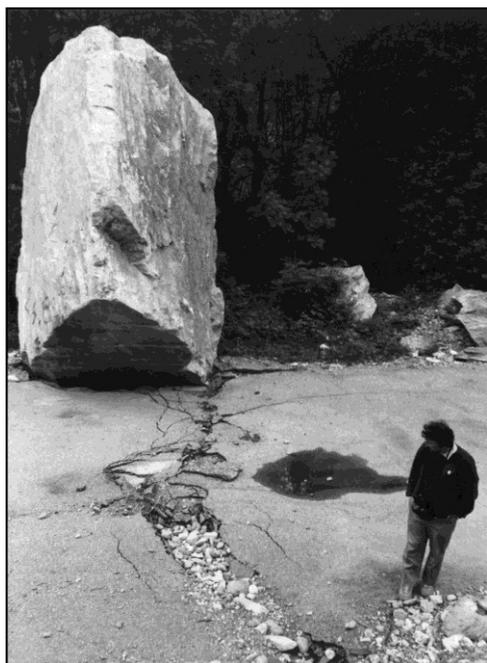


Projet National C2ROP

Chutes de blocs, Risques Rocheux & Ouvrages de Protection



Coordination :

Jacques MARTIN, Directeur EGIS
François NICOT, Directeur de
recherche IRSTEA
Brice DELAPORTE, IREX
Marion PIERINI, INDURA
Franck GAUTHERON, INDURA

Groupe de montage :

Luc BOUTONNIER, EGIS ; Franck BOURRIER, IRSTEA ; Philippe ROBIT, GTS ; David RIMAILHO, IMSRN ; Pierre PLOTTO, IMSRN ; Pierre GUILLEMIN, CEREMA ; Lucas MEIGNAN, GEOLITHE ; Magali HUTEAU, SNCF ; Florence BELUT, SNCF ; Anne-Gaëlle RUIZ, SNCF ; Valentin LE BIDAN, CG38 ; Françoise ZANOLINI, PARN ; Hugo RAVEL, SYSTRA ; Renaud ENGLISH-MARTIN, SYSTRA ; François TOUTLEMONDE, IFSTTAR ; Frédéric DONZE, 3SR ; Stéphane LAMBERT, IRSTEA ; Vincent BOUDIERES, PARN ; Eric DIMNET, IFSTTAR ; Pascal VILLARD, 3SR ; Ali LIMAM, LGCIE ; Philippe GOTTELAND, FNTP ; Didier HANTZ, ISTerre ; Arthur BAZIN, CG74 ; David BERTRAND, LGCIE ; Mickael BRUN, LGCIE ; Gérald FESQUET, EGIS ; Anne-Sylvie GAUSSIN, CG05 ; Denis JONGMANS, ISTerre ; Bruno MAZARE, EGIS ; Laurent MUQUET, IMSRN ; Florent GAUTHIER, Cluster Montagne ; Anne LESCURIER, CG73, Jean-Marc BOUCLIER, CG06 ; Nicolas POLLET, SNCF ; Julien LORENTZ, IMSRN ; Virginie WILLAERT, EGIS ; Nicolas PLUSQUELLEC, SYSTRA ; Vilma ZUMBO, SYSTRA

I	Introduction et éléments de contexte	3
I.1	Problématique.....	3
I.2	Les grands verrous scientifiques du projet.....	3
I.3	Cadre du projet.....	5
I.4	Structure du projet.....	5
I.4.1	Identification de l'aléa.....	5
I.4.2	Gestion des risques et aide à la décision.....	5
I.4.3	Parades.....	5
I.5	Ce qu'il convient de retenir : les fondements du projet.....	6
II	Contenu scientifique et technique	7
II.1	Connaissance et reconnaissance de l'aléa.....	9
II.1.1	A1 Aléa de départ.....	9
II.1.2	A2 Sensibilité de l'aléa déclenchement aux incertitudes et au changement climatique.....	13
II.1.3	A3 Aléa de propagation.....	16
II.1.4	A4. Groupes de travail.....	20
II.2	Gestion du risque et aide à la décision.....	22
II.2.1	R1 Collecte de données.....	23
II.2.2	R2 Expérimentation.....	24
II.2.3	R3 Modélisation.....	25
II.2.4	R4 Guides et recommandations.....	29
II.3	Parades.....	32
II.3.1	P1 Guides et recommandations.....	32
II.3.2	P2 Expérimentation.....	35
II.3.3	P3 Modélisation.....	39
II.3.4	P4 Nouveau concept.....	41
III	Stratégies de valorisation	44
III.1	Site Web.....	44
III.2	Guides méthodologiques et recommandations.....	44
III.3	Guides techniques.....	45
III.4	Notes techniques.....	46
III.5	Outils.....	47
III.6	Congrès.....	47
III.7	Publications techniques et scientifiques.....	47
III.8	Stratégie de valorisation nationale et à l'international.....	47
IV	Éléments d'organisation et de gouvernance	49
IV.1	Périmètre du partenariat.....	49
IV.2	Éléments de Gouvernance et de fonctionnement.....	49
IV.3	Analyse de risque, forces et faiblesses.....	51
V	Éléments budgétaires	52
V.1	Budget du projet.....	53
V.2	Scénarios de financement.....	56
VI	Planning prévisionnel	56
VII	Annexes	59
VII.1	Annexe 1 : Liste des sigles et acronymes.....	59
VII.2	Annexe 2 : Liste non exhaustive des partenaires potentiels du Projet.....	59

I INTRODUCTION ET ELEMENTS DE CONTEXTE

I.1 Problématique

Les infrastructures routières et ferroviaires ont de tout temps représenté un intérêt stratégique vital pour l'essor du pays. En zones de montagne, ces voies de communication sont exposées à des risques gravitaires qui peuvent entraîner leur fermeture occasionnelle ainsi que des dommages significatifs aux biens et aux personnes, avec des répercussions importantes sur les économies locales ou nationales. En effet, la position des massifs montagneux, souvent aux frontières nationales, ainsi que l'augmentation des échanges internationaux par rail et route y induisent la présence d'axes de communications de première importance, empruntés par des milliers de wagons ou camions chaque jour de l'année et par des centaines de milliers d'automobilistes lors des grandes migrations des vacances. L'attrait des zones montagneuses pour l'industrie des loisirs, hivernale, estivale et thermale, ainsi qu'une pression foncière de plus en plus soutenue tendent à accroître les risques encourus par les populations et infrastructures locales. De nombreux enjeux de notre société sont donc désormais installés dans des zones dites « à risque », l'aléa en montagne étant lié aux phénomènes gravitaires rapides, tels que les avalanches de neige et chutes de blocs. Face aux risques rocheux, les pouvoirs publics sont encore fréquemment démunis en matière de prévision, de prévention et de gestion de ces phénomènes naturels. A ceci s'ajoute la notion de vulnérabilité des structures et réseaux, face à laquelle les gestionnaires et décideurs sont là encore largement démunis.

Dans un contexte durable et avéré de changement climatique, on peut craindre une recrudescence des événements de chutes de blocs, effondrements, éboulements, glissements de terrain (2nd World Landslide Congress, 3-7 octobre 2011, Rome). D'une part, la limite pluie-neige est remontée en moyenne de 300 mètres au cours des dernières décennies ; et d'autre part la quantité des précipitations est restée constante, se caractérisant par une recrudescence d'événements violents marqués par un impluvium important et intense.

Par conséquent, il est devenu aujourd'hui urgent de **rassembler l'ensemble des acteurs du domaine** des risques rocheux, afin de proposer un cadre de travail et une plateforme de ressources opérationnelles intégrées, traitant à la fois de l'aléa (quantification, détection, prévision), de la vulnérabilité des enjeux (structures, ouvrages), et de la gestion du risque au travers d'ouvrages spécifiques de protection, permanents ou temporaires (dimensionnement, efficacité, sureté, vieillissement). Des travaux dans ces domaines ont déjà été menés (voir en fin de document), même s'ils ne constituent qu'une couverture parcellaire du champ. Aujourd'hui, on remarque au niveau national et notamment en milieu alpin, une forte mobilisation des ingénieurs, des politiques et des gestionnaires face au phénomène de chutes de blocs. Les questionnements qui demeurent, pour les Maîtres d'Ouvrages, les gestionnaires, les praticiens en charge de la gestion des risques rocheux, sont fondamentalement les mêmes indépendamment du territoire montagneux considéré. Actuellement, il ressort très nettement que les collectivités locales appellent à plus d'homogénéité dans les méthodes d'analyse et de diagnostic de l'aléa. De plus, la question de la gestion du patrimoine existant en termes de surveillance, d'entretien, de durée de vie et de réhabilitation reste au cœur des préoccupations de nombreuses collectivités locales. Rappelons également que la gestion et la protection des infrastructures routières et ferroviaires ont un impact économique au niveau national mais aussi international. L'attribution d'une **reconnaissance d'intérêt national offre ainsi la perspective d'ouverture de marchés sur le plan international**.

Une telle initiative n'a jamais été entreprise à l'échelle de notre territoire. Notre projet se propose de combler cette absence, en accordant une ouverture résolument nationale à une thématique qui au cours des dernières décennies a essentiellement fait l'objet de travaux dans un cadre de partenariats restreints.

I.2 Les grands verrous scientifiques du projet

L'analyse des aléas gravitaires, de quelque sorte que ce soit (éboulements, glissements, avalanches, etc.), du risque associé, et des méthodes de protection, revêt une complexité scientifique remarquable liée à la nature des matériaux engagés (matériaux du sol et du génie civil fortement hétérogènes, complexes, non associés, parfois composites, pouvant impliquer des fluides amortisseurs ou des

alliages à mémoire de forme etc.), des mécanismes associés (solicitation par impact, réponses dynamiques rapides, non-linéarités géométriques et matérielles, grandes déformations), et des phénomènes impliqués présentant une très forte variabilité spatiale et temporelle.

Les progrès académiques significatifs de ces dernières années dans les domaines de la mécanique (appliquée aux géomatériaux et aux structures), de la modélisation numérique et de l'investigation expérimentale en laboratoire ou in-situ, ouvrent des perspectives certaines pour des applications à la problématique des chutes de blocs. Les nouvelles méthodes de modélisation, comme par exemple la modélisation discrète, alliées aux méthodes de changements d'échelles, permettent désormais d'investiguer de manière pertinente le comportement des matériaux divisés (les géomatériaux le sont, de nombreuses structures de protection peuvent aussi être considérées comme telles dans une certaine mesure). Les puissances de calcul accessibles aujourd'hui rendent possible la conduite de simulations à des échelles fines, prenant en compte les mécanismes élémentaires fondamentaux, mais ouvrant sur des résultats pertinents à l'échelle de l'ingénieur. Notre capacité d'investigation expérimentale suit parfaitement cette déclinaison multi-échelle. Des équipements remarquables de laboratoire (le microtomographe en est un) donnent accès à une information élémentaire au cœur de la matière granulaire, corroborant et complétant ainsi les analyses numériques. Des installations sur site (site de Bar/Loup (06) dédié à l'analyse des structures cellulaires de type Gabion, projet ANR REMPARE) permettent d'explorer le comportement des ouvrages en vraie grandeur ; le site expérimental de Montagnole (73) en Savoie pour les structures composés de filets en est également une illustration parfaite.

En outre, la problématique de la rupture et des instabilités, au sein des ouvrages et des géomatériaux, a connu des progrès significatifs en proposant des cadres conceptuels de description ouvrant sur des outils qu'il est désormais pertinent d'utiliser dans un contexte d'ingénierie.

Enfin, le management des risques liés aux chutes de blocs, fondé sur une méthodologie qui reste à consolider (ISO31000 et ISO31010), rassemble des outils depuis l'identification jusqu'au suivi des risques pour quantifier le risque et ses incertitudes au travers de données chiffrées et donc objectives (vitesses, énergies ...) ou qualifiées et donc subjectives (occurrence, probabilité ...). Il faut appréhender les biais de jugement, expliciter les dires d'expert et anticiper les désordres, gérer la maintenance et les crises. Des notions très concrètes telles que les événements critiques redoutés, les barrières de prévention - protection - détection - réduction, la perception du risque, le coût soutenable, le risque résiduel acceptable ...) seront au cœur de notre programme de recherche, avec un souci applicatif et de valorisation permanent (outils d'analyse, guides méthodologiques, site de partage, etc.)

Ce Projet National, fort de son ancrage académique, se développera dans ce référentiel de connaissances. Dans ce contexte, il participera plus spécifiquement à engager des travaux de recherche opérationnelle sur les points suivants :

Techniques d'auscultation tri-dimensionnelle des escarpements rocheux.

Modélisation multi-échelle et multi-physique du comportement d'escarpements rocheux sous sollicitations climatiques.

Prise en compte de la nature du sol et de l'existence de peuplements forestiers dans l'analyse trajectographique des chutes de blocs.

Comportement des structures sous sollicitation multi impacts, capacité résiduelle en termes de tenue et d'énergie absorbée.

Méthode de dimensionnement analytique simplifiée des ouvrages en complément et/ou en alternative de la modélisation numérique fine.

Pathologies, durabilité, diagnostic, solutions de réparations.

Optimisation de la capacité dissipatrice d'énergie des ouvrages.

Quantification du risque résiduel et évolution sur le cycle de vie des structures de protection.

Vulnérabilité des infrastructures, physique d'une part et socio-économique et environnementale d'autre part.

Management du risque rocheux et concepts nouveaux d'analyse.

Dans chacune de ces rubriques, qui sont détaillées dans ce document, ce discours complémentaire entre l'investigation expérimentale et l'analyse numérique, décliné dans une logique multi-échelle, sera systématiquement mis en œuvre. L'investigation expérimentale constituera un maillon fondamental et structurant du projet. Les outils opérationnels, ou les connaissances et outils valorisables, sont explicités dans le chapitre suivant. Il convient d'indiquer que l'ensemble des

livrables sont détaillés à une échelle de granularité fine, après avoir eu soin d'écouter l'ensemble des partenaires (notamment les partenaires industriels) du projet.

Notons enfin qu'*in fine*, il s'agira de disposer d'indicateurs pour **prévoir** les phénomènes gravitaires rapides et **estimer leur dangerosité**, auxquels seront associés des **solutions de protection passive ou active** pour en garantir l'intégrité et la durabilité.

Une grande importance sera portée à la notion de la **résilience** (capacité d'un dispositif à récupérer un fonctionnement normal après un incident) afin d'aborder ce qu'il se passe après l'occurrence d'un aléa, afin de mettre en œuvre des procédures d'urgence répertoriées pour minimiser les délais de rétablissement et de sécurisation des équipements.

I.3 Cadre du projet

Le projet C2ROP porte sur les risques rocheux. Les risques rocheux diffèrent en fonction de l'intensité de l'aléa rocheux considéré (notamment en termes de volume rocheux mobilisé). Dans le cadre du projet, les acteurs se limiteront au cas des chutes de blocs. On entend par chutes de blocs l'ensemble des phénomènes d'instabilité rocheuse impliquant des volumes ne dépassant pas le millier de m³. Il ne sera pas abordé dans le cadre de ce projet les phénomènes d'éboulements en masse pour lesquels le volume rocheux impliqué et le nombre d'éléments rocheux le composant sont bien plus importants.

D'une part les phénomènes d'éboulements en masse font intervenir des mécanismes physiques différents relevant des écoulements granulaires. D'autre part, les chutes de blocs et leur gamme d'énergie cinétique associée, permettent de concevoir des parades (ouvrages de protection) afin de protéger les enjeux exposés. Le projet C2ROP se situe clairement dans cette logique d'action.

I.4 Structure du projet

Le projet se propose de rassembler les différents acteurs pour construire un ensemble de réponses concertées, pertinentes et génériques aux diverses questions posées. Nous retiendrons en particulier que l'analyse des besoins exprimés par les Maîtres d'Ouvrages, les gestionnaires d'infrastructures routières et ferroviaires, ou par les responsables de la sécurité, conduit à classer les attentes en trois volets, qui constitueront les axes structurants du projet :

I.4.1 Identification de l'aléa

- Caractérisation de l'aléa (probabilité de départ, mécanismes impliqués, volumes concernés)
- Méthodologie de zonage de l'aléa « chute de blocs et éboulements »
- Caractérisation et prévision de la propagation (taille et direction de l'éboulement ou chute de blocs)

I.4.2 Gestion des risques et aide à la décision

- Prise en compte de la vulnérabilité
- Cycle de vie des ouvrages et risque résiduel
- Outil d'aide à la décision pour la solution optimale
- Mise au point de nouveaux concepts concernant la gestion des risques

I.4.3 Parades

- Validation des dispositifs de protection existant vis-à-vis des aléas (quantifiés)
- Durée de vie, gestion et requalification du parc existant
- Techniques de défense provisoire, conception de techniques d'urgence

I.5 Ce qu'il convient de retenir : les fondements du projet

- ✓ **Ce projet se propose d'aborder de manière globale la problématique des risques rocheux en intégrant leur genèse (aléas), les stratégies globales de gestion du risque, et enfin les parades.**
- ✓ **Il s'agit de rassembler les éléments de connaissances et les outils à ce jour disponibles dans le domaine du risque rocheux, puis de 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 procédures techniques à mettre en œuvre.**
- ✓ **Cette connaissance et ces outils sont le socle fondamental du processus de gestion du risque associé, et à ce titre exigent donc leur prise en compte dans la démarche de recherche d'analyse globale du projet.**
- ✓ **Il convient de préciser que ce projet constitue une entreprise unique en France dans le domaine des risques rocheux en se proposant de rassembler l'ensemble des acteurs impliqués sur le territoire national afin de traiter dans sa globalité toute la problématique. Ce projet s'inscrit donc dans une réelle volonté de structuration et de fédération de la communauté.**
- ✓ **Son ancrage fort auprès des gestionnaires et Maîtres d'Ouvrages (CG, collectivités, gestionnaires de réseaux routiers et ferroviaires) garantit sa crédibilité, et sa capacité à supporter des actions de recherche qui permettront de lever les principaux verrous et donner accès à des outils, méthodes et référentiels techniques, attendus par toute la Profession.**

Le projet se doit avant tout de répondre aux questions opérationnelles posées par les praticiens, en charge de la gestion d'espaces et d'infrastructures exposées aux chutes de blocs (Maîtres d'Ouvrages). Les livrables seront donc construits dans cet objectif de réponses opérationnelles.

II CONTENU SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

Il convient de rappeler que ce projet n'abordera que les phénomènes rocheux (de type chutes de blocs ou éboulements) dans un registre de volumes pour lesquels une parade (active ou passive) demeure possible. Le cas des coulées boueuses (avec notamment une fraction solide importante) sera abordé dans l'axe traitant des parades, dans la mesure où il existe une proximité à la fois phénoménologique et dans la nature des ouvrages de protection considérés avec le cas strict des chutes de blocs.

Afin de faciliter la lecture de cette section, et offrir un aperçu global des actions qui seront entreprises, un synoptique de synthèse soulignant les lignes de force du projet et leurs liens organiques est proposé. Les tableaux qui suivent récapitulent l'ensemble des actions envisagées pour chacun des axes : aléas, gestion des risques, parades.

Le corps de cette section se compose de la description sommaire des différentes actions, précédée d'un schéma organique de synthèse. Cette description comporte la nature des travaux envisagés, les acteurs mobilisés, ainsi que les résultats attendus. On soulignera le fait que la sélection de l'ensemble des travaux qui sont envisagés est issue d'un travail collectif animé par une équipe de coordination rassemblant les différentes composantes de la profession. Cette méthode opératoire a permis de dégager des pistes de travail dont les livrables s'inscrivaient dans une réelle volonté de progrès opérationnel.

Coordination

Connaissance et reconnaissance de l'aléa

- Aléa de départ
- Changement climatique et aléa
- Aléa de propagation
- Groupes de travail

Parades

- Guides et recommandations
- Expérimentations sur les ouvrages
- Modélisations
- Conceptions de kits d'urgence

Gestion du risque et aide à la décision

- Collecte de données
- Expérimentation
- Modélisation
- Guides et recommandations

Valorisation

- Série de publications « Risques gravitaires », Iste-Wiley
- Cycle de workshops dédiés à la thématique C2ROP
- Plateforme d'échanges Web pour la Communauté de Pratiques
- Valorisation nationale et à l'international

II.1 Connaissance et reconnaissance de l'aléa

Axe	Thème	ID de l'action	Action
Aléa	A1 : Aléa de départ	A1.1	Quantification de l'aléa diffus Tranche 1 : initiation des mesures
		A1.2	Quantification de l'aléa localisé Tranche 1 : sélection des sites, démarrage des mesures
		A1.3	Nouvelles méthodes expérimentales de mesure de l'aléa localisé Tranche 1 : sélection des sites, démarrage des mesures
	A2 : Sensibilité de l'aléa déclenchement aux incertitudes et au changement clim.	A2.1	Modélisation de l'aléa climatique déclencheur Tranche 1 : Collecte des données, simulations des signaux synthétiques de climat
		A2.2	Evolution de l'occurrence des événements extrêmes Tranche 1 : Démarrer les recherches d'évènements extrêmes éboulements
	A3 : Aléa de propagation	A3.1	Benchmark logiciels trajectographiques Tranche 1 : Choix des sites
		A3.2	Prise en compte de la variabilité et de l'incertitude des paramètres de terrain sur l'estimation de l'aléa propagation
		A3.3	Prise en compte du couvert forestier dans l'aléa de propagation
		A3.4	Modélisation des éboulements (avalanche rocheuse) de faibles volumes, inférieurs au millier de m³
		A3.5	Quantification de l'aléa résultant sur voie de communication Tranche 1 : Choix des sites
	A4 : Groupes de travail	A4.1	Evaluation de l'aléa Tranche 1 : démarrage en fonction des synthèses des actions aléa
		A4.2	Zonage de propagation Tranche 1 : démarrage en fonction des synthèses des actions aléa

II.1.1 A1 Aléa de départ

II.1.1.1 A1.1 Quantification de l'aléa diffus

Objectif	Quantifier une fréquence de départ de bloc en fonction du volume
Moyens	Mesure sur différents type de falaises (Lidar et photogrammétrie à différentes dates) pour donner des calages dans différents contextes géologiques et météorologiques
Livrable	Base de donnée productivité des falaises, proposition d'une méthodologie pour la définition de l'aléa de départ à prendre en compte (donnée entrée analyse trajectographique)
Tranche 1	Démarrage des mesures
Partenaires	ISTerre, Alp'géorisques, SAGE, CG38, SNCF, GeoRessources Nancy, I2M Bordeaux, CETRA
Animateur	D. Hantz, Isterre

La fréquence d'impact résulte de la fréquence de rupture, actuellement évaluée qualitativement, et de la probabilité de propagation. L'objectif est d'évaluer quantitativement la fréquence de rupture, ce qui rendra possible l'évaluation quantitative de la fréquence d'impact (aléa résultant, action A3.5) et du risque. L'influence des facteurs météorologiques sur la fréquence de rupture sera également étudiée, ce qui permettra la modélisation de l'influence du changement climatique (objet de l'action A2.1).

