

Notice d'accompagnement à destination des Maîtres d'ouvrage

pour l'élaboration d'un cahier des charges techniques pour la réalisation
d'études de l'aléa éboulement rocheux et la définition de travaux



Guide méthodologique

Notice d'accompagnement à destination des Maîtres d'ouvrage

pour l'élaboration d'un cahier des charges techniques pour la réalisation
d'études de l'aléa éboulement rocheux et la définition de travaux

Ont participé à la réalisation de ce guide :

Groupe de rédaction :

- Carine PEISSER (PARN)
- Valentin Le BIDAN (Conseil Départemental de l'Isère)
- Anne LESCURIER (Conseil Départemental de la Savoie)
- Anne-Gaëlle RUIZ (SNCF Réseau)
- Patrick DIVOUX (EDF-CIH)
- Gabriella CHACON (Conseil Départemental de l'Isère)
- Stéphanie DETOURBES (Cerema)
- Julien BAROTH (UGA-3SR)

Contributeurs :

- Hugues FOLTZER (BG)
- Sten FORCIOLI (Géolithe)
- Régis BETTON (GIA Ingénierie)
- Laurent MUQUET (Arias Montagne)
- Alexandre MATHY (SAGE)

Groupe de relecture :

- Roland MISTRAL (Conseil Départemental de la Savoie)
- Cédric LAMBERT (GINGER CEBTP)
- Stéphane LAMBERT (INRAE)
- Anthony REY (BRGM)
- Bastien COLAS (BRGM)
- Mathieu LINIGER (Conseil Départemental du Doubs)

Ce cahier des charges type a été rédigé dans le cadre du Projet National C2ROP.

Comment citer cet ouvrage :

Projet National C2ROP. *Notice d'accompagnement à destination des Maîtres d'ouvrage pour l'élaboration d'un cahier des charges techniques pour la réalisation d'études de l'aléa éboulement rocheux et la définition de travaux*
Bron : Cerema, 2021. Collection : Références. ISBN : 978-2-37180-502-6

Sommaire

Avant-propos	5
Chapitre 1 - Clauses générales	7
1.1. Objet de la consultation	7
1.2. Modalités techniques d'intervention sur site	7
1.3. Compétences et qualifications	7
1.4. Documents de référence	8
Chapitre 2 - Contrat n° 1 - Définition de l'étude d'aléa	9
2.1. Données d'entrée	9
2.2. Contenu de la mission	10
2.3. Livrables	11
Chapitre 3 - Contrat n° 1 bis. Option - Diagnostic d'itinéraire	13
Chapitre 4 - Contrat n° 2 - Étude de site - Étude détaillée de l'aléa résultant	14
4.1. Données d'entrée	14
4.2. Contenu de la mission	16
4.3. Livrables	22
Chapitre 5 - Contrat n° 3 - Étude des parades possibles	24
5.1. Données d'entrée	24
5.2. Contenu de la mission	25
5.3. Livrables	26
Chapitre 6 - Contrat n° 4 - Dimensionnement de la solution de parade retenue	27
6.1. Données d'entrée	27
6.2. Contenu de la mission	27
6.3. Livrables finaux	28
Chapitre 7 - Contrat n° 5 - Supervision du suivi d'exécution	29
7.1. Données d'entrée	29
7.2. Contenu de la mission	29
7.3. Livrables finaux	30
Annexes	31
Annexe 1 - Données bibliographiques à transmettre ou collecter	31
Annexe 2 - Éléments à recueillir à partir de la bibliographie et/ou des visites de terrain	32
Annexe 3 - Reconnaissances de terrain	35
Annexe 4 - Éléments méthodologiques d'évaluation de l'aléa	36
Annexe 5 - Exemples de fiches descriptives par compartiment	42
Annexe 6 - Points de vigilance pour la commande d'études trajectographiques	45
Annexe 7 - Références	48

Avant-propos

Le Projet National C2ROP Chutes de blocs, *Risques Rocheux et Ouvrages de Protection* (2015-2019) s'est proposé d'aborder de manière globale et concertée la problématique du risque rocheux depuis les processus de genèse (aléas), jusqu'aux stratégies de protection (parades, gestion du risque). A ce titre, ce projet a su rassembler la plupart des éléments de connaissance à ce jour disponibles dans le domaine du risque rocheux, puis développer et transférer vers le monde opérationnel des outils, méthodes et concepts nouveaux en s'appuyant sur l'ensemble des plateformes expérimentales, afin d'améliorer tant les produits que les bonnes pratiques à mettre en œuvre.

Ces dernières années, des avancées considérables ont été obtenues dans le domaine académique : mécanique appliquée aux géomatériaux et aux structures, modélisation numérique, investigation expérimentale en laboratoire ou *in-situ*, analyse de l'aléa et du risque. Elles ont trouvé au travers de ce projet un formidable champ d'application et une source d'inspiration et d'innovation. Les méthodes numériques modernes permettent désormais de modéliser de manière pertinente le comportement de structures complexes sous chargement dynamique. Les puissances de calcul auxquelles on peut accéder aujourd'hui rendent possible des simulations remarquablement fines, prenant en compte les mécanismes élémentaires fondamentaux, mais ouvrant sur des résultats pertinents pour l'ingénieur. Des installations sur site permettent d'explorer le comportement des ouvrages en vraie grandeur ; le site expérimental de Montagnole en Savoie pour les structures de protection en est une illustration parfaite. Cette connaissance et ces outils rassemblés par C2ROP sont le socle fondamental du processus de gestion du risque associé.

L'ancrage très fort du Projet National auprès de l'ensemble de la communauté académique (universités, organismes publics de recherche) et opérationnelle (gestionnaires, maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, bureaux d'ingénierie, entreprises) a garanti son exigence et sa crédibilité. Sa capacité à supporter des actions de recherche a permis de lever les principaux verrous et de donner accès à des outils, méthodes, guides et référentiels techniques, attendus par toute la profession. Le présent document est l'un des 10 guides et recommandations produits par C2ROP autour des trois axes du projet :

Axe Aléas

- Glossaire du risque rocheux
- Caractérisation de l'aléa éboulement rocheux : État de l'art

Axe Parades

- Merlons pare-blocs : Recommandations pour la conception, le suivi de réalisation et la maintenance
- Les Ouvrages Déflecteurs : Guide technique
- Surveillance instrumentale pour la gestion du risque rocheux : Recommandations

Axe Risque

- Prise en compte des risques rocheux par les Maîtres d'Ouvrage gestionnaires d'infrastructures : Recommandations
- Cahier des charges type pour l'étude de l'aléa éboulement rocheux et la définition des travaux
- Cahier des charges type pour les travaux de protection contre les éboulements rocheux
- Mémento des ouvrages de protection contre les éboulements rocheux : Maintenance et Coûts
- Aide à la formalisation de retours d'expérience à la suite d'un événement rocheux sur infrastructures de transport : Note méthodologique

Cette production technique conséquente et aboutie est le reflet de près de 5 années de travail collaboratif des 45 partenaires du projet. Qu'ils soient ici tous chaleureusement remerciés pour leurs multiples efforts engagés et leur dynamisme. Il ne fait aucun doute que la communauté du risque rocheux saura exploiter avec intérêt cette production technique.

Le Comité de Pilotage du Projet National C2ROP

Contexte et objectif du cahier des charges et de sa notice de rédaction

Le contenu des études spécifiques d'aléa lié aux éboulements rocheux a fait l'objet par le passé de plusieurs publications de référence, dont une liste non exhaustive figure en annexe.

Dans le cadre de réunions de travail du Projet National C2ROP, plusieurs constats ont toutefois été faits par les partenaires :

- les publications précédentes, pourtant émises par des organismes reconnus, ne sont pas connues de tous les intervenants (Maître d'ouvrage et bureaux d'études) ;
- des Maîtres d'ouvrage (conseils départementaux, SNCF RESEAU) ont constaté que les définitions employées par les bureaux d'études pour la caractérisation de l'aléa (qu'il soit de rupture, de propagation et surtout résultant) n'étaient pas homogènes, voire incohérentes (majoration de l'aléa résultant par l'aléa de propagation). Cette hétérogénéité des études conduit à des difficultés dans la gestion du risque à l'échelle d'une collectivité ou du réseau routier ou ferré régional/national (planification et priorisation des actions) ;
- les Maîtres d'ouvrage (respectivement les bureaux d'études) voient une nécessité de rattacher aujourd'hui leurs cahiers des charges (respectivement leurs offres et études) à un cadre normatif. Par défaut c'est la classification de la norme NF P94-500 : 2013, alors que celle-ci n'est pas conçue pour les études spécifiques d'aléa lié aux éboulements rocheux. Ceci conduit parfois à des incompréhensions sur le contenu de la mission des bureaux d'études ;
- dans un objectif de développement durable (économies), il devient de plus en plus évident qu'il est nécessaire de définir des actions en fonction des risques, et non plus en fonction du danger ou de l'aléa résultant. Pourtant, ce changement de paradigme peine à s'imposer dans les cahiers des charges des études et les études spécifiques d'aléa lié aux éboulements rocheux ;
- avec le reclassement des anciennes routes nationales en routes départementales ainsi que la généralisation de la mise en concurrence pour les études spécifiques d'aléa concernant les collectivités publiques (s'appuyant par le passé plus sur l'ingénierie d'état), certains paragraphes des publications de référence sont devenus caducs.

L'objectif du présent document est donc de proposer aux Maîtres d'ouvrage, et particulièrement aux Maîtres d'ouvrage ne disposant pas de services spécialisés dans le domaine du risque rocheux, **des recommandations pour l'élaboration d'un cahier des clauses techniques particulières**, tenant compte des éclaircissements requis par les constats ci-dessus.

Il tient lieu d'accompagnement à la rédaction détaillée d'un CCTP, sur la base du guide Cerema-C2ROP « Cahier des charges type pour des études de l'aléa éboulement rocheux et la définition de travaux » (2020).

Le cahier des charges lui-même est un document synthétique, abordable par tout de type de MOA, familier ou non des problématiques de chutes de blocs. La présente notice de rédaction fournit un ensemble de recommandations qui aideront particulièrement les MOA non familiers des problématiques. Les exemples, donnés à titre indicatif, sont mis en évidence en bleu dans le texte.

Définitions

Les termes spécifiques utilisés dans le présent document (marqués d'une astérisque « * ») sont définis dans le guide Cerema-C2ROP « Glossaire du risque rocheux » (2020).

Participants au projet C2ROP



Chapitre 1 - Clauses générales

1.1. Objet de la consultation

Le cahier des charges a été scindé en cinq contrats type qui pourront être contractualisés ensemble ou séparément en fonction du besoin du Maître d'ouvrage. Ils répondent chacun à cinq degrés d'objectifs différents correspondant à cinq étapes chronologiques allant de la reconnaissance préalable d'un site (caractéristiques, contexte, etc.), jusqu'au dimensionnement des solutions de sécurisation du site, soit successivement :

- contrat n° 1 : Définition de l'étude d'aléa (cette étude n'est pas systématique, elle est optionnelle. Si celle-ci n'est pas réalisée, les missions et attendus de ce marché sont à inclure dans l'étude de type contrat n°2) ;
- contrat n° 2 : Étude de site - Étude détaillée de l'aléa résultant ;
- contrat n° 3 : Études des parades possibles ;
- contrat n° 4 : Définition de la solution de parade ;
- contrat n° 5 : Supervision du suivi d'exécution.

Le MOA est fortement incité à faire réaliser ces cinq contrats successivement afin d'optimiser les coûts d'investissement et la sécurisation des enjeux. Dans le cas contraire, les résultats existants du ou des contrats N, N-i seront obligatoirement fournis au prestataire en données d'entrée du contrat N+1.

Chaque contrat doit être accompagné de :

- l'organisation du Maître d'ouvrage, avec l'identification des principaux interlocuteurs : réunions, visites, remise des livrables ;
- la définition des éventuels points d'arrêt entre les différentes phases potentielles de l'étude ;
- nombre prévisionnel de réunions ;
- l'ensemble des délais de réalisation, y compris les délais intermédiaires.

1.2. Modalités techniques d'intervention sur site

Pour toute utilisation de drone, il faut rappeler que leur usage en extérieur et strictement encadré et que les personnes les manipulant doivent être accrédités ; le Titulaire s'engage à respecter la réglementation en vigueur.

Remarque sur la proposition de prise en charge par le Maître d'ouvrage des vols hélicoptérés et interventions de cordistes :

Les vols hélicoptérés et l'accompagnement par une équipe de cordistes professionnels peuvent être des postes de dépenses importants au regard d'une mission d'études géotechnique. La prise en charge de ces prestations par le MOA permet de s'affranchir du risque de voir les candidats sous-estimer les moyens nécessaires à la sécurité de l'équipe de terrain et au recueil des données utiles au bon déroulement de l'étude, dans le but de présenter une offre financièrement concurrentielle.

Cette proposition pourra être revue en fonction des pratiques propres au Maître d'ouvrage.

1.3. Compétences et qualifications

Des compétences spécifiques sont attendues pour l'expertise : connaissance en géologie, en mécanique des roches, en géomorphologie, connaissance des mécanismes déclencheurs et des évolutions, etc.

Une attention particulière devra être portée aux références du prestataire en matière d'interventions sur cordes et d'opérations de minage.

Ces points pourront par exemple faire l'objet d'une note technique spécifique.

1.4. Documents de référence

Le Maître d'ouvrage pourra également se référer aux guides et recommandations suivants :

- *Prise en compte du risque rocheux par les Maîtres d'ouvrage gestionnaires d'infrastructure* – Cerema-C2ROP – 2020 ;
- *Plans de prévention des risques naturels (PPR). Risques de mouvements de terrain. Guide méthodologique.* – MATE-METL – 1999 ;
- Note technique du Groupe de travail MEZAP *Méthodologie de l'élaboration du volet « aléa rocheux » d'un PPR* – 2014, mise à jour à paraître en 2020.

Avertissement

La standardisation du déroulement des études et des livrables ne doit pas conduire à un dumping sur les prix offerts par les bureaux d'études. Les critères techniques définis doivent permettre de cadrer l'offre de prix.

Un tel dumping est préjudiciable d'une part à la pérennité et au développement des bureaux d'études, et d'autre part à la qualité des études livrées au client. En effet, des prix trop serrés peuvent conduire les bureaux d'études à réduire au maximum le temps consacré aux observations de terrain, à l'analyse et à l'étude de variantes, conduisant *in fine* à un surdimensionnement inutile et coûteux d'ouvrages de protection (voire à la mise en place d'ouvrages alors qu'il n'y en a pas besoin).

Dans ce cadre, lors de la procédure de mise en concurrence il est recommandé, d'accorder une pondération importante à la **valeur technique des offres** par rapport à la pondération du critère « prix ». Cette valeur technique peut se juger par exemple sur la description des itinéraires prévus en falaise et en versant, sur l'adéquation du temps proposé au travail attendu (investigations de terrain, recherches bibliographiques, etc.).

