

Action Exploratoire (AEx) 2022

Pour toute question, contacter : aex-contact@inria.fr

Soumission à aex-contact@inria.fr

avec en copie REP, DCR, DS et DS adjoint.

Vincent Acary, Franck Bourrier

12 janvier 2022

Acronyme & nom du projet : GRANIER

GRAvitatio**N**al hazards in mounta**I**ns in the cont**E**xt of **R**isks prediction — Nonsmooth modeling and simulation with data in Geomechanics.

Porteur(s) Vincent Acary DR2 INRIA, TRIPOP &
Franck Bourrier, CR INRAE, ETNA/ECRINS et TRIPOP

Équipe-projet(s) : TRIPOP

Centre(s) : Grenoble Rhône Alpes

Résumé

Dans cette action exploratoire, il est proposé de travailler sur des outils numériques pour la modélisation et la simulation des aléas naturels gravitaires en milieu montagnard. L'idée de fond est de faire le pont entre les données et les méthodes numériques pour améliorer la prévention et la prédiction du risque, en étendant les méthodes numériques existantes dans un cadre non-lisse et en faisant appel aux techniques de "data-driven modeling".

Table des matières

1	Description du projet	3
1.1	Introduction	3
1.2	Programme commun de recherche ciblée de l'action exploratoire	4
2	Ressources demandées	6
3	En quoi le projet est-il exploratoire ?	6
4	Quelle suite est envisagée ?	6



FIGURE 1 – La plus ancienne image connue de la chute du mont Granier. Gravure sur bois (104 x 83 mm) extraite du *Liber chronicarum* de Hartmann Schebel, Nuremberg, Anton Koberger 1493

1 Description du projet

1.1 Introduction

Enjeux Le changement climatique a de nombreuses conséquences sur les aléas naturels gravitaires en milieu montagnard, aussi bien en termes d'intensité et que de fréquence. L'objectif de cette action exploratoire concerne l'application des sciences du numérique pour la prédiction et l'atténuation des risques associés à ces aléas. La modélisation mécanique des aléas naturels gravitaires en milieu montagnard est un sujet crucial pour la quantification des risques associés à ces aléas car les modèles mécaniques d'aléa permettent de quantifier les zones atteintes par l'aléa et l'intensité de l'aléa au niveau de ces zones. Les données pour calibrer ces modèles sont peu nombreuses, spatialement peu résolues, ne concernent pas toutes les grandeurs de sortie des modèles. En particulier, seules les zones d'atteinte sont généralement documentées. La complexité des phénomènes physiques en jeu, la diversité des échelles spatiales à traiter (de l'échelle matériau jusqu'à celle du versant) et la variabilité de ces aléas ne sont encore qu'imparfaitement traduits par les nombreuses approches existantes pour ce type de modélisation. Par ailleurs, la question de l'utilisation de données événementielles pour ces aléas au sein des modèles mécaniques pour mieux quantifier les incertitudes associées à la prévision et à la prédétermination de ces risques constitue un défi de taille. A titre d'exemple, la simulation numérique des écoulements gravitaires (chute de blocs, écoulement rocheux, laves torrentielles, avalanches de neige, avalanches de glace, ...) a, certes, atteint un certain niveau de maturité, mais son utilisation dans un cadre de prédiction et de prévention reste encore à ses débuts, principalement par manque de confrontation directe aux données.

Objectifs Dans cette action, nous proposons, d'une part, dans l'axe 1, d'étendre des méthodes existantes de simulation en mécanique des écoulements complexes dans un cadre non-lisse, qui permet de simplifier les modèles en diminuant les paramètres physiques, et de rendre plus robustes les simulations numériques et donc de rendre possible la construction de modèles réduits ou de méta-modèles. D'autre part, dans l'axe 2, les méthodes dites de "data-driven modeling" seront explorées pour les écoulements gravitaires et les ouvrages de protection. Il s'agira de tirer le maximum des données de laboratoire et d'observatoire afin de pouvoir constituer et calibrer les modèles, évaluer leur sensibilité, améliorer leur caractère prédictif, c'est à dire, contrôler et prendre en compte les incertitudes, grâce aux méthodes variationnelles, statistiques et d'IA. En retour, on espère que cela permettra d'améliorer la génération et la pérennisation des données. Ces méthodes, qui ont déjà été éprouvées dans le contexte de la modélisation du climat, n'ont été pratiquement pas employées pour les écoulements gravitaires et les rhéologies complexes de type cohésives frottantes, qui sont intrinsèquement non-lisses. Cela constitue le caractère fortement exploratoire de ces recherches.

