*Géotechnique – Environnement*
*Montagne – Expertise*
*Parc d'activités Eurékalp*
*38660 Saint Vincent de Mercuze - France*

*☎ : 04.76.08.81.84 🖷 : 04.76.08.81.85*
*✉ : contact@alpes-inge.com*

# COMMUNE D'ORPIERRE (05)
# FALAISES DU PUY ET ENVERS 4 HEURES
# ETUDE GEOTECHNIQUE DE PROJET

| N° Affaire : AF20-054 | | | N° Dossier : 02 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| N° Indice | Dates | Etabli par | Signature | Vérifié par | Signature | Nb pages |
| 0 | 28/12/2020 | F. MACHET | | I. BRUNET | | 31 |

© 12/2020 Alpes Ingé

# SOMMAIRE

**1 INTRODUCTION ..... 3**
**2 RENSEIGNEMENTS GENERAUX ..... 3**
2.1 Situation et description du site ..... 3
2.2 Contexte géologique et géotechnique local ..... 4
**3 ETUDE DES CHUTES DE BLOCS ..... 5**
3.1 Présentation des reconnaissances ..... 5
3.2 Synthèse des observations ..... 5
**4 ANALYSE DES RISQUES DE CHUTES DE BLOCS ..... 6**
4.1 Généralités ..... 6
4.2 Aléa de rupture ..... 6
4.3 Vulnérabilité ..... 6
4.4 Synthèse : détermination du niveau de risque ..... 6
**5 DEFINITION DES TRAVAUX DE SECURISATION A ENVISAGER ..... 8**
5.1 Solutions envisagées ..... 8
5.2 Travaux de purge ..... 8
5.3 Confortement par ancrages des masses instables ..... 8
5.4 Surveillance du site ..... 9
**6 CONCLUSIONS ..... 10**

# ANNEXES

ANNEXE 1 .....
NORME NF P 94-500 – MISSIONS TYPE D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE .....
ANNEXE 2 .....
PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES .....
ANNEXE 3 .....
METHODE D'EVALUATION DES RISQUES DE CHUTES DE BLOCS .....

© 12/2020 Alpes Ingé

# 1 INTRODUCTION

A la demande et pour le compte de la commune d'Orpierre (05), Alpes Ingé a été missionné pour réaliser l'étude géotechnique de projet des travaux de sécurisation vis-à-vis des chutes de blocs des falaises d'escalade du Puy (site équipé) et Envers 4 heures (site en cours d'équipement).

Cette mission s'inscrit dans le cadre d'un programme de sécurisation général des différentes falaises d'escalade d'Orpierre. Elle est basée sur les observations faites lors de notre visite de site du 30 juin 2020 en compagnie de M. Robert BERGER de la société PRISME AVENTURES.

En référence à la norme NF P 94-500 révisée en novembre 2013 (Classification des missions types d'ingénierie géotechnique) qui figure en **annexe 1**, notre mission est de type G2 PRO – Etude géotechnique de conception – phase Projet.

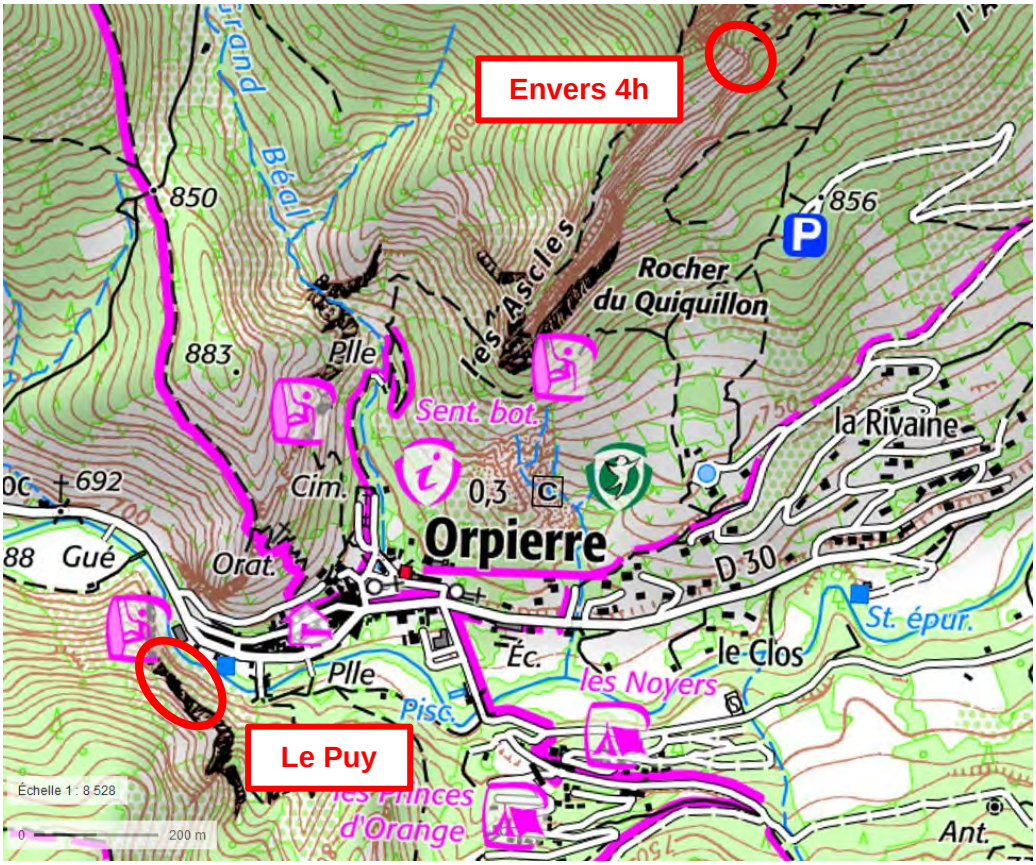
***NB :*** *la bonne réalisation de cette mission ne supprimera jamais les risques naturels en domaine de montagne, notamment : chutes de blocs, éboulements, glissements de terrains, avalanches. Il ne peut pas y avoir obligation de résultat dans ce domaine. Par conséquent, la surveillance et l'entretien des installations dans le temps sont nécessaires vis-à-vis des risques naturels.*

# 2 RENSEIGNEMENTS GENERAUX

## 2.1 Situation et description du site

La falaise du Puy se trouve environ 300 m au Sud-ouest du village d'Orpierre, à une altitude moyenne d'environ 750 m. La falaise est globalement orientée au Nord-est.

La falaise Envers 4 heures se trouve environ 1 km au Nord-est du village d'Orpierre, à une altitude moyenne d'environ 1 000 m. La falaise est globalement orientée au Sud-est.

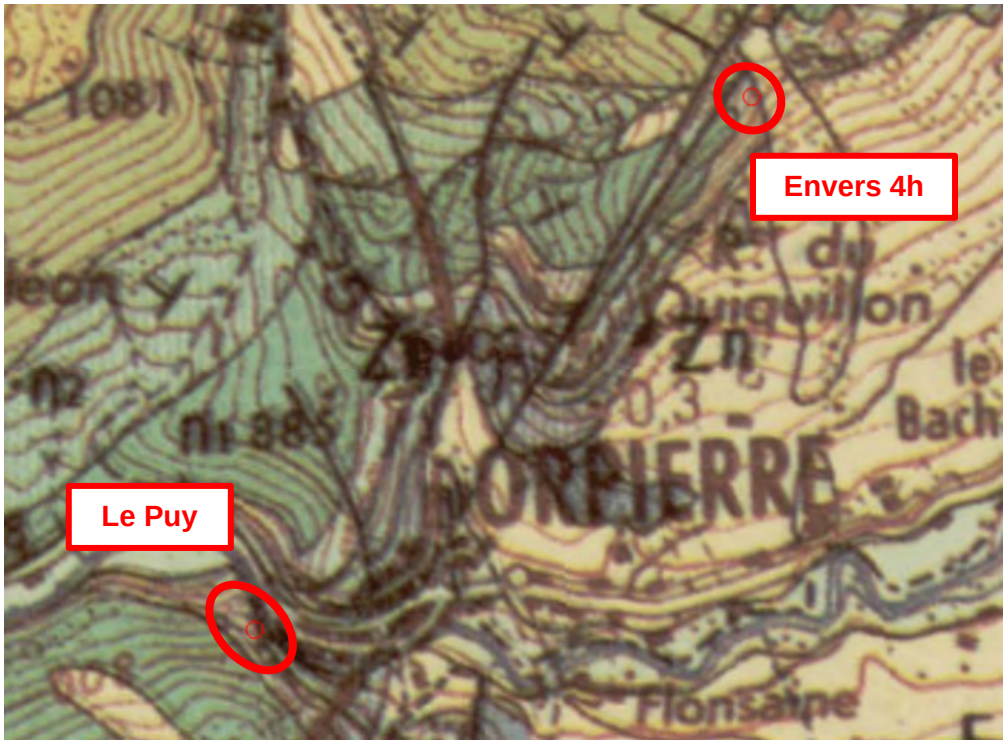



*Extrait de carte topographique IGN (source : Géoportail)*

## 2.2 Contexte géologique et géotechnique local

D'après la carte géologique de Serres au 1/50 000ème, les 2 falaises étudiées correspondent principalement à la formation du Tithonique, puissante barre calcaire qui constitue le trait morphologique et structural dominant de tout le paysage. Cette dernière est surmontée par des pentes appartenant à la formation du Berriasien pour la falaise du Puy et à celle de l'Hauterivien pour la falaise Envers 4 heures.

