

## Analyse géologique, géométrique et statistique de l'inventaire des mouvements gravitaires au Tessin (Suisse) au cours des 20 dernières années.

C. Amalia Gutierrez<sup>1\*</sup>, Michel Jaboyedoff<sup>1</sup>, Andrea Pedrazzini<sup>2</sup> et Marc-Henri Derron<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Groupe RISK – Institut des Sciences de la Terre, Université de Lausanne, Lausanne, Suisse. (\*carlota.gutierrez@unil.ch).

<sup>2</sup> Département géologique – Service cantonal du Tessin, Bellinzona, Suisse

### I. Introduction

Le canton du Tessin, situé au sud des Alpes en Suisse et couvrant 2812 km<sup>2</sup>, se caractérise par un relief Alpin et un climat tempéré et humide, où se produisent régulièrement des mouvements gravitaires tels que des chutes de blocs, coulées de débris, glissements de terrain ou des avalanches. L'inventaire StorMe, recense tous les événements gravitaires importants survenus depuis les années '80 sur son territoire, ainsi que certains événements dits historiques.

A partir de la richesse des informations de cet inventaire, et afin d'améliorer la gestion des risques naturels dans le Canton (qui représente une facture annuelle de l'ordre de 30 millions de francs suisses), une analyse géologique, géométrique et statistique des mouvements gravitaires survenus et répertoriés au Tessin au cours des 20 dernières années a été réalisée.

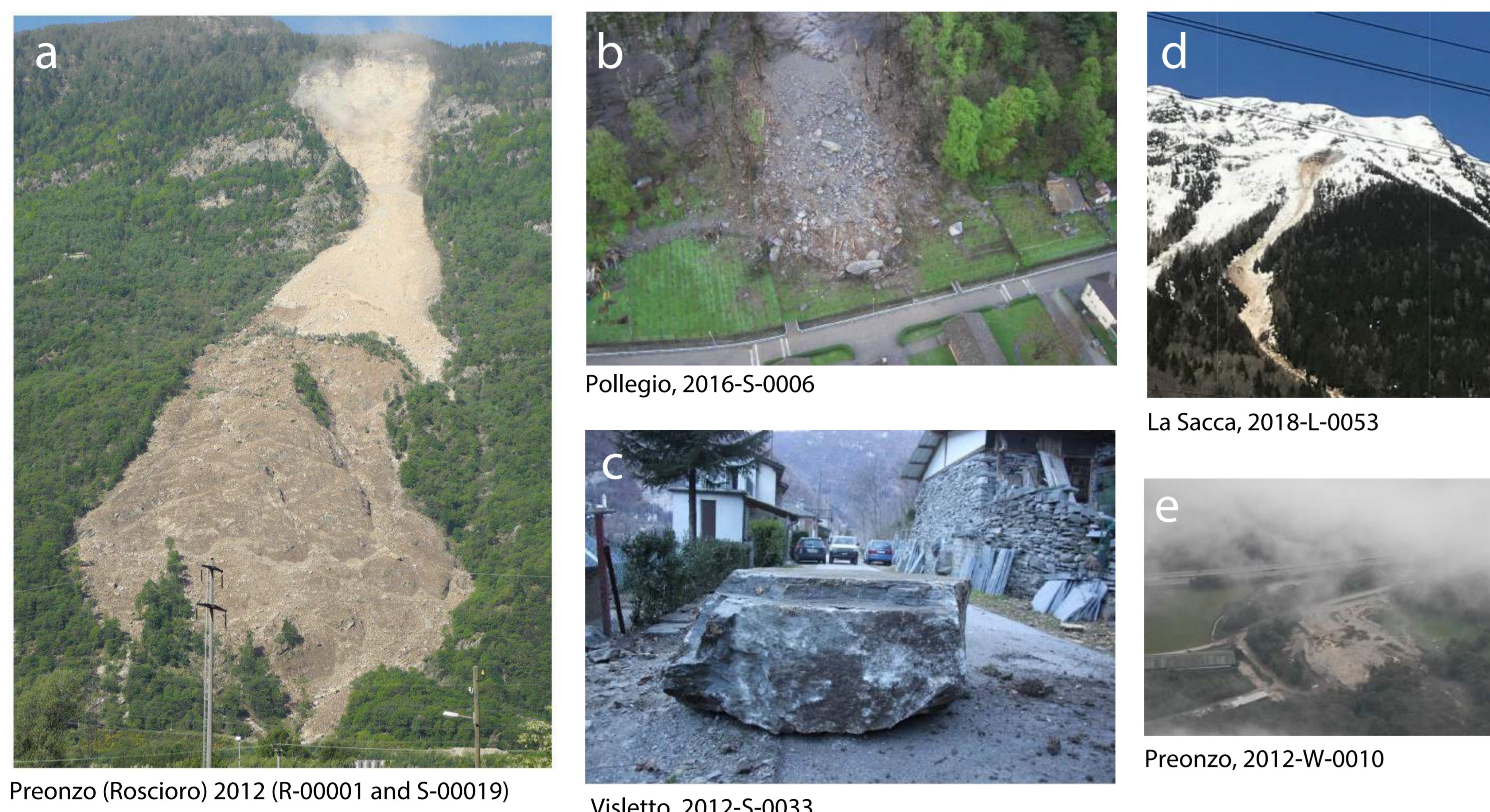


Figure 1: Exemple des différents types d'événements présents dans l'inventaire ainsi que leur numéro d'identification: (a) glissement/ chute de blocs, (b) chute de blocs, (c) bloc de grandes dimensions, (d) avalanche et (e) coulée de boue.

