

Mesure de la morphologie des falaises par lasergrammétrie et photogrammétrie

PFE présenté par : **Laurent Troubat**
Société d'accueil : **Laboratoire ISTerre**
Directeur de PFE : **David Amitrano**
Correcteurs : **Emmanuel Alby**
Pierre Grussenmeyer



1. Introduction

La vallée du Grésivaudan (Grenoble, France) est une zone fortement urbanisée côtoyant les larges falaises des massifs à formation calcaire de la Chartreuse et du Vercors. La menace que représentent ces falaises vis à vis des chutes de blocs et des éboulements est une préoccupation importante en termes de gestion des risques. Les acteurs de l'aménagement du territoire sont ainsi demandeurs de méthodes permettant la prévision dans le temps et dans l'espace (localisation et ampleur) des éboulements. Une réponse déterministe n'est malheureusement pas envisageable dans l'état actuel des connaissances des phénomènes d'érosions.

C'est une approche probabiliste qui est alors envisagée pour répondre à ces questions. Plusieurs études ont montrées un lien entre la fréquence d'occurrence et le volume d'un évènement. La distribution des chutes de blocs se fait alors sous forme de loi puissance.

$$^1 n(> V) = a * V^{-\beta}$$

L'établissement de cette loi consiste à déterminer les paramètres *a* et *béta* à partir d'un inventaire de chutes de blocs. La problématique est de détecter les plus petits évènements possibles, dont la fréquence d'occurrence est élevée afin d'extrapoler la relation pour les évènements plus importants et plus rares. La qualité de la détermination des paramètres dépend du nombre d'évènements utilisés et du seuil de détection minimum.

Le manque de données est alors un véritable frein pour la prévision des aléas d'éboulements. En effet, dans le bassin grenoblois seul le service de Restauration des Terrains en Montage (RTM) a effectué un catalogue de chutes de blocs et éboulements pour le XXème siècle. A l'heure actuelle ce sont des méthodes empiriques qui permettent de recenser les chutes de blocs dans le bassin grenoblois. La détection n'est effective que lorsque l'impact de l'évènement sur l'environnement est visible (cicatrices, forêts, infrastructures, etc.) et l'estimation des volumes se fait indirectement à partir de la cicatrice ou de la zone de dépôt, biaisant la mesure.

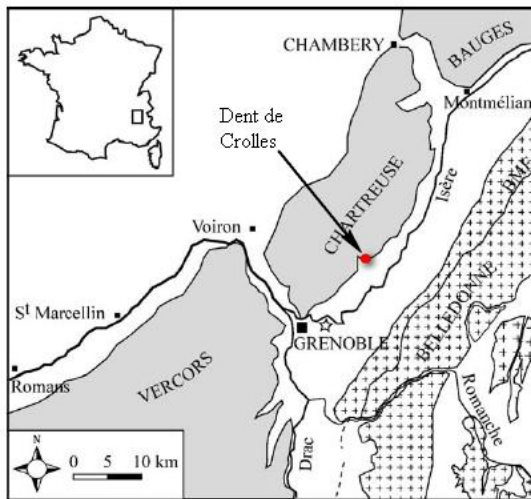
Dans ce contexte, et dans le cadre de sa mission d'observatoire, l'équipe faille de l'UMR de l'Institut des Sciences de la Terre (ISTerre) souhaite mettre en place une méthode de mesure de la morphologie des falaises, répétable dans le temps afin de pouvoir faire des différences diachroniques et établir un inventaire de chutes de blocs exhaustif et non biaisé. Depuis une dizaine d'années le développement des techniques lasergramétriques permet de générer de manière rapide et précise des nuages de points denses. Pour les objets de la taille d'une falaise, les mesures sont nécessairement aéroportées. Or le coût d'une mission Lidar aéroportée effectuée par un prestataire de service ne permet pas au laboratoire de commander de manière réactive, régulière et rapprochée un nuage de points. Les solutions logicielles photogramétriques utilisant la corrélation épipolaire dense (CED), sorties sur le marché depuis 2007, offrent alors une alternative intéressante pour la création de nuages de points denses.

¹ $n(>V)$: Fréquence d'évènement de volume supérieur à V , V : Volume d'un évènement

Dans le but de caractériser la technique de CED appliquée aux falaises, ce projet de fin d'étude doit permettre de :

- Proposer une méthode de traitement permettant de valoriser un jeu de clichés historique
- Proposer une méthode d'acquisition et de traitement de clichés numériques pour l'établissement de nuages de points dans le futur
- Valider les méthodes mises en place du point de vue de réponse aux besoins des géophysiciens, et comparaison avec le Lidar aéroporté.
- Appliquer les méthodes mises en place au site test de la Dent de Crolles et proposer des rendus réalisables.

