

Commune de Peille

Étude et analyse trajectographique d'un compartiment situé en amont de l'A8
Mars 2021

Commune de Peille

Bloc situé en amont de l'A8

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
0	10/05/2019	Version provisoire
1	26/03/21	Version finale – état néant des avis – pas de modification

Affaire suivie par

Marie MALASCRABES - Agence Sophia-Antipolis – Service Risques Géologiques
Tél. : 04 97 28 86 62
Courriel : marie.malascrabes@cerema.fr
Site de Sophia-Antipolis : Cerema Méditerranée – 500 route des Lucioles 06900 Valbonne

Références

n° d'affaire : C18MN0030

Partenaire : DDTM06 (M Mathias BORSU)

Rapport	Nom	Date	Visa
Établi par	Marie Malascrabes	10/05/2019	
Avec la participation de	Florent Adamo, Pierre Azemard		
Contrôlé par	Marie Malascrabes	10/05/2019	
Validé par	Raymond Bourg	26/03/21	

Résumé de l'étude :

Cette étude constitue l'analyse trajectographique réalisée par le Cerema sur la propagation de blocs à partir d'une masse située sur la commune de Peille en amont de l'autoroute A8.

SOMMAIRE

1 CONTEXTE.....	4
1.1 Situation géographique.....	5
1.2 Contextes morphologique et géologique.....	5
1.3 Synthèse des reconnaissances antérieures.....	7
1.3.1 Rapport Géolithe du 30/03/2018.....	7
1.3.2 Mission Cerema du 16 avril 2018.....	7
1.3.3 Rapport Géolithe du 05/07/2018.....	8
2 OBSERVATIONS DU CEREMA.....	10
2.1 Analyse terrain.....	10
2.2 Mode de rupture.....	11
2.3 Aléa – Probabilité d’atteinte.....	12
2.3.1 Aléa.....	12
2.3.2 Probabilité d’atteinte.....	12
2.4 Synthèse des observations.....	12
3 ANALYSE TRAJECTOGRAPHIQUE.....	13
3.1 Contraintes et limites.....	13
3.1.1 Contraintes.....	13
3.1.2 Limites.....	13
3.2 Analyse en 3D – RocPro 3D.....	14
3.2.1 Présentation du logiciel.....	14
3.2.2 Hypothèses de simulation.....	14
3.2.3 Simulations.....	14
3.2.3.1 Analyse brute des trajectoires.....	14
3.2.3.2 Analyse en termes d’énergie et de hauteur de passage.....	16
3.3 Analyse en 2D - Propag.....	18
3.3.1 Logiciel utilisé.....	18
3.3.1.1 Principes.....	18
3.3.1.2 Terrain.....	19
3.3.1.3 Bloc.....	19
3.3.2 Profil étudié.....	19
3.3.3 Résultats obtenus.....	20
3.4 Synthèses.....	21
3.4.1 Aléa.....	21
3.4.2 Modélisation trajectographique.....	21
4 ANALYSE DES SOLUTIONS ENVISAGEABLES.....	22

1 Contexte

Un éboulement rocheux s'est produit dans le versant situé en contrebas de la propriété du Prince de Monaco sur la commune de Peille, ce versant surplombe notamment l'autoroute A8.

Il concerne un bloc estimé à plusieurs centaines de mètres cubes et se serait produit en début d'année 2018.

C'est éboulement a fait l'objet d'une reconnaissance/analyse par le bureau d'étude Géolithe pour le compte de la commune de Peille, il a montré que l'éboulement était issu du détachement d'un bloc d'une masse dont le volume est supérieur à 400 m³.

Compte tenu des enjeux exposés, la DDTM06 a demandé une expertise du Cerema sur le sujet. Le Cerema a réalisé une mission de reconnaissance de l'éboulement le 16 avril 2018 (cf. paragraphe 1.1).

Suite à cette première mission, un comité technique sous l'égide de la sous-préfecture Nice Montagne a eu lieu. Lors de cette réunion des précisions ont été demandées, précisions auxquelles le bureau d'étude a répondu dans un rapport en juillet 2018.

Les résultats de cette étude ont été présentés en comité technique fin juillet (cf. paragraphe 1.3.3).

Lors de ce COTECH, il a été décidé de réaliser pour répondre à certaines interrogations subsistantes, une analyse trajectographique pour modéliser la propagation de blocs issus de l'éboulement de la masse résiduelle. Cette mission a été confiée au Cerema.

Le présent rapport constitue cette analyse. Il fait suite à l'obtention d'un plan levé le 06/12/2018 et à une visite de terrain effectuée le 18/01/2019, visite qui a permis de caractériser les différents paramètres et hypothèses nécessaires à l'analyse notamment à la modélisation de la propagation. Cette visite a été réalisée par des moyens d'accès sur corde, permettant ainsi une analyse plus complète de la masse instable.

1.1 Situation géographique

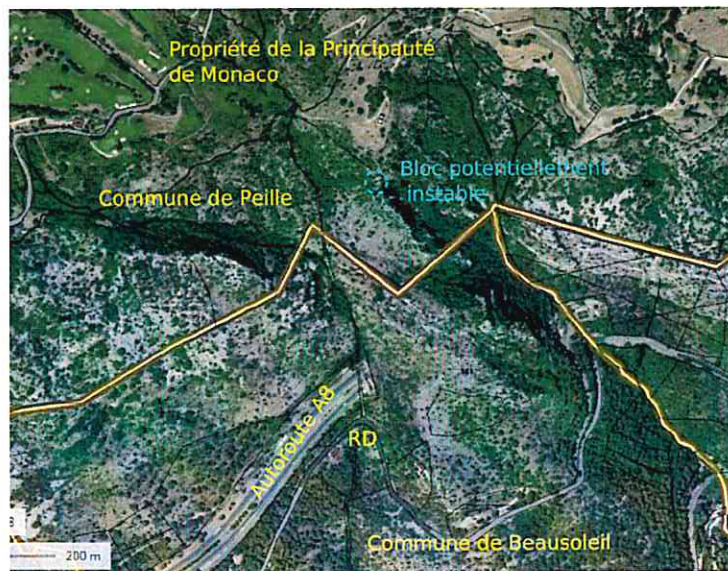


Figure 1 : localisation de la masse potentiellement instable située sur le territoire de la commune de Peille en limite de la propriété du Prince de Monaco. Localisation de l'A8, de l'entrée du tunnel de l'Arme et de la RD

La zone concernée par cette étude se situe sur la commune de Peille en limite sud de la propriété du Prince de Monaco – Rocagel.

La masse rocheuse concernée se situe en crête de falaise, dans le prolongement de l'arête rocheuse dite des Hirondelles.

Elle se situe à environ 680 m d'altitude. Elle surplombe l'autoroute A8 située à 440 m d'altitude et la RD 2564 en contrebas de l'autoroute.

1.2 Contextes morphologique et géologique



La morphologie du site d'étude est une arête rocheuse relativement découpée située en amont d'un versant qui présente en pied un talweg marqué.

Le talweg passe au niveau de l'autoroute par une succession de ressauts et se poursuit en contrebas.

