



**INNOVATION
& TECHNOLOGIE**

Eboulement sur route de montagne © Département de Savoie

DE LA CONNAISSANCE DE L'ALÉA À LA GESTION OPÉRATIONNELLE DU RISQUE : LE PROJET NATIONAL COLLABORATIF C2ROP

Nathalie Bérenger, Cerema Méditerranée,

François Nicot, INRAE Grenoble, au nom des partenaires du Projet National C2ROP

Le Projet national C2ROP (Chutes de blocs, risques rocheux, ouvrages de protection) s'est attaché à conduire des travaux de recherche, d'expérimentation et de réflexion méthodologique sur les différents aspects du risque rocheux, de la connaissance de l'aléa à la gestion opérationnelle du risque. Fruits d'un travail collaboratif réussi, les outils et développements techniques et scientifiques produits sont maintenant à disposition des acteurs du risque.

LE RISQUE ROCHEUX : COMMENT LE PRÉVENIR ET LE GÉRER

Les infrastructures en zones escarpées sont fortement soumises aux risques rocheux. Les décideurs et gestionnaires sont pourtant souvent démunis pour prévenir et gérer ce risque. Les collectivités locales font également ressortir un besoin d'homogénéisation des méthodes d'analyse et de diagnostic

de l'aléa ainsi que de structuration de la gestion de leur patrimoine d'ouvrages de protection.

Les progrès scientifiques de ces dernières années dans plusieurs domaines (modélisations numériques, expérimentations, analyse des ruptures et des instabilités, quantification / qualification du risque et de ses incertitudes...) ouvrent sur des outils opérationnels, à faire connaître et utiliser par les différents acteurs du risque.

LE PROJET C2ROP : DE LA GÉNÈSE DU RISQUE ROCHEUX À LA PROTECTION ET GESTION DU RISQUE

C'est dans cet objectif que le Projet national (PN) C2ROP s'est développé autour de quarante-six partenaires représentant l'ensemble des acteurs du domaine des risques rocheux : Maîtres d'ouvrages (MOA), gestionnaires d'infrastructures, bureaux d'études,

organismes scientifiques et techniques, entreprises de travaux, industriels. Ces partenaires ont choisi d'aborder de manière globale et concertée la problématique du risque rocheux depuis les processus de genèse jusqu'aux stratégies de protection et de gestion du risque.

Labellisé « Projet national » en 2014, les travaux du PN C2ROP ont pris diverses formes : actions de recherche appliquée (voir un exemple en encart), expérimentations, réflexions en groupe de travail associant les différents partenaires, rencontres techniques entre gestionnaires et MOA.

S'appuyant sur une gestion technique réalisée par le Cluster Indura¹ et par l'IREX², le projet a été coordonné par un comité de pilotage composé de représentants des partenaires et par un bureau directeur. La présidence du Copil assurée par Roland Mistral (directeur des infrastructures au sein du pôle aménagement du département de la Savoie) illustre

¹ Infrastructures durables Auvergne-Rhône-Alpes

² Institut pour la recherche appliquée et l'expérimentation en génie civil



la forte implication des collectivités territoriales dans le projet. À souligner également le soutien financier apporté par le ministère de la Transition écologique et solidaire, par le biais de la Direction générale des infrastructures et de la mer et la Direction de la recherche et de l'innovation.

Les solutions proposées ont vocation à être utilisées par les acteurs amenés à définir une stratégie de gestion du risque rocheux affectant leur territoire ou leurs infrastructures, notamment de transport.

À partir de l'analyse des besoins par les acteurs de la gestion du risque, trois axes de travail structurants ont été définis :

- Identification de l'aléa : les travaux ont abordé les trois aspects de l'aléa, à savoir le détachement du bloc, sa propagation et l'aléa résultant, en termes de caractérisation et de zonage ;
- Gestion des risques et aide à la décision : les travaux ont été menés sur divers composants du risque (retours d'expérience, vulnérabilité, gestion du risque...), sur l'amélioration et/ou l'adaptation au risque rocheux des modèles existants

de gestion des risques et sur les capacités résiduelles des ouvrages vieillissants ;

- Parades : cet axe a traité différents volets : validation des ouvrages vis-à-vis des aléas, durée de vie, gestion du patrimoine, dimensionnement et expérimentations.