### II. Rassemblement et traitement des données d'entrée

Les données d'entrée (raster et vecteur) ont été rassemblées, triées et organisées. Les paramètres de contrôle relatifs aux mouvements ont été calculés selon les catégorisés suivantes: géométrie, topographie, hydrographie, utilisation des sols et géologie (voir figure 3). Ceci inclut des paramètres géométriques tels que l'altitude, les points d'altitude maximale et minimale, la superficie, le périmètre et la ligne d'énergie qui décrivent les dimensions des mouvements.

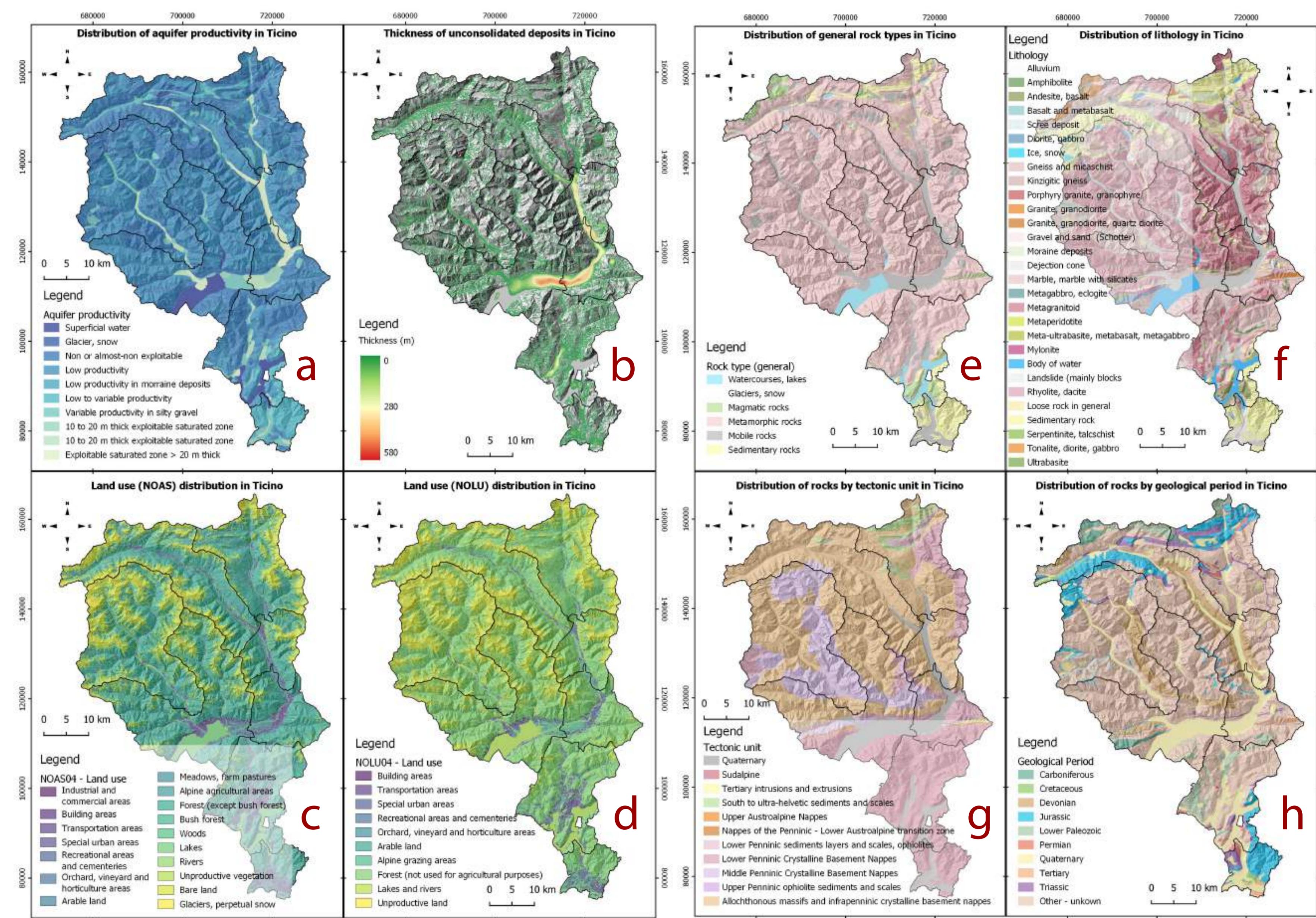


Figure 3: Vue d'ensemble de certaines des données d'entrée utilisées: (a) productivité hydrique du sous-sol, (b) épaisseur des dépôts non-consolidés, (c) utilisation du sol NOLU, (d) utilisation du sol NOAS, (e) type de roche, (f) lithologie, (g) unité tectonique et (h) période géologique.