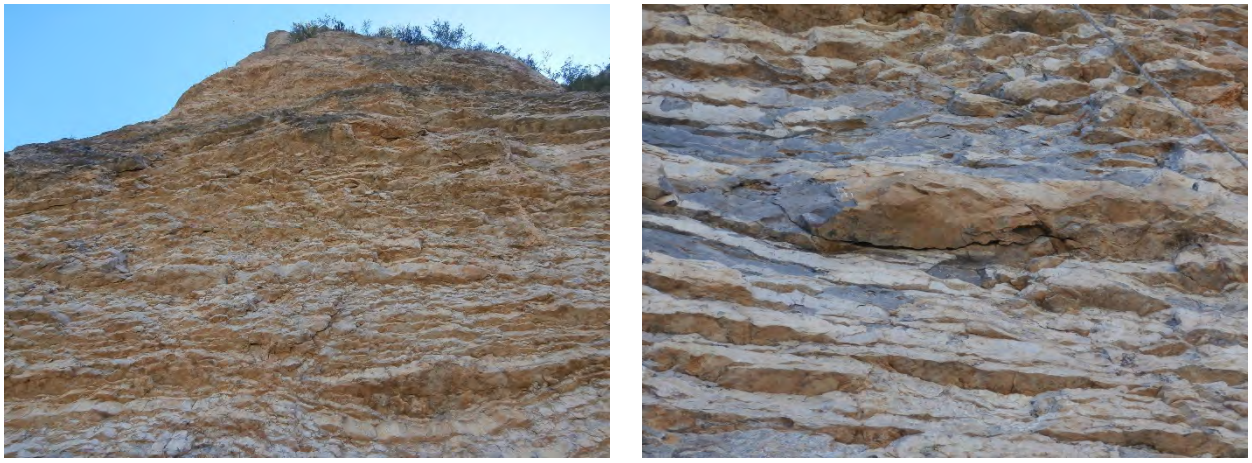
La stratification et la fracturation du massif rocheux se recoupent pour former des blocs et écailles potentiellement instables.




*Extrait de carte géologique au 1/50 000ème (source : Infoterre)*

Sur la falaise du Puy, la stratification est subhorizontale et constituée de bancs calcaires de 5 à 20 cm d'épaisseur. Elle est recoupée par une famille de fractures subparallèle au plan de la falaise (orientation N 120° - 90°) qui forme des écailles potentiellement instables de volume pluricentimétrique à métrique.

Dans cette zone, le rocher est globalement moins compact que sur les autres secteurs et nettement plus sensible au gel / dégel, avec des risques d'évolution rapide d'une année sur l'autre.



*Vue d'ensemble de la falaise du Puy et détail de la stratification*

Sur la falaise Envers 4 heures, le rocher est beaucoup plus compact (cf. photo ci-contre).

On note la présence d'une faille principale qui correspond au décrochement de Sainte Colombe orienté NE-SO et qui est à l'origine de la formation de la falaise.

Cette barre calcaire est recoupée par plusieurs familles de fractures subverticales découpant localement des blocs et écailles potentiellement instables de volume métrique à plurimétrique. Le pendage moyen de la falaise est de 60 à 65°.

# 3 ETUDE DES CHUTES DE BLOCS

## 3.1 Présentation des reconnaissances

Les reconnaissances effectuées en falaise lors de notre visite sont présentées sur des planches photographiques numérotées de 1 à 10 qui figurent en **annexe 2** de ce rapport.

Elles ont pour objectif de présenter :

- les différentes zones de reconnaissance (A, B…) et les instabilités rencontrées,
- la nature des instabilités et leur classe (pierre, bloc …),
- la géométrie caractérisant le volume de roche instable au départ,
- les trajectoires potentielles des volumes instables,
- l'état général des protections existantes ainsi que les désordres observés.

Pour la description des instabilités, les angles énoncés sont donnés en degrés par rapport à l'horizontale. Les indications **droite** et **gauche** sont données en regardant la falaise depuis le bas. La largeur est une mesure prise dans une direction parallèle aux courbes de niveau. L'épaisseur est une mesure prise perpendiculairement à l'axe de la pente ou au plan de glissement de la zone étudiée et la hauteur correspond à la différence d'altitude entre la base et le sommet de la zone décrite ou une mesure prise parallèlement à l'axe de la pente ou au plan de glissement de la zone étudiée.

## 3.2 Synthèse des observations

Nos observations se sont portées sur 4 sections repérées lors de notre visite. La présentation de ces sections figure sur les planches n° 1 à 10 en **annexe 2**.

L'ensemble des instabilités recensées se divise en 3 classes (cf. méthode d'analyse détaillée en **annexe 3**) :

- **les chutes de pierres :** il s'agit ici de petits volumes de roche ou de paquets de roche dont la fracturation au cours de la chute conduira à la formation de blocs de volume limité. Ce phénomène s'observe principalement dans les zones les plus fracturées, sur les vires et en tête de falaise.
- **les chutes de blocs :** il s'agit ici de compartiments rocheux en nombre limité de volume métrique à plurimétrique. Ils proviennent essentiellement des bancs compacts et des surplombs recoupés par plusieurs fissures dessinant des blocs et des écailles individualisées avec des volumes pouvant aller jusqu'à plusieurs mètres cubes.
- **les éboulements en masse limitée :** il s'agit ici de compartiments rocheux (colonne, placages, surplombs) de plusieurs dizaines de mètres cube pouvant conduire à des éboulements de gros blocs. Ce phénomène n'a pas été observé dans les 2 falaises étudiées.

# 4 ANALYSE DES RISQUES DE CHUTES DE BLOCS

## 4.1 Généralités

Le risque lié aux instabilités recensées sur le site résulte du croisement de deux composantes :

**Risque = Aléa de Rupture x Vulnérabilité**

**L'aléa de rupture** d'un compartiment est défini en fonction de la probabilité d'occurrence du phénomène et de son imminence.

**La vulnérabilité** résulte du croisement entre l'exposition des enjeux aux trajectoires avec les dommages potentiels associés.

Le **niveau de risque** s'exprime selon cinq niveaux, la plage d'intensité allant de **très faible** à **très fort**.

L'ensemble de la méthode d'analyse est détaillé en **annexe 3**.

## 4.2 Aléa de rupture

Les masses recensées dans la falaise du Puy ont de manière générale un aléa de rupture « Faible » en ce qui concerne les chutes de blocs et « Modéré » en ce qui concerne les chutes de pierres.

Les masses recensées dans la falaise Envers 4 heures ont de manière générale un aléa de rupture « Faible » car la plupart des blocs instables a déjà été purgée lors des travaux d'équipement du secteur.

## 4.3 Vulnérabilité

En raison de la présence potentiellement prolongée de public en pied de falaise, à l'aplomb direct des instabilités, nous avons choisi de considérer une exposition aux trajectoires « Très importante » sur les 2 secteurs d'escalade étudiés.

L'exposition aux trajectoires issues des autres sections de la falaise du Puy est plutôt « Faible » à « Moyenne » car compte-tenu du dévers important, la plupart des blocs toucheront le sol en aval du pied de falaise.

Les dommages potentiels sont liés à la taille et à l'énergie des blocs pouvant toucher les grimpeurs. Ils sont généralement « Modérés » à « Importants », ce qui conduit à une vulnérabilité « Forte » pour la falaise du Puy et « Moyenne » à « Forte » pour la falaise Envers 4 heures.

***NB :** la notion de vulnérabilité est un critère qualitatif qui peut être soumis à l'appréciation du Maître d'ouvrage.*

## 4.4 Synthèse : détermination du niveau de risque

Compte tenu de nos observations et des paramètres précités, le niveau de risque actuellement présent apparaît « **MOYEN »** à **« FORT** » pour la falaise du Puy et « **FAIBLE »** à **« MOYEN** » pour la falaise Envers 4 heures.

Les travaux préconisés dans la suite de notre rapport viseront à réduire ce risque de manière à obtenir un **risque résultant « FAIBLE »** sur l'ensemble des sections étudiées.