Le PN a souhaité également aborder l'influence du changement climatique sur la sensibilité du déclenchement de chutes de blocs et sur l'évolution de l'occurrence d'évènements extrêmes.

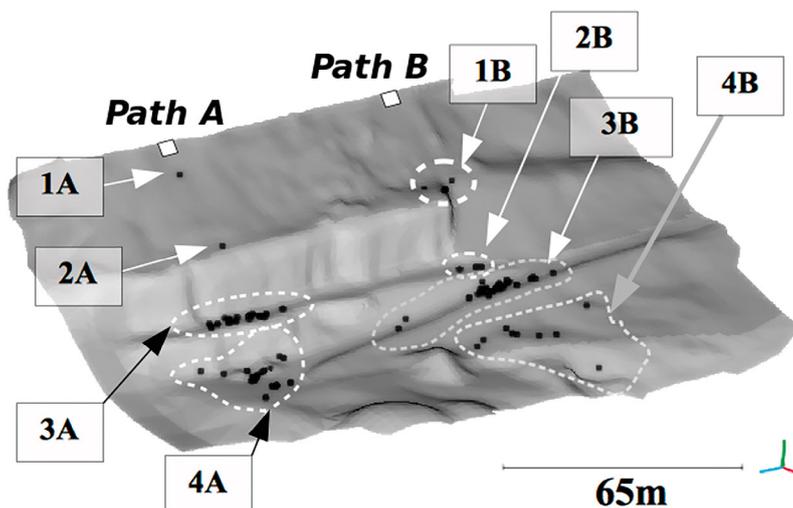
DES OUTILS, MÉTHODES ET CONCEPTS MIS À DISPOSITION

Le projet a su ainsi rassembler l'ensemble des éléments de connaissance disponibles à ce jour et développer et transférer vers le monde opérationnel des outils, méthodes et concepts nouveaux.

Les solutions proposées ont vocation à être utilisées par les acteurs privés, techniciens du domaine, et également par les acteurs publics (collectivités, gestionnaires) amenés à définir une stratégie de gestion du risque rocheux affectant leur territoire ou leurs infrastructures, notamment de transport.

Parmi les travaux les plus représentatifs issus du PN C2ROP, figurent plusieurs outils opérationnels à destination de ces acteurs publics, qui couvrent l'ensemble du cycle de gestion du risque rocheux, de la connaissance de l'aléa jusqu'à la post-crise :

- Prise en compte des risques rocheux par les MOA gestionnaires d'infrastructures : ce document cadre synthétique expose les principes directeurs de la gestion des risques rocheux et s'adresse prioritairement à des gestionnaires ne connaissant pas encore très bien le domaine ;
- Cahier des charges type pour l'étude de l'aléa éboulement rocheux et la définition des travaux : ce document support, accompagné de sa notice, permet à des gestionnaires, notamment ceux ne disposant pas de service technique dédié, de monter leur marché en l'adaptant aux enjeux et aléas considérés ;
- Cahier des charges type pour les travaux de protection contre les éboulements rocheux : ce document support permet également aux gestionnaires de rédiger leur CCTP en l'adaptant au contexte ;
- Mémento des ouvrages de protection contre les éboulements rocheux : ce guide, composé de fiches techniques synthétiques par type d'ouvrage, permet au gestionnaire d'appréhender pour chacun d'eux leurs domaines d'utilisation, leurs principes de fonctionnement, le type de maintenance à mettre en place ainsi que leurs coûts (de construction et d'entretien) ;
- Aide à la formalisation de retours d'expérience après chute de blocs sur infrastructures de transport : cet outil permet au gestionnaire de réaliser et de capitaliser les retours d'expérience qu'il est amené à réaliser en post-événement, avec l'objectif d'améliorer ses pratiques tant en termes de prévention du risque que de gestion de crise ;



Cartographie des points d'arrêts des blocs obtenue au cours d'essais de lâcher de blocs réalisés pour analyser les capacités prédictives des logiciels de simulation de la propagation des blocs. (D'après Bourrier et al. Landslides, 2021, 18(2) : 639-654)