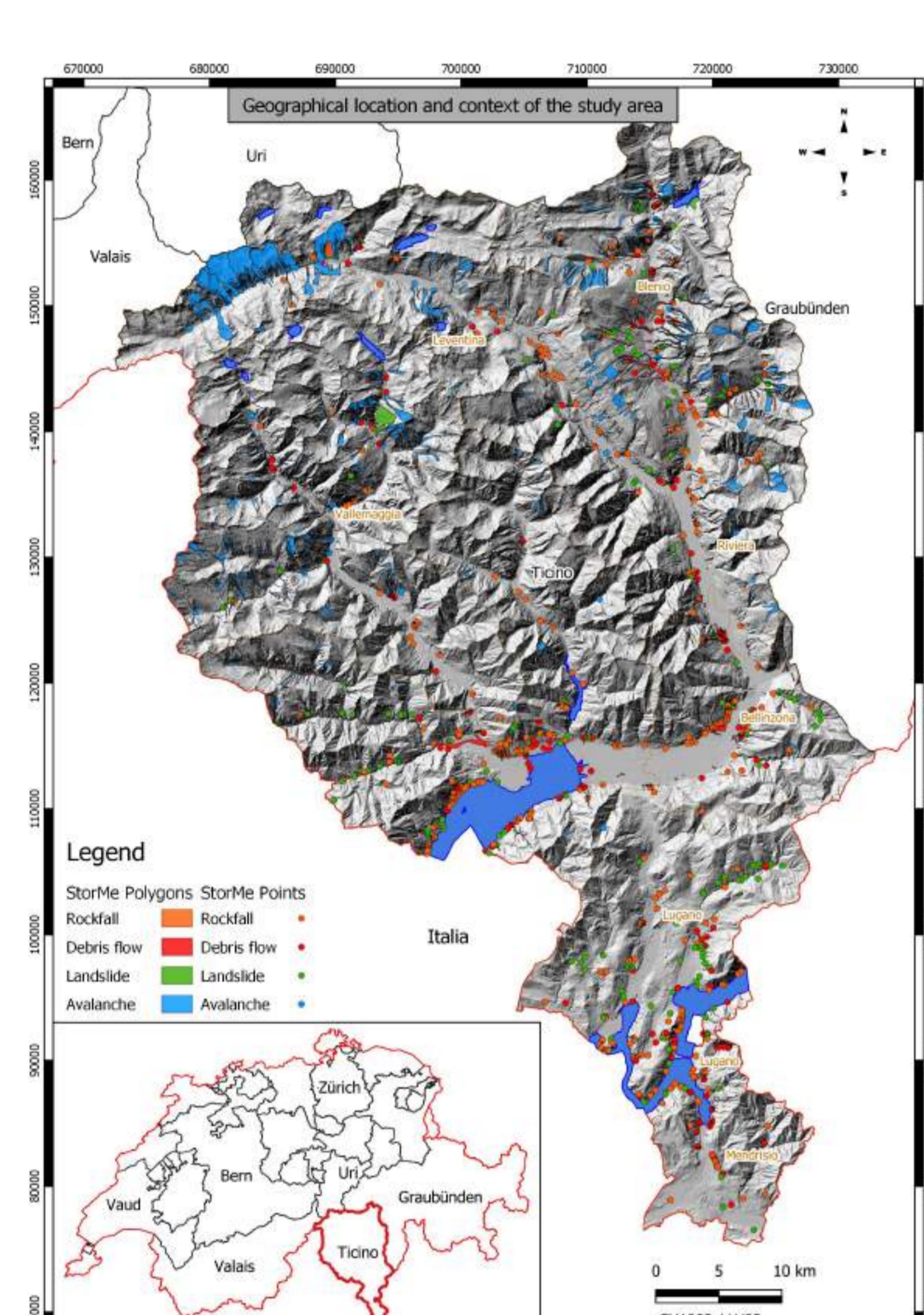


Figure 2: Emplacement de la zone d'étude

### III. Méthodologie

ArcGis a été utilisé pour l'analyse spatiale des événements, tandis que Matlab a permis la visualisation de la distribution univariée de chacun des paramètres initiaux et de choisir ceux présentant un intérêt. Une fois les paramètres de contrôle sélectionnés, des librairies de Python (Pandas Profiling, Scipy Stats, Scipy Optimize, Seaborn, entre autres) ont été utilisées pour réaliser l'analyse approfondie des paramètres, dont graphiques en paires et coefficients de corrélation de Spearman et Pearson ; et de créer leurs diagrammes de distribution. Pour certaines variables d'intérêt (p. ex. volume, distance de chute du glissement, ligne d'énergie, ...), des analyses plus détaillées impliquant des régressions linéaires et des lois de puissance ont ensuite été effectuées, puis comparées aux résultats d'autres auteurs (Corominas, 1996 ; Dussauge et al., 2003 ; Guzzetti et al., 2009 ; Jaboyedoff et al., 2020 ; Meier et al., 2020).