Collaboration Ce travail sera mené en collaboration étroite avec l'UR ETNA de l'INRAE (T. Faug, G. Chambon, N. Eckert) ainsi que autres chercheurs de l'INRIA (E. Arnaud, A. Vidard (AIRSEA), P. Vigneaux (NUMED)) et constituera, à l'avenir, un nouvel axe fort de l'équipe TRIPOP. Ces recherches entrent aussi dans le contexte plus général de plateforme numérique autour du risque environnemental en montagne, comprenant du calcul intensif et infonuagique, qui sera portée dans un consortium en cours de création.

L'équipe Tripop de l'INRIA, commune avec le LJK de l'UGA, est une équipe du centre de Grenoble Rhône-Alpes dont la spécialité est l'étude des systèmes dynamiques non-lisses

(appelés aussi non-réguliers) avec une forte activité en mécanique numérique. La création de Tripop (Jan 2019), avec l'intégration de Franck Bourrier (INRAE ETNA) à mi-temps, a permis le développement d'axes de recherche sur la modélisation et la simulation numérique des aléas naturels gravitaires dans le cadre de la mécanique non-lisse.

L'équipe ECRINS de l'UR ETNA d'INRAE est spécialiste de la modélisation mécanique et statistique des aléas naturels et des ouvrages de protection associés. Les membres de cette équipe possèdent également des compétences en mise en œuvre d'expérimentations de laboratoire et de terrain et, par conséquent, ont à disposition un grand nombre de données expérimentales indispensables à la calibration et à la validation des modèles.

Cette action exploratoire constitue une opportunité de renforcer et d'élargir la collaboration naissante entre INRIA/Tripop et INRAE/ETNA/ECRINS. Les compétences de l'équipe ECRINS en termes d'analyse de la physique des processus, d'utilisation jointe de modèles numériques et de résultats d'essais pour la compréhension des aléas naturels constituent un atout pour améliorer les approches développées dans l'équipe Tripop et les rendre applicables.

Contexte régional, national et international Cette action s'inscrit dans un contexte de recherche local extrêmement dynamique sur ces questions, où l'INRIA est assez peu représenté alors que les sciences du numérique (méthodes numériques, IA et HPC) sont importantes pour ces enjeux. L'INRIA participe au montage d'un pôle dans le futur institut des risques Grenoble Institute for Risks and Resilience, suite du CDP RISK. D'autres acteurs de recherche avec qui nous avons des contacts peuvent être aussi mentionnés : Isterre, Edytem et 3S-R. Des structures nationales pourront aussi aider à mener à valoriser ces recherches comme le Cluster Montagne, les PN C2ROP et DOLMEN, le futur PEPR IRIMA. Enfin, TRIPOP et ECRINS entretiennent des liens avec des acteurs du monde socio-économique sur ces sujets : ONF/RTM, CD38, CD05, Géolithe, SNCF, NGE/GTS, CAN...

1.2 Programme commun de recherche ciblée de l'action exploratoire

Axe 1 : Modélisation et simulation des aléas gravitaires en montagne par l'approche non-lisse

Objectif : Développer de nouvelles méthodes numériques, plus robustes et plus fiables par l'approche non-lisse.

Collaborations possibles : T. Faug (ETNA), G. Chambon (ETNA), P. Vigneaux (NUMED)

Mots clés : Méthodes numériques, non-lisse, HPC, comportement des matériaux, couplages

Description : Différentes approches de modélisation sont utilisées à INRAE/ETNA/ECRINS en fonction des types d'aléas. Pour l'étude des chutes de blocs unitaires et des phénomènes physiques en jeu lors de la propagation des éboulements rocheux et des avalanches de neige dense, les méthodes permettant de modéliser explicitement les particules constitutives des matériaux granulaires (notamment les Méthodes aux Eléments Discrets - DEM) sont privilégiées alors que, pour modéliser les écoulements (coulées de débris, avalanches et éboulements de grande ampleur), des méthodes assimilant les matériaux à des fluides de rhéologie complexe sont plus classiquement utilisées (notamment Material Point Method - MPM, Smooth Particles Hydrodynamics - SPH, Shallow Water models - SWM). Il est à noter que ces méthodes sont le plus souvent explicites et régularisent les contraintes d'inégalités et les seuils.