Chapitre 2 - Contrat n° 1 - Définition de l'étude d'aléa

(Non systématique)

Remarque : Cette mission ne fait pas forcément l'objet d'un contrat spécifique si le Maître d'ouvrage est en capacité de définir suffisamment ses besoins. Dans ce cas, les missions de ce contrat n° 1 seront réalisées par le Maître d'ouvrage, et les attendus formalisés et fournis en données d'entrée des contrats suivants

L'objet de cette mission est de définir précisément le périmètre de l'étude à mener (« bassin de risques ») et son contexte, et ne concerne pas l'étude des aléas en eux-mêmes. En effet, dans la mesure où les aléas ne sont pas nécessairement connus du Maître d'ouvrage au moment de rédiger son cahier des charges, et où ceux-ci sont parfois significativement éloignés des enjeux à protéger, il s'agit avant tout de définir au mieux le périmètre à investiguer afin de permettre le meilleur dimensionnement possible pour les missions suivantes.

2.1. Données d'entrée

Délimitation du périmètre d'étude

Le Maître d'ouvrage délimite des zones de départ* et/ou des zones d'atteinte* à étudier. Les limites sont, de préférence, calées sur des limites topographiques et morphologiques caractéristiques et significatives vis-à-vis de la localisation et de l'évaluation de l'aléa d'écroulement et de propagation (lignes de thalwegs et de crêtes définissant un découpage naturel du site).

Liste des enjeux

Les enjeux à recenser peuvent être de différente nature : [enjeux humains](#), [matériels](#), [environnementaux](#), etc.

On peut également distinguer plusieurs types :

- enjeux fixes : [infrastructures](#), [bâtiments](#), etc. ;
- enjeux mobiles : [usagers d'une infrastructure](#), [habitants d'un bâtiment](#), [véhicules circulant sur/vers une infrastructure](#), [personnel en charge du fonctionnement / de l'entretien / des travaux](#).

Documents remis au Titulaire

Le Maître d'ouvrage liste et transmet au Titulaire les données dont il dispose en propre concernant la zone d'étude. Ces données peuvent être de nature suivante :

- données géologiques, géomorphologie, hydrogéologie et géotechniques ;
- données topographiques, morphologiques ou de déclivité ;
- observations - Événements connus - Contacts - Documentation historique ;
- photographies, survols ;
- diagnostics antérieurs ;
- travaux et études antérieures ;
- études de trafic ;
- ouvrages existants ;
- autres phénomènes / risques identifiés sur la zone : avalanches, laves torrentielles, etc. ;
- zonages réglementaires ;
- etc.

Une description synthétique du contenu de chaque document peut éventuellement être fournie.

Les sources potentielles de données sont détaillées en Annexe 1 et le détail des différents types de données listées ici est précisé en Annexe 2.

Contraintes de réalisation de l'étude

Le Maître d'ouvrage précise si la réalisation de l'étude, et notamment les visites de terrain, sont soumises à certaines contraintes.

Par exemple, la période de réalisation des visites de terrain peut être déterminée pour tenir compte de contraintes particulières liées au site : choix de la saison d'intervention sur le terrain pour la visibilité (végétation), l'accessibilité (neige en altitude), la sécurité du travail. La zone d'étude peut également être soumise à des contraintes réglementaires (zones à accès réglementé type ZNIEFF, etc.).

Reconnaitances de terrain - Accès

Le Maître d'ouvrage pourra suggérer des modalités d'adaptation de ses contraintes d'exploitation sur les enjeux concernés, pour le temps nécessaire aux reconnaissances sur site.

Réunions intermédiaires

Le Maître d'ouvrage précise le nombre de réunions intermédiaires souhaitées ainsi que le lieu. A minima une visite de site devra être imposée.

Livrables intermédiaires

Le Maître d'ouvrage précise la nature et le nombre de livrables intermédiaires souhaités, ainsi que leurs délais de livraisons.

2.2. Contenu de la mission

Appropriation des données initiales

Synthèse des données permettant l'appréhension des phénomènes et des facteurs contribuant à l'évolution des massifs, à l'instabilité des masses et au déclenchement des phénomènes : cf. Annexe 2.

Analyse documentaire

Liste des éléments à analyser en Annexes 1 et 2.

Visite initiale du site

Le Titulaire réalisera une visite de site qui aura pour objectif d'effectuer un pré-diagnostic du site comprenant :

- une revue des conditions d'accès au site et, notamment, aux zones de départ ;
- l'observation du contexte géologique, topographique et environnemental ;
- le repérage des zones de départ* pouvant affecter chacun des enjeux* ou la zone d'étude (peut se faire dans le contrat 1 ou 2 ou partiellement sur 1 et complété en 2) : pour chaque enjeu du périmètre d'étude (ou chaque secteur de la zone d'étude), le Titulaire repérera les zones de départ potentielles* (observations générales). Il identifiera notamment les zones de départs affectant la zone d'étude/les enjeux qui n'avaient pas été inclus préalablement par le Maître d'ouvrage dans le périmètre d'étude, ainsi que les zones d'atteintes/enjeux pouvant être impactées qui n'y auraient pas été incluses. L'analyse des zones de départ peut également s'effectuer selon une première approche (à compléter lors de l'étude détaillée de type contrat 2) qui n'a pas pour objectif un inventaire exhaustif des compartiments, mais une identification des zones où l'aléa est diffus* et des zones où les compartiments sont bien individualisés. L'aléa diffus* devra être défini, distingué de l'aléa localisé par une limite de volume par exemple : **quelques litres sur un talus limité, 1 m³ dans un grand versant, etc.**
- le repérage des ouvrages de protection existants ;
- le référencement des zones non visitées ;
- la définition des enjeux* (linéaires ou ponctuels) exposés et l'estimation / évaluation de leurs vulnérabilités* : **personnes en déplacement, personnes statiques, infrastructures, bâtiments, véhicules, outils de production, bien culturels, autres biens.**

Rédaction des livrables

RAS

Rédaction des livrables

RAS

2.3. Livrables

Le rapport comprendra les éléments suivants qui peuvent, éventuellement, être attendus sous forme de livrables séparés :

2.3.1. Synthèse des données d'entrée

RAS

2.3.2. Synthèse de l'analyse documentaire

RAS

2.3.3. Rapport de visite de site

A noter que l'exhaustivité et la précision du rendu sont fonction des données recueillies et des informations capitalisables à ce stade des reconnaissances (reconnaisances pédestres et pas d'études spécifiques réalisées).

2.3.4. Rapport de pré-diagnostic

Le rapport de pré-diagnostic comprendra la définition des zones de départ potentiel et, le cas échéant, des enjeux.

Description précise des enjeux

- le type d'enjeux* ;
 - fixe permanent (ex : Infrastructure, bâtiment, barrage, voie ferrée, etc.) ou temporaire (ex : Installation de chantier, etc.),
 - mobile matériel ou humain (ex : passage de 100 cyclistes par jour sur la piste cyclable, véhicule léger de 4 personnes, etc.) ;
- sur un plan de situation, la géométrie et la localisation des enjeux : géométrie et localisation précise de l'enjeu (si l'enjeu est fixe) ou de la zone de présence potentielle de l'enjeu (si l'enjeu est mobile) ;
- la fréquentation ou les temps de présence de l'enjeu à protéger ;
- les conséquences indirectes potentielles d'une chute de blocs sur l'enjeu : par exemple interruption de l'accès à une zone habitée ou à une destination touristique (station de ski, balnéaire, etc.), perte de production, etc.

Description des zones d'aléa

RAS

Découpage de la zone d'étude en secteurs homogènes

Secteurs homogènes du point de vue de la caractérisation de l'aléa sont homogènes du point de vue géologique, structural, morphologique, morphodynamique, hydrologique, climatique, de la localisation des enjeux et donc (cf. rapport Cerema-C2ROP Caractérisation de l'aléa éboulement - Etat de l'art, 2020).

Définition des études, levés et moyens nécessaires à l'étude détaillée de l'aléa résultant

Ex : levé topographique.

Le Titulaire pourra pré-identifier les moyens à mettre en œuvre, en particulier la nécessité ou non d'engager des études trajectographiques, dans quelle proportion (xx zones ? un secteur ? etc.) et de quel type (2D / 3D) : le niveau de détail des données topographiques nécessaires sera à adapter en fonction des besoins.

Des données topographiques fines peuvent également être valorisées pour sectoriser les zones de départ potentiel, voire pour juger de leur activité (aléa de départ).

Pour les levés topographiques, le Maître d'ouvrage peut décider de prendre la prestation à sa charge. En effet, de même que les vols hélicoptérés et les travaux sur cordes (voir paragraphe ci-dessous), les levés topographiques peuvent être des postes de dépenses importants au regard d'une mission d'études géotechnique. La prise en charge de ces prestations par le MOA permet de s'affranchir du risque de voir les candidats sous-estimer les moyens nécessaires à la sécurité de l'équipe de terrain et au recueil des données utiles au bon déroulement de l'étude, dans le but de présenter une offre financièrement concurrentielle.

Le Titulaire pourra préciser dans un document spécifique les spécificités des levés attendues : [prises de vues obliques](#), [densité de points au m² pour du lidar](#), [rendu dans les zones de surplomb...](#)

Définition des visites à entreprendre et de leurs modalités pour la réalisation de l'étude détaillée de l'aléa résultant

Ex. :

- [reconnaitances pédestres en pied de falaise](#), dans le versant, depuis un point de vue situé en face ;
- [reconnaitances sur cordes](#) ;
- [nécessité d'avoir recours à des reconnaissances hélicoptérées \(en reconnaissance préalable ou pour les zones non accessibles\), par drone.](#)

Voir détail en Annexe 3.

Remarque sur la proposition de prise en charge par le Maître d'ouvrage des vols hélicoptérés et interventions de cordistes (cf. CH1 Clauses générales) :

Les vols hélicoptérés et l'accompagnement par une équipe de cordistes professionnels peuvent être des postes de dépenses importants au regard d'une mission d'études géotechnique. La prise en charge de ces prestations par le MOA permet de s'affranchir du risque de voir les candidats sous-estimer les moyens nécessaires à la sécurité de l'équipe de terrain et au recueil des données utiles au bon déroulement de l'étude, dans le but de présenter une offre financièrement concurrentielle.

Cette proposition pourra être revue en fonction des pratiques propres au Maître d'ouvrage.

Définition des accès à équiper pour l'étude détaillée de l'aléa résultant

RAS

Définition des contraintes éventuelles de réalisation de l'étude détaillée de l'aléa résultant

Si elles n'ont pas été définies par le Maître d'ouvrage, le Titulaire définira les contraintes éventuelles de réalisation de l'étude détaillée (contrat n° 2).

Exemple : [Contraintes d'exploitation du domaine public pour les interventions dans le versant.](#)

Chapitre 3 - Contrat n° 1 bis. Option - Diagnostic d'itinéraire

Pour le découpage de la zone d'étude, les termes de « sections (Sc) », « secteurs (S) » et « compartiments (C) » peuvent être adaptés aux usages propres de chaque Maître d'ouvrage.

Chapitre 4 - Contrat n° 2 - Étude de site - Étude détaillée de l'aléa résultant

Référence normative : NF P94-500 : 2013 – Mission G1ES

La mission « Étude de site - Étude détaillée de l'aléa » s'inscrit dans la mission géotechnique préalable (G1) au sens de la norme NF P94-500, et la complète dans la mesure où la finalité est d'obtenir une qualification aussi exhaustive que possible des aléas résultants au niveau des enjeux.

Elle est réalisée en amont d'une étude géotechnique de conception (G2) « Étude des parades possibles ».

L'objectif de la mission est, d'une part, de réaliser un diagnostic de l'ensemble des aléas rocheux présents sur le site, et, d'autre part, d'identifier les aléas susceptibles de représenter un danger pour les enjeux définis et de qualifier un niveau d'aléa résultant au niveau de ces derniers.

Aucune parade n'est évoquée à ce stade de la mission, la définition et le dimensionnement de celles-ci font respectivement l'objet des contrats n° 3 et n° 4.

4.1. Données d'entrée

Les données d'entrées nécessaires à la bonne réalisation de la mission « Étude détaillée de l'aléa résultant » correspondent aux livrables définis dans le chapitre précédent, « Contrat n° 1 – Étude de site – Définition de l'étude d'aléa », augmentés des points suivants :

Définition du périmètre de l'étude

RAS

Enjeux

Définition et description précise éventuelle des enjeux. Il peut être précisé pour chaque enjeu :

- le type d'enjeu :
 - fixe permanent (ex : Infrastructure, bâtiment, barrage, voie ferrée, etc.) ou temporaire (ex : Installation de chantier, etc.),
 - mobile matériel ou humain (ex : passage de 100 cyclistes par jour sur la piste cyclable, véhicule léger de 4 personnes, etc.) ;
- le plan de situation, la géométrie et la localisation précise de l'enjeu (si l'enjeu est fixe) ou de la zone de présence potentielle de l'enjeu (si l'enjeu est mobile) ;
- la fréquentation ou les temps de présence de l'enjeu à protéger ;
- les conséquences indirectes potentielles d'une chute de blocs sur l'enjeu.
ex : Interruption de l'accès à une station, perte de production, etc.

Nota : La valeur économique des enjeux n'est pas une donnée indispensable à l'étude d'aléa. La limite d'extension du périmètre de l'étude au niveau des enjeux sera éventuellement ajustée par le Maître d'ouvrage sur la base de la note de validation de l'emprise évoquée au paragraphe précédent.

Documents remis au Titulaire

Les documents remis au Titulaire préalablement au démarrage de la mission sont les suivants :

- livrables de la mission de définition de l'étude d'aléa

Ou

- événements de type chutes de blocs sur la zone de l'étude recensés par le Maître d'ouvrage ;
- études ou extraits d'études antérieures concernant le site d'étude ;
- Relevé des travaux réalisés par le passé et des ouvrages de protection présents sur la zone d'études, ainsi que l'extrait de la dernière visite de contrôle ;
- autre : ex. levés topographiques, etc.

Contraintes de réalisation de l'étude

Précision d'éventuelles contraintes de réalisation de l'étude.

Par exemple, la période de réalisation des visites de terrain peut être déterminée pour tenir compte de contraintes particulières liées au site : choix de la saison d'intervention sur le terrain pour la visibilité (végétation), l'accessibilité (neige en altitude) et la sécurité du travail. La zone d'étude peut également être soumise à des contraintes réglementaires (zones à accès réglementé type ZNIEFF, etc.)

Reconnaitances de terrain - Accès

Définition des reconnaissances de terrain à mettre en œuvre et leurs modalités (cf. Annexe 3) : reconnaissances pédestres en pied de falaise, dans le versant, depuis un point de vue situé en face, reconnaissances sur cordes, nécessité d'avoir recours à des reconnaissances en hélicoptère (en reconnaissance préalable ou pour les zones non accessibles), ou par drone.

Pour la réalisation des reconnaissances de terrain, définition éventuelle des accès à équiper pour l'étude d'aléa. Toutefois, il peut être préférable de laisser ce point à l'appréciation du BE qui réalise sa propre étude de risques lors de la préparation de sa mission.

Période d'étude* (ou période d'intérêt, ou période de référence)

Le Maître d'ouvrage précise une période temporelle correspondant à la durée sur laquelle les aléas devront être évalués par le Titulaire.

Cette période est souvent fixée à 30 ans, en particulier pour les gestionnaires d'infrastructure, c'est-à-dire que le Maître d'ouvrage demande que la probabilité d'atteinte des enjeux par les instabilités soit évaluée pour les 30 prochaines années.

Ces délais peuvent être définis en concertation avec le Titulaire, et adaptés en fonction de la nature des enjeux.

