



Etude d'Avant-Projet

Analyse des propagations des chutes de blocs sur le versant rive gauche du Lavanchon en vue de propositions de parades









Agence RTM Alpes du Nord Office National des Forêts Service RTM de l'Isère

> 9 quai Créqui 38000 Grenoble Tel : 04.76.22.31.50

Mail: rtm.grenoble@onf.fr

Date du dernier enregistrement	Désignation du document	Numéro de devis	Nombre de pages
18/02/2020	Analyse des propagations des chutes de blocs sur le versant rive gauche du Lavanchon en vue de propositions de parades	N° DEP-19-889102- 00347527 / 17194	49

	Nom Prénom	Fonction
Auteur	Pierre Dupire	Ingénieur travaux
Intervenant	Jean-Baptiste Nicaise	Technicien secteur - géologue
Relu et validé	Yannick Robert	Responsable du pôle expertise

Suivi des versions :

Version	Date	Observations
V1	Janvier 2020	Présentation commune
V2	Février 2020	Diffusion commune

Table des matières

TAI	BLE DES MATIERES	3
LIS'	TE DES FIGURES	4
I	PREAMBULE	5
I.1	Contexte et objectifs	
1.2	Périmètre d'étude	5
1.3	Documents consultés	6
II	INVESTIGATIONS PREALABLES	7
II.1	Contexte physique	7
II.2	Evénements historiques	9
II.3	Point sur les travaux exécutés	10
III	SYNTHESE ET DEFINITION DE SCENARIOS DE REFERENCE	13
III.1		
III.2	Synthèse des investigations préalables	13
III.3	Proposition de scénarios de référence	16
IV	MODELISATIONS TRAJECTOGRAPHIQUES	
IV.1		
IV.2	Modélisations 3D	17
IV.3	Modélisations sur profils	19
IV.4	Analyse croisée des résultats des modélisations par secteur	20
IV.5	Synthèse des expositions et proposition de priorisation	25
V	PROPOSITIONS DE PROTECTION	26
V.1	Stratégie proposée	
V.2	Règles utilisées pour le dimensionnement fonctionnel	26
V.3	Proposition de protection par secteur	
V.4	Synthèse / priorité / estimation financière	34
VI	CONCLUSION	35
VII	ANNEXES	
VII.1	Annexe 1 : résultats bruts trajectographiques 2D	36
VII.2	2 Annexe 2 : résultats trajectographiques 3D (RF3D)	47

Liste des figures

Figure 1 : perimetre d'etude	
Figure 2 : carte des pentes	7
Figure 3a : coupe géologique (source : http://www.geol-alp.com)	
Figure 3b : coupe géologique (source : http://www.geol-alp.com)	8
Figure 4 : Carte géologique (BRGM)	9
Figure 5 : merlons des Sorbiers	. 11
Figure 6 : merlon des Mousses (combe des Charbonniers)	. 12
Figure 7 : levée de terre à Navizelle	. 12
Figure 8 :extrait de la carte R111.3 de 1993 (RTM)	. 14
Figure 9 : extrait de la carte des aléas de 2009 (AGC)	
Figure 10 : extrait de la carte des aléas (PLUI) de 2018 (AGC)	. 15
Figure 11 : synthèse des études disponibles	
Figure 12 : passage par cellule – modélisation 3D	
Figure 13 : implantation et désignation des profils	
Figure 14 : implantation projetée d'un merlon secteur du Mont	
Figure 15 : dimensionnement fonctionnel du merlon projeté secteur du Mont	
Figure 17 : implantation projetée d'un filet sur à Lourne	
Figure 16 : implantation projetée d'un merlon et d'un filet secteur de Ongrie	29
Figure 17 : dimensionnement fonctionnel du merlon projeté secteur de Ongrie	
Figure 18 : contraintes topographiques du site	
Figure 19 : implantation projetée d'un merlon et d'un filet secteur Mas de l'Encluse	30
Figure 20 : dimensionnement fonctionnel des merlon projetés secteur de Mas de L'Encluse	30
Figure 21 : implantation projetée d'un merlon secteur de Fournel	
Figure 22 : dimensionnement fonctionnel du merlon projeté secteur de Fournel	31
Figure 23 : dimensionnement fonctionnel de la reprise des merlons des Sorbiers	
Figure 24 : implantation projetée d'un merlon secteur des Sorbiers Est	
Figure 25 : dimensionnement fonctionnel d'un merlon sur Les Sorbiers Est	22
Figure 26 : résultats sur profil général sur P1	
Figure 27 : résultats sur point d'analyse « projet ouvrage » sur P1	30
Figure 29 : résultats sur profil général sur P2	37
Figure 30 : résultats sur point d'analyse « projet ouvrage » sur P2	37
Figure 31 : résultats sur point d'analyse « habitation » sur P2	
Figure 29 : résultats sur profil général sur P3	38
Figure 30 : résultats sur point d'analyse « projet ouvrage » sur P3	38
Figure 31 : résultats sur point d'analyse « habitation » sur P3	
Figure 32 : résultats sur profil général sur P4	39
Figure 33 : résultats sur point d'analyse « projet ouvrage » sur P4	39
Figure 34 : résultats sur point d'analyse « habitation » sur P4	
Figure 35 : résultats sur profil général sur P5	40
Figure 36 : résultats sur point d'analyse « projet ouvrage » sur P5	40
Figure 37 : résultats sur point d'analyse « habitation » sur P5	40
Figure 38 : résultats sur profil général sur P6	
Figure 39 : résultats sur point d'analyse « projet ouvrage » sur P6	. 41
Figure 40 : résultats sur point d'analyse « habitation » sur P6	
Figure 41 : résultats sur profil général sur P7	. 42
Figure 42 : résultats sur point d'analyse « projet ouvrage » sur P7	. 42
Figure 43 : résultats sur point d'analyse « habitation » sur P7	
Figure 44 : résultats sur profil général sur P8	43
Figure 45 : résultats sur point d'analyse « projet ouvrage » sur P8	
Figure 46 : résultats sur point d'analyse « habitation » sur P8	
Figure 47 : résultats sur profil général sur P9	
Figure 48 : résultats sur point d'analyse « projet ouvrage » sur P9	
Figure 49 : résultats sur point d'analyse « habitation » sur P9	
Figure 50 : résultats sur profil général sur P10	45
Figure 51 : résultats sur point d'analyse « projet ouvrage » sur P10P10	
Figure 52 : résultats sur point d'analyse « habitation » sur P10	
Figure 53 : résultats sur profil général sur P11	
Figure 54 : résultats sur point d'analyse « projet ouvrage » sur P11P11	46
Figure 55 : résultats sur point d'analyse « habitation » sur P11P11	46

I Préambule

1.1 Contexte et objectifs

La commune de Saint-Paul-de-Varces a confié au service RTM la réalisation d'un diagnostic des chutes de blocs, hors écroulements massifs, en rive gauche du Lavanchon visant à proposer des protections sur les zones d'enjeux.

La commune a fait l'objet de nombreuses études sur le sujet notamment en 2018 dans le cadre de la carte des aléas du PLUI réalisée sous maîtrise d'ouvrage de Grenoble-Alpes-Métropole.

Ces études ont montré qu'un certain nombre d'enjeux bâtis sont situés dans des zones où l'aléa de chute de blocs est classé moyen à fort. Le présent travail s'inscrit dans cette continuité en définissant des solutions de protections.

Notons que certains enjeux ont déjà fait l'objet de parades au moyen de merlons pare-blocs. Toutefois, des études ont montré que ces ouvrages relativement anciens ne disposent pas toujours de l'efficacité escomptée.

Les objectifs de cette étude sont donc :

- Synthétiser les données des études antérieures ;
- Réaliser des modélisations trajectographiques sur l'ensemble de la rive gauche du Lavanchon ;
- Définir au stade d'avant-projet les solutions de sécurisation ;
- Donner une estimation financière des protections proposées.

1.2 Périmètre d'étude

La carte ci-après délimite la zone étudiée.

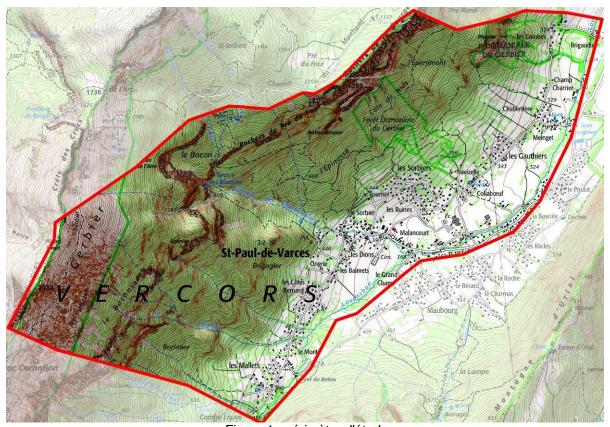


Figure 1 : périmètre d'étude

1.3 Documents consultés

- ADRGT, 1986, étude de risques de chutes de blocs Commune ;
- ADRGT, 1987, étude de risques de chutes de blocs rapport complémentaire -Commune;
- ADRGT, 2007, étude trajectographique, combe des Charbonniers Commune ;
- ADRGT, 2009, étude géotechnique du merlon des Mousses Commune ;
- ADRGT, 2009, étude trajectographique, rocher de la Bourgeoise Commune ;
- Alpes-Géo-Conseil, 2009, carte des aléas commune ;
- Alpes-Géo-Conseil, 2019, carte des aléas du PLUi GAM;
- Alp'Géorisques, 2013, étude trajectographique, parcelle AT61 Geoxia ;
- BRGM, 1976, Carte géologique, feuille de Vif n°796;
- Cemagref, SAGE, RTM, 2009, étude comparative du zonage de l'aléa chute de pierres avec différents outils de simulation trajectographique et différentes matrices d'aléa - DGPR;
- RTM, 1993, carte des risques naturel R111.3 DDA;
- RTM, 2009, avis sur événements de janvier et mars 2009 ;
- RTM, 2018, Précisions sur la qualification des aléas chutes de blocs propositions d'évolutions - GAM.
- SAGE, 1992, Le Mas des Gauthiers étude de risques de chutes de blocs Privé;
- Sintégra, 2009, Lidar de Saint-Paul-de-Varces Cemagref ;
- Sintégra, 2011, Lidar du secteur Gerbier, Echet d'Eau Blanc RTM-MAA;
- Sintégra, 2015, Lidar du secteur Lavanchon RTM-MAA.

Il Investigations préalables

II.1 Contexte physique

II.1.1 Géomorphologie

Le versant est orienté Sud-Est et il constitue une bordure orientale du massif du Vercors. Les affleurements culminent à 2038 m (rochers de l'Ours) et le pied de versant s'étage entre 430 et 290 m le long du torrent du Lavanchon. Cette exposition et ces altitudes sont favorables aux cycles gel-dégel qui s'avèrent des facteurs particulièrement propices aux chutes de blocs.

L'analyse de la morphologie du site permet de décrire le fonctionnement physique du versant. Ce travail réalisé à partir des relevés Lidars fait ressortir plusieurs informations essentielles à la bonne compréhension des phénomènes notamment (NB : ce constat n'est pas une généralité, il correspond au contexte précis de ce site) :

- Les parois rocheuses (pentes >50°) correspondent aux principales sources de production d'éléments rocheux susceptibles de se propager.
- Les portions où le rocher est subaffleurant qui se traduisent par des pentes fortes (40-50°) généralement sous couvert forestier. Ces portions peuvent être à l'origine d'accélération des chutes de blocs du fait de pentes soutenues et d'une forte compacité du sol favorisant les rebonds. Ces portions peuvent aussi être à l'origine de départs en sous-bois de blocs, par un mécanisme de glissement.
- Les pentes situées entre 25 et 40° correspondent essentiellement à des éboulis (pente généralement donnée à 35°) : lieux de dépôts et de transits de chutes de blocs.
- Les zones de replats, sont des zones d'arrêts rapides des propagations. Il est généralement constaté que toutes les trajectoires sont arrêtées entre 10 et 20°.

