



Direction Départementale
Des Territoires de l'Ain
Unité Prévention des Risques
Service urbanisme et risques
23 rue Bourgmayer – CS 90410
01012 Bourg-en-Bresse cedex

Plan de Prévention des Risques Naturels



Juin 2018

Commune de Groslée Saint-Benoît

Etude et cartographie des aléas - Rapport technique -

Cliché page de garde :

Vue depuis l'amont du merlon des Champs. Village des Champs au premier plan, villages de Groslée et St Benoît en arrière-plan

Etabli par :

Service de Restauration des Terrains en Montagne (RTM) de la Savoie
Office National des Forêts
42 Quai Charles Roissard
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
14/06/2018	<i>Rapport technique - Etude et cartographie des aléas – commune de Groslée St Benoît</i>	D07-37	89

	Nom Prénom	Fonction
Auteurs	Pierre Dupire	Ingénieur géologue
	David Etcheverry	Ingénieur hydraulicien
Relu et validé	Yannick Robert	Référent « zonage aléa »

Suivi des versions :

Version	Date	Observations
V0	18/05/2018	Consultation commune
V1	14/06/2018	Version restitution

Table des matières

TABLE DES MATIÈRES	3
I PREAMBULE	4
I.1 Objet.....	4
I.2 Méthodologie	4
II CONTEXTE PHYSIQUE DE LA COMMUNE	5
II.1 Contexte topographique et morphologique	5
II.2 Contexte géologique.....	6
II.3 Contextes hydrographique, hydrologique et hydrogéologique	7
II.4 Conséquence sur les risques naturels	7
III ALEAS CHUTES DE BLOCS	9
III.1 Définition	9
III.2 Historique et données disponibles.....	9
III.3 Traitements préalables	10
III.4 Observations de terrain	11
III.5 Ouvrages de protection	16
III.6 Modélisations trajectographiques	18
III.7 Qualification de l'aléa	20
IV ALEAS GLISSEMENT DE TERRAIN	25
IV.1 Définition	25
IV.2 Historique et données disponibles.....	25
IV.3 Traitements préalables	25
IV.4 Observations de terrain	27
IV.5 Qualification de l'aléa	30
V ALEAS CRUES TORRENTIELLES	32
V.1 Définition	32
V.2 Historique et données disponibles.....	32
V.3 Analyse hydrologique du ruisseau de la Gorge	33
V.4 Observations de terrain	38
V.5 Modélisation hydraulique – ruisseau du Gland.....	48
V.6 Modélisation hydraulique – ruisseau de la Gorge	49
V.7 Qualification de l'aléa	53
VI ALEAS DE RUISSELLEMENT	61
VI.1 Définition	61
VI.2 Méthodologie appliquée	61
VI.3 Historique et données disponibles.....	61
VI.4 Traitements préalables	62
VI.5 Observations de terrain	64
VI.6 Qualification de l'aléa	76
VII SYNTHÈSE DES ÉVÉNEMENTS HISTORIQUES	79
VIII ANNEXES	81
VIII.1 Annexe 1 : Méthode MEZAP	81
VIII.2 Annexe 2 : Description du modèle Rockyfor3D	83
VIII.3 Annexe 3 : description du logiciel HEC-RAS.....	87

I Préambule

I.1 Objet

La présente étude est réalisée pour le compte de la Direction Départementale des Territoires de l'Ain, dans le cadre de l'élaboration des cartes des aléas de mouvements de terrain et crues torrentielles pour la réalisation des Plans de Préventions des Risques Naturels (PPRN).

Le présent rapport a pour objet de garder une traçabilité des investigations entreprises durant la phase de recueil des données et d'établissement de la carte des aléas.

I.2 Méthodologie

La mission est basée selon les guides en vigueur (guide méthodologique PPRN risque mouvement de terrain, guide méthodologique PPRN risque inondation, et nouveau guide PPRN général de décembre 2016), ainsi que les nouveaux documents en cours de validation DGPR (guide PPR crue torrentielle, actualisation du guide PPR, guide MEZAP, etc.).

Le présent rapport reprend les différentes étapes réalisées :

- 1) Travail d'exploitation des données disponibles : il permet d'aboutir à une synthèse des phénomènes historiques sous forme d'un tableau associé à une carte informative des phénomènes historiques annexée au dossier. Ce travail est un préalable indispensable à toute élaboration de zonage des risques naturels. Il permet en effet de disposer des informations sur l'intensité des phénomènes, leur fréquence, l'étendue et l'atteinte de l'aléa. Cette donnée permet donc de qualifier l'aléa sur des zones où les phénomènes sont avérés et de transposer ce zonage sur d'autres secteurs qui présentent des configurations similaires.

Dans le cadre de cette phase, une réunion de travail a été organisée afin de rassembler toutes les connaissances de terrain sur l'historique des phénomènes naturels connus sur la commune. Elle s'est tenue le 22 février 2018 en mairie de Groslée Saint-Benoît en présence de Mme Marthe AURELE (maire déléguée), M. Thierry CATCEL (adjoint), M. Guy PLANTIN (maire), M. Maurice PERRET (adjoint), et M. David ETCHEVERRY (ONF-RTM).

- 2) Traitements préalables sur SIG : ils permettent d'orienter l'expert dans son zonage en démontrant des susceptibilités aux phénomènes.
- 3) Observations de terrain : décrites et illustrées dans ce rapport, elles apportent une expertise complémentaire par approche dite « géomorphologique ». Le travail de terrain consiste à repérer des indices, voire des traces de phénomènes, dans le but d'identifier des terrains disposant de prédispositions à la survenance des aléas étudiés. Ce travail permet d'argumenter sur le choix des scénarios de références.
- 4) Modélisation numérique des phénomènes : l'analyse géomorphologique présentée au point précédent reste relativement empirique. Le recours à la modélisation (simulation numériques des phénomènes) apporte des éléments quantitatifs complémentaires par approche scientifique. Le présent rapport aborde les différentes étapes de construction des modèles et l'analyse critique des résultats.
- 5) Application des grilles de qualification des aléas par type de phénomène : ces grilles sont détaillées dans le présent rapport.

II Contexte physique de la commune

II.1 Contexte topographique et morphologique

La commune de Groslée Saint-Benoît s'étend sur 28,92 km². Le territoire s'étage entre 200 m au niveau du Rhône et 1000 m au niveau de la montagne de Tentanet.

Il est délimité à l'Ouest par le Rhône (une partie se situe toutefois en rive gauche), et par les reliefs du Jura à l'Est. La commune est née d'une fusion des communes de Groslée et de Saint-Benoît en 2016. Notons la forme atypique de la limite communale en forme de « pince de main » qui résulte d'un ancien méandre du Rhône.

L'orientation générale des entités géographiques est Nord-Ouest / Sud-Est.

La carte suivante permet de donner une relation entre les pentes observées et l'occupation du sol. Les parties urbanisées et les zones agricoles sont relativement plates (<10°) et se retrouvent majoritairement dans la plaine du Rhône qui constitue les 2/3 Ouest du territoire.

Les inclinaisons supérieures à 45° correspondent à des falaises qui sont des zones de départs de blocs et de pierres potentielles. Les portions de versant pentées aux alentours de 35° correspondent à des éboulis qui sont relativement boisés.

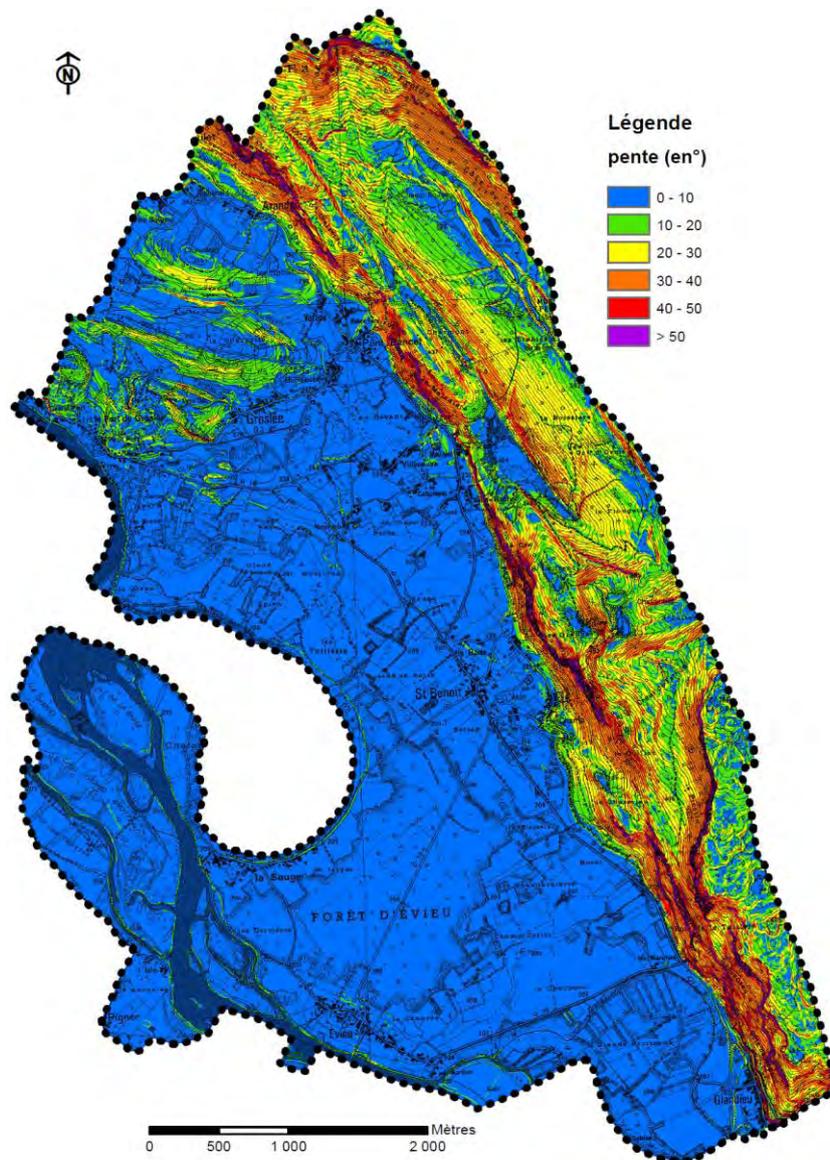


Figure 1 : carte des pentes

II.2 Contexte géologique

La commune se localise dans l'unité géographique dite du « Bas Bugey » qui fait partie du Jura méridional, correspondant à la zone plissée du Jura externe.

Il se caractérise par un faisceau de plis avec des anticlinaux en relief et des synclinaux en creux. Ce sont des structures resserrées, souvent tronquées par des accidents de même direction qui créent une ligne de relief.

Les reliefs dominant la totalité du territoire communal sont constitués de formations secondaires d'origine sédimentaire et datées du Jurassique moyen qui forment ici un anticlinal.

La partie sommitale entre la Montagne de Saint Benoit et la Montagne de Tentanet se composent de calcaires marneux et de marnes (formations de l'Oxfordien moyen, du Bathonien et du Bajocien). Ces derniers sont relativement lités et peu compacts.

De part et d'autre de cet axe formant le sommet de l'anticlinal, les versants sont issus de l'Oxfordien supérieur qui donne les principales barres rocheuses de la commune. Il s'agit ici de calcaires plus ou moins lités avec présence ponctuelles de strates marneuses et parfois en base des calcaires pseudo-lithographiques (plus compacts).

Sur le secteur de Groslée des calcaires fins du Portlandien affleurent au droit du Port. Le Château Vieux est par ailleurs implanté sur un sol marno-calcaire parfois gréseux du Berriasien. La colline de la Charvette est ceinturée par des formations molassiques du Miocène. Tout ce secteur est de surcroît tapissé de dépôts glaciaires (moraine)

Les séries calcaires ont donné naissance au cours du temps à des éboulis, qui recouvrent aujourd'hui la partie basse des versants. Ces matériaux sont recouverts jusqu'en pied de falaise d'une végétation relativement dense.

La plaine du Rhône est tapissée d'alluvions d'origine fluviale post-würmiennes et récentes. Ces formations sont composées d'éléments caractérisés par une granulométrie particulièrement étendue.

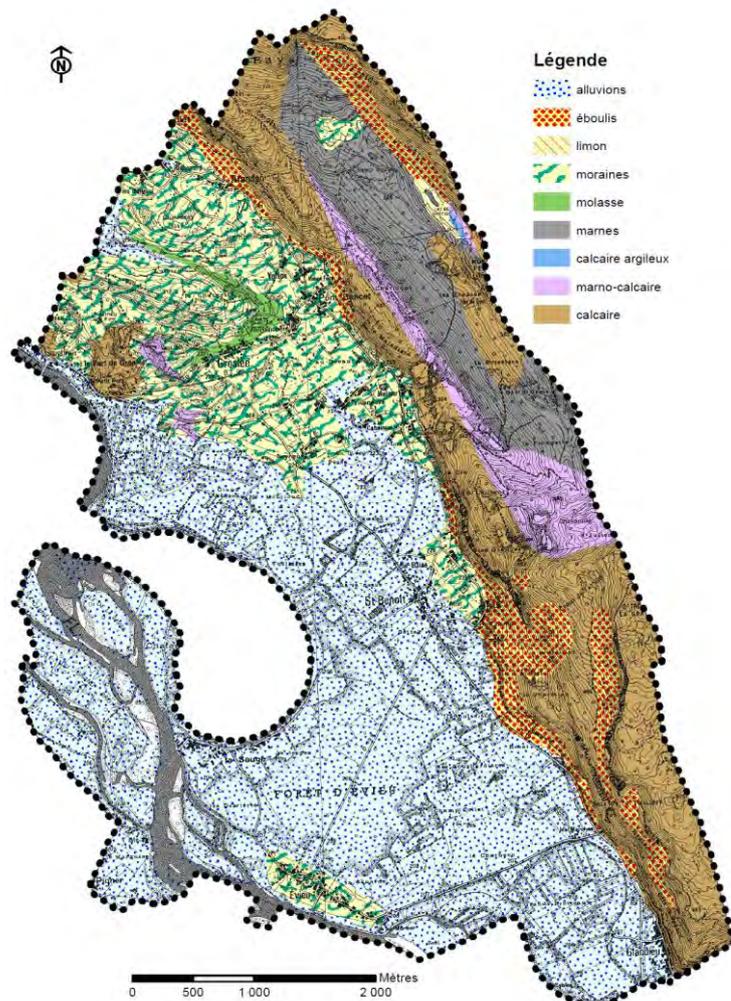


Figure 2 : carte géologique simplifiée

II.3 Contextes hydrographique, hydrologique et hydrogéologique

NB : le contexte hydrologique sera abordé plus en détail au paragraphe dédié aux crues torrentielles.

Le Rhône n'est pas abordé dans le dossier présent.

En dehors du Rhône, les deux principales unités hydrographiques sur la commune de Groslée Saint Benoit sont :

- Le ruisseau du Gland : jusqu'à la route départementale RD 19, son cours jusqu'à la route départementale constitue la limite Sud de la commune. A l'aval, le ruisseau entre dans la plaine inondable du Rhône et son tracé reste, jusqu'à la confluence avec ce fleuve, sur le territoire communal
- Le ruisseau de la Gorge : l'essentiel du bassin de réception de ce ruisseau est sur la commune voisine amont de Lhuis. Ce cours d'eau traverse le hameau de la Burlanchère puis prend la direction de la plaine du Rhône, avec lequel il conflue en aval du hameau des Brotteaux.

Au-delà de ces deux principaux cours d'eau, d'autres axes de ruissellement ont été identifiés sur la commune et sont issus de résurgences et/ou de combes issues du versant et concentrant les eaux de ruissellement. Dans la partie Nord de la commune, ils rejoignent le ruisseau de la Gorge. Au Sud, ils rejoignent la plaine et s'infiltrent ou s'écoulent jusqu'au Rhone via des fossés.

Par ailleurs, le secteur d'étude est connu pour sa particularité karstique qui engendre inévitablement des écoulements souterrains difficiles à appréhender en l'absence d'étude spécifique. Des exutoires sont notamment connus au hameau de Glandieu. Les débits peuvent être importants (quelques dizaines de litres d'eau par minute).

Tous les secteurs sujets à ces problématiques liées au ruissellement seront détaillés dans la suite du rapport.

II.4 Conséquence sur les risques naturels

II.4.1 Concernant les glissements

Les formations géologiques ont été regroupées en fonction de leur faciès et de leur comportement géomécanique probable en vue de leur associer un critère de susceptibilité au glissement de terrain.

Ainsi :

- Les alluvions sont des formations frottantes peu sensibles. Les glissements de terrain y sont très peu probables compte tenue des pentes très faible et de la nature graveleuse des matériaux ;
- Les formations de versant telles que les éboulis sont généralement très frottantes et leur mode de dépôt les placent toujours en deçà de leur pente d'équilibre naturelle. Les glissements de terrain naturels sont possibles mais peu probable, par contre, leur pente souvent forte les expose à des déclenchements anthropiques ;
- Les barres de calcaires connaissent pas ou peu de glissement sauf lorsqu'ils affectent la couche de colluvions généralement peu épaisse recouvrant localement le substratum calcaire.
- Les formations molassiques, argileuses et marneuses s'altèrent facilement sous l'effet des agents atmosphériques et des circulations d'eau. Le produit résultant est une colluvion argileuse sensible aux glissements de terrain. Ces derniers n'affectent généralement pas le substratum mais uniquement cette couche d'altération superficielle (qui peut toutefois représenter localement plusieurs mètres d'épaisseur). On notera que plus la pente est forte, moins cette couche d'altération est épaisse. Au

contraire les pentes faibles à modérées peuvent être le lieu d'accumulations importantes ;

- Les moraines sont des formations plus ou moins graveleuses, à matrice souvent argileuse et d'épaisseur parfois importante. En présence d'eau surtout, ces matériaux peuvent générer des glissements de grande ampleur par les volumes mobilisés et la profondeur de la surface de rupture.

II.4.2 Concernant les chutes de blocs

Les zones situées sur des pentes supérieures à 45° sont vraisemblablement des zones de départ potentielles. Celles comprises entre 35 et 45° peuvent être à l'origine de remise en mouvement de matériaux déjà éboulés.

La structure du massif rocheux, la présence de plusieurs plans de discontinuités et leurs orientations constituent des paramètres prépondérants de prédisposition naturelle aux instabilités. Le phénomène de gélifraction représente le principal facteur d'évolution des séries calcaires constituant les falaises. En effet, dans une région caractérisée par des saisons hivernales relativement vigoureuses, l'alternance des cycles gel/dégel se développant dans les fissures de la roche, contribue fortement à l'érosion du massif par fragmentation. Ce phénomène, renforcé par les pressions hydrostatiques dues à la pluviométrie qui se développent au contact des surfaces de discontinuité, conduit à une évolution relativement lente des falaises. Indépendamment de cette vitesse, ce processus d'altération est cependant inexorable. Il se traduit progressivement par le découpage d'écaillés ou de prismes rocheux dont le volume est variable, mais peut être très important.

Suite à cette phase d'évolution plus ou moins longue, correspondant donc à une ouverture des surfaces de discontinuité et qui conduit l'élément rocheux à un état d'équilibre limite, on observe une accélération qui mène rapidement à la rupture. La rapidité de cette phase terminale avant la chute de l'édifice instable, explique que ce type de phénomène naturel soit difficilement prévisible.

II.4.3 Concernant les phénomènes hydrauliques

Différents processus interviennent dans la formation des crues torrentielles : l'augmentation des débits (hauteur et vitesse des eaux) mais également le transport solide. Cette alimentation se fait par charriage des matériaux présents dans le lit et sur les berges. Ces transports solides peuvent également être alimentés par des arbres, bois morts et flottants en tout genre.

Les terrains sensibles à l'érosion sont donc particulièrement propices au développement de crues torrentielles.

Des terrains sont localement sensibles à l'érosion et peuvent engendrer du charriage en crue. La composante topographique joue alors un rôle important : des replats peuvent par exemple jouer un rôle de stockage et/ou de régulation du transport solide. Par ailleurs, de par l'important couvert forestier des versants et des berges, la probabilité de transport de bois en crue est forte et engendre des risques d'obstruction d'ouvrages de franchissement (ponts, buses, dalots,...) par embâcles.

La composante solide (matériaux et flottants) sera considérée dans l'analyse des risques de chaque secteur concerné par un aléa ruissellement ou crue torrentielle.

Sur le secteur d'étude, les problématiques de transport solide prépondérant sera lié aux flottants et au risque d'embâcles. Des problèmes d'engravement seront également localement observés mais souvent là où des problèmes liés à des embâcles sont déjà existants (entrée d'ouvrage, lit à faibles gabarit avec berges végétalisées,...). Un engravement derrière embâcles favorisera d'autant plus les débordements.

III Aléas chutes de blocs

III.1 Définition

Chute d'éléments rocheux d'un volume unitaire compris entre quelques décimètres et quelques mètres cubes. Le volume total mobilisé lors d'un épisode donné est limité à quelques centaines de mètres cubes. Au-delà de ces volumes on parle d'éboulement. Il s'agit de phénomènes très rapides à forte cinétique.

III.2 Historique et données disponibles

Sources d'informations consultées :

- CETE, 1990, Note technique « examen de la falaise du Champ et définition des travaux de protection contre les éboulements rocheux ».
- CETE, 1999, Analyse de propagation de blocs rocheux et dimensionnement d'un ouvrage de protection – zone du Champ
- CETE, 1988, étude de protection contre les éboulements rocheux, falaise des Bonnards et Du Champ
- DDE, 1997, Chute de rochers au lieu-dit Le Champs – compte rendu de visite
- SFRM-DDE, 1998, Plan de Prévention des Risques (PPR), mouvements de terrains et crues torrentielles – commune de Saint Benoît.
- Commune de Groslée Saint-Benoît. Réunion de travail du 22/02/2018.
- Le Progrès, article de presse du 9/02/2006 « une chute de rocher évitée ».
- Base de données www.georisques.gouv.fr.

Evènements historiques :

Secteur	Date	Observation(s)	Source(s)
Hameau Le Champ	1975	un éboulement a affecté la falaise "du Champ" entraînant dans la pente des blocs ayant un volume important: cinq blocs dont le volume était compris entre 0,5 et 3 m ³ . On peut noter deux autres ayant des volumes respectifs de l'ordre de 10 et 100 m ³ à proximité des maisons suite à un éboulement ancien.	PPR
Les Bonnards - Le Champs	Janvier 1987	un éboulement rocheux a eu lieu. Des blocs, dont un de 4 m ³ ont atteint une maison. Des blocs de 0,1 à 0,2 m ³ étaient visibles plus en amont. Suite à ce mouvement de terrain, une étude trajectographique a été réalisée afin de dimensionner des écrans de protection.	PPR géorisques
Les Bonnards - Le Champs	9 mai 1997	Deux blocs étaient bien visibles dans un terrain entre le hameau du Champs et celui des Bonnards. Le plus gros de 0,5 m ³ s'est stoppé à 3 m de la voie communale. Un bloc est tombé à une des extrémités du merlon	DDE, Commune
Hameau Le Champ	30 janvier 2006	Un rocher est descendu dans le merlon.	Article le Progrès
Vignoble à Pont Bancet, le plus au Nord, entre la D10a et la route communale	Il y a environ 10 ans	Chutes de blocs de 1 à 2 m ³ dans les vignes	Commune

Tableau 1: historique des phénomènes de chutes de blocs

III.3 Traitements préalables

Il est admis qu'une pente supérieure à 45° est constituée d'un substratum rocheux (les sols meubles ne tenant pas sur de telles pentes). Par conséquent toute pente supérieure à 45° est potentiellement composée d'affleurements rocheux pouvant libérer des blocs.

Un premier traitement a donc consisté à mettre en avant les portions de versants disposant de telles pentes (cf. carte ci-contre). Ces secteurs sont potentiellement des zones de départ de blocs qui peuvent être masqués par la végétation par exemple. Ce travail permet, en outre, de localiser des petits affleurements masqués par la végétation qui auraient pu ne pas être aperçu en phase de reconnaissance de terrain.

Les zones de départs ont ensuite été intégrées dans un traitement automatisé à l'aide d'un logiciel de modélisation de chutes de blocs : Rollfree® (développé par l'IRSTEA).

Cette carte a servi d'aide à la décision pour l'expert. Elle est basée sur un traitement numérique automatisé projetant une surface à pente constante, depuis les points en sommets de falaise jusqu'à l'intersection de cette surface virtuelle avec la surface topographique en pied de versant.

Usuellement, l'extension maximale des chutes de blocs ne dépasse pas une pente, mesurée depuis le sommet de falaise, de 30° .

