

# ELANA (Energy Line Angle Normalized Area): un outil d'aide à la cartographie de la propagation des chutes de blocs basée sur la méthode de la ligne d'énergie à différentes échelles

Clara LEVY<sup>1</sup>, Bastien COLAS<sup>2</sup>, Jérémy Rohmer<sup>3</sup>, Frédérique Berger<sup>4</sup>

**Keywords:** angle d'énergie, propagation, chute de blocs, cartographie

Le groupe MEZAP (Méthode d'Evaluation du Zonage de l'Aléa chute de Pierres), pour le compte du Ministère de l'Ecologie propose une évolution des méthodes d'évaluation de l'aléa rocheux dans le cadre de PPR (Plan de Prévention des Risques) ou de PAC (Porté à connaissance). Dans ce cadre, une importante base de données (BdD) d'évènements documentés a été créée afin d'identifier l'impact de la morphologie de versant sur la valeur d'angle de la ligne d'énergie  $\beta$  (rapport BRGM/RP-66589-FR). La valorisation de cette BdD met en évidence une relation entre l'angle d'énergie  $\beta$  et la morphologie d'un profil 2D, représentée par un indice adimensionnel: l'aire normalisée (An). Des lois empiriques reliant  $\beta$  et An ont été proposées. L'outil ELANA valorise cette approche 2D pour la cartographie spatiale de l'aléa de propagation de blocs rocheux.

## 1 ADAPTATION MEZAP DE LA LIGNE D'ENERGIE AVEC L'AIRES NORMALISEE

Afin de comparer la morphologie de profils topographiques variés, le groupe MEZAP a défini l'aire normalisée (An), comme l'aire sous la courbe du profil topographique reliant la position de départ d'un bloc et sa position d'arrêt après la normalisation de ses dimensions par une homothétie de rapport H, H étant la différence d'altitude entre la position de départ d'un bloc et sa position d'arrêt (Fig. 1a). An dépend de la forme générale du versant quel que soit sa hauteur totale, avec  $An < 0,2$  pour des falaises subverticales et  $An > 0,6$  pour des versants réglés. Une 1<sup>ère</sup> base de données de 2800 évènements définis par les couples (An,  $\beta$ ) a permis de mettre en évidence l'impact de la morphologie de versant sur la distribution des angles d'énergie (Fig. 1c) et des lois empiriques reliant  $\beta$  et An ont été proposées pour des qualifier la probabilité de propagation à  $P=10^{-2}$ ,  $P=10^{-4}$  et  $P=10^{-6}$  (Fig. 1c). Plusieurs approches statistiques ont été testées: 1) régression non linéaire de la forme  $\beta = C \exp^{-B \cdot An}$ , 2) transformation des variables pour se ramener à une régression linéaire classique, 3) régression sur les quantiles extrêmes (avec transformation puissance), 4) calage d'une loi de probabilité de type logit-normale. Si les hypothèses des méthodes 1 et 2 n'ont pas pu être validées, elles le sont pour les approches 3 et 4: les lois obtenues pour qualifier la probabilité de propagation sont correctes d'un point de vue statistique et peuvent être utilisées, à priori, pour cartographier l'aléa de propagation. A partir des données de la base MEZAP, enrichie par le projet européen RockTheAlps (FEDER Alpine-Space), INRAe propose une

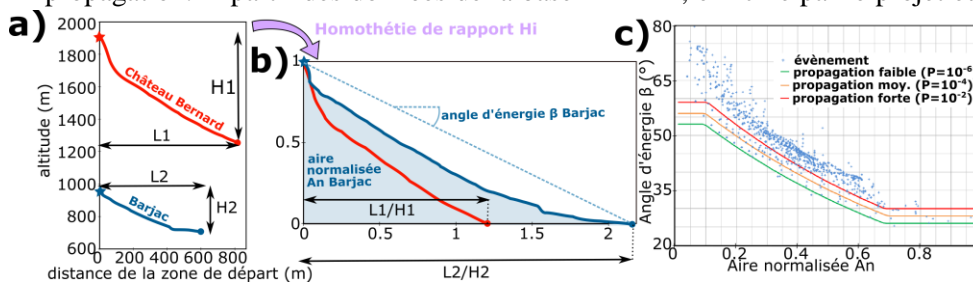


Figure 1 : a) exemple des profils topographiques reliant la position de départ d'un bloc et sa position d'arrêt et b) ces profils après une homothétie de rapport Hi pour calculer leur aire normalisée An. c) base de données MEZAP de chutes de blocs (points bleus) avec les lois empiriques proposées pour associer des valeurs d'angle  $\beta$  à différents seuils de passage (probabilité de propagation faible  $P=10^{-2}$ , moyenne  $P=10^{-4}$  et forte  $P=10^{-6}$ ).

approche 2D différente en proposant de choisir à dire d'expert les angles d'énergie d'un site par comparaison avec des profils ayant une forme et une hauteur totale comparables (outil Rock-EU-2D accessible sur la plate-forme PlatRock de l'INRAe).

