

Apports de la lasergrammétrie terrestre pour les études de confortements de parois rocheuses

PFE présenté par : **Adrien Fievet**
Société d'accueil : **SNCF**
Directeur de PFE : **M. Viguier Flavien**



Correcteurs : **M. Grussenmeyer Pierre**
Mme. Landes Tania

1. Introduction

Depuis 2010, la division *Assistance Travaux et Topographie* de l'ingénierie SNCF¹ est dotée d'un scanner laser terrestre (SLT) lui permettant de mener à bien différents chantiers faisant intervenir cette technologie. Notre étude se concentre plus particulièrement sur l'application des mesures par SLT aux ouvrages rocheux présents dans les emprises ferroviaires. Au travers d'une étude combinée de la problématique rocheuse et de la mesure laser, nous définirons les apports de la lasergrammétrie pour les études de confortements des parois rocheuses. Le choix de la solution de traitement (analyse et risque de dimensionnement de la solution retenue) prend en compte des objectifs de sécurité et de régularité de l'exploitation ferroviaire. En effet, il permet d'éviter les chutes de blocs sur la plate-forme ferroviaire ou sur les véhicules en circulation.



Figure 1 : Chute de blocs rocheux sur la voie ferrée

Ce travail a nécessité une collaboration étroite avec les équipes de géologues² de la SNCF, spécialistes de la gestion des risques inhérents aux ouvrages en terre (déblais, remblais, parois rocheuses) vis-à-vis de l'infrastructure ferroviaire et de son exploitation. Cette gestion du risque passe inévitablement par la réalisation d'une étude géostratigraphique des sites (types de roches, relevé des discontinuités, définition de la structure, etc.). Cependant, à l'heure actuelle, cette étude reste principalement basée sur l'inspection visuelle et l'expérience du spécialiste. De plus, les techniques de mesure classiques mises en œuvre fournissent des données ponctuelles sur l'état de l'ouvrage. La lasergrammétrie, en fournissant une vision globale et tridimensionnelle de l'objet, facilite l'interprétation du géologue et permet ainsi d'affiner les préconisations (types de confortement, dimensionnement, positionnement, etc.)

Les objectifs de cette étude sont les suivants :

- dégager les limites de la méthode actuelle
- étudier la précision de la mesure par SLT et les facteurs d'influence
- définir les apports de la lasergrammétrie (performances techniques et optimisations financières)
- valider ces apports sur un chantier test.

2. L'aléa rocheux

Sur les dix dernières années, 32% des incidents sur les ouvrages en terre dans le domaine ferroviaire sont dus à des chutes de blocs rocheux constituant un enjeu majeur de gestion du risque en domaine ferroviaire. Les parois sont affectées par de nombreuses discontinuités. Elles désignent toute interruption physique de la continuité du massif rocheux. Les discontinuités principales sont les failles, les plans de stratification, les diaclases et les plans de schistosité. L'association de ces discontinuités conduit à l'individualisation de pierres, de blocs et de masses qui peuvent générer des

¹ Société Nationale des Chemins de fer Français

² Division *Ouvrages en Terre et Hydrauliques*, direction de l'Ingénierie

désordres suivant la localisation et l'énergie de la chute. Ce processus provoque alors un aléa pouvant représenter un risque pour l'exploitation ferroviaire en cas d'engagement du gabarit. Pour pallier à ces risques, hormis les actions de surveillance et de maintenance ou les actions par intervention sur l'exploitation, deux types de parades existent : les parades actives qui consistent à supprimer les risques d'éboulement et les parades passives qui limitent les conséquences d'un éboulement.

3. Etude de précision du scanner laser Leica C10

Les règles de l'art du métier de topographe imposent une étude de précision de chaque nouvel appareil afin d'évaluer l'exactitude des résultats et des observations fournis. Les scanners laser étant fabriqués en petite quantité, leur précision varie d'un instrument à l'autre. Elle dépend essentiellement du calibrage individuel et du soin apporté à l'entretien du matériel.

Le système utilisé lors de mon étude, est le scanner C10 fabriqué par *Leica Geosystems*. Ce scanner utilise la technique de mesure du temps de parcours (couramment appelé « temps de vol » ou « *pulse method* »). Le scanner contient une caméra numérique. Il est ainsi possible de lancer le balayage et la capture d'images simultanément.