Cet axe de travail développera les points suivants :

a) Repenser dans le cadre non-lisse les méthodes DEM, MPM, SPH et SWM. Cela permettra

une modélisation simple et efficace des phénomènes de seuil et d'inégalités (contact unilatéral, impact avec frottement de Coulomb, lois de comportement à seuil telles que la plasticité, l'endommagement ou la rupture, fluides viscoplastiques de type Bingham et Herschel-Bulkley) afin de développer de nouvelles méthodes numériques, implicites et robustes, où les traits physiques les plus importants des matériaux cohésifs frictionnels sont bien modélisés en négligeant les phénomènes du second ordre. Dans un contexte d'utilisation des données et de prédiction, ces méthodes nous paraissent particulièrement bien adaptées comme nos premières expériences sur la trajectographie de blocs et les éboulements rocheux (collaboration entre TRIPOP et ETNA) l'ont déjà montré. Des travaux ont également été engagés pour développer des modèles non-lisses d'écoulement de fluides viscoplastiques (collaboration entre NUMED et ETNA au sein du projet ANR [VPFlow](#)).

b) Coupler ces méthodes pour intégrer le caractère "multi-échelles (micro/meso/macro)" de ces problèmes ou, plus simplement, pour coupler spatialement à une même échelle plusieurs phénomènes physiques mieux pris en compte par différentes méthodes, par exemple un écoulement de débris contenant un fluide à rhéologie complexe (MPM ou SPH) et des particules de grande taille (DEM). Sur ces aspects, des travaux en cours au sein d'ETNA (application à la modélisation du comportement du manteau neigeux), ont mis en évidence l'intérêt des approches couplées MPMxDEM et FEMxDEM pour intégrer l'influence de la micro-structure des matériaux à l'échelle macroscopique.

c) Utiliser les approches "data-driven mechanics" dans le cas où les modèles de comportement ne sont pas fiables et fidèles aux phénomènes physiques observés. Ces techniques permettent de remplacer les lois de comportement des matériaux par des données expérimentales ou issues de simulations à plus petite échelle de manière à modéliser des phénomènes "sous-maille", pas ou peu pris en compte dans des modèles phénoménologiques à grande échelle.

Applications ciblées : écoulements gravitaires assimilables à un matériau granulaire, écoulement de laves torrentielles avec transport de gros blocs, éboulements en masse, instabilités des pentes rocheuses et falaises liées au dégel du permafrost.

Axe 2 : Utilisation jointe de données d'origines diverses pour l'évaluation et l'amélioration de la capacité prédictive des modèles d'aléas gravitaires **Objectif :** Développer des modèles simplifiés pouvant être utilisés de façon extensive pour le développement de méthodes de calibration et de quantification d'incertitudes permettant l'utilisation jointe de données d'origines diverses

Collaborations possibles : N. Eckert (ETNA), A. Vidard (AIRSEA), E. Arnaud (AIRSEA)

Mots clés : Data-driven modeling, incertitudes, calibration, assimilation de données, modèles d'ordre réduit, modèles de substitution.

Description : Les points suivants seront développés :

a) Modèles statistiques intégrant des données de diverses natures et les modèles d'aléa développés. L'identification des paramètres des modèles d'aléa, notamment à l'aide d'approches bayésiennes, va permettre de calibrer et de quantifier les incertitudes associées aux modèles.

b) Approches de réduction de modèles (POD, PGD,...) ou de construction de modèles de substitution (Sparse Polynomial Chaos, Gaussian Processes,...) pour construire des modèles simplifiés utilisables dans ce contexte.

c) Application de différentes techniques d'assimilation de données (filtres particulières ou variationnelles) sur les modèles décrits dans le premier axe et les modèles d'ordre réduit. Les modèles calibrés seront intégrés dans une démarche globale visant à construire des méthodes

d'analyse quantitative du risque.