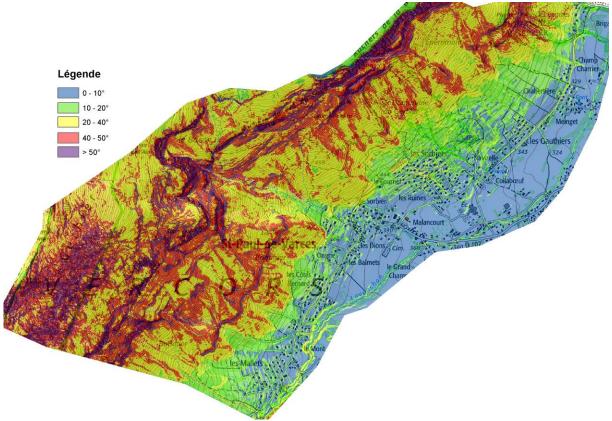


Figure 2 : carte des pentes

II.1.2 Géologie

La localité de Saint-Paul-de-Varces se situe dans le sillon subalpin de la bordure orientale du Vercors. Le vallon de Saint-Paul-de-Varces correspond à un compartiment séparé de la Combe des Terres Noires (Vif) par l'échine rocheuse de la Montagne d'Uriol.

Le substratum du territoire communal est constitué de couches sédimentaires calcaires localement marneuses. Sur le périmètre d'étude, le pendage est globalement orienté Ouest. Celui-ci correspond à un pli couché qui dessine un « S ». Les principales parois à l'origine de chutes de blocs sont (d'amont en aval) :

- ➤ <u>La Crêtes des Crocs</u>: qui est très affectée par la tectonique locale. Le synclinal renversé du Cornafion forme un pli dont la charnière se situe au niveau des rochers du Bachasset, et dans la partie haute des rochers du Saunier. En amont de cette charnière, les calcaires ont un pendage globalement conforme à la pente, parfois plus redressés au niveau de crochons (site de l'écroulement du Bachasset en 1984). Sur le flanc aval de ce pli, le pendage revient grossièrement parallèle au pendage des couches barrémiennes inférieures, non conforme. C'est au sein de ces dernières que se sont produits les écroulements du Saunier (1886-2003–2004-2007). Deux failles traversent verticalement la masse calcaire :
 - la faille des Rochers de l'Ours où se produisent régulièrement des éboulements qui alimentent les laves torrentielles du bassin-versant du Torrent des Coins,
 - la faille du Bachasset (site de l'écroulement de 1984 sur l'affluent Nord du Torrent Blanc).

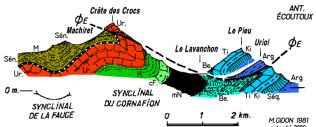


Figure 3a : coupe géologique (source : http://www.geol-alp.com)

Les Rochers de la Bourgeoise: Ils forment la haute masse urgonienne compacte dominant l'ensemble des formations géologiques de cette vallée. Le pendage, orienté Ouest, se trouve non conforme à la pente, ce qui réduit le risque de glissements banc sur banc auquel sont sensibles les versants Est de la vallée.

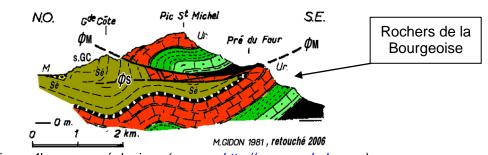


Figure 4b : coupe géologique (source : http://www.geol-alp.com)

Les barres rocheuses inférieures (La Combe, Brigadier): Il s'agit du soubassement marno-calcaire valanginien (calcaires du Fontanil) et hauterivien, plutôt friable, dont il se détache régulièrement des blocs de volume généralement inférieur à 1 m³. Les strates supérieures sont suffisamment compactes pour générer de plus gros volumes.

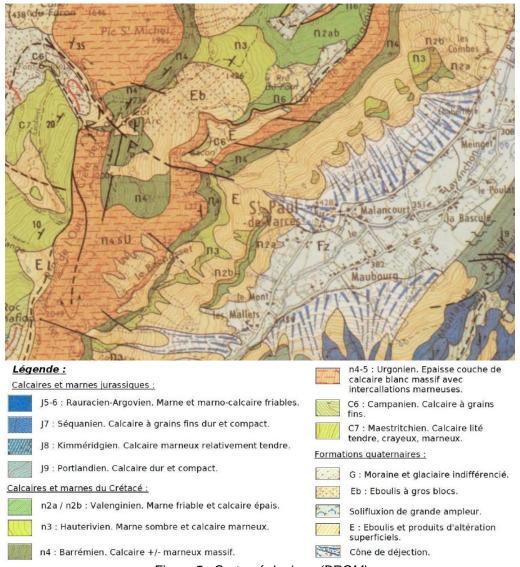


Figure 5 : Carte géologique (BRGM)

II.2 Evénements historiques

Les événements historiques correspondent aux phénomènes <u>connus</u> par notre service. Le recensement est relativement exhaustif depuis le XIXème siècle pour les <u>événements</u> <u>significatifs et/ou s'étant approchés des enjeux</u>. Selon toute évidence, de nombreuses chutes de blocs sont inconnues car inaperçues.

NB : le présent recensement est focalisé sur le périmètre d'étude. Les événements communaux situés en dehors de ce périmètre ne sont pas relatés.

Date	Zone	Observation	Source
1700	Rochers de la Bourgeoise	Durant la deuxième moitié du XVIIème siècle ou au début du XVIIIème siècle, un immense éboulement a enseveli les 150 ha du site des Ruines, détruisant le vieux village de Saint-Paul-de-Varces et son église. Le lotissement du Sorbier est construit sur le dôme de dépôts. D'après les estimations RTM, 4 millions de m³ de roches auraient été mobilisées	BDRTM
Avril 1889	Bachasset	Maisons des hameaux des Balmets et des Devets sérieusement menacées. Les récoltes de MM Deuil et Reymond détruites.	BDRTM

Date	Zone	Observation	Source
01/04/1918	ravin du Charbonnier	Éboulement qui aurait occasionné des dommages ou menacé l'habitat.	BRGM
21/12/1942	Rochers de la Bourgeoise	Éboulement de 50000 m³ de blocs sur le secteur des Ruines, ayant entraîné par la suite des laves torrentielles qui ont détruit les cultures.	BDRTM
07/03/1984	Escarpement situé au niveau de l'affluent Nord du T. des Coins	Écroulement d'un pilier rocheux de 30 à 50000 m³. 3 ha de végétation et de bois détruits.	BDRTM
Automne 2003 et printemps 2004.	ravin du Charbonnier	Chute de blocs depuis la cote 840 m en rive droite du ruisseau	AGC
Vers 2006	Les Rochers du Pré du Four	Chute de blocs de volumes inférieurs à 1 m³ ayant traversé le chemin de St-Paul au Bacon.	AGC
18/02/2007	ravin du Charbonnier	Écroulement de 60000m³ dont blocs de 400 à 800m³. Endommagement de la conduite d'eau potable en amont du réservoir. Destruction d'une mini-centrale hydroélectrique. Conduite d'eau potable contaminée.	BDRTM
28/12/2008	Rochers de la Bourgeoise	Éboulement brutal d'un dièdre rocheux en amont de Chabertière, en provenance d'un affleurement de calcaires du Fontanil dans la forêt domaniale du Gerbier. Arrêt rapide à l'impact, parcours d'une combe et éparpillement des derniers blocs dans les prés cultivés (≈ 390 m d'altitude), avec 4 blocs de 50 m³ et 1 de 80 m³. Volume total supérieur à 500 m³	BDRTM
26/12/2010	Rochers de la Bourgeoise	Altitude d'arrêt du bloc qui s'est propagé le plus en aval : 435 m (taille 20 m³). Les blocs ont emprunté le thalweg limité au sud-ouest par le chenal du torrent l'Echet d'Eau Blanc et au nord-est par une ligne parallèle à cet axe et distante de 50 mètres environ en forêt domaniale du Gerbier. Arrêt des derniers blocs à environ 80 mètres de dénivelée audessus des premières habitations.	BDRTM
16/03/2011	Rochers de la Bourgeoise	Réactivation de l'éboulement de 2010	BDRTM
08/11/2016	Rochers de la Bourgeoise	Eboulement estimé entre 60 et 80 m³ lié à la rupture d'un surplomb. Propagation de blocs dans le bassin versant sous le Plantin en amont de Chaberière. Le rocher s'est fragmenté généralement en blocs de 0,05 à 0,5 m³ qui se sont déposés par place dans un couloir en aval. Quelques blocs ont franchi l'arête en rive gauche du couloir et se sont propagés dans les versants de l'autre côté. Au bas du couloir quelques rares blocs aux volumes plus importants (2 à 5 m³) se sont propagés jusque vers 550 m d'altitude	BDRTM
Eté 2018	ravin du Charbonnier	Nouvelle chute de blocs, de faible ampleur mais avec des éléments se propageant sur une longue distance.	BDRTM
Régulièrement	Les Rochers du Pré du Four	Chutes de pierres et de blocs dans les pentes de Balme Rousse.	AGC

II.3 Point sur les travaux exécutés

La commune de Saint-Paul-de-Varces est dotée d'ouvrages passifs de protection contre les chutes de blocs. Ces ouvrages sont de type merlon.

Le secteur des Sorbiers a fait l'objet de ces aménagements dans les années 1990 en deux campagnes. La première en 1989 sur un linéaire de 170 m, une hauteur utile de 6,5 m et une fosse d'environ 5 m (merlon Ouest). La seconde a été réalisée en 1995 sur un linéaire de 100 m, une hauteur utile de 4 m et une fosse de 5 m (merlon Est). Ces merlons ont été érigés en déblais/remblais sans raidissement des parements amont. Une étude trajectographique de l'ADRGT (2009) au droit de ces ouvrages indique que ceux-ci sont

efficaces en considérant la végétation du versant. En revanche un test sans prise en compte de la forêt montre que les blocs pourraient franchir l'ouvrage et se propager sur 80 ml en aval.

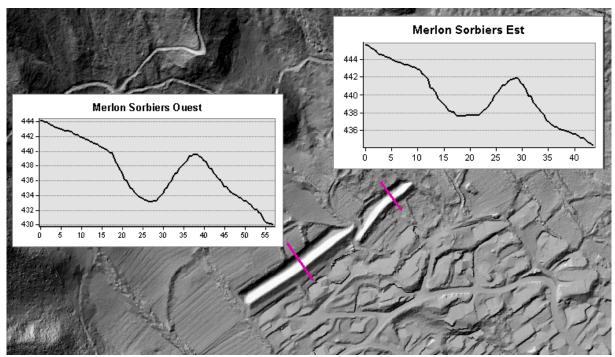


Figure 6: merlons des Sorbiers

Le secteur du réservoir dans la combe des Charbonniers a également fait l'objet d'une protection par merlon en 2009. Celui-ci s'étend sur 50 ml avec une hauteur utile de 6,5 m. La fosse est large entre 10 et 15 m. Le parement amont est raidi par enrochement sec. Cet ouvrage a été construit pour protéger le réservoir après l'éboulement de 2007.



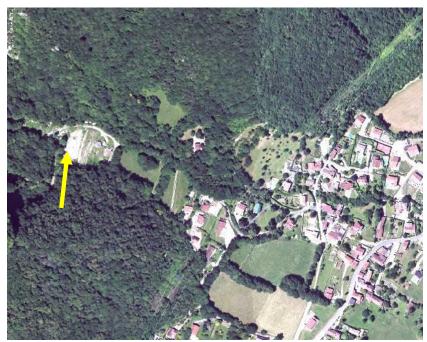


Figure 7 : merlon des Mousses (combe des Charbonniers)

Signalons enfin l'existence d'une levée de terre formant un merlon au niveau de Navizelle. Cette dernière fait 35 ml et une hauteur d'environ 1,5 m. L'ouvrage a été érigé en 2014 par un particulier pour protéger son habitation. Celui-ci a surement une double vocation : sécuriser le site vis-à-vis des écoulements torrentiels (écoulements torrentiels parvenus jusqu'à l'ouvrage en 2016) et arrêter les blocs en fin de course.