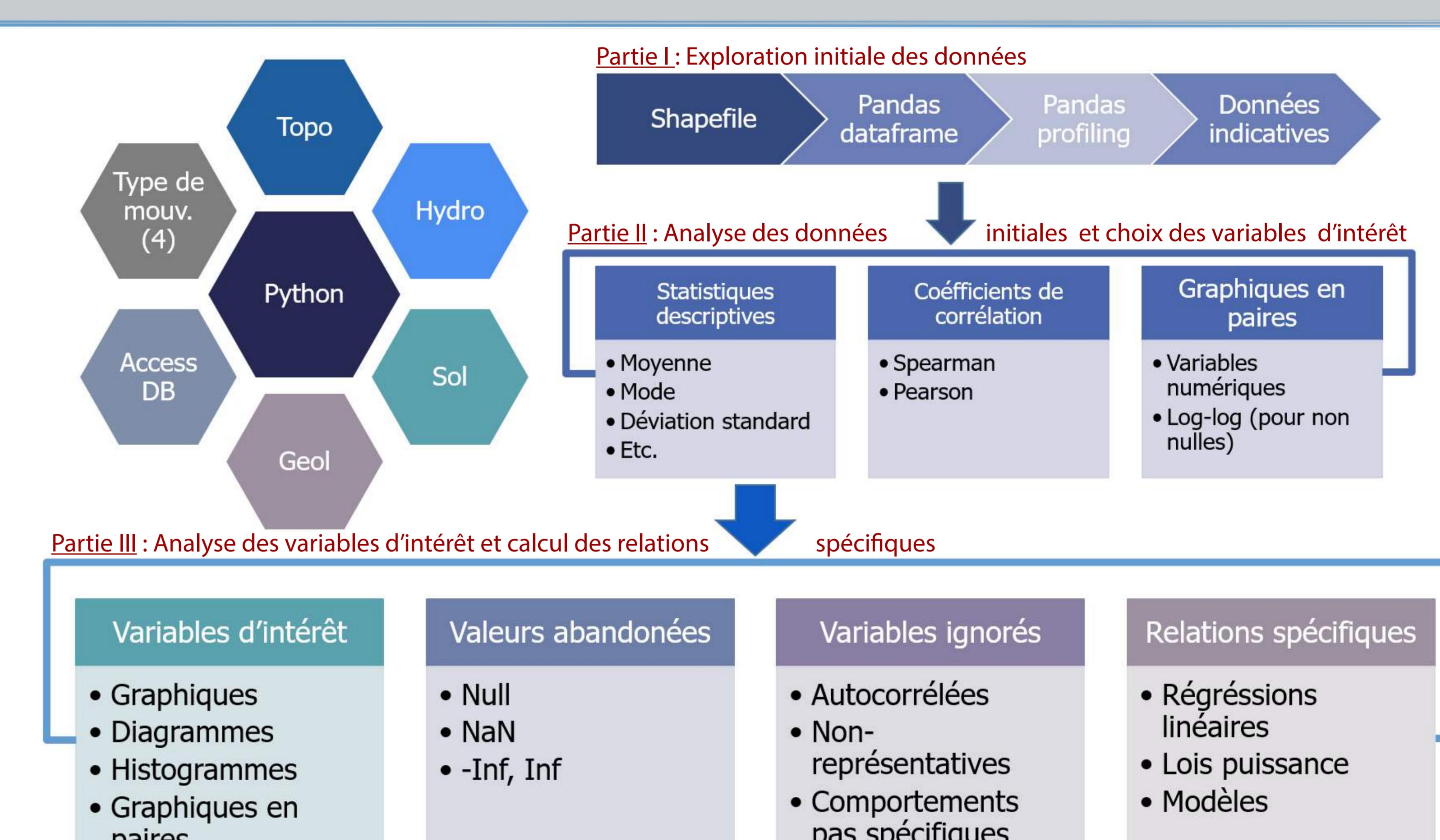


Figure 4: Schéma indicatif de la procédure suivie pour l'analyse statistique.

### IV. Résultats

#### A) À partir des analyses statistiques simples:

- Les principaux paramètres qui semblent contrôler les mouvements gravitaires au Tessin sont : la pente, l'aspect, l'indice de rugosité du terrain, l'indice d'humidité topographique, et la lithologie.
- Les aspects géométriques d'intérêt sont : la surface, la longueur, la différence de hauteur entre la zone source et le pied du dépôt, le volume et la ligne d'énergie.
- Les communes les plus touchées sont celles de Blenio (avec des coulées de débris et des avalanches principalement), Mendrisio (coulées de débris), Locarno (éboulements) et Bellinzona (chutes de pierres).
- Les aspects géométriques montrent que les chutes de pierres et les glissements de terrain ont tendance à avoir des surfaces totales (zone source et zone de dépôt) plus petites que les avalanches et les coulées de débris.
- La longueur des dépôts, les différences de hauteur, et les volumes, montrent des distributions similaires pour les quatre types de mouvement (avalanches, chutes de blocs, glissements et coulées).
- Le calcul de la ligne d'énergie montre des valeurs moyennes, médianes, et modales similaires, d'environ 26°/30° pour les coulées de débris, 33° pour les avalanches, 34°/35° pour les glissements de terrain et 41° pour les chutes de pierres.

#### B) À partir des analyses statistiques complexes:

- Des corrélations significatives de type loi de puissance ont été trouvées entre la longueur du dépôt et la différence de hauteur (cf. Corominas, 1996) ; le volume de dépôt et la surface du glissement (cf. Guzzetti et al., 2009) ; la distribution des volumes de chutes de pierres et leur fréquence (cf. Dussauge et al., 2003).
- La fonction de probabilité des volumes des glissements de tous les types (cf. Brunetti et al., 2009) a été estimé à partir d'une fonction de densité par noyau (méthode de Parzen-Rosenblatt).

