



BEAUSOLEIL (06)

Projet « QUARTIER GRIMA »

Chemin des Révoires Supérieur

N° Affaire 19-2160

MISE EN SECURITE DE FALAISE

Mission : G2PRO

INDICE	AFF	DATE	MISSION	SUJET DE REVISION	RED.	CONT.	APPRO.
B	19-2160	13/12/2019	G2 PRO	Modifications selon recommandations DDTM	GPE		
A	19-2160	18/10/2019	G2 PRO	2 solutions techniques	GPE		
0	19-2160	19/08/2019	G2 PRO	1 ^{ère} Diffusion	GPE		

Forages - Pénétromètres - Essais in situ - Laboratoire - Conseil en Mécanique des Sols

Société par actions simplifiées au capital de 132.300 Euros – SIRET 542 014 261 00086 – APE 7112 B 542 014 261 RCS AIX-EN-PROVENCE
N° INDIVIDUEL D'IDENTIFICATION CE : FR 76 542014261 – CCP PARIS 7.566-60

Siège Social et adresse de facturation :
460, avenue Jean Perrin – 13851 AIX EN PROVENCE
Tél. 04 42 39 74 85 – Fax 04 42 39 73 91 – e.mail : aix@sol-essais.fr

Agence Côte d'Azur : Les Algorithmes - Thalès B
2000 route des Lucioles – 06410 BIOT SOPHIA ANTIPOLIS
Tél. 04 26 03 07 00 – Fax 04 93 33 21 36 – e.mail : nice@sol-essais.fr



TABLE DES MATIÈRES

I – CONSISTANCE DE NOTRE INTERVENTION	3
II – DONNEES GENERALES	3
II.1 RAPPEL DES DONNEES HISTORIQUES, TOPOGRAPHIQUES ET GEOLOGIQUES GENERALES	3
II-2 PPR MOUVEMENT DE TERRAIN	4
II-3 PLU	5
II-4 CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL	5
III – OBSERVATION DE TERRAIN ETAT DES LIEUX	6
III-1 OBSERVATIONS VISUELLES	6
III-1-1 ZONE 1	6
III-1-2 ZONE 2	8
III-1-3 ZONE 3	20
III-1-4 ZONE 4	23
III-1-5 SYNTHÈSE	25
III-2 ANALYSE TRAJECTOGRAPHIQUE	27
III-2-1 LOGICIEL	27
III-2-2 PROFIL TYPE, VOLUME DE REFERENCE, HYPOTHESE DE CALCUL	28
III-2-3 RESULTATS	29
III-2-4 ANALYSE DES RESULTATS DE TRAJECTOGRAPHIE	36
III-3 ANALYSE DE STABILITE DES BLOCS	37
IV – CONCLUSIONS	39
IV-1 APPROCHE GENERALE	39
IV-2 MISE EN SECURITE	40
IV-2-1 GENERALITES	40
IV-2-2 LES DIFFERENTS DISPOSITIFS ENVISAGES	42
IV-2-3 SOLUTION TECHNIQUE RETENUE	44
IV-2-4 ZONAGE	45
IV-2-5 ENTRETIEN - MAINTENANCE	49
V – ANNEXES	54

I – CONSISTANCE DE NOTRE INTERVENTION

Notre mission s'inscrit dans le cadre d'une mission de type « G2PRO », selon la norme NFP 94-500, elle comprend :

- Des visites, en conditions acrobatiques, dans les zones accessibles de la falaise,
- L'identification des blocs, masses ou ensembles à traiter selon les anomalies identifiées,
- Les propositions de traitement par zone et prédimensionnement,
- Un reportage photographique permettant de localiser les compartiments rocheux sur les vues réalisées par drones et sur la base du plan topographique fourni par le Maître d'ouvrage.

II – DONNEES GENERALES

II.1 Rappel des données historiques, topographiques et géologiques générales

Historique : La parcelle est située dans l'emprise d'une ancienne carrière à ciel ouvert depuis longtemps désaffectée.

Les traces des tirs de mines sont bien identifiables dans la falaise.

Jusqu'à ce jour, les chutes de blocs n'ont pas fait l'objet d'un signalement, la zone étant connue comme ancienne carrière sans réhabilitation.

De nombreux blocs sont observables sur le carreau.

Topographique : D'après le plan topographique, fourni par le maître d'ouvrage, la hauteur de la falaise varie entre 10 m et 30 m.

Toutefois, il convient de signaler que la tête de la falaise est largement masquée par une importante végétation avec de nombreux arbres ayant poussé dans les terrains altérés, la hauteur effective de la falaise, jusqu'à la rupture de pente, se situe environ 5 à 10 m au-dessus des rochers visibles à l'affleurement.

Géologie : Le terrain, concerné par le projet, est situé dans une zone où prédomine un substratum calcaire en très grand banc, d'âge jurassique supérieur.

Les calcaires observés sont dolomités et plus ou moins altérés selon le front observé.

Des cavités, signalées par la carte de l'aléa Géorisques, sont bien identifiables.

II-2 PPR Mouvement de terrain

D'après la cartographie de l'aléa « mouvement de terrain » de la Commune de BEAUSOLEIL, approuvé en juin 1991 et modifié le 26 mars 2001, la parcelle est localisée dans une zone présentant un aléa limité EBR correspondant à un risque de chute de blocs, de l'ordre du mètre cube, et à un aléa de ravinement.

Le niveau de risque est significatif, tous les facteurs déterminants sont reconnus avec des intensités moyennes à fortes (niveau 5).

Les phénomènes ont une forte probabilité d'apparition.

La parcelle est localisée sur une zone où l'occupation du sol a généré des risques anthropiques, donc la zone est exposée à un aléa limité où la construction et l'occupation du sol nécessitent la mise en place des confortations pour supprimer les aléas et réduire le risque à des éléments de taille inférieure à la maille des grillages c'est à dire < 50mm qui seront recueillis dans un piège à cailloux.

B



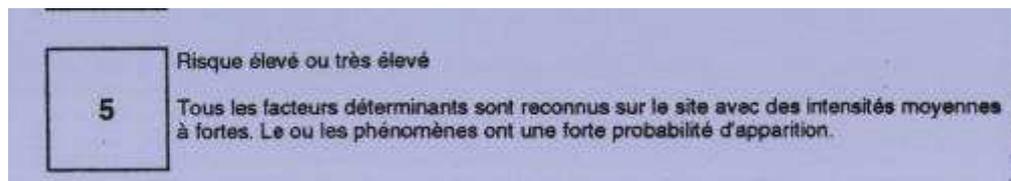


Figure 7 : Extrait de la carte d'aléa d'après le PPR MVT

II-3 PLU

D'après le PLU de la commune de BEAUSOLEIL, la partie centrale de la parcelle, correspondant au carreau de l'ancienne carrière, est cartographiée en zone bleue selon le PPR mouvements de terrain.

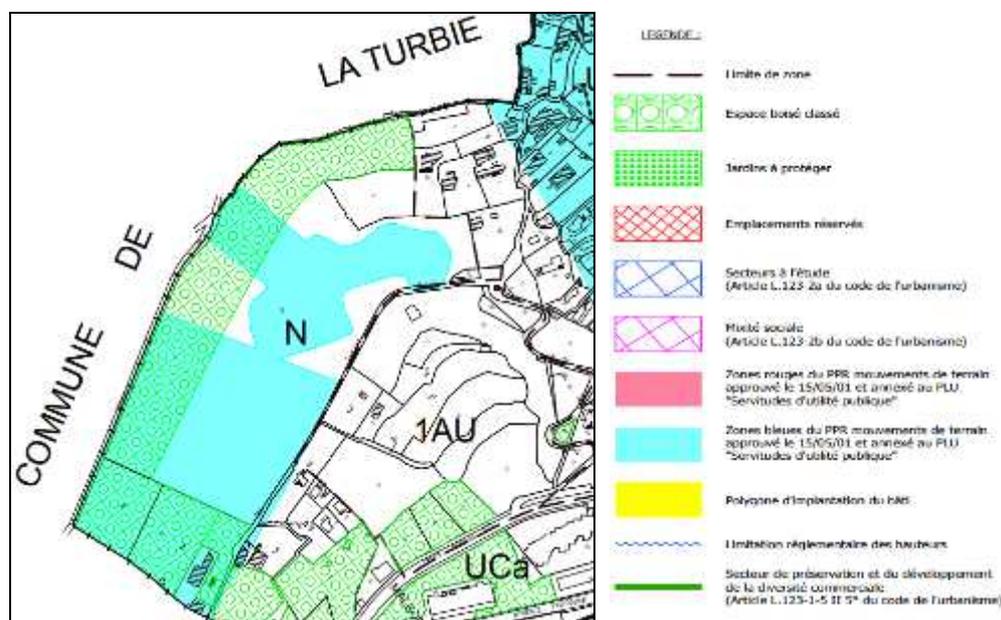


Figure 9 : Extrait de la carte de zonage du PLU

II-4 Contexte environnemental

Le site est soumis à étude environnementale. Le BET Environnemental TINEETUDE a été consulté et a activement participé à la l'élaboration de ce rapport qui tient compte des spécificités du site en termes d'espèces faunistiques et floristiques. En effet, la présence de végétaux ou animaux protégés constitue des contraintes lors de la réalisation des travaux. Cela a entraîné la mise en œuvre de moyens spécifiques rendant les travaux de sécurisation conformes à l'étude environnementale conduite sur le secteur.

B

Le rocher présente un aspect rougeâtre altéré en blocs et blocailles.

La direction du pendage des couches géologiques, Nord/Nord-Ouest avec une inclinaison à 45°, constitue un caractère favorable au regard du front de taille de la falaise.

Toutefois, la tête de falaise est lapiazée et présente un aspect ruiniforme, entraînant localement une individualisation de blocs altérés.
La couverture de terre végétale semble réduite.

Les restanques, situées en amont de la falaise, présentent une direction globalement Nord/Sud, c'est-à-dire perpendiculaire à l'orientation de la falaise dans cette zone.

Elles sont envahies par une végétation de garigue très dense qui rend le terrain totalement impénétrable.