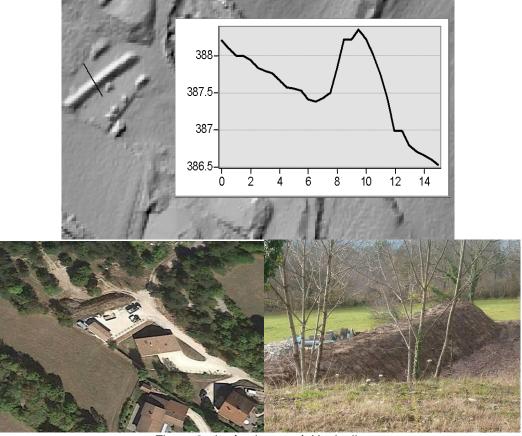


Figure 8 : levée de terre à Navizelle

III Synthèse et définition de scénarios de référence

III.1 Observations de terrain

Conformément à notre devis, aucune nouvelle expertise des affleurements n'a été réalisée. Le site ayant fait l'objet de nombreuses études et expertises pour lesquelles le RTM a généralement été associé, il n'apparaissait effectivement pas utile de requadriller les parois rocheuses pour réaliser le travail commandé.

Le terrain a simplement été parcouru pour déterminer les emplacements optimaux pour les solutions de protection proposées.

III.2 Synthèse des investigations préalables

III.2.1 Synthèse des études antérieures

Les études disponibles, essentiellement réalisées par SAGE/ADRGT, sont presque toutes axées sur un travail de modélisation trajectographique.

Retenons:

- 1010110110 1			
Etude	Secteur	Volume de départ retenu	Atteinte maximale des propagations
ADRGT, 1986	Les Sorbiers	6 à 100 m ³	Z=412 (= habitations hameau des Sorbiers)
	Charbonniers	200 m ³	Z=745 (= lit du torrent)
ADRGT, 1987	Les Gauthiers	100 m ³	Z=360 (= lotissement Clos des Gauthiers)
SAGE, 1992	Les Gauthiers	10 à 50 m ³	Z=378 (=amont du lotissement des Gauthiers)
ADRGT, 2007	Charbonniers	200 à 1000 m ³	Z=480 (=aval du réservoir)
ADRGT, 2009	Les Sorbiers	10 à 15 m ³	Z=merlon sans considérer végétation, et 80 ml en aval du merlon sans végétation
Alp'Géorisques, 2013	Les Gauthiers	30 m ³	Z=390 (=amont du lotissement des Gauthiers)
RTM 2018	Les Mousses Charbonniers	> 10 m ³	Z=465 (=chemin des Mousses)
	Faures/Lournes/Brigadier	+/- 5 m ³	Z=415 (=limite zone bâtie)

Les autres études concernent les aspects cartographiques (prise en compte des risques naturels dans les documents d'urbanisme). Celles-ci ont une approche plus empirique basée sur le dire d'expert pour les plus anciennes, ou sur l'application de lignes d'énergies pour les plus récentes.

Notons que, quelle que soit l'approche, les parties hautes des zones urbanisées sont souvent classées comme étant soumises à des aléas de chutes de blocs. C'est notamment le cas aux Sorbiers, aux Ruines, aux Charbonniers.

Les extraits de cartes suivants illustrent ce constat.

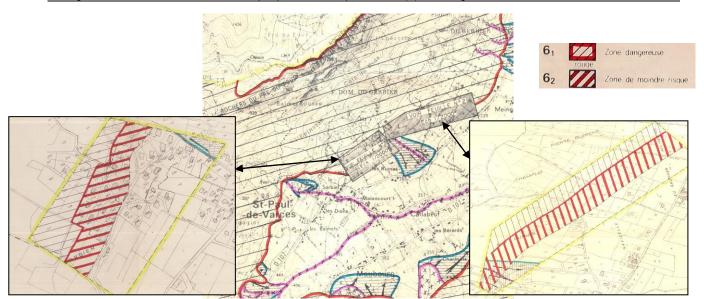


Figure 9 :extrait de la carte R111.3 de 1993 (RTM)

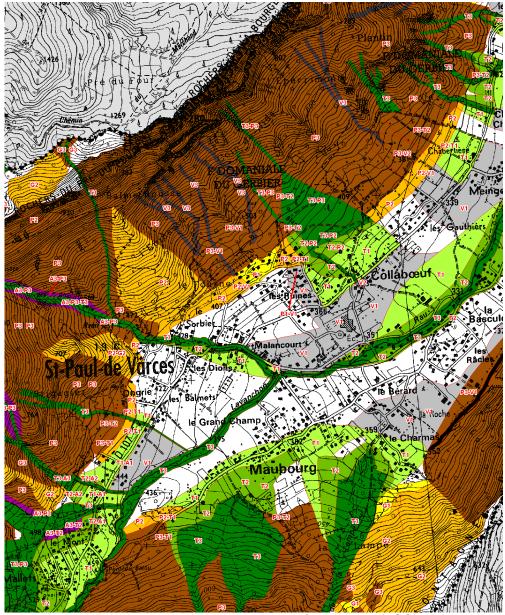


Figure 10 : extrait de la carte des aléas de 2009 (AGC)

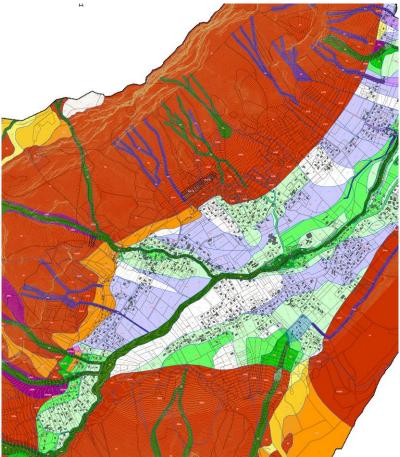


Figure 11 : extrait de la carte des aléas (PLUI) de 2018 (AGC)

La carte suivante localise les études citées, les profils modélisés, et le zonage d'aléa chute de blocs actuel.

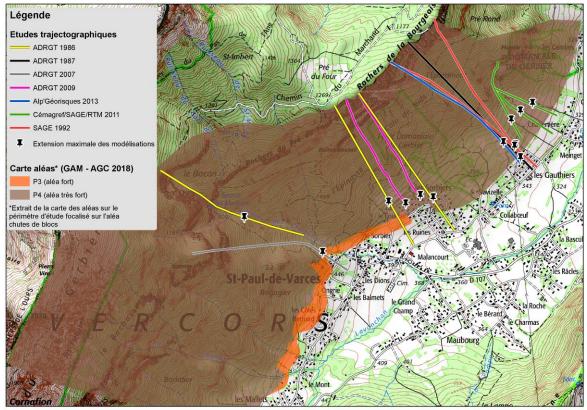


Figure 12 : synthèse des études disponibles (RTM 2019)

III.2.2 Synthèse des événements historiques

L'ensemble des événements fait état de phénomènes conséquents voire de grande ampleur de type éboulement ou éboulement en masse. Les volumes au départ sont potentiellement considérables (souvent supérieurs à 10000 m³). Les volumes des blocs unitaires restent également élevés (souvent plusieurs dizaines de m³ voire centaines de m³). Cela tient du fait que la roche est relativement compacte (urgonien) ce qui engendre une plus faible fragmentation lors des impacts en propagation.

A l'exception de l'événement historique du XVIIIème, les événements n'ont jamais causé de dégât au bâti.

III.3 Proposition de scénarios de référence

Compte tenu des éléments détaillés ci-avant, nous proposons de retenir un scénario homogène à l'ensemble des parois principales (urgonien). Il est ainsi proposé de considérer un éboulement de plusieurs milliers de m³ qui produira des blocs unitaires pouvant atteindre de 10 à 50 m³. En effet, au droit de ces parois rocheuses, tout événement provenant des barres inférieures plus litées, apparait comme anecdotique au regard des aléas de départ potentiels des parois sus-jacentes.

Sur les zones dominées uniquement par des falaises marno-calcaires, le scénario retenu sera un éboulement de plusieurs dizaines de m³ qui produira des blocs unitaires de 2 m³.

IV Modélisations trajectographiques

IV.1 Méthode mise en œuvre

Il est proposé une approche par 2 types de modélisations : une trajectographie 3D sur un MNT et des trajectographies 2D sur profils.

La modélisation 3D est utilisée pour :

- Mettre en avant les trajectoires préférentielles sur lesquelles seront positionnés les profils des modélisations 2D,
- Proposer un zonage des probabilités d'atteintes.

Les modélisations sur profils permettent de :

 Disposer des valeurs quantitatives de probabilité d'atteinte, de hauteur de passage et d'énergie, utiles au dimensionnement fonctionnel d'ouvrages.

Limites sur les calculs trajectographiques

- 1) Il n'existe à ce jour aucun logiciel trajectographique permettant de considérer correctement un éboulement supérieur à 10 m³. Au-delà de cette valeur la réponse des sols n'est plus adaptée aux algorithmes utilisés. Or dans le cas présent l'historique met en exergue des blocs unitaires parfois bien supérieurs. Les résultats de références seront donc concentrés sur les simulations de 10 m³.
- 2) Par ailleurs, très peu d'algorithmes de calculs sont capables de retranscrire correctement un replat rapide ou une contre pente. Cette limite nécessite d'adapter les paramètres de sol en conséquence ou d'avoir recours à des algorithmes spécifiques à ces niveaux. Dans notre étude ce cas de figure concerne plus particulièrement les merlons. Les modélisations ont été adaptées en conséquence et vérifiées via un algorithme spécifique.
- 3) Les divers travaux relatifs aux comparaisons de pratique des outils trajectographiques ont montré qu'il existe autant de résultats que de logiciels et d'opérateurs. Pour afficher une totale transparence, nous proposons l'utilisation de logiciels libres ou du commerce dont les algorithmes de calculs sont connus et les paramètres d'entrée sont calés sur retours d'expériences (pas de recours à des logiciels internes de type « boite noire »). Tous les paramètres utilisés sont par ailleurs décrits. Enfin, nous avons recours à plusieurs logiciels différents (Propag et RF3D) permettant de confronter les résultats.

IV.2 Modélisations 3D

IV.2.1 Description du modèle

Les calculs trajectographiques 3D ont été réalisés avec le logiciel Rockyfor3D ® développé par Ecorisq (association Franco-Suisse : IRSTEA et l'EPFL). Ceux-ci considèrent les trajectoires possibles des blocs selon les 3 dimensions (X, Y, Z au-dessus de la surface du sol). Pour plus d'informations sur le logiciel et ses caractéristiques techniques : http://www.ecorisq.org (le RTM peut fournir les algorithmes de calcul à la demande du maitre d'ouvrage).

IV.2.2 Acquisition topographique

Un MNT a été construit à partir des levés lidars (précité au § I.3) ramené à une résolution de 3 m pour les besoins du modèle.

IV.2.3 Données d'entrée du modèle

Les paramètres utiles au fonctionnement du modèle sont les hypothèses de départ (volume, forme, densité rocheuse) et les types de sols (coefficient de restitution, rugosité). Ces valeurs sont renseignées sur SIG et « injectées » au logiciel RF3D. Le principe est que

chaque zone est définie par 9 paramètres : dimensions du bloc selon ses trois axes (d1, d2, d3), densité du bloc (rocdensity), la forme type du bloc (blshape) pour les zones de départ et pour le reste du versant : le type de sol (soiltype), la rugosité de surface selon le pourcentage de probabilité (rg10 / rg20 / rg70).

Les hypothèses de départ retenues correspondent à un scénario uniforme avec volume de 10 m³ pour les barres supérieures urgoniennes et 2 m³ pour les barres inférieures marnocalcaire.