Tâche 1. Détermination de la fréquence spatio-temporelle des éboulements pour des formations géologiques typiques (ISTerre)

La fréquence spatio-temporelle d'éboulement (par unité de surface de paroi et par unité de temps) sera déterminée pour une plage de volumes comprise entre 10^{-1} m^3 et 10^6 m^3 , en s'appuyant sur les bases de données historiques des MOa (cf. action R1.1) pour les plus gros événements ($> 100\text{-}1000 \text{ m}^3$) et sur des mesures par scanner laser (LiDAR) ou photogrammétrie pour les plus petits. Depuis 2009, le laboratoire ISTerre, en collaboration avec l'université de Lausanne, effectue régulièrement des relevés LiDAR terrestres, qui permettent de détecter à posteriori et de quantifier les éboulements. Pour les formations géologiques les plus actives (calcaires lités), 3 années de mesures ont permis d'établir une relation significative entre la fréquence et le volume éboulé (Guerin et al, 2014). Pour les formations moins actives (calcaire massif, gneiss, ...), quelques années supplémentaires sont encore nécessaires pour obtenir des résultats significatifs. Le premier objectif de cette action est de poursuivre ces mesures. Pour cela, nous devons financer des missions pour les mesures Lidar ou photogrammétriques ainsi que des logiciels de traitement. De plus, l'influence des facteurs météorologiques sur la fréquence des éboulements pourra être étudiée grâce à un suivi météorologique et photographique continu d'une falaise de calcaire lité. Ce type de suivi sur un site pilote permet d'obtenir des données plus précises en termes de volume d'évènement et d'heure d'occurrence, que celles recueillies par les MOa.

Tâche 2. Etude de la blocométrie des éboulements (ISTerre, I2M, CETRA)

La modélisation de la propagation des éboulements nécessite de connaître la taille des blocs individuels qui dévalent le versant. Le second objectif de cette action est de proposer une méthode pour connaître la distribution des blocs d'un éboulement, en fonction de leur volume. Cette méthode devra s'appuyer sur l'analyse structurale du massif rocheux (Assili et al., 2014) et sur l'expérience acquise sur des massifs similaires (relevé de blocs sur les versants, Hantz et al., 2014). Ces travaux seront effectués avec l'aide d'un stagiaire, et porteront sur différents sites d'éboulement alpins et pyrénéens, ainsi que sur les données disponibles auprès des MOa (action R1.1).

Tâche 3. Etablissement d'une classification des parois rocheuses en fonction de leur fréquence d'éboulement (ISTerre, Alp'Géorisques)

Cette classification permettra d'estimer la fréquence spatio-temporelle de chutes (fonction du volume) dans une paroi rocheuse en fonction de ses caractéristiques géologiques/géotechniques propres et de son environnement. Elle permettra donc d'identifier les zones de falaises présentant une plus grande propension à l'occurrence d'évènements et donc une priorisation des actions et moyens. Elle sera établie à partir des résultats de la tâche 1. Les caractéristiques géologiques retenues concerneront principalement la structure, la résistance et l'altérabilité du massif rocheux. L'environnement de la paroi sera caractérisé par des paramètres climatiques (températures, précipitations, gel), sismiques, hydrologiques (bassin versant en amont, affouillement en pied) et morphodynamiques (érosion des niveaux sous-jacents). Ce travail sera l'objet d'un post-doc de 6 mois.

Tâche 4. Comparaison de la méthode quantitative proposée avec les méthodes qualitatives utilisées couramment (GeoRessources, ISTerre, Alp'Géorisques, SAGE, IRSTEA, I2M, CETRA, CG38)

La méthode quantitative proposée pour évaluer l'aléa résultant, sera comparée aux méthodes actuellement appliquées dans le cadre du zonage réglementaire (Plans de Prévention des Risques). Il s'agit, sur au moins deux sites, de comparer l'évaluation de l'aléa selon différentes méthodes, mais aussi de comparer avec celle donnée par des étudiants (niveau ingénieur-master, peu expérimentés, et niveau doctorat, un peu plus expérimentés) afin d'étudier l'influence du niveau d'expertise et l'influence du site. L'analyse sera menée par la méthode de l'analyse de la variance et l'expérimentation obéira à un protocole déjà élaboré par le laboratoire GeoRessources (Delonca et al., 2013). L'expérimentation requérant la mobilisation de plusieurs experts (ingénieurs et chercheurs) ainsi que celle d'étudiants, des frais de missions seront engagés.

Résultats attendus

L'approche proposée permettra une évaluation véritablement quantitative de l'aléa de rupture et par conséquent, de l'aléa résultant (fréquence d'impact sur un enjeu) et du risque.

Pour permettre aux bureaux d'étude de l'utiliser, une classification des parois rocheuses permettra d'estimer la fréquence spatio-temporelle d'éboulement (nombre de chutes par siècle en fonction du volume) en fonction des caractéristiques géologiques et de l'environnement de la paroi. Une méthode simple permettra d'en déduire le nombre et la taille des blocs à introduire dans les logiciels de trajectographie pour modéliser le comportement d'un versant durant une certaine période et en déduire la fréquence d'impact. Cette approche quantitative pourra également être utilisée avec la méthode simplifiée de la ligne d'énergie.

II.1.1.2 A1.2- Quantification de l'aléa localisé

Objectif	Confrontation de différentes approches de caractérisation de l'aléa localisé (zone à risque bien identifiée et localisée) sur des sites de référence instrumentés et bien documentés
Moyens	Instrumentation de sites, accès à des données et analyses antérieures, évaluation de l'aléa par différents organismes (BE, laboratoire de recherche,...)
Livrable	Dépouillement et analyse des différentes approches et des écarts entre méthodes, analyse des écarts entre prédictions et mesures
Tranche 1	Choix des sites, démarrage des mesures
Partenaires	ARMINES-Centre de Géosciences, INERIS, CEREMA (Dter-SO), IFSTTAR, Université Bordeaux 1, I2M GCE, Gef (L2G), bureaux d'études
Animateur	R. Fabre (mesures) Université de Bordeaux / BE ingénierie (dépouillement)

Les travaux à réaliser dans le cadre de ce projet concernent l'élaboration d'une méthodologie d'évaluation de l'aléa versants rocheux (escarpements) et falaises sous-cavées, avec analyse des instabilités sur site d'escarpement naturels (expérimental).

La méthodologie proposée se veut opérationnelle et devra donc permettre de décrire précisément quelles prédispositions (à l'aléa versant rocheux sous-cavé) et intensité choisir selon la configuration rencontrée. Il s'agit donc de définir les critères permettant une meilleure cartographie de l'aléa « falaise sous-cavée », mais aussi de l'aléa escarpement rocheux.

Dans un premier temps, il s'agit d'identifier, à partir de configurations recensées et de l'analyse expérimentale ou de retours d'expériences, des cas de figure : a) d'un escarpement rocheux naturel ; b) d'escarpement ou falaise rocheuse avec facteur aggravant. Par exemple, le facteur aggravant pourra être lié à la présence d'une cavité souterraine naturelle ou anthropique dans le versant rocheux ; dans ce cas, le rôle du facteur aggravant falaise-sous-cavée sera quantifié.

Les conditions d'apparition des éboulements ou de chutes de blocs avec ou sans facteur aggravant sera étudié.

L'analyse sera mise en œuvre sur quatre sites dont deux sites de versants rocheux sous-cavés et un (ou deux) sites de versants rocheux très escarpés. Le type de données disponibles sera le suivant :

- escarpement rocheux : analyse structurale et diagnostic de l'aléa à partir d'un suivi d'images acquises avec un aéronef télépiloté (drône) et éventuellement d'autres techniques ;
- falaise sous-cavée : analyse à partir des données acquises antérieurement (synthèse des travaux de recherche) et de diagnostic.

Les critères d'évaluation et les méthodologies seront comparés à travers l'organisation d'un benchmark. Les outils et démarches utilisés pourront être très variés : par exemple modélisation géométrique 3D d'un réseau de discontinuités par le logiciel SIMBLOC, analyse structurale avec le logiciel APHELION (traitement des images), etc.

C'est l'analyse et la synthèse des différents résultats qui aboutira à une proposition de méthodologie.

La méthodologie retenue au final devra en particulier permettre de progresser sur :

- l'estimation des volumes de départ ;
- l'estimation des facteurs déclenchant l'évènement (eau, gel, radoucissement progressif des joints par rupture d'épentes, etc.).

Résultats attendus

Etat des connaissances relatif à l'aléa des escarpements rocheux et des falaises sous-minées. Présentation des résultats du benchmark et proposition d'une méthodologie. Contribution à un document de synthèse des travaux de recherche effectués sur le thème de l'aléa de rupture dans les deux cas.

II.1.1.3 A1.3 - Nouvelles méthodes expérimentales de mesure de l'aléa localisé

Objectif	Améliorer les méthodes de mesures permettant de caractériser l'aléa localisé
Moyens	Réponse dynamique au bruit de fond sismique, photogrammétrie avec logiciels d'analyse structurale
Livrable	Evaluation de la pertinence des approches. Les conclusions seront intégrées au guide méthodologique évaluation de l'aléa
Tranche 1	Choix des sites, démarrage des mesures
Partenaires	ISTerre, SAGE, 3SR, SNCF
Animateur	D. Jongmans (ISTerre)

L'objectif est d'améliorer les performances de la modélisation des parois rocheuses grâce à une reconnaissance photogrammétrique de leur surface, et une reconnaissance sismique de leur structure interne (réponse dynamique au bruit de fond sismique), afin d'améliorer l'évaluation de la stabilité et de son évolution, et d'optimiser le confortement.

Reconnaissance photogrammétrique

La reconnaissance photogrammétrique (ou lasergrammétrique) a pour objectif de modéliser la surface de la paroi, d'identifier les principales familles de discontinuités qui découpent le massif et d'obtenir des informations sur leur persistance et leur fréquence. Pour cela, différents logiciels seront utilisés de façon complémentaire : Gaïa, développé par la SNCF (Assili et al., 2014), Siromodel (CSIRO), Coltop3D (Terranum).

Reconnaissance sismique

La réponse dynamique d'un compartiment rocheux au bruit de fond sismique dépend de sa géométrie, de ses caractéristiques mécaniques (module d'Young, masse volumique...) et de son couplage à la paroi (persistance des discontinuités qui le séparent de celle-ci) (Levy et al., 2010, 2011 ; Bottelin et al., 2013a et b). La mesure de cette réponse (notamment la fréquence de résonance et l'amortissement) permettra de contraindre ces paramètres qui sont généralement mal connus, et donc d'établir un modèle géomécanique plus performant que ceux existant actuellement. En pratique, pour une géométrie donnée, un compartiment proche de la rupture se caractérisera notamment par une fréquence de résonance plus faible. La méthode proposée doit être validée sur des cas où les limites du compartiment sont bien connues et testées ensuite sur des cas plus courants où les paramètres sont mal connus. Ces cas pourront être proposés par les entreprises partenaires de l'action.

Modélisation mécanique

La modélisation mécanique comportera deux étapes : une première étape de calage du modèle géomécanique (celui-ci devra rendre compte de la réponse dynamique observée), une seconde étape d'évaluation de la stabilité, qui a pour but de déterminer le mécanisme de rupture probable et d'estimer le coefficient de sécurité associé. La première étape utilisera la méthode des éléments finis (logiciel COMSOL), la seconde la méthode des éléments discrets (logiciel YADE ou 3DEC, Kosicki et Donze, 2008 ; Scholtes et Donze, 2012).

Tâche 1. Validation de la modélisation sur des structures rocheuses de géométrie connue. Des mesures seront réalisées pendant quelques heures ou quelques jours sur ces structures, puis leur réponse au bruit de fond sera modélisée afin de valider la démarche de modélisation (benchmark).

Tâche 2. Application de la méthode pour caractériser des structures rocheuses potentiellement instables. Participation au benchmark aléa localisé (action c).

Tâche 3. Mise au point d'une méthode simplifiée (abaques) permettant d'établir un diagnostic préliminaire rapide de compartiments rocheux potentiellement instables sans avoir recours à une simulation numérique coûteuse. Cette méthode s'appuiera sur l'expérience acquise durant les tâches 1 et 2, et sur une série de modélisations sur des cas fictifs complémentaires.

Tâche 4. Rapport de synthèse.

Résultats attendus

Une approche nouvelle de l'évaluation des compartiments rocheux instables (ou potentiellement instables) sera proposée, basée sur une modélisation géomécanique plus réaliste, car compatible avec le comportement observé des compartiments en réponse au bruit de fond sismique, et prenant en compte le maximum d'information disponible en surface grâce à la photogrammétrie.

Cette modélisation géomécanique permettra d'évaluer la stabilité des compartiments rocheux (qui dépend fortement de la persistance des discontinuités), d'interpréter leur évolution dans le cas où une évolution temporelle est observée (la mesure du bruit de fond sismique complétant la surveillance classique par extensométrie), et de dimensionner un renforcement le cas échéant. L'efficacité du renforcement en termes de rigidification de la paroi, pourra être contrôlée en effectuant de nouvelles mesures sismiques et en vérifiant que les fréquences de résonance ont augmenté après le renforcement. Cette méthode de contrôle, simple à effectuer, pourrait se révéler plus économique que des essais d'arrachement des ancrages.

Une méthode d'évaluation simplifiée (abaques), sera proposée pour établir un diagnostic préliminaire rapide de compartiments rocheux potentiellement instables à partir de mesures sismiques, sans avoir recours à un calcul aux éléments finis.

II.1.2 A2 Sensibilité de l'aléa déclenchement aux incertitudes et au changement climatique

II.1.2.1 A2.1 - Modélisation de l'aléa climatique déclencheur

Objectif	Définition de paramètres environnementaux pouvant être utilisés dans les modèles de déclenchement (aléa de départ)
Moyens	Analyse de sites en vraie grandeur instrumentés, analyse d'essais en laboratoire, modélisations hydro-thermo-mécanique
Livrable	Hiérarchisation des paramètres environnementaux, recommandations pour les calculs dans les modèles de déclenchement. Planning : à démarrer en tranche 2
Tranche 1	
Partenaires	Université de Bordeaux (Laboratoire I2M-UMR CNRS 5295), INERIS – Nancy, CEREMA Toulouse, Gef (L2G)
Animateur	D. Breyse Université de Bordeaux

Le contexte climatique du massif rocheux joue un rôle incontestable dans le déclenchement du mouvement des blocs rocheux. Facteurs caractéristiques du massif et des matériaux d'une part, facteurs environnementaux d'autre part sont les deux ensembles de paramètres qui conditionnent la survenue de l'aléa "chute de blocs rocheux". Cette action s'attachera aux deux familles, avec un effort particulier de modélisation des données climatiques, et s'appuiera sur les données obtenues au sein d'autres actions pour la caractérisation des paramètres du massif. Elle exploitera en particulier des données de retour d'expérience issues de l'observation des massifs (monitoring environnemental, suivi des déformations, statistiques de chute...).

Dans un contexte de changement climatique, il convient de :

- (a) préciser les valeurs et plages de variations des facteurs environnementaux les plus influents,
- (b) préciser le poids de ces facteurs par une analyse fine des mécanismes de déclenchement,
- (c) quantifier, sur la base du retour d'expérience, les relations entre les variables environnementales et les paramètres descriptifs du déclenchement,
- (d) estimer la manière dont l'aléa déclenchement est susceptible d'évoluer pour des scénarios précis de changement climatique.

Cette action sera consacrée :

- (1) A la caractérisation fine des paramètres environnementaux (nature, valeurs et plage de variation, dynamique temporelle, valeurs extrêmes...) les plus influents. L'accent sera porté dans la modélisation sur les paramètres caractéristiques de la température, des précipitations et de l'humidité, qui sont impliqués dans les mécanismes de déclenchement (gel-dégel, fatigue thermique, infiltrations d'eau...). Ce travail reposera sur l'analyse fine de chroniques météorologiques représentatives des massifs montagneux métropolitains (Alpes, Pyrénées, Massif Central) et visera à reproduire des chroniques météorologiques synthétiques. Un soin particulier sera porté à la dynamique temporelle (durée des périodes exceptionnelles, fréquence des événements extrêmes...). Les chroniques synthétiques seront exploitées pour: (a) déduire des grandeurs représentatives qui pourront être introduites dans des modèles de déclenchement (voir point 2), (b) quantifier sous la forme d'indicateurs utilisables en ingénierie.
- (2) A l'étude des relations entre les indicateurs découlant de l'analyse climatique et les mécanismes de déclenchement des blocs rocheux. Ce travail sera mené à la fois avec des modèles simplifiés de type ingénierie (modèles statistico-empiriques), et avec des modèles à base physique (modèles géomécaniques numériques). Les données d'entrée (avec leur distribution statistique) seront issues du modèle climatique. La sensibilité des contraintes internes et des seuils de déclenchement aux valeurs des paramètres environnementaux sera quantifiée. Pour les deux types de modèles (le premier est plus adapté une cartographie sur une zone étendue, le second étant plus local), l'exploitation de données issues du retour d'expérience (mesures géométriques, statistiques de chutes) sera exploitée pour la calibration.
- (3) A l'estimation, sur la base des deux résultats précédents, de l'évolution probable de l'aléa "chute de bloc" pour un massif de caractéristiques données et un scénario de changement climatique donné. Le recours aux chroniques synthétiques combiné à celui d'une description du massif intégrant sa variabilité spatiale permettra, sur la base de simulations numériques, d'estimer finement les probabilités de déclenchement, avec pour objectif de quantifier la période de retour de l'aléa. Cela pourra conduire à proposer une cartographie dynamique de cet aléa, adaptable à un environnement changeant. Un soin particulier sera apporté à la variabilité spatiale de cet aléa, sur la base des incertitudes relatives aux deux familles de paramètres d'entrée (caractéristiques du massif et paramètres environnementaux).

Résultats attendus

Meilleure connaissance des mécanismes d'origine climatique influençant les chutes de bloc, en particulier en ce qui concerne les phénomènes de cyclage thermique.

Combinaison des problématiques de variabilité spatiale (des caractéristiques hydro- et géomécaniques à l'échelle du massif) et de variabilité temporelle des caractéristiques climatiques pour mettre en place une approche permettant d'élaborer à terme une cartographie de l'aléa en termes de période de retour, adaptée à une évolution dynamique pour intégrer les effets du changement climatique.

L'analyse statistico-fiabiliste du déclenchement permettra aussi de cibler les efforts à engager pour mieux réduire les incertitudes sur l'aléa: convient-il d'abord de mieux connaître le massif et sa variabilité, convient-il de mieux préciser les variations attendues du climat, faut-il développer des modèles plus précis de prédiction de l'aléa ?

II.1.2.2 A2.2 - Evolution de l'occurrence des événements extrêmes

Objectif	Recherche de corrélation entre les événements extrêmes et l'évolution du climat
Moyens	Analyse statistique sur les bases de données des éboulements et météorologiques (collaboration avec Météo France)
Livrable	Corrélation entre l'évolution du climat et l'occurrence d'événements extrêmes. Les conclusions seront intégrées au guide méthodologique évaluation de l'aléa
Tranche 1	Démarrage des recherches d'événements extrêmes éboulements

Partenaires	Irstea, Géolab, CNRS Clermont-Ferrand, Gef (L2G)
Animateur	N. Eckert, Irstea

Cette action vise à analyser la réponse des chutes de blocs rares (distributions de distances, d'angles, etc.) au changement climatique. L'objectif est la quantification des possibles non-stationnarités en intensité/fréquence afin d'améliorer la cartographie de l'aléa. Cette action présente des ponts avec de nombreuses autres actions de l'axe alea, notamment celles dévolues à la propagation des sources de variabilité/incertitude (n), et à l'aléa diffus (a). Elle fournira également les inputs indispensables à l'action consacrée au zonage réglementaire proposée dans l'axe risque.

Les 3 équipes impliquées dans cette action (ETNA et EM d'Irstea, Géolab du CNRS de Clermont Ferrand) mettront en commun des données de terrain et de modélisation en modèle réduit ainsi que des outils numériques et statistiques déjà développés. L'action bénéficiera aussi du partenariat Irstea - Météo France déjà existant qui garantira l'accès à des informations climatiques de qualité aux échelles spatio-temporelles requises.

Le travail s'effectuera dans le cadre formel de la statistique des extrêmes dont le principal mérite est de permettre d'extrapoler au-delà des plus fortes valeurs observées. Certains concepts issus de ce formalisme sont d'usage courant en ingénierie des risques (niveaux et périodes de retour), tandis que d'autres restent d'un usage émergent (les mesures de dépendance asymptotiques par ex.), en particulier pour les chutes de blocs. Ce cadre permet de prendre « facilement » en compte de potentielles non-stationnarités ce qui le rend parfaitement adapté au contexte actuel du changement climatique.