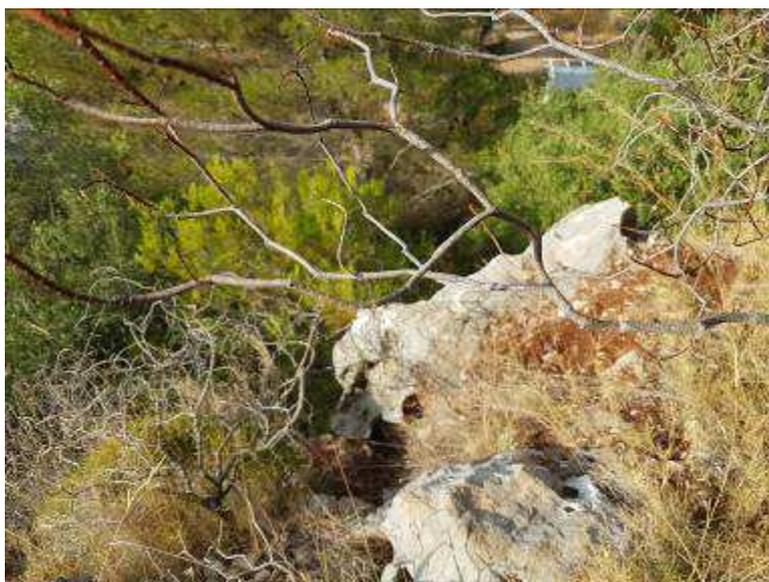


Photo : exemple de blocs lapiazés surplombant localisés en tête de falaise.

En pieds de falaise, deux puits artificiels abandonnés et partiellement comblés par des déchets, résultant probablement de l'exploitation ancienne de la carrière, sont identifiables.

B



III-1-2 Zone 2

Dans la zone 2, la falaise correspond au talus Ouest/Nord-Ouest de l'ancienne carrière.

La hauteur de la falaise varie entre 10 et plus de 20 m.

Les terrains, en amont de la falaise, sont constitués d'anciennes restanques envahies par une végétation arbustive dense.

La pente générale de ces terrains est de l'ordre de 15 à 20°, dans laquelle on peut noter la présence de nombreux blocs éboulés.

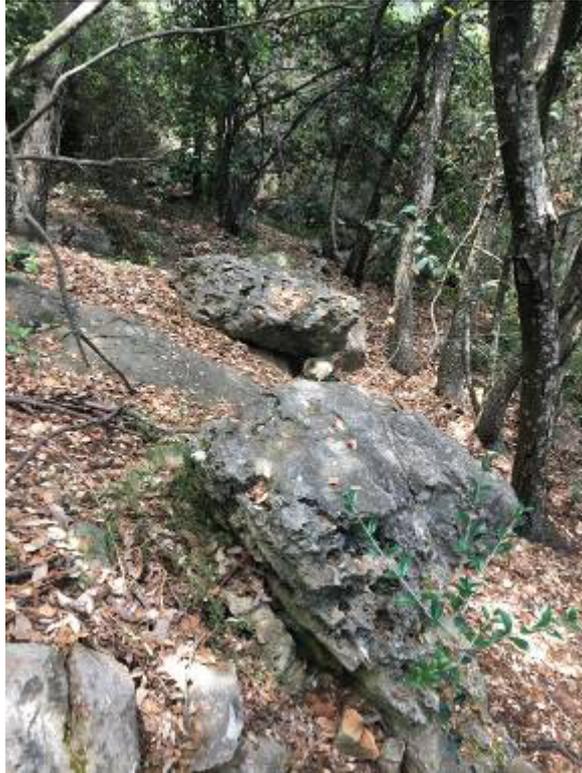


Photo : exemple de blocs éboulés sur les restanques en amont de l'ancienne carrière.

La tête de falaise est colonisée par une végétation arbustive dense localement impénétrable.

Les matériaux en tête de falaise sont très altérés et fracturés en blocs et blocailles pouvant atteindre plusieurs mètres cubes.

Les racines des arbres, s'immisçant dans les fractures, jouent un rôle défavorable.

B



Photos : exemple de blocs et blocailles en tête de falaise, de taille décimétrique à métrique, emballés dans une matrice argilo caillouteuse résultant de l'altération en place des dolomies ou d'éboulis anciens.

On note la présence de cicatrices de blocs éboulés



Photo : tête de falaise très altérée dans la zone 2

En partie médiane, la falaise présente un aspect ocre rouge très altéré.

Les matériaux rocheux sont friables et se désagrègent en sable et blocailles.



En partie basse de la falaise, pour partie masquée par la végétation, des éboulis de pieds se développent :

- Une balme naturelle identifiée à l'angle Nord de la parcelle
- Une balme plus encaissée laissant apparaître des traces du réseau hydrographique souterrain très développé, notamment dans sa partie la plus profonde et karstifiée.
- On peut également noter la présence d'importants soucavages d'origine artificielle, d'une profondeur d'ordre métrique à plurimétriques, s'étendant sur plusieurs mètres de largeur en pied de falaise.

B



Photos des deux balmes



Photo zone soucavée en pied de falaise artificielle



Photo zone soucavée en sortie de balme

Dans cette zone on peut également noter la présence d'une zone d'effondrement de 6 m de largeur et 7 m de profondeur entièrement masquée par la végétation.



La zone 2 est séparée, en partie centrale, par un talweg rocheux largement ouvert, limité en amont par les anciennes restanques du plateau.

Ces restanques sont soutenues par des murets de pierres sèches et présentent des hauteurs variables mais généralement d'ordre métrique.

En rive gauche du talweg (NORD) : la tête de falaise est caractérisée par des calcaires très altérés et sableux dans lesquels on peut observer la présence des cavités karstiques.

En rive droite (SUD) : le rocher est moyennement altéré superficiellement mais la fragmentation en écailles superficielles, de grandes tailles, est difficile à identifier en raison du couvert végétal de la crête de falaise.

La partie haute de la falaise est caractérisée par un rocher altéré et fragmenté en blocs de taille plurimétriques.

Les racines des arbres, s'immiscant dans les fractures, jouent un rôle défavorable.





Photos réalisées dans le 1^{er} tiers de la falaise, ensemble très fracturé et fissures largement ouvertes, entraînant l'individualisation de blocs de taille plurimétriques.

On peut noter, en partie centrale, la présence des cicatrices d'une large zone d'effondrement affectant la falaise sur une hauteur de l'ordre de 15 m et une largeur équivalente, au droit de laquelle on observe le cône d'éboulis en pied au milieu de la végétation.

B

Dans cette zone, le karst est très développé entraînant la formation d'un surplomb de plusieurs mètres de largeur.

Au fond de la zone d'effondrement, les boyaux du karst sont visibles et semblent se prolonger profondément.

Une zone de calcaire dolomitique altérée blanchâtre est bien développée immédiatement à côté de la zone effondrée, entraînant un soucavage de la falaise, de profondeur plurimétriques.

Les matériaux, accumulés en pied, forment un cône d'éboulis constitué de blocs et sable de granulométrie hétérogène.



Photo de l'intérieur de la cavité avec zone d'effondrement en pied



Photo de la zone soucavée caractérisée par un calcaire dolomitique blanchâtre très altéré et présence de blocs et blocailles en pieds



Photo de la falaise dans la zone 2, vue d'ensemble des 2 zones présentant des cavités bien développées très karstifiées. L'Isthme central forme un « pilier ».

B

III-1-3 Zone 3

Dans la zone 3, la falaise présente un aspect plus massif, compact et moins karstifié.

La tête de falaise, pour partie masquée par la végétation, présente des blocs en équilibre.

Sur l'ensemble de la falaise, on observe un écaillage de surface et blocs et blocailles d'épaisseur inférieure à 1 m.

L'inclinaison du front de la falaise est très redressée et présente plusieurs ressauts liés à la stratification géologique défavorable par rapport au front de taille.

On peut également noter la présence de très grands pins qui se sont développés en crête de falaise, dont les systèmes racinaires se sont immiscés entre les fractures et entraînent des chutes d'arbres et de blocs.

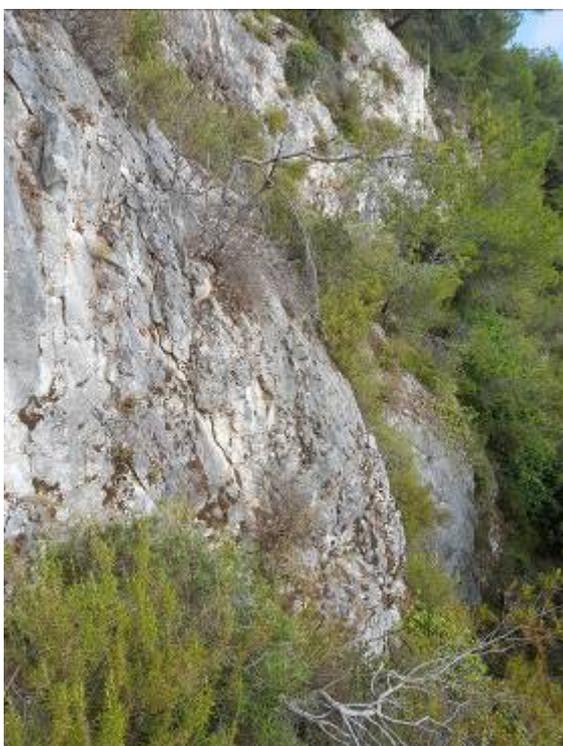




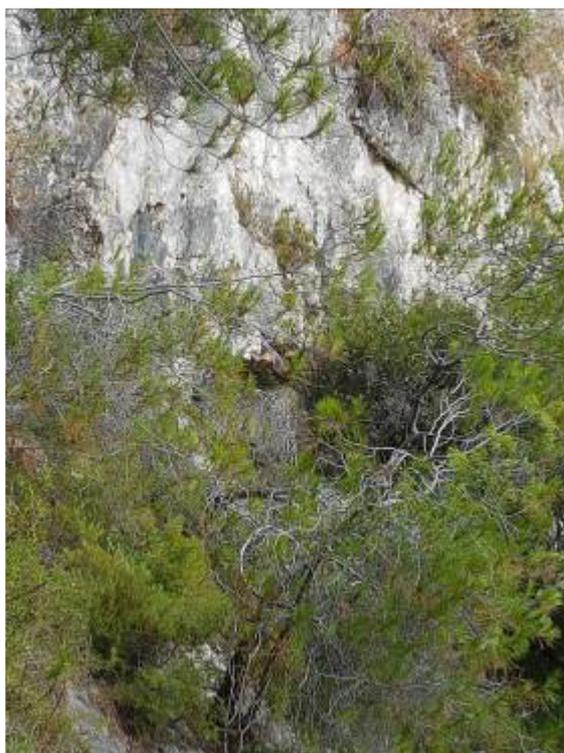
Zone très altérée en tête



Individualisation de blocs ou grandes écailles



Ecaillage de surface



Ecaillage de surface et cavité karstique



Plan de stratigraphie défavorable par rapport à la fouille

Ruine en tête de falaise

Comme au niveau de la zone 1, le plateau en tête de falaise est caractérisé par des anciennes restanques retenues par des perrés de pierres sèches, orientés perpendiculairement au front de taille.

