

Proposition de protection contre les chutes de bloc

Groslée – St-Benoit



Établi par :

Agence RTM Alpes du Nord
Service de Restauration des Terrains en Montagne (RTM) de la Savoie
17 rue des Diables Bleus
CS 92628
73026 Chambéry Cedex
Tel : 04.79.69.96.05
Mail : rtm.chambery@onf.fr

Date du dernier enregistrement	Désignation du document	Numéro de devis	Nombre de pages
21/02/2025	Proposition de protection contre les chutes de bloc – Groslée St Benoit	N° DEP-24-889103-00565222 / 155735	43

	Nom Prénom	Fonction
Auteur	DROUET Florent	Géologue (RTM Isère)
Auteur	LOUBET Rémi	Géologue (RTM Savoie)
Validé par	GEAY Thomas	Responsable du Pôle Expertise (RTM Savoie)

Suivi des versions :

Version	Date	Observations
V1	06/02/2025	Version provisoire
V2	21/02/2025	Version finale

Photo de couverture : Vue générale des hameaux exposés 2024-09-16 (RTM73)



Sommaire

I.	Préambule	4
1.	Contexte et objectifs	4
2.	Aléas étudiés et périmètre d'étude.....	4
3.	Données consultées	4
II.	Diagnostic physique.....	5
1.	Géologie et géomorphologie	5
2.	Topographie des versants	7
3.	Repérage des zones de départ.....	12
II.3.1.	Secteur du hameau des Bonards	12
4.	Secteur du hameau des Champs.....	16
II.4.1.	Secteur de Glandieu	17
III.	Diagnostic des ouvrages existants.....	19
1.	Ouvrage de protection passive au hameau des Bonards	19
2.	Ouvrage de protection passive au hameau du Champ	21
IV.	Simulations de propagation.....	22
IV.1.1.	Profils et scénario retenus.....	22
IV.1.2.	Méthodologie des aires normalisées et lignes d'énergies.....	22
IV.1.3.	Simulations trajectographiques 3D.....	26
IV.1.4.	Simulations trajectographiques 2.5 D.....	30
V.	Proposition de travaux de protection.....	33
1.	Avantages-inconvénients.....	35
2.	Contraintes physiques	35
3.	Les écrans pare-blocs	37
V.3.1.	Dimensionnement de la hauteur	38
V.3.2.	Recouvrements.....	39
4.	Les merlons pare-blocs	39
5.	Estimatif financier par solutions de travaux.....	40
6.	Priorisation des travaux	42

I. Préambule

1. Contexte et objectifs

La commune a fait appel au service RTM (Restauration de Terrains de Montagne) de la Savoie afin d'évaluer l'état actuel du risque de chute de blocs dans trois de ses hameaux. Elle désire ainsi poursuivre l'expertise initiée par le « porté à connaissance » de l'ONF-RTM du 14 juin 2018, ainsi que par l'analyse préliminaire réalisée par le BRGM en 2024.

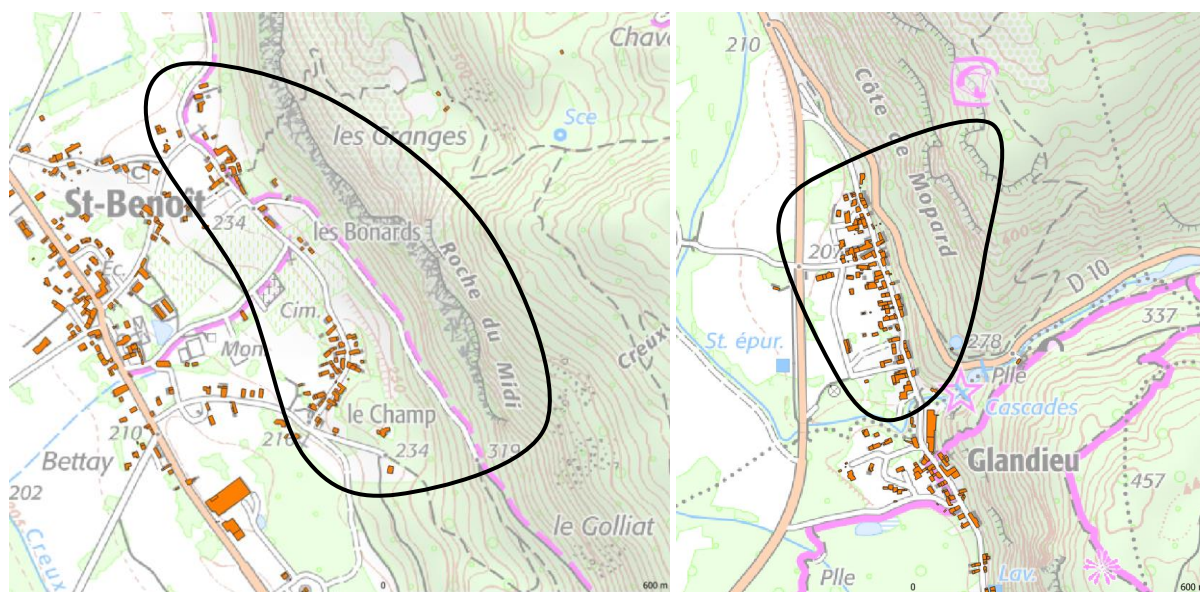
L'objectif de cette étude est de réaliser une hiérarchisation des secteurs vulnérables, en fonction des aléas identifiés et des dispositifs de protection déjà en place. Par ailleurs, la commune souhaite obtenir un avis détaillé sur l'état de ces ouvrages de protection existants. Enfin, des propositions de mesures correctives seront élaborées et présentées au stade du dimensionnement fonctionnel, en particulier pour les secteurs les plus exposés aux risques de chutes de blocs.

2. Aléas étudiés et périmètre d'étude

Cette étude porte uniquement sur l'aléa chute de blocs et sur les emprises présentées ci-après. L'enjeu pris en compte est le bâti.

Aucune reconnaissance n'a été effectuée en dehors de cette zone.

Cette étude ne porte pas sur la sécurité des usagers des routes communales et des routes départementales, ni sur l'exposition des piétons sur les chemins de randonnées.



Doc 1. Localisation des périmètres d'étude sur fond scan25 et Bâtiment IGN

3. Données consultées

Les principaux documents consultés dans le cadre de cette étude sont rappelés ci-dessous :

- Cartes topographiques de l'IGN,
- Orthophotographies de l'IGN (versions jusqu'à 2020),
- Lidar HD de l'IGN,
- Archives RTM (BDRTM, avis, dossiers travaux)

- Plan de Prévention des Risques de la commune
- *Étude de protection contre les éboulements rocheux, falaise des Bonards et Du Champ*, CETE 1988
- *Note technique examen de la falaise du Champ et définition des travaux de protection contre les éboulements rocheux*, CETE 1990
- *Chute de rochers au lieu-dit Le Champs* – compte rendu de visite, DDE de l'Ain 1997.
- *Analyse de propagation de blocs rocheux et dimensionnement d'un ouvrage de protection*, zone du Champ, CETE 1999
- *Étude et cartographie des aléas* – Rapport technique – Commune de Groslée St Benoit, ONF-RTM, Juin 2018
- *Analyse préliminaire du risque rocheux à hauteur des hameaux Bonards et du Champ sur la commune de Groslée-Saint-Benoit*, BRGM/RP-73446-FR, 20 Mars 2024

II. Diagnostic physique

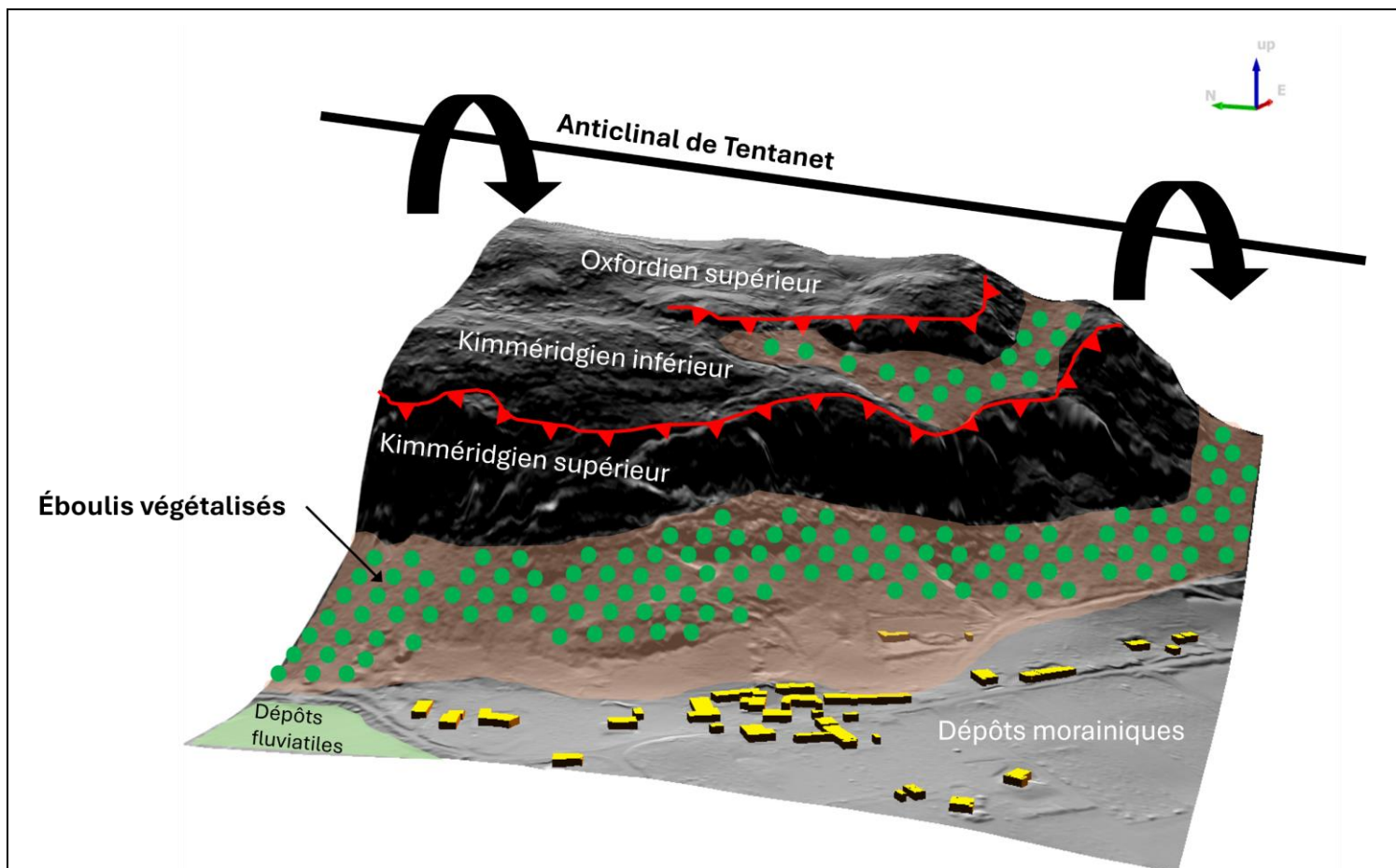
1. Géologie et géomorphologie

La zone d'étude se situe dans la région géographique du « Bas Bugey », faisant partie du Jura méridional, une zone caractérisée par des plis géologiques du Jura externe. Ce secteur se distingue par un ensemble de plis, avec des anticlinaux en relief et des synclinaux en creux. Ces structures sont généralement serrées et souvent interrompues par des failles dans la même direction, créant ainsi des lignes de relief. Les reliefs qui dominent le territoire de la commune sont constitués de formations sédimentaires datant du Jurassique moyen, qui forment un anticlinal.

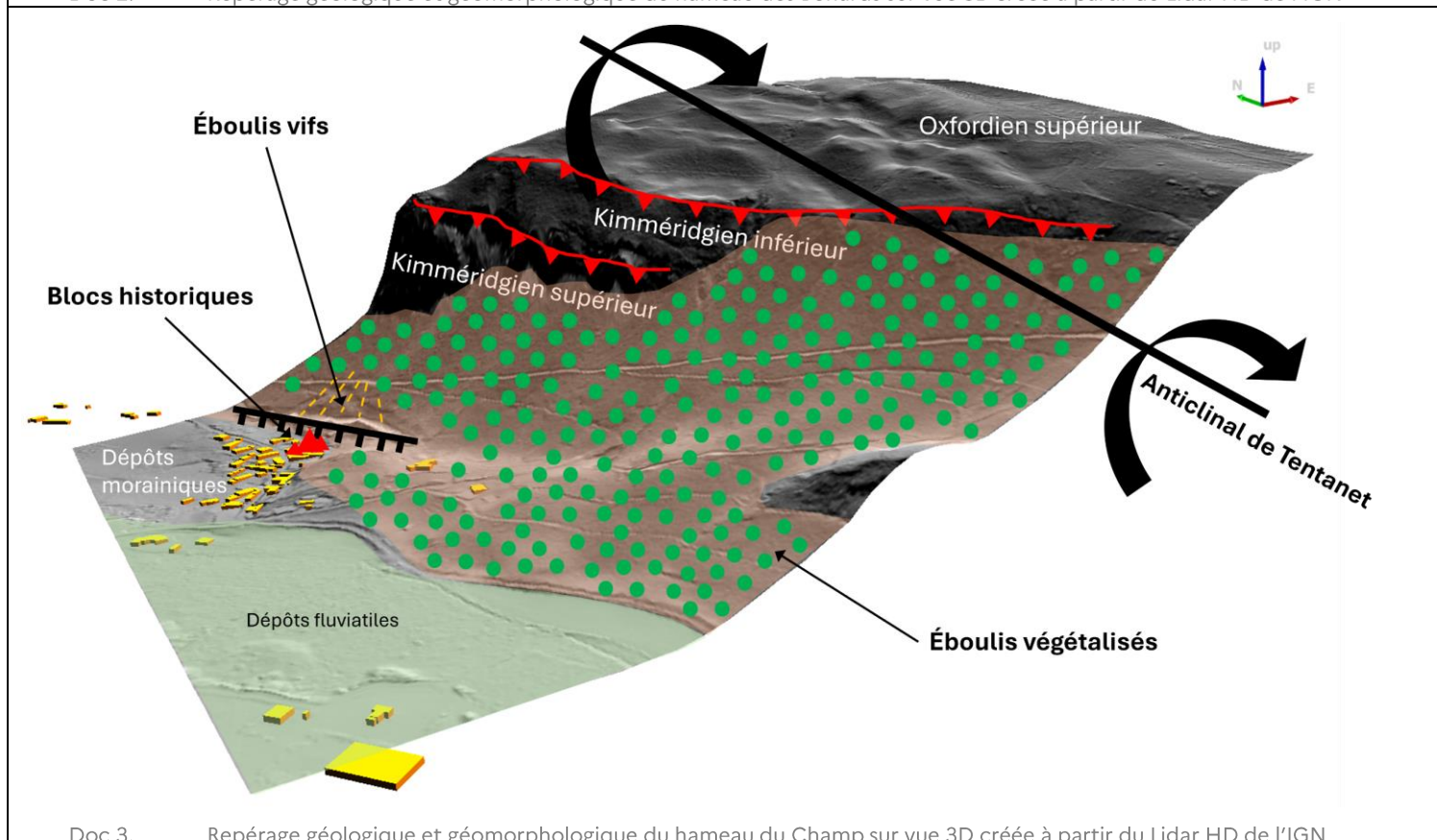
Au sommet, entre la Montagne de Saint-Benoit et la Montagne de Tentanet, on trouve des calcaires marneux et des marnes, provenant des formations de l'Oxfordien moyen, du Bathonien et du Bajocien, relativement peu compacts et stratifiés. De part et d'autre de cette ligne de crête, les versants sont issus de l'Oxfordien supérieur, qui forme les principales barres rocheuses de la commune. Ce sont des calcaires plus ou moins lités, avec des strates marneuses localisées, et parfois des calcaires pseudo-lithographiques à la base, plus compacts.

Dans la zone de Groslée, des calcaires fins du Portlandien affleurent près du Port, tandis que le Château Vieux est situé sur un sol marno-calcaire, parfois gréseux, du Berriasien. La colline de la Charvette est entourée de formations molassiques du Miocène, recouvertes de dépôts glaciaires (moraines). Les séries calcaires ont donné lieu à des éboulis qui recouvrent la partie basse des versants, sur lesquels une végétation dense se développe jusqu'au pied des parois.

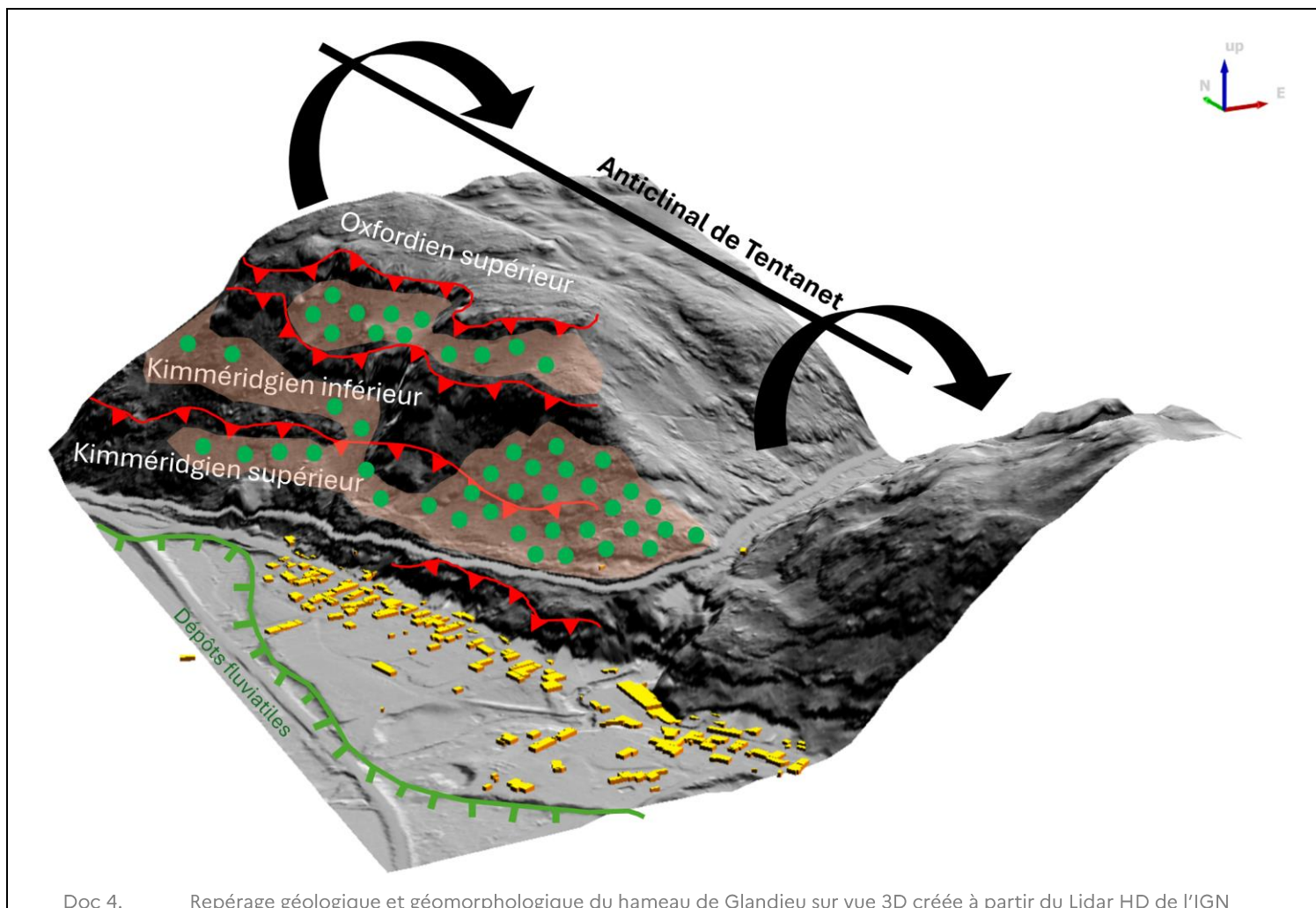
Enfin, la plaine du Rhône est recouverte d'alluvions fluviales récentes, datant de la période post-würmienne. Ces formations présentent une granulométrie variée.