Figure 2 : Morphologie du site d'étude

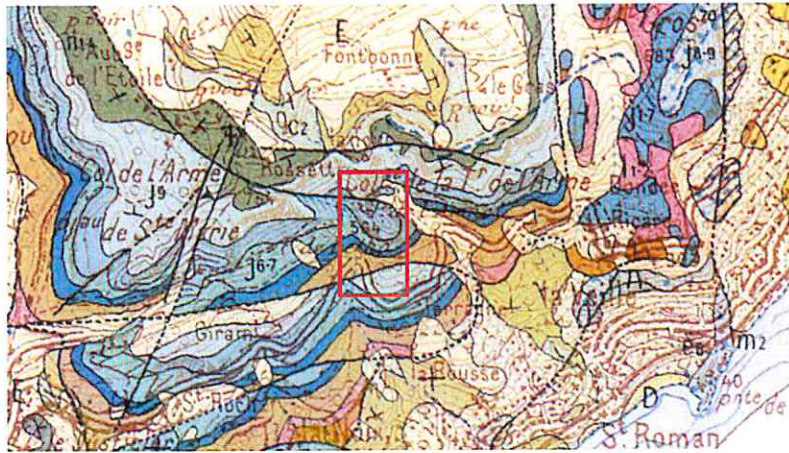


Figure 3 : Extrait carte géologique au 1/50000 Feuille Menton-Nice (source Géoportail). Encadré en rouge la zone d'étude

La masse rocheuse est constituée de calcaire Jurassique blanc massif. De grandes discontinuités découpent le massif notamment des accidents décrochant Est-Ouest. La fracturation sub-verticale du massif individualise de grandes colonnes.

Dans le versant composé d'éboulis calcaire, se trouve de petits escarpements calcaires composés de calcaire tabulaire de puissance métrique moins massif et plus fracturés que les calcaires sommitaux individualisant des blocs métriques.

Ces calcaires constituent notamment le fond du talweg en amont de l'autoroute. (Figure 4)

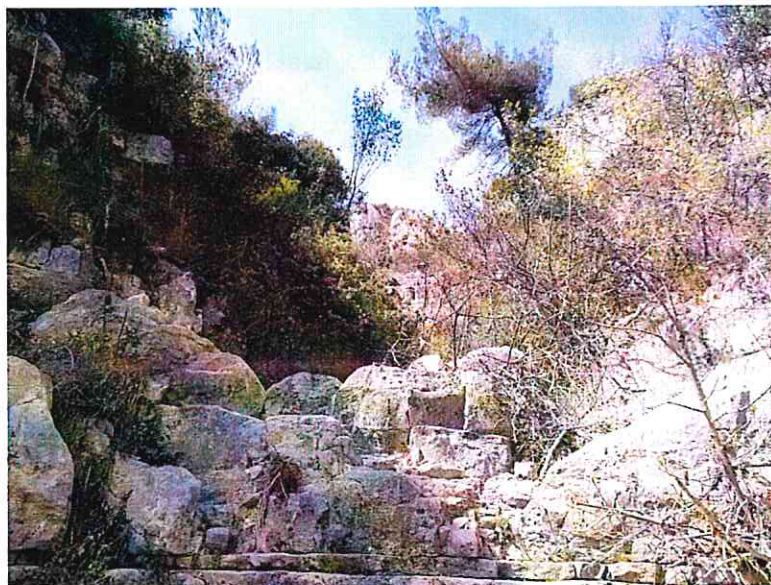


Figure 4 : Illustration du fond du talweg en amont de l'autoroute – calcaire en bancs métriques formant des ressauts dans le talweg.

1.3 Synthèse des reconnaissances antérieures

1.3.1 Rapport Géolithe du 30/03/2018

Le bureau d'étude dans ce rapport rend compte de l'événement et des premières constatations. Il indique que le volume de l'éboulement est d'environ 150 m³.

Le bureau d'étude souligne que les volumes après éclatement du bloc de 150 m³, se sont propagés jusqu'à environ 150 m de l'autoroute.

L'accès à la zone de départ a été effectuée en remontant la trace de l'éboulement. Aucun accès par le haut n'a été fait.

Il précise que l'aléa résiduel au niveau de la zone de départ est constitué par une masse en surplomb dont le niveau d'aléa est estimé élevé voire très élevé. Ce niveau étant très dépendant des conditions de stabilité du pied.

1.3.2 Mission Cerema du 16 avril 2018

Lors de cette visite du site, qui s'est faite à l'identique de celle de Géolithe (remontant la trace de l'éboulement), nous avons pu constater les éléments suivants :

- le vallon débouchant sur l'autoroute est constitué de rocher sain uniquement, peu de possibilité d'amorti des blocs. il présente également de grandes "marches", propices aux trajectoires aériennes.
- un certain nombre de blocs sont descendus relativement bas dans le talweg/vallon (environ 50 m de l'autoroute),
- le volume de départ devait être proche de 150 m³,
- peu de fragmentation dans la première partie de l'éboulement laissant penser qu'un ou plusieurs volumes relativement importants se sont propagés dans le versant, avant d'impacter des blocs/masses de volumes proches de 100/150 m³ déjà présentes dans le vallon,
- une des masses impactées semble avoir été déplacée d'environ 20 m,
- l'impact de ces masses et notamment de la masse déplacée, a probablement amorti le ou les blocs les plus volumineux, les fragmentant en blocs de quelques dm³ à 10 m³. Ces blocs se sont éparpillés avec une forte vitesse dans tous les axes, donnant l'impression d'un "mitrillage" de la zone (Figure 5).



Figure 5 : Zone concernée par l'éparpillement/la diffusion des blocs après impact de la masse éboulée.

Les constats réalisés sur place corroborent les éléments d'analyse du diagnostic de Géolithe.

Sous cet angle et sans connaître précisément le contour de la masse, la masse résiduelle en surplomb présente un aléa élevé voire très élevé sur le très court terme. Elle ne présente pas de caractère de chute imminent.

1.3.3 Rapport Géolithe du 05/07/2018

La mission confiée au bureau d'étude Géolithe par la commune n'a pas été précisée. Le bureau d'étude a rendu son analyse plus fine comportant également des solutions de traitement du bloc. Ce rapport a fait l'objet d'une présentation en COTECH le 24 juillet 2018.

Géolith a montré que le bloc avait une géométrie assez proche d'un parallélépipède/d'une dalle, dont le volume a été estimé avec précision à 480 m³. L'étude produite par Géolithe montre également les différentes zones d'appui et l'insertion de la masse dans la falaise.

Elle met également en évidence la présence autour de la masse de deux autres masses/compartiments nommés B et C, avec qui elle est en contact direct. (Figure 6 : Extrait rapport Géolithe)

