

Stage de M2 : Modélisation et Statistiques Inférentielles pour l'analyse de chutes de pierres ou blocs rocheux

Public : M2 SSD ou MSIAM

Compétences pré-requises : Statistiques paramétriques (ANOVA, ANCOVA, Modèles Linéaires, Modèles Linéaires Mixtes, Estimations par MV, MM, tests) et non paramétriques (estimation de densité ou fonction de régression par méthodes de noyaux, ondelettes, polynômes locaux par morceaux ...), Tests d'adéquation et d'indépendance, logiciel R.

Sujet :

Les chutes de bloc rocheux constituent un risque non négligeable dans les zones montagneuses. La trajectoire de chaque bloc est aléatoire et dépend de sa forme, de la topographie (rugosité, dureté du sol, pente,...) et de nombreux autres facteurs. Connaître et quantifier l'effet de certains de ces facteurs d'influence sur la distance d'arrêt permettrait ensuite d'optimiser des règles de gestion du territoire, notamment pour les voies de communication. La délimitation de zones à risques de chutes de blocs ou éboulements plus ou moins important (zonage) est un outil indispensable pour décider des moyens à déployer pour protéger certaines zones ou de les qualifier dangereuses voire les déclarer impropres à la construction.

Les type de chutes de blocs ou de pierres rencontrés pourraient être grossièrement classifiés en trois groupes ([6]) :

1) Les pierres sont nombreuses, petites et s'écoulent en avalanche : les modèles mécaniques utilisés seront ceux de la dynamique des fluides (modèles continus).

2) Chute d'un bloc isolé : étude par trajectographie (modèle de simulation numérique de la trajectoire d'un blocs selon des paramètres d'entrée tels que rugosité, élasticité, frottements, coefficient de rebond...), nécessitant des ajustements de paramètres établis sur des résultats expérimentaux obtenus sur modèle réduit (voir [2]).

3) Un petit groupe de pierres de taille moyenne où les interactions existent à part similaire, entre elles et avec le sol. Dans ce cas également, on utilise une modélisation discrète prenant en compte les interactions éventuelles entre les pierres.

Nous nous intéressons ici à ce dernier type de chutes de blocs avec pour objectif d'évaluer la probabilité qu'un bloc parcourt une distance supérieure à un seuil ou inversement d'ajuster un seuil qui risque d'être dépassé avec une probabilité donnée.

Les mouvements gravitaires de pierres sont des événements rarement documentés qui si ils sont parfois observés ne sont pas toujours quantifiés et enregistrés, nous ne disposons donc que de peu de données réelles.

Deux options sont donc possibles : développer des outils numériques de propagation de blocs (simulations de trajectoires selon un modèle physique) pour un ensemble de plusieurs pierres modélisant les interactions éventuelles et s'appuyant sur les caractéristiques morphologiques des pierres ou de l'environnement (pente, type de sol, hauteur de chute, ...). Cette première option fera l'objet d'une étude en mécanique par simulation numériques.

La seconde option, celle étudiée ici, est de collecter des données d'expériences menées sur un modèle réduit réel et de proposer une analyse statistique des résultats. Le modèle réduit de l'expérience consiste en une maquette constituée d'un plan incliné suivi d'un plan horizontal et d'une boîte située en haut du plan incliné et d'où est jeté un groupe de n objets identiques. Une fois un jet de n objets effectué les positions d'arrêt sur le plan horizontal sont photographiées et on récupère les coordonnées du nuage des points correspondant aux centres de gravités des objets jetés. N jets de n objets sont répétés dans des conditions environnementales différentes (type d'objet, type de sol, agencement ou non des objets dans la boîte,...). De telles expériences ont été initiées par D. Daudon de l'équipe de géomécanique et mises en oeuvre par deux stagiaires de L2 au laboratoire 3SR. Ensuite de premières analyses statistiques et modélisation de ces données ont été menées par deux autres stagiaires de L2 en 2018 et 2019 du département DATA au LJK. Thomas Piras ([3]), stagiaire de L2 en 2019 a construit une base de données SQLite à l'aide des fichiers de données transmis par D. Daudon. Il a aussi repris l'analyse statistique en partie amorcée par Wael Ardati dans un premier stage de L2 un an plus tôt.

