



Comité Français de Mécanique des Roches



Séance technique : Les applications des méthodes de l'Intelligence Artificielle en Mécanique des Roches

Projet RINA : utilisation de l'intelligence artificielle (IA) dans le contexte aléas rocheux lors d'événements météorologiques intenses, accentués par le changement climatique

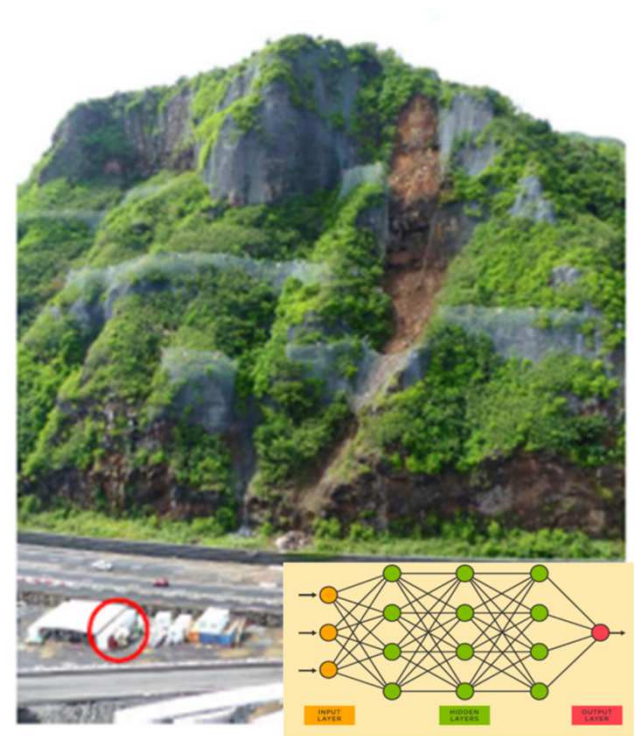
05/05/2022



Chutes de Blocs
Risques Rocheux
Ouvrages de Protection

Projet RINA : utilisation de l'intelligence artificielle (IA) dans le contexte aléas rocheux lors d'événements météorologiques intenses, accentués par le changement climatique

- Introduction
- Site d'étude et données
- Types des modèles prédictifs IA testés et méthode d'évaluation des performances
- Resultats
- Conclusions and perspectives



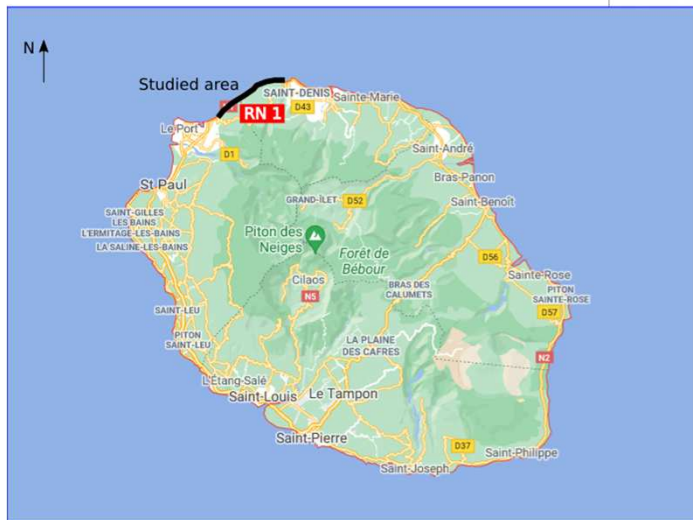
- › Les facteurs climatiques déclenchent des chutes de blocs (Delonca et al., 2014)
- › La prédiction des chutes de blocs pendant des évènements climatiques majeurs est un challenge pour la gestion opérationnelle des infrastructures exposées
- › Une approche IA en complément des approches par modèles multi-échelles et multi-physiques
- › Apprendre des données elles-mêmes pour établir des modèles prédictifs de chutes de blocs dans un contexte de données de plus en plus massives en géosciences
- › Limite : les chutes de blocs sont des évènements rares

Delonca, A., Gunzburger, Y., Verdel, T., 2014. Statistical correlation between meteorological and rockfall databases, Natural Hazards and Earth System Sciences, 14,8, 1953--1964, 10.5194/nhess-14-1953-2014