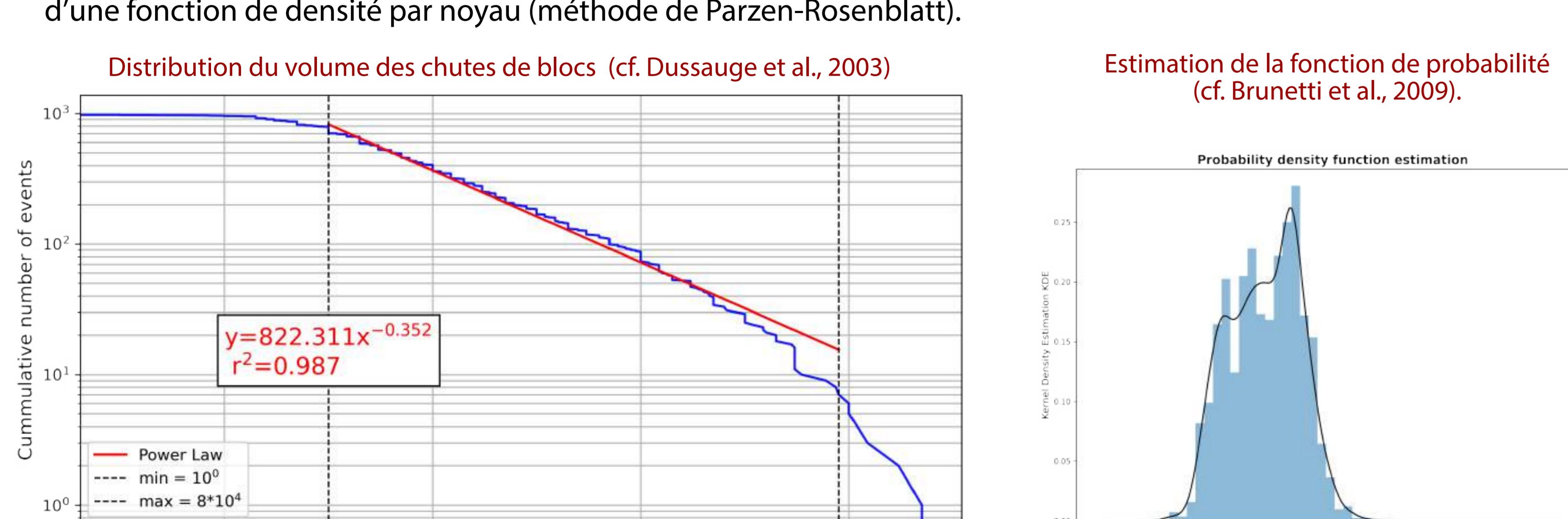
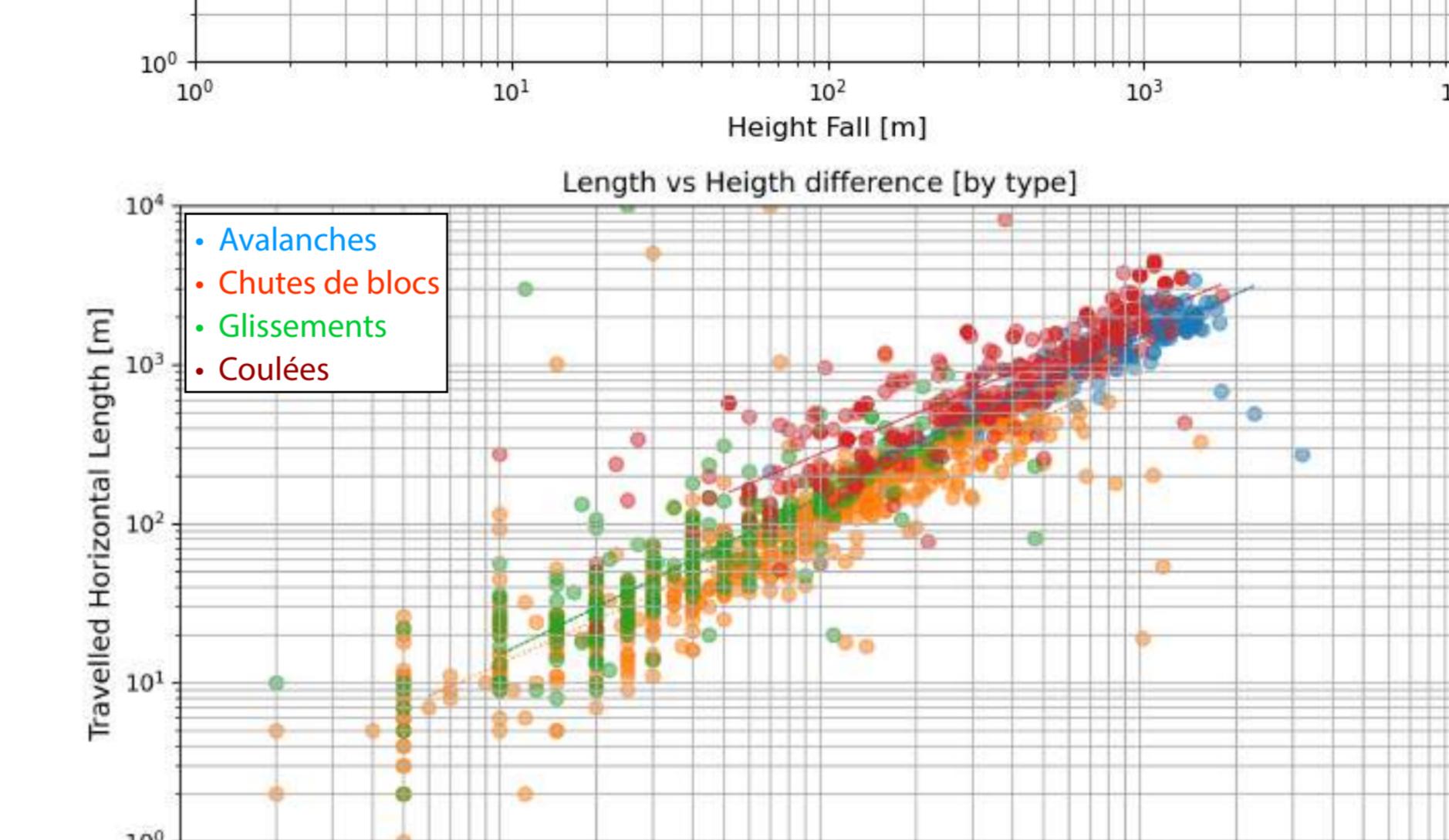
