



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 Montagnieu

Etude et cartographie des aléas - Rapport technique -



Office national des Forêts – Agence RTM Alpes du Nord
Service RTM de la Savoie
42 quai Charles Roissard – 73 026 Chambéry Cedex
Tél. : 04.79.69.96.05 // Mail : rtm.chambery@onf.fr



Cliché page de garde :
Vestiges du glissement de 1919 (source : georisques.gouv)

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
06/07/2018	<i>Rapport technique - Etude et cartographie des aléas – commune de Montagnieu</i>	D07-37	65

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

Suivi des versions :

Version	Date	Observations
V1	21/05/2018	Envoi consultation commune
V2	05/07/2018	Version restitution après remarques de la commune

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	9
III.4 Observations de terrain	10
III.5 Qualification de l'aléa	13
IV ALEAS GLISSEMENT DE TERRAIN	17
IV.1 Définition.....	17
IV.2 Historique et données disponibles.....	17
IV.3 Traitements préalables	18
IV.4 Observations de terrain	19
IV.5 Qualification de l'aléa	22
V ALEAS CRUES TORRENTIELLES	24
V.1 Définition.....	24
V.2 Historique et données disponibles.....	24
V.3 Description sommaire du bassin versant de la Brive	24
V.4 Description de la traversée du hameau des Granges à Montagnieu.....	26
V.5 Analyse hydrologique	29
V.6 Modélisation hydraulique.....	35
V.7 Qualification de l'aléa	38
VI ALEAS DE RUISSELLEMENT	43
VI.1 Définition.....	43
VI.2 Méthodologie appliquée	43
VI.3 Historique et données disponibles.....	43
VI.4 Traitements préalables	44
VI.5 Observations de terrain	45
VI.6 Qualification de l'aléa	57
VII SYNTHÈSE DES ÉVÉNEMENTS HISTORIQUES	59
VIII ANNEXES	61
VIII.1 Annexe 1 : Méthode MEZAP	61
VIII.2 Annexe 2 : description du logiciel HEC-RAS.....	63

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 8 février 2018 en mairie de Montagnieu en présence de M. VELEZ (conseiller), M. ARCHIREL (adjoint), M. CHAMPIER (adjoint), M. BABOLAT (adjoint), Mme ARRIGONI (mairie), M. VOLLAT (agent technique), M. PEILLOT (viticulteur), Ingrid ROLANDO (mairie), M. DUPIRE (ONF-RTM) et M. ETCHEVERRY (ONF-RTM). Par ailleurs, le technicien forestier local de l'ONF, M. MERIAUX, a été consulté pour sa connaissance du territoire.

- 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 Montagnieu s'étend sur 6,22 km². Le territoire s'étage entre 200 m au niveau du Pré de la Cour en limite avec le Rhône et 714 m au niveau du relief nommé « Souhait ». Il est délimité à l'Ouest par le Rhône, au Nord par la Perna et à l'Est par le relief précité.

L'orientation générale des entités géographiques est Nord-Ouest / Sud-Est-ce qui correspond à celles du Rhône et du versant.

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. Notons une terrasse marquant également un replat significatif, sur le tiers inférieur du versant, sur laquelle s'est implanté le chef-lieu de la commune.

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

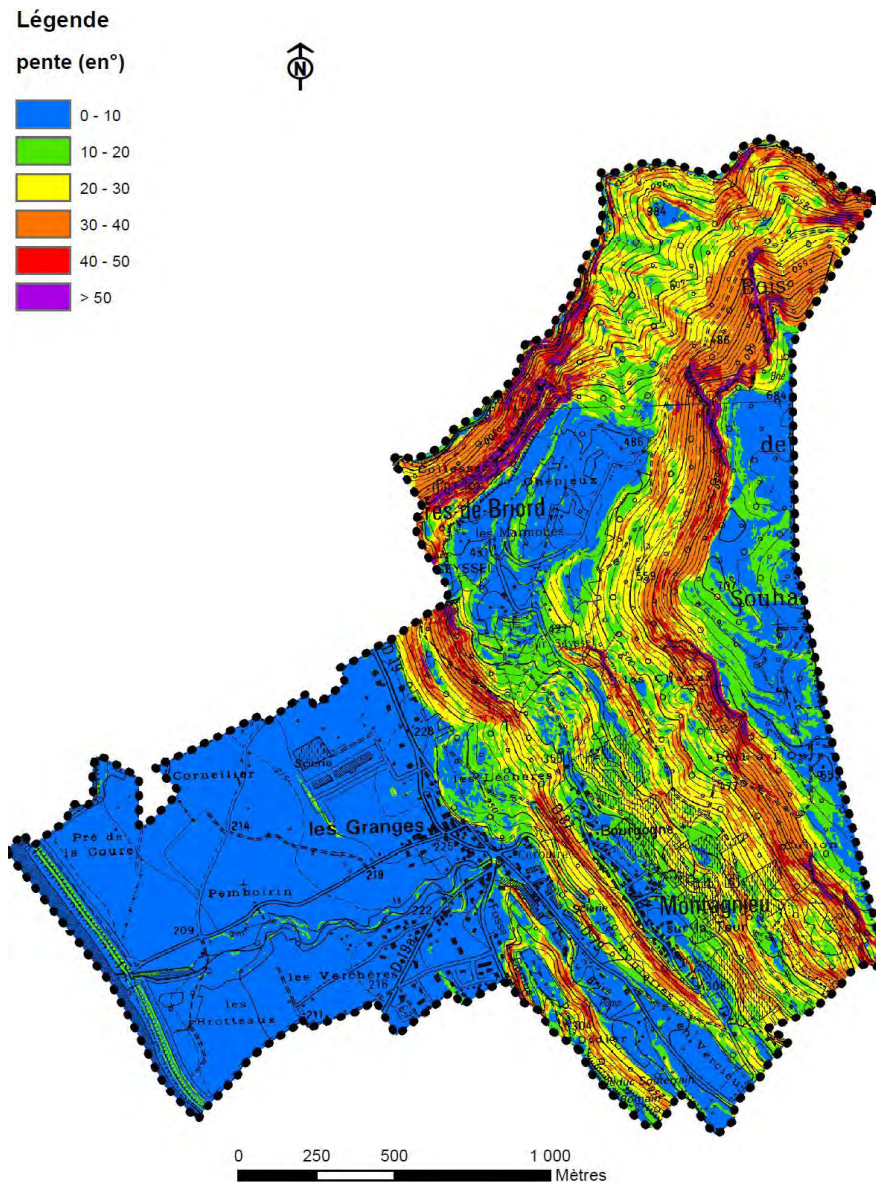


Figure 1 : carte des pentes

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.

Le substratum se compose de calcaires divers datés du Jurassique moyen : à entroques et débris coquillers, oolithiques, à silex. Dans ces calcaires s'intercalent des formations plus marneuses voire des calcaires argileux.

Ces formations sont dominées par des calcaires plus massifs formant les falaises du bois du Souhait datés du jurassique supérieur.

Les couches rocheuses sont tapissées de formations du quaternaire : des moraines disposant d'une matrice limono-argileuse avec des petits blocs, des éboulis provenant de l'alimentation des falaises, des dépôts de glissement ou d'éboulement provenant d'accidents majeurs.

Enfin, la plaine correspondant à un bassin d'effondrement est recouverte d'alluvions torrentielles anciennes et alluvions récentes du Rhône et la Brive sous forme de galets, graviers et sables.

Le territoire se localise au contact de deux structures principales appartenant au faisceau occidental du Bas-Bugey :

- le monoclin de Souclin - Serrières-de-Briord qui se poursuit dans l'anticlinal de Vézizieu ;
- une bande synclinale bois de Cuny - bois de Souhait - forêt d'Aillon, avec compression et écaillage en ce dernier secteur.

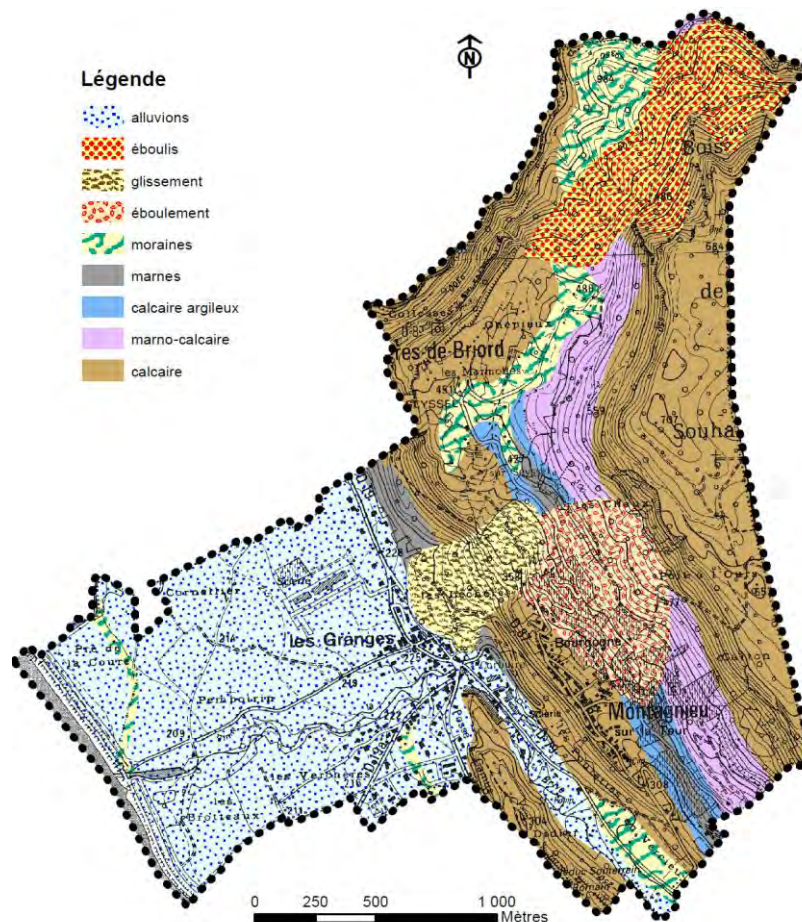


Figure 2 : carte géologique simplifiée

II.3 Contextes hydrographique, hydrologique et hydrogéologique

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

Conformément au cahier des charges, le risque d'inondation par le Rhône n'est pas abordé dans le présent dossier.

En dehors du Rhône, La Brive constitue la principale unité hydrographique de la commune. La description du cours d'eau sera détaillée plus tard.

Celle-ci est connectée à plusieurs talwegs secs qui peuvent donner lieu à des ruissellements en concentrant les écoulements lors de fortes précipitations.

Les dépôts alluvionnaires torrentiels peuvent drainer des circulations d'eau au contact entre les passées drainantes grossières (blocs galets) et les passées plus fines intercalaires. La concentration de plusieurs de ces cheminements d'eau peut constituer parfois un réservoir aquifère notamment en ce qui concerne les ravins qui se « perdent » en pied de versant. La notice de la carte géologique mentionne qu'un sondage dans la vallée de la Brive a montré 6 m d'alluvions récentes et offre un débit de 60 m³/h. Ce type de phénomène peut également se rencontrer dans des éboulis et les dépôts glissés ou éboulés.

Plusieurs sources sont mentionnées dans la « *BDtopo* » de l'IGN et sur la « *cartographie des formations géologiques et des instabilités* » du PPR de 2014. Elles sont situées principalement au toit des marnes. En revanche il est difficile de différencier leur origine et de définir leur bassin d'alimentation.

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.

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 tenu des pentes très faibles et de la nature graveleuse des matériaux ;
- Les formations de versant telles que les éboulis ou éboulements 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 probables, par contre, leur pente souvent forte les expose à des déclenchements anthropiques ;
- Les barres de calcaires connaissent pas ou peu de glissement sauf lorsqu'elles 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). Le cas précis du versant des Léchères est toutefois un contre-exemple : l'ampleur du glissement historique montre une épaisseur instable probable de plusieurs dizaines de mètres. Enfin 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.4.1 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.

Des terrains sont localement sensibles à l'érosion et peuvent engendrer du charriage en crue. Ils sont donc particulièrement propices au développement de crues torrentielles. 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 :

- BRGM, 2014, Evaluation des risques résiduels suite aux événements inondants du 21 juillet 2014 sur la commune de Montagnieu.
- BRGM, 2010, Rapport d'expertise – évaluation des risques liés à un éboulement au-dessus d'un lotissement en construction.
- CETE, 1999, Cartographie des risques naturels sur la commune de Montagnieu – projet de zonage au titre de l'article R111-3 du code de l'urbanisme.
- DDE, 1998, Plan de Prévention des Risques Naturels « mouvements de terrain ».
- DDT-CETE, 2014, Révision du Plan de Prévention des Risques Naturels « mouvements de terrain et inondation du Rhône et de ses affluents ».
- SOLETCO, 1988, Reconnaissance géologique, géomorphologique et hydrologique.
- Commune de Montagnieu. Réunion de travail du 8/02/2018.

Evènements historiques :

Secteur	Date	Observation(s)	Source(s)
Coteaux Nord-Est du bourg de Montagnieu	Il y a environ 30 ans	Des blocs se décrochent des coteaux et atteignent les terrains en face du cimetière	Commune
Seyssel	2/11/2010	Eboulement au sein d'une barre calcaire de 8 m de haut (située au pied d'un chemin de randonnée qui traverse un versant boisé). Un lotissement est situé au pied de la pente boisée ou s'est produit l'éboulement à l'altitude approximative de 250 m. à environ 180 m.	PPR2014 Rapport BRGM Commune
Bois du Souhait à les Chaux	1/01/2012	5 blocs atteignant 3 m ³ détachés du secteur du glissement de 1919 et se sont arrêtés à proximité de la voie communale à 40m en aval de la falaise. <i>NB : le PPR de 2014 donne la valeur de 400 m ; la commune signale que cela est une erreur et qu'il s'agit de 40 m.</i>	PPR2014 Rapport BRGM 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°.