Pour chaque pixel de 3 m identifié comme zone de départ, 1000 blocs ont été « lancés ». Ce qui correspond à 99 162 000 trajectoires simulées sur l'ensemble de la zone étudiée.

IV.2.4 Résultats

L'illustration suivante correspond aux nombre de passages par cellule. Celle-ci permet d'ores et déjà de constater l'étendue des propagations les plus lointaines ainsi que les trajectoires préférentielles. Les autres cartes (probabilités d'atteinte, énergies et hauteurs) sont données en annexes. Un zoom est proposé au droit des principaux enjeux dans les paragraphes ciaprès.

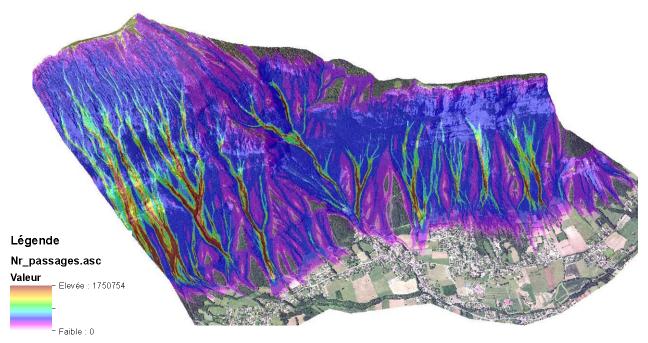


Figure 13: passage par cellule - modélisation 3D

Cette première modélisation permet d'observer les zones les plus exposées sur une large surface. Sans surprise elle met en avant une forte exposition au droit des principaux talwegs.

Ce zonage permet de confirmer par voie calculatoire l'exposition de nombreux enjeux bâti de la commune.

La modélisation 3D montre que les merlons des Sorbiers disposent d'une fonction de protection (extension des propagations de blocs plus restreinte par rapport au voisinage non sécurisé), en revanche, comme dans les conclusions de l'étude SAGE de 2009, on constate que des trajectoires parviennent à franchir l'ouvrage.

Concernant le merlon des Charbonniers, celui-ci n'était pas réalisé lors du relevé topographique utilisé. Les modélisations à ce niveau sont donc erronées. Compte tenu des dimensions de l'ouvrage, son franchissement apparait improbable (sauf éboulement majeur comblant la fosse, mais un tel événement dépasse largement le scénario de référence ainsi que les capacités de modélisation).

IV.3 Modélisations sur profils

IV.3.1 Description du modèle

Les modélisations sur profils ont été réalisées avec Propag®, développé par le Céréma. Celui-ci restitue en 2D les hauteurs de passage des blocs, leur énergie, et la probabilité d'atteinte. Le RTM peut fournir les algorithmes de calcul à la demande du maitre d'ouvrage.

IV.3.2 Acquisition topographique

Dix profils ont été retenus sur la base des trajectoires préférentielles mises en avant avec la modélisation 3D. Ces profils sont extraits du MNT issu des lidars.

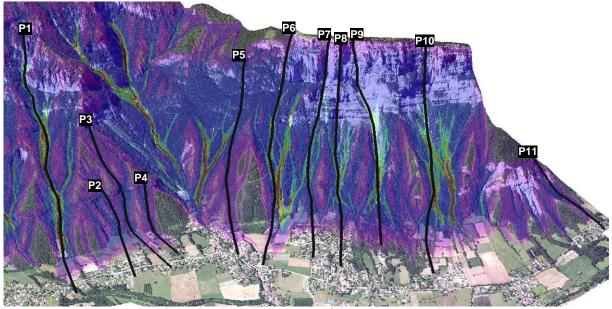


Figure 14 : implantation et désignation des profils

IV.3.3 Données d'entrées aux modèles

Les paramètres utiles au modèle sont :

- Volume de départ : bloc de 10 m³ soit environ 25 t pour les zones de départ urgoniennes (P1, P5, P6, P7, P8, P9 et P10), blocs de 2 m³ (5 t) pour les zones de départs inférieures en calcaires plus marneux (P2, P4 et P11). Le P3 a considéré des blocs de 5m³ conformément à ce qui avait relevé sur le terrain à ce niveau.
- Vitesse initiale: 1 m/s
- Angle de départ : 0°
- Paramètre de forme (= élancement) : entre 1,1 et 1,35
- Paramètre de sol : 4 sols utilisés dans les paramètres prédéfinis :
 - rocher sain (rs)
 - rocher altéré (ra)
 - éboulis meuble (em)
 - terrain meuble (tm)
 - liquide (li)

Le découpage retenu des sols par profil est visible sur les résultats en annexe 1.

IV.3.4 Résultats

Les résultats bruts sont donnés en annexe 1.

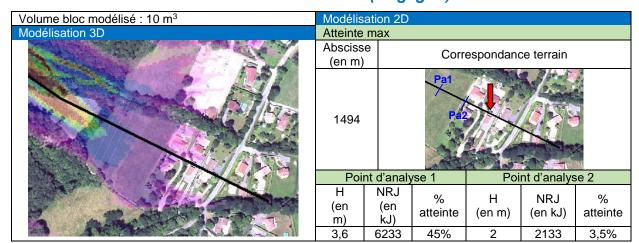
IV.4 Analyse croisée des résultats des modélisations par secteur

Les résultats sont donnés sous forme de tableaux par secteur. Ils rappellent le volume considéré, proposent un zoom des modélisations 3D et donnent les restitutions des modélisations 2D afin de visualiser les deux résultats pour chaque secteur.

Concernant les résultats de la modélisation 2D, il est proposé :

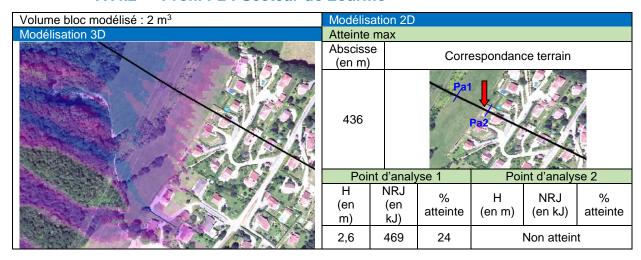
- « l'atteinte max » correspondant au point d'arrêt maximal des blocs (flèche rouge),
- Les énergies et hauteurs de passage au « **Point d'analyse 1** » (=Pa1) correspondant soit à un ouvrage existant (cas des Sorbiers), soit à la zone propice pour l'aménagement d'un ouvrage ;
 - Les énergies et hauteurs de passage au « **Point d'analyse 2** » (= Pa2) correspondant aux premiers enjeux (généralement les premières habitatons).

NB : les hauteurs données correspondent aux résultats des modélisations + le rayon du bloc (soit 1,33 m pour un bloc de 10 m³, et 0,78 m pour un bloc de 2 m³).



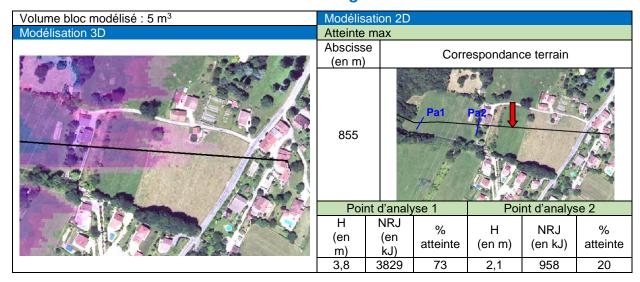
IV.4.1 Profil P1 : Secteur du Mont (Brigagier)

Sont simulées ici des chutes de blocs provenant des barres supérieures de l'urgonien. Les résultats des 2 modélisations sont assez proches. L'atteinte des habitations les plus en amont est possible (3,5%) avec une intensité forte (> 2000 kJ).



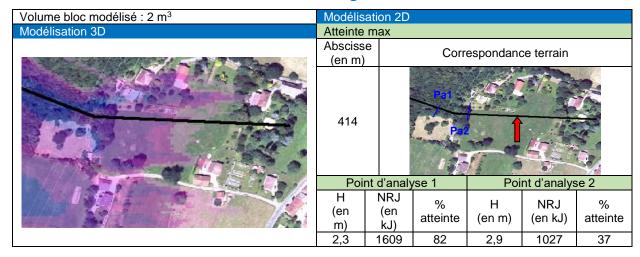
IV.4.2 Profil P2 : Secteur de Lourme

Les modélisations correspondent ici à des chutes de blocs depuis les barres inférieures. Dans les deux simulations, les habitations du Nord du lotissement ne sont pas atteintes, bien que la limite reste proche. En revanche sur la partie Sud, RF3D monter l'atteinte de 3 maisons.



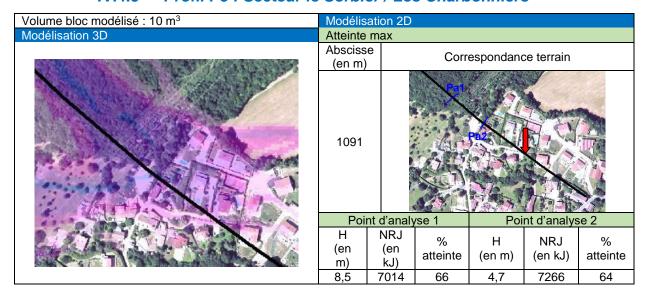
IV.4.3 Profil P3 : Secteur de Ongrie – Chemin des Faures

Les trajectographies modélisent ici des chutes de blocs depuis les deux barres (supérieure urgonnienne et inférieure marno-calciare). A quelques mètres près, les résultats sont similaires avec les 2 approches. Ici les 2 habitations sont fortement exposées (probabilité d'atteinte à 20%) selon une intensité relativement élevée (proche 1000 kJ).



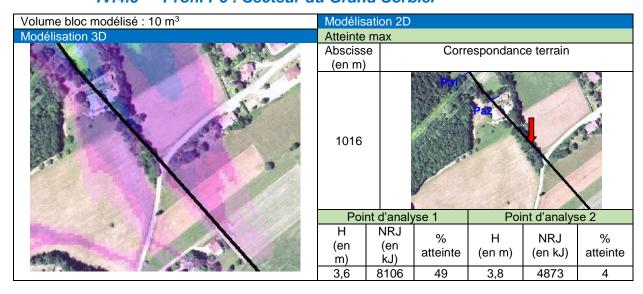
IV.4.4 Profil P4 : Secteur de Ongrie – Chemin des Mousses

Les trajectographies modélisent ici des chutes de blocs depuis la barre inférieure. Les résultats des 2 modélisations diffèrent : 50 ml en plus sur RF3D. Cette différence s'explique sur le fait qu'en 3D le logiciel considère des zones de départ en amont de la barre inférieure ce qui n'apparait pas réaliste. Le résultat retenu sera par conséquent celui de Propag. En tout état de cause, les habitations amont sont exposées avec une forte probabilité d'atteinte (37%) et des fortes énergies (> 1000 kJ).



IV.4.5 Profil P5 : Secteur le Sorbier / Les Charbonniers

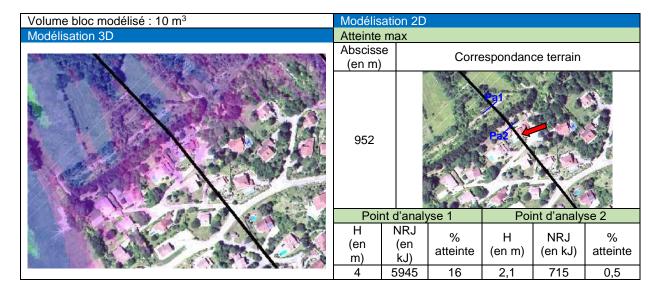
Les modélisations représentent les trajectoires provenant des barres supérieures de l'Urgonien. Les trajectoires provenant de la combe des Charbonniers n'ont pas été considérées du fait de la présence d'un merlon récent correctement dimensionné (fosse de 15 m, hauteur de 6,5 m, parement raidi). Le relevé topographique utilisé étant antérieur à cet ouvrage celui-ci n'est pas considéré dans la modélisation, ce qui explique certaines trajectoires dans la simulation 3D. Le profil modélisé correspond à des chutes de blocs issues des Rochers du Pré du Four. En réalité les trajectoires devraient être déviées de part et d'autre d'une butte (« L'Epinasse » sur le scan25). Néanmoins, en cas de propagation directe la modélisation montre une atteinte potentielle avec une forte probabilité (64%) et une très forte intensité. Une partie siginificative des habitations du Mas de l'Encluse et de l'impasse du Charbonnier est concernée.



