



Symposium : les ouvrages de protections contre les risques naturels : évolutions et perspectives

8 Juillet 2022

Les solutions fondées sur la forêt pour la protection contre les risques naturels (rocheux)

[Sylvain DUPIRE](#)

Franck BOURRIER

Loïc DUGELAS

INRAE UR LESSEM

INRAE UR ETNA

NGE



➤ Contexte



➤ Plan de la présentation

1. Les forêts : un « ouvrage » de protection naturel pour lutter contre les chutes de blocs
2. Quelques pratiques de génie « forestier »
3. Les écrans pare-blocs forestiers
4. Conclusions / Perspectives



➤ Plan de la présentation

1. Les forêts : un « ouvrage » de protection naturel pour lutter contre les chutes de blocs
2. Quelques pratiques de génie « forestier »
3. Les écrans pare-blocs forestiers
4. Conclusions / Perspectives

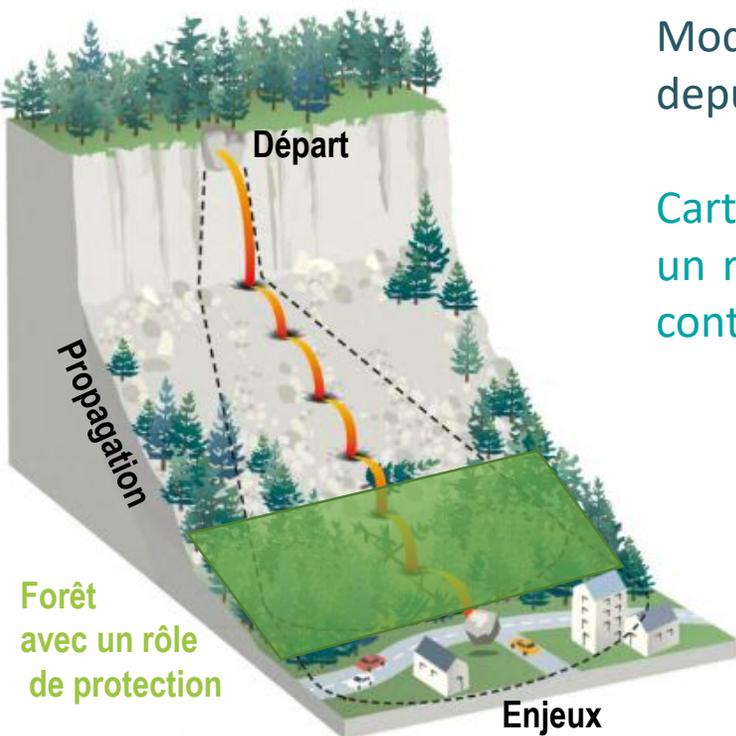


➤ Les forêts : un « ouvrage » de protection naturel

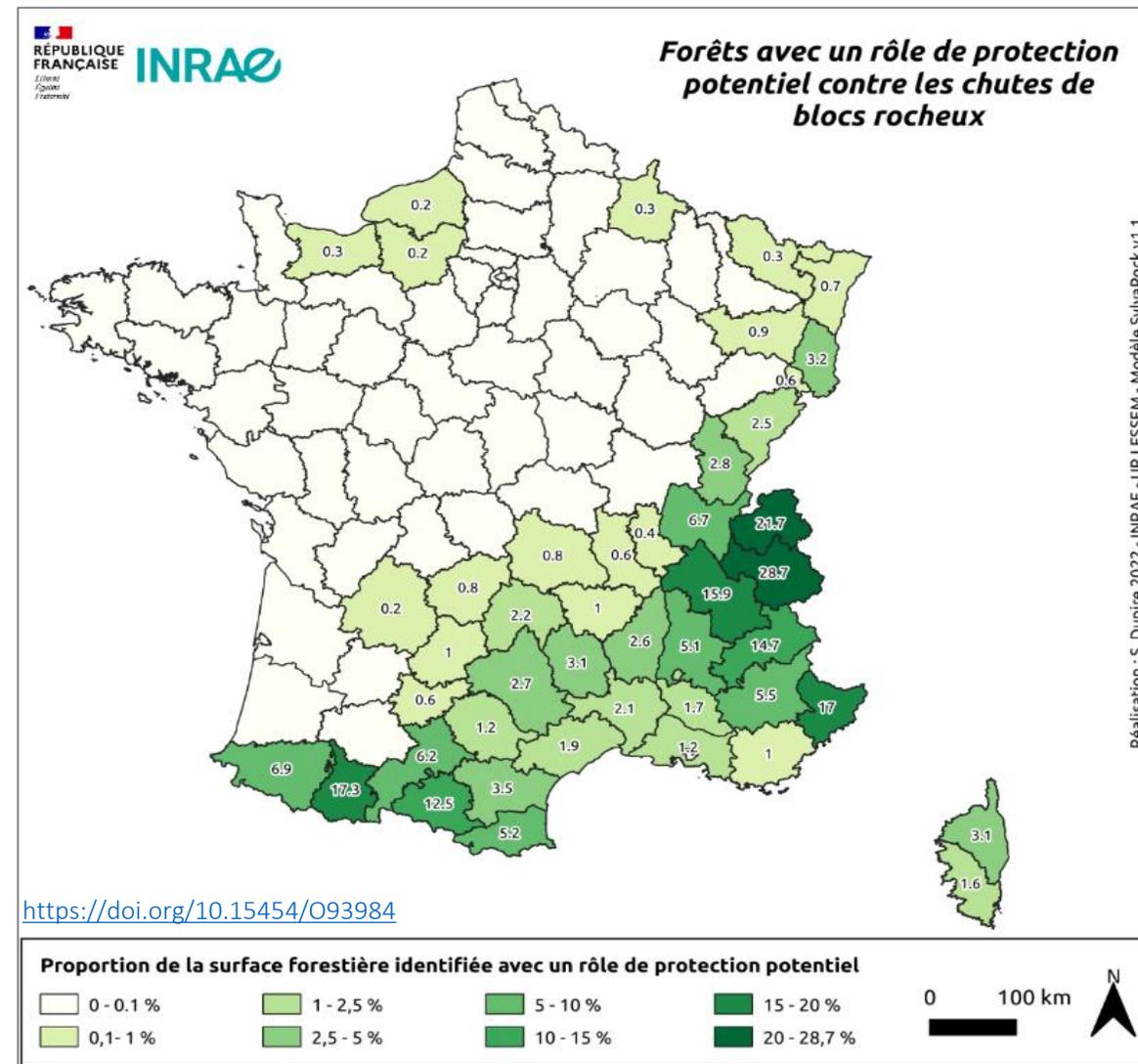
Identification et cartographie des forêts avec un rôle de protection potentiel

Modèle SylvaRock développé depuis 2020.