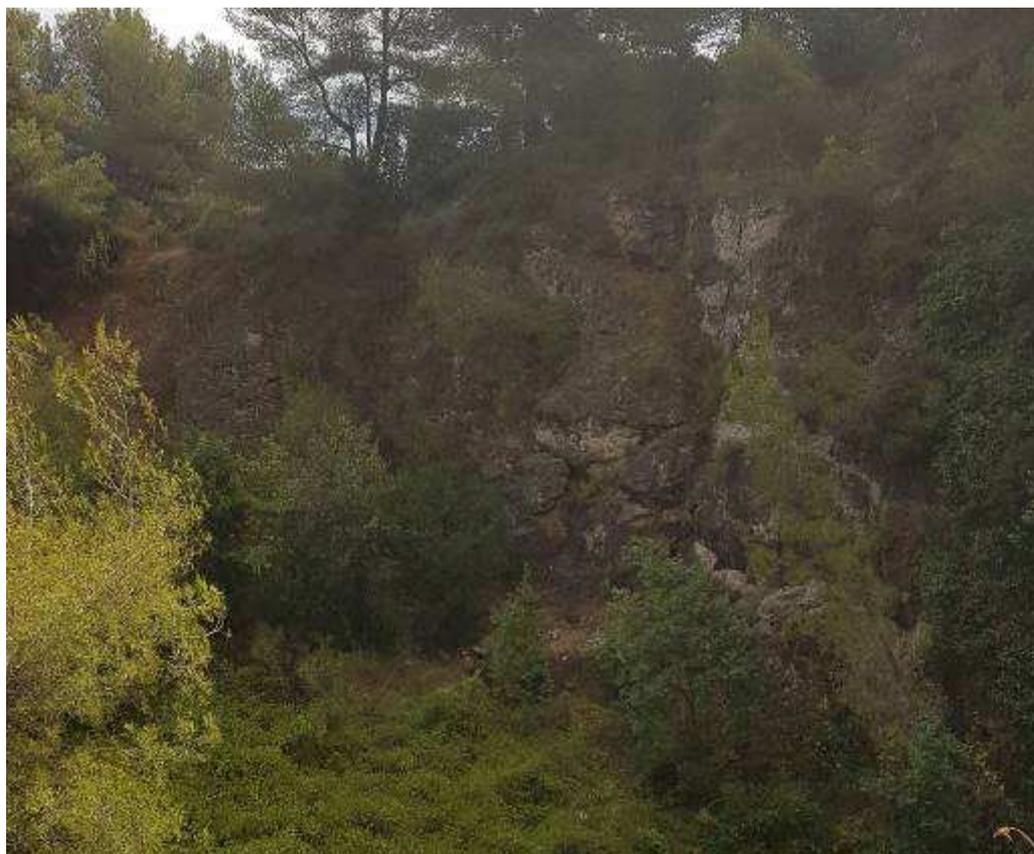
On peut noter la présence d'une ruine située à moins de 5 m de la crête de falaise.

L'angle Sud - Est de la falaise est impraticable en raison de la densité de la végétation, les photos aériennes n'ont pas permis de compléter la visite dans cette zone.

Le pied de falaise ne peut être approché en raison de la densité de la végétation.

III-1-4 Zone 4

Dans la zone 4, correspondant au retour SUD EST de la falaise, la hauteur de talus est plus faible de l'ordre d'une dizaine de mètres.



Cône d'effondrement resté en place

Le rocher est fracturé, particulièrement en crête de falaise, l'orientation de la stratigraphie par rapport à la fouille présente une inclinaison défavorable.

De nombreuses instabilités sont observables dont les volumes peuvent atteindre quelques litres à plusieurs mètres cubes.

Dans la partie centrale, on peut noter la présence de zones effondrées résultant des anciens tirs de mines ayant entraîné la fragmentation de la roche, l'ensemble est décollé et en position instable, l'état du rocher en retrait devrait être fracturé.



Détails de la zone effondrée formant un cône en pied de falaise



Zone très fracturée, présence de masses rocheuses de forme parallélépipédique, très décollées par les combinaisons des fractures.



Zone altérée, en blocs et blocailles, partiellement éboulée avec cône d'éboulis en pieds

III-1-5 Synthèse

Les observations réalisées soulignent que la falaise surmontant le terrain est, de manière générale, facturée et présente localement des zones plus altérées ou décomprimées notamment au niveau de la zone 2 en raison du karst pouvant présenter une évolution défavorable à court et moyen terme.

D'après la cartographie, réalisée à l'échelle de la commune, l'aléa « chute de bloc » est limité sur le secteur.

Toutefois, à l'échelle de la parcelle, les observations réalisées soulignent que l'aléa chute de blocs est élevé à localement très élevé, en raison du degré de fracturation du massif et de la présence d'un karst localement très développé dont il est difficile de localiser les ramifications.

Ces éléments sont de nature à entraîner des chutes de blocs dont la taille est de l'ordre du mètre cube et plus selon la zone concernée, en fonction de l'orientation plus ou moins défavorable des fractures par rapport au front de la falaise, et l'altération.

B

L'intensité est élevée, la hauteur de la falaise étant comprise entre 10 et plus de 30 m.

B

La présence de blocs sur le terrain aval souligne que l'occurrence de chutes de blocs est significative.

**TABLEAU RECAPITULATIF
DES PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DE CHAQUE ZONE**

ZONE 1	Talus rocheux de 3 à 15 m de hauteur avec aménagement en pied de petites restanques en pierres sèches. Présence de 2 anciens puits d'entrées de cavités sommairement comblés.
ZONE 2	Falaise subverticale de 15 à 40 m de hauteur, très fracturée et altérée sur toute la hauteur et sur une épaisseur variable. Présence de cavités bien marquées et de zones d'effondrements. Certains blocs ou masses sont particulièrement instables. La falaise présente un aspect très irrégulier. La tête de falaise est envahie par les arbres et la végétation qui masquent la présence de rocher altéré et fracturé sur environ 10 m de hauteur.
ZONE 3	Falaise présentant une légère déclivité (inclinaison 50° à 60°), pendage des couches stratigraphiques défavorable, formant des ressauts successifs. Correspondant à l'épaisseur des bancs. Ecaillage de surface bien développée (épaisseur d'ordre métrique).
ZONE 4	L'ensemble est très fracturé en éléments de l'ordre de quelques litres à plurimétriques résultant de l'ancienne exploitation de la carrière formant des cônes d'éboulis. Il est prévu un terrassement partiel de la falaise afin d'implanter le bâtiment 2.

Remarques : Le développement local du Karst en profondeur ne peut être évalué précisément par des investigations visuelles, à ce titre il est prévu par le maître d'ouvrage : Une mission supervision géotechnique et de suivi des travaux permettant de suivre et contrôler toutes les étapes des travaux et notamment la foration des ancrages qui servira de reconnaissance à l'avancement.

De proposer et réaliser les investigations complémentaires (sondages, caméra endoscopiques...) qui pourraient être nécessaires, et d'adapter les travaux aux conditions effectivement rencontrées afin d'assurer l'objectif de mise en sécurité.

B

III-2 Analyse trajectographique

La simulation des trajectoires suivies par les blocs est menée à l'aide d'un logiciel de trajectographie.

Ce logiciel a pour objectif de fournir une estimation de la trajectoire des blocs rocheux, en interaction avec le milieu naturel, afin d'assurer une prédiction pertinente des zones exposées à l'aléa de chutes de blocs et de permettre un positionnement judicieux des ouvrages de protection.

III-2-1 Logiciel

Les études trajectographiques sont réalisées à l'aide du logiciel ROCKFALL version 5.0, développé par la société ROCSCIENCE.

Ce logiciel permet de modéliser le comportement des éboulements rocheux le long d'une pente et fournir une analyse statistique des événements probables.

L'analyse est réalisée en 2 dimensions et les fragments de la roche sont considérés comme des particules uniques avec un mouvement planaire qui est décrit par des composants linéaires.

Les enveloppes d'énergie, de vitesse et de « hauteur de rebond », pour l'ensemble de la pente, sont déterminées par le programme.

Les distributions sont représentées sous forme de graphiques et des statistiques complètes sont automatiquement calculées.

Les propriétés matérielles de chaque segment, constituant la pente, peuvent être modifiées ou adaptées pour permettre de tenir compte de la nature du sol constituant la pente et permettre également la comparaison des résultats.

Dans le cas où des écrans pare-pierres sont envisagés pour protéger les enjeux, des écrans fictifs sont positionnés dans la pente.

L'information sur l'énergie cinétique et l'emplacement de l'impact sur une barrière peuvent aider à déterminer la capacité.

III-2-2 Profil type, volume de référence, hypothèse de calcul

1/ Topographie :

Cette analyse est menée sur la base de profils types réalisés dans la zone 2 à partir des éléments topographiques simplifiés qui nous ont été fournis, et prend en compte la présence des blocs en pied de la falaise et sur le terrain.

2/ Volume de référence, nombre de jets

Le choix du volume de référence tient compte des observations réalisées.

Les projectiles modélisés sont de forme sphérique ce qui, en termes de propagation, constitue une approche conservatoire.

Le nombre de jets modélisés est de 1 000 jets par type de blocs.

3/ Hypothèses de calcul

Le profil trajectographique est constitué de segments de terrain sur lesquels sont attribués des coefficients de restitution.

La trajectoire de chaque bloc correspond à une succession de phases de vols et d'impacts sur le sol ou d'autres éléments du milieu naturel.

La modélisation de l'impact est faite à travers l'introduction de coefficients de restitution reliant les paramètres cinématiques du bloc avant et après impact.

Les valeurs de ces coefficients de restitution sont, soit calibrées à partir de données expérimentales, soit évaluées par retour d'expérience, soit calculées à partir de modélisations mécaniques trop simplifiées pour retranscrire de façon satisfaisante la complexité des mécanismes en jeu.

A ce stade de l'étude, les valeurs des coefficients de restitution sont donc des paramètres issus de la base de données du logiciel communément utilisé.

Il n'est pas pris en compte ni l'accélération sismique ni l'effet de site.

Nous avons déterminé deux types de "sols" :

	Coef de restitution du sol normal (Rn)	Coef de restitution du sol tangentiel (Rt)
Rocher sain ou affleurant	0.35	0.85
Talus végétalisé	0.32	0.8

(Paramètres issus de la base de données du logiciel)

Vitesses initiales : les vitesses initiales de rotation et de translation des jets sont prises égales à 0.

