

L'exploitation  
et la maintenance  
des infrastructures



Chutes de Blocs  
Risques **R**ocheux  
Ouvrages de **P**rotection



# MOA C2ROP2 : Les forêts de protection contre les chutes de blocs

*Etat des lieux des recherches et liens avec l'action RFOR\_01*

Sylvain DUPIRE  
INRAE UR LESSEM  
[sylvain.dupire@inrae.fr](mailto:sylvain.dupire@inrae.fr)



Liberté  
Égalité  
Fraternité

07/11/2024

► Recolonisation naturelle des versants par la forêt

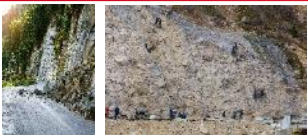


Enormément d'évènements aujourd'hui occultés par la forêt. Forêt présente sur la quasi-totalité des zones de propagations





- La forêt une solution fondée sur la nature efficace pour la protection contre les chutes de blocs...





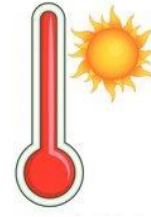
► ... mais aussi vulnérable aux perturbations



Pathogènes



Tempêtes



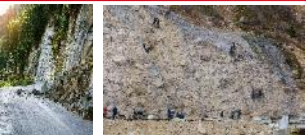
Sécheresses



Broussaille / Taillis  
300 ha - 33 jours



Forêt d'Epicéas (1500 m)  
100 ha - 3 jours



1. Evaluer la capacité de protection des forêts : le rôle de l'observation et des expérimentations
2. De l'observation à la modélisation
3. Lien avec l'action RFOR\_01
4. Discussions



- 1. Evaluer la capacité de protection des forêts : le rôle de l'observation et des expérimentations**
2. De l'observation à la modélisation
3. Lien avec l'action RFOR\_01
4. Discussions



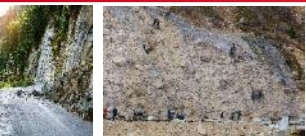
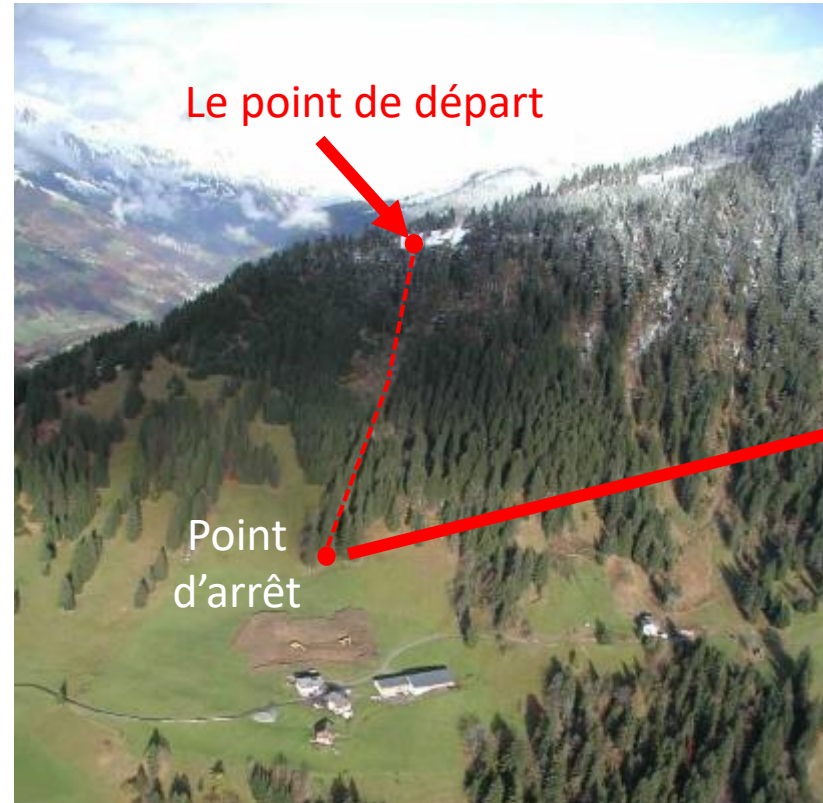


## ► Documentation d'évènements réels

- **Localisation :**
  - départ
  - Arrivée
- **Profil topographique**
- **Information sur le bloc :**
  - Taille
  - Forme
- **Forêt :**
  - Longueur sur le versant
  - Type de peuplement