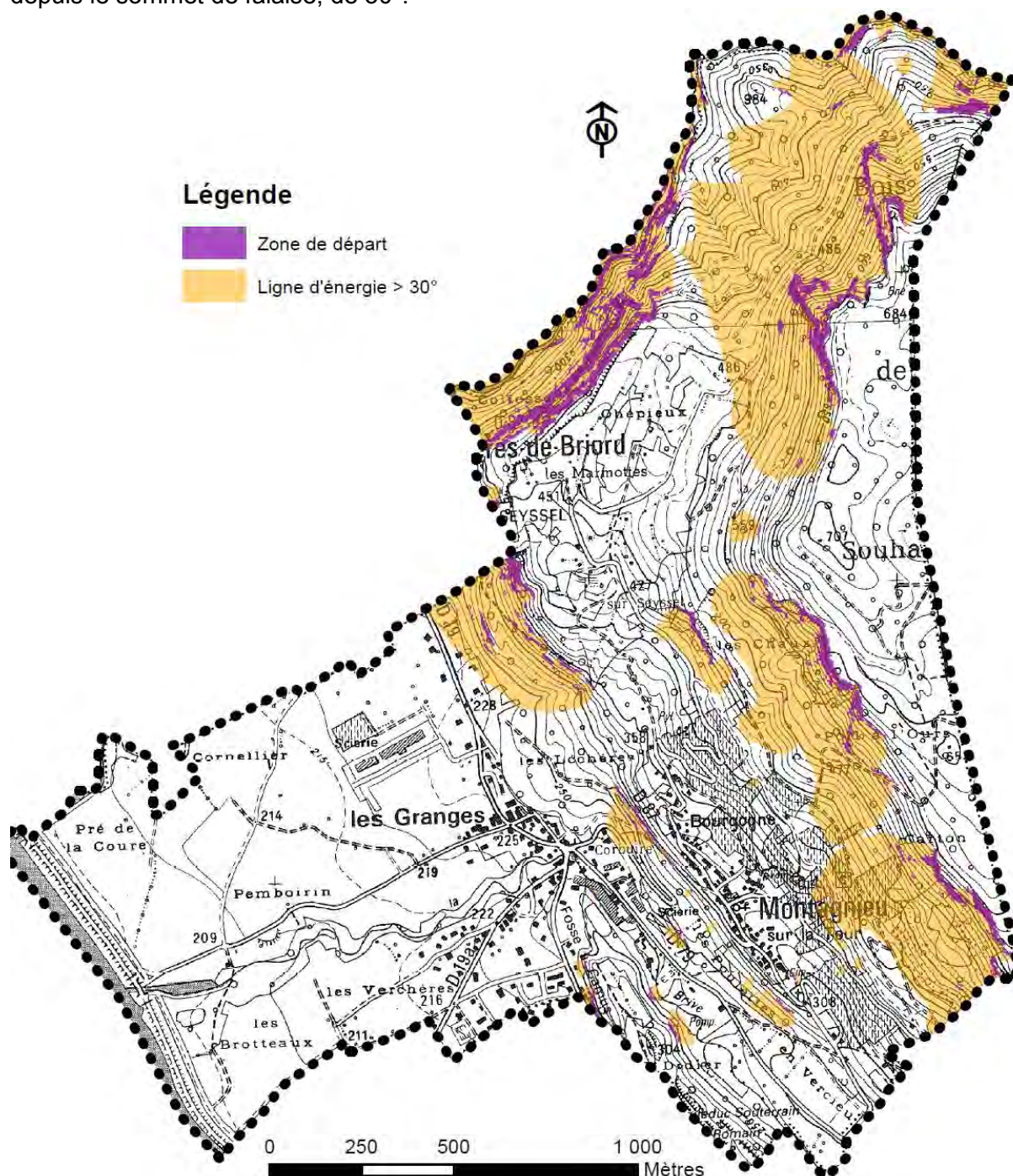


Figure 3 : Carte des zones d'atteintes potentielles de chutes de blocs

Ce travail montre que les secteurs urbanisés ne sont pas (ou très peu) exposés aux chutes de blocs : Il ne sera donc pas appliqué de 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 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 du lotissement « sous Les Vignes »

Le lotissement « Sous Les Vignes » est dominé par un versant surmonté par une barre calcaire d'une dizaine de mètres de hauteur.

La partie supérieure de la barre calcaire est très altérée. Elle présente un léger décrochement sur une hauteur de 4 m, une longueur de 8 à 10 m et une largeur maximale de 2 m (fissures de traction visibles sur le chemin de randonnée). Compte tenu de cette géométrie et de la surface de rupture supposée, le volume de rocher instable est estimé à 50 m³ environ. Toutefois, si ce compartiment venait à rompre, le volume unitaire des masses après fragmentation et impact au sol serait inférieur au m³. Le versant présente par ailleurs, un couvert forestier assez dense (chênes et buis mêlés).

Une rupture du compartiment instable semble peu probable mais reste possible. En revanche des petits éboulements par paquets successifs semblent plus probables.

Rappelons que ce site a fait l'objet d'un événement en 2010. Des blocs éboulés ont été identifiés sur le versant mais il n'est pas possible de les attribuer avec certitude à cet événement.

Enfin signalons la présence d'un aménagement en amont des habitations, constitué d'un fossé collecteur en travers de la pente et de cages gabions. Ce dispositif peut jouer un rôle d'arrêt de petites pierres mais ne peut pas être considéré pour des chutes de blocs plus conséquentes.



Figure 4 : falaise en amont du lotissement des vignes

III.4.3 Secteur de Carton

La partie Sud-Est de la commune, limitrophe avec Briord, présente une falaise calcaire d'une vingtaine de mètres de hauteur. Celle-ci est relativement altérée en surface. Il en résulte des

chutes de pierres récurrentes. La présence d'un éboulis actif et non stabilisé qui s'étend entre les cotes 400 et 550 m corrobore ce constat. Globalement cette falaise peut donner lieu à des chutes de blocs de plusieurs mètres cubes. Néanmoins le scénario fréquent est plutôt inférieur au m^3 au regard des matériaux éboulés visibles sur le versant.

Notons par ailleurs l'existence de micro-affleurements dispersés sur la pente (difficile à déterminer s'ils sont en place ou issus de paquets anciennement éboulés), et ce jusqu'à la RD87. Ceux-ci peuvent libérer des blocs pouvant atteindre une centaine de litres.



Figure 5 : falaise de Carton

III.4.4 Secteur des Chaux et de Sur Seyssel

Cet ensemble se localise dans le prolongement du glissement historique de 1919. La falaise des Chaux (cote 600 m) correspond à un décrochement d'un glissement historique à l'échelle géologique (non daté). Le dépôt de ce dernier est encore bien visible dans le paysage (en amont du lieu-dit Bourgogne). Il en résulte une falaise atteignant jusqu'à 30 m de hauteur. Le rocher est relativement chahuté probablement dû à la décompression des terrains post-glissement. Des chutes de blocs supérieures au mètre cube y sont possibles au regard du découpage structural. Des chutes de pierres y sont régulières et alimentent un éboulis actif.

Plus bas (cote 450 m), la falaise de Sur Seyssel a également été mise à nu par un glissement mais plus récent puisque celui-ci est connu (1919). La falaise ici, marno-calcaire est relativement litée et libère régulièrement des blocs qui peuvent facilement franchir le chemin communal (plusieurs blocs visibles en aval). Ceux-ci s'arrêtent assez rapidement ensuite dans le dépôt du glissement dont la pente est adoucie et la compacité des terrains est plus tendre. Le volume des blocs mobilisables est supérieur au mètre cube.



Figure 6 : falaises des Chaux et de Sur Seyssel

III.4.5 Autres secteurs

D'autres zones soit très éloignées des enjeux, soit très peu marquées peuvent donner lieu à des chutes de pierres ou de blocs. Signalons :

- La falaise dans les gorges (rive gauche) de la Perna, très abruptes pouvant être à l'origine d'éboulements massifs de plusieurs mètres cubes.
- Les affleurements du flanc Ouest du Bois du Souhait. Ces dernières sont assez peu visibles du fait d'une végétation abondante à leur niveau, mais de nombreux blocs sont constatés au niveau d'un chemin qui transite à leur pied. Le volume constaté dépasse aussi le mètre cube.
- La RD87 entre Les Granges et le chef-lieu a taillé sa chaussée dans un versant subaffleurant mettant alors à nu des portions de substratum calcaires qui peuvent libérer des pierres de volume modéré (<0,25 m³). L'essentiel des propagations est retenu dans la largeur de la chaussée, mais des trajectoires peuvent la franchir en cas de rebond défavorable (les habitations en aval semblent suffisamment reculées).
- Des micro-affleurements existent sur le relief de la Fosse à Camus. Ceux-ci peuvent donner des chutes de pierres limitées.

III.5 Qualification de l'aléa

III.5.1 Grille et méthode de qualification

Conformément au guide méthodologique en vigueur, les zones « hors enjeux urbanisés » et à enjeux isolés, 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.

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

¹ MEZAP : **M**éthode de **Z**onage de l'**A**léa chutes de **P**ierres (guide de référence en matière de cartographie des aléas chutes de blocs pour les cartographies d'urbanisme type PPR)

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.

L'aléa est obtenu par croisement de la probabilité d'occurrence et de l'intensité par le biais d'une matrice de la méthode MEZAP exposée ci-après et dont les étapes de construction sont détaillées en annexe 1.

		Intensité				Eboulement de grande ampleur
		V≤0,25 m³	0,25<V≤1 m³	1<V≤10 m³	V>10 m³	
		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 2: grille de qualification des aléas chutes de blocs en zone non urbanisée

III.5.2 Aléas résultants

	Intensité	Activité	Probabilité d'atteinte		Probabilité d'occurrence	Aléa résultant
Sous les vignes	0,25<V≤1 m ³ Modérée	Forte	Fort	34°	Elevée	Fort P3
			Moyenne	32°	Elevée	Fort P3
			Faible	30°	Modérée	Moyen P2
Carton	1<V≤10 m ³ Elevée	Forte	Fort	34°	Elevée	Fort P3
			Moyenne	32°	Elevée	Fort P3
			Faible	30°	Modérée	Fort P3
Les Chaux	1<V≤10 m ³ Elevée	Forte	Fort	34°	Elevée	Fort P3
			Moyenne	32°	Elevée	Fort P3
			Faible	30°	Modérée	Fort P3
Sur Seyssel	1<V≤10 m ³ Elevée	Moyen	Fort	34°	Elevée	Fort P3
			Moyenne	32°	Modérée	Fort P3
			Faible	30°	Modérée	Fort P3
RG Perna	V> 10 m ³ Très élevée	Forte	Fort	34°	Elevée	Fort P3
			Moyenne	32°	Elevée	Fort P3
			Faible	30°	Modérée	Fort P3
Versant Ouest Bois du Souhait	1<V≤10 m ³ Elevée	Forte	Fort	34°	Elevée	Fort P3
			Moyenne	32°	Elevée	Fort P3
			Faible	30°	Modérée	Fort P3
RD87 sur Courbuire	V≤0,25 m ³ Faible	Moyen	Fort	34°	Très élevée	Fort P3
			Moyenne	32°	Modérée	Moyen P2
			Faible	30°	Modérée	Faible P1
Micros-affleurements	V≤0,25 m ³ Faible	Faible	Fort	34°	Très élevée	Fort P3
			Moyenne	32°	Modérée	Moyen P2
			Faible	30°	Faible	Faible P1

Tableau 3: croisement méthode MEZAP par secteur

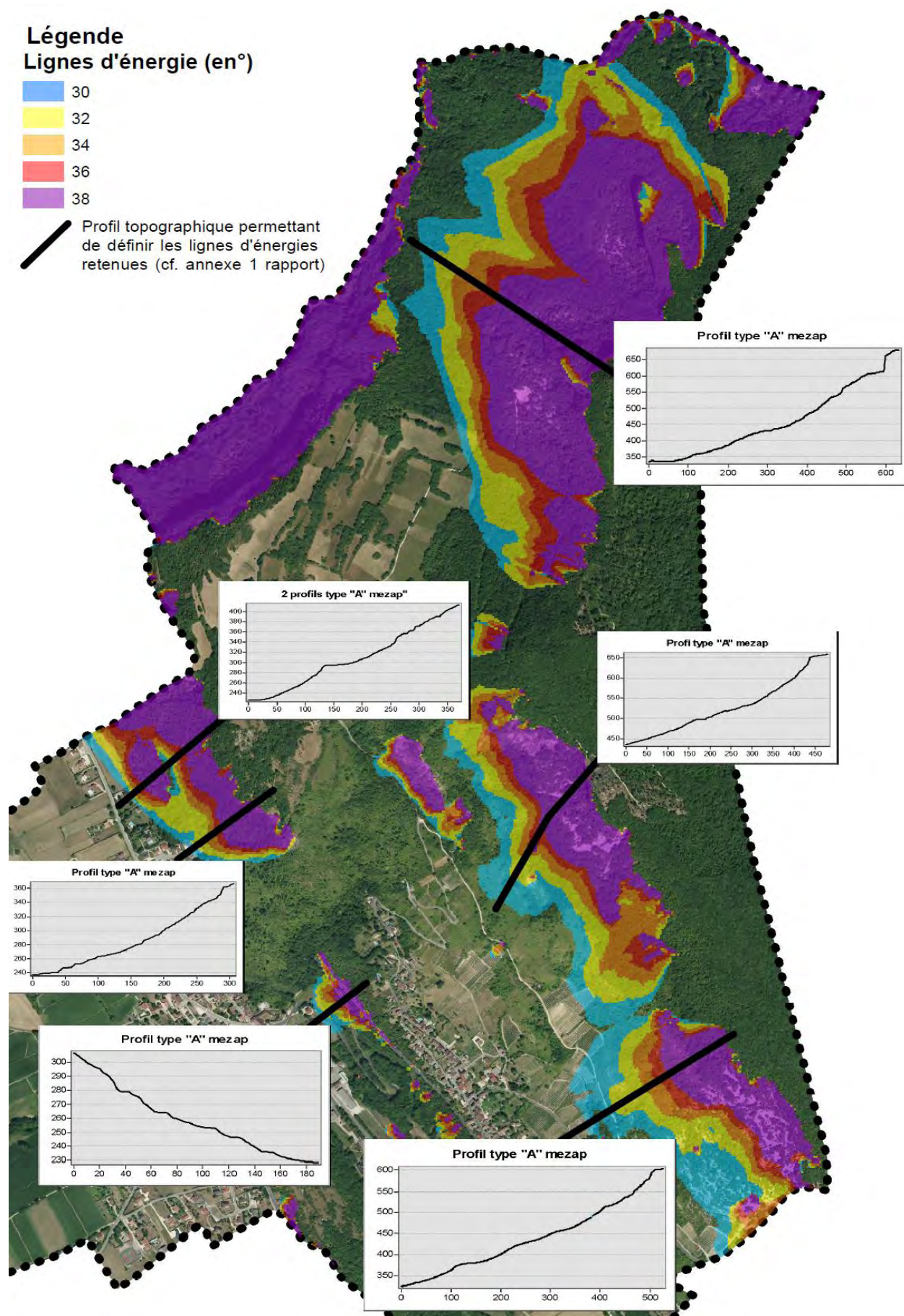


Figure 7 : carte des profils types déterminants les lignes d'énergies retenues

Globalement l'ensemble des versants présentent un profil topographique type « A » selon les classifications MEZAP (voir annexe 1) donnant des probabilités d'atteinte faible à 30° jusqu'à forte à 34°.