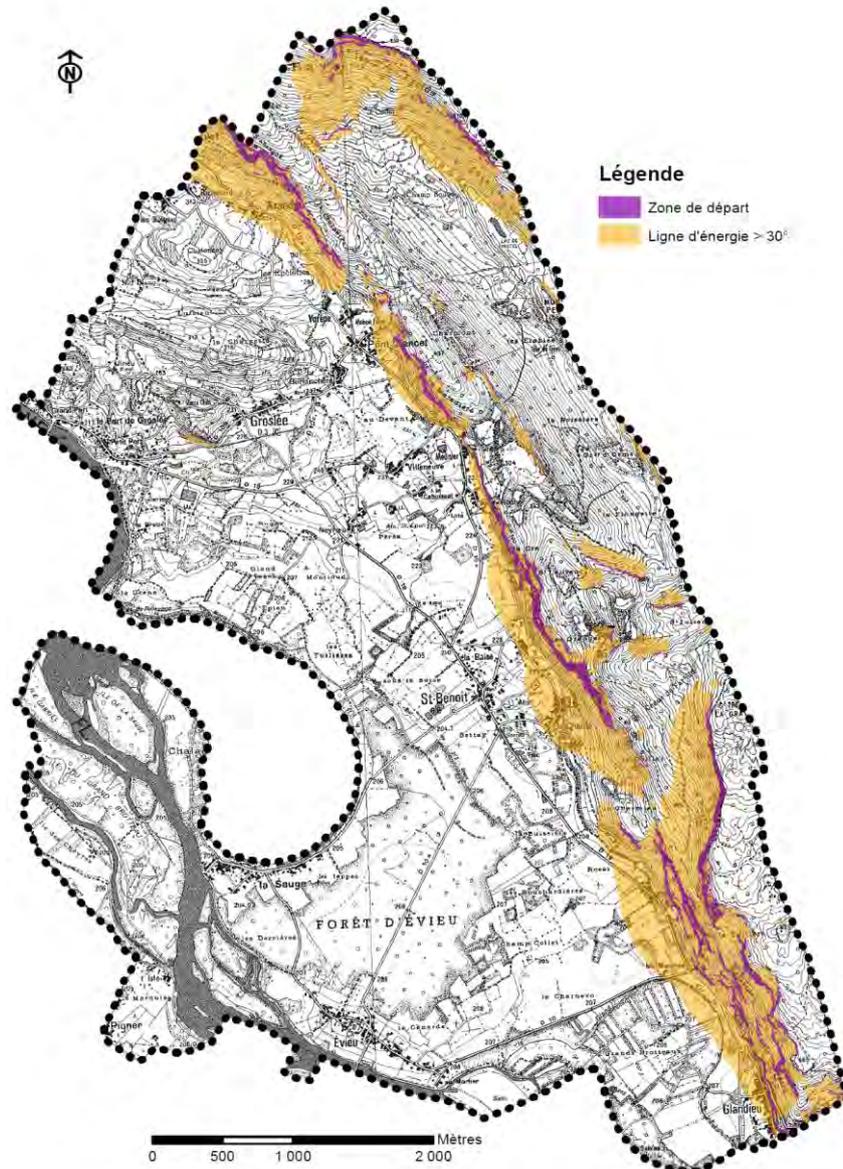


Figure 3 : Carte des zones d'atteintes potentielles de chutes de blocs

La carte précédente montre que les villages de Glandieu, Le Champs et Arandon ont une probabilité importante d'être affectés par les chutes de blocs. Ces derniers feront, par conséquent, l'objet d'une modélisation trajectographique.

III.4 Observations de terrain

Remarque : les observations de terrain ont été réalisées à distance. Le présent marché ne prévoyait pas de reconnaissances en techniques alpines.

III.4.1 2.2.1 Aperçu structural

Les séries calcaires jurassiques présentent une stratification subhorizontale. Par ailleurs, deux familles différentes de fractures affectent le massif rocheux et sont à l'origine de sa structure actuelle. Ces accidents, observés à l'échelle locale, sont conformes aux accidents tectoniques majeurs affectant la chaîne jurassienne :

- fractures principales orientées sensiblement N-NW / S-SE ;
- fractures secondaires orientées sensiblement NE / SW.

Ces plans de discontinuités d'origine tectonique, combinées à la stratification des calcaires, sont directement à l'origine du découpage du massif en compartiments de tailles et de formes diverses, lui conférant un caractère relativement désorganisé.

III.4.2 Secteur Arandon

Le secteur est dominé par plusieurs barres rocheuses parfois inclinées, parfois verticales, atteignant une cinquantaines de mètres de hauteur. La paroi est globalement compacte à l'exception d'une zone manifestement en activité au regard de la patine rocheuse jaunâtre témoignant d'une érosion. A ce niveau des blocs éboulés directement en pied de falaise atteignent entre 2 et 5 m³. La cicatrice en question est aujourd'hui en activité, ce qui se manifeste par une altération en surface et un phénomène de gélifraction qui libère des pierres de volume modéré de façon continue.

Un petit bloc de 100 l fraîchement éboulé est visible au Sud du lieu-dit en aval de la RD10a dans la zone marécageuse. Celui-ci provenait des escarpements de la Croisette qui concernent également toute la vallée jusqu'à Varèpe plus au Sud.



Figure 4 : falaise dominant Arandon

III.4.3 Secteur de Pont Bancet

Le village de Pont Bancet est dominé par un éboulis anciennement exploité (extraction de matériaux) sur lequel réside des blocs, le tout sur une pente très raide. Ceux-ci, pouvant atteindre au moins un mètre cube, pourraient facilement se déchausser notamment sous l'action de ravinement. Fort heureusement, le site marque un replat et une contre pente en aval ce qui permet de limiter les propagations en cas de mise en mouvement.

Plus au Sud, la falaise réapparaît sur une hauteur d'une cinquantaine de mètres. La paroi est bien verticale mais ne montre pas d'instabilités notoire autres que des écailles inférieures à 1 m³. La falaise disparaît progressivement vers le Sud à la faveur d'affleurements plus petits au droit du lieu-dit Au-Devant. Notons à ce niveau l'existence d'une carrière d'extraction de matériaux donnant des fronts de traillles assez verticaux qui pourraient se déstabiliser.



Figure 5 : versant en amont de Pont Bancet

III.4.4 Secteur de Meunier –Sous Roche

Cette zone présente un versant rocheux localement bien vertical sur une vingtaine de mètres de hauteur. Le rocher est massif au droit de Meunier et Sous Roche et plus altéré entre les deux lieux-dits. Des pierres de volume modéré (inférieures à 0,25 m³) peuvent se décrocher d'un peu partout sur l'affleurement.

Le profil topographique dispose d'une configuration en « L » donc avec un replat rapide sans zone de propagation ce qui limite l'extension du phénomène.

Notons toutefois qu'une dizaine d'habitations sont implantées directement en pied de versant ce qui implique une forte exposition.



Figure 6 : barre rocheuse dominant le secteur

III.4.5 Secteur des Bonards

En amont du bourg de Saint-Benoit, un groupe d'habitations du quartier dit des Bonards s'est implanté en pied d'un versant rocheux haut d'une centaine de mètres avec des portions bien verticales. Globalement l'affleurement est massif, néanmoins il est entrecoupé par des strates plus marneuses lui conférant des instabilités souvent par sous-cavage des couches friables laissant alors en suspens des compartiments plus massifs. Lorsque le contexte structural est défavorable (fracturation rocheuse), ces derniers peuvent se décrocher et donner lieu à des éboulements de plusieurs mètres cubes. C'est notamment ce qu'il s'est produit en 1987 où un bloc de 4m³ avait atteint une habitation.

Se rajoutent à ces instabilités, un écaillage de la couche rocheuse de surface. Celui-ci trouve vraisemblablement son origine dans la décompression à l'issue du retrait glaciaire. Ces points de faiblesses sont également très sensibles aux phénomènes de gélifraction (dû au gel/dégel). Il en résulte des blocs pouvant atteindre le mètre cube, pouvant se décrocher à tout moment. Notons la présence d'un écran de filet type ASM (cf § III.5).



Figure 7 : falaise en amont des Bonards



Figure 8 : falaise en amont des Bonards

III.4.6 Secteur du Champs

La falaise atteint une hauteur de 100 à 200 m avec une portion rocheuse inclinée sur la moitié basse, et verticale sur la moitié supérieure.

Là aussi le rocher est globalement massif mais celui-ci a été fractionné par la décompression liée au retrait glaciaire.

Les très nombreuses « taches » (patine jaunâtre de l'affleurement) témoignent de cicatrice d'éboulement, de zones sensibles à l'érosion (notamment à la gélifraction).



Figure 9 : falaise dominant le hameau du Champs

Devant l'étendue de la falaise, il n'est pas réaliste de donner une exhaustivité des instabilités. Une note technique du CETE de 1990 a notamment mis en évidence :

- Un compartiment instable de 200 m³ présentant un risque modéré à élevé à moyen terme. Ce compartiment devrait se fragmenter en cours de propagation. Un risque de départ de parties élémentaires de l'ordre de 20 à 50 m³ est élevé à moyen terme.
- Au moins 5 compartiments de 10 à 20 m³ présentant un risque élevé à court à moyen terme.

Retenons comme scénarios :

- Un départ récurrent de pierres ou petits blocs inférieurs à 0,25 m³ depuis les zones sensibles à l'érosion (cicatrices notamment) mais dont la majorité est inaperçue car les propagations s'arrêtent sur le versant ;
- Un départ de blocs ou petits éboulements de plusieurs mètres cubes de période de retour environ décennale (4 événements connus en moins de 40 ans). Ce type d'évènement peut connaître des blocs qui descendent en pied de versant (cf. figure suivante).
- Un éboulement en masse (compartiment de 200 m³ identifié par le CETE) qui se fragmente en blocs de l'ordre de 10 m³ en phase de propagation. La fréquence de ce type de phénomène serait centennale.



Figure 10 : exemple de blocs de l'ordre du mètre cube (ou +) éboulés visibles en pied de versant

III.4.7 Secteur de Glandieu

Une partie du village est directement implantée contre l'affleurement rocheux. A ce niveau le substratum est relativement lité. Il en demeure des instabilités de petits volumes inférieurs à $0,25 \text{ m}^3$ qui peuvent se décrocher et atteindre les habitations.



Figure 11 : falaise surplombant des habitations et type d'instabilités visibles

En amont le versant présente une paroi rocheuse bien plus imposante sur laquelle se distingue des traces d'activités (cicatrices, surplombs, zone de gélifraction). Des blocs de plusieurs mètres cubes peuvent se mobiliser. Des éboulements plus conséquents peuvent également se produire mais le découpage rocheux laisse penser à une fragmentation assez rapide en blocs de l'ordre du m^3 .

La RD10 qui transite sur le versant en question peut avoir deux effets assez contraires :

- La chaussée peut jouer un rôle d'arrêt de certain blocs mais surtout des pierres provenant de l'affleurement directement au-dessus de la route, du fait du replat qu'elle forme ;
- La RD peut aussi provoquer un effet « tremplin » des propagations de blocs lorsque ces derniers disposent d'une vitesse relativement élevée, du fait d'une forte compacité de la chaussée.

Notons qu'il est également possible que la route soit tout simplement lobée par certaines trajectoires.



Figure 12 : versant rocheux au droit de Glandieu

III.4.8 Autres secteurs

De nombreuses autres zones peuvent connaître des chutes de blocs. C'est notamment le cas sur les versants de l'Est du territoire, surtout entre Saint Benoit et Glandieu. Ceux-ci étant en zone naturelle, ils n'ont pas fait l'objet d'observations détaillées. Ils seront par conséquent traités par extrapolation des scénarios de référence des secteurs voisins similaires.

III.5 Ouvrages de protection

Plusieurs actions ont été entreprises pour diminuer le risque sur les enjeux.

Secteur	Année de réalisation	Détails	Source(s)
Hameau Champ	Le 1999-2000	Un merlon a été mis en œuvre. Celui-ci a été dimensionné selon les études du CETE. Il a été réalisé en « pneutex » (parement amont raidi en pneus recyclés). Il s'étend sur un linéaire de 250 m, avec une hauteur utile de 5 m, une fosse de largeur variable entre 3 et 5 m et une largeur de crête de 2 m. L'ouvrage est en bon état général. Un entretien de la végétation semble toutefois requis.	Commune et études
Hameau Bonards	Les Années 1990	Une ligne de filet type ASM est implantée en amont du hameau (au-dessus du chemin). Celle-ci s'étend sur 100 ml et 3 m de hauteur. L'ouvrage est vieillissant, les pièces constitutives sont détendues et corrodées. La végétation a envahi tout le dispositif.	Commune
A proximité de la cascade du Glandieu	Janvier 2018	Travaux de purge	Commune

Tableau 2 : travaux de protection contre les chutes de blocs



Figure 13 : merlon du hameau du Champs

Concernant le merlon du hameau Le Champs : ce type d'ouvrage peut être considéré dans la qualification des aléas si l'ouvrage est en bon état et jugé efficace. En effet, cette pratique est courante du fait qu'un tel dispositif représente un obstacle topographique et que ce dernier est pérenne. Afin de juger de l'efficacité, il est appliqué un calcul trajectographique sur profil réalisé avec le logiciel Rocfall de Rocsciences. Les résultats montrent que l'ouvrage arrête toutes les trajectoires. Les modélisations 3D (cf. § III.6 vont dans le même sens).

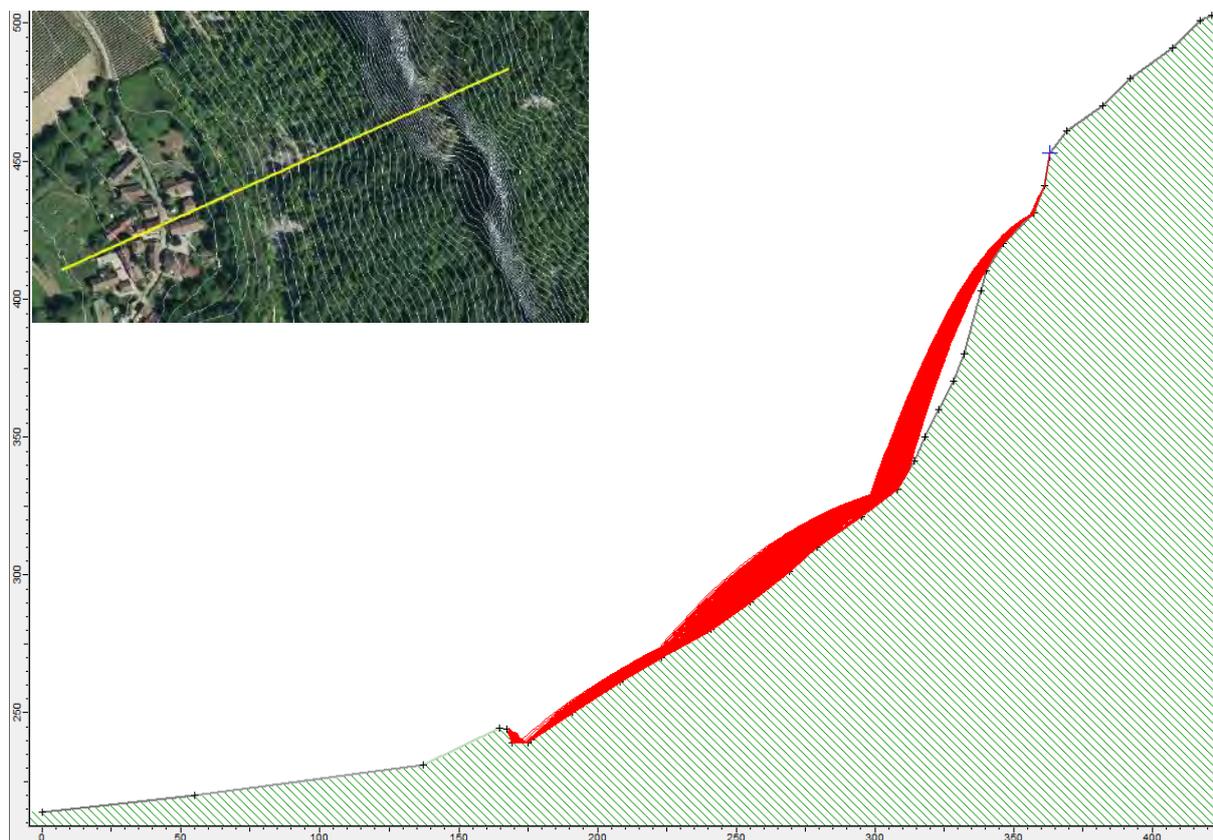


Figure 14 : calcul trajectographique sur profil au droit du merlon (10000 blocs au départ de 5m³)



Figure 15 : filet pare-bloc du hameau des Bonards

Concernant les filets pare-blocs, rappelons ici que si ce dispositif a le mérite d'exister et d'apporter une certaine protection aux habitations, celui-ci ne sera pas pris en compte dans la qualification des aléas conformément à la doctrine nationale. Cela tient du fait que les filets sont non pérennes (durée de vie donnée à 25 ans, donc dans le cas présent ils sont en fin de vie), qu'ils peuvent avoir un usage unique en cas de sollicitation d'un gros bloc, l'ouvrage n'est plus efficace, et que ce type de dispositif nécessite un entretien accru généralement pas respecté par les maîtres d'ouvrages. Notons par ailleurs que cet ouvrage n'est plus conforme aux normes en vigueur ETAG27.

III.6 Modélisations trajectographiques

III.6.1 Périmètre modélisé

Les zones modélisées se localisent à l'aplomb des villages de Glandieu, Le Champs, Les Bonnards et Arandon.

III.6.2 Description du modèle

Les calculs trajectographiques 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).

Pour plus d'informations sur le logiciel et ses caractéristiques techniques : <http://www.ecorisq.org> (voir aussi la description du modèle en annexe 2). Ce modèle permet :

- d'une part, comme l'ensemble des modèles, de donner des valeurs quantitatives sur les propagations des blocs : probabilité d'atteinte, hauteur de passage, énergie cinétique, etc. ;
- d'autre part, de considérer les effets de talweg (chenalisation des blocs dans les dépressions topographiques) grâce à son application 3D.

III.6.3 Acquisition topographique

Le MNT (Modèle Numérique de Terrain) utilisé est construit à partir d'un relevé lidar de l'IGN de 2014. La donnée brute a été traitée par le département ONF-RDI à l'aide de l'outil Lastools. La précision des dalles utilisées est de 1m.

III.6.4 Données d'entrées au modèle

Les paramètres utiles au fonctionnement du modèle sont les hypothèses de départ (volume, forme, densité rocheuse) et les types de sols (compacité, rugosité). Ces valeurs sont renseignées sur SIG et « injectée » au logiciel RF3D.

Chaque type de sol est défini par 9 critères de détermination (voir annexe 2 pour plus de détails) : dimensions du bloc selon ses trois axes ($d1$, $d2$, $d3$), densité du bloc ($rocdensity$), la forme type du bloc ($blshape$), 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 bloc de 5 m³ sur l'ensemble des falaises modélisées. Ce type de bloc correspond au scénario de référence considéré dans l'étude du CETE, à l'historique et aux observations de terrain. Pour chaque pixel de 1 m identifié comme zone de départ, il a été lancé 1000 blocs.

Remarque : conformément à la position de la DDT, le bâti est considéré dans les modélisations. Cette démarche permet de prendre en compte l'urbanisation sans l'effacer puisque les habitations sont des obstacles topographiques bels et bien présents à l'instant T de la cartographie. Toutefois, ces obstacles peuvent être détruits ou très affectés selon l'ampleur de l'événement. Il convient donc de les considérer aussi comme franchissables. Par conséquent, pour prendre en compte ces deux paramètres opposés, il a été appliqué une rugosité augmentée sur chaque emplacement de maison.

III.6.5 Résultats

Les illustrations suivantes correspondent aux nombres de blocs ayant traversé chaque cellule (ou pixel). Elles permettent de constater l'étendue du phénomène et de mettre en évidence les trajectoires préférentielles.

Les cartes de probabilité d'atteinte et des énergies issues des modélisations sont abordées dans la qualification des aléas.

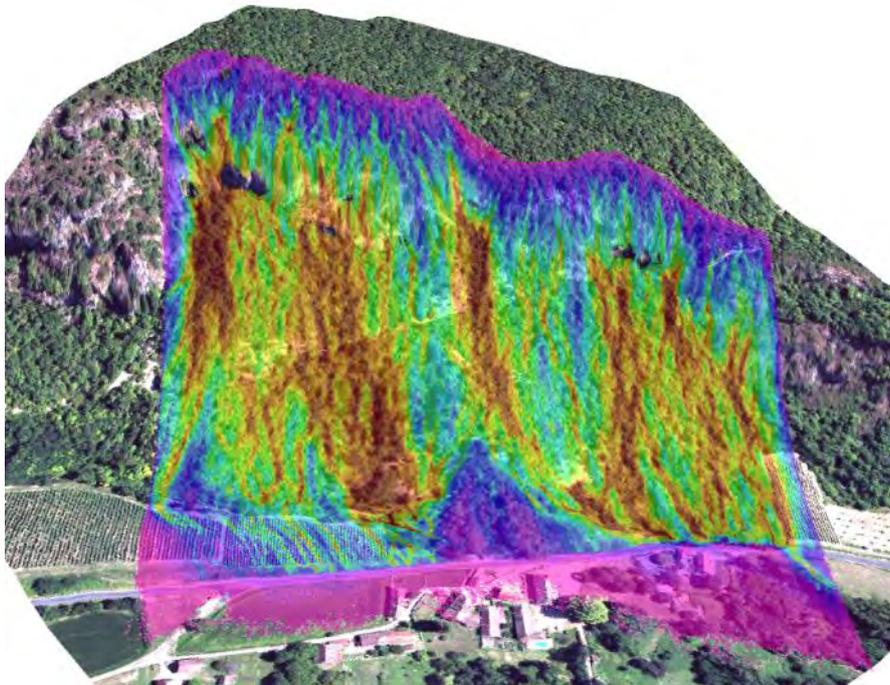


Figure 16 : carte des modélisations RF3D sur Arandon

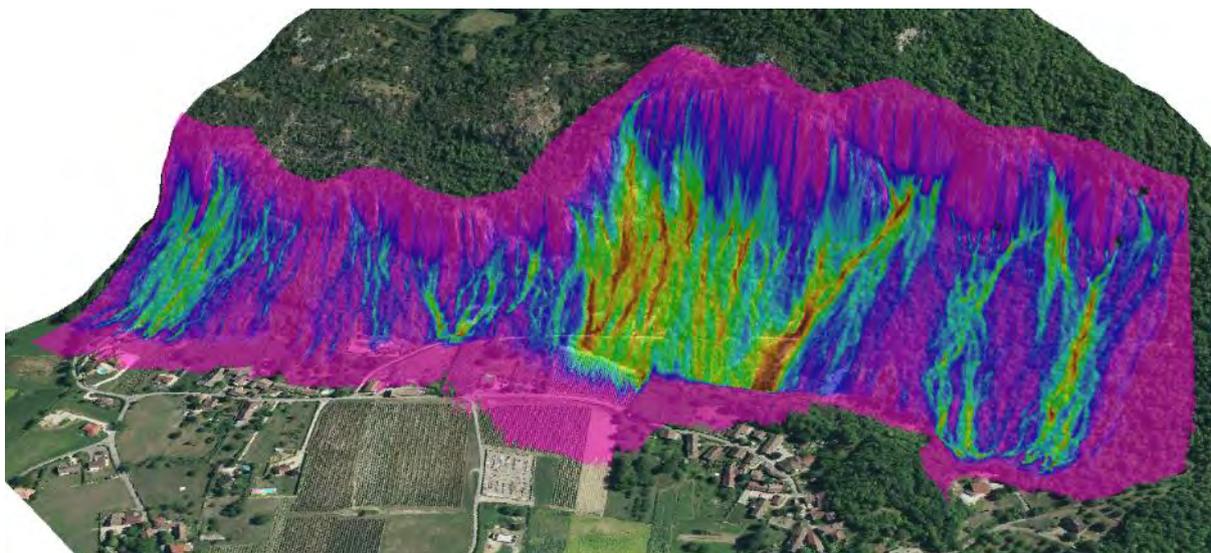


Figure 17 : carte des modélisations RF3D sur Le Champs et Les Bonivards

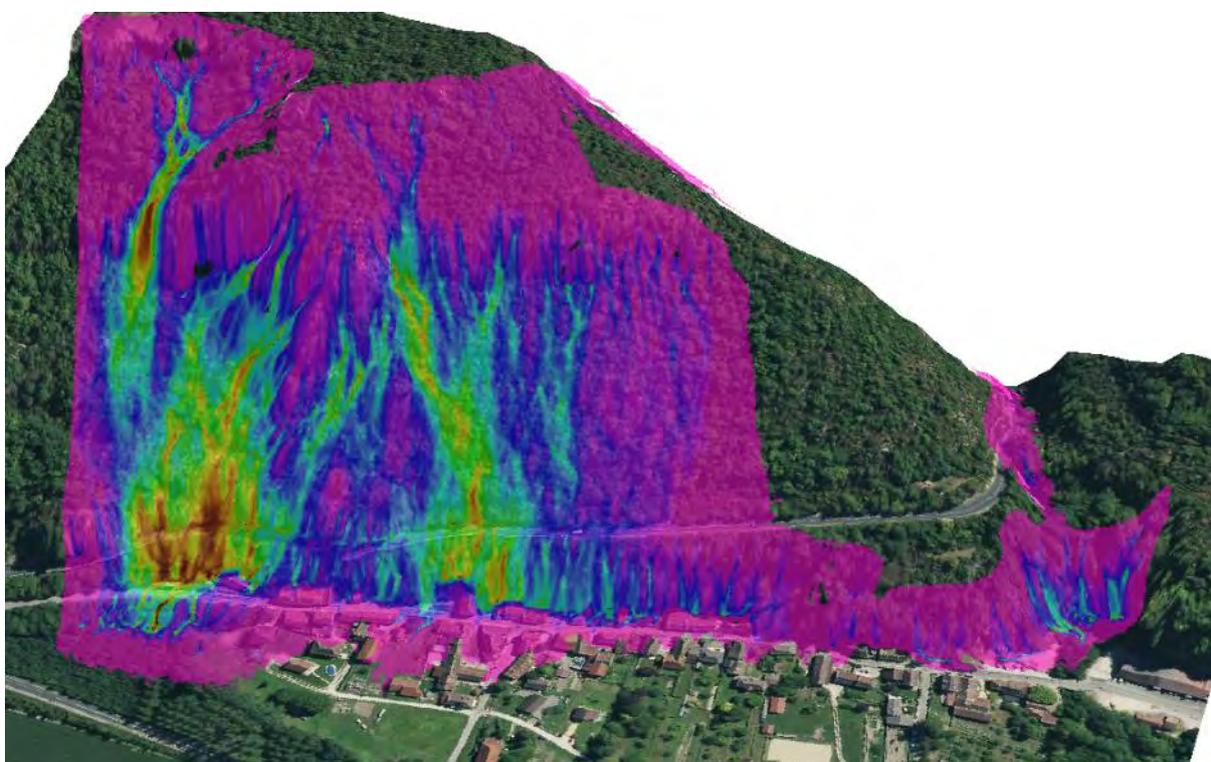


Figure 18 : carte des modélisations RF3D sur Glandieu

III.7 Qualification de l'aléa

III.7.1 Traitements effectués par secteur

La carte suivante présente les traitements d'analyse d'aléas par secteur. Retenons que les zones urbanisées ont fait l'objet de modélisations et que les zones naturelles ou d'enjeux diffus sont traitées avec la méthode Mezap appuyée par les lignes d'énergies.