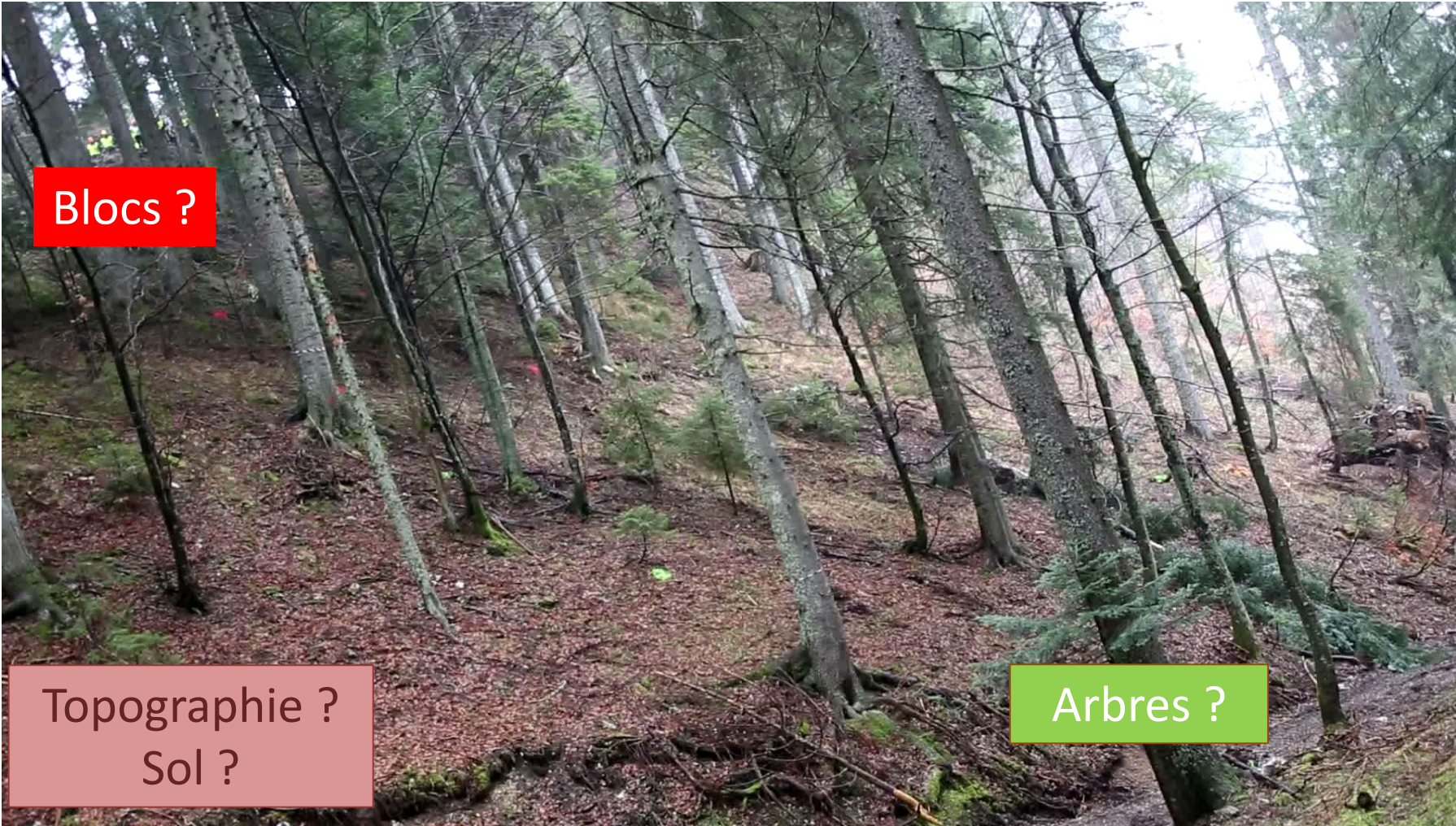
### Informations précieuses pour :

- Analyses statistiques
- Calibration de modèles





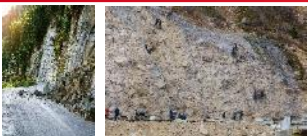
## ► Expérimentations in situ (échelle versant)