Le tableau suivant présente l'analyse détaillée des risques pour chaque section et défini les grandes lignes des travaux de sécurisation à réaliser sur l'ensemble des 2 falaises :

| CARACTERISTIQUES | | | | | ALEA DE RUPTURE = Occurrence x Délai | | | VULNERABILITE = Exposition trajectoires x Dommages | | | RISQUE = Alea de rupture x Vulnérabilté | TRAVAUX PRECONISES | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Section** | **Compartiment** | **Nature** | **Volume au départ ($m^3$)** | **Classe d'instabilité** | **Occurrence** | **Delai** | **Aléa de rupture** | **Exposition trajectoires** | **Dommages potentiels** | **Vulnérabilité** | | **Purge (jour/équipe)** | **Ancrages Ø 25 mm (ml)** | **Surveillance** |
| **Puy A** | Sommet falaise | Falaise | < 0.1 | Chute de blocs | Modérée | Court terme | **Modéré** | Faible | Modérés | **Faible** | **FAIBLE** | 2,00 | | |
| **Puy B** | Site d'escalade | Falaise | < 0.01 | Chute de pierres | Elevée | Court terme | **Elevé** | Très Importante | Modérés | **Forte** | **FORT** | 1,00 | | |
| | Ecailles plaquées | Ecailles | < 0.1 | Chute de blocs | Modérée | Court terme | **Modéré** | Importante | Importants | **Forte** | **FORT** | 1,00 | | |
| **Puy C** | Sentier d'accès | Falaise au-dessus du sentier | < 0.01 | Chute de pierres | Elevée | Court terme | **Elevé** | Moyenne | Limités | **Faible** | **MOYEN** | 2,00 | | |
| **Puy D** | Versant supérieur | Eboulis au-dessus de la falaise | < 0.01 | Chute de pierres | Modérée | Court terme | **Modéré** | Faible | Modérés | **Faible** | **FAIBLE** | | | |
| **Envers 4 heures E** | Général | Falaise | < 0.01 | Chute de pierres | Faible | Moyen terme | **Faible** | Très Importante | Limités | **Moyenne** | **FAIBLE** | 0,50 | | |
| | E1 | Bloc en tête de falaise | 2 | Chute de blocs | Faible | Moyen terme | **Faible** | Importante | Modérés | **Moyenne** | **FAIBLE** | 0,25 | | A surveiller |
| | E2 | Bloc encastré | 1 | Chute de blocs | Faible | Moyen terme | **Faible** | Importante | Modérés | **Moyenne** | **FAIBLE** | 0,25 | | A surveiller |
| | E3 | Bloc | 5 | Chute de blocs | Faible | Moyen terme | **Faible** | Importante | Importants | **Forte** | **MOYEN** | | A voir selon évolution | A surveiller |
| | E4 | Bloc | 8 | Chute de blocs | Faible | Moyen terme | **Faible** | Importante | Importants | **Forte** | **MOYEN** | | | A surveiller |
| | E5 | Pilier fracturé | < 1 | Chute de blocs | Faible | Moyen terme | **Faible** | Importante | Modérés | **Moyenne** | **FAIBLE** | | | A surveiller |
| | | | | | | | | | | | | **7,00** | | |

# 5 DEFINITION DES TRAVAUX DE SECURISATION A ENVISAGER

## 5.1 Solutions envisagées

Afin de réduire le risque lié aux chutes de blocs des 2 falaises étudiées, **des mesures de protections actives** sont à envisager pour permettre de conforter les falaises en supprimant ou en bloquant les masses instables.

Cette sécurisation sera assurée par la purge de tous les compartiments instables des sections étudiées. En fonction du résultat de la purge, la réalisation d'ancrages ponctuels de confortement pourra s'avérer nécessaire.

Certaines masses rocheuses instables devront faire l'objet d'une surveillance régulière pour juger de leur évolution.

Les travaux de sécurisation à envisager dans les différentes sections sont détaillés dans le tableau de la page 7 et sur les planches photographiques figurant en **annexe 2.**

Suite à ces travaux, le niveau de risque résiduel sera globalement faible sur les 2 falaises étudiées.

**Compte tenu du caractère évolutif du rocher de la falaise du Puy, les travaux de sécurisation proposés permettront seulement d'éliminer les principales masses instables, mais ne permettront pas une sécurisation à long terme de la falaise, qui va continuer à se dégrader au fil du temps. Des campagnes de purge manuelle sont à programmer chaque printemps (après la période de gel / dégel) pour éliminer les nouveaux éléments instables au fur et à mesure de leur apparition.**

***NB :*** *ces travaux permettront d'améliorer la sécurité des usagers vis à vis des chutes de blocs et de traiter les principales masses instables, mais ils ne pourront pas assurer une sécurisation à 100 % de la falaise, ce qui est difficilement réalisable dans ce type de site.*

## 5.2 Travaux de purge

Les travaux de purge seront réalisés manuellement en veillant à ne pas déstabiliser les blocs se trouvant à l'arrière des zones à purger. Ils seront confiés à une entreprise spécialisée en travaux acrobatiques.

Si des volumes instables importants sont identifiés au moment des purges, des travaux complémentaires de type confortement par ancrages pourront être rendus nécessaires. Ils devront être définis par un bureau d'études géotechnique.

## 5.3 Confortement par ancrages des masses instables

Ces travaux seront confiés à une entreprise spécialisée en travaux acrobatiques.

Les ancrages seront réalisés par des moyens manuels. L'entreprise devra respecter les recommandations du guide technique du CEMAGREF pour la mise en œuvre des ancrages et la réalisation des scellements.

Une attention particulière sera apportée à la foration des ancrages pour détecter la présence éventuelle de failles ou de zones de moindre résistance non visible en surface.

En cas de doute sur la qualité du rocher, l'entreprise contactera un bureau d'études géotechnique pour définir les mesures complémentaires à mettre en œuvre pour garantir la pérennité des ouvrages.

© 12/2020 Alpes Ingé

L'entreprise devra tenir, pour chaque ancrage réalisé, une fiche de suivi précisant notamment :

- la description des cuttings et la présence éventuelle de failles,
- les éventuelles venues d'eau,
- la longueur, le diamètre et l'inclinaison du forage réalisé,
- la longueur et le diamètre de la barre mise en place.

En complément, nous rappelons également les préconisations d'usage concernant les restrictions d'utilisation de la résine comme mortier de scellement :

- température d'utilisation comprise entre 10 et 25° ;
- absence de corps étrangers et d'eau dans le forage : trou de forage soufflé avant mise en œuvre de la résine ;
- mise en place de l'armature immédiatement après l'injection (armature non remuée) ;
- vérification de la résine qui « dégueule » du forage, après mise en place de la barre d'ancrage.

## 5.4 Surveillance du site

Certaines masses rocheuses instables devront faire l'objet d'une surveillance régulière pour juger de leur évolution et prévenir toute déstabilisation. Il s'agit notamment des masses E3 et E4 situées dans la falaise Envers 4 heures.

Pour cela, nous préconisons à minima de réaliser une visite de surveillance annuelle, de préférence au printemps, pour vérifier l'état du massif rocheux dans ces zones.

Cette visite devra être suivie d'une purge si besoin.

# 6 CONCLUSIONS

A la demande de la commune d'Orpierre, Alpes Ingé a réalisé l'étude géotechnique de projet des travaux de sécurisation vis-à-vis des chutes de blocs des falaises d'escalade du Puy et Envers 4 heures.

Cette mission s'inscrit dans le cadre du programme de sécurisation général des différentes falaises d'escalade d'Orpierre, coordonné par la société PRISME AVENTURES.

Elle a pour objectif d'identifier les risques de chutes de blocs pouvant menacer les falaises d'escalade du Puy et Envers 4 heures et de définir les travaux à réaliser pour sécuriser les 2 sites.

Compte tenu de nos observations, le niveau de risque vis-à-vis des chutes de blocs apparaît globalement moyen à fort pour la falaise du Puy et faible à moyen pour la falaise Envers 4 heures.

Des travaux de sécurisation sont à prévoir pour réduire les risques. Ils sont définis au paragraphe 5.

Suite à ces travaux, le niveau de risque résiduel sera globalement faible sur les 2 falaises étudiées, mais compte tenu du caractère évolutif du rocher de la falaise du Puy, des campagnes de purge manuelle sont à programmer chaque printemps pour éliminer les nouveaux éléments instables au fur et à mesure de leur apparition.

Certaines masses rocheuses instables devront également faire l'objet d'une surveillance régulière pour juger de leur évolution.

Au moment de la réalisation des travaux, nous vous recommandons de vous attacher les services d'un géotechnicien, dans le cadre d'une mission de type G4 – Supervision géotechnique d'exécution – afin de valider la bonne implantation et réalisation des ouvrages.

© 12/2020 Alpes Ingé

# ANNEXE 1

# NORME NF P 94-500 – MISSIONS TYPE D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE

© 12/2020 Alpes Ingé

### 4.2.4 - Tableaux synthétiques

**Tableau 1 – Enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique**

| Enchaînement des missions G1 à G4 | Phases de la maîtrise d'œuvre | Mission d'ingénierie géotechnique (GN) et Phase de la mission | | Objectifs à atteindre pour les ouvrages géotechniques | Niveau de management des risques géotechniques attendu | Prestations d'investigations géotechniques à réaliser |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Étape 1 : Étude géotechnique préalable (G1) | | Étude géotechnique préalable (G1) Phase Étude de Site (ES) | | Spécificités géotechniques du site | Première identification des risques présentés par le site | Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique |
| | Étude préliminaire, esquisse, APS | Étude géotechnique préalable (G1) Phase Principes Généraux de Construction (PGC) | | Première adaptation des futurs ouvrages aux spécificités du site | Première identification des risques pour les futurs ouvrages | Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique |
| Étape 2 : Étude géotechnique de conception (G2) | APD/AVP | Étude géotechnique de conception (G2) Phase Avant-projet (AVP) | | Définition et comparaison des solutions envisageables pour le projet | Mesures préventives pour la réduction des risques identifiés, mesures correctives pour les risques résiduels avec détection au plus tôt de leur survenance | Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs) |
| | PRO | Étude géotechnique de conception (G2)Phase Projet (PRO) | | Conception et justifications du projet | | Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs) |
| | DCE/ACT | Étude géotechnique de conception (G2) Phase DCE / ACT | | Consultation sur le projet de base / Choix de l'entreprise et mise au point du contrat de travaux | | |
| Étape 3 : Études géotechniques de réalisation (G3/G4) | | À la charge de l'entreprise | À la charge du maître d'ouvrage | | | |
| | EXE/VISA | Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Étude (en interaction avec la phase Suivi) | Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision du suivi) | Étude d'exécution conforme aux exigences du projet, avec maîtrise de la qualité, du délai et du coût | Identification des risques résiduels, mesures correctives, contrôle du management des risques résiduels (réalité des actions, vigilance, mémorisation, capitalisation des retours d'expérience) | Fonction des méthodes de construction et des adaptations proposées si des risques identifiés surviennent |
| | DET/AOR | Étude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Suivi (en interaction avec la phase Étude) | Supervision géotechnique d'exécution (G4)Phase Supervision du suivi géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision de l'étude) | Exécution des travaux en toute sécurité et en conformité avec les attentes du maître d'ouvrage | | Fonction du contexte géotechnique observé et du comportement de l'ouvrage et des avoisinants en cours de travaux |
| À toute étape d'un projet ou sur un ouvrage existant | Diagnostic | Diagnostic géotechnique (G5) | | Influence d'un élément géotechnique spécifique sur le projet ou sur l'ouvrage existant | Influence de cet élément géotechnique sur les risques géotechniques identifiés | Fonction de l'élément géotechnique étudié |