Par exemple :

- 5 ans pour un chantier / ouvrage provisoire ;
- 10 ans pour un sentier de randonnée ;
- 30 ans pour une route départementale (correspond à la durée de vie des ouvrages de sécurisation) ;
- 100 ans pour une habitation.

Durée de validité de l'étude

Précision éventuelle par le Maître d'ouvrage d'une durée de validité attendue de l'étude d'aléa, en fonction de ses problématiques (type de site plus ou moins évolutif, type d'enjeux, type d'ouvrages de protection, etc.). Cette durée peut alors ou non être égale à la période d'étude.

Par défaut, cette durée peut être fixée à 10 ans.

Réunions intermédiaires

RAS

Livrables intermédiaires

Voit § 4.3.1.

4.2. Contenu de la mission

4.2.1. Études préparatoires

Analyse de la documentation transmise

Étude de la documentation sur la base des éléments collectés dans le cadre d'une étude de type contrat 1 : analyser les documents transmis par le Maître d'ouvrage en rapport avec l'étude, évaluer leur degré de fiabilité et en extraire les données pertinentes. En fonction des informations disponibles, identification des phénomènes, des facteurs contribuant à l'évolution des massifs, à l'instabilité des masses et au déclenchement des phénomènes (cf. Annexe 2).

Compléments de données

En complément des données d'entrées transmises par le Maître d'ouvrage, définir d'éventuelles données complémentaires à collecter ou des sources potentielles nécessaires à l'approche détaillée (liste proposée en Annexe 1) : données historiques, données concernant la géologie, la caractérisation structurale, la géomorphologie, les écoulements de surface et souterrains, les données géotechniques, la morphologie du site, la topographie, le climat, la végétation, l'identification des mécanismes d'évolution du versant et des phénomènes en découlant), les contraintes environnementales, etc.

Validation du périmètre de l'étude

L'intérêt de la démarche est de bénéficier du regard de l'expert sur la définition de l'emprise du MOA qui peut n'être que partielle.

Prestations complémentaires

Détail des études spécifiques et levés complémentaires qui seront nécessaires à la réalisation de l'étude d'aléa et à la charge du Titulaire. Ces études spécifiques peuvent être définies conjointement avec le Titulaire.

Par exemple : levés topographiques, simulations trajectographiques (cf. Annexe 6), etc.

Si des investigations géotechniques mécanisées ou des investigations géophysiques sont requises, il est recommandé qu'elles fassent l'objet d'un contrat spécifique et distinct du contrat de prestations intellectuelles. Dans le cas contraire, les bureaux d'études candidats à l'appel d'offre peuvent être tentés, pour décrocher le marché, de négliger ces investigations, au détriment de la qualité de l'étude et de l'économie du projet.

Préparation des visites de terrain dont éventuellement, si besoin, la réalisation des aménagements d'accès nécessaires

RAS

Rendus

En fonction du volume du marché, les études préparatoires peuvent éventuellement faire l'objet de rendus spécifiques (fortement recommandé pour les études importantes). À défaut, les éléments listés ci-après peuvent également et éventuellement être intégrés au rendu final du présent marché :

- rendus des études spécifiques et levés nécessaires à l'étude d'aléa ;
- calendrier des visites et travaux d'aménagement des accès ;
- note éventuelle « d'appropriation » des données d'entrée : le Titulaire vérifie qu'il dispose des données. Si le Titulaire n'assume pas la responsabilité de ces données d'entrée qui lui sont fournies, il doit toutefois émettre un avis sur celles-ci en cas d'incohérence et pointer d'éventuelles réserves. Par la rédaction éventuelle d'une note, il rappelle qu'il s'est approprié ces données. Ce document peut alors rappeler :
 - la définition et description précise des enjeux,
 - le périmètre de l'étude d'aléa (définition des zones de départ potentiel au-dessus de chaque enjeu).

L'objectif à ce stade est de provoquer un point d'arrêt avec le Titulaire et les échanges nécessaires. Le contenu des rendus sera adapté en fonction de l'ampleur du site / de l'étude.

Le Maître d'ouvrage est également fortement incité à demander au Titulaire de rappeler dans cette note les objectifs et principes méthodologiques qui seront utilisés pour la suite de l'étude d'aléa. Les éléments méthodologiques fixés par le Maître d'ouvrage et rappelés par le Titulaire peuvent être les suivants :

- classes de volume qui devront être utilisées pour l'évaluation des masses rocheuses : évaluation du volume (ou de la masse) des compartiments instables selon une classification qui est définie par le Maître d'ouvrage. L'évaluation du volume (ou de la masse) peut être qualitative ou quantitative (cf. Annexe 4) ;
- repérage des zones de départ pouvant affecter chacun des enjeux ou la zone d'étude : pour chaque enjeu du périmètre d'étude (ou chaque secteur de la zone d'étude), le Titulaire repérera les zones de départ potentiels (observations générales). Il identifiera notamment les zones de départs impactantes pour la zone d'étude/les enjeux qui n'avaient pas été incluses préalablement par le Maître d'ouvrage dans le périmètre d'étude. Inversement, le Titulaire signalera au Maître d'ouvrage les zones d'atteintes/enjeux pouvant être impactés qui n'avaient pas été inclus initialement par le Maître d'ouvrage dans le périmètre d'étude. L'aléa diffus devra être défini, distingué de l'aléa localisé par une limite de volume par exemple : quelques litres sur un talus limité, 1 m³ dans un grand versant ;
- identification des zones d'épandage ;
- estimation de l'aléa résultant pour chaque compartiment instable (reconnaissance exhaustive, par enjeu) ou par échantillonnage/zonage (si reconnaissance non exhaustive) :
 - par exemple, préciser si l'aléa résultant sera évalué par enjeu,
 - rappeler la méthodologie de qualification de l'aléa qui va être employée : approche quantitative ou qualitative ? Rappeler les grilles d'analyses,
 - est-ce qu'un éventuel aléa météorologique sera pris en compte dans la détermination de l'aléa « éboulement » ?
- estimation de l'aléa diffus :
 - préciser si l'aléa diffus sera évalué/analysé,
 - préciser s'il sera évalué par enjeu,
 - rappeler la méthodologie de qualification de l'aléa diffus qui va être employée : approche quantitative ou qualitative,
 - rappeler les grilles d'analyses;
- estimation de l'aléa résiduel (par enjeu) : Réalisée ou non ? Approche quantitative ou qualitative ?
- estimation d'un aléa résultant global (par enjeu) : somme des aléas (approche quantitative uniquement) ;
- préciser si des niveaux d'intensité devront être définis pour chaque aléa identifié ; Définition alors des différents niveaux d'intensité qui devront être déterminés pour chaque instabilité.
- préciser si des niveaux de risque devront être établis en fonction des niveaux d'aléas résultants identifiés et des enjeux ? Précision alors des grilles de définition de ces niveaux de risques.

4.2.2. Visites et collecte des données de terrain

Logistique

RAS

Option : Survol et visite hélicoptérée

RAS

Levés de terrain

Données pertinentes : Identification des phénomènes, des facteurs contribuant à l'évolution des massifs, à l'instabilité des masses et au déclenchement des phénomènes : cf. Annexe 2.

4.2.3. Études d'aléa

Éléments méthodologiques

Pour les principes généraux on pourra se reporter au Guide C2ROP *Prise en compte des risques rocheux par les Maîtres d'ouvrage gestionnaires d'infrastructures : Recommandations*.

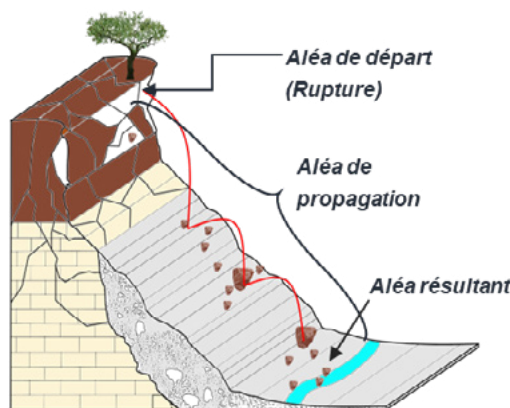


Figure 1 : Notion d'aléa de départ, aléa de propagation et aléa résultant (Source : Guide C2ROP *Prise en compte des risques rocheux par les Maîtres d'ouvrage gestionnaires d'infrastructures : Recommandations*)

L'aléa résultant est défini comme « Phénomène incertain pouvant causer des dommages, résultant de la combinaison d'un aléa de départ (ou rupture) et d'un aléa de propagation, caractérisé par la probabilité qu'un emplacement soit atteint par un élément rocheux avec une certaine intensité dans un délai donné (ou par la fréquence d'atteinte de cet emplacement pour un aléa diffus) » (Glossaire du risque rocheux).

La description de l'aléa résultant en un point donné devrait inclure le volume des éléments rocheux (voir ci-dessous, Blocométrie), leur vitesse (ou leur énergie cinétique) et leur probabilité d'occurrence dans une période donnée (ou la fréquence temporelle dans le cas d'un phénomène répétitif). Si cette dimension temporelle n'est pas prise en compte, l'étude n'est pas qualifiée d'étude d'aléa mais d'étude de susceptibilité (JTC1, 2008). On peut définir un niveau d'aléa résultant en combinant la probabilité d'occurrence et l'énergie cinétique, qui intègre la masse (donc le volume) et la vitesse. Mais cette approche synthétique peut conduire à une perte d'information.

Pour la détermination de l'aléa de départ* et de l'aléa résultant*, le Maître d'ouvrage précise préalablement, en fonction de ses besoins, le type de démarche - qualitative ou quantitative - et l'échelle de graduation (grille d'analyse) attendues de la part du bureau d'études parmi les exemples de grilles d'analyse présentés en Annexe 4.

Pour toute cette partie, on pourra se reporter à la publication C2ROP État de l'art « Caractérisation de l'aléa éboulement rocheux - état de l'art » (éd. Cerema, 2020). Il présente en détail différentes méthodes pouvant être utilisées pour caractériser l'aléa éboulement en termes d'intensité (énergie ou volume) et de fréquence (fréquence temporelle ou probabilité d'occurrence), afin de permettre ensuite une analyse du risque. Les recommandations internationales et quelques recommandations nationales concernant les mouvements de pente en général (landslides) sont d'abord évoquées. Puis le cadre théorique permettant de caractériser l'aléa rocheux et le risque associé est exposé en définissant quantitativement les différentes notions utilisées. Différentes méthodes quantitatives ou qualitatives sont ensuite présentées, pour caractériser d'abord les aléas diffus (approche globale à l'échelle d'un versant rocheux homogène), puis les aléas localisés (approche par compartiment rocheux potentiellement instable).

Blocométrie

En fonction de ses enjeux, le MOA peut préciser les valeurs générales indiquées dans le CCTP : voir Annexe 4.

De façon générique, le *Glossaire du risque rocheux* définit les termes suivants :

<i>Élément rocheux</i>	<i>Volume rocheux monolithique (constituant élémentaire d'un massif rocheux ou d'un compartiment rocheux).</i>
<i>Pierre</i>	<i>Élément de volume inférieur à une dizaine de décimètres cubes. En pratique, se déplace à la main.</i>
<i>Bloc</i>	<i>Élément de volume de quelques décimètres cubes à quelques mètres cubes. En pratique, se déplace avec un engin.</i>
<i>Gros bloc ou masse</i>	<i>Élément de volume supérieur au mètre cube. En pratique, doit être fragmenté en volumes plus petits pour être déplacé.</i>

Aléa ponctuel* et aléa diffus*

Pour l'aléa ponctuel, dans le cas d'un éboulement avec interaction, c'est aussi (et surtout) l'individualisation possible de blocs en fin de trajectoire qui importe et la présence des enjeux par rapport à cette distance où l'individualisation est marquée. D'où l'importance de bien poser des hypothèses pour expliciter des trajectoires atypiques.

Pour l'aléa diffus, en présence de différentes catégories de volume, un aléa résultant doit être défini par catégorie de volume (qui, par simplification sur un secteur homogène, peut éventuellement correspondre à une catégorie d'énergie).

En pratique, le cas d'aléa diffus concerne le plus souvent les pierres (classes de volume V1, cf. Annexe 4) potentiellement instables, présentes sur le site et dont le recensement s'avère trop complexe. Dans le cas où la densité de blocs (classe de volume V2) est trop grande pour un traitement individuel de chaque bloc, il est possible d'estimer un aléa diffus de chute de blocs de classe de volume V2. L'aléa diffus décrit est donc représentatif de l'aléa présenté dans une zone homogène de front.

Sectorisation

Conformément au guide C2ROP Caractérisation de l'aléa éboulement - État de l'art, « la sectorisation de la zone d'étude consiste en une délimitation de secteurs homogènes du point de vue géologique, structural, morphologique, morphodynamique, hydrologique, climatique, de la localisation des enjeux et donc du point de vue de la caractérisation de l'aléa ; elle peut aboutir à une typologie des versants de manière à travailler sur des échantillons représentatifs ».

La sectorisation en zones homogènes peut permettre ensuite de qualifier ou quantifier l'aléa en termes de fréquence spatio-temporelle de chute ou d'atteinte (nombre d'évènements par unité de temps et de surface ou longueur).

Aléa de départ

L'aléa de rupture est évalué de façon qualitative ou quantitative par le spécialiste lors de sa visite de terrain. L'annexe 4 propose des éléments méthodologiques permettant son évaluation.

En l'absence d'harmonisation actuelle des pratiques, aussi bien des MOA que des bureaux d'étude, le MOA pourra par exemple proposer les qualifications suivantes : Très élevé/Élevé/Modéré/Faible/Très faible. La grille peut être réduite à 3 ou 4 niveaux d'aléa. L'utilisation d'une qualification intermédiaire (élevé à moyen par exemple) peut être autorisée ou non. Voir dans l'annexe 4 les tableaux 3 et 7 pour des exemples d'explicitations des qualifications.

Sans indication du MOA, le Titulaire précisera clairement la méthodologie adoptée.

Aléa de propagation

L'aléa de propagation peut être défini comme la probabilité que l'élément rocheux considéré, s'il se détache⁽¹⁾, se propage jusqu'à une zone donnée.

Il peut être estimé qualitativement ou quantitativement, avec ou sans l'appui d'études trajectographiques, sur la base d'une étude (**observations de terrain, plans, cartes et photos aériennes**) prenant en compte :

- les critères relatifs aux conditions de départ (hauteur de l'éventuelle chute libre, dynamique initiale, cinématique de la rupture, qualité du terrain au premier impact : **rocher sain, rocher altéré, éboulis compact, éboulis meuble, terrain meuble, eau**) ;

¹ Dans un délai égal à la période de référence définie au § 4.1 (période d'étude).