Souches coupées  
hautes/arbres en travers

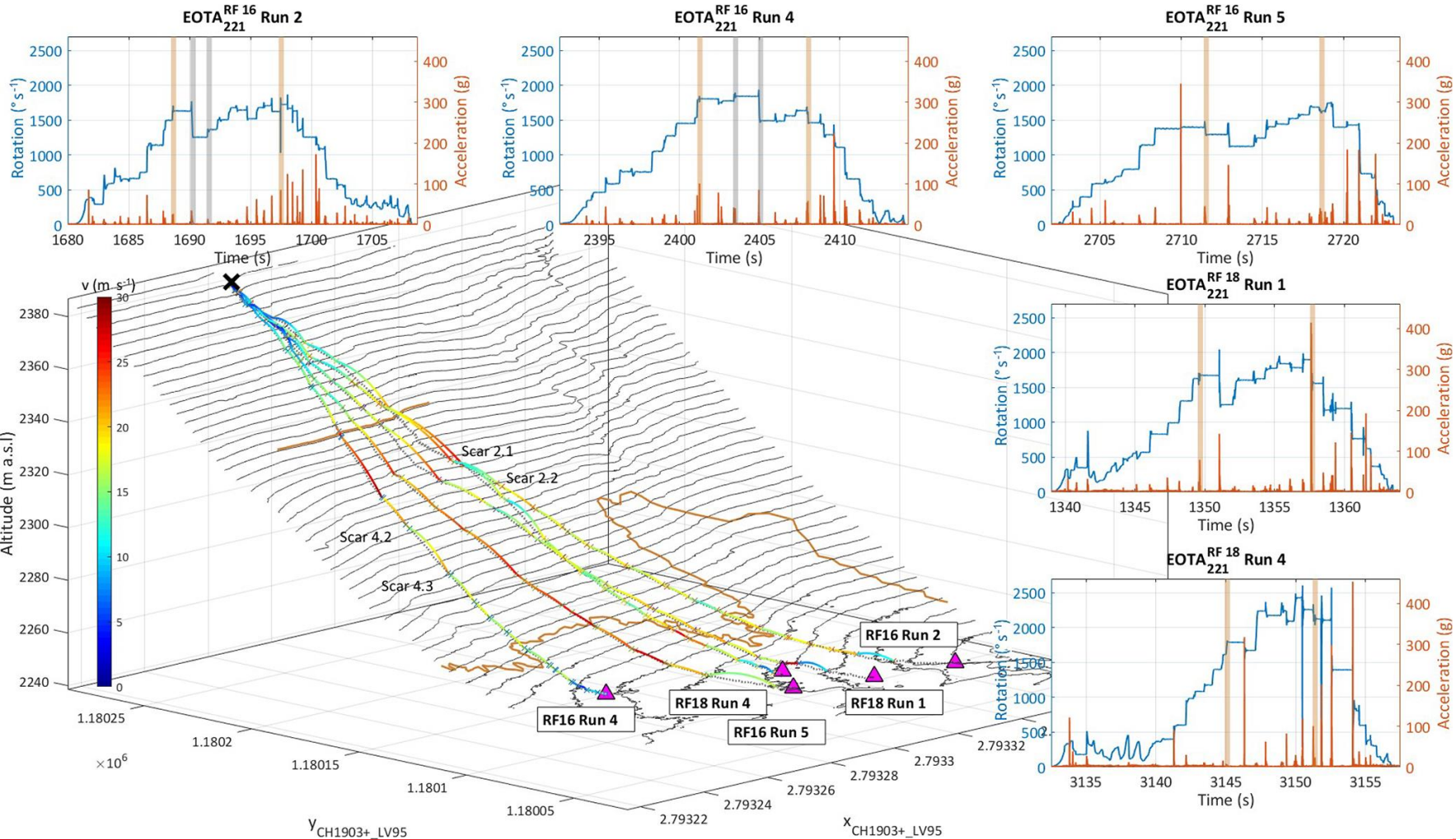


Filets de protection ancrés sur  
des arbres





## ► Expérimentations in situ (échelle versant)



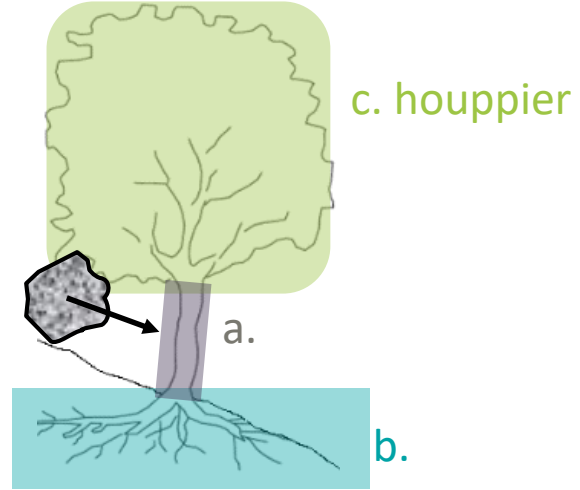
Reconstructions du terrain  
et des trajectoires des blocs

Quantifier la cinématique  
des blocs avant/après  
impact sur un arbre

## ► Expérimentations in situ (échelle de l'arbre)



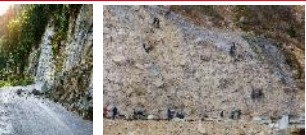
a. tige



b. racines

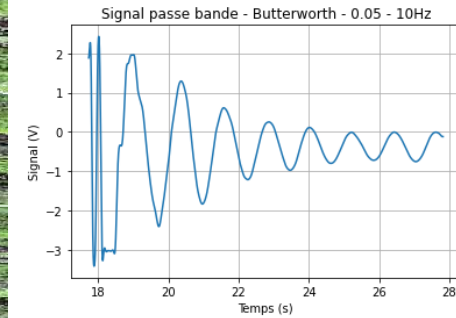
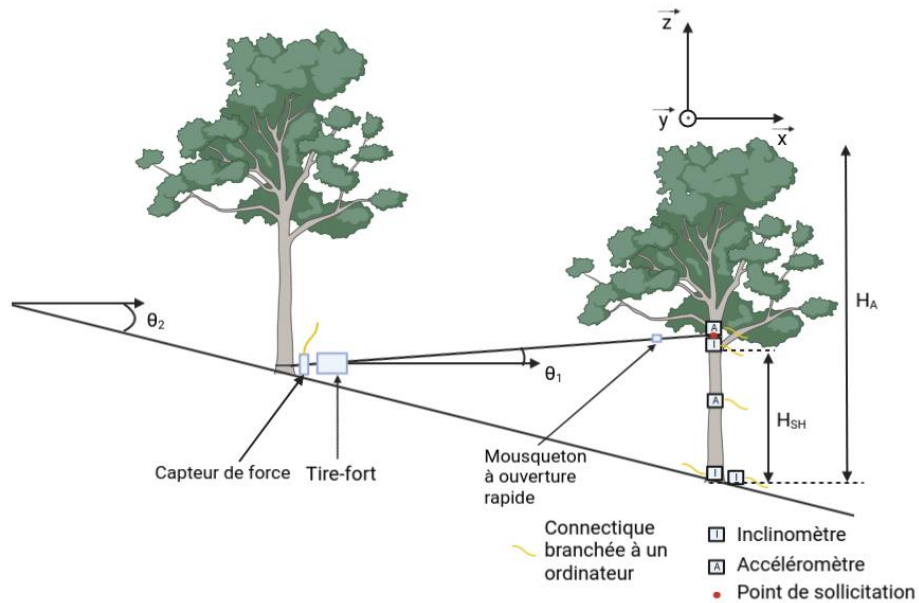
**Modification de la trajectoire des blocs avant / après impact**

**Evaluation de la quantité d'énergie réduite par chaque compartiment**



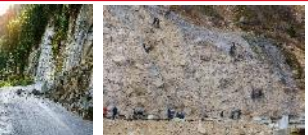


## ► Expérimentations PULL&RELEASE (échelle de l'arbre)



- Permet de mesurer directement certaines propriétés mécaniques liées à l'ancrage, au tronc et au houppier.
- Permet d'évaluer l'effet de perturbations sur les propriétés mécaniques