Le paramètre déterminant ici pour le niveau d'aléa est l'intensité : dès lors qu'elle est supérieure à 1 m³ l'aléa est systématiquement fort. Cela concerne de nombreuses zones ici notamment Carton, Les Chaux, Sur Seyssel, les Gorges de la Perna, le versant Ouest du Bois du Souhait.

En amont des Sous les Vignes l'aléa est fort sur le versant jusqu'à la rupture de pente et moyen sur une bande de 15 m en aval.

Au niveau de la RD87, l'aléa est fort sur la chaussée, puis moyen pour atteindre du faible en pied de versant.

Pour les autres secteurs composés de micro-affleurements, l'aléa est classé selon un dégradé de faible à fort.

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 :

- BRGM, 2014, Evaluation des risques résiduels suite aux événements inondants du 21 juillet 2014 sur la commune de Montagnieu.
- Ain Géotechnique, 1997, Lotissement « Sous les Vignes », Etude de stabilité des terrains à l'amont du site.
- CETE, 1999, Cartographie des risques naturels sur la commune de Montagnieu – projet de zonage au titre de l'article R111-3 du code de l'urbanisme.
- DDE, 1998, Plan de Prévention des Risques Naturels « mouvements de terrain ».
- DDT-CETE, 2014, Révision du Plan de Prévention des Risques Naturels « mouvements de terrain et inondation du Rhône et de ses affluents ».
- Hydrogéotechnique, 2013, Rapport d'étude géotechnique pour une réhabilitation et extension de l'école.
- SOLETCO, 1988, Reconnaissance géologique, géomorphologique et hydrologique.
- Site interministériel dédiés aux risques majeurs : www.georisques.gouv.fr :
 - Etat de reconnaissances CATNAT ;
 - Fiche N° 21100801 relative au glissement de 1919.
- Fiche Carmen application id : RHA-01471 – glissement de terrain des Granges.
- Commune de Montagnieu. Réunion de travail du 8/02/2018.



Figure 8 : clichés du glissement de 1919 (cartes postales anciennes, source : web)

Evènements historiques :

Secteur	Date	Observation(s)	Source(s)
Les Granges Les Léchères	6/05/1919	Glissement de versant d'ampleur (300 m de largeur). Destruction école et une vingtaine de maisons et a conduit à une déviation de la route. Une personne décédée.	Web Georisques.gouv R111-3 PPR1998 PPR2014
Non précisé	1984 et 1988	Des instabilités ont été suivies d'affaissements et de rupture de canalisations d'eau potable.	R111-3 PPR1998 PPR2014
Est de Montagnieu - Bourgogne	Depuis 15 ans	Les terrains semblent s'affaisser depuis une quinzaine d'années. Des témoins ont été posés sur un mur de terrasse	Commune
Coteaux de Montagnieu	-	Deux zones de glissements sont connues depuis longtemps. Les terrains sont en mouvement lents avec des accélérations ponctuelles au gré des conditions météo.	Commune

Tableau 4: historique des phénomènes glissement

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, éboulement)	drainées	-	-	potentielle	forte	-	-
	humides	-	potentielle	forte	forte	-	-
Quaternaire argileux (moraine, colluvions, limon)	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 5 : prédisposition des terrains aux glissements

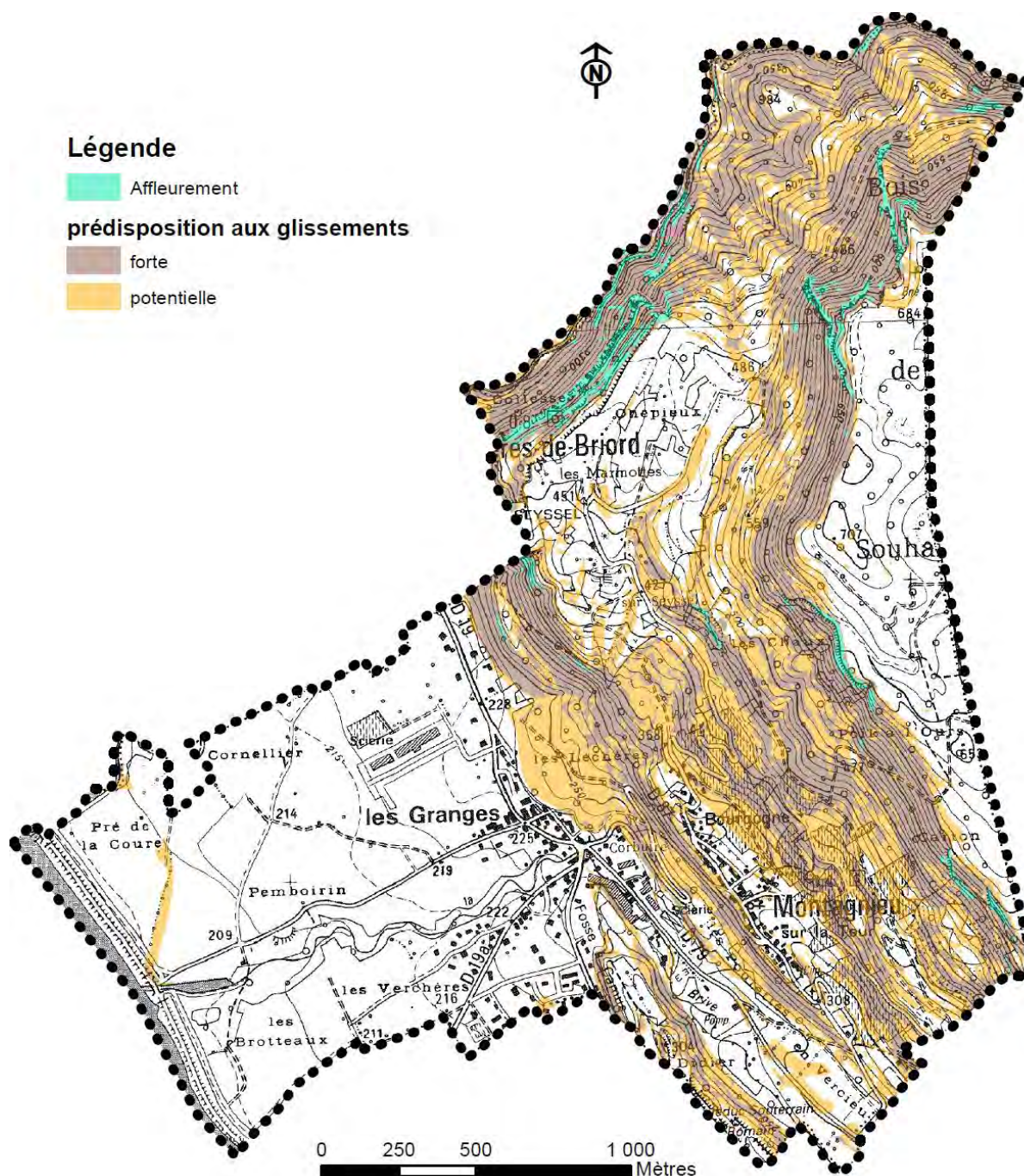


Figure 9 : dans le sens de lecture : Carte des pentes, carte hydrologique, carte géologique, carte de susceptibilités aux glissements de terrain

IV.4 Observations de terrain

IV.4.1 Secteur du glissement de 1919

Nous ne ferons pas ici le détail de cet événement déjà largement repris dans divers documents, mais plutôt une description de son état actuel.

Rappelons simplement que ce vaste glissement s'est manifesté par une coulée boueuse qui a pris naissance dans le versant au Nord de Montagnieu à une cote voisine de 500m. Il s'agit d'une réactivation d'un glissement très ancien, avec en particulier la remise en mouvement de terres déplacées, concernant un gros volume de matériaux très fluides estimé grossièrement à 750000 m³. Il convient en effet d'employer le terme de coulée compte tenu d'une part de la

cinématique du mouvement qui a été rapide (de l'ordre du m/s), et d'autre part de la fluidité des terrains en mouvement.

Le glissement est aujourd'hui, pour l'essentiel stabilisé, car le dépôt s'est calé à l'équilibre. Il en demeure un vaste paquet glissé avec des terrains chahutés (sols moutonnés, contres pentes, zones mouilleuses, etc.). La réactivation totale ou partielle de ce glissement n'est pas un scénario de référence envisagé. En revanche des coulées ponctuelles peuvent réintervenir d'un peu partout du fait d'une composante très argileuse sur un secteur qui reçoit encore beaucoup d'eau (2 axes de ruissellement de part et d'autre du glissement, et des axes se déversant dans le dépôt). Toute nouvelle coulée devrait néanmoins se stopper avec la langue frontale du glissement de 1919 car celle-ci forme un replat significatif qui limite l'extension d'un nouvel événement au droit des enjeux des Granges.

IV.4.2 Secteur Nord du Bourg – route de Seyssel

Au Nord du chef-lieu (près du lieu-dit nommé Bourgogne sur la carte IGN) de nombreux désordres à rapprocher de phénomènes en glissement sont constatés : murs de soutènement inclinés et fissurés, maisons fissurées, arbres inclinés, sols moutonnés, etc.

Cette zone se localise directement au contact du glissement de 1919 et elle serait en partie composée par le dépôt d'un autre glissement bien plus ancien. Il est probable que des écoulements souterrains s'effectuent à l'interface entre les calcaires et cette couche de recouvrement (dépôt glissé + couche d'altération).

Notons qu'il existe par ailleurs des écoulements en surface captés pour partie, par la route communale qui transite Sur Seyssel. Si une partie est chenalisée en surface, il n'en demeure pas moins qu'une autre partie peut s'infiltrer et modifier la plasticité des sols provoquant des pressions hydrostatiques lorsqu'ils sont gorgés d'eau.



Figure 10 : Divers désordres constatés sur ce secteur

Le phénomène semble moins marqué d'autant que l'on se dirige vers le Sud-Est au niveau de Bourgogne. Le secteur est moins pentu à ce niveau et paraît plus sec (bien qu'il existe des axes d'écoulements en amont qui pourraient se déverser ici en cas de défaillance d'entretien). Notons l'existence de Croix-St-André et de bâti fissuré au voisinage. La commune signale que ces désordres ne sont nullement dus à des mouvements du sol, mais plutôt à un non-respect des règles de l'art.

Plus haut sur le versant, la zone est au contraire très active. On distingue nettement une niche d'arrachement à la cote 500 m haute de 2 à 4 m avec des terrains en glissement (sols bombé et moutonné).



Figure 11 : Zone en glissement actif en amont de la route de Seyssel

IV.4.3 Secteur du versant en amont de Montagnieu Chef-Lieu

L'ensemble du versant présente des signes tels que ceux décrits ci-avant. Un constat global reste cependant marquant : on distingue en nombreux points des décrochements, pour l'essentiel anthropiques, approximativement entre les cotes 400 et 500 m qui correspondent à la zone de contact entre les calcaires et les marno-calcaires. Notons que c'est à cette même cote que c'est décroché le glissement de 1919 et c'est également au même niveau que le glissement actif précité é été observé.

Ces décrochements sont liés à l'aménagement de zones de retournement pour les vignes. Même si ces singularités topographiques sont issues de la main de l'homme, elles ont un effet relativement négatif sur l'aléa (possible infiltration d'eau dans des terrains déjà sensibles à la base).



Figure 12 : Décrochements visibles sur le versant

En amont du bourg proprement dit, au niveau de l'ancien réservoir, une zone sensiblement plus active a été identifiée. Celle-ci est traversée, et peut-être alimentée par des axes de ruissellements, rendant la zone relativement humide sur des terrains déjà sensibles.

IV.4.4 Autres secteurs

Le reste des versants est généralement assez peu sensible aux glissements du fait d'un substratum subaffleurant. C'est par exemple le cas sur la zone « Des Poulettes » où on peut facilement voir avec les talus routiers creusés pour la RD87 que le rocher est très proche de la surface. C'est également le cas sur le relief dit de la Fosse à Camus ou même sous la falaise de Seyssel.