- les critères relatifs au versant dans lequel se propagent les éboulis et, éventuellement, les caractéristiques des zones d'épandage : pentes du versant, régularité du profil du versant, déviations latérales par rapport à la ligne de plus grande pente, nature et épaisseur des formations superficielles, nature du substratum (qui peut être atteint par poinçonnement dans le cas d'une couverture meuble peu épaisse), existence d'aménagements anthropiques (banquettes, plateformes), etc. ;
- les blocs : volume global de l'éboulement, taille unitaire des blocs susceptibles de se former au premier impact ou au cours des premiers rebonds puis d'atteindre les enjeux (fragmentabilité / blocométrie prévisionnelle), forme des blocs (l'éclatement des blocs ayant une grande incidence sur la trajectoire, la hauteur de vol, la dissipation de l'énergie et la distance atteinte par les blocs) ;

les observations de site et analyses de terrain donnent à l'expert des éléments indispensables et parfois suffisants pour estimer l'aléa de propagation.

des méthodes empiriques peuvent être utilisées pour estimer l'emprise globale de propagation (enveloppe d'arrêt des blocs), par exemple sur le principe de la ligne d'énergie : modèle statistique qui permet d'estimer à partir d'une zone de départ la localisation du point d'arrêt maximal probable d'un projectile et qui ne nécessite pas à proprement parler de détermination des coefficients de restitution des sols (MEDE/MEZAP, 2014, Annexe 2 ; rapport Cerema-C2ROP État de l'art, § 5.3.3 et 5.3.4).

L'aléa de propagation peut aussi être déterminé par des méthodes déterministes de type trajectographie (modélisation des trajectoires de blocs en 2D ou 3D) lorsque l'éboulement est sans interaction entre blocs. Dans ce cas, des informations spécifiques liées à la modélisation mise en œuvre devront être précisées : logiciels utilisés, données de topographie, données propre au terrain (coefficients de restitution, etc.), dimensions, forme des blocs, nombre de blocs simulés, etc. **Pour les règles de bonnes pratiques concernant les simulations trajectographiques, se reporter à l'Annexe 6** - Recommandations pour la commande d'études trajectographiques.

Remarque : Lorsque l'interaction entre blocs ne peut être négligée, des méthodes spécifiques doivent être utilisées (par exemple, modélisations de type couches minces ou méthodes empiriques). Ce dernier aspect n'est pas traité dans C2ROP.

Le MOA pourra par exemple proposer les qualifications suivantes : Très élevé/Elevé/Modéré/Faible/Très faible. La grille peut être réduite à 3 ou 4 niveaux d'aléa. L'utilisation d'une qualification intermédiaire (élevé à moyen par exemple) peut être autorisée ou non. Voir le tableau 8 de l'annexe 4 pour des exemples d'explicitations des qualifications.

Lorsqu'il est fait recours à des simulations trajectographiques, une correspondance peut être envisagée entre les résultats quantitatifs et une évaluation qualitative de l'aléa. L'annexe 4 propose, à titre d'exemple, une échelle qualitative de niveaux d'aléa de propagation basée sur une évaluation quantitative de la probabilité de propagation.

Enfin, l'aléa de propagation est associé à une zone de départ identifiée ; dans le cas d'un enjeu menacé par plusieurs sources distinctes, il convient généralement de définir un aléa de propagation pour chacune d'elles.

Prise en compte du couvert forestier

Le Maître d'ouvrage se prononcera sur la prise en compte ou non de la forêt et du couvert végétal dans l'aléa de propagation :

- soit préalablement à la réalisation de l'étude ;
- soit au regard des résultats d'une analyse comparative avec et sans forêt et couvert végétal.

Elle peut notamment s'envisager si la forêt est suivie et entretenue en tant que forêt de protection*.

Le rapport MEDE/MEZAP (2014) propose une estimation de l'effet de la forêt sur la probabilité de propagation (Tableau 1) ainsi que des éléments complémentaires de diagnostic de la fonction de protection des peuplements forestiers vis-à-vis de l'aléa rocheux dans son annexe 4.

Volume du bloc de l'aléa de référence	Taillis	Futaie claire	Futaie dense
$\leq 0,25 \text{ m}^3$	X	X	X
$\leq 1 \text{ m}^3$	Effet limité	X	X
$\leq 5 \text{ m}^3$	Effet très limité	Effet limité	X
$> 5 \text{ m}^3$	Aucun effet		

Tableau 1 : Effet de la forêt sur la probabilité de propagation (MEDE/MEZAP, 2014)

Prise en compte des ouvrages existants

Au cas par cas, à apprécier au regard notamment des volumes en jeu et aux conditions suivantes :

- en fonction de la connaissance dont on dispose sur le dimensionnement de l'ouvrage ;
- si le Titulaire a pu vérifier l'adéquation du dimensionnement avec l'aléa ;
- si le Titulaire a pu vérifier l'état de l'ouvrage ;
- si le Maître d'ouvrage de l'ouvrage est identifié et en capacité d'assurer la pérennité de l'ouvrage.

La vérification de l'adéquation du dimensionnement et de l'état de l'ouvrage nécessite alors une inspection de ces protections et une expertise de leur efficacité.

La prise en compte des ouvrages existants peut également s'opérer après une analyse comparative de l'aléa de propagation avec et sans les ouvrages existants.

Le Maître d'ouvrage se prononcera sur la prise en compte ou non des ouvrages de protection dans l'aléa de propagation :

- soit préalablement à la réalisation de l'étude ;
- soit à l'issue de l'inspection et expertise des ouvrages ;
- soit au regard des résultats de l'analyse comparative avec et sans ouvrages existants.

Remarque : Des éléments d'appréciation ont été décrits pour le cas particulier des cartographies d'aléas à destination aménagement du territoire (organigrammes fonctionnels justifiant ou non la prise en compte d'ouvrages : Cotech n° 2 (DGPR, nov. 2015).

Prise en compte d'autres types d'obstacles

Par exemple : [contre-pentes naturelles, certains gros blocs stabilisés dans la pente, etc.](#)

Aléa résultant

En fonction de l'objectif de l'étude, le MOA peut demander à obtenir une évaluation de l'aléa résultant en tout point de la zone d'étude (études prospectives, cartographie de l'aléa ou du risque), ou ciblée seulement au niveau des emplacements des enjeux (études de sécurisation des enjeux).

Attention : pour un enjeu mobile (véhicule, piéton), la probabilité d'atteinte de l'emplacement de l'enjeu est différente de la probabilité d'impact de l'enjeu lui-même, qui dépend de l'exposition temporelle de l'enjeu - fonction du trafic (véhicules, piétons), de la vitesse de passage... - et relève donc de l'analyse de risque.

Aléa ponctuel

Dans le cas d'un aléa ponctuel, l'évaluation qualitative peut utiliser les qualifications suivantes : Très élevé/Élevé/Modéré/Faible/Très faible. La grille peut être réduite à 3 ou 4 niveaux d'aléa. L'utilisation d'une qualification intermédiaire (élevé à moyen par exemple) peut être autorisée ou non.

Voir l'Annexe 4 pour des exemples de matrice de croisement Aléa de rupture / aléa de propagation.

Aléa diffus

Dans le cas de l'aléa diffus, il s'agit d'évaluer la probabilité d'atteinte de l'enjeu par des chutes de pierre (ou blocs) pendant la période d'analyse. Cette valeur est estimée à dire d'expert au regard des données de terrain et de l'historique connus dans le secteur considéré. Une analyse de sensibilité sur cette valeur est faite lors de l'étude du risque.

La qualification de l'aléa résultant peut utiliser les mêmes qualifications que pour l'aléa ponctuel : Très élevé/Élevé/Modéré/Faible/Très faible.

En France, la proposition de méthode MEZAP est adaptée à l'évaluation qualitative de l'aléa diffus, mais avec un objectif spécifiquement orienté vers la cartographie de l'aléa pour l'aménagement PAC/PPR (MEDE/MEZAP, 2014 ; rapport C2ROP État de l'art, 2020 - Chapitre 8.2). D'autres méthodes sont utilisées en Amérique du Nord et en Europe, dans lesquelles l'aléa résultant est qualifié en utilisant un système de notation de différents paramètres influents. On peut notamment citer le RHRS (Rockfall Hazard Rating System), une des plus anciennes et des plus utilisées, et qui a donné lieu à de nombreuses variantes : voir rapport C2ROP État de l'art 2020, Chapitre 8.1.

Pour la caractérisation quantitative d'un aléa diffus, on peut se baser sur des méthodes globales d'estimation de la fréquence de départ des blocs, à partir d'inventaires d'événements représentatifs de la période considérée : voir rapport Cerema-C2ROP Caractérisation de l'aléa éboulement rocheux : État de l'art, 2020, Chapitre 7.

Études d'aléa

Si l'exhaustivité du recensement lors d'une étude d'aléa est recherchée, elle ne peut pas être atteinte systématiquement.

Par exemple :

- la présence de végétation peut masquer certaines fissures ou plans de glissement ;
- les difficultés d'accès et les risques associés peuvent rendre complexes le recensement et le relevé des compartiments ;
- la taille du secteur à investiguer nécessiterait des temps de reconnaissance terrain non compatibles avec les moyens de financement mis à disposition et les délais attendus de rendu de l'étude.

Le Maître d'ouvrage peut recueillir l'avis du Titulaire sur l'exhaustivité des relevés de terrain et en déduire un aléa résiduel de chute de blocs non recensés. Il s'agit alors d'évaluer la probabilité d'atteinte de l'enjeu par des chutes de pierre ou de blocs qui n'auraient pas été recensés. Cette valeur est estimée à dire d'expert au regard des données de terrain et de l'historique connu dans le secteur considéré. Une analyse de sensibilité sur cette valeur sera réalisée lors de l'étude du risque.

Dans le cas d'un aléa diffus et si les données sur les événements passés sont suffisantes, une approche globale qualitative ou quantitative peut être basée par exemple sur les fréquences d'atteinte : voir rapport Cerema-C2ROP Caractérisation de l'aléa éboulement rocheux : État de l'art, 2020, Chapitre 7 ; ou exemple de la RN1 sur l'île de la Réunion.

4.3. Livrables

4.3.1. Livrables des analyses des données et visites de terrain

Un plan de situation générale avec la localisation des enjeux et des zones de départ

RAS

Le rapport de visite de site et d'analyse des données

La vue générale du site donnera une vision d'ensemble sur la base d'un repérage commenté sur photos, éventuellement complété par un repérage cartographique.

Des fiches « Zones de départ^{*} »

RAS

Des fiches « Compartiment instable »

Chaque compartiment instable ou zone de départ identifié (en effet, les masses instables peuvent correspondre à un ou plusieurs compartiments susceptibles d'être mobilisés, ou un ensemble de masses déjà mobilisées et qui peuvent l'être à nouveau) fera l'objet d'une fiche descriptive pouvant contenir les éléments suivants (cf. Annexe 5) :

- des photographies générales et de détails : pour chaque compartiment, au minimum une photographie d'ensemble pour localiser le compartiment et des clichés de détail. Dans la mesure du possible, mettre dans le champ un étalon de longueur donnant l'échelle du cliché ;
- éventuellement, un marquage à la peinture des compartiments rocheux peut être réalisé : le marquage doit être lisible à distance et durable jusqu'à, par exemple, une phase de travaux. Un marquage pérennisé sur une plaquette fixée au rocher (exemple : marquage au crayon à peinture sur plaquette alu, etc.) peut également être mis en place.
- les caractéristiques géologiques : lithologie, structure, etc. ;
- les dimensions, indication de la classe de volume ;
- la position dans le front ;
- la caractérisation des discontinuités isolant le compartiment ;
- la typologie de l'instabilité (dièdre, écaille, colonne, etc.) ainsi que les mécanismes de rupture potentiels (par exemple, basculement de colonne, rupture en pied de colonne, fauchage, etc.). Pour les compartiments de grande masse, il peut être nécessaire d'émettre un avis sur la rupture partielle ou totale du compartiment ;

- l'analyse de la fracturation du compartiment et de sa fragmentabilité (notamment pour les compartiments de grande masse) : estimation du volume (ou de la classe volumique) des blocs après fragmentation et du nombre de ces blocs résiduels ;
- la description de la végétation éventuellement présente ainsi que des circulations d'eau,
- la liste des enjeux menacés ;
- l'estimation de la propagation en précisant l'éventuelle présence d'obstacles et leur prise en compte.

4.3.2. Livrables des études d'aléa

L'échelle des rendus cartographiques attendus pourra être précisée en fonction de la nature des enjeux et de l'étendue du périmètre de l'étude : **le plus souvent de 1/5000 à 1/25000, pouvant aller jusqu'à 1/50 000 pour des études départementales ou des diagnostics d'itinéraires par exemple.**

Chapitre 5 - Contrat n° 3 - Étude des parades possibles

Référence normative : NF P94-500 – Mission G2 AVP

Remarques préalables :

Il est fortement déconseillé d'engager une telle mission en l'absence d'une mission récente « Étude détaillée de l'aléa résultant ».

Entre le rendu de l'étude n° 2 et l'étude n° 3, le Maître d'ouvrage peut, éventuellement, procéder ou commanditer une étude de risque et de vulnérabilité.

Il est vivement conseillé de confier au même bureau d'études les contrats n°2 et n°3 afin d'assurer une bonne continuité et notamment une meilleure appropriation des données d'entrée.

Le Maître d'ouvrage, en particulier gestionnaire d'infrastructure, est incité à adopter un parti pris qui privilégie le principe de réduction de l'aléa à la source (parades actives). Ce principe permet de limiter l'entretien ultérieur, qui peut être supérieur pour des parades passive. Il n'est toutefois pas forcément adapté pour des enjeux bâtis, ou selon l'activité des zones de départ.

Dans ce cas, la mention suivante peut être rajoutée au CCTP : « L'attention du titulaire est attirée sur le fait que, dans le cadre du présent marché, le Maître d'ouvrage adoptera autant que faire se peut le principe de réduction de l'aléa à la source (parades actives visant à traiter l'aléa de rupture). La mise en œuvre d'un ouvrage dit « passif » ne sera donc proposée que dans la mesure où un traitement actif se révèle inenvisageable (techniquement ou financièrement). »

5.1. Données d'entrée

Données d'entrée et de sortie du contrat n° 2

Le Maître d'ouvrage transmet au Titulaire les données d'entrée et de sortie (livrables) du contrat n° 2 qui ont précédé le présent contrat n° 3. Il complète le cahier des charges de son marché en conséquence.

Objectifs de protection

Le Maître d'ouvrage peut être amené à préciser ses objectifs par rapport à la protection du site (cf. § 3.2.4), par exemple :

- l'objectif peut être :
 - de maintenir la fonction « réseau » d'une infrastructure, et donc d'éviter les gros événements ;
 - de protéger les usagers (éviter les « les coups au buts ») : protection contre les chutes de blocs de taille moyenne mais fréquentes ;
 - ...
- en fonction des résultats de l'étude du contrat n° 2 et de la vulnérabilité de ses enjeux, le Maître d'ouvrage peut choisir de retenir différents critères pour prioriser les travaux de protection :
 - volumétrie des masses rocheuses ;
 - secteurs présentant des enjeux jugés majeurs ou plus vulnérables, et donc à protéger prioritairement ;
 - ...
- le Maître d'ouvrage peut souhaiter ne traiter que les aléas élevés (tels que définis dans le référentiel du MOA, voir § 4.2.3) ;
- le Maître d'ouvrage peut avoir pour objectif de mettre en œuvre les solutions de protection de manière à aboutir, après traitement, uniquement à des aléas résiduels moyens ;
- ...

Contraintes

Le Maître d'ouvrage transmet au Titulaire les informations dont il dispose concernant les différentes contraintes connues sur la zone auxquelles le projet est susceptible d'être assujéti. Ces contraintes peuvent être d'ordre technique, administratif, environnemental, paysager, etc.