Doc 2. Repérage géologique et géomorphologique du hameau des Bonards sur vue 3D créée à partir du Lidar HD de l'IGN



Doc 3. Repérage géologique et géomorphologique du hameau du Champ sur vue 3D créée à partir du Lidar HD de l'IGN



Doc 4. Repérage géologique et géomorphologique du hameau de Glandieu sur vue 3D créée à partir du Lidar HD de l'IGN

Nous remarquons les enjeux habités sont pour la plupart localisés dans des zones de transition entre zone d'éboulis et zone de dépôt morainique. En fonction des versants, un ou plusieurs escarpements (en rouge sur les schémas) correspondant aux différentes corniches sédimentaires du Jurassique dominent ces mêmes enjeux habités.

2. Topographie des versants

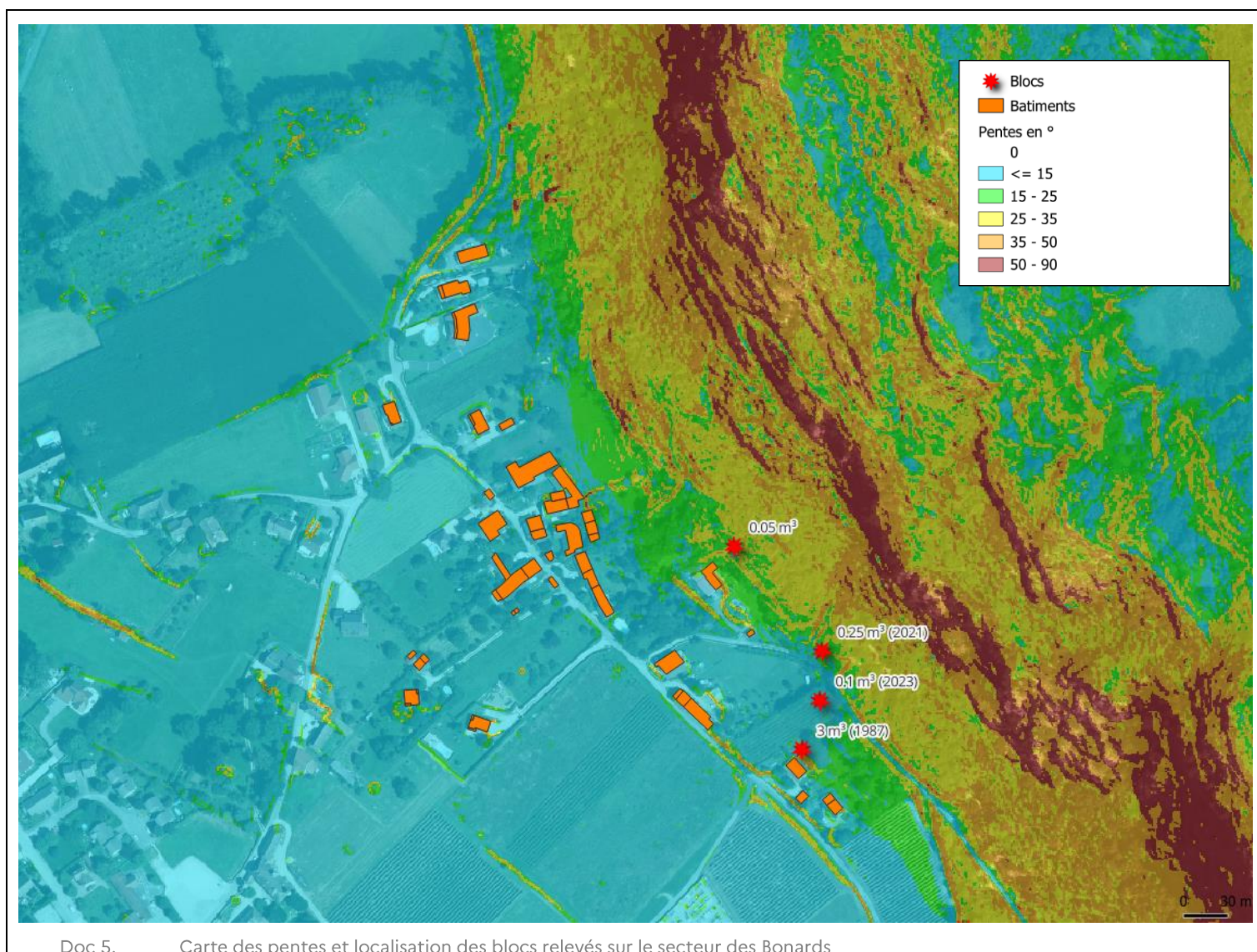
Lorsque l'on analyse les pentes du versant (nous le faisons ici avec un modèle numérique de terrain issu des relevés Lidar HD IGN), il est intéressant de dégager plusieurs classes de pente de manière à distinguer les zones de départ, les zones de propagation et les zones d'arrêt. Cette analyse servira ensuite de support pour paramétrer les sols dans le modèle trajectographique :

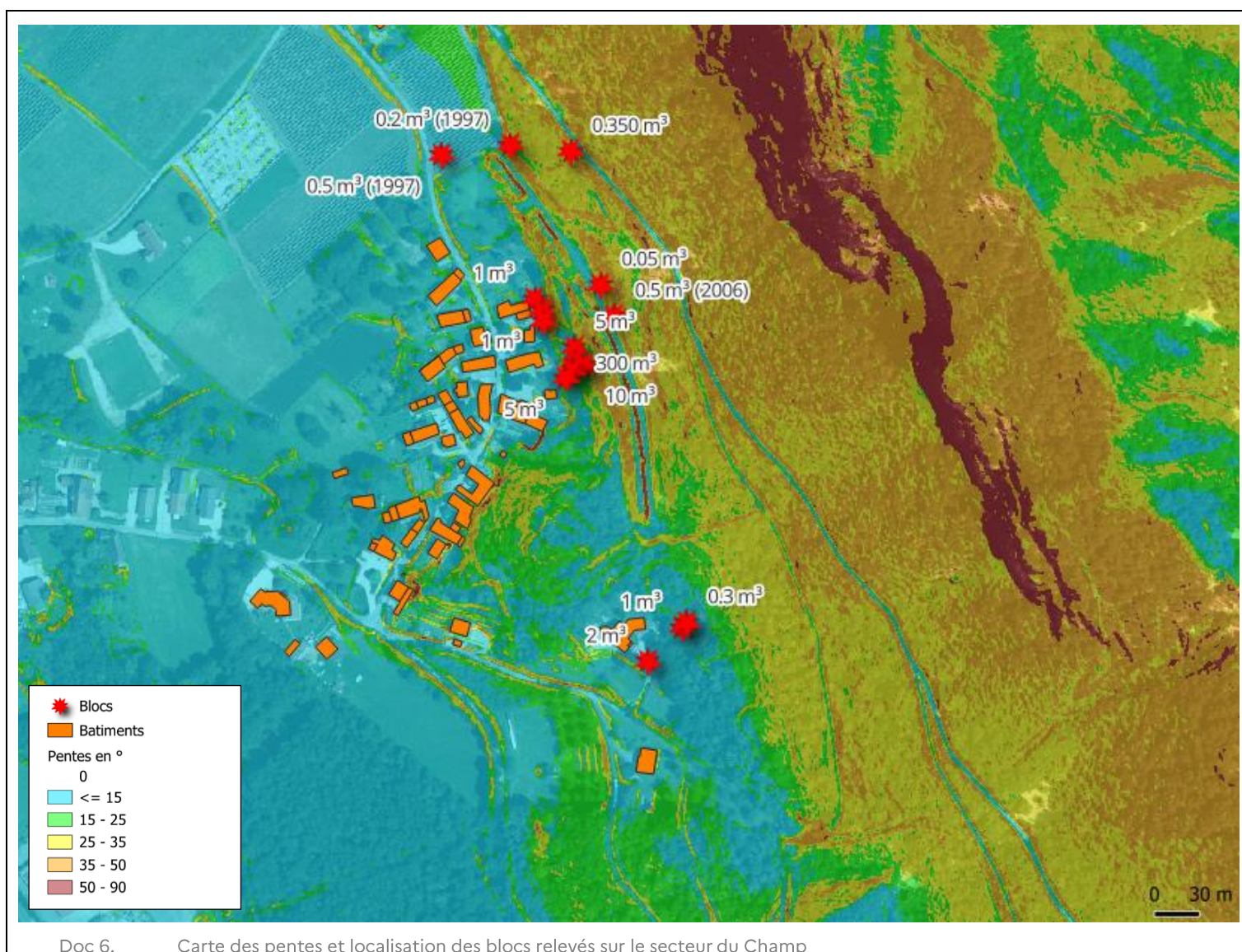
- Les zones de terrain supérieures à 50° : Elles sont à l'origine de la plupart des éboulements et des chutes de blocs isolées : cela correspond sur ces versants aux différentes corniches du Jurassique. Elles constituent les principales zones de départ des blocs.
- Les zones de terrain comprises entre 35 et 50° : ces zones sont encore susceptibles de produire des chutes de blocs par remobilisation mais elles seront surtout à l'origine de leur accélération. Au-dessus des hameaux de la zone d'étude, cela correspond aux zones où le rocher est sub-affleurant à proximité des escarpements et sur les vires. Dans ces pentes la végétation est sporadique elle n'influe que très peu sur la propagation des blocs.
- Les zones comprises entre 25 et 35° : Dans cette classe de pente seule la remobilisation de blocs déjà éboulés apparaît probable. Les blocs vont avoir tendance à ralentir. Il

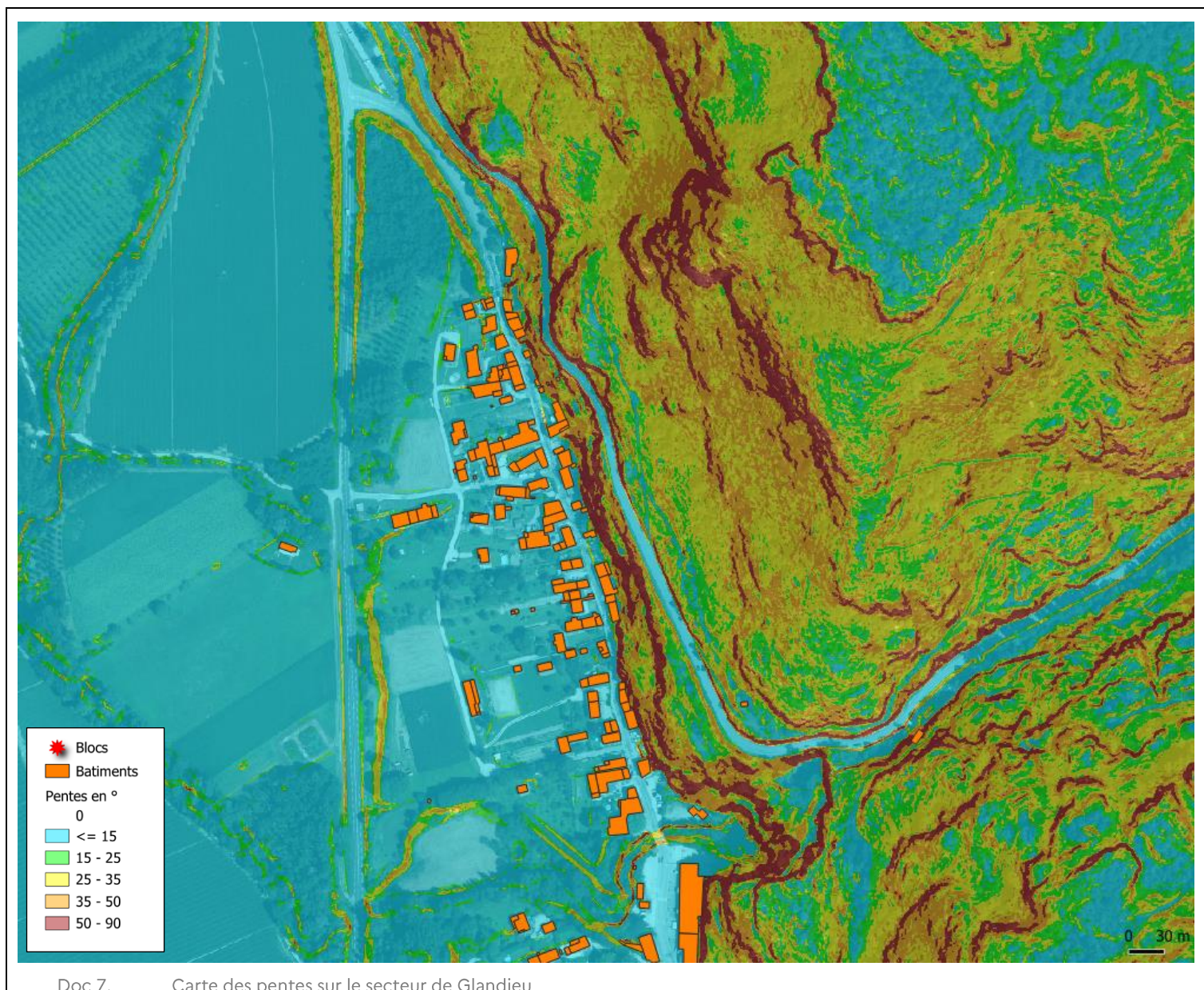
s'agit ici des éboulis décrits sur les cartes géomorphologiques. La végétation joue ici un rôle certain dans le ralentissement des blocs. Plus ces zones sont développées au-dessus des hameaux plus moins la propagation jusqu'aux enjeux apparaît probable.

- Les zones comprises entre 15 et 25° : il s'agit des principales zones d'arrêt des blocs. Cela correspond au pieds de zone d'éboulis. Elles apparaissent bien végétalisées ou, au contraire, sous forme de prairie. Dans les deux cas, le sol retenu pour le paramétrage sera peu compact. Lors des reconnaissances de terrain c'est sur ces gammes de pente que nous avons relevé les principaux blocs éboulés.
- Les zones inférieures à 15° : si elles sont suffisamment longues, l'arrêt des blocs est certain. Elles correspondent aux zones de dépôt morainiques, alluviaux, aux routes et aux jardins des habitations.

Ces différentes zones sont représentées sur les figures ci-dessous :







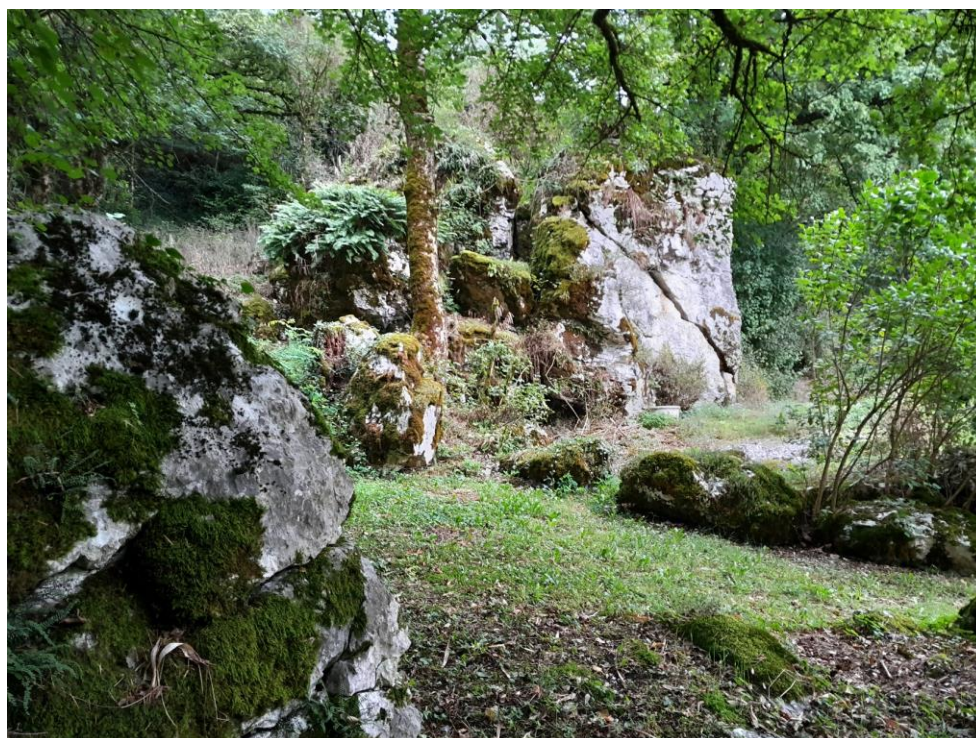
Lors de nos reconnaissances, plusieurs blocs arrêtés dans les versants ont pu être observés en plus des blocs historiques déjà relevés. Ces blocs sont localisés sur la figure ci-dessus.

La présence de ces blocs permet :

- D'évaluer l'activité du site, c'est-à-dire la fréquence des évènements : il y a peu ou pas d'activité courante : Nous avons relevé qu'un bloc qui semble très récent juste sous la piste forestière en amont de l'extrémité Nord du merlon (cf Doc 8). C'est ce versant en amont du Hameau du Champ qui semble le plus actif.
- De caler les variables du modèle trajectographique : elles seront ajustées pour que le point d'arrêt des blocs correspondent à ce que nous avons observé sur le terrain.
- D'avoir une idée de l'historique des atteintes : bien que le pied de versant ait été remodelé par l'homme lors de la création du merlon, ou plus tôt encore lors de l'aménagement des jardins, certains gros blocs présents proviennent manifestement d'anciennes chutes de blocs. Au cœur du hameau du Champ, un gros bloc de plusieurs centaines de mètres cube et ses voisins, de plusieurs dizaines de mètres cubes, témoignent d'une activité exceptionnelle.



