

EVALUATION DU RISQUE DE CHUTE DES BLOCS AU NIVEAU DES DEBLAIS

Par : M. JAWADI NADIR (Autoroutes Du Maroc)

L'évaluation de risque est pratiquée de plus en plus dans de nombreux domaines depuis la deuxième guerre mondiale. Elle a beaucoup évolué et est maintenant souvent mise en œuvre dans les domaines de la sécurité nucléaire ou chimique. Pour les ouvrages géotechniques comme les tunnels, les mines, les carrières ou les déblais, l'évaluation de risque est très utilisée au vu des nombreux dégâts causés par les instabilités rocheuses.

Introduction

Le « Rockfall Hazard Rating System » (RHRS) est une méthode d'évaluation du risque lié aux chutes de blocs développée par l'ODOT (Oregon Department of Transportation) en vue d'anticiper l'apparition du phénomène aussi bien au niveau des talus artificiels qu'au niveau des versants naturels jouxtant les routes. En effet, elle permet de classer ces derniers en fonction du niveau de risque qu'ils présentent dans l'objectif d'élaborer un programme d'intervention qui donne la priorité aux sections de routes les plus exposées.

Historique de la méthode

L'état d'Oregon aux Etats-Unis est une région montagneuse où de nombreux kilomètres de routes sont exposés au risque lié aux chutes de blocs. Cette situation a poussé l'ODOT en 1984 à élaborer le RHRS à partir des travaux antécédents de C. O. BRAWNER et de DUNCAN WYLLIE. Ces derniers ont identifié un ensemble de paramètres qui interviennent dans le déclenchement du phénomène ou qui en aggravent les conséquences. Une fois le paramètre évalué, il lui était attribué une note. Le total des notes permet ensuite de classer en cinq catégories A, B, C, D et E les sections de routes selon la probabilité de risque la plus élevée. En poursuivant ses travaux DUNCAN WYLLIE a pu élaborer par la suite un système d'évaluation plus précis et plus performant. La version actuelle du RHRS combine les résultats de ces deux travaux en ce sens qu'elle sélectionne d'abord au travers d'une évaluation

préliminaire les différents sites qui présentent un réel potentiel de chutes blocs avant de les soumettre à une évaluation beaucoup plus détaillée.

Le RHRS a ensuite été testé sur plus de 3000 sites différents aux Etats-Unis pour s'assurer de sa clarté, de sa pertinence et de la précision des résultats qu'il fournit.

Suite à ces tests, l'ODOT a finalisé la méthode qui est actuellement utilisée par de nombreux organismes en charge de la gestion des infrastructures routières. Vu les budgets limités dont disposent ces organismes, le RHRS s'est avéré très efficace dans le choix des sites auxquels devrait être accordés une priorité dans l'allocation des fonds.

Démarche de la méthode

La démarche de la RHRS se résume en trois étapes essentielles :

➤ **Etape 1 : Recensement des sites**

Cette étape consiste à inventorier toutes les sections de routes mitoyennes de versants ou talus artificiels et présentant un risque de chutes de blocs quelque soit son niveau.

➤ **Etape 2 : Evaluation préliminaire**

L'objectif de cette étape est de sélectionner les sections de routes à risque de chutes élevé qui feront ensuite l'objet d'une étude détaillée.

➤ **Etape 3 : Evaluation détaillée**

Les sections de routes retenues dans l'étape précédente sont évaluées en fonction de plusieurs paramètres et ensuite classées par rapport au niveau de risque auxquelles elles sont exposées.

Etape 1 : Recensement des sites

L'intérêt du recensement est de recueillir des informations sur les sites où on note la présence de massif rocheux ou de blocs au droit des routes. La principale difficulté liée à cette étape réside dans la délimitation des sections en des parties homogènes de part leurs caractéristiques géologiques ou topographiques. Par exemple un talus peut

être subdivisé en des sections différentes lorsque l'on note un changement d'orientation des discontinuités¹. Les informations recueillies à cette étape sont généralement d'ordre historique car l'on part du principe que l'activité passée d'un talus est un bon indicateur de son activité future. Il s'agit notamment :

- Du lieu, de la date et de la fréquence des chutes,
- De la quantité de matériaux détachés,
- De la fréquence d'entretien du piège à cailloux, ...

Etape 2 : Evaluation préliminaire

Objectif

L'évaluation préliminaire permet d'écarter les sites qui présentent des risques de niveau faible à moyen et de ne retenir pour l'étude détaillée que les sites de niveau de risque élevé.