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.

L'intensité est 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 6 : Intensité glissement de terrain selon guide PPR montagne

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

IV.5.2 Aléas résultants

Le glissement historique de 1919 sont classés en aléa fort du fait de l'ampleur du phénomène et de possibles réactivations même si elles sont ponctuelles.

Deux zones sont données en aléa fort en amont du chef-lieu (l'une au niveau des lacets de la route de Seyssel, l'autre sur le versant en amont du croisement des RD87 et RD87a. Ce classement est donné du fait d'une probabilité d'occurrence forte et d'une intensité modérée. Le reste du versant est classé en aléa moyen. En effet, même s'il est observé des fissures, des décrochements, etc., il est à noter que l'essentiel des indices relevés concerne des infrastructures. Les désordres peuvent donc être aussi d'origine anthropique. A ces niveau l'intensité est jugée faible en revanche la probabilité d'occurrence est moyenne.

Sur les autres secteurs précités, l'aléa est classé comme faible car le substratum est subaffleurant donnant alors de très faibles épaisseurs mobilisables (=intensité faible).

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 :

- CETE, 1999, Cartographie des risques naturels sur la commune de Montagnieu – projet de zonage au titre de l'article R111-3 du code de l'urbanisme.
- DDE, 1998, Plan de Prévention des Risques Naturels « mouvements de terrain ».
- DDT-CETE, 2014, Révision du Plan de Prévention des Risques Naturels « mouvements de terrain et inondation du Rhône et de ses affluents ».
- Commune de Montagnieu. Réunion de travail du 8/02/2018.

Evènements historiques :

Secteur	Date	Observation(s)	Source(s)
La Brive aval des Granges	1990	Débordement sur l'ancien lit du cours d'eau	commune
La Brive en amont des Granges	1997-1998	Le cours d'eau traverse la station de pompage. Il est signalé une érosion de berges suite à l'abattage d'arbres	commune

Tableau 9: historique des phénomènes crues torrentielles

V.3 Description sommaire du bassin versant de la Brive

Le ruisseau de la Brive draine un vaste bassin versant de 37 km², dominé par la montagne de Tentanet au Sud Est et par le bois de La Morgne au Nord. Ce bassin versant s'étend sur les territoires communaux de Marchamp, Seillonaz, Lompnas, Innimond, Lhuis, Briord et Montagnieu. Seules les deux dernières présentent des zones d'enjeux habitées à proximité du cours d'eau avec principalement la traversée du secteur des Granges à Montagnieu.

Sur son bassin de réception, le ruisseau de la Brive est alimenté par différentes combes. Plusieurs d'entre-elles s'établissent sur des terrains enherbés à faibles pentes sous différents hameaux ou chefs-lieux (Seillonaz, Lompnas, Chonas, ...) Sur ces secteurs, les principaux axes d'écoulements concentrés se résument à des cunettes de faible gabarit (généralement en bord de voirie), le ruisseau n'est pas encore réellement marqué. A noter également un affluent naturel et boisé issu du nord du hameau de Millieu (commune de Lhuis).

Sur le bassin versant, les zones calcaires sans écoulements sont nombreuses et les phénomènes karstiques sont encore mal connus (gouffres, pertes, émergences) malgré des recherches hydro-spéléologiques récentes. A priori, la Brive constitue un axe de drainage superficiel des émergences, principalement au niveau des cluses. De grosses émergences en crue sont connues dans la reculée du Gros Pertuis (Commune de Marchamp). L'étendue potentielle des zones souterraines drainées vers la Brive reste dans les limites du bassin versant superficiel.

Une fois véritablement formé, le ruisseau de la Brive s'écoule dans une zone naturelle et encaissée, sans enjeu. Son cours débouche au nord de Vérizieu sur la commune de Briord après avoir constitué sa limite géographique avec Seillonaz sur près de 3 km.

Il s'écoule alors dans une direction parallèle à la RD79 sur plus de 2 km jusqu'au hameau des Granges à Montagnieu où il marque un coude à 90° pour rejoindre la plaine du Rhone avec lequel il conflue. Les zones à enjeux sont la traversée du hameau des Granges sur Montagnieu et quelques habitations isolées en bordure rive gauche du cours d'eau en amont et donc situées sur le territoire communale de Briord.

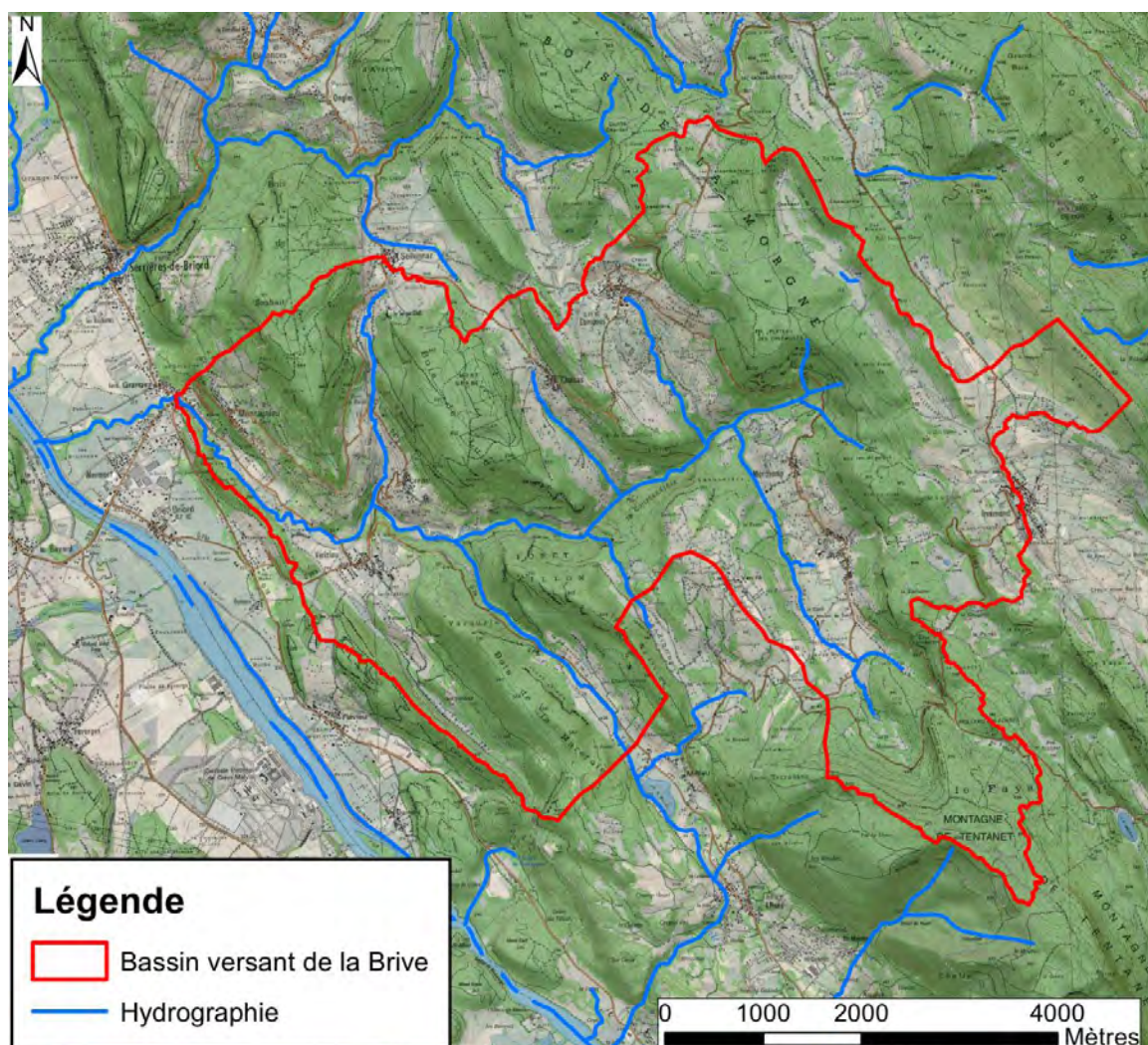


Figure 13 : Bassin versant de la Brive



Figure 14 : Exemple de combe alimentant le ruisseau de la Brive, sur les communes de Lompnas (à gauche) et Marchamp (à droite)



Figure 15 : Partie naturelle de la Brive encaissée, vue depuis le hameau de Chosas sur la commune de Seillonaz

V.4 Description de la traversée du hameau des Granges à Montagnieu

Le ruisseau de la Brive traverse le hameau des Granges à Montagnieu.

Sur une première partie amont de la traversée, le ruisseau est bordé par quelques propriétés en rive gauche et la route départementale RD 79 en rive droite. A noter un ouvrage de franchissement sur ce tronçon (pont voute en pierre), permettant l'accès à deux propriétés. L'une d'elle est écartée d'une dizaine de mètres par rapport à la berge alors que l'autre (photo de gauche ci-dessous) constitue la berge du torrent avec une ouverture en point bas exposée en cas de débordement au niveau du pont.



Figure 16 : premier ouvrage de franchissement dans la traversée du hameau des Granges



Figure 17 : Partie amont de la traversée

Le ruisseau est ensuite couvert sur environ 80 m le long de la RD 79. A noter que le dévers de la route a tendance à ramener d'éventuels débordements vers l'axe du cours d'eau.



Figure 18 : Limites amont et aval du tronçon couvert

A l'aval du tronçon couvert, il se retrouve à nouveau à ciel ouvert. Sur les premiers mètres, la hauteur de berge rive droite (niveau de la RD79) reste faible jusqu'à seuil. A l'aval de ce dernier, la Brive est bordée par des propriétés en rive droite avec une hauteur de berge plus importante.

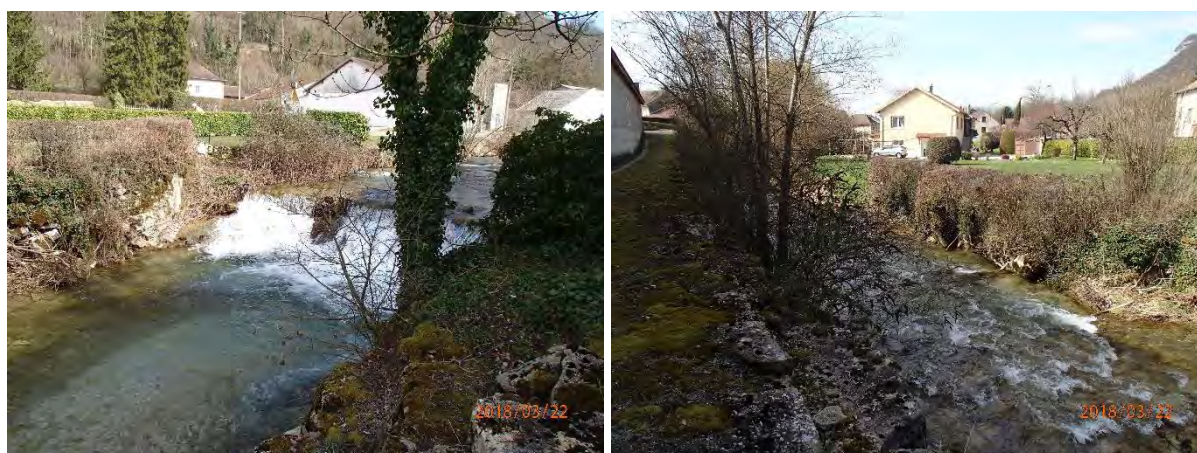


Figure 19 : Lit à l'aval du tronçon couvert

Le ruisseau franchit alors la route départementale et retrouve rapidement un cours naturel éloigné de tout enjeu habité.



Figure 20 : Franchissement de la RD et lit dans la plaine

Risques liés au transport solide :

Les crues de la Brive peuvent charrier des matériaux et des flottants issus de l'érosion du bassin versant et des berges.

Le transport probable de bois et flottants (couvert forestier du bassin versant et des berges, notamment à l'amont immédiat des enjeux) génère des risques importants d'obstruction d'ouvrages de franchissement. Au vu des dimensions des ouvrages de franchissement et de l'état boisé des berges jusqu'à l'amont du passage couvert, l'obstruction du pont de pierres et/ou du passage couvert pour une crue de période de retour centennale est jugée probable. Le passage sous la RD présente un tirant d'air au moins 60 cm supérieur (3,1 m contre 2,3 et 2,5 m) à ceux des deux ouvrages amont. Son obstruction ne sera pas considérée.

L'aléa de référence sera donc défini en considérant le pont en pierre et le passage couvert obstrués.

Concernant le transport de matériaux solides, l'analyse du profil en long montre une pente globalement régulière sur plusieurs kilomètres en amont et en aval des Granges, de l'ordre de 1,4 %. Aussi, la capacité de charriage de la Brive, à débit fixé, reste quasi-constante. Aussi, aucune évolution marquée du profil en long durant une crue n'est attendue.

En revanche, des dépôts ou érosion locale peuvent néanmoins être observées à la faveur d'élargissement du lit ou de contraction, ou encore en amont d'embâcles pouvant se former durant la crue.

