

Porter à connaissance

*Étude des phénomènes chute de blocs,
glissement de terrain,
crue torrentielle et ruissellement*

Rapport technique

Commune de Virieu-Le-Grand

Table des matières

1	PREAMBULE	7
1.1	Objet	7
1.2	Méthodologie	7
1.2.1	Échelle et fonds de références des documents originaux	8
1.2.2	Version du rapport et des cartes correspondantes	8
2	CADRE PHYSIQUE	9
2.1	Cadre topographique	9
2.2	Cadre géologique	10
2.2.1	Formations géologiques en présence	10
2.2.1.1	Substratum rocheux	10
2.2.1.2	Formations de couverture	11
2.2.1.3	Carte géologique du BRGM	12
2.2.2	Tectonique	13
2.3	Cadre hydrographique et hydrogéologique	13
2.3.1	Réseau hydrographique	13
2.3.2	Hydrogéologie	18
2.3.3	Éléments anthropiques majeurs dans les phénomènes de ruissellement et d'inondation	19
3	ALEAS CHUTES DE BLOCS	20
3.1	Activité historique et actuelle des phénomènes	20
3.1.1	Définition	20
3.1.2	Synthèse des évènements recensés	20
3.1.3	Informations disponibles dans les archives	21
3.1.3.1	Études techniques existantes	21
3.1.3.2	Base de données du BRGM	25
3.1.3.3	Informations signalées sur la voie ferrée	25
3.1.3.4	Courriers de riverains impactés	25
3.1.4	Informations fournies par les témoignages	25
3.1.5	Informations fournies par les photographies anciennes	28
3.1.6	Informations fournies par l'analyse du MNT et des photographies aériennes	28
3.2	Identification des instabilités sur le terrain	30
3.2.1	Rochers de la Craz	30
3.2.1.1	Analyse des zones de départ potentielles	30
3.2.1.2	Recensement des blocs tombés en aval	32
3.2.2	Affleurements rocheux des Tonnes / Chaveyron / Au Mortier	33
3.2.2.1	Analyse des zones de départ potentielles	33
3.2.2.2	Recensement des blocs tombés en aval	34
3.2.2.3	Les filets pareblocs	34
3.2.3	Rochers de Bétey	35
3.2.3.1	Analyse des zones de départ potentielles	35
3.2.3.2	Recensement des blocs tombés en aval	37
3.2.4	La Verne	38
3.2.4.1	Analyse des zones de départ potentielles	38
3.2.4.2	Recensement des blocs tombés en aval	40
3.2.5	Escarpement situé entre la voie ferrée et la rue de Betty	40
3.2.5.1	Analyse des zones de départ potentielles	40
3.2.5.2	Recensement des blocs tombés en aval	42
3.2.6	Front des carrières Lourdel à Claire Fontaine	43
3.2.6.1	Analyse des zones de départ potentielles	43
3.2.6.2	Recensement des blocs tombés en aval	45

3.2.7	Versant Est de la Grande Montagne de Virieu.....	46
3.2.7.1	Analyse des zones de départ potentielles.....	46
3.2.7.2	Recensement des blocs tombés en aval.....	46
3.2.8	Versant de Plan de Mai.....	47
3.2.8.1	Analyse des zones de départ potentielles.....	47
3.2.8.2	Recensement des blocs tombés en aval.....	47
3.2.9	Lac de Virieu.....	48
3.2.9.1	Analyse des zones de départ potentielles.....	48
3.2.9.2	Recensement des blocs tombés en aval.....	48
3.3	Estimation des distances d'arrêt.....	49
3.3.1	Première approche par les lignes d'énergie.....	49
3.3.1.1	Principe de la méthode des lignes d'énergie.....	49
3.3.1.2	Mise en œuvre.....	51
3.3.2	Modélisations trajectographiques en 3D sur certaines zones à enjeux.....	53
3.3.2.1	Principes.....	53
3.3.2.2	Paramètres entrés.....	53
3.3.2.3	Résultats.....	55
3.4	QUALIFICATION DE L'ALEA CHUTES DE BLOCS.....	57
3.4.1	Critères de caractérisation.....	57
3.4.1.1	Intensité de l'aléa.....	57
3.4.1.2	Probabilité de départ sur une période de 100 ans.....	57
3.4.1.3	Probabilité de propagation.....	58
3.4.1.4	Probabilité d'occurrence de l'aléa de référence en un point.....	58
3.4.1.5	Qualification du niveau d'aléa en tout point.....	59
3.4.2	Aléa résultant.....	59
3.4.2.1	Zone « hors enjeux urbanisés ».....	59
3.4.2.2	Zone d'enjeux.....	61
3.4.2.3	Synthèse.....	62
4	ALEAS GLISSEMENTS DE TERRAIN.....	62
4.1	Activité historique et actuelle des phénomènes.....	62
4.1.1	Définition.....	62
4.1.2	Données disponibles.....	62
4.1.2.1	Etudes existantes.....	63
4.1.2.2	Base de données du BRGM.....	63
4.1.2.3	Éléments signalés par le Conseil Général sur la RD53.....	63
4.1.2.4	Témoignages de la population.....	63
4.1.2.5	Analyse du Lidar et des photographies aériennes.....	63
4.2	Observations sur le terrain.....	64
4.2.1	Indices d'instabilités relevés.....	64
4.2.2	Zones d'instabilités reconnues.....	64
4.2.2.1	Les anciennes carrières en amont de Claire Fontaine.....	64
4.2.2.2	Niches d'arrachements dans la moraine en rive gauche de l'Arène face à Claire Fontaine.....	64
4.2.2.3	Mouvements dans la couche d'altération argileuse en amont du quartier des Tonnes.....	65
4.2.2.4	Mouvements progressifs sur le versant de La Cha.....	67
4.3	QUALIFICATION DE L'ALEA GLISSEMENT DE TERRAIN.....	68
4.3.1	Critères de caractérisation.....	68
4.3.1.1	Détermination de la probabilité d'occurrence.....	68
4.3.1.2	Détermination de l'intensité.....	69
4.3.1.3	Détermination du niveau d'aléa.....	69
4.3.2	Aléas résultants.....	70
4.3.2.1	Classement général.....	70
4.3.2.2	Zones « hors enjeux urbanisés ».....	71

4.3.2.3 Zones avec enjeux.....	71
5 ALEAS RUISSELLEMENT.....	72
5.1 Définition.....	72
5.2 Synthèse des évènements recensés.....	72
5.3 Etat de catastrophes naturelles recensées.....	74
5.4 Analyses préalables.....	75
5.4.1 Pré-identification des axes de ruissellements potentiels par analyse du MNT.....	75
5.4.2 Croisement avec le parcours de terrain et enquêtes.....	75
5.5 Observations de terrain.....	76
5.5.1 Sectorisation du territoire.....	76
5.5.2 Secteur nord : marais de Planchon.....	77
5.5.3 Secteur centre : centre bourg et plaine de l'Arène.....	78
5.5.3.1 Centre bourg.....	78
5.5.3.2 Plaine de l'Arène.....	80
5.5.4 Secteur ouest : Plan de Mai et zone industrielle du Sauvy.....	83
5.5.4.1 Plan de Mai.....	83
5.5.4.2 Zone industrielle du Sauvy.....	83
5.5.5 Secteur est : Quartiers Grange du Murat et Murat.....	84
5.5.6 Secteur Sud : Lac de Virieu.....	87
5.6 Modélisation des écoulements.....	89
5.6.1 Rappel du contexte.....	89
5.6.2 Logiciel de modélisation et méthodes numériques de résolution.....	89
5.6.3 Modélisation du fonctionnement hydrologique du territoire couverts.....	90
5.6.4 Construction du modèle.....	91
5.6.4.1 Données.....	91
5.6.4.2 Eléments de forçage du maillage.....	93
5.6.4.3 Construction des lits mineurs et des ouvrages.....	93
5.6.4.4 Construction du maillage de calcul.....	94
5.6.4.5 Connexions 1D/2D.....	95
5.6.4.6 Conditions aux limites et hypothèses de travail.....	96
5.6.5 Validation du modèle.....	96
5.6.5.1 Reproduction des débits centennaux par le modèle de ruissellement.....	96
5.6.5.2 Reproduction des désordres observés.....	97
5.6.5.3 Paramètres retenus.....	98
5.7 Qualification de l'aléa ruissellement.....	99
5.7.1 Grilles de qualification.....	99
5.7.2 Aléas résultants.....	100
5.7.3 Aléa très faible de ruissellement.....	101
6 Aléas crues torrentielles.....	102
6.1 Définition.....	102
6.2 Synthèse des évènements recensés.....	102
6.3 Description de l'Arène sur les sites à enjeux.....	102
6.4 Transport solide et activité morphologiques.....	107
6.4.1 Méthodologie.....	107
6.4.1.1 Granulométrie.....	107
6.4.1.2 Hydrologie.....	107
6.4.1.3 Modèles utilisés.....	107
6.4.2 Résultats des capacités de charriage.....	109
6.4.2.1 Préalables importants.....	109
6.4.2.2 Résultats.....	109
6.4.3 Incidences sur l'évolution des fonds du lit en crue.....	110
6.4.3.1 Incidence d'une crue centennale avec charriage sédimentaire.....	111
6.4.3.2 Arrachement superficiel de 50 m ³ de moraine.....	112

6.4.3.3 Arrachement superficiel de 150m3 de moraines.....	112
6.4.3.4 Arrachement généralisé de la moraine.....	113
6.5 Caractérisation de l'aléa.....	114
6.6 Qualification de l'aléa.....	116
6.6.1 Justification du type d'aléa retenu.....	116
6.6.2 Grille de qualification.....	117
6.6.3 Aléas résultants.....	119
6.6.4 Assemblage des aléas inondation.....	120
7 Cartes et figures hors texte.....	121

1 PREAMBULE

1.1 Objet

La présente étude est réalisée pour le compte de la Direction Départementale des Territoires de l'Ain, dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRN).

1.2 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 MEZAP).

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.
- 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.

1.2.1 Échelle et fonds de références des documents originaux

Documents	Echelle originale	Fond de référence
<i>Cartes des aléas Mouvements de terrain</i>	<i>1/5000</i>	<i>- Cadastre - Orthophoto sur l'extrémité Nord-Est</i>
<i>Cartes des aléas Ruissellement et crues torrentielles</i>	<i>1/5000</i>	<i>- Cadastre - Orthophoto sur l'extrémité Nord-Est</i>

1.2.2 Version du rapport et des cartes correspondantes

Documents	Version correspondante
<i>Rapport</i>	<i>v 1</i>
<i>Cartes des aléas</i>	<i>v 1</i>

2 CADRE PHYSIQUE

2.1 Cadre topographique

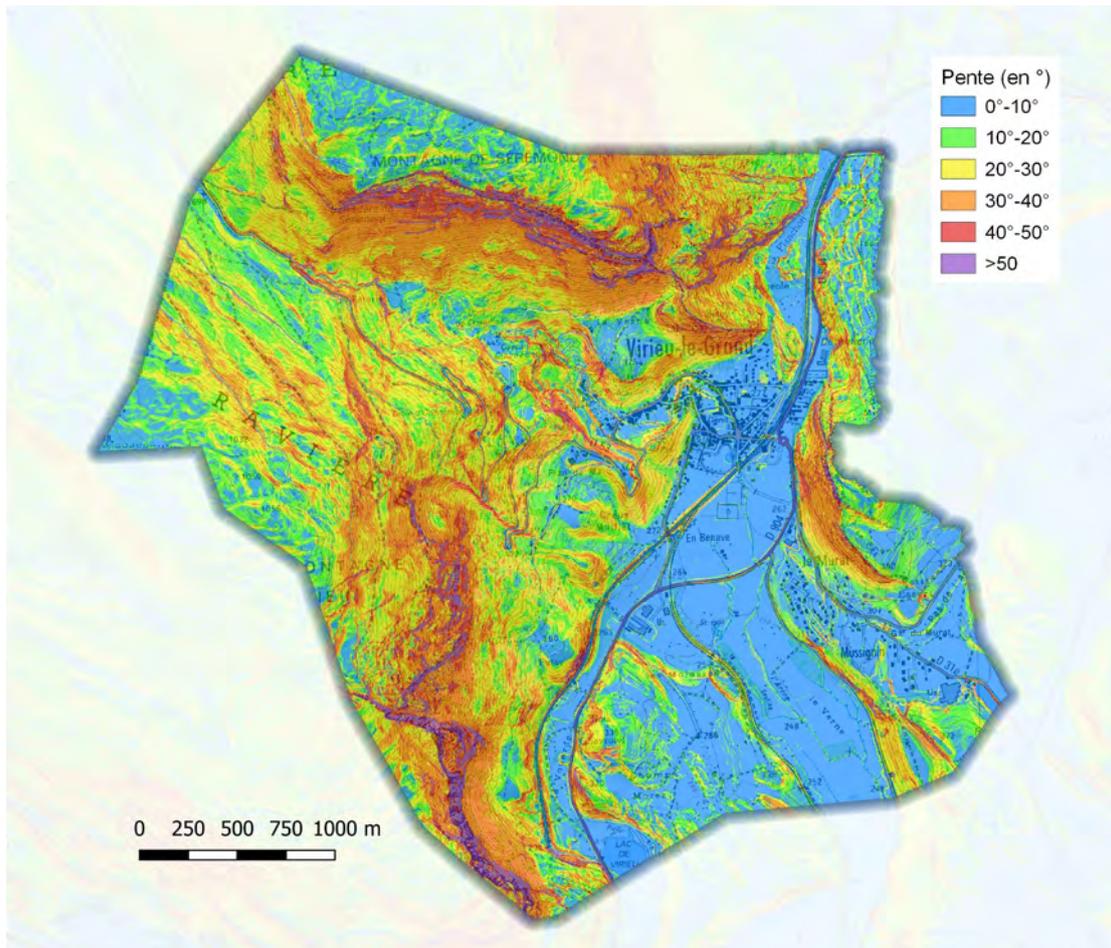
La commune de Virieu le Grand s'étend sur 12,5 km². Le territoire s'étage entre 246 m dans la vallée de l'Arène et 1056m au sommet de la Grande montagne de Virieu.

Il est marqué au Nord par la Montagne de Sérémont, à l'Ouest la Grande Montagne de Virieu, mais également par des reliefs moins élevés à l'Est : Rochers de la Cra, Mollard de la Grue, l'Essart...

Il est traversé du nord-ouest vers le sud-est par le cours de l'Arène, torrent issu de la commune amont Thézillieu et qui s'écoule sur le territoire communal de Virieu le Grand entre les altitudes 697 m en amont et 246 m en aval à la limite communale avec Pugieu.

La carte ci-dessous illustre les pentes observées et l'occupation du sol.

Les zones urbanisées et à urbaniser sont situées principalement dans les pentes faibles (<10°), ainsi que les zones agricoles. Les pentes supérieures à 35° correspondent à des affleurements rocheux escarpés. Les pentes intermédiaires sont principalement occupées par des zones boisées.



2.2 Cadre géologique

2.2.1 Formations géologiques en présence

(cf carte géologique pages suivantes)

2.2.1.1 Substratum rocheux

Excepté sur une petite partie de la Montagne de Sérémond à l'extrémité Nord-Ouest de la commune, le substratum est composé de calcaires jurassiques.

Les plus grandes falaises (Montagne de Sérémond, Grande Montagne de Virieu) correspondent à la série supérieure du Kimmeridgien (J7-J8), soit des calcaires assez fins. Leur niveau inférieur évolue vers de la dolomie (J7).

Le niveau Oxfordien (J6) constitue les escarpements qui se prolongent du Bétéy aux Rochers de La Craz, et affleure ponctuellement dans les talus de la RD53, dans les falaises face au Lac de Virieu, etc.

Les niveaux inférieurs de l'Oxfordien (J5-4), du Callovien (J3) et du Bathonien (J2), qui forment la colline centrale à l'Est du Lac de Virieu, et les barres rocheuses dominant la RD31j au Sud du Murat, sont plus finement lités et à tendance plus argileuse.

Il est fort probable que sous les éboulis qui nappent le pied du versant Est de la Grande Montagne de Virieu, se trouvent des marnes oxfordiennes (J5), au contact desquelles s'effectuent les circulations hydriques, configuration favorable aux glissements lents de versant observés.

2.2.1.2 Formations de couverture

Les dépôts glaciaires de l'époque würmienne couvrent une grande partie de la vallée, au-delà de ce qui est affiché sur la carte géologique.

Leur composition et leur structure varient en fonction du stade de retrait. Avec un squelette caillouteux assez dense, s'apparentant à des graves bien drainées, elles peuvent s'avérer plutôt stables, se tenant sur des pentes soutenues, comme il est observé dans le secteur du Murat. Mais elles peuvent connaître des érosions régressives, que ce soit au niveau des fronts d'anciennes carrières de matériaux (Quartier Ouest de Claire Fontaine) ou sous l'effet de l'érosion torrentielle ancienne (rive gauche de l'Arène, face aux anciennes usines de Claire Fontaine). Ponctuellement, les gros blocs peuvent donc se déchausser et se propager en aval lorsque les pentes sont très raides.

Lorsque ces dépôts couvrent des marnes imperméables, ils peuvent aussi être sujets à des fluages plus ou moins lents selon la pente et les apports d'eau qui jouent un rôle lubrificateur. C'est le cas sur le versant au Sud-Ouest de Plan de Mai et sur le coteau Est de Claire Fontaine où ont été installés des filets pare-blocs.

2.2.1.3 Carte géologique du BRGM



Légende:		(source: www.geoportail.gouv.fr et www.infoterre.brgm.fr)		
J - Calcaires du Jurassique: J1-Bajocien J2-Bathonien J3-Callovien J4-5-6-Oxfordien J7-8-Kimmeridgien J9-Portlandien				
	Calcaires avec intercalation d'un niveau marnocalcaire du Valanginien			
	Marnes, dolomies et calcaires fins du Portlandien			
	Dépôts glaciaires du Würm - formation de Lompnas		Dépôts glaciaires du Würm - stade de Virieu et niveau d'érosion	
	formation de Grange-du-Murat/Rix			
	Ancien cône de déjection torrentiel et très basse terrasse fluviale de l'époque du Würm			Eboulis
	Faïlle tectonique continue		Continuité supposée de la faille tectonique	
	Limite de commune			Réseau hydrographique (BD Carthage)

2.2.2 Tectonique

■ Failles de chevauchement

Deux familles de failles tectoniques compartimentent la partie Ouest du territoire de Virieu-Le-Grand, des failles orientées Nord-Nord-Est et d'autres orientées Nord-Ouest. Il s'agit de failles de chevauchement issues de la surrection alpine qui créent des contacts anormaux entre les couches sédimentaires.

La montagne de Sérémont, comme la Grande Montagne de Virieu, correspondent à des anticlinaux de rampe séparés par des failles de chevauchement. Au Sud-Ouest de la Montagne, le pli affectant le Kimmeridgien supérieur se déverse au contact d'une de ces failles. L'Est de la Grande Montagne de Virieu a particulièrement été impacté par les mouvements tectoniques, puisqu'il s'agit du sommet du pli dans les couches déversées. Les mouvements subis durant les déformations ont broyé une partie du massif calcaire, qui se trouve fortement fracturé dans cette zone.

■ Impact sur la stabilité des affleurements rocheux

Le glissement rocheux très ancien qui affecte une partie du versant Est de la Grande Montagne de Virieu, crevassant les calcaires du Kimmeridgien, n'est vraisemblablement pas sans lien avec le croisement de plusieurs failles à ce niveau, dessinant une sorte de triangle. La principale franchit le secteur du Nord-Ouest au Sud-Est. Bien visible dans le paysage, elle délimite très clairement aussi des rochers nettement plus compacts au Sud, où ils constituent de grandes falaises, qu'au Nord.

La carte géologique du BRGM trace la continuité supposée d'une seconde faille, d'orientation N/S intersectant avec un angle de 45° la première au niveau de la voie ferrée, un peu au Sud du lieu-dit Putay. Une troisième faille orientée grossièrement E/W est présumée dans ce secteur.

2.3 Cadre hydrographique et hydrogéologique

2.3.1 Réseau hydrographique

■ Réseau principal et plans d'eau

Le réseau hydrographique qui se déploie sur la commune de Virieu-le-Grand est constitué (voir figure en page suivante) :

- au nord, par la chaîne des marais du Fays qui débute avec le Planchon, suivi de 2 étangs sur les communes de Belmont (rive nord) et Saint-Martin-de-Bavel (rive sud) pour donner naissance au ruisseau de l'Eau Morte qui se jette dans le Séran. Seul le marais de Planchon est situé sur la commune de Virieu-le-Grand ;
- du nord-ouest vers le sud-est, le cours de l'Arène. Ce cours d'eau prend sa source sur la commune Thézillieu, 6,5 km en amont du bourg de Virieu-le-Grand. Sur le territoire communal, il présente trois principales typologies :
 - Un torrent non pérenne, en amont de la cascade de Claire Fontaine,

- Un cours torrentiel pérenne de la cascade au centre bourg, avec une pente longitudinale qui s'abaisse progressivement,
- La traversée de la plaine en aval du bourg, avant d'alimenter le Grand Marais (sur la commune de Pugieu au sud) et rejoindre le cours du Furans.

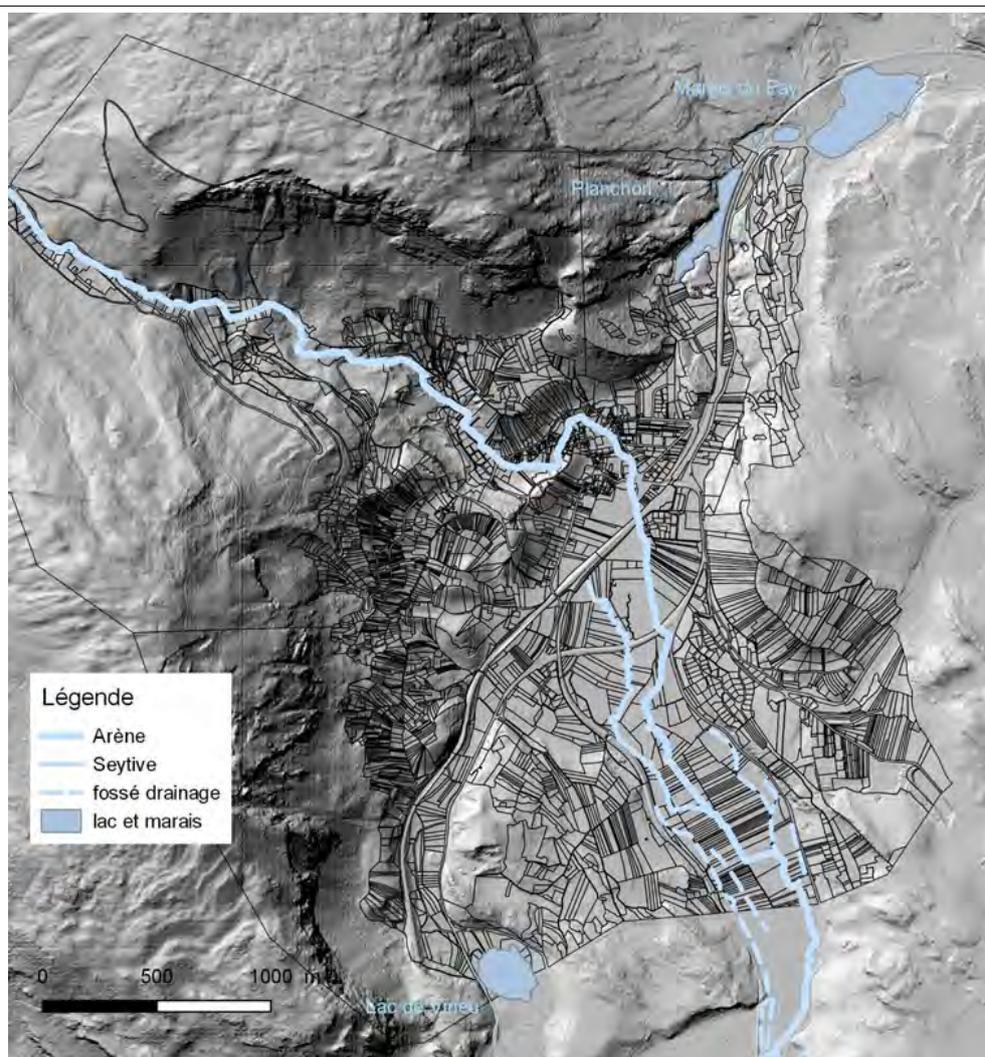
Sur son parcours communal, l'Arène reçoit les eaux du ruisseau de la Seytive, affluent rive droite, ainsi que d'autres petits canaux drainant la plaine (la Tortillante en rive gauche) ;

- le lac de Virieu, au sud, lac naturel ;
- une étendue d'eau le long de la RD31e, au-dessus de Grange Murat, en direction de Cuzieu, d'origine artificielle. Il s'agirait d'une ancienne carrière à chaux, qui s'est remplie ;
- enfin, hors périmètre communal, mais dans le bassin versant alimentant le réseau hydrographique du quartier du Murat, un ancien étang sur la commune de Cuzieux, au lieu-dit Prés de l'Etang. La digue de cet étang est rompue.

L'analyse de la carte IGN et du Lidar dans la plaine de l'Arène montre que le cours de l'Arène est situé en point haut alors que la Seytive assure le drainage du fond du vallon. Cette situation débute en aval de l'avenue de la Gare (zone de transition) pour être franchement marquée en aval de la voie ferrée.

Ces tracés sont déjà portés sur les cartes anciennes, notamment la carte de l'état-major de 1820-1866.

Réseau hydrographique principal



Morphologie du fond de vallée



■ Principaux fossés et thalwegs

La situation orographique du bourg de Virieu le Grand, enserré de reliefs, crée une multitude de combes plus ou moins marquées, sèches en dehors des épisodes de pluies.

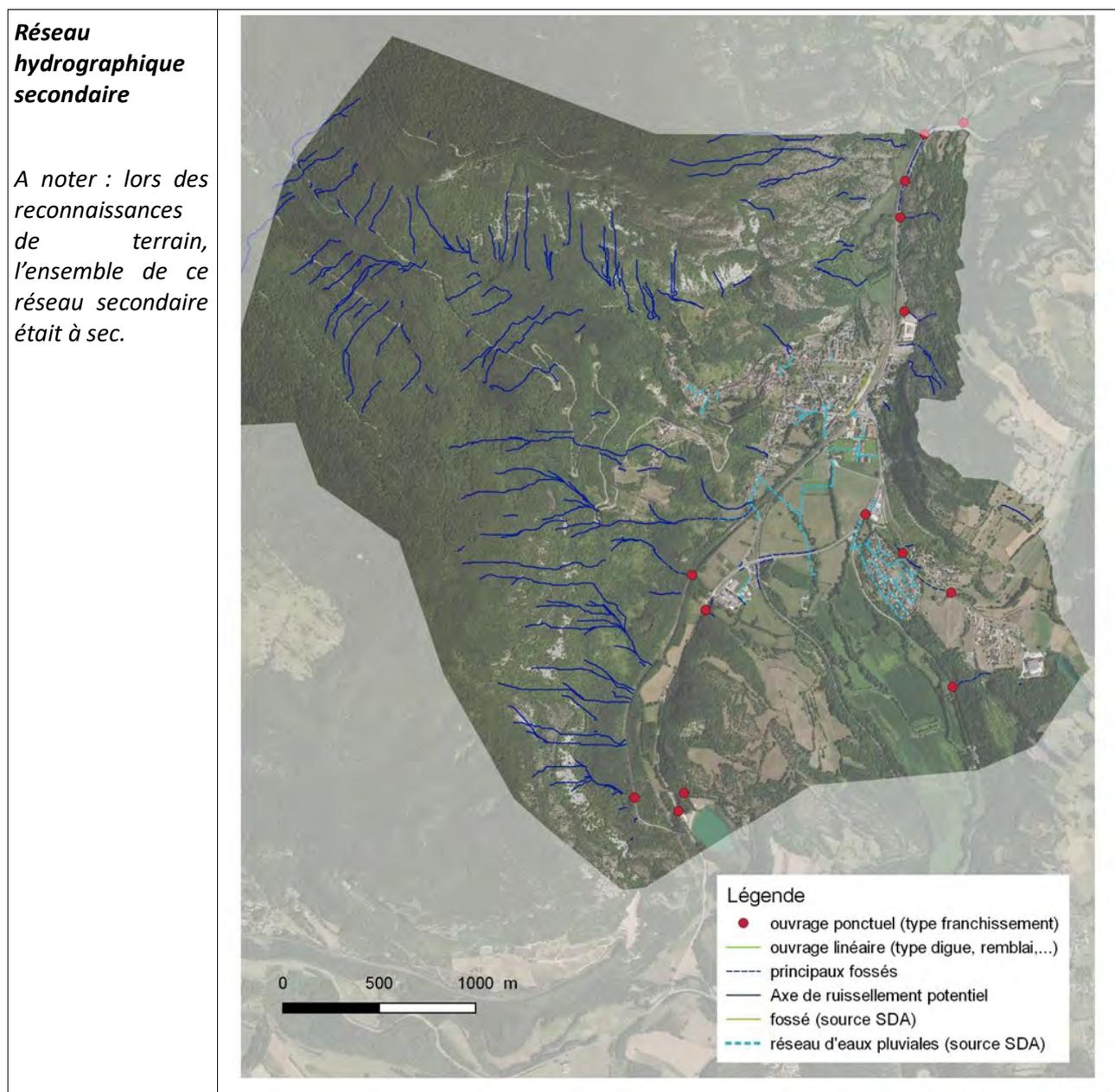
Un traitement informatique du LIDAR (voir les étapes des analyses de pré-traitement décrites au paragraphe Erreur : source de la référence non trouvée) a permis d'identifier au préalable tous les axes d'écoulement potentiels du territoire sur les versants. L'analyse de la carte IGN et le parcours de terrain en complément ont permis de retenir les principaux, reportés sur la carte en page suivante. Il s'agit pour l'essentiel de :

- quelques combes alimentant le secteur de l'étang de Planchon au nord,
- les combes marquées alimentant le cours supérieur de l'Arène,
- les combes marquées sur le flanc Est de la Grande Montagne de Virieu, interceptées en pied par la voie ferrée,
- quelques combes courtes du côté des la Pierre Grise et des Rochers de la Cra.