Il peut aussi s'agir, par exemple, de contraintes d'exploitation, de contraintes environnementales, de contraintes liées aux emprises foncières (préciser si la mise en place d'ouvrages en dehors de l'emprise foncière est possible), d'un projet situé dans un périmètre classé et régi par l'Architecte des Bâtiments de France...

Autres éléments (options)

En fonction des objectifs et de la stratégie de protection du Maître d'ouvrage, celui-ci peut être amené à préciser les éléments suivants pour qu'ils soient pris en compte par le Titulaire lors de l'étude des solutions envisageables, l'analyse multicritères des solutions et la priorisation des travaux :

- des éléments sur les enjeux / les limitations du cadre d'étude : en fonction de la vulnérabilité de ses enjeux, le Maître d'ouvrage peut choisir de proposer des limites à l'étude sortante du contrat n° 2 ;
- l'analyse de risque si celle-ci a été réalisée préalablement ;
- une grille d'analyse multicritère présentant les critères retenus (cf. § 5.2.5), la pondération des critères entre eux ;
- des critères de priorisation des travaux si le Maître d'ouvrage souhaite que le Titulaire propose une priorisation des travaux.
- le Maître d'ouvrage peut également rappeler le cadre normatif réglementaire des parades.

5.2. Contenu de la mission

5.2.1. Phase préparatoire d'appropriation des données d'entrée

Uniquement dans le cas où le Titulaire n'a pas assuré le contrat n° 2.

Dans tous les cas, il est fortement recommandé de réaliser une réunion de lancement.

5.2.2. Visite de terrain dédiée aux parades

Dans le cas d'un changement de prestataire entre les contrats n° 2 et n° 3, une visite du site par le Titulaire est nécessaire sans toutefois refaire le contrat n°2 dans son intégralité. Dans le cas contraire, elle n'est pas indispensable.

5.2.3. Prestations complémentaires

Les éventuelles prestations complémentaires nécessaires à l'accomplissement de la mission (survol hélicoptés, levés topographiques, etc.) seront prises en charge par le Maître d'ouvrage sur indications du titulaire.

5.2.4. Étude des solutions envisageables

Au démarrage de cette phase, un dialogue est recommandé entre le Titulaire et le Maître d'ouvrage afin d'écarter, dans une première approche, les solutions non envisageables, définir les solutions *a priori* envisageables et retenir les plus pertinentes. Plusieurs solutions doivent être étudiées incluant des parades actives et/ou passives.

Ces parades peuvent être définies par secteur, par classe de volume ou dans certains cas, par compartiment.

Pré-dimensionnement des parades envisageables

RAS

Estimation chiffrée des différentes solutions

RAS

Pour chacune des solutions envisagées, détermination des caractéristiques suivantes :

Ces caractéristiques permettront au Titulaire de réaliser une analyse comparative avantages/inconvénients des solutions entre elles, voire une analyse multicritères (cf. § suivant) :

- contraintes techniques de réalisation pour chacune des solutions : **délai, emprise, accessibilité, etc.** ;
- contraintes administratives : **foncier, code de l'environnement, code de l'urbanisme, etc.** ;
- modalités d'exploitation des enjeux lors des travaux de mise en place et des interventions de maintenance ;
- description détaillée des interventions à mener par atelier (**débroussaillage et purges/minage/ouvrages**) ;
- pérennité de chacun des ouvrages ;
- contrainte d'entretien / maintenance : **entretien nécessaire, périodicité, moyens à mettre en œuvre pour l'inspection et l'entretien** ;
- éventuels critères complémentaires définis par le Maître d'ouvrage : **contraintes d'exploitation du Maître d'ouvrage, impact visuel des solutions, impacts environnementaux, etc.** ;
- détermination de l'aléa résiduel pour chacune des solutions envisagées.

5.2.5. Comparaison par analyse multicritère

Analyse multicritère

Le Maître d'ouvrage pourra fournir une grille d'analyse avec une pondération des critères.

Proposition de priorisation (option)

Une priorisation des travaux peut être proposée au Maître d'ouvrage sur la base d'une analyse multicritère. Les critères de priorisation sont alors à définir préalablement à cette phase par le Maître d'ouvrage conjointement avec le Titulaire : **par exemple, priorisation des travaux en fonction de l'aléa résiduel / puis en fonction du coût de chaque solution / puis en fonction du délai nécessaire à la réalisation de chaque protection.**

5.2.6. Définition des incertitudes

En fonction des solutions proposées, une synthèse des incertitudes doit être fournie par le Titulaire avec des pistes proposées pour les lever comme par exemple :

- des visites complémentaires ;
- un levé topographique plus précis ;
- des contraintes techniques : **présence de réseaux suspectée nécessitant ou pas d'effectuer à ce stade une Déclaration de Travaux** ;
- des reconnaissances géotechniques complémentaires nécessaires pour dimensionner un ouvrage : **ex. énoncer le programme de sondages, essais ou étude géophysique à réaliser avant la phase PRO, etc.** ;
- des contraintes environnementales : **ex. lancer un diagnostic faune / flore, loi sur l'eau, étude d'impact, etc.**

5.3. Livrables

La Maître d'ouvrage peut définir des délais de réalisation des différentes phases.

Pour exemple :

- **40 jours ouvrables pour fournir un rapport provisoire des solutions envisagées ;**
- **10 jours pour retours du MOA vers le BE après la réunion d'échanges ;**
- **10 jours pour fournir le rapport définitif.**

Chapitre 6 - Contrat n° 4 - Dimensionnement de la solution de parade retenue

Référence normative : NF P94-500 - Mission G2 PRO

La mission « Dimensionnement de la solution de parade » s'inscrit dans la mission géotechnique de conception (G2) au sens de la norme NF P94-500, et la complète dans la mesure où il est également demandé un planning prévisionnel des travaux et un chiffrage des travaux.

Elle est réalisée à la suite d'une étude géotechnique de conception (G2) « Étude des parades possibles ».

Il est fortement déconseillé d'engager une telle mission en l'absence d'une mission « Etude des parades possibles ». Considérant par ailleurs que les hypothèses géotechniques prises en compte dans le dimensionnement de nombre de ces ouvrages sont établies à dire d'expert, il est recommandé de confier cette mission au bureau d'études ayant réalisé les contrats n° 2 et 3.

Pour certains ouvrages, les plans d'exécution peuvent être réalisés à l'appréciation du Maître d'ouvrage par le titulaire du contrat n° 4 ou par l'entreprise (Clarification à apporter lors de la réalisation du DCE travaux).

6.1. Données d'entrée

Données d'entrée et de sortie du contrat n°3

Y compris les données collectées par le Maître d'ouvrage à l'issue du contrat n° 3, dont les résultats des analyses / essais complémentaires spécifiés dans le § 5.2.6.

Solution de travaux retenue

Le Maître d'ouvrage précise la solution de travaux définitive retenue à l'issue de l'étude d'avant-projet (AVP), ainsi que les contraintes associées à cette solution.

Enveloppe financière

Le Maître d'ouvrage précise l'enveloppe financière provisoire affectée aux travaux.

Contraintes

Le Maître d'ouvrage précise les contraintes inhérentes au site : [par exemple période\(s\) de travaux impossible\(s\), conditions d'interaction avec les riverains, co-activité avec un chantier voisin, contraintes paysagères, emprises, prescriptions de l'Architecte des Bâtiments de France, etc.](#)

6.2. Contenu de la mission

6.2.1. Phase préparatoire d'appropriation des données d'entrée

RAS

6.2.2. Visite de terrain dédiée à la solution de parade

Dans le cas d'un changement de prestataire entre les contrats n° 3 et n° 4, une visite du site par le Titulaire est nécessaire sans toutefois refaire le contrat n° 3 dans son intégralité. Dans le cas contraire, elle n'est pas indispensable, sauf pour lever les éventuelles incertitudes mentionnées dans les contrats 2 et 3.

6.2.3. Prestations complémentaires

RAS

6.2.4. Définition de la solution

L'étude de projet définit la conception générale des parades, en intégrant les contraintes et données issues des études complémentaires au contrat n° 3 (géotechniques, faune/flore, Déclarations de Travaux, etc.).

6.3. Livrables finaux

RAS

La rédaction des CCTP Travaux ne fait pas partie du présent document. Voir le guide C2ROP dédié « CCTP Type – Travaux de protection contre les chutes de blocs » (2020).

Chapitre 7 - Contrat n° 5 - Supervision du suivi d'exécution

Référence normative : NF P94-500 - Mission G4

La mission « Supervision du suivi d'exécution » s'inscrit dans la mission supervision géotechnique de conception (G4) au sens de la norme NF P94-500, et la complète dans la mesure où il est demandé au Titulaire de réaliser une mission d'assistance à Maître d'ouvrage. Elle est réalisée lors des travaux de mise en œuvre des parades et ouvrages de sécurisation.

Considérant que les hypothèses géotechniques prises en compte dans le dimensionnement de nombre de ces ouvrages sont établies à dire d'expert, il est recommandé de confier cette mission au bureau d'études ayant réalisé le contrat n° 4. Pour cela il est recommandé de ne prévoir qu'une seule consultation pour ces prestations.

7.1. Données d'entrée

Objet de la mission

Planning de travaux

Modalité d'exploitation des enjeux à sécuriser en phase chantier

La prise en compte des contraintes d'exploitation des Maîtres d'ouvrage est abordée dans le guide C2ROP « Recommandations pour la prise en compte des risques rocheux par les gestionnaires d'infrastructures », Chapitre 4, § Contraintes d'exploitation.

Exemples de modalités d'exploitation :

- fermeture de l'infrastructure de nuit, en semaine, etc.
- maintien d'un alternat de circulation ;
- EDF : maintien en fonctionnement des ouvrages qui assurent la sûreté (pas de minage au-dessus d'un évacuateur de crue), etc.

Contraintes

Ex. :

- contraintes foncières ;
- contraintes environnementales ;

La prise en compte des contraintes foncières et environnementales des Maîtres d'ouvrage est abordée dans le guide C2ROP « Recommandations pour la prise en compte des risques rocheux par les gestionnaires d'infrastructures », Chapitre 4, § Contraintes foncières et § Contraintes environnementales.

Dans l'idéal ces contraintes devront avoir été anticipées bien en amont de cette phase.

7.2. Contenu de la mission

7.2.1. Phase préparatoire d'appropriation des données d'entrée

RAS

7.2.2. Visite de terrain dédiée à la solution de parade

Dans le cas d'un changement de prestataire entre les contrats n°4 et n°5, une visite du site par le Titulaire est nécessaire sans toutefois refaire le contrat n°4 dans son intégralité. Dans le cas contraire, elle n'est pas indispensable.

7.2.3. Prestations complémentaires

RAS

7.2.4. Supervision du suivi d'exécution

RAS

7.3. Livrables finaux

RAS

Annexes

Annexe 1 - Données bibliographiques à transmettre ou collecter

Les données bibliographiques doivent être transmises au Titulaire en données d'entrée ou, à défaut, à collecter pendant la mission.

Liste non exhaustive des sources de données à explorer (à ajuster en fonction du contexte) :

- presse locale (articles de journaux), sociétés et associations d'histoire locales ;
- recueil de témoignages : gestionnaires d'infrastructures, usagers, habitants/riverains, mairies/élus, personnes âgées, etc. ;
- fonds d'archives événementielles, bibliographies et documents divers aux archives départementales, communales, paroissiales (ne pas négliger l'approche toponymique) ;
- archives techniques des MOA ou services de l'État (DDTM, DIR, Conseils Départementaux, SNCF, EDF, ONF, Gendarmerie et autres services, etc.) et des services techniques (RTM, BRGM, CEREMA, bureaux d'études, etc.) : études scientifiques (thèses, publications, etc.), études techniques antérieures générales (PPR notamment) ou de détail, dossiers de recollement, suivis, études de projets routier, etc. ;
- données cartographiques : plans à grandes échelles résultant de commandes particulières, cartes topographiques de l'IGN, cartes thématiques (géologiques, morphologiques, géotechniques), SCAN 25, BD Carto, etc. ;
- bases de données : BD MVT, BD RTM, Géorisque, Géoportail, SIG existants sur la zone d'étude, etc. ;
- photographies aériennes verticales ou obliques : missions particulières conservées dans les services, couvertures systématiques de l'IGN ;
- photos et cartes postales anciennes ;
- etc.

Annexe 2 - Éléments à recueillir à partir de la bibliographie et/ou des visites de terrain

Liste des éléments à recueillir à partir de la bibliographie et/ou des visites de terrain permettant d'identifier les masses instables individualisées ou diffuses, ainsi que les facteurs d'évolution des massifs et les facteurs déclenchants.

A - Données contextuelles

L'exhaustivité de cette analyse est à rechercher. Toutefois, elle est contrainte par la disponibilité des informations existantes, et peut être adaptée à la nature des enjeux et/ou aux objectifs de l'étude.

Géologie

Analyser les données lithologiques (nature des formations, état d'altération, état de « consolidation » des formations), stratigraphiques et l'histoire géologique régionale (histoire tectonique, phases glaciaires), identifier les traits caractéristiques de la structure (accidents géologiques, plissements, chevauchements, directions de fracturation) à différentes échelles (du local au régional) et déterminer leurs relations avec les traits morphologiques observés en vue d'établir un modèle géologique et structural d'ensemble et un modèle local représentatif du site d'étude.

Etude structurale : identifier les grands éléments structuraux, et éléments structuraux plus fins. Identifier les différents systèmes de discontinuités, leur hiérarchie, leur organisation et leur signification sur le plan tectonique (caractérisation du ou des styles de discontinuités). Relever la densité, l'orientation et le pendage, l'étendue et l'ouverture des familles de discontinuités, application des outils de la géologie structurale (mesures systématiques à la boussole et au clinomètre) et de la microtectonique (stries, linéaments, etc.), et, si besoin, analyse structurale (stéréogramme), utilisation d'outils de représentation spatiale et statistique. Caractérisation de l'état des épontes des discontinuités (rugosité, cimentation, remplissage, circulations).

Caractérisation de la sismicité du site.

Géomorphologie

Analyse des traits dominants de la morphologie du site et des caractéristiques à plusieurs niveaux : falaises, versants, thalwegs, pente générale, accidents morphologiques (escarpements intermédiaires). Reconstituer l'histoire de l'évolution dynamique des versants ayant abouti au modelé topographique actuel. Caractériser la configuration générale du site (zones de départ, de concentration, de dispersion, d'arrêt des éboulis, trajectoires potentielles, etc.). Identifier les indices d'événements antérieurs (traces, cicatrices, empreintes). Identifier et délimiter des zones morphologiquement homogènes.

L'examen du versant doit donc s'effectuer, autant que possible, à une distance suffisante pour avoir une vue d'ensemble.

En complément des sources d'informations citées précédemment, les sources de données suivantes sont à exploiter :

- M.N.T. et données Lidar disponibles, bases de données BD Topo, BD Alti, Litto3D ;
- réalisation de levés topographiques et/ou profils topographiques (par un géomètre) avec télémètre + clinomètre, station topo, scan laser, DGPS, photogrammétrie ;
- analyse en photo-interprétation, éventuellement en 3D.