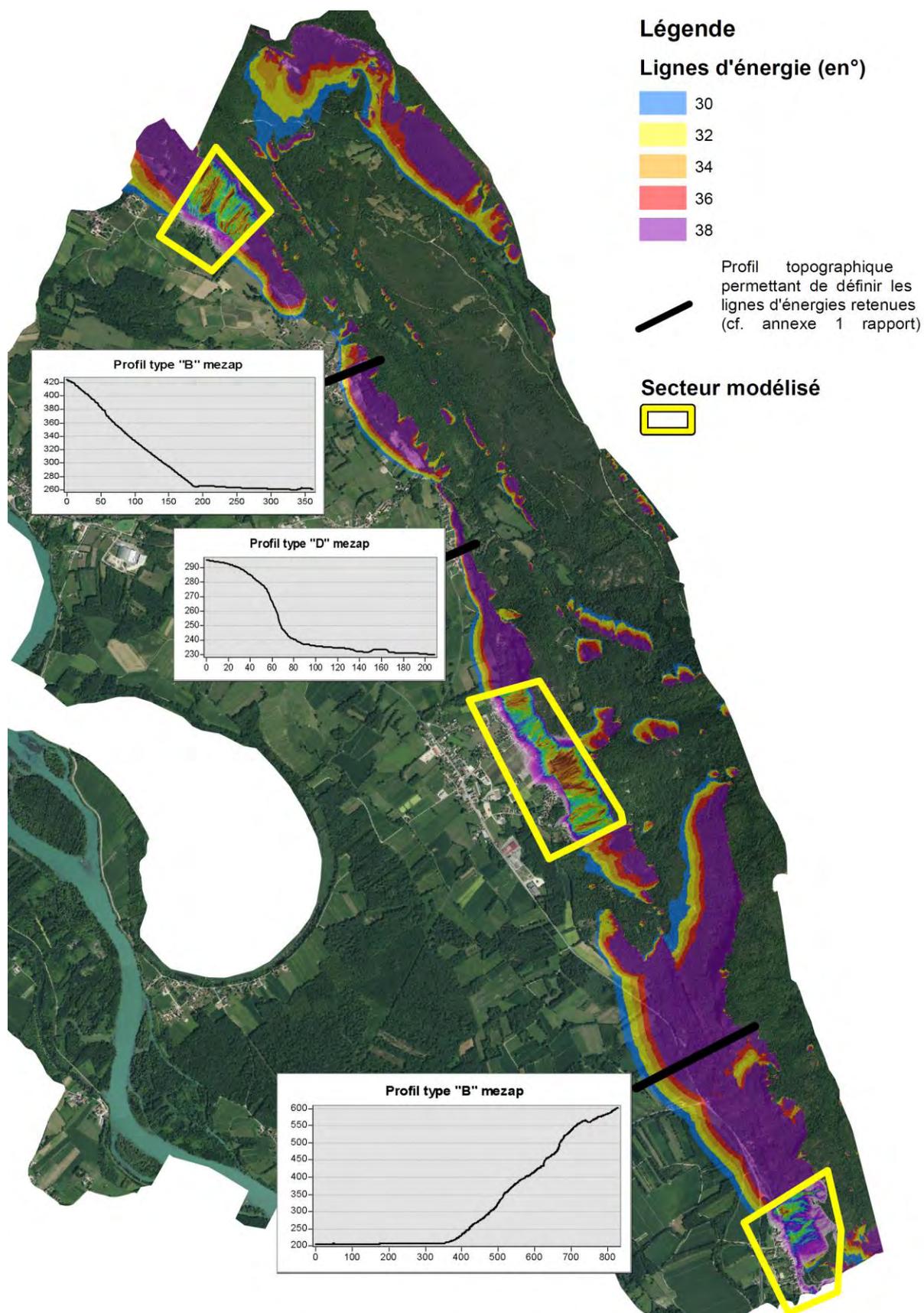


Figure 19 : carte de traitement des chutes de blocs

III.7.2 Zones « hors enjeux urbanisés »

Conformément au guide méthodologique en vigueur, les zones « hors enjeux urbanisés » et à enjeux diffus, sont traitées par application du guide MEZAP¹.

Cette méthode empirique consiste à croiser l'intensité avec la probabilité d'occurrence qui est elle-même issue d'une matrice interceptant la probabilité d'atteinte avec l'activité.

		Intensité				Eboulement de grande ampleur
		V≤0,25 m ³	0,25<V≤1 m ³	1<V≤10 m ³	V>10 m ³	
		Faible	Modérée	Elevée	Très élevée	
Probabilité d'occurrence	Faible	Faible (P1)	Moyen (P2)	Fort (P3)	Fort (P3)	Très fort (P3)
	Modérée	Faible (P1)	Moyen (P2)	Fort (P3)	Fort (P3)	Très fort (P3)
	Elevée	Moyen (P2)	Fort (P3)	Fort (P3)	Très fort (P3)	Très fort (P3)
	Très élevée	Fort (P3)	Fort (P3)	Très fort (P3)	Très fort (P3)	Très fort (P3)

Tableau 3: grille de qualification des aléas chutes de blocs en zone non urbanisée

L'intensité est observée sur le terrain (blocométrie). La probabilité d'atteinte est modélisée via le logiciel Rollfree (développement IRSTEA) et validée sur le terrain par mesures aléatoires au clisimètre. L'activité est appréhendée par l'analyse de l'historique et l'observation de blocs éboulés sur le terrain. Le détail de la méthode est donné en annexe 1.

	Intensité	Activité	Probabilité d'atteinte		Probabilité d'occurrence	Aléa résultant
Arandon (hors zone modélisée)	1<V≤10 m ³ Elevée	Forte	Fort	34°	Elevée	Fort P3
			Moyenne	32°	Elevée	Fort P3
			Faible	30°	Modérée	Fort P3
Pont Bancet	1<V≤10 m ³ Elevée	Faible	Fort	36°	Elevée	Fort P3
			Moyenne	34°	Elevée	Fort P3
			Faible	32°	Modérée	Fort P3
Meunier et Sous-Roche	V≤0,25 m ³ Faible	Faible	Fort	38°	Très élevée	Fort P3
			Moyenne	36°	Modérée	Moyen P2
			Faible	34°	Faible	Faible P1
Montagne de Saint Benoit	1<V≤10 m ³ Elevée	Forte	Fort	34°	Elevée	Fort P3
			Moyenne	32°	Elevée	Fort P3
			Faible	30°	Modérée	Fort P3
Autres secteurs	1<V≤10 m ³ Elevée	Forte	Fort	34°	Elevée	Fort P3
			Moyenne	32°	Elevée	Fort P3
			Faible	30°	Modérée	Fort P3

Tableau 4: croisement méthode MEZAP par secteur

III.7.3 Zones d'enjeux

Les zones d'enjeux ayant fait l'objet de modélisations disposent d'un croisement similaire mais moins empirique (appuyé sur des données quantitatives numériques).

¹ MEZAP : MEthode de Zonage de l'Aléa chutes de Pierres (guide de référence en matière de cartographie des aléas chutes de blocs pour les cartographies d'urbanisme type PPR)

Intensité				
Forte	> 300 kJ	Fort (P3)	Fort (P3)	Fort (P3)
Moyenne	30 kJ < i < 300 kJ	Fort (P3)	Moyen (P2)	Moyen (P2)
Faible	< 30 kJ	Moyen (P2)	Moyen (P2)	Faible (P1)
		Forte	Moyenne	Faible
		Probabilité d'atteinte		

Tableau 5 : grille de qualification des aléas chutes de blocs en zone urbanisée

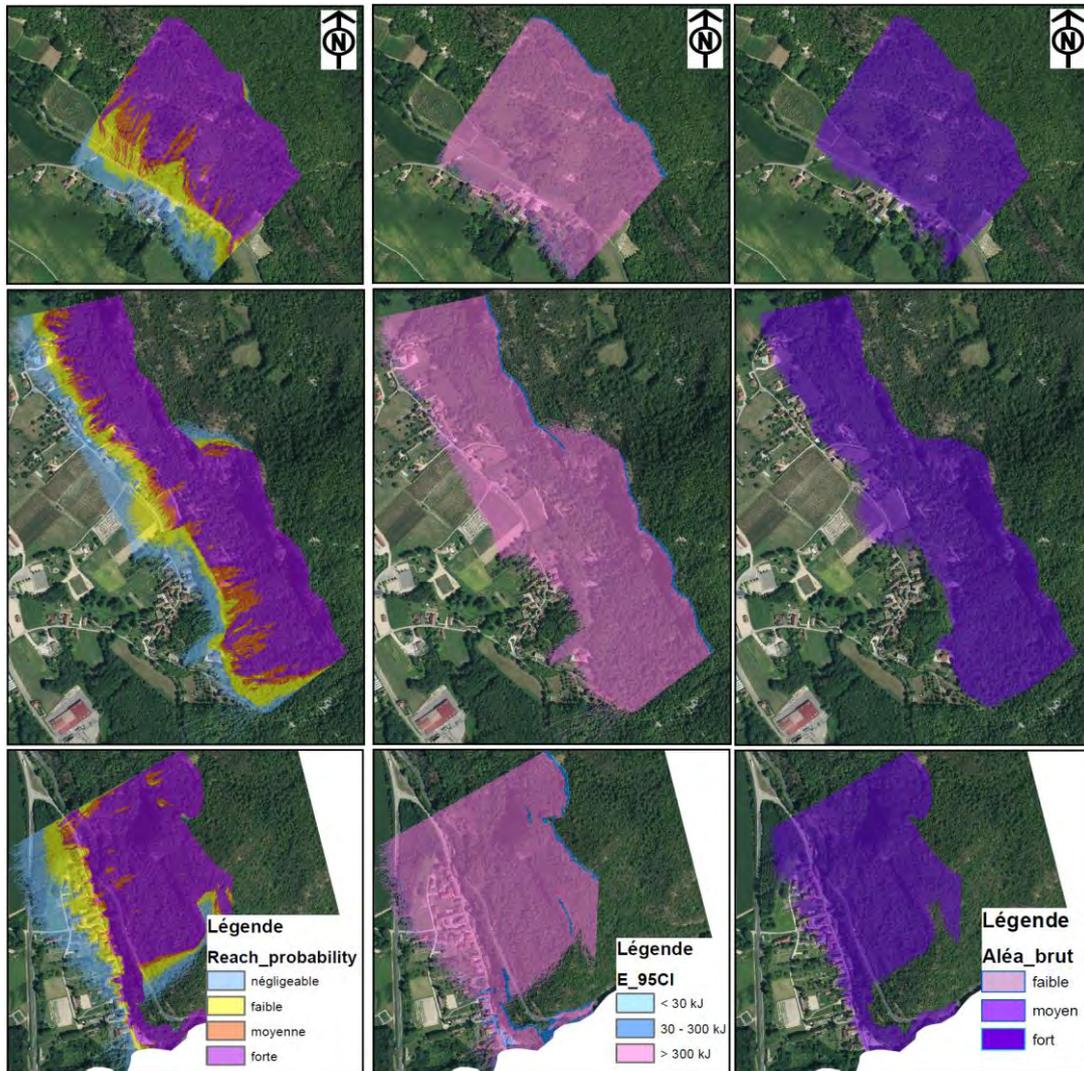


Figure 20 : Croisement probabilité d'atteinte avec intensité et aléa brut résultant

III.7.4 Aléas résultants

Sur les secteurs d'Arandon, de Pont Bancet, des Bonards, du Champs, de la montagne de Saint Benoit en général et sur Glandieu l'aléa est fort sur toute son étendue du fait d'une intensité élevée (blocs supérieurs à 5m³ potentiellement mobilisables). En effet, que ce soient les modélisations (énergies bien supérieures à 300 kJ) ou la méthode mezap, les résultats convergent tous deux vers ce classement.

Le secteur de de Meunier et Sous-Roche dispose d'un classement régressif du fort (sur les parties en pente) jusqu'au faible en pied de versant. Ce classement provient d'une blocométrie potentiellement mobilisable inférieure à 0,25 m³ (donc une faible intensité) et de probabilité d'atteinte raccourcie par une topographie en « L » (entraînant un arrêt rapide des blocs au contact du replat).

Enfin, tous les secteurs rocheux situés sur les parties montagneuses peuvent donner des aléas forts du fait de blocs potentiellement mobilisables souvent supérieurs à 1 m³ (= forte intensité).

Notons que sur Le Champs, le merlon a été considéré car jugé comme efficace et en bon état. Cela suppose que sa pérennité soit assurée durant une centaine d'année via un entretien et des visites périodiques appropriées, et que la fosse soit maintenue dégagée de tous blocs et végétaux.

Par rapport au précédent PPR qui ne couvrait que l'ancienne commune de Saint Benoit, il demeure des différences substantielles.

Concernant l'étendue du zonage, elle est ici plus représentative (au moins en zone d'enjeux) du fait du recours à des modélisations. Il en résulte un zonage souvent moins étendu.

Concernant le degré d'aléa : il s'avère globalement plus sécuritaire. Cela tient en partie du fait que dans les PPR antérieurs, l'aléa se basait sur la probabilité d'atteinte. Les méthodologies de qualification ont changé depuis : il est aussi considéré l'intensité du phénomène. Or les modélisations sont sans appel : avec une énergie supérieure à 300 kJ, l'intensité (mesurée par les éventuels dégâts au bâti) est forcément forte.

IV Aléas glissement de terrain

IV.1 Définition

Mouvement d'une masse de terrain meuble d'épaisseur variable le long d'une surface de rupture.

L'ampleur du mouvement, sa vitesse et le volume de matériaux mobilisés sont éminemment variables : glissement affectant un versant sur plusieurs mètres (voire plusieurs dizaines de mètres) d'épaisseur, coulée boueuse, fluage d'une pellicule superficielle.

IV.2 Historique et données disponibles

Sources d'informations consultées :

- Commune de Groslée Saint-Benoît. Réunion de travail du 22/02/2018.
- SFRM-DDE, 1998, Plan de Prévention des Risques (PPR), mouvements de terrains et crues torrentielles – commune de Saint Benoît.
- Base de données www.georisques.gouv.fr.

Evènements historiques :

Secteur	Date	Observation(s)	Source(s)
Pignier	1993	Un glissement de 100 m de largeur au niveau de VC11. Après enquête il s'agit en fait d'un affaissement lié à un soutènement de mauvaise qualité	géorisques
Versant Saint Benoît	-	Le PPR indique des zones sujettes à «instabilités de terrain» sur le versant.	PPR 1998

Tableau 6: historique des phénomènes de glissements

IV.3 Traitements préalables

Les glissements de terrain sont, en grande partie, conditionnés par la nature géologique des sols, la présence d'eau et la pente.

Sur cette base, une grille de susceptibilités des terrains aux glissements de terrain a été établie sur la base de cas observés et de pratiques courantes. Le croisement est effectué sous SIG des cartes de pentes (cf §. II.1), géologique (cf. §II.2) et hydrologique (cf. § VI.3) sur le même principe que les cartographies à grande échelle du BRGM. Les résultats ont ensuite été adaptés et confrontés à la « réalité terrain ».

Géologie	Conditions hydriques	Pente (en °)					
		0 à 10	10 - 20	20 - 30	30 - 40	40 - 50	> 50
Alluvions	drainées	-	-	-	potentielle	-	-
	humides	-	-	potentielle	potentielle	-	-
Formations de versant (éboulis)	drainées	-	-	potentielle	forte	-	-
	humides	-	potentielle	forte	forte	-	-
Quaternaire argileux (moraine)	drainées	-	potentielle	potentielle	forte	forte	-
	humides	potentielle	potentielle	forte	forte	forte	-
Molasse	drainées	-	-	potentielle	forte	forte	-
	humides	-	potentielle	forte	forte	forte	-
Calcaire argileux	drainées	-	-	potentielle	forte	forte	-
	humides	-	potentielle	forte	forte	forte	-
Marno-calcaire	drainées	-	-	potentielle	forte	forte	-
	humides	-	potentielle	forte	forte	forte	-
Calcaire	drainées	-	-	potentielle	potentielle	forte	-
	humides	-	potentielle	potentielle	forte	forte	-

Tableau 7 : prédisposition des terrains aux glissements

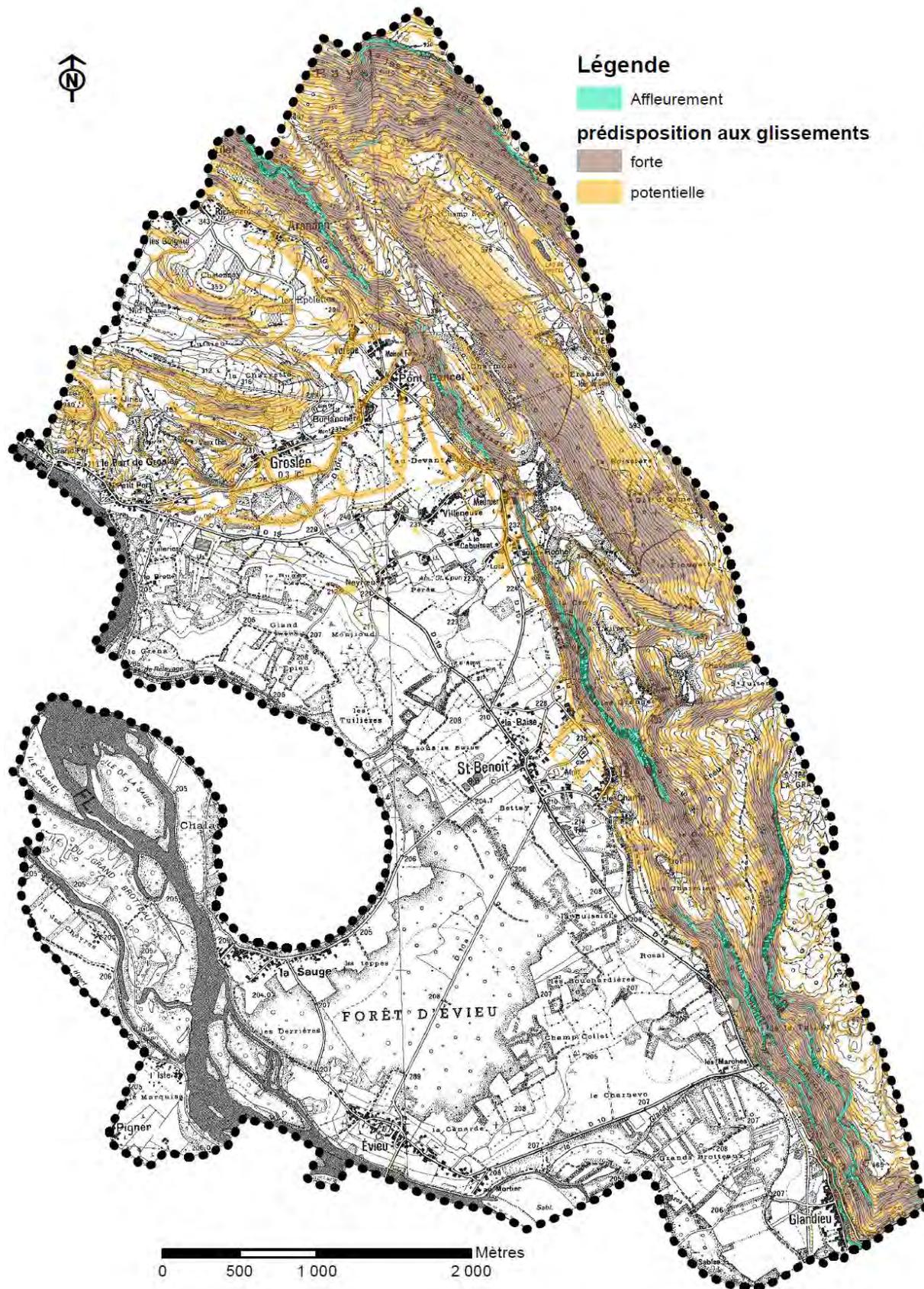


Figure 21 : carte de susceptibilités aux glissements de terrain

IV.4 Observations de terrain

IV.4.1 Secteur Le Port de Groslée

En amont du Port de Groslée en direction de Jirieu, la combe dans laquelle transite une route communale présente des prédispositions aux glissements bien que la pente soit relativement douce. Les sols sont argileux (couverture morainique) et humide (la couleur bien verte de la végétation corrobore ce constat). Des légers bombements sont visibles sur les prairies. Ce type d'instabilités potentielles concerne aussi le relief du Mont Pussieux.



Figure 22 : terrain argileux et humide légèrement bombé en direction de Jirieu

IV.4.2 Secteur Petit Port

En bordure des RD10b et RD19 ainsi que sur le flanc Sud du relief du château Vieux, les terrains témoignent de mouvements qui se manifestent sous forme de bombements, de micro-arrachements et des poteaux sont inclinés. La nature du sol est relativement propice aux glissements puisqu'elle est là aussi argileuse (couverture morainique et frange d'altération). Toutefois, la topographie étant peu marquée, les mouvements en questions peuvent être considérés comme lents.



Figure 23 : talus routier bombé en bordure de la RD10b

IV.4.3 Secteur Groslée

En amont de Groslée ainsi que sur le relief de La Charvette se distinguent des terrains pouvant donner lieu à des glissements superficiels. La pente est parfois soutenue ($>20^\circ$) sur des sols de natures plus ou moins argileuse selon les secteurs.

Notons la présence d'un soutènement de talus de fortune (anciens poteaux EDF empilés horizontalement) qui a été aménagé pour tenir le talus routier du cimetière qui présente pourtant une pente très modérée. Cela peut corroborer une condition géotechnique médiocre des terrains.



Figure 24: soutènement de fortune sur la route du cimetière

IV.4.4 Secteur Arandon

Le versant situés entre Arandon et Les Rochers d'Arandon présente des décrochements notoires sur 1 à 2 m de hauteur qui affecte la couche superficielle composée ici d'éboulis altérés donnant une matrice relativement argileuse.

Ce phénomène concerne l'ensemble du versant en question.



Figure 25 : arrachement visible en amont d'Arandon

IV.4.5 Secteur de Pont Bancet

En amont du Pont Bancet, le versant forme une échancrure tapissée par un éboulis ancien fortement altéré avec présence de fines. La configuration topographique est par ailleurs favorable à un apport en eau du fait de ruissellement. La carte de l'IGN signale d'ailleurs la

présence de source à ce niveau. Une partie du versant a été exploitée en extraction de matériaux. Il en résulte aujourd'hui une pente particulièrement raide ($>35^\circ$). Directement au contact de cette zone, des arrachements se distinguent dans le prolongement de la zone exploitée vers le Nord.

Un glissement d'ampleur semble exclu du fait de la présence de l'affleurement sous la couche instable dont l'épaisseur limitée. Il n'en demeure pas moins que des glissements de plusieurs centaines de m^3 peuvent survenir en cas de saturation des sols.



Figure 26 : ancienne zone exploitée instable, et prolongement vers le Nord

IV.4.6 Secteur Saint Benoit

Le même phénomène décrit précédemment se rencontre également en amont de Saint Benoit sur les pentes comprises entre la falaise et les vignes. L'éboulis est ancien et altéré, mêlé à des matériaux argileux (dépôts glaciaires). De petits arrachements s'y observent, néanmoins, la présence de matériaux frottants (pierres) limite l'extension du phénomène.



Figure 27 : zone instable en amont des Bonards

IV.4.7 Autres secteurs

Globalement sur l'ensemble des reliefs aucun glissement très actif n'a été observé à l'exception des cas précités. Cela tient du fait que sur l'essentiel de ces derniers, le rocher est sub-affleurant.

Il n'en demeure pas moins que ces zones peuvent connaître des glissements très superficiels et très ponctuels sur la couche d'altération qui recouvre parfois les versants rocheux et les éboulis. C'est d'autant plus possible lorsque les terrains sont gorgés d'eau et en pente. Par conséquent, tous les versants un peu raide, généralement boisés (témoignant donc d'une couche terreuse) peuvent donc très localement se déstabiliser.

IV.5 Qualification de l'aléa

IV.5.1 Grille appliquée

Le niveau d'aléa est qualifié à partir de la détermination de la probabilité d'occurrence et de l'intensité.

La probabilité d'occurrence est définie par le tableau suivant :

Probabilité d'occurrence	Description
Forte	Glissement actif avec traces de mouvements récents, ou Glissement ancien, ou Glissement potentiel (sans indice), avec facteur hydrologique aggravant reconnu, en situation équivalente à celle d'un glissement constaté, avec une pente supérieure à celle de ce glissement ou à la pente limite de déclenchement dans le même contexte estimée par le chargé d'étude en fonction de son expérience.
Moyenne	Glissement potentiel (sans indice) avec absence de facteur hydrologique aggravant reconnu, en situation équivalente à celle d'un glissement constaté, avec une pente supérieure à celle de ce glissement ou à la pente limite de déclenchement dans le même contexte estimée par le chargé d'étude en fonction de son expérience, ou Glissement potentiel (sans indice), avec facteur hydrologique aggravant reconnu, en situation équivalente à celle d'un glissement constaté, avec une pente légèrement inférieure à celle de ce glissement ou à la pente limite de déclenchement dans le même contexte estimée par le chargé d'étude en fonction de son expérience.
Faible	Glissement potentiel (sans indice), sans facteur hydrologique aggravant reconnu, en situation équivalente à celle d'un glissement constaté, avec une pente légèrement inférieure à celle de ce glissement ou à la pente limite de déclenchement dans le même contexte estimée par le chargé d'étude en fonction de son expérience.