Les étapes du travail prévu sont :

- (To + 12). Centralisation et analyse descriptive des jeux de données disponibles, souvent éparés: autant que faire se peut on travaillera sur de vraies observations de chutes de blocs "rares" collectées sur le terrain (archives RTM, etc.), complétées par des chroniques dendrogéomorphologiques déjà acquises dans d'autres projets. On travaillera en priorité sur les Alpes Françaises, zone fortement soumise à l'aléa et pour laquelle on dispose des données climatiques aux échelles de temps et d'espace pertinentes. On complétera ces « vraies données » par des résultats de simulation trajectographiques et de simulation en modèle réduit (code et maquette Irstea).
- (To + 24). Sous hypothèse stationnaire (i.e. à climat constant), on s'attachera à bien décrire les propriétés des queues de distribution de ces jeux de données en terme de lois limites et de dépendance asymptotique via des modèles statistiques extrémaux. Ces modèles ont tout leur sens pour les chutes de blocs, pour bien caractériser l'aléa, et aussi pour traiter des données certes rares mais moins soumise au biais d'observation que les données courantes (que l'on « rate » plus facilement). A ce stade, on tachera notamment de vérifier la capacité des simulations trajectographiques à correspondre aux données réelles du point de vue des extrêmes, un point critique pour l'évaluation du risque rocheux rarement traité. On travaillera aussi sur la meilleure façon de prendre en compte les effets locaux dans le traitement statistique « régional » (normalisation, covariables, etc.).
- (To + 42). On cherchera ensuite à évaluer la non stationnarité dans les chutes de blocs rares aux travers de modèle statistiques extrémaux adaptés (i.e. dont les paramètres dépendent du temps), et d'introduire explicitement la dépendance aux variables climatiques les plus pertinentes dans ces modèles.
- (To + 42). Ces modèles permettront d'obtenir des prévisions quantitatives d'évolution à horizon mi et fin de siècle de l'aléa rocheux à partir des scénarii de changement fourni par le GIEC « downscailés » aux échelles de temps et d'espace pertinentes pour l'étude.

Résultats attendus

On attend de cette action des débouchés fondamentaux forts concernant le lien entre chutes de blocs rares et évolutions du climat.

A terme, des retombées opérationnelles importantes sont vraisemblables en termes d'amélioration des codes trajectographiques, notamment du point de vue des événements dimensionnant pour le zonage (les plus forts) et de la prise en compte des non stationnarités climatiques dans leur évaluation.

II.1.3 A3 Aléa de propagation

II.1.3.1 A3.1 - Benchmark logiciels trajectographiques

Objectif	Confrontation de différentes approches de caractérisation de l'aléa propagation
Moyens	Essais de lâchers de blocs en conditions contrôlées sur 2 sites instrumentés. Confrontation des résultats des mesures aux benchmark de modélisation
Livrable	Synthèse des résultats des mesures et analyse de la pertinence des modélisations
Tranche 1	Choix des sites
Partenaires	Irstea Grenoble
Animateur	F. Berger, Irstea

Cette action regroupe la réalisation d'essais de laboratoire et de terrain dans l'optique de réaliser un benchmark des différentes approches de modélisation en analyse trajectographique.

Cette action comportera deux volets :

Un benchmark sur la base d'essais à échelle réduite, en laboratoire ou sur 'petit site'. L'objectif est d'aborder la capacité des différents types de modèles (modèles point matériel, modèles prenant en compte explicitement la forme, ...), à modéliser le rebond par des essais en conditions bien maîtrisées et avec une bonne représentativité statistique. Les données des essais seront intégralement transmises aux participants à des fins d'amélioration de leurs codes, plus que de validation de ceux-ci.

Un 'benchmark' sur la base de lâchers à trajectoires libres sur site réel. Sur un site - à définir- des blocs d'un volume donné seront lâchés. Les trajectoires seront caractérisées à partir d'un suivi vidéo (hauteur de passage, point d'arrêt...). Au préalable, le site expérimental aura fait l'objet d'un inventaire précis (relevé topographique, caractérisation des particularités géomorphologiques,...). Les participants réaliseront alors les simulations sur la base des données qui leur auront été transmises (relatives au site, aux blocs lâchés, ...). Après quoi, les essais seront réalisés, en présence si ils le souhaitent des participants qui auront réalisé les simulations. Les résultats des simulations seront ensuite comparés aux données cinématiques et à la distribution des points d'arrêt des blocs réels. Les résultats de ce travail de comparaison seront restitués sous forme anonyme, sans référence aux participants ayant fait les simulations.

Les participants déclarés au benchmark sont :

Benchmark sur la base d'essais à échelle réduite

INSA (M Brun)

Irstea (F Bourrier)

L3S-R (P Villard)

'Benchmark' sur la base de lâchers à trajectoires libres sur site réel Ifsttar (E. Dimnet)

IMSrn (D Rimailho)

Sage (Ombeline Brenguier)

Géolithe (JP Jarrin)

Gts (P Villard)

Alp Géorisques (P Dupire)

Ifsttar (E Dimnet)

Cerema (M A Chanut)

Résultats attendus

Benchmark sur la base d'essais à échelle réduite

Analyse comparative de la pertinence des différents types de modèles (modèles point matériel, modèles prenant en compte explicitement la forme, ...), à traduire la physique régissant la propagation des blocs rocheux ainsi que la variabilité de ce phénomène.

'Benchmark' sur la base de lâchers à trajectoires libres sur site réel.

Deux objectifs sont visés à travers ce benchmark :

- La possibilité pour les utilisateurs et développeurs de codes d'améliorer leurs outils et pratiques,

- Etre en mesure d'évaluer le niveau de confiance que l'on peut accorder aux résultats de simulation (en clair, par exemple : « compte tenu des moyens actuels, une incertitude de X % peut être appliquée aux valeurs de hauteur de passage issues de simulations trajectographique »).

II.1.3.2 A3.2 - Prise en compte de la variabilité et de l'incertitude des paramètres de terrain sur l'estimation de l'aléa propagation

Objectif	Quantifier l'incertitude sur la caractérisation de l'aléa de propagation par estimation et propagation des incertitudes et de la variabilité des paramètres de modélisation trajectographique
Moyens	Développements méthodologiques. Applications sur des sites pilotes.
Livrable	Synthèse des résultats. Transfert vers les groupes de travail évaluation de l'aléa et zonage de propagation. Intégration au guide méthodologique évaluation de l'aléa
Tranche 1	
Partenaires	Irstea – Unité Erosion Torrentielle Neige et Avalanches (en collaboration avec l'unité Ecosystèmes Montagnards et la Direction des systèmes d'information), UJF/3SR
Animateur	J. Baroth, 3SR / JM Tacnet

L'objectif final est de quantifier une probabilité d'atteinte (par un bloc ou un éboulement en masse) d'un enjeu situé en aval d'un ouvrage de protection à dimensionner.

Cette probabilité dépend d'une chaîne d'événements, par ex. :

- . E0 : « Chute d'un bloc » (pour une zone de départ probable) ;
- . E1 : « Bloc impactant l'ouvrage de protection » ;
- . EL : « Bloc lobbant l'ouvrage de protection » ;
- . EE : « Bloc ayant atteint l'enjeu »,...

Chaque probabilité $P(E_i)$ dépend de paramètres incertains:

- . matériaux parmi lesquels : la masse, la résistance des blocs
- . géométriques : forme/orientation du ou des blocs,
- . conditions limites : rugosité/hétérogénéité du terrain
- . robustesse/domaine de validité des modèles (trajectographie ou ouvrage de protection)

La méthodologie esquissée dans les travaux (i, ii, iii) consiste à :

- Sélectionner un cas d'étude : type de site, type de données disponibles, outils de modélisation (trajectographie, modèle de pare-bloc, autre...)
- Traduire le cas par un problème de "fiabilité-système", en sélectionnant des paramètres variables à probabiliser, ainsi que les méthodes probabilistes adaptées aux modèles numériques
- Caractériser la propagation d'incertitudes à travers les modèles numériques (trajectographie, pare-blocs, autre...) : on hiérarchise alors les paramètres variables les plus sensibles et on quantifie les probabilités $P(E_i)$ lorsque c'est possible (précision à quantifier)

Les travaux (i, ii) montrent des résultats préliminaires intéressants dans le cas du couplage d'un outil de trajectographie 3D et d'un modèle éléments discrets (ED) : on envisage alors de quantifier $P(EL)$ ou $P(EE)$ sachant $E1$, en fonction de la variabilité de la vitesse, de l'angle d'incidence ou de la masse des blocs, pour au moins un site d'étude.

(jalon To + 12 m, collaboration 3SR - Irstea)

Les études (i à iii) appliquent un outil simple permettant une caractérisation probabiliste de la réponse mécanique d'un modèle numérique coûteux (pare-bloc ou paravalanche) ; on compte appliquer une démarche similaire au cas de modèles trajectographiques d'éboulements en masse (modèles ED développés par 3SR). On peut ainsi contribuer par exemple à l'analyse statistique de la position des blocs isolés, ou à l'analyse de sensibilité aux paramètres incertains de calcul afin de préciser leurs conditions d'emploi.

(jalon To + 24 m, collaboration équipes RV0 et Medina du labo 3SR)

Si les résultats des benchmarks (i) et (j) sont accessibles dans un délai raisonnable (< 24-30 m), une approche probabiliste est envisageable en vue de compléter l'analyse des benchmarks, en particulier intervalles de confiance, erreurs de modèles. (*jalón To + 42 m*).

L'analyse proposée gagnera en pertinence en croisant les compétences des autres acteurs, dans le cadre d'une analyse système, depuis l'aléa diffus jusqu'à l'aléa résultant, en passant par l'éboulement et l'ouvrage de protection. Chaque partenaire (a) à (m) peut donc potentiellement être intéressé par une collaboration afin d'enrichir l'analyse.

Des réunions de concertation sont aussi envisagées en lien avec D. Hantz (Isterre, action a) ou N. Eckert (Irstea, action n). En fonction de ces réunions et des moyens alloués, les jalons précédents pourront être enrichis.

Des outils possibilistes sont envisageables en complément des analyses probabilistes.

- Identification et hiérarchisation des paramètres incertains
- Quantifier les effets relatifs de paramètres incertains sur les probabilités $P(E_i)$ en fonction des données, outils disponibles, pour chaque site étudié.
- Proposer un outil simple utilisable par l'ingénierie afin de prendre en compte la distribution d'un paramètre incertain avec un nombre réduit de calculs (résultats de codes).

II.1.3.3 A3.3 - Prise en compte du couvert forestier dans l'aléa de propagation

Objectif	Améliorer la prise en compte du couvert forestier en analyse trajectographique
Moyens	Essais de laboratoire, essais de calibration sur le terrain, modèles d'interaction entre les blocs et les arbres
Livrable	Etat de l'art, proposition d'une méthodologie de développement d'un module dédié dans les logiciels existants
Tranche 1	à démarrer en tranche 2
Partenaires	Irstea Grenoble, LGCIE INSA Lyon
Animateur	F. Bourrier, Irstea

L'objectif de cette action est d'améliorer la prise en compte du couvert forestier en analyse trajectographique à l'aide de modèles d'interaction entre les blocs et les arbres en cours de développement en collaboration entre Irstea Grenoble et le LGCIE (Insa Lyon).

Les travaux de recherche menés jusqu'ici ont permis de développer et de calibrer un modèle d'interaction entre une tige de bois et un bloc ainsi qu'une approche de modélisation permettant d'intégrer le rôle du houppier et du système racinaire dans ce modèle d'interaction entre le bloc et les arbres.

Il est ainsi prévu d'utiliser cette approche de modélisation pour évaluer l'effet du système racinaire et du houppier sur la dissipation d'énergie du bloc lors de l'impact sur un arbre.

Les différentes phases de cette action sont :

- 1) Analyse de l'état de l'art : évaluation de l'ordre de grandeur des paramètres du modèle d'impact régissant les contributions du houppier et du système racinaire
- 2) Etude de sensibilité sur les différents paramètres étudiés dans la phase 1 et identification des paramètres influant
- 3) Campagne de modélisation intensive pour une analyse détaillée du rôle des paramètres influant
- 4) Amélioration des modèles d'interaction bloc/arbre existant à l'échelle du versant
- 5) Intégration dans deux types de logiciels d'analyse trajectographique et validation sur sites pilotes des modèles d'interaction bloc/arbre développés

Résultats attendus

Cette action de recherche conduira à définir un protocole d'intégration d'un module de prise en compte de la forêt dans les logiciels d'analyses trajectographiques de différents types.

Par ailleurs, le modèle développé permettra de quantifier de façon précise l'effet de la forêt sur la propagation des blocs. Les conclusions de cette étude seront exposés dans les groupes de travail sur la quantification et le zonage de l'aléa de propagation et intégrés dans les guides ou recommandations méthodologiques sur ces sujets.

II.1.3.4 A3.4 - Modélisation des éboulements (avalanche rocheuse) de volumes, inférieurs au millier de m³

Objectif	Disposer de premiers outils de modélisation des éboulements (avalanche rocheuse) de faibles volumes, inférieurs au millier de m ³ .
Moyens	Utilisation de résultats d'essais en modèle réduit pour calibrer un modèle numérique. Extrapolation à des sites réels
Livrable	Synthèse des résultats des analyses. Transfert vers le groupe de travail évaluation de l'aléa.
Tranche 1	A démarrer en tranche 2
Partenaires	UJF/3SR + Ifsttar + IMSRN + SNCF
Animateur	P. Villard (3SR)

L'objectif des travaux proposés est de tester les méthodes de calcul utilisées pour étudier la propagation des éboulements en masse (type avalanche rocheuse) de faibles volumes, inférieurs au millier de m³, et ce pour en évaluer la pertinence tout en apportant un regard critique par rapport aux hypothèses utilisées où quant aux bonnes pratiques de modélisation à respecter (choix des paramètres, discrétisation du MNT, etc.). Plusieurs codes ou méthodes de calcul différentes seront testées, comparées et évaluées par rapport à des événements réels ayant eu lieu ou à forte probabilité d'occurrence. A l'heure actuelle les laboratoires Ifsttar et 3SR ont montré un intérêt commun à réaliser ces travaux.

Il s'agira dans un premier temps de sélectionner et de collecter des informations sur des sites à zone potentiellement instable ou d'éboulement en masse ayant eu lieu. Le bureau IMSRN s'est déjà proposé pour participer à la définition de ces sites. Toutes propositions permettant d'accéder à des données de cette nature seront les bienvenues dans le cadre du projet.

Une fois les données de terrain clairement établies, les modèles numériques seront testés, les hypothèses analysées et les stratégies de modélisation comparées. La pertinence de ces modèles sera établie par comparaison avec les données de terrain d'un événement ayant eu lieu. On s'intéressera notamment à définir ou à retrouver le couloir de propagation, la zone de dépôt. Une analyse statistique de la position des blocs isolés pourra être effectuée pour alimenter d'autres actions du projet.

Une étude de sensibilité aux paramètres de calcul sera effectuée. Les données qui seront récoltées suite au benchmark sur blocs isolés devraient nous permettre, s'ils sont correctement renseignés, d'obtenir des données cruciales pour justifier ou valider l'emploi des paramètres utilisés.

Après cette phase d'analyse des domaines de validité des codes, le caractère prédictif des modèles sera évalué par des études croisées, des codes numériques entre eux et des données de terrain récoltées sur différents sites.

Un document de synthèse regroupant les principales conclusions de l'étude sera réalisé : capacité des codes à reproduire un éboulement réels, choix des paramètres, précision du MNT, limitation des codes, applicabilité en bureau d'études, etc.

Résultats attendus

- Meilleure connaissance des mécanismes de propagation des avalanches rocheuses.
- Amélioration et validation des méthodes de calcul
- Etablissement d'une base de données relative aux paramètres de calcul
- Transfert vers l'opérationnel
- Etablissement d'une méthodologie de calcul spécifique à chaque code utilisé.

II.1.3.5 A3. 5 - Quantification de l'aléa résultant sur voie de communication

Objectif	Tester une méthode de mesure de l'aléa résultant au droit d'une infrastructure
Moyens	Mesures d'écoute sismique
Livrable	Synthèse des résultats des mesures. Transfert vers les groupes de travail évaluation de l'aléa et zonage de propagation

Tranche 1	Choix de site
Partenaires	Géolithe, SNCF
Animateur	F. Guyoton, Géolithe

Auscultation sismique sur deux sites.

Objectifs

- Site 1 et 2 – Auscultation en versant. Quantification et qualification d'évènements courants (quelques litres) et rares (volumes importants), sur une durée longue (2 à 3 années). Corrélation avec données climatologiques et reconnaissances naturalistes de certains évènements choisis.
- Site 2 - Auscultation sur chaussée - Quantification et qualification d'évènements courants (quelques litres) et rares (volumes importants), sur une durée longue (2 à 3 années). Corrélation avec données issues du site 2 versant pour évaluation quantitative et qualitative des évènements lobant la voie

Site 1 - Grand versant, partie sommitale rocheuse très pentée, partie inférieure éboulis et forêts. Dispositif d'auscultation sismique en pied de partie sommitale.

Site 2 - Grand versant, rocheux subvertical avec voie de communication routière. Dispositif d'auscultation sismique en versant pour interception d'un maximum d'évènements en versant + dispositif d'auscultation sismique sur chaussée.

Résultats attendus

1. Connaissance de l'aléa mesuré et quantifié pour 2 configurations différentes.
2. Discrimination des signaux des chutes de blocs. A ce jour, on ne sait pas discriminer de façon fiable une chute de bloc à partir d'une analyse dans le domaine temporel, fréquentiel ou temps-fréquence d'un signal sismique.
3. Localisation temporelle des chutes de blocs. A ce jour, du fait de la très grande hétérogénéité des sols et donc des paramètres physiques (vitesse, densité, etc.) les techniques classiques de localisation des événements ne sont pas exploitables.

II.1.4 A4. Groupes de travail

II.1.4.1 A4.1 - Evaluation de l'aléa

Objectif	Echanger et consolider les pratiques actuelles et les résultats des actions C2ROP en cours sur l'évaluation de l'aléa
Moyens	Réunions de travail avec rapporteur
Livrable	Guide méthodologique ou recommandation
Tranche 1	A démarrer absolument en Tranche 1
Partenaires	
Animateur	Bureau d'étude

Cette action, multi-partenaire, est en cours de construction. Elle nécessite d'être structurée par l'ensemble des partenaires pour s'assurer d'atteindre les objectifs fixés. Compte tenu de son intérêt, la constitution du groupe de travail ne devrait pas poser de difficulté. L'objectif de ce groupe est de coordonner et synthétiser les différentes actions (A1, A2 et A3) présentées ci-avant sur l'évaluation de l'aléa. Le travail de ce groupe doit donc être engagé dès le départ.

II.1.4.2 A4.2 - Zonage de propagation

Objectif	Echanger et consolider les pratiques actuelles et les résultats des actions C2ROP en cours sur le zonage de propagation
----------	---

Moyens	Réunions de travail avec rapporteur
Livrable	Guide méthodologique ou recommandation
Tranche 1	A démarrer absolument en Tranche 1
Partenaires	Ifsttar + Cerema (Dter-SO) + SNCF
Animateur	Eric Dimnet IFSTTAR / Bureau d'étude ou MOA

Le travail proposé est né du besoin d'évaluer les différentes approches existantes (méthodologie + méthodes de calcul) pour la quantification de l'aléa d'éboulement rocheux et de chutes de blocs. Il se propose de répondre au besoin de synthèse des différentes pratiques en ce qui concerne la reconnaissance et la modélisation pour les études allant de la réalisation de PPRn aux études localisées, en passant par les études sur itinéraires.

Cette préoccupation fait ressortir le besoin d'évaluer les méthodologies (lorsqu'elles existent et sont formalisées) aussi bien que les méthodes de calcul. Un recensement des pratiques dans les différentes régions est nécessaire afin de comparer les approches et les outils utilisés.

Une synthèse de ces pratiques sera réalisée en prenant soin de faire apparaître les éléments de convergence aussi bien que les difficultés qui subsistent à l'homogénéisation des pratiques. Une attention particulière sera apportée à l'évaluation des différentes méthodes de calcul utilisées (choix des paramètres, précision du MNT, limitation des codes, applicabilité en bureau d'études, etc..) en tenant compte des retours des bureaux d'étude aussi bien que des collectivités qui commandent ce type d'études. Des études de cas seront au besoin réalisées en comparant différentes approches sur un même site.

Résultats attendus

- Recensement des différentes approches méthodologiques et propositions pour homogénéiser les pratiques
- Transfert vers l'opérationnel
- Etablissement d'une méthodologie de zonage adaptée aux différents codes de calculs.

II.2 Gestion du risque et aide à la décision

Axe	Thème	ID de l'action	Action	
Risque	R1 : Collecte de données	R1.1	REX pour une meilleure prise en compte de la vulnérabilité	
		R1.2	REX coûts et maintenance (parades, infrastructures)	
	R2 : Expérimentation	R2.1	Méthodes observationnelles sur les ouvrages vieillissants : étude du cycle de vie des ouvrages de protection, des modes de ruptures	
	R3 : Modélisation	R3.1	Modélisation du risque rocheux et de sa gestion jusqu'à la simulation de crise (avec dispositif Icrisis ©)	
		R3.1.1	Modélisation des réseaux sur une zone test (résilience). Aspect risque sur enjeu linéaire.	
		R3.1.2	Modélisation du risque sur enjeu localisé (zonage réglementaire)	
		R3.1.3	Simulation d'une crise avec logiciel Icrisis©	
		R3.2	Développement d'outil de simulation de scénarii de gestion des risques	
		R3.2.1	Réalisation d'une interface SIG regroupant aléas et parades	
		R3.2.2	Simulation économiques des choix réalisés	
		R3.2.3	Modélisation dynamique	
		R4 : Guides et recommandations	R4.1	Guide : "Vulnérabilité à l'aléa rocheux, zonage du risque et gestion de crise"
			R4.1.1	Réalisation de groupes de travail pour constitution du guide (avec REX sur les mesures prises en cas de crises)
	R4.1.2		Réalisation du guide	
	R4.2		Guide : "Recueil de solutions techniques", comprend analyse des cycles de vie des ouvrages, les arbres de pannes et de défaillances et les préconisations de maintenance	
	R4.2.1		Construction des arbres de pannes et de défaillances	
	R4.2.2		réalisation du guide	
	R4.3		Guide : "Gestion du risque rocheux"	
	R4.3.1		Groupe de travail pour paramètres à prendre en compte (vision territoriale)	
	R4.3.2		Groupe de travail pour échanges et réflexions sur la notion de seuil d'acceptabilité du risque	
	R4.3.3		Relation avec impact juridique (consultation juriste)	
	R4.4	R4.4	Réalisation du guide	
	R4.4	R4.4	Benchmark sur les bonnes pratiques pour les BE	

L'ensemble des partenaires n'a pas encore été identifié pour la partie risque. A terme, le pilotage des actions ne sera pas essentiellement réparti sur 3 acteurs principaux afin que les sujets abordés soient

bien traités dans leur globalité et non selon un seul point de vue (infrastructure linéaire ou ponctuelle). Il est important de préciser en outre que le pilote d'une action devra conserver une vision globale et objective des enjeux des différentes MOA.