Critères d'évaluation

Les sites, une fois recensés, sont classés dans trois catégories A, B et C comme l'indique le tableau suivant.

Tableau : Critères d'évaluation (Evaluation préliminaire, RHRS)

Catégories Critères	A	B	C
Risque potentiel estimé	Elevé	Moyen	Faible
Histoire des décollements	Elevé	Moyen	Faible

Le « *risque potentiel estimé* » représente le premier critère qui devra être évalué dans cette étape. Une bonne estimation de ce critère passe par l'évaluation des paramètres suivants : le volume ou de la taille des matériaux attendus, l'efficacité du fossé d'interception, Ce critère est suffisant pour classer le site dans une des trois catégories citées plus haut. Néanmoins lorsqu'il subsiste un doute quant à la catégorie d'un site, on fait intervenir l'histoire des décollements.

¹ Les discontinuités peuvent avoir une orientation favorable ou défavorable aux chutes de blocs.

Histoire des décollements : cette donnée permet de trancher sur la catégorie à attribuer à un site pour lequel la classification par le premier critère s'est révélée infructueuse. Si par exemple en inspectant le site on n'arrive pas à se résoudre à le classer en A ou en B, on a recours alors aux informations relatives à l'activité antérieure du site ; si celle-ci est importante la catégorie devra être A.

Etape 3 : Evaluation détaillée

Objectif

L'objectif de cette partie de la méthode est d'évaluer numériquement le risque au niveau de chaque site. Les scores obtenus permettront de les classer par ordre de priorité d'intervention.

Aperçu général

Douze paramètres ont été retenus pour évaluer et noter les différents sites. Ces paramètres représentent les éléments principaux qui influent sur le risque de chute de blocs. Les sites ayant obtenus les plus grands scores sont les plus dangereux.

Système de notation

Le tableau ci-dessous résume le système de notation. Les quatre dernières colonnes représentent les critères de références classés de gauche à droite par ordre de risque croissant ; le score relatif à chaque critère de référence passant de 3 à 81 points. Ces scores suivent une variation exponentielle de 1 à 100 ce qui permet d'une part de distinguer les sites les plus dangereux, et de couvrir d'autre part un spectre de conditions beaucoup plus large que celui décrit dans le tableau ci-dessous.

Tableau : Sommaire de la RHRS

Paramètres			Critères d'évaluation et scores			
			3 POINTS	9 POINTS	27 POINTS	81 POINTS
Hauteur du talus (m)			7,5	15	22,5	30
Efficacité du fossé d'interception			Bonne	Modérée	Limitée	Non
Risque moyen par véhicule (%)			25	50	75	100
Pourcentage de visibilité			Adéquate 100% de visibilité	Modérée 80% de visibilité	Limitée 60% de visibilité	Très limitée 40% de visibilité
Largeur de chaussée (m)			13,2	10,8	8,4	6
Caractéristiques géologiques	Cas 1	Conditions structurales	Diaclases discontinues, orientation favorable	Diaclases discontinues, orientation aléatoire	Diaclases discontinues, orientation défavorable	Diaclases continues, orientation défavorable
		Friction	Rugueux, irrégulier	Ondulé	Plan	Joints remplis d'argile ou avec mur poli
	Cas 2	Conditions structurales	Peu d'érosion différentielle	Erosion différentielle dispersée	Erosion différentielle importante	Erosion différentielle sévère
		Différence des degrés d'érosion	Différence faible	Différence modérée	Différence grande	Différence extrême
Taille des blocs (m)			0,3	0,6	0,9	1,2
Volume du matériau détaché (m³)			2,3	4,5	7	9
Conditions climatiques et présence d'eau			Précipitation de faible à modérée; pas de période de congélation; pas de présence d'eau	Précipitation modérée ou courtes périodes de congélation ou présence d'eau intermittente dans le talus.	Précipitation grande ou longues périodes de congélation ou présence d'eau de forme continue dans le talus.	Précipitation importante et longues périodes de congélation ou présence d'eau de forme continue dans le talus et longues périodes de congélation.
Histoire des décollements			Quelques-unes	Occasionnels	Beaucoup	Constants

Pour les paramètres numériques tels que la Hauteur du talus ou le Risque Moyen par Véhicule (RMV) les points à attribuer peuvent être calculés à partir de la loi exponentielle suivante :

$$y = 3^x$$

Où « x » est fonction du paramètre (voir tableau ci-dessous).