Tableau 8 : Probabilité d'occurrence glissement de terrain selon guide PPR montagne

L'intensité est par ailleurs établie selon la logique suivante :

Faible	Modérée	Élevée	Très élevée
Dommages limités, non structurels, sur un bâti standard	Dommages structurels au bâti standard. Pas de dommages au bâti adapté à l'aléa	Destruction du bâti standard. Dommages structurels au bâti adapté à l'aléa moyen.	Destruction du bâti adapté à l'aléa moyen (phénomènes de grande ampleur).

Tableau 9 : Intensité glissement de terrain selon guide PPR montagne

La qualification de l'aléa est obtenue par application du tableau suivant :

Intensité Probabilité d'occurrence	Faible	Modérée	Élevée	Très élevée
Faible	Faible (G1)	Moyen (G2)	Fort (G3)	Fort (G3)
Moyenne	Moyen (G2)	Fort (G3)	Fort (G3)	Fort (G3)
Forte	Moyen (G2)	Fort (G3)	Fort (G3)	Fort (G3)

Tableau 10 : Aléa glissement de terrain selon guide PPR montagne

IV.5.2 Aléas résultants

Un aléa fort a été attribué aux versant dominant Arandon et Pont Bancet. A ces niveaux des décrochements notoires sont visibles et témoigne d'une probabilité d'occurrence forte. L'extension du phénomène est limitée du fait de la présence de matériaux frottants. Néanmoins ces zones étant en pente très soutenues, l'intensité peut être considérée comme modérée voire élevée.

Sont classés en aléas moyen :

- Les versant de part et d'autre du relief de La Charvette du fait d'une probabilité d'occurrence moyenne (nature du sol argileuse, pente soutenue, présence signes ponctuels) mais l'intensité est faible (glissement superficiels).
- L'ensemble des pentes situées en aval des falaises jusqu'en pied de versant sont potentiellement soumises aux glissements. Il existe des facteurs un contexte hydrologique aggravant (sources) et la pente est relativement marquée (entre 20 et 40°). Ces conditions leurs confèrent une probabilité d'occurrence moyenne. L'intensité est faible du fait de phénomènes très ponctuels et superficiels (épaisseur limité).

Les secteurs du Port de Groslée, les coteaux de Groslée ainsi que les versants en pente moyenne avec le substratum subaffleurant sont considérés en aléa faible. La probabilité d'occurrence est faible : des indices se distinguent mais témoignent de mouvements très lents. Quant à l'intensité elle est également faible car l'épaisseur des couches instables est limitée et la topographie est le plus souvent modérée.

V Aléas crues torrentielles

V.1 Définition

Crue d'un cours d'eau généralement sur une pente assez marquée, à caractère brutal, qui s'accompagne fréquemment d'un important transport de matériaux, de forte érosion des berges et de divagation possible du lit sur le cône torrentiel. Cas également des parties de cours d'eau de pente moyenne dans la continuité des tronçons à forte pente lorsque le transport solide reste important et que les phénomènes d'érosion ou de divagation sont comparables à ceux des torrents.

V.2 Historique et données disponibles

Sources d'informations consultées :

- Site web : <http://www.georisques.gouv.fr/>
- Commune de Groslée Saint Benoît. Réunion de travail du 22/02/2018.
- SFRM-DDE, 1998, Plan de Prévention des Risques (PPR), mouvements de terrains et crues torrentielles – commune de Saint Benoît
- ASCONIT, 2015, *Etat des lieux des affluents rive droite du Rhone – Diagnostic, ruisseau de la Gorge*
- Enquête de terrain : lors de la phase de terrain, des témoignages de riverains ont pu être recueillis. Le cas échéant, les éléments notables sont repris dans la description des observations de terrains. A noter que des photos des crues de 1990 et de janvier 2018 du ruisseau de la Gorge ont été transmises par une riveraine. Certaines d'entre elles seront présentées au paragraphe V.4.1.

Evènements historiques :

Les évènements recensés sont présentés par unité hydrographique puis par ordre chronologique.

Ruisseau	Date	Localisation des désordres	Observation(s)	Source(s)
?	21/12/1991	?	Arrêté de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle	Site web (géorisques)
Ruisseau du Gland	Février 1990		Crue du ruisseau du Gland. En amont de la cascade, le ruisseau a déstabilisé la RD10 et débordé sur cette route et dans la microcentrale. Les débordements ont suivi la route et se sont déversés vers les habitations au Nord en formant trois cascades parallèles. A l'aval de la cascade, la crue a érodé les berges là où le ruisseau méandre. La plaine du Rhône est également largement inondée.	PPR Commune
Ruisseau de la Gorge	Février 1990	?	Arrêté de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle	Site web (géorisques)
		Hameau de la Burlanchère	Le ruisseau déborde au hameau de La Burlanchère et inonde au moins une propriété. Plus en aval, toujours dans le hameau, le ruisseau déborde au niveau de la passerelle menant à un entrepôt en rive droite. En aval de la RD et du hameau, le chemin de la gare est inondé	Commune

		Port de Groslée, autour de la RD19	le parking du Moulin du Chant est inondé. En aval, le ruisseau divague et se rapproche en bordure d'une propriété en rive gauche. La maison n'est pas inondée.	Commune
	Janvier 2018	Hameau de la Burlanchère – chemin de la gare	La crue du ruisseau est en limite de débordement au cœur du hameau et inonde le chemin de la gare en aval.	Commune
		Port de Groslée, autour de la RD19	En amont de la RD19 en rive gauche, le ruisseau remplit un étang privé qui se déverse à son tour vers la propriété. L'inondation est évitée par un aménagement de fortune.	Commune

Tableau 11: historique des phénomènes crues torrentielles

V.3 Analyse hydrologique du ruisseau de la Gorge

Ce paragraphe a pour objectif une quantification, en termes de débit liquide, de la crue de référence du ruisseau de la Gorge à l'amont immédiat du hameau de la Burlanchère.

V.3.1 Préambule : incertitudes et rôle du karst

L'analyse hydrologique a pour objectif de quantifier le débit liquide d'une crue de période de retour centennale. Elle est menée à partir de méthodes classiquement utilisées en hydrologie. Les incertitudes de ces estimations sont nombreuses sur des bassins versants non jaugés (choix des pluies de références, choix du ou des modèles d'estimation, incertitudes des différents modèles utilisés, choix des paramètres pour chaque modèle,...).

Dans un contexte karstique comme celui du secteur d'étude, s'ajoute une autre source majeure d'incertitude : l'influence du karst sur les débits des cours d'eau.

Ces phénomènes karstiques sont encore mal connus. Les cavités souterraines peuvent influencer à la baisse les débits d'étiage et jouer un rôle de régulation pour crues courantes. A l'inverse, pour des scénarios plus rares, la saturation du réseau karstique pourrait augmenter les débits (allongement de la durée de crue et des débits de pointe. Par ailleurs, lorsque les zones souterraines drainées se situent sur les bassins versants des ruisseaux considérés, elles ont tendance à diminuer les débits de surface (rôle d'écrêtement de la crue : pointe de crue atténuée mais crue de durée plus étendue. En revanche, dans les cas où des cavités souterraines sont extérieures au bassin versant topographique « de surface », elles constituent une source d'apport supplémentaire et ont donc tendance à augmenter les débits.

Aussi, compte tenu des incertitudes propres aux méthodes hydrologiques classiques, et à l'effet du karst difficilement quantifiable et encore mal connu, les débits de référence présentés sont à considérer avec précaution.

V.3.2 Pluviométrie

Les données de pluie sont issues de la thèse de Djerboua, (2001, *Prédétermination des Pluies et Crues Extrêmes dans les Alpes franco-italiennes Prévission Quantitative des Pluies Journalières par la méthode des analogues (thèse de doctorat). Institut National Polytechnique de Grenoble, Grenoble France.*

Les postes pluviométriques exploités sont localisés sur la carte ci-dessous. Les données au pas de temps journaliers sont nombreuses sur la région. Les données de pluies sur des durées plus courtes sont plus dispersées géographiquement.

Données de pluie journalière :

Aucun poste pluviométrique n'est présent sur le bassin versant du ruisseau de la Gorge mais des postes restent très proches, dont un à Lhuis. Une analyse de la répartition spatiale des

pluies centennales journalières (Pj100) est présentée sur la figure suivante. Le même exercice a été réalisé pour des pluies journalières de période de retour décennale.

Ces analyses conduisent à retenir les cumuls journaliers de référence suivants :

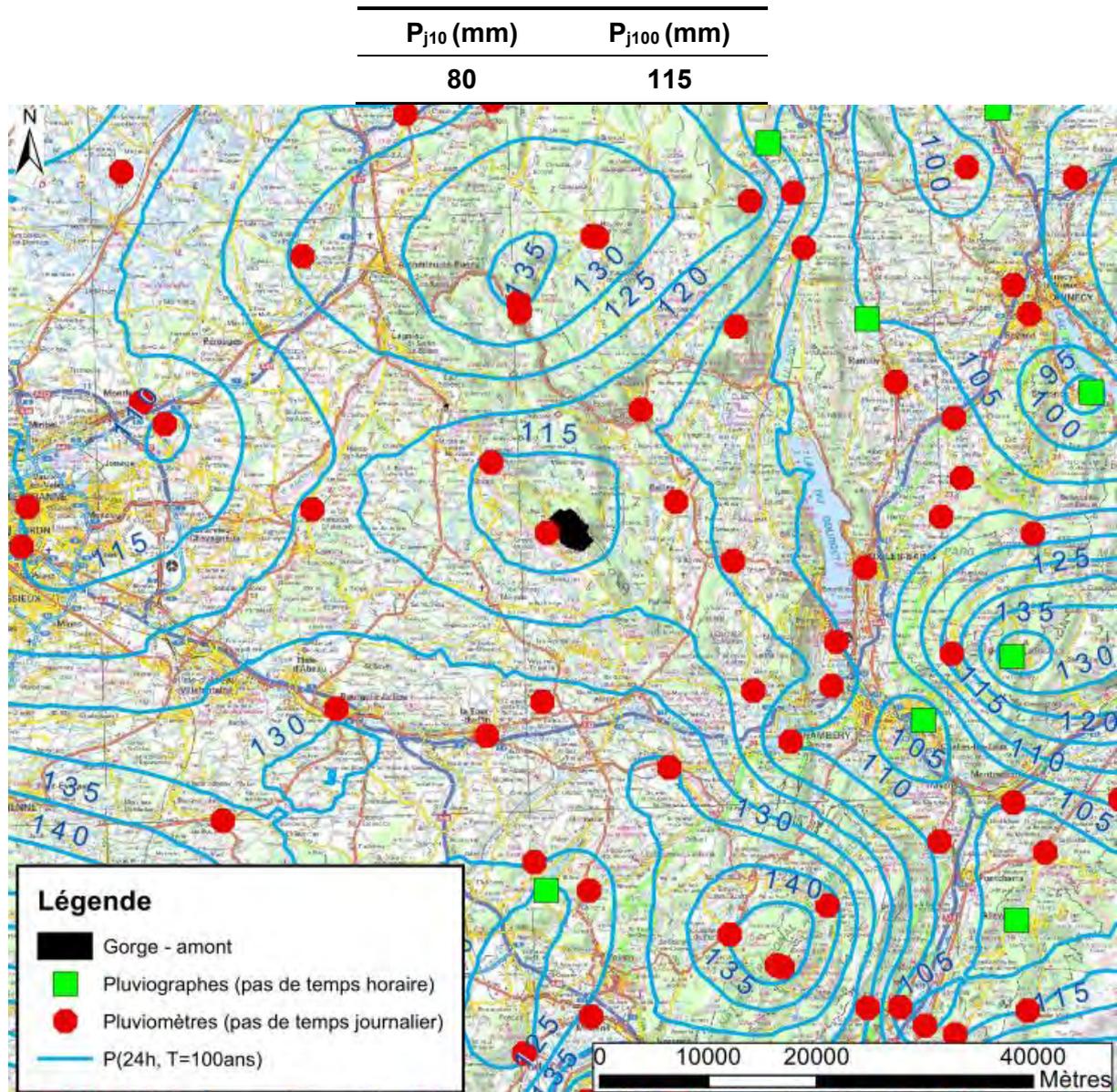


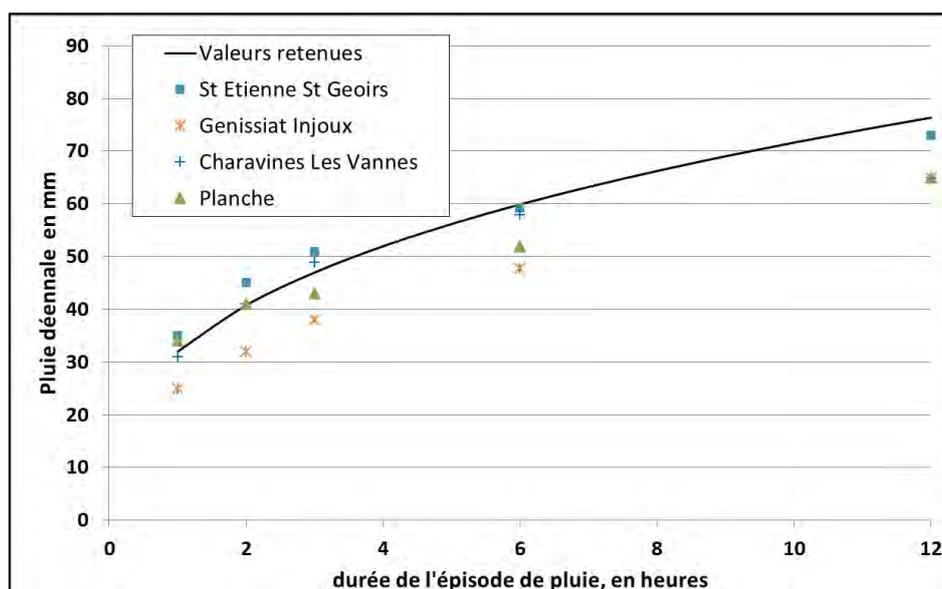
Figure 28 : Analyse spatiale des pluies journalières centennales

Données de pluie à des pas de temps inférieurs (jusqu'à 1h) :

Comme écrit précédemment et représenté en vert sur la carte précédente, les données de pluies à l'échelle horaire sont plus rares.

Il est considéré que les pluies à pas de temps inférieur à 24h suivent une loi dite de Montana qui s'écrit $P = a \cdot d^{1-b}$, avec d la durée de l'événement pluvieux (h).

Le graphique suivant présente les données aux postes les plus proches et présente la courbe retenue.



Les paramètres associés à cette courbe, permettant d'estimer une pluie décennale sur une durée entre 1 et 12 h sont les suivants :

- $a_{10} = 32$
- $b_{10} = 0,65$

Pour une période de retour centennale, on retient de la même façon :

- $a_{100} = 45$
- $b_{100} = 0,65$

V.3.3 Variables représentatives du temps de transfert

Le temps de concentration du bassin versant est estimé à partir de différentes méthodes empiriques.

Méthode	Temps de concentration (h)
Kirpich	0,61
Sogreah	1,16
Turraza	1,13
Giandotti	2,82
Izzard Meunier (BV végétalisé)	2,48

En considérant les domaines de validité de chaque formule et les retours d'expérience sur chacune d'elle (tendance à sur ou sous-estimer), on retient l'encadrement probable suivant :

$$1 \text{ h} < t_c < 2,5 \text{ h (valeur probable : 1,5 h)}$$

V.3.4 Détermination du débit de référence décennal

Application de différentes formulations statistiques

Le bassin versant de la Gorge n'est pas jaugé. L'application de différentes méthodes d'estimation permet d'approcher un débit de référence décennal.

Méthode	Qi10 (m ³ /s)
Régressions multiples (Mathys et Peteuil, 2010) [paramètres : surface drainée]	7,2
Régressions multiples (Mathys et Peteuil, 2010) [paramètres : surface drainée et pluviométrie]	13,2
SOCOSE	8,5
Crupedix	6,3
Méthode rationnelle	8,3

La large gamme des résultats souligne la grande incertitude liée à ce type d'estimation.

Comparaison aux bassins versants jaugés à proximité (Banque Hydro) :

Le ruisseau du Furans est équipé de deux stations de mesures de débits pour lesquelles les données sont disponibles sur la Banque Hydro. Son bassin versant reste peu éloigné et présente une géologie très proche. Les stations sont les suivantes :

- Le Furans à Pugieu au pont de Martinet :
 - o Exploitée de 1966 à 1983 - référence V1454310
 - o Exploitée de 1984 à 2018 - référence V1454320
- Le Furans à Arbignieu [Pont de Peyzieu] - référence V1464310

Plus éloigné au Nord, mais dans un contexte géologique assez proche, le ruisseau du Suran est également équipé de station hydrométrique exploitable :

- Le Suran à Germagnat – référence V2814050

Stations	Surface du bassin versant (km ²)	Débit décennal instantané (m ³ /s)	Débit pseudo spécifique (m ³ /s/km ^{1,6})
Le Furans à Pugieu entre 1966 et 1983	58	25	0,97
Le Furans à Pugieu entre 1984 et 2018	58	18	0,69
Le Furans à Arbignieu	160	37	0,63
Le Suran à Germagnat	193	62	0,92

Aussi, un débit pseudo-spécifique décennal de 0,7 à 1 m³/s/km^{1,6} est estimé représentatif de ces bassins versants et transposable au ruisseau de la Gorge. Dans la mesure où le bassin versant de la Gorge a une surface inférieure aux bassins versants de comparaison, la valeur haute de cette estimation est jugée probable. Avec cette approche, on estime alors un débit décennal de l'ordre de 6,3 m³/s.

Choix d'une valeur de débit décennal :

Par confrontation des différents résultats, on retient un débit décennal du ruisseau de la Gorge :

$$Q_{10} = 7 \text{ m}^3/\text{s}$$

V.3.5 Détermination du débit de référence centennal

Compte tenu des grandes incertitudes de estimations de débit de référence sur un bassin versant non jaugé, le débit centennal est estimé par application d'une méthode QdF (Débit durée fréquence) qui s'écrit sous la forme :

$$Q_i(T) = a_{T,R} \cdot Q_i(T = 10)$$

Galéa et Prufhomme, 1994, propose trois modèles régionaux. Par exploitation des données de la Banque Hydro aux stations présentées, on estime des ratios Q_{20}/Q_{10} de 1,1 et Q_{50}/Q_{10} de 1,3, ce qui se rapproche du modèle régional dit de Vandanesse, pour lequel l'estimation du débit centennal s'écrit :

$$Q_{100} = 1,762 \cdot Q_{10}.$$

Aussi, le débit centennal du ruisseau de la Gorge est estimé à :

$$Q_{100} = 12 \text{ m}^3/\text{s}$$

V.3.6 Hydrogramme d'une crue centennale

Pour une simulation en régime transitoire, la détermination d'un hydrogramme de crue est indispensable. Une fois de plus, sur un bassin versant non jaugé, l'exercice est délicat d'autant plus que les formes d'hydrogrammes peuvent varier d'un évènement à l'autre.

L'objectif est alors de déterminer un hydrogramme type. La démarche proposée consiste à appliquer la méthode empirique proposée par Lavabre (1997), pour laquelle les paramètres à caler et retenus sont les suivants :

- Débit de pointe centennal : 12 m³/s, comme estimé précédemment
- Temps de montée : 2,4 heure, soit proche de 1,5. t_c
- Coefficient de forme : 1,9. Cette valeur est ajustée afin que le volume de l'hydrogramme corresponde au volume d'eau ruisselé en considérant un coefficient de ruissellement centennal de 0,2 et une pluie journalière centennale. Ce choix semble sécuritaire compte tenu du boisement du bassin versant et permet ainsi de considérer une importante saturation des terrains avant l'évènement.

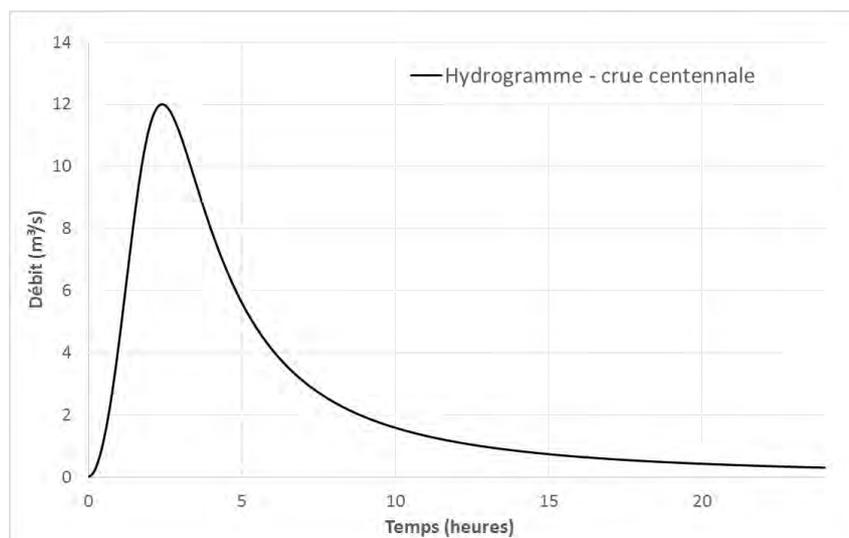


Figure 29 : Hydrogramme retenue pour une crue centennale sur le ruisseau de la Gorge

V.3.7 Scénario de référence

L'évènement de référence retenu est une crue centennale atteignant un débit de pointe de 12 m³/s, selon l'hydrogramme défini au paragraphe précédent.

Les résultats de la modélisation hydraulique montreront, à certains ajustement près après expertise de terrain, que ce scénario retenu est proche de la plus forte crue connue (1990).

V.4 Observations de terrain

V.4.1 Ruisseau de la Gorge

Généralités

Le ruisseau de la Gorge draine, à sa confluence avec le Rhône, un bassin versant d'une surface d'environ 11,5 km² répartie sur les communes de Lhuis et Groslée-Saint Benoît.

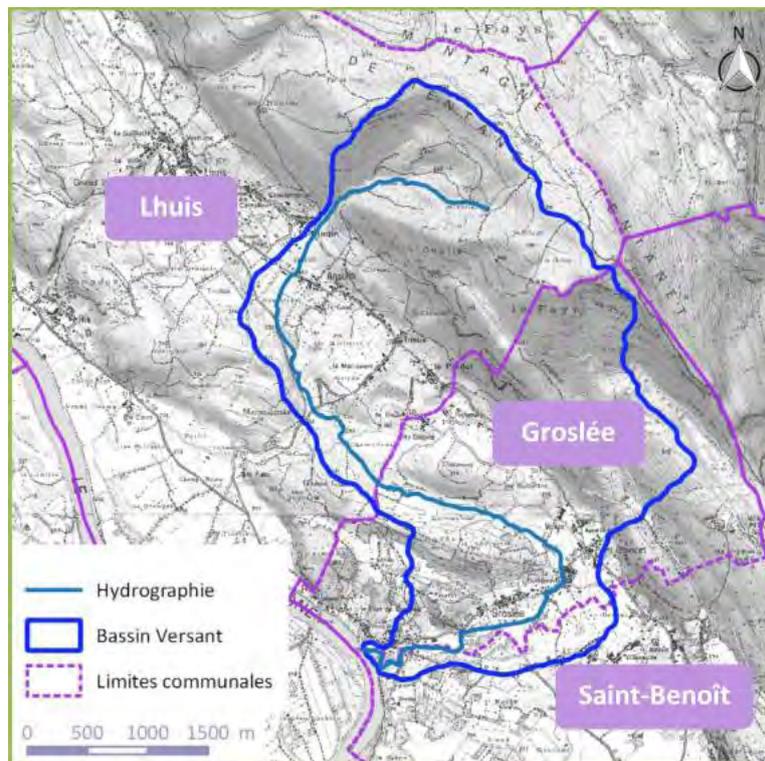


Figure 30 : Bassin versant de la Gorge - source : étude ASCONIT de 2015

Le Creux du Nant, sur la commune de Lhuis, constitue une grande partie du bassin de réception du ruisseau de la Gorge. Il est totalement boisé et le ruisseau à forte pente traverse des reliefs calcaires et marneux. Les eaux chargées en calcaires sont à l'origine d'importantes accumulations de tufs.

Au débouché du Creux du Nant, sur Lhuis puis à l'entrée dans Groslée Saint Benoît le ruisseau suit une vallée beaucoup moins raide couverte de terrains molassique et morainique. L'érosion de ces terrains est susceptible d'apporter des matériaux au torrent remobilisés sous forme de charriage. A noter que sur la partie amont de ce tronçon (encore sur le territoire de Lhuis), au niveau du Mau du Vin le ruisseau se dirigeait vraisemblablement, au moins pour partie, vers une dépression dans une direction Sud Est vers la plaine du Rhône. Cette hypothèse, avancée par la commune de Lhuis mais également dans l'étude ASCONIT de 2015, est étayée par plusieurs arguments : l'existence d'un ouvrage en pierres forçant l'écoulement vers son tracé actuel, celle d'un cône de déjection géologique au pied de la combe vers le Sud Est, l'observation d'un ancien lit d'écoulement encore bien marqué et suivi par les débordements

de la Gorge en 2015, ou encore, selon l'étude ASCONIT, une inscription sur un rocher au bord du ruisseau « Agrippa Montanus, intendant des chemins, a amené les eaux du lac L. Varus Lucanus les a dirigées ».