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



400 000 ha identifiés (≈3%)

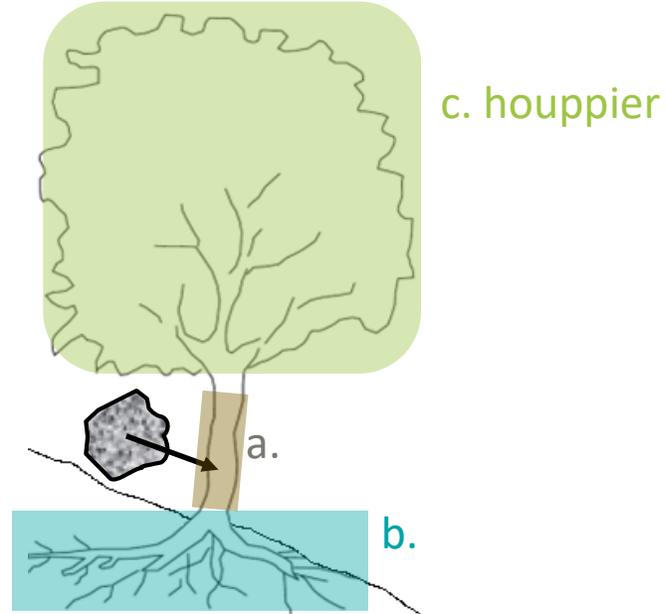


<https://doi.org/10.15454/O93984>

➤ Les forêts : un « ouvrage » de protection naturel

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

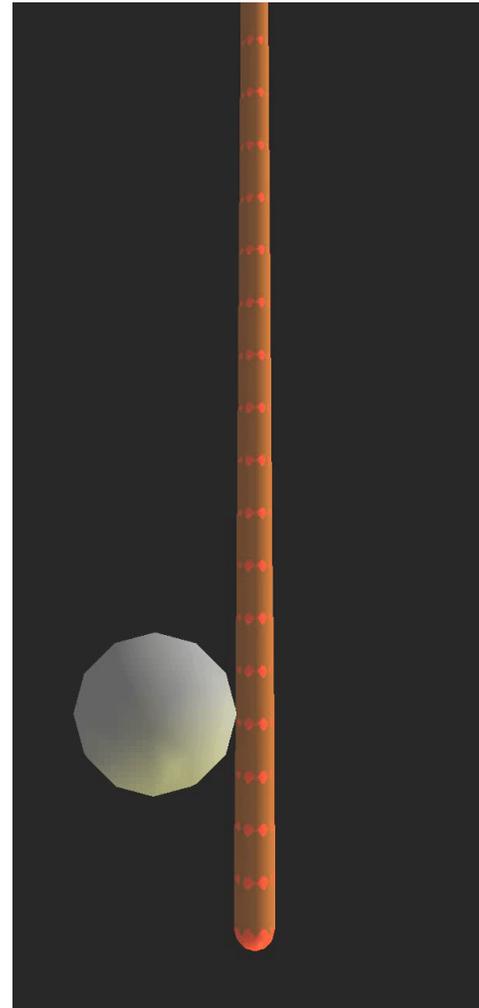
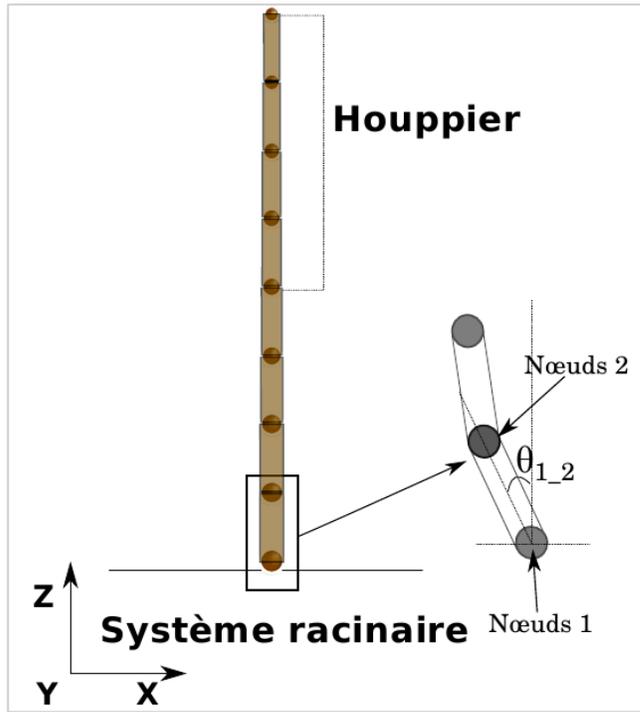
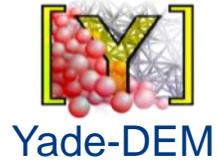
a. tige



b. racines

➤ Les forêts : un « ouvrage » de protection naturel

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



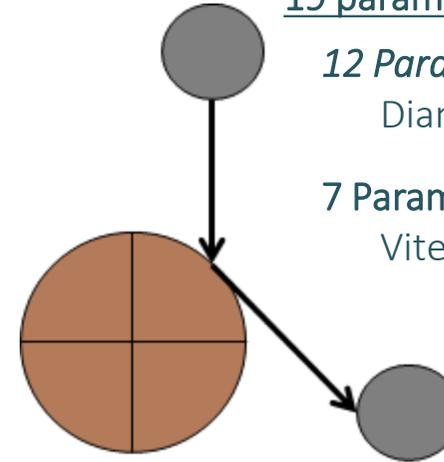
19 paramètres avant impact

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

4 variables d'entrée suffisent à bien décrire l'impact :

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

➤ Les forêts : un « ouvrage » de protection naturel

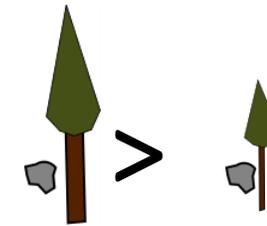
Quantifier la capacité de protection d'une forêt

① Effet «tampon»

Réduction de l'énergie des blocs lors de chaque impact contre un arbre



f(Taille des arbres)
Diamètre

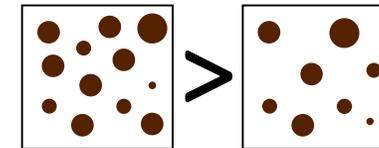


② Effet « barrière »