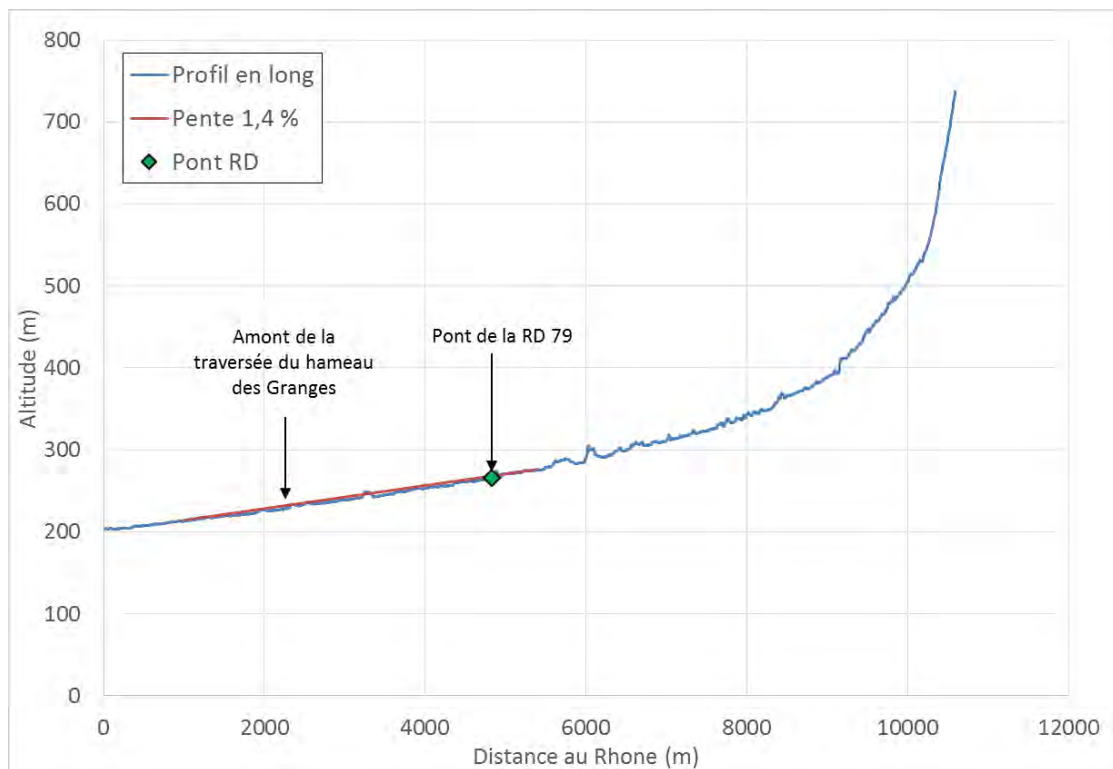


Figure 21 : Profil en long de la Brive, établi à partir de la propriété 2D de la couche Hydrographie de la BDTopo (IGN)

V.5 Analyse hydrologique

V.5.1 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.5.2 Pluviométrie

Les données de pluie sont issues de la thèse de Djerboua, (2001, *Prédétermination des Pluies et Crues Extrêmes dans les Alpes franco-italiennes Préviation 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 :

Un poste pluviométrique est situé à Montagnieu et a été exploité entre 1949 et 1975. Il donne un cumul journalier décennal de 78 mm et centennal de 113 mm. Compte tenu d'une durée d'exploitation un peu courte pour lui donner une grande pertinence pour une période de retour centennal, une analyse des autres pluviomètres à proximité a également été effectuée. L'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, qui sont logiquement proches des données au poste à Montagnieu, prises en compte dans l'analyse :

P_{j10} (mm)	P_{j100} (mm)
80	115

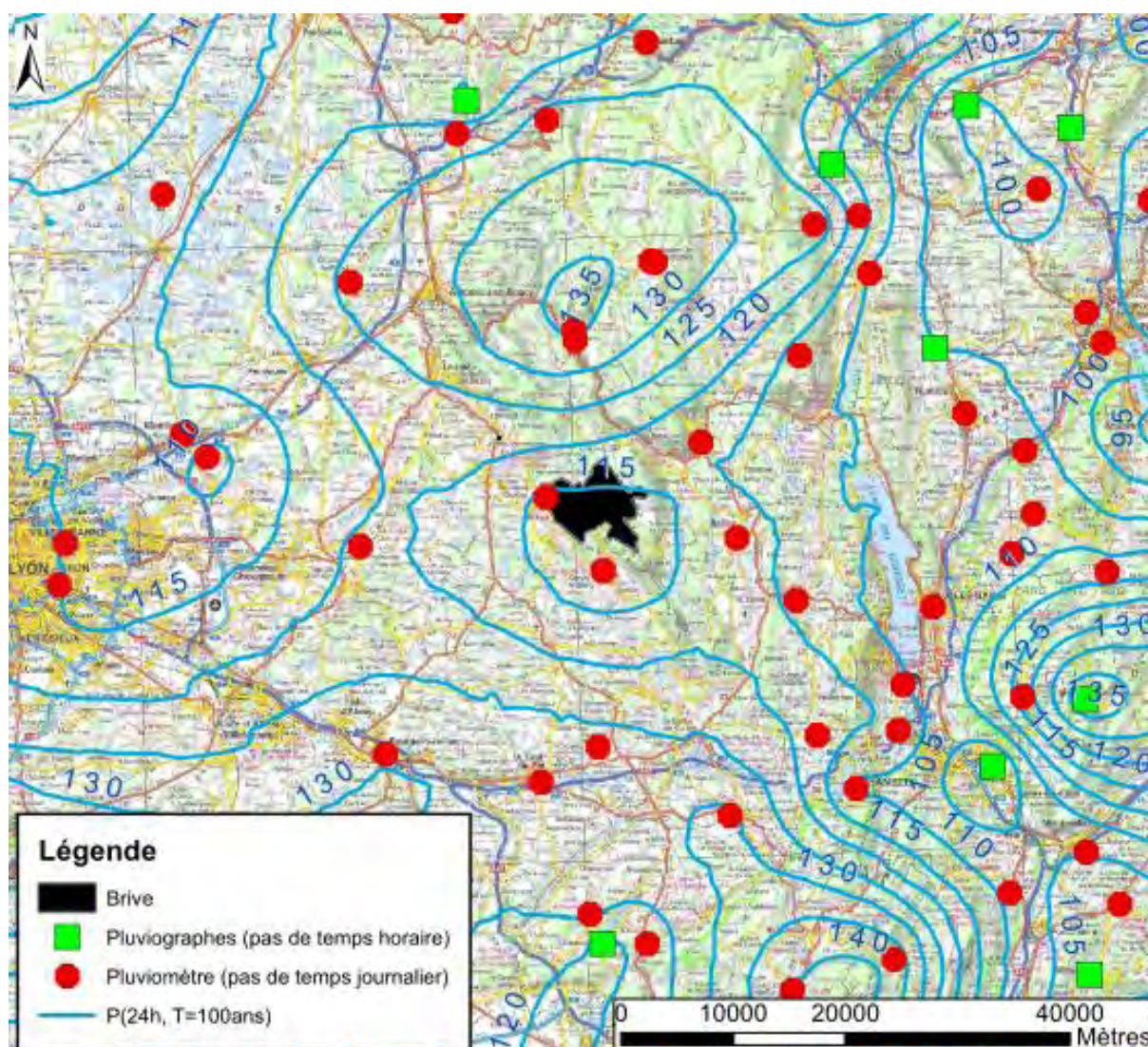


Figure 22 : Répartition spatiale des pluies journalières centennales

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.

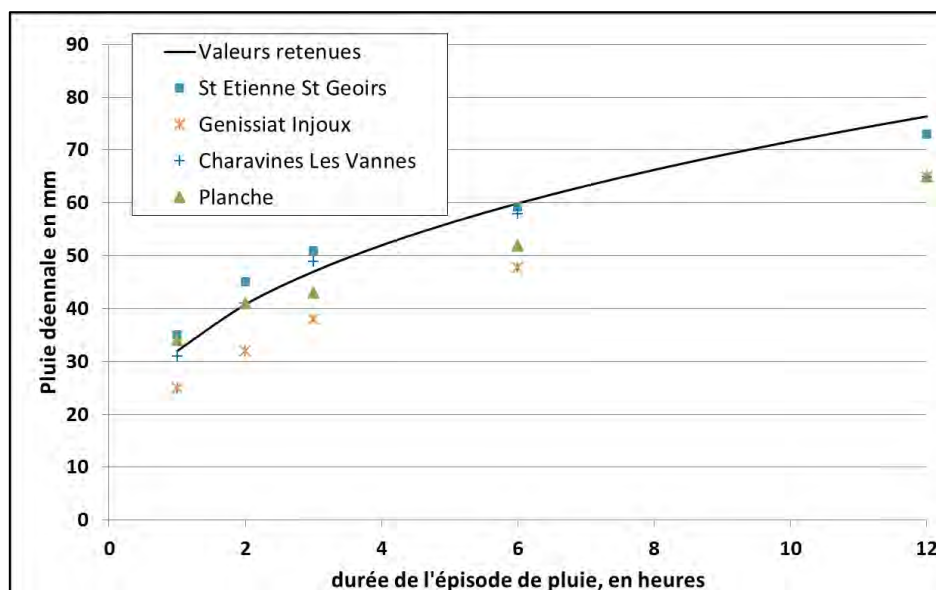


Figure 23 : Ajustement de la loi de Montana

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.5.3 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	1,39
Sogreah	2,25
Turraza	4,38
Giandotti	2,92
Izzard Meunier (BV végétalisé)	5,11

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 :

$$2 \text{ h} < t_c < 5 \text{ h (valeur probable : 3,5 h)}$$

V.5.4 Détermination du débit de référence décennal

Application de différentes formulations statistiques

Le bassin versant de la Brive 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]	21,8
Régressions multiples (Mathys et Peteuil, 2010) [paramètres : surface drainée et pluviométrie]	40,0
SOCOSE	19,2
Crupedix	20,6
SCS simplifiée	inadaptée
Méthode rationnelle	21,6

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

Transposition de bassins versants jaugés (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 semblable, le ruisseau du Suran est également équipé de station hydrométrique exploitable dans un contexte comme celui de la Brive :

- 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 de 0,7 à 1 m³/s/km^{1,6} est estimé représentatif de ces bassins versants et transposable au ruisseau de la Brive. En considérant sécuritairement une valeur de 1 m³/s/km^{1,6}, le débit décennal de la Brive serait de l'ordre de 18 m³/s.

Synthèse

Par confrontation des différents résultats, on retient un débit décennal de la Brive :

$$Q_{10} = 20 \text{ m}^3/\text{s}$$

V.5.5 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 Brive est estimé à :

$$Q_{100} = 35 \text{ m}^3/\text{s}$$

V.5.6 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 : 35 m³/s, comme estimé précédemment
- Temps de montée : 6 heures, soit sensiblement proche de 1,5. t_c
- Coefficient de forme : 2,1. 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 0,3 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.

Cette méthode aboutit à un hydrogramme de crue assez long.

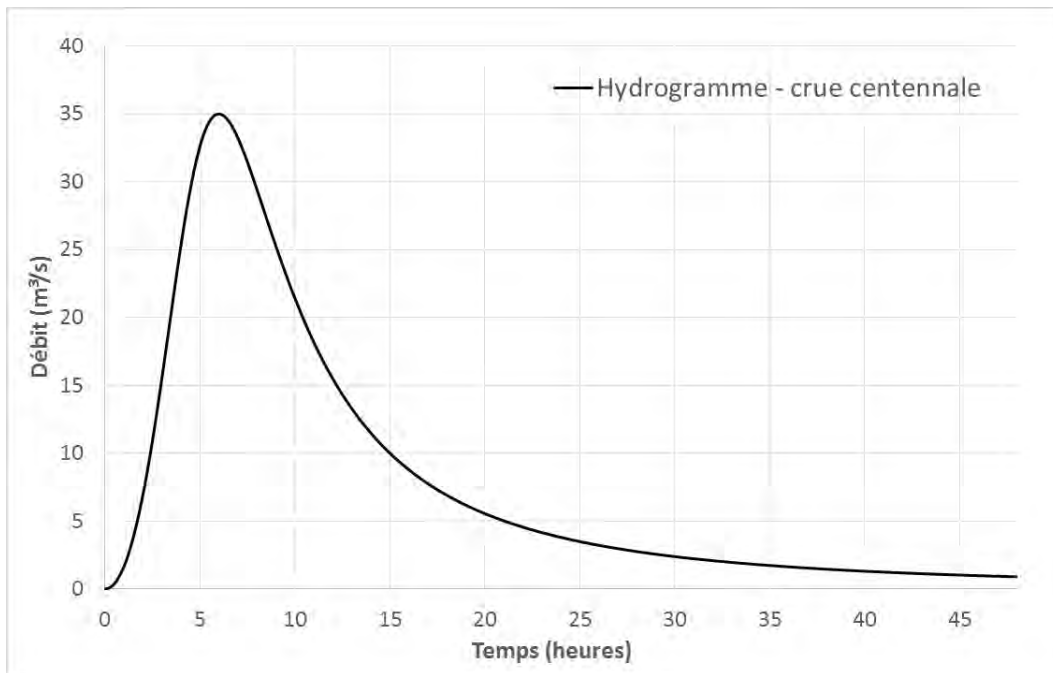


Figure 24 : Hydrogramme retenue pour une crue centennale sur la Brive

V.5.7 Scénario de référence

L'évènement de référence retenu est une crue centennale atteignant un débit de pointe de 35 m³/s, selon l'hydrogramme défini au paragraphe précédent. Pour cet évènement, l'obstruction des deux ponts amont (pont voute et passage couvert) est estimée probable et sera prise en compte.

V.6 Modélisation hydraulique

V.6.1 Recours à la modélisation

Au droit des secteurs densément urbanisés, l'analyse de l'aléa torrentiel a été appuyée par une modélisation hydraulique. Les résultats ont ensuite été validés/ajustés par une analyse de terrain. Sur la commune de Montagnieu, la zone à modéliser correspond à **la traversée du hameau des Granges par le ruisseau de la Brive**.

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 2.

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 (quelques mètres seulement).

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 Brive, 20 profils en travers ont été levés. Ils sont localisés sur la figure suivante.