II.2.1 R1 Collecte de données

Auprès des MOA (CG, SNCF, routier ...) interview et réunions d'échange pour la constitution du modèle.

II.2.1.1 R1.1 REX pour une meilleure prise en compte de la vulnérabilité

Partenaires : SNCF, EGIS, CEREMA, CG38, CG 05, CG 06, CG 73, 3SR, Texinov
Animateur : V. Le Bidan CG38 / F. BELUT SNCF

Retour d'expérience sur la vulnérabilité des enjeux

Il s'agit :

- de réaliser une première phase de collecte de données auprès des MOA
- de partager les retours d'expériences et les données disponibles sur les éboulements rocheux survenus et leurs conséquences pour étudier sur la base de cas existants comment se comportent les infrastructures en cas d'éboulement (résistance) puis dans un deuxième temps voir la capacité de l'infrastructure à revenir à son fonctionnement normal (résilience). Les données pluviométriques (seuils, précipitations....) pourront être collectées dans le cadre de la réalisation de ces bases de données afin d'alimenter l'action A2.1.

Cela permettra également aux MOA d'échanger leurs expériences sur la gestion de crise.

La participation des MOA, des gestionnaires d'infrastructures est essentielle afin de faire vivre l'échange, de l'enrichir des données des uns et des autres, de réfléchir sur les données communicables, sur la forme de la plate-forme de partage :

Résultats attendus : Améliorer les connaissances sur le comportement des infrastructures exposées au risque rocheux,

Fournir les données sources essentielles au projet pour aider à la construction de l'outil de simulation des scénarii de gestion des risques, et des guides et livrables pour une argumentation raisonnée des choix :

- guide vulnérabilité, zonage du risque et gestion de crise ;
- guide recueil de solutions techniques ;
- guide gestion du risque rocheux.

Au niveau opérationnel, disposer d'une plate-forme d'échange consultable sur internet pour les MOA afin de :

- réaliser un partage d'expérience de cas de crises : résistance physique, résilience des infrastructures, temps et coûts de remise en état ;
- faire vivre la communauté des acteurs confrontés au risque rocheux et à sa gestion, améliorer le niveau technique global au niveau national pour se préparer à la concurrence internationale.

II.2.1.2 R1.2 REX Coûts et Maintenance (parades, infrastructures)

Partenaires : SNCF, EGIS, CEREMA, CG38, CG 05, CG 06, CG 73, 3SR, Texinov
Animateur : F. BELUT SNCF / V. Le Bidan CG38

Retour d'expérience coût et maintenance (infrastructures et parades) :

Il s'agit :

- de réaliser une première phase de collecte de données auprès des MOA ;
- d'établir une base de données sur le coût et la maintenance des infrastructures exposées au risque rocheux et des ouvrages de parades ;
- de faire un retour d'expérience sur les coûts complets des différents types d'ouvrages de parades selon le contexte (mise en place, surveillance, entretien, maintenance, durée de vie, niveau de risque résiduel).

La participation des MOA, des gestionnaires d'infrastructures est essentielle afin de faire vivre l'échange, de l'enrichir des données des uns et des autres, de réfléchir sur les données communicables, et sur la forme de la plate-forme de partage.

Résultats attendus

Améliorer les connaissances sur

- l'analyse en coûts complets de l'infrastructure exposée au risque rocheux et des ouvrages de parades (pose, entretien, maintenance, réparation)
- les cycles de vie des ouvrages de parades

- Fournir les données sources essentielles au projet pour aider à la construction de l'outil de simulation de scénarii de gestion des risques, des guides et livrables pour une argumentation raisonnée des choix ;
- guide vulnérabilité, zonage du risque et gestion de crise ;
- guide recueil de solutions techniques ;
- guide gestion du risque rocheux.

Au niveau opérationnel, disposer d'une plate-forme d'échange consultable sur internet pour les MOA afin de :

- pouvoir comparer en coûts complets les ouvrages de parade ;
- réaliser un partage d'expérience de cas de crises : temps et coûts de remise en état ;
- faire vivre la communauté des acteurs confrontés au risque rocheux et à sa gestion, améliorer le niveau technique global au niveau national pour se préparer à la concurrence internationale.

II.2.2 R2 Expérimentation

II.2.2.1 R2.1 Méthodes observationnelles sur les ouvrages vieillissants (étude du cycle de vie des ouvrages de protection, des modes de ruptures)

Partenaires : MOA et Chercheurs, SNCF, CEREMA, Autres partenaires à identifier
Animateur : Magali Huteau SNCF

Technique principalement utilisée dans le cadre de réalisation de projet nouveau, la méthode observationnelle ou dimensionnement interactif constitue une approche originale permettant d'adapter et d'optimiser les ouvrages en fonction des observations réalisées sur leur comportement lors de la construction (phase chantier).

Les méthodes usuelles de justification des parades utilisent des dispositions constructives et des règles de calcul le plus souvent codifiées (ETAG 27 et Eurocode 7). Mais ces méthodes courantes peuvent s'avérer insuffisantes dans certains contextes et en particulier selon l'environnement auquel la parade est soumise (incidence non négligeable sur la pérennité de l'ouvrage).

L'objectif de cette action est, par une approche naturaliste, de regarder l'évolution des ouvrages dans leur environnement naturel.

Réalisation de différentes étapes :

- **T_0 à $T_0 + m_{18}$:**
Montage du protocole basé sur la méthode observationnelle et détermination des sites d'études. Afin de garder une homogénéité dans le projet, ces sites seront choisis en fonction des sites utilisés par les autres actions du projet.
- **$T_0 + m_{18}$ à $T_0 + m_{36}$:**
Etude du comportement d'un panel de plusieurs ouvrages de confortement anciens en service par un groupe d'expert analysant les situations et les fonctionnalités.

Résultats attendus :

Cette action permettra :

- une meilleure compréhension du phénomène de vieillissement des parades et une meilleure évaluation du moment où celles-ci n'assurent plus leur rôle (obsolescence) ;
- d'alimenter les données sur leur cycle de vie (caractérisation du vieillissement et des dégradations) ;
- d'aboutir à des durées de vie réalistes des parades par rapport à l'environnement auquel elles sont confrontées ;
- d'apporter des éléments supplémentaires dans la définition du seuil d'acceptabilité du risque.

Ce retour servira de données d'entrée pour l'outil de simulation de scénarii de gestion des risques ainsi que pour le guide de recueil de solutions techniques (arbres de panne et de défaillance).

La prise en compte de ces observations permettra de ne pas surdimensionner inutilement les parades (impact sur le montant) tout en conservant le niveau de sécurité visé par la MOA.

II.2.3 R3 Modélisation

II.2.3.1 R3.1- Modélisation du risque rocheux et de sa gestion jusqu'à la simulation d'une crise (avec dispositif ICrisis)

II.2.3.1.1 R3.1.1 Modélisation des réseaux sur une zone test (résilience), Aspect risque sur enjeu linéaire

Partenaires : Irstea

Animateur : Jean-Marc Tacnet (Irstea)

L'objectif final de cette action est de :

1. Permettre l'évaluation de la vulnérabilité indirecte associée au risque rocheux (perte de fonction de liaison liée aux coupures de routes, voies ferrées) en prenant en compte les effets distants et indirects, notamment de nature socio-économiques
2. Permettre l'évaluation de la criticité et de l'importance des tronçons des réseaux (transport en première approche) en lien avec les stratégies de protection
3. Permettre d'analyser l'évaluation quantitative de la résilience des réseaux

Contexte

L'accessibilité d'un réseau peut être définie comme une mesure de la pérennité de la fonction (transport de biens et de personnes d'information, d'énergie...) assurée par le réseau. La perte de cette accessibilité peut s'avérer plus ou moins critique en fonction de l'importance du réseau évaluée au travers de la fréquence des coupures, de la gravité des conséquences associées, de la possibilité de détecter ou d'anticiper la coupure et de l'existence d'itinéraires alternatifs. Analyser cet aspect est donc essentiel dans le cadre de l'évaluation des stratégies de lutte contre les chutes de blocs.

Démarche

Ce volet analyse les conditions et la pérennité de l'accessibilité liées aux réseaux (transport en priorité avec une extension possible aux réseaux d'énergie, télécommunications) exposés aux risques de chutes de blocs. La résilience de la structure d'un réseau est définie comme sa capacité à fonctionner en mode dégradé mais aussi à absorber une perturbation et à retrouver ses fonctions à la suite de cette perturbation. Ce volet du projet intègre et applique des méthodes issues de l'aide à la décision, de l'analyse des propriétés structurelles des réseaux (Mermet, 2011) de l'information géographique et de l'économie à la caractérisation de l'accessibilité des réseaux de transport. La criticité de l'importance des réseaux et la perte d'accessibilité sont évaluées par rapport au niveau de conséquences attendues en fonction des zones et enjeux desservis. Le réseau de transport est modélisé comme un ensemble de nœuds (par exemples les communes) reliés par des arcs (les routes). Un trajet entre 2 points sera d'autant plus facile que les contraintes sur les tronçons qui les relient (gabarit, dénivelée, altitude, longueur de trainage) sont faibles. L'analyse des propriétés structurelles du réseau permet d'évaluer respectivement l'importance des tronçons et l'accessibilité d'un point donné par le biais d'indicateurs de centralité pour chacun des tronçons composant le réseau et d'éloignement pour chacun des nœuds du réseau. Ce volet vise à déployer la méthode

existante et perfectionner les outils dans le cadre du risque de chute de blocs. Les résultats de cette méthode sont des cartes d'importance, de criticité et de résilience des réseaux intégrant les menaces qu'ils subissent.

L'étude est dédiée à la production d'un outil d'aide à la décision pour l'évaluation de la vulnérabilité indirecte du réseau et la gestion/planification des stratégies de gestion du risque rocheux. Les résultats concernent à la fois les méthodologies de détermination des indicateurs d'attractivité, de caractérisation des indicateurs d'importance, criticité et résilience et le développement de logiciels opérationnels sous licence libre.

La démarche d'étude et les résultats conduits sur une zone test sont les suivants :

- Caractérisation et modélisation du réseau de desserte (analyse fonctionnelle, origine/destination, caractéristiques) et des aléas chutes de blocs
- Développement des modèles d'aide à la décision (issus de l'expertise du risque rocheux, identification de critères et modèles de préférence)
- Evaluation de l'aléa rocheux en tant que contrainte sur les arcs (tronçons)
- Proposition d'un couplage avec l'analyse de l'efficacité des ouvrages (approche d'aide multicritère à la décision)
- Méthodologie d'évaluation de l'importance et de la criticité de tronçons de desserte en utilisant les données thématiques fournies par les experts réseaux « vitaux » (transport, ...) basée sur la production d'indicateurs d'éloignement, de centralité, de résilience
- Production de mesures de déconnexions successives de zones stratégiques du réseau
- Cartographie des contournements et mise en évidence des fragilités structurelles
- Cartographie de scénarios de déconnexions de réseau et étude des flux de chemins alternatifs
- Cartographie d'indicateurs croisés visant à comprendre la résilience du réseau d'étude
- Fourniture d'un modèle d'aide à la décision associant aide multicritères à la décision et méthodologie d'analyse des propriétés structurelles (centralité, éloignement) du réseau
- Mise en œuvre de l'outil GeographLab (développé par la société Grphit en collaboration avec Irstea, licence logiciel libre)
- Fourniture d'un environnement dédié à l'analyse de la vulnérabilité d'un réseau exposé au risque rocheux.

Résultats attendus

- Rapport technique sur la méthodologie
- Articles scientifiques
- Environnement logiciel (licence libre)
- Guide pratique modélisation réseau

II.2.3.1.2 R3.1.2 Modélisation du risque sur enjeu localisé (zonage réglementaire)

Partenaires : Irstea

Animateur : Nicolas Eckert, Irstea

L'objectif de cette action est d'améliorer la quantification du risque rocheux pour le zonage réglementaire. Ainsi, elle traite uniquement du risque pour les bâtiments d'habitation et les humains à l'intérieur. Le cœur de cette action est le couplage entre modèles d'aléa et modèles de vulnérabilité/couts simplifiés mais robustes. Cette action s'appuiera ainsi sur les développements menés dans le cadre de l'axe aléa, et, dans une moindre mesure, de l'axe parade.

Le risque (rocheux, mais pas seulement) est souvent évalué sur la base de scénarii. Dans le cas particulier du risque pour les bâtiments et personnes à l'intérieur utilisé pour le zonage réglementaire, une telle pratique peut avoir des effets indésirables si, par exemple, la vulnérabilité est très forte pour un aléa juste supérieur au scénario de référence et/ou si l'incertitude autour du scénario de référence est forte. En effet, dans un tel cas de figure, le risque est supposé acceptable pour le scénario de référence alors que le risque résiduel (que l'on peut définir comme la moyenne des dommages une fois mises en place les mesures réglementaires) est, en réalité, très fort.

De tels désagréments peuvent être, au moins en partie, gommés si le risque, conformément à son expression mathématique, est évalué comme une moyenne sur la distribution complète des aléas potentiels plutôt que sur la base d'un (ou quelques) scénarii. Un prérequis est alors une «bonne» modélisation des aléas de probabilité faible, c'est-à-dire des chutes de blocs rares à extrêmes, dont l'évaluation sur la base de chroniques historiques relativement courtes et incomplètes est évidemment difficile.

Ces points ont été bien identifiés dans les groupes de travail et comités techniques (auxquels participent activement le porteur de cette action) réunis à l'initiative de la DGPR du ministère de l'environnement autour de la question de la révision des guides PPRN pour le zonage réglementaire. Néanmoins, les solutions vers lesquelles on semble s'orienter pour la révision n'y répondront que partiellement du fait des limites méthodologiques et pratiques des outils immédiatement disponibles pour l'ingénierie. Dans le cas des chutes de blocs, la révision se fera ainsi vraisemblablement essentiellement sur la base de la note MEZAP2.

Néanmoins, la doctrine ne sera pas figée, et les comités techniques ont largement reconnu la nécessité de poursuivre le travail méthodologique sur la question de la quantification du risque pour le zonage réglementaire, y compris moyennant prise en compte d'éventuelles parades. Nous estimons qu'il est légitime (et même nécessaire) qu'une partie de ce travail destiné à alimenter les versions ultérieures de la doctrine PPRN et à fournir à l'ingénierie les outils permettant sa mise en œuvre (méthodes et codes de calcul) s'effectue dans le cadre de C2ROP, et c'est justement l'objectif de cette action.

Concrètement, cette action s'appuiera fortement sur l'action « Analyse statistique des chutes de blocs rares en réponse au changement climatique » de l'axe alea dont l'objectif de mieux caractériser les chutes de blocs rares (distributions de distances, d'angles, etc.) dans le cadre formel de la statistique des extrêmes, en prenant en compte ses possibles non-stationnarités en intensité/fréquence. On se restreindra ici au cas stationnaire, mais l'on bénéficiera des modèles d'aléas « extrémaux » développés et calés qui permettront une estimation des aléas de probabilité faible aussi fiable que possible. On envisage également une alimentation de l'action, au travers du projet, par d'autres actions de l'axe aléa, notamment celle traitant de la caractérisation des incertitudes de propagation, et par les résultats des actions de l'axe parade dédiées à la revue / formalisation de l'effet des ouvrages de protection sur la propagation.

Les étapes prévisionnelles du travail sont :

- T0+6 : revue et choix des modèles de vulnérabilité/coût. Ceux-ci proviendront de la littérature économique (modèles schématiques), de rétro-analyse d'événements réels, d'analyses de laboratoire ou d'expériences numériques³.
- T0+18 : Le travail de couplage sera mené autant que possible d'un point de vue analytique, débouchant sur des formules de calcul de risque très rapides à utiliser mais rustiques, et de manière numérique via l'emploi du code de simulation trajectographique. On en déduira l'expression du risque individuel (probabilité annuelle de mort ou de destruction en tout point de la zone exposée pour différents enjeux types), de même que le risque collectif (la somme des risques individuels pour une « vraie » configuration des enjeux). On pourra alors en dériver des propositions de zonage réglementaire, soit par comparaison à des niveaux de risque individuel acceptables, soit par minimisation du risque collectif.
- T0+30 : Prise en compte de quelques parades « types » : modification du risque et du zonage réglementaire résultant et dimensionnement de ces parades via une approche de réduction/diminution du risque résiduel toléré par la MOA (seuil d'acceptabilité du risque).
- T0+36 : Implémentation sur quelques cas d'étude réels ou semi réels traités par le projet (actions « carte SIG » et « optimisation des parades »).

Résultats attendus

On attend de cette action des débouchés fondamentaux forts concernant l'estimation du risque rocheux, le zonage réglementaire et la réduction/diminution du risque résiduel au travers d'un choix de parades déterminé en fonction du seuil d'acceptabilité du risque toléré par la MOA.

On attend aussi, à terme, des retombées opérationnelles importantes en termes d'évolution de la doctrine PPRN en matière de blocs rocheux et de mise à disposition de l'ingénierie de méthodes de zonage et de dimensionnement permettant de la mettre en œuvre.

II.2.3.1.3 R3.1.3 Simulation d'une crise avec logiciel iCrisis©

Partenaire : Géoressource, BE, MOA, acteurs professionnels (mairie, préfecture, pompiers)

Animateur : Thierry Verdel, Géoressource

Il s'agit de préparer et d'organiser une simulation de crise suite à un éboulement rocheux dans laquelle plusieurs acteurs seraient mobilisés dont les autorités (préfecture, communes, mais aussi experts). Une telle simulation requiert principalement la préparation d'un scénario accidentel, l'organisation pratique d'une telle simulation et la configuration du logiciel iCrisis.

- préparation du scénario, organisation de la simulation, configuration du logiciel iCrisis© par le laboratoire Géoressources
- réunion de préparation des différents participants,
- simulation de crise par les différents participants et réunion de débriefing ensuite,
- exploitation des résultats de la simulation par le laboratoire Géoressources

La préparation du scénario pourrait exploiter les résultats des travaux d'autres équipes impliquées dans les axes aléas et risques (retour d'expérience sur cas concrets),

Selon le succès de la simulation, une autre simulation pourra être réalisée.

Résultats attendus

- Fournir les données sources essentielles au projet pour aider à la construction de l'outil de simulation des scénarii de gestion de risque, des guides et livrables pour une argumentation raisonnée des choix.
 - guide vulnérabilité, zonage du risque et gestion de crise
 - guide gestion du risque rocheux
- Sensibilisation des différents acteurs
- Aide à la formation ou à la préparation d'acteurs susceptibles d'être impliqués dans la gestion de crises.
- Capitalisation les données afin d'en permettre l'analyse approfondie et examiner les possibilités d'amélioration
- Constituer un réseau d'acteurs intéressés par la question des risques et des crises et à mettre ce réseau en contact direct avec les autorités administratives en charge de la sécurité publique, avec les services de secours, ainsi qu'avec les élus.
- Faire vivre et développer le logiciel iCrisis
- Communication sensibilisation du public au risque naturel

II.2.3.2 R3.2- Développement d'un outil de simulation de scénarii de gestion des risques

Partenaires : SNCF, CEA, CG39, CG 83, CG05, CG38, CG 73, Ecole des Mines d'Alès, CEA, Gef (L2G)

Animateur : Ruiz Anne-Gaëlle SNCF

Cette action a pour objectif de simuler différents scénarii de gestion des risques selon les enjeux propres à chaque MOA. Les différences sont les plus flagrantes entre gestionnaire d'infrastructures linéaires et collectivité du fait de la durée d'exposition de l'élément à protéger : des personnes ou des biens dans des circulations (routières ou ferroviaires) et furtivement exposés d'une part, des personnes résidant de façon prolongée dans des logements exposés en permanence d'autre part. Cependant les questions fondamentales restent les mêmes et les façons d'y répondre ont

indéniablement beaucoup en commun (solutions de prévention, gestion de crises et solutions palliatives suite à défaillance, choix acceptabilité et gestion des risques résiduels, analyses coûts bénéfiques à ressources contraintes, ...)

C'est pourquoi l'outil proposé sera basé sur un socle commun de données alimenté par les différentes actions réalisées dans le cadre du projet. Des interfaces graphiques différentes pourront être développées en fonction du type d'infrastructures (linéaires ou ponctuelles). Ce choix sera défini lors des échanges entre les MOA afin de déterminer précisément leur besoin.

L'outil permettra de donner aux MOA et gestionnaires d'infrastructures, les éléments nécessaires pour prendre des décisions en toutes connaissances de cause. L'évaluation des conséquences ou des enjeux est difficile car le choix de la MOA repose sur des facteurs complexes (registres de solution : parades actives ou passives, pérennes ou provisoires ou encore gestion de la vulnérabilité et voire de la ruine de l'infrastructure exposée en agissant sur la détection ou la réduction d'impact et recherche de solution palliative).

L'évaluation des impacts socio-économiques se rapproche beaucoup de l'évaluation de la rentabilité socio-économique des parades mises en place (performances VS coûts indirects Vs gain de sécurité).

Réalisation de différentes étapes :

- $T_0 + m_{25}$ à $T_0 + m_{42}$:

Constitution d'un système d'information permettant d'intégrer les données et de les rendre accessibles mais également de définir leur relation et la façon d'y accéder. Ces données doivent prendre en compte la globalité du risque (aléa, parade, vulnérabilité) et pourront en partie être alimentées par les différents REX réalisés pendant le projet (R1.1 et R1.2. + modélisation).

* Création d'une interface SIG souple pour visualisation

- $T_0 + m_{42}$ à $T_0 + m_{54}$:

Simulation économique (coûts directs d'investissement et de maintenance) : prise en compte du retour de prix de maintenance, de la caractérisation du vieillissement et des dégradations des ouvrages de protection (autres actions du projet national) pour permettre au décideur d'avoir une vision « coût complet » lors de la mise en place des différentes parades. Il pourra ainsi statuer en fonction de sa propre politique de gestion et de ses moyens financiers plus ou moins limités (investissement ou non avec maintenance associée).

Modélisation dynamique des choix (gain de sécurité vs performance vs coûts indirects) : pour permettre à la MOA d'observer plus précisément les gains de sécurité de chaque solution avec leur performance (durée de vie) ainsi que leur maintenabilité (coûts indirects) tout en prenant en compte le seuil d'acceptabilité du risque toléré par la MOA (Cf. Action R4.3).