Le tracé actuel du ruisseau de la Gorge entre sur le territoire communal de Groslée Saint Benoît par le nord. Après une partie naturelle, il change de direction et s'oriente vers l'Ouest. Il traverse alors le hameau de La Burlanchère au plus proche des habitations, s'écoule à nouveau dans une partie naturelle au cœur de la plaine, traverse une nouvelle zone d'enjeux habités, le lieu-dit Les Brotteaux puis se jette dans le Rhône.

Traversée de la Burlanchère

Dans la traversée de la Burlanchère, le ruisseau de la Gorge passe entre les maisons et son lit s'apparente à un canal. A l'aval, il longe ensuite la route départementale RD10b et marque un coude à 90°, longe sur environ 200 m la RD10c puis s'écoule dans une zone naturelle (cf. paragraphe suivant).



Figure 31 : Ruisseau de la Gorge entre des habitations à La Burlanchère



Figure 32 : Ruisseau de la Gorge longeant la route RD 10b sur la partie aval de La Burlanchère (vue vers l'amont à gauche, vers l'aval à droite)



Figure 33 : Coude à 90° sous la route au carrefour RD10b/ RD10c et lit à l'aval

A l'entrée amont du hameau, des débordements semblent probables contre la face amont d'un bâtiment, au niveau de la confluence avec un axe de ruissellement. Selon la propriétaire, elle n'a pas été touchée en janvier 2018 mais le niveau d'eau était proche du terrain. Aucune donnée de 1990 n'est connue, la propriété ayant été rachetée.



Figure 34 : Propriété en rive gauche exposée en cas de forte crue.

D'importants débordements se sont produits dans le hameau en 1990. En janvier 2018, de nouveaux débordements ont eu lieu, mais de moins grande ampleur.

Lors de forte crue, les premiers débordements ont lieu à l'amont immédiat d'une passerelle et inondent la propriété rive gauche en contournant le bâti. En 1990, des débordements depuis l'amont du bâtiment l'ont également contourné et inondé par l'autre côté (coté RD10b). L'accumulation d'eau dans le bâtiment aurait atteint environ 40 cm en 1990.



Figure 35 : Point de débordements : en 1990 (gauche), en 2018 (droite) et hors crue en bas



Figure 36 : Débordements en 1990 (à gauche) – comparaison à l'état actuel

Les débordements suivent ensuite la route départementale jusqu'au carrefour RD10b/RD10c où le lit mineur marque un coude à 90°. La topographie du site permet aux écoulements de rester sur la route RD10b et de ne pas atteindre les propriétés sur la gauche de la route. En revanche, au niveau du carrefour, la propriété en rive gauche est exposée car entourée par les eaux sur la route et dans le lit mineur.

Enfin, en limite aval immédiat du hameau de la Burlanchère, le ruisseau longe la route départementale RD 10c sur environ 200 m. Cette dernière est inondable car plus basse que les champs de rive droite. Elle a été atteinte en 1990 puis 2018.



Figure 37 : Ruisseau de la Gorge longeant la RD10c inondable

Le long de la RD10b, des débordements ont également eu lieu en 1990 et 2018. Les maisons de l'autre côté de la route sont plus hautes. En revanche, la propriété au carrefour (à l'angle rive gauche du coude) est fortement exposée (cf. photo : au second plan de la photo de droite en Figure 32).

Partie naturelle dans la plaine

Le ruisseau entre ensuite en zone naturelle où il est rejoint par un axe de ruissellement drainant un secteur plus au sud de la plaine traversée. A noter une incision particulièrement marquée du lit de la Gorge à l'aval de la confluence de ces deux axes.



Figure 38 : Ruisseau de la Gorge en zone naturelle dans la plaine et incision active à l'aval d'une confluence avec un autre axe de ruissellement

Secteur des Brotteaux - amont

Sur le secteur des Brotteaux amont, le ruisseau de la Gorge passe entre des propriétés en longeant auparavant deux étangs. Les berges du ruisseau sont fragiles et localement marquées par l'érosion. Cette dernière favorise l'arrachement de la végétation sur les berges, ce qui génère un risque important d'embâcles. Les embâcles favorisent les débordements et peut également accélérer les processus d'érosion des berges par redirection des écoulements.



Figure 39 : Faciès du ruisseau de la Gorge sur le secteur des Brotteaux amont



Figure 40 : Embâcle dans le lit, favorisant le débordement et l'érosion des berges

En janvier 2018, le ruisseau a débordé vers la rive gauche et s'est déversé dans le premier étang. Ce dernier s'est à son tour déversé dans le second avant que la surverse de celui-ci entraîne l'atteinte d'une propriété en rive gauche. La propriété de rive gauche est atteinte par un étalement de la lame d'eau, soit de faibles vitesses et de faible hauteur. Les écoulements rejoignent le lit mineur en amont de la route départementale après avoir traversés la cour.



Figure 41 : Propriété exposée aux crues de la Gorge après déversement de l'étang

Selon le témoignage du propriétaire, un tel scénario ne se serait de mémoire d'homme jamais produit, au moins depuis 60 ans. Les premiers débordements ont fait suite à l'obstruction d'un passage busé situé en amont du premier étang et permettant l'accès à un champ rive droite.

Des traces de bois déposés après obstruction de la buse étaient encore présentes lors de l'expertise de terrain.

Secteur des Brotteaux - aval

A l'aval de la route départementale, le ruisseau est peu encaissé. Par ailleurs, la zone inondable du Rhône remonte jusqu'à environ 160 m à l'aval du pont, ce qui, en cas de concomitance de crue, limite la capacité d'écoulement du tronçon. Aussi, des débordements sont attendus à l'aval du pont de la route départementale, préférentiellement sur le parking de rive droite qui est légèrement plus bas que la rive gauche.



Figure 42 : Débordements préférentiels en rive droite à l'aval de la route départementale

Plus en aval, le torrent méandre dans la plaine du Rhône. Au droit d'un premier méandre en forme de coude à 90°, la berge rive gauche est exposée avec de possibles débordements forçant un « écoulement rectiligne ». En cas de crue de la Gorge sans crue du Rhône, les débordements devraient s'étendre en lit majeur sans atteindre les deux propriétés de rive gauche. Lors de la crue de 1990, un tel scénario sans enjeu atteint s'est produit.

En revanche, les deux propriétés sont en zone inondable du Rhône.



Figure 43 : Risque de débordement vers des enjeux au droit d'un méandre

V.4.2 Ruisseau du Gland

Généralités

Le ruisseau du Gland draine un vaste bassin versant de près de 51 km² répartis sur les communes d'Innimond, St Germain les Paroisses, Ambléon, Colomieu, Conzieu, Arboys en Bugey et Prémeyzel.

Il débouche dans la plaine à partir de la cascade de Glandieu. Ce n'est que quelques hectomètres en amont de cette cascade que le ruisseau entre sur le secteur d'étude, constituant la limite géographique entre les communes de Brégnier-Cordon et Groslée-Saint Benoit.

Le ruisseau traverse alors la plaine du Rhône. Le tracé du lit mineur bascule, à partir de la RD 19, vers le Nord sur la commune de Groslée Saint Benoit. Néanmoins, en cas de crue du ruisseau et/ou du Rhône, l'inondation de la plaine, liée à ces deux unités hydrologiques, s'étend largement sur la plaine sur les deux territoires communaux.

Amont de la cascade de Glandieu et habitations contre la falaise

En amont de la cascade de Glandieu, le ruisseau longe la route et la revanche reste faible. Un seuil, lié à la centrale de Groslée au sommet de la cascade, fixe ce niveau le long de la route. Des débordements sont possibles sur la route. Un tel scénario s'est produit en février 1990 et était proche de se reproduire en janvier 2018.

A noter qu'en février 1990, la crue avait également déstabilisé la route. Il est vraisemblable que le tronçon déstabilisé soit celui à l'aval immédiat du seuil, protégé aujourd'hui par des enrochements. L'érosion de la berge est due aux forts débits mais également à l'orientation du seuil qui dirige les écoulements vers cette berge rive droite. Elle favorise par la même occasion les débordements vers la route en ce point.



Figure 44 : Ruisseau du Gland le long de la RD10, en amont de la cascade

Les eaux qui débordent sur la route la suivent et sont susceptibles de se déverser vers les maisons en contrebas, contre les falaises à Glandieu. Selon la commune, lors de la crue de 1990, trois cascades auraient été ainsi formées et se seraient déversées sur les enjeux habités.

En l'état actuel des aménagements de bordure de route, les eaux restent canalisées sur la RD jusqu'à l'aval du virage à 90°, le déversement vers l'aval étant empêché par un muret en béton puis grandement limité par une double-glissière de sécurité. Ensuite, le déversement vers l'aval est possible sur un linéaire d'au moins 200 m. Depuis la route, aucun point de déversement préférentiel ne semble ressortir, il est probable que ce déversement soit diffus ou au moins réparti en différents points. A noter que d'une crue sur l'autre, les aménagements

de bordures de voirie sont susceptible d'évoluer. Ils influenceront la direction prise par les débordements.

Concernant, les « cascades » formées en 1990, il est probable que celles-ci aient été alimentées en partie par les eaux du Gland, mais également par nombreuses résurgences du versant sous la route départementale, identifiées et présentées au paragraphe relatif aux ruissellements : cf. paragraphe VI.5.1.

Aussi, on considère que la route est exposée aux crues du Gland. Le déversement sur le talus, dans la mesure où une diffusion du flux est probable, sera assimilé comme une contribution à du ruissellement de versant, déjà existant et issu de résurgences.



Figure 45 : Route départementale suivie par les débordements et déversement vers la droite

Traversée du hameau de Glandieu

A l'aval de la cascade, le ruisseau franchit la route communale au cœur du hameau puis méandre sur un tronçon encaissé à l'aval. Des érosions de berges sont possibles au niveau des méandres et ont été connues lors de la crue de 1990.



Figure 46 : Cascade du Glandieu et lit à l'aval

A l'aval, le lit devient bien moins encaissé et s'écoule non loin des habitations. Ces dernières sont généralement bien plus hautes que le cours du Gland. Une habitation fait exception, celle de la photo de droite sur la figure suivante. Des divagations pourraient vraisemblablement atteindre les murs de la maison. Toutefois, le niveau de vie est hors d'atteinte.



Figure 47 : Habitation pouvant être approchée par les divagations du ruisseau

La plaine en aval

A l'aval, le Glandieu traverse la RD 19 puis la plaine. Un étalement important, sur plusieurs hectares, des eaux du Glandieu et du Rhône est observée dès que l'un de ces deux cours d'eau est en crue. Le niveau du Rhône a une influence sur les conditions d'écoulements du Glandieu dans la plaine.

Sur la commune de Groslée Saint Benoit, ces inondations en plaine ne concernent que des routes mais aucun enjeu habité.

Sur la commune de Brégnier Cordon, les deux hameaux de Benaiton et Menoz, sont situés en zone inondable du Rhône et sont donc également exposés en cas de crue du ruisseau du Gland, dès lors qu'on considère un scénario pessimiste avec une crue conjuguée du Rhône. D'autre part, la zone inondable remonte bien en amont de la RD19 vient jusqu'en bordure des habitations à Petit Glandieu, en contrebas de la route communale.



Figure 48 : Traversée de la RD19 et lit à l'aval



Figure 49 : Hameau de Benaiton en zone inondable

Enfin, notons l'existence de très nombreux ouvrages sous les routes qui font obstacles à l'écoulement dans la plaine. Ils permettent une vidange progressive des casiers d'inondations.



Figure 50 : Exemple de connections entre casiers d'inondation délimités par des routes dans la plaine

V.5 Modélisation hydraulique – ruisseau du Gland

Dans le cadre de l'étude de cartographie des aléas naturels sur la commune de Brégnier Cordon, similaire à cette présente étude, un modèle hydraulique à deux dimensions a été construit pour analyser le niveau d'aléa sur des enjeux habités en cas de crue du ruisseau du Gland.

Le scénario de référence retenue pour le zonage est une crue centennale du ruisseau du Gland, dont le débit de pointe est estimé à 44 m³/s, concomitante à une crue du Rhone.

Le modèle n'a pas pu intégrer et représenter le linéaire en amont de la cascade afin d'analyser les conséquences liées au déversement sur la RD 10 en amont de Glandieu sur la commune de Groslée Saint Benoit. Les trop fortes pentes (cascade, route, déversement vers les falaises) sortent du domaine de validité d'une modélisation HECRAS et sont à l'origine d'instabilité dans le calcul.

Le modèle a montré que, pour ce scénario de référence considérant une concomitance de crues du Rhone et du Gland, les apports du ruisseau du Gland ont, dans la plaine, une influence sur l'aléa sur un secteur d'emprise limitée, qui comprend :

- L'espace en amont de la RD19 jusqu'à, coté rive gauche, la route communale reliant Glandieu à la RD19 ;

- Les lits mineurs et majeurs du Gland sur environ 150-200m à l'aval du pont de la RD 19, là où s'opère rapidement une diffusion du flux hydraulique dans la plaine inondée.

Dans toute la plaine à l'aval, l'influence de la crue du Gland est négligeable sur l'aléa, qui reste dicté par la crue du Rhône.

Les cartes des hauteurs et vitesses, résultats de la modélisation, seront présentées au paragraphe présentant l'aléa.

V.6 Modélisation hydraulique – ruisseau de la Gorge

V.6.1 Recours à la modélisation

Le recours à la modélisation hydraulique a été un outil d'aide à la décision dans la qualification de l'aléa au droit des secteurs densément urbanisés. Les résultats ont ensuite été validés/ajustés par une analyse de terrain. Sur le ruisseau de la Gorge à Groslée Saint Benoit, la zone modélisée couvre la traversée du hameau de la Burlanchère.

La modélisation hydraulique a été réalisée à l'aide du logiciel HECRAS, élaboré par l'US Army Corps of Engineers. Le logiciel ainsi que la méthodologie déployée sont présentées en annexe 3.

V.6.2 Données topographiques

La topographie utilisée combine un relevé de profils in situ via un géomètre expert et un MNT.

Le MNT (Modèle Numérique de Terrain) utilisé est construit à partir d'un relevé lidar de l'IGN de 2014. La donnée brute a été traitée par le département ONF-RDI à l'aide de l'outil Lastools. La précision des dalles utilisées est de 1m.

La précision du MNT est globalement très satisfaisante en lit majeur. En revanche, le MNT issu du lidar au pas de 1 m ne permet pas une bonne représentation du lit mineur pour différentes raisons, les deux principales étant :

- L'insuffisance du nombre de points liés à un couvert végétal souvent dense (ripisylve),
- La précision en plan (1m) insuffisante au vu de l'étroitesse du lit mineur (de l'ordre métrique sur la Gorge)

Aussi, sur les tronçons à enjeux modélisés, les profils en travers levés par un géomètre expert ont permis une correction du lit mineur, et parfois du proche lit majeur, afin d'aboutir à une meilleure représentativité du terrain naturel sur les secteurs où se concentrent les écoulements et donc déterminants dans l'analyse de l'aléa torrentiel.

Par ailleurs, les levés topographiques ont également concernés les ouvrages de franchissement afin d'intégrer leur géométrie au modèle.

Dans le cas du ruisseau de la Gorge, 21 profils en travers ont été levés. Ils sont localisés sur la figure suivante.

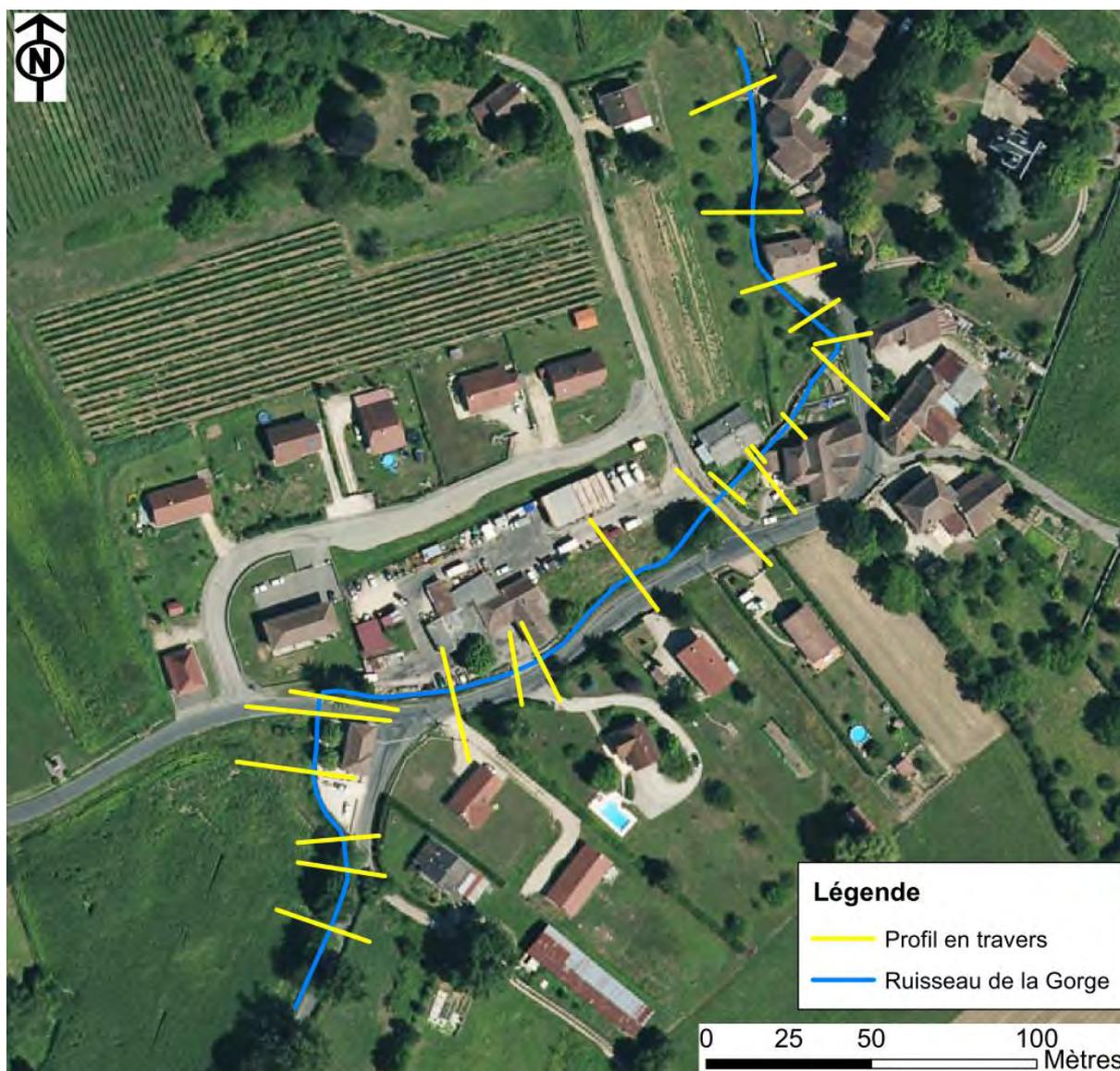


Figure 51 : Profils en travers levés par un géomètre expert

D'autre part, sur le MNT préalablement cité, le bâti a été effacé de façon grossière. Nous l'avons réintégré par surélévation du MNT d'une hauteur arbitraire de 4 mètres sur l'emprise des bâtiments tel qu'elle est définie dans la BD Bâti de l'IGN.

La figure suivante illustre l'amélioration du MNT après reconstruction du lit mineur à partir des levés topographiques et ajout du bâti :

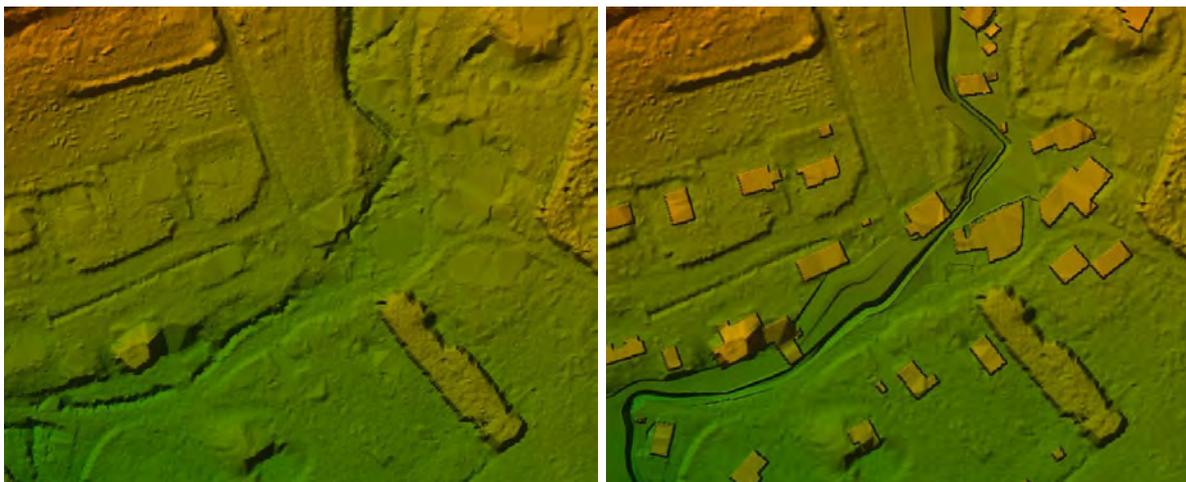


Figure 52 : Amélioration des données topographiques

V.6.3 Description du modèle

Le modèle a été construit en 2D sur la base des données topographiques présentées au paragraphe précédent.

Le modèle est considéré soigné sur l'emprise couverte par les profils en travers, c'est-à-dire depuis l'amont immédiat de la confluence avec un affluent rive gauche jusqu'à l'aval du franchissement de la RD 10b. Toutefois, il a été prolongé en aval, le long de la RD10c, pour notamment limiter l'influence du choix de la condition aval du modèle. En revanche, les données topographiques étant issues du MNT « brut », les résultats doivent être considérés avec grande précaution sur ce tronçon aval.

V.6.4 Données d'entrées et paramètres du modèle

Débits injectés :

Sur un modèle à deux dimensions, seul un calcul en régime transitoire est possible. L'hydrogramme de crue injecté dans le modèle est celui défini dans l'analyse hydrologique au paragraphe V.3.6.

Conditions aux limites :

Les conditions aux limites considérées correspondent aux hauteurs normales en sortie aval du modèle.

Coefficient de frottement :

Sur l'ensemble du modèle, le coefficient de Manning retenu est $n=0.033$.

V.6.5 Résultats

Les résultats du modèle exploités dans le cadre de la quantification de l'aléa sont :

- La carte des hauteurs maximales,
- La carte des vitesses maximales,
- Les lignes de courants qui permettent d'identifier la direction prise par les écoulements, notamment autour des bâtiments (outil « particule tracing » dans HECRAS). Elles seront par exemple utilisées pour exclure des zones modélisées comme inondables lorsque qu'un petit aménagement non visible sur le MNT fait obstacle à l'écoulement.

Les cartes des hauteurs et vitesses sont présentées au paragraphe suivant. La figure suivante illustre les lignes de courant sur la traversée du hameau.

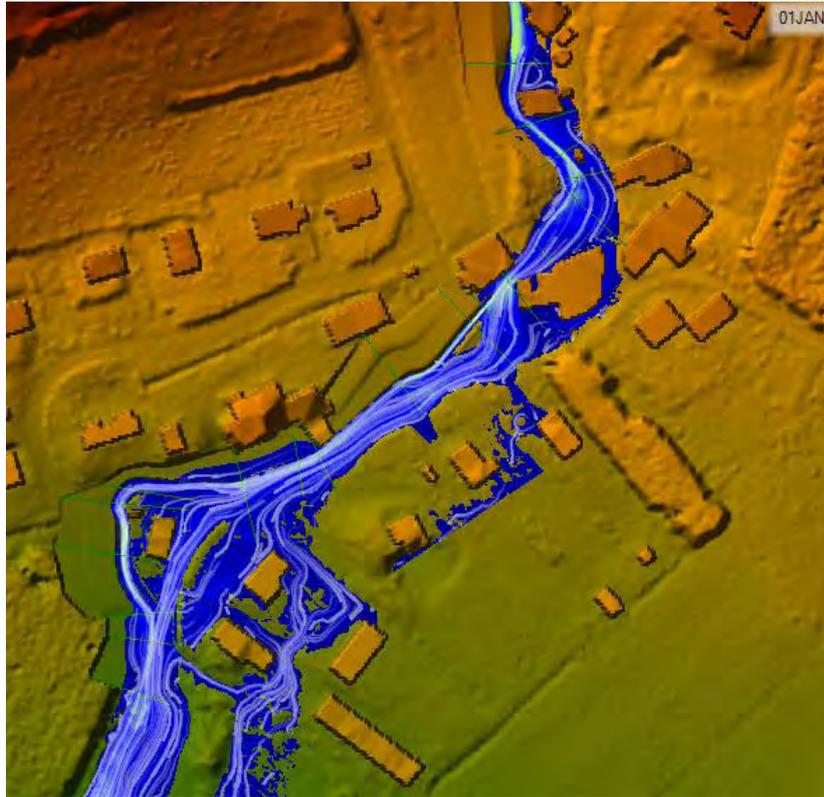


Figure 53 : Lignes de courant

Le modèle confirme les observations de terrains suivantes :

- l'inondation par l'amont de la propriété rive gauche en aval immédiat de la confluence d'un axe de ruissellement rive gauche avec le ruisseau de la Gorge,
- l'inondation de la grande propriété à l'aval rive gauche du premier coude à 90° par :
 - o débordement du canal à l'angle du bâtiment au niveau d'un ponceau sur le canal,
 - o contournement du bâtiment par des écoulements suivants la route départementale et bloqués contre le bâtiment à la faveur d'un dévers routier.
 Ces deux points correspondent exactement au scénario observé en 1990.
- L'inondation du bâtiment à l'angle rive gauche du ruisseau au carrefour RD10b/RD10c.