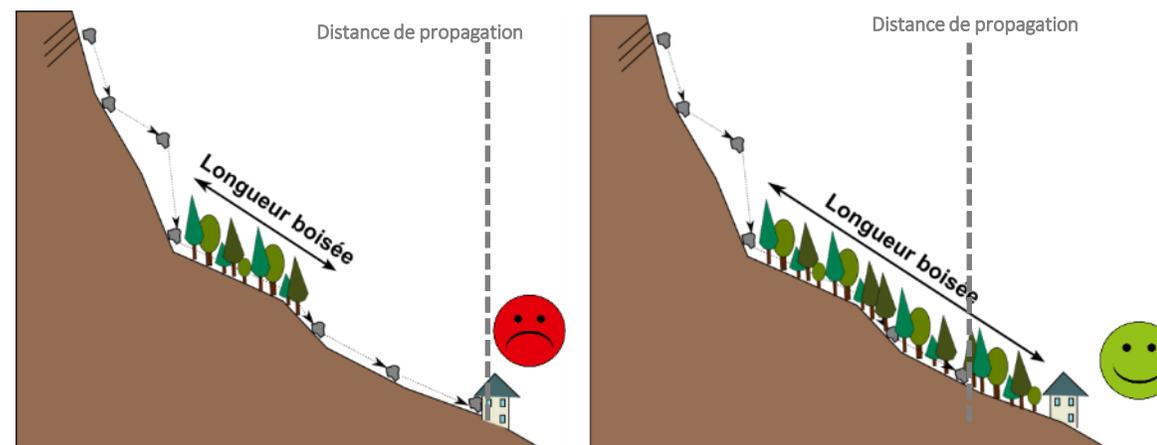
Certains blocs directement stoppés en forêt



f(probabilité d'impact)
Nombre d'arbres

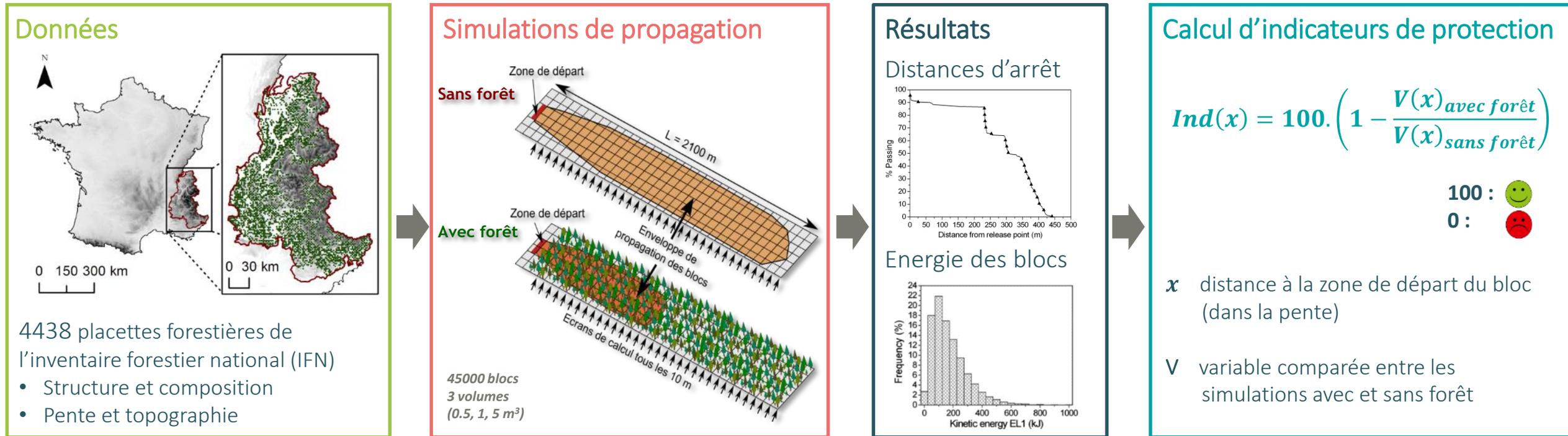


③ Longueur de forêt



➤ Les forêts : un « ouvrage » de protection naturel

Quantifier 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

=

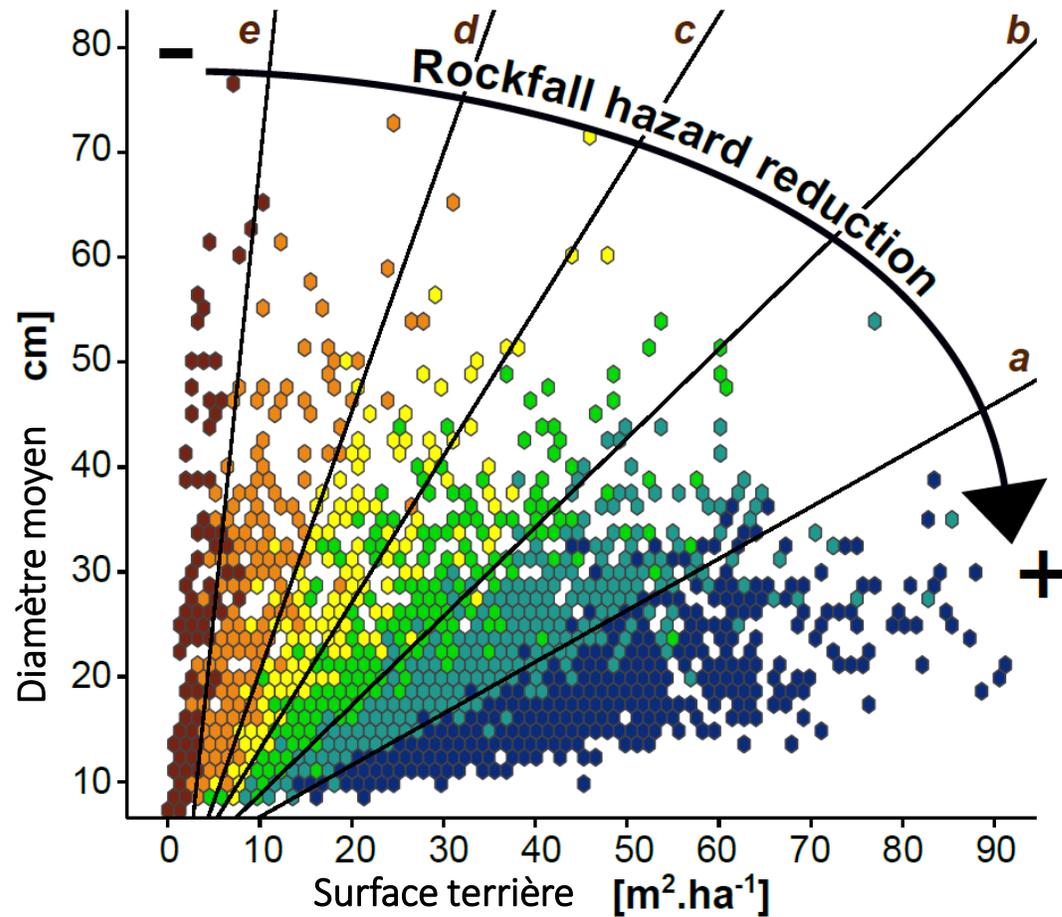
Indicateur combinant réduction de la fréquence et de l'intensité

