

PRISE EN COMPTE DE L'ALEA CHUTE DE BLOC DANS UNE ETUDE DE DANGERS DE BARRAGES – APPLICATION AU BARRAGE DE L'ALISGIANI

Definition and treatment of falling rocks into the reservoir

Jean Charles PALACIOS

SAFEGE / Suez Consulting, Parc de l'Île 15-27 rue du Port Nanterre, France
jeancharles.palacios@safegi.com

Vincent JOUVE

TRACTEBEL, 7 Rue Emmy Noether, 93400 Saint-Ouen-sur-Seine
vincent.jouve@tractebel.engie.com

Jean-Louis GIAFFERI

Expert, 4 Cours Pierangeli, 20200 Bastia
jl.giafferi@orange.fr

MOTS CLEFS

barrage, enrochements, éboulement, prise d'eau, évacuateur de crues, tulipe, filets de protection, aléa, risque, étude de dangers, méthodologie, C2ROP, enjeux, zone cible, propagation, stabilité, défaillance, capacité de vidange, vidange d'urgence, barbacanes, drainage, mesure de maîtrise des risques, mesure de réduction des risques, instrumentation, automatisation, évaluation de l'aléa, système de notation, probabilité d'occurrence, étude spécifique, qualification de l'aléa, résilience du barrage, confortement.

KEY WORDS

dam, rockfill, rockfall, water intake, spillway, bell-mouth spillway, protection nets, hazard, risk, hazard study, methodology, C2ROP, stakeholders, target area, propagation, stability, failure, drainage capacity, emergency drainage, drain holes, drainage, risk control measure, risk reduction measure, instrumentation, automation, hazard assessment, rating system, probability of occurrence, specific study, hazard qualification, dam resilience, reinforcement.

RÉSUMÉ

Le barrage de l'Alisgiani, classé en catégorie A selon le décret no 1735 du 11/12/2007, est un ouvrage en enrochements à masque amont en béton bitumineux. Construit entre 1964 et 1969, il a été mis en eau en 1970, créant une retenue de 11 Mm³. Des épisodes d'éboulements rocheux ont été recensés depuis sa construction, impactant la rive droite et les structures associées. Dans le cadre de l'Étude de Dangers 2023, l'analyse des risques liés aux chutes de blocs a été réalisée selon la méthodologie du projet national C2ROP. Une évaluation approfondie des aléas, des scénarios de rupture, et des mesures de maîtrise et de réduction des risques a été effectuée, menant à des recommandations pour renforcer la sécurité du barrage, améliorer la détection des défaillances et automatiser la surveillance.

ABSTRACT

The Alisgiani Dam, classified as a Category A structure under Decree No. 1735 of 12/11/2007, is a rockfill dam with an upstream bituminous concrete facing. Built between 1964 and 1969, it was impounded in 1970, creating an 11 Mm³ reservoir. Since its construction, several rockfall events have been reported, impacting the right bank and associated structures. As part of the 2023 Hazard Study, rockfall risk analysis was conducted following the C2ROP national project methodology. A comprehensive assessment of hazards, failure scenarios, and risk control and reduction measures was performed, leading to recommendations aimed at strengthening dam safety, improving failure detection, and automating monitoring processes.

1. INTRODUCTION

Le barrage de l'Alisgiani est un ouvrage de classe A selon le décret no 1735 du 11/12/2007. Le barrage est un ouvrage en enrochements à masque amont en béton bitumineux et construit entre 1964-1969 puis mis en eau en 1970. D'une hauteur de 65 m au-dessus du terrain naturel, il crée une retenue de 11 Mm3 à la cote de retenue normale 160 NGF. Il fait partie de la concession hydraulique confiée à l'Office d'Equipement Hydraulique de Corse (OEHC).