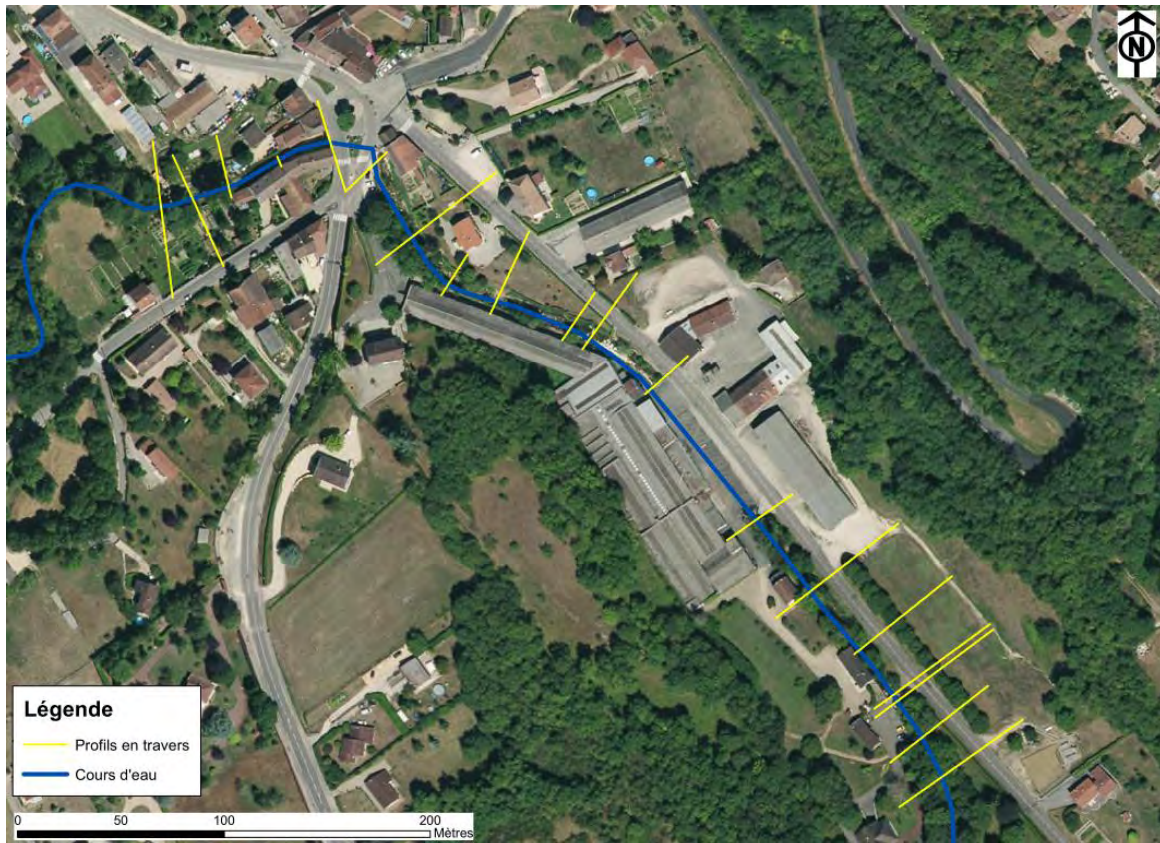


Figure 25 : Profils en travers levés par un géomètre expert

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 :

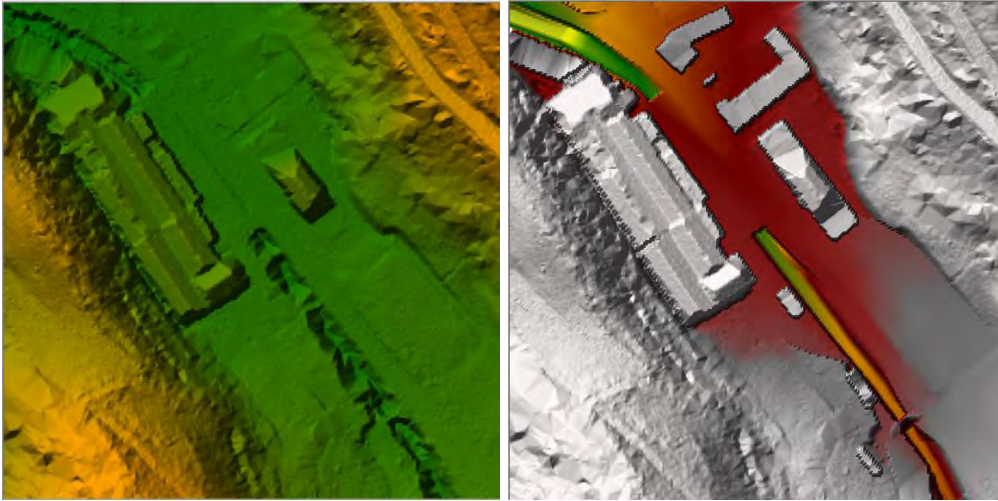


Figure 26 : Amélioration des données topographiques

V.6.3 Description du modèle

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

L'emprise du modèle a débuté à l'amont de la traversée du hameau des Granges (vers les tennis) et s'est étendue jusqu'à proximité de la confluence avec le Rhône. Le modèle est considéré « soigné » uniquement sur le tronçon couvert par les profils en travers.

A l'aval du hameau des Granges et jusqu'au Rhône, la modélisation est réalisée sur les données brutes du MNT. Les résultats ont été un outil d'aide à la décision sur un secteur naturel hors zone d'enjeux où la qualification de l'aléa est réalisée par analyse géomorphologique de terrain.

A noter qu'un premier modèle en 1D a été également construit sur le tronçon couvert par les profils en travers. Il a permis une première approche des conditions d'écoulements et des risques de débordements, notamment au niveau des ouvrages de franchissements où un calcul 1D est au moins tout aussi pertinent (car plus de possibilité sur le logiciel HECRAS en 1D dans la construction des ponts). Le calcul en 1D a alors été réalisé en régime permanent.

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.5.6.

A noter que les fortes incertitudes sur le débit de crue (cf. paragraphe V.5.1) ont finalement une influence limitée sur le niveau d'aléa : celui est influencé de manière prépondérante par le choix du scénario retenu concernant les probabilités d'obstruction des ponts.

Conditions aux limites :

Les conditions aux limites considérées correspondent aux hauteurs normales en sortie aval du modèle. Dans la mesure où la limite aval du modèle est très éloignée du hameau des Granges, l'influence de cette condition est nulle au niveau du hameau des Granges.

Coefficient de frottement :

Les coefficients de Manning retenus sont :

- $n=0.04$ en lit mineur et lit majeur,
- $n=0.02$ en zone urbaine (routes et habitations) au niveau du hameau des Granges.

V.6.5 Résultats

Première approche par un modèle 1D

La modélisation en une dimension a permis de mettre en évidence pour un débit liquide centennal :

- Une mise en charge du pont voute amont,
- Un débordement du passage couvert liés à un dépassement de sa capacité de quelques mètres cubes (3 à 4 m³/s), qui interviendrait après la mise en charge du premier pont
- Une capacité hydraulique suffisante pour un écoulement à surface libre sous le franchissement de la route départementale.

Cette analyse étaye le choix de considérer, pour le scénario de référence, les deux ponts amont obstrués par embâcles.

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)

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

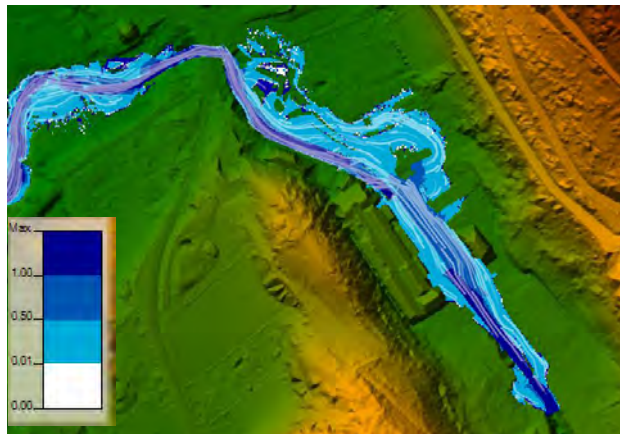


Figure 27 : Lignes de courants

V.7 Qualification de l'aléa

V.7.1 Zones d'enjeux

Croisement hauteur/vitesse à partir des résultats du modèle :

Pour les zones modélisées, 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 10 : grille de qualification des aléas de crue torrentielle en zone urbanisée

Eléments d'analyse	Carte
<p>Hauteur d'eau maximale (asynchrone)</p>	
<p>Vitesse maximale (asynchrone)</p>	
<p>Aléa, traitement brut (avant validation/ajustement par analyse de terrain)</p>	

La vitesse des écoulements s'avère prédominante dans le cas de la Brive. L'étalement des débordements est limité, aussi les écoulements se produisent soit dans le lit mineur, soit dans un lit majeur où la rugosité est faible (zone urbanisée). Aussi, les vitesses d'écoulements restent globalement supérieure à 0,5 m/s, valeur au-delà de laquelle l'aléa est fort quelque soit la hauteur d'eau.

Confirmation / ajustement sur le terrain :

Une analyse de terrain a entraîné les principaux ajustements suivants de la carte d'aléa brute :

- Le contournement par l'Est de l'entreprise en rive droite de la route départementale n'a pas été jugé probable compte tenu de la topographie autour du bâtiment. Par analyse des lignes de courant, on observe que la non-prise en compte de ce contournement réduit la bande de route départementale atteinte en aval par les débordements après contournement du bâtiment et avant retour au lit mineur. Aussi, une bande de la route départementale avant retour des écoulements au lit est « déclassée » en aléa moyen.
- En aval du hameau des Granges, sur le secteur des Verchères, la modélisation laisse supposer un risque de débordement vers un lotissement en rive gauche. Tout d'abord, ces résultats sont à prendre avec précaution compte tenu d'une topographie brute non corrigé. Après analyse de terrain, il est estimé que la micro-topographie du champ en amont rive gauche permet un retour au lit sans atteinte du secteur bâti. Par ailleurs, au droit des habitations, la berge rive droite est plus basse, ce qui évite toute atteinte des enjeux. Le secteur bâti en rive gauche est donc considéré hors zone d'aléa.

L'analyse de terrain confirme également, comme déjà présenté dans les observations de terrain, que le dévers de la route départementale permet un retour des débordements au lit mineur bien en amont du centre du hameau des Granges.

V.7.1 Zones « hors enjeux urbanisés »

A l'amont et à l'aval de la traversée du hameau des Granges, le ruisseau de la Brive traverse des zones naturelles et agricoles. L'aléa est qualifié par analyse hydro-géomorphologique de terrain, sans modélisation numérique. Elle est basée selon la grille de qualification des aléas basée de guide PPR crue torrentielle. Le principe étant que le niveau d'aléa est basé sur un croisement entre niveau d'intensité et probabilité d'atteinte, défini dans les 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.	Les écoulements prévisibles sont de faible hauteur. Les dépôts peuvent être boueux mais sans matériaux de plus de 10 cm. Les affouillements prévisibles sont faibles.
	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 surtensions 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 insuffisants pour endommager les façades renforcées. Les affouillements prévisibles ne sont pas assez profonds pour entraîner la ruine des constructions normalement fondées.	Les contraintes dynamiques imposées par l'écoulement sont modérées et ne peuvent pas endommager des façades usuelles même non renforcées. Les affouillements prévisibles sont faibles et ne peuvent pas menacer les fondations des bâtiments.
	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.	Les routes peuvent être submergées mais sans endommagement et avec possibilité de remise en service rapide.

Tableau 11: 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 12: 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 13: grille de qualification des aléas de crue torrentielle en zone non urbanisée

V.7.2 Aléas résultants

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

- En rive gauche du pont voute en pierre, la propriété dont le mur constitue la berge rive gauche du ruisseau est exposée à un aléa fort.

- A hauteur du passage couvert, la face amont d'une entreprise est exposée à un aléa moyen.
- Un tronçon de la route départementale est exposé à un aléa moyen avant que les débordements ne retournent au lit mineur en traversant les terrains d'une propriété privée, sans que le bâti ne soit exposé.

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 :

- BRGM, 2014, Evaluation des risques résiduels suite aux événements inondants du 21 juillet 2014 sur la commune de Montagnieu.
- CEREMA, 2016, Etude hydromorphologique et diagnostic des circulations d'eau.
- GEO+, 2001, Etude hydraulique préalable à la réalisation d'ouvrages de lutte contre le ruissellement torrentiel.
- SOLETCO, 1988, Reconnaissance géologique, géomorphologique et hydrologique.
- Voix de l'Ain, 2014, *Article de presse* : Le village de Montagnieu victime d'une énorme crue du Riou.
- Le Progrès, 2014, *Article de presse* : Montagnieu, un village dans la boue.
- Le progrès, 2014, *Article de presse* : Montagnieu les Granges et le lotissement sous les Vignes inondés, un village dans la boue.
- Commune de Montagnieu. Réunion de travail du 8/02/2018.
- 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 :

Secteur	Date	Observation(s)	Source(s)
le « Riou », place des Granges et lotissement sous les vignes	21/07/2014	RD87 coupée au niveau de ce croisement. Au lotissement « Sous les vignes », les eaux de pluies provenant de la montagne en contre-haut ont aussi inondé la zone nouvellement bâtie. Au centre, c'est l'hôtel restaurant Rolland qui a été touché. 100 mm d'eau en 1 jour.	Web Presse Rapport BRGM Compte rendu DDT Commune
Le Riou	2008	Un pneu (issu de l'ancienne décharge) bouche une buse. Une érosion linéaire est constatée. La place des Granges est inondée	Commune
Les Granges	03/05/2000	Arrêté CATNAT d'intenses épisodes pluvieux ayant donné lieu à des coulées de boues sur les versants et des inondations au niveau du hameau "Les Granges".	PPR2014 Georisques.gouv Commune
Les Granges	13/02/1990	Arrêté CATNAT d'intenses épisodes pluvieux ayant donné lieu à des coulées de boues sur les versants et des inondations au niveau du hameau "Les Granges".	PPR2014 Georisques.gouv Commune
Les Granges	21/12/1991	Arrêté CATNAT d'intenses épisodes pluvieux ayant donné lieu à des coulées de boues sur les versants et des inondations au niveau du hameau "Les Granges".	PPR2014 Georisques.gouv Commune

Tableau 14: historique des phénomènes 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. Ces dernières ont donc été travaillées par analyse du terrain et de l'historique.