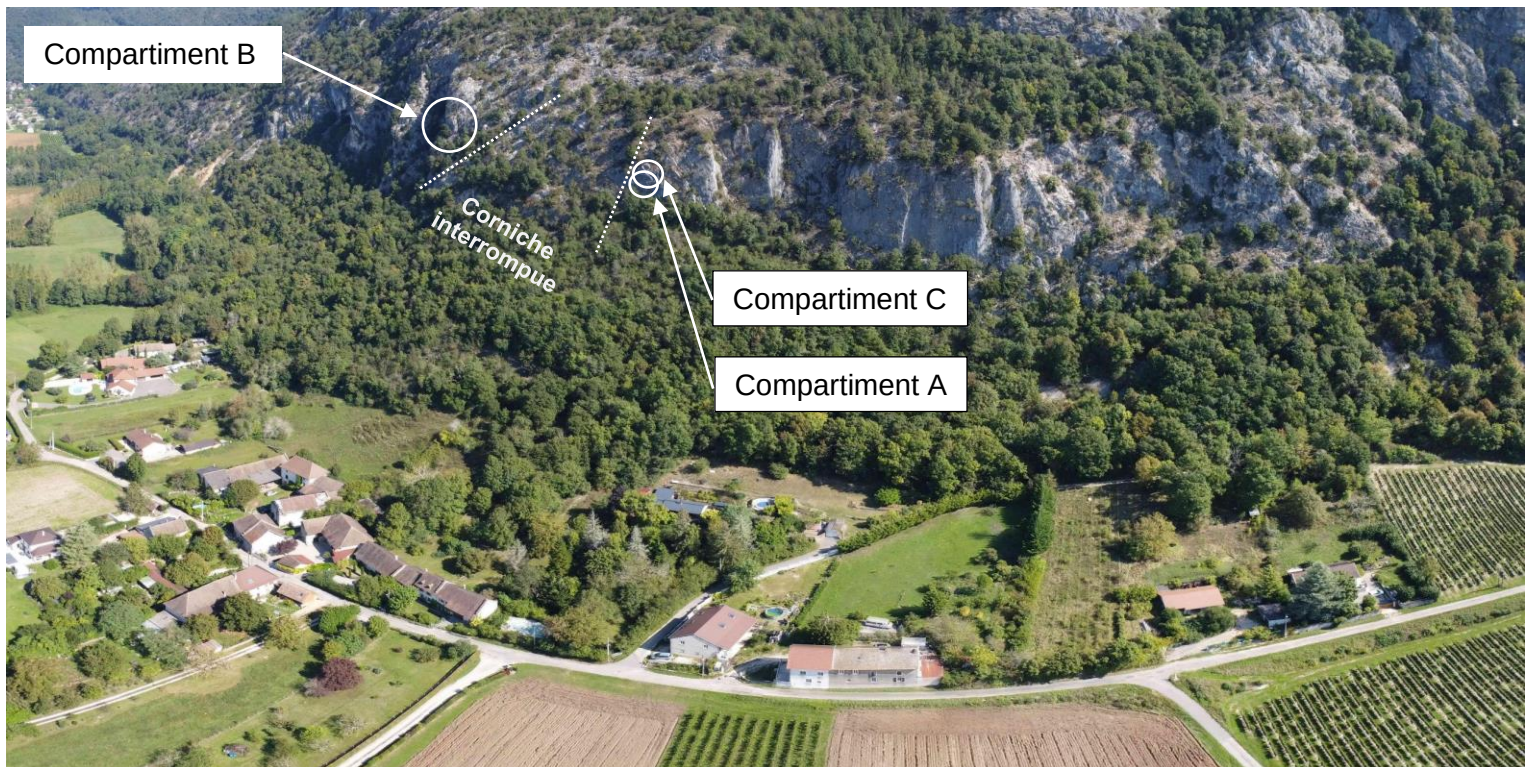
Doc 8. Vue du bloc récent observé en amont de l'extrémité Nord du merlon



Doc 9. Vue du bloc « historique » et ses voisins au cœur du hameau du Champ

3. Repérage des zones de départ

II.3.1. Secteur du hameau des Bonards



Doc 10. Vue aérienne du secteur des Bonards et localisation des compartiments repérés par le BRGM

Sur ce secteur la corniche rocheuse des calcaires Kimmeridgien inférieure apparaît comme la seule source rocheuse susceptible de produire des blocs d'après la carte des pentes vue ci-avant.

Les reconnaissances aériennes et les observations de terrain nous permettent d'observer que :

- l'escarpement apparaît massif, il forme par endroit des parois verticales et massives; c'est en lien avec le fait qu'il s'agit de calcaire récifaux et que les couches de calcaire sont à pendage unique vertical
- l'escarpement est interrompu par une zone bien moins raide ce qui permet le passage du chemin de randonnée ; Sur cette dernière section les pentes sont faibles, il n'y a pas on ne peut pas parler de paroi rocheuse mais plutôt d'affleurement, le départ et la propagation de bloc sur de longues distances apparaît improbable puisque l'énergie de départ est très faible.
- sur les zones les plus hétérogènes la corniche présente des dièdres, des zones surplombantes, et des écailles rocheuses.

Plusieurs compartiments rocheux repérés depuis le pied de versant font l'objet d'une attention particulière dans le rapport BRGM de Mars 2024. Dans le cadre de la présente étude, il a été convenu que nous allions plus loin dans la description de ces instabilités.

Compartment A :

Cette écaille de forme triangulaire présente en réalité un volume faible, de l'ordre de quelques mètres cubes. Le découpage en rive Sud n'est pas avéré. Sa position, juste à quelques mètres en amont d'une vire ne devrait pas lui conférer assez d'énergie pour se propager dans le versant en cas départ.



Doc 11. Vue en contre plongée du compartiment A

Compartiment B :

Le compartiment B est localisé à l'extrémité Nord de la zone d'étude au niveau d'un changement de direction de la corniche kimméridgienne. Il s'agit d'une masse rocheuse avoisinant la centaine de mètres cubes vraisemblablement issue de l'érosion de l'encaissant. A la faveur du changement de direction de la corniche, le pendage proche de la verticale apparaît tout de même favorable permettant à la masse de se reposer vers l'amont.

Les découpages arrière et latéraux sont nets, il est possible de pénétrer dans l'ouverture arrière, ouverte d'une trentaine de centimètres, probablement crée par dissolution d'une strate. Bien que sous-cavé, le pied constitue une éponte rocheuse franche, non fissurée.

Cette masse est une curiosité géologique du secteur, elle ne semble pas pouvoir partir par basculement mais par une éventuelle rupture du pied. Aucun indice ne laisse pour l'instant envisager un tel scénario que l'on pourrait qualifier d'exceptionnel, c'est-à-dire au-delà d'une référence centennale.



Vue aérienne vers le Sud de la masse B (au niveau du changement de direction de la corniche)



Vue rive gauche et vue du pied en contre-plongée



Vue de l'ouverture arrière



Vue de détail du pied



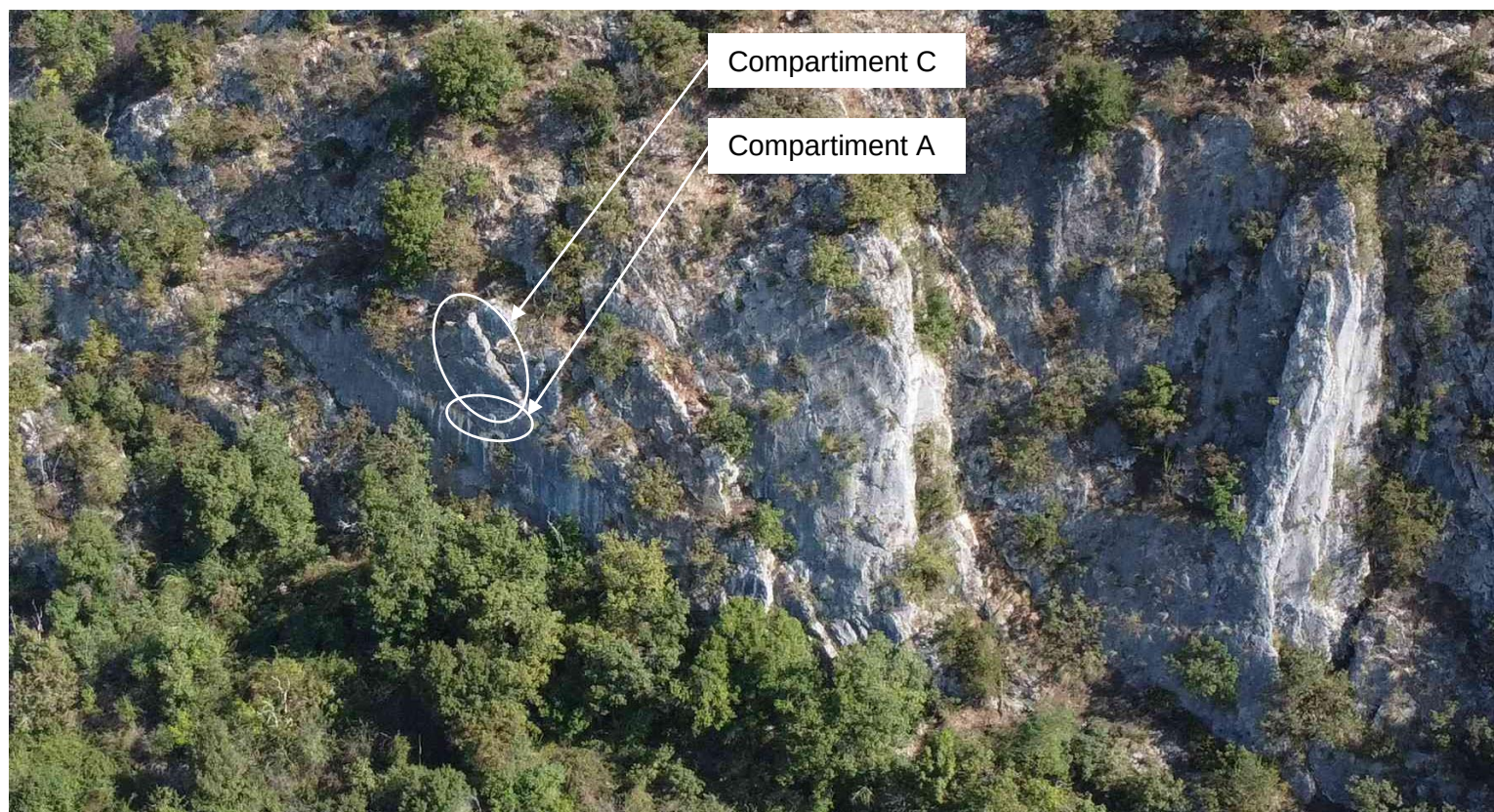
Vue aérienne vers le Nord

Doc 12. Vues de détails du compartiment B

Compartiment C :

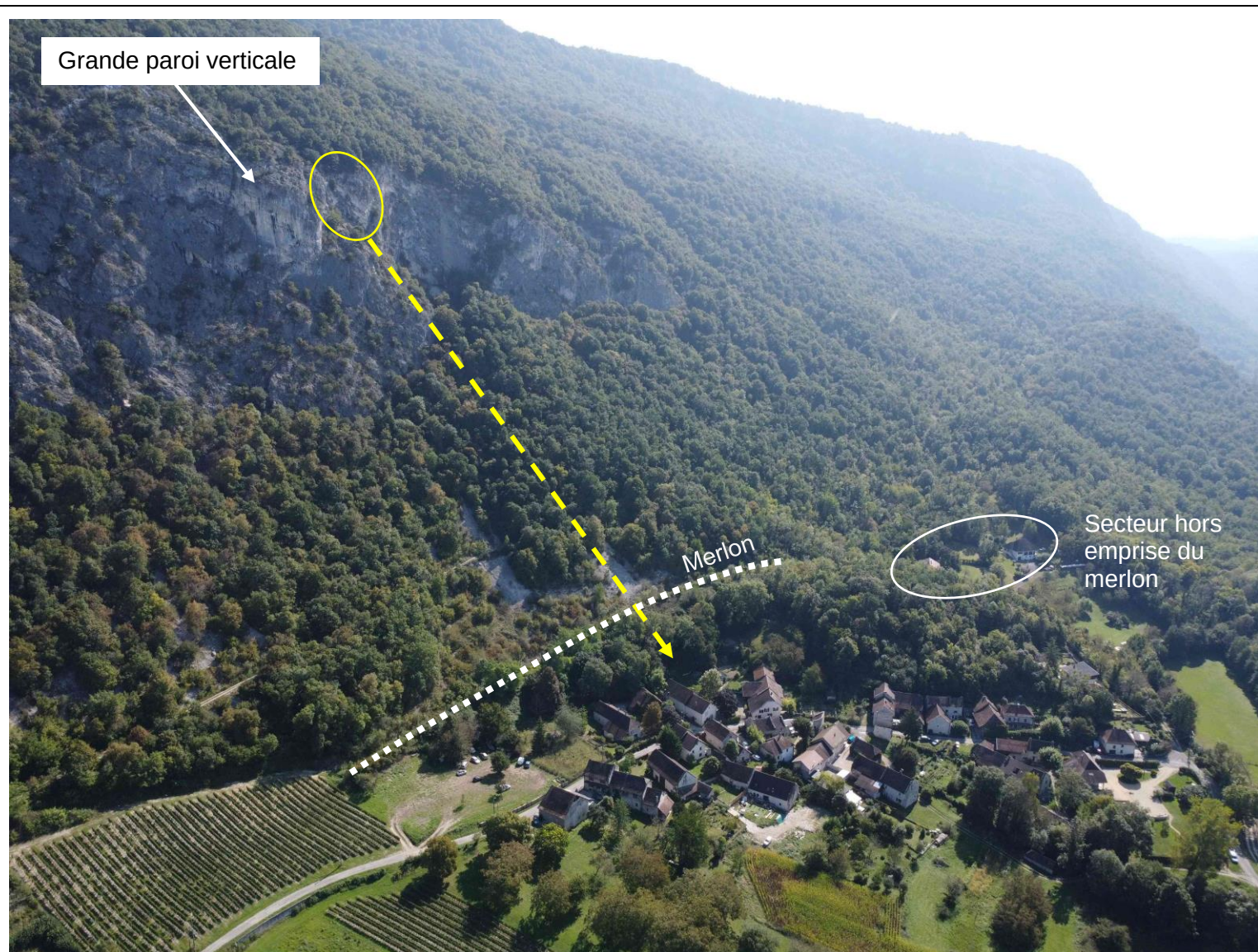
Le compartiment C est localisé juste en amont du compartiment A, il constitue une partie son encaissant. Comme pour le compartiment B, il s'agit d'une structure redressée avec une probable ouverture arrière créée par dissolution. La tête du compartiment revêt un découpage irrégulier avec des découpages en dièdre. Toutefois, les volumes en jeu sont assez réduits

(inférieurs à la dizaine de mètres cubes) et comme pour le compartiment A l'énergie de départ serait assez limitée.



Doc 13. Vue aérienne des compartiments A et C

4. Secteur du hameau des Champs



Doc 14. Vue aérienne du secteur du Champ

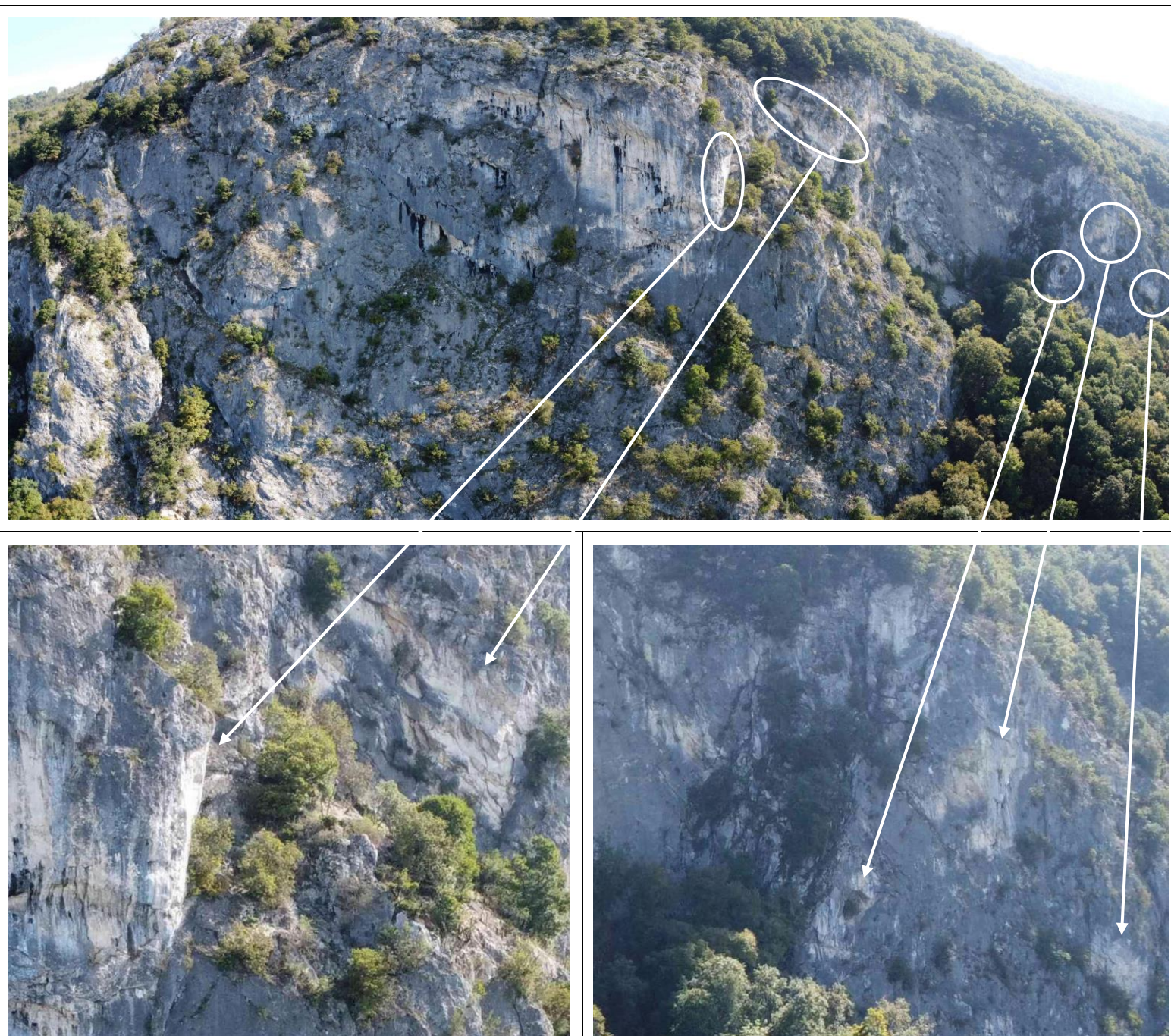
Le hameau du Champ est dominé par la corniche des calcaires du Kimméridgien. C'est sur cette section qu'elle se développe sur la plus grande hauteur approchant la centaine de mètres. Elle présente une paroi verticale, conforme au pendage, en son centre à l'aplomb du centre du hameau. Au Sud et au Nord, la corniche est plus chahutée, les parois verticales sont plus rares, les changements de direction et les profils convexes sont nombreux. Par endroit les pentes se couchent la végétation parvient alors à s'accrocher dans des éboulis ou dans de grandes zones où le substratum sub-affleure. De très nombreuses instabilités apparaissent alors.