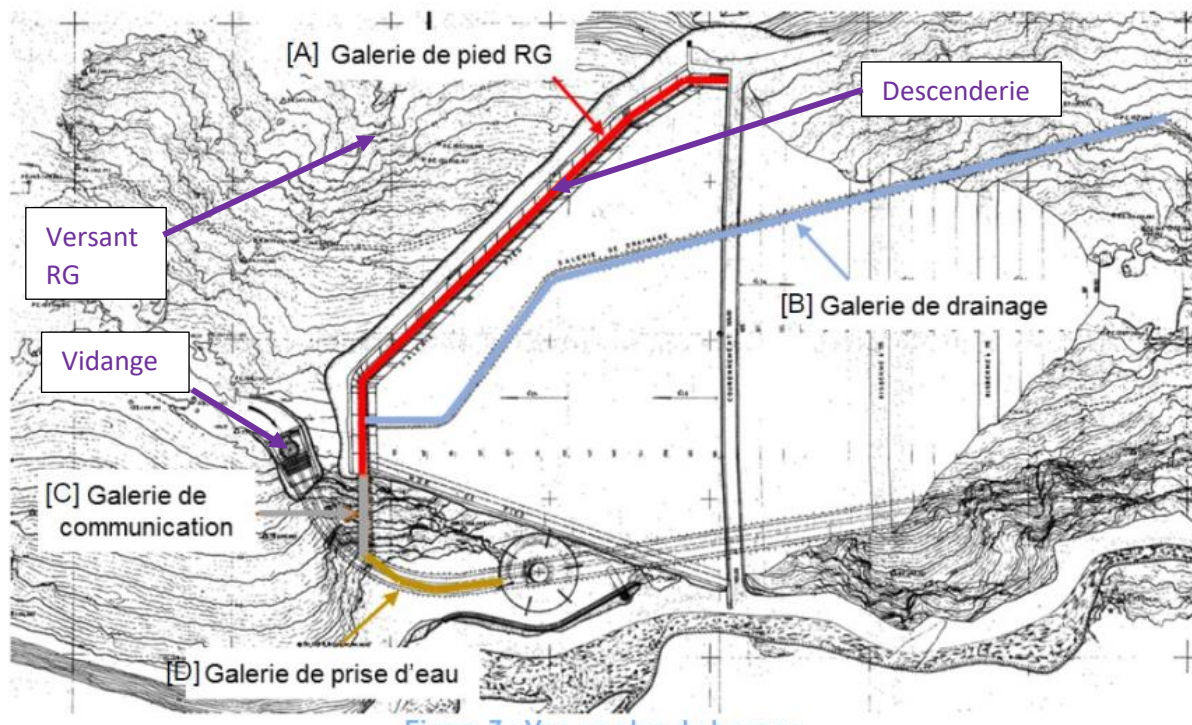


Figure 1

Figure 1: Vue en plan avec les différentes galeries de l'ouvrage

Dans le cadre de l'Etude de Dangers 2023 du barrage de l'Alisgiani, une revue des événements historiques a été réalisée mettant en avant les éboulements survenus sur le site.

Lors de la construction du barrage, un éboulement de 100 000 m3 de rocher s'est produit qui a conduit à décaler la sortie de la galerie (prise d'eau et évacuation des crues) de 100 m vers l'aval. Puis, en 1972 du fait de fortes pluies, les éboulements se sont produits en rive droite à proximité de la tulipe mais aussi à proximité de la sortie d'eau en aval.

Le 12 novembre 2000, un important éboulement rocheux s'est produit sur le versant rive droite à l'amont immédiat de la crête, entraînant des dégâts mineurs sur le seuil de l'évacuateur et ponctuellement sur le masque amont ; suite à l'expertise géotechnique, des filets de protection ont été mis en place sur le versant rive droite surplombant la corolle.

Malgré cette protection, en 2023 une nouvelle chute de bloc a concerné la rive droite.



Figure 2 - Chute de blocs intervenue en janvier 2023 sur la piste rive droite au-dessus de la sortie de l'évacuateur de crues

Les aléas chutes de blocs ont donc été pris en compte dans le cadre de l'étude de Dangers en utilisant la méthodologie d'évaluation de ce risque spécifique.