En revanche, le modèle indique les trois débordements ci-après qui ne sont finalement pas retenus comme possible, après expertise de terrain et confrontation à l'historique des crues, notamment à celle de 1990, plus forte crue connue. Le modèle aura eu l'avantage de s'interroger dans le détail sur la plausibilité de ces débordements :

- Débordements vers les deux propriétés sur la gauche de la RD10b : un étalement légèrement au-delà de la route est possible mais s'arrêterait contre le muret délimitant une propriété. Le dévers de la route vers le lit mineur, la topographie autour des bâtiments et le muret privé rendent improbable le contournement des bâtiments par l'Est.
- Autre axe de débordements sur la gauche de la route RD10b. Le dévers de la RD10b et l'emprise, limitée par un portail entre murets, des débordements sortant de la propriété inondée rendent improbable cet axe de débordement.
- Extension des débordements en rive droite dans la cour d'une entreprise. Le muret de propriété et la topographie de la route et de la cours empêche une tel étalement de la ligne d'eau.

V.7 Qualification de l'aléa

V.7.1 Zones analysées par expertise géomorphologique de terrain

Le niveau d'aléa est qualifié par expertise hydro-géomorphologique de terrain pour les cours d'eau en zones naturelles, agricoles ou pour lesquels les zones urbaines traversées ou bordées sont peu denses. Les principales observations de terrains sont alors celles présentées, site par site, au paragraphe V.4.

Sur la commune de Groslée Saint Benoit, cette méthode d'analyse a également été mise en œuvre pour l'analyse de l'aléa torrentiel lié au ruisseau du Gland sur le hameau de Glandieu, notamment suite aux débordements sur la RD 10 en amont.

Cette qualification de l'aléa est basée sur la grille du guide PPR crue torrentielle. Le principe général est que le niveau d'aléa est le résultat du croisement d'un niveau d'intensité et de probabilité d'atteinte définis au travers des tableaux ci-après.

Critère d'intensité	Niveaux d'intensité retenus		
	Fort	Moyen	Faible
Ordre de grandeur des paramètres hydrauliques	La brutalité des débordements ne rend pas possible un déplacement hors de la zone exposée ou jusqu'à une zone refuge. La hauteur d'écoulement ou d'engravement dépasse 1 m. Les affouillements verticaux ont une profondeur supérieure à 1 m. La taille des plus gros sédiments transportés excède 50 cm.	La brutalité des débordements rend pas possible un déplacement hors de la zone exposée ou jusqu'à une zone refuge. La hauteur d'écoulement ou d'engravement reste inférieure à 1 m. Les affouillements verticaux ont une profondeur qui ne dépasse pas 1 m. La taille des plus gros sédiments transportés n'atteint pas 50 cm.	Les phénomènes sont progressifs et laissent la possibilité d'anticiper pour quitter la zone menacée ou rejoindre une zone refuge La hauteur d'écoulement ou d'engravement reste inférieure à 0,5 m. Les affouillements verticaux ont une profondeur qui ne dépasse pas 0,5 m. La taille des plus gros sédiments transportés n'atteint pas 10 cm.
Flottants	Les risques d'impact par des flottants de grande taille sont importants	Les risques d'impact par des flottants de grande taille sont modérés.	Les flottants sont de petite taille et ne peuvent pas endommager une façade de maison.
Effets prévisibles sur les enjeux	Espace naturels et agricoles	Des phénomènes d'engravement ou d'érosion de grande ampleur sont prévisibles à cause des divagations du lit du torrent. Ils conduisent à de profonds remaniements des terrains exposés.	Des phénomènes d'engravement ou d'érosion sur les parcelles exposées, mais leur ampleur reste limitée.
	Bâtiments	Les contraintes dynamiques imposées par l'écoulement et les matériaux charriés peuvent détruire les bâtiments exposés. La ruine des constructions peut notamment intervenir sur les façades ou par sapement des fondations (les angles des bâtiments étant particulièrement menacés d'affouillement en raison des survitesses induites par la concentration des écoulements).	Les contraintes dynamiques imposées par l'écoulement et les matériaux charriés peuvent endommager gravement les façades non renforcées mais sont insuffisantes pour endommager les façades renforcées. Les affouillements prévisibles ne sont pas assez profonds pour entraîner la ruine des constructions normalement fondées.
	Infrastructures et ouvrages	Les ponts peuvent être engravés, submergés ou emportés. Les routes ou les équipements (pylônes, captages, etc.) faisant obstacle aux divagations du torrent peuvent être détruites ou ensevelies par les dépôts. Les voies de communication sont impraticables du fait de la perte du tracé. De longs travaux de déblaiement et remise en service sont nécessaires.	Les dégâts aux infrastructures, aux ouvrages et aux équipements (pylône, captage, etc.) restent modérés et leur remise en service peut être rapide.

Tableau 12: tableau d'intensité crue torrentielle

La probabilité d'atteinte est définie de la manière suivante :

Probabilité d'atteinte	Signification
Forte	Compte tenu de sa situation, la parcelle est atteinte presque à chaque fois que survient l'événement de référence, ou plus souvent.
Moyenne	La parcelle bénéficie d'une situation moins défavorable que ci-dessus vis-à-vis des débordements prévisibles, ce qui la conduit à être nettement moins souvent affectée.

Faible	La submersion de la parcelle reste possible pour au moins l'un des scénarios de référence, mais nécessite la concomitance de plusieurs facteurs aggravants
--------	--

Tableau 13: tableau de probabilité d'atteinte crue torrentielle

La qualification du niveau d'aléa est ensuite faite sur la base du tableau suivant :

		Intensité		
		Faible	Moyenne	Forte
Probabilité d'atteinte	Faible	Faible (T1)	Moyen (T2)	Fort (T3)
	Moyen	Faible (T1)	Moyen (T2)	Fort (T3)
	Fort	Moyen (T2)	Fort (T3)	Fort (T3)

Tableau 14: grille de qualification des aléas de crue torrentielle en zone non urbanisée

V.7.2 Cas des secteurs modélisés

Cas du ruisseau de la Gorge

Pour la zones modélisée, i.e. la traversée du hameau de la Burlanchère par le ruisseau de la Gorge, la qualification de l'aléa est réalisée par analyse des couples hauteurs/vitesses et a été confirmée ou ajustée lors de la visite de terrain post-modélisation.

		Vitesse		
		< 0,2 m/s	0,2 < V < 0,5 m/s	> 0,5 m/s
hauteur	< 0,5 m	Faible (T1)	Moyen (T2)	Fort (T3)
	0,5 < H < 1 m	Moyen (T2)	Moyen (T2)	Fort (T3)
	> 1 m	Fort (T3)	Fort (T3)	Fort (T3)

Tableau 15 : grille de qualification des aléas de crue torrentielle en zone urbanisée

Eléments d'analyse	Cartes
Hauteur d'eau maximale (asynchrone)	
Vitesse maximale (asynchrone)	



Confirmation / ajustement sur le terrain :

Une analyse de terrain a entraîné deux principaux ajustements qui ont été présentés et justifiés au paragraphe présentant les résultats du modèle : cf. V.6.5. Il s'agit de la-non prise en compte des débordements vers les propriétés sur la gauche de la RD10b, dans le sens d'écoulement de la Gorge, ainsi que de l'extension rive droite des débordements au niveau d'une entreprise. Ce choix est par ailleurs étayé par le scénario de la crue de 1990, plus forte crue connue.

Cas du ruisseau du Gland dans la plaine du Rhone

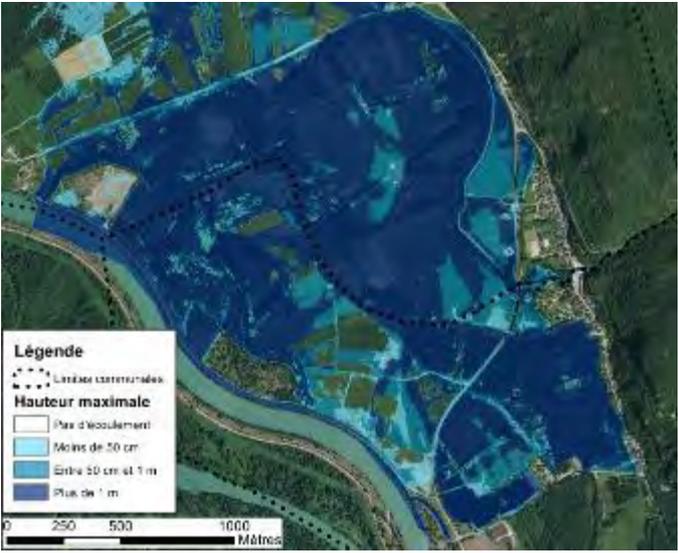
Dans la plaine du Rhône dès 150-200 m à l'aval de la RD 19, même en cas de crue du ruisseau du Gland, un modèle hydraulique a montré que l'aléa I du Rhône était prédominant.

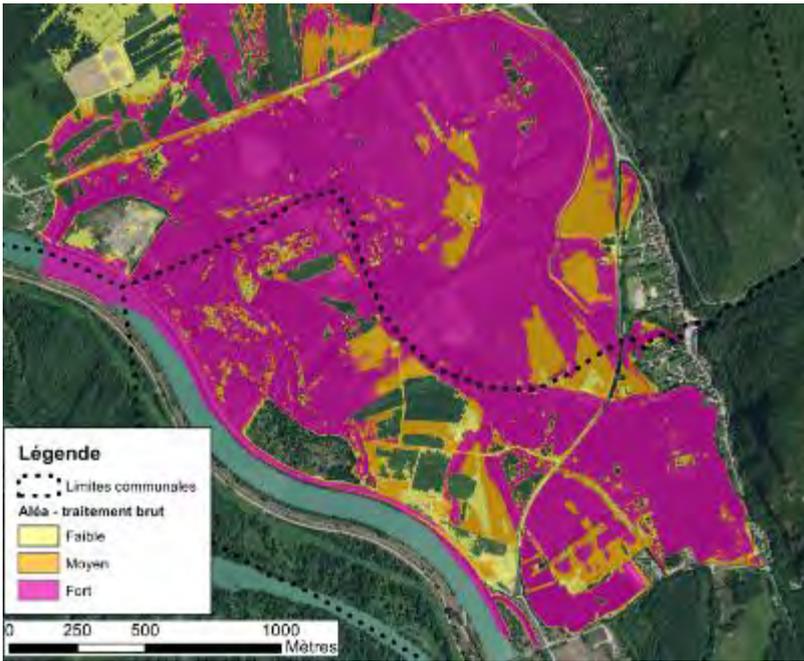
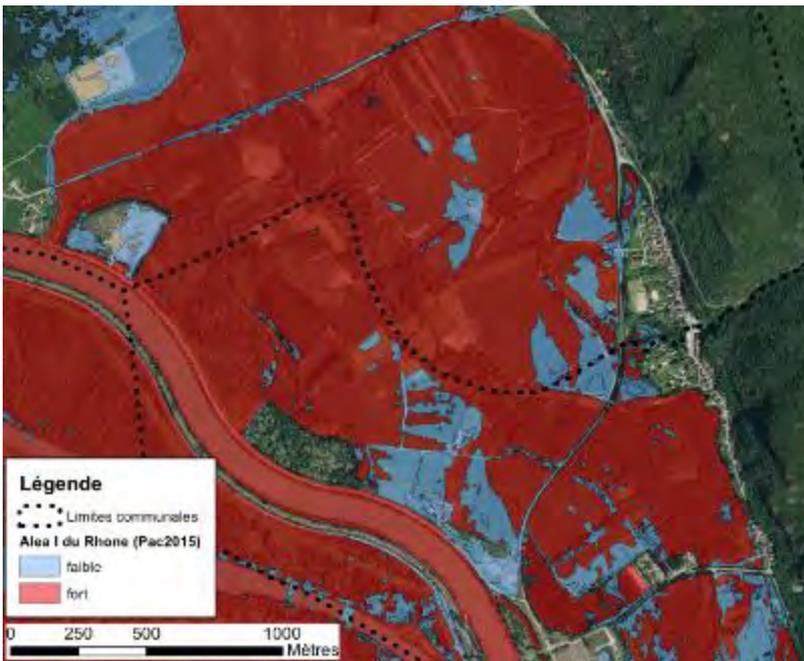
- Secteur où l'aléa est influencé par la crue du Gland :

Sur le secteur où l'aléa est encore influencé par la crue du Gland, l'aléa est qualifié par croisement des couples hauteurs/vitesses modélisés. Les résultats sont repris de l'étude de qualification de l'aléa sur la commune de Brégnier Cordon. Ces zones où l'aléa est influencé par la crue du Gland ne couvrent que des zones naturelles ; aussi, la présentation détaillée du modèle et des résultats n'est pas reprise dans le présent rapport.

- Plaine du Rhone où l'aléa I du Rhone est prépondérant :

Les résultats de la modélisation (carte des hauteurs maximales et carte des vitesses maximales) et l'analyse de l'aléa sont présentés dans le tableau ci-dessous. Cette dernière est comparée à l'aléa inondation du Rhône.

Eléments d'analyse	Carte
Hauteur d'eau maximale (asynchrone)	
Vitesse maximale (asynchrone)	

Eléments d'analyse	Carte
Aléa, traitement brut, résultat du modèle	
Aléa I du Rhône	

Ces cartes illustrent bien la diffusion rapide de la crue du Gland dans la plaine inondée à l'aval de la RD19 (cf. carte des vitesses).

Dans la plaine à l'aval, l'aléa modélisé est très proche de celui porté à connaissance lié aux seules crues du Rhône. Quelques différences de zonage existent avec la cartographie de l'aléa I du Rhône et sont essentiellement dus aux raisons suivantes :

- Différence de grille d'aléa : le zonage de l'aléa Rhône ne différencie que deux classes d'aléa (fort et faible). L'aléa moyen de la présente étude semble correspondre à un niveau d'aléa faible dans la précédente étude. La classe d'aléa fort est cohérente entre les deux études.

- Différences des données topographiques. La cartographie au droit de certains champs est révélatrice. D'une étude à l'autre, des parcelles isolées sont soit hors zone d'aléa, soit exposées. La différence vient vraisemblablement d'une topographie faussée lors d'une acquisition LIDAR par un niveau de culture variable.
- Choix des paramètres d'entrée du modèle.

Dans la mesure où l'objet de la présente étude n'était pas une modélisation de l'aléa inondation du Rhone et où de nombreuses approximations ont été effectuées (non représentation de nombreuses connections inter-casiers par exemple), **l'aléa considéré sera celui porté à connaissance par la DDT de l'Ain.**

Un avantage de ce choix est qu'il permet de différencier un aléa de type « torrentiel » sur le court secteur influencé par le Gland (sans enjeu dans la plaine sur la commune de Groslée Saint Benoit) à un aléa de type « inondation » sur les secteurs uniquement influencés par le Rhone. Ce choix semble adapté à la dynamique des phénomènes attendus.

V.7.3 Aléas résultants

La cartographie annexée au rapport présente la qualification de l'aléa sur l'ensemble du linéaire des cours d'eau sur le territoire communal.

Les principaux points à retenir aux droits des enjeux habités sont les suivants :

Ruisseau de la Gorge :

- Burlanchère :
 - La propriété en rive gauche à l'aval immédiat de la confluence d'un axe de ruissellement avec le ruisseau de la Gorge à l'amont du hameau est exposée à un aléa moyen (T2), dans la mesure où l'étalement de la lame d'eau expose une partie du jardin côté amont jusqu'à la façade à un aléa moyen et une autre partie en bordure à un aléa faible.
 - La propriété à l'angle du premier coude à 90° est exposé à un aléa fort pour prendre en compte son encerclement par des secteurs inondés et classés en aléa fort. En revanche, la cours devant la porte d'entrée est en aléa faible car « abrité » contre de fortes vitesses. Cela est cohérent avec une accumulation d'eau (i.e. vitesse faible) sur 40 cm connu en 1990.
 - La propriété à l'angle rive gauche du coude à 90°, au droit du carrefour RD10b/RD10c, est exposée à un aléa fort (T3).
 - La route départementale RD10c est exposée à un aléa fort.
- Brotteaux amont : les risques de débordements en amont des deux étangs, suivi de déversements successifs des deux étangs vers l'aval exposent :
 - Les deux étangs à un aléa fort, les hauteurs d'eau étant importantes
 - Une partie amont non bati, du terrain de la propriété rive gauche, à un aléa moyen
 - La propriété rive gauche et son accès jusqu'à la route départementale à un aléa faible.
- Brotteaux aval :
 - Le Moulin du Chant n'est pas exposé dans la mesure où les débordements s'effectueront préférentiellement sur le parking en rive droite.

- A l'aval rive gauche du premier coude à 90° dans la plaine, des terrains privés sont en zone d'aléa moyen mais le bâti (deux propriétés) n'est pas exposé aux seules crues de la Gorge. En revanche, ces deux propriétés sont déjà en zone d'aléa inondation du Rhône : une en aléa fort, l'autre en aléa faible.

Ruisseau du Gland :

- Dans la traversée de Glandieu et dans la plaine, la crue du Gland ne menace aucun enjeu habité sur la commune de Groslée Saint Benoit
- Les débordements en amont de la cascade sont susceptibles de suivre la route et de se déverser vers les maisons en contrebas de la route. Compte tenu de la diffusion probable du flux, ce phénomène a été considéré comme du ruissellement, s'ajoutant à des écoulements déjà existants issus de résurgences.

En prenant en compte ces deux phénomènes possibles, l'ensemble du versant et des maisons en bordure de route communale coté versant est considéré exposé à un aléa moyen de ruissellement.

VI Aléas de ruissellement

VI.1 Définition

Ecoulement et divagation des eaux météoriques en dehors du réseau hydrographique suite à de fortes précipitations. Ce phénomène peut provoquer l'apparition d'érosions localisées (ravinement).

VI.2 Méthodologie appliquée

La méthodologie déployée pour la cartographie de l'aléa ruissellement a été la suivante :

- Collecte d'informations et de connaissances de phénomènes auprès des communes
- Traitement automatisé sur SIG afin de mettre en évidence les axes de ruissellements potentiels
- Reconnaissance de terrains :
 - o Confirmation des axes de ruissellements connus de la commune
 - o Vérification de terrain pour confirmer ou infirmer les axes de ruissellements issus du prétraitement pouvant déboucher sur des secteurs d'enjeux ;
 - o Parcours de toutes les zones urbanisées pour identifier d'éventuels autres axes de ruissellement naturels.
- Zonage de l'aléa pour chaque axe de ruissellement

La connaissance de terrains recueillie (réunion de travail, témoignages de riverains) permet d'avoir une connaissance des phénomènes passés sur quelques décennies. La cartographie de l'aléa dans le cadre de l'élaboration du PPR est réalisée, **à dire d'expert, pour un phénomène de période de retour estimée centennale.**

Sur le territoire du Bas Bugey, nombreux axes de ruissellement sont, au moins pour partie, alimentés par des phénomènes karstiques, encore mal connus. Aussi, une incertitude importante de l'évaluation de l'aléa de référence est liée à la difficulté d'appréhender les débits potentiels pouvant être issus de ces résurgences karstiques, pour une période de retour centennale.

VI.3 Historique et données disponibles

Sources d'informations consultées :

- Commune de Groslée Saint Benoît. Réunion de travail du 22/02/2018.
- SFRM-DDE, 1998, Plan de Prévention des Risques (PPR), mouvements de terrains et crues torrentielles – commune de Saint Benoît
- Enquête de terrain : lors de la phase de terrain, des témoignages de riverains ont pu être recueillis. Le cas échéant, les éléments notables sont repris dans la description des observations de terrains.

Evènements historiques :

Les évènements signalés par la commune sont les suivants :

Ruisseau	Date	Localisation des désordres	Observation(s)	Source(s)
Combe issue de Charmont	Janvier 2018	Lota (bâtiment agricole et serre)	Débordements sur la RD10a	Commune
Combe débouchant à Pont Bancet, affluent de la Gorge	Janvier 2018, Problème récurrent	Pont Bancet	Le ruisseau est enterré à partir du lavoir. La grille se bouche et engendre l'inondation du lavoir.	Commune

Combe débouchant entre Grand Port et le Petit Port	Récurrent	Maison en bordure de la RD19	Inondation d'habitation par ruissellement du fait de dysfonctionnement de la buse en en amont sur la route de Jiririeu	Riverain
--	-----------	------------------------------	--	----------

Tableau 16: historique des phénomènes de ruissellement

VI.4 Traitements préalables

Un traitement numérique a été effectué via les outils « Hydrologie » de Arcgis qui permettent de modéliser la circulation d'eau à travers une surface. Le principe utilise le modèle numérique de terrain comme entrée (ici le RGE 5m de l'IGN) à partir duquel il est d'abord construit une direction des flux qui définit le sens dans lequel l'eau s'écoule sur chaque cellule du MNT. Cette donnée est ensuite traitée en accumulation de flux pour calculer le nombre de cellules en montée qui s'écoulent à un emplacement.

Le résultat de ce travail donne une carte des écoulements préférentiels notamment des flux de ruissellement.

Remarque : la restitution est assez fidèle à la réalité du terrain dans les zones relativement encaissées, en revanche le traitement s'avère très hasardeux sur les zones de plaine et dans les secteurs où la nature du sol est perméable (alluvion, éboulis, etc.). Ces dernières ont donc été travaillées par analyse du terrain et de l'historique.

Légende

-  Sources, fontaines, points d'eau (bdtopo, IGN)
-  Rhône et autres surfaces en eau (bdtopo, IGN)
-  Axes de ruissellements potentiels (traitement MNT)
-  Cours d'eau (bdtopo, IGN)

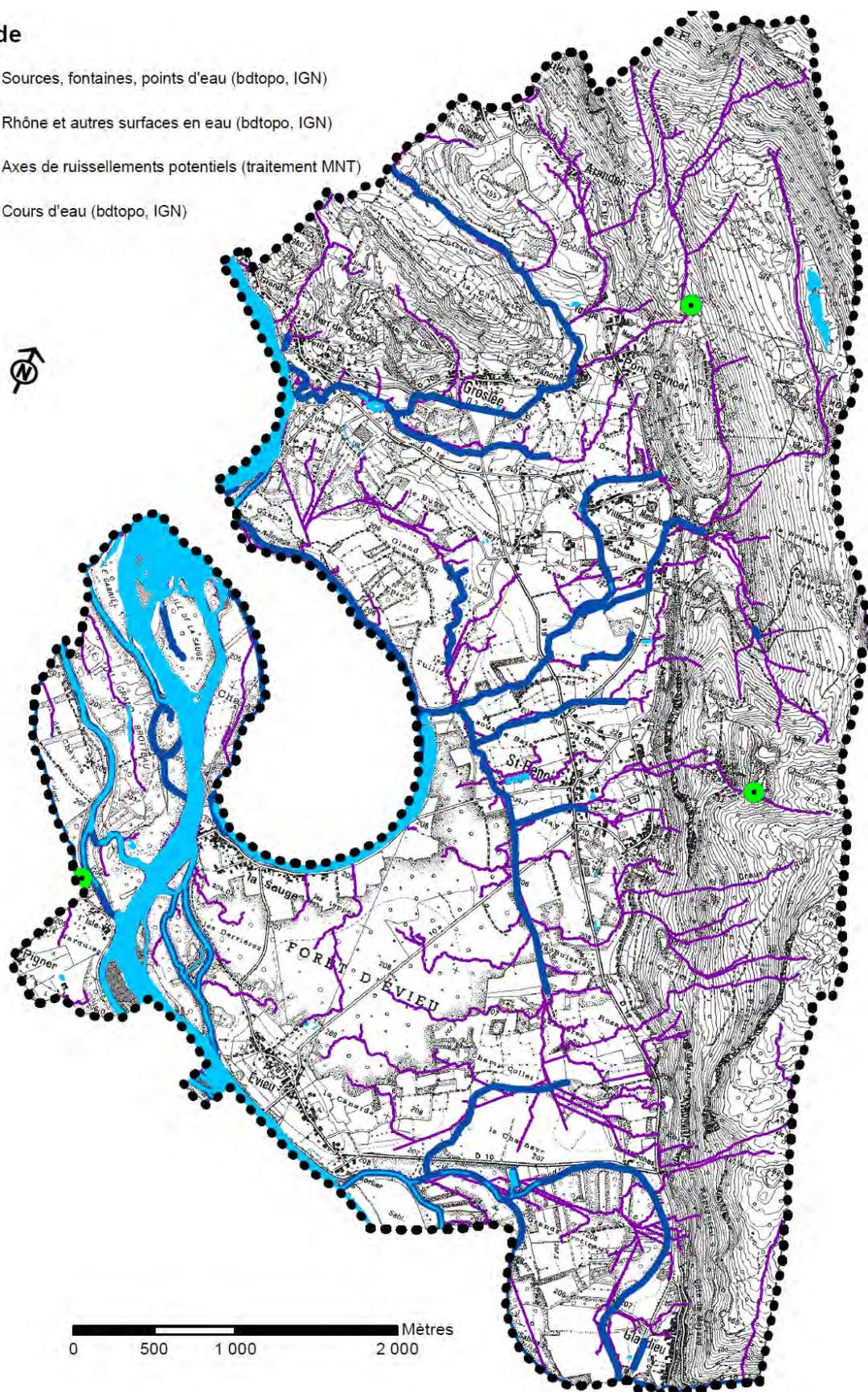


Figure 54 : Carte des écoulements préférentiels

VI.5 Observations de terrain

VI.5.1 Versant à Glandieu

De nombreuses résurgences apparaissent sur le versant à Glandieu entre la route départementale et les maisons. Ces résurgences, et probablement d'autres sources non visibles sous les habitations, alimentent un véritable petit ruisseau qui apparaît à l'aval des maisons et se dirige vers la plaine du Rhône.

