

# Évaluation du risque de chutes de rochers sur l'ensemble des routes régionales en Wallonie

Simon DELVOIE, Direction de la Géotechnique, SPW-MI

Luc FUNCKEN, Direction de la Géotechnique, SPW-MI

Axel DELTOUR, Direction de la Géotechnique, SPW-MI

Marc SALMON, Service Géologique de Wallonie, SPW-ARNE

Gérard SWINNEN, Cellule télédétection et Géodonnées, ISSeP

Éric HALLOT, Cellule télédétection et Géodonnées, ISSeP

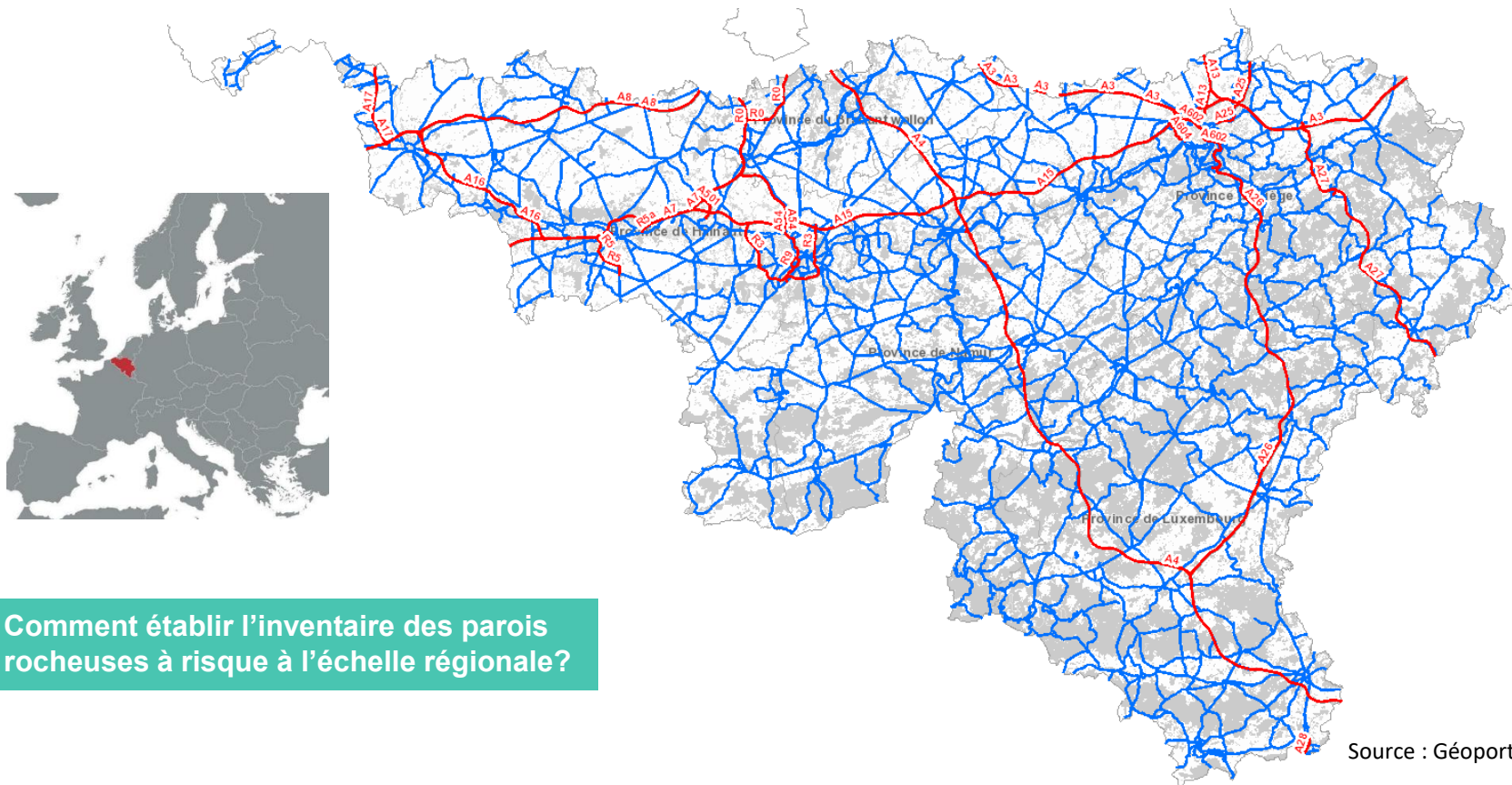
**Journées Francophones de Mécanique des Roches et Géologie de l'Ingénieur**

Résilience des infrastructures face au changement climatique

14 & 15 mai 2025

# Réseau routier et autoroutier régional en Wallonie

8360 km de routes régionales et autoroutes gérées par les services publics régionaux (SPW-MI et SOFICO)



Comment établir l'inventaire des parois rocheuses à risque à l'échelle régionale?