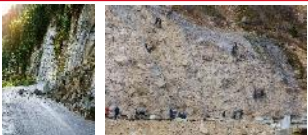
- 150 arbres mesurés sur 3 sites dont
  - 1 ayant subit un incendie en 2022
  - 1 forêt attaquée par le scolyte



## ► Mesure mécanique sur banc d'essai (échelle de l'arbre)



- Essais normés (3 points)
- Impact d'un pendule sur une tige ancrée à une extrémité
  - > Ordres de grandeurs des variables mécaniques liées au tronc (déformation, rupture)

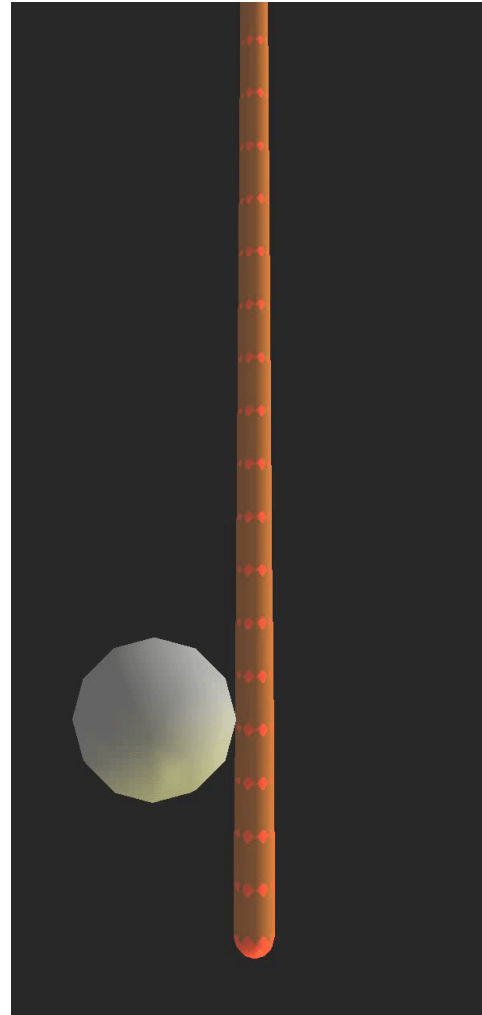
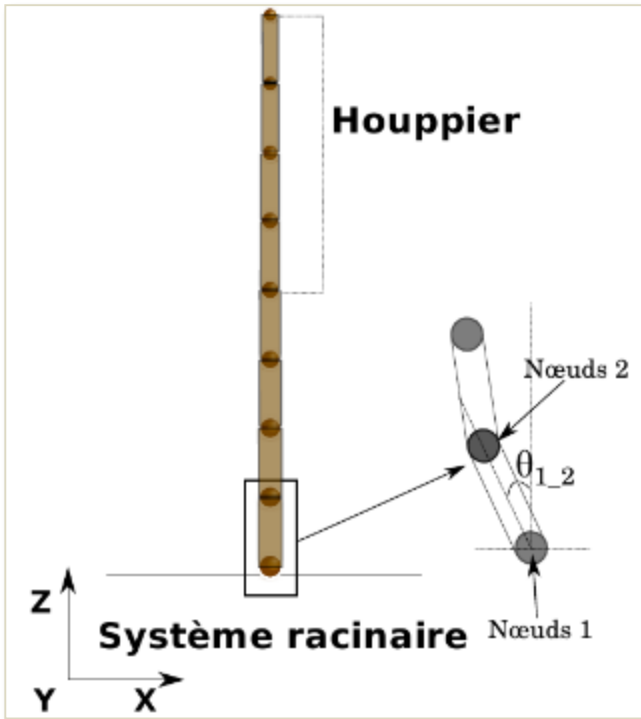




1. Evaluer la capacité de protection des forêts : le rôle de l'observation et des expérimentations
- 2. De l'observation à la modélisation**
3. Lien avec l'action RFOR\_01
4. Discussions



## ► Evaluation de la capacité d'un arbre à réduire l'énergie d'un bloc



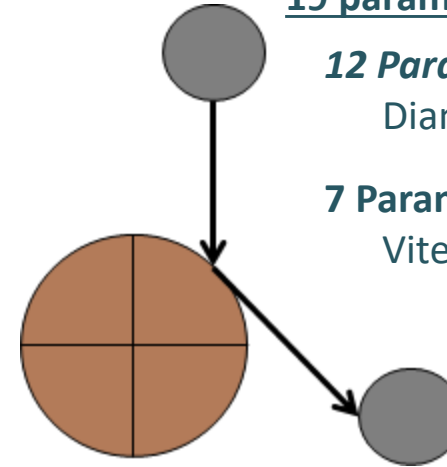
### 19 paramètres avant impact

#### *12 Paramètres arbre:*

Diamètre, densité, MOE, Masse houppier...

#### *7 Paramètres d'impact:*

Vitesse, volume, excentricité...