Il est possible d'observer de nombreuses petites cicatrices de départ qui ressortent par changement de patine. Plusieurs de ces zones correspondent aux « zones d'instabilités D » identifiées dans l'étude BRGM. Ces zones correspondent souvent à des zones déversantes moins soumises aux précipitations et qui ont donc juste un aspect plus clair. Aucune d'entre elles ne semble présenter de compartiment volumineux avec indice de mouvements récents. Les mécanismes de départs sont variés : Ruptures d'écailles, glissements de dièdre, ruptures de surplomb. Le secteur est vaste, il n'y a pas lieu d'essayer de repérer des instabilités particulières puisqu'elles seraient trop nombreuses à traiter.

Les blocs historiques du cœur du hameau proviennent vraisemblablement du grand dièdre en rive gauche de la grande paroi verticale. L'échelle de temps associé à cet événement

exceptionnel est le millier d'années.

Les deux habitations au Sud du hameau ne sont pas protégées par le merlon.



Report des « zones d'instabilités » repérées dans l'étude BRGM sur vues aériennes. Bien souvent ces zones à patine plus claires correspondent à des zones déversantes moins soumises aux intempéries.

Doc 15. Vues de détails des parois en amont du Champ

II.4.1. Secteur de Glandieu

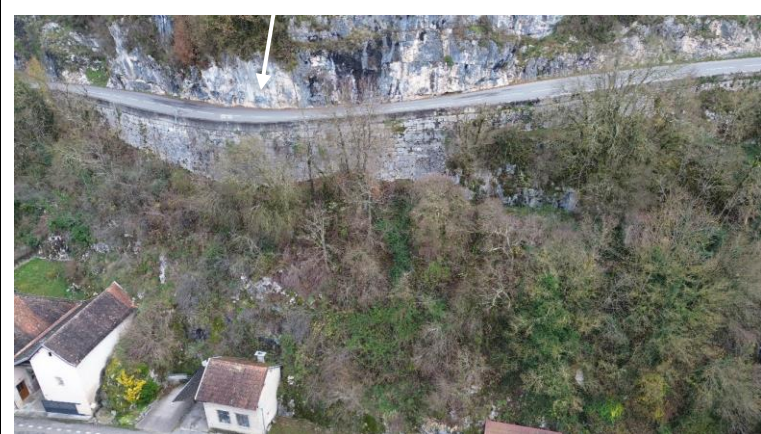
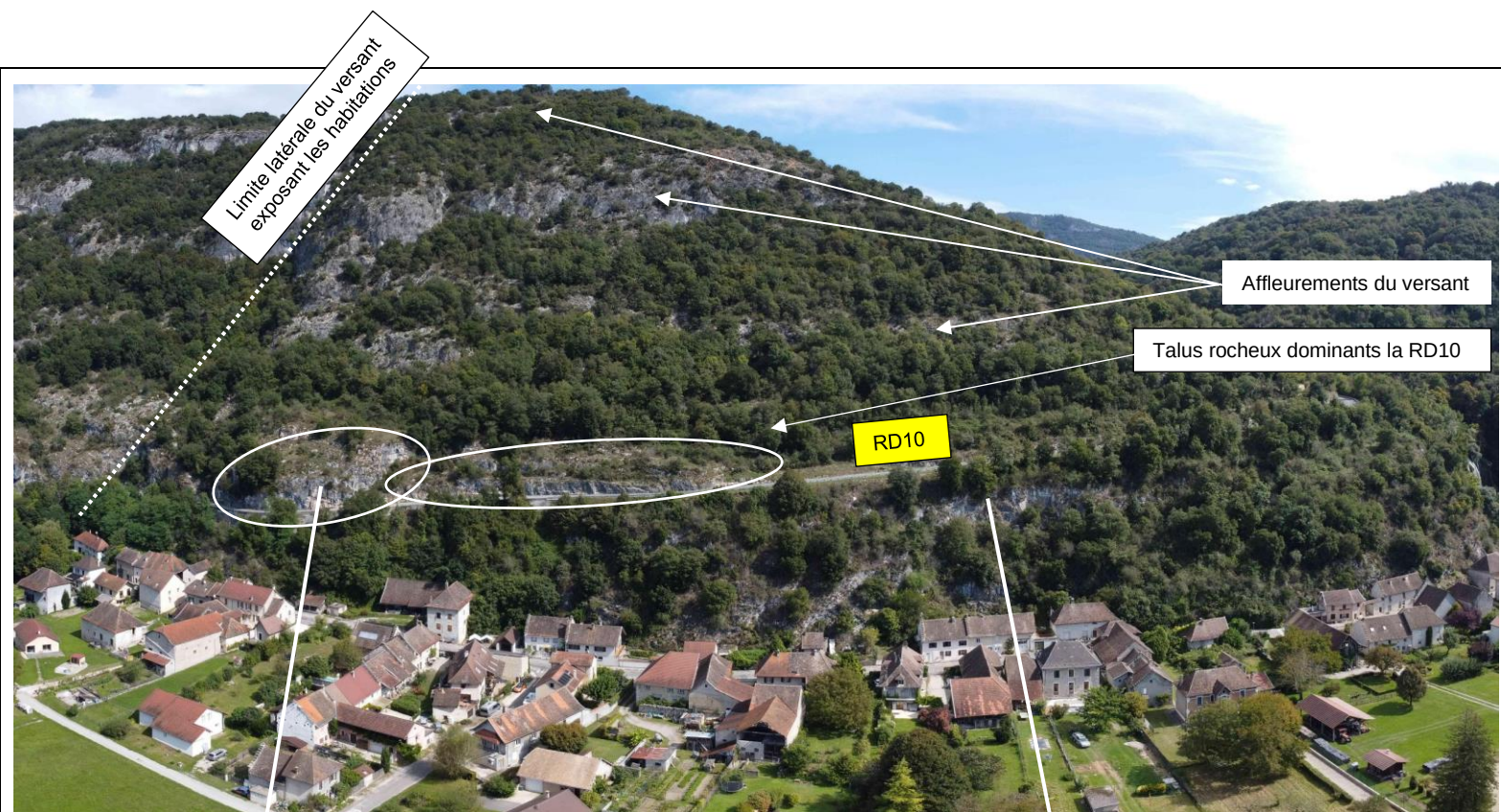
La configuration du hameau de Glandieu est plus atypique, plusieurs petits escarpements rayent le versant dominant la RD10 mais aucun d'entre eux ne présente de grande paroi verticale. En revanche on retrouve des affleurements entre la RD10 et les habitations. Les murs de soutènement de la RD repose d'ailleurs sur ce substratum rocheux.

Nous n'avons pas retrouvé de trace d'évènement que ce soit sur la RD ou sur les habitations, en tout cas pas de trace de blocs provenant de la partie haute du versant. Nous avons consulté

le service des routes du Département qui nous a informé qu'il n'avait pas connaissance d'événements de chutes de pierres ou de blocs sur la RD10 dans ce secteur. Nous estimons néanmoins que les talus rocheux de la RD donne régulièrement des pierres et que c'est pour cette raison que le Département dispose par endroit de protections actives (clouages, emmaillotages) sur certains blocs ou dièdres rocheux, du talus amont. Nous avons aussi retrouvé des pierres derrière les habitations mais aucun indice du passage d'un bloc plus conséquent qui aurait provoqué des dégâts.

Plusieurs explications possibles apparaissent :

- Les affleurements rocheux sur les parties hautes du versant ne sont pas suffisamment raide pour provoquer des départs de blocs avec une énergie suffisante pour se propager dans le versant
- La plateforme routière a intercepté les blocs propagés mais la mémoire de ces événements s'est perdue au fil des changements d'équipe au Département
- L'énergie cinétique des blocs potentiellement décrochés des affleurements sous la RD est trop faible pour provoquer des désordres sur les habitations, là aussi la mémoire de ces événements sans dégât aurait disparu.
- Les affleurements sous la RD apparaissent assez massifs, il est probable que le départ de bloc soit très rare et qu'aucun ne soit descendu depuis l'urbanisation entre la rue principale de Glandieu et la RD10.



Vue rapprochée en partie Nord du hameau, les habitations sont dominées par un imposant soutènement de la RD10, le substratum rocheux n'affleure que très peu.



Vue rapprochée en zone centrale du hameau, plusieurs escarpements dominent les habitations.

Doc 16. Vues aériennes du secteur de Glandieu

III. Diagnostic des ouvrages existants

Deux ouvrages de protection pare-blocs visant la protection des enjeux habités ont été repérés sur la commune. (D'autres ouvrages sous maîtrise d'ouvrage du Département de l'Ain ont été mis en œuvre sur les talus rocheux de la RD10 dans l'objectif de protéger les usagers. Ils ne sont pas traités dans le cadre de la présente étude.)

1. Ouvrage de protection passive au hameau des Bonards

Une ligne d'écran pare-bloc a été mise en œuvre dans les années 1990 a priori en réaction suite à l'évènement de 1987.

La commune ne nous a pas transmis de document sur cet ouvrage. Les caractéristiques suivantes ont donc été relevées sur le terrain :

- Longueur 100ml en 8 modules
- Ancrages tubés avec barre Ø25mm à filetage continu
- Poteau de 4mht, hauteur utile de 3.5mht
- Plaques de frein d'origine
- Un hauban amont par poteau, les haubans aval sont disposés en quinconce
- Serre-câbles changés au moins une fois depuis l'installation initiale

Désordres repérés :

- Chainettes de liaison en tête de poteau corrodées C1 voire C2.
- Un bloc de 200 litres dans le 4^{ème} module sans perte de la hauteur utile
- Un ancrage de hauban aval a été mis à nu sur 50cm dans le talus amont du chemin forestier sous l'écran. Cela n'a pas d'impact sur la géométrie ou le fonctionnement de l'ouvrage.
- La végétation est bien présente dans le dispositif



Bloc de 200 litres dans le 4^{ème} module



Système d'ancrage amont avec barre à filetage continu, plaque de répartition, serre-câbles changés et plaque de frein d'origine



Chainette de liaison en tête de poteau



Ancrage d'hauban aval mis à nu dans le talus amont du chemin forestier

Ce type d'ouvrage métallique est couramment associé à une durée de vie de 25 ans. Nous n'avons pas la date exacte de la pose mais cette durée est probablement dépassée.

L'écran présente des points de corrosion marqués et la végétation est bien présente dans les nappes. Néanmoins la hauteur utile de l'écran est homogène, et elle vraisemblablement identique à celle d'origine.

Dans l'état actuel l'écran doit être considéré comme une barrière fixe dépourvue de système dynamique. En effet le dispositif de freinage qui n'a pas été entretenu ne semble plus opérationnel. Il faut également savoir que les écrans pare-blocs de cette génération n'étaient pas testés.

2. Ouvrage de protection passive au hameau du Champ

En 1999, un merlon pare-blocs en « Pneutex » a été mis en œuvre en amont du hameau du Champ. Cette technique consistait à raidir le parement amont en empilant en quinconce des pneus à recycler.

L'avant-projet et l'étude trajectographique nous ont été transmis. Néanmoins l'implantation définie sur cet AVP ne correspond à l'ouvrage actuel, il y a sûrement eu des adaptations importantes au stade projet ou lors de la réalisation. Le profil type a, quant à lui, été conservé.

Caractéristiques :

- Longueur : 270m
- Hauteur utile : 5m
- Largeur en crête : 2m
- Largeur de la fosse : entre 3 et 5m

En 2006, l'ouvrage a stoppé un bloc a priori de l'ordre du demi-mètre cube. Lors des reconnaissances nous avons relevé des pierres qui semble correspondre à ces événements assez courants sur le linéaire.

L'ouvrage est en bon état général, la hauteur utile est conservée. Une coupe de la végétation, au moins sur le parement amont, apparaît nécessaire. Les racines peuvent déchausser la structure en « pneutex ».

A plus long terme, il convient de surveiller la largeur de la fosse amont. Une partie du linéaire de l'ouvrage est localisé au pied d'un éboulis vif qui va avoir tendance à reprendre une pente d'équilibre en remplissant la fosse.



Vue du parement amont végétalisé



Vue aérienne de l'ouvrage avec l'éboulis vif qui vient s'appuyer sur

IV. Simulations de propagation

IV.1.1. Profils et scénario retenus

Dans le cadre de cette étude d'avant-projet, des modélisations 3D et 2D ont été réalisés. De plus, chaque profil a fait l'objet d'une analyse via les aires normalisées issues d'une base de données de nombreux événements passés et de la théorie des lignes d'énergies (cf. Annexe 3 de la MEZAP).

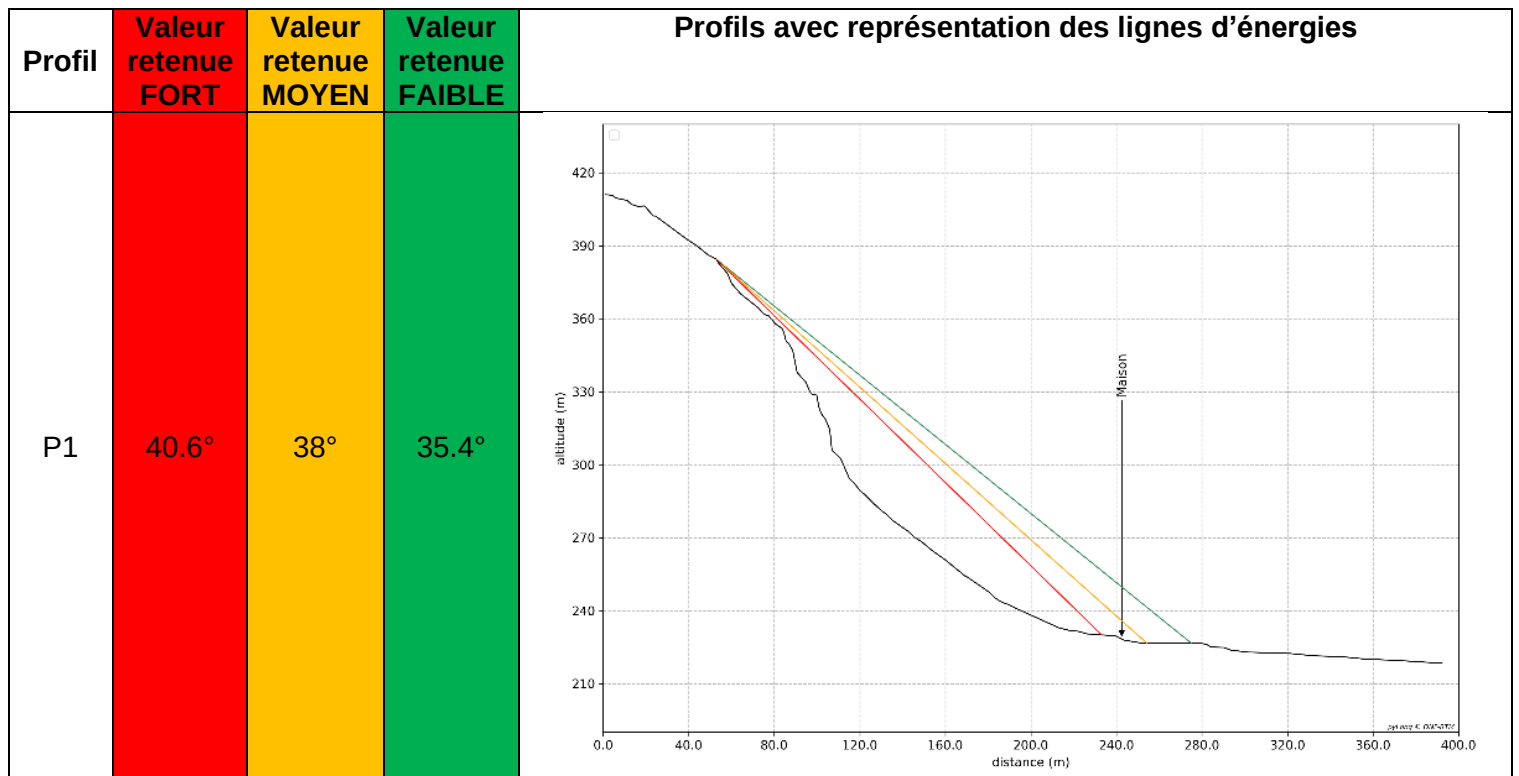
A partir des reconnaissances de terrain et en fonction des secteurs, nous avons choisis de simuler la propagation de blocs unitaires de 1 à 3 m³ et/ou de 1 à 5 m³. Pour un aléa de référence centennale ce volume correspond au volume résiduel maximum des blocs après fragmentation qui peuvent se détacher des parois.