Tableau : Formules exponentielles

Hauteur du talus $= \frac{(\quad)}{7,5}$	Largeur de chaussée $= \frac{15,6 - \quad \acute{e} (\quad)}{2,4}$
Risque moyen par véhicule RMV (%) $= \frac{\%}{25}$	Taille des blocs $= \frac{(\quad)}{0,3}$
Distance de visibilité $= \frac{120 - \% \quad \acute{e}}{20}$	Volume du matériau détaché (m ³) $= \frac{(\quad^3)}{2,3}$

Les formules exponentielles permettent en outre de dresser des graphes et des tables pour faciliter la notation et réduire le risque d'erreur lors des calculs.

Description des paramètres

➤ Hauteur du talus

Cette catégorie évalue le risque associé à la hauteur du talus. La hauteur mesurée est la dénivellation entre le plus haut point où se situe un bloc instable et le pied du talus. Les blocs qui se trouvent à une plus grande hauteur ont une plus grande énergie potentielle et sont donc plus dangereux. De ce fait plus la hauteur du talus est grande plus le score attribué est élevé. La méthode appropriée pour mesurer cette hauteur est généralement topographique.

➤ Efficacité du fossé d'interception

L'efficacité du fossé d'interception se mesure par l'aptitude du fossé à empêcher les blocs d'atteindre la chaussée. L'évaluation de ce paramètre dépend dans une large mesure de l'expérience de l'opérateur. Elle doit tenir compte de plusieurs facteurs tels que la hauteur et la pente du talus, la forme et les dimensions du fossé, le volume de matériau attendu et les effets d'irrégularités de la surface de la pente. Par ailleurs, l'évaluation pourra être affinée si l'on dispose d'informations recueillies auprès des services en charge de l'entretien de ces fossés. Les critères d'évaluation et leur description sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau : Efficacité du fossé d'interception

POINTS	Critères	Description
3 POINTS	Bonne	Tous les blocs qui tombent sont retenus par le fossé.
9 POINTS	Modérée	Les décollements arrivent sur la chaussée occasionnellement.
27 POINTS	Limitée	Les décollements atteignent la chaussée fréquemment.
81 POINTS	Non	Inexistence du fossé ou inefficacité totale : la majeure partie des décollements atteignent la chaussée

Risque moyen par véhicule (RMV)

Ce paramètre mesure le pourcentage de temps pendant lequel le véhicule reste dans la zone à risque au cours d'une journée ; il s'obtient par la formule suivante :

$$RMV(\%) = \frac{TMJA(Veh/J) * Longueur\ de\ la\ section(Km)}{Vitesse\ limite(Km/h) * 24\ (h)} * 100$$

TMJA : Trafic moyen journalier annuel (Véhicule par jour)

Le RMV renseigne également sur le nombre de véhicule se trouvant dans la section en tout moment. Autrement dit un RMV de 100% signifie qu'à tout instant il existe en moyenne un véhicule sur la section considérée. Un score dépassant les 100% est envisageable dans le cas d'un TMJA élevé ou d'une section de longueur importante.

➤ Pourcentage de visibilité

Ce paramètre représente le rapport de la distance de visibilité de la section, mesurée sur le terrain, à la distance de visibilité prescrite par l'AASHTO. (*American Association of State Highway and Transportation Officials*).

Distance de visibilité de la section (DVS)

C'est la plus petite distance sur laquelle un objet d'une hauteur de 15 centimètres est visible pour un observateur situé à 1 mètre de la surface de la chaussée. L'objet observé doit être positionné juste après la partie la plus incurvée de la courbure. Par ailleurs, il est à noter que cette distance doit être évaluée à la fois pour la courbure horizontale et pour la courbure verticale. On retiendra comme distance de visibilité la plus petite des deux.

Distance de visibilité prescrite par l'AASHTO (DVP)

Cette dernière n'est autre que la distance nécessaire au conducteur roulant à une vitesse donnée pour percevoir un obstacle d'une hauteur de 15 centimètres et pour pouvoir immobiliser le véhicule en toute sécurité. Le tableau ci-dessous présente les distances de visibilité prescrites par l'AASHTO en fonction des vitesses limites des sections.