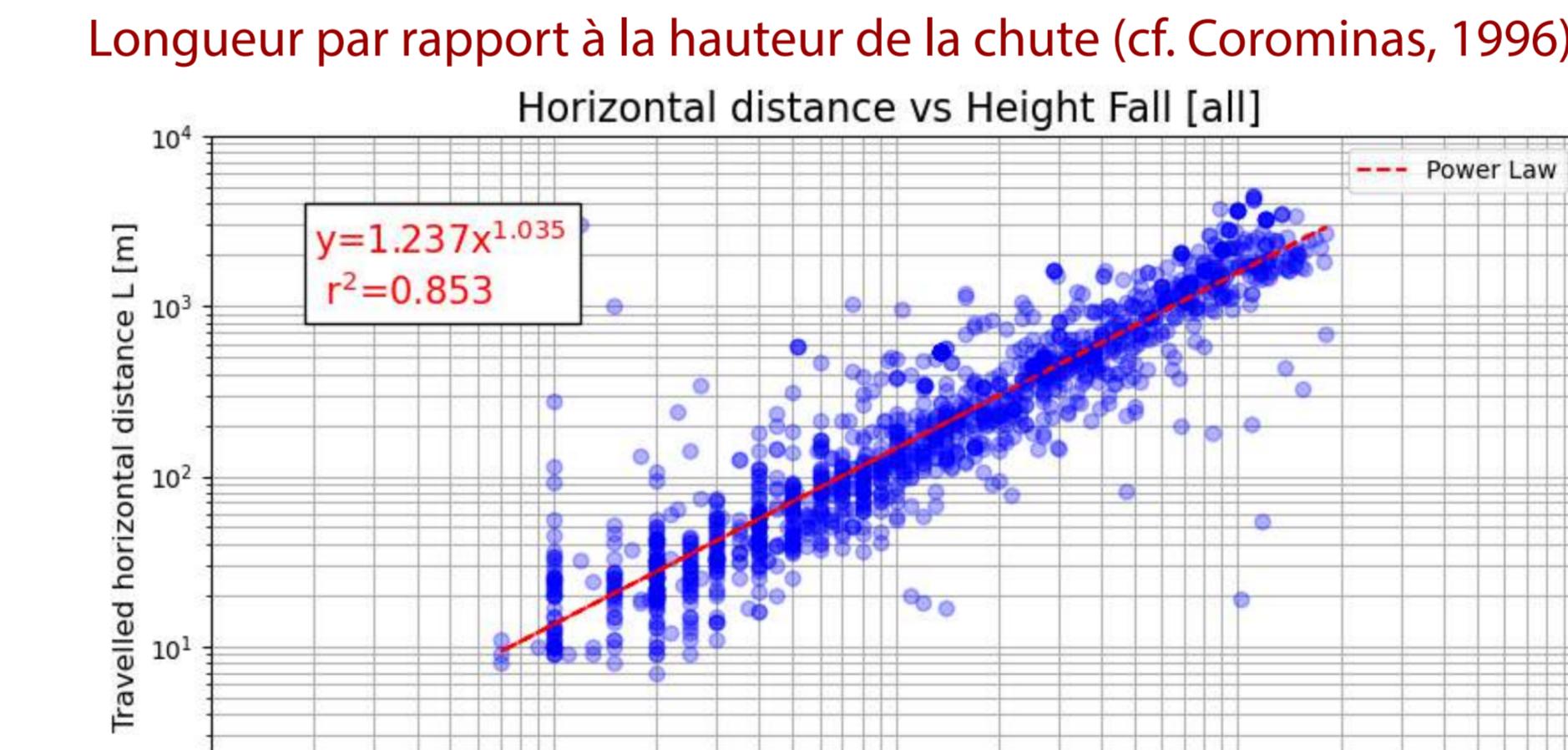


