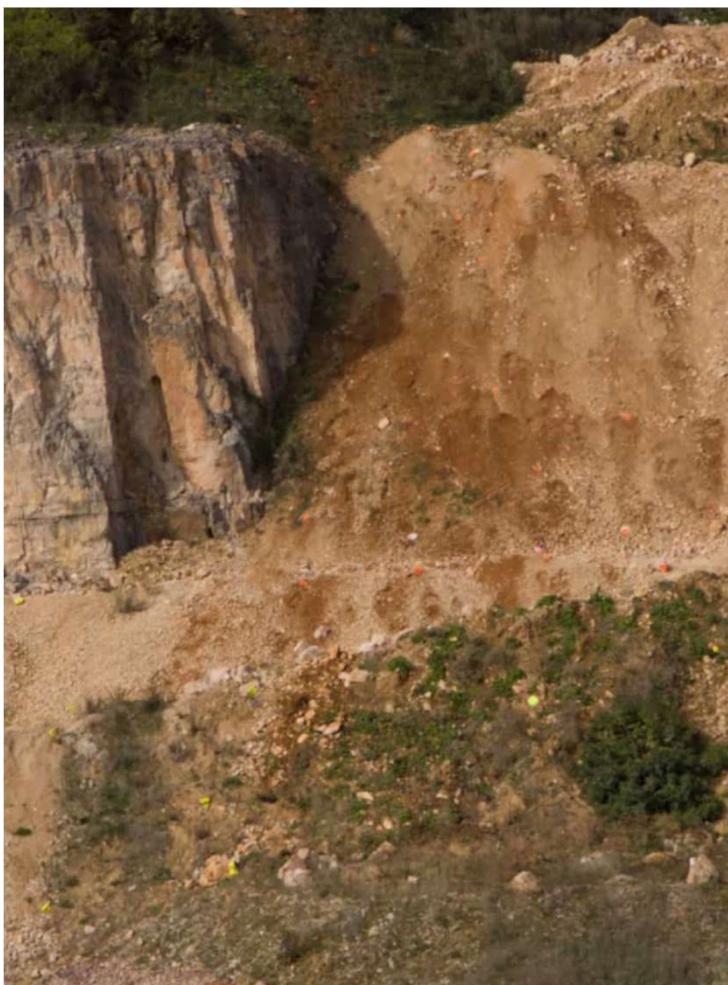
Résultats expérimentaux



# Contexte spécifique

Versants sous-cavés : illustration

Résultats expérimentaux



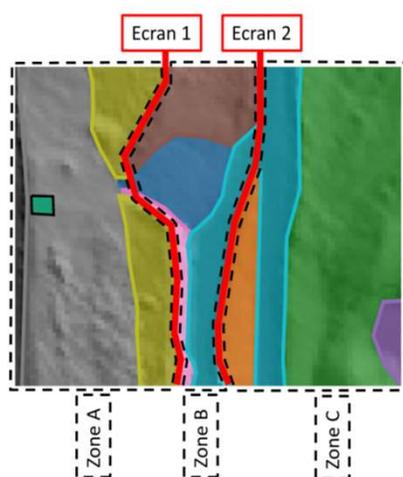
# Contexte spécifique

Versants sous-cavés : illustration

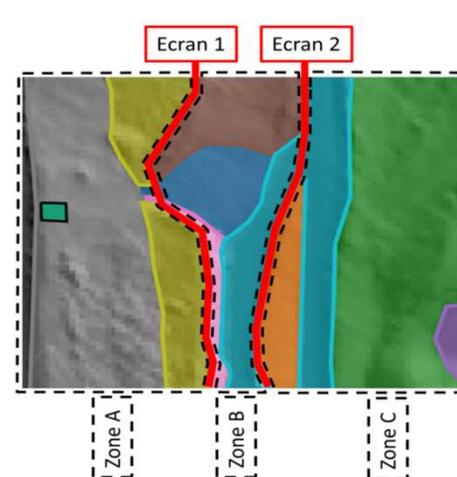
Simulations 3D réalisables (zone limitée)

« Point matériel »

« Forme »



Soil types		
$r_n$	$r_t$	$s$
0.2	0.9	0.05
0.2	0.9	0.05
0.2	0.9	0.05
0.2	0.9	0.05
0.15	0.9	0.25
0.2	0.9	0.05
0.2	0.9	0.05
0.15	0.95	0.05
0.25	0.9	0.1
0.25	0.95	0.1



Soil types	
$\mu$	$e$
0.4	0.01
0.35	0.05
0.4	0.01
0.3	0.0
0.3	0.0
0.3	0.0
0.4	0.0
0.4	0.0
0.1	0.1