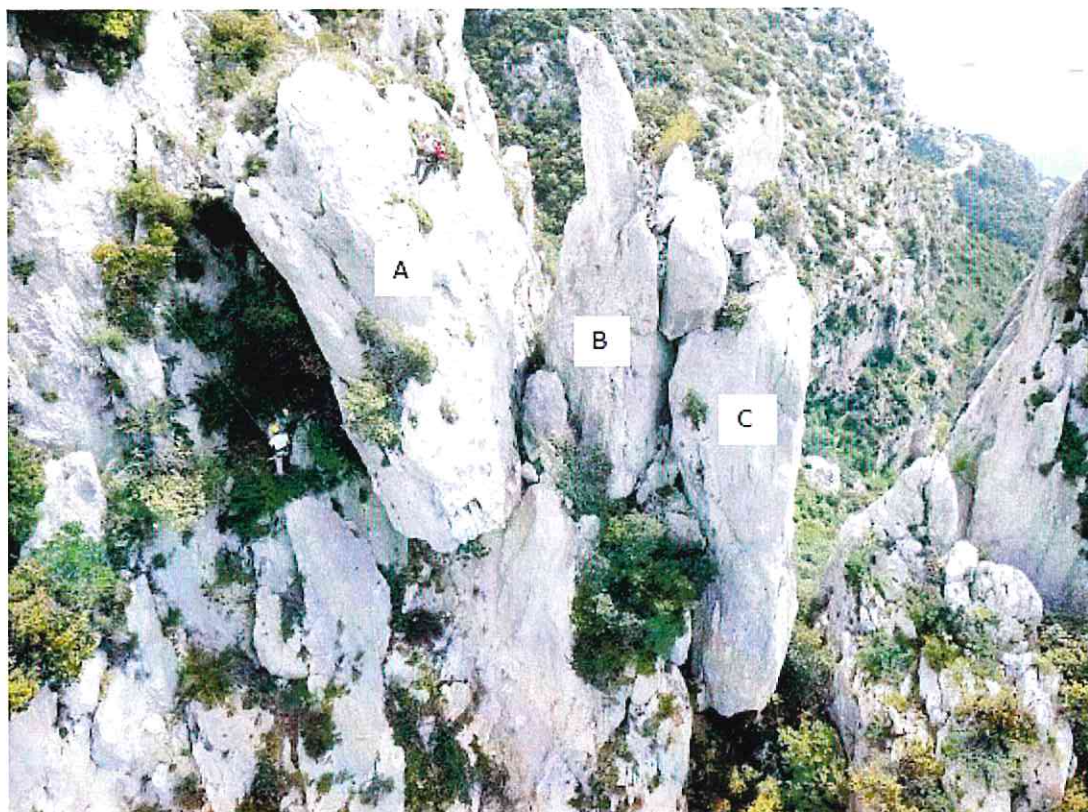


Figure 6 : Localisation de la masse résiduelle et des compartiments B et C (extrait rapport Géolithe 18-191 II 1 – page 34)

Le mécanisme de rupture évoqué dans le rapport suggère « un basculement latéral par rotation vers l'ouest ».

L'aléa de la masse est considéré comme moyen, suivant la définition présentée dans le tableau suivant (Figure 7).

Aléa d'éroulement		Probabilité d'éroulement				
		Quasi certain	Très probable	Probable	Peu probable	Très peu probable
Délai	Imminent	TRES ELEVE	TRES ELEVE			
	Très court terme (5 ans)	TRES ELEVE	ELEVE	ELEVE		
	Court terme (20 ans)	ELEVE	ELEVE	MOYEN	MOYEN	
	Moyen terme (100 ans)	ELEVE	MOYEN	MOYEN	FAIBLE	FAIBLE
	Long terme	MOYEN	MOYEN	FAIBLE	FAIBLE	FAIBLE

Figure 7 : Tableau de qualification du BE Géolithe (extrait rapport 18-191 II 1)

Cette étude du bureau d'étude Géolithe a permis d'apporter une connaissance fine de la/ des masse(s) susceptible(s) de s'ébouler et des principes de solutions de confortement.

Cependant, suite à cette étude des incertitudes subsistent notamment sur la fragmentation et la propagation de cette masse.

2 Observations du Cerema

2.1 Analyse terrain

L'analyse terrain réalisée le 18 janvier 2019, a mis en évidence que la masse dite « résiduelle » est complètement désolidarisé de la falaise/crête.

Il s'agit d'un bloc qui a basculé et s'est "enfoncé" entre la paroi et le bloc B (Figure 6).

Les appuis du bloc sont très peu nombreux, et semblent fragilisés par la pression qu'exerce le bloc sur eux. Le massif "d'appui" est altéré et fracturé (Figures 8 et 9 – détails 3 et 5)

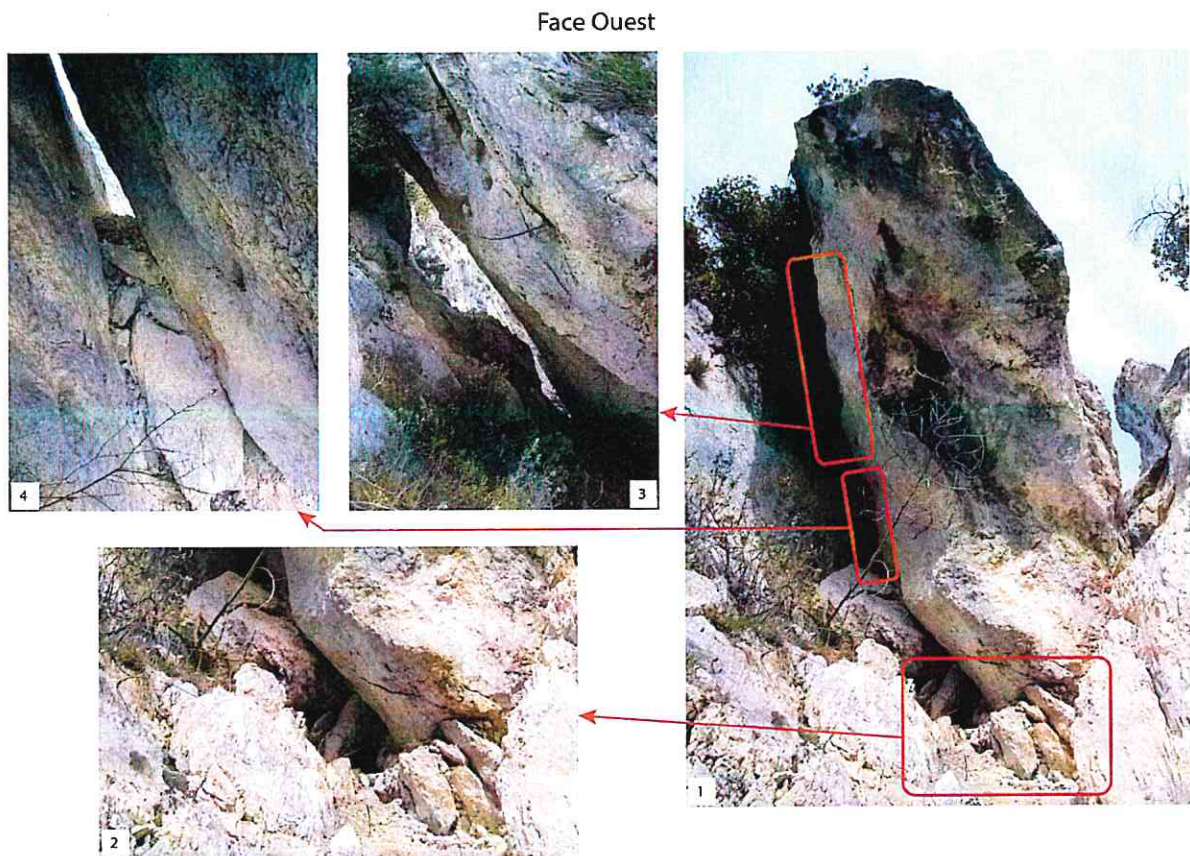


Figure 8 : face Ouest de la masse « résiduelle ».