Hydrologie, hydrogéologie

Caractérisation des apports hydriques (nature, régime et importance, conditions d'infiltration, etc.). Caractérisation des écoulements à l'intérieur du massif (à partir des écoulements et des manifestations hydrologiques superficielles, et par croisement des données topographiques, géologiques et structurales, + éventuellement sondages et reconnaissances géophysiques) : recensement et localisation des exutoires, géométrie des réseaux d'écoulement, identification du régime (type karstique ou non), évaluation du volume de stockage des réservoirs, évaluation de la mise en charge... Prise en compte des conditions hydro-dynamiques en contexte de frange littorale : marnage, courants, choc des vagues, etc. Influence des conditions climatiques (étiage, alimentation, colmatage par le gel, etc.), définition des configurations climatiques agressives (gel, dégel, contrastes thermiques, etc.).

Pour les données climatiques : recueil des données auprès des services de la météorologie et des organismes compétents (Météo-France, EDF, stations de sports d'hiver, INRAE, sociétés de spéléologie, etc.), et interprétation des données en tenant compte des conditions locales du site et des données climatiques des années précédentes. La prise en compte et l'analyse des données climatiques historiques peut permettre de caler un modèle ou caractériser un événement particulier.

Historique des phénomènes, identification des éléments visibles sur le terrain

Quantité/fréquence des éboulements, volumes des éléments éboulés, zone de propagation, dégâts occasionnés.

Présence et type de végétation

Identification et caractérisation du couvert végétal des versants : espèces, types d'associations, densité, évolution possible (incendies, exploitation forestière, etc.), dans le but :

- d'identifier les zones instables (zones en mouvement, zones non colonisées en raison d'éboulements actifs) ;
- d'identifier les zones dans lesquelles les racines des végétaux contribuent à la dislocation du massif ;
- inversement, d'évaluer la contribution éventuelle de la végétation à la protection du versant (nature, taille, densité des peuplements) ;
- d'indiquer les risques de déstabilisation en cas d'incendie, d'exploitation de la forêt (coupes à blanc), d'ouverture de pistes forestières, etc.

Informations relatives à l'évolution du couvert végétal sur les dernières décennies : stable, a gagné du terrain, a régressé voire disparu..., dans le but d'évaluer la pertinence de l'analyse historique des événements recensés pour décrire le risque rocheux 'actuel'.

Présence et impact des ouvrages

B - Éléments descriptifs du compartiment rocheux permettant de qualifier son aléa

Nature du compartiment

- typologie : type de compartiment par une première approche des mécanismes de rupture : écaille (simple ou faisceau), bloc isolé, chaos, colonne, paroi altérée affectée par la gélifraction, surplomb en cours d'évolution régressive ;
- lithologie : nature pétrographique, faciès, aspect, état d'altération, etc. ;
- données structurales principales : détermination, identification, localisation, orientation, persistance, remplissage ;
- hydrogéologie - Hydraulique : présence ou non de venues d'eau, contexte géologique particulier (karst), nature des écoulements (superficiels, émergences), débit, régime.

Paramètres géométriques

- position sur le versant ;
- forme, géométrie ;
- dimensions : longueur, hauteur, épaisseur, dévers (longueur, profondeur, hauteur par rapport au sol pour un surplomb). Les dimensions sont définies pour le ou les différents éléments constituant le compartiment rocheux ;
- estimation des volumes : volume total de l'ensemble, volume des différents éléments constitutifs ;
- hauteur de chute : hauteur de la falaise, premier impact probable ;

L'évaluation des dimensions doit être effectuée, chaque fois que possible, par une mesure au moyen d'un dispositif suffisamment précis (décamètre, télémètre, etc.).

Déterminer la position de la surface de rupture au point de rupture supposé du compartiment par rapport au massif.

Paramètres géomécaniques des discontinuités (surfaces de rupture)

Paramètres fondamentaux des surfaces de rupture (impose la visite au plus près du compartiment) :

- nature des discontinuités : stratification, schistosité, diaclases, failles ;
- origine mécanique : traction, cisaillement, etc. ;
- quantification de leur fréquence (décimétrique - métrique - décamétrique) ;

- caractérisation et quantification de leur continuité ou persistance (cf. Méthodes de classification des massifs rocheux) ;
- quantification de leur ouverture et des variations éventuelles ;
- caractérisation des épontes : nature, aspect, régularité, état de surface, rugosité, altération, nature du remplissage, minéralisations, ponts de matière, présence de végétation, etc. ;
- quantification de la géométrie (orientation et pendage) qui permettra l'analyse structurale.

Voir par exemple :

- Recommandations de l'AFTES *Caractérisation des massifs rocheux utile à l'étude et à la réalisation des ouvrages souterrains* (2003 –N°177, ref. GT1R1F1) ;
- Gasc M., Hantz D. (2019) *Mécanique des roches appliquée au génie civil*. Dunod, 195 p.

Fragmentation dans la phase d'écroulement

Estimer la fragmentabilité des compartiments dans la phase d'écroulement à partir du volume en jeu, du découpage en place par les discontinuités du massif, de la fragilité des blocs au choc. L'examen critique des éboulis anciens en pied de versant constitue un des moyens utilisables pour remonter à la fragmentabilité de la roche en place.

Annexe 3 - Reconnaissances de terrain

Types de modes de reconnaissances de terrain pouvant être mis en œuvre en fonction du contexte.

Techniques classiques de reconnaissances de terrain

Les reconnaissances classiques à pied, en pied de versant et, si possible, dans le versant, sont adaptées aux versants rocheux qui ne présentent pas de difficulté d'accès majeure (pas de recours aux techniques alpines), et qui bénéficient de conditions d'observation favorables (recul suffisant, absence de végétation). Elles peuvent également s'effectuer avec une nacelle lorsque les conditions d'accès de la nacelle sont réunies, et que la hauteur du front le permet.

Les difficultés de visibilité dues à la végétation peuvent perturber les observations. Dans ce cas, il peut être nécessaire de procéder aux reconnaissances en période de repos de la végétation ou après un élagage → dans ce cas, en tenir compte dans la programmation des études.

Les difficultés d'observation dues au manque de recul peuvent, dans certains cas favorables, être compensées partiellement par une observation terrestre déportée sur le versant opposé. Sinon le recours à une autre technique s'avère nécessaire (reconnaissance hélicoptérée, techniques alpines, bras de nacelle, etc.).

La sécurité des usagers des zones aval peut imposer des mesures d'exploitation ou de protection spécifiques pendant l'intervention.

Techniques alpines pour la reconnaissance en falaise

Lorsque la morphologie du site le permet, le recours à des nacelles élévatrices plutôt qu'à l'usage de cordes doit être privilégié. L'usage des nacelles est adapté à l'examen rapproché de zones d'accès difficile ou impossible sans avoir recours à l'usage de cordes de progression ou d'assurance (falaises, versant ou pentes raides).

L'examen rapproché est indispensable à la collecte des informations structurales locales (caractéristiques des épontes, géométrie des discontinuités), à la caractérisation des critères d'évolution (fissuration par exemple) et à la détermination des critères dimensionnels. Il est nécessaire de présélectionner les zones de falaise à examiner en technique alpine. Un examen exhaustif doit tenir compte des contraintes d'accès pour l'implantation des descentes, du déplacement et du temps nécessaire aux opérations encordées. Le repérage des points d'accès préalablement à l'étude (localisation des descentes en rappel) est nécessaire.

En revanche, les reconnaissances en technique alpine peuvent s'avérer impossibles pour des raisons de sécurité sur des zones exposées à des chutes de pierres spontanées ou susceptibles d'être déclenchées par la reconnaissance elle-même (risque lié à la progression, frottement des cordes). Il en est de même lorsque le risque de chutes de pierres, induit par la reconnaissance, met en cause la sécurité à l'aval (ex. falaise dominant des bâtiments, route en service). Ce type de reconnaissance peut alors nécessiter des mesures d'évacuation temporaire ou de coupure de circulation.

Reconnaissances détaillées par observation aérienne

Ce type d'investigations, qui intervient en général en complément des observations terrestres, peut, dans certains cas (inaccessibilité du versant notamment) et pour certains types d'études (détection d'aléas majeurs, etc.), précéder les investigations terrestres. Ce mode de reconnaissance permet alors une observation des zones difficilement accessibles par voie terrestre, une observation aérienne selon différents angles de vue et un large recul. Les observations sont systématiquement localisées et reportées sur les photos et/ou sur les plans. Les points particuliers devant de manière irréductible faire l'objet d'une reconnaissance spécifique en falaise sont, de même, repérés avec une indication des accès possibles.

L'observation par voie aérienne peut également s'effectuer par drone (l'appréciation des échelles peut toutefois s'avérer plus délicate avec cette technique).

La reconnaissance par hélicoptère ou par drone, moyennant préparation, peut s'avérer être un gain de temps, compensant alors les coûts élevés des prestations.

Annexe 4 - Éléments méthodologiques d'évaluation de l'aléa

Le chapitre 5 de l'état de l'art C2ROP présente de façon détaillée les différents éléments pour une définition quantitative de l'aléa et du risque rocheux. Il distingue notamment les cas où un enjeu est menacé par un aléa localisé, par N aléas localisés ou par un aléa diffus. En pratique, si l'évaluation de l'aléa peut se faire selon une approche qualitative ou quantitative, peu de démarches opérationnelles sont aujourd'hui menées de manière entièrement quantitative ; des correspondances peuvent être faites entre les deux approches, sur la base d'échelles de niveaux dont des exemples sont proposés ici.

Classes de volume des instabilités

Classes de volumes des éléments rocheux pouvant être retenues par le Maître d'ouvrage (à l'issu de leur propagation) :

		Quantification	Qualification*
V1	Pierre	Volume inférieur à une dizaine de dm ³	Se déplace à la main
V2	Petit bloc	Volume de quelques dm ³ à quelques m ³	Se déplace avec un engin
V3	Gros bloc et masse rocheuse	Volume supérieur au m ³	Doit être fragmenté en volumes plus petits pour être déplacé

Tableau 2 : Définition qualitative et quantitatives des classes de volumes (d'après Glossaire du risque rocheux C2ROP, 2020)

* **Nota** : de telles classes non quantifiées sont facilement appréhendables sur le terrain.

Autre classification pouvant être utilisée basée sur le volume total des matériaux mis en jeu lors de la phase d'écroulement ainsi que la taille des éléments unitaires (guide LCPC 2004) :

- chute de pierres : un petit nombre d'éléments de volumes unitaires inférieurs à quelques dm³ ;
- chute de blocs : un petit nombre d'éléments de volumes unitaires atteignant quelques m³ (dans le cas de formations massives, certains gros blocs peuvent atteindre voire dépasser la centaine de m³) ;
- éboulement en masse⁽²⁾ : volume allant jusqu'à plusieurs centaines de milliers de m³ ; on distingue les éboulements en masse limitée (volume inférieur à quelques milliers de m³) et les éboulements en grande masse (volume allant de plusieurs dizaines de milliers à plusieurs centaines de milliers de m³) ;
- éboulement catastrophique⁽³⁾ : volumes de l'ordre du million de m³ ou plus, et dont la propagation répond à des processus particuliers (fluidisation).

Evaluation de l'aléa de rupture de compartiments isolés

Dans tous les cas, pour les aléas ponctuels, il faut noter que « dans l'état actuel des connaissances, la probabilité de rupture dans un délai donné ne peut pas être déterminée par une méthode géomécanique quantitative. [...elle] est donc estimée qualitativement, à dire d'expert ou en utilisant un système empirique de notation. » (État de l'art C2ROP, 2020, Ch. 9). Toute approche quantifiée repose donc sur ce préalable.

Évaluation de la probabilité de rupture (méthode LCPC) : éventualité d'occurrence de chute (dans la période considérée) évaluée à dire d'expert en fonction des facteurs déterminants sur une échelle qualitative allant de « très faible » à « très élevée » :

Très élevée (TE)	L'occurrence du phénomène est normale. Sa non-occurrence serait exceptionnelle	La probabilité est appréciée en fonction des facteurs déterminants (présence et/ou intensité)
Élevée (E)	L'occurrence du phénomène est plus envisageable que sa non-occurrence	
Modérée (M)	L'occurrence du phénomène est équivalente à sa non-occurrence	
Faible (F)	La non-occurrence du phénomène est plus envisageable que son occurrence	
Très faible (TF)	La non-occurrence du phénomène est normale. Son occurrence serait exceptionnelle	

Tableau 3 : Qualification de la probabilité de rupture (guide LCPC 2004)

² Partiellement hors cadre C2ROP ; on passe dans cette catégorie de l'éboulement sans interaction - dans lequel l'interaction entre éléments éboulés peut être considérée comme négligeable - à l'éboulement avec interaction, dans lequel les interactions entre les éléments éboulés sont fortes durant la propagation (cf. Glossaire du risque rocheux C2ROP).

³ Hors cadre C2ROP : caractérisé par une prédominance des phénomènes d'interactions entre blocs lors de leurs chutes et propagations (cf. Glossaire du risque rocheux C2ROP).

Une probabilité « modérée », qui attribue une équivalence entre occurrence et non-occurrence, traduit une incertitude maximale concernant l'éventualité du phénomène. Une qualification en termes de « très élevée » ou « très faible » traduit un engagement de l'expert qui est le reflet d'une bonne connaissance du phénomène (il s'agit de probabilité et non de certitude, etc.).

Estimation du délai probable d'occurrence de la rupture (méthode LCPC) : délai significatif à l'intérieur duquel le phénomène peut se produire (selon une probabilité à estimer suivant la classification définie ci-avant) :

Imminent	i	Prise en compte immédiate (le délai se compte en heures, jours, semaines ou mois)
Très court terme	tct	2 ans environ
Court terme	ct	10 ans environ
Moyen terme	mt	De l'ordre de 30-50 ans
Long terme	lt	De l'ordre de 100-150 ans

Tableau 4 : Qualification du délai probable d'occurrence (guide LCPC 2004)

Par rapport à l'échelle proposée, certains rapprochements peuvent être faits avec le rythme d'activité des phénomènes d'évolution naturelle (cycles saisonniers notamment) et avec les délais habituels des programmes de sécurisation (exemple : un délai global études et travaux de 10 ans est classique pour des travaux de protection ou de confortement sur des zones de risque à court terme). Pour des zones de risque à moyen terme, le délai de 30 - 50 ans correspond à la prise en compte de la programmation d'actions futures.

Au-delà du long terme, l'aléa est considéré comme relevant de phénomènes exceptionnels, à une échelle de temps d'ordre géologique. Il doit être mentionné s'il a été mis en évidence lors de l'étude, mais n'est en général pas pris en compte dans les études d'ingénierie.

Voir plus de détails d'analyse de la méthode LCPC dans le paragraphe 9.2.1. de l'État des lieux C2ROP.