Création d'une interface SIG souple pour visualisation

- Résultats attendus : outil d'assemblage des données aléa et enjeu, les gains apportés par les parades pour visualiser de manière raisonnée les choix de la MOA.
- Quantifier l'ensemble des risques affectant un périmètre avant et après la mise en œuvre des mesures de protection (risque résiduel).

Visualiser temporellement l'évolution et les impacts des différentes solutions pour aider la MOA à choisir la mesure optimale vis-à-vis du risque rocheux sur le territoire considéré.

II.2.4 R4 Guides et recommandations

II.2.4.1 R4.1- Guide "Vulnérabilité à l'aléa rocheux, zonage du risque et gestion de crise"

Partenaires : CG83, CG05, CG06, MYOTIS, représentant de type Communauté de Commune (enjeu ponctuel), partenaires de l'Axe Aléa, Prestataire réalisant le livrable (organisation à préciser).

Animateur : Anne-Gaëlle Ruiz SNCF / V. Le Bidan CG38

Réalisation de différentes étapes

- $T_0 + m_{12}$ à $T_0 + m_{29}$: Réalisation de groupe de travail sur les différents retours d'expérience des MOA sur la gestion de crises.
- $T_0 + m_{37}$ à $T_0 + m_{54}$: Réalisation du guide reprenant différents points du projet :

- Fiches retour d'expérience
- Résistance des infrastructures
- Résilience des réseaux
- Zones de vulnérabilité
- Mesure des impacts
- Conseils pour constitution d'un SIG de simulation de scénarii de gestion de crise
- Kit de gestion de crise.

Résultats attendus

Guide méthodologique

II.2.4.2 R4.2- Guide "Recueil des solutions techniques"

Comprend l'analyse des cycles de vie des ouvrages, les arbres de pannes et de défaillances et les préconisations de maintenance.

Partenaires : Bureau d'étude, MOA et Industriels : EGIS, SNCF, EDF, CG05, CG06, CG73, CG83, CAN, TAS, ARTELIA, 3SR

Le PARN (V. Boudières) s'est proposé en tant que prestataire pour apporter son appui sur l'animation et la conduite des groupes de travail et des guides

Animateur : V. Le Bidan CG38 / M. Huteau SNCF

Réalisation de différentes étapes

- $T_0 + m_{12}$ à $T_0 + m_{29}$: Réflexion et élaboration des arbres de pannes et de défaillances, en lien avec les actions du groupe Parade
- $T_0 + m_{25}$ à $T_0 + m_{42}$: Réalisation du recueil comprenant les paramètres nécessaires à la prise de décision. Il s'appuiera sur les résultats des Rex de l'axe risque et des actions du groupe Parade. Ce travail pourrait aller jusqu'à la modélisation sous forme conceptuelle pour certains éléments ou par quantification lorsque possible du risque versus temps. Ce mode de représentation permettra de visualiser les seuils d'intervention et leur type, de caractériser une obsolescence au regard du risque et d'alerter de manière préventive sur le cycle de vie d'un dispositif.

Résultats attendus : Ce recueil des solutions techniques apportera les données d'entrée pour l'outil de simulation des scénarii de gestion des risques et apportera des règles de l'art en matière de prévention et de protection contre les chutes de blocs.

II.2.4.3 R4.3. Guide "Gestion du risque rocheux"

Partenaires : MOA et Industriel : EDF, SNCF, CG05, CG39, CG11, CG83, CG38, MYOTIS, CG 65, CG 73

Le PARN (V. Boudières) s'est proposé en tant que prestataire pour apporter son appui sur l'animation et la conduite des groupes de travail et des guides

Animateur : Anne-Gaëlle Ruiz SNCF

Réalisation de différentes étapes

- T_0 à $T_0 + m_{18}$: Réalisation de groupe de travail pour échanges et réflexions sur la notion de seuil d'acceptabilité du risque
- T_0 à $T_0 + m_{24}$: Réalisation de groupe de travail pour échanges et réflexions les paramètres à prendre en compte (vision territoriale) et sur les impacts juridiques.
- $T_0 + m_{25}$ à $T_0 + m_{42}$: Réalisation du guide sur le management du risque rocheux.

Résultats attendus

Ce guide sur le management du risque rocheux comprenant conseils et méthodes permettra notamment de faire avancer les débats sur le risque « zéro », illusoire pour les risques naturels tels que les chutes de blocs. Le degré d'acceptation sera à partager pour permettre aux différents acteurs

de ne plus faire des choix isolés. Le guide donnera des outils et des solutions qui permettront à chaque MOA en fonction de ses propres ressources de trouver les solutions qui lui conviennent.

II.2.4.4 R4.4 Benchmark sur les bonnes pratiques pour les BE

Partenaires : EGIS, SNCF, IFSTTAR, CG, BE

Prestataire réalisant le livrable ? (organisation à préciser).

Animateur : Magali Huteau SNCF / E. Dimnet IFSTTAR

T₀ + m₂₆ à T₀ + m₅₄

Réalisation d'échanges entre MOA et Bureaux d'étude. Enquête via un questionnaire en lien avec les actions CADOROC pour recenser les pratiques.

Le but est de coordonner les demandes des MOA et les résultats/conclusions des BE lors de l'évaluation du risque rocheux, et d'aider ainsi les MOA confrontés à des préconisations parfois contradictoires ou hors périmètre de responsabilité.

Proposition de création d'un GIS pour aboutir sur l'action.

Résultats attendus

Cette proposition de labellisation permettra d'accompagner les non-sachants dans leurs demandes et dans leurs choix sur les préconisations données par les bureaux d'études.

Concernant l'ensemble de l'axe Risque, l'avancée des différents ateliers qui seront menés sur le thème de l'évaluation du risque se heurtera à la notion de son acceptabilité. Celle-ci doit faire l'objet d'un travail spécifique par les maîtres d'ouvrage, qui ne disposent aujourd'hui que de la jurisprudence pour tracer, de manière isolée bien souvent, la voie d'une politique de gestion des risques naturels.

La réflexion qui doit être menée sur la notion d'acceptabilité du risque, sera précédée d'un large partage d'expériences de la part des donneurs d'ordres et d'une lecture commune des textes réglementaires disponibles à l'heure actuelle. Sur ce point, il sera proposé aux maîtres d'ouvrage d'élaborer un travail préalable avec leurs services juridiques respectifs. Concernant les besoins, et l'élaboration d'un outil commun de politique de gestion des risques comme objectif visé, la forte interaction de ces derniers avec la sphère décisionnelle politique doit nous amener à chercher un plus petit dénominateur commun auprès de l'ensemble des donneurs d'ordres partenaires du projet et au-delà.

Le travail sera porté par les maîtres d'ouvrages eux-mêmes avec l'assistance d'un cabinet juridique et de partenaires intervenants dans le domaine de la gestion du risque.

II.3 Parades

Axe	Thème	ID de l'action	Action	
Parades	P1 Guides - recommandations	P1.1	Guide conduite opération Tranche 1 : Organisation, programme, état de l'art	
		P1.2	Recommandations ouvrages déviateurs / déflecteurs Tranche 1 : Bibliographie étranger + DCE existant ; initiation de la rédaction définition du besoin expérimental pour alimenter l'action P3.2.3	
		P1.3	Recommandations conception merlon Tranche 1 : Organisation, programme, état de l'art	
		P1.4	Recommandations surveillance instrumentale Tranche 1 : Organisation, programme, état de l'art	
		P1.5	Guide maintenance et réhabilitation des écrans En attente de résultats groupe risque	
	P2 Expérimentation	P2.1	Expérimentation écran: modèle réduit + essai sur écran ancien pour réhabilitation Tranche 1 : Définition des paramètres à étudier et des dispositions constructives des modèles réduits ; 2 essais comparatifs à 2 échelles différents pour valider les principes de similitude adoptés ; 2 essais comparatifs dynamiques <> quasi-statique pour valider l'intérêt des essais quasi-statiques ; Programme d'essai	
		P2.2	Expérimentation ouvrage déviateur / déflecteur Tranche 1 : dans l'attente de la définition des besoins réalisé par l'action 1.3 « recommandation déviateurs/déflecteurs »	
		P2.3	Expérimentation parement merlon Tranche 1 : Organisation, programme, état de l'art	
		P2.4	Expérimentation sur ancrage	
		P2.4.1	Essais sur le comportement des câbles utilisés comme ancrages en terrain meuble	
		P2.4.2	Essais comparatifs en vraie grandeur sur ancrages S670 et B500 travaillant à la flexion	
		P2.4.3	Tests de sollicitation dynamique sur ancrages au rocher	
		P2.4.4	Validation de la tenue de la protection par galvanisation sur ancrages soumis à flexion	
		P2.5	Expérimentation génie biologique	
		P3 Modélisation	P3.1	Modélisation ouvrage souple éboulement (arrêt et déflexion/déviations)
			P3.2	Modélisation Merlon
			P3.3	Modélisation génie biologique
	P4 Concept nouveau	P4.1 et P4.2	Conception et expérimentation Kits d'urgence Tranche 1 : Organisation, programme, état de l'art	

II.3.1 P1 Guides et recommandations

II.3.1.1 P1.1 - Guide conduite opération

Partenaires : Géolithe, Conseils généraux, EDF, SNCF, ATMB, ...maîtrise d'ouvrage de ce type d'opération

Animateur : Lucas Meignan, Géolithe

Les opérations de protections contre les éboulements rocheux ont pour objet de sécuriser les populations et les biens.

En l'absence de réglementation sur les résultats à atteindre, la réalisation des opérations de protection contre les éboulements rocheux n'est encadrée que par le respect des « règles de l'art », fruit du retour d'expérience sur les opérations déjà réalisées.

Les opérations de ce type se développent et sont réalisées par des maîtres d'ouvrages très divers, parfois peu expérimentés et dans l'incapacité à définir leurs besoins ainsi que l'organisation générale de ces opérations.

Ainsi, suivant l'approche choisie par le maître d'ouvrage et/ ou le conducteur d'opération, et en fonction de leurs niveaux d'expertise, les pratiques sont très différentes et peuvent aboutir à des surcoûts très importants, voire à des situations dangereuses.

Aujourd'hui, il apparaît important d'encadrer les usages et de définir des principes communs, fruit de la confrontation des expériences des principaux acteurs qui sont tous regroupés au sein du projet national C²R²OP.

Les recommandations devront aborder les points suivants :

- Définition d'un glossaire
- Elaboration du processus d'opération
- Assistance à la maîtrise d'ouvrage
- Maîtrise d'œuvre
- Autres prestations
- Définition des besoins généraux en fonction des enjeux et des phénomènes
- Contraintes externes
- Organisation et planification générale des opérations
- Modes de financement
- Définition et gestion des risques naturels
- Définition des risques naturels résiduels acceptables
- Principes généraux de parades
- Définition des besoins spécifiques
- Exploitation des enjeux, exploitation des parades
- Information et concertation avec les parties prenantes extérieures
- Conception des parades
- Passation des marchés de travaux
- Suivi des travaux
- Réalisation des travaux
- Maintenance des ouvrages
- Inspection des ouvrages

Résultats attendus

Recommandations à destination des Maîtres d'Ouvrages

II.3.1.2 P1.2 - Recommandations ouvrages déviateurs / déflecteurs

Partenaires : GTS, Géolithe, Avaroc, Alpes ingé, Tas, Cerema

Animateur : Philippe Robit GTS

La mise en place de filets déflecteurs n'est encadrée que par le respect des « règles de l'art », fruit du retour d'expérience sur les ouvrages similaires déjà sollicités. Suivant l'approche choisie par le maître d'œuvre et en fonction de son niveau d'expertise, les pratiques sont très différentes et peuvent dériver vers des usages discutables voir dangereux.

Pour autant, ce type d'ouvrage se développe car il permet de limiter la part aléatoire liée à la propagation de l'éboulement en couvrant l'ensemble de la zone de départ potentiel et peut réduire le coût d'exploitation. Les options de fonctionnement qu'offre ce type d'ouvrage (déflecteur, déviateur, avaloir, contrôle de sortie...) renforce l'intérêt de ces produits pour répondre au mieux aux diverses configurations rencontrées.

Aujourd'hui, il apparaît important d'encadrer leur usage et de définir des principes communs, fruit de la confrontation des expériences des principaux acteurs qui sont tous regroupés au sein du projet national C²R²OP. Les recommandations devront aborder les points suivants :

- Définition des divers types d'ouvrages de cette catégorie
- Définition d'un glossaire
- Détermination des cas d'emploi et des limites
- Principe de dimensionnement des ouvrages et de leur amarrage aux divers types de terrain
- Spécification techniques sur les éléments constitutifs et règles de mise en oeuvre et de contrôle

Cette action sera en étroite interaction avec les actions Parade 2.3 expérimentation ouvrage déviateur et Parade.3.1 Modélisation ouvrage souple.

II.3.1.3 P1.3 - Recommandations conception merlon

Partenaires : Géolithe, Avaroc, Alpes ingé, Irstea

Animateur : Lucas Meignan, Géolithe

La conception d'ouvrage de protection contre les éboulements rocheux de type merlon n'est encadrée que par le respect des « règles de l'art », fruit du retour d'expérience sur les opérations déjà réalisées.

Aujourd'hui, il apparaît important d'encadrer les usages et de définir des principes communs, fruit de la confrontation des expériences des principaux acteurs qui sont tous regroupés au sein du projet national C²R²OP.

Les recommandations devront aborder les points suivants :

- Définition d'un glossaire
- Phénomènes naturels et sollicitations, définition, qualification, quantification
- Définition du résultat attendu, limites d'utilisations
- Contexte géologique, hydrogéologique, géotechnique, et hydrologique
- Contexte morphologique et environnemental
- Principes d'ouvrages
- Conception géométrique
- Conception structurelle
- Stabilité interne sous sollicitations statiques et dynamiques
- Stabilité externe sous sollicitations statiques et dynamiques
- Matériaux, matériels et spécifications
- Méthodes de réalisation des travaux
- Suivi, essais et contrôles en phase travaux
- Maintenance des ouvrages
- Inspection des ouvrages

Cette action sera menée en cohérence et lien étroit avec les actions 1.4 et 2.4 du thème Parades.

Résultats attendus

Recommandations à destination des Maîtres d'Ouvrages et des Maîtres d'œuvre.

II.3.1.4 P1.4 - Recommandations surveillance instrumentale

Partenaires : Géolithe, Cerema, SNCF
Animateur : Lucas Meignan, Géolithe

La protection contre les éboulements rocheux par dispositifs de type auscultation ou surveillance instrumentale est et sera de plus en plus utilisée. De nombreuses publications et travaux scientifiques ont été réalisés.

Il apparait nécessaire d'actualiser et synthétiser des recommandations opérationnelles, à destination des gestionnaires d'infrastructures, maîtres d'ouvrages et maîtres d'œuvres.

Les recommandations devront aborder les points suivants :

- Définition d'un glossaire
- Contexte phénoménologique, morphologique et environnemental
- Définition du résultat attendu, risque résiduel, limites d'utilisations
- Principes de dispositifs
- Conception instrumentale
- Conception de la télé surveillance
- Conception du dispositif d'alerte et d'alarme
- Matériels et spécifications
- Méthodes de réalisation des travaux
- Suivi, essais et contrôles en phase travaux
- Exploitation du dispositif instrumental et de la télésurveillance
- Gestion d'alerte et d'alarme
- Maintenance des dispositifs

Résultats attendus

Recommandations à destination des gestionnaires d'infrastructures, maîtres d'ouvrages et maîtres d'œuvres.

II.3.1.5 P1.5 - Guide maintenance et réhabilitation des écrans. En attente de résultats groupe risque

Partenaires : CEREMA, SNCF, Géolithe, Tas, CG, Autres
Animateur : Pierre Guillemin, Cerema

Production d'un guide sur la maintenance et la réhabilitation des écrans pare-blocs anciens, établi sur la base des retours d'expérience des différents MOa (SNCF, différents CG, etc.) qui devront se fédérer pour la collecte des informations qui peuvent être confidentielles. La rédaction ne commencera qu'après production de certains travaux programmés dans le groupe risque.

Guide à l'usage des MOa pour la gestion de la maintenance de leur parc d'écrans pare-blocs. Présence d'experts en parades et de MOa gestionnaires de parcs d'ouvrages pare-blocs.

II.3.2 P2 Expérimentation

II.3.2.1 P2.1 - Expérimentation écran: modèle réduit et essai sur écran ancien pour réhabilitation

Partenaires : CAN, GTS, TAS, Cerema, IFSTTAR, INSA, SNCF, Irstea, MOA
Animateur : Philippe Robit GTS

Toute modélisation doit être confrontée à la réalité pour valider sa robustesse. Il est donc essentiel de réaliser des essais instrumentés sur écran pare-pierres afin que le projet national aboutisse à un savoir-faire en matière de simulation numérique qui soit suffisamment fiable pour être utilisé en conception par les entreprises et en étude de comportement réel par les MOA/MOE.

Il est important que ces essais soient réalisés en quantité suffisante pour étudier la reproductibilité des comportements. Afin de démultiplier le nombre d'essai à budget constant, les essais seront réalisés en modèle réduit en intégrant au maximum les lois de similitudes. Cet artifice permet d'étudier la répétabilité des phénomènes observés, condition indispensable pour constituer une base de données pertinente.

En parallèle, des essais comparatifs quasi-statique et dynamique seront réalisés sur un même ouvrage afin de juger de l'intérêt des essais à très faible vitesse qui, bien qu'éloignés de la réalité d'un impact réel, sont plus simples à réaliser et moins accidentogènes tout en permettant l'observation fine des mécanismes de diffusion des contraintes interne de l'ouvrage.

Nous proposons d'établir un programme d'essai afin de traiter les points suivants :

- Influence du type de filet sur la diffusion des contraintes internes
- Influence du mode de répartition des freins sur l'efficacité de l'ouvrage
- Influence de la géométrie sur les hauteurs résiduelles

Par ailleurs, les Maitres d'Ouvrages et Maîtres d'œuvre se posent des questions légitimes sur le comportement des écrans pare-pierres dans les configurations réels d'emploi qui vont bien au-delà des conditions stéréotypées et très réductrices du protocole d'essais ETAG. De même, dans un contexte de vieillissement du parc d'écrans français, les gestionnaires d'infrastructure s'interrogent sur l'évolution dans le temps de l'efficacité de leurs ouvrages avec les conséquences sur la réhabilitation qui en découle. Dans cette optique, des essais en grandeur réel avec impact excentré et des essais sur ouvrage ancien seront réalisés à la station de Montagnole.

Résultats attendus

Aide à la conception : influence des options technologiques.
Aide à la préconisation : comportement hors champs ETAG.

Présence des 3 constructeurs français qui sont dans une démarche de développement de produit.

II.3.2.2 P2.2 - Expérimentation ouvrage déviateur / défecteur

Partenaires : GTS, Géolithe, TAS, Avaroc, Alpes Ingé
Animateur : Philippe Robit GTS

Comme évoqué dans l'état de l'art, les expérimentations sur les ouvrages défecteurs sont très rares. C'est d'autant plus dommageable que ces ouvrages, pourtant courants, sont dimensionnés de façon empirique. L'absence de donnée quantifiée mène à des conceptions qui évoluent au gré des pathologies rencontrées sans qu'il y ait de logique d'optimisation. Dans l'optique de rédaction d'une recommandation sur le sujet, il est indispensable d'instrumenter des ouvrages types pour déterminer les contraintes internes subies mais aussi l'influence de l'ouvrage sur l'éboulement canalisé puis dévié vers un autre ouvrage d'interception situé à l'aval.

Résultats attendus

- Compréhension des mécanismes de fonctionnement
- Aide à la conception d'ouvrages
- Aide à la préconisation des ouvrages

Présence des 2 constructeurs français qui sont dans une démarche de développement de ce produit
GTS : essai en grandeur réelle sur ouvrage de 1000m².

II.3.2.3 P2.3 - Expérimentation parement merlon

Partenaires : Géolithe, Cerema, Irstea, Alpes Ingé, LTP-Gabions
Animateur : Lucas Meignan, Géolithe

Cette action a pour objectifs :

- permettre l'utilisation de merlons à double parements raidis (faible emprise au sol), soumis à des impacts très énergétiques.
- optimiser les techniques de réparation après évènement
- identifier les techniques d'amélioration des capacités nominales d'un ouvrage existant

Pour ce faire nous proposons d'expérimenter et de comparer les fonctionnements de différents types de parements de merlon. Comparativement au reste de l'ouvrage, la réponse à l'impact du parement est en effet la plus complexe à appréhender et à modéliser. Les déformations les plus importantes y sont observées, avec une forte dissipation d'énergie (par différents mécanismes). La réponse de cette partie de l'ouvrage gouverne les efforts transmis dans tout l'ouvrage et, in fine, sa stabilité.

Il est important que ces essais soient réalisés en quantité suffisante pour étudier la reproductibilité des comportements. Afin de démultiplier le nombre d'essais à budget constant, les essais seront réalisés à l'échelle 1 et en modèle réduit en vérifiant les lois de similitudes.

Des essais d'impact seront réalisés (suivant les moyens disponibles) soit par impact sub horizontal avec un dispositif de contrôle de trajectoire circulaire, soit par lâcher vertical d'un projectile, sur des couches de matériaux granulaires avec et sans dispositifs de renforcements. Lors de ces essais, les données acquises seront relatives aux sollicitations lors de l'impact, à la déformation de la surface du parement, et aux efforts transmis dans le corps du parement et au-delà.

Ces essais seront réalisés sur la station d'essai de Montagnole (Ifsttar, Céréma), avec appui et implication des différents partenaires pour les différentes phases expérimentales jusqu'à l'analyse des données.

Les matériaux granulaires utilisés seront caractérisés par des essais de géotechnique classique.

Cette action sera menée en cohérence et lien étroit avec les actions 1.4 et 2.4 du thème Parades, pour une bonne adéquation entre moyens mis en œuvre et attentes (pertinence des conditions d'impact, cohérence entre mesures faites et données numériques..). Egalement, la modélisation numérique conduite préalablement aux expérimentations, permettra le pré dimensionnement des différentes configurations testées.

Résultats attendus

- Meilleure connaissance de la réponse des différents types de parements de merlons, notamment en termes de déformation, transfert d'efforts, dissipation d'énergie.
- Fourniture de données de calage et de validation des modèles numériques (données spécifiques à ce contexte)
- Optimisation des capacités de dissipation énergétique des parements de merlons
- Thèse CEREMA IFSTTAR, "Calage d'un module de calcul des impacts sur merlons et couches amortissantes" partagée sur l'action 3.3 du thème Parade.