Face Est

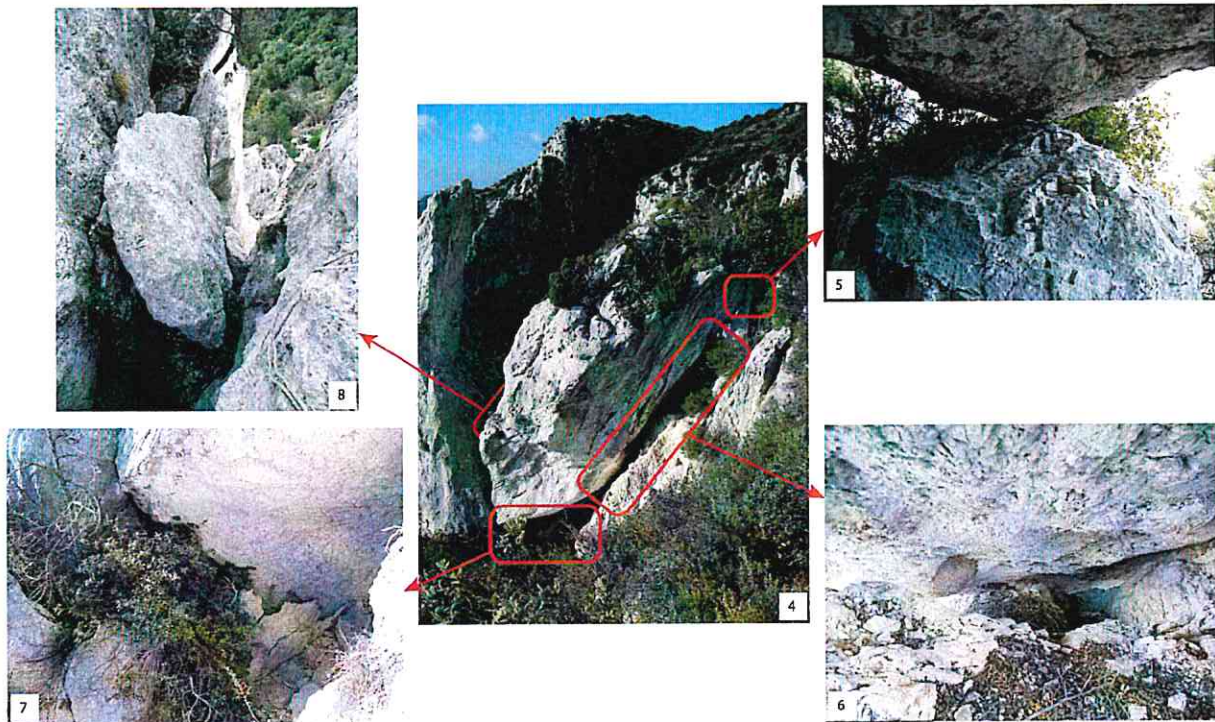


Figure 9 : face Est de la masse « résiduelle ».

Comme indiqué dans l'étude Géolithe le bloc présente un surplomb important en face Ouest, le pied est très fracturé, on y note la trace de l'éboulement précédent (Figure 8 - détail 2).

La masse est peu fracturée, ce qui rend sa fragmentation directement liée aux différents impacts en phase de propagation.

Le pied de la masse est très altéré, et enchâssé dans du sol type cailloutis/éboulis, composé d'éléments très lessivables à l'eau.

2.2 Mode de rupture

Les mécanismes de rupture envisageables, à ce stade, sont:

- basculement/rotation du bloc par rupture d'un de ces appuis/point de contact ; Ce mode est probable, car le massif d'appuis montre des signes de fracturation/fragilisation au niveau des zones de contacts.
- rupture du pied, glissement ; Ce mode est possible si le pied est fragilisé et/ou complètement « lessivé ».
- combinaison des deux modes/phénomènes ;

Cette dernière hypothèse semble la plus réaliste.

2.3 Aléa – Probabilité d'atteinte

2.3.1 Aléa

L'analyse complète de la masse a permis de réévaluer son aléa de rupture/départ, en termes de probabilité/délai.

Il est estimé à **élevé sur le court/moyen terme** (10 à 30 ans). (Cf méthodologie de qualification de l'aléa en annexe).

L'évolution de cet aléa est fortement lié au mécanisme de rupture/d'évolution de la masse.

2.3.2 Probabilité d'atteinte

La probabilité d'atteinte de l'autoroute et des enjeux situés en dessous, par la masse dans son ensemble semble, en l'état de connaissance actuel, **peu probable**.

En effet, les blocs de volumes similaires se sont arrêtés dans le versant. Les photos aériennes analysées ne montrent pas de bloc/élément de volume identique plus bas dans le versant. De plus, si éboulement il y a, la trajectoire d'un éboulement présenterait dans le talweg un changement de direction important pour emprunter le vallon, qui semble impossible à réaliser pour une masse d'un tel volume.

Par contre, un ou plusieurs blocs issu(s) de cette masse et/ou des blocs remobilisés sur son parcours ont une **probabilité importante** d'atteindre un ou plusieurs des enjeux situés à l'aval, en premier plan desquels l'autoroute.

2.4 Synthèse des observations

La masse présente un volume de 480 m³, est relativement **massive**, sa fragmentation n'est pas prévisible en l'état et dépendra des zones d'impacts.

Elle présente un aléa de départ **élevé à court/moyen terme**.

Le mode d'évolution est une combinaison entre basculement et glissement de pied. Cette masse ayant déjà, antérieurement, subi un déplacement.

La probabilité d'atteinte des enjeux par la masse dans son ensemble est peu probable par contre des blocs issus de cette masse (fragmentation en cours de propagation) ont une **probabilité importante** de les atteindre.

3 Analyse trajectographique

L'analyse trajectographique (en 2D et en 3D) s'est basée sur les deux analyses de terrains réalisées.

- Une première analyse ayant permis de mettre en évidence la topographie du site, la géologie et les points d'impacts du précédent événement. Lors de cette première analyse quelques simulations ont été réalisées permettant d'établir quelques paramètres importants sur les trajectoires des blocs ;
- La seconde analyse, détaillée dans la suite du rapport, a permis d'établir, les conditions de rupture, les paramètres géométriques et les conditions de propagation.

3.1 Contraintes et limites

3.1.1 Contraintes

La principale contrainte de cette analyse est la taille de la masse à modéliser. Les logiciels actuels et usuels ne permettent pas de modéliser l'éboulement d'un bloc aussi important.

Aussi, la modélisation réalisée a pris uniquement en compte des volumes issus de cette masse, soit des **blocs de taille variant entre 1 et 10 m³**. Ces blocs correspondent à des éclats issus de la fragmentation de la masse principale durant sa propagation.

Une seconde contrainte, est la localisation de la zone de départ des blocs issus de la fragmentation de la masse rocheuse. En effet, la fragmentation de la masse peut avoir lieu dès le premier impact ou comme l'a montré l'éboulement précédent se produire plus bas dans sa propagation. Ce point étant difficile à trancher, nous avons choisi de modéliser des départs directement au niveau de la crête.

3.1.2 Limites

Les limites de l'analyse trajectographique sont liées à la précision du plan topographique et aux limites intrinsèques au logiciel.

Un plan, même à une échelle très précise présente des zones « lissées », c'est-à-dire où les aspérités du terrain sont invisibles sur le plan. Ce fait aura un impact certain sur le réalisme de la modélisation.

Enfin, il faut noter qu'il existe une limite due au code de calcul des logiciels.

Il est donc nécessaire de garder à l'esprit que ces modélisations ont une marge d'incertitude et ne peuvent refléter exactement la complexité réelle des trajectoires.

3.2 Analyse en 3D – RocPro 3D

3.2.1 Présentation du logiciel

Logiciel de simulation trajectographique en 3D, sur la base du plan au 1/1000 fourni.