A noter également les eaux d'une résurgence, ou au moins une partie, alimentent également un lavoir qui rejoint la plaine via un petit canal.



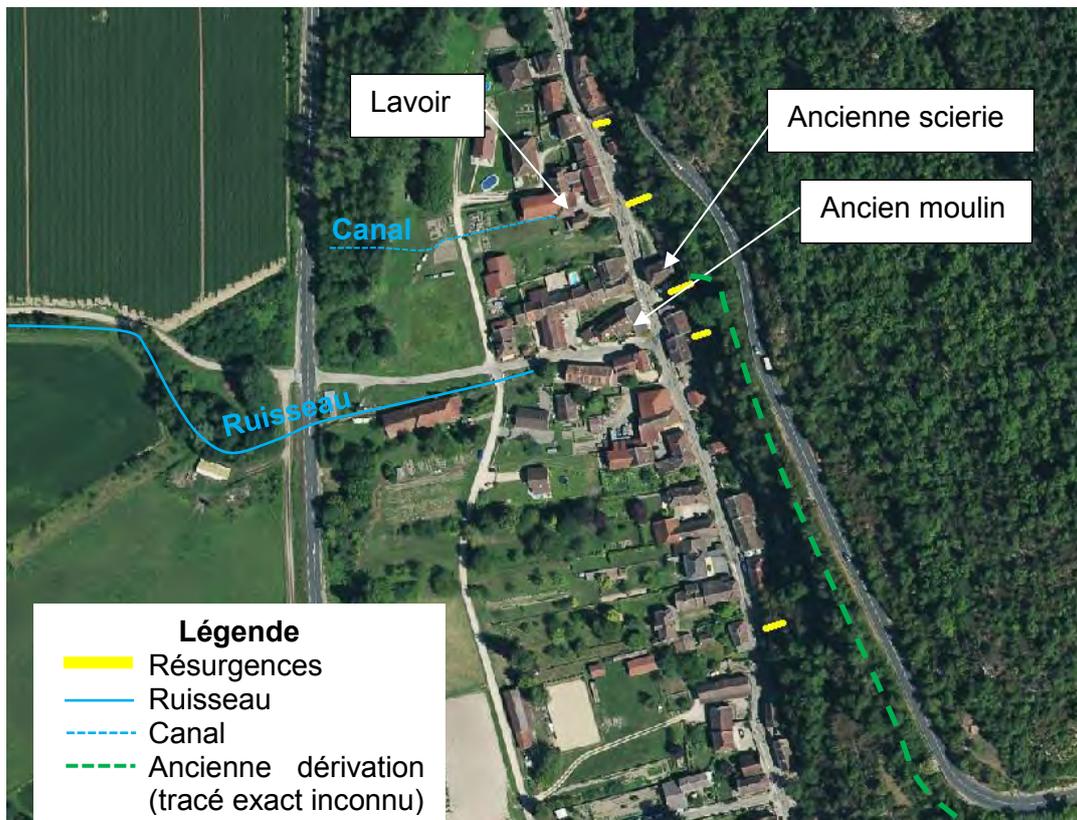
Figure 55 : Illustration des résurgences



Figure 56 : Ruisseau et petit canal dans la partie aval de Glandieu

Par ailleurs, d'après le témoignage recueilli auprès d'un riverain, jusqu'aux années 1980-1985 (date approximative), un canal de dérivation des eaux du Gland existait sous la route départementale et permettait d'alimenter un moulin, une scierie et une marbrerie au cœur du hameau de Glandieu. Suite à un rachat des droits d'eau pour la création de la centrale, la déviation a été abandonnée puis rapidement rebouchée de matériaux. Aucune trace de cet ouvrage ne demeure visible depuis l'une des deux routes. Bien que non fonctionnel, il est vraisemblable que l'ancien canal rebouché constitue encore un axe préférentiel d'écoulement souterrain (pseudo drain) et viennent apporter une quantité d'eau plus importantes aux résurgences à proximité, voire donner naissance à de nouvelles résurgences.

La figure suivante localise les différentes résurgences et aménagements identifiés sur site.



Compte tenu de l'existence de l'ancien ouvrage à amont et de possibles apparitions de nouvelles résurgences au gré de l'évolution des écoulements souterrains, l'ensemble du versant entre la route départementale et la route communale est considéré comme

potentiellement sujet au ruissellement. Rappelons que le déversement des eaux du Gland ayant débordé sur la route départementale et les eaux de ruissellements captées par la route elle-même sont également susceptibles d'apporter leur contribution à ce ruissellement issu des résurgences.

VI.5.2 Combe issue d'Arandon, traversant Varepe et alimentant la Gorge

Au nord de la commune, une combe prend sa source sous le hameau d'Arandon, s'écoule dans une combe naturelle, puis traverse le hameau de Varepe avant de rejoindre le ruisseau de la Gorge.



Figure 57 : Source de la combe sous Arandon

Au niveau du hameau de Varepe, le cours d'eau est enterré sous une propriété. L'obstruction de la buse, probable pour un événement centennal dès lors que l'on considère le risque d'obstruction par embâcles (ripisylve en amont), entrainerait des débordements qui atteindraient la propriété à l'aval immédiat.



Figure 58 : Passage couvert sous une propriété, atteinte en cas d'obstruction de l'entrée de la buse

A l'aval, le cours d'eau longe une route communale et son lit est très peu marqué. A noter la présence d'un franchissement (dalles en pierre) ne laissant un tirant d'air que de quelques centimètres. Les débordements sont très probables en cas d'évènement centennal et atteindraient des habitations en contrebas sur la rive gauche.



Figure 59 : Débordement probable sur la traversée de Varepe (en rouge) du cours d'eau (axe du cours d'eau en bleu) – Vue vers l'amont à gauche, vers l'aval à droite

A l'aval, une accumulation d'eau est possible dans un champ en amont de la route communale transversale. Un petit ouvrage de « vidange » semble indiquer un remplissage périodique de ce champ. A l'aval de la route, les eaux rejoignent le lit du ruisseau de la Gorge.



Figure 60 : Connection permettant la vidange du champ à l'amont de la route communale vers celui à l'aval (à gauche) – lit jusqu'au ruisseau de la Gorge à l'aval

VI.5.3 Combe débouchant Pont Bancet

A Pont Bancet, une combe naturelle bien marquée et boisée débouche au cœur du hameau. A partir d'un lavoir communal, elle est enterré jusqu'à quelques mètres en amont du ruisseau de la Gorge, soit sur plus de 200 mètres.

Les risques d'obstruction de la grille devant la buse sont importants. Le cas échéant, le niveau d'eau monte, contourne le bâtiment et l'inonde par sa porte à l'aval. Un tel scénario s'est produit récemment en janvier 2018.



Figure 61 : Lit en amont et lavoir communal inondé à hauteur du trait en janvier 2018

En cas de crue plus forte, la montée du niveau à l'amont pourrait déborder au niveau de la route. Une petite partie des eaux peut retourner au lit au travers d'une grille, l'autre suivrait alors la route départementale D10b sur plusieurs centaines de mètres pour rejoindre le tronçon à ciel ouvert à l'aval.



Figure 62 : Axe des débordements sur la voirie

VI.5.4 Combe issue de l'Étang à Groslée

Au nord du chef-lieu de Groslée, une combe prend sa source au pied des champs, sur le secteur dit de l'étang.

A l'arrivée au niveau du chef-lieu, l'obstruction d'un premier passage couvert, probable en cas d'embâcle entrainerait un étalement vers la rive gauche avec retour d'une majeure partie des écoulements au lit mineur.



Figure 63 : Source de la combe (à gauche) et débouché sur les enjeux (à droite)

Quelques mètres en aval, le ruisseau est à nouveau couvert. L'obstruction du passage est très probable. Le cas échéant, une grande partie des écoulements peut retourner dans le lit à la faveur d'une ouverture contre la face amont du bâtiment (photo de gauche ci-dessous). L'autre partie suit la route communale à droite et se répand au droit du carrefour avec la D10b.



Figure 64 : Passage sous un bâtiment et voirie empruntée en cas de débordements

Cet axe de ruissellement se retrouve à ciel ouvert à l'aval des maisons et rejoint la plaine et les eaux issues du ruisseau de la Gorge.

VI.5.5 Port de Groslée, combe issue de Jirieu

L'accumulation des eaux de ruissellements au pied des champs de Jirieu alimente la combe suivie par une route communale. L'écoulement s'effectue alors dans une cunette en bord de voirie.



Figure 65 : Route communale dans l'axe de la combe de Jirieu

En amont des habitations du Port de Groslée, les écoulements sont captés dans un réseau. L'ouvrage d'entrée est équipé d'une grille. Pour un évènement d'occurrence centennale, son obstruction, au moins partielle, est estimée très probable ce qui a été corroboré par un riverain. Les débordements s'étalent sur la route communale et dans un champ à l'aval. Des habitations en aval ont déjà reçu des eaux.



Figure 66 : Ouvrage grille en amont des enjeux

VI.5.6 Cascade à Meunier

Au pied de la cascade

Un axe de ruissellement débouche au droit d'une cascade au lieu-dit Meunier. Les eaux proviennent de résurgences comme laisse supposer l'importante accumulation de tuf.

Au-dessus des enjeux urbanisés, les eaux franchissent une route communale avec un risque fort d'obstruction du dalot assurant le franchissement, mais l'écoulement rejoint rapidement son lit.

Les écoulements traversent les terrains de la propriété de rive droite, celle en rive gauche étant bien plus haute. Des débordements sur les terrains sont probables mais restent peu étendus à la faveur d'une topographie marquée et ne menacent pas l'habitation.

Cependant, au sommet de la cascade, un changement de direction des écoulements vers la rive gauche est très probable (faible revanche). Le cas échéant, la cascade s'élargit et retombe vers la route goudronnée de la propriété rive gauche. Malgré une cunette de retour au lit contre la falaise, pour des forts débits, le jet dépasse la cunette et une partie des écoulements peut emprunter la route au sein de la propriété.

De tels légers débordements se sont vraisemblablement produits récemment et sont retournés au lit, arrachant le grillage de limite de propriété (cf.photos). Pour un évènement centennal,

une divagation plus marquée en amont et l'atteinte des habitations en contrebas est estimée probable.



Figure 67 : Cascade vue de l'aval (à gauche) - Sommet de la cascade : axe d'écoulement actuel en bleu, possible divagation en rouge (à droite)



Figure 68 : Axe des débordements en cas de divagation en amont de la cascade

Le long de la RD10a jusqu'à la plaine du Rhône

A l'aval, les eaux poursuivent leur cheminement gravitaire le long de la RD10a. Un dépassement de la capacité du chenal est probable pour un évènement centennal : des traces récentes indiquent un écoulement à plein bord en janvier 2018. Les débordements ne vont pas au-delà de l'emprise de la route en rive gauche et le lit majeur bien marqué en rive droite.



Figure 69 : cours d'eau le long de la RD10a

Le tracé est ensuite busé sur plusieurs dizaines de mètres. Compte tenu des observations à l'amont, le dépassement de la capacité de la buse pour un évènement centennal est

vraisemblable. Le risque d'obstruction de l'entrée de la buse est quoi qu'il en soit à l'origine d'un risque fort de débordement. Des dépôts récents sur la voie témoignent de débordements récents (janvier 2018). Le cas échéant, les eaux s'étalent devant et autour du bâtiment agricole avant de rejoindre des cuvettes aménagées ramenant les eaux dans des chenaux ou ruisseaux parcourant la plaine.

Des aménagements rustiques (merlons en enrobé) et l'érosion de la voirie étayent un historique avéré d'inondation. Bien que ces protections rapprochées soient favorables, pour un épisode centennal, le bâtiment est estimé encore inondable.



Figure 70 : Buse devant un bâtiment agricole avec des risques avérés de débordements

A l'aval du bâtiment, les eaux retrouvent un chenal à ciel ouvert et se dirigent vers la plaine du Rhone.



Figure 71 : Ruisseau à l'aval du bâtiment

VI.5.7 Cascade à Sous Roche

Un peu plus au Sud, une autre cascade débouche sur des enjeux habités. Cet axe de ruissellement est plus court que le précédent. Il prend sa source au pied des champs, un peu plus en amont.

Au niveau de la traversée des premiers enjeux, même en cas de dépassement de la capacité du lit mineur, les débordements resteraient contenus par la topographie et ne menacent pas d'habitations.

A l'aval, il existe néanmoins un risque fort d'obstruction d'un passage busé. Le cas échéant, les débordements s'étalent sur la voirie et rejoignent le carrefour avec la RD10a et peuvent retrouver le lit mineur de l'axe issu de la cascade de Meunier.



Figure 72: Cascade à Sous Roche et traversée des enjeux



Figure 73 : Buse présentant un risque fort d'obstruction (à gauche) et route inondable le cas échéant (à droite)

VI.5.8 Chemin au Nord des Bonards

Au nord des Bonards, les écoulements d'une combe, sèche lors de la visite, sont captés dans une buse. Au vu des matériaux du lit et du boisement, en cas d'orage, son obstruction est très probable. Les débordements empruntent la piste vers la route communale aval et s'étalent dans un champ à l'aval. Aucun enjeu habité n'est estimé menacé.

La buse débouche dans un bac de décantation en aval des maisons avant que les eaux ne rejoignent le pluvial. Son débordement est possible et s'étalerait dans un champ à l'aval.



Figure 74 : Combe captée dans une buse



Figure 75 : Trace de ravinement sur la piste (à gauche) - bac de décantation (à droite)

VI.5.9 Autres axe de ruissellements dans la plaine à proximité d'enjeux

D'autres axes d'écoulements ont été identifiés sur le territoire communal, alimentés par des sorties d'eau en pied de versant. Elles peuvent engendrer des accumulations importantes en points bas et finissent par rejoindre le Rhône à la faveur de chenaux aménagés dans la plaine. Ces axes, listés ci –après, ne sont que très sommairement présentés car ils ne menacent aucun enjeu.

Secteurs de Villeneuve et de Cabuissat

Côté aval de la route départementale RD10a, face à la carrière, une sortie d'eau en fond de vallée alimente un axe de ruissellement dans la plaine jusqu'au Rhône. Les eaux s'écoulent dans un chenal aménagé au gabarit imposant compte tenu de l'absence de bassin versant amont. Deux lieu-dits, Villeneuve et Le Cabuissat, sont traversés sans risque de débordement.



Figure 76 : Chenal à travers les lieu-dits de Villeneuve et Le Cabuissat

En limite Nord de Saint Benoît:

L'accumulation des eaux en pied de versant alimente un chenal qui traverse le carrefour D10a/D19 et rejoint la plaine du Rhône.



Figure 77 : Axe d'écoulement en limite nord de Saint Benoît

Autour du terrain de foot

Une zone humide autour du terrain de foot vient alimenter une cunette qui rejoint la plaine du Rhône après avoir traversé le chef-lieu de Saint Benoît.



Figure 78 : Axe d'écoulement entre le terrain de foot et la RD 19 dans Saint Benoît

Entre Saint Benoît et Glandieu, le long de la RD19, côté Est

En bordure de la RD19 coté amont, entre Saint Benoît et Glandieu, une accumulation importante d'eau peut se produire dans un champ et contre la RD19 avant que l'écoulement ne rejoignent la plaine après avoir transité par une buse sous la voirie.



Figure 79 : Concentration des eaux du versant en bordure de RD19

Dans la plaine

Dans la plaine, un vaste réseau de chenaux assure la continuité des axes d'écoulement de l'amont (ruisseaux et axes de ruissellement) ainsi que le drainage de la plaine, inondable par les crues du Rhone.

VI.6 Qualification de l'aléa

VI.6.1 Grille de qualification

Les aléas de ruissellement sont qualifiés selon la grille suivante :

Aléa	Indice	Critères
Fort	V3	<ul style="list-style-type: none"> Versant en proie à l'érosion généralisée (bad-lands). Exemples : <ul style="list-style-type: none"> - Présence de ravines dans un versant déboisé - Griffes d'érosion avec absence de végétation - Effritement d'une roche schisteuse dans une pente faible - Affleurement sableux ou marneux formant des combes Axes de concentration des eaux de ruissellement, hors torrent Zones d'accumulation des eaux (point bas) : hauteur d'eau supérieure à 1 m
Moyen	V2	<ul style="list-style-type: none"> Zone d'érosion localisée Exemples : <ul style="list-style-type: none"> - Griffes d'érosion avec présence de végétation clairsemée - Ecoulement important d'eau boueuse, suite à une résurgence temporaire Débouchés des combes en V3 (continuité jusqu'à un exutoire) Zones d'accumulation des eaux (point bas) : hauteur d'eau entre 50 cm et 1 m
Faible	V1	<ul style="list-style-type: none"> Versant à formation potentielle de ravine • Ecoulement d'eau non concentrée, plus ou moins boueuse, sans transport de matériaux grossiers sur les versants et particulièrement en pied de versant.

Tableau 17 : grille de qualification des aléas de ruissellement

VI.6.2 Aléas résultants

Les principaux points à retenir aux droits des enjeux habités sont les suivants :

- **Secteur de Varepe :**
 - en amont de la première habitation, l'obstruction probable de la buse menace la propriété et l'accumulation des eaux contre le bâtiment qui est transversal à l'écoulement. Au vue de l'éloignement du bâtiment, les vitesses seront réduites mais l'accumulation possible des eaux l'expose à un aléa moyen.
 - Dans la traversée à l'aval, les risques de débordements sont importants. La topographie permet un étalement rapide des débordements mais les maisons en contrebas sont exposées à un aléa moyen avec accumulation possibles des eaux.
- **Pont Bancet :** Le lavoir communal est exposé à un aléa fort car situé dans l'axe d'écoulement et qui plus est susceptible d'être inondé sur plus d'un mètre. A l'aval, l'aléa est devient progressivement moyen à l'aval. Ce niveau est conservé jusqu'à que les débordements rejoignent la partie à ciel ouvert à la Burlanchère, afin de prendre en compte un écoulement encore concentré sur la seule largeur de route.
- **Combe issue de l'étang de Groslée :** au débouché de cette combe, un bâtiment, traversé en souterrain par cet axe, est en aléa fort. Les débordements exposent la route jusqu'au carrefour à un aléa décroissant d'un niveau moyen à faible, à la faveur de l'étalement de la lame d'eau. Aucun autre bâtiment n'est estimé exposé.
- **Port de Groslée :** l'obstruction de la grille entraîne un étalement des débordements, essentiellement dans le champ à l'aval. L'habitation en contrebas rive gauche est en bordure d'un aléa moyen compte tenu de vitesses de ruissellement qui peuvent encore être élevées en pied de talus. Plus bas la route de Jirieu et le point bas dans le champs sont classés en aléa faible jusqu'au Rhône affectant ainsi des habitations.
- **Cascade à Meunier :** les propriétés en rive gauche au pied de la cascade sont exposées à un aléa moyen. Des débordements peuvent en effet se produire vers la rive gauche de la cascade, suivre la route privée et venir s'accumuler contre les maisons.

Plus en aval, des débordements possibles classent la route départementale en aléa fort. Dans la continuité aval, l'obstruction probable d'un passage busé devant un bâtiment agricole expose le carrefour devant le bâtiment à un aléa fort (V3). La partie amont du bâtiment est en zone d'aléa moyen (V2) et l'aval est en zone d'aléa faible (V1), pour prendre notamment en compte son encerclement possible par les eaux guidées dans des cunettes.

En dehors de tout enjeu habité, certains secteurs sont classés en aléa moyen ou fort car susceptibles d'accumuler des hauteurs non négligeables d'eau à la faveur de point bas topographique ou de routes faisant obstacle à l'écoulement (digue).

Par ailleurs, dans la plaine, les axes principaux d'écoulement correspondant à la continuité des ruisseaux ou axes de ruissellement observés à l'amont ont été classés en aléa fort. D'autres concentrations d'eau d'origine anthropique (sillons agricoles par exemple) ne sont pas représentées. Néanmoins, elles sont généralement déjà dans une zone inondable par le Rhône.

Enfin, certains débordements sur les voiries ne présentent pas d'exutoire. L'aléa faible a été arrêté à partir du moment où la diffusion des écoulements était estimée suffisante pour que le ruissellement relève de la gestion des eaux pluviales.

VI.6.3 Cas de l'aléa très faible de ruissellement

Le niveau d'aléa très faible de ruissellement n'est pas cartographié. Il correspond à des hauteurs très faibles de ruissellement (quelques centimètres) pour lesquelles les règles de l'art en matière de construction doivent faire face par principe minimal de précaution.

Pour autant, tout le territoire communal est concerné par cet aléa dès lors que des précipitations sont observées.

Sa non-considération explique notamment la non continuité de certains axes de ruissellement en l'absence de cours d'eau exutoire : le contour d'aléa faible de ruissellement s'arrête lorsque la diffusion du flux est estimée telle que le niveau d'aléa devient très faible.

VII Synthèse des événements historiques

Le tableau suivant synthétise les phénomènes historiques connus de la commune. Ils sont classés chronologiquement et associés à un code (N° Carte) qui renvoie vers l'étiquette de localisation sur la carte des phénomènes historiques jointe au dossier. Le détail des informations est présenté dans les paragraphes précédents.

Secteur	Phénomène	Date	Observation	Source(s)	N° Carte
Hameau Le Champ	Chutes de blocs	1975	un éboulement a affecté la falaise "du Champ" entraînant dans la pente des blocs ayant un volume important: cinq blocs dont le volume était compris entre 0,5 et 3 m ³ . On peut noter deux autres ayant des volumes respectifs de l'ordre de 10 et 100 m ³ à proximité des maisons suite à un éboulement ancien.	PPR	1
Les Bonnards - Le Champs	Chutes de blocs	Janvier 1987	un éboulement rocheux a eu lieu. Des blocs, dont un de 4 m ³ ont atteint une maison. Des blocs de 0,1 à 0,2 m ³ étaient visibles plus en amont. Suite à ce mouvement de terrain, une étude trajectographique a été réalisée afin de dimensionner des écrans de protection.	PPR géorisques	2
Ruisseau du Gland	Crue torrentielle	Février 1990	Crue du ruisseau du Gland. En amont de la cascade, le ruisseau a déstabilisé la RD10 et débordé sur cette route et dans la microcentrale. Les débordements ont suivi la route et se sont déversés vers les habitations au Nord en formant trois cascades parallèles. A l'aval de la cascade, la crue a érodé les berges là où le ruisseau méandre. La plaine du Rhône est également largement inondée.	PPR Commune	3
Hameau de la Burlanchère Ruisseau de la Gorge	Crue torrentielle	Février 1990	Le Moulin déborde au hameau de La Burlanchère et inonde au moins une propriété. Plus en aval, toujours dans le hameau, le ruisseau déborde au niveau de la passerelle menant à un entrepôt en rive droite. En aval de la RD et du hameau, le chemin de la gare est inondé. Arrêté de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle	Commune Site web (géorisques)	4
Port de Groslée, autour de la RD19 Ruisseau de la Gorge	Crue torrentielle	Février 1990	le parking du Moulin du Chant est inondé. En aval, le ruisseau divague et se rapproche en bordure d'une propriété en rive gauche. La maison n'est pas inondée. Arrêté de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle	Commune Site web (géorisques)	5
Pignier	Glissement	1993	Un glissement de 100 m de largeur au niveau de VC11. Après enquête il s'agit en fait d'un affaissement lié à un soutènement de mauvaise qualité	géorisques	6
Les Bonnards - Le Champs	Chutes de blocs	9 mai 1997	Deux blocs étaient bien visibles dans un terrain entre le hameau du Champs et celui des Bonnard. Le plus gros de 0,5 m ³ s'est stoppé à 3 m de la voie	DDE, Commune	7

			communale. Un bloc est tombé à une des extrémités du merlon		
Hameau Le Champ	Chutes de blocs	30 janvier 2006	Un rocher est descendu dans le merlon.	Article le Progrès	8
Vignoble à Pont Bancet, le plus au Nord, entre la D10a et la route communale	Chutes de blocs	Il y a environ 10 ans	Chutes de blocs de 1 à 2 m ³ dans les vignes	Commune	9
Hameau de la Burlanchère – chemin de la gare Ruisseau de la Gorge	Crue torrentielle	Janvier 2018	La crue du Moulin est en limite de débordement au cœur du hameau et inonde le chemin de la gare en aval.	Commune	10
Port de Groslée, autour de la RD19 Ruisseau de la Gorge	Crue torrentielle	Janvier 2018	En amont de la RD19 en rive gauche, le ruisseau remplit un étang privé qui se déverse à son tour vers la propriété. L'inondation est évitée par aménagement de fortune.	Commune	11
Combe issue de Charmont Lota	Ruissellement	Janvier 2018	Débordements sur la RD10a	Commune	12
Combe débouchant à Pont Bancet, affluent de la Gorge	Ruissellement	Janvier 2018, Problème récurrent	Le ruisseau est enterré à partir du lavoir. La grille se bouche et engendre l'inondation du lavoir.	Commune	13
Versant Saint Benoît	Glissement	-	Le PPR indique des zones sujettes à «instabilités de terrain» sur le versant	PPR 1998	14
Sud Arandon	Chutes de blocs	Il y a 2 – 3 ans	Chutes de blocs ayant atteint la RD	ONF	15

Tableau 18 : synthèse des phénomènes historiques

VIII Annexes

VIII.1 Annexe 1 : Méthode MEZAP

Cette méthode empirique consiste à croiser l'intensité avec la probabilité d'occurrence qui est elle-même issue d'une matrice interceptant la probabilité d'atteinte avec l'activité.