Enfin, il existe un certain nombre de fossés qui peuvent jouer un rôle dans la formation des crues et l'inondation de certains secteurs. Certains d'entre eux sont connectés avec le réseau d'assainissement pluvial de la commune¹. Ces principaux fossés communaux sont :

- le fossé plus ou moins continu sur le quartier de Grange Murat et du Murat, alimenté par les eaux de versant issus des reliefs est ;
- le fossé en entrée sud du bourg connecté en amont à un thalweg principal, en aval au pluvial de la route de Lyon ;

La carte en ci-dessous détaille ce réseau hydrographique secondaire constitué des thalwegs et fossés.



1 Source : Schéma directeur d'assainissement (SDA)

2.3.2 Hydrogéologie

■ Substratum rocheux

Comme indiqué dans la synthèse du contexte géologique, le substratum local est essentiellement constitué de calcaires Jurassiques qui forment les plateaux et falaises dominant la commune au nord (montagne de Sérémont) et à l'ouest (Grande Montagne de Virieu). Ces calcaires affleurent également plus bas, au niveau des escarpements qui se prolongent du Bétey aux Rochers de La Craz, dans les talus de la RD53, dans les falaises face au Lac de Virieu ainsi qu'au niveau de la colline centrale à l'Est du Lac de Virieu, et les barres rocheuses dominant la RD31j au Sud du Murat.

En fonction de leur nature plus ou moins compacte, de la présence de failles et fractures ainsi que de leur degré d'altération, ces calcaires sont susceptibles d'être le siège de circulations karstiques importantes, comme illustré par la cascade de Claire Fontaine. L'importance de ces phénomènes d'infiltration des eaux vers le réseau karstique souterrain est également illustrée par la quasi absence de réseau hydrographique de surface dans les secteurs où le substratum affleure. Une fois les eaux infiltrées, les circulations sont complexes et peu connues mais se font gravitairement dans le réseau karstique jusqu'à rencontrer un niveau imperméable localement constitué par les marnes oxfordiennes au toit desquelles peuvent se trouver des sources dont il est difficile de différencier l'origine et de définir le bassin d'alimentation d'après la notice de la carte géologique du BRGM. Au niveau du périmètre d'étude, on note ainsi les points suivants :

- le versant orienté Est « la Cha » sous la « grande montagne de Virieu », présente de nombreuses sources dans la partie basse du versant, mais également à mi pente (Plan de Mai) ;
- le relief du Murat abrite également des sources aux lieux-dits Grange Murat et Murat. Les sources du Murat auraient fait l'objet d'un détournement lors de l'aménagement du lotissement du même nom ;
- en revanche la Montagne de Sérémont² au nord présente des versants plus secs : les phénomènes de résurgences semblent se localiser en pied de versant, dans la zone du marais de Planchon, alimenté principalement par des sources en période hivernale.

■ Formations de couvertures

En ce qui concerne la couverture du substratum Jurassique, on peut distinguer les éboulis de pente d'une part, les dépôts glaciaires de l'époque wurmienne et les alluvions de l'Arène et de la Seytive d'autre part.

Les **éboulis de pente** sont principalement localisés en pied des falaises de la Grande Montagne de Virieu. De par leur nature grossière, ces formations sont majoritairement le siège d'infiltrations des eaux de pluie qui migreront gravitairement jusqu'à rencontrer un niveau imperméable former des sources généralement peu importantes et directement liées aux événements pluvieux.

Les dépôts glaciaires de l'époque wurmienne couvrent quant à eux une grande partie de la vallée. Selon leur granulométrie et en lien avec les alluvions récentes de l'Arène et de la Seytive, ces

2 La montagne de Sérémont abrite deux ZNIEFF de type 1, à caractère sec : la montagne de Sérémont (n°820031212) et les pelouses sèches de Virieu le Grand (n°820031185)

dépôts peuvent abriter des nappes d'accompagnement des cours d'eau, d'extension limitée par la proximité des versants.

2.3.3 Eléments anthropiques majeurs dans les phénomènes de ruissellement et d'inondation

Le territoire communal est également marqué par des infrastructures majeures pouvant modifier les conditions d'écoulement des eaux. On notera plus particulièrement :

- le remblai de la voie ferrée (ligne Ambérieu – Culoz) dans toute la traversée de la commune avec :
 - o au nord : le remblai créé un certain isolement de la zone marécageuse du Planchon,
 - o la traversée de la plaine de l'Arène avec un point de drainage principal constitué par l'ouvrage sur l'Arène
 - o au sud, au pied des montagnes de La Cha/ Grande Montagne de Virieu, le remblai est implanté à proximité du versant et contraint les exutoires des combes : les eaux peuvent être stockées derrière le remblai et évacuées par les ouvrages de rétablissement régulièrement aménagés. ;
- la route départementale RD904, également en remblai dans la traversée de la plaine de l'Arène (jusqu'à 3 mètres au-dessus du terrain naturel),
- l'ancienne voie ferrée en direction de Chazey-Bons (vélorail).

3 ALEAS CHUTES DE BLOCS

3.1 Activité historique et actuelle des phénomènes

3.1.1 Définition

Chute d'éléments rocheux d'un volume unitaire compris entre quelques centimètres cubes et quelques mètres cubes. Le volume total mobilisé lors d'un épisode donné est inférieur à une centaine de mètres cubes. Au-delà, on parle d'écroulements en masse, pris en compte seulement lorsqu'ils sont facilement prévisibles.

3.1.2 Synthèse des évènements recensés

Seuls les évènements datés sont repris dans le tableau suivant, mais le recensement des blocs sur le terrain témoigne d'une activité historique des éboulements beaucoup plus soutenue, dont la carte des phénomènes permet de se rendre compte, en complément.

Les numéros renvoient à cette carte et aux explications dans les paragraphes suivants du rapport.

N°	Date	Secteur	Descriptif	Source
1	2019	Rochers de la Craz	Chute d'un petit bloc dans un jardin privé (parcelle 378)	Témoignage
2	2017/11/18	Rochers de la Craz	Détachement d'une masse de 250m ³ environ depuis la cote 415, ayant éclaté en éléments de quelques centaines de litres à plusieurs m ³ . Une trentaine de blocs de 500l à 4m ³ ayant atteint la RD904 (cote 264) et les jardins privés de l'autre côté.	BRGM 2017 SAGE 2017 archives DDT/ CG01/commune
3	2011/03/19	Rochers de la Craz	Blocs de volume de l'ordre de 1m ³ (voire un peu plus?) ayant franchi la RD904 et endommagé le mur d'une propriété Belmondi à la parcelle N°98. Parti à quelques mètres de l'évènement de 2017, arrivée semblable. Un des blocs encore visible dans la parcelle N°	Témoignages divers Photographies prises par des habitants
4	2012/05	Quartier des Tonnes	Chute d'un bloc de 200kg sur la propriété Bruni. Un véhicule endommagé.	ANTEA 2012
5	2010/05	Quartier des Tonnes	Chute d'un bloc de 50kg sur la propriété Codex.	ANTEA 2012
6	2010	Quartier des Tonnes	Chute d'un bloc de 50kg sur la propriété Parent, ayant franchi la route de Hauteville.	ANTEA 2012

7	2007/02	Quartier des Tonnes	Chute d'un bloc de 50kg ayant franchi la route de Hauteville.	ANTEA 2012
8	1987	Quartier des Tonnes	Chute d'un bloc de 150kg sur la propriété Crétin.	ANTEA 2012
9	1985	Quartier des Tonnes	Chute d'un bloc de 300kg après abattage dans le bois.	ANTEA 2012
10	Début des années 1950	Rochers de la Craz	Chute d'un bloc d'une trentaine de tonnes (10-15m3) dont l'impact a sérieusement endommagé la voie ferrée montant à l'usine de Chaux et Ciments (livraison de charbon interrompue) et s'étant arrêté à l'extrémité SE de la parcelle N°103.	Témoignages
11	Fin du XIXe siècle	Rochers de la Craz	Chute de très grosses masses rocheuses dans l'emprise des événements de 2017 et au Nord (traces dans la végétation).	Photographies anciennes

3.1.3 Informations disponibles dans les archives

3.1.3.1 Etudes techniques existantes

Le service des risques de la DDT dispose d'une copie de la plupart des études techniques réalisées, hormis le dossier de récolement des filets de protection des Tonnes (archives municipales).

■ Rochers de la Craz

Les études disponibles concernant les Rochers de La Craz sont toutes postérieures à l'évènement de novembre 2017. Elles ne concernent que ce site. Le reste de la falaise n'a pas fait l'objet d'investigations jusqu'à présent.

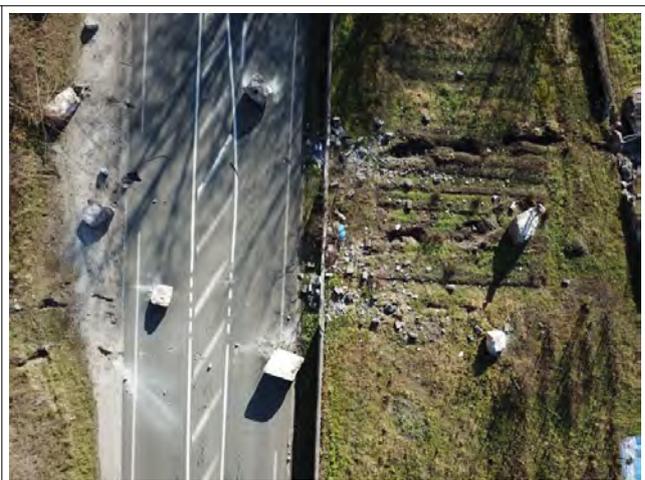
Date	Auteur	Titre	Référence	Maître d'Ouvrage	Localisation des archives
2018	BRGM	Examen critique de la cartographie de l'aléa rocheux du PPRN de Virieu-le-G.	BRGM/RP-67740-FR	Préfecture de l'Ain (SIDPC01)	DDT/SUR/PR
2017	BRGM	Rapport d'expertise: éboulement de la falaise de la Craz du 18/11/2017 sur la RD904	BRGM/RP-67668-FR	Préfecture de l'Ain (SIDPC01)	DDT/SUR/PR Mairie
2017	SAGE	Compte-rendu d'intervention d'urgence du 22/11/2017 suite à l'éboulement du 18/11/2017		DDT/Agence routière et Technique Bugey-Sud DGA	DDT/SUR/PR Mairie
2017	BRGM	Compte-rendu de visite			DDT/SUR/PR

		sommaire le 18/11/2017 suite à l'éboulement survenu sur les falaises des Rochers de La Craz		Mairie
--	--	---	--	--------



Rochers de La Craz:

Localisation de la zone de départ et de la zone d'arrêt des blocs lors de l'évènement de 2017
(source : rapport SAGE 2017)



<i>Vue des blocs tombés sur la RD904 en novembre 2017 (source : rapport SAGE 2017)</i>	<i>Vue des blocs tombés sur la RD904 en novembre 2017 (source : rapport SAGE 2017)</i>
--	--

■ **Quartier des Tonnes / Chaveyron / Au Mortier (improprement appelé "de Claire Fontaine" dans les études ANTEA et BRGM)**

Les études conduites sur le quartier dit "de Claire-Fontaine" font suite à la succession de chutes de blocs signalée par les riverains à la municipalité, et à la nécessité d'installer des filets de protection.

<i>Date</i>	<i>Auteur</i>	<i>Titre</i>	<i>Référence</i>	<i>Maître d'Ouvrage</i>	<i>Localisation des archives</i>
2014	FTTA	<i>Dossier de récolement: pose d'écrans de filets métalliques (secteur de Claire Fontaine)</i>		<i>Commune de Virieu-le-G.</i>	<i>Mairie</i>
2013	ANTEA	<i>Programme de travaux de protection contre les chutes de masses rocheuses - Quartier de Claire Fontaine</i>	71048/A	<i>Commune de Virieu-le-G.</i>	<i>DDT/SUR/PR Mairie</i>
2012	ANTEA	<i>Examen des chutes de masses rocheuses - Quartier de Claire Fontaine</i>	67682/A	<i>Commune de Virieu-le-G.</i>	<i>DDT/SUR/PR</i>

Le rapport ANTEA - 2012 recense 6 évènements de chutes de blocs qui se sont produites entre 1985 et 2012, et ont atteint les parcelles bâties. Au vu de cette fréquence, il est très probable qu'il y en ait eu aussi antérieurement. Il ne semble pas qu'il y en ait eu après 2012, aucun élément n'étant visible dans les filets accessibles (développement important des broussailles depuis leur installation).

Les éléments tombés sont grossièrement en forme "de boule", la plus favorable à une propagation longue, et leurs masses varient de 50 à 300kg.



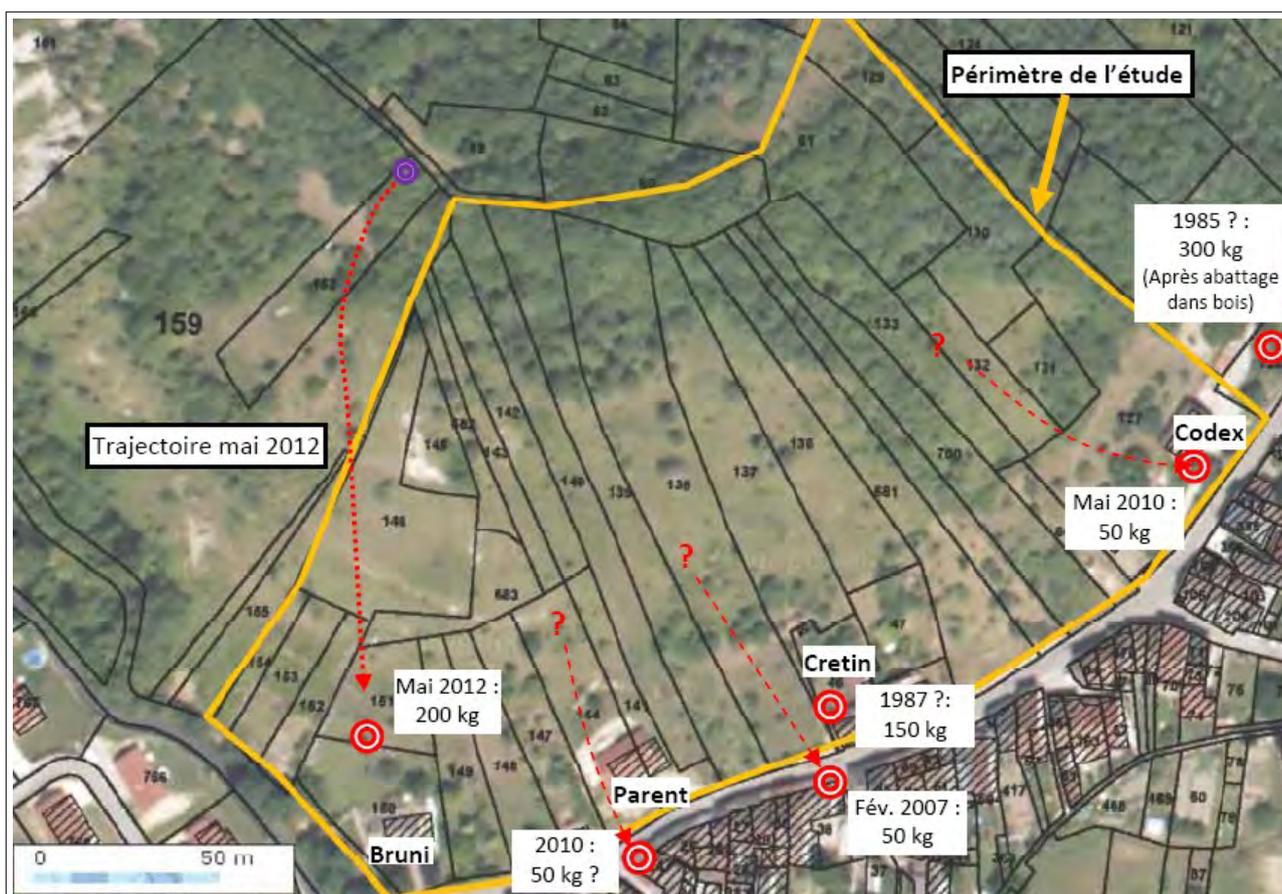
Quartier des Tonnes / Chaveyron / Au Mortier:

- à gauche, le bloc de 200kg tombé en 2012 dans la propriété Bruni (véhicule endommagé)
- à droite, le bloc de 150kg tombé en 1987 dans la propriété Crétin

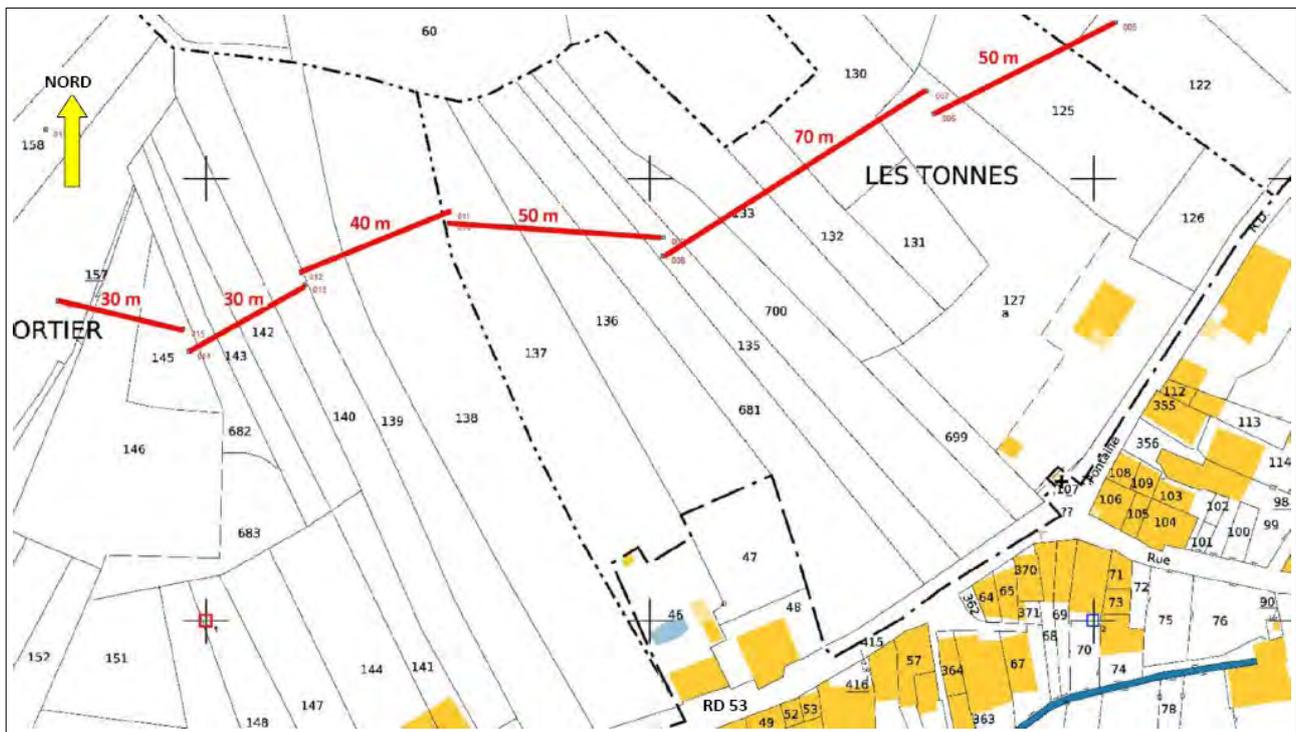
(source : rapport ANTEA juillet 2012)

Les plus grandes distances parcourues à notre connaissance sont celles de 2 blocs de 50kg environ, qui ont franchi la route de Hauteville en 2007 et 2010 (cf carte page suivante).

D'après ce recensement historique, les volumes parvenus dans les zones habitées paraissent relativement modestes par rapport à la taille des éléments encore instables dans les zones de départ (analyse d'ANTEA confirmée par ALPES-GEO-CONSEIL).



Quartier des Tonnes / Chaveyron / Au Mortier:
historique des chutes de blocs (ANTEA - juillet 2012)



Quartier des Tonnes / Chaveyron / Au Mortier:
implantation des filets de protection pare-blocs (ANTEA - juin 2013)

3.1.3.2 Base de données du BRGM

La base de données Mouvements de terrain (MVT et CAV) du BRGM ne signale que l'éboulement de 2017 sous les Rochers de la Craz.

3.1.3.3 Informations signalées sur la voie ferrée

■ Versant dominant la voie ferrée au Sud Ouest de la commune

La SNCF a signalé à la commune des éboulements menaçant la voie ferrée de la ligne Lyon-Genève entre le point kilométrique 90.200 et 90.280 (archives municipales). Des filets de protection ont été installés par la SNCF sur la parcelle N°321 section OC dans le secteur du Putay.

3.1.3.4 Courriers de riverains impactés

■ Quartier des Tonnes / Chaveyron / Au Mortier

Des riverains dont des biens ont été endommagés et pour lesquels se posaient des problèmes d'assurance ont signalé les phénomènes à la commune (archives municipales) ce qui, au vu de la fréquence des phénomènes, a motivé l'installation de filets de protection.

3.1.4 Informations fournies par les témoignages

Les témoignages recueillis auprès de la population (9 personnes + employés municipaux) permettent d'appréhender la fréquence des éboulements sur les dernières décennies. Il s'agit évidemment d'une première approche indispensable, qui demandait à être complétée par les relevés de terrains.

■ Rochers de la Craz

Dans la même trajectoire que l'évènement de 2017, un premier éboulement avait eu lieu le 19 mars 2011. Le volume total de départ était moins important, mais celui des unités ayant franchi la départementale est assez proche d'après les photographies fournies. L'un d'entre eux, de l'ordre de 3m³, est toujours visible sur la parcelle N°267 (à l'Est du petit immeuble d'habitation).

Il nous a été signalé que des chutes de blocs avaient déjà franchi la route départementale au début des années 1950.



Rochers de La Craz:
zone de départ de l'éboulement de 2011, prise dans les jours suivants l'évènement.

L'arrachement qui aura lieu en 2017 se situe dans le prolongement.



Récemment, des éléments isolés de petits volumes se sont aussi détachés plus discrètement sur la partie Nord et se sont arrêtés en bordure des jardins, à côté de blocs anciens dont les volumes atteignent plusieurs dizaines de litres à environ 1 m³.

Côté Sud, les habitants du quartier de Mussignin (rue et impasse de la Craz, chemin de Cochioz) déclarent ne jamais avoir observé de chutes de blocs dans les terrains les dominant. (Pourtant, le recensement à pied dans les broussailles a bien mis en évidence des blocs tombés, peut-être anciennement).

■ **Rochers des Tonnes / Chaveyron / Au Mortier**

L'étude ANTEA de 2012, reprise dans le PPR précédent, avait déjà recueilli de nombreuses informations très précises sur l'historicité et la récurrence des chutes de blocs sur le quartier de 1985 à 2012. Les témoins interrogés n'ont pas révélé de nouvelles données. L'enquête n'a donc pas été approfondie dans la présente étude, aucun élément ne semblant avoir franchi les filets depuis leur installation.

En revanche, la sensibilité aux incendies des parcelles où ont été implantées les dispositifs de protection est bien confirmée (témoignage de riverains et de la municipalité): 3 départs auraient eu lieu depuis les années 1990, comme en témoignent les traces sur les pins. Ils ont été jugulés par les pompiers mais ce risque peut menacer les installations, qui exigent d'être vérifiées par un spécialiste si elles sont soumises à de très fortes températures.

■ **Falaises du versant dominant la voie ferrée au Sud de la commune**

Des chasseurs ont signalé la fréquence des éboulements dans les bois et les éboulis du versant Est de la Grande Montagne de Virieu, dont certains tenaient compte dans leur parcours en hiver, évitant les zones les plus exposées. La chute de blocs dont le volume atteignait plusieurs mètres cubes a été observée dans les années 1960, depuis les falaises au Nord-Ouest du lac de Virieu. Ils se sont propagés jusqu'à très basse altitude, mais n'ont pas atteint la voie ferrée (événement que les témoins n'ont pas réussi à localiser précisément sur l'orthophoto, donc non figuré sur la carte). Le phénomène avait cependant été signalé à la SNCF.

■ **Rocher de Plan de Mai**

Le rapport d'examen critique de l'aléa rocheux du PPRN de Virieu-Le-Grand, établi par le BRGM en février 2018, fait état, p26, d'un rocher tombé sur le quartier de Plan de Mai. L'information provenait d'un témoignage oral probablement imprécis et mal compris.

Renseignements pris auprès de plusieurs témoins (l'ancienne maire, des chasseurs, des habitants du bourg), et vérification effectuée sur le terrain, il s'agit d'un bloc de (**volume à ré-estimer sur place**) m³ que des travaux de terrassement d'une piste forestière à la cote 630 ont déchaussé et basculé dans les années 1990. (Le bloc a échappé à l'engin alors qu'il cherchait à le caler en contrebas de la piste). Il ne provenait donc pas de la paroi rocheuse tel que présumé initialement par le BRGM, mais d'éboulis très anciens et de dépôts fluvio-glaciaires. Le bloc a franchi les différents niveaux de la route départementale, y laissant de profonds impacts, et s'est arrêté dans les broussailles, sur la parcelle N°724 où il reste visible.

3.1.5 Informations fournies par les photographies anciennes

■ Rochers de la Craz

Plusieurs vues des Rochers de La Cra, de résolutions variables, montrent de très gros blocs de plusieurs dizaines de mètres cubes déjà tombés dans le tablier d'éboulis. D'après les traces encore visibles dans la végétation les événements doivent dater de la deuxième moitié du XIXe siècle. L'un d'entre eux pourrait correspondre au bloc qui se trouvait en équilibre instable au bord de l'ancienne carrière, miné en 2017 suite aux nouveaux éboulements (mais qui était déjà présent auparavant). Les autres, vers le Nord, correspondent vraisemblablement au chaos de blocs reconnu lors des investigations terrain de Alpes-Géo-Conseil en 2019, totalement masqués par les buis. Ils sont situés au droit d'une habitation.



Rochers de la Craz: vue de la fin du XIXe siècle.

3.1.6 Informations fournies par l'analyse du MNT et des photographies aériennes

■ Orthophotographie et MNT: origine et résolution des données

L'orthophoto est une photographie aérienne géoréférencée, réalisée par l'IGN, fournie par la DDT. Certaines missions peuvent être visualisées publiquement aussi sur le site Géoportail.

Le Modèle Numérique de Terrain (MNT) est une base de données topographiques maillées (X, Y, Z) qui couvre l'ensemble du territoire communal. Elle provient de la RGE Alti produite par l'IGN. Sa résolution sur ce territoire est au pas de 1m. Le MNT RGE ALTI® décrit la forme et la position du terrain nu, c'est-à-dire du terrain débarrassé de tous les éléments de "sursol" au premier rang desquels le bâti et la végétation : cultures, haies, broussailles, arbres isolés, bosquet, bois, forêt, etc. Le sol ainsi défini décrit la surface terrestre, qu'il s'agisse du terrain naturel ou bien du terrain aménagé par l'homme : routes, voies ferrées, digue, terrassements, etc. Les dépôts temporaires tels que les bottes de paille dans les champs, les tas de graviers dans les carrières, les troncs d'arbres coupés et entassés dans les forêts, les tas de sables, etc., sont considérés comme du "sursol" : ils ne sont donc pas retenus dans la modélisation de l'IGN. Ce traitement est opéré de façon automatique.

De fait, les blocs, même lorsqu'il s'agit de très gros volumes, ont été effacés du MNT par l'IGN.

■ Pré-repérage d'indices d'activité historique

Les surfaces d'éboulis vifs ont été numérisées sous SIG sur la base des orthophotographies actuelles. Elles sont un peu moins étendues que celles figurées par le BRGM sur sa cartographie de l'activité rocheuse connue du rapport d'examen critique de la cartographie de l'aléa rocheux du PPRN daté de 2018, laquelle avait peut-être tenu compte de photographies aériennes plus anciennes, où les éboulis étaient moins colonisés par la végétation.