## Tableau 2 – Classification des missions d'ingénierie géotechnique

L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étapes 1 à 3) doit suivre les étapes de conception et de réalisation de tout projet pour contribuer à la maîtrise des risques géotechniques. Le maître d'ouvrage ou son mandataire doit faire réaliser successivement chacune de ces missions par une ingénierie géotechnique. Chaque mission s'appuie sur des données géotechniques adaptées issues d'investigations géotechniques appropriées.

**ÉTAPE 1 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE PRÉALABLE (G1)**

Cette mission exclut toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages géotechniques qui entre dans le cadre de la mission d'étude géotechnique de conception (étape 2). Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire. Elle comprend deux phases :

*Phase Étude de Site (ES)*

Elle est réalisée en amont d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour une première identification des risques géotechniques d'un site.

- Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avoisinants avec visite du site et des alentours.
- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant pour le site étudié un modèle géologique préliminaire, les principales caractéristiques géotechniques et une première identification des risques géotechniques majeurs.

*Phase Principes Généraux de Construction (PGC)*

Elle est réalisée au stade d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour réduire les conséquences des risques géotechniques majeurs identifiés. Elle s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport de synthèse des données géotechniques à ce stade d'étude (première approche de la ZIG, horizons porteurs potentiels, ainsi que certains principes généraux de construction envisageables (notamment fondations, terrassements, ouvrages enterrés, améliorations de sols).

**ÉTAPE 2 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)**

Cette mission permet l'élaboration du projet des ouvrages géotechniques et réduit les conséquences des risques géotechniques importants identifiés. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend trois phases :

*Phase Avant-projet (AVP)*

Elle est réalisée au stade de l'avant-projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade de l'avant-projet, les principes de construction envisageables (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions générales vis-à-vis des nappes et des avoisinants), une ébauche dimensionnelle par type d'ouvrage géotechnique et la pertinence d'application de la méthode observationnelle pour une meilleure maîtrise des risques géotechniques.

*Phase Projet (PRO)*

Elle est réalisée au stade du projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées suffisamment représentatives pour le site.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un dossier de synthèse des hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade du projet (valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques en particulier), des notes techniques donnant les choix constructifs des ouvrages géotechniques (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions vis-à-vis des nappes et des avoisinants), des notes de calcul de dimensionnement, un avis sur les valeurs seuils et une approche des quantités.

*Phase DCE / ACT*

Elle est réalisée pour finaliser le Dossier de Consultation des Entreprises et assister le maître d'ouvrage pour l'établissement des Contrats de Travaux avec le ou les entrepreneurs retenus pour les ouvrages géotechniques.

- Établir ou participer à la rédaction des documents techniques nécessaires et suffisants à la consultation des entreprises pour leurs études de réalisation des ouvrages géotechniques (dossier de la phase Projet avec plans, notices techniques, cahier des charges particulières, cadre de bordereau des prix et d'estimatif, planning prévisionnel).
- Assister éventuellement le maître d'ouvrage pour la sélection des entreprises, analyser les offres techniques, participer à la finalisation des pièces techniques des contrats de travaux.

## Tableau 2 – Classification des missions d'ingénierie géotechnique

**ÉTAPE 3 : ÉTUDES GÉOTECHNIQUES DE RÉALISATION (G3 et G 4, distinctes et simultanées) ÉTUDE ET SUIVI GÉOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)**

Cette mission permet de réduire les risques géotechniques résiduels par la mise en œuvre à temps de mesures correctives d'adaptation ou d'optimisation. Elle est confiée à l'entrepreneur sauf disposition contractuelle contraire, sur la base de la phase G2 DCE/ACT. Elle comprend deux phases interactives :

*Phase Étude*

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier dans le détail les ouvrages géotechniques : notamment établissement d'une note d'hypothèses géotechniques sur la base des données fournies par le contrat de travaux ainsi que des résultats des éventuelles investigations complémentaires, définition et dimensionnement (calculs justificatifs) des ouvrages géotechniques, méthodes et conditions d'exécution (phasages généraux, suivis, auscultations et contrôles à prévoir, valeurs seuils, dispositions constructives complémentaires éventuelles).
- Élaborer le dossier géotechnique d'exécution des ouvrages géotechniques provisoires et définitifs : plans d'exécution, de phasage et de suivi.

*Phase Suivi*

- Suivre en continu les auscultations et l'exécution des ouvrages géotechniques, appliquer si nécessaire des dispositions constructives prédéfinies en phase Étude.
- Vérifier les données géotechniques par relevés lors des travaux et par un programme d'investigations géotechniques complémentaire si nécessaire (le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats).
- Établir la prestation géotechnique du dossier des ouvrages exécutés (DOE) et fournir les documents nécessaires à l'établissement du dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage (DIUO)

**SUPERVISION GÉOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)**

Cette mission permet de vérifier la conformité des hypothèses géotechniques prises en compte dans la mission d'étude et suivi géotechniques d'exécution. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend deux phases interactives :

*Phase Supervision de l'étude d'exécution*

- Donner un avis sur la pertinence des hypothèses géotechniques de l'étude géotechnique d'exécution, des dimensionnements et méthodes d'exécution, des adaptations ou optimisations des ouvrages géotechniques proposées par l'entrepreneur, du plan de contrôle, du programme d'auscultation et des valeurs seuils.

*Phase Supervision du suivi d'exécution*

- Par interventions ponctuelles sur le chantier, donner un avis sur la pertinence du contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur (G3), du comportement tel qu'observé par l'entrepreneur de l'ouvrage et des avoisinants concernés (G3), de l'adaptation ou de l'optimisation de l'ouvrage géotechnique proposée par l'entrepreneur (G3).
- donner un avis sur la prestation géotechnique du DOE et sur les documents fournis pour le DIUO.

**DIAGNOSTIC GÉOTECHNIQUE (G5)**

Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle. Ce diagnostic géotechnique précise l'influence de cet ou ces éléments géotechniques sur les risques géotechniques identifiés ainsi que leurs conséquences possibles pour le projet ou l'ouvrage existant.

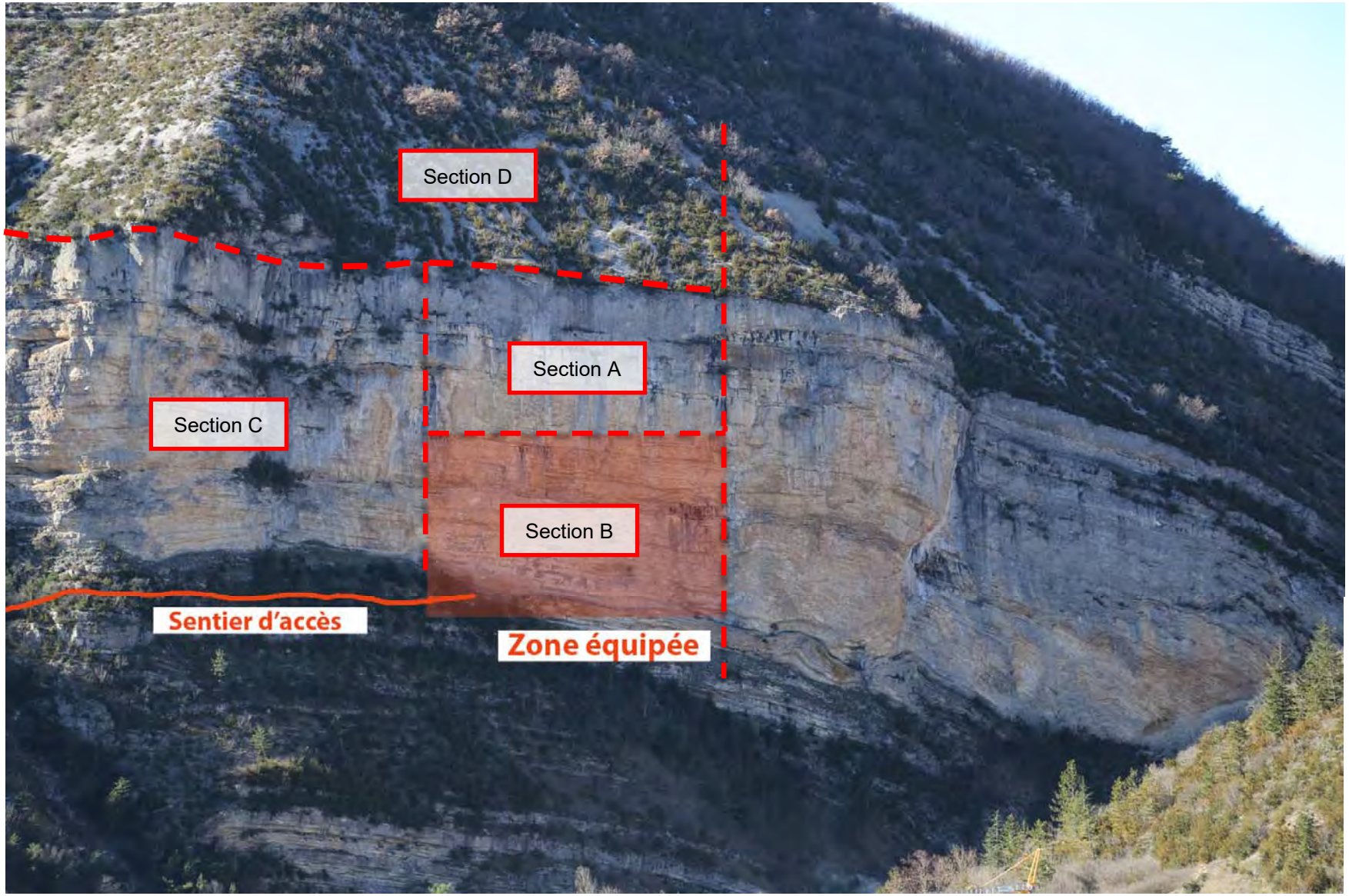
- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans la globalité du projet ou dans l'étude de l'état général de l'ouvrage existant.
- Si ce diagnostic conduit à modifier une partie du projet ou à réaliser des travaux sur l'ouvrage existant, des études géotechniques de conception et/ou d'exécution ainsi qu'un suivi et une supervision géotechniques seront réalisés ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étape 2 et/ou 3).