II.3.2.4 P2.4 - Expérimentation sur ancrage

traction/cisaillement et dynamique

Partenaires : Cerema, IRSTEA, AVAROC, Alpes Ingé, SNCF, CAN, IFSTTAR, AdC/ ANNAHÜTTE, Autres

Animateur : Pierre Guillemin, Cerema

1. Essais sur le comportement des câbles utilisés comme ancrages en terrain meuble

Ce programme sera lancé après obtention des résultats du programme de recherche sur les ancrages par barres B500 et S670 (voir fiche correspondante). Le programme de travail propose des tests de traction flexion et des tests de corrosion accélérée afin de mettre en évidence les modes de corrosion et les effets de l'oxydation sur la durabilité des câbles utilisés comme ancrages en terrain meuble.

Résultats attendus

Validation ou invalidation de l'utilisation des câbles pour l'amarrage d'ouvrages pare-blocs (ou pare-avalanches) en terrain meuble.

2. Essais comparatifs en vraie grandeur sur ancrages S670 et B500 travaillant à la flexion

Une première expertise a montré la défaillance des ancrages S670 lorsqu'ils sont utilisés pour l'amarrage d'ouvrages en terrain meuble du fait de la flexion de l'acier et de l'absence de protection contre la corrosion. Le programme de travail propose de compléter l'expertise des aciers S670 et de réaliser des essais comparatifs avec des barres B500. Les différentes barres plastifiées seront soumises à corrosion accélérée et analysées afin de mettre en évidence les modes de corrosion et les effets de l'oxydation sur la durabilité des différentes nuances.

Les résultats pourront être transposés aux barres utilisées pour les ancrages de confortement au rocher.

Résultats attendus

Validation ou invalidation de l'utilisation de nuances d'acier spécifiques, pour l'amarrage d'ouvrages pare-blocs en terrain meuble et pour les confortements au rocher.

3. Tests de sollicitation dynamique sur ancrages au rocher

Objectif : mesure de la sollicitation d'un ancrage scellé au rocher soumis à une charge dynamique en vue d'en optimiser le dimensionnement. Les essais seront réalisés dans une station d'essai aménagée pour le largage de masses rocheuses qui solliciteront l'ancrage en traction pure. Les ancrages seront équipés de capteurs de force/déformation répartis sur leur longueur afin d'étudier la sollicitation de l'acier au moment de la charge dynamique.

En parallèle, étude du comportement de la tête d'ancrage au niveau du point d'amarrage de l'ouvrage et du contact plaque de répartition / barre d'ancrage. Des essais de sollicitation dynamique non axiale seront également réalisés à cet effet. L'aspect durabilité d'un ancrage sollicité sera abordé par ailleurs dans le programme d'étude comportementale des aciers S670 et B500 (voir fiche correspondante).

Résultats attendus

Optimisation des ancrages soumis à charge dynamique. Adaptation / optimisation des méthodes de liaison ouvrage / ancrage en vue d'améliorer la durabilité.

4. Validation de la tenue de la protection par galvanisation sur ancrages soumis à flexion

Suite à l'expertise menée sur la défaillance d'ancrages S670 pour les ancrages en terrain meuble, réalisation d'essais sur barres d'ancrage galvanisées en vue de quantifier l'apport de la galvanisation pour la protection de barres plastifiées. Si besoin, des essais analogues seront menés en parallèle sur des barres B500.

Résultats attendus

Validation ou invalidation de l'utilisation de barres galvanisées pour l'amarrage d'ouvrages pare-blocs en terrain meuble. Extrapolation au fonctionnement et à la durabilité des ancrages de confortement au rocher.

II.3.2.5 P2.5 - Expérimentation génie biologique

Partenaires : Irstea Grenoble, LGCIE Insa Lyon

Animateur : Pierre Guillemin, Cerema

L'objectif de cette action est d'évaluer l'efficacité et la durabilité de différents types d'ouvrages de protection de type génie biologique (ouvrages bois, filets ancrés sur des arbres...) à l'aide d'essais de laboratoire, de terrain et de modélisations.

Ce type d'ouvrages peut constituer une alternative voire un complément aux ouvrages de génie civil "classiques" et sont peu coûteux, surtout dans le cadre de protections temporaires (situations d'urgence, protections de travaux...).

Des essais de laboratoire d'impact sur tiges de bois sont tout d'abord envisagés afin de quantifier la résistance à l'impact de tiges de bois (réalisation d'un nombre important d'essais étant donnée la variabilité du matériau, essais sur différentes essences de bois). Les résultats de ces essais seront utilisés pour calibrer des modèles numériques de dimensionnement d'ouvrages de génie biologique (travaux initiés dans le cadre de la thèse de I. Olmedo-Manich). Ils seront également utilisés pour calibrer des outils de caractérisation in-situ des propriétés mécaniques des tiges de bois composant ces ouvrages (travaux initiés dans le cadre de la thèse de J.B. Barré).

Des essais de terrain seront par ailleurs réalisés de façon à tester la faisabilité de mise en œuvre de différents ouvrages de génie biologiques ainsi que leur efficacité en conditions réelles. Les solutions techniques les plus efficaces seront ainsi identifiées et des modèles numériques d'aide au dimensionnement de ces ouvrages seront développés à l'aide d'outils développés dans le cadre de la thèse de I. Olmedo-Manich.

Résultats attendus

- Synthèse des résultats de recherche : rapport descriptif de l'efficacité de différents types d'ouvrages de génie biologique en fonction de leurs conditions d'utilisations.
- Recommandations ou guide de dimensionnement de mise en place et de dimensionnement d'ouvrages de génie biologique.

II.3.3 P3 Modélisation

II.3.3.1 P3.1 - Modélisation ouvrage souple éboulement

Type arrêt et déflexion/déviations

Partenaires : CEREMA, IFSTTAR, INSA, CAN, GTS, TAS, Alpes Ingé, Irstea,
Animateur : Philippe Robit, GTS

Ouvrage d'arrêt (écran ETAG)

Les écrans souples d'arrêt doivent être validés par des essais en grandeur réelle dans le cadre défini par l'ETAG27. Ces essais sont cependant onéreux : il est préférable de présenter un produit efficace pour ne pas multiplier les échecs qui se retranscriront inévitablement dans le prix de vente via l'amortissement des coûts de développement (jusqu'à présent, un essai sur deux menés à la station de Montagnole invalide l'écran). Cette démarche n'est cependant pas suffisante : il faut en plus présenter un produit efficace, c'est à dire efficace à moindre coût, sous peine de se retrouver avec un produit validé mais non concurrentiel.

Face à ce constat, la modélisation du comportement des ouvrages sous sollicitation dynamique apparaît comme un outil essentiel pour le développement des futurs écrans. Il est certes ambitieux d'envisager le développement d'un outil prédictif robuste tant le comportement de ces ouvrages en très grandes déformations est difficile à appréhender. Mais l'utilisation de la modélisation pour effectuer une analyse de l'influence paramétrique des différents phénomènes en jeu constituerait une aide précieuse permettant d'orienter les entreprises dans leurs choix technologiques et d'axer les développements des matériaux constitutifs en fonction des points clés identifiés :

- Quelle est le mode de diffusion des efforts internes pour les principales structures d'écran existantes ? (type de géométrie, mode de dispersion des dissipateurs, degrés de liberté entre constituants...)
- Quelle est l'influence des types de dissipateurs existants (ressort, seuil, mixte...) et de leur niveau de freinage pour les principales structures d'écran ?
- Quelle est l'efficacité relative entre les types de filets existants (ASM, GTS, Grillage, Géotextile...) ?

Par ailleurs, les Maîtres d'Ouvrages et Maîtres d'œuvre se posent des questions légitimes sur le comportement des écrans pare-pierres dans les configurations réelles d'emploi qui vont bien au-delà des conditions stéréotypées et très réductrices du protocole d'essais ETAG. De même, dans un contexte de vieillissement du parc d'écrans français, les gestionnaires d'infrastructure s'interrogent sur l'évolution dans le temps de l'efficacité de leurs ouvrages avec les conséquences sur la réhabilitation qui en découlent. Dans cette optique, la modélisation numérique des filets pare-blocs (arrêt) permettra d'améliorer la connaissance de la réponse des filets, pour les différents types de structure existants tout en considérant des cas de charges variés. En cela, cette action permet d'aller au-delà de l'ETAG 27. La modélisation permettra aussi d'appréhender les évolutions de performance des ouvrages vieillissant ce qui sera d'une aide précieuse pour élaborer un programme de maintenance du parc existant.

Ouvrage déviateurs/défecteurs

Dans le cadre de la recommandation prévue pour les ouvrages souples de contrôle de propagation (déviateurs et défecteurs), il importe d'étudier l'efficacité des divers principes existants et de quantifier la variation d'énergie lors du passage des blocs rocheux dans l'ouvrage. Compte tenu des coûts

d'expérimentation sur ces ouvrages de grande ampleur, leur modélisation est essentielle pour en étudier les comportements.

Ces travaux doivent permettre de répondre aux questions suivantes :

- Quelle est l'influence du dispositif sur la propagation de l'éboulement (dissipation d'énergie, répartition entre énergie de translation et de rotation, trajectoire de sortie...) ?
- Quelle est l'influence du terrain sur le fonctionnement de l'ouvrage (nature, irrégularité, inclinaison, couvert végétal...) ?
- Quelle est la sollicitation des constituants de l'ouvrage lors de son fonctionnement (amarrage, haubanage, poteau filet, contrôle de sortie...) ?

Deux méthodes seront utilisées : éléments discrets (CEREMA-IRSTEA, INSA) et éléments finis approche (IFSTTAR). Le travail sera structuré en 3 parties :

1. Avancées et amélioration de l'outil de calcul générique des écrans (approche éléments discrets, CEREMA – IRSTEa) ainsi que des outils respectifs développés par l'INSA et l'IFSTTAR. Il sera notamment question de : développer un modèle de discrétisation plus précis permettant de prendre en compte la mécanique des différentes phases de comportement des mailles du filet (flexion, puis traction, ...), construire un modèle de comportement mécanique des filets à câbles et des grillages, intégrer dans la modélisation des phénomènes non pris en compte actuellement tels que l'effet rideau : glissement des mailles sur les câbles de rive, mettre en place une approche probabiliste du dimensionnement des écrans de filets.
2. Benchmark : comparaison aux résultats d'essais réalisés dans le cadre de l'action Parade.2.1 « Expérimentation écrans souples » du thème « Parades ».
3. Etude numérique par trois équipes traitant respectivement les finalités suivantes :
 - Aide à la conception : influence des options technologiques
 - Aide à la préconisation : comportement hors champs ETAG
 - Comportement des déflecteurs/déviateurs

Résultats attendus

- Aide à la conception : influence des options technologiques
- Aide à la préconisation : comportement hors champs ETAG
- Comportement des déflecteurs/déviateurs

II.3.3.2 P3.2 - Modélisation Merlon

Partenaires : Géolithe, Egis, Irstea, IFSTTAR, Alpes Ingé, 3SR

Animateur : Lucas Maignan, Géolithe

La modélisation du comportement des ouvrages sous sollicitation dynamique est un outil indispensable d'aide à l'ingénieur pour la réalisation et le développement des merlons à parements raidis soumis à des sollicitations très énergétiques.

En faisant suite aux recherches déjà réalisées, il est indispensable d'aboutir à des méthodes de dimensionnement éprouvées, résultantes des avancées scientifiques, techniques et du retour d'expérience sur les opérations déjà réalisées.

Trois axes de travail sont :

- La modélisation de l'impact sur le parement
- La modélisation globale de l'ouvrage (modèle discret IRSTEa, modèles continus FLAC 3D et CESAR)
- La comparaison des résultats et le calage des modèles

Le travail sera structuré en 3 parties :

1. Avancées et amélioration des outils et méthodes de dimensionnement des merlons.
Les points d'amélioration devront permettre de prendre en compte la mécanique des différentes phases de comportement des composants du parement, intégrer dans la modélisation des phénomènes non pris en compte actuellement relatifs aux renforcements interne, mettre en place une approche probabiliste du dimensionnement des merlons en lien avec les simulations trajectographiques.
2. Benchmark : comparaison des modélisations aux résultats d'essais réalisés dans le cadre de l'action 2.4 du thème Parades et d'essais antérieurs (Rempare).
3. Calages des modèles et recherche d'une convergence.

Cette action sera menée en cohérence et lien étroit avec les actions 1.4 et 2.4 du thème Parades.

Résultats attendus

- Meilleure connaissance de la réponse des différents types de parements de merlons, notamment en termes de déformation, transfert d'efforts, dissipation d'énergie, afin d'optimisation des ouvrages.
- Calage et validation des modèles numériques.

II.3.3.3 P3.3 - Modélisation génie biologique

Partenaires : Irstea Grenoble, LGCIE Insa Lyon

Animateur : Pierre Guillemin

L'objectif de cette action est d'évaluer l'efficacité et la durabilité de différents types d'ouvrages de protection de type génie biologique (ouvrages bois, filets ancrés sur des arbres...) à l'aide d'essais de laboratoire, de terrain et de modélisations.

Ce type d'ouvrages peut constituer une alternative voire un complément aux ouvrages de génie civil "classiques" et sont peu coûteux, surtout dans le cadre de protections temporaires (situations d'urgence, protections de travaux...).

Des essais de laboratoire d'impact sur tiges de bois sont tout d'abord envisagés afin de quantifier la résistance à l'impact de tiges de bois (réalisation d'un nombre important d'essais étant donnée la variabilité du matériau, essais sur différentes essences de bois). Les résultats de ces essais seront utilisés pour calibrer des modèles numériques de dimensionnement d'ouvrages de génie biologique (travaux initiés dans le cadre de la thèse de I. Olmedo-Manich). Ils seront également utilisés pour calibrer des outils de caractérisation in-situ des propriétés mécaniques des tiges de bois composant ces ouvrages (travaux initiés dans le cadre de la thèse de J.B. Barré).

Des essais de terrain seront par ailleurs réalisés de façon à tester la faisabilité de mise en œuvre de différents ouvrages de génie biologiques ainsi que leur efficacité en conditions réelles. Les solutions techniques les plus efficaces seront ainsi identifiées et des modèles numériques d'aide au dimensionnement de ces ouvrages seront développés à l'aide d'outils développés dans le cadre de la thèse de I. Olmedo-Manich.

Résultats attendus

- Synthèse des résultats de recherche : rapport descriptif de l'efficacité de différents types d'ouvrages de génie biologique en fonction de leurs conditions d'utilisations.
- Recommandations ou guide de dimensionnement de mise en place et de dimensionnement d'ouvrages de génie biologique.

II.3.4 P4 Nouveau concept

II.3.4.1 P4.1 et P4.2 - Conception et expérimentation Kits d'urgence

Partenaires : GTS, Géolithe, SNCF, CG, 3SR

Animateur : Lucas Meignan, Géolithe

Lors d'événements affectant des infrastructures présentant des enjeux stratégiques importants, et afin de permettre le rétablissement une circulation partielle dans un délai très court ou de permettre l'intervention d'équipes de travaux dans des conditions de sécurité acceptable, il est fait fréquemment d'ouvrages provisoires de toutes natures.

Les interventions et les rétablissements de circulations ont alors opérés dans des conditions de sécurité dégradées qui sont souvent très incertaines.

Actuellement, ces situations sont gérées dans l'urgence, aussi bien pour les phases d'ingénierie que pour les phases de réalisation, générant des situations incertaines, peu optimisées, voire dangereuses pour les usagers ou les intervenants.

Il est pertinent de proposer des outils prêts à l'emploi et pouvant être prépositionnés, permettant une remise en circulation partielle dans des délais très courts, d'autre part ces dispositifs pourraient être utilisés comme protection provisoires lors de la réalisation de travaux dans des conditions de sécurité améliorée pour les usagers.

Le programme de travail est établi suivant 5 domaines :

1. Etablissement des usages et des besoins
2. Définition des principes de Kits d'urgence et des gammes
3. Expérimentation
4. Modélisation, dimensionnement
5. Recommandations

Afin de fiabiliser la démarche, il conviendra d'établir un état des lieux détaillé des pratiques des différents exploitants afin de définir précisément :

- Les usages
- les besoins et contraintes pour chaque type d'enjeu et exploitant
- les besoins autres (chantier avec protection provisoire de circulation, protection provisoires des équipes de travaux...)

Le groupe de travail global définira alors :

- Les objectifs en et limites liés à ces situations,
- Les principes de kits ainsi que les gammes (géométriques, capacité ...) qui seront étudiés et expérimentés ultérieurement.

Le travail sera ensuite organisé en sous-groupes affectés à un type de kit (écran souple, merlon, galerie pré fabriqués, dispositif de surveillance instrumentale prêt à l'emploi...).

Les kits seront définis et pré dimensionnés. Les besoins ultérieurs expérimentaux et de modélisation seront définis et organisés.

Ce programme d'expérimentation sous sollicitations dynamiques étudiera le comportement de prototypes de kits d'urgence à l'échelle 1. Après expérimentation la conception fonctionnelle et structurelle pourra être adaptée aux résultats.

Dans les cas où les limites d'utilisation ne seraient pas complètement définies suite aux expérimentations, ou si des optimisations significatives sont envisagées, des modélisations seront réalisées.

Les kits seront complètement définis :

- plans
- notes de calculs
- plans et méthodes de montage
- ...

Les recommandations aborderont les points suivants :

- Définition d'un glossaire
- Définition des kits d'urgence
- Définition des limites d'emploi de chaque kit
- Recommandations de gestion de situation d'urgence avec utilisation de kit d'urgence
- Définition des méthodes de mise en œuvre et d'exploitation des kits
- Recommandations d'exploitation de la circulation avec kit d'urgence

- Spécifications techniques sur les éléments constitutifs et leur fabrication

Résultats attendus

- Recommandations
- Plans de kits d'urgence
- Dimensionnement de kits d'urgence

III STRATEGIES DE VALORISATION

Une stratégie ambitieuse et multidirectionnelle a été définie pour valoriser les travaux menés dans le cadre de ce projet. Les conclusions et résultats seront présentés sous la forme de :

- Guides techniques
- Guides méthodologiques voir recommandations
- Notes techniques
- Articles scientifiques et ouvrages de synthèse
- Outils numériques

Ces produits s'adresseront globalement aux différents acteurs du risque rocheux ainsi qu'à un public plus large, francophone ou non. La création d'un site Web et l'organisation d'un congrès dédiés au risque rocheux sont également deux piliers forts de notre stratégie pour la réussite de ce PN.

III.1 Site Web

Le site web sera la vitrine du projet ainsi qu'un support permettant de fédérer la communauté concernée par le risque rocheux. Il permettra d'identifier les compétences et contacts au sein du projet, et donnera accès aux sources d'information.

Le contenu de ce site comportera, en particulier :

- Présentation des acteurs du projet, précisant les compétences et coordonnées, avec trombinoscope
- Liste exhaustive des entreprises privées et leurs compétences (BE, fabricant, maitres d'œuvre), en se limitant à celles actives sur le territoire français
- Guides méthodologiques et techniques produits, et autres documents libres de droits
- Liste bibliographique des documents incontournables
- Accès à des outils libres (feuille de calcul, ..)
- Renvoi vers d'autres sites internet apportant un complément d'information technique
- Actualités (congrès, publications, normes...)
- Accès réservé aux acteurs du projet (pour échange de données, d'informations, ..)

Ce site sera conçu pour être tout à la fois attrayant et facile d'accès à un public large. Il sera disponible en français et en anglais.

En outre, une Newsletter semestrielle sera diffusée très largement auprès des acteurs du projet et des utilisateurs potentiels des produits du projet. Ce support de communication aura pour vocation de porter à connaissance les avancées du projet, afin de permettre un partage optimal des avancées, connaissances et informations relatives à la thématique.

III.2 Guides méthodologiques et recommandations

Ces documents clarifieront et préciseront certains processus et exprimeront des recommandations. Ces guides décriront les étapes, leurs enchaînements, préciseront les critères et informations à considérer, les points d'arrêt. Une attention particulière sera apportée à la description des éléments à considérer dans les prises de décision. Ces guides méthodologiques fourniront ainsi la trame, sans aborder dans le détail les différents outils et méthodes mobilisables pour chacune des étapes.

<p>(A) Aléa : L. Boutonnier (Egis) P. Plotto (IMSRN) D. Rimailho (IMSRN) F. Bourrier (Irstea)</p>	<p><u>Guide méthodologique et technique</u>: « Evaluation de l'aléa (Fra/Eng) » <u>Publication technique</u> : « Comparaison des méthodes actuelles d'évaluation de l'aléa de rupture » <u>Publication technique</u> : « Développements d'outils et méthodes nouveaux pour une meilleure caractérisation de l'aléa de départ » <u>Publication technique</u> : « Comparaison des outils trajectographiques »</p>
<p>(B) Risque : M. Huteau, F. Belut, AG. Ruiz (SNCF) V. Le Bidan (CG38) F. Zanolini (PARN)</p>	<p><u>Guide méthodologique</u> : « Vulnérabilité et zonage du risque (Fra/Eng) » <u>Guide méthodologique</u> : « Gestion de crise, spécifique au risque rocheux » <u>Guide technique</u> : « Objectivation du risque » <u>CCTP</u> : « Conduite d'opération »</p> <p><u>Publication technique</u> : « Impact du changement climatique sur l'aléa rocheux »</p> <p><u>Outils</u> : « Outil de simulation de scénarii de gestion de risque » et « outil de modélisation (résilience des réseaux) »</p>
<p>(C) Parades : P. Robit (GTS) L. Meignan (Géolithe) P. Guillemin (Cerema)</p>	<p><u>Recommandation</u> « Conception et dimensionnement des merlons » <u>CCTP</u> « Merlons »</p> <p><u>Recommandation</u> « Conception et dimensionnement des ouvrages souples de contrôle de propagation »</p> <p><u>CCTP</u> « ouvrages souples de contrôle de propagation » <u>CCTP</u> « écran de protection contre les chutes de pierres » <u>Guide technique</u> : « Suivi et entretien des ouvrages » <u>CCTP</u> « entretien d'ouvrage souple »</p> <p><u>Publication technique</u> : « Expérimentations sur boulon d'ancrage (durabilité et réponse à cisaillement) » <u>Publication technique</u> : « Expérimentations sur ouvrages souples (contrôle de propagation des blocs) » <u>Outils</u> : « modélisation des ouvrages souples d'interception »</p> <p>« Application du guide DEE sur les écrans pare-pierres » : => sans objet en l'absence de IFSTTAR Bron</p>

III.3 Guides techniques

Les guides techniques s'intéresseront à des points techniques ou organisationnels particuliers, décrivant les outils et moyens à disposition, leur limite d'utilisation, etc. Ils s'appuieront sur les pratiques courantes et sur les guides actuellement disponibles.