Cette information rappelle qu'une activité discrète mais récurrente s'opère au droit des falaises.

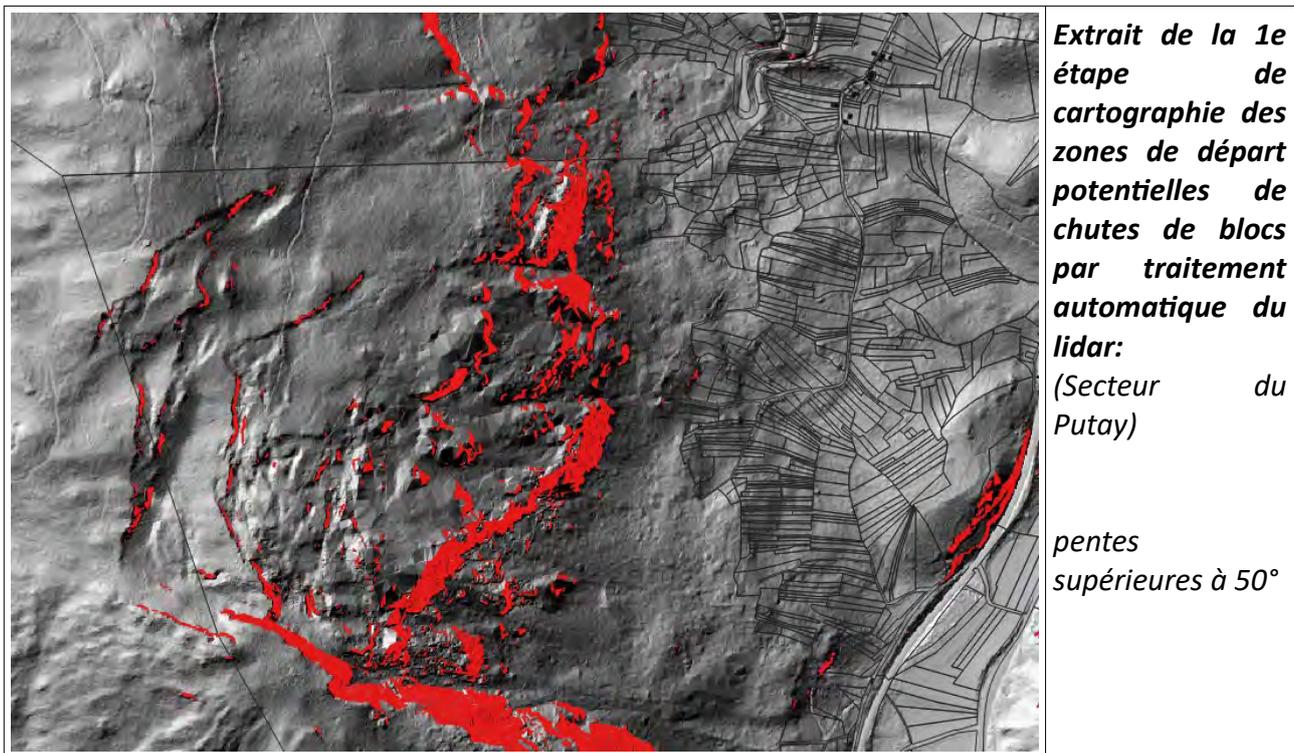
Quelques très gros blocs isolés, descendus plus en aval, s'observent aussi sur l'orthophoto:

- à la cote 350 dans le secteur de Putay/La Pelouse (entre le sentier de randonnée et la voie ferrée);
- depuis les Rochers de la Craz, au Nord de la trajectoire de 2017.

■ Pré-repérage des zones de départ potentielles

Une prédétermination des zones de départ potentielles a été effectuée par analyse automatique du lidar, en sélectionnant les pentes supérieures à 50°. Elles correspondent généralement à des escarpements rocheux, mais parfois aussi à d'autres ruptures de pente (érosion de berges et ravins encaissés des torrents, limites d'anciennes terrasses, niches d'arrachement de glissement, front d'anciennes carrières, terrassements artificielles, ouvrages de soutènement, etc.).

Par ailleurs, les petits pointements rocheux isolés et les affleurements sur pentes raides, au moins aussi susceptibles de produire des chutes de blocs en raison de leur altération par la végétation, n'apparaissent pas dans cette présélection. Le choix de retenir aussi des pentes comprises entre 45 et 50° multipliait les erreurs, englobant par exemple des éboulis et terrains plus meubles couvrant un substratum peu profond.



Sur cette première base, une nouvelle numérisation a donc été opérée manuellement, à l'aide des différents traitements numériques du lidar, de la photographie aérienne, et des observations de terrain.

3.2 Identification des instabilités sur le terrain

3.2.1 Rochers de la Craz

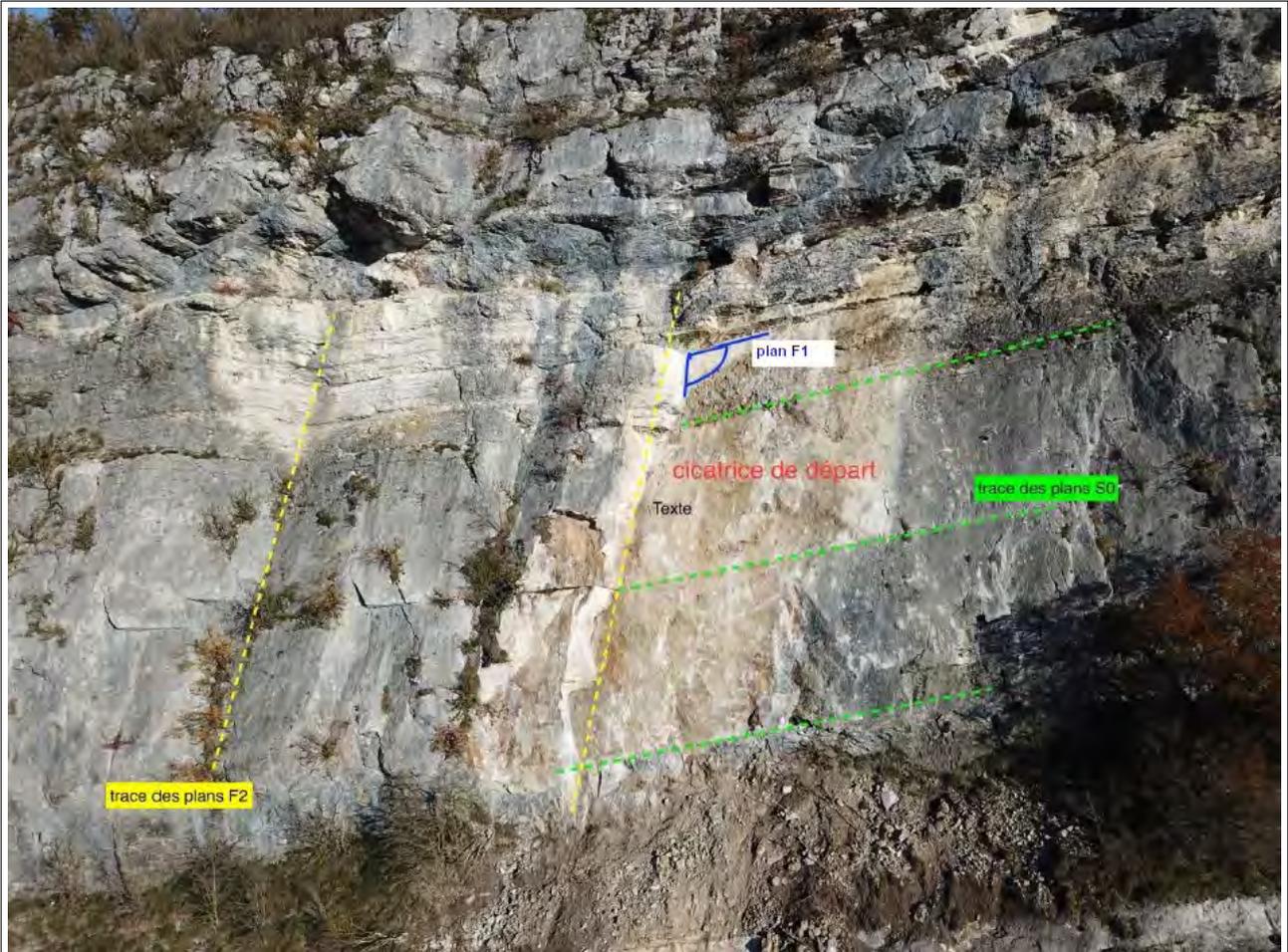
3.2.1.1 Analyse des zones de départ potentielles

■ Analyse structurale

Ces calcaires du Kimméridgien affleurent en bancs de 3 à 8m d'épaisseur en moyenne, avec un pendage rentrant N150° penté de 30 à 40° NE, qui forme le toit des grands bancs stratigraphiques en surplomb.

D'un point de vue structural, 2 familles de fractures sont principalement relevées:

- des plans F1 orientés N145° pentés à 75° (plans perpendiculaires à la falaise);
- des plans F2 orientés N265° pentés à 75° (plan parallèle à l'orientation de la falaise).



*Rochers de la Craz: plans de faille au niveau de la zone de départ de novembre 2017
(SAGE - novembre 2017)*





Rochers de la Craz: Zone de départ Sud

Les plans F1 et F2 combinés à la stratification S0 constituent un découpage particulièrement défavorable des surplombs et des écaïlles:

- les plans S0 forment la base des instabilités,
- les plans F1 découpent l'arrière des instabilités,
- les plans F2 délimitent latéralement les compartiments.

■ **Instabilités et volumes de départ**

Les instabilités en présence correspondent:

- à des bancs en surplomb,
- à des éperons proéminents dont la base est localement surplombante,
- à des écaïlles en falaise.

Ces mécanismes de rupture peuvent occasionner l'éboulement de compartiments assez volumineux (de l'ordre de 50 à 200m³) en falaise.

3.2.1.2 Recensement des blocs tombés en aval

Ce découpage structural orthogonal configure une forme très parallélépipédique des blocs éboulés en pied de versant.

Nous avons observé plus d'une quarantaine de blocs éboulés dans le versant entre la route départementale et la falaise. On peut noter 3 masses de plus de 10 m³, le reste des blocs est généralement compris entre 1 et 10 m³.

Dans le secteur Nord, la majorité des blocs est ancienne.

Dans le secteur Sud, la plupart des blocs ont été trouvés dans l'éboulis. L'absence de végétation indique une activité assez récurrente de la falaise, quoique la plupart des blocs se couvrent de progressivement de mousses.

3.2.2 Affleurements rocheux des Tonnes / Chaveyron / Au Mortier

Les études réalisées par le BRGM et ANTHEA attribuent à ce secteur le nom de "Claire Fontaine", erreur de lecture de la carte IGN puisque "Claire Fontaine" désigne en réalité le quartier en rive droite de l'Arène, site des anciennes carrières et usines Lourdel.

Le coteau qui domine le quartier en rive gauche de l'Arène est appelé d'Est en Ouest "Chaveyron", "Les Tonnes" et "Au Mortier" sur le cadastre. Ce sont donc ces lieux-dits qui sont repris dans le présent rapport.

3.2.2.1 Analyse des zones de départ potentielles

■ Analyse du site

La cime du coteau des Tonnes et Chaveyron est marquée par de gros blocs calcaires très émousés formant une sorte de "banc" disloqué sur une dizaine de mètres de dénivelée en contrebas de la bordure de la terrasse. Si la partie Ouest du coteau "Au Mortier" dominant la rive gauche de l'Arène, correspond bien à moraines glaciaires comme l'indique la carte géologique, cela paraît moins évident pour ce niveau discontinu de gros blocs d'un calcaire de nature homogène, qui évoquent les vestiges d'un affleurement très érodé et déstructuré. Qu'il s'agisse de dépôts d'origine glaciaire ou de rochers "en place", ces blocs très arrondis atteignent des volumes plurimétriques qui se déchaussent aisément.





*Rochers du quartier Est de Claire Fontaine: vue de certaines zones de départ
(photographies Alpes-Géo-Conseil 2020)*

■ Instabilités et volumes de départ

L'érosion conduit au déchaussement et au détachement des boules de calcaires situées à la cime du coteau. Plus de 50 boules dans le versant présentent une probabilité de départ estimée faible à élevée. Le diamètre de ces boules varie de quelques dizaines de centimètres à plus de 2m, la plupart correspondant plutôt au mètre.

3.2.2.2 Recensement des blocs tombés en aval

Le coteau n'est pas couvert d'éboulis, ce qui suppose que les éléments ont tendance à rouler jusqu'en pied, comme le confirme l'historique, ou qu'ils étaient peu nombreux et enlevés par les agriculteurs anciennement (vignobles dans la première moitié du XXe siècle).

Le versant est équipé d'écrans de filets dynamiques depuis 2014. Les filets situés à l'Ouest ne contiennent pas de blocs. Les filets situés à l'Est n'ont pas pu être visités du fait de la densité des broussailles.

3.2.2.3 Les filets pareblocs

■ Capacité structurelle

Il s'agit d'écrans de filets conformes aux normes (NF P 95308 et certification ETAG 27 imposée à partir de 2015). Ils sont conçus pour encaisser une énergie dynamique de 500kJ (classe 2), supérieure aux exigences du cahier des charges établi par ANTEA. Ce dernier définissait une énergie dynamique de référence de 150kJ, correspondant à une vitesse de 11,5m/s à l'impact générée par une boule de 1,2m de diamètre soit une masse de 2,2t. (rapport ANTEA N°71048/A de juin 2013).

■ Etat d'entretien

Il est nécessaire d'assurer un entretien périodique des ouvrages par:

- un débroussaillage régulier des terrains assurant l'accessibilité des ouvrages pour leur reconnaissance visuelle (les écrans situés à l'Est n'ont pu être approchés), réduisant le risque d'incendie à leur niveau, et maintenant la géométrie d'origine des trajectoires et des ouvrages (que la croissance d'arbres ou de ronces peut perturber);
- une visite régulière par des techniciens (sous une échéance de 1 à 5 ans selon la nécessité) avec différents points de contrôle (serrage correct des jonctions de câbles, revêtement anti-corrosion, etc.).

Après chaque évènement (chute de blocs, incendie), il est par ailleurs nécessaire que soit réalisée une visite assurée par un spécialiste (contrôle des éléments dissipatifs complets, de la structure d'interception, de l'état des câbles, des éléments de jonction, des ancrages des câbles, de la charpente métallique, des éléments de jonction au terrain, etc.), suivie de la réparation ou du remplacement du matériel impacté.

Or il apparaît qu'il est impératif qu'un entretien rigoureux de la végétation soit rapidement mené sur ces terrains accueillant les dispositifs de protection, et que des visites de contrôle des équipements soient programmées.

3.2.3 Rochers de Bétey

3.2.3.1 Analyse des zones de départ potentielles

■ Analyse du site

Le site correspond à une ancienne carrière d'exploitation des calcaires oxfordiens pour la pierre à ciment. Sur le carreau, une risberme d'1m de hauteur environ avait été édifiée par l'exploitant pour arrêter les petits blocs qui se déchaussent du talus d'éboulis par érosion régressive.

En amont, le calcaire oxfordien forme un enchaînement de deux à trois corniches de quelques mètres à une dizaine de mètres de hauteur. Elles se prolongent depuis sa limite Est en amont de la rue de Bettey jusqu'au plateau de Noviet sur plus de 500m de longueur. Le pendage est N80° penté de 25°.

Le premier niveau de corniche est constitué de bancs pluridécimétriques de calcaire. Une dizaine de mètres en amont, ils deviennent plurimétriques et plus massifs à la cime de la corniche, dont la base est érodée.

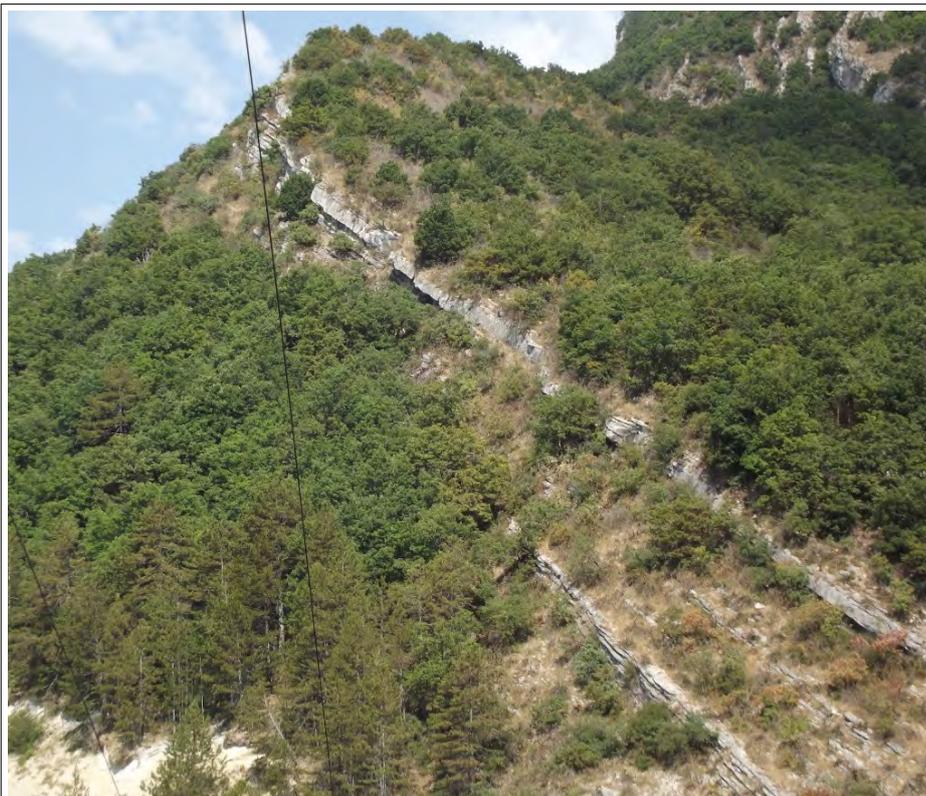


Rochers du Bétey: vue des zones de départ potentielles, du tablier d'éboulis et de la risberme en aval (photographie Alpes-Géo-Conseil 2020)

■ Instabilités et volumes départ

La corniche inférieure est susceptible de libérer des éléments n'excédant pas 100 litres, par basculement des blocs et rupture de petits surplombs.

La corniche supérieure forme un surplomb sur la quasi-totalité de sa longueur, pouvant conduire à la rupture de blocs de quelques centaines de litres à plusieurs mètres cubes.



Rochers du Bétey:
*vue des zones de départ
potentielles, du tablier
d'éboulis et de la
risberme en aval*

*Vue du prolongement de
l'escarpement au Nord-
Ouest de l'ancienne
carrière, depuis la route
de Hauteville.*

Alpes-Géo-Conseil 2020



3.2.3.2 Recensement des blocs tombés en aval

Nous avons relevé une trentaine de blocs stoppés dans le versant. La répartition de ces blocs est concentrée à l'Est de la rue du Bettey et en amont de la rue du Cottet et de la route d'Hauteville. Les blocs visibles sur le replat à l'Ouest des immeubles de la rue de Bettey ont probablement été déplacés lors de l'exploitation de la carrière.

Les blocs du versant ont pour la plupart un volume compris entre 1 et 10m³, et sont tombés anciennement. Un bloc récent de 120 litres a été repéré à une cinquantaine de mètres en amont des maisons de la route de Hauteville, bloqué contre deux troncs.



Versant du Bettéy : blocs anciens (photographie de gauche) et bloc récent (photographie de droite)

Alpes-Géo-Conseil 2020

3.2.4 La Verne

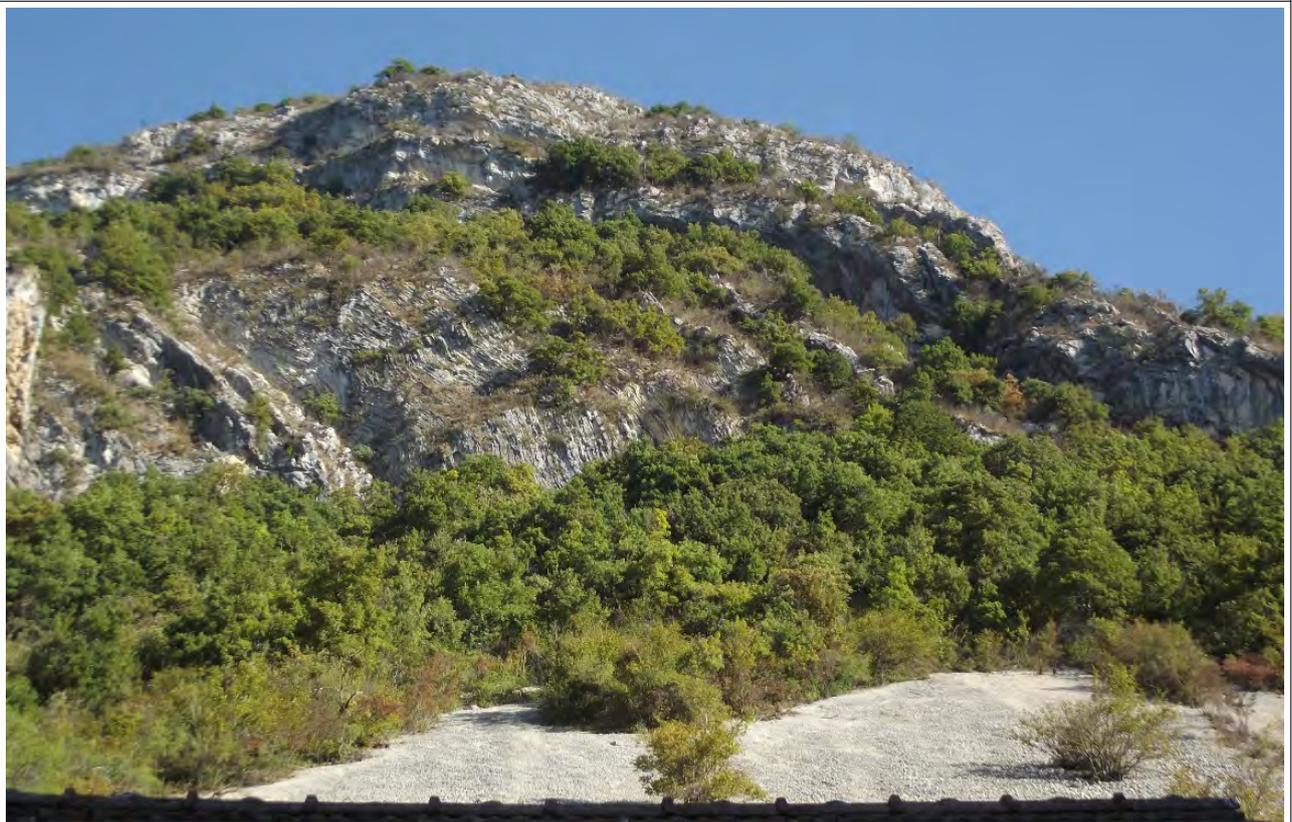
3.2.4.1 Analyse des zones de départ potentielles

■ Analyse du site

Le versant est formé par la succession de couches du calcaire jurassique, avec l'alternance de talus d'éboulis et de barres rocheuses tel qu'en amont de la Verne.

La première barre rocheuse est constituée de calcaires du Kimméridgien inférieur. Au-dessus de la Verne (côté amont du plateau de Claire Fontaine), elle est puissante de 80m et forme un pli avec un pendage subvertical. A ce niveau, le calcaire se décompose en bancs pluridécimétriques. En progressant vers l'Ouest, le pendage de la couche s'adoucit et la hauteur de la barre diminue à une trentaine de mètres environ. Les bancs de calcaire s'épaississent également et deviennent d'ordre métrique.

La seconde barre située en amont, puissante de 80m environ sur toute sa longueur, est constituée de calcaires plus massifs du Kimméridgien supérieur, formant des bancs métriques à plurimétriques. Leur pendage, comme celui de la couche inférieure, est plus prononcé à l'Est.



*Versant Sud du Sérémont : Vues au niveau de la Verne
photographies Alpes-Géo-Conseil 2020*

■ Instabilités et volumes de départ

La barre en aval présente deux types de mécanismes d'instabilité : rupture de surplomb et basculement de blocs. Le volume des blocs libérés augmente vers l'Ouest du fait de l'épaississement des bancs. On passe de blocs de quelques litres à quelques mètres cubes.

La barre amont comprend des surplombs épais et marqués. Elle est donc susceptible de libérer des blocs dont les volumes peuvent varier de quelques mètres cubes à plusieurs dizaines de mètres cubes.

3.2.4.2 Recensement des blocs tombés en aval

Ce versant n'a pas fait l'objet d'un relevé exhaustif des blocs étant donné l'absence d'enjeu à l'aval (hormis la voie ferrée). Le talus d'éboulis témoigne cependant d'une activité récurrente des chutes de blocs, au moins depuis la première barre.

3.2.5 Escarpement situé entre la voie ferrée et la rue de Bettey

3.2.5.1 Analyse des zones de départ potentielles

■ Analyse du site

Ce massif est constitué par la succession des calcaires jurassiques qui plongent sous la vallée.

Côté Est, il s'agit d'une barre rocheuse subverticale, d'un peu plus de 10m de hauteur, qui surplombe un chemin et la voie ferrée. Elle est constituée de calcaires de l'Oxfordien et du Kimméridgien.

Au Sud, la barre se scinde en deux dans les calcaires oxfordiens. La barre inférieure, haute de 5m environ, est formée par des bancs décimétriques. Elle disparaît rapidement au Nord-Ouest sous le talus d'éboulis. La barre supérieure, constituée de calcaires compacts, s'étend jusqu'au Nord-Ouest du massif.





*Ci-dessus : Vue Ouest
A gauche : Est du massif
photographies Alpes-Géo-Conseil 2020*

■ Instabilités et volumes de départ

Côté Est, l'escarpement est très compact et ne paraît pas présenter d'instabilités importantes. Néanmoins, des écailles de quelques litres peuvent s'en détacher sporadiquement.

Côté Sud, la barre rocheuse aval est susceptible de libérer des pierres de quelques litres.

La barre amont forme un surplomb massif, de configuration comparable à la crête des Rochers du Bettey. Elle peut produire des volumes atteignant jusqu'à plusieurs mètres cubes. Le calcaire semble cependant assez sain, et la fréquence de ces éboulements paraît faible.



*Ci-dessus : Versant Sud
A gauche : Est du massif
photographies Alpes-Géo-Conseil 2020*

3.2.5.2 Recensement des blocs tombés en aval

Quelques blocs éboulés d'environ 1 m³ ont été relevés au Sud, sur un replat situé entre les deux barres. Un tablier de petits blocs de l'ordre du litre est présent au Sud sous la barre aval.

3.2.6 Front des carrières Lourdel à Claire Fontaine

3.2.6.1 Analyse des zones de départ potentielles

■ Analyse du site

Le rebord de la terrasse fluvio-glaciaire de Plan de Mai dominant le quartier de Claire Fontaine a été exploité sous forme de carrière de pierre à chaux de la moitié du XIXe siècle à la moitié du XXe siècle. Le front s'étire sur 600m de longueur environ.



Quartier de Claire Fontaine, rive droite de l'Arène: vue de la carrière et des usines Lourdel, dans la première moitié du XXe siècle.

L'usine, fondée en 1859, compta jusqu'à 21 fours. De ce complexe subsiste quelques vestiges, dont 2 tours. Après une exploitation en carrière, la pierre à chaux fût extraite par des tunnels à travers la montagne jusqu'en 1937-1938.

Le site fut ensuite reconverti en colonie de vacances, puis en habitat collectif au cours des années 1990.

Le plateau dominant le quartier de Claire-Fontaine forme une terrasse à la cote 375. Il est constitué d'une formation glacio-lacustre würmienne, dont l'épaisseur pourrait dépasser la centaine de mètres au Sud du château (d'après la notice de la carte géologique du BRGM) en se prolongeant sous le fond de vallée récent. Il comprend de haut en bas sur la moitié supérieure :

- une couche de galets rhodaniens superficiels ;
- une couche de gros blocs calcaires plurimétriques, roulés ou non ;

- des cailloutis rhodaniens hétérométriques à fort litage oblique ;
- des argiles litées horizontales.

A l'extrémité Sud-Est, le front constitue un talus d'une trentaine de mètres de hauteur seulement dans les graves fluvio-glaciaires indurées, au sein desquelles se détachent parfois quelques masses de galets "cimentés", toutes arrêtées par une contre-pente en pied d'éboulis.

Au droit des vestiges de l'usine Lourdel et de la partie Sud du lotissement, la hauteur du front de carrière augmente progressivement. Il est taillé dans les calcaires de l'Oxfordien supérieur, au sein desquels des bancs pluridécimétriques dessinent à la cime une petite barre rocheuse de 5m de hauteur environ.