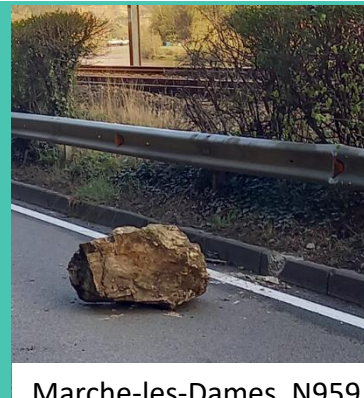
Source : Géoportail du SPW-MI

# Le réseau routier est fréquemment confronté à des chutes de rochers

## Éboulements en masse



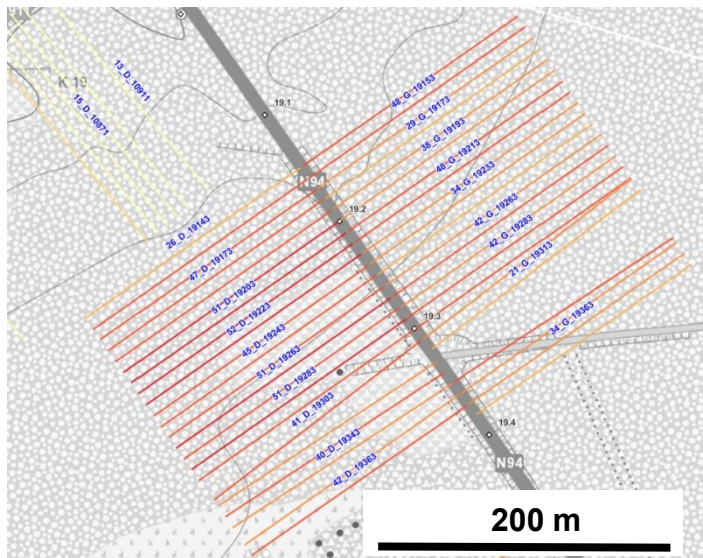
## Éboulements de rochers isolés



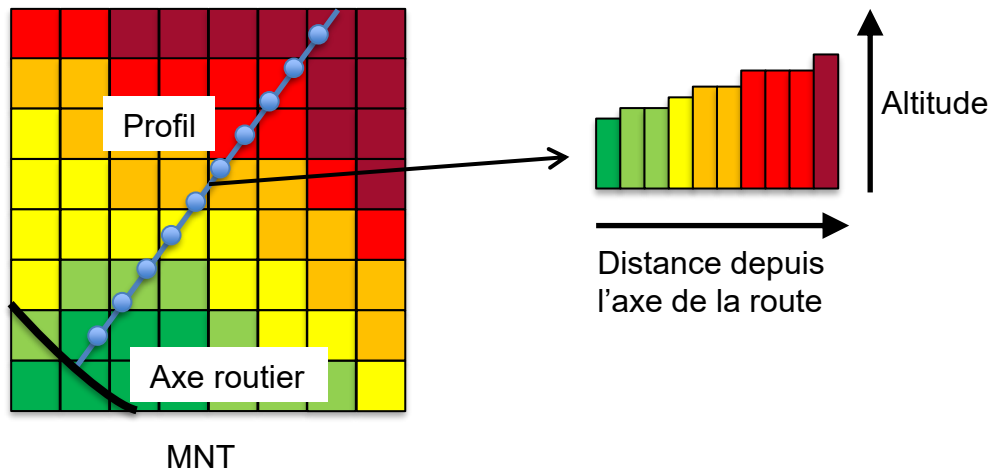
# Données d'entrée et méthodologie

- Axe de la route
- Largeur de l'assiette viaire
- Modèle numérique de terrain (MNT) au moyen de données LiDAR aéroportées (XY:  $\pm 0.5\text{m}$  ; Z:  $\pm 0.2\text{m}$ )

Code Python pour générer les profils de 200 m de longueur, perpendiculaires à l'axe de la route, tous les 10 m, de chaque côté de la route (> 1.500.000 profils au total)



Pour chaque profil : détermination de l'altitude pour 200 points interdistants de 1 m (avec ArcGIS Pro)

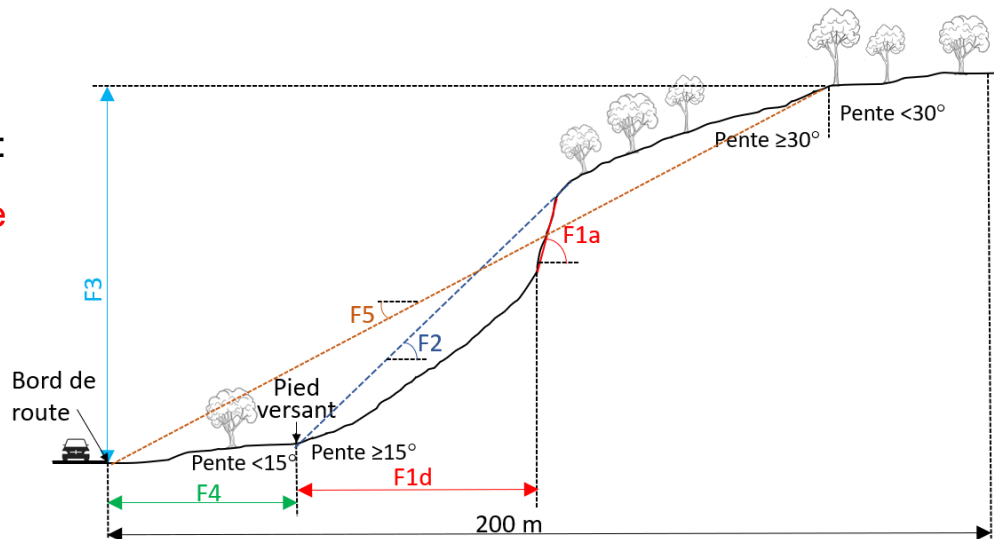


# Calcul de l'aléa rocheux « théorique »

Sur base de 6 paramètres géométriques du versant :