Certaines précautions sont à adopter lors de l'utilisation de ces lois empiriques : 1) ces lois sont utilisables pour estimer la probabilité d'atteinte de chutes de blocs. Elles ne sont pas pertinentes pour les éboulements où les interactions entre blocs pendant la propagation ne sont pas négligeables car il existe alors une dépendance de la distance de propagation avec le volume de l'éboulement ; 2) le choix de la valeur d'angle d'énergie pour différentes probabilités relève in-fine de l'expert qui interprétera les valeurs d'angles fournies par profils. Des études complémentaires seront nécessaires pour caractériser la relation entre l'incertitude obtenue sur les angles d'énergie et l'incertitude sur les distances de

<sup>1</sup> LEVY Clara, BRGM, Orléans, FRANCE (ISO 3166-2), c.levy@brgm.fr

<sup>2</sup> COLAS Bastien, BRGM, Montpellier, FRANCE (ISO 3166-2), b.colas@brgm.fr

<sup>3</sup> ROHMER Jérémy, BRGM, Orléans, FRANCE (ISO 3166-2), j.rohmer@brgm.fr

<sup>4</sup> BERGER Frédérique, INRAE, Grenoble, FRANCE (ISO 3166-2), frederic.berger@inrae.fr

propagation. Cela permettra de mieux appréhender la précision cartographique des méthodes utilisant ces lois empiriques pour le zonage de la probabilité de propagation en chute de blocs.

## 2 L'OUTIL DE CARTOGRAPHIE ELANA

ELANA a été développé pour utiliser les lois empiriques 2D présentées ci-dessus afin de cartographier spatialement la probabilité de propagation des chutes de blocs. ELANA utilise les données topographiques d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT), ainsi qu'un raster de même dimension où l'utilisateur déclare les pixels qu'il considère comme zone de départ (Fig. 2). ELANA permet d'obtenir le raster des zones de propagation faible, moyenne et fortes à partir des lois empiriques proposées (Fig. 2). Ces lois empiriques étant applicables sur des profils 2D, le logiciel interpole des profils autour de chaque pixel de départ afin de pouvoir déterminer l'emplacement des limites de propagation pour chaque profil. Afin de limiter le temps de calcul, cette opération n'est pas effectuée pour les pixels de départ situés dans la direction de plus grande d'un autre pixel de départ (Fig. 2), ici nommés pixels « aval » par opposition aux pixels conservés pour la suite des calculs, ici nommés « amont ».

Les étapes suivantes de calculs sont :

- la recherche de la direction de plus grande pente autour de chaque pixel de départ « amont » par pas de 1° (Fig. 3a) ;
- la sélection des directions autour de la plus grande pente dans un cône d'ouverture  $2\alpha$  et pour des pentes initiales supérieures à 26° (Fig. 3a).  $\alpha$  est défini par l'utilisateur comme une appréciation de la dispersion latérale des trajectoires. Par ex.,  $\alpha \leq 15^\circ$  pour des versants réglés de pente moyenne supérieure à 30° et/ou chenalisés ;
- l'interpolation de profils topographiques depuis le pixel de départ pour toutes les directions sélectionnées et avec une discrétisation horizontale de la taille de la maille (Fig. 3a) ;
- le calcul des couples  $(A_n, \beta)$  obtenus pour chaque point des profils topographiques (Fig. 3b) et leur comparaison avec les lois empiriques. En chaque point du profil, on précise la probabilité de propagation (forte, moyenne, faible ou nulle, Fig. 3b) ;
- on précise la probabilité de propagation à chaque pixel du « raster de propagation » (Fig. 3d) avec la valeur la plus défavorable obtenue pour tous les profils interceptant le pixel (Fig. 3c). Les résultats sont donc conservateurs vis-à-vis de l'aléa de propagation.