Les erreurs d'un scanner laser peuvent être regroupées en 2 catégories : les erreurs internes, qui sont systématiques et les erreurs externes, qui sont aléatoires. Dans les erreurs internes, on retrouve les erreurs instrumentales dues à la conception du scanner et à ses caractéristiques. Elles peuvent être éliminées à l'aide d'un étalonnage du scanner. Les erreurs externes regroupent principalement les erreurs liées à l'objet scanné (angle d'incidence, rugosité, réflectance, etc.), les contraintes environnementales (température, pression, humidité, etc.) et les erreurs méthodologiques. Ces dernières sont principalement dues aux erreurs de consolidation et de géoréférencement des nuages de points.

L'étude de précision d'un scanner laser est relativement difficile à réaliser. En effet, la conception d'un scanner est complexe car les systèmes optiques sont couplés à des systèmes électroniques. Cette combinaison contribue à l'erreur finale. De plus, le principe même de la lasergrammétrie interdit la mesure d'un point précis contrairement à une station totale. Pour pallier à ce problème, nous avons déterminé les coordonnées du centre d'une cible à l'aide du scanner afin de comparer ces résultats à ceux issus d'une station totale. Le scanner utilise la mesure de distance, d'angle et d'intensité de milliers de points sur la cible pour déterminer les coordonnées de son centre. Il est donc difficile d'étudier la précision d'un seul facteur car les mesures sont corrélées.

L'étude bibliographique et les tests effectués nous ont permis de mettre en place des modes opératoires spécifiques afin d'essayer de déterminer la précision de chaque facteur individuellement. Nous supposons alors que les mesures sont indépendantes. Tout d'abord, nous avons déterminé la précision sur la mesure d'une distance à l'aide d'une base d'étalonnage. Le graphique ci-dessous présente les résultats.

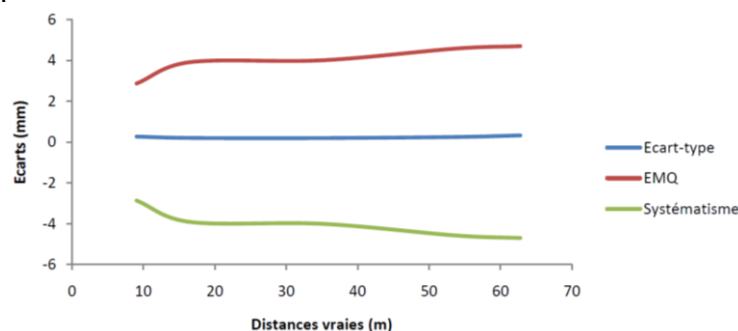


Figure 2 : Erreur systématique, écart-type, EMQ en fonction de la distance

Nous avons ensuite défini la précision sur la mesure d'un angle. Cette étude de précision nous a permis de confirmer les précisions théoriques annoncées par le constructeur. Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous.

		Précision issue de l'étude de précision	Précision théorique du constructeur
Précision effective sur la mesure d'une distance		4 mm	4 mm
Précision effective sur la mesure d'un angle	vertical	42 μ rad	60 μ rad
	horizontal	23 μ rad	60 μ rad

Tableau 1 : Résultats de l'étude de précision

En complément à cette étude de précision, nous avons analysé l'influence de différents facteurs tels que la rugosité de l'objet et l'angle d'incidence du faisceau laser qui balaye l'objet. Pour étudier l'influence de l'angle d'incidence, nous avons scanné une cible en faisant varier l'angle d'incidence avec un pas de 10°. Puis, nous avons calculé un plan moyen ainsi que la dispersion des points par rapport à ce plan. Les mesures ont été réalisées pour des angles compris entre 0° et 80°. Pour l'influence de la rugosité, nous avons utilisé des plaques échantillons de granulométries différentes. Nous avons étudié alors la dispersion des points par rapport au plan moyen. Enfin, nous avons mené une étude sur la détermination des lignes de rupture afin d'évaluer les capacités du scanner à détecter les discontinuités.

Cette approche de la problématique de précision des mesures par SLT nous permet d'aborder les étapes de modélisation et d'exploitation en ayant conscience des paramètres garantissant la qualité des mesures lasergrammétiques.