D'autres productions plus techniques contiennent des parties qui intéresseront les gestionnaires :

- ▶ Glossaire du risque rocheux, qui a vocation à homogénéiser et partager le vocabulaire technique sur les différents composants du risque, ce qui doit garantir aux gestionnaires la bonne compréhension des termes employés ;
- ▶ Caractérisation de l'aléa éboulement, état de l'art des différentes méthodologies existantes dans lequel le gestionnaire trouvera des explications lui permettant de mieux comprendre la méthodologie d'étude proposée par un prestataire ;
- ▶ Recommandations pour la conception, le suivi de réalisation et la maintenance des merlons pare-blocs qui donne notamment des éléments permettant au gestionnaire de définir ses besoins en tenant compte des contraintes liées à l'implantation et la maintenance d'un merlon ;
- ▶ Guide technique sur les ouvrages déflecteurs, qui intègre des informations utiles au gestionnaire, pour la prise en compte des travaux dès la conception de l'ouvrage, l'anticipation des contraintes environnementales, l'organisation de leur maintenance.

Le PN C2ROP est fondateur d'une forte dynamique de groupe, celle-ci se traduit par de nombreux projets collaboratifs développés parallèlement. La volonté des partenaires de continuer cette aventure collective, pour explorer ou consolider certains sujets (élargissement des outils développés à d'autres risques naturels, étude des effets du changement climatique sur les aléas rocheux et mouvements de versant, définition de la notion de risque acceptable...), les a conduits à déposer un nouveau dossier de candidature au dispositif de Projet national, pour la période 2022-2025.

Pour en savoir plus :
 Informations et livrables du projet C2ROP à retrouver sur : <https://www.c2rop.fr/>

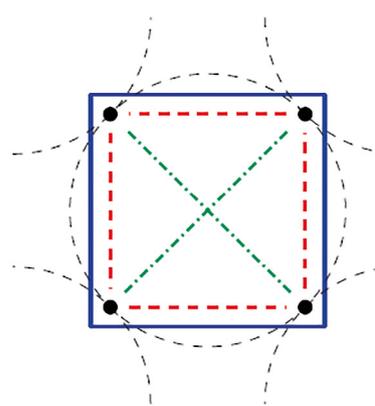
UN EXEMPLE DE RECHERCHE APPLIQUÉE AU SEIN DU PROGRAMME C2ROP : LA MODÉLISATION NUMÉRIQUE MULTI-ÉCHELLES DES FILETS PARE-PIERRES (TRAVAIL DE THÈSE DE JIBRIL COULIBALY)

La modélisation mécanique par éléments discrets permet une prise en compte des phénomènes complexes et fortement non linéaires dont les écrans de filets sont le siège. Une approche multi-échelle pour les nappes de filets à anneaux a été élaborée, de manière à reproduire le comportement local, au niveau de l'anneau, et global, au niveau de la nappe lors d'un évènement rocheux. Ce modèle permet ainsi de bien appréhender la déformation des anneaux, qui conditionne les chemins de distribution des efforts au sein de la nappe et dans l'ensemble de la structure. Un modèle général de câble glissant a été développé, validé et a démontré d'excellentes capacités dans la description du phénomène de glissement relatif entre la nappe de filets et les câbles porteurs.

Par la suite, des essais d'impacts en vraie grandeur ont été réalisés sur deux écrans de filets de technologies différentes. Ces ouvrages ont été modélisés et les essais d'impacts simulés à l'aide du code de calcul développé. Les résultats issus des simulations numériques ont été comparés aux résultats expérimentaux : ils prouvent le caractère générique du modèle numérique et sa capacité prédictive. Les performances de calcul permettent la simulation d'un impact sur un écran de filet dans une durée compatible avec les exigences opérationnelles.



(a)



- Perimeter linkage
- - Side linkages
- - Diagonal linkages

(b)

(a) Exemple de nappe de filet avec anneaux comportant 4 contacts (b) Modélisation mécanique de l'anneau élémentaire (D'après Coulibaly et al., J. Eng. Mech., 2017, 143(9) : 04017087)