# ANNEXE 2

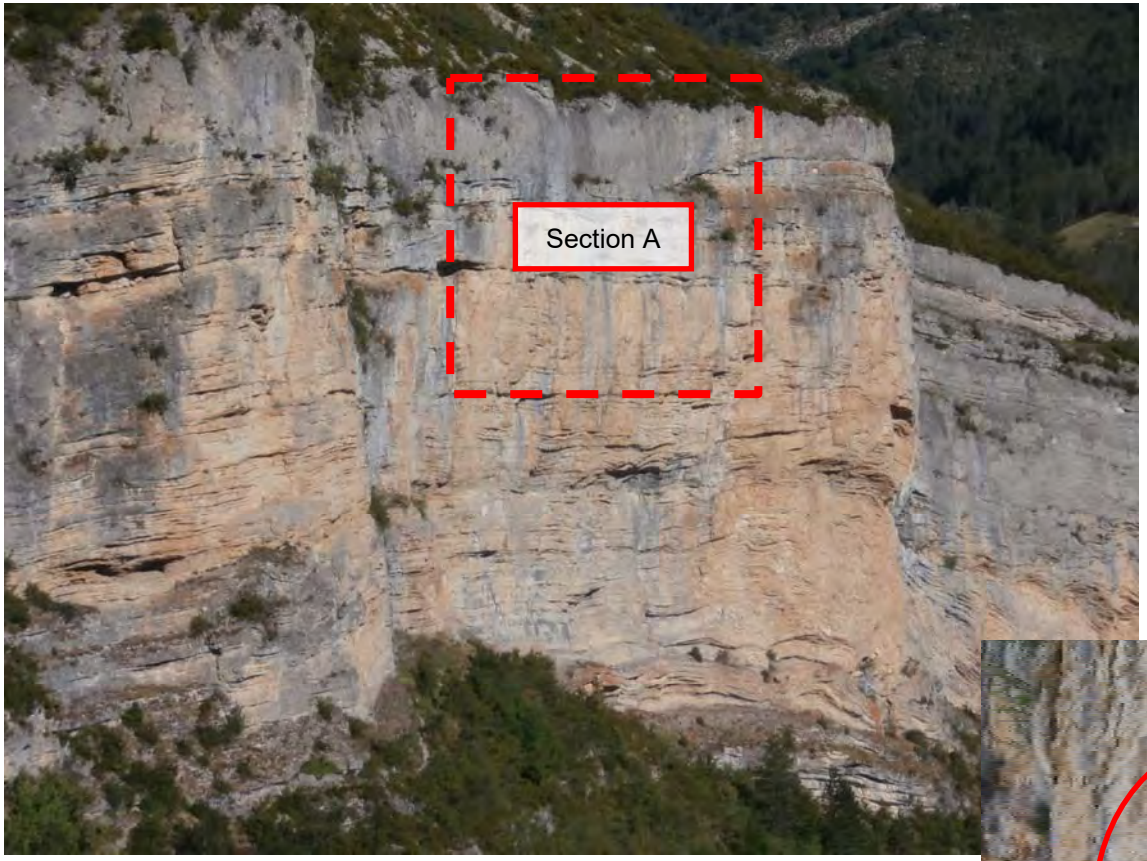
# PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES

© 12/2020 Alpes Ingé

# Falaise du Puy – Orpierre (05) – Etude géotechnique des chutes de blocs
## Vue d'ensemble du site et localisation des sections



# Falaise du Puy – Orpierre (05) – Etude géotechnique des chutes de blocs
# Section A




Section A – Sommet de la falaise

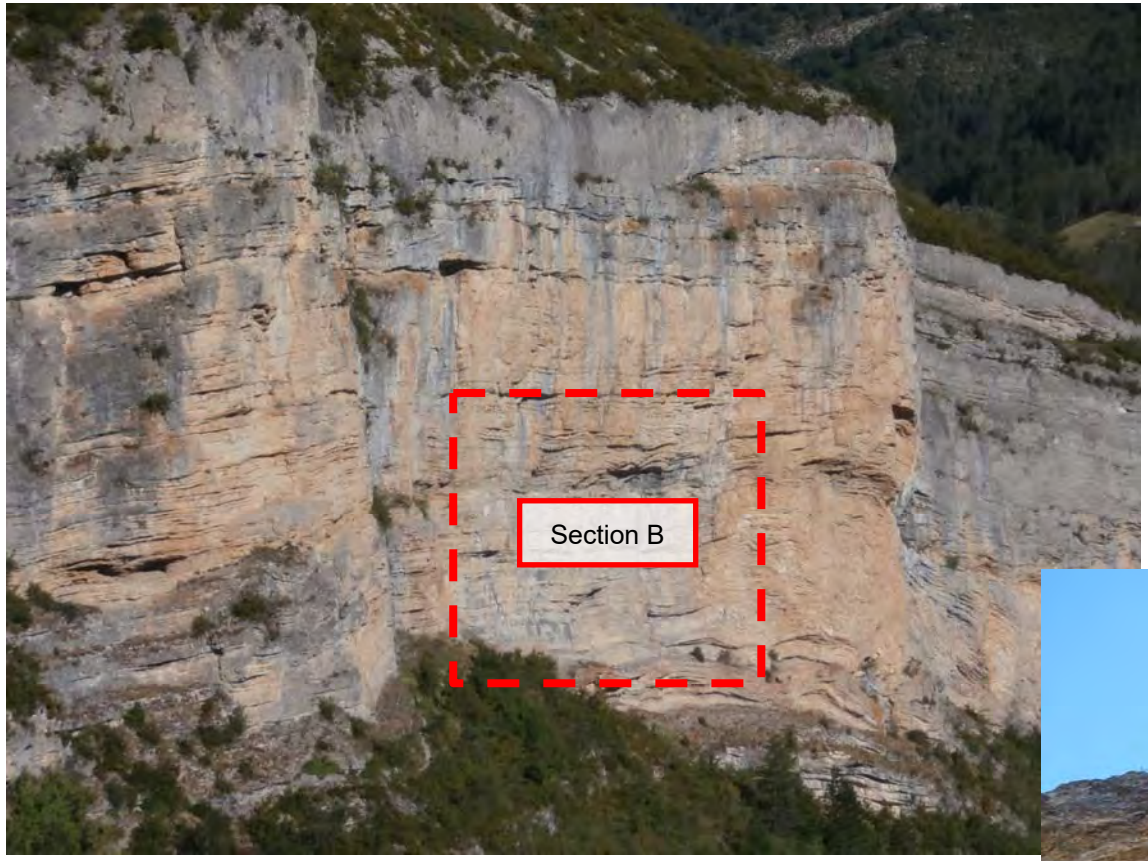
**Travaux à réaliser :**

La falaise est déversante sur toute sa hauteur. Les chutes de pierres et de blocs touchent généralement le sol bien en aval du pied de falaise.

Purge manuelle des principaux blocs instables sur l'ensemble de la section (cf. exemples d'écailles instables à purger sur les photos ci-dessous).

Exemples d'écailles et de blocs à purger dans la section A

# Falaise du Puy – Orpierre (05) – Etude géotechnique des chutes de blocs
# Section B




Section B – Site d'escalade

**Travaux à réaliser :**

Purge manuelle exhaustive des principaux blocs instables sur l'ensemble de la section (**risque fort** – cf. exemples d'écailles instables à purger sur les photos ci-après).