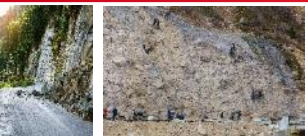


### 4 paramètres après impact

- Réduction d'énergie cinétique
- Variation de la vitesse de rotation
- Déviation du bloc :
  - verticale
  - horizontale

### 5 variables d'entrée suffisent à bien décrire l'impact :

- Diamètre de l'arbre
- Vitesse
- Volume du bloc
- Excentricité et hauteur de l'impact





## ► Plateforme PlatRock ([www.platrock.org](http://www.platrock.org)) : nouvelle génération de modèles de propagation de blocs le long d'un versant

**PlatRock | Web Interface** 0.3.8

Granting : None  
Account : None

Interreg Alpine Space  
INRAE

**PROJECT** | **SIMULATION**

Available simulations:

| NAME                                  | TYPE              | STATUS           |
|---------------------------------------|-------------------|------------------|
| My new simulation                     | PlatRock 2D-Shape | INIT<br>0%       |
| New simulation (04-01-2022, 16:20:00) | PlatRock 2D-Shape | FINISHED<br>100% |
| New simulation (04-01-2022, 16:22:16) | PlatRock 2D-Shape | INIT<br>0%       |
| New simulation (10-01-2022, 13:50:53) | PlatRock 2D       | FINISHED<br>100% |

Project description: This project is a demonstration.

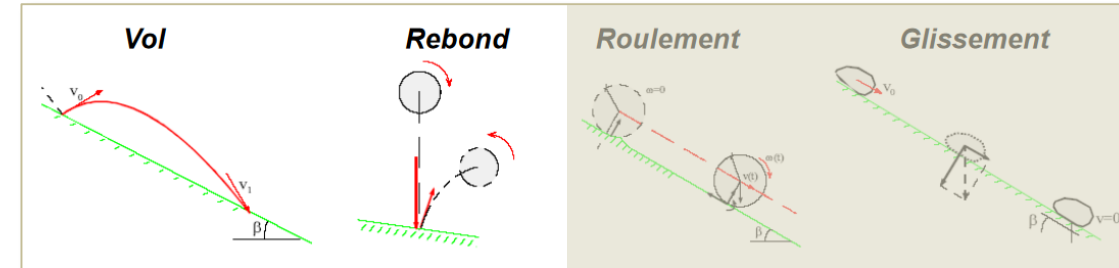
Goals: Test PlatRock

Buttons: SAVE modifications, CANCEL modifications

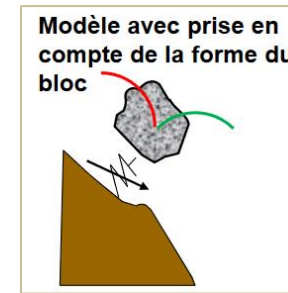
Legend for simulation types:

- PlatRock 2D: 2D Material point rockfall physical simulation based on rebounds, free/flights, rolls on soil
- PlatRock 2DShape: 2D Rockfall physical simulation tool using Siconos engine, modelling rocks shapes as polygons
- PlatRock 3D: 3D Rockfall physical simulation tool modelling rocks shapes as spheres or polyhedron (Siconos engine)
- Rock-EU-Mapping: Large-scale mapping of the protection forests at a spatial resolution of 25 m
- RetroRock: Rock trajectory retro-analysis based on terrain impact measurements
- Rock-EU-2D: Analysis tool of 2D profiles based on European Rockfall past events database
- Import: Import a simulation previously downloaded

Create new simulation



Absents auparavant



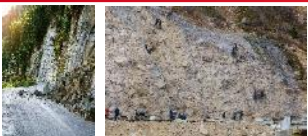
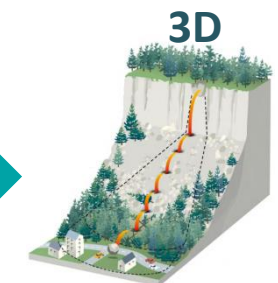
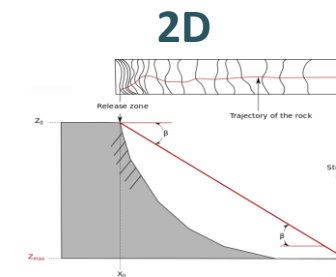
Seulement point matériel auparavant



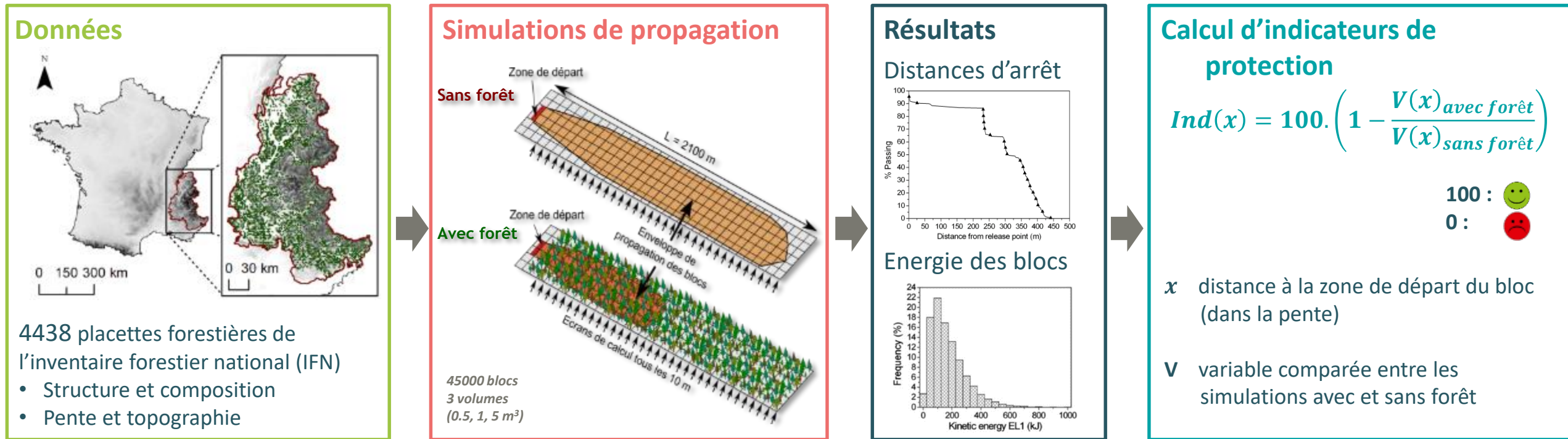
1 équation générique (avant)