Tableau : Distance de visibilité prescrite par l'AASHTO

Vitesse limite (Km/ h)	Distance de visibilité (m)
50	140
60	170
70	200
80	230
90	275
100	315
120	350

Le pourcentage de visibilité est donné par la formule suivante :

$$\text{Pourcentage de visibilité (\%)} = \frac{DVS}{DVP} * 100$$

➤ **Largeur de chaussée**

Elle est mesurée perpendiculairement à l'axe de la route. Elle représente l'espace disponible pour faire une manœuvre afin d'éviter un obstacle. Quand la largeur de la chaussée est variable on prendra la plus petite valeur. Il est à signaler que la largeur de la chaussée n'inclut ni les abords de chaussée non revêtus ni la largeur de la voie destinée à l'autre sens de circulation.

➤ **Caractéristiques géologiques**

On distingue pour ce paramètre deux cas. Le premier concerne les talus où les discontinuités telles que les diaclases représentent la principale cause des chutes de blocs. Le second concerne plutôt les talus où les érosions différentielles sont la principale cause des décollements. Chaque talus sera évalué suivant le cas auquel il correspond le mieux. Cependant, lorsqu'il devient difficile de déterminer le cas auquel correspond un talus, ce dernier sera évalué par rapport aux deux et on ne retiendra que le cas le plus défavorable.

Cas 1

Les décollements dans ce cas sont la conséquence des mouvements relatifs des massifs rocheux le long des fissures et des discontinuités. Ces dernières sont généralement remplies de matériau beaucoup moins résistant au mouvement que la roche elle-même. C'est pour cette raison qu'on évalue les deux paramètres suivants : les conditions structurales et la friction.

Conditions structurales

Les critères d'évaluation et leur description sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau : Caractéristiques géologiques Cas 1, conditions structurales

POINTS	Critères	Description
3 POINTS	Diaclases discontinues, orientation favorable	Le talus est composé de roches fracturées d'orientation favorable
9 POINTS	Diaclases discontinues, orientation aléatoire	Fissures orientées d'une manière aléatoire. Aucune famille de diaclases n'est dominante
27 POINTS	Diaclases discontinues, orientation défavorable	Les fissures paraissent de plus en plus régulières avec une orientation défavorable. Elles ne dépassent guère les 3 mètres de longueur
81 POINTS	Diaclases continues, orientation défavorable	La régularité des fissures est beaucoup plus prononcée avec une orientation défavorable ; la longueur des fissures dépasse les 3 mètres (fissures continues)

Friction

Ce paramètre affecte considérablement l'aptitude des blocs à se déplacer les uns par rapport aux autres le long des joints. Il dépend de deux propriétés de la surface de contact entre les blocs à savoir la micro et la macro rugosité. La macro rugosité est le degré d'ondulation des fissures suivant la direction probable du mouvement. La micro rugosité correspond aux aspérités des surfaces de fissuration. Les critères d'évaluation et leur description sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau : Caractéristiques géologiques Cas 1, friction

POINTS	Critères	Description
3 POINTS	Rugueux, irrégulier	Plans de fissuration rugueux et suffisamment irrégulier pour assurer l'imbrication des blocs
9 POINTS	Ondulé	Les plans de fissurations sont macroscopiquement rugueux mais n'assurent pas l'imbrication des blocs
27 POINTS	Plan	Les surfaces de fissuration sont macroscopiquement lisses et microscopiquement rugueuses. La friction provient essentiellement de la micro rugosité.
81 POINTS	Joints remplis d'argiles ou avec mur poli	Présence de matériau à l'intérieur des joints annulant ainsi leur micro et macro rugosité. Ce phénomène se produit également dans le cas des surfaces de fissuration d'aspect lisse et de faible angle de friction.

Cas 2

Les décollements dans ce cas sont causés par l'érosion différentielle qui conduit à un départ du sol support créant ainsi une instabilité locale ou tout au long du talus.

Conditions structurales

L'évaluation de ce paramètre est basée sur les critères de référence décrits dans le tableau ci-dessous.

Tableau : Caractéristiques géologiques Cas 2, conditions structurales

POINTS	Critères	Description
3 POINTS	Peu d'érosion différentielle	Erosion différentielle mineure, faiblement présente sur tout le talus.
9 POINTS	Erosion différentielle dispersée	Erosion différentielle mineure, répartie sur l'ensemble du talus.
27 POINTS	Erosion différentielle importante	Erosion différentielle importante et répartie sur l'ensemble du talus.
81 POINTS	Erosion différentielle sévère	Cas dangereux de talus escarpé, de blocs ou de parties de talus en porte à faux.