Au droit des petits immeubles, la cicatrice s'élève à près de 80m de dénivelée, mais le niveau pouvant produire des blocs n'est pas plus étendu.





*Ci-dessus : Barre et éboulis calcaire
A gauche : Talus morainique
photographies Alpes-Géo-Conseil 2020*

■ Instabilités et volumes de départs

Dans ce secteur la formation glacio-lacustre est largement constituée de graves. Quelques boules du type du secteur de Claire Fontaine ont été relevées dans le talus et à sa cime.

La barre calcaire est susceptible de libérer des blocs de plusieurs dizaines à quelques centaines de litres. Elle bordée à l'aval par un talus d'éboulis actif indiquant une activité fréquente des chutes de blocs.

3.2.6.2 Recensement des blocs tombés en aval

A l'Est sous le talus morainique, une boule d'environ 4 m³ s'est détachée historiquement et se trouve masquée par la végétation.

A la base du talus d'éboulis, une dizaine de blocs parallélépipédiques témoigne de chutes sporadiques. Leur volume est compris entre 30 litres et 1 m³. Un bloc d'environ 80 litres est tombé récemment contre le grillage de la parcelle 772 et l'a déformé. D'autres blocs indiquent une activité fréquente de chutes de blocs sur cette zone.



*Ci-dessus à gauche : bloc récent stoppé contre le grillage de la parcelle N°772
Ci-dessus à droite : bloc d'une vingtaine d'années proche du grillage*

*A gauche : Anciens blocs moussus dont le diamètre atteint jusqu'à 1 m³
photographies Alpes-Géo-Conseil 2020*

3.2.7 Versant Est de la Grande Montagne de Virieu

3.2.7.1 Analyse des zones de départ potentielles

■ Géologie et stratigraphie

La grande montagne de Virieu est coincée entre deux failles de chevauchement. Il s'agit d'un anticlinal de rampe dont la cime est érodée. Le côté Est de cette montagne correspond à une zone qui a subi d'importants mouvements tectoniques comme le montre la présence de plusieurs failles. Les calcaires du Kimméridgien affectés par ces mouvements sont fortement fracturés voire même broyés localement.

■ Instabilités et volumes de départ

Ce versant présente tous types de phénomènes: de la chute de de blocs isolée à l'écroulement de masse de plusieurs centaines de mètres cubes d'après les chaos visibles en forêt.

3.2.7.2 Recensement des blocs tombés en aval

En l'absence d'enjeu d'urbanisation, les chutes de blocs n'ont pas fait l'objet d'un relevé exhaustif.

3.2.8 Versant de Plan de Mai

3.2.8.1 Analyse des zones de départ potentielles

■ Géologie et stratigraphie

Les plateaux de Plan de Mai et de Brens sont couverts de dépôts fluvio-glaciaires comprenant de très gros blocs, dont certains se sont détachés des placages des pentes supérieures, constituant des éboulis tel que l'indique la carte géologique, mais qui ne proviennent pas d'éboulements de falaises.

En revanche, la combe à l'extrémité Sud du chemin de Brens, est bien exposée aux chutes de blocs provenant des escarpements calcaires du Kimméridgien situés à 700m d'altitude environ, qui ont été fortement fracturés voire disloqués par d'importants mouvements.

■ Instabilités et volume de départ

Les escarpements calcaires du Kimméridgien situés vers 700 m d'altitude environ, dans le secteur de "La Cha", sont sensibles à tous les mécanismes de rupture et peuvent produire des volumes très variés, jusqu'à plusieurs dizaines de mètres cubes, comme en témoignent les très gros blocs parvenus jusqu'au bord du chemin, à 360m d'altitude.

3.2.8.2 Recensement des blocs tombés en aval

Dans les champs amont de Plan de Mai, les nombreux blocs d'1m³ environ sont issus de la moraine et en aucun cas de blocs éboulés.

Dans la combe à l'extrémité Sud du chemin de Brens, qui compte une résidence secondaire et 2 granges, une masse de plus de 100 m³ peut être observée en amont des bâtiments Sud, ainsi que plusieurs blocs de l'ordre du mètre cube, tous tombés très anciennement. Ils sont recouverts par la végétation.





*Ci-dessus : Bloc éboulé au Sud de l'extrémité du chemin de Brens.
A gauche : Affleurement de blocs issus de la formation glacio-lacustre
photographies Alpes-Géo-Conseil 2020*

3.2.9 Lac de Virieu

3.2.9.1 Analyse des zones de départ potentielles

■ Géologie et stratigraphie

La crête de la colline est constituée d'une barre de calcaire du Bajocien d'environ 3 m de hauteur. Ces calcaires forment des bancs en surplomb.

■ Instabilités et volumes de départ

Les surplombs peuvent donner naissance localement à des projectiles pouvant dépasser le mètre cube.

3.2.9.2 Recensement des blocs tombés en aval

Plusieurs blocs d'environ un mètre cube sont présents dans les bois à proximité de la route.

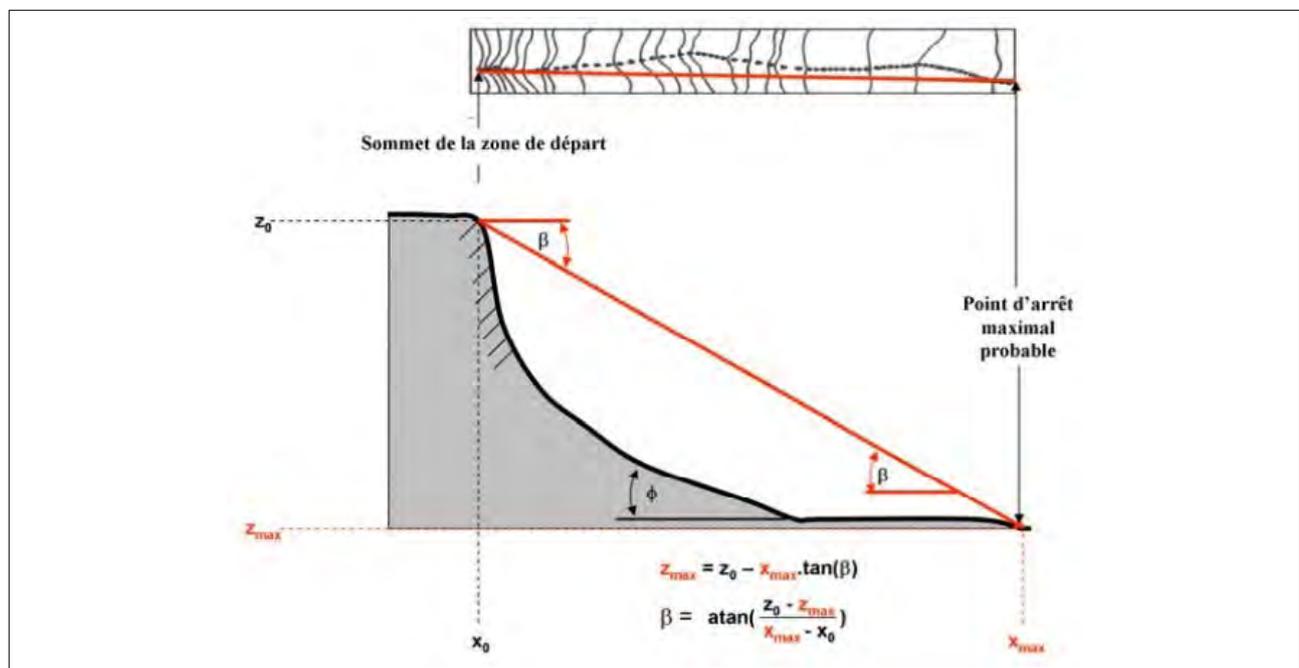
3.3 Estimation des distances d'arrêt

3.3.1 Première approche par les lignes d'énergie

3.3.1.1 Principe de la méthode des lignes d'énergie

La méthode dite des «angles de lignes d'énergie», ou "méthode des cônes" sert à prédéterminer sommairement l'extension des phénomènes en aval des zones de départ. Il s'agit d'une méthode probabiliste s'appuyant sur un très grand nombre d'observations dans le monde.

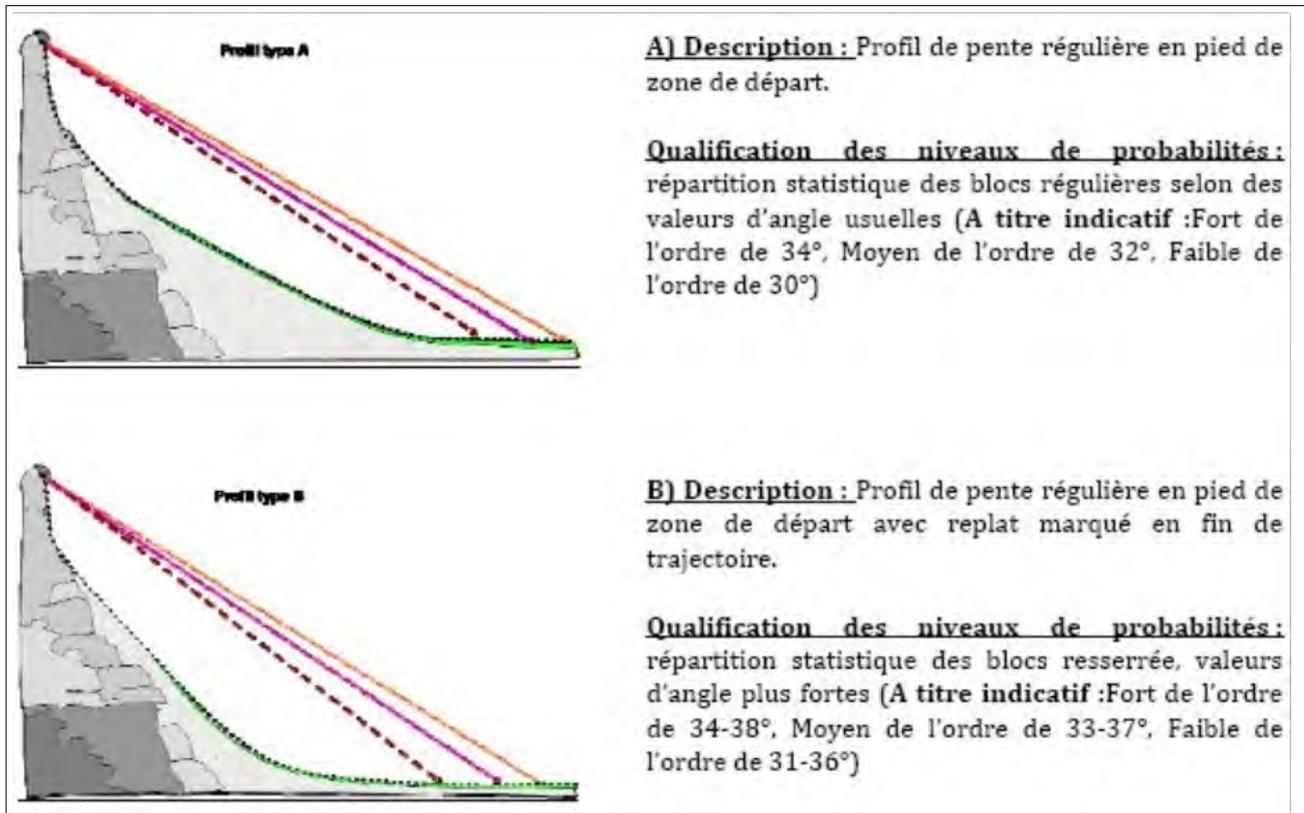
Il s'avère que l'angle formé par la droite reliant le point d'arrêt des blocs tombés et leur zone de départ (cf ci-dessous) présente une certaine récurrence, qui permet de déterminer différentes probabilités d'atteinte selon les zones.

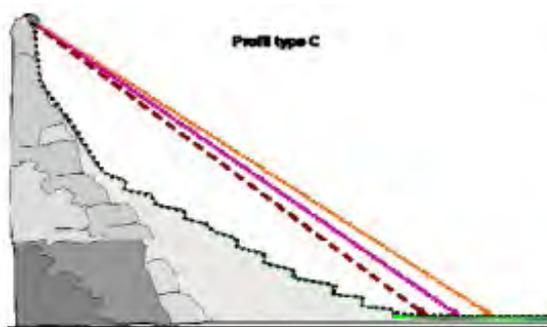


Représentation schématique du principe de la ligne d'énergie et de la formule pour déterminer l'angle B (extrait du Guide Mezap 2014)

Les valeurs retenues sont modulées en fonction des singularités topographiques (cf croquis suivant extrait de la méthode MEZAP).

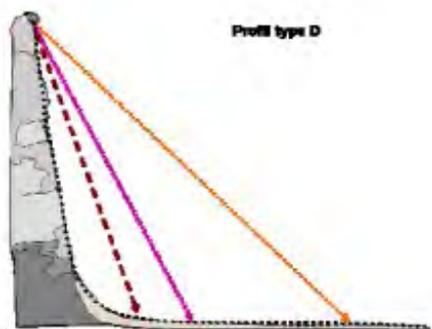
Probabilité d'atteinte d'un point	Intervalle d'angles de la méthode des cônes
Très fort	35° et plus
Fort	33° - 35°
Moyen	30° - 33°





C) Description : Profil de pente irrégulière en pied de zone de départ (terrasses agricoles...).

Qualification des niveaux de probabilités : répartition statistique des blocs régulière selon des valeurs fortes (A titre indicatif : Fort de l'ordre de 34-38°, Moyen de l'ordre de 32-36°, Faible de l'ordre de 30-34°)



D) Description : Falaise et replat marqué

Qualification des niveaux de probabilités : répartition statistique des blocs très resserrée valeurs d'angle très fortes (la méthode des cônes ne s'applique dans ce cas qu'au sens d'une méthode géométrique permettant par un rapport de distance d'apprécier les distances de propagation. A titre indicatif il n'est pas impossible de retenir des valeurs supérieures à 40°)

FIGURE 4 : ILLUSTRATIONS D'EXEMPLES DE MODULATIONS (DONNEES A TITRE INDICATIF) APORTEES SUR LES INTERVALLES D'ANGLES DE LA METHODE DES CONES EN FONCTION DES PRINCIPAUX TYPES DE PROFILS DE PENTE

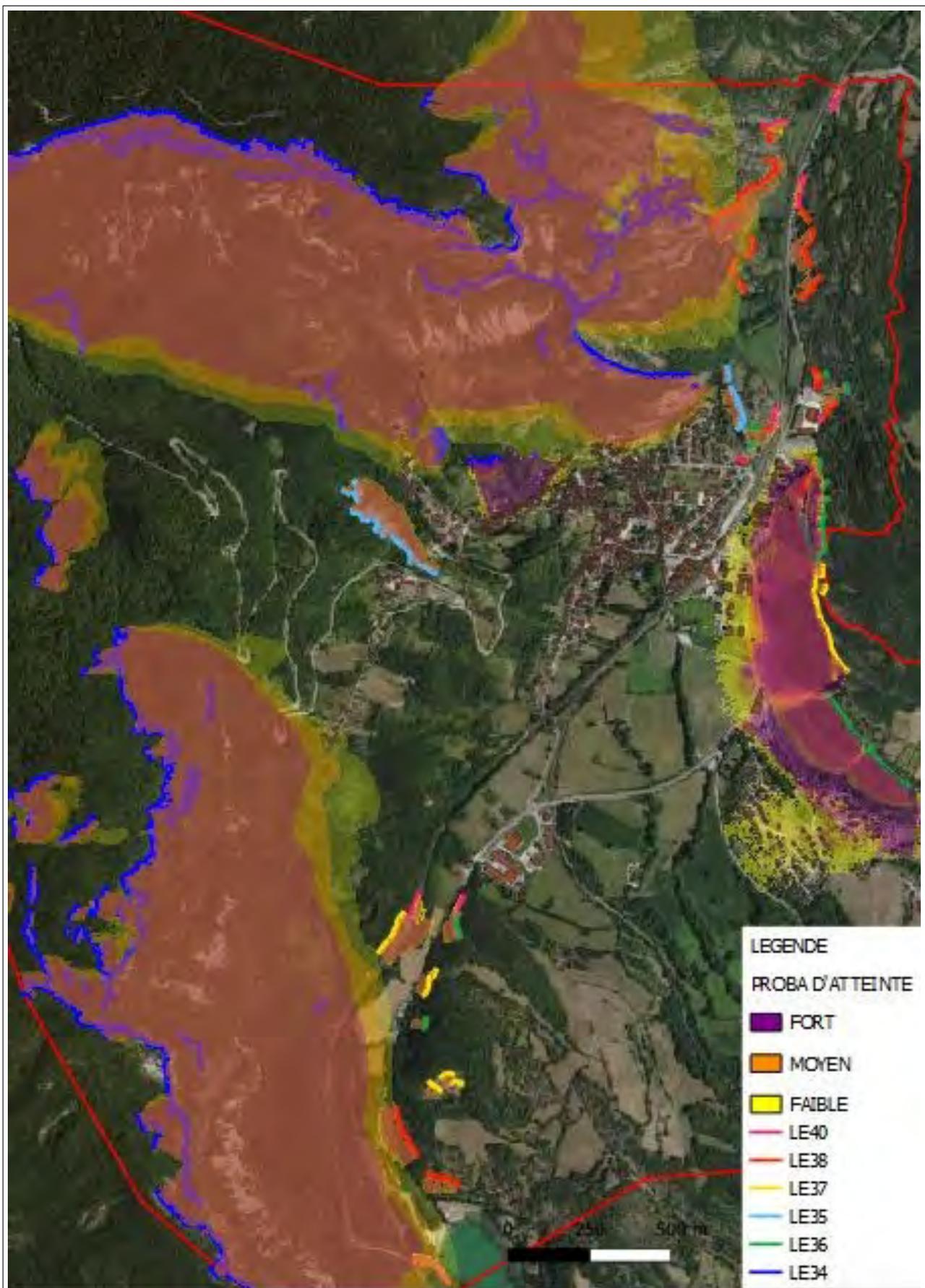
3.3.1.2 Mise en œuvre

Les angles de lignes ont été calculés par analyse du lidar en 3D à l'aide du logiciel E-Line. Des ensembles de zones de départs ont été distingués en fonction du profil global du versant en aval.

Les angles sont affichés sous formes de classes de valeurs, avec différentes couleurs.

Les blocs tombés historiquement et relevés sur le terrain, sont généralement tous situés dans le niveau très fort à fort correspondant à des angles de plus de 40°, certains jusqu'à 38°.

Les distances maximales des blocs tombés en 2017, 2011, et dans les années 1950 depuis les Rochers de la Craz, correspondent à des angles de 38°, voire 37°, ce qui correspond bien à une forte probabilité d'atteinte malgré le grand plat sur lequel s'achève le profil du versant.



Approche sommaire de la probabilité d'atteinte par les lignes d'énergie

3.3.2 Modélisations trajectographiques en 3D sur certaines zones à enjeux

3.3.2.1 Principes

■ Un outil complémentaire à l'analyse à dire d'expert

Lorsque les éléments d'analyse de l'aléa traduisent un phénomène susceptible d'atteindre des zones urbanisées, l'utilisation de logiciel de simulation constitue un outil d'analyse supplémentaire dans la détermination du zonage.

■ Secteurs modélisés

Les modélisations se sont concentrées sur les secteurs où les éléments d'études indiquent que les blocs atteignent ou sont susceptibles d'atteindre des enjeux.

Deux secteurs se distinguent de part notamment un historique riche en événements : les Rochers de la Craz et le secteur des Tonnes.

■ Description du modèle Rockyfor 3D

Les calculs trajectographiques ont été réalisés avec le logiciel Rockyfor3D développé par Ecorisq (association Franco-Suisse : IRSTEA et EPFL). Ceux-ci considèrent les trajectoires possibles des blocs selon 3 dimensions (X, Y, Z). La description du modèle est présentée en annexe.

Ce modèle permet :

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

La cohérence des résultats est confrontée avec les observations de terrain.

■ Modèle numérique de terrain

Le MNT utilisé nous a été fourni par la DDT et recouvre l'ensemble de la commune sur un dallage de 1 m/ 1 m.

3.3.2.2 Paramètres entrés

■ Caractéristiques

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

Chaque type de sol est défini par 9 critères de détermination (voir annexe 2 pour plus de détails) : dimensions du bloc selon ses trois axes ($d1$, $d2$, $d3$), densité du bloc (*rockdensity*), la forme type du bloc (*blshape*), le type de sol (*soiltype*), la rugosité de surface selon le pourcentage de probabilité (*rg10/rg20/rg70*).

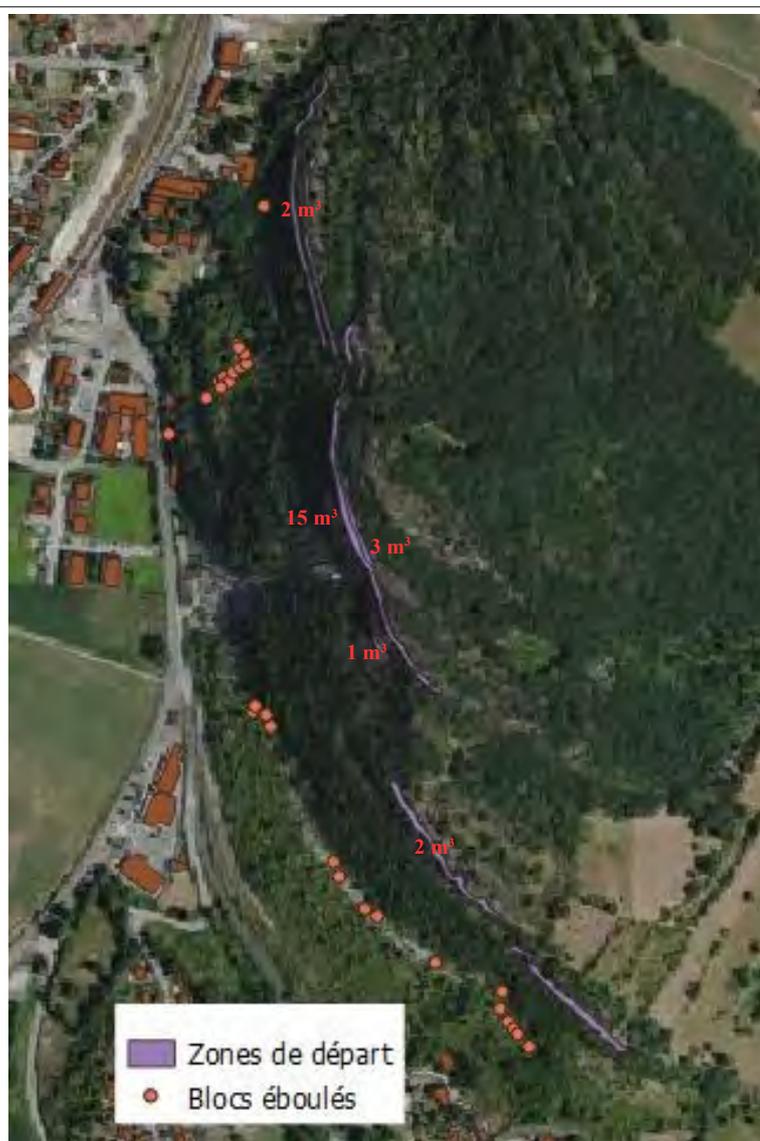
■ Hypothèses de départ

- Blocs de Les Tonnes / Chaveyron / Au Mortier:

Sur ce versant, chaque instabilité a été relevé au GPS. Il s'agit d'éléments sphériques de quelques dizaines de litres à environ 3 m^3 . Nous avons relevé plus de 50 de ces boules dans le versant en amont des parcelles urbanisées. Chaque boule a été numérisée en zone de départ.

- Rocher de la Craz :

La falaise de la Craz présente plusieurs types d'instabilités et de volumes suivant les niveaux des barres. Les instabilités sont considérées rectangulaires. Les instabilités des premiers niveaux de barre en aval ont des instabilités comprises entre 500 l et $1,5 \text{ m}^3$. Le niveau massif intermédiaire comporte des instabilités de plus de 10 m^3 . Les instabilités des parties supérieures sont comprises entre 1 et 3 m^3 .



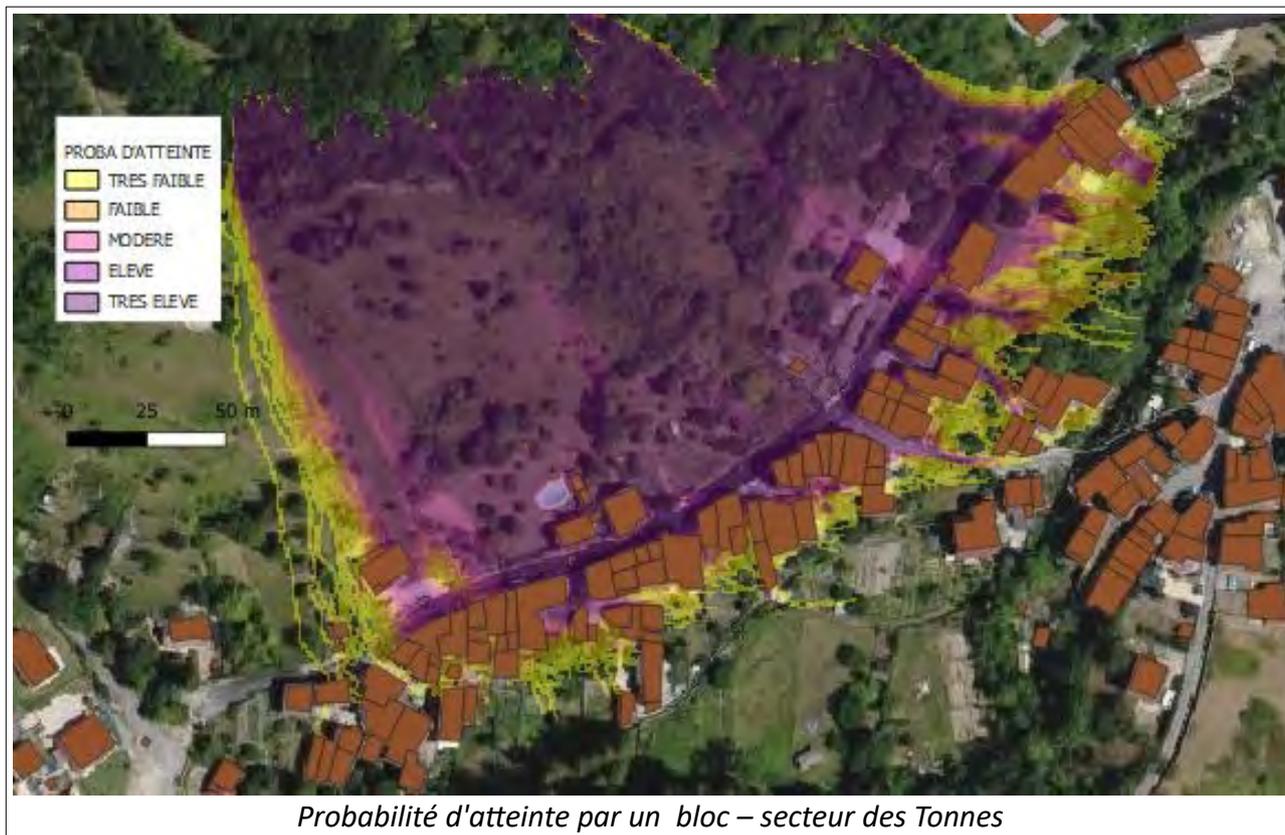
Zones de départ – secteur des Rochers de la Craz

Pour chaque pixel de 1 m/ 1 m identifié comme zone de départ, il a été lancé 1000 blocs dans la modélisation.