4. Mode opératoire

4.1 Traitements

L'objectif des traitements est de produire un modèle 3D de la paroi rocheuse afin de réaliser par la suite une analyse géostrucurale complète. Comme le montre le schéma ci-contre, les traitements sont assez classiques. Les nuages de points sont consolidés, segmentés et maillés par affinage à erreur de corde.

Avec le modèle 3D seul, les géologues ne peuvent pas distinguer visuellement les caractéristiques géostrucurales de la paroi telles que les discontinuités, les types de roches, l'état de la roche, etc. C'est pourquoi, il est indispensable de coupler la lasergrammétrie à la photogrammétrie afin de texturer le modèle. Les photographies sont plaquées sur le modèle en saisissant des points homologues entre la photo et le modèle. Une solution moins fastidieuse serait de positionner des cibles sur la paroi rocheuse. Cependant, cette solution est quasi impossible à mettre en place en raison du manque d'accessibilité et des contraintes liées à l'alimentation électrique présente dans les emprises ferroviaires (caténaire). L'utilisation de cibles photographiques doit donc être raisonnée. Le texturage donne alors une toute autre dimension au modèle maillé.

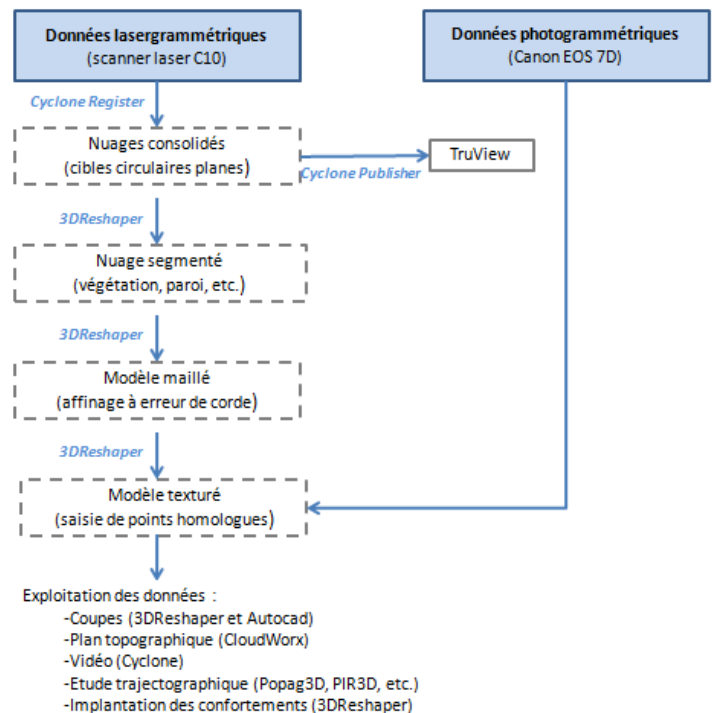


Figure 3 : Chaîne de traitements

4.2 Exploitation du modèle

A partir du modèle maillé et texturé, plusieurs informations peuvent être extraites. Ainsi, nous pouvons déterminer la surface exacte de grillage nécessaire pour conforter l'ensemble de la paroi. Contrairement aux méthodes actuelles, il n'est plus utile d'appliquer une marge de sécurité à nos calculs surfaciques. Le modèle nous permet de visualiser les différentes facettes de la paroi rocheuse. Il est ainsi possible de déterminer l'emplacement et l'orientation des discontinuités sur des zones de la paroi qui nous étaient inaccessibles sur le terrain. Nous pouvons aussi calculer à partir du nuage de points, la « meilleure » primitive géométrique correspondante (plan, cylindre, etc.) afin de détecter des plans géologiquement caractéristiques (cf. figure 8). Cette étude se fait à partir du logiciel *3DReshaper*. Grâce à ces informations, nous pouvons implanter des ancrages en connaissant toutes les caractéristiques de la paroi.

Le modèle nous permet alors de réaliser des simulations. Nous pouvons simuler des chutes de blocs, étudier leurs trajectographies et estimer leurs volumes. Il est aussi possible de visualiser l'intersection de deux ancrages. De plus, de multiples documents peuvent être produits tels que des coupes de la paroi, des plans topographiques, un *TruView*, etc. Les figures 4 à 7 illustrent certains traitements réalisés sur une paroi rocheuse située à Taillebourg en Charente-Maritime.