2. APPROCHE METHODOLOGIQUE POUR EVALUATION DU RISQUE « CHUTES DE BLOCS »

La démarche d'évaluation du risque correspond à la démarche envisagée dans le cadre du projet national de recherche C2ROP (Chutes de Blocs, Risques Rocheux et Ouvrages de Protection) entre 2014 et 2022 - <https://c2rop.fr/>.

Il y a 5 étapes principales dans le processus de gestion du risque de chute de blocs :

1. Définir les enjeux, le périmètre de l'étude et les zones de départ
2. Évaluation de l'aléa et du risque initial,
3. Étudier comment réduire le risque (si nécessaire)
4. Réduction des risques
5. Surveillance et entretien

La figure ci-dessous illustre les étapes d'une étude de risque de chute de bloc.

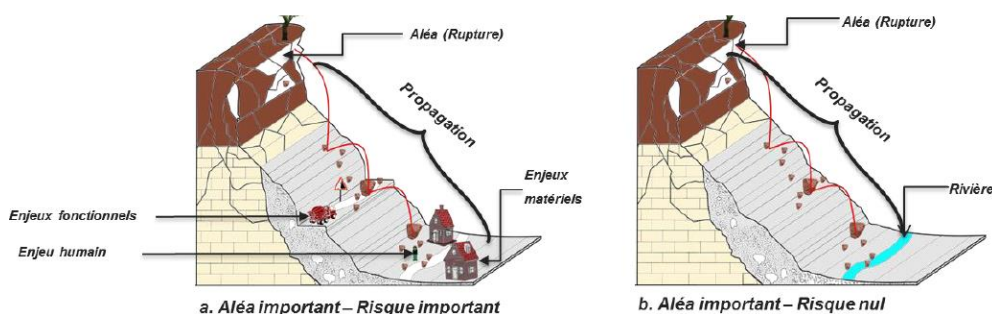


Figure 3 - Différence entre un scénario d'aléa avec risque (a), et sans risque (b)

Dans le cadre d'une étude de dangers de barrage concerné par l'aléa chute de blocs, les étapes « type » de caractérisation des aléas et des enjeux peuvent être appliquées. Les conséquences de l'aléa pouvant amener à une criticité élevée du risque (enjeux aval du barrage), une bonne maîtrise (connaissance, alerte) de l'aléa et de sa propagation sont donc nécessaires.

3. MISE EN ŒUVRE POUR ETUDE DE DANGERS DU BARRAGE D'ALISGIANI

3.1. Définition des enjeux et du périmètre géographique de l'étude

Les principaux concepts	Application Cas du barrage d'Alisgiani	
Zone d'étude ou périmètre d'étude : Aire géographique dans laquelle est menée l'étude. Elle inclut les zones de départ, les zones de propagation et les enjeux.	La zone d'étude est la retenue ainsi que la vallée jusqu'à l'aval des ouvrages de rejet	
Enjeu : Personne, bien, activité, moyen, patrimoine, etc. susceptible d'être affecté directement ou indirectement par un phénomène naturel. Une distinction est faite entre les enjeux humains, fonctionnels et matériels.	Enjeux humains concernés	Personnel OEHC, Randonneurs, Circulation automobile Enjeux humains aval (cas rupture du barrage)
	Fonctions impactées	Fonction vidange Fonction étanchéité Entretien barrage
	Organes touchés	Etanchéité, Prise d'eau Locaux techniques
Zone cible : Zone où l'aléa pourrait survenir.	La retenue, l'étanchéité, la crépine de la vidange, les équipements (tulipe de l'évacuateur de crues, locaux techniques : rejet EVC, local des vannes)	
Aléa (sous-entendu aléa résultant) : phénomène incertain pouvant causer des dommages (dans le cas des éboulements, arrivée ou passage d'un bloc en un point donné). Il résulte d'un aléa initial (ou de rupture) et d'un aléa de propagation, d'où l'expression aléa résultant.	Vague, Perte d'étanchéité, Perte de capacité de vidange,	
Risque : Conséquences d'un aléa sur un enjeu. Une distinction est également faite entre le risque humain, fonctionnel et matériel.	Perte humaine, Perte capacité de vidange, limitation de la capacité d'évacuation des crues	