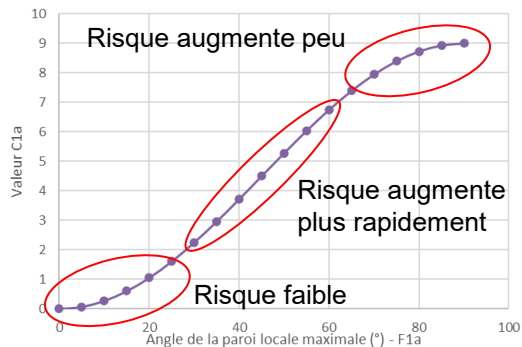
**Pente locale maximale : inclinaison (F1a) et distance avec le pied du versant (F1d)**

- Information locale sur l'existence d'une « falaise » constituant une zone potentielle de départ
- Pas représentatif de l'ensemble du versant
- Combinaison de deux paramètres : F1a et F1d

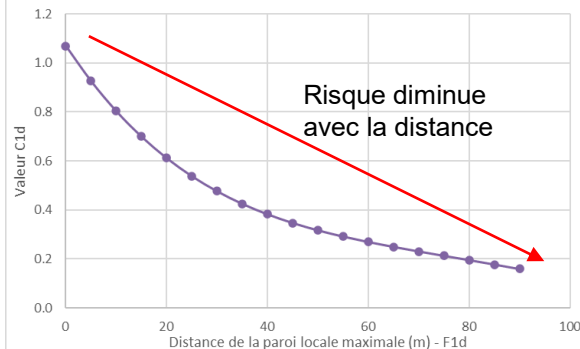


Conversion des valeurs géométriques en « coefficients de dangerosité »

Critère C1a



Critère C1d

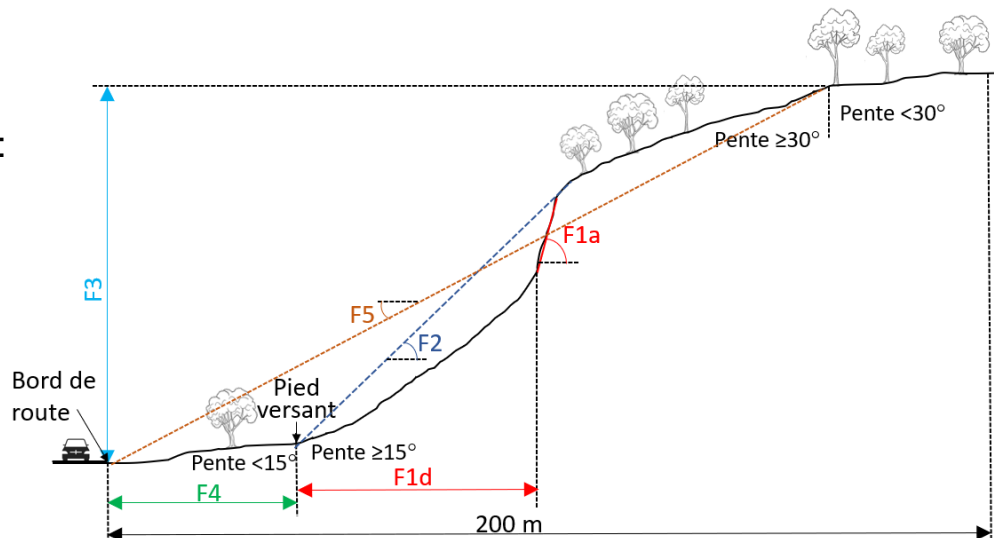


# Calcul de l'aléa rocheux « théorique »

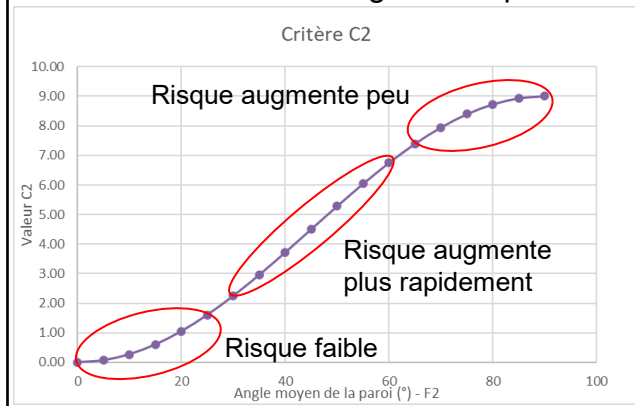
Sur base de 6 paramètres géométriques du versant :

Pente « moyenne » depuis le pied du versant (F2)

- Donne une image « globale » de la pente sur laquelle les blocs peuvent rouler vers la route
- Le danger évolue de manière « sinusoïdale »



Conversion des valeurs géométriques en « coefficients de dangerosité »