Le logiciel établit à partir du plan, un MNT (modèle numérique de terrain). Suite à l'élaboration de ce MNT, les paramètres suivants doivent être fournis au logiciel: le type de sol impacté, le volume des blocs, les zones de départ, la forme des blocs ainsi que le nombre de blocs devant être simulés sur chaque zone de départ.

Le logiciel fournit alors un résultat des trajectoires possibles, c'est à dire que pour chacune des zones de départ et chaque bloc il réalise une simulation de trajectoires qui tient compte du MNT (interaction du bloc avec les facettes du MNT) et du sol impacté (amortissement plus ou moins important).

A partir de ce résultat, des analyses en terme notamment d'énergies, de hauteur de rebond, de vitesse et de simulations de protections sont possibles.

3.2.2 Hypothèses de simulation

Les paramètres, issus de l'expertise de terrain et de l'évaluation de la blocométrie, fournis au logiciel sont :

- Pour les sols impactés
 - rocher sain pour les falaises et le fond du vallon ;
 - rocher altéré pour les zones bordant le fond du vallon ;
 - éboulis meuble en aval de la zone de départ au regard d'une masse du volume concerné.
- Volume du bloc en propagation de 10 m³ correspondant au volume maximum estimé des éclats de la masse principale ;
 - Masse sphérique (2,67 m de diamètre);
 - Poids volumique de 2,7 t/m³ ;
- Masse modélisée en centre de masse (les hauteurs de rebonds correspondent au centre du bloc et nécessite de rajouter le rayon du bloc pour le dimensionnement des parades) ;
- Paramètre statistique maximal (valeur extrême sécuritaire).

3.2.3 Simulations

3.2.3.1 Analyse brute des trajectoires

Le MNT obtenu a été habillé par les différents terrains observés sur site (figure 10). La zone de départ du bloc est représentée entourée en rouge.

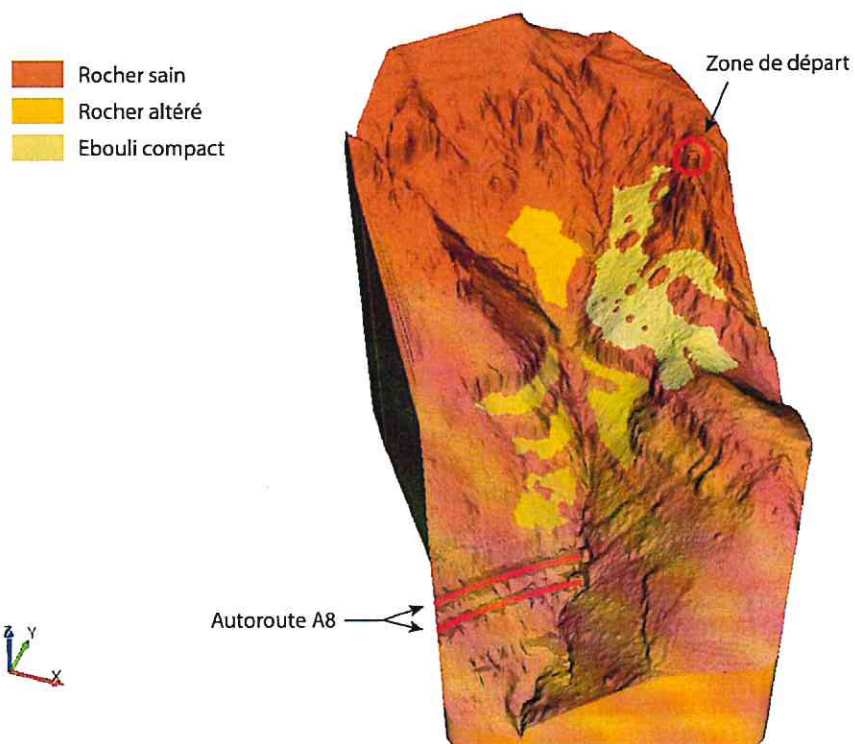


Figure 10: MNT avec géologie et la zone de départ issu du logiciel RocPro3D

La simulation a été réalisée sur 10 000 départs issus de la zone de départ. Le résultat graphique est visible sur la Figure 11.



Figure 11: Trajectoires calculées lors de la modélisation pour un bloc de 10 m³ sur la base de 10 000 départs.

Cette première illustration des résultats montre que le vallon est un axe de propagation privilégié, il canalise les blocs. En effet, comme l'illustre la figure 12, le talweg/vallon concentre une grande partie des trajectoires.

Il faut également noter que de nombreuses trajectoires atteignent les chaussées de l'autoroute A8 et continuent leur propagation dans le versant en contrebas.

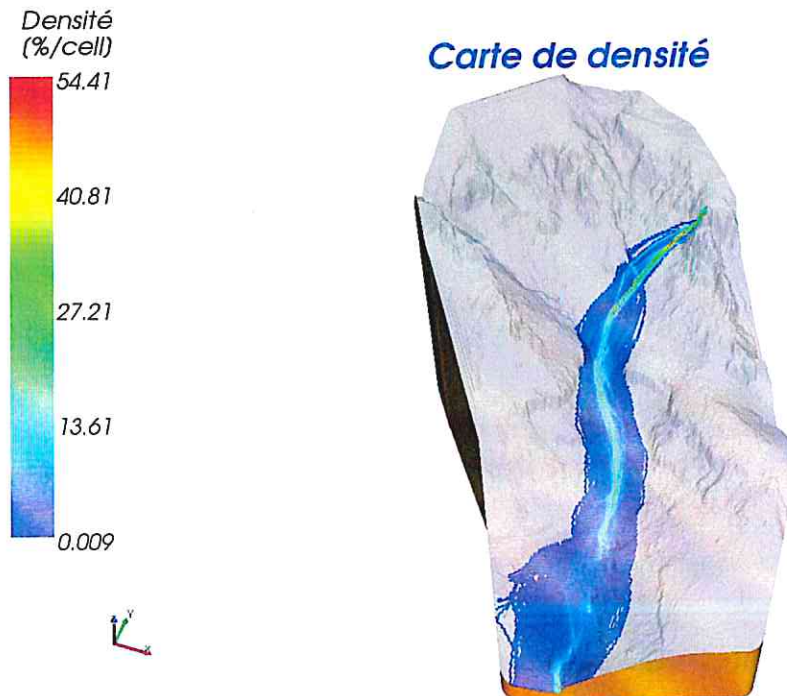


Figure 12: Carte de densité de passage des trajectoires (maille 2x2m)

3.2.3.2 Analyse en termes d'énergie et de hauteur de passage

- **Énergie**

L'énergie générée lors de la propagation des blocs est représentée sur la figure 13.

On constate que l'énergie maximale générée est d'environ 36 300 kJ pour un volume de 10m³. Cette très forte énergie est atteinte en amont de l'autoroute A8 suite à des rebonds importants sur les reliefs des bords de talweg.

On observe que l'énergie dans le fond vallon dépasse 18 000 kJ sur une grande partie des trajectoires.