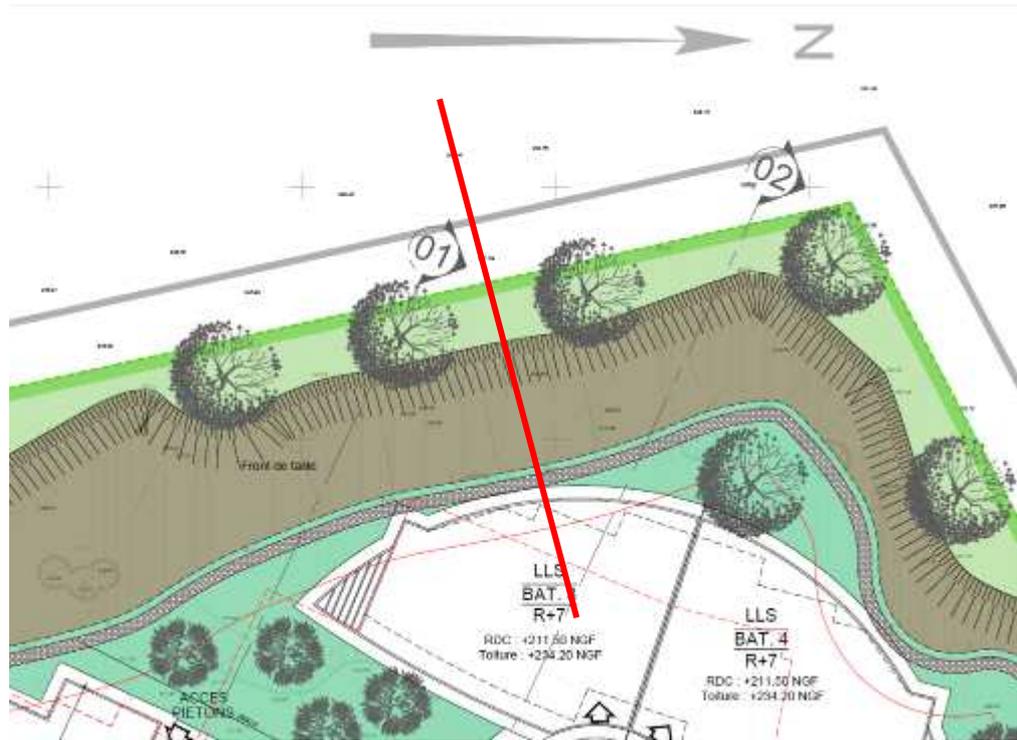
Altitude de départ : l'altitude de départ des blocs a été prise en tête de la falaise car elle constitue le point le plus défavorable.

III-2-3 Résultats

PROFIL 1 :

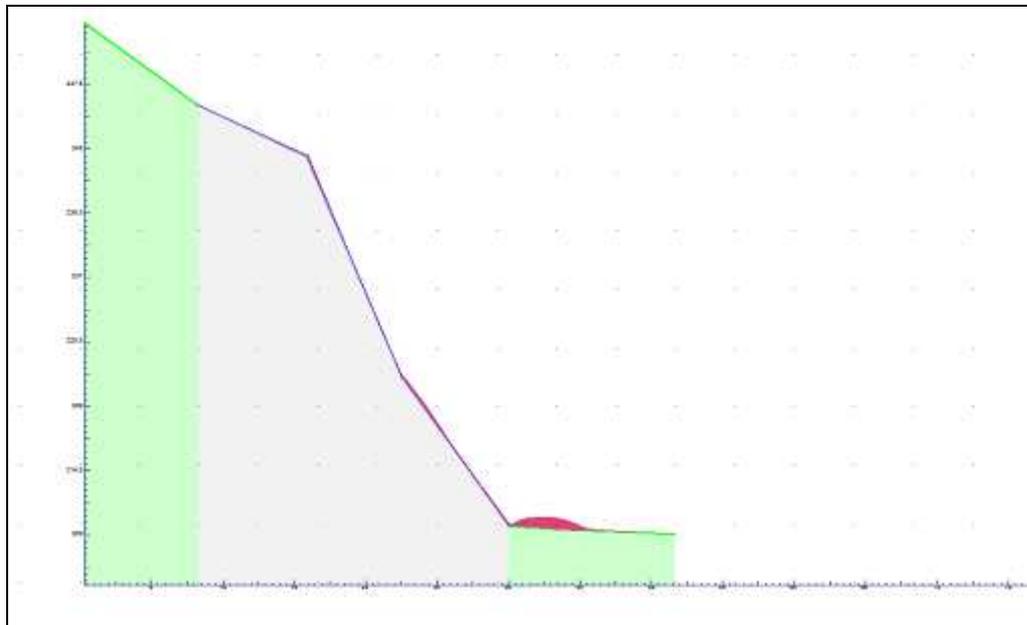


D'après photo aérienne réalisée par drone

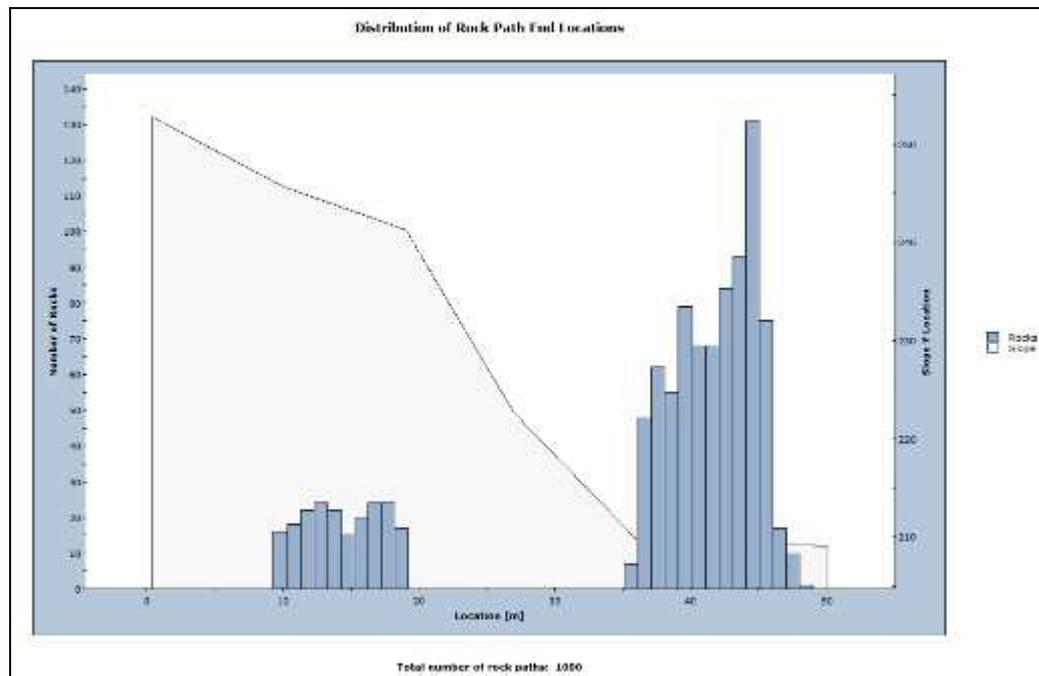


D'après plan de masse avec canopée 190419

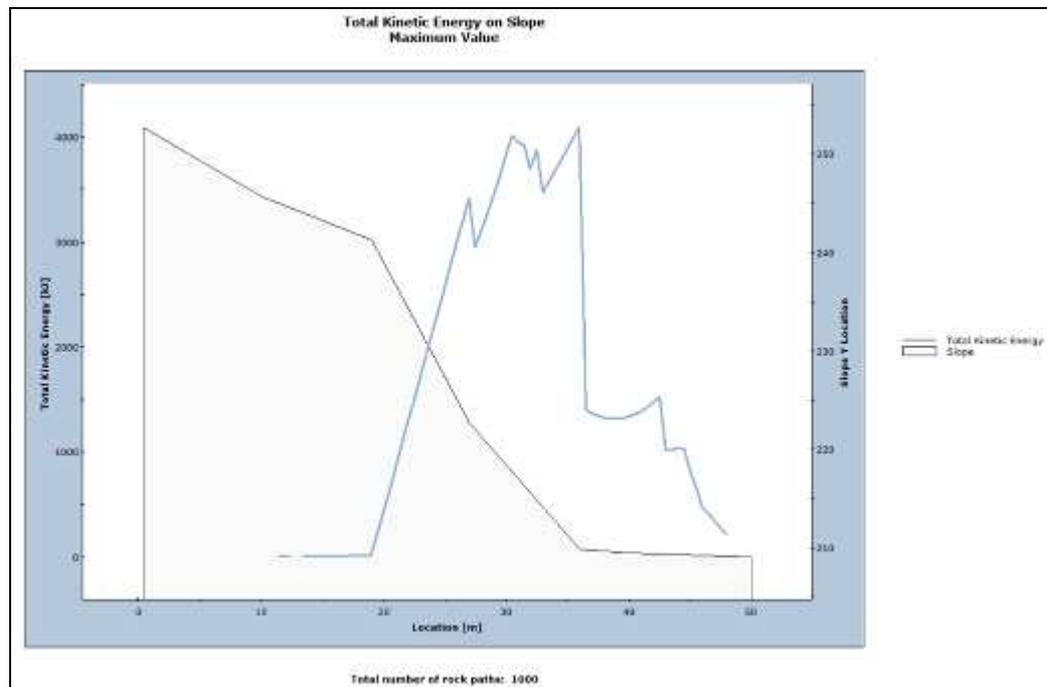
Ce profil est localisé dans la zone 2, au droit des effondrements qui se sont déjà produits, ayant entraîné une accumulation de blocs en pied de falaise.