1 méta-modèle (PlatRock)



## ► Indicateurs de la capacité de protection d'une forêt



**Indicateur de réduction de la fréquence**

**BARI(x) : BARier effect Index**

$V$ : nombre de blocs ayant atteint  $x$

**X**

**Indicateur de réduction de l'intensité**

**MIRI(x) : Maximum Intensity Reduction Index**

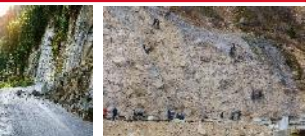
$V$ : énergie maximale des blocs ayant atteint  $x$

**=**

**Indicateur combinant réduction de la fréquence et de l'intensité**

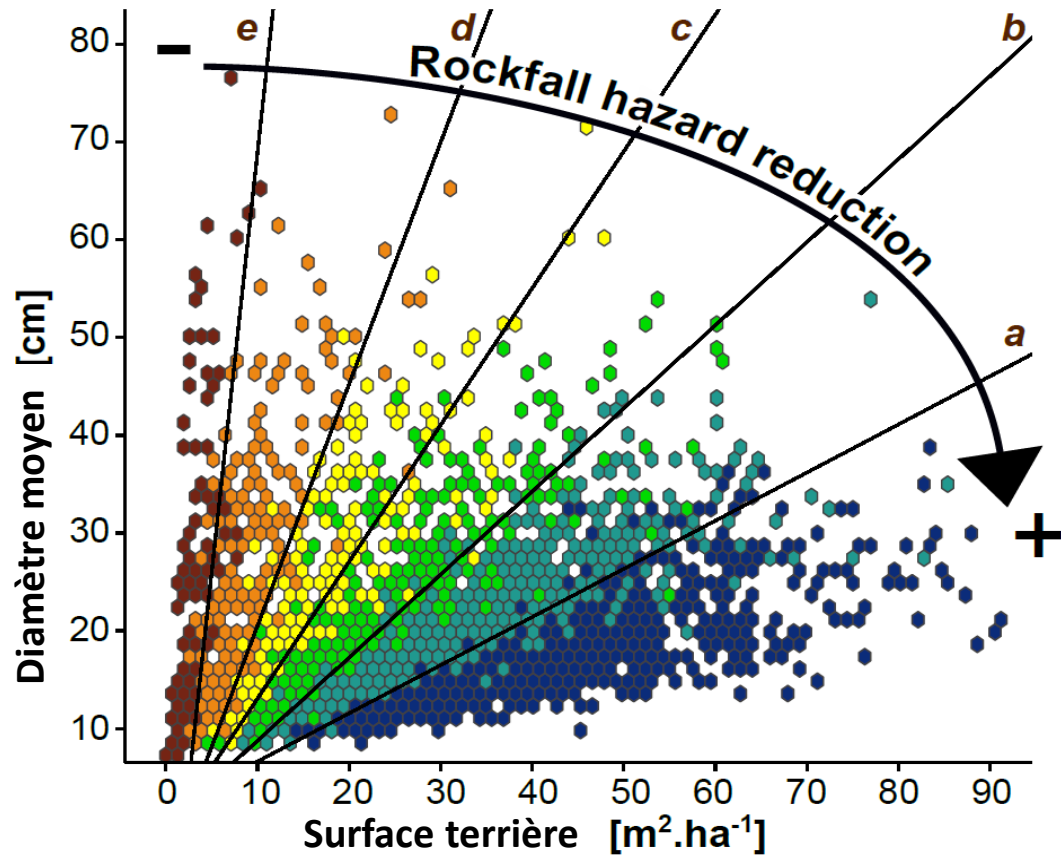
**ORPI(x) : Overall Rockfall Protection Index**

$V$ : somme des énergies de tous les blocs ayant atteint  $x$



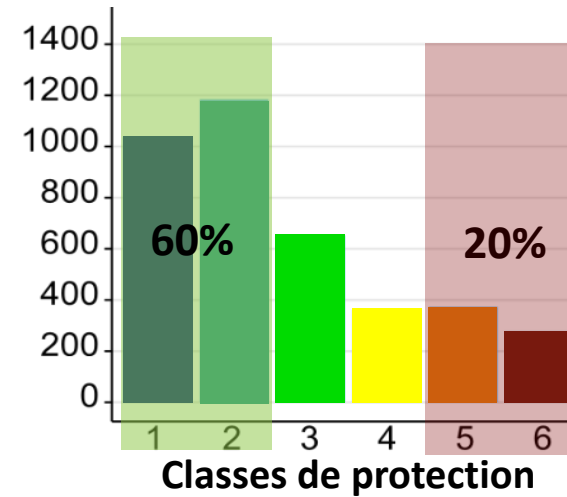


## ► Indicateurs de la capacité de protection d'une forêt



Classe de protection : ■ 1:  $\leq 110$    ■ 2: 110-190   ■ 3: 190-320  
 Valeurs de  $L_{99}$  [m]   ■ 4: 320-600   ■ 5: 600-2100   ■ 6:  $> 2100$

Nombre de forêts testées (Alpes entières)