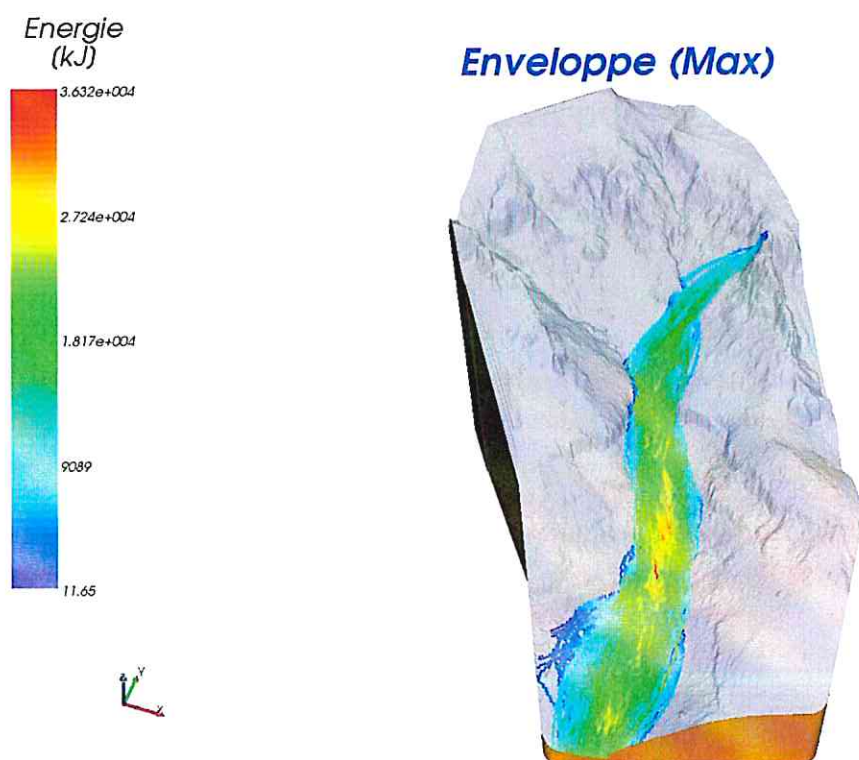


Figure 13: Carte des énergies (maillage 2x2m)

Ces résultats corroborent les observations de terrain.

L'énergie atteinte par les blocs est à prendre avec prudence, en effet, elle se réfère à des blocs issus de la crête, ce qui, si l'éboulement venait à se produire ne serait certainement pas le cas. Cette énergie constitue un maximum.

- **Hauteur**

L'analyse des hauteurs de passage des blocs montre (figure 14) une large gamme de hauteur de rebonds, celle-ci atteignant jusqu'à 43 m pour une masse de 10 m³. Ce résultat reste cependant localisé en aval de l'autoroute A8 suite à des rebonds sur la chaussée.

On observe que les hauteurs de rebonds dans le fond vallon dépassent souvent 30 m d'après la modélisation sur une grande partie des trajectoires.

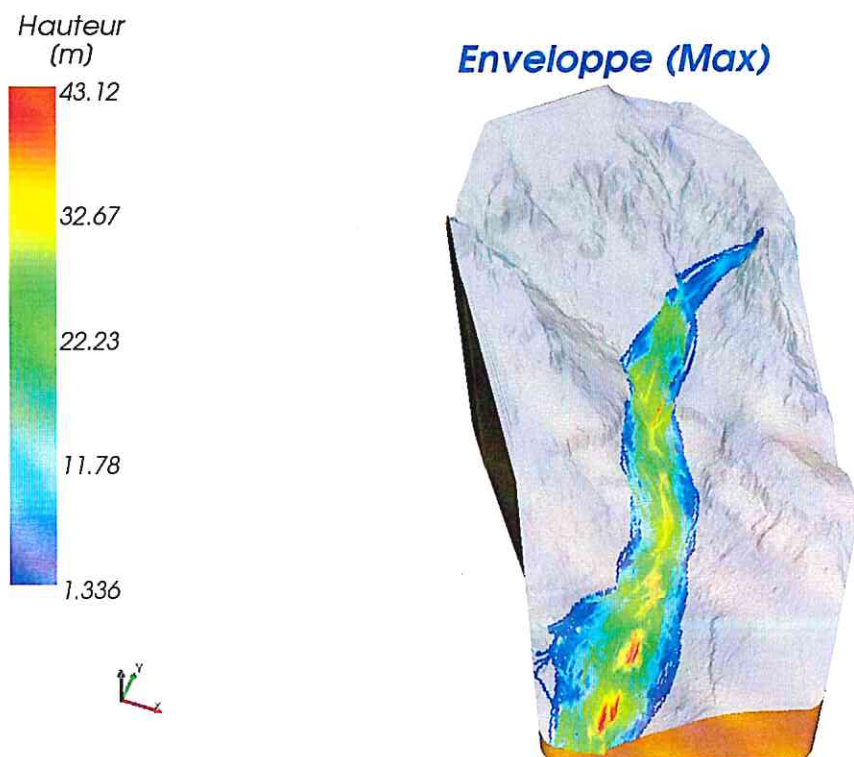


Figure 14: Carte des hauteurs de passage (maillage 2x2m)

3.3 Analyse en 2D - Propag

3.3.1 Logiciel utilisé

Le logiciel Propag est un logiciel 2D de type point immatériel et à courbe enveloppe.

Ces trajectoires, dites trajectoires «enveloppes» ou «limites», sont considérées comme «raisonnablement pessimistes», notamment pour ce qui concerne la distance maximale atteinte.

3.3.1.1 Principes

Le bloc est un point sans dimension, animé d'une vitesse de translation; sans phase de roulement ou de glissement sur le sol.

L'opérateur donne une vitesse initiale au bloc à son point de départ. La trajectoire est une suite de

parties aériennes (arcs de parabole) et de rebonds.

Le bloc s'arrête lorsque sa vitesse après un rebond est inférieure à un certain seuil.

3.3.1.2 Terrain

Six types de terrain sont possibles - Rocher Sain, Rocher Altéré, Éboulis Compact, Éboulis Meuble, Terrain Meuble et Liquide.

Chacun des six types de terrain est caractérisé par trois paramètres («coefficients de restitution») :

- **Kn** (normal de 0,2 à 0,14)
- **Kg** (glissement ou tangentiel de 0,8 à 0,63)
- **Kp** (roulement ou rotation 0,92 à 0,81).

Le 6^{ème} terrain ("liquide") présente des K très faibles (égaux à 0,01) pour provoquer l'arrêt du calcul.

3.3.1.3 Bloc

Il est caractérisé par son volume (**V**) et son "élancement dynamique" (**e**, variant de 1 à 1,59).

Il faut bien noter que ce paramètre "élancement" ne correspond pas à l'élancement géométrique (rapport des dimensions) mais plutôt un paramètre en lien avec le rapport de l'inertie de rotation du bloc à celle d'un volume type.

3.3.2 Profil étudié

Le profil choisi pour l'analyse est celui qui a été suivi par l'éboulement de 2018. Il est reporté sur la figure 15 en rouge. Les terrains simulés sont les mêmes que ceux de l'analyse 3D.