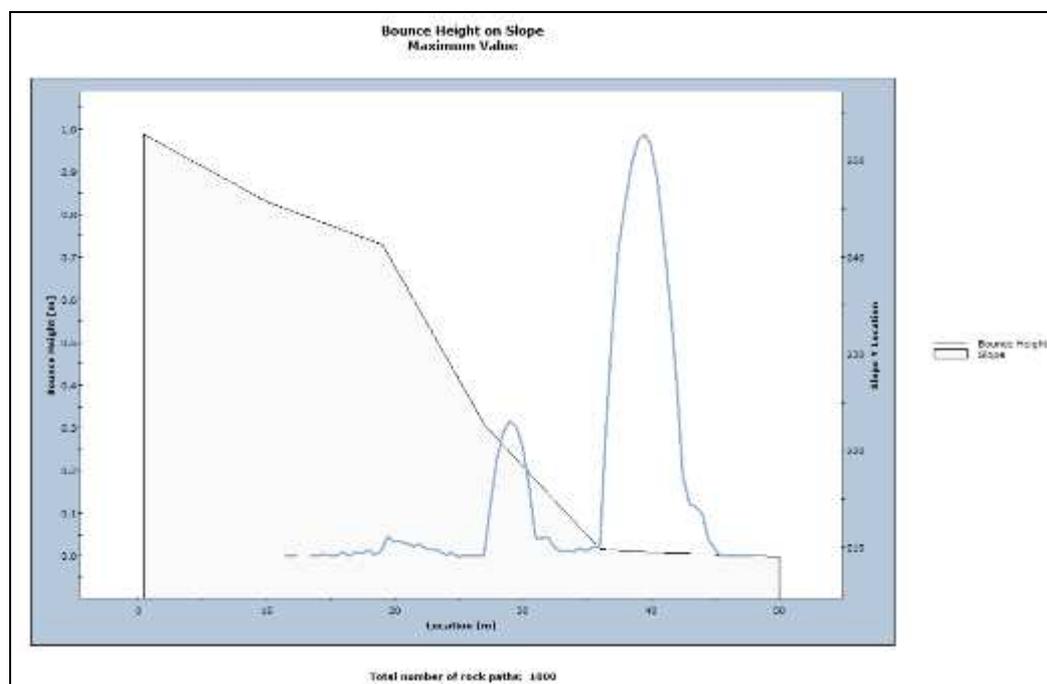
Profil topographique 1



Distribution : fin de propagation des blocs selon la topographie



Energie cinétique maximale selon la localisation



Hauteur de rebond au-dessus du profil de terrain

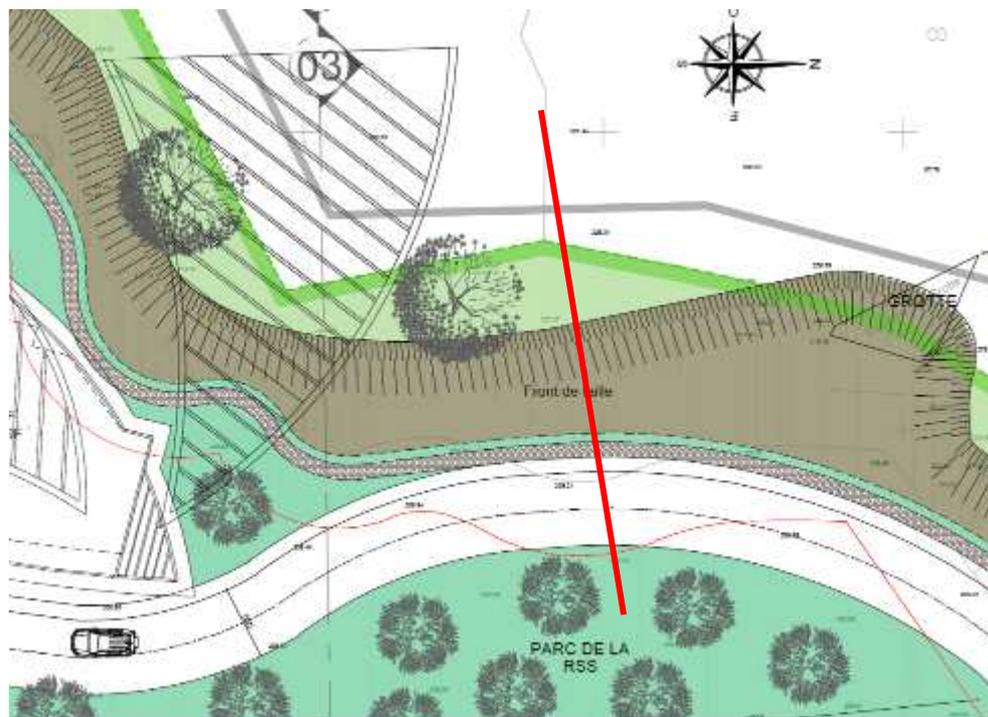
Taille de bloc : sphère de 10 m³, nombre de jets : 1000

En pied de falaise : La hauteur de rebond maximale est de 1.5 m
L'énergie cinétique maximale est de 1500 KJ

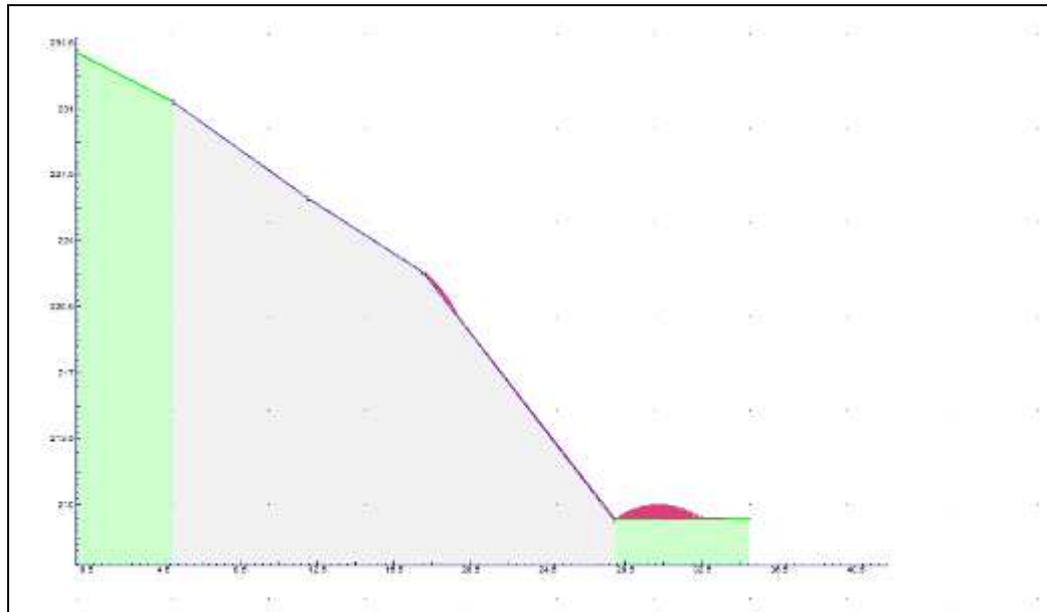
PROFIL 2 :



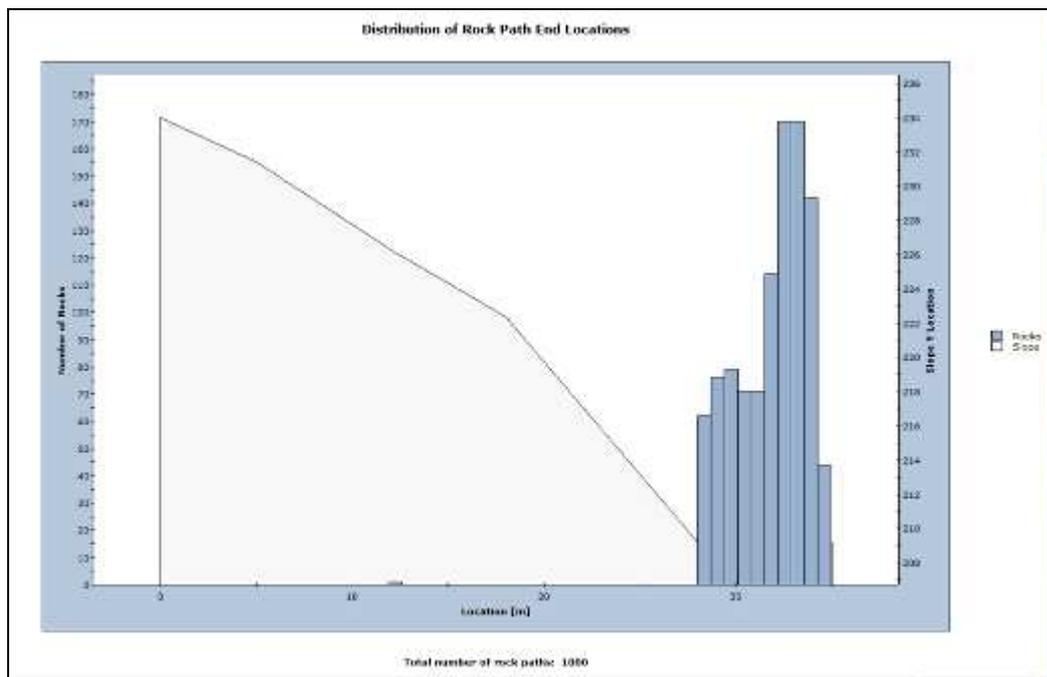
D'après photo aérienne réalisée par drone



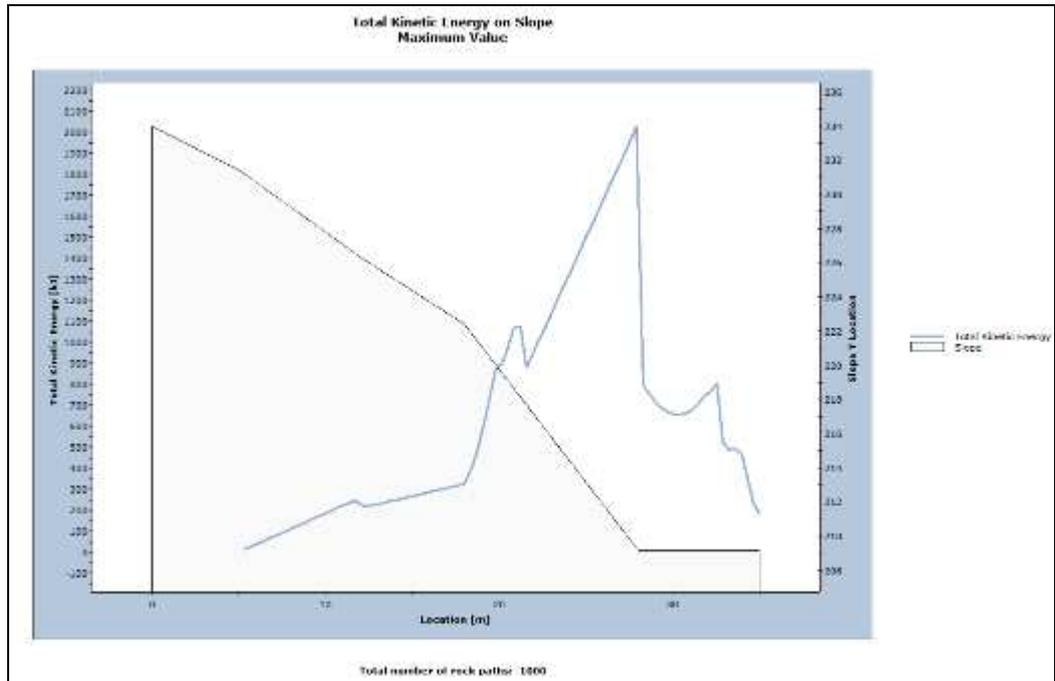
D'après plan de masse avec canopée 190419