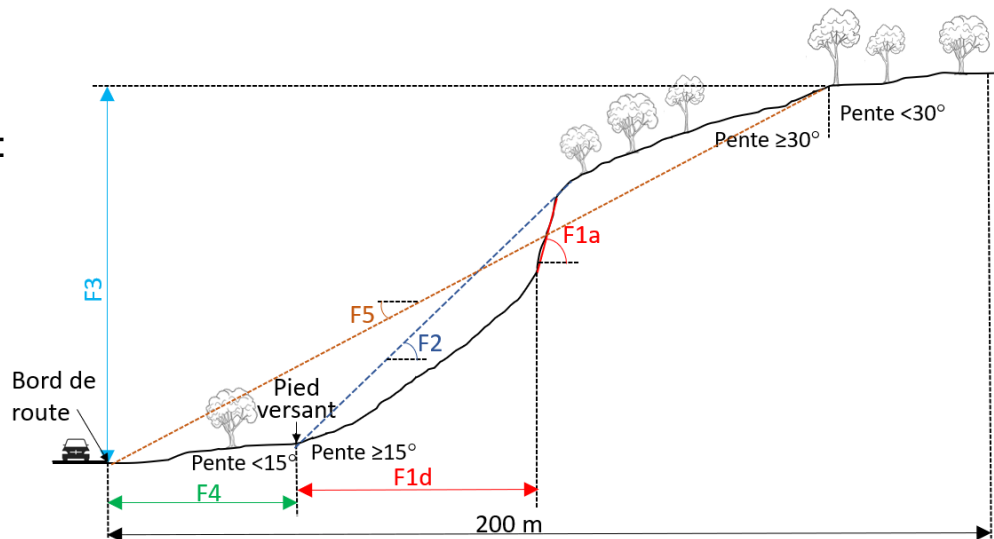


# Calcul de l'aléa rocheux « théorique »

Sur base de 6 paramètres géométriques du versant :

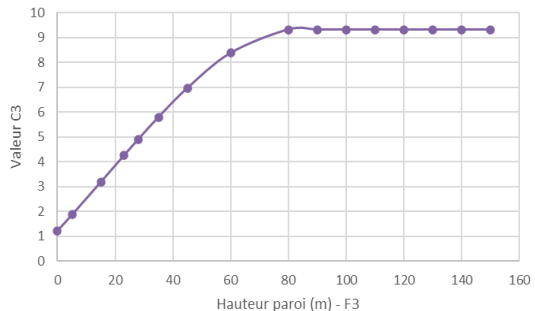
## Hauteur maximale (F3)

- Plus le versant est haut, plus l'énergie cinétique du bloc peut être importante
- Valeur maximale atteinte à partir d'une hauteur maximale de 80 m (contexte adapté à la Wallonie)



## Conversion des valeurs géométriques en « coefficients de dangerosité »

Critère C3

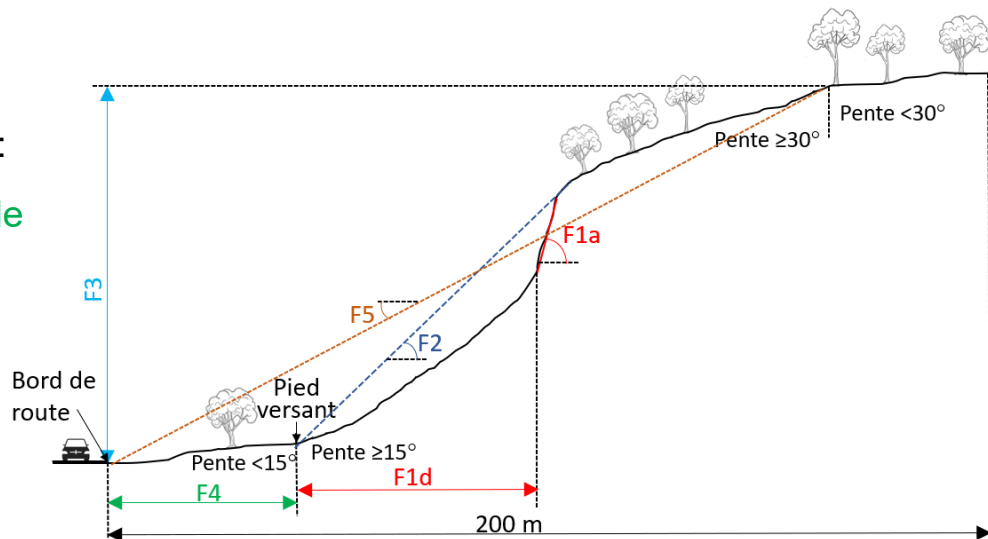


# Calcul de l'aléa rocheux « théorique »

Sur base de 6 paramètres géométriques du versant :

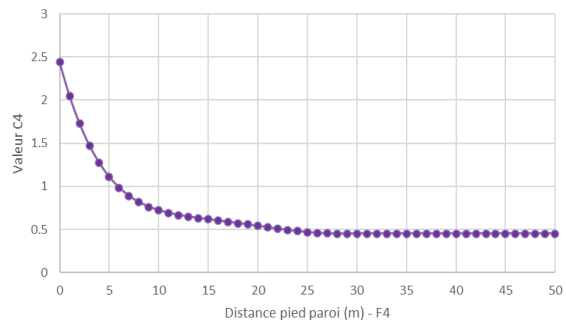
Écartement du pied de la paroi par rapport au bord de route (F4)