2 Données



L'étude est spécifiquement menée sur le site de la dent de Crolles dans le massif de la Chartreuse. Ce site a été choisi premièrement car un éboulement de plusieurs milliers de mètres cubes s'est produit fin octobre 2010 et deuxièmement car la géologie du site est très bien connue. La caractérisation de l'éboulement ayant été effectuée par plusieurs services et les données disponibles couvrant la date de l'évènement, la confrontation avec les méthodes actuelles sera alors possible.

Figure 1 : Présentation géographique du site d'étude²

Date	Type	Système d'acquisition	Densité/Taille du pixel sur l'objet
2000	Photographies argentiques numérisées	Zeiss UMK 10/1318	15 cm
2011	Photographies numériques	Hasselblad H1 + dos PhasOne P45	6 cm
2011	Nuage de points Lidar	Riegl LMS-Q560	25 pts/m ²

Tableau 1 : Présentation des données

3 Traitement des données

Une première partie du traitement consiste à générer un nuage de points à partir des photographies. Cette partie est réalisée à l'aide de la solution logicielle Photomodeler Sanner 7 (PMS) d'EOS Systems.

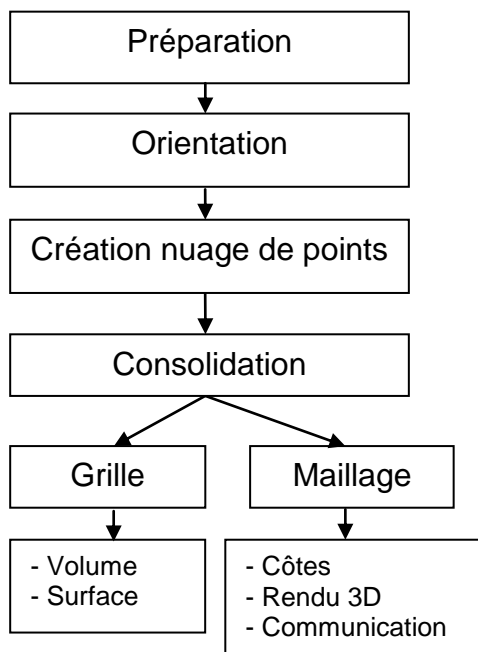
Le principe utilisé pour la génération des nuages de points est celui de la stéréophotogrammétrie. Connaissant la position et l'orientation de deux images d'un même objet, la mesure d'un point dans chacun des clichés permet la détermination de ses coordonnées en trois dimensions. La génération du nuage de points se fait alors par la mesure de points homologues selon un pas prédéfini par l'utilisateur. L'appariement automatique des points homologues dans la stéréopaire pose des difficultés car la solution peut ne pas être unique ou peut ne pas exister. La réponse à ce problème est l'intégration de deux contraintes :

- La contrainte épipolaire : transforme l'espace de recherche de deux dimensions (plan image) à une dimension (droite)
- Le voisinage : utilisation d'un coefficient de corrélation utilisant des fenêtres de recherche et non pas un pixel unique

² Hantz [2002] modifié

La chaîne de traitement permettant d'implémenter cette technique débute par les étapes classiques de la photogrammétrie puis par l'application de la CED. On identifie alors les paramètres influant sur la qualité des résultats :

- Les imperfections du système d'acquisition : elles sont corrigées par la phase de calibration de la caméra
- La géométrie des prises de vues :
 - Géométrie des stéréopaires : choix du rapport base/éloignement pour un compromis entre robustesse et précision
 - Géométrie des clichés ne servant qu'à l'orientation du bloc de photos
- La pertinence des réglages de la prise de vue (qualité de l'image)
- L'échelle des clichés : compromis entre le nombre de clichés et l'éloignement à l'objet
- La qualité des points d'appuis



La chaîne de traitement diffère légèrement entre les données argentiques et les données numériques. Bien que PMS offre la possibilité de traiter des clichés comportant des repères de fonds de chambre, la génération de nuage de point à partir de telles données n'est pas opérationnelle. Il est donc nécessaire d'effectuer une opération préalable de transformation en 'équivalent numérique' des clichés argentiques numérisés et de définir la caméra associée. Au vue de la quantité de clichés qui seront à traiter dans le futur, cette opération à été automatisée à l'aide des logiciels Matlab et PMS communicant par l'intermédiaire du protocole *Dynamic Data Exchange (DDE)*. L'orientation absolue des modèles à été effectué à partir de points d'appuis déterminé par intersection spatiale étant donnée les conditions d'accès à la falaise.