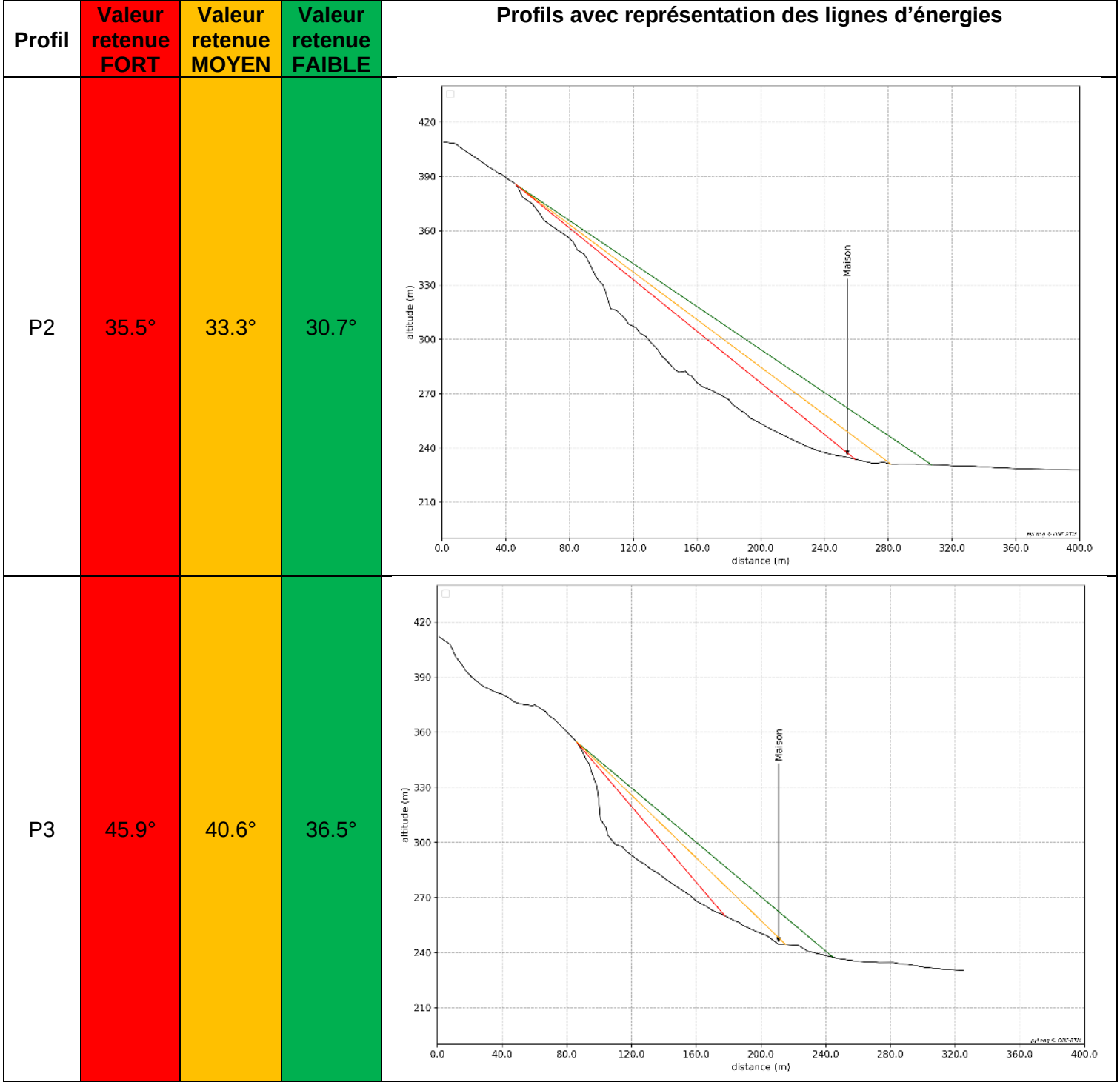
IV.1.2. Méthodologie des aires normalisées et lignes d'énergies

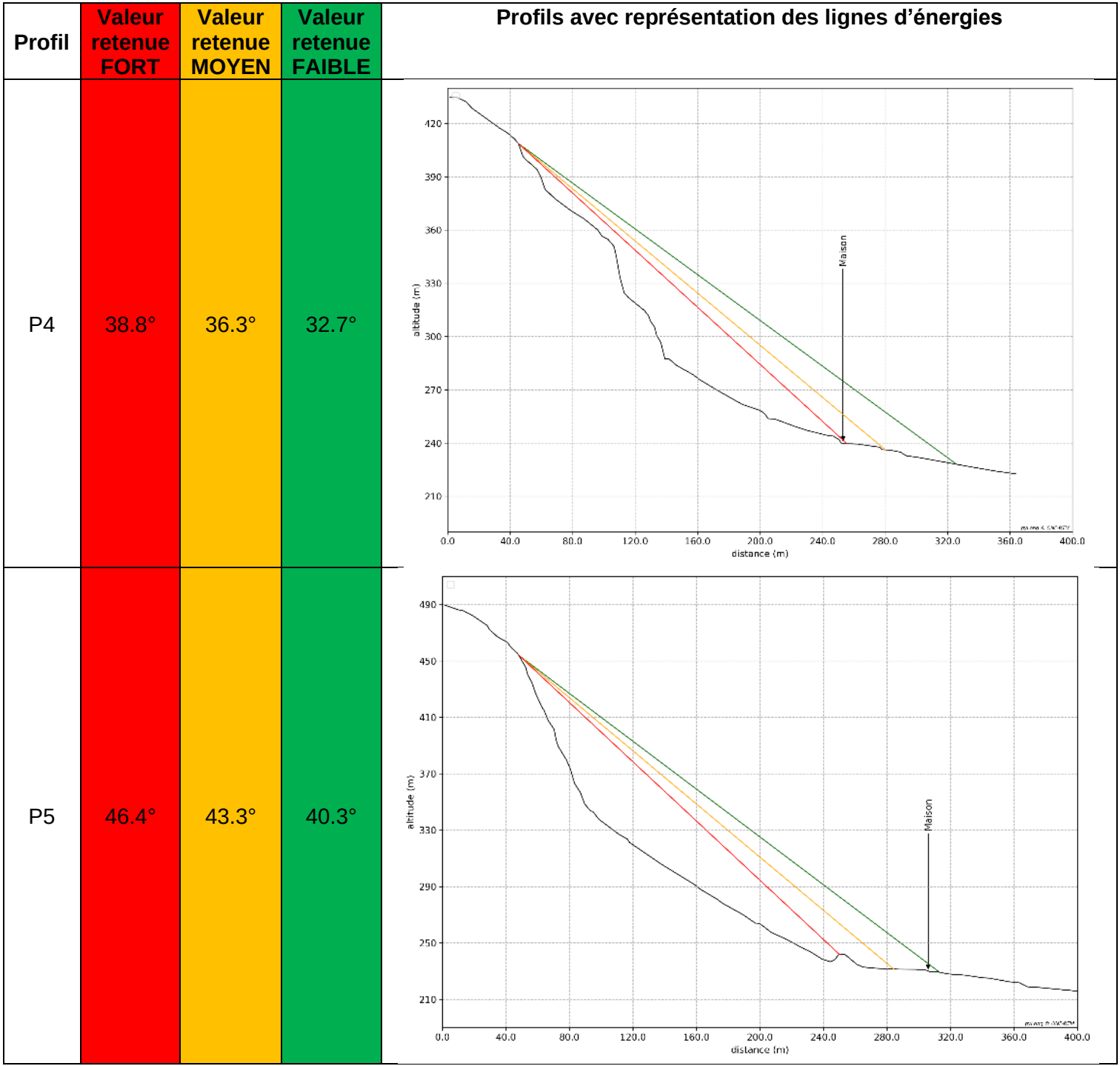
La topographie de chaque profil identifié est extraite depuis le MNT lidar HD. La recherche de valeurs de lignes d'énergies faible/moyen/fort correspondantes à des profils similaires issues de la base de données MEZAP est faite par la méthode dite de l'aire normalisée, grâce au logiciel Pylong © développé par l'ONF-RTM.

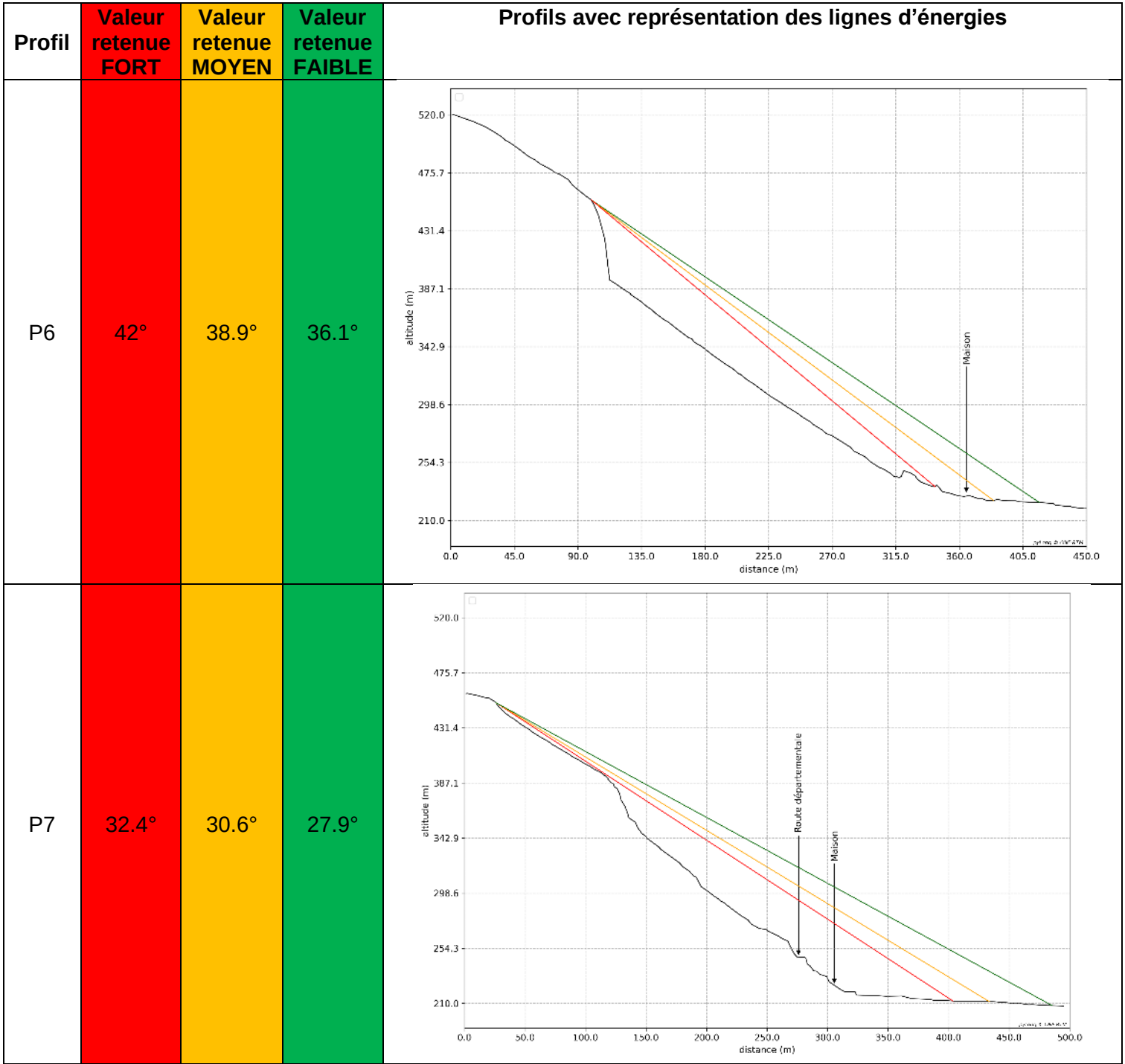
Les valeurs de probabilités d'atteinte forte, moyenne et faible sont des valeurs proposées dans le cadre par analyse statistique de l'échantillon. Ces échantillons de valeurs sont issus d'une base de données collectées par l'IRSTEA et le BRGM (incluant celle de l'ONF-RTM). Les rapports de calculs Pylong © pour chaque profil sont fournis en annexe.

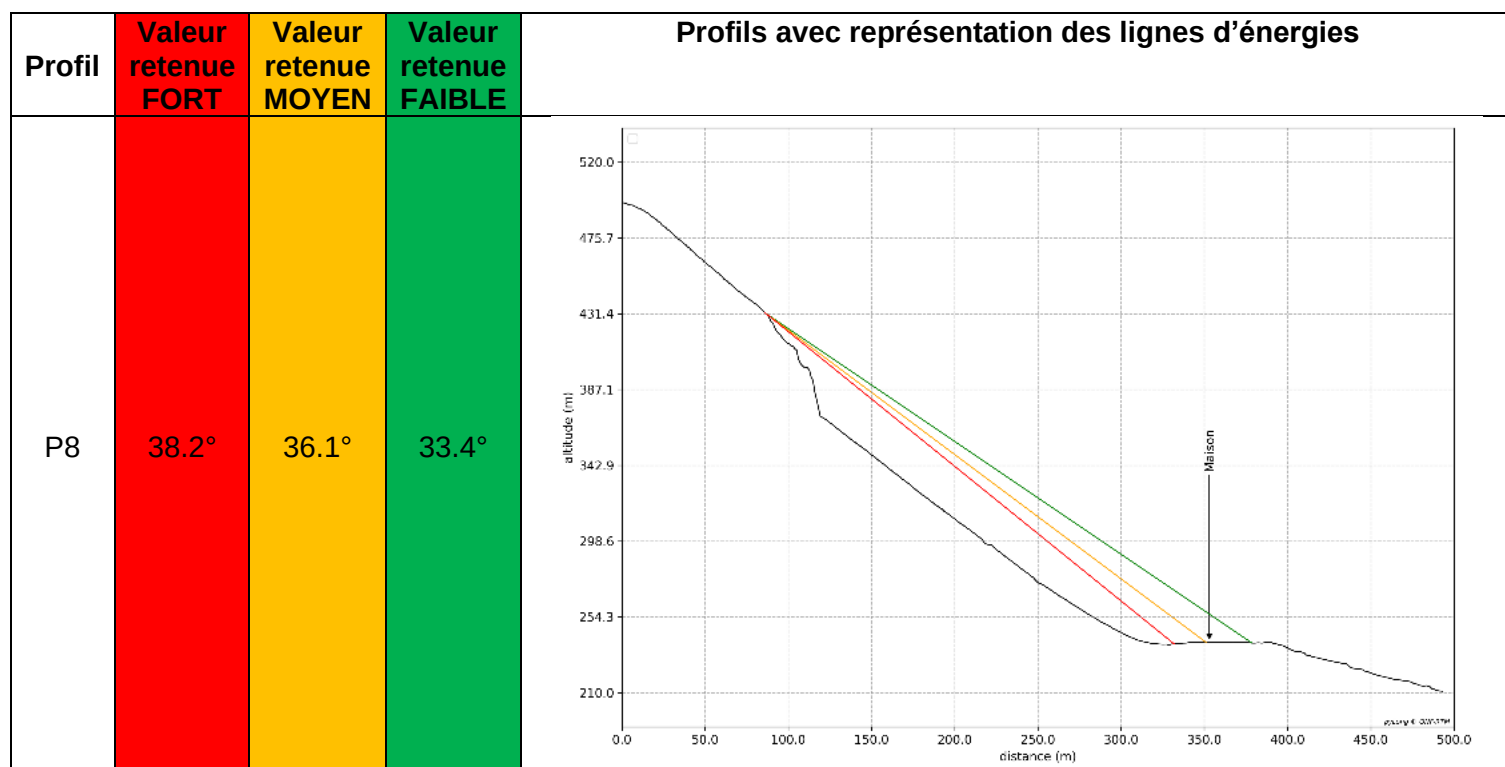
Les résultats obtenus sont les suivants :











Doc 18. Résultats des valeurs de lignes d'énergie obtenues par la méthode de l'aire normalisée via l'utilisation du logiciel Pylong ©

Lecture et analyse des résultats obtenus :

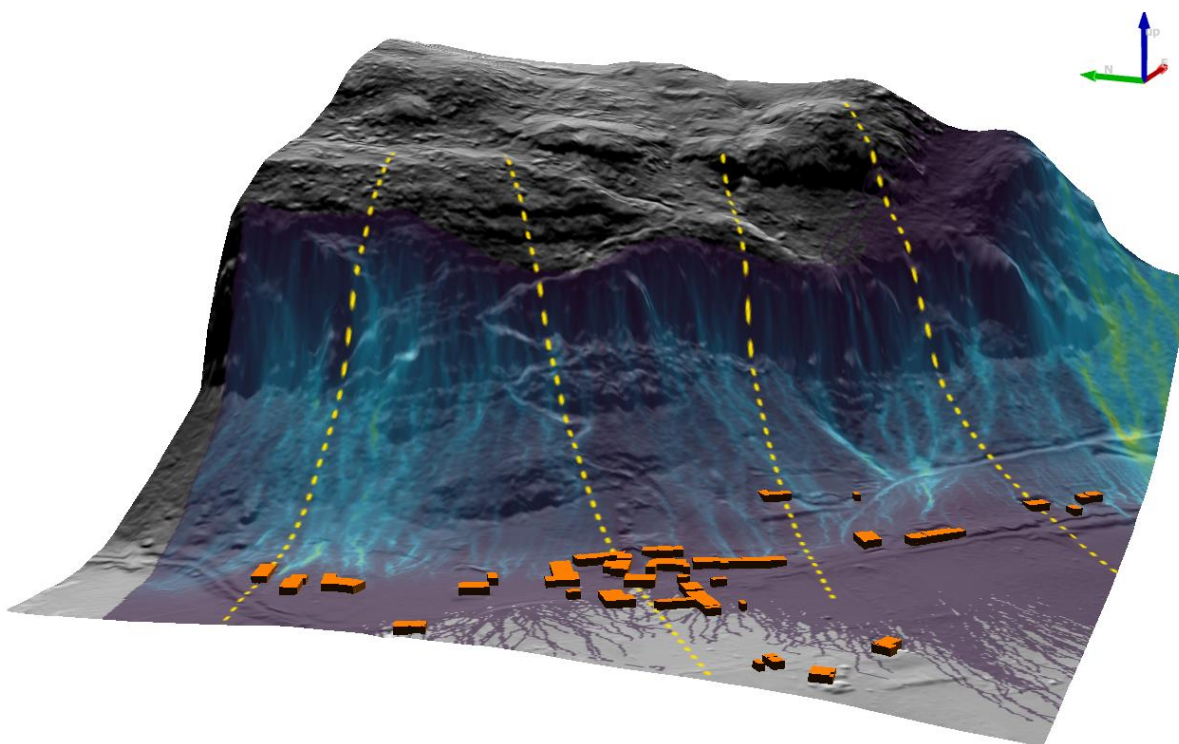
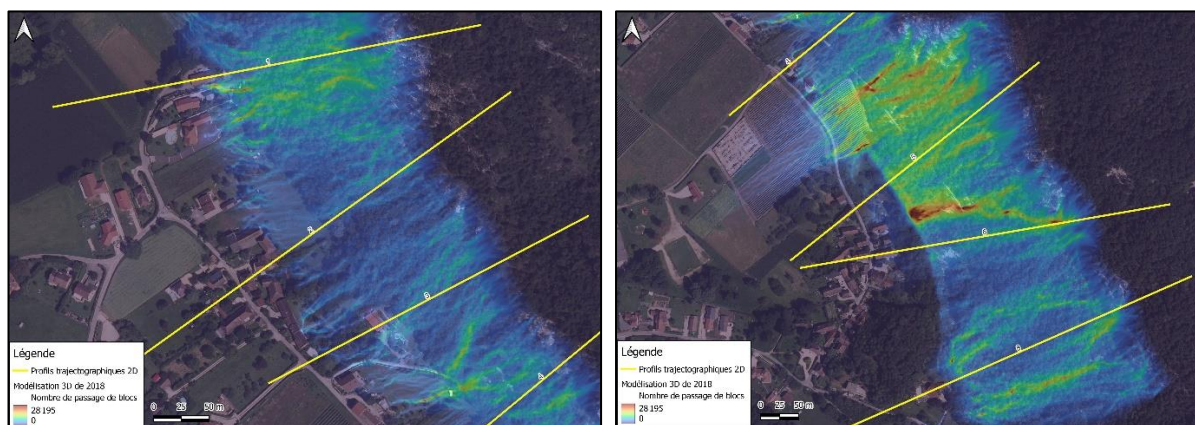
- Les différentes courbes angle/aire normalisées sont bien représentées dans le nuage de points issu des bases de données (cf. rapports MEZAP/profil en annexe). Les valeurs des angles ainsi obtenus peuvent donc être qualifiés comme représentatifs.
- Concernant le hameau Les Bonnards (Profils 1 à 4) : Les profils sont similaires et par conséquent les valeurs de ligne d'énergie également. Les premiers enjeux habités sont situés dans l'emprise des valeurs moyennes à fortes pour les quatre profils.
- Concernant le hameau Le Champ (Profils 5,6 et 8) : Les profils 5 et 6 sont similaires, avec l'ouvrage en merlon localisé dans l'emprise des valeurs fortes. Concernant les enjeux, il est possible de considérer que les maisons en amont de la route sont situées dans l'emprise de valeurs moyennes et celles localisées en aval dans l'emprise de valeur faible. Au droit du profil P8, la maison isolée se situe peu après la ligne d'énergie considérée comme moyenne selon la même méthodologie d'analyse.
- Enfin, le hameau de Glandieu est représenté par le profil P7 : Le profil étudié sur ce secteur localise largement les enjeux (route départementale et bâtiments) dans l'emprise de valeurs considérées comme forte.