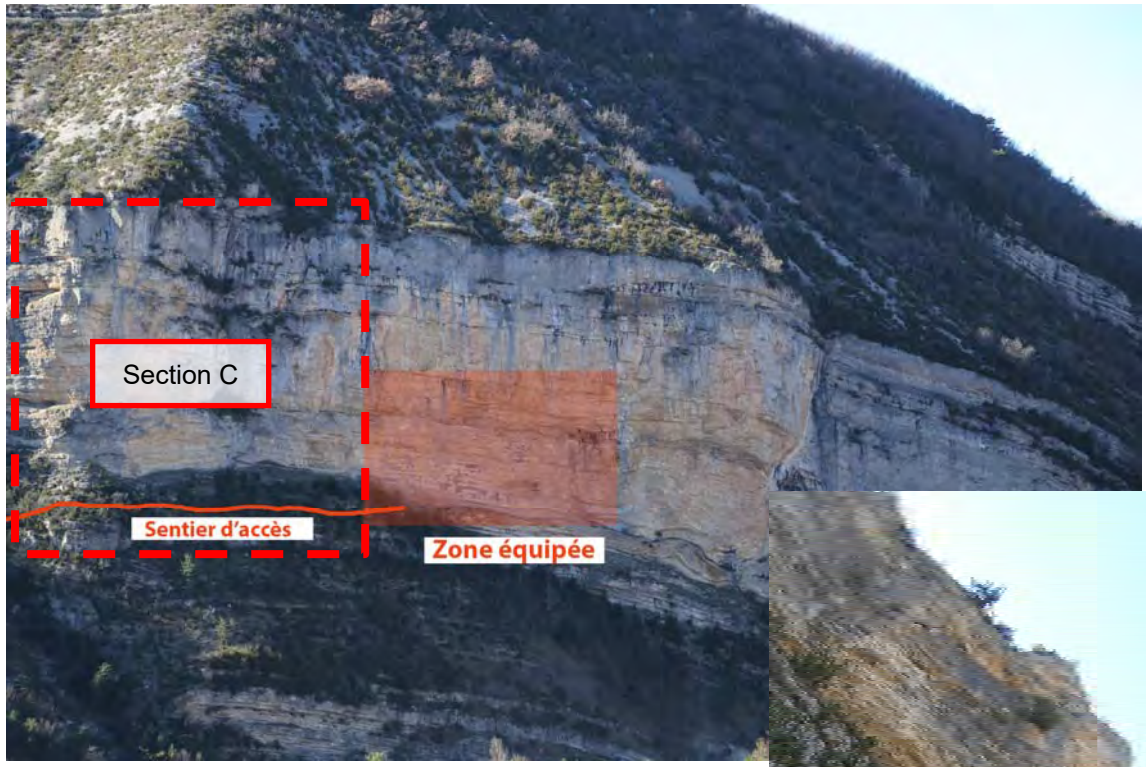
Purge manuelle des pierres et petits blocs instables dans et à proximité des voies.

Vue d'ensemble de la section B depuis le pied de falaise

# Falaise du Puy – Orpierre (05) – Etude géotechnique des chutes de blocs
# Section B

Exemples d'écailles et de blocs à purger dans la section B

# Falaise du Puy – Orpierre (05) – Etude géotechnique des chutes de blocs
# Section C




Section C – Falaise au-dessus du sentier d'accès

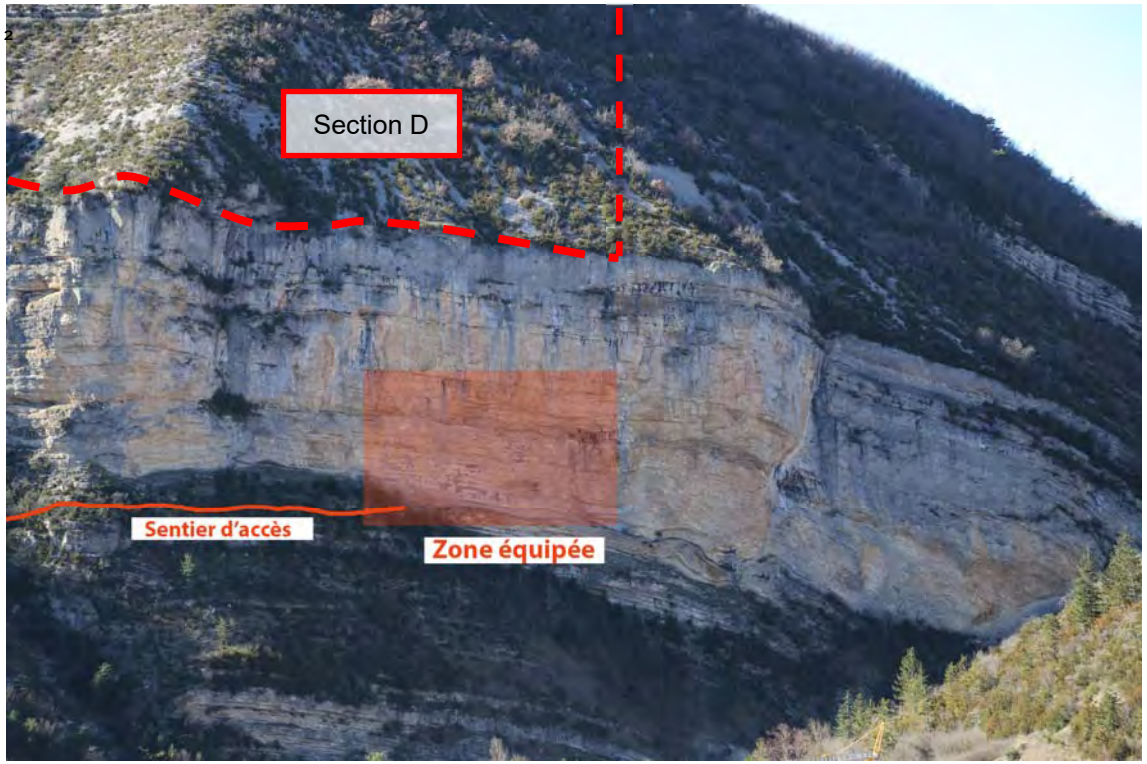
**Travaux à réaliser :**

La falaise est déversante sur toute sa hauteur. Les chutes de pierres et de blocs touchent généralement le sol bien en aval du sentier.

Purge manuelle des principaux blocs instables sur l'ensemble de la section.

Vues d'ensemble de la section C depuis le pied de falaise

# Falaise du Puy – Orpierre (05) – Etude géotechnique des chutes de blocs
# Section D




Section D – Pente d'éboulis au-dessus de la falaise

**Travaux à réaliser :**

La falaise est déversante sur toute sa hauteur. Les chutes de pierres issues de l'éboulis touchent généralement le sol bien en aval du pied de falaise.

Pas de travaux à prévoir dans cette section.

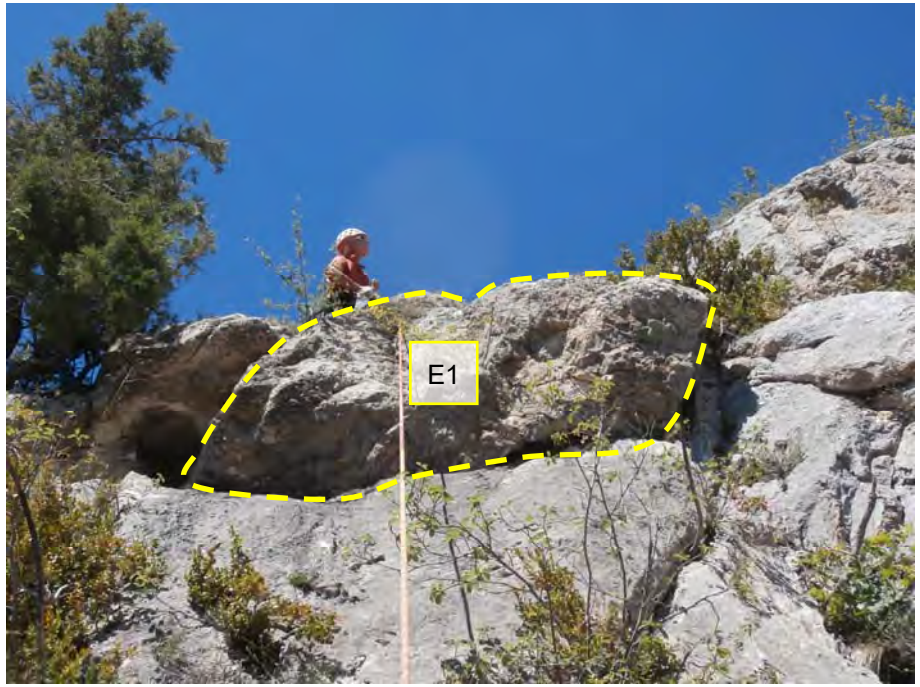
Eboulis de la section D

# Falaise Envers 4 heures – Orpierre (05) – Etude géotechnique des chutes de blocs
# Vues d'ensemble du site et localisation des compartiments instables

Section E – Falaise Envers 4 heures
Repérage des différents compartiments répertoriés