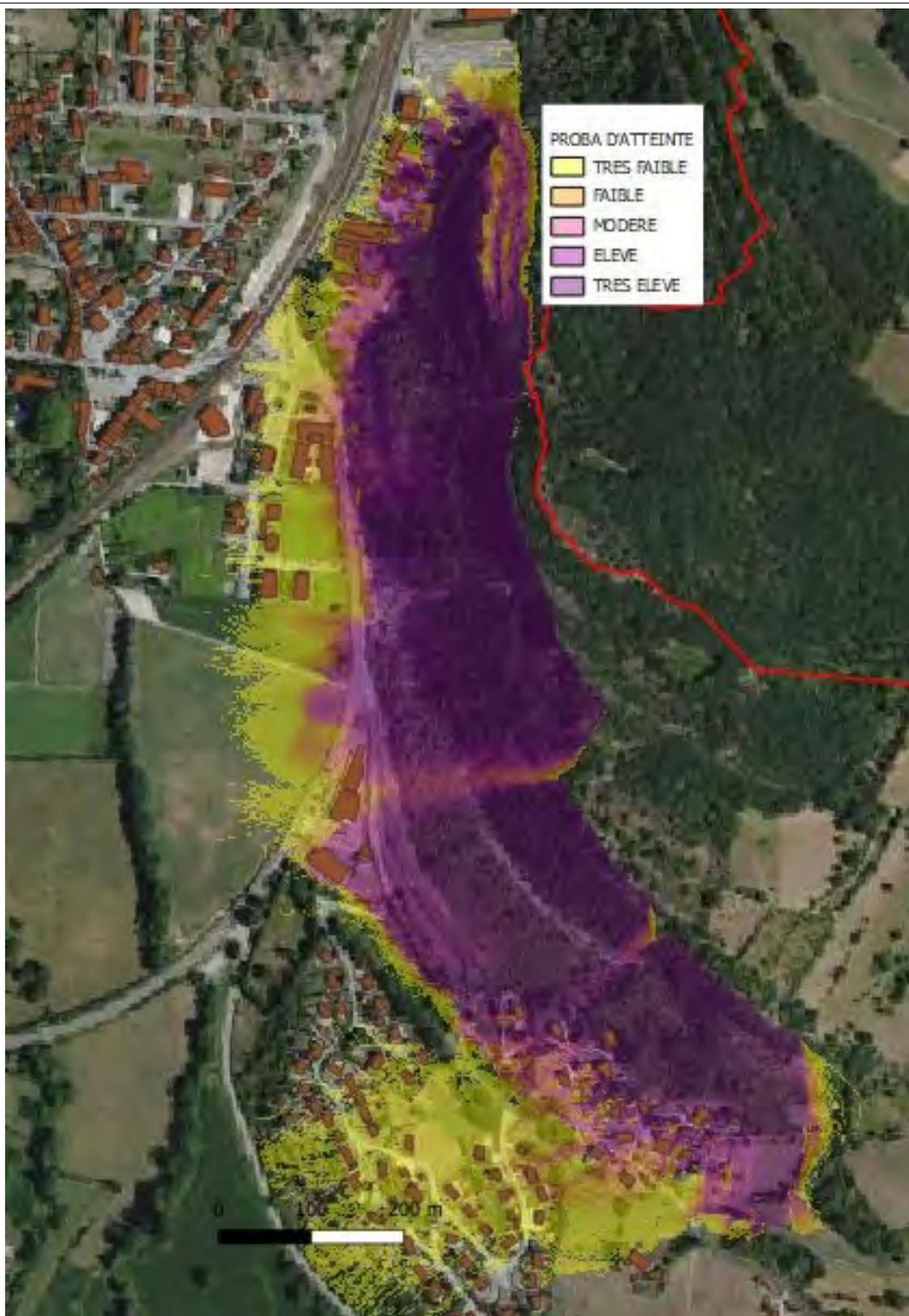
3.3.2.3 Résultats

Les illustrations suivantes représentent la probabilité d'atteinte d'une cellule par un projectile rocheux. Une forte probabilité correspond au plus forte valeur dans la carte et une faible probabilité correspond aux plus faibles valeurs positives.

■ Secteur des Tonnes



■ Rocher de la Cruz



Probabilité d'atteinte par un bloc – secteur des Rochers de la Cruz

3.4 QUALIFICATION DE L'ALEA CHUTES DE BLOCS

3.4.1 Critères de caractérisation

L'aléa chute de bloc est caractérisé en suivant la méthode MEZAP 2014.

3.4.1.1 Intensité de l'aléa

Le niveau d'intensité est habituellement défini en fonction des potentiels dommages au bâti.

Pour l'aléa rocheux, il est fonction de la forme des blocs, du volume des blocs, de la vitesse d'impact, de l'angle d'impact... Dans la méthode MEZAP, il est proposé de déterminer l'intensité en fonction du volume du bloc :

<i>Indices d'intensité</i>	<i>Description</i>	<i>Potentiels de dommages</i>
Faible	Le volume unitaire pouvant se propager est inférieur à 0,25 m ³	Pas de dommage au gros œuvre, peu ou pas de dommages aux éléments de façade.
Modérée	Le volume unitaire pouvant se propager est supérieur ou égal à 0,25 m ³ mais inférieur à 1 m ³	Dompage au gros œuvre sans ruine. Intégrité structurelle sollicitée.
Elevée	Le volume unitaire pouvant se propager est supérieur ou égal à 1 m ³ mais inférieur à 10m ³	Dompage important au gros œuvre. Ruine probable. Intégrité structurelle remise en cause.
Très élevée	Le volume unitaire pouvant se propager dépasse 10 m ³	Destruction du gros œuvre. Ruine certaine. Perte de toute intégrité structurelle

3.4.1.2 Probabilité de départ sur une période de 100 ans

La probabilité de départ des blocs en falaise est très difficile à déterminer. Dans le cadre de la réalisation d'un PPRN, il n'est pas possible d'étudier sur corde l'ensemble du linéaire de la falaise. La probabilité de départ des blocs s'estime à partir des traces de départ visibles et du nombre des blocs observés dans la pente, elle peut aussi être appréciée par les observations faites dans des contextes similaires (géologie, topographie...). La méthode MEZAP propose d'apprécier cette probabilité sous la forme d'un indice d'activité pour le scénario de référence :

Indice d'activité par zone d'homogène	Description
<i>Faible</i>	De l'ordre d'un bloc du scénario de référence tous les 100 ans
<i>Moyen</i>	De l'ordre d'un bloc du scénario de référence tous les 10 ans
<i>Fort</i>	De l'ordre d'un bloc du scénario de référence tous les ans

A noter que l'indice d'activité étant relatif au bloc retenu comme scénario de référence, plus le volume retenu est important, plus l'indice d'activité est faible, en général.

3.4.1.3 Probabilité de propagation

Selon la méthode MEZAP, la probabilité de propagation est définie par les classes d'angles de lignes d'énergie, calculées d'après le lidar (cf paragraphe 3.3.1) et adaptées au profil du versant.

<i>Probabilité d'atteinte d'un point</i>	<i>Intervalle d'angles de la méthode des cônes</i>
<i>Très fort</i>	<i>35° et plus</i>
<i>Fort</i>	<i>33° - 35°</i>
<i>Moyen</i>	<i>30° - 33°</i>
<i>Faible</i>	<i>26° - 30°</i>

Le principe des angles de lignes d'énergie fournissant une estimation très sommaire, sur les secteurs à risques des Rochers du Craz et du quartier des Tonnes, cette probabilité d'atteinte a été précisée par des simulations numériques en 3D. Celles-ci prennent en compte nettement plus finement la topographie et calculent la trajectoire des blocs en fonction de leur volume, et de différents paramètres de sol.

3.4.1.4 Probabilité d'occurrence de l'aléa de référence en un point

La probabilité d'atteinte est définie en croisant la probabilité de propagation en un point et la probabilité de départ qualifié par l'indice d'activité :

		<i>Probabilité d'atteinte</i>			
		Faible	Moyenne	Forte	Très Forte
<i>Indice d'activité</i>	Faible	Faible	Modérée	Elevée	Très Elevée
	Moyen	Modérée	Modérée	Elevée	Très Elevée
	Fort	Modérée	Elevée	Elevée	Très Elevée

3.4.1.5 Qualification du niveau d'aléa en tout point

La méthode MEZAP propose de qualifier le niveau d'aléa en tout point de la zone d'étude en utilisant ce tableau :

		<i>Intensité</i>				
		$V \leq 0,25 \text{ m}^3$	$0,25 < V \leq 1 \text{ m}^3$	$1 < V \leq 10 \text{ m}^3$	$V > 10 \text{ m}^3$	Phénomène de grande ampleur (écoulement turbulent)
		Faible	Modérée	Elevée	Très élevée	Cartographie avec un niveau d'aléa unique: très élevé (Cf. 3.1)
<i>Probabilité d'occurrence</i>	Faible	Faible	Modéré	Elevé	Elevé	
	Modérée	Faible	Modéré	Elevé	Elevé	
	Elevée	Modéré	Elevé	Elevé	Très élevé	
	Très élevée	Elevé	Elevé	Très élevé	Très élevé	

3.4.2 Aléa résultant

3.4.2.1 Zone « hors enjeux urbanisés »

Secteur	Intensité	Activité	Probabilité de propagation	Probabilité d'occurrence	Aléa résultant
---------	-----------	----------	----------------------------	--------------------------	----------------

Rochers de Bétey	1<V<10m ³ Elevée	Moyen	Très fort	34°	Très élevée	Très élevé P3
			Fort	33°	Elevée	Élevé P3
			Moyen	32°	Modérée	Élevé P3
			Faible	31°	Modérée	Élevé P3
La Verne	V>10m ³ Très élevée	Fort	Très fort	42°	Très élevée	Très élevé P3
			Fort	41°	Elevée	Très élevé P3
			Moyen	40°	Elevée	Élevé P3
			Faible	39°	Modérée	Élevé P3
Rue de Bétey – côté voie ferrée	V<0,25m ³ Légère	Moyen	Très fort	40°	Très élevée	Élevé P3
			Fort	39°	Elevée	Moyen P2
			Moyen	38°	Modérée	Faible P1
			Faible	37°	Modérée	Faible P1
Rue de Betey – côté Sud	V<0,25m ³ Légère	Moyen	Très fort	38°	Très élevée	Élevé P3
			Fort	37°	Elevée	Moyen P2
			Moyen	36°	Modérée	Faible P1
			Faible	35°	Modérée	Faible P1

Secteur	Intensité	Activité	Probabilité de propagation		Probabilité d'occurrence	Aléa résultant
Rue de Bétey – Versant Ouest	1<V<10m ³ Elevée	Moyen	Très fort	35°	Très élevée	Très élevé P3
			Fort	34°	Elevée	Élevé P3
			Moyen	33°	Modérée	Élevé P3
			Faible	32°	Modérée	Élevé P3
Carrière Lourdel	0,25<V<1m ³ Modérée	Moyen	Très fort	35°	Très élevée	Élevé P3
			Fort	34°	Elevée	Élevé P3
			Moyen	33°	Modérée	Moyen P2
			Faible	32°	Modérée	Faible P1
Plan de Mai	V>10m ³ Très élevée	Faible	Très fort	34°	Très élevée	Très élevé P3
			Fort	33°	Elevée	Très élevé P3
			Moyen	32°	Modérée	Élevé P3
			Faible	31°	Faible	Élevé P3
Grande montagne de Virieu	V>10m ³ Très élevée	Faible	Très fort	34°	Très élevée	Très élevé P3
			Fort	33°	Elevée	Très élevé P3
			Moyen	32°	Modérée	Élevé P3

Secteur	Intensité	Activité	Probabilité de propagation		Probabilité d'occurrence	Aléa résultant
			Faible	31°	Faible	Élevé P3
Lac de Virieu	1<V<10m ³ Elevée	Faible	Très fort	38°	Très élevée	Très élevé P3
			Fort	37°	Elevée	Élevé P3
			Moyen	36°	Modérée	Élevé P3
			Faible	35°	Faible	Élevé P3

3.4.2.2 Zone d'enjeux

Secteur	Intensité	Probabilité d'occurrence	Aléa résultant	Enjeux concernés
Rochers des Tonnes (Quartier de la route de Hauteville)	1<V<10m ³ Elevée	Très élevée	Très élevé P3	Bâti dense (route de Hauteville) correspondant à de l'habitat
		Elevée	Élevé P3	
		Modérée	Élevé P3	
		Faible	Élevé P3	

Secteur	Intensité	Probabilité d'occurrence	Aléa résultant	Enjeux concernés
Rochers de la Craz – secteur Sud (La Cra - Sud du Murat)	1<V<10m ³ Elevée	Très élevée	Très élevé P3	Un immeuble d'habitation partiellement (ancienne colonie de vacances) et surtout de nombreux entrepôts et hangars (5 bâtiments)
		Elevée	Élevé P3	
		Modérée	Élevé P3	
		Faible	Élevé P3	
Rocher de la Craz - secteur central (Le Murat - ZA de La Combe - Le Petit Colombier)	V>10m ³ Très élevée	Très élevée	Très élevé P3	Zone artisanale (3 bâtiments) 1 habitation ancienne et la zone commerciale et résidentielle (dont un
		Elevée	Très élevé P3	
		Modérée	Élevé P3	
		Faible	Élevé P3	

Secteur	Intensité	Probabilité d'occurrence	Aléa résultant	Enjeux concernés
				établissement pour Handicapés)
Rochers de la Craz – secteur Nord (cimetière, route de Genève)	1<V<10m ³ Elevée	Très élevée	Très élevé P3	13 villas avec leur dépendances +1 villa partiellement
		Elevée	Élevé P3	
		Modérée	Élevé P3	
		Faible	Élevé P3	

3.4.2.3 Synthèse

Sur la quasi totalité des secteurs concernés par les chutes de blocs sur la commune, le niveau d'aléa est fort à très fort.

Cela concerne notamment des zones à enjeux et urbanisés, comme sur les secteurs de la Craz et de Clairefontaine. Au Sud du secteur de la Craz, les blocs atteignent la RD105 et les maisons en amont, la limite longeant plus ou moins la départementale. Dans la partie centrale, les blocs profitent d'un couloir préférentiel et atteignent le premier bâtiment de la RD904. La limite dépasse la RD jusqu'au rond point, et au Nord atteint les premières maisons. Sur Clairefontaine, la limite est en aval de la RD53 et atteint les maisons.

Au Plan de Mai et au niveau de l'école, là aussi le niveau de l'aléa reste fort, mais la limite n'atteint aucun bâtiment.

Les secteurs de niveau d'aléa moyen et faible correspondent à de petites corniches, comme par exemple au niveau de la voie ferrée et de la rue de Bétey.

4 ALEAS GLISSEMENTS DE TERRAIN

4.1 Activité historique et actuelle des phénomènes

4.1.1 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.

4.1.2 Données disponibles

L'essentiel des informations concernant l'activité des glissements provient des observations de terrain.

4.1.2.1 Etudes existantes

Les archives disponibles n'ont pas fait état d'études géologiques ou géotechniques concernant les risques de glissement de terrain, hormis les sondages superficiels réalisés pour l'implantation des haubans supportant les filets pareblocs dans le quartier de Claire Fontaine.

Seul le PPR précédent fait état de risque de coulées de boue au niveau des cicatrices des anciennes de carrières dominant les petits collectifs de Claire Fontaine.

4.1.2.2 Base de données du BRGM

La base de données BD MVT du BRGM ne recense aucun glissement sur le territoire de Virieu.

4.1.2.3 Eléments signalés par le Conseil Général sur la RD53

■ Versant de la RD53 en direction de Hauteville

Le service des routes du Conseil Général nous a signalé 2 secteurs de la RD53 montant à Hauteville, qui selon eux, "sont des veines de terrain de mauvaise qualité qui peuvent être actives (instables) en cas de fortes chutes de pluie".

4.1.2.4 Témoignages de la population

■ Témoignages de la population

Les habitants interrogés ont confirmé:

- des arrachements superficiels par érosion régressive au niveau de la cicatrice des carrières dominant les petits collectifs de Claire Fontaine;
- des glissements réguliers sur la rive gauche de l'Arène face aux petits collectifs de Claire Fontaine, dont les matériaux ont déjà dû être évacués du lit du torrent par la commune pour éviter des risques de débordements en cas de crue;
- des mouvements lents qui tendraient à déformer les colluvions argileuses au bas de la pente, dans le quartier résidentiel des Tonnes, au droit des filets pareblocs; et des venues d'eau diffuses dans ces terrains.

4.1.2.5 Analyse du Lidar et des photographies aériennes

■ Identification de glissements localisés sur les photographies aériennes

L'analyse des photographies aériennes, notamment en diachronie (en comparant les différentes missions historiques), permet de repérer quelques glissements localisés, en particulier le petit arrachement dominant le quartier résidentiel des Tonnes, bien visible sur l'orthophotographie.

■ Identification de glissements de versant à l'aide du Lidar

Le Modèle Numérique de Terrain met en évidence des mouvements progressifs et vraisemblablement profonds qui affectent sous différentes formes le versant Est de la Grande Montagne de Virieu. Cet ensemble instable s'étend grossièrement des épingles de la RD53 jusqu'à l'éperon rocheux de la Vouarde qui traverse ce versant, soit une surface d'1km² environ.

Sur le versant Sud de la Montagne de Sérémond, le lidar montre des crevasses d'arrachement qui se mêlent aux thalwegs de ravinement au Sud-Est du belvédère, ce qui indique que les éboulis glissent lentement en volumineux paquets.

4.2 Observations sur le terrain

4.2.1 Indices d'instabilités relevés

Le terrain a été parcouru à pied de manière à relever les indices d'activité de mouvements (niches d'arrachements, bourrelets, ondulations) et les circulations hydriques favorables à leur déclenchement, en particulier au niveau des zones d'enjeux et des zones naturelles au droit de ces dernières.

4.2.2 Zones d'instabilités reconnues

4.2.2.1 Les anciennes carrières en amont de Claire Fontaine

■ Erosion régressive de la cicatrice des anciennes carrières

En amont des petits collectifs de Claire-Fontaine, la lèvre des anciennes carrières tend à régresser par arrachements successifs. Des arbres sont régulièrement entraînés d'après les riverains. Ce phénomène répond assez classiquement à une recherche de pente d'équilibre dans un décaissement artificiel très raide. Masquée par la végétation, une levée de terre sur le carreau en pied de carrière suffit à arrêter les matériaux.

■ Indices présumés d'un glissement de versant au Nord

A l'analyse du lidar, qui révèle mieux la topographie que l'observation de terrain gênée par la végétation, il est cependant possible que l'extrémité Nord des carrières entame une zone plus instable du versant. En aval de l'épingle de la RD53 et du point coté 471 sur le fond IGN, une combe de 70m de largeur environ se dessine effectivement. Elle pourrait correspondre à une ancienne niche dont les matériaux auraient glissé et formé un gros bourrelet de la cote 400 au torrent (dans lequel sont captées des eaux alimentant le réservoir d'eau potable). Dans ce contexte, les terrassements opérés pour les carrières en limite de cette zone pourraient avoir aggravé les risques d'instabilité.

4.2.2.2 Niches d'arrachements dans la moraine en rive gauche de l'Arène face à Claire Fontaine

■ Erosion régressive des niches d'arrachements dans la moraine

Ces niches d'arrachements naturelles ne concernent que la couverture d'alluvions fluvio-glaciaires, soumise à une érosion régressive en rive gauche de l'Arène, face aux petits collectifs. Il s'agit de gros blocs emballés dans une matrice sablo-argileuse, qui glissent par paquets dans le lit, et en lien avec la dynamique torrentielle. Au-delà de la lèvre à vif la plus active, se dessinent des cicatrices plus anciennes et revégétalisées, mais susceptibles de se réactiver, notamment vers le Sud.

Les phénomènes de glissements régressifs et d'érosion torrentielle interagissent clairement entre eux sur ce secteur. L'élargissement du lit et l'aplanissement de son profil au niveau de ces terrains plus faciles à inciser que certains tronçons en amont, s'accompagnent d'une certaine divagation du chenal dans la ripisylve. De plus, les efforts pour protéger la route sur la rive opposée des attaques érosives du torrent (remblais, etc.), favorisent le renvoi des écoulements de crue sur ce versant instable.



A gauche: en rive gauche de l'Arène face à ClaireFontaine, les griffes d'érosion régressive, assez actives.

A droite: les bourrelet en pied de versant, qui arrête une grande partie des matériaux issus de ces glissements superficiels.

■ Impact sur les crues torrentielles de l'Arène

Les apports en matériaux sont relativement réguliers et peu volumineux, mais ils semblent contribuer ponctuellement à un exhaussement du fond du lit. Un glissement plus important, entraînant par ailleurs des troncs, pourrait risquer de créer des embâcles, en particulier au niveau du pont départemental sur la route de Hauteville.

4.2.2.3 Mouvements dans la couche d'altération argileuse en amont du quartier des Tonnes

■ Niche d'arrachement et petites sources au niveau des filets pareblocs

A la cote 352, sous les filets pareblocs, une niche d'arrachement d'une douzaine de mètres de largeur met à nu les argiles sous-jacentes, desquelles émergent des venues d'eau en hiver. Le phénomène semble affecter la couche d'altération des marnes ou des argiles glacio-lacustres à des degrés divers sur une quarantaine de mètres de largeur.

D'après les sondages effectués pour la pose des installations pareblocs, ces instabilités paraissent assez superficielles, ne concernant que 1 à 1,5m d'épaisseur à cette cote. Mais la morphologie des terrains en bas de versant, soit aux abords des zones bâties, semble évoquer des bourrelets de matériaux qui pourraient avoir été constitués par des coulées de boue en provenance de ces petites niches d'arrachements.

Un phénomène plus lent et un peu plus profond se manifeste aussi au Nord-Ouest, jusqu'à la grande griffe d'érosion. Il tendrait naturellement à repousser l'Arène sur sa rive droite, si le confortement de la route ne l'en empêchait.



Les Tonnes: le bourrelet de colluvions argileuses et le fossé drainant la source

■ **Mouvements lents et venues d'eau diffuses dans les colluvions en pied de versant**

Au bas du coteau où ont été implantés les filets pareblocs, la pente de raccordement jusqu'à la route de Hauteville, est empâtée par des colluvions argileuses et la couche d'altération des marnocalcaires.

Au droit de la niche d'arrachement précédemment décrite, des venues d'eau diffuses sont observées par les riverains, saturant les sols lors des périodes pluvieuses. Un fossé contourne la parcelle N°150 et les envoie dans l'Arène. Il descendait droit dans le quartier historiquement, d'après les témoignages.

L'absence d'indices de désordres relevés sur le bâti, malgré ce contexte géologique favorable, est probablement liée à une assez bonne adaptation des infrastructures aux contraintes de sol (surprofondeur des fondations, drainage des murs de soutènement).

4.2.2.4 Mouvements progressifs sur le versant de La Cha

■ Fluage des éboulis

La combe se dessinant au Sud-Ouest des épingles de la RD53 de Hauteville, compte de nombreux indices de glissements ponctuels affectant les chemins forestiers. Ils s'inscrivent dans un ensemble plus vaste, qui forme un gros bourrelet bien net sur le lidar entre 650 et 550m d'altitude environ.

■ Fluage des colluvions argileuses dans les zones naturelles et venues d'eau diffuses

Entre 500 et 350m d'altitude environ, au Sud du quartier de Plan de Mai, les terrains très argileux présentent de larges ondulations estompées et des tassements dans le chemin. Ils attestent de mouvements progressifs ("fluages") affectant une vaste étendue du versant. De petites venues d'eau diffuses émergent par ailleurs de ces colluvions. Ces bourrelets s'identifient bien sur le fond lidar (cf carte des phénomènes).

4.3 QUALIFICATION DE L'ALEA GLISSEMENT DE TERRAIN

4.3.1 Critères de caractérisation

La grille de caractérisation de l'aléa Glissement de terrain retenue provient du guide PPR Mouvement de terrain.

4.3.1.1 Détermination de la probabilité d'occurrence

La probabilité d'occurrence est estimée à dire d'expert, en fonction des indices d'activité actuelle et historique sur le terrain:

Probabilité d'occurrence	Description
Forte (go3)	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 (go2)	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 (go1)	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.

La probabilité d'occurrence est considérée de même classe pour les zones de départ, d'arrivée et les auréoles de sécurité (zones déstabilisées en périphérie à court et moyen terme).

4.3.1.2 Détermination de l'intensité

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

Intensité	Domages au bâti
Faible (gi1)	Domages limités, non structurels, sur un bâti standard
Modérée (gi2)	Domages structurels au bâti standard. Pas de dommages au bâti adapté à l'aléa
Élevée (gi3)	Destruction du bâti standard. Domages structurels au bâti adapté à l'aléa moyen.
Très élevée (gi4)	Destruction du bâti adapté à l'aléa moyen (phénomènes de grande ampleur).

Le choix de l'intensité par rapport à ces critères sera étayé pour chaque zone unitaire classée à partir du type et des caractéristiques du glissement et de l'expérience du chargé d'étude, s'appuyant autant que possible sur des exemples de cas concrets de dommages.

Les zones de départ et d'extension des coulées boueuses sont classées en considérant **l'intensité élevée ou très élevée**.

4.3.1.3 Détermination du niveau d'aléa

La **qualification de l'aléa** en 3 niveaux est obtenue par application du tableau suivant :

Intensité	Faible (gi1)	Modérée (gi2)	Elevée (gi3)	Très élevée (gi4)
Probabilité d'occurrence				
Faible (go1)	Faible (G1)	Moyen (G2)	Fort (G3)	Fort (G3)
Moyenne (go2)	Moyen (G2)	Fort (G3)	Fort (G3)	Fort (G3)
Forte (go3)	Moyen (G2)	Fort (G3)	Fort (G3)	Fort (G3)

4.3.2 Aléas résultants

4.3.2.1 Classement général

■ Zones d'aléa fort

Elles couvrent systématiquement les zones où des indices de mouvements actifs ont été repérés (probabilité d'occurrence forte), même s'il s'agit de phénomènes lents de type fluage (qui sont généralement d'autant plus profonds et s'accélèrent par crise). Dans le cas de Virieu, elles correspondent souvent à des glissements de vastes pans de versant (versant Est de la Grande Montagne de Virieu, certains éboulis du versant Sud de la Montagne de Sérémont, certaines zones boisées au Nord de Claire Fontaine, en rive droite de l'Arène.

Dans le cas du quartier des Tonnes, l'aléa fort désigne par contre des glissements plus superficiels de la couche d'altération argileuse susceptibles de dégénérer en coulée de boue.

De part et d'autre de l'Arène, l'aléa fort met aussi en évidence les risques de glissements qui peuvent se produire en cas de très forte crue par effet d'érosion des berges et déstabilisation des terrains en amont. Toutes ces zones ne se déclencheraient pas simultanément, mais des arrachements peuvent se produire en n'importe quels de ces points.

■ Zones d'aléa moyen

Elles désignent 2 situations:

- sur des pentes modérées en pourtour des zones d'aléa fort, elles correspondent à une probabilité d'occurrence moins élevée, où les indices d'activité disparaissent (ou s'estompent suffisamment pour rendre leur interprétation délicate); dans le quartier des Tonnes il s'agit de terrains moins exposés au risque de coulées de boue, mais où les contraintes de sol restent fortes du fait de circulations hydriques;

- des pentes soutenues où les terrains se tiennent bien, du fait d'un rocher peu profond ou de moraines présentant un squelette caillouteux suffisamment dense. Des glissements ponctuels de la couche d'altération peuvent néanmoins se produire, surtout en cas de terrassements importants ou de mauvaise gestion des eaux de ruissellement. Cette situation est la plus répandue sur la commune, elle correspond par exemple aux anciens vignobles des coteaux dominant la RD53 (partie Sud du bourg).

■ Zones d'aléa faible

Sur ce territoire, elles correspondent en général à des talus ou des pentes modérées avec une bonne tenue (souvent des moraines jugées compactes et bien drainées). Seuls des terrassements inconsidérés pourraient y produire de petits glissements localisés.

Dans le quartier des Tonnes, cet aléa marque par contre une pente de raccordement entre le coteau raide et la route de Hauteville, qui est constituée de colluvions limoneuses pouvant connaître des tassements du fait de leurs propriétés géomécaniques présumées médiocres et des circulations hydriques.

4.3.2.2 Zones « hors enjeux urbanisés »

Secteur	Aléa glissement de terrain	Enjeux
<i>Ponctuellement sur le versant rive gauche de l'Arène et haut du versant des Tonnes</i>	<i>Fort G3</i>	-
<i>Versant entre la rive droite de l'Arène et l'extrémité Sud de la commune (Sur Les Côtes, La Pelouse,)</i>	<i>Fort G3 et Moyen G2 avec ponctuellement de l'aléa faible G1 (Sur Les Côtes)</i>	-
<i>Colline au Sud de la commune, au Nord du lac de Virieu (Champ Morez, La Vouarde, Les Molasses)</i>	<i>Moyen G2 et faible G1</i>	-
<i>Sud-Est de la commune (Grange du Murat, La Cra, Le Greffin, La Verne)</i>	<i>Moyen G2 et faible G1</i>	-

4.3.2.3 Zones avec enjeux

Secteur	Aléa glissement de terrain	Enjeux
<i>Versant rive gauche de l'Arène et versant des Tonnes jusqu'en pied</i>	<i>Moyen G2</i>	<i>1 villa récente. Plusieurs façades arrière d'autres bâtiments.</i>
<i>Pied du versant des Tonnes en bordure de la route de Hauteville</i>	<i>Faible G1</i>	<i>6 villas et leurs dépendances</i>
<i>Rive droite de l'Arène dans le vieux bourg</i>	<i>Fort G3</i>	<i>1 bâtiment à demi implanté dans le lit du torrent (ancien atelier?)</i>
<i>Sud du bourg en direction d'En Benave</i>	<i>Moyen G2</i>	<i>1 hangar, partiellement en G2 et G1</i>
<i>Sud du bourg en direction d'En Benave (route de Lyon)</i>	<i>Faible G1</i>	<i>6 bâtiments concernés, en général partiellement, et des annexes</i>
<i>Ouest et Sud-Ouest de Plan de Mai (route de Hauteville)</i>	<i>Moyen G2</i>	<i>Anciens celliers</i>
<i>Ouest et Sud-Ouest de Plan de Mai (route de Hauteville)</i>	<i>Faible G1</i>	<i>Anciens celliers</i>
<i>Sud de Plan de Mai</i>	<i>Faible G1</i>	<i>3 habitations et leurs dépendances</i>

5 ALEAS RUISSELLEMENT

5.1 Définition

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

5.2 Synthèse des évènements recensés

Différentes enquêtes ont permis le recensement des évènements historiques. Elles ont porté sur :

- les bases de données spécialisées : institut des risques majeurs, base de données historiques sur les inondations,
- les archives départementales de l'Ain (documents en ligne uniquement),
- les études diverses dont étude hydraulique de l'Arène (HTV 2013),
- les enquêtes et témoignages auprès des habitants et de personnes ressource : environ une quinzaine de témoignages ont été recueillis.