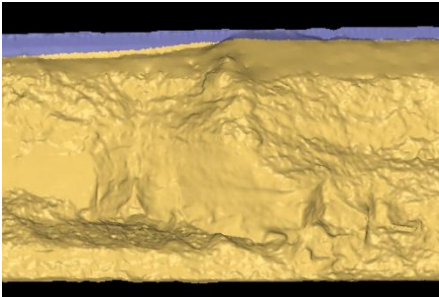


Figure 4 : Modèle 3D de la paroi



Figure 5 : Texturage de la paroi

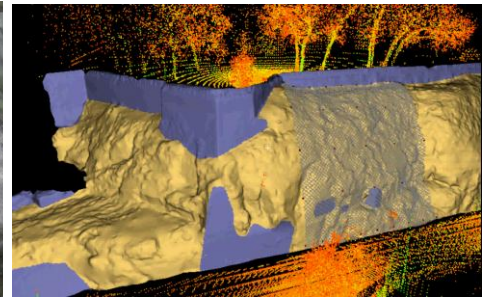


Figure 6 : Grillage plaqué ancré

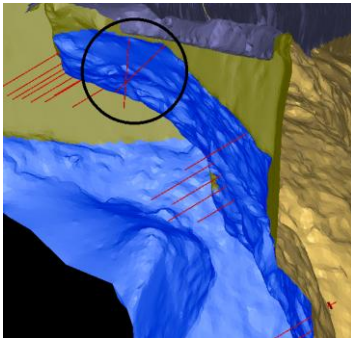


Figure 7 : Intersection de deux ancrages

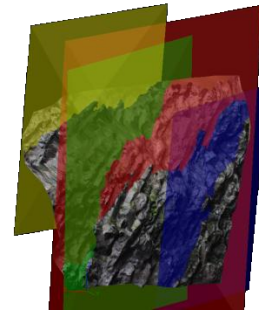


Figure 8 : Détermination de 4 plans

4.3 Contraintes

Bien que le scanner nous fournisse un modèle 3D plus complet que la méthode actuelle, nous constatons certaines limites. Une des difficultés est d'obtenir des données sur l'ensemble de la paroi. En effet, en raison des conditions environnementales (recul et végétation) et de la forme complexe de la paroi rocheuse, il nous est impossible d'obtenir un relevé exhaustif dans des délais raisonnables d'intervention sur le site exploité. Cette technique comble toutefois une grande partie des limites des techniques actuelles.

Pour exploiter le modèle 3D, les moyens de communication inter-métiers (topographe-géologue) sont restreints. En effet, les géologues ne disposent pas d'outils spécifiques permettant de traiter les données lasergrammétriques. Une solution peut consister à trouver des formats libres d'accès et simples d'utilisation. Par ailleurs, afin que les données soient exploitables, il est indispensable de vulgariser la donnée pour favoriser les échanges.

4.4 Perspectives

Pour combler ces limites, des solutions peuvent être proposées. Le manque de données pourrait être comblé par des données photogrammétriques acquises à l'aide de moyens aériens. Le texturage du modèle quant à lui pourrait être remplacé par un nuage de points colorés à l'aide d'une tête panoramique photographique du type *Ninja Bracket*. Enfin, la diffusion des données peut-être réalisée à l'aide de *Meshlab* qui est un logiciel de traitement de maillages 3D simple d'utilisation.

5. Conclusion

Ce projet nous a permis de déterminer la précision effective du scanner laser Leica C10 et de confronter nos résultats aux précisions théoriques du constructeur. Nous avons également mis en place des modes de contrôle qui seront reconduits dans l'avenir pour étudier les dérives du scanner.

En comparaison à la technique actuelle, la lasergrammétrie nous fournit des informations précises (surface, orientation des faces, etc.) sur l'ensemble de la paroi pour la mise en place des confortements. Cependant, au vu du temps de traitement, la lasergrammétrie ne peut être appliquée qu'aux parois rocheuses les plus complexes.

Ce résumé, réalisé au mois de juin, ne regroupe pas l'ensemble de mes études car plusieurs d'entre elles n'étaient pas encore finalisées à cette date. Une étude technico-économique de la lasergrammétrie viendra compléter mon travail. De plus, une comparaison de données lasergrammétriques et tachéométriques va être réalisée afin de souligner les forces et les faiblesses de chacune des techniques. Nous pourrions alors définir la méthode de travail pertinente pour chaque site à étudier.