

Gestion du risque rocheux sur le réseau ferré français

Nicolas Pollet¹.

Introduction

Le réseau ferroviaire français comporte, hors ouvrages d'art, environ 30 000 km de lignes constituant le patrimoine Ouvrages en Terre. La problématique rocheuse concerne un linéaire de parois ou versants de 2 300 km environ (Fig. 1). Un important travail de modernisation du réseau ferroviaire français, entrepris actuellement pour améliorer ses performances en termes de sécurité et de fiabilité, conduit à faire évoluer le mode de gestion du risque rocheux au sein du système ferroviaire.

Contexte des ouvrages en terre rocheux

Le réseau ferré national est constitué de lignes classiques, pour la plupart centenaires, et de lignes nou-

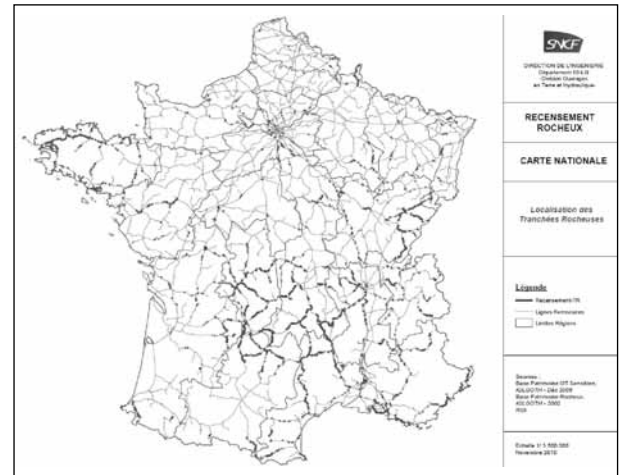


Figure 1. Carte de localisation des tranchées rocheuses sur le réseau ferré national (sources : Base Patrimoine OT sensibles, IGL GOT, décembre 2009 ; Base Patrimoine Rocheux IGL GOTH 2002 ; RGI).

1. Direction de l'Ingénierie, SNCF. Courriel. : nicolas.pollet@sncf.fr

velles à grande vitesse ou modernisées. **Les lignes nouvelles** voient leur plate-forme installée de telle sorte que les risques liés aux abords et à l'environnement sont très réduits dès la conception (Photo 1). Ce n'est pas le cas des **lignes classiques**, anciennes, desservant des territoires à la géomorphologie complexe, où les contraintes de réalisation de l'époque conduisaient à optimiser les travaux de terrassement avec les moyens disponibles (Photo 2). Le Patrimoine d'Ouvrages en Terre rocheux, y est important (> 2 100 km sur les 2 300). Il est localisé principalement dans les secteurs montagneux du territoire.

L'ouvrage en terre rocheux est défini par rapport à la plateforme ferroviaire et est le résultat de l'excavation (*tranchée*) réalisée pour installer les voies dans un contexte géologique rocheux avec éventuellement la présence dans l'environnement surmontant l'infrastructure de parois et/ou versants rocheux, souvent hors domaine ferroviaire.



Photo 1. Exemple de tranchée rocheuse sur ligne nouvelle (cliché SNCF).



Photo 2. Exemple de tranchée rocheuse sur ligne classique (cliché SNCF).

Méthodologie d'analyse de risque appliquée aux ouvrages en terre rocheux

Choix de la méthode - objectifs du système ferroviaire

La maîtrise du risque d'éboulement a pour but de contribuer à l'amélioration des performances et de l'efficacité du système ferroviaire. Une norme européenne appliquée au ferroviaire (CENELEC, 2006) reprend les exigences de base (nommées FDMS²) :

- la *fiabilité* : probabilité pour que tous les trains prévus puissent circuler, dans des conditions définies (sécurité, vitesse, délais...), pendant un intervalle de temps donné ;
- la *disponibilité* : aptitude de l'infrastructure ferroviaire à pouvoir faire circuler les trains, dans les mêmes conditions, à un instant ou pendant un intervalle de temps donné ;
- la *maintenabilité* : probabilité pour qu'une opération de maintenance active puisse être effectuée pendant l'intervalle de temps donné, en appliquant des procédures et en utilisant des moyens spécifiques ;
- la *sécurité* : Absence de risque inacceptable. Cela consiste à prendre en compte l'ensemble des moyens humains ou techniques permettant de réduire le risque ou de diminuer ses conséquences.