- Critère de sécurité
- Espace disponible en pied de versant pour que le bloc ralentisse ou s'arrête de lui-même avant d'atteindre la route
- Les premiers mètres sont les plus importants



Conversion des valeurs géométriques en « coefficients de dangerosité »

Critère C4

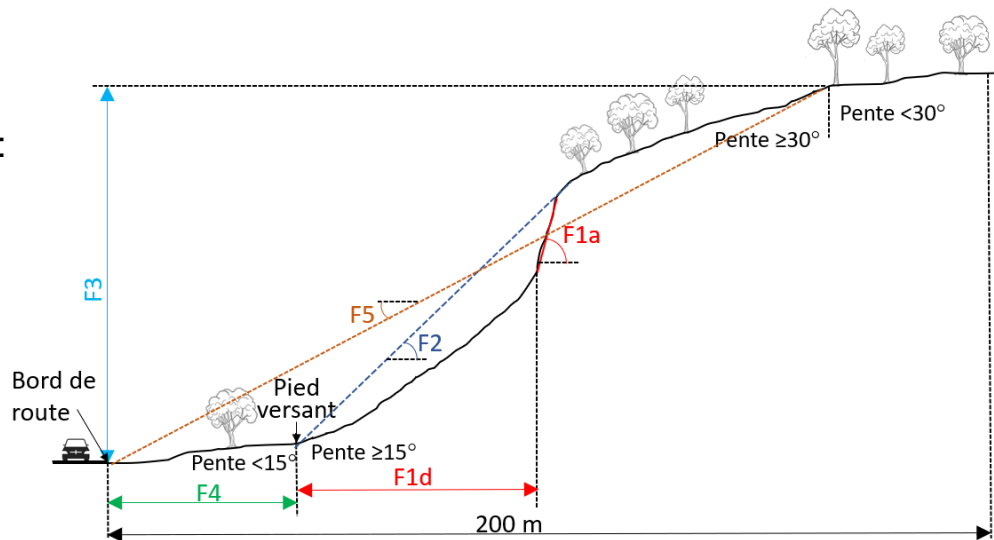


# Calcul de l'aléa rocheux « théorique »

Sur base de 6 paramètres géométriques du versant :

Pente « moyenne » depuis le bord de route (F5)

- Pente « moyenne » qui s'apparente à « l'angle d'énergie » (détermine la distance maximale de propagation d'un bloc)
- Par retour d'expérience, risque quasi-nul quand  $F5 < 25^\circ$  (e.g. MEZAP, 2021)



$$\text{Aléa rocheux "théorique"} = \begin{cases} ((C1a \cdot C1d)/3 + 2 \cdot C2 + C3) \cdot C4, & F5 \geq 25 \\ 0, & F5 < 25 \end{cases}$$

- Formule d'abord validée sur ~10 « sites écoles »

- Catégories d'aléa :