3.2. Caractérisation et évaluation de l'aléa

3.2.1. Initiation

Les chutes de blocs forment des composants isolés dont le volume peut atteindre plusieurs mètres cube. Sous le poids de la gravité, le mouvement s'effectue par chute, rebond et roulement, et la vitesse des éléments peut atteindre 110 km/h. Ces mouvements de masses rocheuses sont très rapides, discontinus et brutaux, résultant de l'action de la pesanteur et affectant des matériaux rigides que constituent les metabasalts du site.

Les éboulements sont formés par un paquet de roche dévalant un versant. Le volume total mobilisé durant un événement est compris entre 100 et plusieurs milliers de m³, et la vitesse de déplacement varie entre 35 et 100 km/h.

Pour les éboulements comme pour les chutes de blocs, il faut noter que dans l'état actuel des connaissances, la probabilité de rupture dans un délai donné ne peut pas être fiabilisée par une méthode géomécanique quantitative ; elle est donc estimée qualitativement, à dire d'expert ou en utilisant un système empirique de notation. [1]. Toute approche quantifiée repose donc sur ce préalable.



Figure 4 : Falaise surplombant la retenue en amont immédiat du barrage en rive droite

L'évaluation de l'aléa a été réalisée suite à une visite d'un géologue expert qui, après reconnaissance du site du barrage et de la retenue, a identifié les zones les plus probables de chute de blocs ainsi que les volumes concernés.

Les aléas de glissements de versant dans la retenue sont écartés de même que les potentielles chutes de blocs concernant les zones de circulation routière (les clous et filets mis en place en rive droite devant toutefois être entretenus). Une zone de falaise, en amont rive gauche du barrage présente un risque d'éboulement qualifié de « probable » à « courant ».

Dans le cas de l'étude de dangers, la probabilité annuelle « à dire d'expert » a été rattachée à l'échelle de l'annexe 1 de l'arrêté du 29 septembre 2005 [2].

Echelle qualitative	Echelle quantitative (probabilité annuelle)
Courant Se produit sur le site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie des installations, malgré d'éventuelles mesures correctives,	$P > 10^{-2}$
Probable S'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie des installations,	$10^{-3} < P \leq 10^{-2}$
Improbable Evénement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité,	$10^{-4} < P \leq 10^{-3}$
Rare S'est déjà produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité,	$10^{-5} < P \leq 10^{-4}$
Extrêmement rare Possible mais non rencontré au niveau mondial, N'est pas impossible au vu des connaissances actuelles,	$\leq 10^{-5}$

Figure 2 : Qualification des probabilité associées aux "dires d'expert"

Il en ressort la cotation suivante :

Dire d'expert	Qualification probabilité annuelle
En amont du barrage, la vraisemblance de chutes de blocs de quelques centaines de litres à plusieurs dizaines de m3 tombant de 10 à 30 m est possible (« courante » au sens de l'échelle fig-5). Les conséquences sont soit significatives soit majeures suivant que la retenue est pleine avec création d'une vague ou plus basse avec un endommagement de la structure de la descenderie et du masque amont d'étanchéité ; ainsi, la quantification choisie a été affinée par rapport à la grille d'évaluation générale	P<0.25

Qualification « Courant » : $0.1 < P < 0.25$ »	
Il est par ailleurs « probable » qu'un volume important de 1000 à 10000 m³ se détache et tombe brutalement d'une hauteur de 10 à 40 m. Celui-ci devrait dans sa chute se disloquer en blocs de plus faible volume (quelques centaines de litres).	$P < 10^{-2}$

3.2.2. Propagation (dégradation de l'étanchéité)

Une trajectographie schématisée (présentée ci-dessous) et la connaissance de l'organe de vidange permet d'identifier un aléa pour le potentiel mode commun associant « chute d'une grande masse de rochers », « dégradation de l'étanchéité du masque amont » et « blocage de vidange » que l'EDD va devoir évaluer pour permettre la caractérisation de la criticité du phénomène.