Risque rocheux et système ferroviaire

Les **éboulements**, en tant que risques naturels, constituent une menace de perturbation venant de l'environnement du système ferroviaire. Les effets de ces menaces sont préjudiciables à la sécurité et à la régularité. Les éboulements peuvent prendre la forme de chutes de pierres (éléments unitaires inférieurs à 10 litres), de blocs (éléments unitaires inférieurs à 1 m³) ou de masses (de volume supérieur au m³).

La première conséquence est l'engagement du **gabarit ferroviaire**, constituant un obstacle aux circulations ferroviaires. Comme précisé précédemment, le volume de référence est de 10 litres, sans conséquence pour les circulations en deçà (la pierre est éjectée ou éclatée par le passage du train). Pour des volumes plus conséquents (Photo 3), suivant la position du bloc (bordure externe du rail, sur le rail ou entre les deux files de rail), le risque consiste en un heurt sur obstacle pouvant s'accompagner d'une avarie ou du déraillement du train suivant sa cinématique (prise en compte de la vitesse, de la charge du train, du type de convoi...).

2. Fiabilité Disponibilité Maintenance Sécurité.



Photo 3. Éboulement dans une tranchée équipée de filets détecteurs (cliché SNCF).

Évaluation du risque rocheux

Le principe de cette évaluation est de qualifier le risque par une **intensité** (en rapport avec les objectifs de sécurité et de régularité – vulnérabilité de l'infrastructure et enjeux) et une **probabilité d'occurrence** de la situation dangereuse (aléa de départ de l'éboulement). Il est important de noter que cette évaluation est valable pour une échelle de temps définie par l'expert, en accord avec le donneur d'ordre (généralement 5 à 10 ans), et sur laquelle toute l'analyse est fondée. Le résultat est une matrice des risques (Fig. 2).

Cette matrice résulte d'un diagnostic de l'ouvrage, formalisé sous la forme d'une fiche simplifiée reprenant les principaux critères d'évaluation. Cette fiche constitue le support liant l'expert, qui qualifie le risque, et le maître d'ouvrage, qui se positionne sur le degré d'acceptabilité de ce risque. Cette prise de décision permet d'établir une hiérarchisation des urgences et une politique de gestion. Aussi, pour être pertinente, cette approche qui s'appuie sur des probabilités, nécessite une maturité de l'expert, pour ne pas surestimer l'intensité et l'occurrence, et du donneur

d'ordre, pour intégrer ces deux paramètres dans sa définition de l'acceptabilité.

L'évaluation constitue l'initialisation du processus de maîtrise du risque rocheux, avec proposition de solutions (entretien, surveillance, études ou travaux). Ensuite, la phase d'études doit prendre en compte le contexte dans lequel ces travaux vont s'inscrire pour optimiser les coûts complets (conception et maintenabilité), tout en s'insérant dans les planches travaux dédiées (durées limitées) afin de limiter l'impact de ces interventions sur l'exploitation (disponibilité de l'infrastructure) et en répondant aux objectifs fixés par le maître d'ouvrage. L'analyse doit s'intéresser à l'ouvrage, au tronçon de ligne, voire à un axe ferroviaire. L'intégration de toutes ces contraintes constitue la complexité et la spécificité de la gestion du risque en domaine ferroviaire.

Maîtrise du risque rocheux

Après avoir été qualifié par l'expert et défini par le maître d'ouvrage, le risque doit être appréhendé de telle sorte qu'il demeure maîtrisé. Afin d'y parvenir, le donneur d'ordre assisté de l'expert et du gestionnaire dispose de deux leviers principaux. Le premier permet d'agir sur l'occurrence du risque par le biais de la mise en œuvre de protection ou de détection. Mais ce levier ne peut constituer une réponse unique dans la mesure où la capacité d'investissement du maître d'ouvrage reste contrainte. Mais il est aussi possible d'agir sur l'intensité en intervenant délibérément sur le niveau d'exploitation (détournement, vitesse des circulations, fiabilité des installations).

Le traitement demeure la technique la plus efficace, mais peut mobiliser des moyens disproportionnés par rapport à d'autres solutions comme la détection ou des ralentissements. Les modes de traitement sont relativement classiques pour ce type d'ouvrages. Cependant, la particularité du système ferroviaire incite à analyser les coûts complets (conception et maintenance). Cela a conduit à privilégier les parades actives limitant les interventions de maintenance lourde, pénalisant l'exploitation. Pour les configurations en parois rocheuses de bord de voie, avec un aléa de départ diffus sur l'ouvrage pour des volumes courants de l'ordre de la centaine de litres, d'importantes surfaces de **grillage plaqué ancré** ont été

OCCURRENCE	INTENSITÉ			
	Intensité 1	Intensité 2	Intensité 3	Intensité 4
Très élevée	Inacceptable	Inacceptable	Indésirable	Maîtrisable
Elevée	Inacceptable	Indésirable	Indésirable	Maîtrisable
Faible	Indésirable	Indésirable	Maîtrisable	Négligeable
Très faible	Maîtrisable	Maîtrisable	Négligeable	Négligeable

Figure 2. Exemple de matrice des risques.