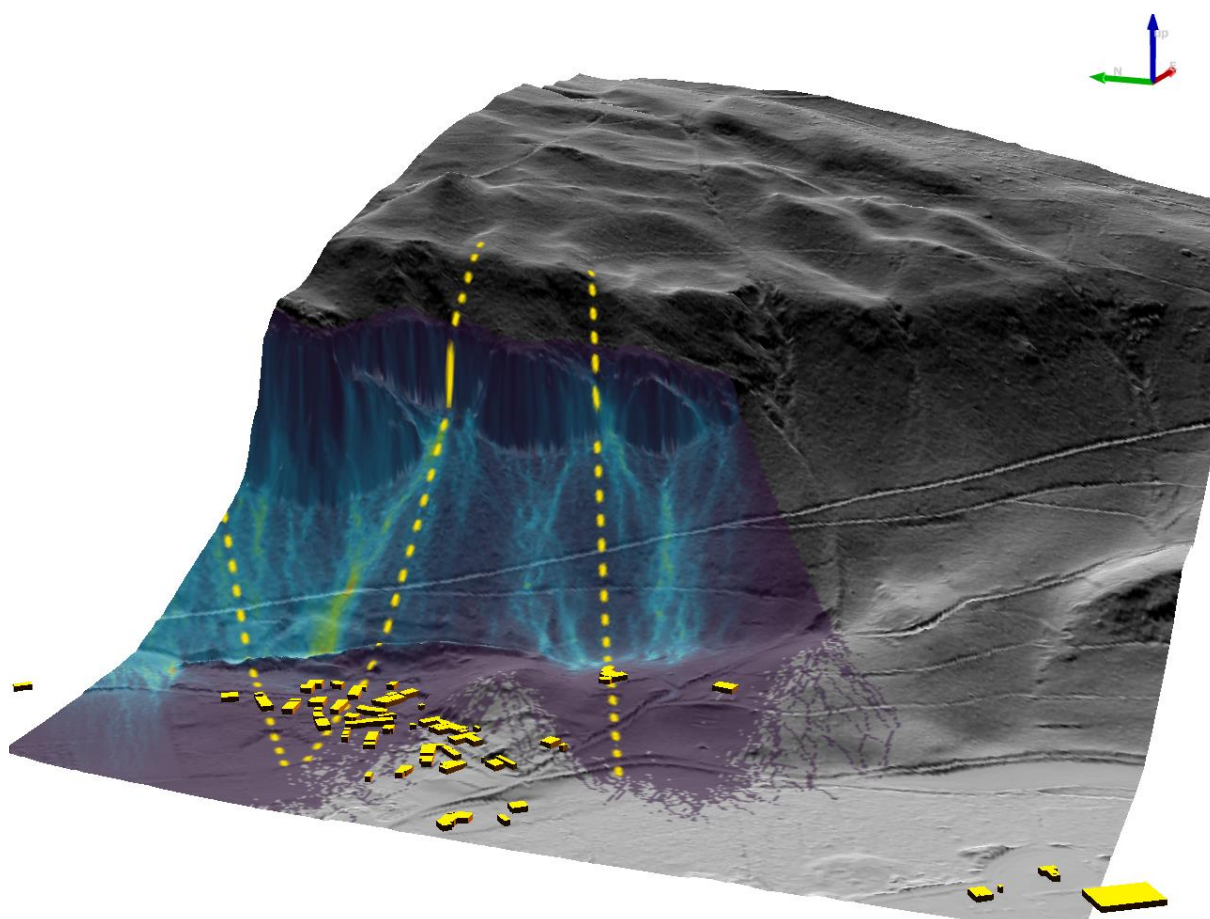
IV.1.3. Simulations trajectographiques 3D

Les simulations 3D réalisées en 2018 pour la réalisation du Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRN) ont été réutilisées dans le cadre de ce projet.

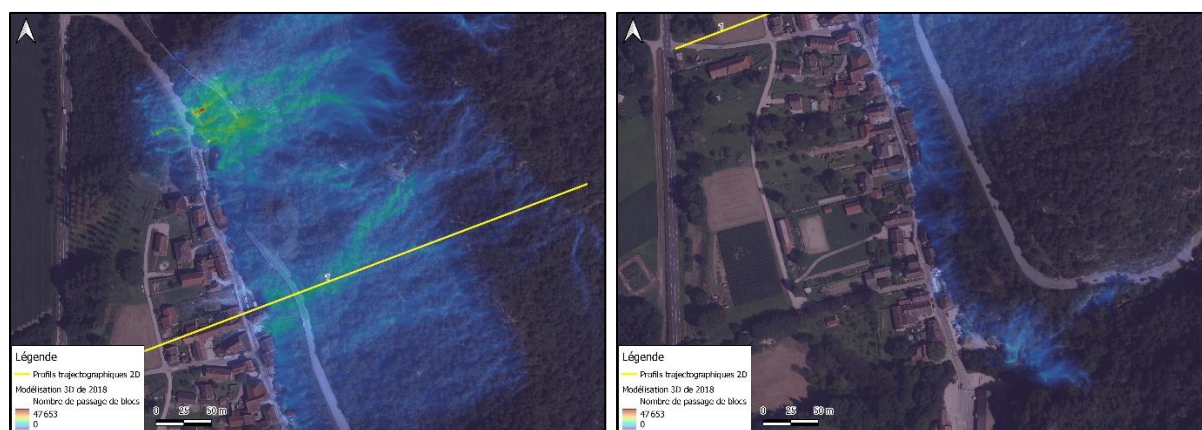
Pour rappel, les paramètres nécessaires au fonctionnement du modèle incluent les hypothèses initiales (volume, forme, densité des roches) et les caractéristiques des sols (compacité, rugosité). Ces données, intégrées dans un SIG, sont transmises au logiciel RF3D. Chaque type de sol est défini par neuf critères : les dimensions du bloc (d1, d2, d3), sa densité (rocdensity), sa forme (blshape), son type (soiltype) et sa rugosité de surface estimée selon trois probabilités (rg10, rg20, rg70). Le scénario de référence repose sur un bloc de 5 m³, volume considéré

comme sécuritaire, correspondant aux observations historiques et à l'étude du CETE. À partir de chaque pixel de 1 m² identifié comme zone de départ, 1000 blocs sont simulés. Les résultats permettent d'avoir un aperçu de la probabilité de propagation des blocs et de leurs trajectoires préférentielles. Les cartes suivantes illustrent ces résultats.

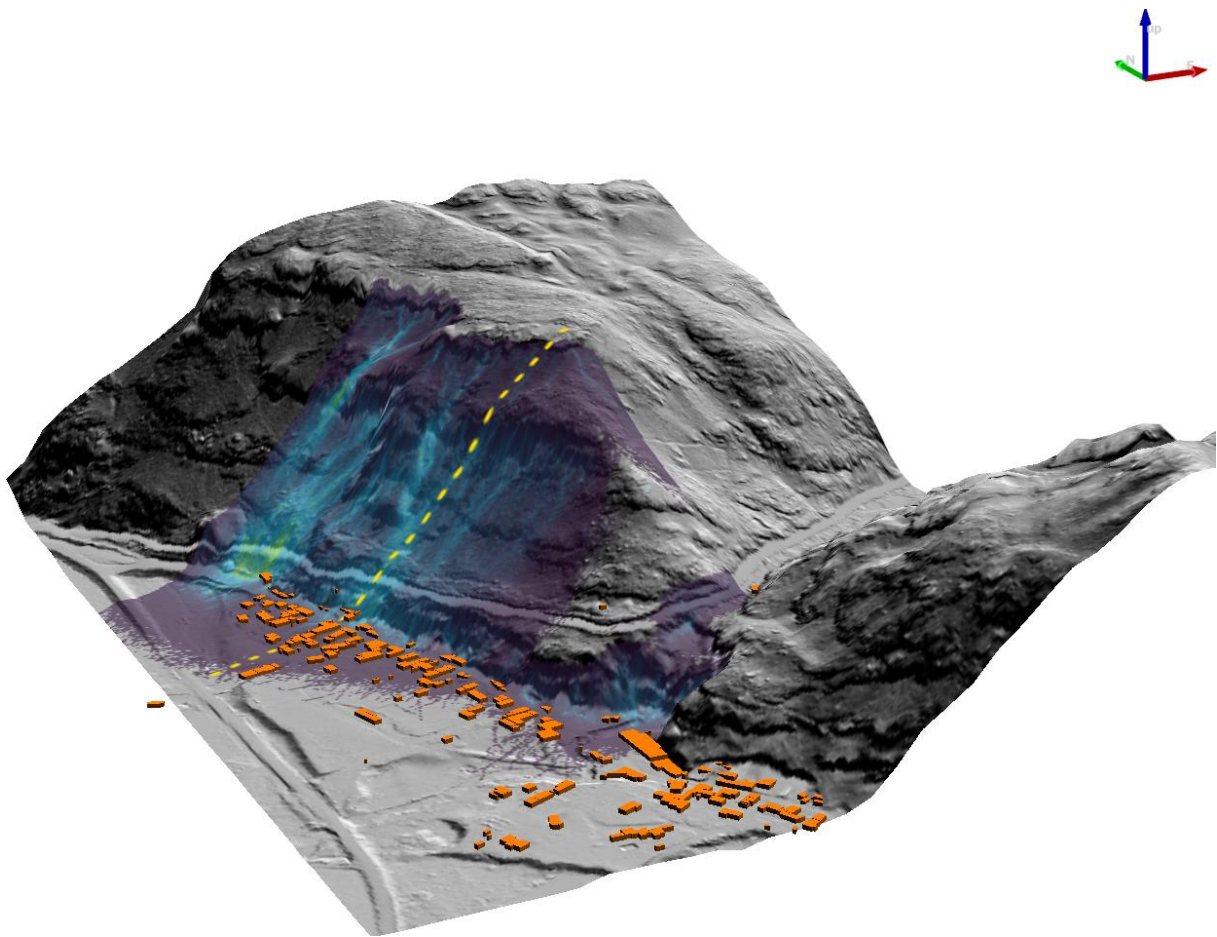




Doc 20. Résultats des simulations trajectographiques 3D au droit des hameaux Les Bonards et Le Champ

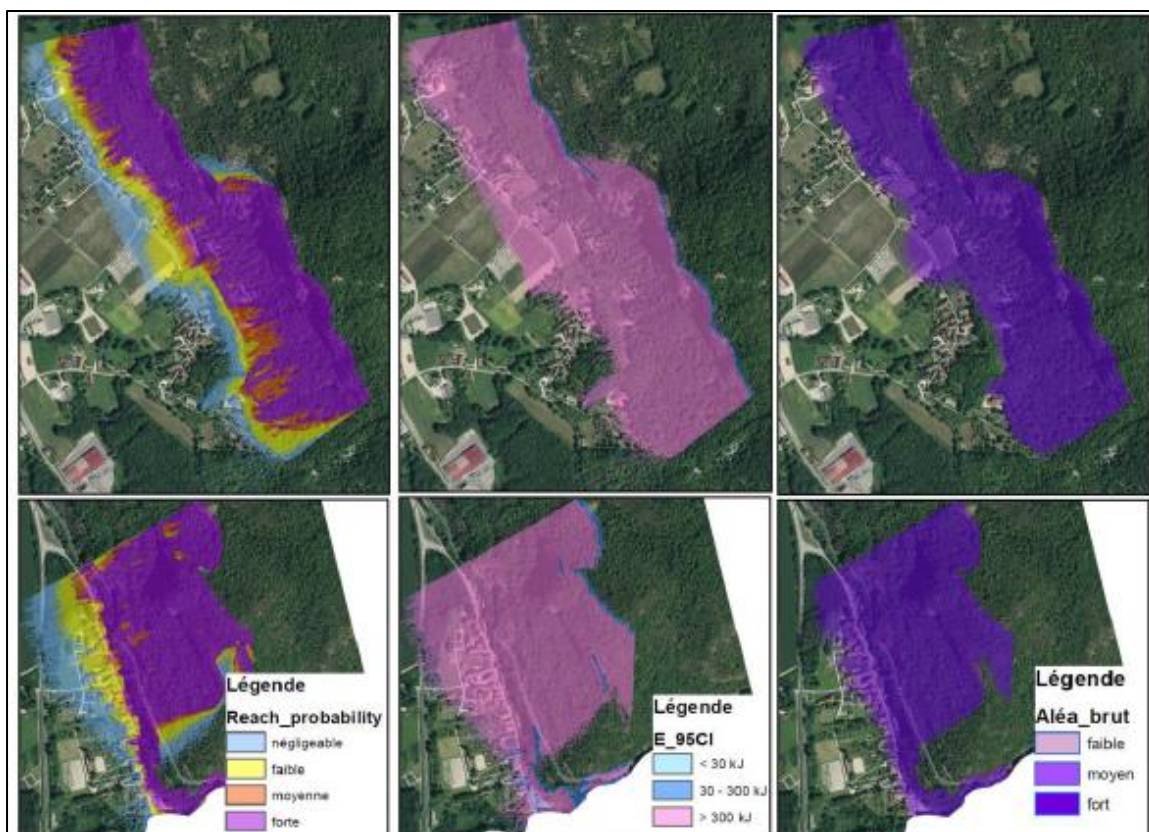


Doc 21. Résultats des simulations trajectographiques 3D et localisation des profils topographiques 2D



Doc 22. Résultats des simulations trajectographiques 3D du hameau de Glandieu

Les résultats de l'étude PPRN de 2018 indiquent que l'aléa chutes de blocs est considéré comme fort pour certaines habitations des hameaux des Bonards, du Champ et de Glandieu avec des énergies souvent supérieures à 300 kJ. La cartographie de cet aléa est rappelée dans la figure ci-après.



Doc 23. Croisement de la probabilité d'atteinte avec intensité et aléa brut résultant

IV.1.4. Simulations trajectographiques 2.5 D

Le tableau ci-après synthétise les résultats des simulations trajectographiques réalisés sur les 8 profils trajectographiques de la zone d'étude. Les graphiques représentent les probabilités d'atteinte des blocs simulés. Les valeurs obtenues sont exprimées pour les énergies en kilojoules et pour les hauteurs en mètres aux différents points d'analyses. Les résultats complets des simulations trajectographiques, par profil, sont disponibles en annexe.

Les résultats présentés ne sont pas les valeurs maximums obtenues. Le dimensionnement fonctionnel des ouvrages a été réalisée à partir des valeurs obtenues au percentile 95%.

Profil Du Nord au Sud	Probabilité d'atteinte		Valeurs aux points d'analyse			
	Représentation cartographique du profil 2D Propag	Altitude d'implantation parade (en m NGR)	Parade		Enjeux (maisons)	
			NRJ 95% (en kJ)	H 95% (en m)	NRJ 95% (en kJ)	H 95% (en m)

1	P1₁a5m3 Volume : 1:10:5 Param forme : 1,1:0.05:1.35 Vitesse ini : 1:1:1 Angle ini : 0:1:0 Z depart 1 : 300:10:400 Parade Jardin Maison ra em tm Profil 2D - X(m)	231 m	600 kj	0.9 m	400 kj	2.5 m
2	P2₁a3m3 Volume : 1:10:3 Param forme : 1,1:0.05:1.35 Vitesse ini : 1:1:1 Angle ini : 0:1:0 Z depart 1 : 315:10:405 Parade Maison ra em tm Profil 2D - X(m)	205 m	900 kj	1.3 m	600 kj	1.3 m
3	P3₁a3m3 Volume : 1:10:3 Param forme : 1,1:0.05:1.35 Vitesse ini : 1:1:1 Angle ini : 0:1:0 Z depart 1 : 300:10:370 Parade Jardin Maison ra rs em tm Profil 2D - X(m)	253 m	500 kj	1.6 m	270 kj	1.3 m
4	P4₁a3m3 Volume : 1:10:3 Param forme : 1,1:0.05:1.35 Vitesse ini : 1:1:1 Angle ini : 0:1:0 Z depart 1 : 287:10:430 Parade Maison ra rs ra em tm Profil 2D - X(m)	258 m	700 kj	2.2 m	450 kj	3 m

5	P5₁a5m3 Volume : 1:10:5 Param forme : 1.1:0.05:1.35 Vitesse ini : 1:1:1 Angle ini : 0:1:0 Z depart 1 : 350:10:470 Profil 2D - X(m)	237 m	1000 kj	1.5 m	-	-
6	P6₁a5m3 Volume : 1:10:5 Param forme : 1.1:0.05:1.35 Vitesse ini : 1:1:1 Angle ini : 0:1:0 Z depart 1 : 390:10:470 Profil 2D - X(m)	243 m	1100 kj	3 m	-	-
7	P7₁a3m3 Volume : 1:10:3 Param forme : 1.1:0.05:1.35 Vitesse ini : 1:1:1 Angle ini : 0:1:0 Z depart 1 : 360:10:380 Profil 2D - X(m)	270 m	400 kj	1 m	700 kj	15 m
8	P8₁a3m3 Volume : 1:10:3 Param forme : 1.1:0.05:1.35 Vitesse ini : 1:1:1 Angle ini : 0:1:0 Z depart 1 : 380:10:420 Profil 2D - X(m)	238 m	400 kj	0.9 m	150 kj	0.9 m