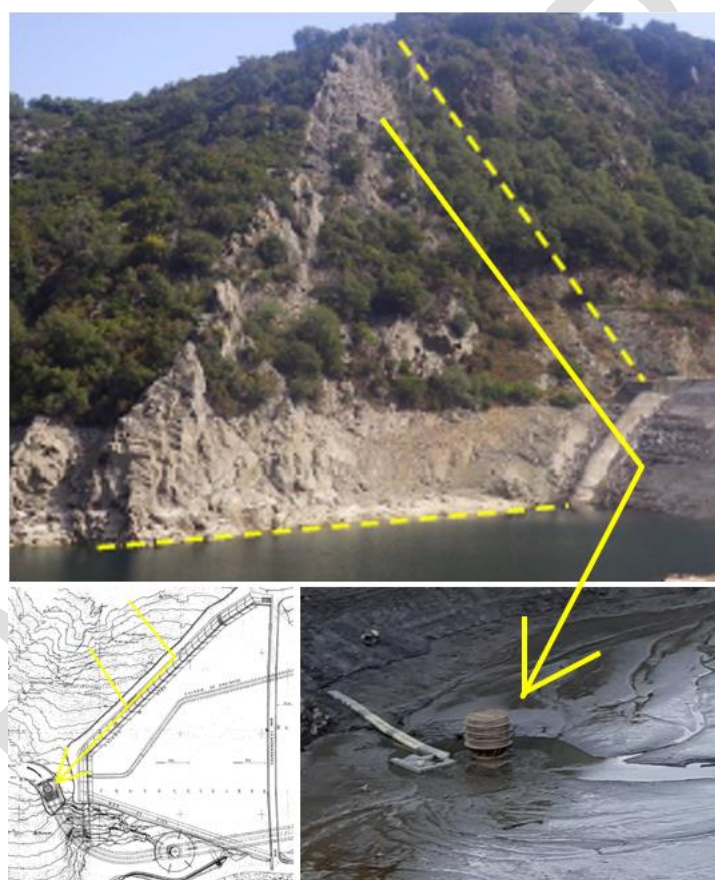


Figure 3: Trajectoires potentielles de chutes de blocs (GPA coté Rive gauche et prise d'eau au pied de la Rive droite)

Comme évoqué ci-dessus, l'initiation d'un phénomène d'éboulement rocheux est « probable » avec deux couples volumes / occurrence. La démarche classique d'étude de risques pour les « chutes de blocs » qualifie usuellement la probabilité que la cible soit touchée, mais dans le cas présent la configuration amène à ce que les chutes touchent le masque amont ; nous avons donc considéré cette probabilité comme étant égale à 1.

Le masque amont a la composition suivante : 6 cm + 6 cm béton bitumineux étanche + 10 cm enrobé ouvert + 280 cm Ballast compacté 25/120.

A dire d'expert, l'effet de la chute de blocs sur le masque amont amène une dégradation possible à très probable (« courante » au sens de la grille d'évaluation fig-5) dont l'ampleur dépend du volume.

Évènement	Impact sur le masque étanche	Probabilité conditionnelle
chutes de blocs de quelques centaines de litres à plusieurs dizaines de m3 tombant de 10 à 30 m	Dégradation ponctuelle possible Quantification : « courant »	P=0.5
volume important de 1000 à 10000 m3 se détache et tombe brutalement d'une hauteur de 10 à 40 m.	Dégradation très probable Quantification : « courant »	P=1.0

3.2.3. Propagation (effet sur la stabilité du barrage)

Dans le cadre de l'étude de dangers et conformément aux recommandations de l'Arrêté technique barrage [2], il a été envisagé des défauts dans l'étanchéité. Les calculs amènent à des coefficients de stabilité « limites » (proches de 1 pour cette situation rare) en supposant le fonctionnement optimal du drainage à l'axe rendant « critiques » la vérification de l'efficacité de l'ensemble drain-barbacanes (caractérisation de la perméabilité du remblai, capacité de drainage des barbacanes).