Objet	Contenu
<p>Evaluation de l'aléa (Fra/Eng)</p>	<p>Complètera le guide méthodologique sur l'aléa. Aborde l'aléa de départ et l'aléa de propagation sera rédigé. L'objectif est de présenter les différents outils à disposition des bureaux d'étude pour l'évaluation de l'aléa. Plus qu'un inventaire exhaustif, ce guide fournira les éléments nécessaires au choix des méthodes appropriées en fonction du contexte (contexte technique, moyens financiers, finalité de l'étude, type d'enjeu à protéger...).</p>

Objectivation du risque (Fra/Eng)	Visera à permettre aux gestionnaires de mieux apprécier les enjeux dans une logique de réseau, en leur apportant des outils d'analyse de l'accessibilité et de la résilience des réseaux (voies de communication...), mais également dans une perspective de construction à l'aval des ouvrages (notion de risque résiduel).
Parades (Fra/Eng)	Constituera une mise à jour du guide « Parades contre les instabilités rocheuses ». Il sera augmenté d'informations, relatives au parc d'ouvrages actuel (nombre, coût) et à leur dimensionnement, et intégrera des préconisations techniques pour les filets, en fonction des utilisations, en s'appuyant sur un cadre d'essais défini.
Conduite d'opération	Visera à fiabiliser et homogénéiser les démarches engagées par les MOA dans les opérations de protection contre les éboulements rocheux : <ul style="list-style-type: none"> - Définition des phases de genèse d'opérations - Définition des différents intervenants et des limites de leurs compétences - Spécifications techniques sur les éléments constitutifs des différentes phases.
Suivi et entretien des ouvrages (en complément du guide LCPC Maintenance des ouvrages de protection contre les instabilités rocheuses, 2009)	Destiné aux gestionnaires d'ouvrages et en complément du guide 'Parades', il fournira les moyens de suivre et d'entretenir les ouvrages de protection, en particulier aux fins de priorisation des interventions sur parc d'ouvrages. Il sera constitué, pour chaque type d'ouvrage, d'une fiche descriptive modélisant le cycle de vie, précisant les conditions de visite de suivi et les éléments techniques à relever, ainsi que les différents types de maintenances attendues, les arbres de pannes et de défaillance. Des grilles d'évaluation seront également proposées. Seront également abordées la maintenance et la réhabilitation des écrans pare-blocs antérieurs à l'ETAG 27.
Application du guide DEE sur les écrans pare-pierres	Document explicatif du guide DEE sur les écrans pare-pierres (ex ETAG 27) et adaptation de ce référentiel aux besoins des MOA

III.4 Notes techniques

Les notes techniques présenteront de façon synthétique les acquis du projet non valorisés sous forme de guide, tels que l'Etat de l'art, les résultats d'expérimentations et de simulations numériques, l'étude comparative de différentes méthodes (« benchmark »)..., avec :

- a) Glossaire
- b) Etat de l'art, rapport technique sur la « Connaissance et la gestion des risques rocheux dans le contexte du Changement Climatique »
- c) Comparaison des méthodes actuelles d'évaluation de l'aléa de rupture
- d) Développements d'outils et méthodes nouveaux pour une meilleure caractérisation de l'aléa de départ
- e) Comparaison des outils trajectographiques

- f) Expérimentations sur boulon d'ancrage (durabilité et réponse à cisaillement)
- g) Expérimentations sur ouvrages souples (contrôle de propagation des blocs et contrôle de lave torrentielle)
- h) Impact du changement climatique sur l'aléa rocheux

III.5 Outils

Le développement de deux types d'outils est visé par ce projet :

- a) Outil d'aide à la décision avec interface SIG.

Cet outil pourra gérer le caractère multi-paramètre de la problématique (aléas, parades, conséquences et impacts, maintenance et cycle de vie...) et prendre en compte le caractère multi-dimensionnel (espace, temps et décideurs) pour modéliser les coûts et les niveaux de risque résiduel.

- b) Outils numériques de modélisation des ouvrages d'interception

III.6 Congrès

La construction du Projet National, dans les différentes phases d'opportunité, de faisabilité et de montage, a permis à structurer une communauté jusque-là très émiettée. Un des objectifs majeurs du Projet sera de pérenniser cette structuration, afin de rendre la communauté des risques rocheux visible dans le paysage économique et efficiente dans ses actions.

Pour cela, il a été convenu que le projet C2ROP reprendra l'organisation et l'animation des conférences RSS (Rock Slope Stability), initiées par l'ENERIS en novembre 2010. Il s'agira d'un cycle récurrent, s'appuyant sur une fréquence d'une conférence tous les deux ans. INDURA est désignée comme la structure organisatrice. La mise en place du Comité scientifique de ce cycle de congrès sera validée en Conseil d'Administration. La première édition aura lieu sur Lyon en 2016. L'édition suivante coïncidera avec la fin du projet, en 2018. Il s'agira d'un événement marquant, de portée internationale, permettant la présentation des résultats du projet C2ROP en parallèle de travaux menés dans un cadre extérieur au projet. A l'occasion de ce congrès, un CD contenant les guides et recommandations sera produit et distribué.

Il convient de souligner que ces conférences auront un caractère applicatif manifeste. En aucun cas, il ne s'agira d'une conférence académique conduisant inévitablement vers un cloisonnement entre les sphères académiques et professionnelles. En revanche, une ouverture vers la communauté internationale sera privilégiée à l'occasion de ces événements.

III.7 Publications techniques et scientifiques

A l'initiative des acteurs du projet, les résultats des travaux menés par le collectif feront l'objet de publications scientifiques et techniques dans les principales revues internationales (volet scientifique) et de la profession (volet technique) avec référence au projet de recherche C2ROP.

III.8 Stratégie de valorisation nationale et à l'international

Le projet C2ROP souhaite fédérer les compétences pour reconquérir les marchés internationaux. Afin d'accompagner les partenaires dans leur développement à l'international, le Cluster Montagne, fortement axé sur le développement par l'innovation et l'international, dont l'une des 7 expertises

concerne les risques naturels, **souhaite rejoindre le partenariat**. Il s'agit également d'un défi majeur de la montagne à travers la **sécurité des sites, des infrastructures, des professionnels et des touristes**.

Il est proposé d'associer à la démarche de valorisation du projet C2ROP les actions suivantes :

Etude de marché collective

- Mutualisation des moyens
- Sujet possible : potentiel de marché sur une zone géographique ciblée

Alimentation spécifique du centre de ressource : technique, acteurs publics

- Evolution des chiffres économiques de la filière montagne et risques naturels
- Centralisation des publications scientifiques du projet C2ROP dans le centre de ressources Cluster Montagne

Labellisation potentielle « Montagne Innovante et Internationale » du collectif d'entreprises

- Action sur la réalisation d'un produit ou d'un service
- Gains en notoriété
- Effets de leviers pour des financements complémentaires individuels ou collectifs

Intégration de la cartographie des innovations

- Mise en valeur d'un ou plusieurs sites vitrines sur notre répertoire des innovations et savoir-faire innovants

Présence collective + communication sur les événements

- Mountain Planet, Grenoble (France)
- Alpiro, Chambéry (France)
- Interalpin, Innsbruck (Autriche)
- Expo Andes, Santiago (Chili)

Appui networking sur le congrès C2ROP

- Invitation des partenaires internationaux dans le cadre du congrès « Rock Slope Stability »
- Accueil de délégations de décideurs ciblés

Le Cluster Montagne dispose d'un retour d'expérience et d'un savoir-faire en matière de valorisation à l'international qui sera fortement profitable au projet et aux partenaires impliqués dans celui-ci.

IV ELEMENTS D'ORGANISATION ET DE GOUVERNANCE

IV.1 Périmètre du partenariat

Le projet s'appuie déjà sur un panel d'acteurs relevant des secteurs publics (laboratoires universitaires, Instituts de recherche) et privés (Bureaux d'étude, PME, Groupes TP, Industriels), représentants de collectivités territoriales (Communauté de Communes, Conseils Généraux), et ensemble des Maîtres d'Ouvrages des domaines routiers, autoroutiers, ferroviaires, etc.

Ce panel évolutif est construit pour permettre à la fois de valider la pertinence des objectifs du projet, et lui fournir les moyens scientifiques, techniques et pratiques de répondre aux questions soulevées. Il s'appuie sur l'ensemble du territoire montagneux français, afin de garantir la dimension nationale du projet. Une liste des principaux adhérents à date (non exhaustive) est donnée en Annexe A2.

IV.2 Eléments de Gouvernance et de fonctionnement

La gouvernance du projet va reposer essentiellement sur trois organes :

- L'Assemblée Générale
- Le Bureau Directeur
- Le Comité de Pilotage

L'Assemblée Générale est composée d'un représentant de chacun des Partenaires, chacun d'eux disposant d'une voix. L'Assemblée Générale élit un Président lors de sa première réunion, nommée Assemblée Constitutive. Les pouvoirs de décision concernant le déroulement du Projet sont confiés à l'Assemblée Générale.

Composé de 7 membres, le Bureau Directeur sera désigné par l'Assemblée Générale :

- Le Président
- Le Directeur du Projet
- Le Directeur Scientifique
- Le Représentant des Maîtres d'ouvrage
- Le Directeur Technique des Affaires expérimentales
- Le Mandataire
- Le Secrétariat

Le Comité de Pilotage un organe fondamental du projet. Nous avons pris soin à ce que l'ensemble des facettes de la thématique soit représenté, en particulier celles exprimant la demande sociétale (MOA).

Il se compose de la manière suivante :

- Le Bureau
- Pilotes de Groupes Thématiques

Un des traits saillants du projet est son caractère démultiplicatif, permettant d'organiser le consortium en syndicats ou groupes professionnels :

- Structures fédératives VOR (Vulnérabilité des Ouvrages aux Risques), rassemblant les laboratoires universitaires et organismes de recherche dans le champ du génie civil et des risques en région Rhône-Alpes
- Pôles et clusters :
 - PARN (Pôle Alpin des Risques Naturels) association de coordination d'études et de recherches pour la prévention des risques naturels en montagne,
 - INDURA (Infrastructures Durables Rhône-Alpes) rassemble et accompagne les acteurs des Travaux Publics sur les enjeux de demain pour favoriser le développement de projets innovants dans le domaine des infrastructures de transport et de production d'énergie,
 - Cluster Montagne qui accompagne et promeut, en France et dans le Monde, les acteurs français de l'aménagement en montagne.
- Le Syndicat Français des Entreprises de Travail en Hauteur, SFETH

- Le Syntec-ingénierie, Fédération des professionnels de l'ingénierie et ses métiers
- L'Association Française de Génie Civil, qui avait démarré un axe de réflexion sur les OA Pare-Pierres en liaison avec l'Université de Savoie et le BE Tonnelo/BG
- Sociétés savantes (Comité Français de Mécanique des Roches)
- La FNTP, Fédération Nationale des Travaux Publics

Notons également une mobilisation très forte des MOA, qui projettent de se fédérer en consortium, afin d'une part de désigner un représentant au sein du Comité de Pilotage, et d'autre part disposer d'une plateforme professionnelle permettant de renforcer les synergies (analyse des besoins, partage des pratiques et retours d'expérience) entre les différents MOA.

Enfin, et ceci dans le cadre du positionnement international du projet, un membre représentant un pays étranger sera invité à siéger au sein du Conseil Scientifique.

Le consortium a souhaité une organisation sous forme matricielle, ceci dans l'objectif de limiter le cloisonnement entre les axes et les Groupes Thématiques.

La matrice fonctionnelle s'organise par ligne selon les axes Aléa-Risque-Parades et par colonnes selon les Groupes Thématiques (une structuration par ligne phénoménologique, et par colonnes une structuration d'actions).

	GT1	GT2	GT3	...	GTi	...	GTn
(A) Aléa : L. Boutonnier (Egis) P. Plotto ; D. Rimailho (IMSRN) F. Bourrier (Irstea)							
(B) Risque : V. Le Bidan (CG38) M. Huteau ; F. Belut ; AG. Ruiz (SNCF) F. Zanolini (PARN)							
(C) Parades : P. Guillemin (Cerema) P. Robit (GTS) L. Meignan (Géolithe)							

↓

Groupe Thématique (GTi)		
Etat de l'art H. Ravel (Systra) R. English-Martin (Systra)	Développement expérimental / numérique F. Donzé (3SR) E. Dimnet (IFSTTAR)	Livrables S. Lambert (Irstea) L. Boutonnier (Egis) V. Boudières (PARN)

Il est rappelé que les animateurs de ligne ont deux missions :

- Coordination de l'ensemble des groupes thématiques portant sur leur axe (une ligne correspondant à un axe : Aléa-Risque-Parades) ;
- Interaction de leur axe avec les deux autres axes.

	GT1	GT2	GT3	...	GTi	...	GTn
Aléa							
Risque							
Parade							

Actions transversales

--	--	--	--	--	--	--	--

Tableau Actions transversales (Gouvernance)

Les pilotes des GTi restent aujourd'hui à nommer. Ce travail débutera suite à l'Assemblée Constitutive du projet. Les partenaires potentiels seront invités à se positionner sur les Groupes Thématiques qu'ils souhaitent animer.

La gouvernance est décrite plus en détail dans le projet de Charte qui est placé en annexe.

IV.3 Analyse de risque, forces et faiblesses

Les principales faiblesses du projet proviennent de sa dimension, d'ampleur nationale :

- Nombre très élevé de partenaires
- Diversité dans la nature des partenaires (Maîtres d'Ouvrages, Collectivités publiques, Entreprises, Bureaux d'Etudes, Laboratoires universitaires, Instituts de recherche)
- Initiative sans équivalent par le passé dans le domaine des risques rocheux
- Ampleur des travaux proposés
- Diversité des travaux menés : investigations numériques, expérimentales, à des échelles diverses (de l'organe à l'ouvrage, du joint rocheux au site)
- Juxtaposition de travaux de recherche amont (comportement mécanique d'organes spécifiques, modélisation numérique), et d'applications ouvertement destinées pour l'ingénierie et le monde gestionnaire.

Ces faiblesses sont clairement identifiées, et les acteurs du projet ont pleinement conscience de leur existence. Afin de limiter leur impact sur la performance du projet, les éléments suivants seront exploités en tant qu'avantages :

- Existence de structures fédératrices (INDURA, PARN, VOR, Syndicats inter-professionnels)
- Mise en place d'un mode de gouvernance adossé à une matrice fonctionnelle permettant la diffusion des informations entre les composantes du projet.
- Existence de la matrice fonctionnelle permettant de manipuler des collectifs plus légers, mieux recentrés, et donc plus efficaces.
- Diffusion des connaissances entre les collectifs assurée par le biais de réunion annuelle générale, offrant un bilan des travaux réalisés au cours de l'année écoulée, mais aussi au travers du site Web qui constituera une plateforme d'échange inédite dans le monde des risques rocheux.

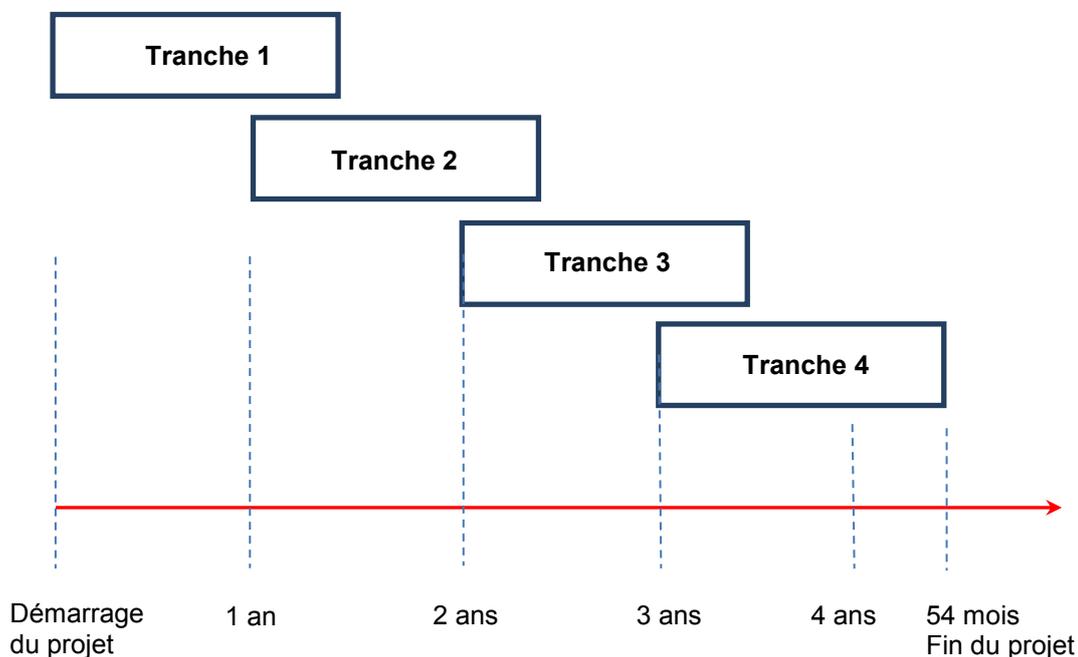
Les partenaires dans leur ensemble sont très complémentaires, garantissant la complétude du projet. Le consortium dispose d'équipements expérimentaux d'envergure internationale, qui trouveront au travers du projet un terrain de valorisation unique : Presse de cisaillement du Cerema (Lyon), station d'essai de Montagnole.

La plupart des différents acteurs du projet ont déjà émarginé à des projets de recherche relevant de la thématique des chutes de blocs, et sont souvent assemblés en sous-réseaux, de taille plus petite, et ont donc un caractère très opérationnel.

Enfin, parce que ce projet relève d'une initiative inédite en France dans le monde du risque rocheux, l'ensemble du partenariat démontre résolument une volonté sans faille à avancer de concert, pour enfin contribuer à l'analyse de cette thématique de manière unifiée, globale et intégrée.

V ELEMENTS BUDGETAIRES

Le projet est prévu de se dérouler sur une durée de 4 ans et demi, structurée en 4 tranches de 18 mois chacune, avec recouvrement de 6 mois entre 2 tranches successives.



Le budget global du projet s'élève à 4.084 millions d'euros HT, hors frais de gestion administrative et financière de l'IREX (5 %).

La répartition du budget entre les 4 tranches se fera de la manière suivante :

- Tranche 1 : environ 25 % (1.046 M €)
- Tranche 2 : environ 25 % (1.038 M €)
- Tranche 3 : environ 25 % (1.00 M €)
- Tranche 4 : environ 25 % (1.00 M €)

Par ailleurs, sur l'ensemble de la durée du projet, la ventilation du budget entre les trois axes principaux du projet pourra se faire comme suit (les pourcentages affichés sont donnés à titre indicatif au stade actuel du projet) :

- Axe Aléas : environ 25 % (1.0 M €)
- Axe Gestion du risque et aide à la décision : environ 24 % (0.986 M €)
- Axe Parades : environ 51 % (1.78 M €)

Le détail de la ventilation du budget est donné dans le tableau qui suit, reprenant pour chacun des trois axes (aléas, gestion du risque, parades) l'ensemble des actions envisagées ainsi que leur budget. La dernière colonne indique la ventilation des actions et du budget pour l'année 1.