Les évènements historiques recensés sont rassemblés dans le tableau suivant. Ils mixtent des phénomènes de ruissellement et de crues torrentielles. Les numéros (colonne Id/N°) renvoient à la carte informative des phénomènes (hors texte, en fin de rapport) et aux photographies en page suivante.

Evènements historiques identifiés

Date	Observations	Type	Id/N°
1811	Inondation moins forte que 1888	Crue de l'Arène	-
2 au 3 octobre 1888	Inondation « épouvantable » 4 ou 5 ponts emportés (Pierre Grosse, Flacillet, Clairefontaine et Croz dont les deux derniers obstrués), maisons inondées et détruites. La Tannerie a été saccagée. Phénomène liquide et solide (dépôts de graviers dans de nombreuses propriétés dont 1 500 m ³ localement), suite à des fortes pluies qui ont duré 7h.	Crue de l'Arène et ruissellement de versant	10
Février 1990	Pluviométrie : 139 mm à Belley (plus forte valeur sur 115 ans d'observation), estimé à une période de retour de 220 ans	Crue de l'Arène et ruissellement sur des combes	1,2,9
Décembre 1991	Inondations et coulées de boues. Cet épisode identifié par les arrêtés de catastrophes naturelles n'est pas documenté par les riverains et acteurs locaux.		-
Hiver 2012-2013	Habitation impasse du quart d'amont et entreprise Sana en limite d'inondation	Crue de l'Arène	-
Janvier 2018	Débordements localisés de l'Arène uniquement	Crue de l'Arène	-
05 mars 2020	Crue de pleins bords de l'Arène	Crue de l'Arène	5

Recueil photographique des évènements historiques et repères de crue



*Inondation de la plaine issue de la route de Lyon (1990)
(n°1)*



*Chemin de Cratier (fossé), après les
inondations de 1990 (n°9)*



*Parcelle le long de la route de Lyon après les inondations
de 1990 (n°1)*



*Dépôts de matériaux grossiers et branchages
suite à la crue de 1990 dans le secteur du
stade (n°11)*

(photographies de M et Mme Laplace)



Crue de pleins bords – 03 mars 2020 (n°5)



*Bras de décharge – 03 mars 2020 (n°5)
(photographie : CCBS M Molinier)*



Amoncellement de branches et terres en amont du rétablissement sous la voie ferrée (combe est) en février 1990 (n°2) (photographies de M et Mme Laplace)



Marque de la crue d'octobre 1888 (chemin de Claire Fontaine) (n°10) (photographie HTV)

5.3 Etat de catastrophes naturelles recensées

Les catastrophes naturelles recensées sur la commune de Virieu sont indiquées dans le tableau suivant :

Arrêtés de catastrophes naturelles pris sur la commune de Virieu-le-Grand

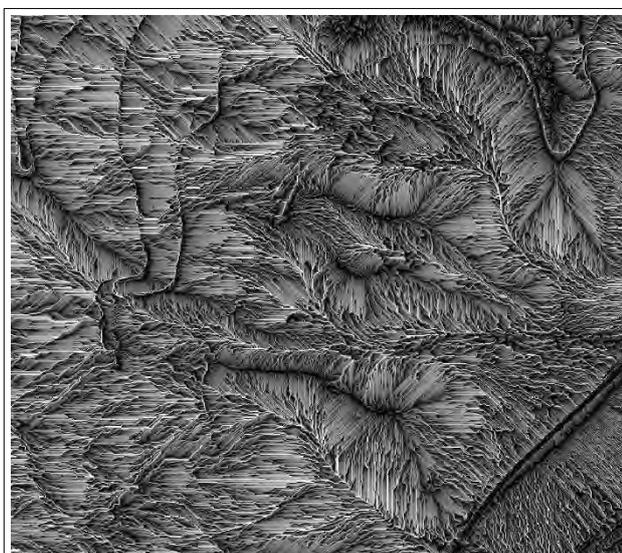
Type de catastrophe	Début le	Fin le	Arrêté le	Sur le JO du
Inondations et coulées de boues	13/02/1990	18/02/1990	16/03/1990	23/03/1990
Inondations et coulées de boue	21/12/1991	24/12/1991	11/03-1992	29/03/1992

5.4 Analyses préalables

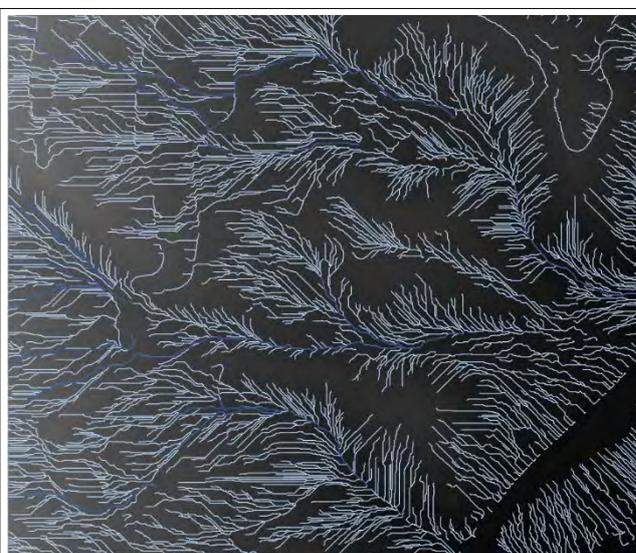
5.4.1 Pré-identification des axes de ruissellements potentiels par analyse du MNT

L'analyse des axes de ruissellement potentiels est conduite de façon systématique à partir du levé LIDAR. Le modèle numérique de terrain (MNT) est exploité pour extraire des accumulations de flux, facilement identifiables sur les versants (voir figure ci-dessous).

Cette information est ensuite utilisée pour générer un réseau de canaux, plus ou moins dense suivant la valeur du seuil d'initiation de ces canaux. Ces derniers sont ensuite exploités pour délimiter les bassins versants associés



Accumulation de flux



Réseau de canaux

5.4.2 Croisement avec le parcours de terrain et enquêtes

Les signes d'activités (morphologiques, ruissellement) observés sur le terrain, et les dysfonctionnements ou phénomènes rapportés au cours des enquêtes servent ensuite à « caler » les bassins versants théoriques précédents. Ainsi, un bassin ayant connu un épisode historique, traduit en aléa, sera exploité pour caler le niveau d'aléa de bassins similaires (pente, surface drainées, nature des sols et couvert végétal), ainsi que des bassins de tailles plus importantes en renforçant l'intensité phénomène, ou de taille plus faible en diminuant l'intensité du phénomène.

Cette approche permet de conduire une analyse sur toute la surface du territoire, de façon systématique et homogène.

5.5 Observations de terrain

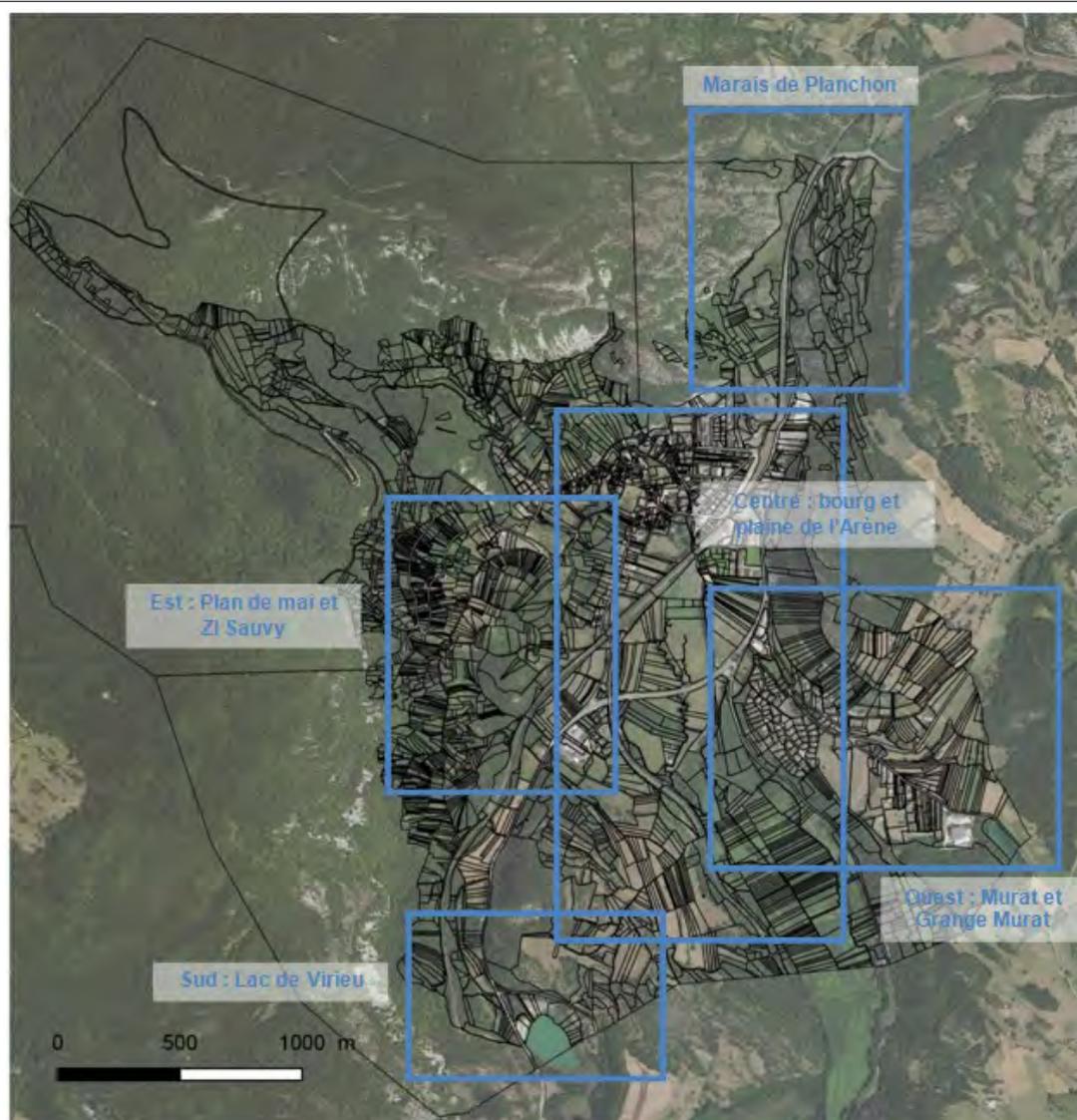
5.5.1 Sectorisation du territoire

Le parcours de terrain a été orienté sur les zones d'enjeux de la commune (zones d'urbanisation dont zones artisanales, zone de projets de développement, ...), sur les secteurs où des événements historiques ont été rapportés, ainsi que sur les zones dont le fonctionnement hydraulique nécessitait une meilleure compréhension des phénomènes dont elles peuvent être le siège.

La présentation est organisée par secteurs géographiques avec :

- au nord : le secteur du marais de Planchon,
- au centre : le centre bourg, au nord de la voie ferrée d'une part, et la plaine de l'Arène d'autre part,
- à l'ouest, le Plan de Mai en hauteur, et la zone industrielle du Sauvy en pied de versant,
- au sud-est, les quartiers de Grange Murat et Murat,
- au sud, le secteur du lac de Virieu.

Localisation des secteurs d'investigations



5.5.2 Secteur nord : marais de Planchon

La zone du marais de Planchon est globalement drainée vers le nord. Les versants sont relativement secs, sans trace ni axe d'écoulement visible. Aucun élément historique portant sur un débordement de ce secteur vers le sud n'a été rapporté.

Sur ce secteur, la route départementale RD904 et la voie ferrée (VF) sur remblai sont globalement parallèles isolant la zone des marais. On ne note aucun fossé le long de la route RD904, coté montagne. Entre la voie ferrée et la RD904 un fossé prend naissance en direction du nord (zone de phragmites). Les ouvrages de rétablissement sont peu nombreux :

- Un uniquement ouvrage sous la voie ferrée relie le fossé entre la RD904 et la voie ferrée au marais de Planchon,
- Une buse dans le fossé RD904/VF modeste est bouchée par les résidus d'entretien de la végétation,
- Une buse Ø800 sous la RD904 n'a plus d'exutoire depuis la création du chemin entre la RD904 et la VF.

Le délaissé routier (vers pont Navet) correspond à une zone plus humide, attestée par la végétation en place (phragmites et saules). Ce secteur ainsi qu'un secteur plus au sud est identifié comme zone humide à l'inventaire départemental.

Un merlon localisé en pied de versant contraint les écoulements potentiels issus du versant (100 à 200 m au nord de la déchetterie), au niveau du point haut de la route.

Le service des routes du CD01 ne rapporte aucun dysfonctionnement lié à la gestion des eaux pluviales sur ce secteur.



Remblai ferroviaire et fossé en phragmites



Unique ouvrage de rétablissement sous la voie ferrée



Zone humide à hauteur du délaissé routier



Merlon longeant la RD904

5.5.3 Secteur centre : centre bourg et plaine de l'Arène

5.5.3.1 Centre bourg

■ Entrée nord du bourg, secteur de la déchetterie

Sont relevés :

- Un rétablissement (buse Ø300) sous voirie au nord de la déchetterie permet l'évacuation des eaux du versant et probablement de la plateforme de tri vers le pré aval (où aucune trace d'écoulement n'est relevée).
- Au sud du cimetière, une noue permet de récupérer les eaux du versant (pas de trace d'écoulement), et un trop-plein de réseau (par un trou béant dans la canalisation qui permet aux eaux de s'écouler). L'exutoire de cette noue n'a pas été repéré.

L'enquête de quartier (4 personnes) n'a apporté aucun élément historique de ruissellement depuis le versant, ni même de remontée de nappe (historique sur 10 ans maximum). Certaines habitations disposent d'un puits ; attestant de la présence de la nappe à une distance raisonnable.



Fossé à proximité de la plateforme de tri



Noue à proximité du cimetière

■ Centre ancien

Le centre bourg est équipé d'un réseau unitaire ; quelques branches de collecteurs d'eaux pluviales complètent ce réseau unitaire. Les déversoirs d'orage du réseau unitaire sont connectés aux branches pluviales avant de trouver leur exutoire dans le cours de l'Arène.

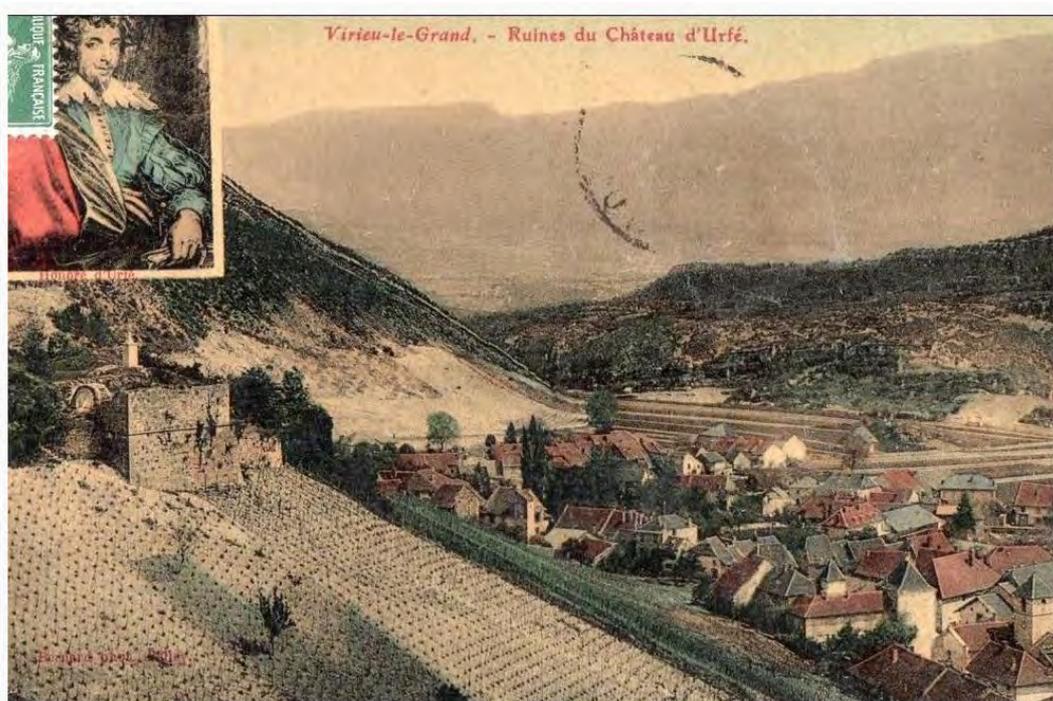
Un poste de relèvement des eaux pluviales permet de limiter les inondations sous la voie ferrée. Le débit des pompes est estimé à 150 m³/h. Il est rapporté que lors de forts orages d'été, la route est partiellement inondée (source : schéma directeur d'assainissement).

Aucun épisode historique n'a été collecté sur ce secteur, hors crue de l'Arène.

■ Entrée sud-ouest, route de Lyon

Ce secteur est situé en pied d'un coteau pentu autrefois occupé par des vignes. Aucun fossé en provenance du coteau n'a été identifié, à l'exception de l'extrémité sud où le thalweg situé au nord de la voie ferrée est collecté dans un canal pouvant ramener les eaux excédentaires sur la voirie en direction du bourg.

Lors de l'épisode de 1990, cet ouvrage a conduit une lame d'eau en direction des habitations ; l'eau s'est ensuite écoulee vers les prés en contrebas des habitations, en provoquant localement des érosions. Les eaux s'accumulent ensuite le long de la voie ferrée, avec drainage par l'ouvrage de l'Arène.



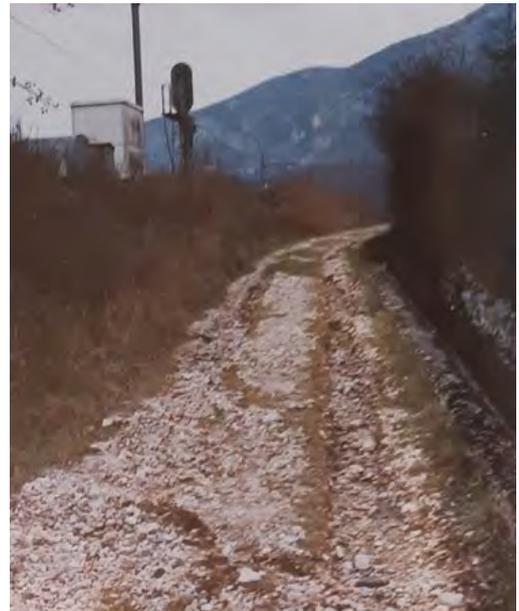
Au premier plan, coteaux anciennement en vignes au-dessus de la route de Lyon



Inondation de la plaine issue de la route de Lyon (1990) (n°1)



Parcelle le long de la route de Lyon après les inondations de 1990 (n°1)



Chemin de Cratier (fossé), après les inondations de 1990 (n°9)

(photographies de M et Mme Laplace)

■ Entrée sud-est, route de Belley

Ce quartier au développement récent sur la partie sud est équipé d'un réseau d'eaux pluviales (en diamètre 600 à 200) avec une station de pompage pour permettre l'évacuation des eaux dans le cours de l'Arène. La partie nord est collectée par un réseau unitaire (déversoir d'orage dans l'Arène).

Des dysfonctionnements de la station de pompage ont été rapportés.

Ce secteur est isolé pour partie des ruissellements potentiels du versant par un merlon parallèle à la RD904 -route de Belley.

5.5.3.2 Plaine de l'Arène

La plaine de l'Arène constitue la zone d'expansion des eaux de crue de l'Arène.

Les points bas drainés par la Seytive ne présentent pas d'activité morphologique marquée, mais concentrent le drainage des eaux.

A noter que tout le cours de l'Arène, le cours aval de la Seytive (en aval de la station d'épuration) et leurs terrains adjacents ainsi que l'ensemble du fond de vallée sont identifiés comme zones humides par l'inventaire départemental (noms de site : l'Arène et le Grand Marais).

Zones humides en fond de vallée



Source : Zones humides du département de l'Ain, Datara



Combe boisée, avec dépôts de matériaux en pied (2020)

Chemin bien visible en partie haute (1950-65)

Source: IGN - Remonter le temps

Lors de l'épisode de 1990, des nombreux matériaux grossiers ont été déposés au sud de la voie ferrée (secteur du stade).



Dépôts de matériaux grossiers et branchages suite à la crue de 1990 dans le secteur du stade (n°11)

(photographies de M et Mme Laplace)



L'Arène



Bras de décharge aménagé en direction du stade



*Crue de pleins bords – 03 mars 2020 (n°5)
photographie : CCBS M Molinier*



*Bras de décharge – 03 mars 2020 (n°5)
(photographie : CCBS M Molinier)*

5.5.4 Secteur ouest : Plan de Mai et zone industrielle du Sauvy

5.5.4.1 Plan de Mai

Le hameau du Plan de Mai est implanté à mi-pente et est constitué par une vingtaine d'habitations, dont une dizaine s'étire le long du chemin de Brens, à flanc de coteau autour des cotes 370/375.

Ce secteur était autrefois à dominante viticole. Quelques parcelles subsistent aujourd'hui.

Ce secteur semble propice à un ruissellement diffus, plus concentré à la faveur de légères combes (signes relevés dans le chemin d'exploitation prolongeant la voirie du Brens) et à l'aval de parcelles viticoles.

Aucun épisode historique n'a été collecté sur ce secteur.

5.5.4.2 Zone industrielle du Sauvy

La zone industrielle du Sauvy est située le long de la RD904. Elle est isolée des ruissellements de la montagne de Virieu par le remblai de la voie ferrée. Un unique rétablissement sous le remblai ferroviaire débouche sur ce secteur. Aucun fossé n'est présent au sein de l'ouvrage, ni le long du chemin d'exploitation qui y mène. Les eaux sont drainées par la parcelle boisée riveraine. Des ruissellements sur voirie en provenance de la RD53 sont possible.

A proximité de la zone industrielle, un réseau de fossé prend forme, avec :

- un fossé en direction du sud-ouest récupérant les eaux de la parcelle boisée précédente (passage en dalot sous la RD904),
- des fossés le long de la RD904 depuis le carrefour de la route de Lyon en direction de la voie ferrée.
- des fossés en direction des prés en contrebas de la zone industrielle, en direction du lieu-dit « Les Molasses ».

On notera que la voirie au sein de la zone industrielle ne comporte pas de réseau de collecte des eaux pluviales. Une unique grille avaloir (se rejetant dans le fossé derrière le bâtiment) est identifiée sur la parcelle n°1101, le long de la voie ferrée.

En pied de la colline au sud-ouest (Bois de Chavrolet), aucun signe d'écoulement ni de ravine n'est relevé.

L'exutoire de ce secteur est constitué par un point bas en eau au sud-est (cote 253 sur la carte IGN). Ce trou d'eau semble favoriser le stockage et l'infiltration des eaux. Il est peu probable qu'en cas de fortes pluies, les eaux puissent déborder par-dessus le chemin formant digue qui passe sous la voie ferrée.

Aucun épisode historique n'a été collecté sur ce secteur.



Ouvrage sous la RD904



Point bas en eau à la cote 253, exutoire du secteur du Sauvy

5.5.5 Secteur est : Quartiers Grange du Murat et Murat

Le relief du Murat est situé au débouché de deux larges combes : le Pas de l'Âne au nord emprunté par la RD105 et le secteur de Près l'Etang (sur la commune voisine) au sud-est, emprunté par la RD31e.

Le Pas de l'âne est marqué par des secteurs humides en fond de vallon. Aucun fossé n'est visible avant le carrefour RD105/RD31e au lieu-dit Mussignin.

Sur l'autre combe (issu du secteur de Près l'Etang), la RD31e constitue la ligne de partage des eaux entre les terrains situés au nord et ceux situés au sud. La route n'est accompagnée d'aucun fossé avant le carrefour avec la RD105.

Les eaux du côté sud sont drainées par un thalweg sec, autrefois emprunté par un chemin desservant une zone de carrière en contrebas (à l'aplomb de l'actuelle usine de charcuterie, cf. figure ci-dessous). Les eaux poursuivent dans la pente dans un relief marqué qui débouche directement sur la RD31j. Le CD01 ne recense aucun dysfonctionnement sur la RD31j au débouché de cette combe issue de l'usine de charcuterie.

Evolution du thalweg sec au droit de l'usine de charcuterie



Combe boisée, avec dépôts de matériaux en pied (2020)



Chemin bien visible en partie haute (1950-65)
Source : IGN – Remonter le temps



Etat de la combe à mi pente



Fossé exutoire de la combe le long de la RD31j (avec présence de matériaux grossiers (n°4))

Côté nord, les témoignages recueillis³ font état de la formation d'un « lac » après de fortes pluies, au pied du Mollard de la Grue et de forts ruissellements dans le thalweg formé entre les reliefs du Mollard de la Grue et l'Essart, au nord de la RD31e, à la confluence des 2 combes. Est également rapporté, la présence de puits (2 unités) alimentés par une source karstique au pied de ces reliefs : ils attestent des circulations souterraines relativement proches.

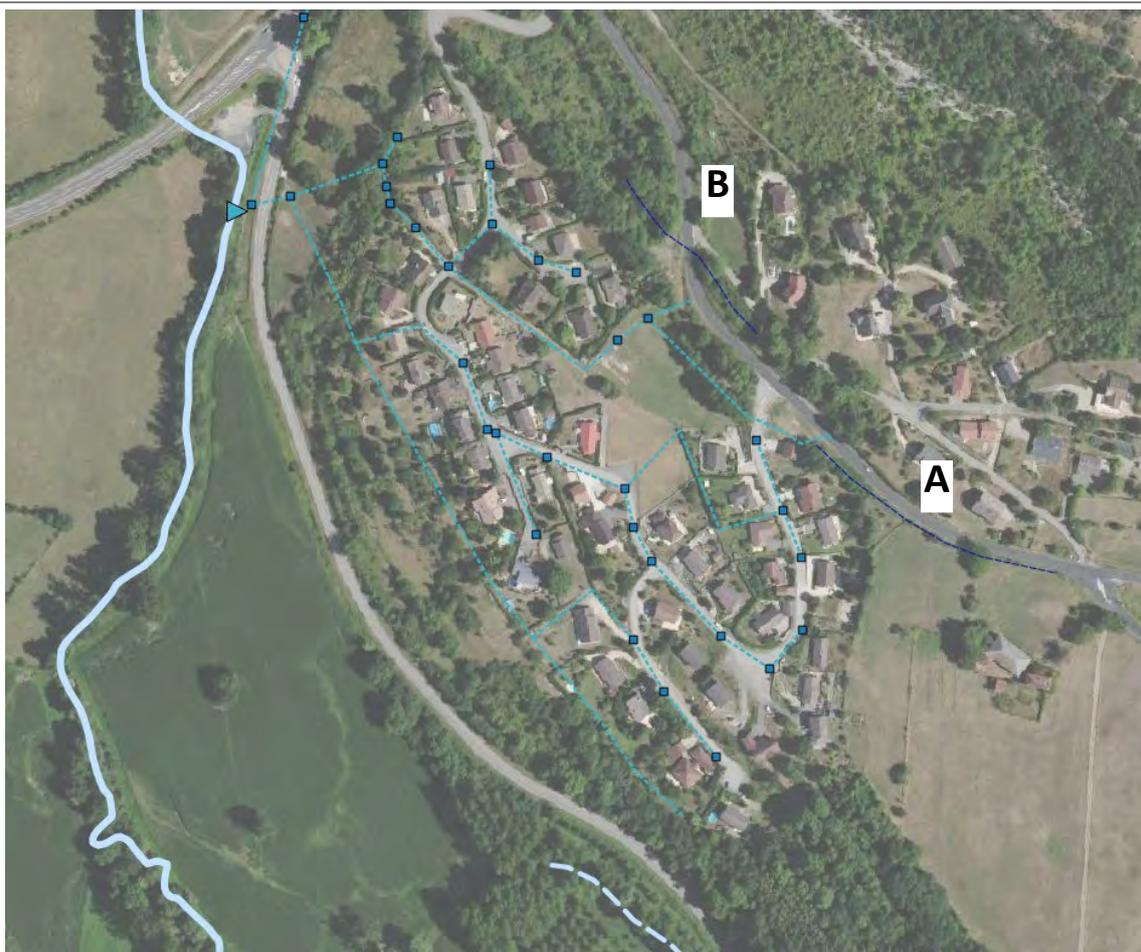
Un fossé marqué (à sec, noté A sur le plan ci-après) prend naissance en aval du carrefour et disparaît vers le lotissement. Un second fossé démarre de l'autre côté de la route, franchit le carrefour aval (buse sous chaussée) et se perd dans la végétation. En amont de la zone artisanale du Murat aucun franchissement de la voirie communale n'a été repéré ni de zone d'écoulement : le fossé se perd et s'infiltrerait vraisemblablement entre les cotes 280 et 266 dans la zone boisée.