Estimation de l'aléa de rupture (méthode LCPC) :

Ainsi, par exemple, le guide LCPC propose la détermination des 5 niveaux d'aléa de rupture pré-cités à partir d'une matrice de croisement des différents niveaux de probabilités et délais de rupture estimés :

Délai Probabilité /	i (imminent)	tct (très court terme)	ct (court terme)	mt (moyen terme)	lt (long terme)
te (très élevée)					
e (élevée)					
m (modérée)					
f (faible)					
tf (très faible)					

Tableau 5 : Qualification de l'aléa de rupture en termes de probabilité/délai (guide LCPC, 2004)

L'utilisation du couple probabilité/délai ayant montré des limites (État de l'art C2ROP), on peut préférer (notamment dans le cadre d'une démarche de priorisation des actions) une qualification unique, l'aléa de rupture étant alors évalué sur une échelle des 5 classes, sur la base des probabilités de rupture estimées dans un certain délai :

TE - Très Elevé / E - Elevé / M - Modéré / F - Faible / TF -Très Faible

Remarque : dans le Valais Suisse, la méthode Matterock, préconisées par le Canton (équivalent plus ou moins du Conseil Départemental), se base sur un système empirique de notation de 5 familles de critères pour qualifier l'aléa de rupture :

Critère	Facteurs et processus	Echelle de pondération
Continuité	<ul style="list-style-type: none"> agencement structural probabilité de recoupement activité (reflète la continuité) 	0 à 5 (5 = plan continu)
Degré d'activité	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> effet de butée perte de masse permafrost facteurs anthropogènes 	0 à ≥ - 50 (attention: signe négatif)
Facteur de sécurité ou appréciation subjective	<ul style="list-style-type: none"> structural géomécanique facteurs déclenchants/stabilisants autres 	- 20 à 20

Tableau 6 : Système de notation Matterock pour qualifier la probabilité de rupture
Total = 4 à 8 : probabilité faible. Total = 9 à 49 : probabilité moyenne. Total > 49 : probabilité élevée.

Autre exemple d'évaluation de l'aléa de rupture pour chaque compartiment (à dire d'expert) :

Le Groupe de travail C2ROP, qui a rassemblé sur la période 2017-2019 des Maîtres d'ouvrage et des bureaux d'études, a réalisé une synthèse des pratiques et proposé collectivement une grille explicitant 5 niveaux de qualification :

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

Ces probabilités de départ sont à définir sur la base de la durée de référence* de l'étude, ou à associer à un délai probable d'occurrence, ou une période pour laquelle l'aléa est évalué. C'est à dire que la probabilité d'occurrence est évaluée très élevée, élevée, modérée, faible ou très faible dans un délai défini.

Ce délai peut alors être évalué par le Titulaire, ou bien (option à privilégier) le délai est une période définie par le Maître d'ouvrage et pour laquelle il demande au bureau d'études d'évaluer la probabilité de rupture pour chacun des compartiments : pour une période de 30 ans par exemple, le Titulaire doit évaluer, pour chaque compartiment, sa probabilité de rupture à l'échéance de 30 ans. Cette période est définie par le Maître d'ouvrage, en concertation éventuelle avec le Titulaire, et en fonction de la nature des enjeux, par exemple :

- 5 ans pour un chantier ;
- 10 ans pour un sentier de randonnée ;
- 30 ans pour une route (correspond à la durée de vie des ouvrages de sécurisation) ;
- 100 ans pour une habitation, etc.

Évaluation de l'aléa de propagation pour les compartiments isolés

L'aléa de propagation est souvent donné sous forme quantifiée de probabilité d'atteinte d'une zone donnée. Ces évaluations quantitatives peuvent être données sur la base de calculs probabilistes. Pour les règles de bonnes pratiques concernant les simulations trajectographiques, se reporter à l'annexe 6.

Dans une approche qualitative, le Groupe de travail C2ROP a proposé une évaluation suivant cinq niveaux de qualification, qui peuvent pour exemple correspondre aux quantifications suivantes :

Qualification de l'aléa de propagation	Probabilité d'atteinte de l'emplacement de l'enjeu	
Très élevé - TE	Quasi-certain	50/80 % à 100 %
Elevé - E	Probable	10 ⁻² à 50/80 %
Modéré - M	Moyennement probable	10 ⁻⁴ à 10 ⁻²
Faible - F	Peu probable	10 ⁻⁶ à 10 ⁻⁴
Très faible - TF	Très Peu Probable	< 10 ⁻⁶

Tableau 8 : Exemple de correspondance entre quantification et qualification de l'aléa de propagation (Groupe de travail C2ROP 2017-2020)

Qualification de l'aléa résultant

Le niveau d'aléa résultant est déterminé par le croisement de l'aléa de rupture et de l'aléa de propagation.

De manière quantitative, cela correspond à l'équation suivante (1) :

$$\text{Probabilité d'atteinte} = \text{probabilité de rupture} \times \text{probabilité de propagation}$$

A défaut de calcul numérique de probabilité, les approches qualitatives recourent à des matrices de croisement.

Type de matrice majoritairement utilisé dans le cas d'enjeux de type infrastructure linéaire :

		Aléa de rupture				
		TE	E	M	F	TF
Aléa de propagation	TE	TE	E	M	F	TF
	E	TE	E	M	F	/
	M	E	M	F	F	/
	F	M	F	F	TF	/
	TF	F	TF	TF	TF	/

Tableau 9 : Exemple de matrice de croisement Aléa de rupture / aléa de propagation pour la qualification de l'aléa résultant

A noter que l'aléa résultant ne peut avoir un qualificatif « supérieur » à celui de l'aléa de rupture.

La méthode Matterock propose la grille de croisement suivante :

		Probabilité de rupture		
		Élevée	Moyenne	Faible
Probabilité de propagation	Élevée	Élevée	Moyenne	Faible
	Moyenne	Moyenne	Faible	
	Faible			

Tableau 10 : Estimation de la probabilité d'atteinte à partir de la probabilité de rupture et de la probabilité de propagation selon Matterock

Une quantification (même approximative) des probabilités de départ et de propagation peut permettre de proposer la matrice suivante :

		Probabilité annuelle de rupture				
		TE >10 ⁻¹	E >10 ⁻²	M >10 ⁻³	F >10 ⁻⁴	TF >10 ⁻⁵
Proba de propagation	TE >10 ⁻¹	TE >10 ⁻²	E >10 ⁻³	M >10 ⁻⁴	F >10 ⁻⁵	TF >10 ⁻⁶
	E >10 ⁻²	E >10 ⁻³	M >10 ⁻⁴	F >10 ⁻⁵	TF >10 ⁻⁶	/ >10 ⁻⁷
	M >10 ⁻³	M >10 ⁻⁴	F >10 ⁻⁵	TF >10 ⁻⁶	/ >10 ⁻⁷	/ >10 ⁻⁸
	F >10 ⁻⁴	F >10 ⁻⁵	TF >10 ⁻⁶	/ >10 ⁻⁷	/ >10 ⁻⁸	/ >10 ⁻⁹
	TF >10 ⁻⁵	TF >10 ⁻⁶	F >10 ⁻⁷	TF >10 ⁻⁸	/ >10 ⁻⁹	/ >10 ⁻¹⁰

Tableau 11 : Exemple de combinaison des probabilités de départ et de propagation et proposition de qualification de la probabilité d'atteinte (rapport C2ROP État de l'Art, § 9.2)

En fonction des besoins du Maître d'ouvrage, la grille d'évaluation du niveau d'aléa résultant peut, éventuellement, être associée à une notion d'intensité. Les différents niveaux d'intensité de l'aléa peuvent également être définis par les classes de volume, et/ou l'énergie qui est mise en jeu par le phénomène. Ces niveaux d'intensité sont alors définis préalablement au démarrage de l'étude par le Maître d'ouvrage, ou conjointement avec le Titulaire.

A titre d'exemple, MEZAP propose que le niveau d'aléa soit qualifié en tout point de la zone d'étude en utilisant la matrice suivante (approche plus spécifiquement adaptée à des enjeux de type bâti) :

		Intensité				
		V ≤ 0.05 m ³	V ≤ 0.25 m ³	0.25 m ³ < V ≤ 1 m ³	1 m ³ < V ≤ 10 m ³	V > 10 m ³
		Très légère	Légère	Modérée	Elevée	Très élevée
Probabilité d'atteinte	Faible 10 ⁻⁵	Faible	Faible	Moyen	Fort	Fort
	Moyenne 10 ⁻⁴	Faible	Faible	Moyen	Fort	Fort
	Elevée 10 ⁻³	Faible	Moyen	Fort	Fort	Très fort
	Très élevée	Moyen	Fort	Fort	Très fort	Très fort

Tableau 12 : Définition du niveau de l'aléa de référence par zone homogène

Ce type de grille de détermination de l'aléa résultant peut ensuite servir de base pour établir une grille de risque. Le niveau de risque attribué à un aléa résultant sera alors fonction de la nature de l'enjeu. Par exemple, un aléa modéré affectant une route pourra constituer un risque moyen, alors que ce même aléa modéré affectant une habitation sera considéré comme un risque fort. Voir le rapport C2ROP État de l'art, Chapitre 4 pour des exemples internationaux de définition des niveaux de risque.

Pour des aléas diffus, dans le cas où l'inventaire des événements passés est suffisant, des approches quantitatives basées par exemple sur les lois de distributions fréquence/volumes ont été proposées : on pourra se référer à la synthèse disponible dans le rapport Cerema-C2ROP Évaluation de l'aléa éboulement rocheux, État de l'art (2020).

Annexe 5 - Exemples de fiches descriptives par compartiment

Les fiches peuvent être plus ou moins exhaustives dans la caractérisation du compartiment et de son environnement. Les deux fiches suivantes sont proposées par le Guide LCPC (2004).

CETE - LRPC de LYON	IDENTIFICATION : CHAMOISE Compartiment n° 1
FICHE ANALYTIQUE Qualification de l'aléa d'éboulement	LOCALISATION : photo A1-2 falaise inférieure
	Photo : A1-3 Figure : A3-1 et 2
	Date de rédaction de la fiche : octobre 1981
1. Description	
	1.1 Nature
Écaille découpée à mi-hauteur de la falaise inférieure.	
h = 7 m	1.2 Paramètres géométriques
	l = 7 à 8 m e = 1 à 1,5 m maxi.
	1.3 Paramètres géomécaniques
Découpage arrière par fracture régulière et continue, visible côté est et parallèle à la falaise.	
Orientation N 150°E - 85°N.	
Ouverture de l'ordre du centimètre.	
Base de l'ensemble partiellement sous-cavée.	
2. Stabilité	
	2.1 Type de rupture
Rupture de pied avec glissement.	
	2.2 Caractérisation du compartiment
Nature : volume de l'ordre de 40 m³	
« Probabilité / Délai » : élevé à moyen terme	
	2.3 Probabilité de formation de blocs
Blocs > 5 m³	peu probable
Blocs de 1 à 5 m³	très probable
3. Propagation	
	3.1 Données topographiques
Chute à 70-75° de pente jusqu'à l'aire de stockage (dénivelée de 20 m)	
	3.2 Fragmentation
Probabilité élevée pour qu'il subsiste des blocs jusqu'à 2 ou 3 m³	
	3.3 Trajectoire
Direction : aire de stockage	Probabilité de propagation : très élevée
4. Risque résultant	
Nature : glissement d'un volume de 40 m³ fragmentable en blocs jusqu'à 2 à 3 m³ avec probabilité très élevée de propagation vers la plateforme autoroutière.	
« Probabilité : Délai » : élevé à moyen terme	
5. Mesures de protection	
Ancrages passifs	

CETE Méditerranée - LRPC d'Aix-en-Provence		
FICHE DE QUALIFICATION DE L'ALÉA	Date : 2 novembre 2000	
Sainte-Enimie (48) Rive Gauche - secteur n° 97	Échantillon n° 10	
Type d'instabilité	surplombs	
1. Description	- Nature du matériau	dolomie massive (Bathonien J2b)
	- Dimension	-
	- Volume	30 à 50 m³
	- Position dans le versant	mi versant, en partie transversale de falaise
2. Fracturation origine de l'instabilité	- Paramètres géométriques	Orientation des discontinuités (notation AFTES) : S₀ subhorizontal, discontinuités à l'arrière
	- Paramètres géomécaniques	Persistance : tout le surplomb à l'arrière
		Fréquence : -
		Joint : -
		Epontes : lisses à ondulées
3. Facteurs aggravants		
3.1. Présence de végétation	- Dans la discontinuité	oui
	- Sur le pourtour	oui au dessus du surplomb
3.2. Présence d'eau	- Écoulement	non
	- Suintement	traces de coulures
3.3. Présence de cicatrices anciennes	- Type de rupture et orientation	oui cicatrices d'anciens surplombs
4. Stabilité		
4.1. Processus d'évolution	- Identification	décohésion, rupture en traction
	- Agents d'évolution	eau, gel, végétation
	- Indices d'évolution	ouverture de fissures
4.2. Mécanisme de rupture	rupture de surplomb	
5. Qualification de l'aléa de rupture	MODÉRÉ À LONG TERME	
6. Propagation		
6.1. Données topographiques en aval	- Pente du versant	pente moyenne de 35 à 40°
6.2. Couverture du versant	arbres et arbustes	
6.3. Nature du substrat	rocher altéré (J2a) et éboulis	
6.4. Fragmentation (volume)	faible, en volumes de 1 à 20 m³	
6.5. Traces d'éboulements anciens	blocs éboulés de 30 à 40 m³ dans le versant	
6.6. Trajectoire	- Direction	thalweg vers le château d'eau
	- Obstacles	arbres
	- Présence de replats, fosses	restanques et blocs éboulés
6.7. Probabilité de propagation	élevée jusqu'au château d'eau et aux habitations	
7. Types de parades éventuelles	abattage, ancrages + filets	

Autre exemple de fiche plus synthétique :



Compartiment	C2
Phénomène	chute de bloc
Volume	2 m ³ (1,20 / 1,20 / 1,5)
Probabilité	élevé
Délai	moyen terme
Aléa rupture	moyen
Propagation	moyen / 7 m
Aléa résultant	moyen
Parade	ancrages

Compartiment	C3
Phénomène	chute de bloc
Volume	1,5 m ³
Probabilité	élevé
Délai	moyen terme
Aléa rupture	moyen
Propagation	moyen / 7 m
Aléa résultant	moyen
Parade	ancrages + purge ponctuelle

Annexe 6 - Points de vigilance pour la commande d'études trajectographiques

Définition (MEZAP, 2014) : « Les modèles trajectographiques à l'échelle du versant ont pour but la modélisation des trajectoires de blocs (...). Ces modèles présentent l'avantage de fournir non seulement les distances d'arrêt des blocs mais aussi de nombreuses informations concernant le fonctionnement du versant du point de vue de la propagation des blocs. Ce type de modèle permet de déterminer les axes principaux de passage, les zones potentielles d'accumulation et les distributions statistiques des hauteurs et énergies cinétiques des blocs lors de leur passage en tout point du versant. Ces informations sont essentielles au choix, au positionnement et au dimensionnement d'ouvrages de protection ainsi qu'à la vérification d'ouvrages en service après modification des caractéristiques d'un versant. »

Objectifs, scénarios, modèles

Les objectifs de l'étude peuvent être le dimensionnement d'un ouvrage, un zonage ou la sécurisation d'un itinéraire.

En fonction de cet objectif, on distingue plusieurs niveaux d'analyses, depuis l'étude urgente et/ou à moindre coût (approche simplifiée), jusqu'à l'étude la plus complète possible des relevés de terrain et des simulations plus longs/complexes (approche complexe). Si les données disponibles et le coût (et/ou temps) d'étude le permettent, les résultats attendus de l'étude sont des statistiques sur les hauteurs de passage, énergies ou points d'arrêt suite aux N simulations menées, afin de permettre l'estimation :

- des probabilités d'atteinte selon des classes (par exemple 10^{-2} , 10^{-4} , etc. cf. annexe 4) ;
- des énergies et hauteurs de passage en des points donnés, pour le dimensionnement des ouvrages (voir par exemple EOTA 2018).