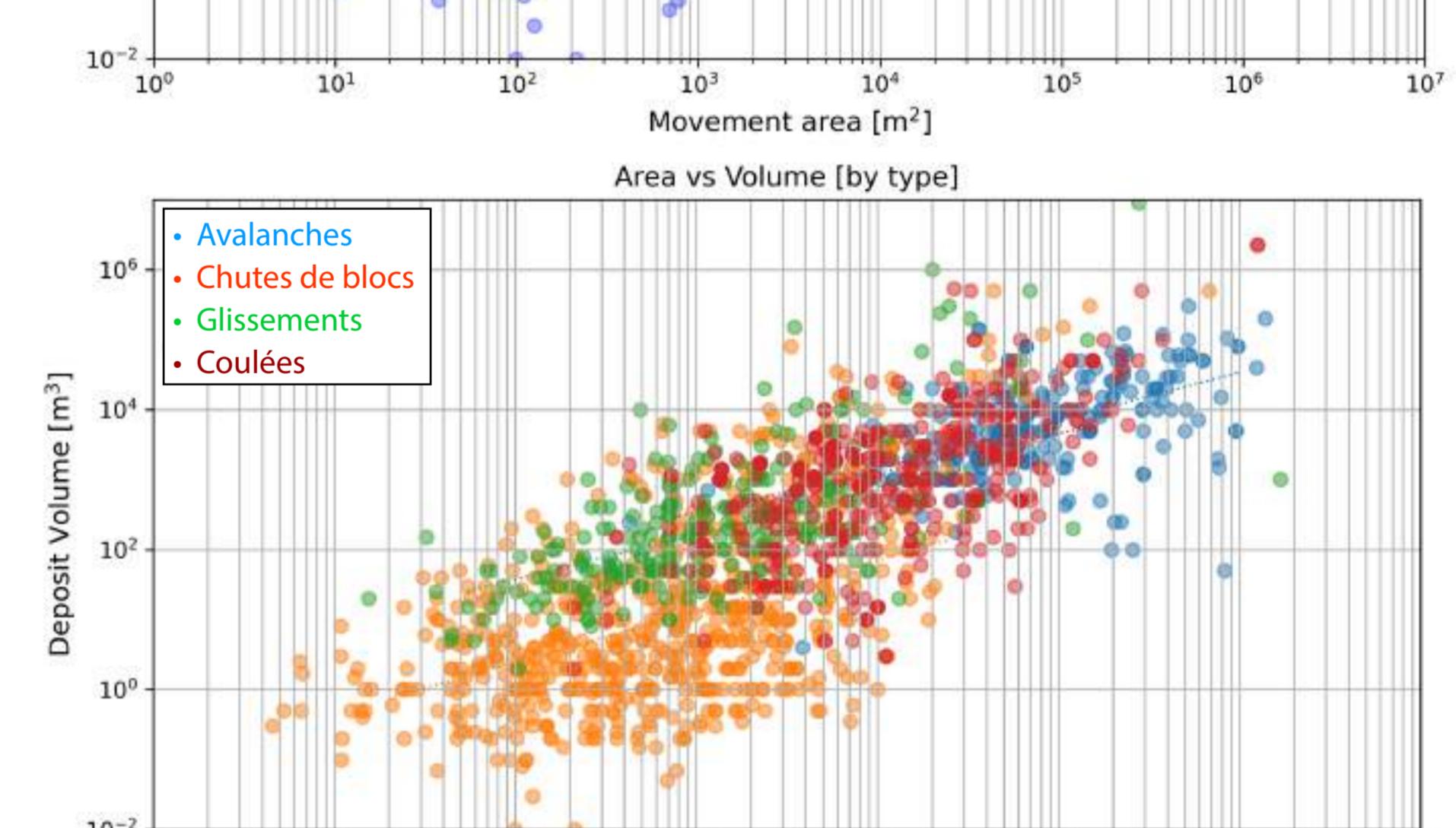
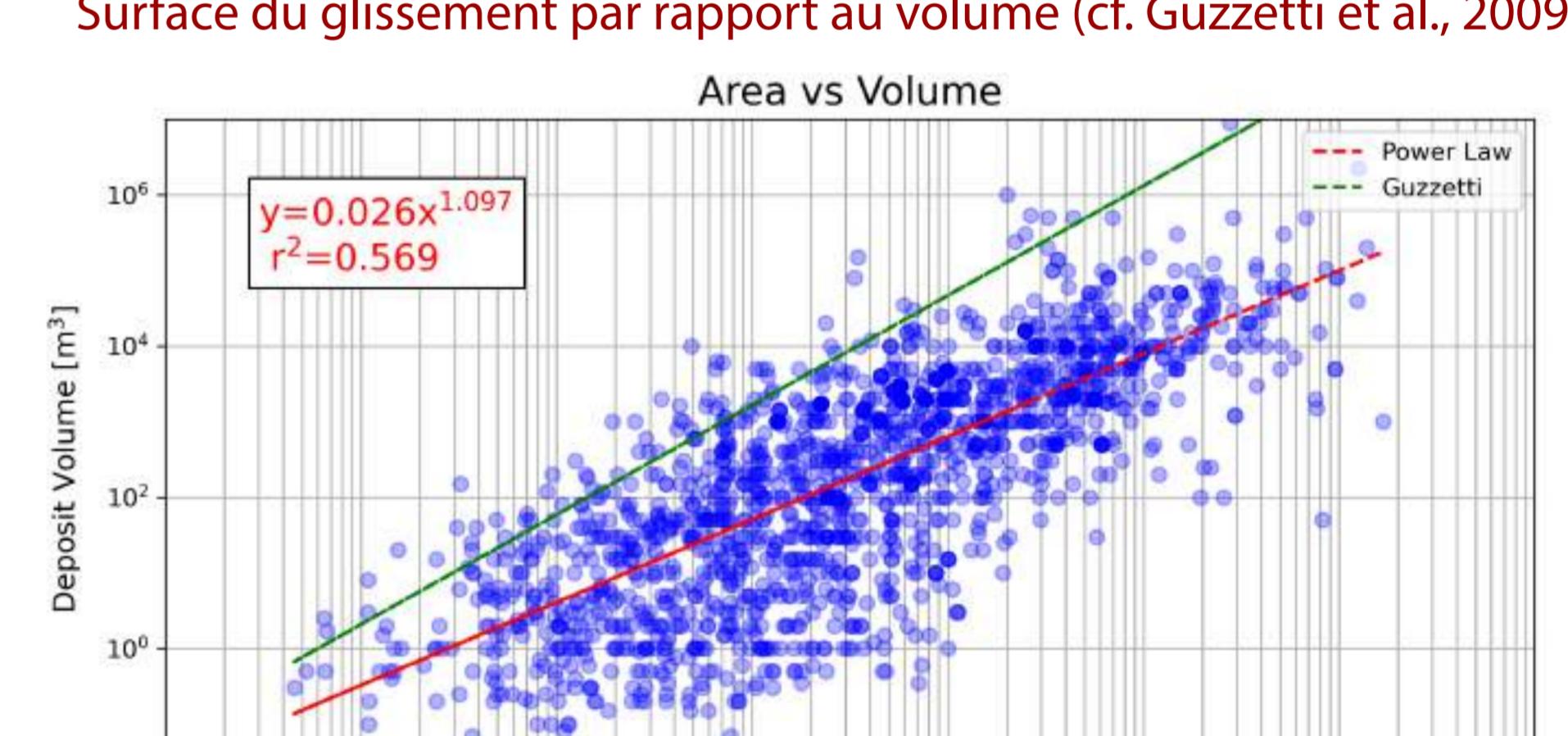
Figure 5: Etablissement d'une fonction du type loi puissance d'après la distribution des volumes pour les chutes de blocs (gauche) et établissement de la probabilité de répartition des volumes à partir d'un fonction de noyau pour le logarithme du volume pour tous les types de mouvements.