› RN1 à La Réunion (974)

- Chutes de blocs atteignant la route (13% des jours)
- Les précipitations sont le facteur climatique déclencheur principal

Localisation de l'île de la Réunion et de la RN1



Falaise surplombant la RN1

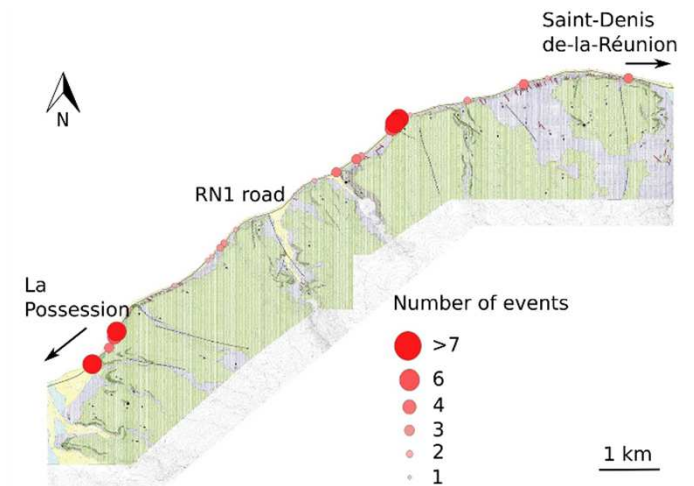


SITE D'ETUDE ET DONNEES

- › RN1 à La Réunion (974)
 - Chutes de blocs atteignant la route (13% des jours)
 - Les précipitations sont le facteur climatique déclencheur principal
- › Données mises à disposition par le CR Réunion :
 - Base de données des chutes de blocs renseignée par le Service des Routes : date, masses et localisations des chutes de blocs entre 2000 et 2007 (avant les travaux de mise en sécurité de 2008)
 - Pluies quotidiennes mesurées par des pluviomètres installés le long de la route
 - Règle experte de gestion de la fermeture de la route
- › Analyse temporelle uniquement