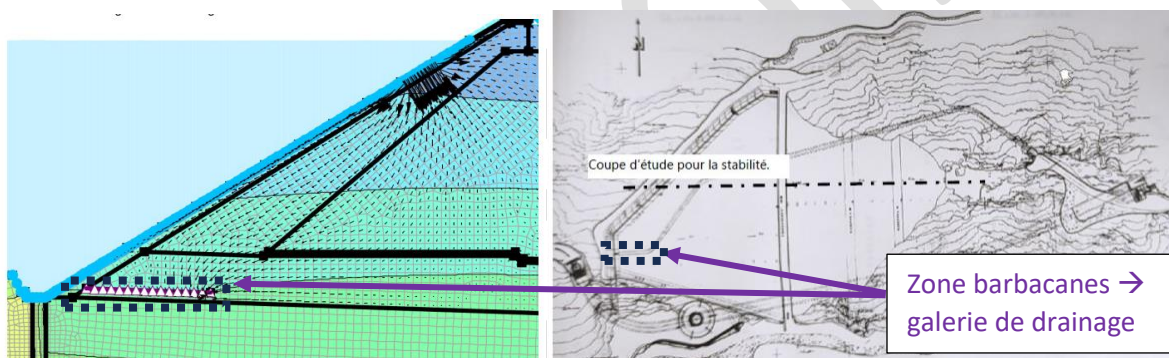


Figure 4: modélisation géoslope 2D du barrage pour une lacune d'étanchéité sur 5 m.

Une meilleure connaissance de la sensibilité de l'ouvrage vis-à-vis de lacunes d'étanchéité sur des surfaces plus ou moins grandes, associée à sa capacité de drainage 3D permettrait de qualifier plus finement le risque et potentiellement de réduire les impacts potentiels d'une lacune sur la stabilité de l'ouvrage.

3.2.4. Efficacité de la détection et des mesures de maîtrise de risques actuellement en place

La mesure en continu des débits de fuite est une mesure de maîtrise des risques recommandée par l'étude de dangers (en l'état actuel, le délai est important) ; elle permet le déclenchement d'une vidange d'urgence qui peut réduire le risque d'instabilité de l'ouvrage.

L'encombrement de l'environnement de la prise d'eau consécutif à un éboulement d'ampleur peut entraîner une réduction de la capacité de vidange de l'ouvrage et créer un « mode commun » ne permettant pas d'abaisser le niveau d'eau dans la retenue comme potentiellement nécessaire.

Évènement	Détection et vidange	Niveau de confiance	
		Sans MMR	Avec MMR
chutes de blocs de quelques centaines de litres à plusieurs dizaines de m3 tombant de 10 à 30 m	Détection fuite → Abaissement	0	1
volume important de 1000 à 10000 m3 se détache et tombe brutalement d'une hauteur de 10 à 40 m.	Détection fuite mais abaissement impossible (mode commun)	0	0 (mode commun)

3.2.5. Arbre de défaillances de l'étude de dangers

Suite à une analyse préliminaire des risques et à l'identification des ERC, plusieurs scénarii de rupture ont été décrits dans le cadre de l'étude de dangers amenant aux ERC identifiés. Un extrait est donné ci-dessous mettant en jeu l'évènement initiateur relatif à un éboulement associé ou non à une défaillance ou une insuffisance de la capacité de drainage et un blocage ou non de la capacité d'abaissement de la ligne d'eau amenant à une première évaluation de probabilité d'ERC de 10^{-2} ce qui dans la grille de criticité définie par l'OEHC, amène à envisager des mesures de réduction et/ou de maîtrise des risques.