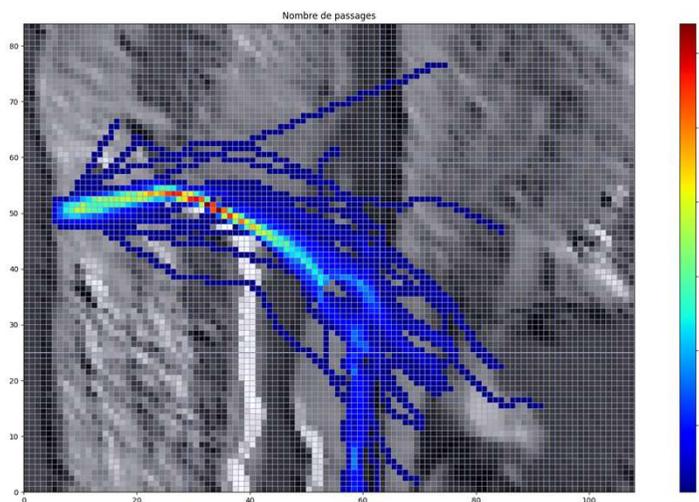
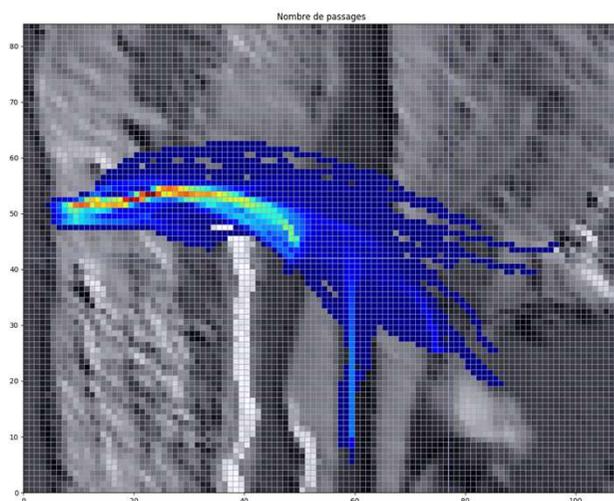
## Contexte spécifique

Versants sous-cavés : illustration

Simulations 3D réalisables (zone limitée)

« Point matériel »

« Forme »

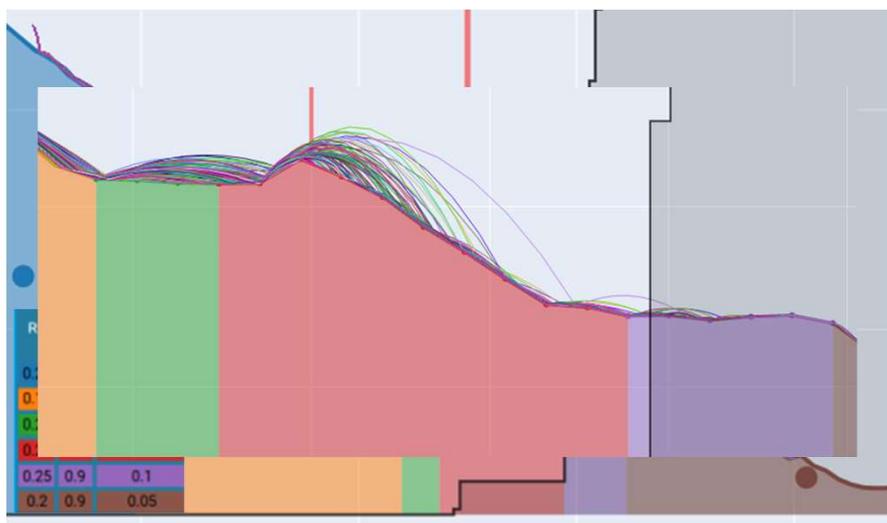


Définition et caractérisation de trajectoires préférentielles

# Contexte spécifique

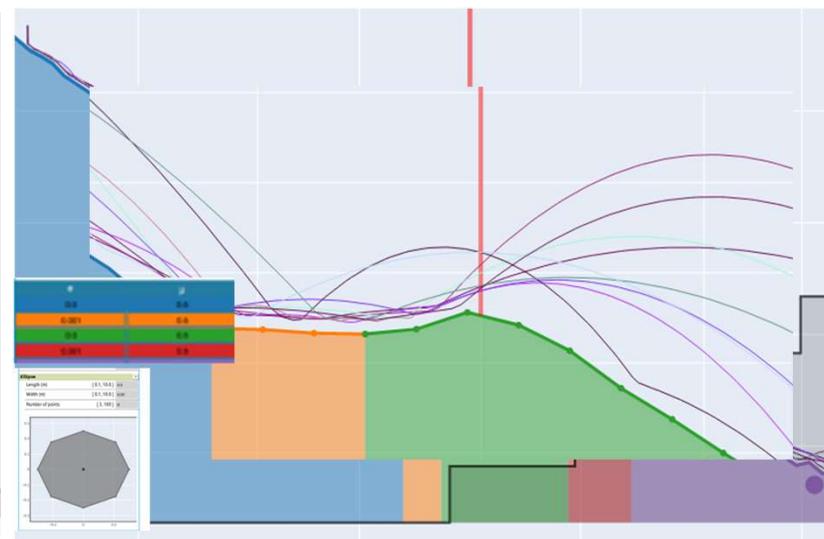
Versants sous-cavés : illustration  
Simulations 2D : analyse fine

« Point matériel »



- Plus de retours d'expérience
- Moins « physique » (calibration difficile)
- Trajectoires similaires
- TROP de « dissipation »

« Forme »



- Moins de retours d'expérience
- Plus physique (mais physique simple)
- Diversité trajectoires (mais quelques aberrantes)
- Pas assez de « dissipation » (modèles « commerciaux »)



- **Sensibilité au paramétrage**
- **Dimensionnement des ouvrages (énergie, hauteur,...)**



# Conclusion

## Générales

- Grande diversité de modèles trajectographiques
- Variabilité des résultats obtenus
- Sensibilité des modèles au paramétrage

- 
- **Utilisation de plusieurs modèles à privilégier**
  - **Vérification des domaines de validités des logiciels (calibrations réalisées ?)**
  - **Recherche d'éléments d'évaluation (historiques, cas similaires,...)**

## Versants sous-cavés

- Versants courts, complexité topographique
- Description « fine » de la topographie (résolution environ 1m)
- Logiciels « point matériel » difficiles à calibrer
- Logiciel « forme » utiles pour l'identification de trajectoires « critiques »  
(mais peu de retours d'expérience pour le moment)