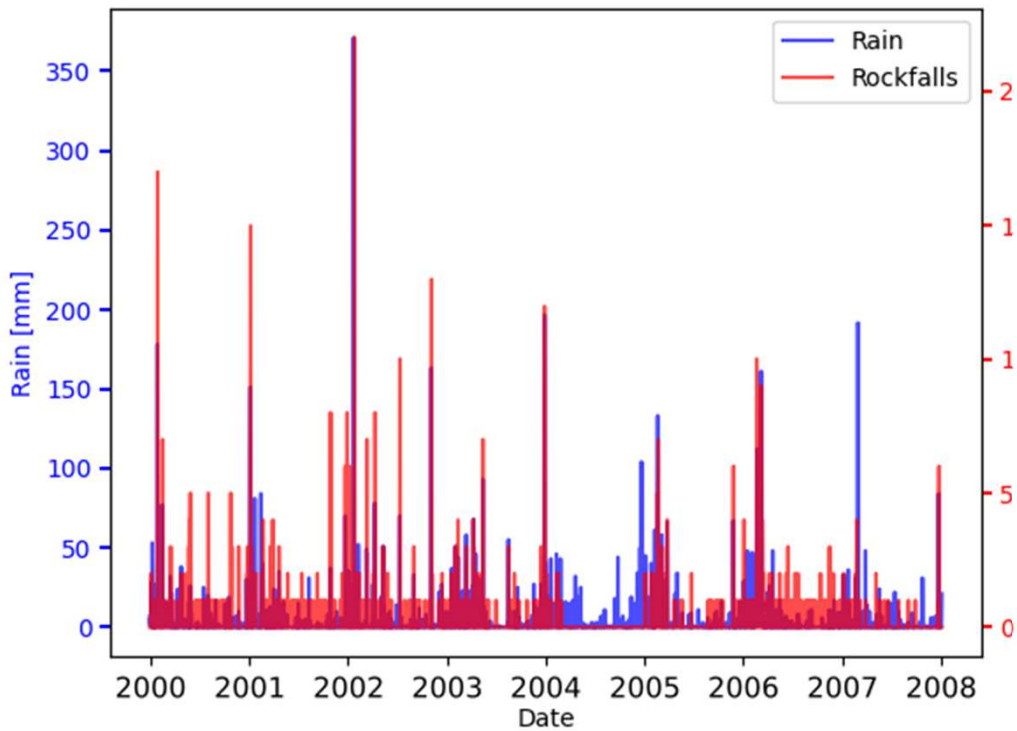
Un évènement chute de blocs



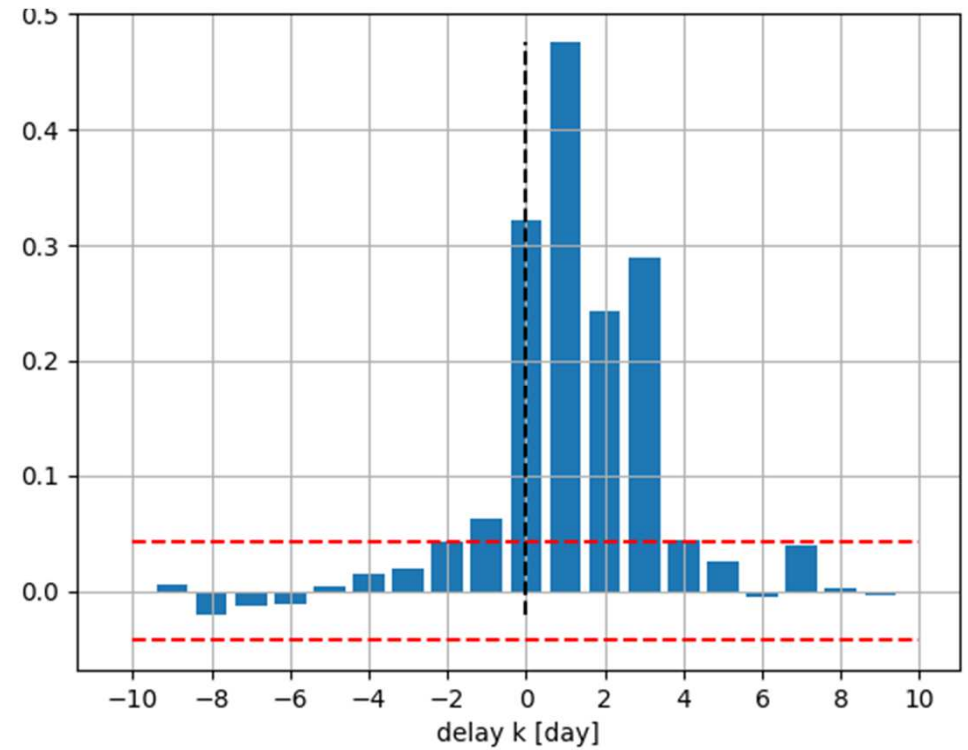
Distribution des chutes de blocs entre 2000 et 2007 le long de la RN1

› Analyse descriptive des données

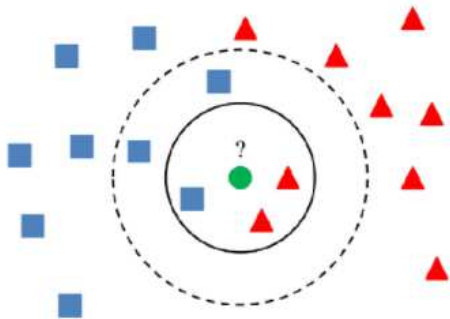
Pluie et chutes de blocs quotidiens entre 2000 et 2007



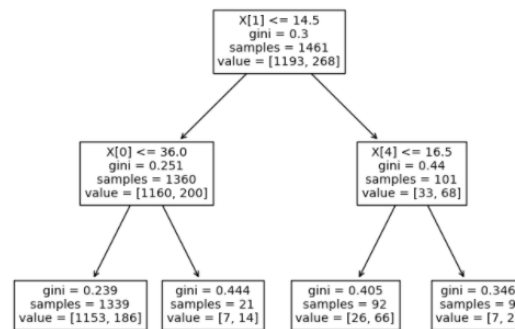
Coefficient d'intercorrélation entre chutes de blocs et précipitations