IV.4.6 Profil P6: Secteur du Grand Sorbier

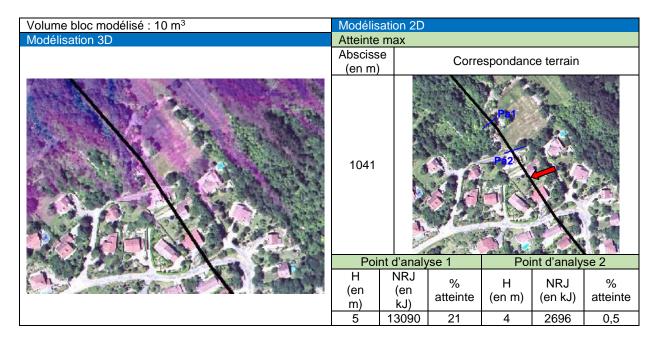
Ici, les blocs modélisés proviennent de la barre urgonienne des Rochers du Four et de la Balme Rousse. L'essentiel des trajectoires s'arrête en amont de la ligne haute tension. Néanmoins 4% des simulations atteignent l'habitation du Fournel avec une forte intensité (> 4000 kJ).

IV.4.7 Profil P7: Secteur des Sorbiers en aval des merlons existants

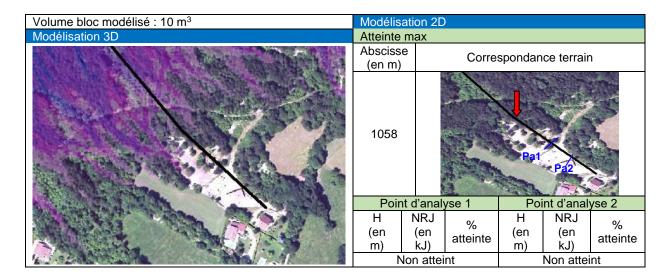


La modélisation vise ici à vérifier l'efficacité des merlons des Sorbiers. En effet ces ouvrages sont anciens, ne disposent pas de parement raidi et la largeur de leur fosse est faible. Les simulations montrent une efficacité indiscutable (dans les 2 types de modélisation). Néanmoins des trajectoires parviennent à franchir les ouvrages et s'arrêtent au niveau des habitations (0,5%).

IV.4.8 Profil P8 : Secteur des Sorbiers (à l'Est de la zone protégée par des merlons)

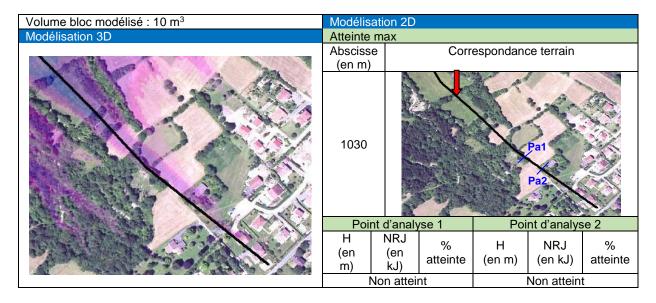


Cette modélisation concerne le hameau des Sorbiers sur la partie Est (non protégée par un ouvrage). Les résultats des 2 simulations sont homogènes et donnent une atteinte possible des habitations avec de fortes intensités (> 2000 kJ).



IV.4.9 Profil P9 : Secteur de Navizelle – Echet d'Eau Blanc

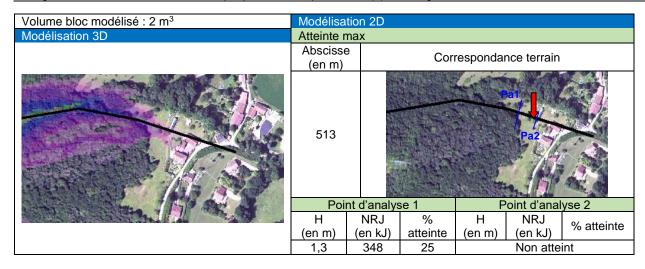
Les modélisations calculent des chutes de blocs depus les barres sommitales urgoniennes. Les 2 résultats montrent que le bâti n'est pas atteint. Pour rappel, lors de l'événement de 2010 les blocs les plus lointains se sont arrêtés à 80 m de dénivelé de l'habitation.



IV.4.10 Profil P10 : Secteur des Gauthiers

A ce niveau les modélisations 3D montrent une atteinte possible du hameau ce qui semble un artéfact du logiciel au regard de la forte différence avec la modélisation 2D. La 2D étant plus fiable le bâti sera donc considéré comme hors d'atteinte (ce qui correspond également aux expertises antérieures).

IV.4.11 Profil P11 : Secteur des Combes



Les modélisations considèrent les chutes de blocs depuis les barres marno-calcaires. Les 2 résultats sont assez proches bien que la 3D montre l'exposition d'un bâtiment agricole. Les habitations ne sont pas atteintes.

IV.5 Synthèse des expositions et proposition de priorisation

Le tableau suivant synthétise l'exposition des enjeux par secteur et propose une priorité de sécurisation Cette dernière est évaluée selon le nombre d'enjeux concerné, selon la probabilité d'atteinte, selon l'existence ou non d'un ouvrage et selon le contexte topographique.

Par exemple sur le secteur « Sorbier / Les Charbonniers », la probabilité d'atteinte est forte et le nombre d'habitations exposées est important, toutefois le versant présente une butte qui devrait dévier les trajectoires de part et d'autre. De plus ce secteur ne dispose pas d'événement historique. Par conséquent la priorité est jugée moyenne.

NB: les diverses études n'alertant pas sur un quelconque risque et péril imminent, les « priorités » proposées ici résultent d'une synthèse technique. L'aléa de départ étant régit par de très nombreuses incertitudes, la valeur de ces priorités reste en quelque sorte subjective. Par ailleurs, rappelons ici que le maitre d'ouvrage demeure le seul « juge » des priorités incombant à son territoire selon les divers contextes locaux.

Secteur	Atteinte trajectographique des enjeux bâtis	Estimation du nombre d'habitation(s) concernée(s)	Evénement historique sur le secteur	Morphologie du site / singularité topographique	Existence d'un ouvrage	Synthèse de priorisation proposée
Le Mont- Brigagier	Forte	Au moins 6	1889, 1984	RAS	Non	Forte
A Lourne (Sud)	Forte	Au moins 4	1889	RAS	Non	Moyenne
Les Côtes Bernard – Impasse de Lourne	Non atteint	Aucune	1889	RAS	Non	Aucune
Ongrie – Les Faures	Forte	Au moins 2	1889 ?	Fin de trajectoires	Non	Moyenne
Ongrie – Les Mousses	Forte	Au moins 2	1889 ?	Fin de trajectoires	Non	Moyenne
Le Sorbier / Les Charbonniers	Forte	Au moins 8	Rien depuis relief amont de l'Epinasse	Croupe de l'Epinasse déviatrice	Oui (jugé efficace)	Moyenne
Grand Sorbier	Forte	1	2006	RAS	Non	Faible
Les Sorbiers (merlons)	Moyenne	Au moins 6	1700, 1942	Opportunité travaux Domaniaux voisins	Oui (jugé moyennement efficace)	Forte
Les Sorbiers Est	Forte	Au moins 3	1700, 1942	RAS	Non	Forte
Navizelle – Echet d'Eau Blanc	Non atteint	Aucune	2010, 2011	RAS	Oui	Aucune
Les Gauthiers	Non atteint	Aucune	2008, 2016	RAS	Non	Aucune
Les Combes	Non atteint	Aucune		RAS	Non	Aucune

V Propositions de protection

V.1 Stratégie proposée

Compte tenu de l'étendue et de l'ampleur de la surface de falaise pouvant être source de chutes de blocs, toute intervention « active » de type clouage, emmaillotage, purge, etc. est exclue.

Par ailleurs, pour ce qui concerne les zones pouvant être atteintes par des blocs provenant des falaises urgoniennes, l'historique montre que les volumes sont potentiellement considérables (plusieurs dizaines, voire centaine de m³). Le recours à des écrans de filets pour de tels volumes apparait illusoire.

En revanche les filets peuvent être proposés pour les secteurs exposés aux chutes de blocs provenant des barres inférieures marno-calcaires ou les volumes en jeux sont de l'ordre de 1 à 2 m³.

Usuellement il est préféré le recours à des ouvrages passifs de type merlon pare-blocs. Ces derniers sont effectivement pérennes et efficaces y compris pour des gros volumes.

V.2 Règles utilisées pour le dimensionnement fonctionnel

V.2.1 Pour les merlons

Il n'existe actuellement pas de texte réglementaire ni de guide méthodologique concernant la conception des merlons pare-pierres. Néanmoins il existe des règles de l'art basées sur les pratiques, les retours d'expériences et les expérimentations réalisées par la recherche. Les principes généraux sont les suivants :

- 1) La capacité de l'ouvrage doit pouvoir vérifier que : énergie / section < 250 kJ /m²;
- 2) La hauteur utile est définie par la trajectographie + le rayon du bloc modélisé ;
- 3) La largeur de crête doit être au minimum de 3 m pour permettre un compactage par des engins lourds ;
- 4) La fosse doit être d'au moins 5 m de largeur en fond ;
- 5) Le raidissement du parement amont doit être d'au moins 70°.

Compte tenu des enjeux en présence (urbanisation), il est proposé de respecter, autant que faire se peut, ces règles de l'art.

V.2.2 Pour les écrans métalliques (filets)

Le dimensionnement fonctionnel des filets est encadré par une « *Note d'information* – ouvrage d'art – écrans de filet pare-blocs dynamique » du Céréma de 2014. Celle-ci recommande de dimensionner les écrans de filet au niveau de service (SEL¹ selon ETAG 27) pour les zones urbanisées. Cette pratique requiert de multiplier par 3 les valeurs d'énergies obtenues dans les résultats trajectographiques.

La hauteur de l'ouvrage doit être supérieure ou égale à la « hauteur efficace » (hauteur de passage du centre de gravité du bloc obtenue dans les résultats trajectographiques) augmentée du rayon du bloc de référence.

Comme pour les merlons, au regard des enjeux importants, il est proposé de suivre les recommandations précitées.

-

¹ SEL : Service Energy Level (niveau de service) = L'écran travail sans s'endommager. Il peut résister à plusieurs impacts. (=MEL [Maximum Energy Level) niveau de limite ultime] x 3)

V.3 Proposition de protection par secteur

V.3.1 Secteur du Mont - Brigagier

Ouvrage proposé:

Les énergies étant élevées il est proposé l'aménagement d'un merlon. Le site est par ailleurs propice à ce type d'ouvrage du fait d'un espace peu pentu en amont des enjeux. L'implantation de l'ouvrage devra considérer la présence d'une ligne HT et du torrent de Brigagier. Notons à ce titre que le RTM a réalisé en 2016 une « étude pour la protection des lieux habités contre les crues du torrent du Brigadier ». La proposition des ouvrages ici, considère celle de l'étude précitée avec des adaptations au présent contexte.