Photo 4. Exemple de tranchée confortée par grillage plaqué ancré (cliché SNCF).

mises en œuvre depuis une vingtaine d'années (Photo 4), dispositifs simples à définir, à réaliser et à maintenir. En cas de volumes plus importants, des études spécifiques plus complexes permettent de dimensionner des ancrages, des emmaillotages ou des contreforts.

Dans le cas de versant ou du fait de contraintes liées aux limites d'emprises, des **parades passives** peuvent se substituer aux confortements, sous réserve d'actions de maintenance correspondantes. Historiquement, de nombreux écrans ont été installés sur le réseau ferré (écrans rail/traverses, échelles de perroquet, barrières grillagées ou encore merlons) et plus récemment, des écrans de filets pare-blocs. Ces parades nécessitent un dimensionnement par des simulations trajectographiques pour définition de l'implantation, de la hauteur et du niveau d'énergie. Jusqu'à présent, les modèles déterministes étaient utilisés pour assurer un niveau de protection optimal. L'utilisation récente de modèles probabilistes conduit à partager entre le donneur d'ordre et l'expert la détermination du niveau de protection.

Dans certaines configurations (risque à faible occurrence), la **surveillance** peut être choisie comme une solution, sous réserve de prendre les mesures adaptées en cas de constat d'évolution. On peut également envisager, pour des raisons techniques ou économiques (volumes mobilisables conséquents, origine hors emprises ferroviaires...), l'installation de **filets détecteurs** de chutes de rochers, présentés plus loin.

Les mesures sur l'exploitation sont généralement des solutions immédiates prises suite à l'apparition de désordres, de constat d'évolution ou d'identification d'un risque à occurrence très élevée. Il s'agit de dégradations des conditions d'exploitation (réduction de la disponibilité) par une limitation de la vitesse (ralentissement) ou au pire de l'interruption du trafic. Il peut arriver que ces

mesures soient économiquement plus intéressantes par rapport à la mise en œuvre de protection ou de détection (éléments pertinents pour la stratégie du gestionnaire propriétaire). C'est le cas des lignes à faible trafic où la perte d'exploitation (nombre de trains) ou de temps sur le trajet (généralement moins d'une minute sur la longueur d'un ouvrage en terre) est peu importante.

Principes de détection de chutes de rochers

Filets détecteurs

Les filets détecteurs de chutes de rochers, employés sur le réseau ferré national depuis le début des années 1970, sont des dispositifs qui ont l'avantage d'être simples au sein du complexe système ferroviaire. Le principe consiste en effet à arrêter les trains, suite à la rupture d'un fil lors du passage d'un bloc. La rupture du fil a pour effet d'interrompre la continuité électrique et ainsi de déclencher le système en provoquant l'arrêt des circulations ferroviaires.

Les fils rigides sont fixés sur des poteaux bois ou métalliques au moyen de ligatures sur des poulies isolantes. L'espacement entre les fils est un élément dimensionnant adapté, fonction de l'aléa. Cet espacement est au



Photo 5. Filets détecteurs verticaux sur poteaux bois (cliché SNCF).



Photo 6. Filets détecteurs verticaux et horizontaux sur poteaux métalliques (cliché SNCF).

minimum de 0,25 m permettant un déclenchement pour le volume de référence (10 litres). Les nappes de fils installées verticalement sont généralement réalisées avec des poteaux bois espacés de 5 m maximum (Photo 5). Pour les nappes horizontales, ou verticales et horizontales (Photo 6), on utilise plus couramment des poteaux métalliques galvanisés apportant une certaine rigidité au dispositif et permettant un espacement entre poteaux jusqu'à une douzaine de mètres.

Autres méthodes de détection

D'autres méthodes de détection présentent un certain nombre d'avantages pour une application en domaine ferroviaire. Mais, il reste à prouver la fiabilité de ces dispositifs comme installation de sécurité au sein du système ferroviaire et une compétitivité financière non garantie à ce stade des études.