ORPI(x) : Overall Rockfall Protection Index

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

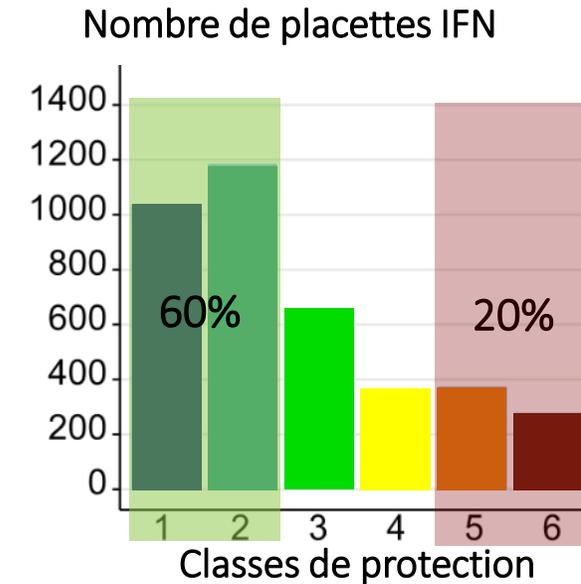
➤ Les forêts : un « ouvrage » de protection naturel

Quantifier la capacité de protection d'une forêt



Classe de protection : 1: ≤ 110 2: 110-190 3: 190-320
 Valeurs de L₉₉ [m] 4: 320-600 5: 600-2100 6: > 2100

Bloc de 1m³



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%

Bloc de 1m³

➤ Plan de la présentation

1. Les forêts : un « ouvrage » de protection naturel pour lutter contre les chutes de blocs
2. Quelques pratiques de génie « forestier »
3. Les écrans pare-blocs forestiers
4. Conclusions / Perspectives



➤ Quelques pratiques de « génie forestier »



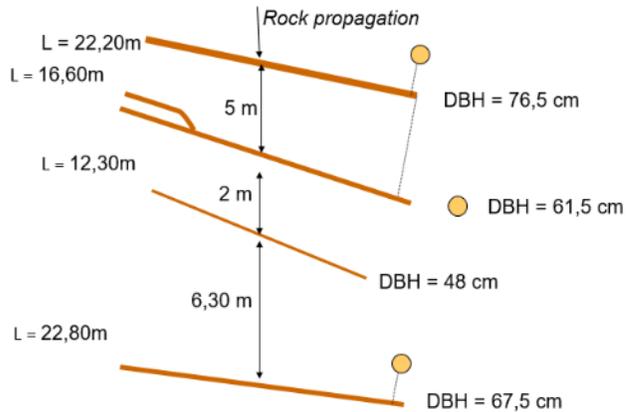
Souches coupées hautes

Arbres en travers de la pente



➤ Quelques pratiques de « génie forestier »

Effets sur la réduction de l'aléa rocheux – expérimentation terrain



- 9 % des blocs arrêtés dans la structure
- 85 % des blocs ont au moins un impact sur la structure

Arrêt



Saut



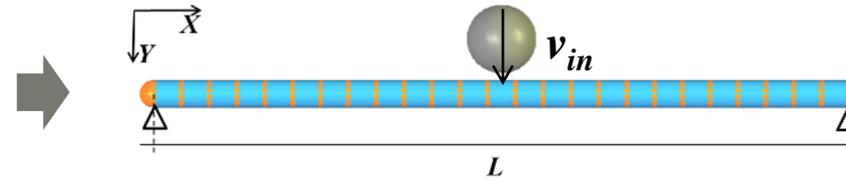
Déviation



➤ Quelques pratiques de « génie forestier »

Effets sur la réduction de l'aléa rocheux – Modélisation numérique

1386 Simulations d'impacts



- $f_{structure}$ (Diam, Long, Wood Property)
- f_{bloc} (Volume, Vitesse)

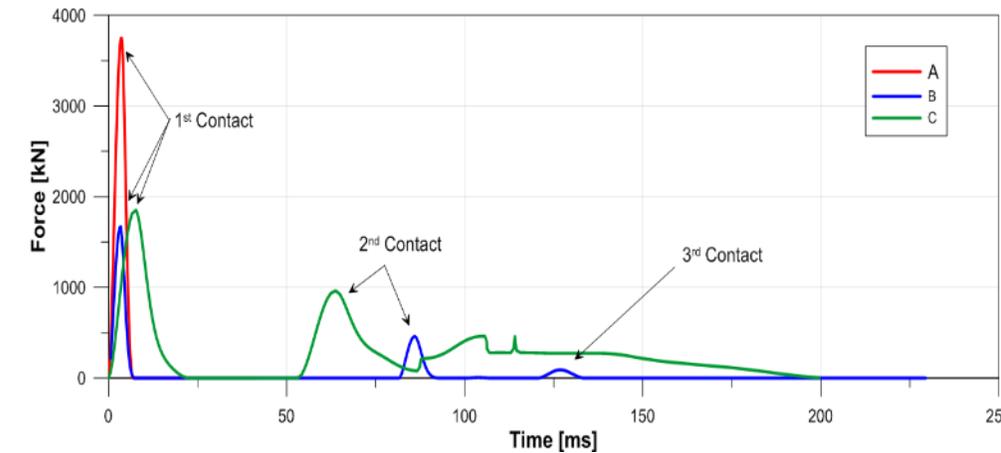
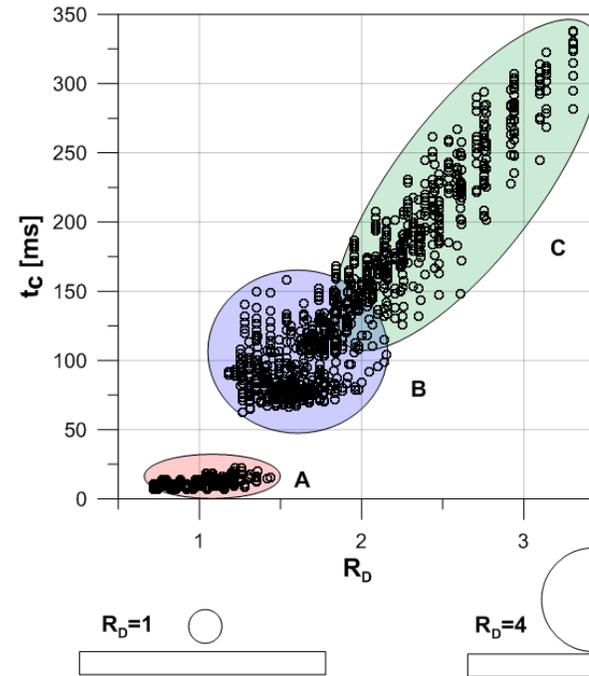
Classification en 3 groupes