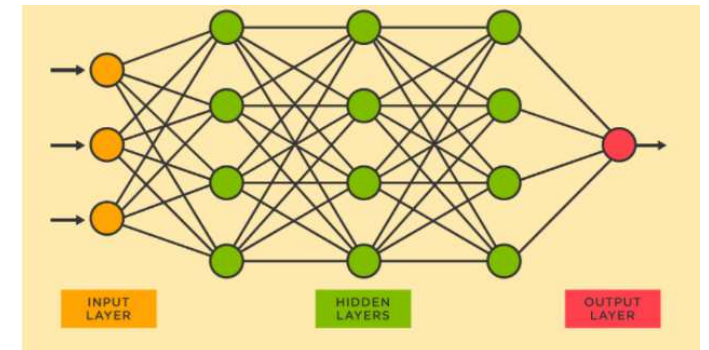
- › Modèles prédictifs: y-aura-t-il une (des) chute(s) de blocs le jour J en fonction des précipitations des jours précédents ?
 - Données d'entrée: pluies des 5 ou 10 jours précédents / Sortie : chute(s) de blocs ?
 - Modèle expert (utilisé pour la gestion opérationnelle de la route)
 - Modèle « Plus proches voisins »
 - Modèle « Arbre de décision »
 - Modèle « Réseaux de neurones »



Plus proches voisins



Arbre de décision



Réseau de neurones

› Modèles prédictifs: y-aura-t-il une (des) chute(s) de blocs le jour J en fonction des précipitations des jours précédents ?

- Modèle construit sur le jeu d'entraînement (2000-2004), évalué sur le jeu de test (2005-2007)

- Evaluation de la performance des modèles :

Matrice de confusion

		Réalité	
		Pas de chutes de blocs	Chutes de blocs
Prédic tions	Pas de chutes de blocs	VN	FN
	Chutes de blocs	FP	VP

- Métriques :

- Exactitude (balanced accuracy) : $(\frac{VN}{VN+FP} + \frac{VP}{VP+FN})/2$

- Rappel : $\frac{VP}{VP+FN}$ <-> augmentation du rappel : augmentation de la sécurité des automobilistes

- Précision : $\frac{VN}{VN+FP}$ <-> augmentation de la précision : baisse de la fermeture de la route (économie)

› Modèle « expert » définissant des règles de fermeture de la route :

- un basculement traditionnel de 72h de la route pour un cumul pluviométrique sur 24h qui dépasse le seuil de 30mm (fermeture de la route coté montagne).
- un basculement réduit à 24h lorsque le cumul pluviométrique sur 24h est compris entre 15 et 30 mm.

		Réalité	
		Pas de chutes de blocs	Chutes de blocs
Prédictions	Pas de chutes de blocs	870	103
	Chutes de blocs	74	43

Matrice de confusion du modèle expert

Exactitude pondérée	0,6
Rappel	0,3
Précision	0,37

Métriques du modèle expert sur les données test

› Modèle « Plus proches voisins »
n_voisins = 15

- On prédit moins de chutes de blocs (sécurité ↘) et on ferme moins la route (économie ↗)

		Réalité	
		Pas de chutes de blocs	Chutes de blocs
Prédictions	Pas de chutes de blocs	917	116
	Chutes de blocs	27	30

Matrice de confusion du modèle « Plus proches voisins »

	Voisins	Expert
Exactitude pondérée	0,59	0,6
Rappel	0,21	0,3
Précision	0,53	0,37

Métriques du modèle « Plus proches voisins » sur les données test et comparaison avec le modèle de référence

- › Modèle « Arbre de décision »
max_profondeur = 3,
min_samples_leaf = 9,
n_estimateurs = 10

		Réalité	
		Pas de chutes de blocs	Chutes de blocs
Prédictions	Pas de chutes de blocs	863	96
	Chutes de blocs	81	50

Matrice de confusion du modèle « Arbre de décision »

- On prédit plus de chutes de blocs (sécurité ↗) et on ferme moins la route (économie ↗)

	Arbres de décision	Expert
Exactitude pondérée	0,63	0,6
Rappel	0,34	0,3
Précision	0,38	0,37

Métriques du modèle « Arbre de décision » sur les données test et comparaison avec le modèle de référence

› Modèle « Réseau de neurones »