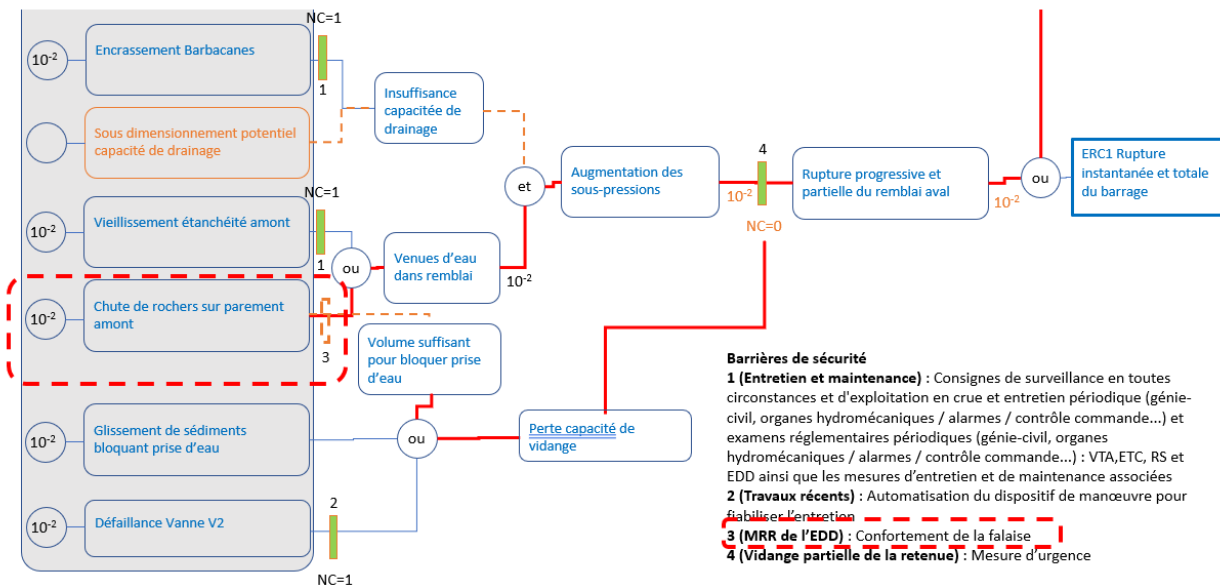


Figure 5: Arbre des défaillances pour l'évènement éboulement rocheux

3.3.Recommandations préconisées à l'issue de l'étude de dangers

Les recommandations préconisées dans le cadre de l'Etude de dangers ont été les suivantes :

✓ Mesure de maîtrise des risques (MMR)

- **Mise en place d'un dispositif de détection :**
 - Suivi en continu du risque de chute de blocs par instrumentation dans l'attente de la réalisation des études complémentaires,
 - Automatisation du suivi des fuites dans la galerie de drainage.
- **Etudes complémentaires :**
 - **Qualification de l'aléa :** Réalisation d'une étude spécifique de l'aléa chute de blocs destinée à mieux caractériser le volume, probabilité, énergie et déterminer les techniques à envisager pour gérer l'aléa dans le temps.

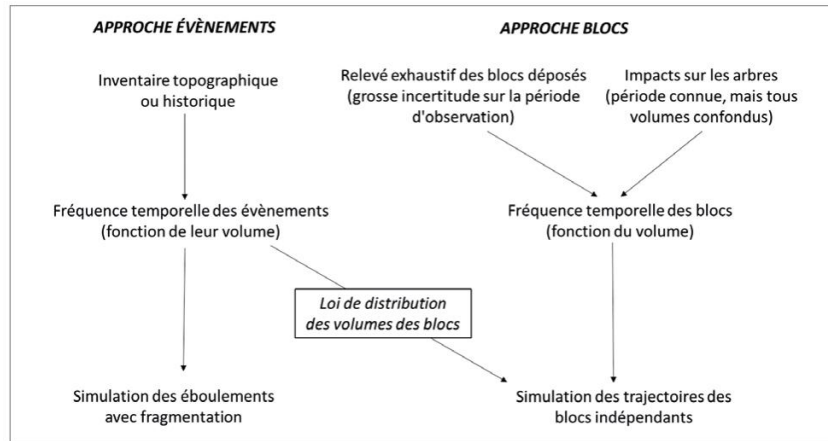


Figure 5.1 : Organigramme fonctionnel pour la caractérisation quantitative de l'aléa diffus

Figure 6: principe d'une étude quantitative [3]

Cette Etude permettra d'appliquer la démarche C2ROP [3] avec qualification de l'aléa de rupture suivant le système de notation Matterock et association à une probabilité d'occurrence plus fine.