Rapport de taille arbre/bloc

$$R_D = \frac{DiamBlock}{DiamTree}$$

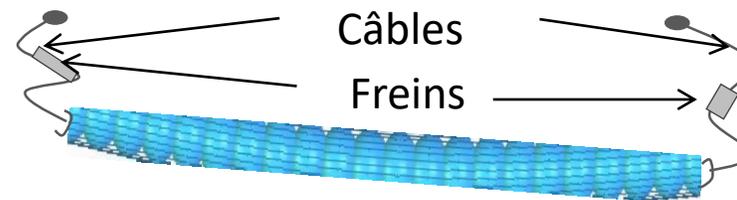
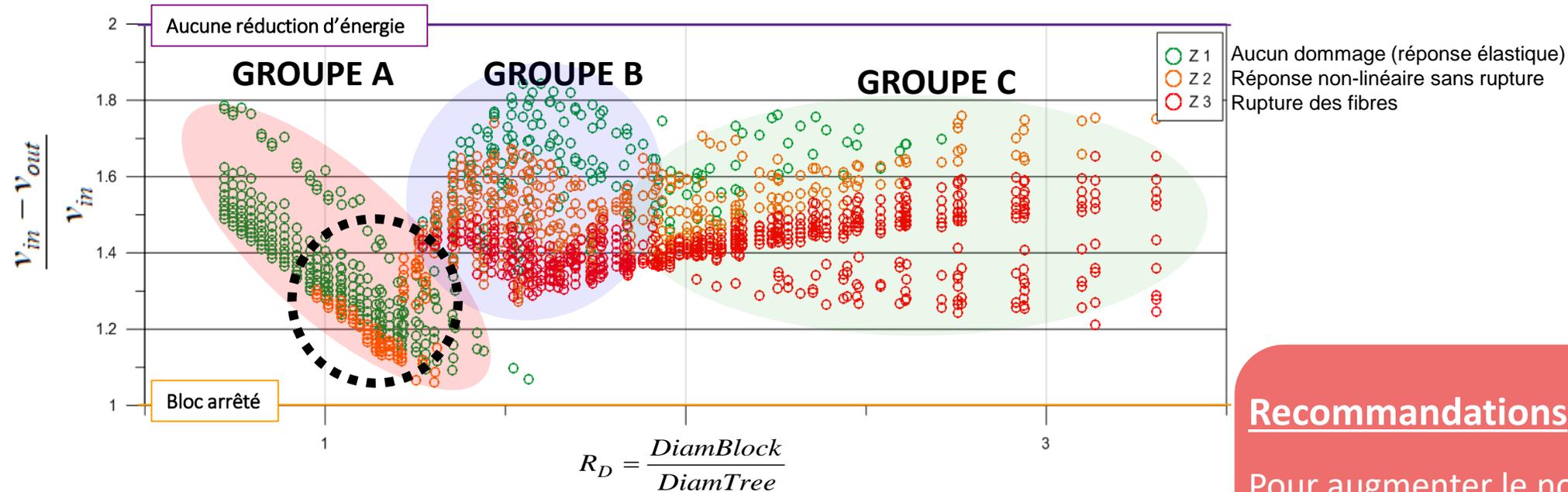
Durée de l'impact :

- A: [0...30] ms 1 contact
- B: [40...160] ms 2-3 contacts ($t_{cont} < 30ms$)
- C: >120 ms 2 contacts ($t_{cont} > 30ms$)



➤ Quelques pratiques de « génie forestier »

Effets sur la réduction de l'aléa rocheux – Modélisation numérique



Recommandations :

Pour augmenter le nombre de blocs arrêtés :

- Hauteur de la structure \approx Taille du bloc

Pour réduire ou retarder le 2nd contact :

- Attacher par des câbles au lieu de poser contre un support
- Ajouter des freins aux câbles

➤ Plan de la présentation



1. Les forêts : un « ouvrage » de protection naturel pour lutter contre les chutes de blocs
2. Quelques pratiques de génie « forestier »
3. Les écrans pare-blocs forestiers
4. Conclusions / Perspectives

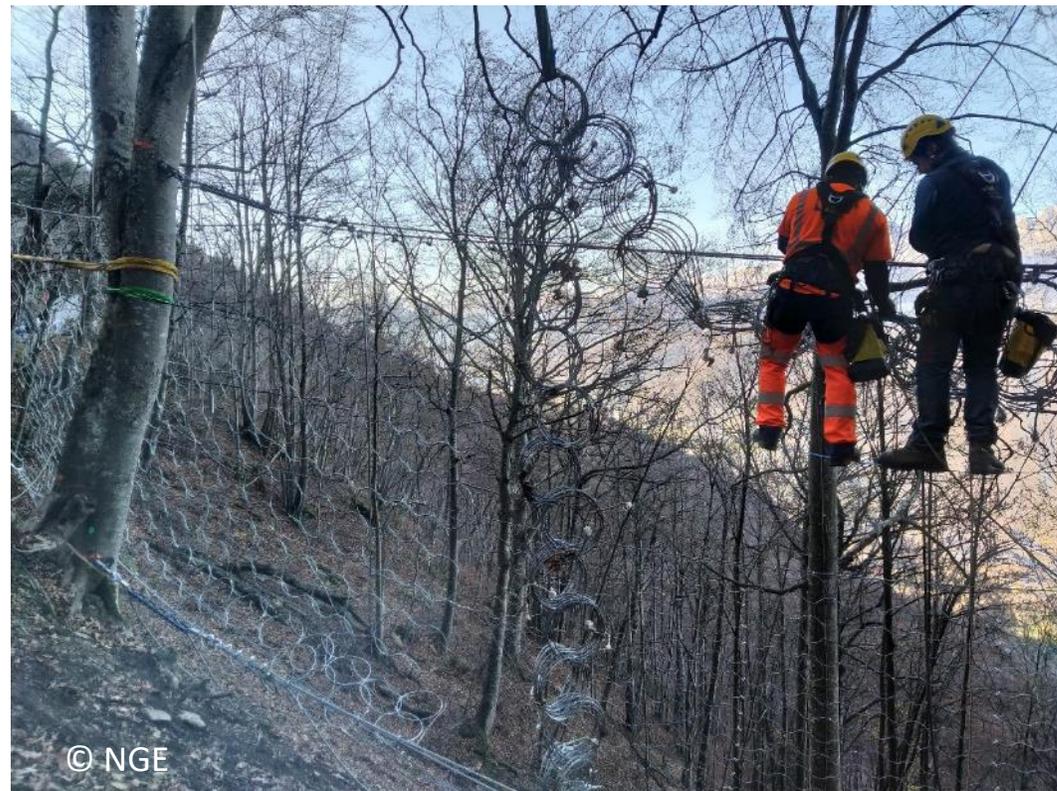
➤ Ecrans pare-blocs forestiers

Principes généraux de conception

- Des ouvrages légers
- Réduction de l'élagage et abattage d'arbres
- Suppression des ancrages forés
- Montage rapide

Le respect de ces principes amène à rester sur des ouvrages de faible énergie : 100 et 500 kJ