Applications ciblées : Tous les aléas gravitaires cités précédemment en commençant par les plus simples et ceux pour lesquels la donnée est disponible, par exemple les chutes de blocs.

2 Ressources demandées

Le projet est ambitieux et risqué. Un financement de type SRP sur 4 ou 5 ans serait idéal. Il permettrait d'aborder les deux axes de front et minimiserait le risque d'un faible nombre de publications la première année. Naturellement, trouver un très bon candidat en SRP n'est pas simple car la concurrence internationale est rude. Cependant, nous connaissons des équipes en Suisse et en Allemagne qui ont des doctorant intéressées par ce type de position, qui rappelle les "junior professor" allemands.

En cas de difficultés de recrutement, on pourrait opter pour une stratégie consistant à embaucher deux post-docs de 24 mois sur chacun des deux axes. La difficulté et le caractère exploratoire du projet rend par contre l'embauche des post-docs risquée pour le projet et la personne (difficulté de publier rapidement, départ possible des post-docs avant le terme de leur contrat).

Pour terminer, Olivier Goury (CR INRIA, DEFROST Lille) a fait part de sa volonté de rejoindre l'équipe TRIPOP en 2022. Nous avons déjà discuté avec lui de cette action exploratoire. Il pourrait participer à l'encadrement des post-docs, ce qui rendrait le travail moins risqué.

3 En quoi le projet est-il exploratoire ?

Au delà du renforcement de la thématique "aléas" au sein de TRIPOP et du développement de nouvelles méthodes applicables en géomécanique, l'action est jugée exploratoire pour TRIPOP dans la mesure où elle peut conduire à des modifications en profondeur des axes de recherche de l'équipe et/ou de sa structure.

Par ailleurs, l'extension des méthodes existantes de simulation en mécanique des écoulements complexes dans un cadre non-lisse permettra certainement de fortement améliorer la robustesse des modèles tout en diminuant le nombre de paramètres physiques mais de nombreuses questions restent ouvertes quant à la faisabilité de telles améliorations dans le cadre de la mécanique non-lisse.

De même, comme il existe peu de travaux d'application et de développement de méthodes issues du domaine "Data-Driven modeling" et "Data-Driven Mechanics" pour la géomécanique, voire aucun travaux dans le cadre non-lisse, il est nécessaire de totalement construire le cadre conceptuel d'utilisation de ces méthodes dans ce contexte.

Enfin, le caractère exploratoire de cette action réside dans le développement de techniques d'exploitation des données existantes, potentiellement peu adaptées en termes de qualité et de quantité, et de méthodologies dédiées à la collecte de données dans ce contexte.

4 Quelle suite est envisagée ?

L'idée est de renforcer les liens de recherche entre INRIA et INRAE sur le long terme (4 à 8 ans). Dès aujourd'hui, nous participons à la définition d'un pôle au sein du futur institut

des risques de l'UGA, ce qui permettra de renforcer le positionnement de TRIPOP comme un acteur de ce domaine dans le futur.

Sur le long terme, les travaux menés pourront conduire à la création d'une plateforme numérique, commune au deux équipes, pour la prédiction et la gestion du risque naturel gravitaire en montagne (HPC, Cloud Computing et middleware pour les applications Saas et outil intégré de gestion du risque et d'aide à la décision).

D'un point de vue structure de recherche, nous envisageons les options suivantes sur l'organisation à long terme de la collaboration :

- Option 1 Nouvelle équipe commune INRIA/INRAE avec une implication plus forte d'ETNA et des nouveaux membres de Tripop (Olivier Goury, par exemple). Il est à noter qu'ETNA rejoindra l'UMR IGE en 2023. La mise en place de cette équipe commune devra donc être pensée dans ce cadre élargi.
- Option 2 Reformatage de TRIPOP, dans le thème INRIA "Sciences de la planète, de l'environnement et de l'énergie" sur deux axes :
 - (a) Sciences du numérique pour les aléas en milieu montagnard
 - (b) Mathématiques appliquées et commande pour les systèmes dynamiques non-lisses, avec le développement de l'étude de la dynamique systémique globale des interactions homme/nature (WORLD3, HANDY, ...)

Un reformatage aura de toute façon lieu au début 2022 lors de l'évaluation de TRIPOP, qui reprendra en partie les thématiques de cette AEx sur des sujets moins risqués.