Ils ont d'abord effectué des analyses sous l'hypothèse d'indépendance des pierres entre elles (qu'il serait indispensable de lever) et en essayant des modèles paramétriques divers pour ajuster les répartitions observées des objets sur le plan horizontal borné. Pour chaque lancé de n objets on observe entre 0 et 30% d'éjectats et leur présence (ou absence de mesure) dans les données n'a pas été prise en compte pour l'instant dans ces premières études. Les premières statistiques descriptives mettent en évidence des effets plus ou moins significatifs de certains niveaux de facteurs et pas d'autres. Divers tests statistiques (d'adéquation ou sur de comparaison de paramètres) ont aussi été mis en oeuvre.

Cette première étude a été menée sur les répartitions marginales des coordonnées des points : Y : intersection du plan incliné et du plan horizontal et X orthogonal à Y dans le plan horizontal). La distance d'intérêt est surtout celle de X pour laquelle la répartition observée est clairement non symétrique. Quant à Y on observe sans surprise une symétrie et une répartition d'allure gaussienne. Les ajustements proposés avec des lois gamma ou des données gaussianisées via la transformation de Cox, utilisent des outils supposant l'indépendance entre les pierres.

Cette indépendance supposée entre les positions des blocs deux à deux semble une hypothèse de modélisation peu raisonnable. Il faudrait donc proposer un moyen d'évaluer ces interactions ou au moins leur effets sur les estimations des probabilités proposées et de les prendre en compte dans les ajustements.

D'autre part et c'est le point le plus important du sujet : les travaux de Wael Ardati puis Thomas Piras ont montré qu'en cas de données non censurées (en ne prenant pas en compte les données manquantes) la loi Gamma semblait la plus adaptée parmi quelques modèles de loi positives et dissymétriques pour la répartition de X . Ces conclusions restent d'abord à vérifier avec le test d'adéquation le plus puissant.

L'essentiel de cette étude consistera à proposer un ajustement des paramètres de la loi avec des données censurées à droite par une censure déterministe ainsi qu'un test d'adéquation à une Gamma dont les paramètres sont estimés. Par ailleurs dans un travail de Florian Privé ([4]) sur la construction de tests d'adéquation à la famille des lois de Weibull dans le cas censuré, sont proposés et étudiés différents GOF tests et prenant en compte la censure. Il s'agira de s'inspirer de ces travaux pour proposer des GOF tests pour une famille de lois gammas avec données censurées à droite. Il faudra comparer ensuite les modélisations Weibull avec les modélisations Gamma voire envisager des distributions à queues plus lourdes ([1],[5]). Les méthodes d'estimations de paramètres les plus adaptées selon la modélisation choisie devront être identifiées (max de vraisemblance, moments, log-moments...).

Dans une dernière partie du travail seront prises en compte d'éventuelles variables explicatives à identifier pouvant contribuer à l'explication des paramètres de la loi de X .

Mots Clefs : Loi de Weibull, Gamma, α -stables, GOF tests, Survie, Données censurées, Estimateur De Kaplan-Meyer, Transformation de Box-Cox.

Encadrement : Frédérique Leblanc (MCF Equipe IPS dépt DATA du LJK)

Co-encadrement : Dominique Daudon (MCF Equipe Géomécanique du 3SR)

Lieu du Stage : LJK Département DATA (Equip. IPS)
Laboratoire Jean Kuntzmann, 700 Avenue Centrale, 38401 Saint Martin d'Hères,

References

- [1] Gilbert Colletaz. Économétrie des données de survie. Notes de Cours MASTER 2 ESA voies professionnelle et recherche septembre 2019.
- [2] Bruna Garcia, Dominique Daudon, Pascal Villard, Vincent Richefeu, Julien Baroth. Influence of blocks shape and size on the variability of DEM trajectories. 4 th RSS Rock Slope Stability Symposium, Chambéry 2018
- [3] Thomas Piras. Rapport de stage d'excellence : Chute de blocs rocheux : organisation et analyse statistique de données acquises sur modèle réduit
- [4] Florian Privé. Rapport de stage Ensimag : Goodness-of-fit tests for the Weibull distribution with censored data. Sept 2015.
- [5] Salaheddine El-Adlouni, Bernard Bobée, Taha B.M.J. Ouarda. Caractérisation des distributions à queue lourde pour l'analyse des crues. INRS-ETE, Université du Québec. Rapport de Recherche N° R-929. Mars 2007.
- [6] A. Volkwein, K. Schellenberg, V. Labiouse, F. Agliardi, F. Berger, et al.. Rockfall characterisation and structural protection - a review. Natural Hazards and Earth System Sciences, European Geosciences Union, 2011, 11, pp.2617- 2651. 10.5194/nhess-11-2617-2011. insu-00844897