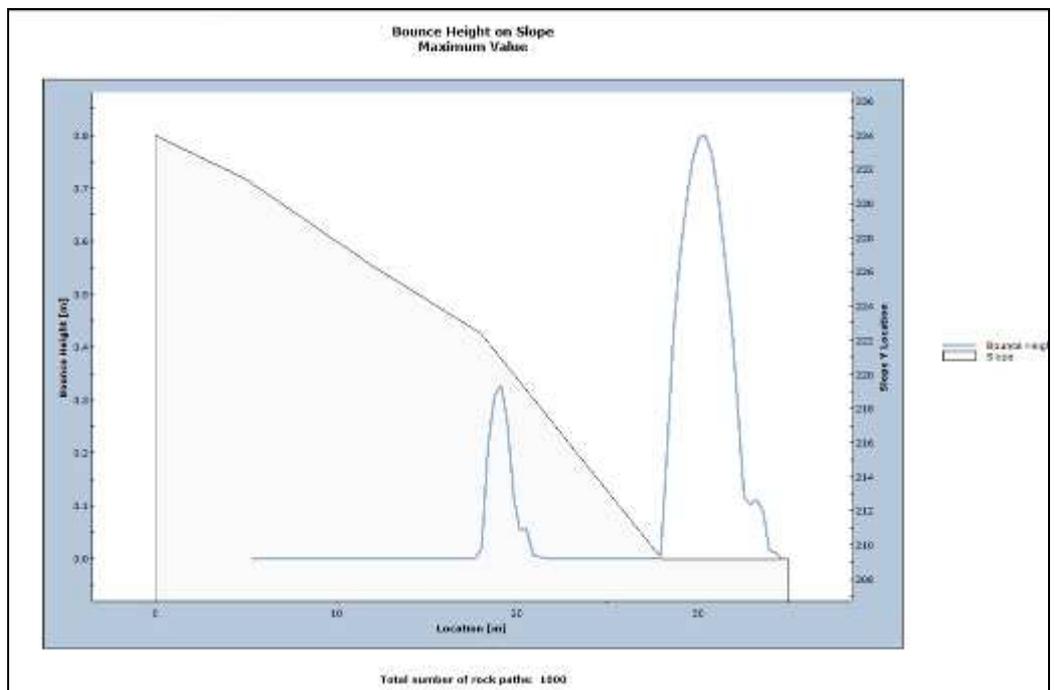
Profil topographique



Distribution : fin de propagation des blocs selon la topographie



Energie cinétique maximale selon la localisation



Hauteur de rebond au-dessus du profil de terrain

Taille de bloc sphère de 10 m³, nombre de jets : 1000

En pied de falaise : La hauteur de rebond maximale est de 1.0 m
L'énergie cinétique maximale est de 2000 KJ

III-2-4 Analyse des résultats de trajectographie

Le profil 1 est localisé dans la zone 2-3.

Dans cette zone, le rocher présente un degré de fracturation élevé et des effondrements liés à la présence du karst très développé entraînant la formation de surplombs et de « grottes » de grandes dimensions.

Dans cette zone, le bâtiment est situé très près de la falaise.

Le profil 2 est localisé dans la zone 2-2, caractérisée par des calcaires très altérés.

On peut noter une altération en sables et blocailles rougeâtres, sensible à l'altération météorique.

Le profil topographique de la falaise est très variable latéralement, il est localement surplombant en raison de sous cavages liés au ravinement des matériaux altérés.

Dans cette zone, la voie de circulation de la résidence est située très près du pied de la falaise.

Les simulations de trajectoire de chutes de blocs ont mis en évidence que les blocs se propagent largement en pied de falaise, à une distance pouvant atteindre une dizaine de mètres.

L'implantation optimale d'un écran pare-blocs en pied de falaise doit être réalisée en tenant compte des hauteurs des rebonds, de la distance d'atterrissage des blocs et de l'élongation des écrans en cas de chutes de blocs, ce qui entraîne une zone de l'ordre de 15 m en pied de la falaise ne pouvant être aménagée.

Compte tenu de ces éléments, la mise en place d'écrans pare-blocs ne peut être envisagée au regard de l'implantation du projet.

Il convient donc de privilégier la mise en œuvre de protections rapprochées directement sur la falaise.

III-3 Analyse de stabilité des blocs

Compte tenu de la présence d'aire de circulation en pied de falaise et de bâtiments très près de celle-ci, il convient de privilégier des renforcements systématiques et localement ponctuels, pour les masses et blocs instables de grandes dimensions, afin de supprimer l'aléa et réduire le risque à des éléments de taille inférieure à la maille des grillages c'est à dire < 50mm, qui seront recueillis dans un piège à cailloux en pied de falaise.

B

Le maillage des ancrages et leurs longueurs doivent prendre en compte les caractéristiques suivantes :

Séisme

En application de l'Eurocode 8 (norme NF EN 1998-5), et du décret d'application du 22 octobre 2010, il est pris en considération les caractéristiques suivantes :

- | | |
|---|--|
| - Zone de sismicité | 4 (moyenne) |
| - Accélération du sol de référence | $a_{gr} 1,6 \text{ m/s}^2$ |
| - Bâtiment de classe d'importance | II (coefficient $\gamma = 1$) |
| - Sol de catégorie | A (coefficient $S = 1$) |
| - Coefficient d'amplification topographique | $\tau = 1.4$ |
| - Type d'ouvrage | mur contre terre
(coefficient $r = 0.5$) |

A partir de ces données, les coefficients sismiques sont les suivants :

$$\sigma_H = \frac{1}{2} S \times \tau \times a_{gr} / g = 0,5 \times 1 \times 1.4 \times 1.6 / 9,81 = \mathbf{0,0114}$$

$$\sigma_V = \pm 0,5 \sigma_H = \pm \mathbf{0,057}$$

Caractéristiques de sol

Les caractéristiques de cisaillement des sols sont déduites du rapport d'étude de sol D19-2160 - G2AVP du 16/07/2019.

Les hypothèses géotechniques sont déduites des observations effectuées sur place, permettant d'évaluer les caractéristiques mécaniques des sols, de notre connaissance du secteur et des essais in situ.

	γ (T/m ³)	q _{sl} (T/m ²)	Caractéristiques à long terme	
			C' (T/m ²)	ϕ' (°)
Calcaires	2.5	30	2	35
Calcaire altéré	2.5	20	1	35

Nota : La valeur de frottement latéral limite dans les calcaires devra être validée par des essais de traction préalables à longs paliers de fluage (au minimum 2 essais selon le § G.6 de la NF P 94-270).

IV – CONCLUSIONS

IV-1 Approche générale

Dans cette étude, nous avons réalisé :

- Une approche documentaire et historique sur la base de photos historiques de l'IGN et des données d'archives.

La présence d'un karst développé formant des « balmes » des « grottes » au niveau de l'ancien front de taille a peut-être été à l'origine de l'arrêt de l'exploitation de celle-ci.

- Une approche géologique générale prenant en compte la cartographie du BRGM permettant de définir le contexte géologique du site.
- L'étude géotechnique réalisée par SOL-ESSAIS dans le cadre de la reconnaissance de sol préalable à la construction des bâtiments (mission G2AVP en date du 11/07/2019).
- Une approche morphologique, présentant le modelé du terrain, dans lequel nous avons noté la présence d'un talweg, de cavités anciennes plus ou moins remblayées, ainsi que des observations générales sur le couvert végétal du versant.
- Une identification des enjeux.
- Dans un second temps, nous avons sectorisé le versant en fonction des observations réalisées sur le terrain et des instabilités ponctuelles ou occupant de larges secteurs en fonction des mécanismes d'évolution.
- Une analyse trajectographique sur les zones 2-2 et 2-3 permettant d'évaluer les énergies en jeu en cas de chutes de blocs, de préciser les distances de propagation, d'implanter les parades passives au niveau des bâtiments les plus exposés en raison de leur proximité par rapport à la falaise, d'en évaluer la faisabilité par rapport au projet.

- La définition des parades en fonction de la nature du terrain, leur localisation
- La prise en compte de l'étude environnementale réalisée par TINEETUDE.

Les résultats de cette étude permettent de définir les protections à mettre en œuvre, afin de supprimer les aléas et réduire le risque à des éléments de taille inférieure à la maille des grillages c'est à dire < 50mm, qui seront recueillis dans un piège à cailloux en pied de falaise et, de limiter l'entretien, dans le temps, des installations à leur bon fonctionnement selon les recommandations des fabricants et dans des conditions d'utilisation normales.

Au travers de notre approche générale, nous attirons l'attention de la maîtrise d'ouvrage et de la maîtrise d'œuvre sur le développement des cavités karstiques à l'arrière du front de taille qui reste vraisemblable et ne peut être évalué précisément.

Aussi, lors de la phase exécution, l'attention sera portée au niveau des travaux préparatoires des emprises, les forages des ancrages serviront de reconnaissance à l'avancement qui, en cas d'anomalies, conduiront à la nécessité de réaliser des sondages complémentaires géotechniques (destructifs, géophysiques, endoscopiques, etc..) afin d'adapter les travaux de protection.

Selon la localisation et les anomalies qui pourraient être mises en évidence, les ancrages seront prolongés et les emmaillotages seront renforcés ou adaptés.

IV-2 Mise en sécurité

IV-2-1 Généralités

D'une manière générale, les solutions techniques, visant à supprimer ou réduire l'aléa de chutes de pierres et de blocs réduire à des éléments de taille inférieure à la maille des grillages c'est à dire < 50mm, qui seront dans le cas présent recueillis dans un piège à cailloux en pied de falaise, sont classiquement assurées par la mise en œuvre de parades actives et/ou passives.

B

Dans le cas présent, la mise en place de parades passives, de type écrans pare-blocs, n'est pas compatible avec le projet.

En effet, les dispositifs de protection passifs, de type écrans, nécessitent une emprise au sol libre suffisante pour leur réalisation.