Dense Neural Network

1 couche cachée avec 32 neurones

		Réalité	
		Pas de chutes de blocs	Chutes de blocs
Prédictions	Pas de chutes de blocs	805	80
	Chutes de blocs	133	62

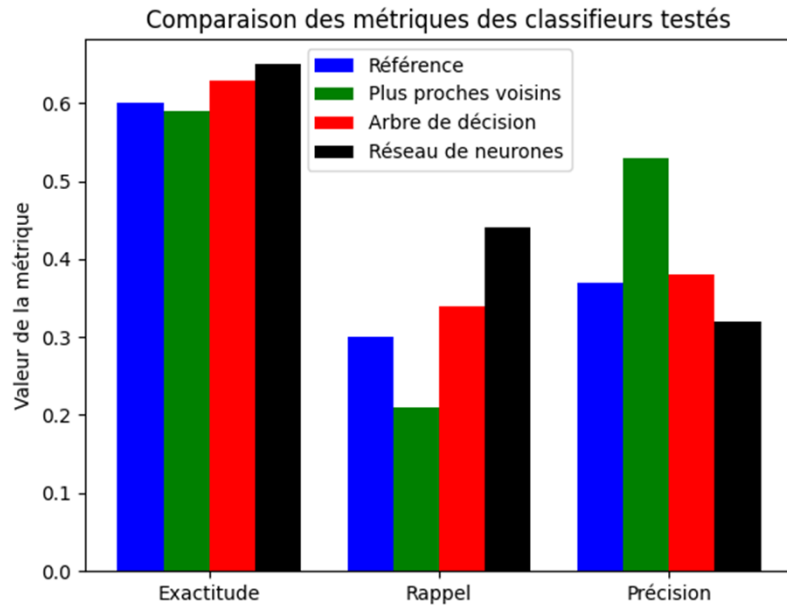
Matrice de confusion du modèle « Réseau de neurone »

- On prédit plus de chutes de blocs (sécurité ↗) mais on ferme plus la route (économie ↘)

	Réseau de neurones	Expert
Exactitude pondérée	0,65	0,6
Rappel	0,44	0,3
Précision	0,32	0,37

Métriques du modèle « Réseau de neurones » sur les données test et comparaison avec le modèle de référence

› Synthèse des résultats



Métriques du modèle expert, du modèle "Plus proches voisins", du modèle "Arbre de décisions" et du modèle "Réseau de neurones" sur le jeu de données test

› Résultats comparables voire meilleurs vs la règle experte

- › Conséquences des prédictions des modèles en terme de gestion opérationnelle

2000 - 2006	Evènements	Modèle expert	Arbre de décision	Réseau de neurones
Nb de jours de fermeture	368 j	285 j	415 j	500 j
Nb de périodes de fermeture	264	115	191	252
Durée moyenne	1,39 j	2.47 j	2.17 j	1.98 j

Comparaison avec les prédictions des modèles de machine learning des évènements observés concernant l'ouverture et la fermeture/basculement de la route 2000-2006

- › Le critère « gestion opérationnel » peut aussi être intégré dans l'optimisation

› Conclusions du projet RINA

- Résultats sur le site de la RN1 :
 - Résultats comparables voire meilleurs / règle experte
 - Jours de fermeture
 - Outil IA efficace et rapide
 - Autres modèles à développer : construire des modèles différents en fonction de la taille des blocs
- Mise en place d'une méthodologie : types de modèles, optimisation, évaluation des performances, traduction en terme métier et opérationnel

› Perspectives :

- Rechercher d'autres modèles en fonction de la taille des blocs
- Tester les performances des modèles IA sur des périodes avec moins de chutes de blocs (2008-2020)
- Transférer des modèles prédictifs d'un site sur un autre site à moindre coût en appliquant des méthodes IA de transfer learning
- Développer l'explicabilité des modèles : passer d'un modèle boîte-noire à une compréhension des modèles prédictifs pour faciliter la prise de décisions par les gestionnaires publics et l'acceptabilité sociale de ces décisions.

Les auteurs remercient la fondation FEREC pour avoir subventionné ce travail ainsi que le Conseil Régional de la Réunion pour la mise à disposition des données. Ce travail a été réalisé dans le contexte du Projet National C2ROP.