Dans le cas d'un dimensionnement d'ouvrage, on s'intéresse en particulier aux hauteurs et énergies aux points d'implantation ; dans le cas d'un zonage, aux points d'arrêt.

Ces statistiques sont obtenues pour les scénarios représentatifs. Chaque scénario est caractérisé par un jeu d'hypothèses : une zone de départ géographiquement limitée, un/des type(s) de sol le long de la zone de propagation, les caractéristiques des projectiles (masse, matériau, forme initiale, etc.), les caractéristiques mécaniques des matériaux du versant, voire la possibilité des blocs de se fragmenter (si oui comment), etc.

Pour chaque scénario, les résultats statistiques peuvent être obtenus à partir de N simulations pour chaque jeu de données d'entrée (points de départ, masse ou volumes, etc.), en respectant des domaines de variation, en fonction des observations de terrain. On peut distinguer les codes où chaque simulation est :

- déterministe : la propagation et les paramètres du modèle de rebond sont uniques pour chacune des N simulations ;
- aléatoire (ou stochastique) : d'un jeu de données initial moyen sont engendrées N réalisations de variables aléatoires, modélisant par ex. les paramètres du modèle de rebond, suivant des lois de probabilité fixées.

Le modèle trajectographique dépend en outre de différents paramètres à préciser (cf. livrables de l'étude).

Cas d'une approche complexe : en 2 ou 3 dimensions (2D/3D) et modèle numérique de terrain (MNT)

Une étude trajectographique requiert des données sur la géométrie du terrain, souvent sous la forme d'un modèle numérique de terrain (MNT, 2D ou 3D). La résolution du MNT doit être adaptée en fonction de la taille du bloc et des variations locales de la topographie (cf. Dorren, 2003, Lambert et al., 2013). Le BE précise s'il utilise un code trajectographique 2D ou 3D, car les résultats sont sensibles à la résolution du MNT.

Par rapport aux modèles en 3D, les modèles en 2D, moins coûteux en temps de calcul, permettent si besoin une représentation plus fine du profil et des ruptures de pente. Mais il est souvent utile de prévoir plusieurs modélisations 2D correspondant à plusieurs couloirs présentant des profils différents ou des profils en biais (dans des scénarios).

Analyse et présentation des résultats statistiques

Pour chaque scénario, N simulations sont produites et conduisent à des distributions de « grandeurs de sortie » : hauteurs de passage et énergies en certains points, points d'arrêt. Pour un scénario donné, les descripteurs statistiques sont la moyenne (m), l'écart type (s), des fractiles à 95 ou 99 %, éventuellement la fonction de répartition (CDF), pour le nombre N^* de blocs atteignant la zone cible où l'on veut déterminer des hauteurs de passage et/ou énergies. En général $N^* \ll N$, car

un nombre réduit N^* de blocs atteint cette zone cible.

En théorie, il est nécessaire de vérifier la convergence numérique des estimateurs (m, s, fractiles et CDF) en fonction de N^* . Pour justifier une probabilité faible de l'ordre de 10^{-k} (avec un coefficient de variation de 10 %), $N^* = 10^{k+2}$ simulations sont usuellement nécessaires (Lemaire et al., 2005). Par ex. $P_f = 10^{-3}$ implique au moins $N^* = 10^5 < N$.

Dans la pratique, le nombre de simulations pour l'étude de convergence reste à l'appréciation de l'expert, en fonction du temps et de la précision de calcul, des hypothèses sous-jacentes. Une tendance est que ce nombre N^* augmente rapidement pour au moins estimer m puis s. En revanche, la probabilité cible sera soumise à l'avis d'expert.

À partir de ces considérations, on formule deux remarques :

i) Les maxima (hauteurs, énergie, distances) doivent être considérés avec précaution :

- tout d'abord, il convient de vérifier qu'ils correspondent bien à un cas probable et qu'il n'y a pas d'anomalie numérique (valeurs aberrantes pouvant être écartées) ;
- si les maxima sont retenus, ceux-ci n'ont pas la même pertinence statistique qu'un fractile à 95 %. En effet, les maxima requièrent un nombre N^* plus important pour justifier une convergence numérique. Il convient d'appliquer des facteurs de sécurité aussi bien aux fractiles qu'aux maxima. Les valeurs des facteurs ne sont à ce jour pas normalisées et dépendent des experts en charge de l'étude.

ii) Les valeurs associées aux hauteurs de passage et énergie (maxima ou 95 %) sont parfois prises en compte concomitamment sans faire de lien entre les deux distributions, notamment pour le dimensionnement des merlons. Pourtant, les blocs passant le plus haut ne sont pas nécessairement ceux ayant l'énergie cinétique la plus élevée, la concomitance est bien moins probable que de considérer deux événements différents.

Les résultats statistiques issus des trajectographies 2D et 3D sont différents et à interpréter avec précaution :

- en 2D, toutes les statistiques sont rassemblées sur une ligne de propagation ;
- en 3D, la dispersion latérale devient possible, et implique un nombre de simulations N accru pour atteindre la convergence numérique visée sur la zone cible (N^* suffisamment grand).

Influence de la zone de départ modélisée : attention à certains codes qui estiment une « probabilité de propagation ». Celle-ci peut être dépendante de l'étendue de la zone de départ des blocs. Cette estimation n'est alors plus objective et doit être multipliée par une fréquence de départ (cf. section du CCTP sur l'aléa de départ).

Cas d'une approche simplifiée : En cas d'urgence ou de pré-étude à moindre frais, un relevé topographique sommaire (à défaut d'un MNT) peut être utilisé et suffisant pour construire la géométrie de quelques profils de propagation, identifiés sur le terrain. Une attention particulière est néanmoins portée aux ruptures de pente, replats ou obstacles qui peuvent avoir une forte incidence sur la propagation.

Cas de falaises superposées ou dont les cônes de déjection se superposent : Dans le cas particulier de plusieurs zones sources, il peut être nécessaire que les simulations soient conduites séparément puis que les résultats des simulations soient agrégés.

Livrables de l'étude trajectographique

À l'issue de son étude, il est nécessaire que le BE fournisse plusieurs documents (cf. MEZAP, 2014), entre autres :

- une note d'hypothèses où il décrit et justifie les moyens mis en œuvre, le relevé de terrain - avec un éventuel MNT, d'une résolution donnée -, la dimension de la modélisation (2D/3D) ;
- la notice du logiciel utilisé : version, principes, déterministe ou non, limites/domaine de validité : fragmentation ou non, modélisation des impacts..., panel d'études déjà menées. Les formules et éventuelles lois de probabilité utilisées, les paramètres de simulation retenus et statistiques (moyennes, écarts types, etc.) doivent être en cohérence avec les objectifs de l'étude ;
- le jeu de données physiques et mécaniques intégrées au code : masses, volumes, type de sol, etc.;
- une note de calcul présentant les calculs trajectographiques, a minima la coupe d'un couloir préférentiel, les résultats de ses simulations et son analyse.

Le Maître d'ouvrage est par ailleurs en droit de demander s'il existe une part d'incertitude relevant de l'opérateur.

Références

EOTA. Falling Rock Protection Kits. EAD 340059-00-0106, 2018/C 417/07. 2018 (anciennement ETAG 27).

Guides et recommandations

Guide technique LCPC (2004) «Les études spécifiques d'aléa lié aux éboulements rocheux».

MEZAP (2014). Proposition d'une note technique à l'attention des Services Déconcentrés de l'État en charge des procédures PPRn. Méthodologie de l'élaboration du volet « aléa rocheux » d'un PPRN. Rédaction du groupe de travail MEZAP du Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'énergie. Version du 21/01/2014.

Autres références

Lemaire M., Chateauneuf A., Mitteau J.P. Fiabilité des structures. Hermès, 2005.

Lambert, S., Bourrier, F. (2013). *Design of rockfall protection embankments: a review*, Engineering geology, Vol. 154 (28), p. 77-88, Doi: 10.1016/j.enggeo.2012.12.012.

Dorren, L.K.A., 2003. A review of rockfall mechanics and modelling approaches. *Progr. Phys. Geog.* 27(1): 69-87.

Rapport C2ROP 2019 - Tranche3, Action A3.1 : Benchmark des logiciels trajectographiques.

Annexe 7 - Références

Le Maître d'ouvrage rappellera dans chaque cahier des charges les documents de référence de l'étude et se prononcera sur l'application de ces références.

Liste des documents auxquels le Maître d'ouvrage peut se référer :

- Les études spécifiques d'aléa lié aux éboulements rocheux, Guide technique, LCPC, collection environnement / les risques naturels, ISSN 1151-1516, juin 2004
- Versants rocheux, phénomènes, aléas, risques et méthodes de gestion, guide pratique, Ministère de l'écologie du développement durable et de l'énergie, décembre 2014
- Norme NF P94-500, Missions d'ingénierie géotechnique, classification et spécifications 30 novembre 2013
- Prise en compte du paysage dans les protections contre les chutes de matériaux rocheux, Guide technique, IFSTTAR, collection techniques et méthodes, ISSN 2492-5438, mai 2016
- Ecrans de filet pare-blocs dynamiques, recommandations pour leurs spécifications, note d'information, Cerema, collection connaissances, août 2014
- Norme NF 95-308, Equipements de protection contre les éboulements rocheux, Ecrans de filets, AFNOR, ISSN 0335-3931, décembre 1996
- Protection contre les instabilités rocheuses – Dimensionnement et exécution des boulons, guide méthodologique, Cerema, collection Références, ISSN 2276-0164, juin 2017
- Protection contre les risques naturels – Ancrages passifs en montagne : conception, réalisation, contrôle, guide technique, MEDD – CEBTP – CEMAGREF, mai 2004
- MEDE/MEZAP (2014). Proposition d'une note technique à l'attention des Services Déconcentrés de l'État en charge des procédures PPRn. Méthodologie de l'élaboration du volet « aléa rocheux » d'un PPRN. Rédaction du groupe de travail MEZAP du Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'énergie. Version du 21/01/2014.
- Recommandations et guides C2ROP (éd. Cerema, 2020) :
 - Glossaire du risque rocheux
 - Caractérisation de l'aléa éboulement rocheux : État de l'art
 - Prise en compte des risques rocheux par les Maîtres d'ouvrage gestionnaires d'infrastructures : Recommandations

© 2021 - Cerema

Cerema - Climat & territoires de demain

Le Cerema est un établissement public qui apporte un appui scientifique et technique renforcé dans l'élaboration, la mise en œuvre et l'évaluation des politiques publiques de l'aménagement et du développement durables. Centre de ressources et d'expertise, il a pour vocation de produire et de diffuser des connaissances et savoirs scientifiques et techniques ainsi que des solutions innovantes au cœur des projets territoriaux pour améliorer le cadre de vie des citoyens. Alliant à la fois expertise et transversalité, il met à disposition des méthodologies, outils et retours d'expérience auprès de tous les acteurs des territoires: collectivités territoriales, services de l'État et partenaires scientifiques, associations et particuliers, bureaux d'études et entreprises.

Toute reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement du Cerema est illicite (loi du 11 mars 1957). Cette reproduction par quelque procédé que se soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

Coordination et suivi d'édition › Cerema Infrastructures de transport et matériaux, Département de la valorisation technique, Pôle édition multimédia.

Mise en page › Cerema

Illustration couverture › © CD 73

Février 2021

ISBN : 978-2-37180-502-6

ISSN : 2276-0164

Téléchargement Gratuit

Éditions du Cerema

Cité des mobilités

25 avenue François Mitterrand

CS 92 803

69674 Bron Cedex

Pour commander nos ouvrages › www.cerema.fr

Pour toute correspondance › bventes@cerema.fr

www.cerema.fr › Nos publications

La collection « Références » du Cerema

Cette collection regroupe l'ensemble des documents de référence portant sur l'état de l'art dans les domaines d'expertise du Cerema (recommandations méthodologiques, règles techniques, savoir-faire...), dans une version stabilisée et validée. Destinée à un public de généralistes et de spécialistes, sa rédaction pédagogique et concrète facilite l'appropriation et l'application des recommandations par le professionnel en situation opérationnelle.

Notice d'accompagnement à destination des Maîtres d'ouvrage pour l'élaboration d'un cahier des charges techniques pour la réalisation d'études de l'aléa éboulement rocheux et la définition de travaux

Dans le cas d'aléas naturels de type éboulements rocheux susceptibles de menacer des personnes et des biens, il convient de réaliser des études spécifiques visant à définir au mieux mesures de mitigation, dont les parades de protections à mettre en place.

Le présent guide, à destination des Maîtres d'ouvrage, propose un cadre méthodologique permettant l'élaboration d'un cahier des charges adapté à ce type de mission. Il est composé d'un cahier des clauses techniques particulières type ainsi que d'une notice d'accompagnement destinée à en faciliter la lecture et l'élaboration. Il s'inspire de la norme NF P94-500 relative aux missions d'ingénierie géotechniques, les 5 étapes clés d'une étude de l'aléa éboulement rocheux et la définition de travaux : la définition de l'étude d'aléa (chapitre 2), l'étude détaillée de l'aléa résultant (chapitre 3), l'étude des parades possibles (chapitre 4), le dimensionnement de la solution de parade retenue (chapitre 5), la supervision du suivi d'exécution (chapitre 6). Les nombreux exemples et recommandations présentés dans la notice d'accompagnement permettront à chaque Maître d'ouvrage d'ajuster le cahier des charges au plus près de ses enjeux et de ses besoins.

Sur le même thème, les autres publications du Projet C2ROP

Axe Aléas

Glossaire du risque rocheux

Caractérisation de l'aléa éboulement rocheux : État de l'art

Axe Parades

Merlons pare-blocs : Recommandations pour la conception, le suivi de réalisation et la maintenance

Les Ouvrages Déflecteurs : Guide technique

Surveillance instrumentale pour la gestion du risque rocheux : Guide technique

Axe Risque

Prise en compte des risques rocheux par les Maîtres d'Ouvrage gestionnaires d'infrastructures : Recommandations

Cahier des charges type pour l'étude de l'aléa éboulement rocheux et la définition des travaux

Cahier des charges type pour les travaux de protection contre les éboulements rocheux

Mémento des ouvrages de protection contre les éboulements rocheux : Maintenance et Coûts

Aide à la formalisation de retours d'expérience à la suite d'un événement rocheux sur infrastructures

de transport : Note méthodologique

Aménagement et cohésion des territoires - Ville et stratégies urbaines - Transition énergétique et climat - Environnement et ressources naturelles - Prévention des risques - Bien-être et réduction des nuisances - Mobilité et transport - Infrastructures de transport - Habitat et bâtiment

Téléchargement Gratuit

ISSN : 2276-0164

ISBN : 978-2-37180-502-6



Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement - www.cerema.fr

Infrastructures de transport et matériaux - 110 rue de Paris - 77171 Sourdun - Tél. +33 (0)1 60 52 31 31

Siège social : Cité des mobilités - 25, avenue François Mitterrand - CS 92 803 - F-69674 Bron Cedex - Tél. +33 (0)4 72 14 30 30