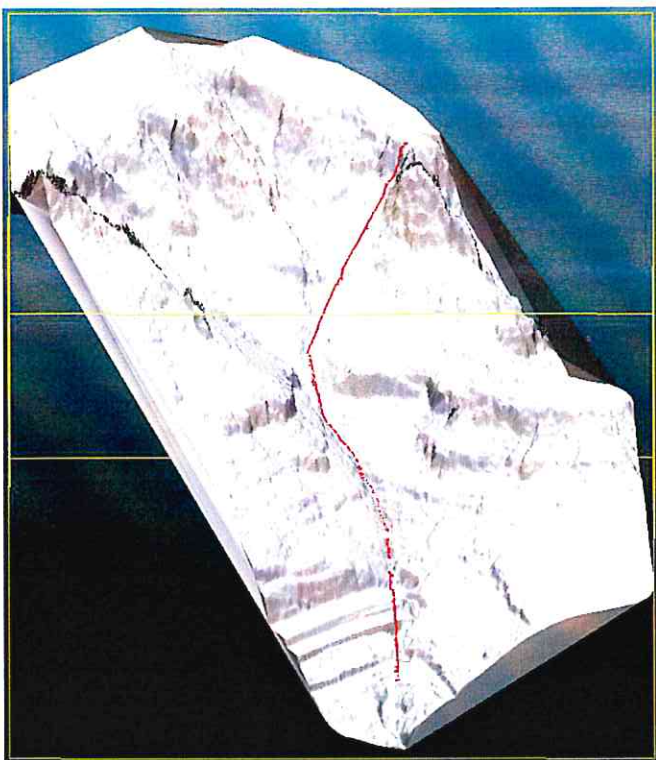


Figure 15 : trace du profil modélisé.

3.3.3 Résultats obtenus

Les résultats obtenus sont présentés sur les figures 16 à 18.

Le profil de propagation (figure 16) obtenu montre les zones de forts rebond et quelques zones d'arrêt matérialisées par des flèches noires sur la figure 16.

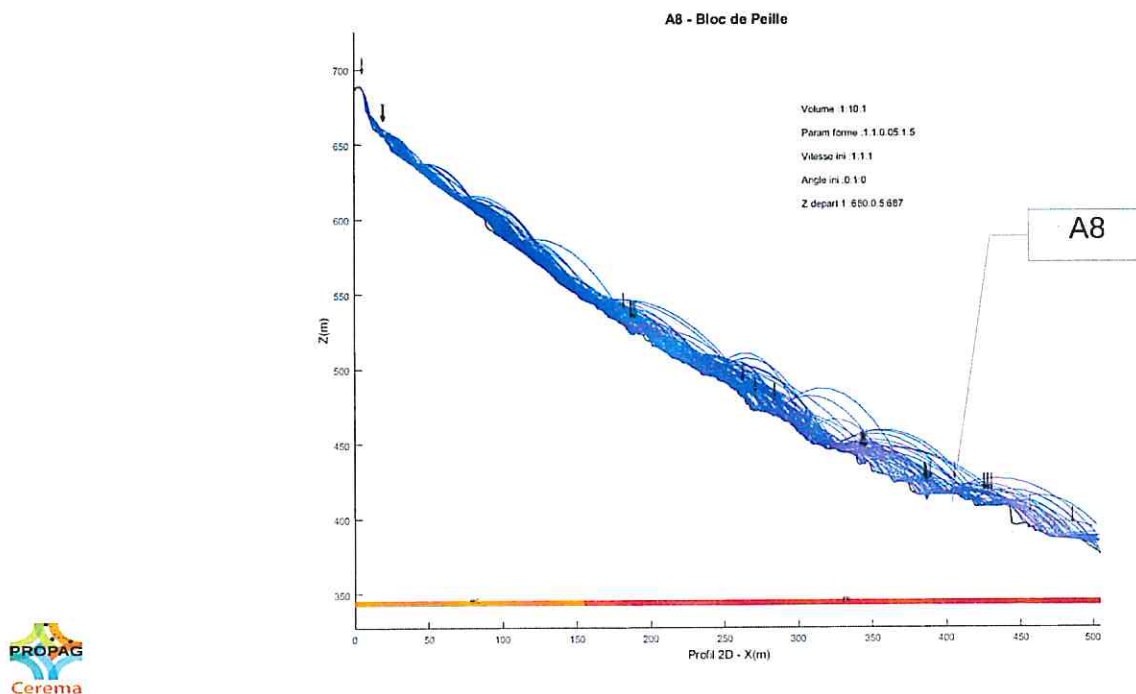


Figure 16 : Profil avec les trajectoires enveloppes.

Les trajectoires obtenues sont très aériennes comme en témoigne l'analyse des hauteurs de passages tout au long du profil (Figure 17).

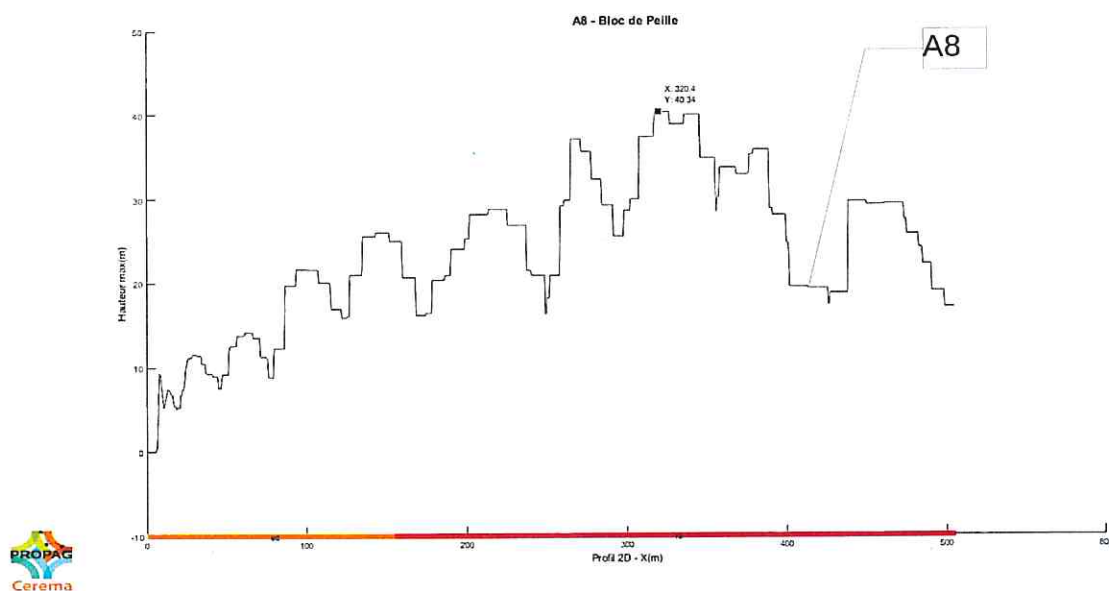


Figure 17 : Graphe des hauteurs de passage en m le long du profil.

Les vitesses maximales modélisées atteignent les 40 m/s et plus (figure 18), ce qui bien qu'élevé est plutôt réaliste, compte tenu des sols d'impacts modélisés.