Implantation projetée :



Figure 15 : implantation projetée d'un merlon secteur du Mont

Dimensionnement:

Hauteur utile: 4m

Linéaire: 55 m (section Nord) 140 m

(section Sud-Est) Largeur de fosse : 5 m

Section résultante : 30 m²

Vérification E/section <250kJ/m²: OK

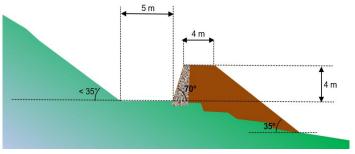


Figure 16 : dimensionnement fonctionnel du merlon projeté secteur du Mont

Estimation financière :

Poste	Estimation Cubature	PU HT	Montant HT
Parement amont raidi en enrochement sec	1600 m ³	110 €/m³	176000 €
Terrassement déblai/remblai	5500 m ³	10€/m³	55000 €
Topo/géotechnique	forfait	20000€	20000€
Maitrise d'œuvre	forfait	20000€	20000€
		Total HT	271000€
		Total TTC	325200 €

V.3.2 Secteur « à Lourne »

Ouvrage proposé :

Comme évoqué, le Nord du lotissement n'est pas affecté, en revanche les modélisations 3D montrent une atteinte plus au Sud. Les énergies sont limitées (fin de trajectoires = environ 460kJ sur Pa1) et la place est limitée pour un merlon compte tenu de la présence de la ligne HT. Il est donc proposé un écran de filet (la solution merlon pourra néanmoins être abordée en phase PRO).

Implantation projetée :



Figure 17 : implantation projetée d'un filet sur à Lourne

Dimensionnement:

Hauteur : 3 m Linéaire : 140 m

Capacité : les énergies maximales étant de l'ordre de 460kJ, l'application des règles du

Céréma tendrait vers un filet de 1500 kJ (dimensionnement au SEL).

Classe ETAG 27:4

Estimation financière :

Poste	Estimation Cubature	PU HT	Montant HT
Filet Classe 6 ETAG 27	140 m	750€/ml	105000€
Maitrise d'œuvre	forfait	10000€	10000€
		Total HT	115000€
		Total TTC	138000 €

V.3.3 Secteur de Ongrie_Les Faures

Ouvrages proposés :

Les habitations situées sur le chemin des Mousses étant immédiatement implantées en pied de versant, le site ne dispose pas de la place nécessaire pour l'aménagement d'un merlon. L'ouvrage proposé ici sera un écran de filet. Les énergies attendues sont suffisamment faibles pour permettre ce type d'ouvrage.

Pour le groupe d'habitations plus au Sud, chemin des Faures, il sera préférable d'opter pour un merlon. Les terrains sont propices à cet aménagement (pente modérée, large espace). Notons la présence d'une ligne haute tension. Pour les 2 ouvrages il est proposé de s'implanter en amont de la ligne. Précisons également qu'il conviendra de considérer la Draye des Faures (le merlon envisagé en tiendra compte).

Implantation projetée :

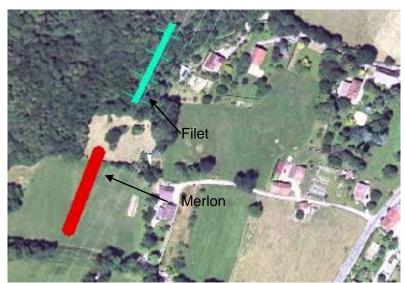


Figure 18 : implantation projetée d'un merlon et d'un filet secteur de Ongrie

Dimensionnement:

A) MERLON Hauteur utile: 3m Linéaire: 85 m Largeur de fosse : 5 m

Section résultante : 20 m²

Vérification E/section <250kJ/m²: OK 5 m

B) FILET Hauteur: 3 m Linéaire: 80 m

Capacité : les énergies maximales étant de l'ordre de 1000kJ, l'application des règles du Céréma tendrait vers un filet de

3000 kJ (dimensionnement au SEL).

Classe ETAG 27:6

Figure 19 : dimensionnement fonctionnel du merlon projeté secteur de Ongrie

Estimation financière :

Poste	Estimation Cubature	PU HT	Montant HT
Parement amont raidi en	400 m ³	110 €/m³	44000€
enrochement sec			
Terrassement déblai/remblai	1500 m ³	10€/m³	15000€
Déboisement	forfait	10000€	10000€
Topo/géotechnique	forfait	15000 €	15000 €
Filet Classe 6 ETAG 27	80 m	1200€/ml	96000€
Maîtrise d'œuvre	forfait	30000€	30000€
		Total HT	210000€
		Total TTC	252000 €

V.3.4 Secteur le Sorbier / Les Charbonniers

Ouvrages proposés :

La pente située en amont de la partie Nord des habitations du Mas de l'Encluse, est trop soutenue pour l'aménagement d'un merlon. Les énergies sont trop fortes pour permettre une

protection par un écran de filet. Pour cette partie il est donc proposé un merlon à double parement raidi (de façon à consommer moins d'espace). Son implantation se ferait à la côte 460 m où on observe un léger replat.

Pour les habitations situées plus au Sud-Ouest, l'aménagement d'un merlon « classique » sera plus aisé. Entre les deux, le versant forme une croupe assez marquée qui devrait dévier les trajectoires soit vers le merlon à double parement raidi, soit vers le merlon « classique ».

Dans les deux cas il conviendra de considérer la présence de la ligne haute tension.

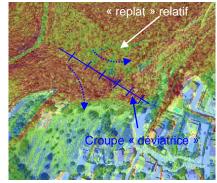


Figure 20 : contraintes topographiques du site

Implantation projetée :



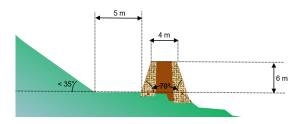
Figure 21 : implantation projetée d'un merlon et d'un filet secteur Mas de l'Encluse

Dimensionnement:

A) MERLON DOUBLE PAREMENT RAIDI

Hauteur utile : 6m Linéaire : 70 m Largeur de fosse : 5 m Section résultante : 37 m²

Vérification E/section < 250 kJ/m² : OK



B) MERLON CLASSIQUE

Hauteur utile : 6 m Linéaire : 100 m Largeur de fosse : 5 m Section résultante : 56 m²

Vérification E/section < 250 kJ/m² : OK

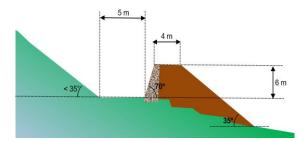


Figure 22 : dimensionnement fonctionnel des merlon projetés secteur de Mas de L'Encluse

Estimation financière :

Poste	Estimation Cubature	PU HT	Montant HT		
Parement amont raidi en	1300 m ³	110 €/m³	143000 €		
enrochement sec	enrochement sec				
Terrassement déblai/remblai	4500 m ³	10€/m³	45000€		
Terrassement déblai	4000 m ³	10€/m³	40000€		
Remblai technique (double	4000 m ³	45€/m³	180000€		
parements raidis)					
Déboisement	forfait	10000€	10000€		
Topo/géotechnique	forfait	20000€	20000€		
Maitrise d'œuvre	forfait	25000€	25000 €		
		Total HT	463 000 €		
		Total TTC	555 600 €		

V.3.5 Secteur du Grand Sorbier

Ouvrage proposé :

Les énergies attendues étant élevées sur ce site, il est proposé l'aménagement d'un merlon. Le site est par ailleurs propice à ce type d'ouvrage du fait d'un espace peu pentu en amont de l'enjeux. L'implantation de l'ouvrage devra considérer la présence d'une ligne haute

tension (proposition d'un aménagement en

amont).

Implantation projetée :

Figure 23 : implantation projetée d'un merlon secteur de Fournel

Dimensionnement:

Hauteur utile : 4 m Linéaire : 60 m Largeur de fosse : 5 m

Section résultante : 33 m²

Vérification E/section < 250 kJ/m² : OK

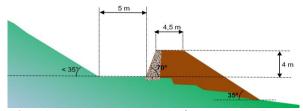


Figure 24 : dimensionnement fonctionnel du merlon projeté secteur de Fournel

Estimation financière :

Poste	Estimation Cubature	PU HT	Montant HT
Parement amont raidi en enrochement sec	450 m ³	110 €/m³	49500 €
Terrassement déblai/remblai	1600 m ³	10 €/m³	16000€
Topo/géotechnique	forfait	10000€	10000€
Maitrise d'œuvre	forfait	10000€	10000€
		Total HT	85500€
		Total TTC	102600€

V.3.6 Secteur des Sorbiers en aval des merlons existants

Ouvrage proposé :

Il est simplement proposé d'améliorer les merlons existants en travaillant leur géométrie. Le but sera d'étendre leurs fosses et de raidir les parements amont avec un enrochement sec.

Implantation projetée :

Identique aux merlons existants

Dimensionnement:

Hauteur utile : 4 m Linéaire : 180 m et 100 m Largeur de fosse : 5 m Section résultante : 30 m²

Vérification E/section < 250 kJ/m² : OK

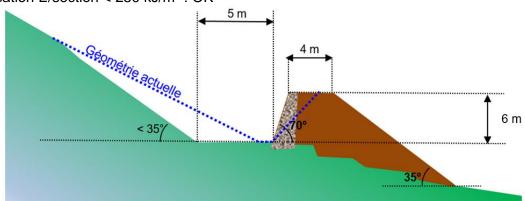


Figure 25 : dimensionnement fonctionnel de la reprise des merlons des Sorbiers

Estimation financière :

Poste	Estimation Cubature	PU HT	Montant HT
Parement amont raidi en enrochement sec	2000 m ³	110 €/m³	220000€
Terrassement déblai et évacuation	8000 m ³	10€/m³	80000€
Торо	forfait	5000€	5000€
Maitrise d'œuvre	forfait	10000€	10000€
Total HT			315000 €
Total TTC			378000 €

V.3.7 Secteur des Sorbiers (à l'Est de la zone protégée par des merlons)

Ouvrage proposé :

Les énergies et les hauteurs attendues sont très élevées sur ce secteur. L'aménagement d'un merlon est la seule alternative. Toutefois, avec de telles hauteurs, un parement raidi en enrochement sec ne pourra pas être réalisé (stabilité limitée à 6 m de hauteur. Au-delà l'enrochement doit être bétonné, ou le parement doit passer en remblais technique). Il est proposé d'aménager une large fosse afin de « casser » les énergies et les rebonds de manière à pouvoir procéder à un enrochement classique et éviter des surcoûts considérables. Le site est relativement propice à un tel ouvrage (peu de pente, pas de ligne HT, espace suffisant). L'ouvrage permettra en outre de gérer les éventuels et rares écoulements torrentiels provenant de l'amont en piégeant les matériaux dans la fosse, assurant ainsi la continuité de protection déjà fonctionnelle des deux merlons existants.

Implantation projetée :



Figure 26 : implantation projetée d'un merlon secteur des Sorbiers Est

Dimensionnement:

Hauteur utile : 5 m Linéaire : 150 m

Largeur de fosse : 10 m Section résultante : 42 m²

Vérification E/section < 250 kJ/m² : non respecté mais compensé par la largeur de la fosse

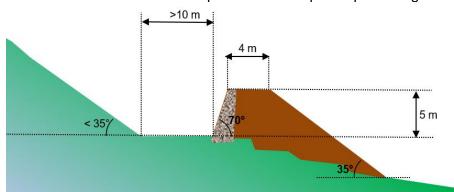


Figure 27: dimensionnement fonctionnel d'un merlon sur Les Sorbiers Est

Estimation financière :

Poste	Estimation Cubature	PU HT	Montant HT
Parement amont raidi en enrochement sec	1500 m ³	110 €/m³	165000 €
Terrassement déblai/remblai	5000 m ³	10 €/m³	50000€
Terrassement déblai et évacuation	3000 m ³	10 €/m³	30000 €
Topo/géotechnique	forfait	20000€	20000€
Maitrise d'œuvre	forfait	15000€	15000€
		Total HT	280000€
		Total TTC	336000 €

V.4 Synthèse / priorité / estimation financière

Le tableau suivant récapitule la synthèse de priorisation (cf § VI.5) et les coûts estimés des ouvrages envisagés.