Critère	Facteurs et processus	Echelle de pondération
Continuité	- agencement structural - probabilité de recouplement - activité (reflète la continuité)	0 à 5 (5 = plan continu)
Degré d'activité	- chutes de blocs - état de fragmentation, dislocation - déplacement - autres	0 à 5: latente 5 à 50: modérée ≥ 50: forte
Eau	Présence ou absence	0 à 5
Degré de sensibilité aux facteurs dégradants	- altération - météo et climat - séismicité de base - facteurs géologiques: dissolution, tassement, glissement... - facteurs anthropogènes	0 à 10
Degré de sensibilité aux situations déclenchantes	Facteurs dégradants fortement amplifiés	0 à ≥ 50
Degré de sensibilité aux facteurs stabilisants	- effet de butée - perte de masse - permafrost - facteurs anthropogènes	0 à ≥ - 50 (attention: signe négatif)
Facteur de sécurité ou appréciation subjective	- structural - géomécanique - facteurs déclenchants/stabilisants - autres	- 20 à 20

Tableau 7: Système de notation Matterock pour qualifier la probabilité de rupture.
Total < 40 : probabilité faible. Total < 90 : 49 : probabilité moyenne. Total > 49 : probabilité élevée

Figure 7: Système empirique de notation - qualification des probabilités associées aux "dires d'expert" (Valais suisse Méthode de Matterock)

TE	Très Elevé	Rupture probable sous 0 à 5 ans
E	Elevé	Rupture probable sous 0 à 20 ans
M	Moyen	Rupture probable sous 0 à 100 ans
F	Faible	Rupture probable sous 0 à 1000 ans
TF	Très Faible	Rupture probable sous 0 à plus de 1000 ans

Tableau 5 : Qualification de l'aléa de rupture en 5 niveaux (Source : Groupe de travail C2ROP 2017-2019)

Figure 8: Qualification des probabilité associées aux "dires d'expert"

- **Résilience du barrage** : Analyse approfondie de la capacité de drainage du corps du barrage avec étude de sensibilité sur la surface de défauts d'étanchéité et sur la perméabilité du remblai

✓ Mesure de réduction des risques (MRR)

- Purge, confortement et suivi de la falaise rocheuse



Figure 4 : Parades actives : Emmaitotage câble (©Parn) ; Ancrages(©Parn) ; Filet plaqué (© CD73) ; Béton projeté (Cerema) ; Purge (© Cerema)

4. PERSPECTIVES

EDF hydro s'est engagé dans une démarche pour l'homogénéisation des démarches d'analyse de risque pour les études de risques [4].

Le Cerema a produit des recommandation [5] qui partagent les méthodes d'évaluation de l'aléa à l'aide de la méthode LCPC 2004 qui permettront une appréciation du « dire d'expert ».

REMERCIEMENTS

Henri POLITI (responsable de l'exploitation OEHC) pour sa relecture attentive.

RÉFÉRENCES ET CITATIONS

- [1] CEREMA, C2ROP - *Caractérisation de l'aléa éboulement rocheux – état de l'art – France - 2020*, 2020.
- [2] M. D. L. E. D. DURABLE, *arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations c.*
- [3] CEREMA, C2ROP - *Prise en compte du risque rocheux par les maîtres d'ouvrage gestionnaires*, 2020.
- [4] DGPR, *Arrêté du 6 août 2018 fixant des prescriptions techniques relatives à la sécurité des barrages.*
- [5] E. C. (. P), *Rockfall risk assessment – Methodology – EDF CIH - H-30575704-2021-0000142 A*, 2021.