36 personnes ont été contactées sur ce site, dont 4 avec des témoignages valorisés dans l'étude (hors CD01)

L'exutoire superficiel final de ce secteur est constitué par un dalot unique sous la RD904 au sud de la zone artisanale. Les témoignages font état de débordements dus à l'Arène de l'autre côté de la RD, mais d'aucune venue d'eau en fond de thalweg coté Murat. Les ruissellements connus seraient cantonnés à la route.

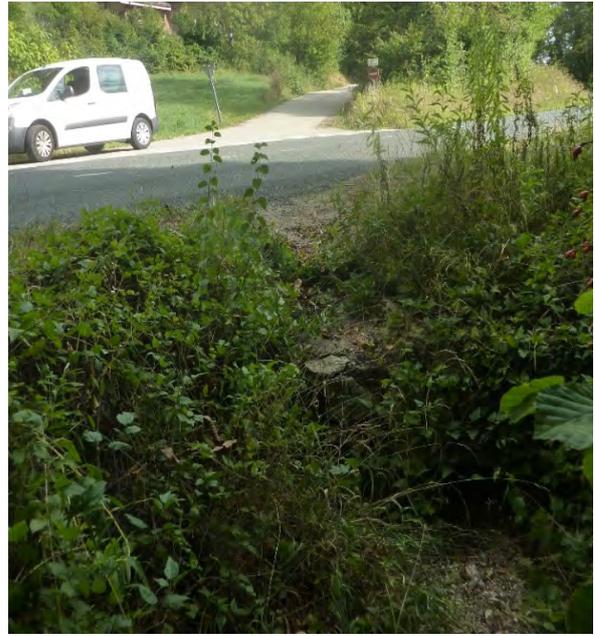
Le quartier du Murat est assaini par un réseau d'eaux pluviales (principalement en diamètre 300), qui trouve son exutoire dans l'Arène en aval du carrefour de la RD904 et de la RD31j. Le fossé A est à priori collecté dans ce réseau d'eaux pluviales, ainsi que les sources présentes dans ce secteur.

Réseau d'eaux pluviales du quartier du Murat





Dalot unique sous la RD904 au Murat



Fossé B, vue depuis l'aval

On relève également un large merlon dans le prolongement de la route du Murat, le long de la RD904 qui contraint les écoulements potentiels issus du versant des rochers de la Cra (déjà cité au paragraphe 5.5.3.1).

5.5.6 Secteur Sud : Lac de Virieu

Le lac de Virieu est prolongé au sud par une large zone de marais, vraisemblablement alimentée par des circulations d'eau en provenance du lac.

Ce secteur collecte les eaux des thalwegs secs plus ou moins marqués des versants.

Le parcours de terrain ne met en évidence aucun signe d'écoulement sur les combes situées à l'est du lac.

En revanche, la combe au nord et surtout la combe est contrôlée en aval par le rétablissement sous la voie ferrée ont connus des épisodes de ruissellement, accompagnés de transport de matériaux, comme en 1990.

Sur la combe est, le thalweg sec débouche dans un fossé, prolongé par un canal bétonné jusqu'au passage sous la voie ferrée (à sec lors des reconnaissances). A l'aval de la voie ferrée, on relève une chute de 2 m de hauteur avant diffusion dans la zone boisée. En 1990, les eaux des sources du versant ont entraîné des matériaux solides qui se sont déposés en amont du remblai ferroviaire.

Le long de la RD904, la formation d'embâcles a également été rapportée.



Combe est sur la partie amont



Combe est en amont de la voie ferrée



*Amoncellement de branches et terres en amont du rétablissement sous la voie ferrée (combe est) en février 1990 (n°2)
(photographies de M et Mme Laplace)*



Vue aval du rétablissement

5.6 Modélisation des écoulements

5.6.1 Rappel du contexte

Le modèle hydraulique mis en œuvre pour la quantification de l'aléa par ruissellement et débordement de cours d'eau, et intégrant le couplage 1D/2D entre l'Arène, la Seytive et les zones inondables, couvre environ 32 km² pour 2 millions d'éléments de calcul 2D, et un linéaire d'environ 4.5 km de cours d'eau, prenant en compte les ouvrages relatifs au cours d'eau ainsi que les ouvrages de ressuyage sous les différents obstacles et remblais.

Aperçu du modèle mis en œuvre



5.6.2 Logiciel de modélisation et méthodes numériques de résolution

La modélisation est mise en œuvre avec le logiciel ICM, édité par la société Innovyze, et distribué en France par la société Geomod.

Ce logiciel permet la modélisation intégrée des cours d'eau, des réseaux enterrés, selon des schémas de calcul 1D et 2D (résolution des équations de Barré de Saint Venant, basées sur la conservation de la masse et du moment, dans leur version unidimensionnelle ou bidimensionnelle).

Dans le domaine 1D (profils en travers, conduites), le schéma de calcul est implicite, les pas de temps sont ajustés automatiquement par itérations successives pour maintenir un état stable des résultats, basé sur des critères de tolérances sur la variation des niveaux et des débits calculés.

L'hypothèse majoritaire est que la vitesse est homogène sur la section de calcul, différenciée ni en fonction de la profondeur, ni en fonction de la position sur le profil.

Dans le domaine 2D, le schéma de calcul est explicite, le pas de temps est défini par le critère de Courant-Friedrichs-Lewy. L'hypothèse majoritaire est également que la vitesse est homogène sur la hauteur de la lame d'eau. Le domaine 2D assure la transition des mailles de calcul de sèches à mouillées en utilisant un critère de profondeur minimale. Le schéma numérique de résolution permet la prise en charge d'écoulements variant rapidement, ainsi que le calcul des écoulements torrentiels.

Les principales caractéristiques de ce logiciel sont les suivantes :

- Couplage fort entre les domaines 1D et 2D (les variables sont échangées entre les deux domaines, dans les deux sens, à chaque pas de temps de calcul), et nombreuses possibilités de connexions entre les deux domaines :
 - o Au droit des berges des cours d'eau et axes à ciel ouvert, via une relation de surverse tout au long de la berge, prenant en compte les régimes noyés ou dénoyés ;
 - o Au droit des points de connexion entre les réseaux enterrés et la surface, avec de nombreuses options de connexion en fonction de la configuration (tampon classique, grilles, avaloirs, exutoires spécifiques).
- Approche bidimensionnelle basée sur des mailles triangulaires, permettant une grande souplesse dans le façonnage du maillage de calcul (remblais, bâtiments, adaptation de la taille des mailles aux variations de la topographie ou selon des zones d'intérêt prédéfinies) ;
- Moteur de calcul bidimensionnel optimisé, permettant le calcul sur de très nombreux éléments en eau (3 à 4 millions de mailles de calcul sont possibles) ;
- Gestion avancée des données, des scénarios, permettant de limiter le risque de perte de données et d'optimiser le process de modélisation ;
- Interface SIG intégrée, permettant également d'optimiser le process de modélisation et de limiter le risque d'erreur ;

5.6.3 Modélisation du fonctionnement hydrologique du territoire couverts

Deux scénarios hydrologiques sont considérés dans la présente étude :

- 1 La construction d'un hydrogramme de crue de référence sur l'Arène, qui est injecté dans le modèle hydraulique du cours d'eau à sa condition aux limites amont. Ce scénario s'intéresse à l'aléa par débordement du cours d'eau.
- 2 La mise en œuvre d'**une hydrologie distribuée** : la pluie est appliquée directement sur le maillage de calcul, chaque maille recevant les apports pluvieux, les écoulements se propagent ensuite en fonction de la topographie et des obstacles. Le maillage intègre des rugosités et des paramètres d'infiltration différenciés en fonction de l'occupation des sols, pour représenter la capacité des sols à plus ou moins ruisseler.

La structure du modèle hydraulique est la même dans les deux scénarios, le niveau de précision est identique du point de vue de la représentation des écoulements.

5.6.4 Construction du modèle

5.6.4.1 Données

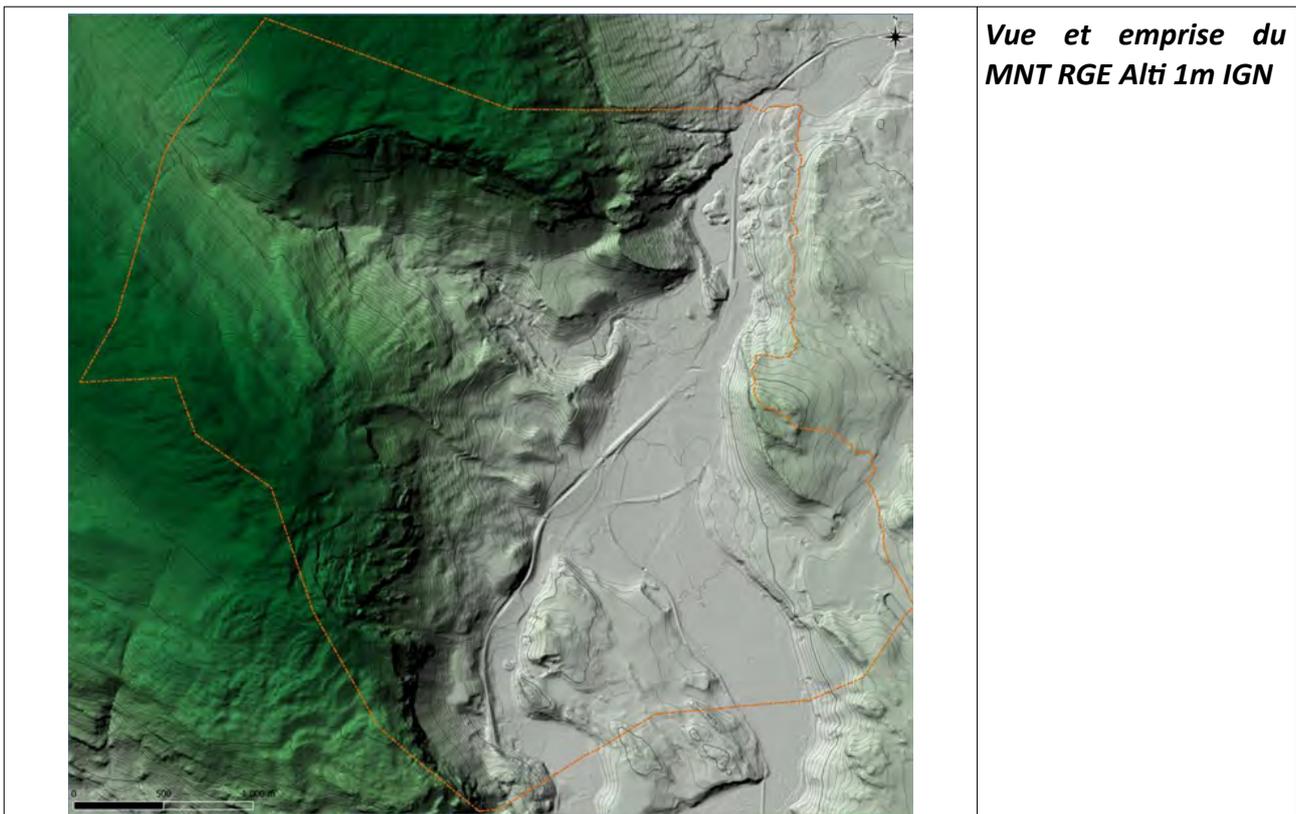
■ Données topographiques

Les données topographiques permettent de définir la géométrie des cours d'eau et des ouvrages, l'altitude des mailles de calcul et des éléments de couplage entre les lits mineurs et les zones inondables. Les données nécessaires à la mise en œuvre d'un modèle couplé 1D/2D sont les suivantes :

- un Modèle Numérique de Terrain, représentant la topographie de manière précise et étendue à l'échelle du territoire, basé ici sur un levé aéroporté LIDAR ;
- des levés de section des cours d'eau, fossés à ciel ouvert, sections canalisées ;
- des coupes d'ouvrages.

Modèle Numérique de Terrain :

Le Modèle Numérique de Terrain (MNT dans la suite du rapport) au pas d'1m issu du RGE ALTI (IGN) est exploité dans le cadre de l'étude.



Il permet de disposer tous les mètres d'une information d'altitude. Sa précision en zone découverte (sans végétation) est de l'ordre de 10 à 20 cm par rapport à des levés géométriques, cette précision peut se dégrader sous couvert végétal dense, les données sont alors complétées par les levés terrestres disponibles.

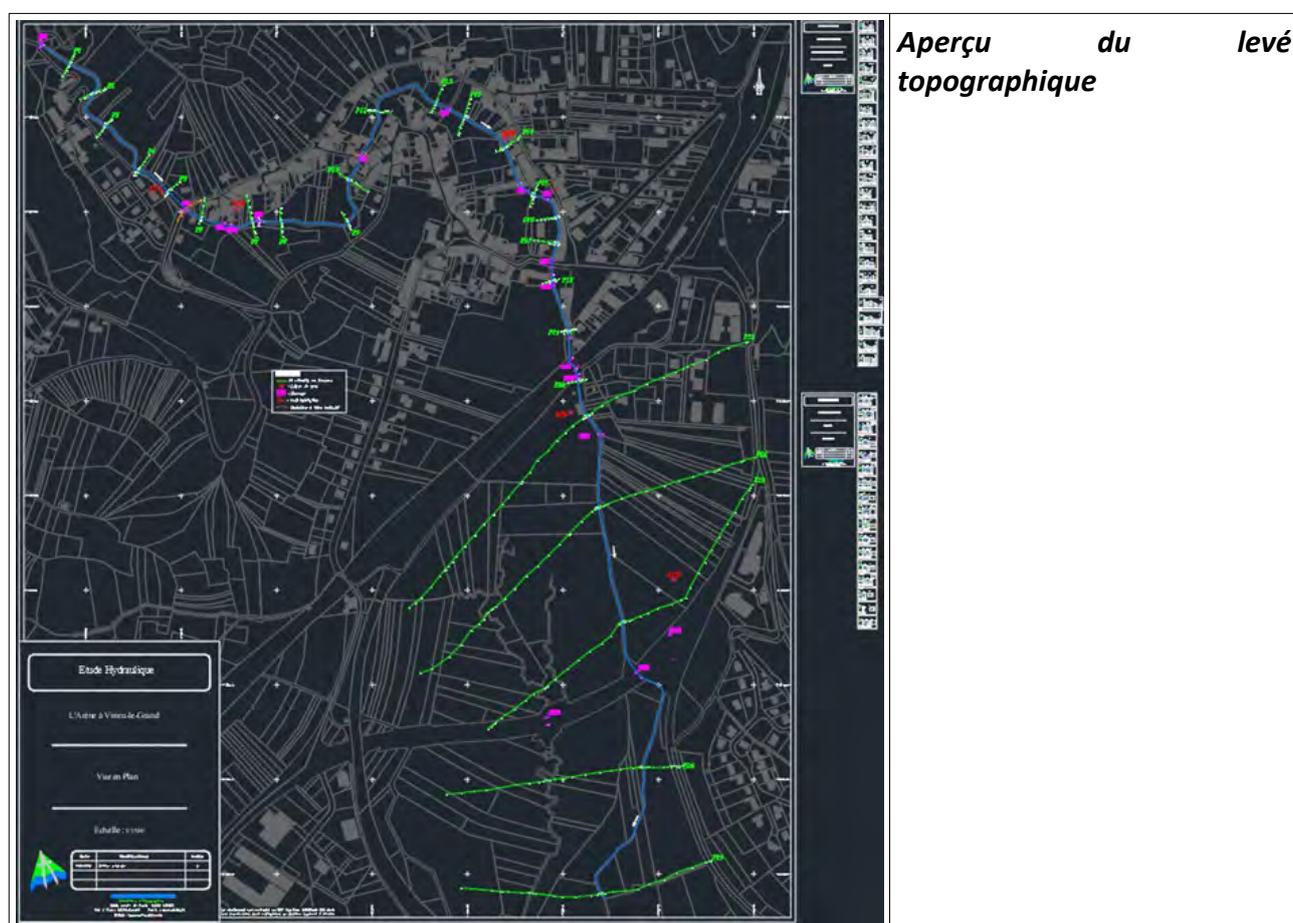
Le MNT est exploité pour définir les éléments suivants dans le modèle :

- l'altitude des mailles de calcul du maillage bidimensionnel ;
- l'altitude des berges qui feront la connexion entre les cours d'eau représentés en schéma 1D et le maillage bidimensionnel ;

Levés topographiques terrestres :

Les données suivantes ont été collectées et exploitées pour la construction des éléments 1D du modèle (canalisations et cours d'eau à ciel ouvert) :

- levé topographique de l'Arène à Virieu le Grand produit par Hydrotopo en date du 08/03/2013 ;
- étude HTV ;
- observations de terrain d'Alpes Geo Conseil et Progeo Environnement.



Ces données ont été vérifiées lors de campagnes de terrain, et complétées si nécessaire, via des entretiens avec des personnes ressources.

La densité des données topographiques est adaptée aux enjeux potentiellement inondables par les cours d'eau modélisés.

5.6.4.2 Eléments de forçage du maillage

Les données suivantes sont également exploitées pour le forçage du maillage :

- le découpage parcellaire,
- les données d'occupation des sols, permettant de définir la rugosité appliquée aux mailles et l'infiltration,
- le tracé des axes routiers.

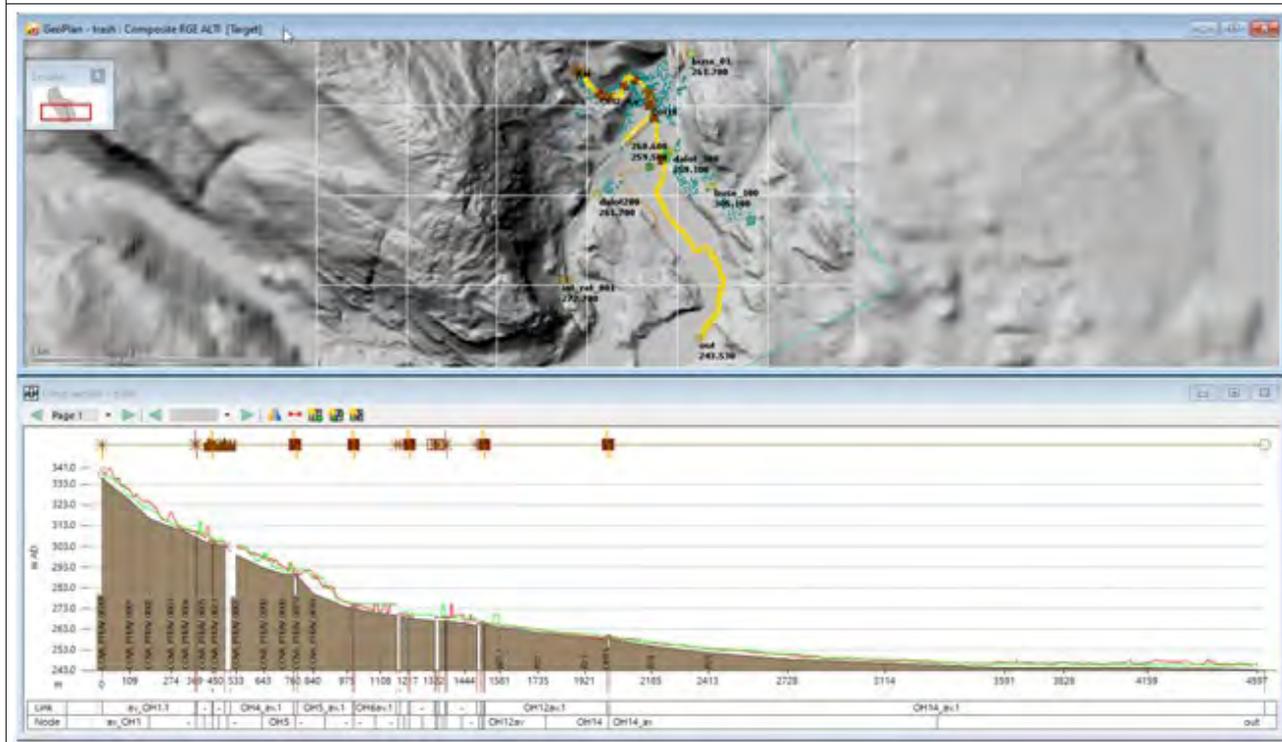
5.6.4.3 Construction des lits mineurs et des ouvrages

Les cours d'eau à ciel ouvert sont représentés par une succession de profils en travers issus des levés topographiques cités plus haut, ou extraits du MNT, en complément, sur les secteurs à faibles enjeux.

Les rugosités sont définies initialement sur la base des observations de terrain, en différenciant le lit mineur en eau et les berges, souvent encombrées de végétation. Ces valeurs sont affinées par la suite lors de l'étape de validation du modèle.

Les ouvrages de traversée de l'Arène sont définis sur la base de leur section, de leur cote radier ou fil d'eau levée sur le terrain. La rugosité est également adaptée au matériau de la conduite et à son état d'entretien.

Vue du modèle filaire 1D (lit mineur) en plan et profil en long



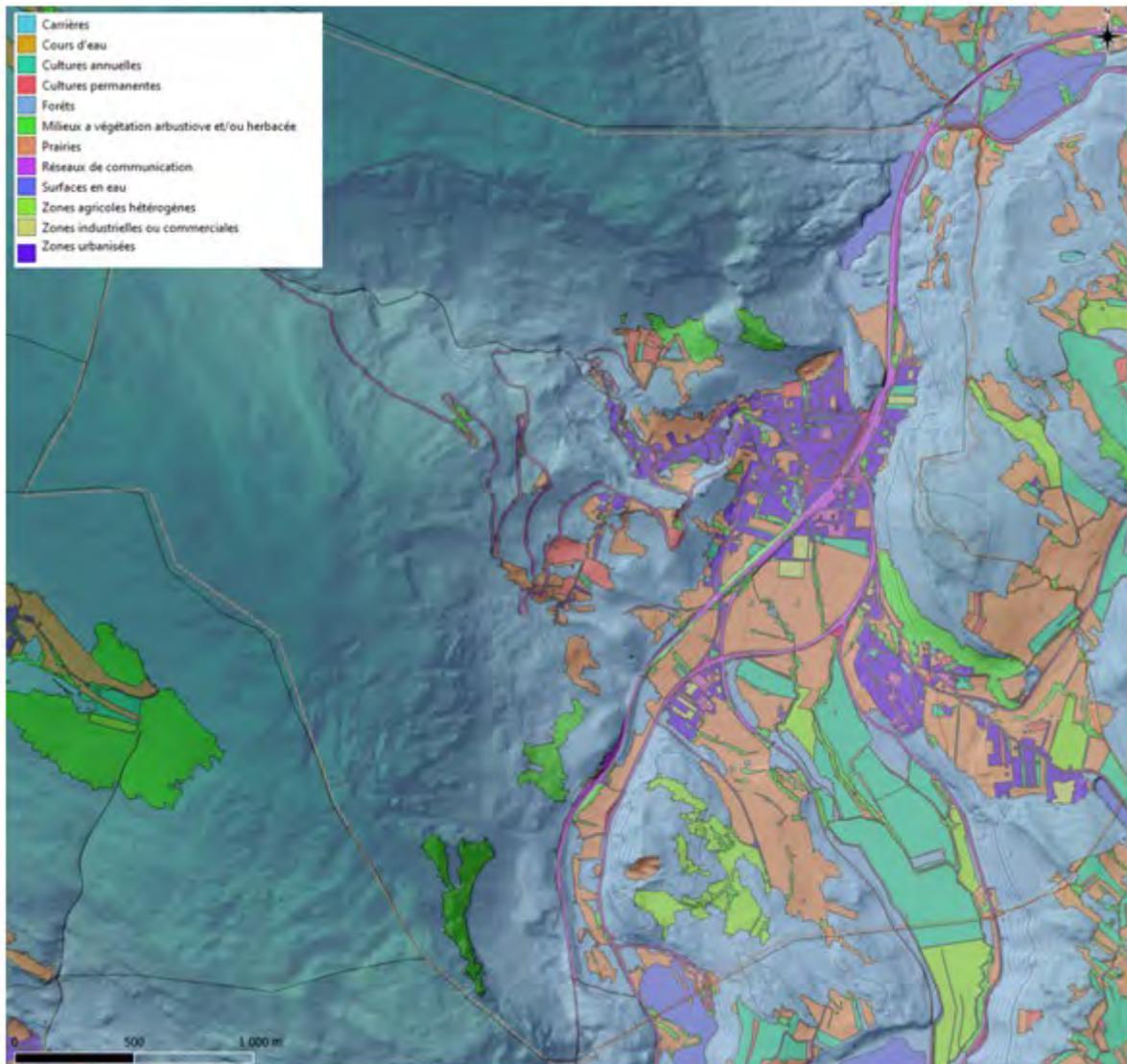
Des ouvrages de franchissement sont présents sur le tracé du cours d'eau, ils participent de manière importante aux débordements en causant des points de réduction de la capacité d'évacuation, c'est pourquoi un soin particulier a été apporté à leur intégration dans le modèle. Les possibilités de surverse des ouvrages sont également intégrées au modèle.

5.6.4.4 Construction du maillage de calcul

Le maillage de calcul présente les caractéristiques suivantes :

- Le côté des mailles est de l'ordre de 2 à 3 m sur l'ensemble du secteur modélisé ;
- La rugosité et l'infiltration sont ajustées en fonction de l'occupation des sols ;
- Des frontières poreuses sont appliquées aux ensembles bâtis, ils représentent le blocage provoqué par les bâtiments, où de nombreux murets ont été identifiés lors des investigations de terrain. Ces frontières provoquent un effet d'obstacle, mais laissent passer une proportion du débit pour permettre l'inondation des terrain situés en arrière.
- Les principaux remblais (routes, chemins, digues) sont intégrés au maillage sous la forme d'éléments linéaires prenant en compte l'effet de surverse. Les points de passage sous remblai ont été identifiés et intégrés au maillage.
- digues, et d'autre part les ouvrages de vidange des bassins.

Occupation des sols différenciée pour la définition des rugosités locales (basée sur la données OSCOM)



5.6.4.5 Connexions 1D/2D

Les biefs à ciel ouverts sont connectés au maillage au droit de la berge, qui est soit tracée au point haut de débordement, sur la base du MNT, soit extraite des profils en travers de cours d'eau quand la donnée MNT n'est pas suffisamment précise ou que les profils intègrent un bourrelet ou une digue non visible sur le MNT.

Une loi de déversement s'applique au passage de cette berge, les coefficients de débit sont définis à une échelle globale, sur la base de l'état des berges observé sur le terrain, et parfois ajusté localement quand nécessaire.

Les échanges sont bidirectionnels dans toutes les configurations.

5.6.4.6 Conditions aux limites et hypothèses de travail

Comme noté plus haut, deux scénarios de conditions aux limites sont considérés :

- 1 Injection d'un hydrogramme de crue (centennal et trentennal) à la condition limite amont du modèle de l'Arène, pour une analyse se focalisant sur les phénomènes de débordement de cours d'eau. Ce scénario est décliné en trois situations :
 - a Fonctionnement normal du cours d'eau ;
 - b Scénario de rehausse du fond du lit lié à l'apport de matériaux issus de l'amont du bassin versant ;
 - c Scénario d'obstruction de différents ouvrages.

Ces scénarios spécifiques sont détaillés dans des sections spécifiques du présent document.

- 2 Application d'une pluie sur l'ensemble du maillage, pour la caractérisation du ruissellement.

L'exutoire de l'Arène mis en place dans le modèle est placé suffisamment loin de la zone d'étude pour ne pas influencer les secteurs cartographiés.

5.6.5 Validation du modèle

Il n'existe pas de mesures de débits ou de niveaux disponibles sur le secteur d'études, en revanche il existe quelques éléments de référence :

- ordres de grandeurs de débits centennaux exploités dans le cadre d'études réalisées sur le territoire ;
- photographies et témoignages d'inondations collectés dans le cadre de l'analyse préliminaire menée par le groupement.

Les résultats de simulation ont été confrontés à ces éléments pour vérifier la bonne représentativité du modèle.

5.6.5.1 Reproduction des débits centennaux par le modèle de ruissellement

L'approche mise en œuvre pour la caractérisation du ruissellement nécessite de valider les ordres de grandeur des débits collectés par le cours d'eau, pour vérifier que les paramètres d'infiltration sont représentatifs.

La simulation d'une pluie centennale de durée intense 10 minutes, retenue dans le cadre de la cartographie de l'aléa ruissellement, produit un débit de pointe de l'ordre de 25 m³/s sur l'Arène en entrée du bourg de Virieu-le Grand, ce qui est cohérent avec les débits de référence de l'analyse hydrologique (cf. Tableau n°6 de la note spécifique à l'hydrologie du secteur d'étude, repris ci dessous).