V.1 Budget du projet

Animateur	ID action	Action	Budget global en € HT	Budget sur la Tranche 1 en € HT
ALEA - L. Boutonnier Egis ; P. Plotto et D. Rimailho IMSRN ; F. Bourrier Irstea			1000 k€	195 k€
A1 : Aléa de départ			240 k€	80 k€
D. Hantz ISTERre	A1.1	Quantification de l'aléa diffus	70 k€	
		Tranche 1 : initiation des mesures		25k€
R. Fabre I2M GCE -mesures BE ingénierie -dépouillement	A1.2	Quantification de l'aléa localisé	90 k€	
		Tranche 1 : sélection des sites, démarrage des mesures		30k€
D. Jongmans ISTERre	A1.3	Nouvelles méthodes expérimentales de mesure de l'aléa localisé	80 k€	
		Tranche 1 : sélection des sites, démarrage des mesures		25k€
A 2 : Sensibilité de l'aléa déclenchement aux incertitudes et au changement climatique			150 k€	40 k€
D. Breyse I2M GCE	A2.1	Modélisation de l'aléa climatique déclencheur	75 k€	
		Fin de Tranche 1 : Collecte des données, simulations des signaux synthétiques de climat		20k€
N. Eckert Irstea	A2.2	Evolution de l'occurrence des événements extrêmes	75 k€	
		Tranche 1 : Démarrer les recherches d'événements extrêmes éboulements		20k€
A3 : Aléa de propagation			450 k€	45 k€
F. Berger Irstea	A3.1	Benchmark logiciels trajectographiques expérimentation	120 k€	
		Tranche 1 : Choix des sites		25k€
J. Baroth 3SR	A3.2	Prise en compte de la variabilité et de l'incertitude des paramètres de terrain sur l'estimation de l'aléa propagation	80 k€	
		Démarrage tranche 2		
F. Bourrier Irstea	A3.3	Prise en compte du couvert forestier dans l'aléa de propagation	80 k€	
		Démarrage Tranche 2		
P. Villard 3SR	A3.4	Modélisation des éboulements (avalanche rocheuse) de faibles volumes, inférieurs à 1000 m³	80 k€	
F. Guyoton Géolithe	A3.5	Quantification de l'aléa résultant sur voie de communication	90 k€	
		Choix des sites		20k€
A4 : Groupes de travail			160 k€	30 k€
L. Boutonnier Egis	A4.1	Evaluation de l'aléa	80 k€	
		Tranche 1 : démarrage en fonction des synthèses des actions aléa		15k€
Eric Dimnet IFSTTAR / Bureau d'étude ou MOA	A4.2	Zonage de propagation	80 k€	
		Tranche 1 : démarrage en fonction des synthèses des actions aléa		15k€

Animateur	ID action	Action	Budget global en € HT	Budget sur la Tranche 1 en € HT
RISQUE - M. Huteau, AG. Ruiz, F. Belut et A. Narcy SNCF ; V. Le Bidan CG38 ; F. Zanolini PARN			986 k€	265 k€
R1 : Collecte de données			300 k€	200 k€
V/ Le Bidan CG38 / F. Belut SNCF	R1.1	REX pour une meilleure prise en compte de la vulnérabilité	150 k€	100k€
V/ Le Bidan CG38 / F. Belut SNCF	R1.2	REX coûts et maintenance (parades, infrastructures)	150 k€	100k€
R2 : Expérimentation			55 k€	20k€
M. Huteau SNCF	R2.1	Méthodes observationnelles sur les ouvrages vieillissants : étude du cycle de vie des ouvrages de protection, des modes de ruptures	55 k€	20k€
R3 : Modélisation			421 k€	0 k€
	R3.1	Modélisation du risque rocheux et de sa gestion jusqu'à la simulation de crise (avec dispositif Icrisis)		
JM. Tacnet Irstea	R3.1.1	Modélisation des réseaux sur une zone test (résilience). Aspect risque sur enjeu linéaire	52 k€	
N. Eckert Irstea	R3.1.2	Modélisation du risque sur enjeu localisé (zonage réglementaire)	165 k€	
T. Verdel Géoressources	R3.1.3	Simulation d'une crise avec logiciel Icrisis©	54 k€	
AG Ruiz SNCF	R3.2	Développement d'outil de simulation de scenarii de gestion des risques	150 k€	
	R3.2.1	Réalisation d'une interface SIG regroupant aléas et parades		
	R3.2.2	Simulation économiques des choix réalisés		
	R3.2.3	Modélisation dynamique		
R4 : Guides et recommandations			210 k€	45 k€
V. Le Bidan CG38 AG Ruiz SNCF	R4.1	Guide : "Vulnérabilité à l'aléa rocheux, zonage du risque et gestion de crise"	50 k€	25k€
	R4.1.1	Réalisation de groupes de travail pour constitution du guide (avec REX sur les mesures prises en cas de crises)		
	R4.1.2	Réalisation du guide		
V. Le Bidan CG38 / M. Huteau SNCF	R4.2	Guide : "Recueil de solutions techniques", comprend analyse des cycles de vie des ouvrages, les arbres de pannes et de défaillances et les préconisations de maintenance	70 k€	
	R4.2.1	Construction des arbres de pannes et de défaillances		
	R4.2.2	réalisation du guide		
V. Le Bidan CG38 / AG Ruiz SNCF	R4.3	Guide : "Gestion du risque rocheux"	50 k€	20k€
	R4.3.1	Groupe de travail pour paramètres à prendre en compte (vision territoriale)		
	R4.3.2	Groupe de travail pour échanges et réflexions sur la notion de seuil d'acceptabilité du risque		
	R4.3.3	Relation avec impact juridique (consultation juriste)		
	R4.3.4	Réalisation du guide		
M. Huteau SNCF / E. Dimnet IFSTTAR	R4.4	Benchmark sur les bonnes pratiques pour les BE	40 k€	

Animateur	ID action	Action	Budget global en € HT	Budget sur la Tranche 1 en € HT
PARADES - P. Robit GTS ; L. Meignan Géolithe ; P. Guillemain Cerema			1 780k€	515k€
P1 : Guide - Recommandation			250 k€	55k€
L. Meignan Géolithe	P1.1	Guide conduite opération	50 k€	
P. Robit GTS	P1.2	Recommandations ouvrages déviateurs / déflecteurs	50 k€	
L. Meignan Géolithe	P1.3	Recommandations conception merlon	50 k€	
L. Meignan Géolithe	P1.4	Recommandations surveillance instrumentale	50 k€	
P. Guillemain Cerema	P1.5	Guide maintenance et réhabilitation des écrans (en attente de résultats groupe risque)	50 k€	
P2 : Expérimentation			890 k€	310k€
P. Robit GTS	P2.1	Expérimentation écran: modele réduit + essai sur écran ancien pour réhabilitation	220 k€	
P. Robit GTS	P2.2	Expérimentation ouvrage déviateur / déflecteur	100 k€	
L. Meignan Géolithe	P2.3	Expérimentation parement merlon	220 k€	
P. Guillemain Cerema	P2.4	Expérimentation sur ancrage (traction/cisaillement et dynamique)	200 k€	
P. Guillemain Cerema	P2.5	Expérimentation génie biologique	150 k€	50k€
P3 : Modélisation			460 k€	100k€
P. Robit GTS	P3.1	Modélisation ouvrage souple éboulement (arrêt et déflexion/déviation)	180 k€	60k€
L. Meignan Géolithe	P3.2	Modélisation Merlon	180 k€	
P. Guillemain Cerema	P3.3	Modélisation génie biologique	100 k€	40k€
P4 : Concept nouveau			180 k€	50k€
L. Meignan Géolithe	P4.1 P4.2	Conception et expérimentation Kits d'urgence	180 k€	

Animateur	ID action	Action	Budget global en € HT	Budget sur la Tranche 1 en € HT
Etat de l'art			10k€	10k€
V. Boudières PARN	E1	Rapport technique : connaissance et gestion des rosques rocheux dans le	10k€	10k€
Valorisation des résultats			208 k€	27k€
F. Nicot Irstea	V1	Série de publications "Risques gravitaires", Iste-Wiley	10 k€	
F. Nicot Irstea / J. Martin Egis	V2	Cycle de Workshops dédiés à la thématique C ² R ² OP	80 k€	3k€
F. Nicot Irstea / J. Martin Egis	V3	Plateforme d'échanges Web pour la Communauté de Pratiques	60 k€	10k€
Cluster Montagne	V4	Valorisation nationale et internationale	58 k€	14k€
Gouvernance			100 k€	34k€
J. Martin Egis / F. Nicot Irstea	G1	Comité de Direction - COPIL	40 k€	10k€
INDURA	G2	Secrétariat INDURA	60 k€	24k€
TOTAL des actions (€)			4084k€	1046k€
Frais de gestion administratifs et financiers IREX (5%)			204 k€	52 k€
TOTAL du Projet HT (€)			4288 k€	1098 k€
TOTAL du Projet TTC (€)			5146 k€	1318 k€

V.2 Scénarios de financement

Dans un contexte où la part de financement des projets nationaux par la DRI du MEDDE est en forte baisse et non déterminée au moment de la rédaction de l'étude de montage, le plan de financement suivant a été imaginé :

- Etat (ministères / agences) ~ 10 à 20%
- Cotisations ~ 20 à 25%
- Apports exceptionnels ~ 5 à 10%
- Apports en nature ~ 60 à 65%

Un engagement de principe a été demandé en avril 2014 aux partenaires potentiels afin de consolider la partie relative aux cotisations.

La DRI (Direction Recherche et Innovation) et la DGPR (Direction Générale de la Prévention des Risques) seront sollicitées au sein du MEDDE. Il est également envisagé de déposer un dossier reprenant une partie du projet auprès de l'ANR en septembre 2014.

VI PLANNING PREVISIONNEL

Axe	Thème	ID de l'action	Action	Tranche 1												Tranche 2												Tranche 3												Tranche 4																																																															
				T0	T0+1	T0+2	T0+3	T0+4	T0+5	T0+6	T0+7	T0+8	T0+9	T0+10	T0+11	T0+12	T0+13	T0+14	T0+15	T0+16	T0+17	T0+18	T0+19	T0+20	T0+21	T0+22	T0+23	T0+24	T0+25	T0+26	T0+27	T0+28	T0+29	T0+30	T0+31	T0+32	T0+33	T0+34	T0+35	T0+36	T0+37	T0+38	T0+39	T0+40	T0+41	T0+42	T0+43	T0+44	T0+45	T0+46	T0+47	T0+48	T0+49	T0+50	T0+51	T0+52	T0+53	T0+54	T0+55	T0+56	T0+57	T0+58	T0+59	T0+60	T0+61	T0+62	T0+63	T0+64	T0+65	T0+66	T0+67	T0+68	T0+69	T0+70	T0+71	T0+72	T0+73	T0+74	T0+75	T0+76	T0+77	T0+78	T0+79	T0+80	T0+81	T0+82	T0+83	T0+84	T0+85	T0+86	T0+87	T0+88	T0+89	T0+90	T0+91	T0+92	T0+93	T0+94	T0+95	T0+96	T0+97	T0+98	T0+99
Aléa	A1 : Aléa de départ	A1.1	Quantification de l'aléa diffus Tranche 1 : initiation des mesures	[Bar chart showing activity in Tranche 1 from T0 to T0+100]																																																																																																			
		A1.2	Quantification de l'aléa localisé Tranche 1 : sélection des sites, démarrage des mesures	[Bar chart showing activity in Tranche 1 from T0 to T0+100]																																																																																																			
		A1.3	Nouvelles méthodes expérimentales de mesure de l'aléa localisé Tranche 1 : sélection des sites, démarrage des mesures	[Bar chart showing activity in Tranche 1 from T0 to T0+100]																																																																																																			
	A2 : Sensibilité de l'aléa déclenchement aux incertitudes et au changement clim	A2.1	Modélisation de l'aléa climatique déclencheur Tranche 1 : Collecte des données, simulations des signaux synthétiques de climat	[Bar chart showing activity in Tranche 1 from T0 to T0+100]																																																																																																			
		A2.2	Evolution de l'occurrence des événements extrêmes Tranche 1 : Démarrer les recherches d'événements extrêmes éboulements	[Bar chart showing activity in Tranche 1 from T0 to T0+100]																																																																																																			
	A3 : Aléa de propagation	A3.1	Benchmark logiciels trajectographiques Tranche 1 : Choix des sites	[Bar chart showing activity in Tranche 1 from T0 to T0+100]																																																																																																			
		A3.2	Prise en compte de la variabilité et de l'incertitude des paramètres de terrain sur l'estimation de l'aléa propagation	[Bar chart showing activity in Tranche 1 from T0 to T0+100]																																																																																																			
		A3.3	Prise en compte du couvert forestier dans l'aléa de propagation	[Bar chart showing activity in Tranche 1 from T0 to T0+100]																																																																																																			
		A3.4	Modélisation des éboulements en masse de faibles volumes	[Bar chart showing activity in Tranche 1 from T0 to T0+100]																																																																																																			
		A3.5	Quantification de l'aléa résultant sur voie de communication Tranche 1 : Choix des sites	[Bar chart showing activity in Tranche 1 from T0 to T0+100]																																																																																																			
	A4 : Groupes de travail	A4.1	Evaluation de l'aléa Tranche 1 : démarrage en fonction des synthèses des actions aléa	[Bar chart showing activity in Tranche 1 from T0 to T0+100]																																																																																																			
		A4.2	Zonage de propagation Tranche 1 : démarrage en fonction des synthèses des actions aléa	[Bar chart showing activity in Tranche 1 from T0 to T0+100]																																																																																																			

Axe	Thème	ID de l'action	Action	Tranche 1																																																						
				Tranche 2							Tranche 3							Tranche 4																																								
Risque				T0	T0+1	T0+2	T0+3	T0+4	T0+5	T0+6	T0+7	T0+8	T0+9	T0+10	T0+11	T0+12	T0+13	T0+14	T0+15	T0+16	T0+17	T0+18	T0+19	T0+20	T0+21	T0+22	T0+23	T0+24	T0+25	T0+26	T0+27	T0+28	T0+29	T0+30	T0+31	T0+32	T0+33	T0+34	T0+35	T0+36	T0+37	T0+38	T0+39	T0+40	T0+41	T0+42	T0+43	T0+44	T0+45	T0+46	T0+47	T0+48	T0+49	T0+50	T0+51	T0+52	T0+53	T0+54
R1 : Collecte de données	R1.1	R1.1	REX pour une meilleure prise en compte de la vulnérabilité																																																							
		R1.2	REX coûts et maintenance (parades, infrastructures)																																																							
	R2 : Expérimentation	R2.1	Méthodes observationnelles sur les ouvrages vieillissants : étude du cycle de vie des ouvrages de protection, des modes de ruptures																																																							
		R3.1	Modélisation du risque rocheux et de sa gestion jusqu'à la simulation de crise (avec dispositif Icrisis ©)																																																							
	R3 : Modélisation	R3.1.1	Modélisation des réseaux sur une zone test (résilience). Aspect risque sur enjeu linéaire.																																																							
		R3.1.2	Modélisation du risque sur enjeu localisé (zonage réglementaire)																																																							
		R3.1.3	Simulation d'une crise avec logiciel Icrisis©																																																							
		R3.2	Développement d'outil de simulation de scénarii de gestion des risques																																																							
		R3.2.1	Réalisation d'une interface SIG regroupant aléas et parades																																																							
		R3.2.2	Simulation économiques des choix réalisés																																																							
		R3.2.3	Modélisation dynamique																																																							
		R4.1	Guide : "Vulnérabilité à l'aléa rocheux, zonage du risque et gestion de crise"																																																							
		R4.1.1	Réalisation de groupes de travail pour constitution du guide (avec REX sur les mesures prises en cas de crises)																																																							
		R4.1.2	Réalisation du guide																																																							
	R4 : Guides et recommandations	R4.2	Guide : "Recueil de solutions techniques", comprend analyse des cycles de vie des ouvrages, les arbres de pannes et de défaillances et les préconisations de maintenance																																																							
		R4.2.1	Construction des arbres de pannes et de défaillances																																																							
		R4.2.2	réalisation du guide																																																							
		R4.3	Guide : "Gestion du risque rocheux"																																																							
		R4.3.1	Groupe de travail pour paramètres à prendre en compte (vision territoriale)																																																							
		R4.3.2	Groupe de travail pour échanges et réflexions sur la notion de seuil d'acceptabilité du risque																																																							
		R4.3.3	Relation avec impact juridique (consultation juriste)																																																							
		R4.4	Réalisation du guide																																																							
		R4.4.1	Benchmark sur les bonnes pratiques pour les BE																																																							

Axe			Thème		Action	Tranche 1																																																						
Thème			ID de l'action			Tranche 2							Tranche 3							Tranche 4																																								
Parades			P1 Guides - recommandations			T0	T0+1	T0+2	T0+3	T0+4	T0+5	T0+6	T0+7	T0+8	T0+9	T0+10	T0+11	T0+12	T0+13	T0+14	T0+15	T0+16	T0+17	T0+18	T0+19	T0+20	T0+21	T0+22	T0+23	T0+24	T0+25	T0+26	T0+27	T0+28	T0+29	T0+30	T0+31	T0+32	T0+33	T0+34	T0+35	T0+36	T0+37	T0+38	T0+39	T0+40	T0+41	T0+42	T0+43	T0+44	T0+45	T0+46	T0+47	T0+48	T0+49	T0+50	T0+51	T0+52	T0+53	T0+54
P4	Conception	nouveau	P1.1	Guide conduite opération		Tranche 1 : Organisation, programme, état de l'art																																																						
				P1.2	Recommandations ouvrages déviateurs / déflecteurs		Tranche 1 : Bibliographie étranger + DCE existant ; initiation de la rédaction																																																					
				P1.3	Recommandations conception merlon		Tranche 1 : Organisation, programme, état de l'art																																																					
				P1.4	Recommandations surveillance instrumentale		Tranche 1 : Organisation, programme, état de l'art																																																					
				P1.5	Guide maintenance et réhabilitation des écrans		En attente de résultats groupe risque																																																					
	P2	Expérimentation		P2.1	Expérimentation écran: modèle réduit + essai sur écran ancien pour réhabilitation		Tranche 1 : Définition des paramètres à étudier et des dispositions constructives des modèles réduits ; 2 essais comparatifs à 2 échelles différents pour valider les principes de similitude adoptés ; 2 essais comparatifs dynamiques <> quasi-statique pour valider l'intérêt des essais quasi-statiques : Programme d'essai																																																					
				P2.2	Expérimentation ouvrage déviateur / déflecteur		Tranche 1 : dans l'attente de la définition des besoins réalisé par l'action 1.3 « recommandation déviateurs/déflecteurs »																																																					
				P2.3	Expérimentation parement merlon		Tranche 1 : Organisation, programme, état de l'art																																																					
				P2.4	Expérimentation sur ancrage																																																							
				P2.5	Essais sur le comportement des câbles utilisés comme ancrages en terrain meuble																																																							
				P2.6	Essais comparatifs en vraie grandeur sur ancrages S670 et B500 travaillant à la flexion																																																							
				P2.7	Tests de sollicitation dynamique sur ancrages au rocher																																																							
	P3	Modélisation		P3.1	Modélisation ouvrage souple éboulement		(arrêt et déflexion/déviation)																																																					
				P3.2	Modélisation Merlon																																																							
				P3.3	Modélisation génie biologique																																																							
P4.1	Conception et expérimentation Kits d'urgence		Tranche 1 : Organisation, programme, état de l'art																																																									

Axe			Thème		Action	Tranche 1																																																						
Thème			ID de l'action			Tranche 2							Tranche 3							Tranche 4																																								
Etat de l'art			E1 Rapport technique Etat de l'art			T0	T0+1	T0+2	T0+3	T0+4	T0+5	T0+6	T0+7	T0+8	T0+9	T0+10	T0+11	T0+12	T0+13	T0+14	T0+15	T0+16	T0+17	T0+18	T0+19	T0+20	T0+21	T0+22	T0+23	T0+24	T0+25	T0+26	T0+27	T0+28	T0+29	T0+30	T0+31	T0+32	T0+33	T0+34	T0+35	T0+36	T0+37	T0+38	T0+39	T0+40	T0+41	T0+42	T0+43	T0+44	T0+45	T0+46	T0+47	T0+48	T0+49	T0+50	T0+51	T0+52	T0+53	T0+54
Gouvernance	G1	Comité de Pilotage - COPIL	G1	Rapport technique : connaissance et gestion des rosques rocheux dans le contexte du changement climatique		Tranche 1 : revue bibliographique impact du changement climatique et risques rocheux et leur prise en compte																																																						
				V1	Série de publications "Risques gravitaires", Iste-Wiley																																																							
				V2	Cycle de Workshops dédiés à la thématique C ² R ² OP		Tranche 1 : Identification du lieu, déroulement, prise de contacts (organismes, intervenants, ...), préparation de la communication, programme, ...																																																					
				V3	Plateforme d'échanges Web pour la Communauté de Pratiques		Tranche 1 : mise en place de la plateforme de travail, structuration, interface de travail avec identifiants réservée aux partenaires, site public, communication sur le projet, Newsletter																																																					
G2	Secrétariat	G2	G2	Valorisation nationale et internationale		Tranche 1 : Etude de marché ; alimentation du centre de ressource; labellisation du projet ; cartographie des innovations ; communication sur les événements ; Networking congrès																																																						
				Comité de Pilotage - COPIL		Tranche 1 : réunions, webinars, information, développement communication, ...																																																						
G2		Secrétariat INDURA				Tranche 1 : Participation au COPIL, coordination, animation, support à la Direction, relais sur le																																																						

VII ANNEXES

VII.1 Annexe 1 : Liste des sigles et acronymes

BE : Bureau d'études

CG : Conseil général

MNT : Modèle Numérique de Terrain

MOA : Maîtres d'ouvrages

MOE : Maîtrise d'œuvre

PCRD : Programme Cadre de Recherche et Démonstration

PPRI : Plan de Prévention du Risque Inondation

PPRN : Plan de Prévention des Risques Naturels

VII.2 Annexe 2 : Liste non exhaustive des partenaires potentiels du Projet

(* signale les acteurs qui ont manifesté à ce jour, leur volonté de participer)

Maîtres d'Ouvrages

*SNCF

*RFF

*EDF

RTE Réseau de Transport d'Electricité

APRR

ESCOTA

SFTRF (Société Française du Tunnel Routier du Fréjus)

ATMB

*ONF-RTM

VNF

LTF

DIR Centre-Est, Est, Méditerranée, Sud-Ouest, Nord-Ouest

Maitres d'œuvre, entreprises de construction, industriels et fournisseurs de matériau

* AdC/ ANNAHÜTTE

*EGIS

*GTS – HC (groupe NGE)

*TEXINOV

*BG (dont anciennement TONELLO IC)

*ENGINEERISK

*IMSRN

*TAS

*ARCADIS

*INGEDIA

ARTELIA

INGEROP

*SETEC

*SAGE - ADRGT

*GEOLITHE

*MACCAFERI FRANCE
*SYSTRA
*SYNTEC
*AVAROC
VINCI
EIFFAGE TP – la Forésienne
BOUYGUES TP
FAYAT
SAFEGE
*GIA Ingénierie
TERRASOL
*DSI (Dywidag Systems)
ALPES INGE
*GEOP
*MYOTIS
*MECANROC
*TETRA
*SAGGAM
*SETE-ingénierie
*CAN
LEON GROSSE
ALPHAROC
*GINGER-CEBTP
Alp'géorisques
*CEA
*Fondasol
*Hydrokarst
*Itasca
*LTP-Gabions
*Ouestacro
Razel Bec

Centres d'études et instituts

*IFSTTAR
*Cerema
*IRSTEA
*INERIS
*BRGM

Laboratoires de recherche

*3SR
*LGCIE
*ISTERRE
*LTDS
*GEOAZUR
*ARMINES-MINES ParisTech / Centre de Géosciences
*Ecole des Mines Alès
*Ecole des Mines de Nancy
*GEORESSOURCES (Ecole des Mines de Nancy)
*UNIVERSITE BORDEAUX I (I2M GCE)
LTDS
*Edytem Université de Savoie
Gef (L2G)
Géolab – CNRS Clermont-Ferrand
LMT Cachan

Collectivités

*Métropole Nice Côte d'Azur

CG01, *CG05, *CG06, *CG11, CG13, CG15, *CG25, CG26, CG34, *CG38, *CG39, CG42, CG43, CG48, CG63, CG64, *CG65, CG66, *CG73, *CG74, *CG83 autres Conseils généraux en cours de contact (Corse, île de la Réunion, CG84, ...)

Métropole grenobloise

Région PACA

Région Rhône-Alpes

Région Midi Pyrénées

Structures fédératives et structures relais

*INDURA

*VOR

*PARN : Pôle Alpin des Risques Naturels

*Cluster Montagne

*CFMR

*Fntp