NB : <u>les prix donnés à ce stade restent très indicatifs</u>. En effet, ils ne considèrent pas les aspects fonciers, le contexte des marchés publics des travaux, les contraintes géotechniques, etc. Par ailleurs les quantités estimées sont approximatives compte tenu de dimensionnements réalisés sans levés topographiques.

Enfin, les montants de travaux de terrassement donnés ici correspondent à la « fourchette haute » constatée sur nos marchés actuels.

Priorisation d'intervention proposée selon le § IV.5	Secteur	Estimation financière
	Le Mont - Brigagier	271000 €
Forte	Les Sorbiers Est	280000€
	Les Sorbiers (merlons) *2	315000 €
	Total HT priorité forte	866000€
	Le Sorbier / Les Charbonniers	463000 €
Moyenne	A Lourme	115000 €
	Ongrie – Les Faures	210000€
	Total HT priorité moyenne	788000 €
Faible	Fournel	85500 €
	Total HT priorité faible	85500 €
	Total HT toutes priorités	1 739 500 €

² Les Sorbiers (merlons) : les travaux sur ce secteur apparaissent en priorité élevée du fait de l'opportunité de travaux voisins sur Sorber Est qui seront combinés à des travaux sur la forêt domaniale de l'Echet d'eau Blanc.

VI Conclusion

Cette étude confirme une exposition d'enjeux bâtis aux chutes de blocs qui avait déjà été mise en évidence dans les études antérieures et notamment sur les cartes des aléas.

Les modélisations effectuées permettent d'évaluer le risque avec une approche « calculatoire » qui offre l'avantage de permettre un dimensionnement des ouvrages de protection.

Le risque est variable et à nuancer suivant la configuration topographique des sites, le nombre d'enjeux exposés, l'historicité des phénomènes, etc. Aussi l'étude propose différents niveaux de priorités en fonction des contextes pour les protections envisagées.

Elle conseille de s'orienter, lorsque le site s'y prête, vers des dispositifs de type merlon pareblocs qui disposent d'une efficacité certaine, sont pérennes et demandent peu ou pas d'entretien.

VII Annexes

VII.1 Annexe 1 : résultats bruts trajectographiques 2D

Les paragraphes suivants donnent les résultats bruts de Propag par profil. On y retrouvera par ordre d'apparition :

- Les modélisations sur le profil général ;
- Les hauteurs de passages sur le profil général ;
- Les arrêts sur le profil général ;
- Les énergies et hauteurs de passage au droit d'un point d'analyse correspondant soit à un ouvrage existant (cas des Sorbiers), soit à la zone de projet d'un futur ouvrage;
- Les énergies et hauteurs de passage au droit d'un second point d'analyse correspondant au premier enjeux du profil (généralement du bâti).