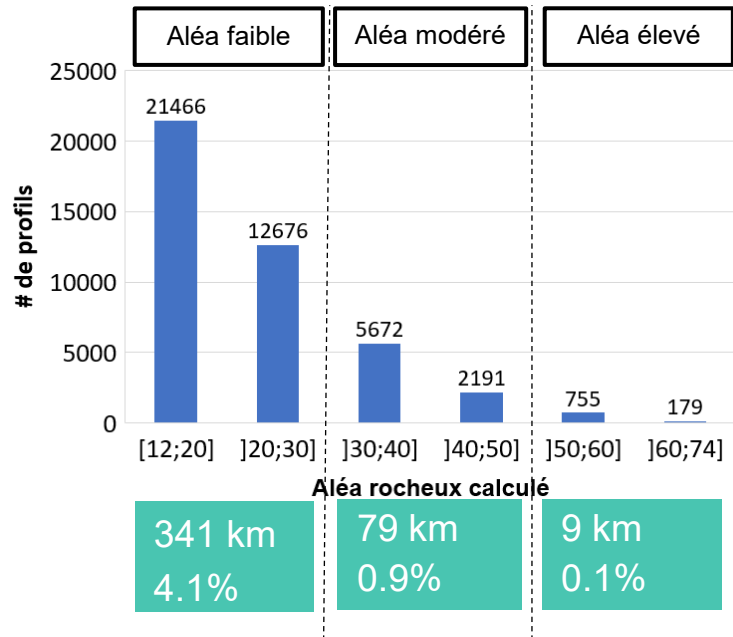
Entre 12 et 30 : aléa faible

Entre 30 et 50 : aléa modéré

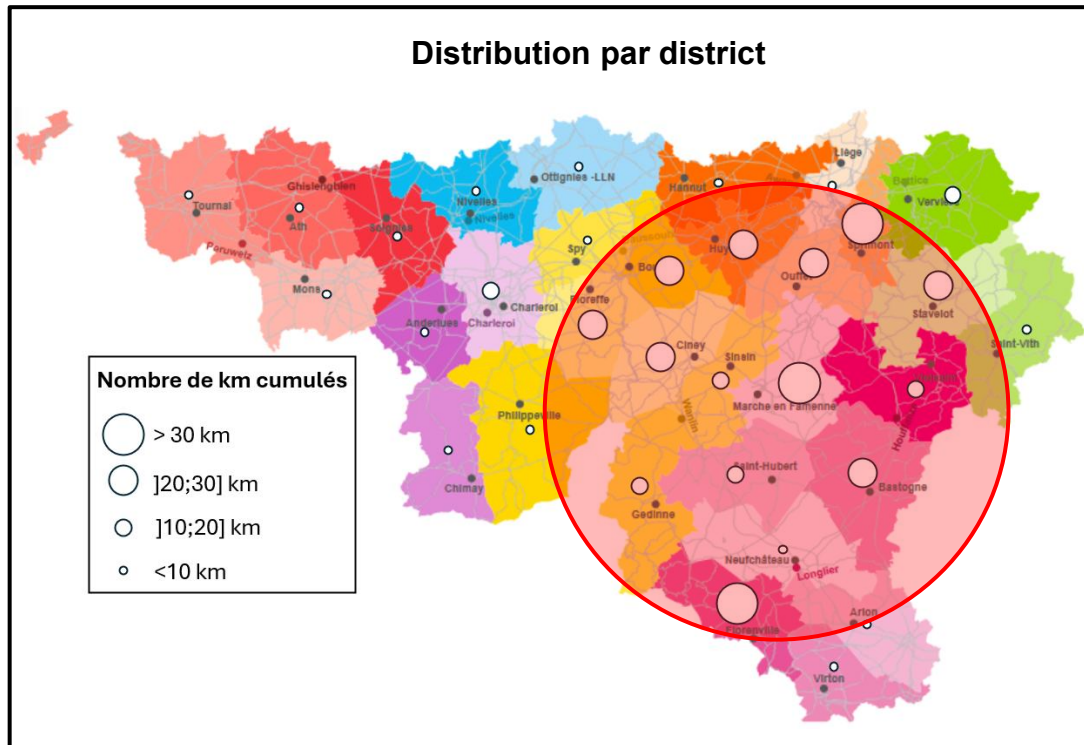
Entre 50 et 74 : aléa élevé

# Résultats à l'échelle de la Wallonie : 5% du réseau serait concerné

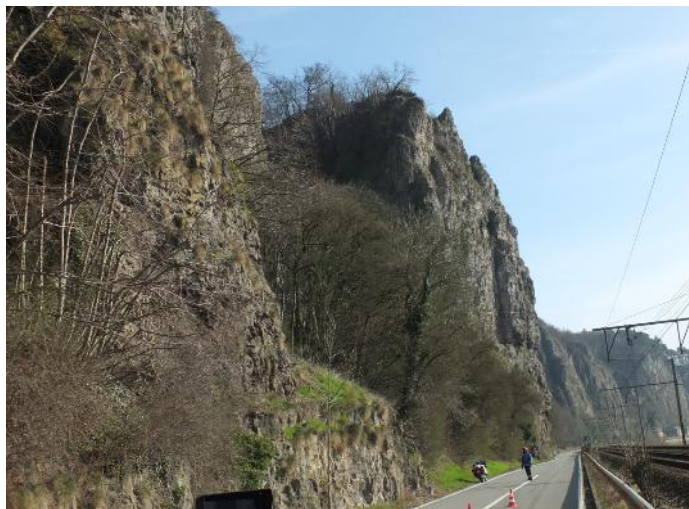
## Réseau routier régional global



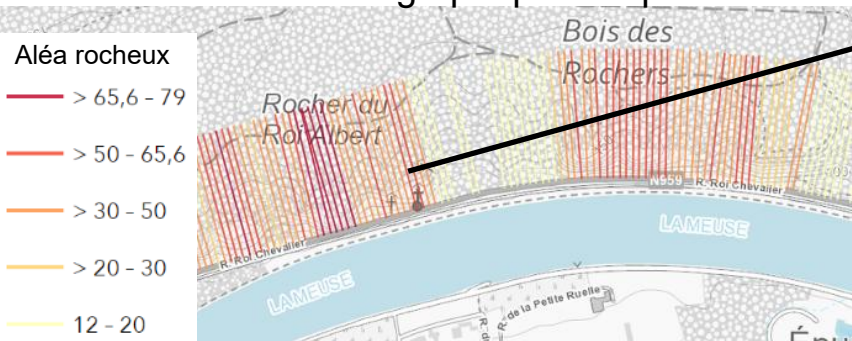
## Distribution par district



# Exemple : rochers de Marche-les-Dames (N959)



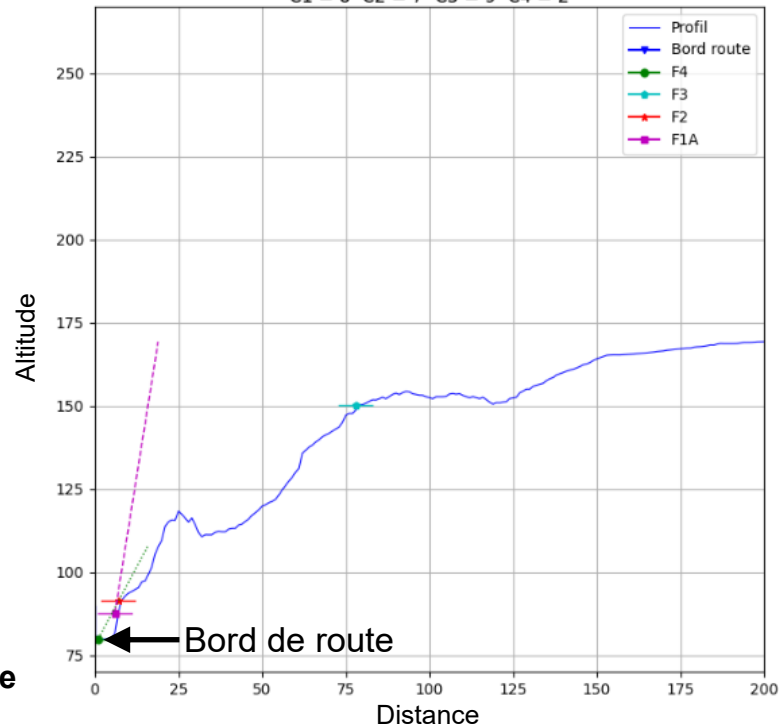
## Visualisation cartographique des profils



## Détails d'un profil et ses paramètres

N959 - 4560 - GAUCHE : RISQUE = 52

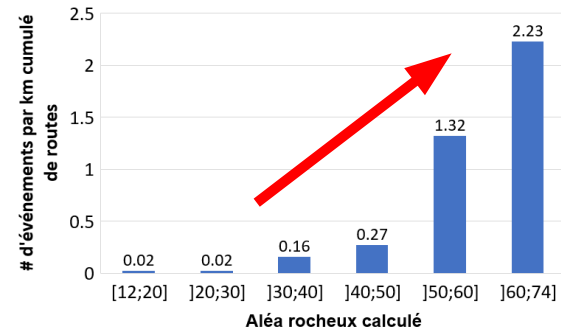
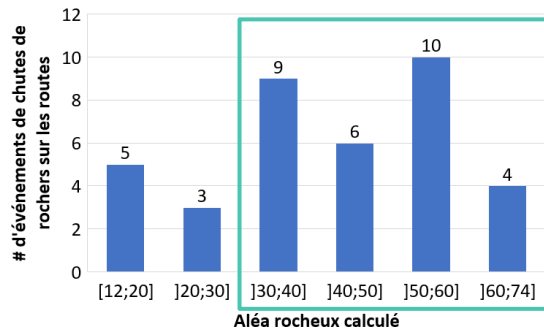
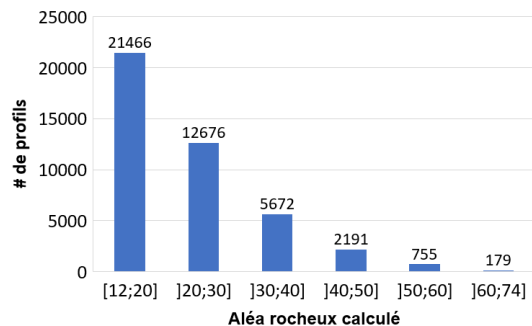
F1D = 5 F1A = 81 F2 = 62 F3 = 70 F4 = 1  
C1 = 8 C2 = 7 C3 = 9 C4 = 2



# Comparaison de l'aléa avec des événements de chutes de rochers

**37 événements** bien documentés de chutes de rochers sont utilisés avec les caractéristiques suivantes :

- Atteint la route