Tout au long du processus des tests sont réalisés afin de vérifier la pertinence ou les limites des calculs réalisés (longueur de profils, résolution spatiale finale, etc.).

## CONCLUSION

ELANA est actuellement en phase de test à diverses échelles et devrait être, à terme, déployé en accès libre sur la plateforme [BRGM VigiRisk](#). D'autres évolutions peuvent d'ores et déjà être entrevues : 1) cartographie « directe » de l'aléa résultant « chute de bloc » en intégrant dans l'analyse l'activité des zones de départ et l'intensité de phénomène redouté, 2) la possibilité pour l'utilisateur de définir ses propres lois empiriques de propagation. Il est rappelé que ELANA demeure un outil d'aide à la cartographie et in fine le choix définitif des emprises de propagation demeure du ressort de l'opérateur-expert.

## REFERENCES

Colas B., Faure P., J. Rohmer (2017) – Valorisation des travaux réalisés dans le cadre du GT MEZAP (Année 1). *Rapport d'avancement*. BRGM/RP-66589-FR

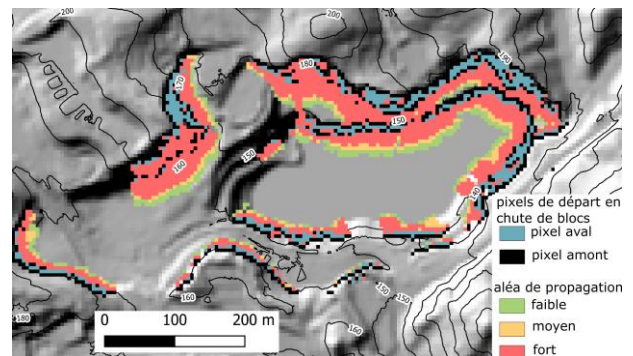


Figure 2 : Exemple des résultats fourni par ELANA à partir du MNT 5 m d'une ancienne carrière et d'un raster de même dimension où l'utilisateur déclare les pixels de départ en chute de blocs. ELANA classe les pixels de départ en pixels « amont » et « aval » et permet d'obtenir le raster des zones de propagation faible, moyenne et fortes à partir des lois empiriques proposées.

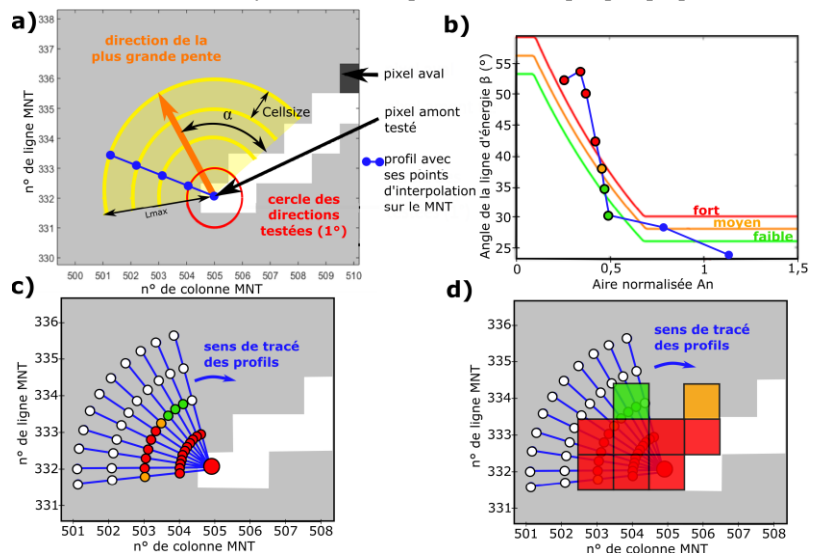


Figure 3 : a) Exemple des étapes d'ELANA pour un pixel de départ en chute de blocs : recherche de la direction de plus grande pente autour du pixel, sélection des directions autour de la plus grande pente dans un cône d'ouverture  $2\alpha$  et exemple de l'interpolation d'un profil topographique de longueur  $L_{max}$ . b) Calcul des couples  $(A_n, \beta)$  pour chaque point du profil et comparaison avec les lois empiriques de propagation. En chaque point du profil, on précise la probabilité de propagation (forte, moyenne, faible ou nulle). c) et d) Reports des probabilités de propagation obtenus pour différents profils dans le raster des probabilités de propagation. La probabilité retenue est la plus défavorable obtenue pour tous les profils interceptant le pixel.