Doc 24. Tableau synthétique des résultats des simulations trajectographiques 2D

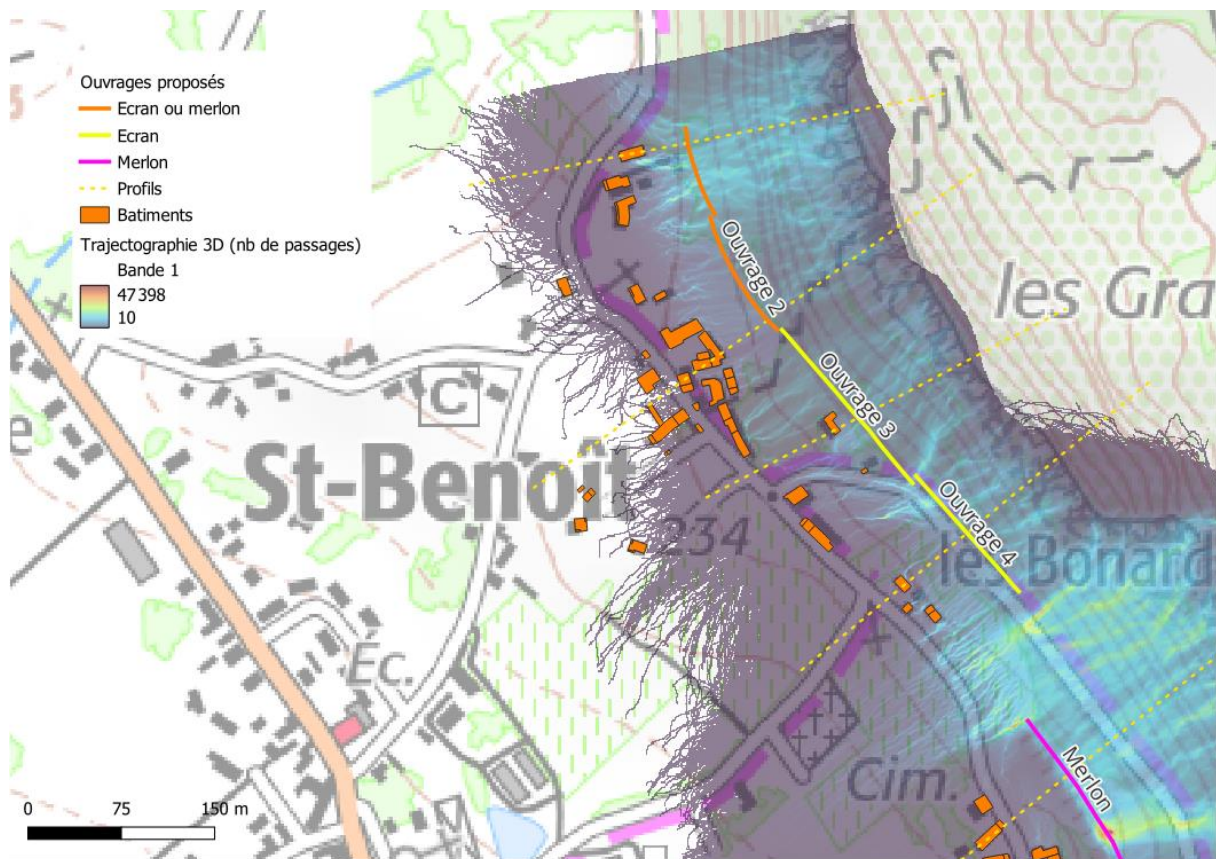
V. Proposition de travaux de protection

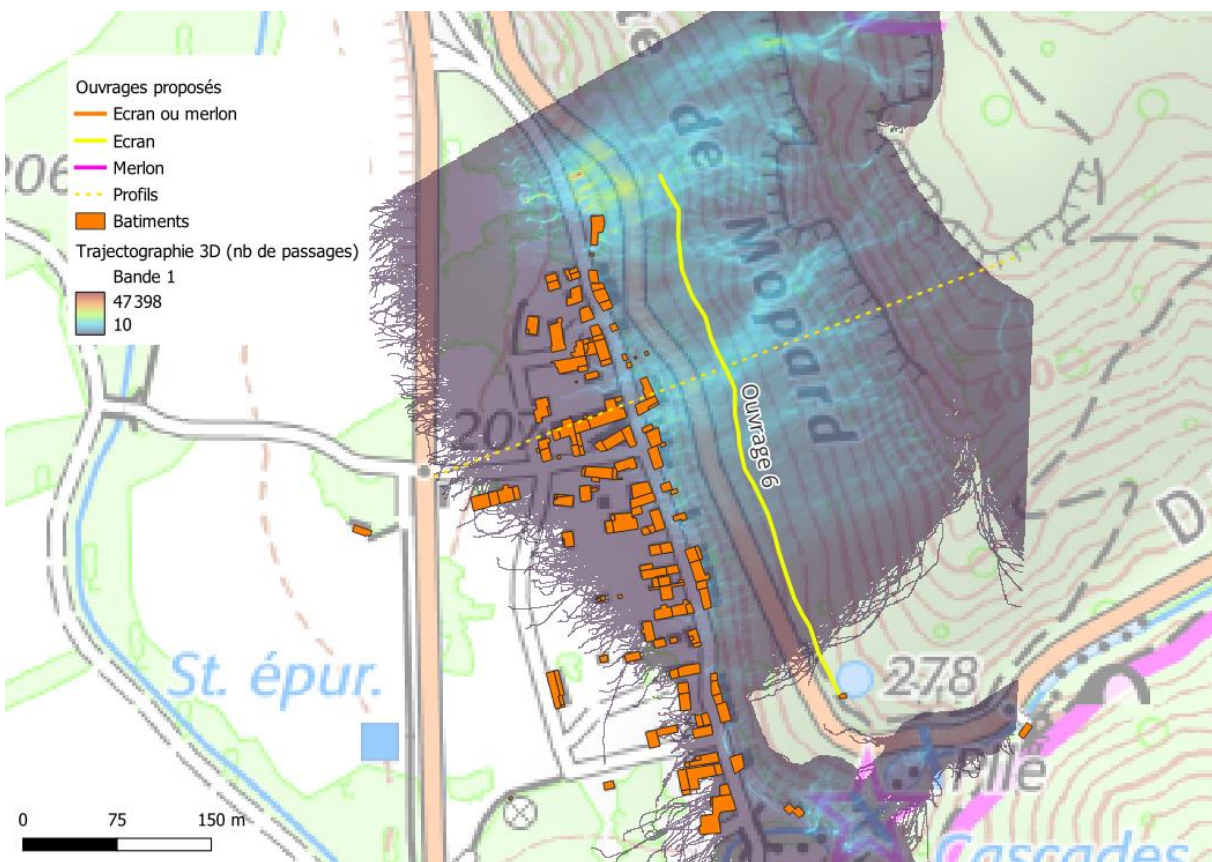
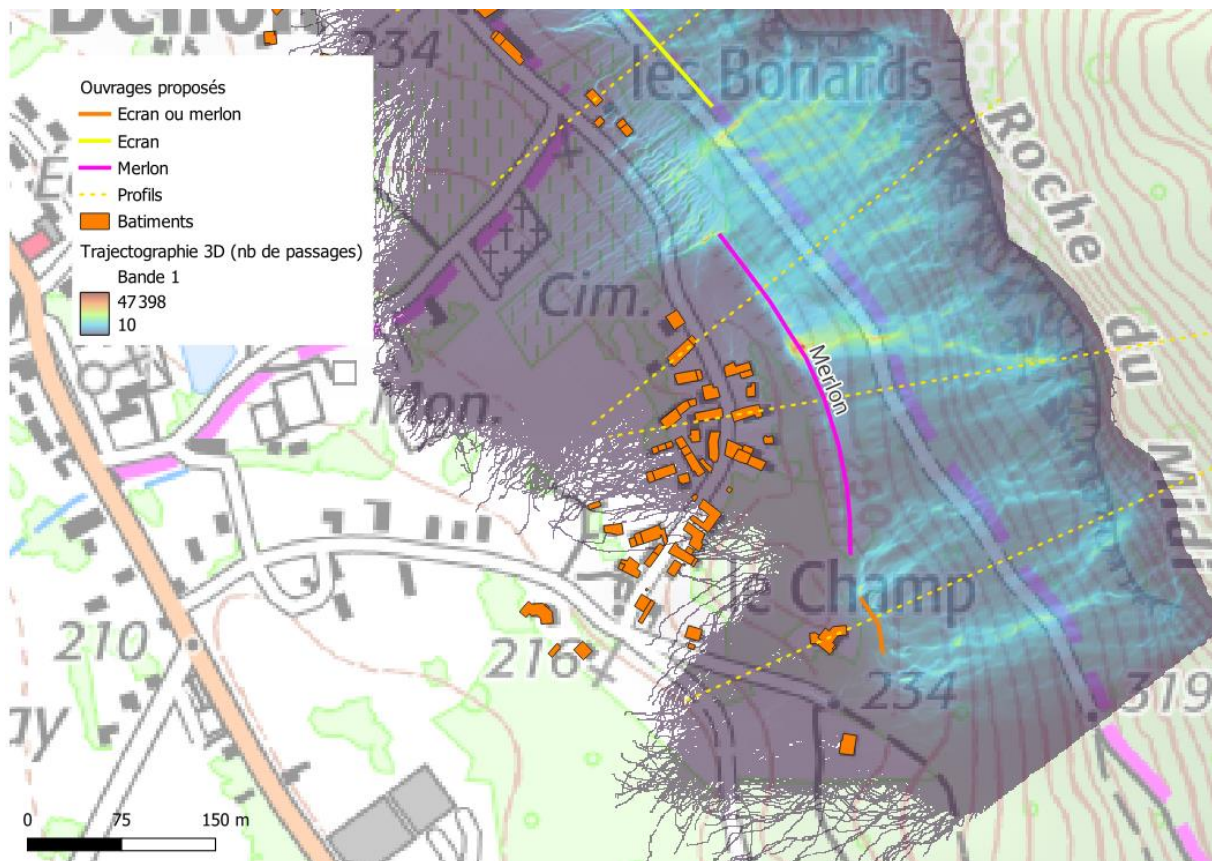
La stratégie de protection des enjeux proposée dans cette étude Projet repose sur la mise en œuvre d'ouvrages passifs dans le versant, en complément et/ou remplacement des ouvrages déjà existant. En effet, l'étendue des éventuelles zones de départs est trop importante pour les traiter en actifs (minage, clouage ou emmaillotage).

Compte tenu des résultats des simulations trajectographiques, et de la localisation possible des ouvrages en pied de versant, les parades envisageables sont de deux types :

- Écrans pare-blocs
- Merlons pare-blocs

Usuellement les merlons sont préférés pour la protection des zones bâties à bien des égards : leur robustesse, leur pérennité, leur efficacité, leur capacité à recevoir plusieurs événements, leur faible maintenance, etc. Toutefois, comme on le verra après, les merlons sont parfois difficiles à mettre en œuvre en fonction de la configuration des terrains où ils doivent être érigés. C'est pourquoi il sera également proposé des écrans pare-blocs.





Doc 25. Pre-implantation des ouvrages de protection proposés

1. Avantages-inconvénients

	Avantages	Inconvénients
Merlons	• Peu de maintenance • Forte efficacité (peut encaisser de nombreux événements) • Pérennité	• Forte emprise au sol (=difficulté foncière et paysagère) • Difficile (voire impossible) à mettre en œuvre en forte pente. • Nécessité d'avoir des terrains stables • Nécessite l'aménagement d'accès pour les engins et l'approvisionnement des matériaux • Forme un obstacle topographique aux écoulements (ruissellement) du versant = difficulté de gestion des eaux • Acquisition nécessaire des terrains d'implantation de l'ouvrage par le maître d'ouvrage
Ecrans de filets	• Faible emprise au sol • Peut aisément s'insérer dans une forêt • Mise en œuvre rapide • Peut s'installer sur tout type de terrain • Aucune contrainte d'accès (peut se mettre en œuvre par hélicoptère) • Possibilité de mise en place de convention avec propriétaires privés afin d'éviter une acquisition foncière des terrains	• Maintenance et entretien réguliers • Durée de vie des ouvrages donnée à 25-30 ans par les fournisseurs. • Peut encaisser seulement 1 ou 3 bloc(s) de référence (selon le dimensionnement retenu) • Doit être réparé après sollicitation • Pour les énergies très élevées : nécessité de mettre plusieurs lignes

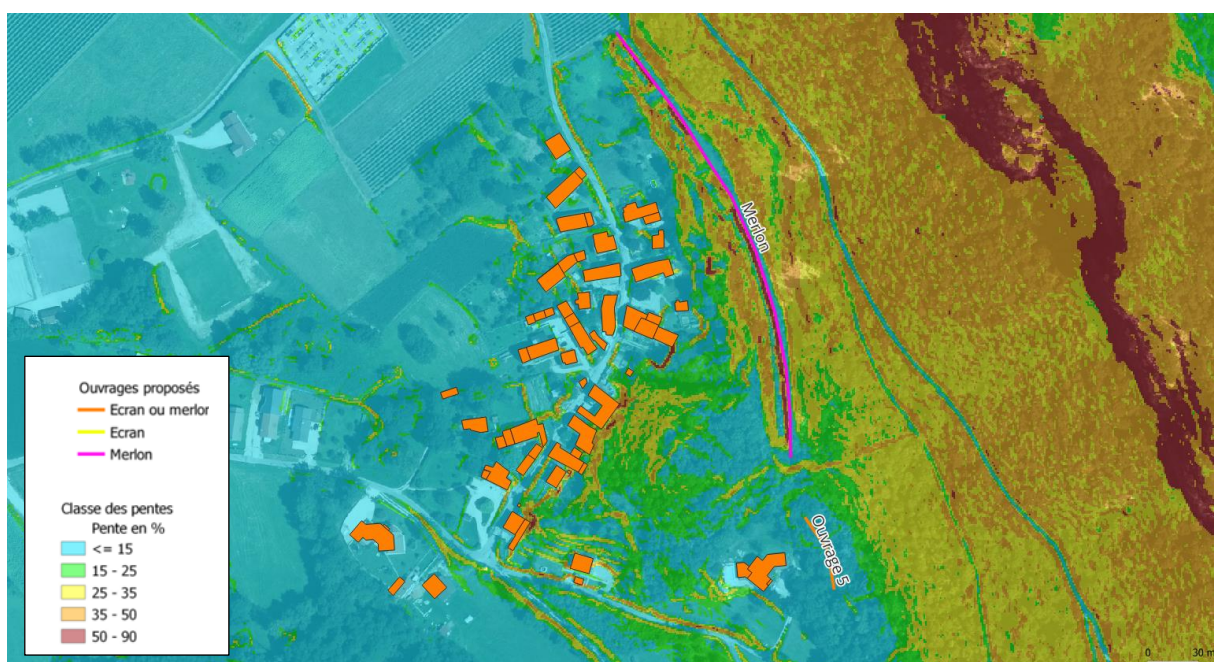
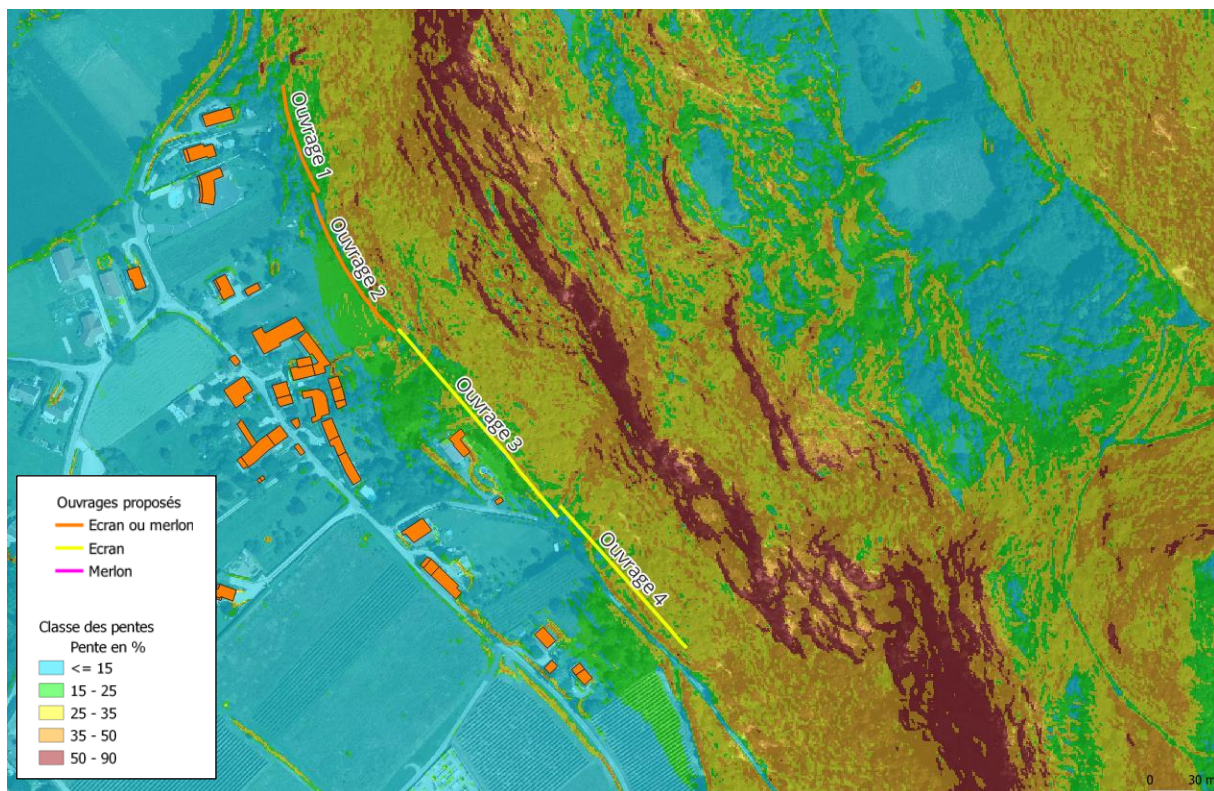
2. Contraintes physiques

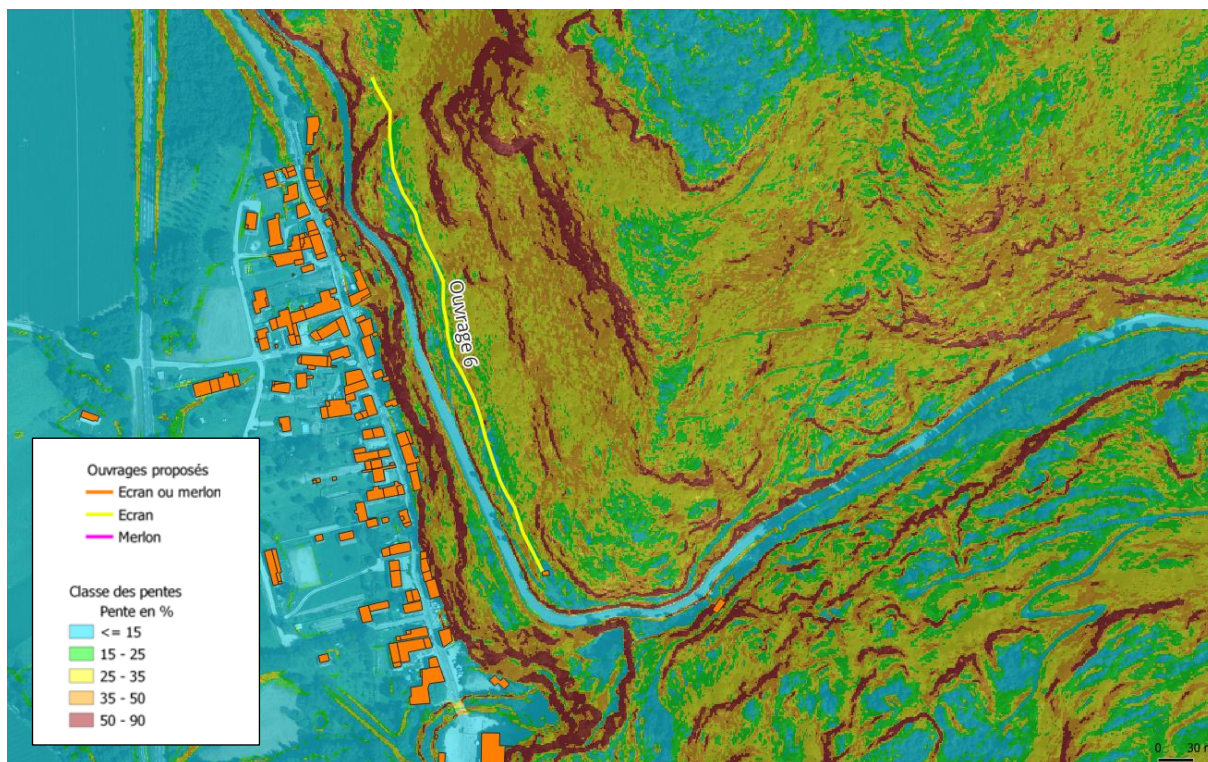
Comme évoqué ci-avant, les contraintes techniques (hors foncier ou réglementaire) à considérer seront surtout conditionnées par la topographie des lieux.