- Distribués partout en Wallonie, entre 1988 et 2023
- Topographies variables
- Roches différentes



~80% des événements se sont produits en présence d'aléa théorique modéré à élevé

# Quelques développements récents

Prise en compte de **données sur le massif rocheux** dans le calcul de l'aléa

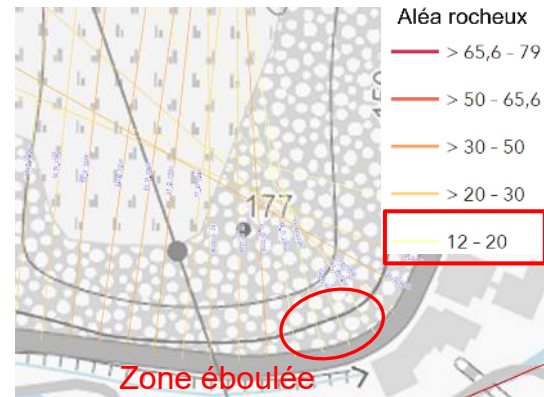
Quelques paramètres défavorables pour la stabilité :

- Stratification (sub-)parallèle à la route (60% des éboulements recensés)
- Présence de surplombs
- Venues d'eau

Exemple : Ouffet (N623) : Éboulement de  $\sim 1000 \text{ m}^3$  en mars 2020



Aléa rocheux calculé = faible



# Calcul du risque rocheux

Tendre vers une notion de **risque rocheux en accord avec les observations de terrain** :

- Aléa théorique est la donnée de base
- Prise en compte de données complémentaires

$$\text{Risque rocheux} = (\text{Aléa théorique} \cdot F_{\text{structure}} \cdot F_{\text{intensité}} \cdot F_{\text{fréquence}} \cdot F_{\text{enjeu}}) / 5$$