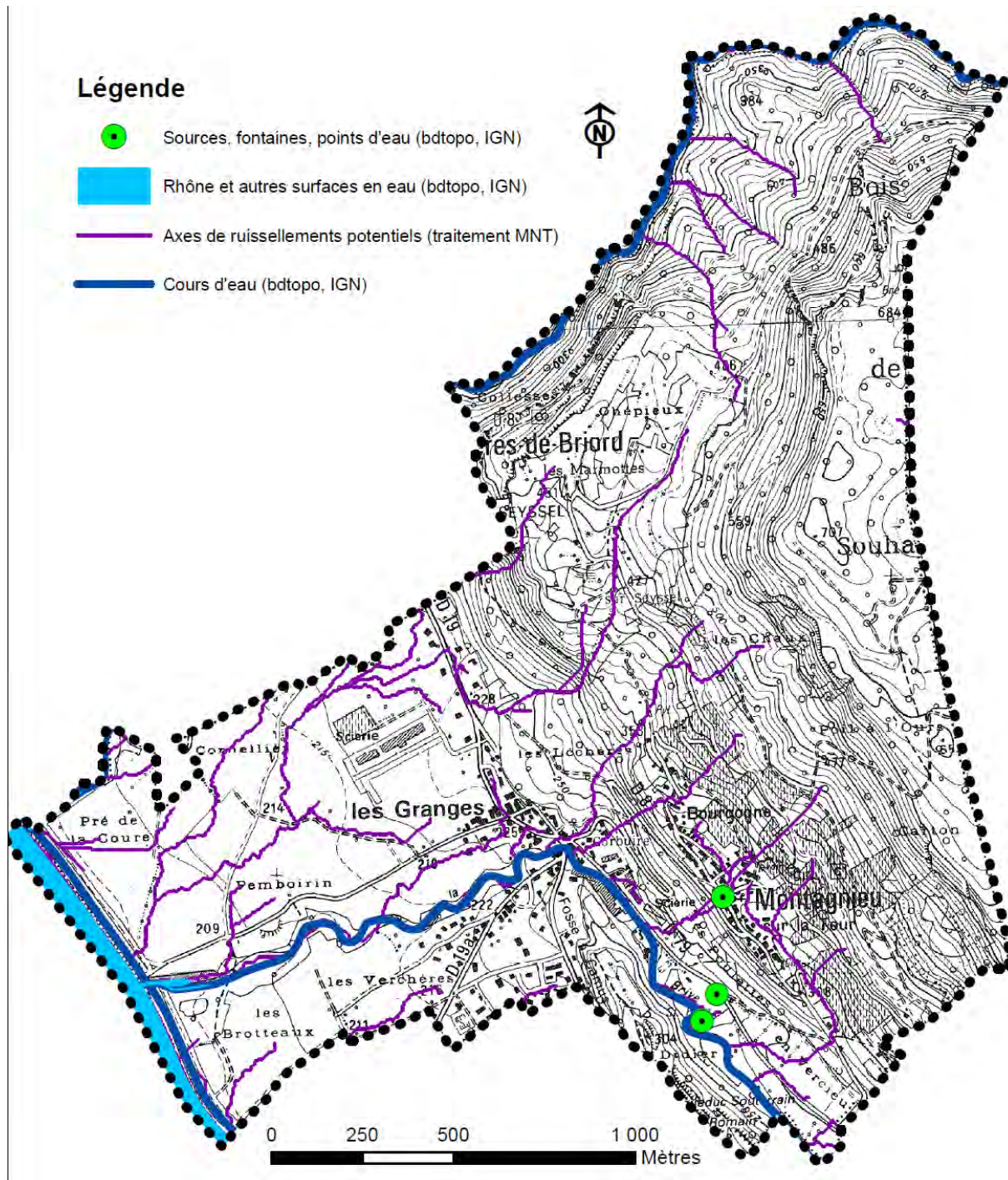


Figure 28 : Carte des écoulements préférentiels

VI.5 Observations de terrain

VI.5.1 Axe de ruissellement issu d'un réservoir

Un axe de ruissellement prend naissance à la sortie d'un réservoir. Il est soit directement alimenté par une résurgence soit par le trop plein du réservoir.

Cet axe franchit une première piste avec une forte probabilité d'obstruction d'une buse en cas de ravinement.



Figure 29 : Axe de ruissellement issu d'un réservoir et buse sous dimensionnée en cas de ruissellement



Figure 30 : Risque d'obstruction d'une grille en amont immédiat du chef-lieu

Le cas échéant, les écoulements suivent la piste en rive droite avec un nouveau risque d'obstruction de grille plus en aval. Les débordements se partagent alors sur la voirie et sont susceptibles d'atteindre des propriétés en contrebas dans le chef-lieu de Montagnieu. Des accumulations importantes d'eau peuvent se former au niveau de points bas.



Figure 31 : Exemple d'un point bas d'accumulation

L'axe naturel de ruissellement, si l'on ne considère pas l'obstruction du premier franchissement, se prolonge dans le sens de la pente et s'écoule sur des terrains privés sur un long linéaire jusqu'au sud de la commune.



Figure 32 : Parcours de l'axe naturel de ruissellement entre des propriétés

Il est ensuite busé et est probablement rejoint par d'autres résurgences et par le réseau pluvial. On retrouve son cours à l'aval d'un lavoir en bordure de route communale. Cet axe rejoint alors la plaine, franchit la route départementale et se jette dans la Brive.



Figure 33: Axe en amont du busage (à gauche) - Axe à nouveau à ciel ouvert à l'aval du lavoir



Figure 34 : Axe de ruissellement se dirigeant vers la Brive

VI.5.2 Deux ravines en amont du bourg

A l'aplomb du chef-lieu de Montagnieu, deux axes de ruissellement ont été identifiés, parfois marqués par une érosion notable, occasionnée par des écoulements intenses lors d'orage. Les différentes résurgences venant les alimenter sont toutes situées entre les cotes approximatives 400 – 420 m, ce qui correspond à un niveau de sources proches du décrochement du glissement de 1919.

L'axe principal, le plus au Nord, récupère les eaux d'une cunette en bord de route. En plus des eaux de ruissellement, cette cunette récupère les eaux d'un axe qui semble s'apparenter à un ancien drain, comme laissent le supposer de nombreux autres ouvrages apparents en amont et la forme des parcelles cadastrales.

A noter que l'axe de ce probable drain enterré peut localement marquer une combe qui n'est cependant pas continue. Il sera néanmoins considéré comme un axe de ruissellement potentiel afin de prendre en compte la possible déficience de l'axe de drainage.



Figure 35 : Indices d'un axe de drainage

Après convergence du ruissellement du versant et des eaux issues de la cunette de bord de route, un nouveau partage a lieu : une partie des écoulements est redirigée, via une cunette le long de la route (plus en aval), vers la ravine Sud délimitant le glissement de 1919 ; l'autre suit l'axe de plus grande pente et s'étale progressivement jusqu'à un point bas constitué par le terrain de football.



Figure 36 : Redirection d'une partie des écoulements d'une ravine vers la "ravine Sud" du glissement de 1919

La deuxième ravine également alimentée par des résurgences apparaissant vers la cote 400, au droit d'une piste, se situe quelques dizaines de mètres plus au Sud. Elle converge également vers le point bas autour du terrain de football.



Figure 37 : Exemple d'érosion de ravine en amont de Montagnieu et direction suivie par les ravines

Ce point bas autour du terrain de football a été inondé en juillet 2014, comme le montre la photo de gauche ci-dessous, prise sur la rue devant le terrain. Par déversement, d'autres points bas du chef-lieu sont alors inondés (photo de droite).

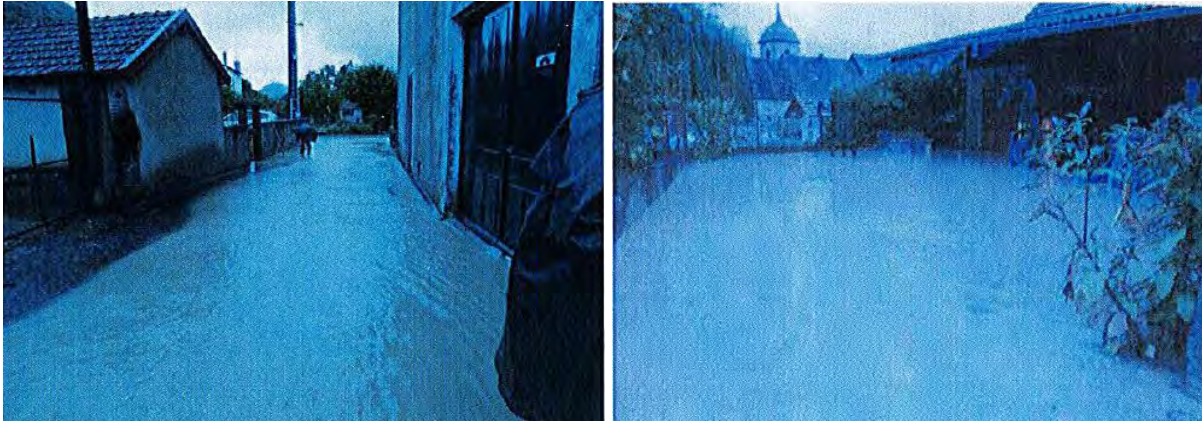


Figure 38 : Inondation en juillet 2014 (source : rapport BRGM)

A noter que le point bas de la photo de droite pourrait également être inondé selon l'axe décrit au paragraphe précédent (VI.5.1) : la photo de 2014 correspond au secteur pointé sur la Figure 31.

VI.5.3 Différents axes d'écoulements sous le chef-lieu de Montagnieu

Résurgence en bordure de la RD 79

Au niveau de l'entrée Sud du hameau des Granges, une résurgence a été identifiée en bordure de la RD 79. Ces écoulements la franchissent et sont ensuite canalisée entre les tennis et un terrain privé jusqu'à la Brive.



Figure 39 : Résurgence en bordure de la RD79

Axe d'écoulement apparaissant sous l'Eglise

Un autre axe débouche entre des propriétés sous l'Eglise du chef-lieu. Cet axe suit le sens de la pente, s'écoule sous couvert forestier et localement en bordure d'un champ. Il débouche ensuite en amont des entreprises en bordure de la Brive (de l'autre côté de la route départementale RD 79) où il s'est tracé un cheminement par érosion. Les écoulements s'étalent sur la largeur d'une piste en bordure de terrain privé avant d'être captés par une buse se rejetant dans le ruisseau de la Brive.



Figure 40 : Axe de ruissellement issu du chef-lieu (à gauche) et débouchant en bordure de la Brive au hameau des Granges (à droite)

Cunette en bordure de la route communale entre les Granges et le chef-lieu

Une cunette en bord de route communale entre le hameau des Granges et le chef-lieu récupère les eaux :

- Des résurgences sur l’affleurement rocheux en bordure de route,
- D’un axe d’écoulement suivant un chemin piéton et des escaliers recevant un rejet d’eaux pluviales du chef-lieu.
- D’un axe d’écoulement issu d’une résurgence plus en amont, au niveau d’une épingle de la rue de Bourgogne, en amont du chef-lieu. Celle-ci constitue d’ailleurs la principale source d’apports en eau à la cunette en bord de route.

La cunette redirige les eaux vers la ravine Sud délimitant le glissement de 1919, axe de ruissellement présenté en page 51 .



Figure 41 : Cunette de bord de la route communale

VI.5.4 Deux ravines autour du glissement de 1919

Secteur de la niche d’arrachement

Au pied de la niche d’arrachement du glissement, des sorties d’eau sont collectées par une cunette coté amont d’une route communale. La principale alimentation sort de la partie centrale de la niche d’arrachement.

Les écoulements collectés par la cunette en bord de route sont répartis et rejetées en différents points sur le versant. Les écoulements rejoignent alors par gravité, selon le point de rejet, la ravine Sud ou la ravine Nord (décrites ci-après), délimitant les bordures de l'ancien glissement. La répartition apporte davantage d'eau à la ravine Sud.

Ravine Nord jusqu'au lotissement des Vignes

Le glissement de 1919 est délimité par deux axes d'écoulement, côté Nord et côté Sud.

Côté Nord, la dite « ravine Nord » prend sa source sur le plateau au lieu-dit Seyssel. Elle est alimentée par les eaux de ruissellement de surface convergeant vers la combe et par les eaux issues de la niche d'arrachement du glissement de 1919 (cf. point précédent). Lors d'orage violent, elle peut être le siège d'une importante érosion à l'origine d'un transport solide non négligeable.



Figure 42 : Cunette et exemple de rejet dans sur le versant alimentant la ravine

La ravine Nord débouche dans la plaine en amont du lotissement des vignes.