La conception des ouvrages est validée par des essais grandeur nature

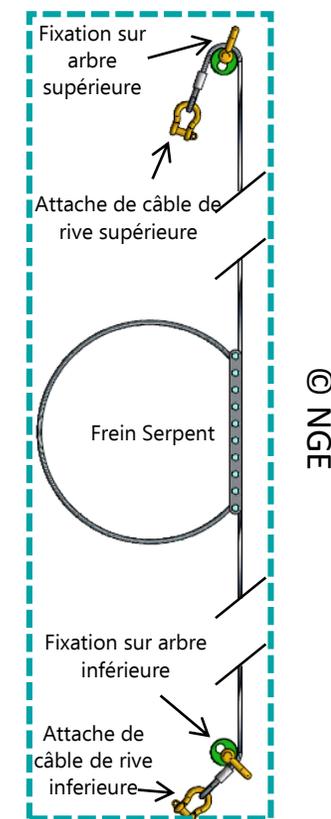
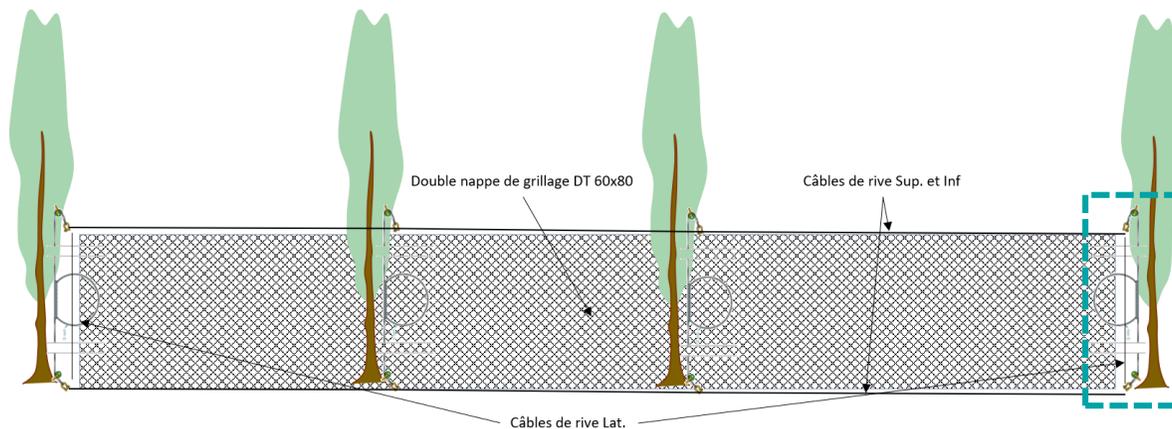


➤ Ecrans pare-blocs forestiers

Ecran 100 kJ : Description de la structure

Filets ancrés sur des arbres

- $H_n = 3\text{m}$ (NF Class 2)
- Un frein connecté aux rives inférieures et supérieures au niveau de chaque arbre
- Pas de fondation
- Design modulaire :
 - Câbles supérieurs, inférieurs et latéraux
 - Double nappe Maille à haute résistance double torsion
 - Ancrages sur des arbres
 - Renforts aux extrémités

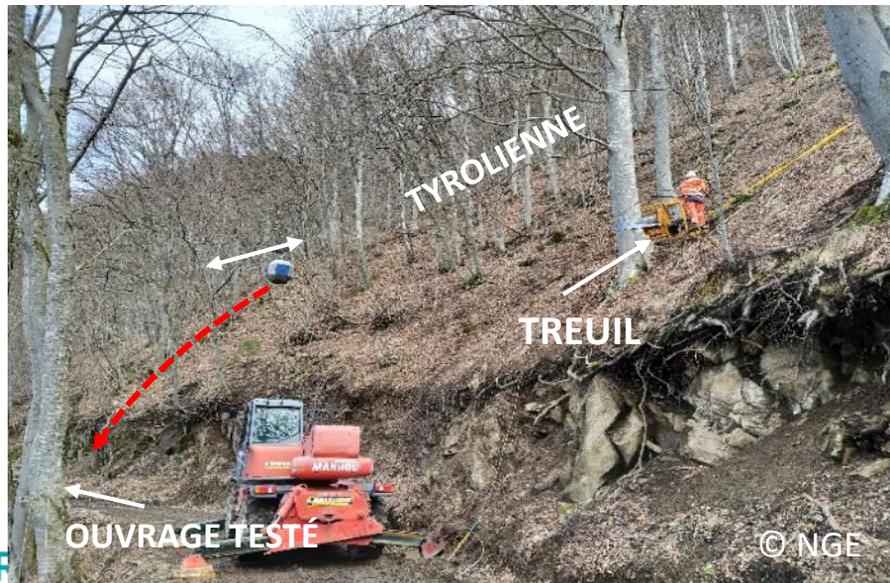


➤ Ecrans pare-blocs forestiers

Ecran 100 kJ : Essai d'impact

Description des essais

- Tyrolienne
 - 45 m avant ouvrage
 - 35 m de dénivelé
- Bloc de 280 kg (ETAG027)
- Bloc lâché avant l'impact
- Structure à 3 modules
- 3 capteurs de force
- 1 caméras rapide

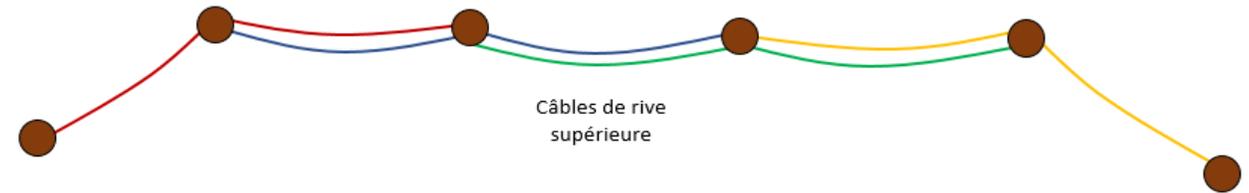
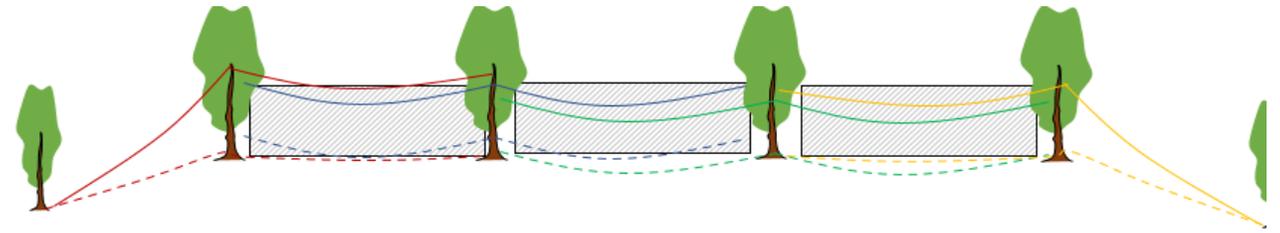
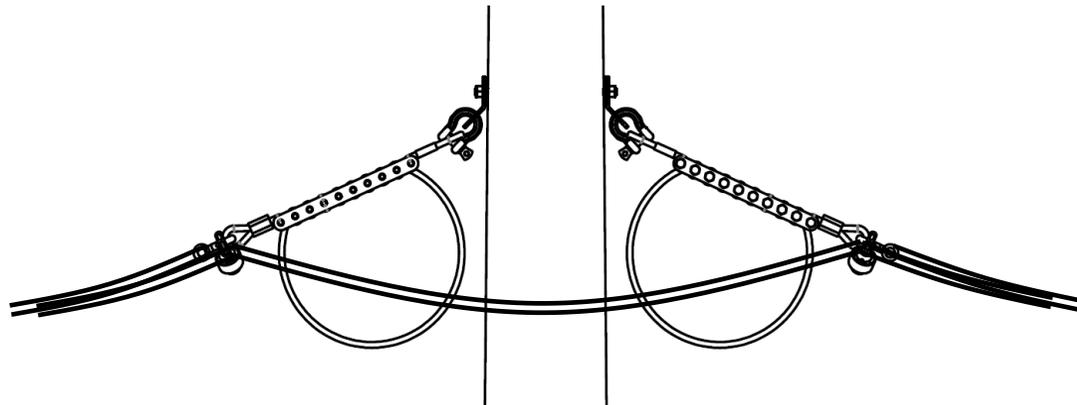