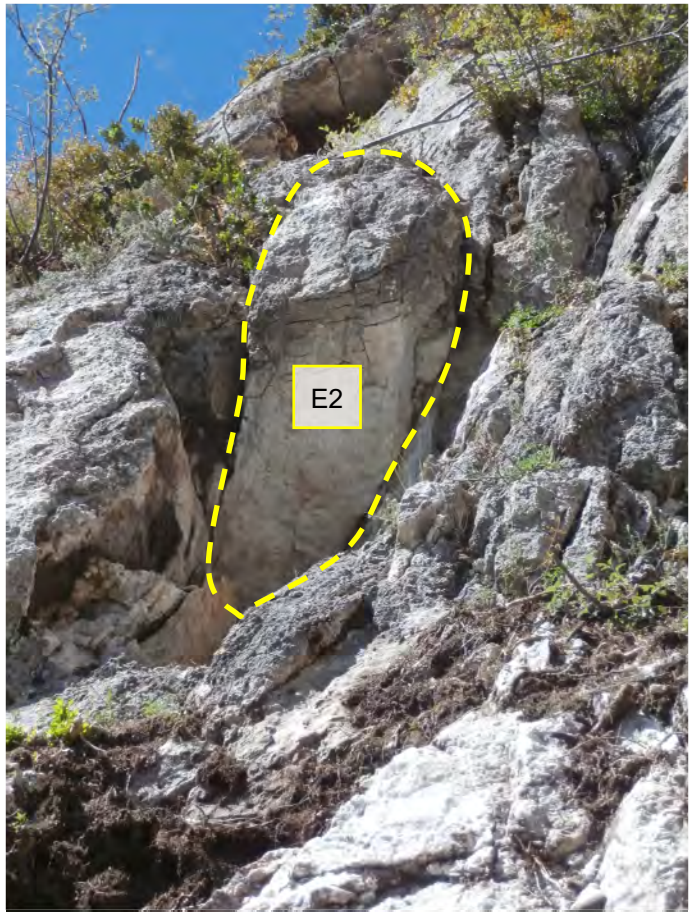
**Travaux à réaliser :**
La falaise a déjà été purgée, mais quelques compléments de purge manuelle des pierres et petits blocs instables restent à faire sur l'ensemble de la section.

# Falaise Envers 4 heures – Orpierre (05) – Etude géotechnique des chutes de blocs
# Vues d'ensemble du site et localisation des compartiments instables




Bloc E1 en tête de falaise (risque faible)

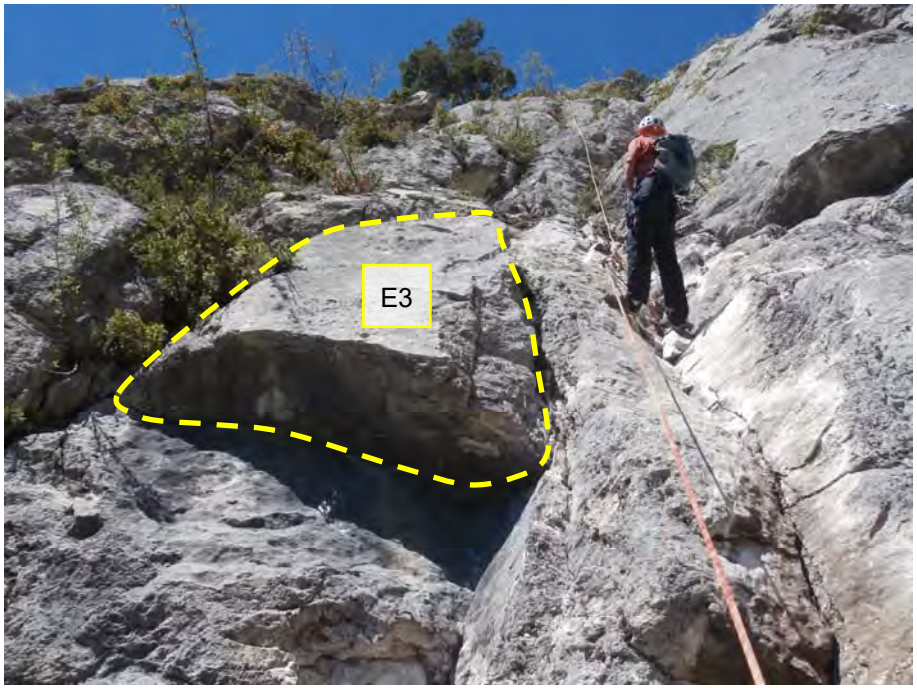
**Travaux à réaliser :**
Purge manuelle des petites pierres et blocs instables en bordure de bloc.




Bloc E2 bien encastré (risque faible)

**Travaux à réaliser :**
Purge manuelle des petites pierres et blocs instables en bordure de bloc.

# Falaise Envers 4 heures – Orpierre (05) – Etude géotechnique des chutes de blocs
# Vues d'ensemble du site et localisation des compartiments instables




Bloc E3 d'environ 5 m$^3$ (risque moyen) – Hauteur 4 m

**<u>Travaux à réaliser :</u>**

Evolution du bloc à surveiller.

Confortement du bloc par 2 ancrages GEWI 25 mm de 3 m si nécessaire.

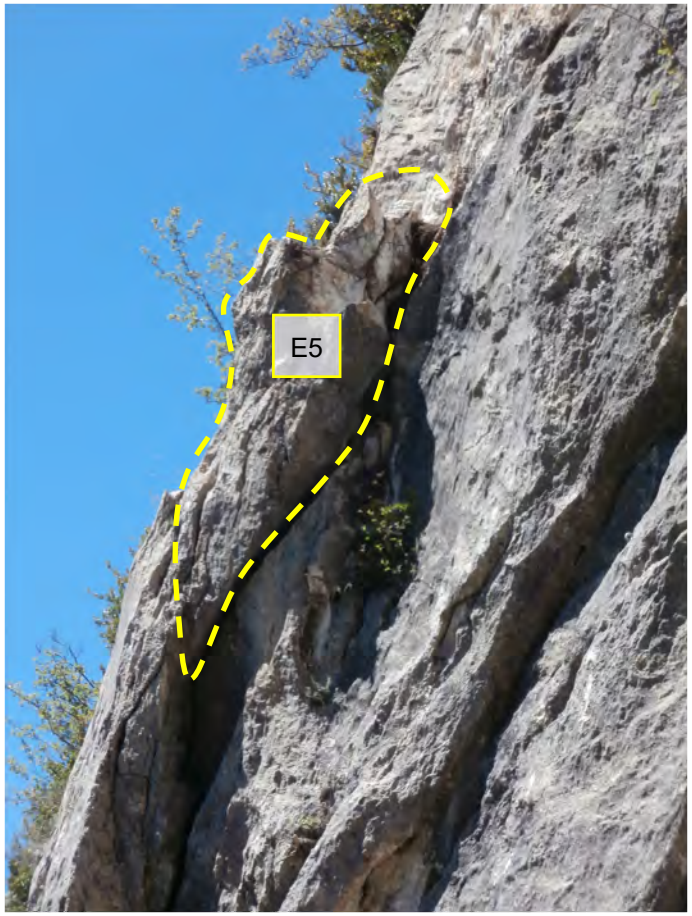
Bloc E4 d'environ 8 m$^3$ (risque moyen) – Hauteur 3 m

**<u>Travaux à réaliser :</u>**

Evolution du bloc à surveiller.

Confortement du bloc par 3 ancrages GEWI 25 mm de 3 m si nécessaire.

# Falaise Envers 4 heures – Orpierre (05) – Etude géotechnique des chutes de blocs
# Vues d'ensemble du site et localisation des compartiments instables




Pilier E5 (risque faible)

**Travaux à réaliser :**
Pilier déjà purgé. Evolution à surveiller.
Complément de purge à prévoir si nécessaire.

# ANNEXE 3

# METHODE D'EVALUATION DES RISQUES DE CHUTES DE BLOCS

© 12/2020 Alpes Ingé

# EVALUATION DES RISQUES D'EBOULEMENTS ROCHEUX (Selon les directives du LCPC)

Un risque naturel résulte du croisement de deux composantes :

**Aléa de Rupture x Vulnérabilité = Risque**

## 1 - L'ALEA DE RUPTURE

Le niveau **d'aléa de rupture** concerne un phénomène naturel rocheux répertorié par **classe**. On le définit à partir de la conjonction entre **l'occurrence** de déclenchement du phénomène et le **délai** dans lequel le phénomène peut se produire.