Les confortements seront donc réalisés à l'aide :

- De grillage renforcés, plaqués pouvant être associés à une géogrille
- De filets plaqués ou canevas de câbles
- D'ancrages ponctuels,
- De béton projeté armé, pour les zones les plus altérées.

Compte tenu des modes confortatifs envisagés, (parois clouées, ancrages), il appartient au maître d'ouvrage de faire son affaire des autorisations de tréfonds s'il y a lieu.

B



Photos : exemples de STEEL GRID HR50 mis en place sur la falaise du Centre Hospitalier Princesse Grace à MONACO.

IV-2-2 Les différents dispositifs envisagés

Plusieurs types de dispositifs ont été envisagés en fonction de l'état d'altération du versant ou de sa fracturation.

Dans tous les cas, un suivi et un entretien dans le temps doivent être envisagés, afin d'assurer leur bon fonctionnement (voir tableau ci-après).

CONFORTEMENT	AVANTAGES	INCONVENIENTS
<p>Ancrages ponctuels</p> <p>Les ancrages de confortement sont constitués d'armatures en acier, scellées au rocher, destinées à stabiliser des éléments rocheux instables.</p>	<p>Permet de sécuriser des blocs ou masses rocheuses quelle que soit la localisation sur un versant.</p>	<p>Sur un versant naturel très diversifié, très fracturé, le nombre d'ancrages peut s'avérer important.</p> <p>La longueur des ancrages dépend de la nature du terrain effectivement rencontrée</p>
	<p>L'entretien est limité à l'état de corrosion des têtes d'ancrages et à l'évolution de la fracturation dans le temps</p>	
<p>Emmaillotage de masses rocheuses par filets de câbles ou canevassés de câbles</p>	<p>Permet de sécuriser un bloc ou une masse rocheuse fracturée ne pouvant être confortée ponctuellement</p> <p>Par exemple : des écailles de faible épaisseur ou surplombantes notamment en crête de falaise</p>	<p>Les ancrages peuvent être disposés largement au-delà des masses rocheuses</p>
	<p>L'entretien concerne l'état de corrosion des têtes d'ancrages et des éléments constitutifs (serre-câbles, câbles, ..)</p>	

CONFORTEMENT	AVANTAGES	INCONVENIENTS
<p>Le grillage plaqué TECCO, STEEL GRID HR Ou équivalent</p>	<p>Il est privilégié afin de tenir compte de matériaux fracturés en surface, en fonction de la granulométrie.</p> <p>Il permet également de canaliser les chutes de pierres, et de conserver visuellement l'aspect rocheux.</p> <p>Il est associé à un clouage systématique qui tient compte de l'inclinaison générale de pente, de l'épaisseur de matériaux altérés à confiner.</p> <p>La longueur des ancrages dépend de la nature du terrain effectivement rencontrée.</p>	<p>Les grillages couvrant de grandes surfaces, l'impact est important.</p> <p>Il nécessite un suivi régulier dans le temps</p>
	<p>L'entretien concerne l'état de corrosion des têtes d'ancrages et des éléments constitutifs mais également les purges éventuelles de matériaux accumulés et le changement de lès de grillage si nécessaire en cas d'évolution ou de mouvement de terrain.</p>	
<p>Le grillage plaqué TECCO, STEEL GRID HR Associé à une géogrille tridimensionnelle fibre polypropylène</p>	<p>L'association de ce type de matériaux est privilégiée dans les zones plus altérées afin de retenir les éléments fins et limiter l'érosion superficielle.</p>	<p>Les grillages couvrant de grandes surfaces, l'impact visuel est important.</p> <p>(choix des couleurs de la géogrille limité).</p>
	<p>L'entretien concerne l'état de corrosion des têtes d'ancrages et des éléments constitutifs mais également les purges éventuelles de matériaux accumulés et le changement de lès de grillage si nécessaire en cas d'évolution ou de mouvement de terrain.</p>	
<p>Béton projeté armé et ancré</p>	<p>Permet de sécuriser une zone très fracturée ou altérée.</p> <p>La mise en œuvre par projection du béton permet de suivre le modelé du terrain.</p> <p>Permet d'assurer une sécurisation à long terme avec un entretien très réduit</p> <p>La longueur des ancrages dépend de la nature du terrain effectivement rencontrée.</p>	<p>Impact visuel important</p> <p>Teinte possible afin de limiter l'impact</p> <p>Entretien très limité à long terme</p>

IV-2-3 Solution technique retenue

Cette solution consiste à supprimer l'aléa de chute de blocs et de pierres et réduire le risque à des éléments de taille inférieure à la maille des grillages, c'est-à-dire éventuellement des cailloutis.

Elle implique la mise en œuvre de protections systématiques sur toute la périphérie de la plate-forme à aménager.

Le traitement de chaque zone étant adapté en fonction de la nature géologique, de la fracturation et de la présence de vides. Aussi on veillera à réaliser un recouvrement systématique entre deux modes de protections.

Afin d'éviter la propagation des ces cailloutis, un piège à cailloux est mis en place systématiquement en pied de la falaise.

Cette solution sécuritaire est lourde, elle permet de limiter également l'entretien dans le temps à des actions simples.

Les zones géologiquement sensibles, correspondant aux balmes, grottes et zones sous cavées, font l'objet d'une attention particulière et d'un traitement spécifique afin de réaliser le confortement pérenne, d'interdire la présence de toute personnes sur les surplombs et de préserver des espaces naturels sensibles.

Aussi toutes les falaises entourant la plate-forme seront traitées.

Pendant la phase travaux, les deux missions géotechniques de réalisation G3 et G4 permettront de suivre la conformité des travaux par rapport aux exigences du projet.

La mission G3 (étude et suivi géotechnique d'exécution) à la charge des entreprises permet de valider le modèle géotechnique et apporter les mesures correctives en fonction des conditions effectivement rencontrées sur le chantier.

La mission G4 (supervision géotechnique) permet d'examiner la conformité des études, et le suivi géotechnique des travaux

Après les travaux seront prévu un suivi et un entretien régulier, de l'ensemble des falaises permettant de veiller d'une part au bon fonctionnement des dispositifs mis en œuvre et de réaliser, s'il y a lieu, les purges en pied des

B

falaises, le nettoyage, et les renforcements qui pourraient s'avérer nécessaire dans le temps.

Il sera donc prévu visite réalisée par un géotechnicien, *a minima*, **une fois par an** et complétée s'il y a lieu après un événement pluvieux intense.

Cette visite peut donner lieu à la définition de l'intervention d'une entreprise spécialisée dans les travaux spéciaux en fonction des observations réalisées.

IV-2-4 Zonage

Sont présentés sur les planches en annexe la localisation des protections ainsi que des schémas de principe des dispositifs mis en œuvre dans chaque zone.

En complément de ces dispositifs, et n'entrant pas dans le cadre des préconisations décrites dans le présent rapport, il est prévu, de manière générale en pied de la falaise et sur toute la périphérie, la mise en place d'un caniveau en retrait d'une rangée de gabions faisant piège à cailloux, permettant ainsi l'entretien en pied des installations et la canalisation des eaux de ruissellement vers un exutoire non dangereux pour les constructions et présentant également un intérêt écologique.

Les terrassements généraux, prévus pour l'implantation du projet, notamment dans les zones 1 et 4, ne font pas partie des descriptions.

Toutefois, après réalisation des terrassements, un examen du front de taille sera réalisé et les masses rocheuses, présentant un aléa de chute, seront confortées.

Des entrées en terre sont prévues au niveau du bâtiment 2 situé côté Est dans la falaise de faible hauteur.

Les bâtiments 3 et 4, situés côté Ouest de la parcelle, sont implantés en pied de falaise dans une zone particulièrement sensible en raison du développement du karst dans les formations calcaires, de la présence de vides bien développés et d'un talweg.

A ce titre, nous attirons l'attention de la maîtrise d'œuvre du projet et du maître d'ouvrage, sur la vigilance et les précautions qui devront être prises par l'entreprise en charge des travaux à l'issue de la phase de débroussaillage d'abattage d'arbres et des purges sur l'état de la falaise et la présence d'indice de vides qui pourraient être mis à jour.

B

Lors de la réalisation des travaux, les forages des ancrages serviront de reconnaissance à l'avancement. En fonction des résultats, la réalisation d'investigations complémentaires (sondages, caméra endoscopiques...) sera nécessaire. Les travaux seront réalisés en conséquence.

Tableau récapitulatif des ouvrages et dispositifs envisagés pour chaque zone

ZONE	TRAVAUX ENVISAGES	PRISE EN COMPTE DES ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX
<p>ZONE 1 Talus de hauteur comprise entre 3m et 15m Longueur 35m</p>	<p>Reprofilage du talus</p> <p>Sondages de contrôles</p> <p>Inspection détaillée après terrassement</p> <p>Grillage plaqué avec ancrages et câbles</p> <p>Provision de clous, de câbles, pour ancrages ponctuels et/ou emmaillotage des blocs après terrassement</p>	<p>Deux cavités artificielles creusées en pied de falaise pour l'exploitation de l'ancienne carrière : Pas d'enjeu particulier sur les chiroptères.</p> <p>Absence d'espèce protégée, présence d'espèce envahissante sur le haut de la falaise à arracher manuellement avant travaux : Pas d'enjeu particulier sur la flore.</p> <p>Présence de reptiles au niveau des anfractuosités : passage d'un écologique avant les travaux pour déplacer les individus présents sur le site pour éviter leur mortalité.</p>
<p>ZONE 2-1 Hauteur moyenne 26m longueur 25m Largeur des balmes 15m et 25m</p>	<p>Inspection détaillée</p> <p>Mise en place d'écrans statiques devant les entrées des balmes (avec recouvrement de part et d'autre)</p> <p>Traitement par filets de câbles ou emmaillotage en tête de la balme située sur le côté Nord</p> <p>Traitement des talus rocheux par grillage renforcé plaqué par des ancrages</p>	<p>Présence d'une balme ne présentant aucun enjeu car pas de profondeur de cette cavité.</p> <p>Présence d'une grotte ayant un enjeu fort pour les chiroptères : Le boisement de Chênes verts à l'entrée devra être conservé car constitue un rideau végétal indispensable pour le nourrissage des chiroptères notamment en période de mauvais temps.</p> <p>Les boisements de Pins ne présentent pas d'intérêt écologique et peuvent être abattus dans la mesure où cela est utile pour la protection des falaises.</p>