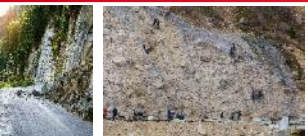


**Haute capacité de protection:**

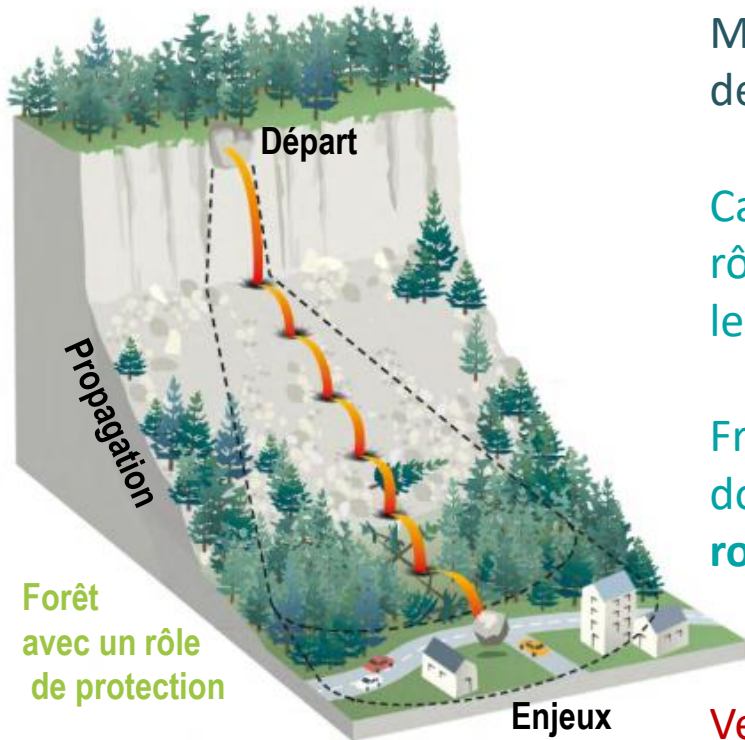
99% de l'aléa réduit après 190 m de versant boisé

**Capacité de protection faible:**

600 m de versant boisé insuffisant pour réduire l'aléa de 99%



## ► SylvaRock - Cartographier les forêts avec un rôle de protection potentiel

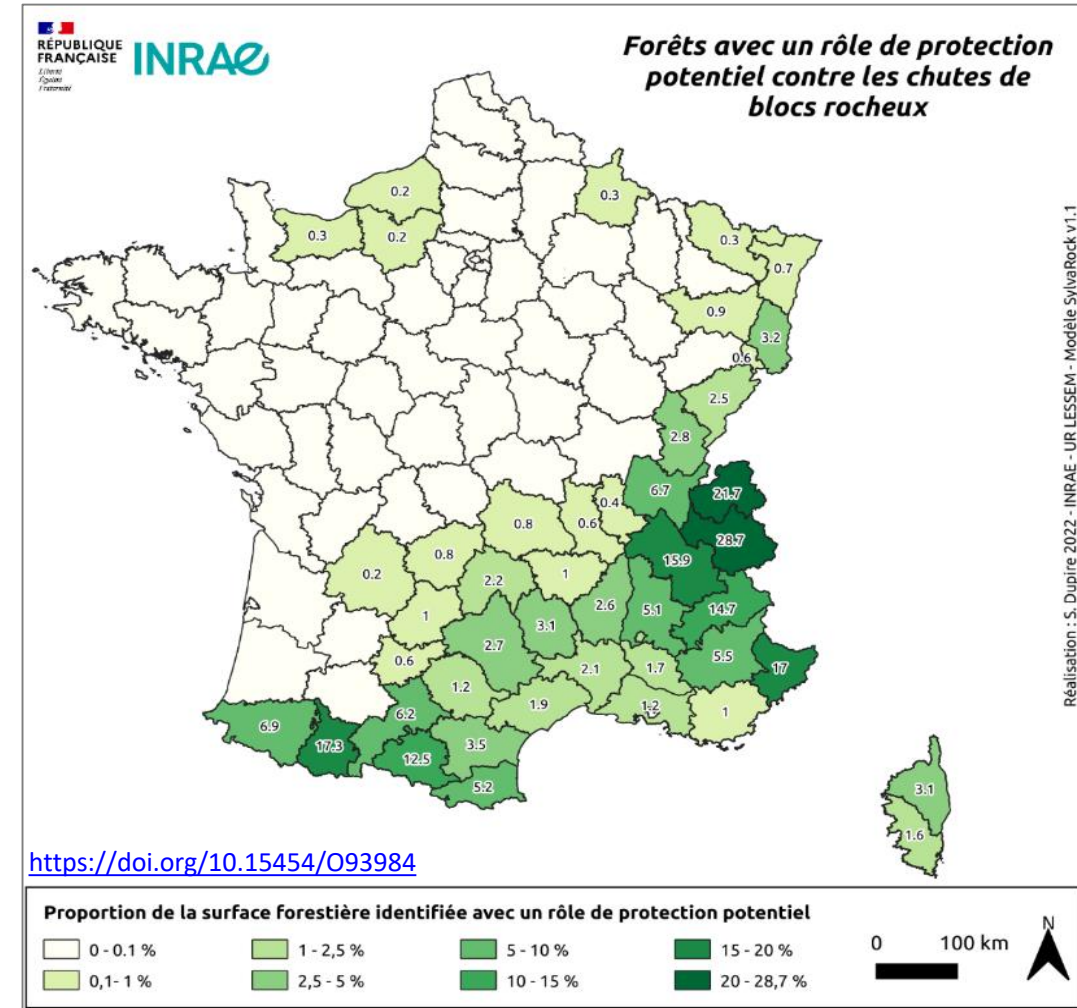


Modèle SylvaRock développé depuis 2020.