➤ Ecrans pare-blocs forestiers

Ecran 500 kJ : Description de la structure

Filets ancrés sur des arbres

- $H_n = 4\text{m}$
- Rives inférieures et supérieures freinées
 - Freins serpent
- Pas de fondation
- Éléments manportables
- Design modulaire :
 - Câbles supérieurs, inférieurs et latéraux
 - Nappe ASM

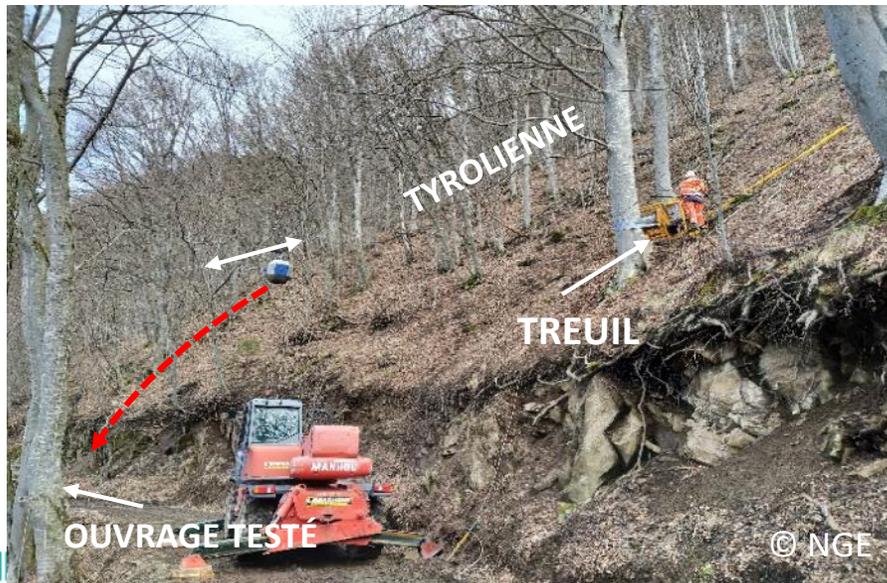


➤ Ecrans pare-blocs forestiers

Ecran 500 kJ : Essai d'impact

Descriptions des essais

- Tyrolienne
 - 45 m avant ouvrage
 - 35 m de dénivelé
- Bloc de 920 kg (ETAG027)
- Bloc lâché avant l'impact
- Structure à 3 modules
- 3 capteurs de force
- 1 caméras rapide



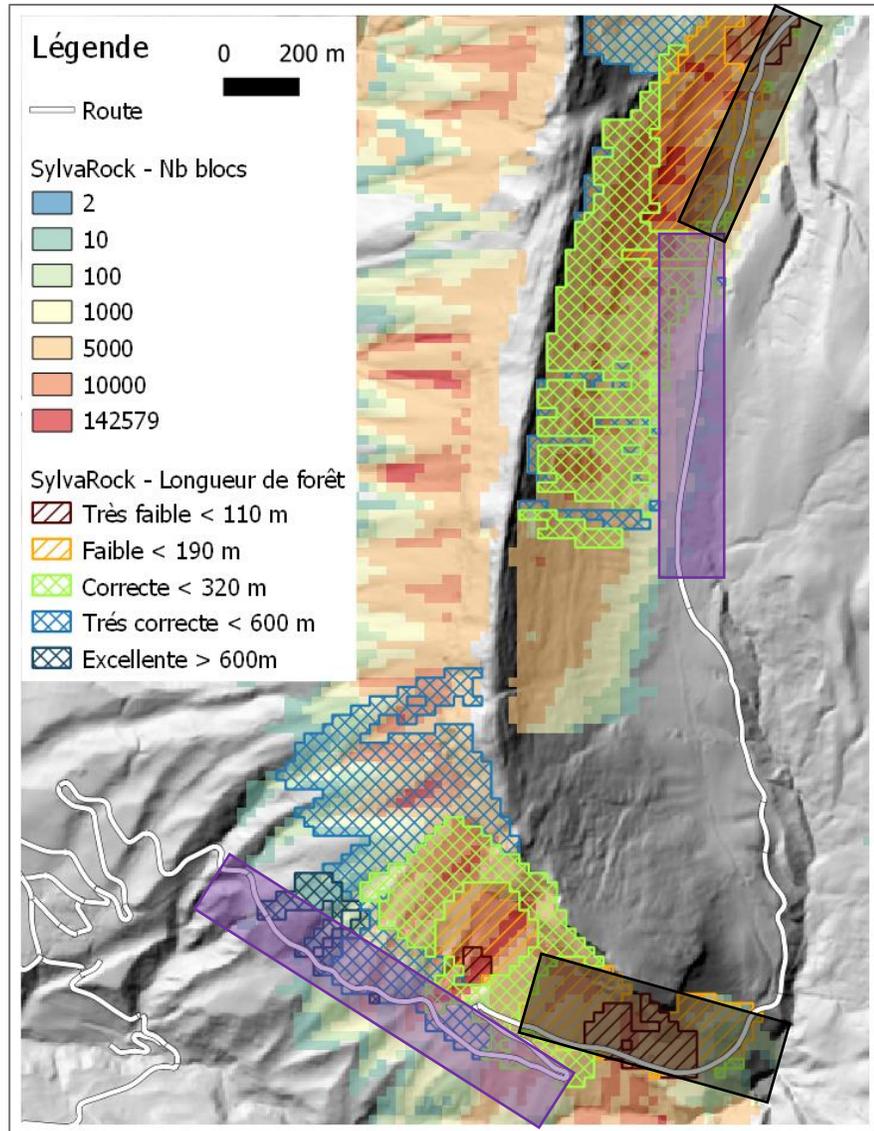
➤ Plan de la présentation

1. Les forêts : un « ouvrage » de protection naturel pour lutter contre les chutes de blocs
2. Quelques pratiques de génie « forestier »
3. Les écrans pare-blocs forestiers
4. Conclusions / Perspectives



➤ Conclusions / Perspectives

Vers une complémentarité génie civil / solutions fondées sur la forêt ?