VII.1.1 Profil 1

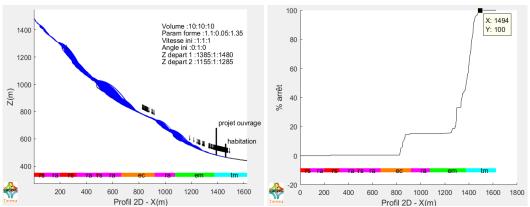


Figure 28 : résultats sur profil général sur P1

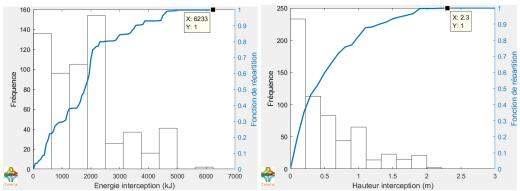


Figure 29 : résultats sur point d'analyse « projet ouvrage » sur P1

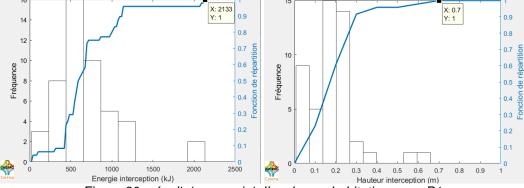


Figure 30 : résultats sur point d'analyse « habitation » sur P1

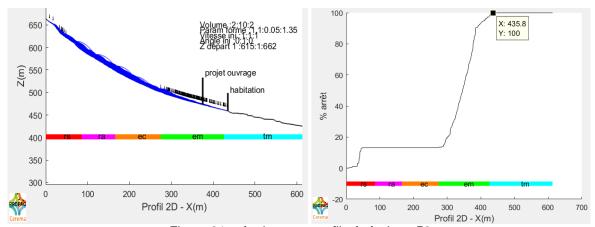


Figure 31 : résultats sur profil général sur P2

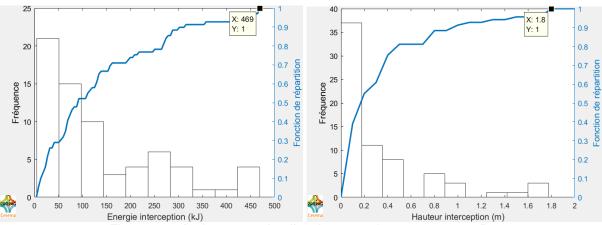


Figure 32 : résultats sur point d'analyse « projet ouvrage » sur P2

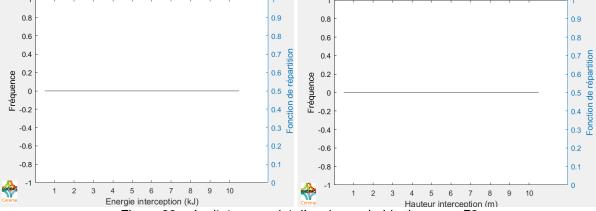


Figure 33 : résultats sur point d'analyse « habitation » sur P2

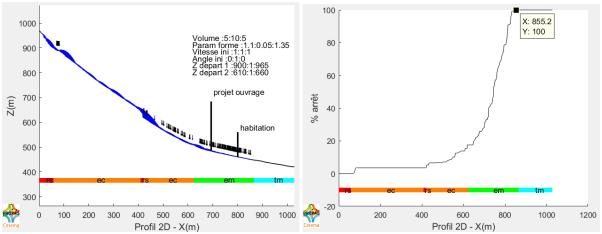


Figure 34 : résultats sur profil général sur P3

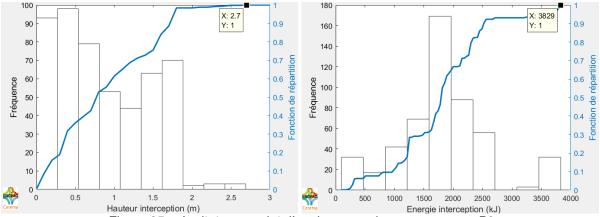


Figure 35 : résultats sur point d'analyse « projet ouvrage » sur P3

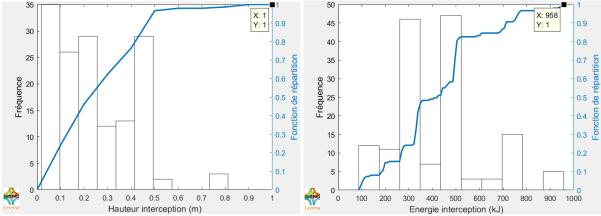


Figure 36 : résultats sur point d'analyse « habitation » sur P3

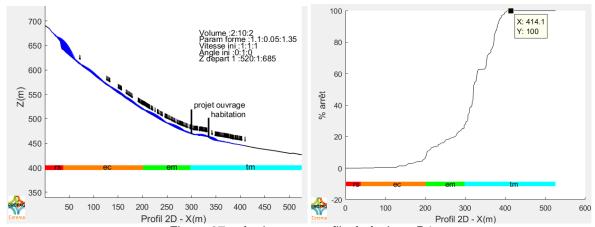


Figure 37 : résultats sur profil général sur P4

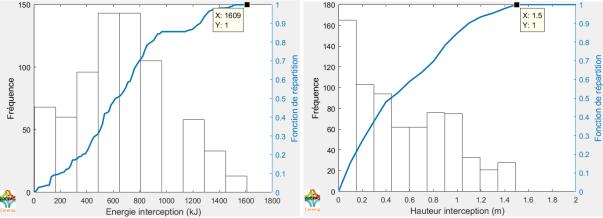


Figure 38 : résultats sur point d'analyse « projet ouvrage » sur P4

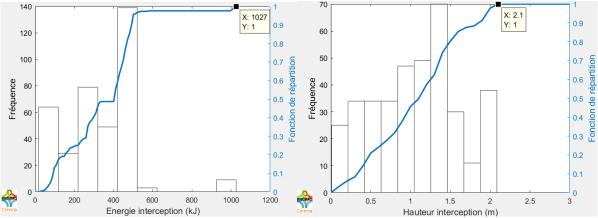


Figure 39 : résultats sur point d'analyse « habitation » sur P4

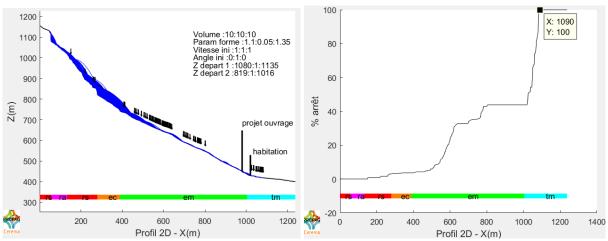


Figure 40 : résultats sur profil général sur P5

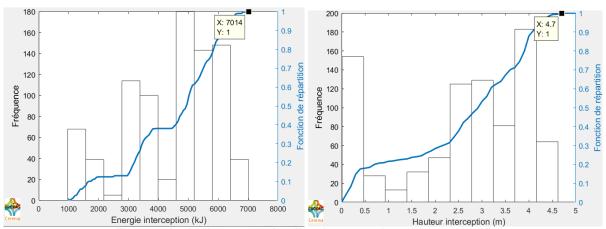


Figure 41 : résultats sur point d'analyse « projet ouvrage » sur P5

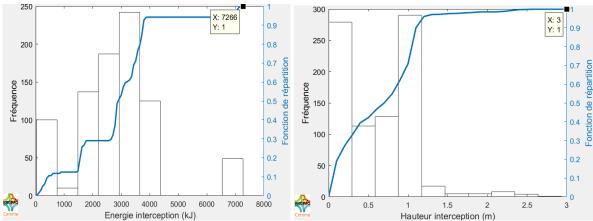


Figure 42 : résultats sur point d'analyse « habitation » sur P5

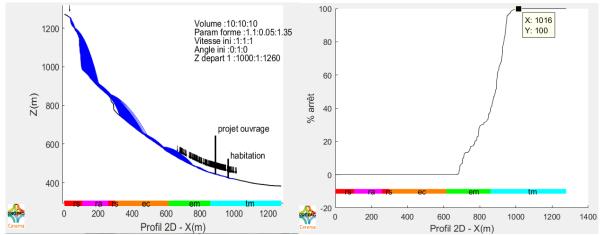


Figure 43 : résultats sur profil général sur P6

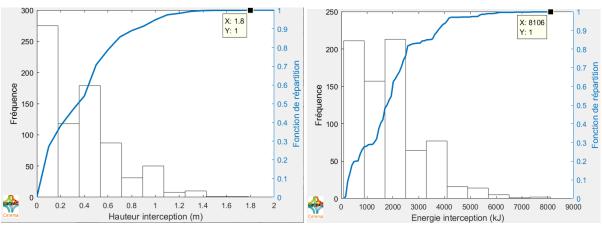


Figure 44 : résultats sur point d'analyse « projet ouvrage » sur P6

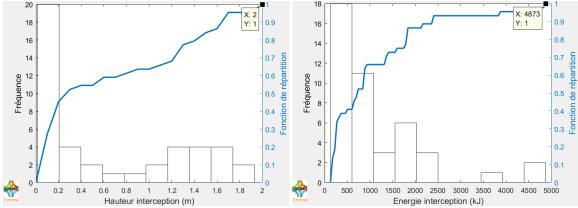


Figure 45 : résultats sur point d'analyse « habitation » sur P6

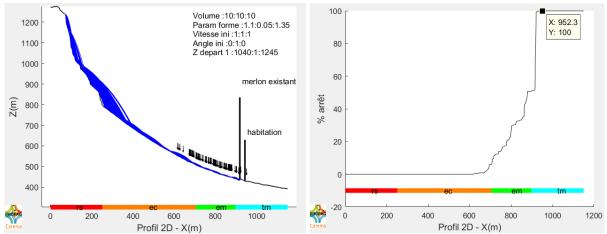


Figure 46 : résultats sur profil général sur P7

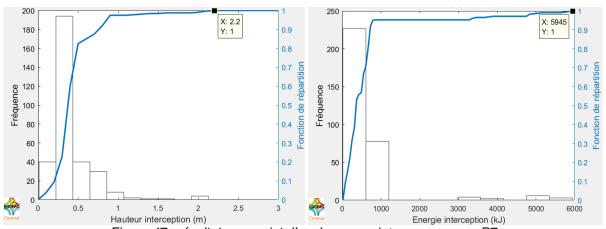


Figure 47 : résultats sur point d'analyse « projet ouvrage » sur P7

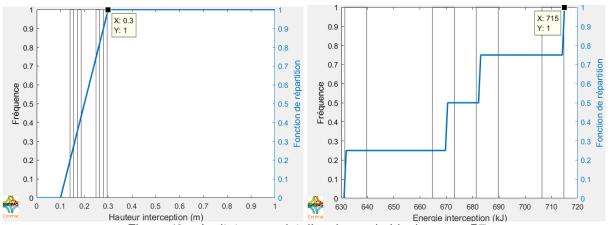


Figure 48 : résultats sur point d'analyse « habitation » sur P7

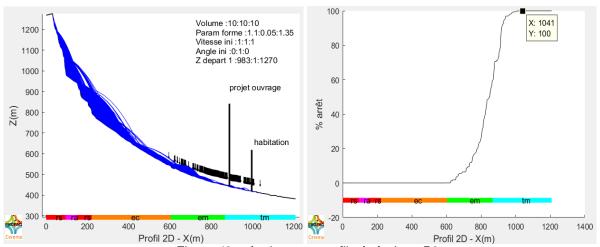


Figure 49 : résultats sur profil général sur P8

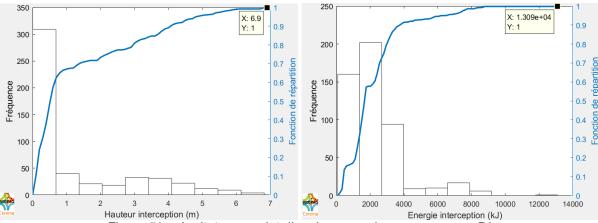


Figure 50 : résultats sur point d'analyse « projet ouvrage » sur P8

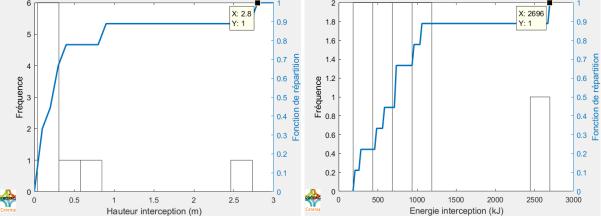


Figure 51 : résultats sur point d'analyse « habitation » sur P8

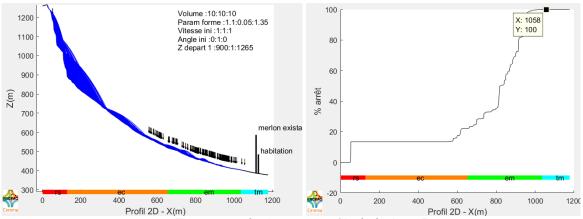


Figure 52 : résultats sur profil général sur P9

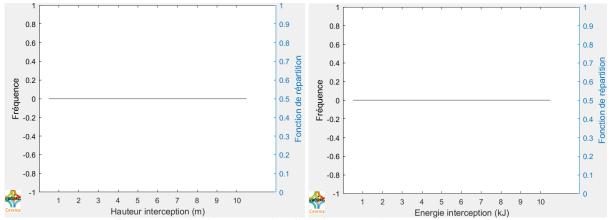


Figure 53 : résultats sur point d'analyse « projet ouvrage » sur P9

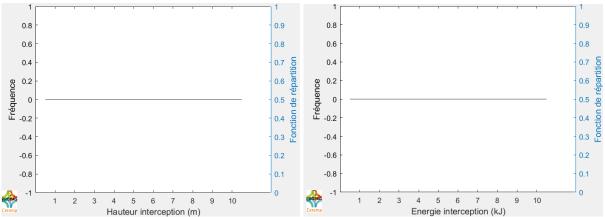


Figure 54: résultats sur point d'analyse « habitation » sur P9

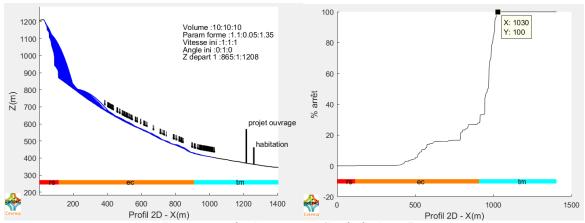


Figure 55 : résultats sur profil général sur P10

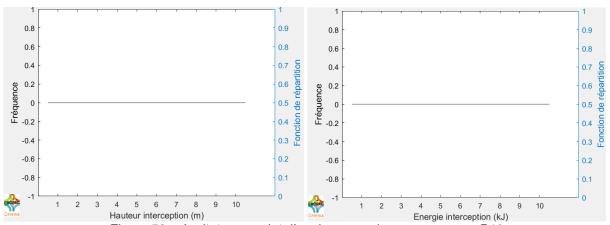


Figure 56 : résultats sur point d'analyse « projet ouvrage » sur P10

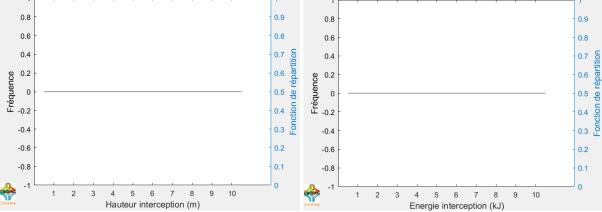


Figure 57 : résultats sur point d'analyse « habitation » sur P10

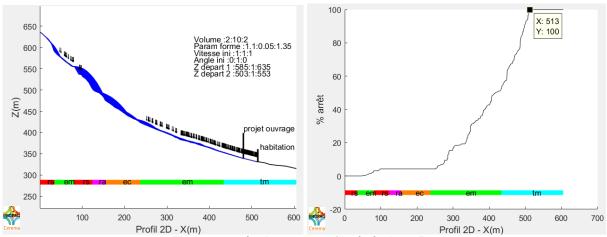


Figure 58 : résultats sur profil général sur P11

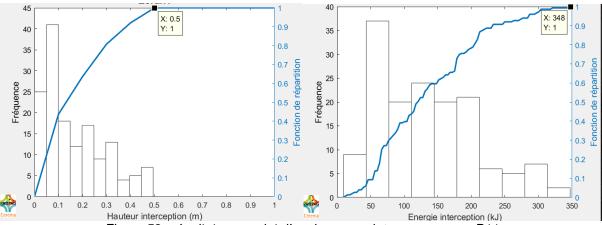


Figure 59 : résultats sur point d'analyse « projet ouvrage » sur P11

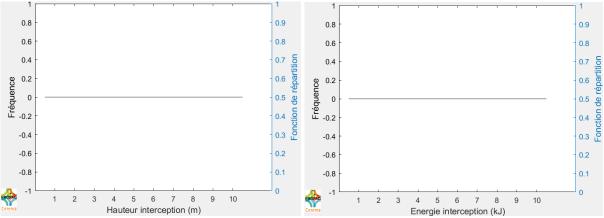
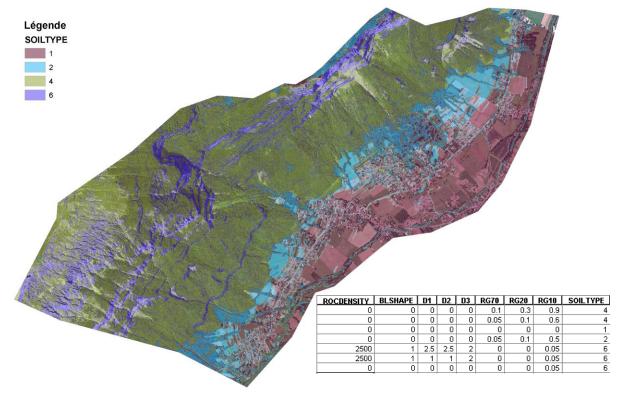


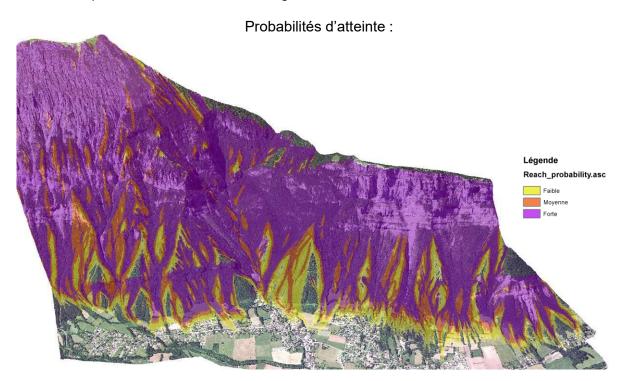
Figure 60 : résultats sur point d'analyse « habitation » sur P11

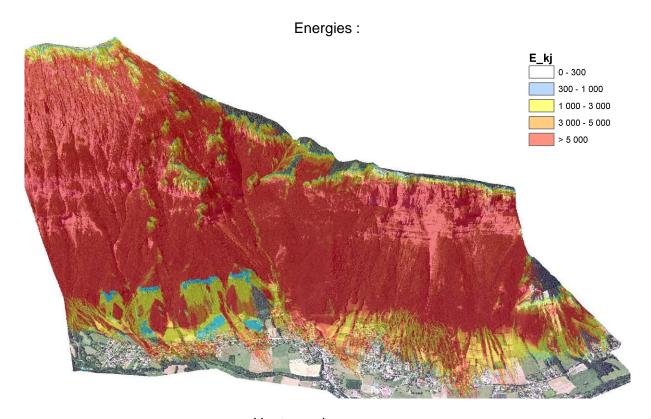
VII.2 Annexe 2 : résultats trajectographiques 3D (RF3D)

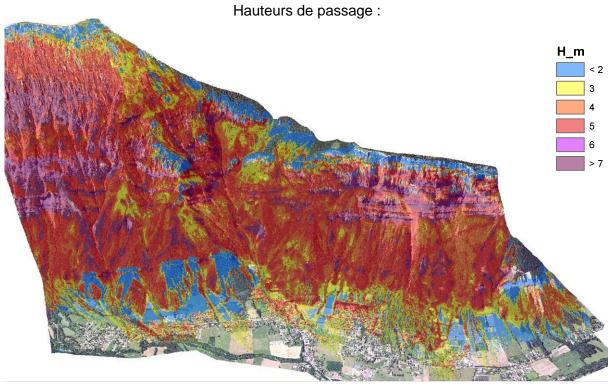
Données d'entrées :



<u>Avertissement</u>: les résultats correspondant aux hauteurs de passage et aux énergies sont donnés à titre indicatif et de comparaison des modélisations 2D mais ne peuvent pas être retenus pour un dimensionnement d'ouvrage car ils sont restitués sous forme de classes. Par ailleurs, les valeurs H et E sur les trajectoires extrêmes ne sont pas à considérer car elles correspondent à des artéfacts de logiciel.







Agence RTM Alpes du Nord Office National des Forêts Service RTM de l'Isère 9 Quai Créqui 38 000 Grenoble