Une expérimentation a ainsi été réalisée avec le bureau d'études GEOLITHE sur le versant de la Saulcette (vallée de la Tarentaise) par la mise en place de lignes de géophones (Pollet et Grandsert, 2010). Le principe est une détection basée sur l'enregistrement des signaux acousto-sismiques transmis dans le sol. Cette méthode nécessite un traitement par des algorithmes complexes afin de discriminer les chutes de blocs de tout autre événement. L'installation a montré sa fiabilité technique et son intérêt économique. En revanche, sa fiabilité comme installation de sécurité n'a pas été construite.

Le radar de l'ONERA utilisé sur le site de Séchillienne montre également des résultats intéressants pour la détection de chutes de rochers (Potherat *et al.*, 2010). Des essais réalisés sur sol nu ont permis une détection des éboulements à distance (surveillance d'un couloir). Ce dispositif fiable de mesure topographique tout temps

autorise une identification des événements par traitement du signal, afin de discriminer la chute de blocs. Cependant, cette installation est onéreuse et peut être complexe à mettre en œuvre pour certaines configurations de versant. Des études sont en cours par l'ONERA et la SNCF pour estimer l'adaptabilité au domaine ferroviaire en tant qu'installation de sécurité.

Une expérimentation menée au Canada s'est intéressée à un système de détection par mesures des perturbations du champ électromagnétique (Brackett *et al.*, 1999). Ce dispositif consiste en l'installation en voie d'un câble spécial de transmission radio (fréquence donnée) sensible aux conditions environnementales. Un changement causé par un éboulement, ou tout autre phénomène perturbateur type glissement de terrain, inondation ou encore le passage d'animaux, affecte la vitesse de transmission du signal comparée à celle d'un câble de référence blindé. La comparaison des signaux permet de déclencher une détection d'événement. Ce système a l'avantage d'être simple d'utilisation par une mise en œuvre en plate-forme ferroviaire, et donc peu coûteux. Il semble avoir montré son efficacité pour détecter des chutes de blocs de l'ordre de 30 litres. Mais une intégration au système ferroviaire doit être étudiée du point de vue fiabilité et sécurité.

Conclusions

Le risque d'éboulement étant une problématique majeure sur certains secteurs montagneux, les investissements sont rationalisés en accord avec la stratégie définie pour assurer la maîtrise de ce risque, soit par un traitement ou de la détection, soit par une surveillance ou des mesures prises sur l'exploitation.

Cette gestion du risque, devenue intégrée au sein du système ferroviaire, s'appuie sur une méthodologie d'analyse mettant en responsabilité l'expert dans sa démarche de qualification et le donneur d'ordre quant au positionnement du niveau d'acceptabilité. Le dialogue initié récemment, sur la base d'une matrice des risques, nécessite encore de la maturité de la part de tous les acteurs pour aboutir à une optimisation des moyens disponibles, en accord avec le niveau de risque estimé et le niveau de protection souhaité.

Il convient également de partager les incertitudes entre l'expert et le donneur d'ordre (voir notamment les travaux de Straub et Schubert, 2008). Le **risque zéro** n'existant pas, il faut accepter le principe de la probabilité de risque résiduel. La démarche déterministe permet une protection optimale sur l'ensemble des sites, nécessitant

APPROCHE PAR TYPE DE RISQUE :

MOUVEMENTS DE TERRAIN ET CHUTES DE BLOCS

la mobilisation de moyens dont on ne dispose pas. Une évaluation probabiliste fiable peut permettre de répartir les investissements sur un linéaire plus important, atteignant ainsi un niveau de protection moyen sur l'ensemble des sites sur la base d'une hiérarchisation.

Il faut enfin prendre en compte les évolutions des techniques et les nouvelles technologies offrant des potentiels intéressants d'application en domaine ferroviaire. Cette démarche d'innovation, complémentaire aux évolutions des modes de faire présentées précédemment, constitue un enjeu pour l'optimisation de la maîtrise du risque rocheux.

Références

- Brackett, *et al.* 1999 : www.arena.org/files/library/1999_conference_proceedings/00050.pdf
- Pollet N. et Grandsert P., 2010 : Sécurité des circulations ferroviaires sous le versant rocheux de la Saulcette. JNGG 2010, Grenoble.
- Pothérat P., Duranthon J. P., Benoît A., Lemaitre P., 2010 : La mesure à très longue distance. Un besoin. Un outil : le radar ULB. Rock Slope Stability Symposium, 24-25 novembre 2010, 20 ans INERIS, Paris.
- Straub D., Schubert M., 2008 : Modelling and managing uncertainty in rock-fall hazards. *Georisk*, 2(1), 1-15.