#### Longueur par rapport à la hauteur de la chute (cf. Corominas, 1996)



	A	B	Equation	R <sup>2</sup>
Avalanches	1.758	0.859	$H = 1.758 \cdot 10^{0.859}$	0.790
Chutes de blocs	1.999	0.803	$H = 1.999 \cdot 10^{0.803}$	0.684
Glissements	2.606	0.669	$H = 2.606 \cdot 10^{0.669}$	0.613
Coulées	1.109	0.857	$H = 1.109 \cdot 10^{0.857}$	0.719

#### Surface du glissement par rapport au volume (cf. Guzzetti et al., 2009)



	A	B	Equation	R <sup>2</sup>
Avalanches	2.483	0.685	$V = 2.483 \cdot 10^{0.685}$	0.331
Chutes de blocs	0.026	0.947	$V = 0.026 \cdot 10^{0.947}$	0.326
Glissements	1.884	0.846	$V = 1.884 \cdot 10^{0.846}$	0.409
Coulées	1.336	0.948	$V = 1.336 \cdot 10^{0.948}$	0.325

Figure 6: détermination des relations de type loi puissance des longueurs de dépôt par rapport aux hauteurs de chutes (gauche) et des surfaces par rapport au volume (droite) pour tous types de mouvements (en haut) et selon le type de mouvement (en bas) avec la description des paramètres calculées (tableau en dessous).

### V. Conclusions

Malgré l'hétérogénéité des données d'entrée, une base de données homogène a été construite, puis divisée par catégories. Les analyses préliminaires ont permis de définir les paramètres de contrôle d'intérêt, et de réaliser les analyses appropriées par rapport aux données présentes. L'analyse statistique simple a permis d'établir une corrélation entre la distribution de certains paramètres et le type de mouvement. Tandis que l'analyse approfondie a permis de confirmer que les variables géométriques (aire, périmètre, hauteur de la chute, et valeur de la ligne d'énergie) suivent généralement les mêmes tendances que celles issues de la littérature.

### Bibliographie

- Brunetti, M. T., Guzzetti, F., & Rossi, M. J. N. P. I. G. (2009). Probability distributions of landslide volumes. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 16(2), 179-188.
- Corominas, J. (1996). The angle of reach as a mobility index for small and large landslides. *Canadian Geotechnical Journal*, 33(2), 260-271.
- Dussauge, C., Grasso, J. R., & Helmstetter, A. (2003). Statistical analysis of rockfall volume distributions: Implications for rockfall dynamics. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 108(B6).
- Guzzetti, F., Ardizzone, F., Cardinali, M., Rossi, M., & Valigi, D. (2009). Landslide volumes and landslide mobilization rates in Umbria, central Italy. *Earth and Planetary Science Letters*, 279(3-4), 222-229.
- Jaboyedoff, M.; Carrea, D.; Derron, M. H.; Oppikofer T.; Penna, I. M.; and Rudaz B. (2020). A review of methods used to estimate initial landslide failure surface depths and volumes. *Engineering Geology*, 267, 105478.
- Meier, C., Jaboyedoff, M., Derron, M. H., & Gerber, C. (2020). A method to assess the probability of thickness and volume estimates of small and shallow initial landslide ruptures based on surface area. *Landslides*, 1-8.