B

ZONE	TRAVAUX ENVISAGES	PRISE EN COMPTE DES ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX
<p>ZONE 2-2 Hauteur moyenne 25m longueur 60m</p>	<p>Inspection détaillée</p> <p>Traitement par une paroi en béton projeté associée à des ancrages répartis selon un maillage de ¼m². Ancrages (GEWI 32mm) 8 à 10m minimum</p>	<p>La pose du voile de béton devra se faire en limite du boisement de Chênes verts.</p> <p>Cette zone ne présente pas d'enjeu sur la biodiversité.</p>
<p>TALWEG</p>	<p>Mise en place d'un écran statique devant le talweg (avec recouvrement de part et d'autre)</p>	<p>La tête de falaise abrite des Orpins, plantes hôtes de l'Azuré des Orpins. Cet habitat sera conservé, la falaise n'est pas travaillée seulement un écran en pied de falaise sera posé.</p>
<p>ZONE 2-3 Hauteur moyenne 40m longueur 60m</p>	<p>Inspection détaillée</p> <p>Traitement par ancrages au-dessus des grottes pour mise en sécurité préalable (larguer 30m, hauteur 15m, maille 1/4m² clous GEWI 32mm L= 8ml mini).</p> <p>Clouage des grandes écailles et emmaillotage (GEWI 32 et 40mm)</p> <p>Bétonnage des grottes et ancrages maille 1/4m² GEWI 32 L=8m mini.</p> <p>Dispositif drainant largement dimensionné et drains forés</p> <p>Mise en place d'un grillage double torsion renforcé plaqué sur toute la zone.</p>	<p>La tête de la falaise ne présente que des Pins n'ayant pas d'intérêt écologique particulier. Seuls les passereaux communs seront éventuellement dérangés. Des travaux de défrichage devront se réalisés en automne ce qui permettrait d'éviter le dérangement de l'avifaune.</p>
<p>ZONE 3 Hauteur moyenne 25m longueur 25m (limite de parcelle très proche en tête de falaise)</p>	<p>Inspection détaillée</p> <p>Grillage renforcé plaqué avec des ancrages répartis selon une maille 1/8m².</p> <p>Ancrages type GEWI 25 mm longueur 3 m minimum.</p> <p>Emmaillotage de masses ponctuelles, par canevas de câbles ou filets plaqués.</p>	<p>Pas d'enjeu particulier sur la biodiversité.</p>

B

ZONE	TRAVAUX ENVISAGES	PRISE EN COMPTE DES ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX
ZONE 4-1	<p>Inspection des talus.</p> <p>Mise en œuvre de grillage renforcé plaqué avec des ancrages selon une maille 1/8m².</p> <p>Ancrages type GEWI 25 mm longueur 3 m. Clouage ponctuel des grandes masses après purge des éléments éboulés.</p>	<p>Pas d'enjeu particulier sur la biodiversité.</p>
ZONE 4-2	<p>(Hors lot : Réalisation des terrassements de talus selon des pentes à 1/1 préalablement à la sécurisation).</p> <p>Inspection des talus.</p> <p>Mise en œuvre de grillage plaqué avec des ancrages selon une maille de 1/8m².</p> <p>Ancrages type GEWI 25 mm longueur 3 m. minimum</p>	<p>Pas d'enjeu particulier sur la biodiversité.</p>

B

NOTA : Les travaux décrits sont réalisés après abattage des arbres, purge, et/ou terrassements selon la zone concernée

IV-2-5 Entretien - maintenance

La mise en place des dispositifs de protections envisagés, adaptés dans chaque zone, vise à limiter l’entretien dans le temps.

Selon le guide technique de « maintenance des ouvrages de protection contre les instabilités rocheuses » établi par le LCPC (décembre 2009), la planification de la maintenance sur la base d’une visite annuelle et d’une inspection détaillée quinquennale.

État de référence	Visite périodique	Visite particulière	Inspection détaillée périodique	Inspection détaillée particulière	Travaux de maintenance
Année n=0	-	En cas d'évènement exceptionnel (météorologique, éboulement, etc.)	(-état de référence)	En cas de nécessité constatée lors d'une visite périodique ou exceptionnelle	En cas de nécessité et suite à un diagnostic établi lors d'une inspection détaillée périodique ou exceptionnelle
-	Année n+1		-		
-	Année n+2		-		
-	Année n+3		-		
-	Année n+4		-		
-	-		Année n+5		
-	Année n+6		-		
-	Année n+7		-		
-	Année n+8		-		
-	Année n+9		-		
-	-		Année n+10		
-	Année n+11		-		
-			

B

Les recommandations techniques, pour assurer le suivi de chacun des types d’ouvrages, seront consignées dans 3 types de documents :

- **Fiche d’ouvrage** consacrée à l’ouvrage, au confortement considéré et qui détaille les spécificités techniques.

Le dossier d’ouvrage est réalisé dès le début des travaux et au cours de ces dernier en cas d’adaptation par rapport au projet initial et constitue l’état de référence (ou état zéro). D’un point de vue pratique, le repérage des ouvrages peut être réalisé par opposition d’une plaque d’identification.

A ce dossier est seront jointes les recommandations de maintenance.

- **Fiche de visite** (périodique ou particulière) : qui définit la marche à suivre pour réaliser la procédure de base.

La visite périodique est généralement annuelle et consiste à s'assurer qu'aucun désordre majeur n'affecte les ouvrages, qu'ils sont en état de fonctionner et que l'environnement immédiat ne montre aucune anomalie.

- **Fiche d'inspection détaillée** (périodique ou particulière) : qui définit la marche à suivre pour réaliser la procédure de base.

La visite d'inspection détaillée a lieu généralement tous les 5 ans.

Le niveau d'investigation, pour cette visite, est beaucoup plus élevé et, en plus des tâches fixées pour une visite, il faudra s'assurer en détail de l'état des composants des ouvrages.

L'examen de l'environnement des ouvrages devra être réalisé afin de signaler toutes modifications naturelles ou artificielles de la zone d'influence, il faudra signaler tous les points qui n'auraient pu être vérifiés conformément à la fiche de suivi et les raisons (problème d'accès, météorologique, masquage par la végétation, etc.). :

Le personnel d'intervention

Si le terme de type « visite » ne requière pas un niveau de technicité très élevé, il peut être réalisé régulièrement par un personnel de maintenance présent sur le site.

La présence d'un concierge pour la partie sociale et d'un gestionnaire à plein temps pour la partie résidence service gérée sur le site, permet d'effectuer une visite et des vérifications simples.

Toutefois, il requière, une fois par an, une attention particulière donnant lieu à l'intervention d'une personne spécialisée.

Concernant les inspections détaillées, elles nécessitent l'intervention d'un géotechnicien spécialisé pour les interventions en falaises faisant usage de matériels techniques adaptés.

B

Mesures à prendre à la suite d'un relevé d'anomalie

Les mesures à prendre, à la suite d'un relevé d'anomalie lors d'une visite d'inspection régulière ou exceptionnelle, pourront être de type :

- Déclenchement d'une inspection détaillée afin d'établir un diagnostic plus précis de l'ouvrage ou d'une partie de l'ouvrage.
- Réalisation de travaux par une équipe d'entretien ou une entreprise spécialisée.
- Réalisation de travaux adaptés selon un délai à définir.

B

Principales vérifications des ouvrages

OUVRAGES	VERIFICATIONS	VERIFICATION 5 ANS	VERIFICATION 10 ANS
Ancrages passifs	Protection anti-corrosion des parties aériennes	Protection anti-corrosion des parties aériennes	Protection anti-corrosion des parties aériennes Test sur ancrages témoins
Filets métalliques plaqués	Etat des câbles, du filet, corrosion des serre-câbles et des liaisons des mailles, vérification du serrage	Etat des câbles, du filet, corrosion des serre-câbles et des liaisons des mailles, Vérification du couple de serrage	Etat des câbles, du filet, corrosion des serre-câbles et des liaisons des mailles. Vérification du couple de serrage sur échantillon représentatif. Vérification de la corrosion interne des câbles par détournage partiel de brins libres
Grillages	Etat général des nappes, des ligatures, présence d'éboullis, état de corrosion des câbles de maintien, des serre-câbles	Etat général des nappes, des ligatures, présence d'éboullis, état de corrosion des câbles de maintien, des serre-câbles	Etat général des nappes, des ligatures, présence d'éboullis, état de corrosion des câbles de maintien, des serre-câbles
Ecrans pare-blocs	Vérification des dispositifs d'assemblage. Vérification des serre-câbles. Vérification de la présence de blocs	Vérification des dispositifs d'assemblage, et de la géométrie dans la zone d'influence Vérification des serre-câbles Vérification de la présence de blocs	Vérification des dispositifs d'assemblage et de la géométrie dans la zone d'influence Vérification des serre-câbles Vérification de la présence de blocs
Béton projeté	Ecaillage fissuration, éclatement, décollement, suintements, lessivage, pénétration de végétation suivi des drains	Ecaillage fissuration, éclatement, décollement, suintements, lessivage, pénétration de végétation suivi des drains, ferrailage	Ecaillage fissuration, éclatement, décollement, suintements, lessivage, pénétration de végétation suivi des drains, ferrailage
Paroi et talus rocheux	Examen des talus adapté au suivi particulier des aléas identifiés	Examen des talus adapté au suivi particulier des aléas identifiés	Examen des talus adapté au suivi particulier des aléas identifiés

B

Pour mémoire, la vérification de l'état de dégradation des aciers entraîne des interventions allant du traitement de surface au remplacement de la pièce concernée, selon une échelle simplifiée présentée ci-après :

Échelle de corrosion	Caractérisation du degré de corrosion	Mesures à prendre
C3	Corrosion totale et profonde avec perte de fonctionnalité	Pièce à changer sans délai
C2	Corrosion totale marquée, avec début de diminution des sections d'acier	Remplacement de la pièce à programmer
C1	Corrosion partielle ou limitée, n'entraînant pas de diminution sensible des caractéristiques mécaniques	Élément à traiter ou remplacement à envisager
C0	Pas de corrosion	-

B

Biot, le 13 décembre 2019



Geneviève PEPE

V – ANNEXES

PLANCHE 1 vue générale du projet

PLANCHES 2 3 et 4 ZONE 1 localisation et schémas de principe des confortements

PLANCHES 5 à 12 : ZONE 2 localisation et schémas de principe des confortements

PLANCHE 13 à 15 : ZONE 3 localisation et schémas de principe des confortements

PLANCHE 16 à 19 : ZONE 4 localisation et schémas de principe des confortements

PLANCHE 19 Vue d'ensemble projet de mise en sécurité de la falaise