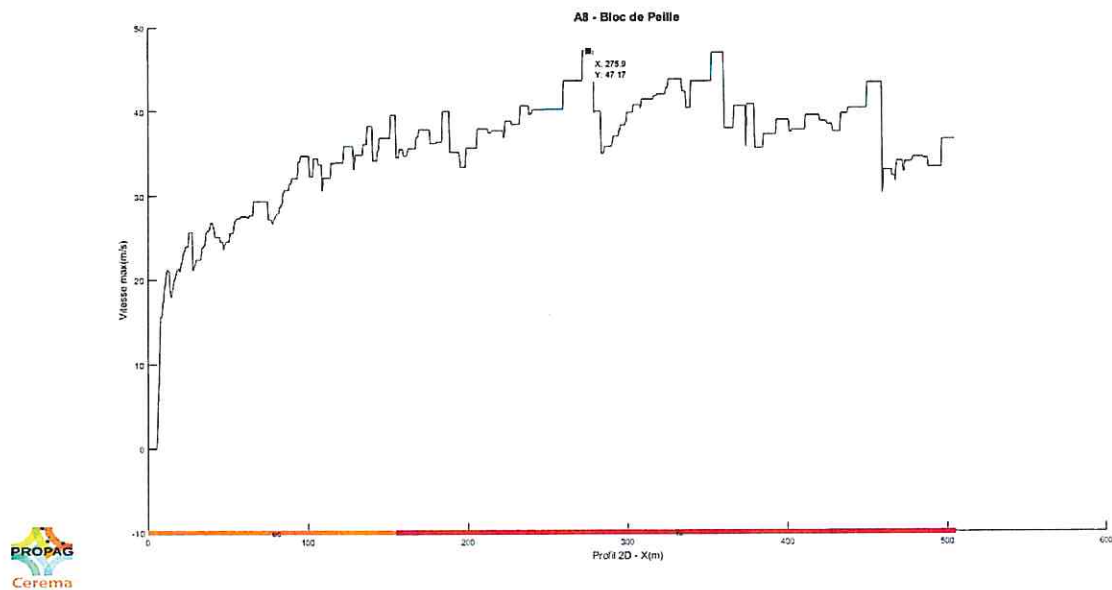


Figure 18 : Graphe des vitesses en m/s le long du profil.

3.4 Synthèses

3.4.1 Aléa

La masse investiguée est une colonne qui a basculé et s'est immobilisé entre la falaise du côté nord et une autre colonne au sud. Cette colonne présente un aléa de départ **élevé sur le court/moyen terme**. Son volume est de **480 m³**.

Sa probabilité d'atteinte des enjeux est peu probable par contre cette **probabilité est importante** pour des blocs issus de sa fragmentation.

3.4.2 Modélisation trajectographique

Les résultats obtenus selon les modélisations 3D et 2D sont cohérents.

Ils montrent des propagations qui atteignent pour partie l'autoroute et les enjeux situés en contrebas de cette dernière.

Les simulations montrent que les blocs atteignent très vite des vitesses/énergies élevées pour des hauteurs de rebonds supérieures à 10 m.

Cette modélisation montre que des solutions passives de type écrans pare-blocs seront difficiles voire impossible à mettre en œuvre dans le versant. Ils ne peuvent constituer une solution unique.

4 Analyse des solutions envisageables

L'analyse trajectographique a montré :

1. Que des blocs peuvent atteindre les enjeux en cas de chute et de fragmentation de la masse identifiée et reconnue ;
2. Que les caractéristiques des trajectoires (hauteurs, énergies) ne sont pas compatibles avec une solution par protection passive, unique.

Sur la base de ce premier constat les solutions possibles sont de types actives, soit un confortement en place soit une purge de la masse.

En l'état actuel de nos connaissances, les solutions envisageables sont détaillées ci-dessous :

Solutions	Description	Avantages	Inconvénients
Solution 1	Découpage partiel du bloc par minage	• Augmentation du délai d'occurrence. • Intervention limitée. • Impact aux autres blocs limités • moins de perturbation mécanique	Résultats à long terme incertains
Solution 2	Minage complet du bloc	Traitement définitif de l'aléa	La réaction des autres blocs (B et C) est une inconnue
Solution 3	Colmatage par béton de l'espacement entre paroi/bloc, et clouage	Sollicitation sur les autres masses quasiment inexistantes.	• Difficile en réalisation. • Contraintes de réalisation importantes.
Solution 4	minage complet de A, B et C	Traitement définitif du secteur	Contraintes de réalisation fortes <i>Demande des compléments d'études pour B et C, essentiellement de la reconnaissance terrain.</i>

En préambule :

En préambule à ces travaux, il conviendra de mettre en œuvre un gunitage en pied du bloc sur les deux cotés pour éviter un endommagement dû au lessivage.

Il serait également très pertinent de mettre en œuvre une instrumentation (analyse de vibration en particulier), pour l'acquisition de données sur le bloc, pour obtenir notamment l'axe de déplacement ainsi que les déformations en dynamique.

Cette instrumentation en l'état actuel ne peut servir de système d'alerte pour les enjeux.

Par contre, elle peut permettre en phase chantier de participer à la sécurité des ouvriers.

Annexe 1

Méthodologie de qualification de l'aléa

Qualification de l'aléa chutes de masses rocheuses

La qualification de l'aléa fait intervenir deux composantes : (1) La classe d'instabilité – (2) La probabilité / délai

1. Classes d'instabilités

On définit par classe un type d'instabilité caractérisé par le volume des matériaux mis en jeu lors de la phase d'écroulement et le volume unitaire des blocs produits. Les classes sont définies conformément à la grille suivante :

- **Les chutes de pierres (cp)** concernent les volumes unitaires inférieurs à 1 décimètre cube.
- **Les chutes de blocs (cb)** concernent les éléments isolés d'un volume variant de quelques fractions de mètre cube à plusieurs mètres cubes. Dans le cas de formations massives, on peut avoir affaire à des blocs dépassant la centaine de mètres cubes.
- **Les éboulements en masse limitée (ebl)**. Le volume total de la masse en cause est inférieur à quelques centaines de mètres cubes.
- **Les éboulements en masse (ebm)**. Le volume total de la masse en cause dépasse le millier de mètres cubes et peut atteindre 500 000 mètres cubes.
- **Les éboulements en grande masse (ebgm)** concernent des volumes d'écroulement simultané supérieurs à 5 millions de mètres cubes mettant en jeu une dynamique spécifique.

2. Probabilité / délai

La « probabilité / délai » se définit comme un variable à deux dimensions indissociables :

- **L'éventualité d'occurrence de chute dans le délai considéré, induite par les facteurs déterminants le phénomène.** L'échelle utilisée s'étale entre le très faible et le très élevé (A).
- **Le délai significatif à l'intérieur duquel le praticien estime que le phénomène peut se produire par rapport à une probabilité considérée.** La durée des périodes va de l'imminent au long terme (B).

A – l'éventualité de déclenchement du phénomène, dans le délai considéré, est induite par les facteurs déterminants le déclenchement

Très élevé (te)	L'intensité de tous les facteurs déterminants identifiés sur le compartiment est forte	- occurrence du phénomène normale - non occurrence du phénomène exceptionnelle
Elevé (e)	L'intensité de certains facteurs déterminants identifiés sur le compartiment est forte	L'occurrence du phénomène est plus envisageable que sa non-occurrence
Modéré (m)	Les facteurs déterminants sont identifiés sur le compartiment, certains, non répertoriés peuvent apparaître dans le temps.	L'occurrence du phénomène est équivalent à sa non occurrence
Faible (f)	Les facteurs déterminants identifiés sur le compartiment sont diffus, mal conscrits, mais présentent des analogies avec des zones à aléa modéré.	La non-occurrence du phénomène est plus envisageable que son occurrence.
Très faible (tf)	Aucun des facteurs déterminants n'est formellement identifié sur le compartiment	- occurrence du phénomène exceptionnelle - non occurrence du phénomène normale

B – Le délai est le terme à l'intérieur duquel le phénomène a une probabilité considérée de se produire

Imminent	i	Le délai est suffisamment court pour imposer des mesures de sécurités immédiates
Très court terme	tct	2 ans environ
Court terme	ct	10 ans environs
Moyen terme	mt	De l'ordre de 30 – 50 ans
Long terme	lt	De l'ordre de 100 – 150 ans