La seconde partie du traitement consiste à générer des informations dérivées des nuages de points exploitables pour les applications de géomorphologie. Etant donnée l'hétérogénéité des sources de données, la comparaison des nuages de points bruts met en évidence la présence d'erreurs systématiques. Afin d'éliminer les tendances ne reflétant pas la réalité, une phase de consolidation est nécessaire avant. L'étape suivante

Figure 2 : chaîne de traitement simplifiée

consiste à passer d'une description discrète du terrain (nuage de points) à une description continue. L'utilisation complémentaire de la modélisation *TIN (Triangulated Irregular Network)* et de la représentation grille à été choisie. La représentation *TIN* permet d'effectuer des inspections, de générer des coupes, d'effectuer des mesures de dimension et de communiquer visuellement de manière aisée. Le *TIN* ne permet en revanche pas de calculer un volume de manière systématique, robuste et facile. Les contraintes d'un maillage strictement clos ayant une forme adéquate au calcul de volume nécessitent l'intervention manuelle de l'opérateur ainsi que son interprétation. Afin d'éviter ce biais les calculs de volumes et de surface des chutes de blocs seront effectués à partir de grilles, pour lesquelles les opérations arithmétiques sont beaucoup plus aisées.

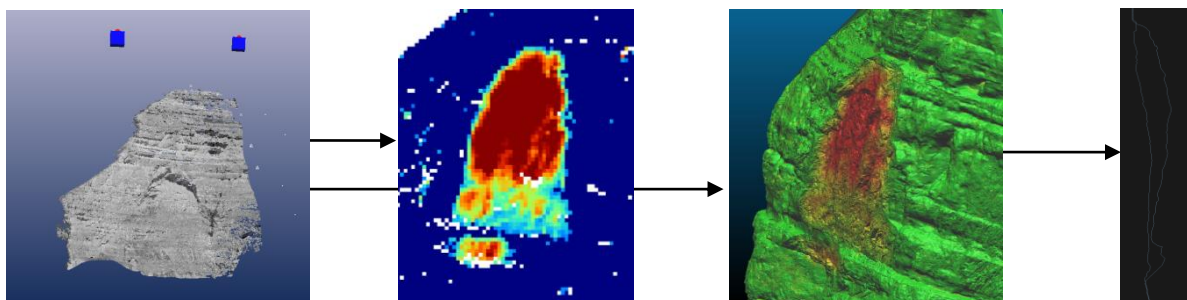


Figure 2 (de gauche à droite): Nuage de points de la falaise (données argentiques), grille de différence de l'éboulement, inspection diachronique de l'éboulement, coupe longitudinale

3. Validation de la photogrammétrie pour les applications de gestion des risques

Une fois les méthodes mises en place il est nécessaire de les caractériser afin de vérifier l'adéquation des procédés et des résultats aux exigences et compétences techniques du personnel du laboratoire. Dans un premier temps, les caractéristiques des méthodes photogrammétriques sont étudiées dans le but de les valider pour une utilisation future. Dans un second temps la photogrammétrie est comparée aux méthodes utilisées jusqu'à l'heure actuelle ainsi qu'au Lidar aéroporté fourni par une entreprise prestataire.

Afin d'effectuer cette validation, une liste de critères reflétant les attentes du laboratoire à été dressée de la manière suivante :

- Qualité des données générée :
 - Précision
 - Exactitude
 - Volume minimum détectable

- Contraintes :
 - Connaissance à mettre en œuvre (formation de personnel)
 - Matériel à mobiliser
 - Coût
 - Temps (acquisition et traitement)

3. Conclusion et perspectives

Les méthodes actuelles de recensement d'événements d'instabilité gravitaire dans les massifs environnants de Grenoble, ne permettent pas de faire un inventaire exhaustif et non biaisé. Le laboratoire ISTerre éprouvant la nécessité de mesurer de manière plus précise la morphologie des falaises, s'est tourné vers les techniques actuelles de génération de nuage de points, à savoir la photogrammétrie et le Lidar.

Bien que le Lidar aéroporté fournisse une qualité de données suffisante pour les objectifs du laboratoire, le prix d'une mission est beaucoup trop élevée pour répéter l'opération dans le temps. La photogrammétrie, par l'intermédiaire de la CED récemment rendue disponible sur le marché par des solutions logicielles destinées à un public plus vaste que celui de la communauté photogrammétriste a fait l'objet de développement méthodologique puis de validation. Les résultats montrent que d'une part, l'exploitation de données historique est possible et que d'autre part, l'utilisation de clichés numériques aéroportés de très bonne qualité permet de se rapprocher des caractéristique du Lidar.

L'utilisation de la CED à donc été validée en termes de réponse aux besoins des géophysiciens et une utilisation future sur l'ensemble des massifs concernés par le projet est envisagée.

La CED développée dans PMS n'effectue la mesure que dans deux images stéréoscopiques. La redondance du problème est nulle et donc la détection d'un appariement incorrect est statistiquement impossible. Pour éviter un nuage trop bruité, cette contrainte impose à l'opérateur d'augmenter la valeur minimum retenue du score de corrélation dans le processus de corrélation d'image, ce qui à également pour effet de diminuer le nombre d'appariements corrects. Afin d'améliorer la robustesse du procédé l'idée est de rendre redondante la mesure sur les images et donc de faire de la multi corrélation d'image. Cet axe pourra être développé dans les études futures pour améliorer les résultats obtenus.