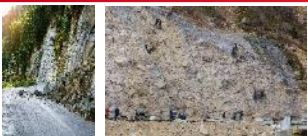
Carte nationale des forêts avec un rôle de protection potentiel contre les chutes de blocs

France : 400 000 ha identifiés (3%) dont **127 000 ha au-dessus de routes départementales**

Version C2ROP avec focus sur les forêts au-dessus de routes départementales



1 Dupire, S., Toe, D., Barré, J. B., Bourrier, F., & Berger, F. (2020). [Harmonized mapping of forests with a protection function against rockfalls over European Alpine countries](#). *Applied Geography*, 120, 102221.





1. Evaluer la capacité de protection des forêts : le rôle de l'observation et des expérimentations
2. De l'observation à la modélisation
- 3. Lien avec l'action RFOR\_01**
4. Discussions



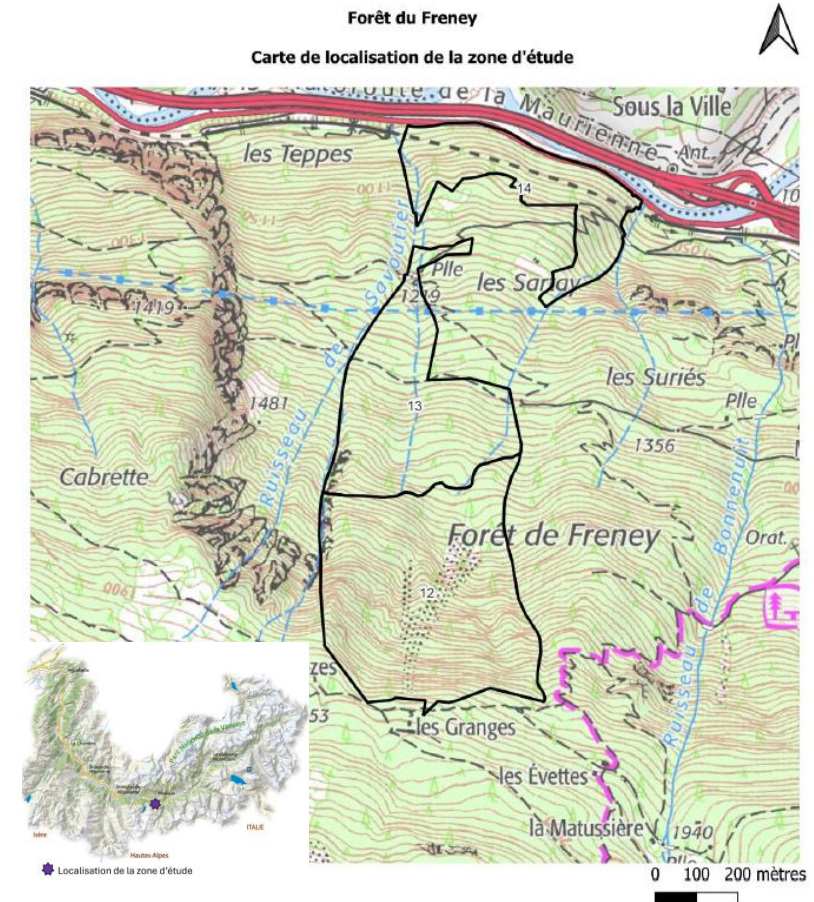
## ► Travail d'un groupe d'étudiants ingénieurs octobre 2024

### Titre : Evaluation de la capacité de protection d'une forêt contre les chutes de blocs rocheux pour un enjeu linéaire

(Mini-projet de 3 semaines profil ingénieurs forestiers)

#### Travail réalisé :

- Enquête et entretiens auprès de différents services sur le rôle de protection des forêts contre les risques naturels
- Visite de terrain et inventaire forestier sur les parcelles ciblées par l'étude
- Quantification (rapide) du rôle de protection de la forêt contre les chutes de blocs à partir des indicateurs BARI/MIRI/ORPI pour plusieurs volumes de blocs
- Evaluation (rapide) de l'évolution dans le temps de la protection par la forêt selon différents scénarios de gestion forestière





## ► Organisation d'un workshop dédié en fin de projet C2ROP2 ?

### JOUR 1 :

Matinée théorique :

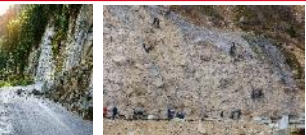
- état actuel des connaissances sur l'effet des forêts sur l'aléa chutes de blocs
- données déjà à disposition
- état des lieux des modèles qui intègrent l'effet de la forêt

Après-midi sur le terrain sur une zone étude:

- Quels éléments relever sur le terrain pour caractériser une forêt
- Quels marqueurs d'activité rocheuse faut-il observer pour identifier les évènements de référence à prendre en compte
- Si le terrain s'y prête : exemple de techniques d'exploitation permettant de réduire la propagation (arbres en travers), pose de filets temporaires, etc..

### JOUR 2 :

Travail pratique sur le cas d'étude école exposé plus haut pour prendre en main les données, outils et modèles présentés la veille et aboutir à une étude intégrant la forêt dans le diagnostic global.



1. Evaluer la capacité de protection des forêts : le rôle de l'observations et des expérimentations
2. De l'observation à la modélisation
3. Lien avec l'action RFOR\_01
- 4. Discussions**