Différence de degré d'érosion

La différence de degré d'érosion dépend des caractéristiques des matériaux constituant le talus en ce sens que ces derniers n'ont pas tous le même comportement face à l'érosion; certains étant beaucoup plus érosifs que d'autres. Une grande différence de degré d'érosion a pour conséquence la perte de stabilité et de conditions d'appuis des roches ce qui augmente le risque lié à la chute des blocs ; dans ce cas le score attribué est important. En outre il faut tenir compte de la taille des blocs et des matériaux instables suite à l'érosion et de la fréquence des chutes de blocs. Le tableau suivant illustre les différents critères et leur description :

Tableau : Caractéristiques géologiques Cas 2, différence de degré d'érosion

POINTS	Critères	Description
3 POINTS	Différence faible	L'érosion se développe lentement (plusieurs années).
9 POINTS	Différence modérée	La différence de degré d'érosion se manifeste au-delà de quelques années
27 POINTS	Différence grande	La différence de degré d'érosion se manifeste à l'échelle d'une année.
81 POINTS	Différence extrême	Cas dangereux de talus escarpé, de blocs ou de parties de talus en porte à faux.

➤ **Taille des blocs ou volume du matériau détaché**

Certaines chutes de blocs se caractérisent par des décollements de blocs individuels alors que d'autres impliquent des volumes de matériau. Il convient donc d'évaluer le talus en fonction du type d'événement attendu. Ce Choix peut être déterminé en consultant le registre de l'histoire des décollements s'il existe sinon on se contentera des observations in situ.

✓ **Conditions climatiques et présence d'eau**

Ce paramètre contribue dans une grande proportion aux événements de chutes de blocs à travers les cycles de gel-dégel, la durée des périodes humides et la hauteur des précipitations. Selon les critères d'évaluation les régions recevant moins de 500mm par an seront considérées comme « zone de faibles précipitations » et les régions recevant plus de 1250 mm par an seront considérées comme des « zones de fortes précipitations ».

✓ **Histoire des décollements**

Ce paramètre représente l'activité passée d'un talus et constitue à cet effet un bon indicateur de son activité future.

Tableau : Histoire des décollements

POINTS	Critères	Description
3 POINTS	Quelques-unes	Les chutes se produisent rarement ou durant les fortes tempêtes. On utilise également cette catégorie lorsqu'on ne dispose pas de données historiques.
9 POINTS	Occasionnels	Les chutes se produisent assez fréquemment (plusieurs fois au cours d'une année.) et durant la plupart des tempêtes.
27 POINTS	Beaucoup	Les chutes se produisent fréquemment durant certaine saisons mais ne représentent pas un problème majeur pour le reste des saisons.
81 POINTS	Constants	Les chutes se produisent tout au long de l'année avec une fréquence assez élevé.

Somme toute, la « Rockfall Hazard Rating System » est une méthode d'évaluation de risque lié à la chute des blocs qui prend en considération aussi bien les paramètres qui sont à l'origine des décollements que les paramètres qui en aggravent les conséquences. De ce fait elle représente une méthode complète d'évaluation de risque tenant compte à la fois de la probabilité d'occurrence du phénomène et de sa gravité.

C'est une méthode qui est facilement programmable sous des langages de programmation tel que Visual Basic et est susceptible d'améliorations puisque plusieurs perspectives d'évolution sont envisageables :

- ✓ La méthode RHRS se limite à additionner les résultats obtenus au niveau de chaque paramètre pour déterminer le score d'un déblai ; ceci en vue d'évaluer un tronçon d'une façon générale. Elle ne nous renseigne pas sur la nature du risque au niveau d'un déblai pris isolément. Par conséquent, il faudrait penser à définir un indice qui permettra de dire, pour chaque déblai indépendamment des autres le niveau de risque qu'il représente. Cet indice pourra servir par ailleurs à définir des solutions en fonction des intervalles de valeurs que prend l'indice.

- ✓ Les paramètres sur lesquels porte la méthode RHRS sont parfois difficiles à évaluer en raison de l'incertitude qui pèse quant à la connaissance même de ces paramètres. Elaborer une approche par la « Logique floue » qui intègre dans l'évaluation l'incertitude, la variabilité et la complexité du paramètre pourrait être une voie à suivre pour l'amélioration de la méthode.