- **la classe** des instabilités (identifiée en falaise) est caractérisée par les volumes rocheux mis en jeux lors de la phase d'écroulement, conformément à la grille suivante :

| Classe | Description |
|---|---|
| **Chutes de pierres** | Volumes unitaires inférieurs à 10 litres |
| **Chutes de blocs** | Volumes unitaires métriques à plurimétriques (dans le cas de formations massives, certains blocs peuvent dépasser les 50 $m^3$) |
| **Eboulements en masse limitée** | Volume total en jeu inférieur à quelques centaines de $m^3$ |
| **Eboulements en grande masse** | Volume total en jeu pouvant dépasser le millier de $m^3$ |
| **Eboulement catastrophiques** | Volume total pouvant atteindre et dépasser le million de $m^3$ |

- **L'occurrence** est définie à la date de l'étude et concerne une probabilité de déclenchement du phénomène considéré, induit par les facteurs déterminants mesurés sur site. On distingue :

| Occurrence | Notation | Description |
|---|---|---|
| **Très élevée** | **TE** | Tous les facteurs déterminants et de forte intensité (*Occurrence du phénomène est normale, sa non occurrence serait exceptionnelle*) |
| **Elevée** | **E** | Tous les facteurs déterminants mais de faible intensité (*L'occurrence du phénomène est plus envisageable que sa non occurrence*) |
| **Modérée** | **M** | Tous les facteurs déterminants, sauf un. Le facteur non répertorié peut apparaître dans le temps. (*L'occurrence du phénomène est équivalente à sa non occurrence*) |
| **Faible** | **F** | Les facteurs déterminants sont diffus et / ou mal définis (*La non occurrence du phénomène est plus envisageable que son occurrence*) |
| **Très faible** | **TF** | Aucun facteur déterminant n'est visible (La non o*ccurrence du phénomène est normale, son occurrence serait exceptionnelle*) |

**Les facteurs déterminants**, pour l'étude d'un compartiment rocheux particulier concernent sa géométrie (et notamment la position de son centre de gravité par rapport à l'axe principal de la paroi),

© 12/2020 Alpes Ingé

son niveau de fracturation, des données structurales telles que le pendage de la surface de décollement potentielle, le mécanisme de rupture envisagé mais aussi l'exposition aux intempéries de la zone étudiée, les indices d'évolution, la présence de végétation déstabilisante.

➢ **Le délai** à l'intérieur duquel le phénomène a une probabilité considérée de se produire est définit ainsi :

| Délai | Notation | Description |
|---|---|---|
| **Long terme** | **LT** | Supérieur à 30 ans et de l'ordre du siècle |
| **Moyen terme** | **MT** | De l'ordre de 10 à 30 ans |
| **Court terme** | **CT** | De l'ordre de 2 à 10 ans |
| **Très court terme** | **TCT** | De l'ordre de plusieurs mois à 2 ans |
| **Imminent** | **I** | Prise en compte immédiate (le délai se compte en heures, jours, semaines ou mois) |

Le délai à long terme caractérise la dérive maximale pour laquelle l'aléa est qualifiable.

Les délais sont des appréciations qui peuvent être sensiblement modifiées par des phénomènes naturels imprévisibles (événements climatiques, incendies, séismes…).

⇒**Le niveau d'aléa de rupture** pour une classe de phénomène rocheux sera exprimé suivant cinq niveaux issus des combinaisons des tableaux détaillés ci-avant :

| **Aléa de rupture** | | **Probabilité d'occurrence** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | TE = Très élevée > 90 % | E = Elevée > 70 % | M = Modérée > 50 % | F = Faible > 30 % | TF = Très faible < 30 % |
| **Délai d'occurrence** | I = Imminent < 1 mois | TE Très élevé | TE Très élevé | E Elevé | E Elevé | M Modéré |
| | TCT = Très court terme < 2 ans | TE Très élevé | E Elevé | E Elevé | M Modéré | M Modéré |
| | CT = Court terme < 10 ans | E Elevé | E Elevé | M Modéré | M Modéré | F Faible |
| | MT = Moyen terme < 30 ans | E Elevé | M Modéré | M Modéré | F Faible | F Faible |
| | LT = Long terme > 30 ans | M Modéré | M Modéré | F Faible | F Faible | TF Très faible |

© 12/2020 Alpes Ingé

# 2 - LA VULNERABILITE

La **vulnérabilité** exprime le niveau de conséquences envisageables du phénomène naturel sur les enjeux.

Elle résulte du croisement entre **l'exposition aux trajectoires** et **les dommages potentiels**.

➢ **L'exposition aux trajectoires** de l'enjeu est caractérisée par la probabilité d'atteinte de l'enjeu lors de la propagation des éléments rocheux.

Elle tient compte des conditions de départ, de la topographie du site, de la proximité de l'enjeu par rapport à la zone d'initiation, des obstacles naturels et artificiels pouvant être rencontrés, et des éventuels indices d'anciennes propagations.

Sa définition est basée sur les résultats d'une simulation trajectographique ou, le cas échéant, sur l'appréciation d'un expert (approche qualitative). Elle est définie de la manière suivante :

| | **Classe d'exposition** |
|---|---|
| **Très faible** | *Approche qualitative :* L'atteinte de l'enjeu par une trajectoire semble impossible<br>*Approche trajectographique :* Inférieur à 1 bloc sur 1 000 000, soit $<10^{-6}$ |
| **Faible** | *Approche qualitative :* L'atteinte de l'enjeu par une trajectoire serait considérée comme exceptionnelle<br>*Approche trajectographique :* De 1 bloc sur 10 000 à 1 bloc sur 1 000 000, soit de $10^{-4}$ à $10^{-6}$ |
| **Moyenne** | *Approche qualitative : l*a probabilité d'atteinte de l'enjeu par une trajectoire est plus faible que la probabilité de ne pas l'atteindre<br>*Approche trajectographique :* De 1 bloc sur 100 à 1 bloc sur 10 000, soit de $10^{-2}$ à $10^{-4}$ |
| **Importante** | *Approche qualitative : l*a probabilité d'atteinte de l'enjeu par une trajectoire est plus forte que la probabilité de ne pas l'atteindre<br>*Approche trajectographique :* De 1 bloc sur 2 à 1 bloc sur 100, soit de 50% à 1% ($10^{-2}$) |
| **Très importante** | *Approche qualitative : l'*atteinte de l'enjeu par une trajectoire semble garantie<br>*Approche trajectographique :* Supérieur à 1 bloc sur 2, soit > 50% |

➢ **Les dommages potentiels** sont les dommages associés pouvant être subis par les enjeux, et dépendent donc de la classe de l'instabilité.

Il existe différents enjeux susceptibles d'être touchés par des trajectoires de blocs, on distingue :

- les infrastructures (routes, voies ferrées, réseaux divers….),
- les bâtiments (maisons individuelles, lotissements, immeubles…),
- les personnes (accès bâtiments, jardins, cheminement piéton, GR…).

*Remarque : ce dernier enjeu doit être pris en compte lorsque des personnes peuvent être directement exposées aux trajectoires.*

Les dommages potentiels seront exprimés suivant quatre niveaux d'intensité (cf. tableau page suivante).

© 12/2020 Alpes Ingé

<table>
<tr><th colspan="3">Enjeux</th><th rowspan="2">Dommages potentiels</th></tr>
<tr><th>Infrastructures</th><th>Bâtiments</th><th>Personnes</th></tr>
<tr><td>Le phénomène conduirait à des dégâts limités (endommagement de la structure, impact de faible intensité sur une partie de l'ouvrage sans coupure à prévoir).</td><td>Endommagement de toitures, impact de mur sans perforation.</td><td rowspan="4">Hors du cas de figure de passages ponctuels sous une zone concernée par des phénomènes de chutes de pierres et de blocs, les dommages potentiels seront toujours <u>très importants</u> en cas d'exposition <u>directe</u> et <u>prolongée</u> de personnes.</td><td>Limités</td></tr>
<tr><td>Le phénomène conduirait à une destruction partielle (endommagement et/ou percussion sans destruction complète). Il peut conduire à la coupure ponctuelle d'un axe à caractère économique important.</td><td>Percussion avec destruction <u>d'une petite partie</u> du bâtiment (perforation du toit ou du mur)</td><td>Modérés</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Le phénomène conduirait à la destruction de l'enjeu (destruction ou écrasement complet, impacts multiples de pierres ou destruction complète de la structure). Le phénomène peut avoir des répercussions économiques très importantes (fermeture sur une longue période).</td><td>Destruction ou écrasement complet ou en grande partie de bâtiments, impacts multiples de pierres ou de blocs sur un mur avec perforation certaine.</td><td>Importants</td></tr>
<tr><td>Le phénomène conduirait à la destruction de l'enjeu et concerne plusieurs bâtiments (plusieurs parcelles) ou des constructions à forte densité de population (immeubles…)</td><td>Très importants</td></tr>
</table>

⇒**<u>La vulnérabilité</u>** pour un enjeu donné sera exprimée suivant <u>cinq niveaux</u> issus des combinaisons des tableaux détaillés ci-avant :

| Vulnérabilité | | Exposition aux trajectoires | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Très importante | Importante | Moyenne | Faible | Très faible |
| Dommages potentiels | Très importants | TF Très forte | TF Très forte | F Forte | M Moyenne | FA Faible |
| | Importants | TF Très forte | F Forte | F Forte | M Moyenne | FA Faible |
| | Modérés | F Forte | M Moyenne | M Moyenne | FA Faible | TF Très faible |
| | Limités | M Moyenne | M Moyenne | FA Faible | TF Très faible | |

© 12/2020 Alpes Ingé

# 3 –DETERMINATION DU RISQUE

Le niveau de risque est déterminé par croisement entre la vulnérabilité et le niveau d'aléa de rupture.

Il est exprimé suivant **cinq niveaux** d'intensité :

| **Risque résultant** | | **Aléa de rupture** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | TE = Très élevé | E = Elevé | M = Modéré | F = Faible | TF = Très faible |
| **Vulnérabilité** | TF = Très forte | Très fort | Très fort | Fort | Moyen | Faible |
| | F = Forte | Fort | Fort | Fort | Moyen | Faible |
| | M = Moyenne | Fort | Moyen | Moyen | Faible | Très faible |
| | FA = Faible | Moyen | Moyen | Faible | Très faible | |
| | TF = Très Faible | Faible | Faible | Très faible | | |

© 12/2020 Alpes Ingé