Enjeux linéaires – Prise en compte spatiale de la forêt

Comparaison entre intensité / fréquence de l'aléa et longueur de forêt disponible

- Forêt a priori suffisante
- Forêt insuffisante



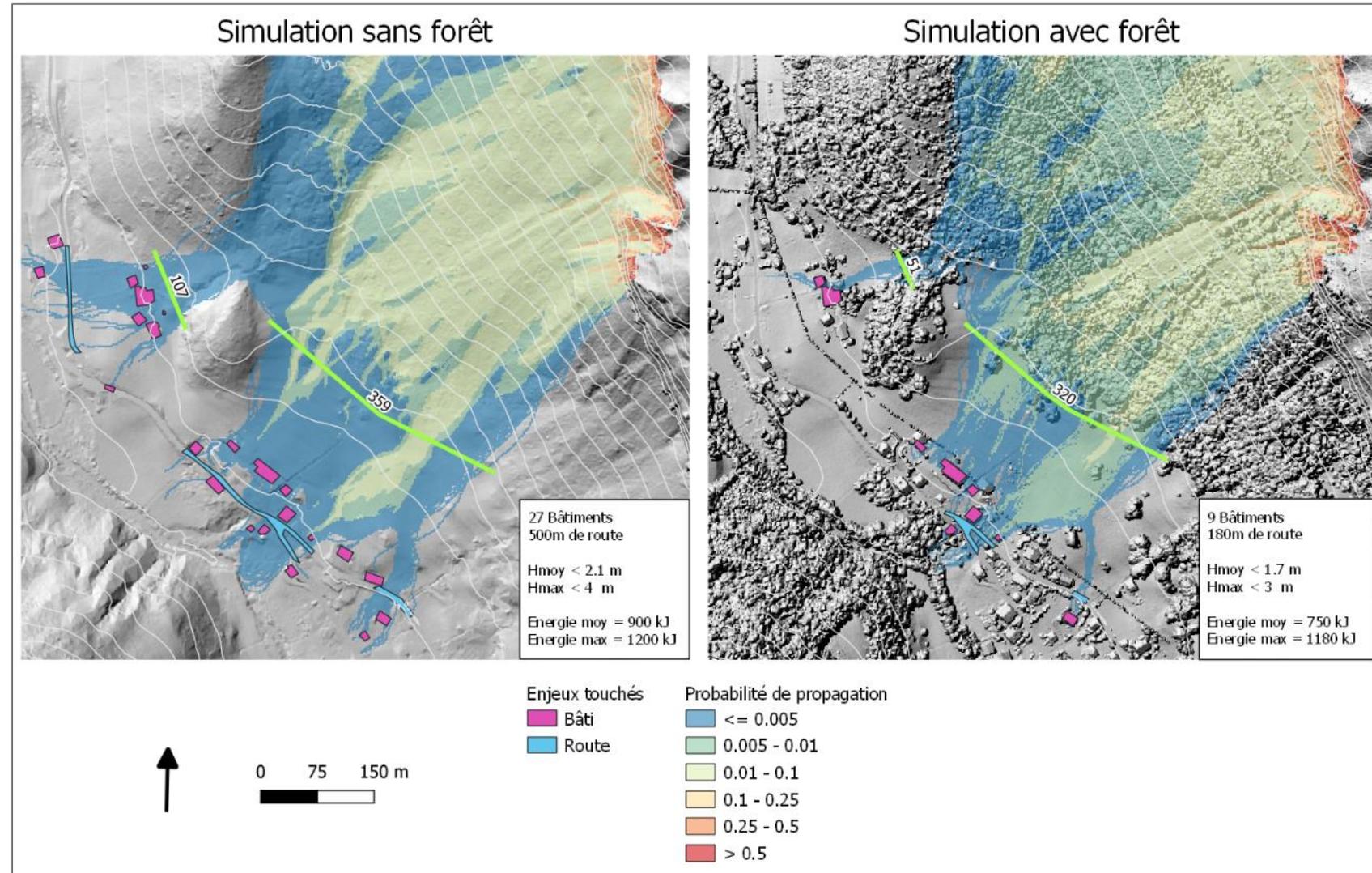
Action Rfor_01 : Prise en compte du couvert forestier dans la protection contre les aléas chutes de blocs des infrastructures routières

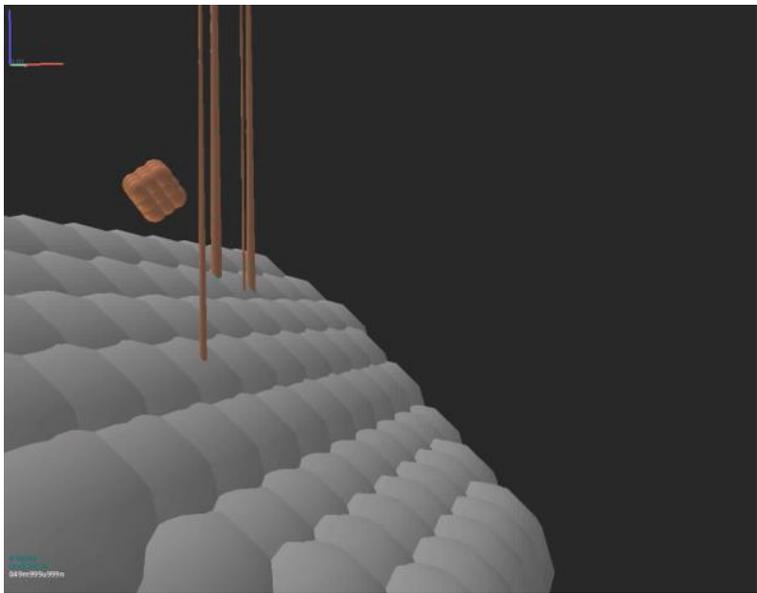
➤ Conclusions / Perspectives

Vers une complémentarité génie civil / solutions fondées sur la forêt ?

Dimensionnement d'ouvrage

- Prendre en compte la forêt dans le dimensionnement peut réduire le coût global
- ➔ Suppose un modèle capable de bien prendre en compte la forêt (PlatRock)
- Possible de jouer sur la complémentarité forêt / génie civil / génie forestier





Merci pour votre attention