## Structure du massif rocheux (stratification parallèle à la route ?) :

- Favorable : x 1,00
- Défavorable : x 1,25

## Intensité des événements (volumes instables)

- < 0,05 m<sup>3</sup> : x 1,0
- [0,05 ; 0,25] m<sup>3</sup> : x 1,2
- ]0,25 ; 1,0] m<sup>3</sup> : x 1,5
- ]1,0 ; 10] m<sup>3</sup> : x 2,0
- > 10 m<sup>3</sup> : x 4,0

## Enjeu (nomenclature route)

- XYZ (autoroute) : x 5,0
- RXYZ (ring) : x 4,0
- N00X (nationale) : x 4,0
- N0XY (nationale) : x 2,5
- NXYZ (nationale) : x 2,0
- TXYZ (Ravel) : x 1,0

## Fréquence des événements

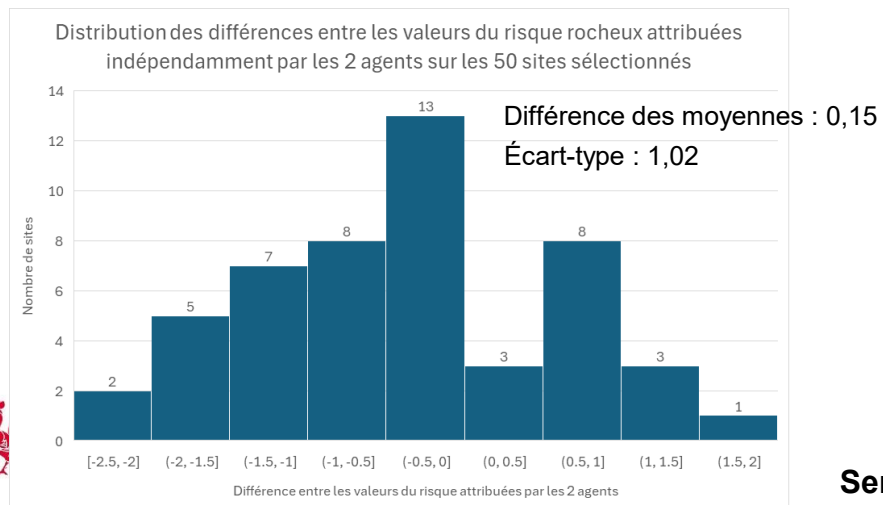
- > 1x/an : x 2,0
- Entre 1x/an et 1x/5ans : x 1,5
- Entre 1x/5ans et 1x/20ans : x 1,0
- < 1x/20ans : x 0,8

# Validation du calcul du risque rocheux

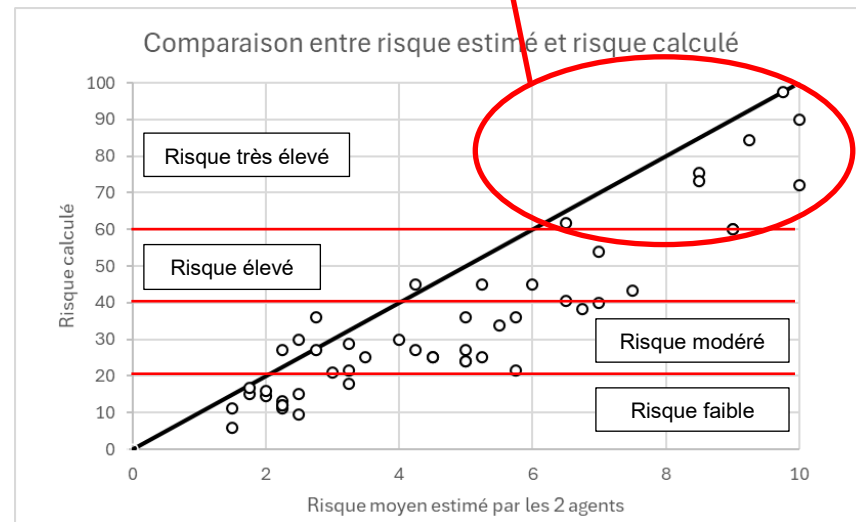
$$\text{Risque rocheux} = (\text{Aléa théorique} \cdot F_{\text{structure}} \cdot F_{\text{intensité}} \cdot F_{\text{fréquence}} \cdot F_{\text{enjeu}}) / 5$$

Pour une sélection de 50 sites répartis dans toute la Wallonie :

- Calcul du risque rocheux via formule
- Évaluation du risque rocheux (sur une échelle de 0 à 10)
  - Réalisée par 2 agents de manière indépendante



## Sites à sécuriser prioritairement





## Évaluation du risque de chutes de rochers sur l'ensemble des routes régionales en Wallonie

Simon DELVOIE, Direction de la Géotechnique, SPW-MI, [simon.delvoie@spw.wallonie.be](mailto:simon.delvoie@spw.wallonie.be)

Luc FUNCKEN, Direction de la Géotechnique, SPW-MI

Axel DELTOUR, Direction de la Géotechnique, SPW-MI

Marc SALMON, Service Géologique de Wallonie, SPW-ARNE

Gérard SWINNEN, Cellule télédétection et Géodonnées, ISSeP

Éric HALLOT, Cellule télédétection et Géodonnées, ISSeP

**Journées Francophones de Mécanique des Roches et Géologie de l'Ingénieur**

Résilience des infrastructures face au changement climatique

14 & 15 mai 2025