La création d'un merlon en travers d'un talweg va intercepter les écoulements du bassin versant sus-jacent. Ce point nécessite donc une éventuelle anticipation de la restitution des eaux en aval.

Remarque : au-delà de l'aspect technique, cette configuration est soumise au code de l'environnement (article R214-1, loi sur l'eau, rubrique 2.1.5.0.) et peut nécessiter une autorisation si la surface du bassin intercepté par le projet est supérieure à 20 ha.

Il est usuellement recommandé d'éviter la création de merlon dans les pentes supérieures à 25°. En effet, au-delà de cette valeur, un merlon va engendrer une forte emprise au sol, va nécessiter des techniques de stabilisations lourdes (et donc très onéreuses), et peut provoquer à terme des risques pour les enjeux sous-jacents (affaissement des parements et talus sur le bâti par exemple).





Doc 26. Proposition de pré-implantation sur la carte des pentes

De la même façon, il est vivement recommandé de ne pas ériger de merlon sur des sols en glissement de terrain. Cela nécessiterait en effet des adaptations géotechniques conséquentes pour assurer la stabilité de l'ouvrage. Il est, par ailleurs, possible que la création de merlon sur ce type de terrain engendre une modification des écoulements hydrogéologiques qui pourraient à terme créer un nouveau risque. Il demeurera également un risque de glissement partiel ou plus global de l'ouvrage pouvant avoir des conséquences sur les enjeux aval.

Secteur	Ouvrage	Pente	Aléa glissement au PPR	Implantation en talweg	Faisabilité merlon	Faisabilité écran
Les Bonnards	Ouvrage 1	< 25°	Moyen	Non	? (sous réserve G2)	✓
Les Bonnards	Ouvrage 2	< 25°	Moyen	Non	? (sous réserve G2)	✓
Les Bonnards	Ouvrage 3	> 25°	Moyen	Oui	X	✓
Les Bonnards	Ouvrage 4	> 25°	Moyen	Oui	X	✓
Le Champ	Ouvrage 5	< 25°	Faible	Non	✓	✓
Glandieu	Ouvrage 6	> 25°	Moyen	Non	X	✓

Doc 27. Faisabilité technique des ouvrages proposés

3. Les écrans pare-blocs

Le dimensionnement des filets ne repose pas sur une réglementation particulière. Le CEREMA recommande toutefois, à travers une note de 2014 intitulée « Ecrans de filets pare-blocs dynamiques - recommandations pour leurs spécifications », de dimensionner les écrans à un niveau qualifié de niveau de service (SEL) pour la protection de zones urbanisées. Ce choix implique de retenir la valeur des énergies obtenues en trajectographie (niveau d'énergie MEL) et de la multiplier par 3. Il est argumenté par le fait que l'ouvrage sera à même d'encaisser trois blocs avec le niveau d'énergie retenu par l'étude.

Cette position est louable mais forcément plus onéreuse c'est pourquoi il sera proposé 2 dimensionnements : au MEL et au SEL afin de laisser ce choix au maître d'ouvrage.

La norme en vigueur (l'EAD 340089-00-0106) propose les classes suivantes pour les écrans de filet :

Classification selon le niveau d'énergie	0	1	2	3	4	5	6	7	8
SEL	-	85	170	330	500	660	1 000	1 500	> 1 500
MEL	100	250	500	1 000	1 500	2 000	3 000	4 500	> 4 500

Doc 28. Classe des écrans pare-blocs (valeurs en kJ)

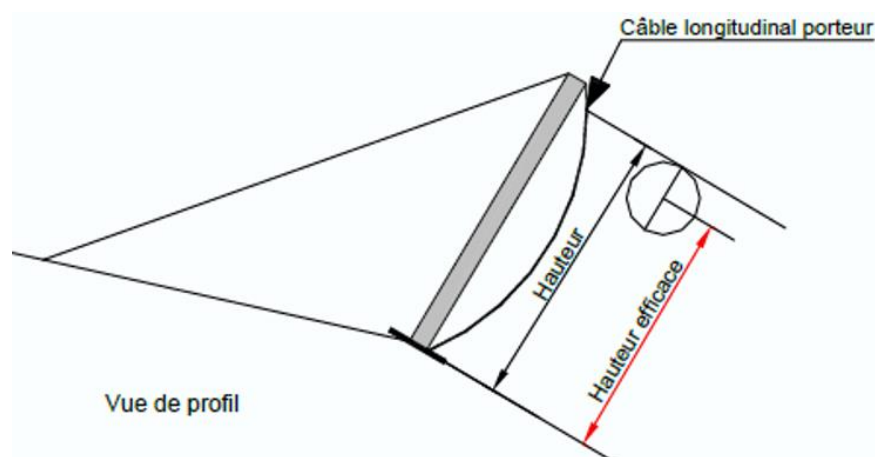
Compte tenu de la géomorphologie du secteur, principalement exposé à un aléa de chute de bloc unitaire plutôt qu'à des phénomènes d'éboulements en masse, nous proposons ici en première approche, compte tenu de la configuration du site, un dimensionnement fonctionnel des écrans pare-blocs au MEL. Il appartient à la commune de choisir si ce choix de dimensionnement lui convient ou si elle souhaite un dimensionnement au SEL.

SEL : (Service Energy Level) niveau de service = L'écran travaille sans s'endommager complètement. Il peut résister à au moins trois impacts de l'énergie de projet. (=MEL x 3)

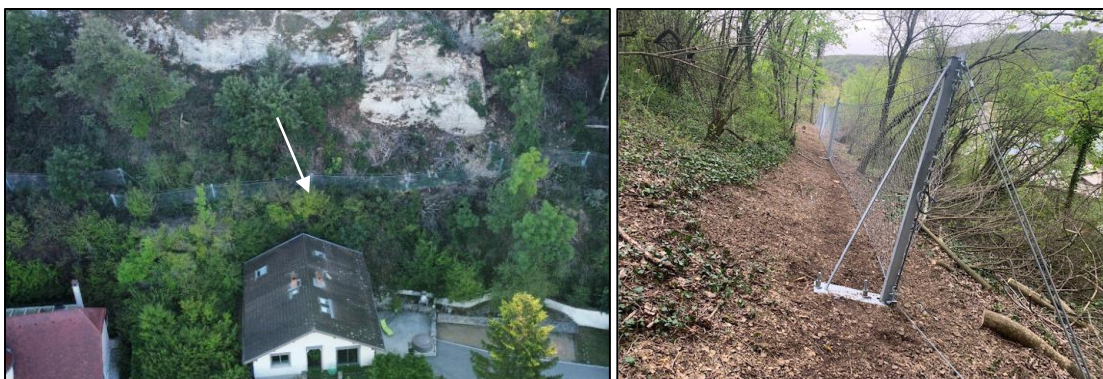
MEL : (Maximum Energy Level) niveau de limite ultime = L'écran travaille en s'endommageant. Il est censé résister à un seul impact de l'énergie de projet.

V.3.1. Dimensionnement de la hauteur

La hauteur de l'ouvrage retenu correspond à la hauteur d'arrêt efficace (hauteur de passage du centre de gravité du bloc de référence obtenue avec les trajectographies) que l'on augmente du rayon du bloc.



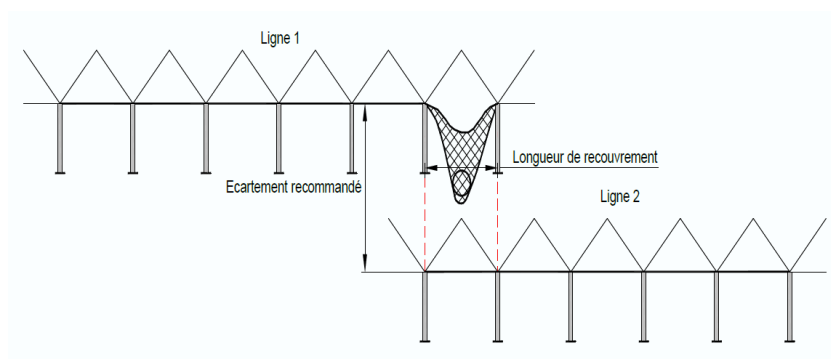
Doc 29. Dimensionnement de la hauteur de l'écran



Doc 30. Clichés d'écrans pare-blocs

V.3.2. Recouvrements

Lorsque cela est nécessaire du fait de la configuration du site, il sera proposé deux lignes de filets disposés en quinconce avec un recouvrement sur un module comme illustré ci-après. Les modules sont généralement standardisés à 10 ml.



Doc 31. Principe de recouvrement

4. Les merlons pare-blocs

Le dimensionnement des merlons ne dispose également pas de réglementation. Il existe cependant un guide du groupe de travail C2ROP de 2021 « Recommandations pour la conception, le suivi de réalisation et l'exploitation des dispositifs de protection par merlons pare-blocs ».

De manière générale, retenons que :

- la fosse doit faire minimum 5 m de largeur (idéalement plus),
- le parement amont du merlon doit être raidi à une pente supérieure à 65°,
- la crête doit faire au moins 3,5 m pour des raisons de compactage,
- l'ouvrage doit pouvoir vérifier que : $\text{énergie} / \text{section} < 250 \text{ kJ} / \text{m}^2$,
- la hauteur utile est la hauteur trajectographique augmentée de 2 fois le rayon du bloc de référence.

Concernant les techniques de construction, il existe plusieurs méthodes et matériaux. Dans le cas présent il sera proposé 2 approches :

- Lorsque les pentes sont peu soutenues et que l'implantation adéquate dispose de suffisamment de place, il est proposé un ouvrage dit rustique composé d'un parement amont en enrochement sec et d'un terrassement à l'équilibre déblai (pour la fosse) remblai (pour la digue).

- Lorsque les pentes sont relativement soutenues et que l'espace disponible est limité, il est proposé un merlon à double parement raidi composé entièrement en terre armée.

5. Estimatif financier par solutions de travaux

Solution 1 : écrans pare-blocs

Solution écrans (MEL)				
Postes	Quantités	Unités	Prix unitaire HT	Montant HT
Travaux généraux				
Mise en place et repli chantier	1	forfait	40 000 €	40 000 €
Essais de conformités	10	U	1 200 €	12 000 €
Essais de contrôles	10	U	800 €	8 000 €
Etude d'EXE	1	forfait	5 000 €	5 000 €
DOE	1	forfait	2 000 €	2 000 €
Ecran pare-blocs Les Bonnards				
Déboisement/débroussaillage	1	forfait	5 000 €	5 000 €
Filet classe 3 (MEL) 1000 kJ	465	ml	666 €	309 690 €
Ecran pare-blocs Le Champ				
Déboisement/débroussaillage	1	forfait	2 000 €	2 000 €
Filet classe 2 (MEL) 500 kJ	50	ml	444 €	22 200 €
Ecran pare-blocs Glandieu				
Déboisement/débroussaillage	1	forfait	7 000 €	7 000 €
Filet classe 2 (MEL) 500 kJ	450	ml	444 €	199 800 €
Cout des travaux avec écran pare-blocs (MEL)			TOTAL HT	612 690 €
			TOTAL TTC	735 228 €

Solution écrans (SEL)				
Postes	Quantités	Unités	Prix unitaire	Montant HT
Travaux généraux				
Mise en place et repli chantier	1	forfait	40 000 €	40 000 €
Essais de conformités	10	U	1 200 €	12 000 €
Essais de contrôles	10	U	800 €	8 000 €
Etude d'EXE	1	forfait	5 000 €	5 000 €
DOE	1	forfait	2 000 €	2 000 €
Ecran pare-blocs Les Bonnards				
Déboisement/débroussaillage	1	forfait	5 000 €	5 000 €
Filet classe 6 (SEL) 3000 kJ	465	ml	1 000 €	465 000 €
Ecran pare-blocs Le Champ				
Déboisement/débroussaillage	1	forfait	2 000 €	2 000 €
Filet classe 4 (SEL) 1500 kJ	50	ml	750 €	37 500 €
Ecran pare-blocs Glandieu				
Déboisement/débroussaillage	1	forfait	7 000 €	7 000 €
Filet classe 4 (SEL) 1500 kJ	450	ml	750 €	337 500 €
Cout des travaux avec écran pare-blocs (SEL)			TOTAL HT	921 000 €
			TOTAL TTC	1 105 200 €

Solution 2 : Merlon + écrans pare-blocs

Solution ecrans (SEL)				
Postes	Quantités	Unités	Prix unitaire	Montant HT
Travaux généraux				
Mise en place et repli chantier	1	forfait	40 000 €	40 000 €
Essais de conformités	10	U	1 200 €	12 000 €
Essais de contrôles	10	U	800 €	8 000 €
Etude d'EXE	1	forfait	5 000 €	5 000 €
DOE	1	forfait	2 000 €	2 000 €
Ecran pare-blocs Les Bonnards				
Déboisement/débroussaillage	1	forfait	5 000 €	5 000 €
Filet classe 6 (SEL) 3000 kJ	465	ml	1 000 €	465 000 €
Ecran pare-blocs Le Champ				
Déboisement/débroussaillage	1	forfait	2 000 €	2 000 €
Filet classe 4 (SEL) 1500 kJ	50	ml	750 €	37 500 €
Ecran pare-blocs Glandieu				
Déboisement/débroussaillage	1	forfait	7 000 €	7 000 €
Filet classe 4 (SEL) 1500 kJ	450	ml	750 €	337 500 €
Cout des travaux avec ecran pare-blocs (SEL)			TOTAL HT	921 000 €
			TOTAL TTC	1 105 200 €

Solution Mixte merlon + ecrans (SEL)				
Postes	Quantités	Unités	Prix unitaire	Montant HT
Travaux généraux				
Mise en place et repli chantier	1	forfait	40 000 €	40 000 €
Essais de conformités	8	U	1 200 €	9 600 €
Essais de contrôles	8	U	800 €	6 400 €
Etude d'EXE	1	forfait	5 000 €	5 000 €
DOE	1	forfait	2 000 €	2 000 €
Merlon pare-blocs Les Bonnards				
Déboisement/débroussaillage	1	forfait	10 000 €	10 000 €
Merlon en terre armée à double parement raidis	1	forfait	240 000 €	240 000 €
Ecran pare-blocs Les Bonnards				
Déboisement/débroussaillage	1	forfait	3 000 €	3 000 €
Filet classe 6 (SEL) 3000 kJ	286	ml	1 000 €	286 000 €
Merlon pare-blocs Le Champ				
Déboisement/débroussaillage	1	forfait	2 000 €	2 000 €
Merlon en terre	1	forfait	20 000 €	20 000 €
Ecran pare-blocs Glandieu				
Déboisement/débroussaillage	1	forfait	7 000 €	7 000 €
Filet classe 4 (SEL) 1500 kJ	450	ml	750 €	337 500 €
Cout des travaux avec merlon + ecran pare-blocs (MEL)			TOTAL HT	968 500 €
			TOTAL TTC	1 162 200 €

6. Priorisation des travaux

Pour rappel, la cartographie de l'aléa situe tous les enjeux en aléa fort chutes de pierres, sauf les habitations protégées par le merlon pare-blocs.

Compte tenu de l'ensemble des résultats trajectographiques, des masses instables identifiées par le BRGM (notamment en amont du hameau des Bonnards), de l'historique des événements connus sur le site d'étude, et de la présence d'ouvrage existant et de leur état, nous proposons le tableau de priorisation ci-après, permettant de faciliter le choix de la MOA dans l'ordre de réalisation des ouvrages de protection.

Secteur	Ouvrage	Niveau d'aléa sur l'enjeu	Nombre d'évènements connus	Ouvrage existant	Priorité
Les Bonnards	Ouvrage 1	Fort (P3)	0	non	1
Les Bonnards	Ouvrage 2	Fort (P3)	0	non	1
Les Bonnards	Ouvrage 3	Fort (P3)	2	non	1
Les Bonnards	Ouvrage 4	Fort (P3)	1	Ancien écran pare-blocs	2
Le Champ		Fort (P3)	12	Merlon efficace	-
Le Champ	Ouvrage 5	Fort (P3)	0	non	3
Glandieu	Ouvrage 6	Fort (P3)	0	non	3

En termes de coût financier, la priorisation des ouvrages permettrait d'échelonner les dépenses dans le temps. Le tableau ci-après permet d'avoir un aperçu du coût des ouvrages par priorité.

Scénario d'aménagement	Priorité 1 (euros/HT)	Priorité 2 (euros/HT)	Priorité 3 (euros/HT)
Solution écrans au MEL	270 000	100 000	290 000
Solution Ecrans au SEL	380 000	150 000	420 000
Solution mixte Ecrans/Merlons au MEL	390 000	100 000	260 000
Solution mixte Ecrans/Merlons au MEL	440 000	150 000	400 000



Agence RTM Alpes du Nord
Service RTM de la Savoie
17 Rue des Diabls Bleus
73 026 CHAMBÉRY Cédex