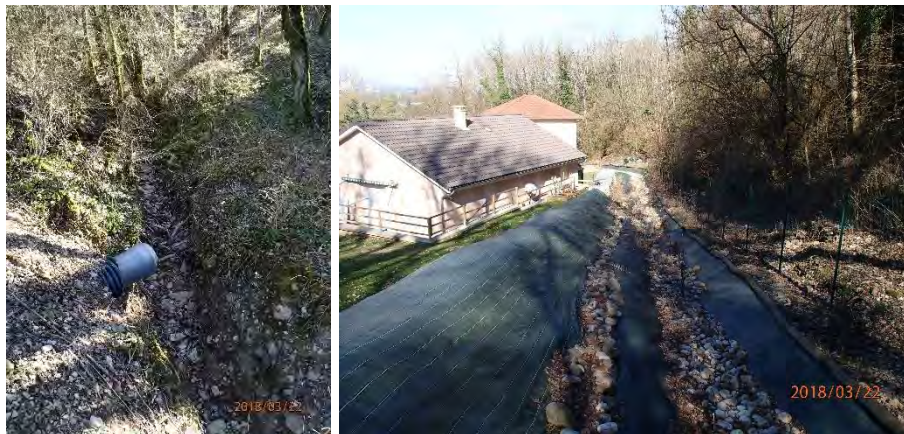


Figure 43 : Déviation inefficace vers le Nord de la ravine Nord

En amont immédiat du lotissement un premier ouvrage existe et a été aménagé pour dévier une partie des écoulements vers le Nord. La déviation est alimentée par une buse latérale, alimentant un canal Cette déviation est alimentée par une buse (photo de gauche) se déversant dans un canal à ciel ouvert derrière les maisons. Les écoulements sont ensuite à nouveau souterrains jusqu'à un déversement dans un fossé en bord de route départementale.



Figure 44 : Axe de déviation busé de derrière une propriété du lotissement jusqu'à un fossé en bord de route départementale

En l'état actuel d'incision du lit de la ravine Nord, l'ouvrage est peu efficace : son alimentation restant très limitée. Cependant, elle pourrait à nouveau connaître des écoulements importants lors d'épisodes orageux en cas de nouvel engrèvement de la ravine ou embâcles en aval de la buse. Par ailleurs, la déviation est susceptible de capter des écoulements en cas de divagations du lit de la ravine plus en amont. Des traces de tels phénomènes ont été observées. Le cas échéant, une propriété est susceptible d'être inondée par débordement du canal en un point où la berge est très fragile et la revanche très faible.



Figure 45 : Point de débordement possible au niveau de la déviation Nord

Lorsque les écoulements ne sont pas déviés vers le Nord par l'aménagement décrit précédemment, c'est-à-dire dans la situation la plus probable aujourd'hui, ils suivent un talweg incisé en bordure sud du lotissement. Les écoulements sont ensuite canalisés en amont de propriété depuis un ouvrage grille-avaloir. Ce dernier apparaît nettement sous dimensionné et au vu de l'érosion du lit à l'amont, son obstruction en cas de crue est très probable. Un tel scénario s'est déjà produit, notamment en juillet 2014.

Après obstruction de la grille, d'importants débordements sont attendus au niveau du lotissement.

Une partie des eaux peut surverser le muret et s'écouler entre les deux propriétés aval jusqu'à la route départementale. L'autre partie est guidée par les différents murets du lotissement et

la pente jusqu'à des habitations situées en point bas du lotissement. Plusieurs propriétés sont exposées.



Figure 46 : Grille avaloir sous dimensionnée



Figure 47 : Direction des débordements et exemple de propriétés exposées

Ravine Sud – Hameau des Granges

Délimitant le Sud du glissement de 1919, la dite « ravine Sud » est alimentée par les résurgences d'eau issues de la niche d'arrachement du glissement historique, par une partie des eaux issues de ravines en amont du chef-lieu et redirigée via une cunette de bord de route et par une autre cunette en bordure de route entre le chef-lieu et les Granges recevant les eaux d'autres résurgences.



Figure 48 : Résurgences sur niche d'arrachement et rejets sur le versant alimentant la ravine Sud

Tout comme la ravine Nord, en cas d'orage violent, la ravine peut être marquée par une érosion importante à l'origine d'un transport solide non négligeable.

La ravine débouche au hameau des Granges, en bordure de la route communale menant au chef-lieu.

Une première piste est franchie par un passage busé avec une grille en amont. Son obstruction en crue est probable mais les écoulements retournent rapidement dans le lit en aval de la piste.



Figure 49 : Franchissement d'une piste en amont des Granges

La ravine est ensuite canalisée sous le hameau avant de rejoindre la Brive. En cas de crue, les risques d'obstruction de la buse sont importants dans la mesure où aucun ouvrage de décantation de type plage de dépôt ne permet de bloquer les matériaux charriés en amont de la buse.



Figure 50 : Ouvrage sous dimensionné au niveau du hameau des Granges (source : CEREMA)

Les débordements suivent alors la route et inonde le carrefour au cœur du hameau. Le restaurant en point bas est particulièrement exposé. Il a été le siège d'importantes inondations (cf. historique).

Au niveau du point de débordement, le léger dévers de la route permet de contenir les écoulements sur la droite de la route jusqu'au carrefour. Toutefois, en cas d'importants dépôts de matériaux sur la voirie, des divagations vers la rive gauche et les terrains d'une propriété privée ne sont pas exclues.

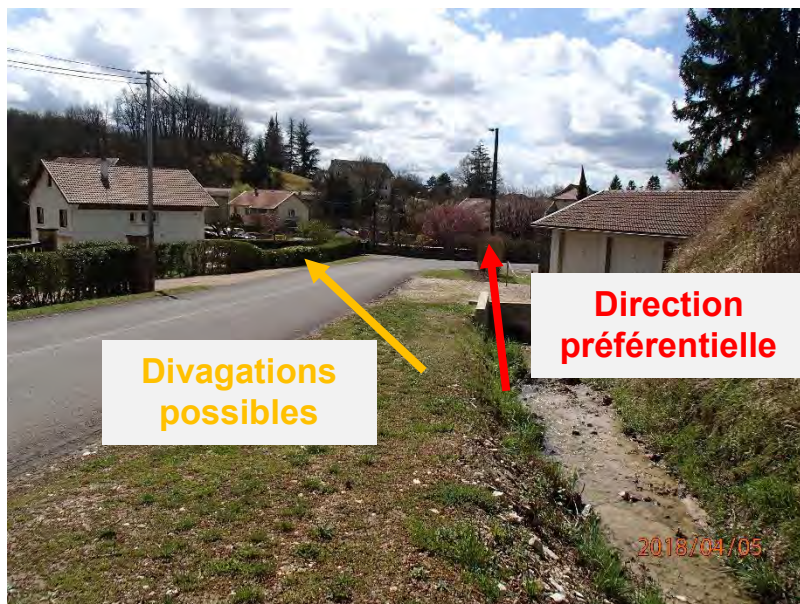


Figure 51 : Direction suivie par les débordements

Après stagnation au niveau du carrefour et atteinte d'un certain niveau d'eau permettant de surverser les points hauts de la route, les eaux retournent au lit de la Brive par différents passages : entre les propriétés en face du restaurant, par la gauche du Lavoir. Une partie peut également être captée par le réseau pluvial (qui est néanmoins généralement déjà saturé lors de tels phénomènes).

Les photos suivantes, reprises du rapport BRGM, illustrent l'inondation de juillet 2014.



Figure 52 : Inondation au hameau des Granges en juillet 2014 (source : rapport BRGM)



Figure 53 : cliché de l'inondation de juillet 2014 (source : Le Progrès)

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 1m
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 15 : 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 :

- **Lotissement des Vignes :**

D'importants débordements de la ravine Nord sont prévisibles et exposent trois propriétés à un aléa fort et deux en un aléa moyen.

- **Hameau des Granges (axe Sud) :**

Les débordements de la ravine Sud à l'entrée du passage busé des Granges exposent deux garages en aval immédiat de l'entrée en buse, le restaurant et une propriété de l'autre côté du carrefour à un aléa fort. La propriété en contrebas rive gauche de l'entrée en buse est classée en aléa faible en cas de divagations sur des dépôts au niveau de la route communale.

- **Axes d'écoulements au-dessus du chef-lieu :**

Suite aux débordements de l'axe d'écoulement issu d'un réservoir, une dépendance et deux bâtiments agricoles sont exposés à un aléa moyen.

Les axes de ruissellement convergeant vers le terrain de football exposent une propriété ainsi que les façades amont des propriétés le long de la rue passant devant le terrain de football à un aléa faible.

- **Axes d'écoulements sous le chef-lieu :**

L'axe d'écoulement qui apparaît en aval de l'Eglise expose le bâtiment d'une entreprise à un aléa faible au niveau du hameau des Granges.

De plus, des phénomènes de ruissellement généralisé, de plus faible ampleur, peuvent se développer, notamment en fonction des types d'occupation des sols (pratiques culturales, terrassements légers, etc.). L'ensemble des versants sont potentiellement concernés par ces ruissellements très diffus classés en aléa faible (V1).

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	Observations	Source(s)	N° Carte
Les Granges Les Léchères	Glissement de terrain	6/05/1919	Glissement de versant d'ampleur (300 m de largeur). Destruction école et une vingtaine de maisons et a conduit à une déviation de la route.	Web Georisques.gouv R111-3 PPR1998 et 2014 Commune	1
Coteaux de Montagnieu	Glissement de terrain	-	Deux zones de glissements sont connues depuis longtemps. Les terrains sont en mouvement lents avec des accélérations ponctuelles au gré des conditions météo.	Commune	2
Non précisé	Affaissement	1984 et 1988	Des instabilités ont été suivies d'affaissements et de rupture de canalisations d'eau potable	R111-3 PPR1998 et 2014	-
Coteaux Nord-Est du bourg de Montagnieu	Chutes de blocs	Il y a environ 30 ans	Des blocs se décrochent des coteaux et atteignent les terrains sous le cimetière	Commune	3
Les Granges	Ruissellement	13/02/1990	Arrêté CATNAT d'intenses épisodes pluvieux ayant donné lieu à des coulées de boues sur les versants et des inondations au niveau du hameau "Les Granges".	PPR2014 Georisques.gouv Commune	4
La Brive aval des Granges	Crue torrentielle	1990	Débordement sur l'ancien lit du cours d'eau	Commune	5
Les Granges	Ruissellement	21/12/ 1991	Arrêté CATNAT d'intenses épisodes pluvieux ayant donné lieu à des coulées de boues sur les versants et des inondations au niveau du hameau "Les Granges".	PPR2014 Georisques.gouv Commune	6
La Brive en amont des Granges	Crue torrentielle	1997-1998	Le cours d'eau traverse la station de pompage. Il est signalé une érosion de berges suite à l'abattage d'arbres	commune	7
Les Granges	Ruissellement	03/05/2000	Arrêté CATNAT d'intenses épisodes pluvieux ayant donné lieu à des coulées de boues sur les versants et des inondations au niveau du hameau "Les Granges".	PPR2014 Georisques.gouv Commune	8
Est de Montagnieu - Bourgogne	Glissement	Depuis 15 ans	Les terrains semblent s'affaisser depuis une quinzaine d'années. Des témoins ont été posés sur un mur de terrasse.	Commune	9
Le Riou Les Granges	Ruissellement	2008	Un pneu (issu de l'ancienne décharge) bouche une buse. Une érosion linéaire est constatée. La place des Granges est inondée	Commune	10

Secteur	Phénomène	Date	Observations	Source(s)	N° Carte
Seyssel	Chutes de blocs	2/11/2010	Eboulement au sein d'une barre calcaire de 8 m de haut (située au pied d'un chemin de randonnée qui traverse un versant boisé). Un lotissement est situé au pied de la pente boisée ou s'est produit l'éboulement à l'altitude approximative de 250 m. à environ 180 m.	PPR2014 Rapport BRGM Commune	11
Bois du Souhait - A l'Echoux	Chutes de blocs	1/01/2012	5 blocs atteignant 3 m ³ détachés du secteur du glissement de 1919 et se sont arrêtés à proximité de la voie communale à 40m en aval de la falaise. <i>NB : le PPR de 2014 donne la valeur de 400 m ; la commune signale que cela est une erreur et qu'il s'agit de 40 m.</i>	PPR2014 Rapport BRGM Commune	12
Les Granges	Ruissellement	21/07/2014	RD87 coupée au niveau de ce croisement. Au lotissement « Sous les vignes », les eaux de pluies provenant de la montagne en contre-haut ont aussi inondé la zone nouvellement bâtie. Au centre, c'est l'hôtel restaurant Rolland qui a été touché. 100 mm d'eau en 1 jour.	Web Presse Rapport BRGM Compte rendu DDT Commune	13

Tableau 16 : 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).

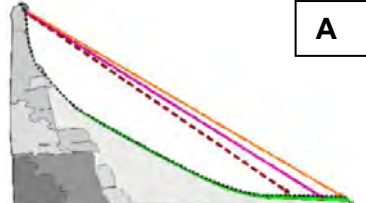
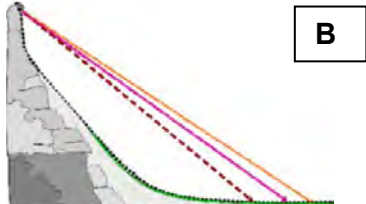
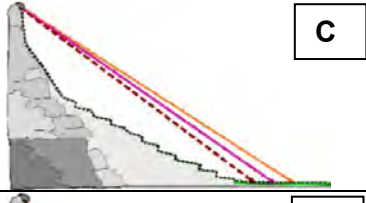
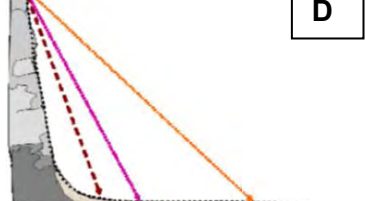
a) Intensité

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 logiciel HEC-RAS

VIII.2.1 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.2.2 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.2.3 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.2.4 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)