L'intensité est observée sur le terrain (blocométrie).

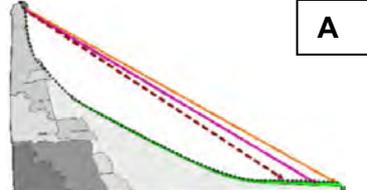
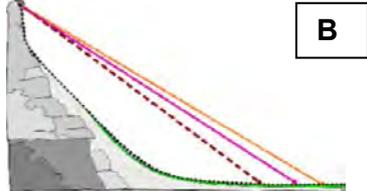
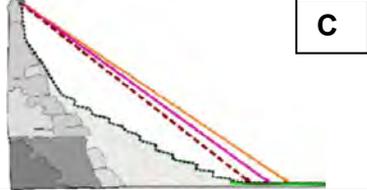
a) Intensité

L'intensité se définit par le volume du bloc de l'aléa de référence. Le niveau d'intensité est fonction des dommages au bâti. Logiquement il devrait donc être fonction de l'énergie à l'impact mais suite aux nombreuses expériences de relevés in-situ, c'est le volume des éléments attendus à l'échelle centennale qui préside à la caractérisation de l'intensité

Niveaux d'intensité	Description	Dommages
Faible	$< 0,25 \text{ m}^3$	Peu ou pas de dommage au gros œuvre, perturbation des activités humaines.
Modérée	$0,25 \text{ m}^3 < V < 1 \text{ m}^3$	Dommage au gros œuvre sans ruine. Intégrité structurelle sollicitée.
Elevée	$1 \text{ m}^3 < V < 10 \text{ m}^3$	Dommage important au gros œuvre. Ruine probable. Intégrité structurelle remise en cause.
Très élevée	$> 10 \text{ m}^3$	Destruction du gros œuvre. Ruine certaine. Perte de toute intégrité structurelle

b) Probabilités d'atteinte

La probabilité d'atteinte est déterminée par des plages d'angles de lignes d'énergie. Ces plages peuvent varier en fonction de la topographie du site.

Type de profil topographique	Probabilité d'atteinte (angle de ligne d'énergie) <i>Valeurs indicatives à adapter par l'expert en fonction du terrain</i>		
	Fort	Moyen	Faible
 A	34°	32°	30°
 B	38°	35°	33°
 C	36°	34°	32°
 D	Cas particulier faisant l'objet d'un projet de recherche par l'IRSTEA dans le cadre du programme Rock the Alps (projet Interreg). A titre indicatif, les valeurs dépassent les 40° et peuvent atteindre 60°.		

c) L'activité

La probabilité de départ des blocs en falaise est très difficile à déterminer. Elle peut s'estimer à partir des traces de départ visibles et du nombre des blocs observés dans la pente, ce qui sera appréhendé lors des reconnaissances de terrain. Les critères utilisés pourront également être liés à l'activité passée de la zone de départ.

Indice d'activité par zone d'homogène	Description
Faible	De l'ordre d'un bloc de l'aléa de référence tous les 100 ans
Moyen	De l'ordre d'un bloc de l'aléa de référence tous les 10 ans
Fort	De l'ordre d'un bloc de l'aléa de référence tous les ans

d) Probabilité d'occurrence

La probabilité d'occurrence est qualifiée en utilisant la matrice ci-dessous pour croiser la probabilité d'atteinte en un point et la probabilité de départ qualifiée par l'indice d'activité.

		Probabilité d'atteinte			
		Faible	Moyen	Fort	Très Fort
Indice d'activité	Faible	Faible	Modérée	Elevée	Très Elevée
	Moyen	Modérée	Modérée	Elevée	Très Elevée
	Fort	Modérée	Elevée	Elevée	Très Elevée

e) Aléa résultant

L'aléa est obtenu par croisement de la probabilité d'occurrence et de l'intensité par le biais d'une matrice :

		Intensité				Eboulement de grande ampleur
		$V \leq 0,25 \text{ m}^3$	$0,25 < V \leq 1 \text{ m}^3$	$1 < V \leq 10 \text{ m}^3$	$V > 10 \text{ m}^3$	
Probabilité d'occurrence	Faible	Faible (P1)	Moyen (P2)	Fort (P3)	Fort (P3)	Très fort (P3)
	Modérée	Faible (P1)	Moyen (P2)	Fort (P3)	Fort (P3)	Très fort (P3)
	Elevée	Moyen (P2)	Fort (P3)	Fort (P3)	Très fort (P3)	Très fort (P3)
	Très élevée	Fort (P3)	Fort (P3)	Très fort (P3)	Très fort (P3)	Très fort (P3)

VIII.2 Annexe 2 : Description du modèle Rockyfor3D

Outils

Les calculs trajectographiques 3D sont réalisés avec le logiciel Rockyfor3D ® développé par Ecorisq (association Franco-Suisse : IRSTEA et EPFL).

Les éléments considérés dans le calcul sont définis ci-après (extrait de la notice), détails sur le logiciel et ses calculs sur : <http://www.ecorisq.org/>.

Forme du bloc

Cette forme de bloc définit la façon dont 1) le volume du bloc (et donc sa masse) et 2) le moment d'inertie sont calculés sur la base de trois diamètres de blocs définis d_1 , d_2 et d_3 . Afin de calculer la position du bloc, le rebond sur la surface de la pente, Rockyfor3D emploie toujours une forme circulaire pouvant présenter 2 diamètres différents : 1) le plus petit des diamètres d_1 , d_2 et d_3 définis et 2) un diamètre plus grand, qui est la moyenne des deux plus grands diamètres de d_1 , d_2 et d_3 . Ce dernier permet de calculer la perte d'énergie lors des impacts sur le sol, c'est-à-dire le rapport entre la rugosité de surface et le rayon du plus grand périmètre du bloc (voir également l'équation 7).

Chute libre parabolique

La chute libre parabolique se calcule au moyen d'un algorithme standard pour un mouvement parabolique uniformément accéléré dans l'air. Ce calcul permet de déterminer la position et la vitesse à l'intersection au moyen d'une topographie en 3D représentée par le Modèle Numérique de Terrain (MNT). Ainsi, Rockyfor3D simule une trajectoire en 3D en calculant l'évolution de sa position le long des axes x , y et z . Ici, l'axe des x correspond à la direction est-ouest, l'axe des y à la direction nord-sud, et l'axe des z à sa position verticale.

Rebond sur la surface de la pente

La vitesse après un rebond sur la surface de la pente, aussi appelé bounce, se calcule principalement avec 10 algorithmes. Une première étape importante est la conversion de la vitesse d'arrivée dans le plan horizontal xy (V_{hor}) et de celle dans le plan vertical z (V_{vert}) en une vitesse d'arrivée normale V_n et tangentielle V_t (par rapport à la pente locale) (voir fig. ci-contre).

Ensuite, la profondeur de pénétration du bloc sur le lieu de l'impact est calculée d'après les travaux de Pichler et al. 2005 : Les paramètres d'entrée nécessaires à cet algorithme sont les suivants :

- Le coefficient de restitution normal (R_n)
- Le diamètre du projectile (d en m)
- La masse du projectile (RockMass en kg)
- La vitesse d'impact du projectile (V en m/s)

Les constantes utilisées sont :

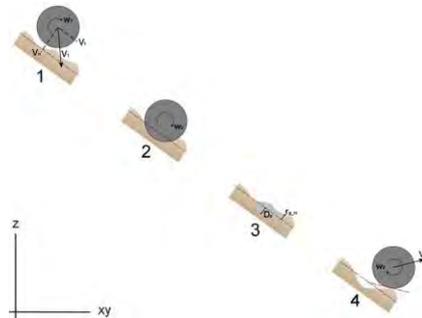
- $k = 1.207$ (constante représentant la forme sphérique du bloc)
- $B = 1.2$ (paramètre de compressibilité du matériau touché ; varie peu pour les différents matériaux)

Les principales fonctions de profondeur de pénétration (D_p) sont les suivantes :

$$\frac{D_p}{d} = \frac{2}{\pi} N \ln \left[\frac{1 + I_e/N}{1 + k\pi/4N} \right] + k \text{ pour } \frac{D_p}{d} > k \quad (1)$$

$$\frac{D_p}{d} = \sqrt{\frac{1 + k\pi/4N}{1 + I_e/N}} \frac{4k}{\pi} I_e \text{ pour } \frac{D_p}{d} \leq k \quad (2)$$

où,



$$I_e = \frac{RockMass * V^2}{R_i * d^3} \quad (3)$$

(RockMass et V désignent respectivement la masse (kg) et la vitesse (m/s) du bloc)

où R_i est la résistance à l'indentation du matériel impacté (en MPa) et calculé avec la formule,

$$R_i = 55 * 10^9 * R_n^7 \quad (4)$$

Cette fonction donne des valeurs entre 1 - 5 MPa pour de sols fins et de 200 - 250 MPa pour la roche mère.

$$N = \frac{RockMass}{\rho_{soil} * d^3 * B * 0.5} \quad (5)$$

où ρ_{soil} est la densité du matériel impacté (en kg/m³) et calculé avec la formule,

$$\rho_{soil} = 1200 * \ln(R_n) + 3300 \quad (6)$$

Cette fonction donne des valeurs entre 1500 kg/m³ pour des sols fins et de 2500 kg/m³ pour la roche mère.

Dans Rockyfor3D, la profondeur de pénétration D_p ne peut être supérieure au rayon du bloc et la valeur maximale absolue est de 1 m. Une fois la profondeur de pénétration calculée, il est possible de lancer le calcul de la vitesse du bloc après le rebond.

Dans ce but, le coefficient de restitution tangentiel (R_t , voir Chau et al. 2002) constitue un paramètre important. Dorren et al. (2004) ont démontré que cette valeur R_t est déterminée par la composition et la dimension du matériau recouvrant la surface et par le rayon du bloc en chute, étant donné que pour des blocs de plus grandes dimensions, la rugosité de surface effective est moins importante que pour les blocs de petites dimensions (voir Kirkby et Statham 1975; Dorren 2003), et analogue au principe du coefficient de variation de pente utilisé par exemple par Pfeiffer et Bowen (1989), Spang et Krauter (2001) et Dorren et al. (2004). Par conséquent, Dorren et al. (2006) ont proposé l'algorithme suivant pour calculer le R_t :

$$R_t = \frac{1}{1 + ((MOH + D_p) / R)} \quad (7)$$

où MOH est la hauteur d'obstacle représentative à la surface de la pente (m), D_p est la profondeur de pénétration (m) et R est le rayon du bloc en chute (m).

Tous les spécialistes savent qu'il n'est pas possible de mesurer le MOH en détail et à chaque endroit sur une pente active de chutes de pierres. Etant donné qu'il est possible de réaliser une carte de polygones présentant les diamètres moyens du matériau recouvrant la surface classée par différentes classes de diamètres, la valeur de R_t devrait être déduite d'une telle carte. Nous avons choisi de cartographier trois classes de MOH représentant la hauteur moyenne des obstacles rencontrés par un bloc lors de 70%, 20%, et 10% des rebonds dans un polygone cartographié. Ensuite, l'algorithme de rebond de Rockyfor3D choisit le MOH sur la base des trois classes de couverture dans le polygone en utilisant un nombre aléatoire. Ainsi, les valeurs données par les trois classes de probabilité R_{g70} , R_{g20} et R_{g10} représentent les valeurs utilisées respectivement dans 70%, 20% et 10% des calculs de rebonds.

La valeur R_t ainsi obtenue est utilisée pour calculer la composante de vitesse tangentielle du bloc après le rebond (V_{t2}) d'après Pfeiffer et Bowen (1989) :

$$V_{t2} = \sqrt{\frac{R^2 * (I * V_{rot1}^2 + RockMass * V_{n1}^2) * R_t}{I + RockMass * R^2}} \quad (8)$$

où V_{t1} est la composante de vitesse tangentielle du bloc avant le rebond, V_{rot1} est la vitesse rotationnelle avant le rebond et I est le moment d'inertie de la forme de bloc définie.

Avant le calcul réel de V_{t2} , le modèle opère une variation aléatoire de la valeur calculée de R_t de +/- 10% afin de représenter la variance de la rugosité de surface observée dans la nature. Il en va de même pour le coefficient normal de restitution (R_n), utilisé pour calculer la composante de vitesse normale du bloc après le rebond V_{n2} d'après Pfeiffer et Bowen (1989) :

$$V_{n2} = \frac{-V_{n1} * R_n}{1 + (abs(V_{n1})/9)^2} \quad (9)$$

où V_{n1} est la composante de vitesse normale du bloc avant le rebond. Le facteur $(abs(V_{n1})/9)^2$ ajuste la diminution du coefficient normal de restitution au fur et à mesure que la vitesse d'impact augmente. Ce facteur représente une transition, à partir d'un rebond plus élastique à de faibles vitesses normales vers un rebond beaucoup moins élastique provoqué par une fracturation croissante du bloc et une formation de cratères à la surface de la pente, à des vitesses normales plus élevées (Habib 1976). Ainsi, le modèle tient indirectement compte de l'effet de l'angle d'impact sur la nature du rebond (voir Wu 1984).

La vitesse rotationnelle après le rebond V_{rot2} se calcule comme suit :

$$V_{rot2} = \min \left[\frac{V_{r2}}{R}; V_{rot1} + \frac{(V_{t1} - V_{t2}) * 2}{5 * R} \right] \quad (10)$$

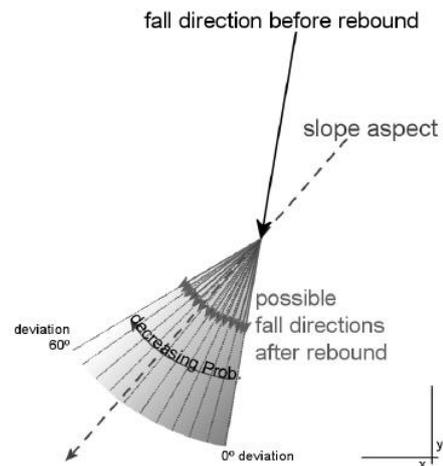
Tout comme dans Pfeiffer et Bowen (1989), l'angle de la pente sur le lieu du rebond est uniformément diminué de façon aléatoire lors de chaque rebond. Cependant, la réduction maximale de l'angle de pente est fixée à 4°. Le roulement est représenté par une séquence de rebonds sur une faible distance, la distance entre deux rebonds est égale au rayon du projectile et avec une valeur minimale fixée à 0.2 m. Ces deux dernières conditions ne sont utilisées que pour des pentes entre 0° et 30°.

Calcul de la direction de chute

Changement de direction du à un rebond sur la surface de la pente

Initialement, c'est l'orientation de la cellule source qui détermine la direction de chute du bloc simulé. Ensuite, la direction du projectile change en raison de rebonds sur la surface de la pente ou d'impacts contre des arbres. L'angle de déviation après un rebond sur la surface de la pente est déterminé par la topographie, par la direction de chute du bloc avant le rebond et par sa vitesse.

Lors de chaque rebond, le modèle permet au bloc de dévier de sa direction antérieure au rebond vers la direction de l'orientation de la cellule raster dans laquelle il rebondit (fig. ci-contre).



L'orientation de la pente est la direction vers l'aval du taux maximum de changement de valeur à partir de chaque cellule d'un raster vers les quatre cellules voisines (les 2 cellules au-dessus et en-dessous et les 2 cellules à gauche et à droite). Ainsi, l'orientation représente la direction de pente la plus raide dans chaque cellule et se calcule d'après Zevenbergen et Thorne (1987). Enfin, la déviation du bloc par rapport à sa direction de chute avant le rebond vers l'orientation de la pente dans la cellule raster est déterminé par un chiffre aléatoire et par la vitesse du bloc (voir tableau 3).

Le chiffre aléatoire définit si la déviation du bloc par rapport à sa direction d'origine est comprise entre 0 et 5°, ou entre 5° et 10°, 10° et 15°, 15° et 20°, ..., 50° - 55°. Tous ces cas de figure s'accompagnent de probabilités d'occurrence prédéfinies et déterminées par la vitesse du bloc avant le rebond comme présenté dans le tableau 3.

Tableau 3 : Probabilités (en %) de gammes d'angles de déviation après le rebond utilisées par Rockyfor3D pour trois classes de vitesse.

Angles de déviation (°)	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55
$V < 10$ m/s	49	15	9	6	5	4	3	3	3	2	2
$10 \leq V < 15$ m/s	53	14	8	6	4	4	3	3	2	2	2
$V \geq 15$ m/s	46	16	10	7	5	4	4	3	3	2	0

Les valeurs du tableau 3 reposent sur des analyses statistiques de trajectoires de chutes de blocs et de vitesses observées lors des expériences présentées dans Dorren et al. (2006). Si le déplacement du bloc est ascendant dans le modèle, les gammes de déviation décrites ci-dessus sont autorisées dans les deux directions latérales à la direction avant le rebond. Si le bloc entre dans un trou (une petite dépression) dans le modèle numérique de terrain (MNT), la direction avant et après le rebond reste inchangée.

Paramètres de sols

Les paramètres de sols ont été digitalisés au moyen de traitements sur SIG après analyse du terrain. Les valeurs renseignés correspondent aux rugosités des terrains et leurs compacités. Afin d'être ajustées aux calages du logiciel, ces valeurs ont été définies conformément à la notice téléchargeable sur : <http://www.ecorisq.org/>.

Tableau 2 : les types de sols utilisés par Rockyfor3D et les valeurs R_n correspondantes

Soilttype (type de sol)	Description générale	Valeur moyenne de	Gamme de variation de R_n
0	rivière, marécage, matériau dans lequel le bloc peut pénétrer complètement	0	0
1	sol fin (profondeur > 100 cm)	0.23	0.21 - 0.25
2	sol fin (profondeur < 100 cm), et/ou sol de vallée composé de sables et graviers	0.28	0.25 - 0.31
3	piste forestière, éboulis fin ($\varnothing < \sim 10$ cm), sol moyennement compacté avec des petites pierres	0.33	0.30 - 0.36
4	éboulis grossier – talus ($\varnothing > \sim 10$ cm), sol compacté avec présence de pierres	0.38	0.34 - 0.42
5	roche mère avec couvert fin de matériau altéré ou de sol	0.43	0.39 - 0.47
6	roche mère	0.53	0.48 - 0.58
7	Route goudronnée (asphalte)	0.35	0.32 – 0.39

VIII.3 Annexe 3 : description du logiciel HEC-RAS

VIII.3.1 Présentation générale du logiciel

La modélisation hydraulique est réalisée à l'aide du logiciel HEC-RAS développé l'US Army Corp of Engineers. Ce logiciel permet la modélisation 1D, 2D et couplée 1D/2D de crues de rivières telles que celles du secteur d'étude.

Il s'agit d'un logiciel très largement utilisé de par le monde et bénéficiant vraisemblablement de la plus grande communauté d'utilisateurs. Son utilisation est approuvée aux Etats-Unis par la FEMA (Federal Emergency Management Agency)² dans le cadre d'une utilisation pour la production de cartes de zones inondées. Le seul logiciel européen intégré à la liste des logiciels autorisés est le logiciel danois MIKE FLOOD. Son utilisation universelle est due à sa performance, à ses nombreuses mises à jour, à sa facilité d'utilisation et à sa gratuité.

Le logiciel permet d'évaluer les niveaux et paramètres caractéristiques (côtes et hauteur d'eau, débit, vitesses) des écoulements selon le régime hydraulique (débit d'entrée, conditions aux limites,...).

VIII.3.2 Principes de calculs et fonctions principales

Le logiciel HECRAS résout les équations complètes de Saint-Venant ou approximation par l'équation de l'onde diffusive (non recommandée en contexte torrentiel).

Lorsque l'écoulement est permanent et unidimensionnel, le logiciel ne permet pas de simuler la propagation d'une crue et son laminage par une succession de zones de stockage appelées « casiers ».

Lorsque l'écoulement est varié, le logiciel utilise différentes méthodes selon que l'écoulement soit :

- graduellement varié : ce sont les écoulements pour lesquels les caractéristiques du canal (pente, section) varient graduellement le long de celui-ci. Les pertes de charge sont de deux sortes : les pertes par frottements (évaluées par le coefficient de Manning) et les pertes dues au rétrécissement ou à l'élargissement du lit (évaluées par des coefficients de contraction et d'expansion). Le logiciel applique l'équation de Bernoulli généralisée.
- rapidement varié : celui-ci se produit lors du passage du régime torrentiel au régime fluvial : changement de la pente du chenal, obstacle (pont, barrage...), confluence. Différentes équations peuvent être utilisées suivant le cas :
 - le théorème d'Euler pour une application très générale,
 - des équations empiriques, pour certains cas particuliers (écoulement à travers un orifice ou sur un seuil), qui permettent de prendre en compte la mise en charge ou le déversement, le régime pouvant alors être dénoyé (écoulement critique) ou noyé (écoulement fluvial).

A noter que dans un canal suffisamment long avec pente, section, rugosité et débit constants, le régime uniforme finit par s'établir ; le régime devient varié en présence

² Cf. <https://www.fema.gov/hydraulic-numerical-models-meeting-minimum-requirement-national-flood-insurance-program>

d'une singularité – rétrécissement, élargissement, seuil... – qui provoque alors une modification de la surface libre.

Le calcul s'effectue par itération en partant de l'aval ou de l'amont de la section considérée selon que le régime d'écoulement soit fluvial ou torrentiel. Le logiciel calcule automatiquement une hauteur d'eau critique dès que le calcul n'aboutit pas en fluvial ou que le régime torrentiel est imposé par l'utilisateur.

Enfin, grâce à une interface de saisie conviviale, l'utilisateur peut facilement et précisément modéliser l'état actuel du cours d'eau (géométrie et ouvrages le franchissant) et les différents scénarios d'aménagement.

VIII.3.3 Domaines d'applications et limites

Les domaines d'applications du logiciel HECRAS sont divers et variés :

- Cartographie de zones inondables,
- Calcul de l'incidence hydraulique d'aménagements fluviaux divers,
- Dimensionnement de canaux, ouvrages hydrauliques...
- Modélisation de rupture de barrage ou de digues
- ...

Tout outil de modélisation hydraulique actuel n'est peu ou pas adapté à la modélisation d'écoulement torrentiel caractérisé par des fortes pentes et/ou une charge solide de fond importante (avec possible évolution de géométrie du lit durant l'évènement). Le logiciel HECRAS n'échappe pas à la règle.

VIII.3.4 Utilisation dans le cadre de l'étude et résultats

Modalités d'exploitations

Le recours à la modélisation numérique s'est inscrit dans la logique d'expertise suivante :

- Investigations préalables suivant l'objet de l'étude : recueil de données existantes (données topographiques, hydrologie) ; identification des crues historiques et définition des scénarios de référence ;
- Levés topographiques complémentaires (profils en travers, ouvrages...) ;
- Construction du modèle :
 - Amélioration des données topographiques du MNT « brut » issu du LIDAR dans le lit mineur, à partir des levés topographiques complémentaires : cette opération a été réalisée à l'aide du module ArcGeoRAS de ArcGIS et de l'outil SIG intégré au logiciel HECRAS (RASMapper).
 - Saisie de la structure du modèle sur HECRAS
- Calage du modèle (si données disponibles) et/ou tests de sensibilité
- Simulation de la crue de référence

Après modélisation, les résultats de la modélisation ont fait l'objet d'une phase de validation/ajustement par expertise géomorphologique de terrain et par confrontation à l'historique des crues. Cette phase est indispensable dans le cadre de la qualification de l'aléa et d'autant plus en l'absence fréquente de données de calage sur le secteur d'étude.

La modélisation apparaît donc comme un outil d'aide à la décision dans la qualification de l'aléa qui est validée par analyse géomorphologique.

Type de modèle

Les modèles numériques hydrauliques ont été construits en 2D.

Le travail d'amélioration du MNT à partir de levé de profil en travers 1D dans le lit mineur par un géomètre permet une nette amélioration de la représentativité des conditions d'écoulement dans le cours d'eau. Il est apparu essentiel sur le secteur d'étude où les lits mineurs sont capables de contenir une grande partie du débit de crue.

Aussi, le modèle 2D construit permettait d'approcher la robustesse d'un modèle 1D dans le lit mineur tout en offrant la possibilité d'analyser des écoulements 2D dans les zones d'étalement (plaine et milieu urbain), pour lesquels l'avantage du recours à la 2D est indéniable.

Par ailleurs, sur certains cas, un premier modèle 1D a permis un calcul de ligne d'eau pour notamment analyser la capacité hydraulique des ponts. Le logiciel HECRAS offre en effet beaucoup plus de possibilité de construction d'ouvrages en 1D qu'en 2D avec des calculs semblant plus robustes.

Enfin, il est important de rappeler que les incertitudes d'un modèle numérique sont nombreuses : choix du débit de référence sur bassins versants non jaugés et de l'hydrogramme de crue, approximation de la représentativité de la topographie (construction d'un maillage en 2D, implantation de profils en travers en 1D,...), choix des paramètres hydrauliques (coefficient de contraction, rugosité,...). **Aussi, la phase de validation par expertise géomorphologique et topologique du terrain est essentielle. Elle peut conduire à des ajustements des zones inondées.**

Résultats

Le modèle calcule la cote d'eau et la vitesse au niveau de chaque maille à chaque pas de temps. Ces résultats sont exploitables à l'aide de l'outil RASMapper.

Dans le cadre de l'étude, les résultats présentés seront :

- Une carte des hauteurs maximales (asynchrones : la hauteur maximale en chaque maille n'étant pas atteinte au même instant de la crue)
- Une carte des vitesses maximales (asynchrones)