Débits de référence de l'Arène

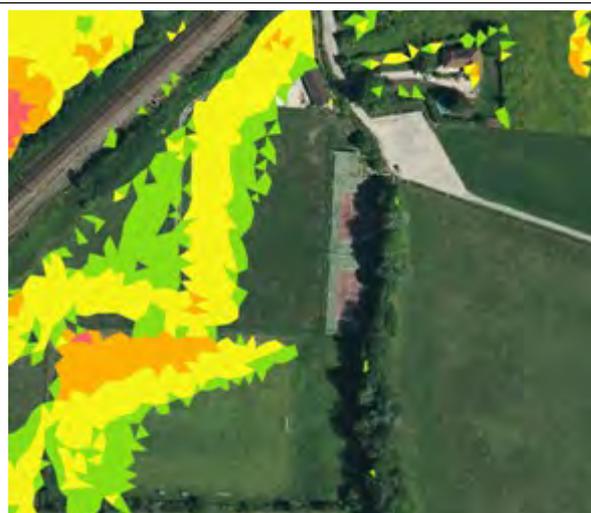
Cours d'eau	S_{bv} (km ²)	Tc (h)	Q_{10} (m ³ / s)	Q_{100} (m ³ /s)	$Q_{\text{specifique}10}$ (m ³ / s/km ²)	$Q_{\text{pseudo spé } 10}$ (m ³ /s/(km ²) ^{0.8})	Q_{100}/Q_{10}	Source
L'Arène à la confluence avec la Seytive	18,5		10,1	24,5	0,55	0,98	2,43	HTV
La Seytive à la confluence avec l'Arène	1,49		1,3	3,3	0,87	0,94	2,54	HTV
Le Furans à Pugieu	48		21,7		0,45	0,98		Hydro
Ruisseau du Gland	51	6	25	44	0,49	1,08	1,76	RTM73
Ruisseau de la Brive	37	3,5	20	35	0,54	1,11	1,75	RTM73
Ruisseau de la Gorge	11,5	1,5	7	12	0,61	0,99	1,71	RTM73
Ruisseau de la Merveille	4,4	1,25	4,5	7,5	1,02	1,38	1,67	RTM73
Ruisseau de la Perna	36,6	3,5	20	35	0,55	1,12	1,75	RTM73
Ruisseau du Rhéby	10,7	1	7,5	13,5	0,70	1,13	1,80	RTM73

5.6.5.2 Reproduction des désordres observés

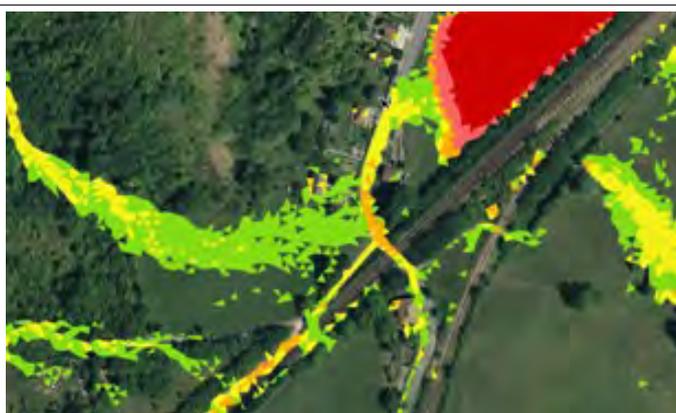
On compare ici les résultats de simulation aux observations disponibles pour vérifier la bonne reproduction du modèle.



Chemin du Cratier : reproduction de la zone de collecte en amont du chemin



Inondation du stade et mise en place d'un écoulement sur la plaine inondable



Route de Lyon :

- ruissellements issus de la route vers la plaine
- stockage contre le remblai SNCF et écoulement au delà par l'aqueduc de la Seytive (à noter l'incidence forte du remblai sur l'inondation et l'incidence importante également de la capacité d'évacuation de cet ouvrage sur la zone inondable en amont).

5.6.5.3 Paramètres retenus

Le coefficient de Strickler Ks retenu pour le lit mineur de l'Arène est de $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

Les paramètres retenus pour le maillage de calcul sont les suivants :

Coefficients de rugosité retenus

Occupation des sols	Rugosités		Coefficient d'imperméabilisation
	n	K	
Carrieres	0.083	12	40%
plans d'eaux	0.033	30	80%
Cultures annuelles	0.056	18	30%
Cultures permanentes	0.056	18	30%
Forêts	0.1	10	20%
Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée	0.067	15	20%
Prairies	0.04	25	30%
Réseaux de communication	0.029	35	90%
Surfaces en eau	0.033	30	80%
Zones agricoles hétérogènes	0.045	22	30%
Zones industrielles ou commerciales	0.05	20	80%
Zones urbanisées	0.067	15	55%

5.7 Qualification de l'aléa ruissellement

5.7.1 Grilles de qualification

Les aléas ruissellement sont qualifiés selon la méthodologie suivante :

- 1 Pour les secteurs modélisés, la pré-qualification de l'aléa est réalisée par analyse des couples hauteurs/vitesses selon la grille ci-dessous :

Grille d'aléas ruissellement – Approche quantitative

		Vitesse			
		< 0,2 m/s	0,2 < V < 0,5 m/s	0,5 m/s < V < 1 m/s	> 1 m/s
Hauteur	< 0,2 m	Faible (V1)	Faible (V1)	Moyen (V2)	Fort (V3)
	0,2 < H < 0,5 m	Moyen (V2)	Moyen (V2)	Moyen (V2)	Fort (V3)
	0,5 < H < 1 m	Moyen (V2)	Moyen (V2)	Moyen (V2)	Fort (V3)
	> 1 m	Fort (V3)	Fort (V3)	Fort (V3)	Très fort (V4)

- 2 Les résultats systématiques obtenues par cette méthode de croisement hauteur/vitesse sont ensuite expertisés à l'aide de la grille qualitative suivante et des observations de terrain.

Grille d'aléas ruissellement – Approche qualitative

Aléa	Indice	Critères
Très fort	V4	<ul style="list-style-type: none"> · Axes de concentration des eaux de ruissellement, hors torrent · Zones d'accumulation des eaux (point bas) : hauteur d'eau supérieure à 1 m
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 · Zones d'accumulation des eaux (point bas) : hauteur d'eau entre 50 cm et 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 inférieure 50 cm
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.

5.7.2 Aléas résultants

De nombreux secteurs sont concernés par un aléa ruissellement. Il peut être fort au débouché d'un axe de ruissellement concentré mais devient rapidement faible compte tenu d'une diffusion du flux.

Les infrastructures en remblais (voie ferrée Culoz/Saint Rambert et RD904) provoquent des zones d'accumulation plus ou moins marquées en face amont.

Concernant les enjeux habités, on retient les points suivants :

■ Chef-lieu

Le quartier de Claire Fontaine est en partie concerné par un aléa faible, issu de plusieurs thalwegs plus ou moins marqués en rive droite de l'Arène.

Le secteur rue du Cotter/rue des Ecoles est concerné par un aléa faible diffus issu du versant et renforcé par la divagation potentiel des écoulements du thalweg dominant le village au nord (en aléa très fort pour ce dernier).

La route d'Hauteville peut concentrer les écoulements amont et du versant, conduisant à une zone d'aléa faible sur la route et en contrebas de cette dernière.

Le centre bourg est concerné par des aléas moyens à forts. Ces derniers concernent la voirie (zone de forte vitesse ou de forte profondeur avec le passage sous la voie ferrée) ainsi que des points bas localisés. L'étroitesse créée par les bâtiments route de Lyon crée localement une accélération des eaux responsable du niveau fort de l'aléa.

Le quartier en cours de développement au sud de l'avenue de la Gare et le long de la route de Belley est concerné par une large zone d'aléas de niveau faible à localement moyen, avec des ruissellements issus de l'ensemble du territoire (passage sous la voie ferrée notamment).

■ Plan de Mai

Ce quartier est traversé par des zones d'aléas faibles correspondant à des fonds de thalwegs étendu, avec l'axe principal en aléa très fort.

■ Zone industrielle du Sauvy

Ce secteur est concerné par des ruissellements diffus (niveau faible) issus des ouvrages sous la voie ferrée et traversant la voirie départementale. On note une zone d'accumulation (niveau moyen) en contrebas de la zone artisanale, délimité par l'autre voie ferrée et un chemin d'exploitation.

■ Quartiers Grange du Murat et Murat

Ces secteurs sont concernés par des aléas faibles. Sur le lotissement du Murat la zone d'aléa est provoqué par les débordements du fossé qui draine les eaux des coteaux et des zones humides humides supérieures. La faible section du fossé et sa position favorisent les débordements le long de sa rive gauche. Enfin la voirie (RD105, la Courbe) concentre les eaux dans sa partie aval pour débouché sur la petite zone d'activité au croisement de la RD105 et de la RD904 (aléa moyen à faible).

5.7.3 Aléa très faible de ruissellement

Le niveau d'aléa très faible de ruissellement n'est pas cartographié. Il correspond à des hauteurs d'eau 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 de 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.

6 Aléas crues torrentielles

6.1 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 généralement 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.

L'aléa crue torrentielle concerne l'ensemble du cours de l'Arène dans la traversée de Virieu-le-Grand

6.2 Synthèse des évènements recensés

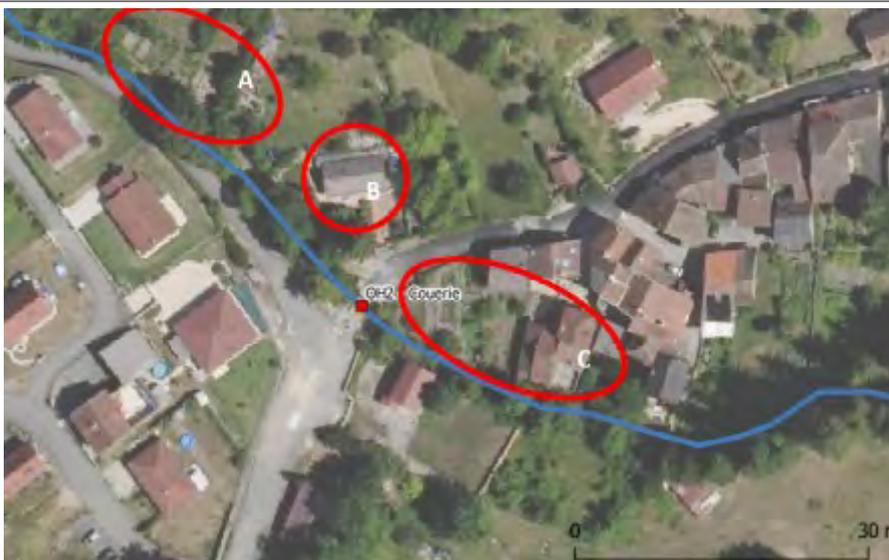
On se reportera au paragraphe 5.2. qui synthétise l'ensemble des évènements de nature hydraulique.

6.3 Description de l'Arène sur les sites à enjeux

La description de l'Arène s'étend entre l'amont du village de Virieu le Grand (Clairefontaine) jusqu'au pont de la RD 904.

En amont du pont de Claire Fontaine (OH1) l'Arène sort d'une zone très encaissée et boisée. Le lit présente une très forte pente et laisse présager un transport solide faible compte tenu des remarquables concrétions calcaires qui recouvrent le fond du lit. En amont de ce pont, les enjeux sont nuls. Les gorges peuvent néanmoins constituer une zone de production de bois morts.

Localisation des enjeux à proximité du Pont de la Couerie



En aval du franchissement du pont de Claire Fontaine, le lit reste encaissé en contrebas du Chemin de Claire Fontaine, non débordant en crue exceptionnel. Ce secteur est toujours très végétalisé et peut constituer une source de bois mort. Aussi, des apports de matériaux colluvionnaires ont été identifiés en rive gauche et peuvent constituer un apport de matériaux majeur à l'Arène en cas de glissement de terrain.

Le seuil situé en amont du pont de la Couerie (OH2) impose une modification de la pente du lit qui peut favoriser les débordements en rive gauche. Ce phénomène serait d'autant plus aggravé en cas d'engravement du lit en amont du seuil (pente favorable au dépôt des sédiments). Les débordements toucheraient des jardins (A) et possiblement une maison d'habitation (B) située entre le seuil et le pont.



Seuil en amont du pont de la Couerie



Pont de la Couerie (OH2)

En aval du pont de la Couerie (OH2), le lit de l'Arène est contraint et encaissé. Il ne semble pas pouvoir déborder et inonder les habitations en rive gauche. En revanche, les débordements qui pourraient se produire en amont du pont pourraient retourner à l'Arène via la Route d'Hauteville puis toucher des jardins et des habitations riveraines (C).

Jusqu'au pont de la Chanaz (OH5), les enjeux sont éloignés du lit de l'Arène. Celle-ci s'écoule sans risque de débordement contre une terrasse alluviale en rive droite. Comme précédemment, le seuil situé en amont immédiat du pont de la Chanaz impose une diminution de pente locale favorable au dépôt sédimentaire. La section hydraulique très réduite du pont pourrait conduire à un risque d'obstruction fort en cas de crue exceptionnelle. L'aléa sera d'autant plus fort dans le cas d'une combinaison d'un dépôt sédimentaire + encombrement de section. Les enjeux touchés restent néanmoins très limités aux bâtiments riverains directs (dont un lavoir).



Le lit de l'Arène au droit et en amont immédiat du pont de la Chanaz (OH5)

Entre le pont de la Chanaz (OH5) et le pont de Croz (OH6), le lit de l'Arène présente toujours une pente forte à très forte qui limite les risques de débordements. Le risque d'érosion de berges n'est toutefois pas exclu. La présence de ripisylve sur tout son linéaire pourrait alors constituer une source de production de bois mort.

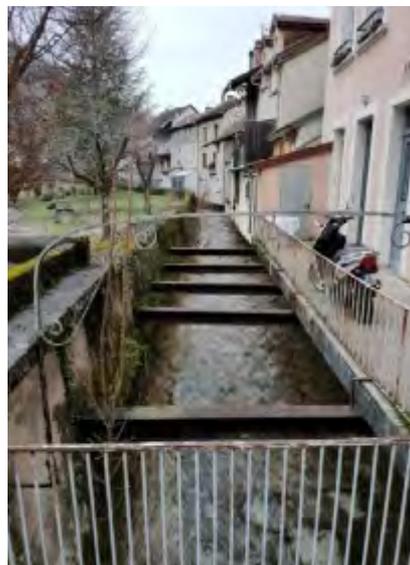
A partir des Tanneries, les berges du lit deviennent artificielles et sont majoritairement constituées par les murs de bâtiments riverains. Les hauteurs de berges sont réduites et la pente du lit diminue progressivement. La conjonction de ces observations rend sensible les risques de débordements. Au même titre que le pont de la Couerie, le pont (ou couverture) de la Tannerie (OH7) présente une section très réduite qui pourrait, en toute ou partie, s'obstruer en cas d'évènement exceptionnel.



Pont des Tanneries (OH7)

Jusqu'au pont de la RD53 (OH9), la configuration est identique : les bâtiments sont construits directement en berge voire en surplomb du lit. Cette proximité rend les risques très sensibles en cas d'évènement exceptionnel (inondation généralisée des sous bassement de bâtiments). Plusieurs ouvrages peuvent constituer des obstacles et ainsi favoriser le développement d'encombres : passerelle, bâtiment en surplomb, terrasses en surplomb, poutres IPN. Le développement de la végétation présente dans le lit est à surveiller pour éviter le grossissement des tiges puis la dégradation associée des murs.

Le pont de la RD53 présente une section hydraulique très réduite comme la plupart des ouvrages amont (OH5 et OH7).



Traversée du centre bourg de Virieu le Grand entre le pont des Tannerie (OH7) et le pont de la RD53 (OH9)

Entre le pont de la RD53 et le pont de la voie ferrée (OH11), l'Arène s'écoule entre une lignée de bâtiments en rive gauche (berge totalement artificialisée) puis un parc privé en rive droite flanqué d'une ripisylve. Sur ce tronçon, deux ouvrages peuvent constituer un fort risque de formation d'encombre. Il s'agit d'une grille apposée en aval un ouvrage de franchissement (D, usage indéterminé), puis d'un vestige de vannes guillotines (E, sans usage actuel) dont les supports en pierre de taille entravent le lit de l'Arène.



Ouvrages favorisant le risque d'encombre le long du parc

Le pont de la voie ferrée (OH11) semble présenter une section suffisante pour un événement exceptionnel. En aval du chenal de décharge hydraulique (amont du stade), le lit de l'Arène présente une faible pente qu'elle conservera ensuite. Le lit est flanqué d'un mur en rive droite et d'un merlon de terre de faible hauteur (environ 0,50 m) en rive gauche (F). Le lit est fortement

végétalisé mais semble être entretenu (tiges d'âge jeune). Sa faible dimension rend les risques de débordements sont réels en rive gauche (rue du stade et quelques habitations) puis en rive droite (stade).

La passerelle du stade marque la limite aval du centre bourg, l'Arène s'écoule à nouveau dans un environnement plus naturel. Jusqu'au pont de la RD 904, le lit a été historiquement rectifié puis contraint par deux merlons de terre et de grave (anciens produits de curage) aujourd'hui très végétalisés (G). Les risques de débordement sont possibles mais les enjeux y sont très faibles (prairie).



Ouvrages favorisant le risque d'encombre le long du parc

6.4 Transport solide et activité morphologiques

6.4.1 Méthodologie

6.4.1.1 Granulométrie

Une visite de terrain a été réalisée le 6 janvier 2021 pour réaliser des mesures granulométriques sur l'Arène, nécessaires à l'étude du transport solide. Compte tenu du contexte morphologique de ce cours d'eau, la charge grossière de fond est peu fréquente car la plupart des matériaux sont cimentés par les précipitations calcaires, après leur mobilisation en crue. Les mesures granulométriques ont donc été réalisées par une méthode de prélèvement aléatoire au droit de plusieurs patchs sédimentaires. Les mesures font état d'un diamètre moyen de 21 mm. Les autres caractéristiques dimensionnelles sont présentées dans le tableau suivant.

Résultats granulométriques des matériaux mobiles de l'Arène (en mm)

D.min	D30	D50	D90	D90/D30	D.max	D.moyen
1	10	15	42	4,2	145	21

6.4.1.2 Hydrologie

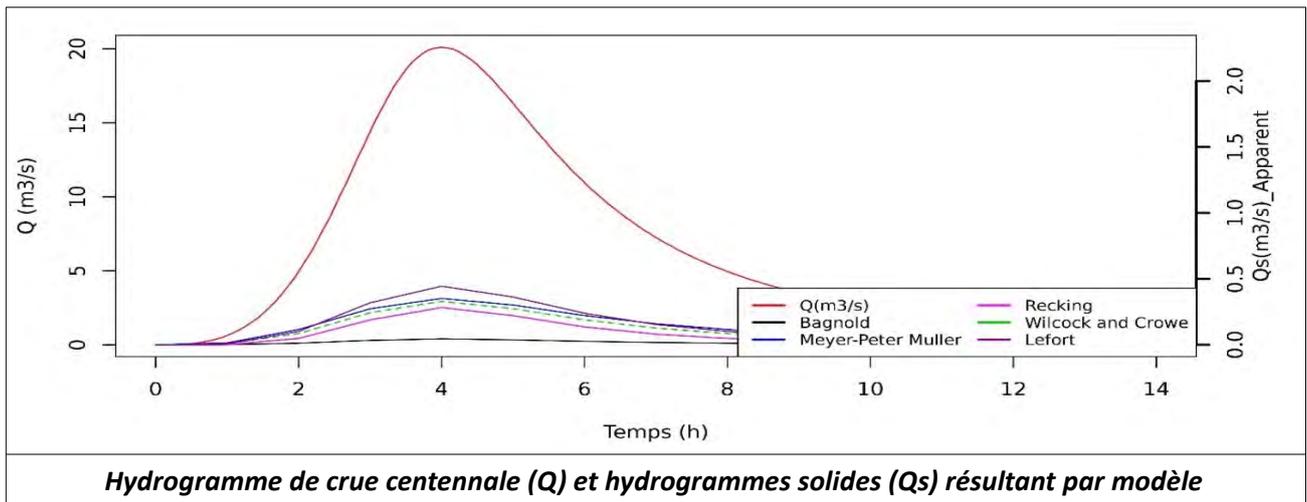
Nous avons reconstitué l'hydrogramme de la crue centennale à partir des hypothèses de HTV (2013) en considérant chaque débordement majeur afin de prendre en compte le débit réel transitant dans le lit mineur et participant au transport solide.

L'ensemble de données hydrologiques exploitées dans le présent rapport est présenté en annexe.

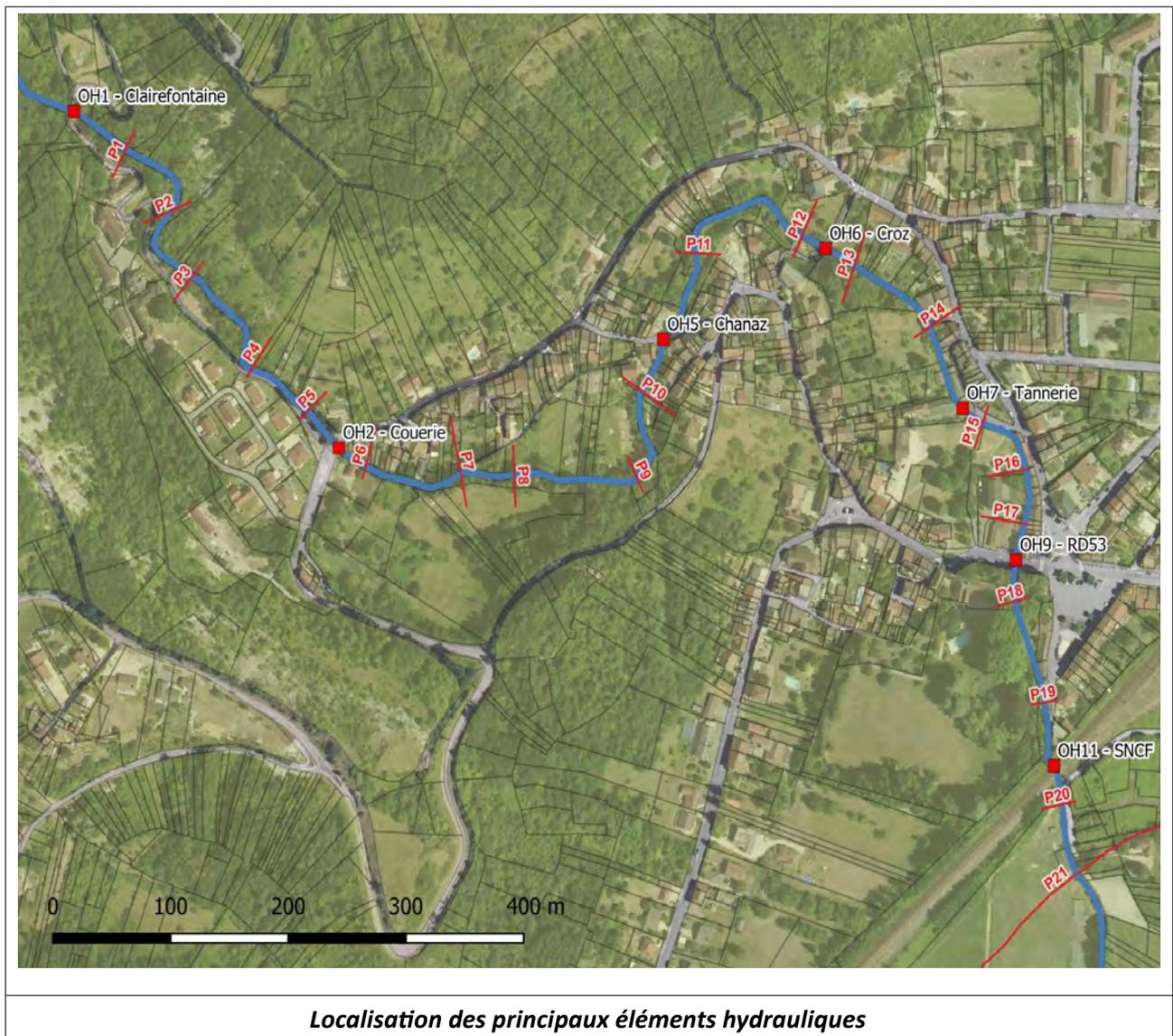
6.4.1.3 Modèles utilisés

Compte tenu du contexte hydromorphologique particulier de l'Arène, nous avons considéré plusieurs modèles de transport solide plutôt qu'un seul de manière à disposer d'une vision plus étendue des résultats. Nous avons préalablement retenu cinq modèles les plus appropriés au contexte (pente, charge grossière et formulation de terrain). Nous avons finalement exclu les modèles qui fournissaient des valeurs extrêmes (Bagnold (1980) et Lefort (2007)) pour retenir les trois modèles suivants : Meyer Peter – Muller (1948), Recking (2013), Wilcock & Crowe (2003).

Les calculs ont été réalisés au droit des profils topographiques P2 à P19 (Hydrotopo, 2013). Les lignes d'eau nécessaires au calcul de transport solide ont été calées sur les résultats hydrauliques de la modélisation Q100 de HTV (2013).



Les profils et ouvrages cités par la suite sont localisés sur la figure suivante.



6.4.2 Résultats des capacités de charriage

6.4.2.1 Préalables importants

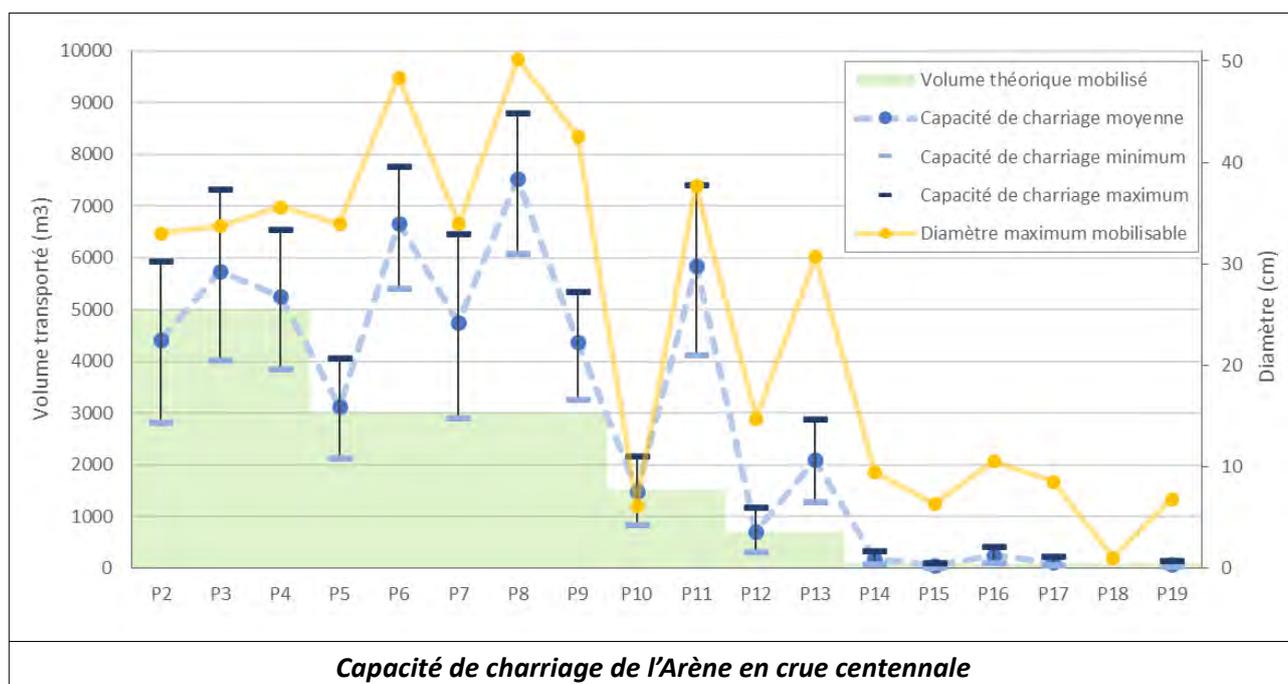
Avant toute interprétation des résultats, nous souhaitons apporter des éléments de précision sur l'étude du transport solide.

- D'une manière générale, les résultats produits par les formules donnent des « capacités de charriage », c'est-à-dire le volume de matériaux qui peut être transporté par le cours d'eau eu égard à sa puissance hydraulique et ses contextes topographique et morphologique. Les formules considèrent aussi une fourniture sédimentaire illimitée, ce qui n'est pas le cas sur l'Arène. Notre vision du terrain et la consultation des photographies aériennes (bassin fortement végétalisé) montrent peu de zones de production sédimentaire. Il est alors certains que les capacités de charriage affichées sont supérieures au volume réellement transité.
- La nature physico-chimique des eaux de l'Arène (concrétions calcaires) lui confère un fonctionnement hydromorphologique atypique. Tant que les crues n'ont pas l'énergie suffisante pour détruire le substrat, le transport des matériaux en crue reste faible et s'apparente essentiellement à des matériaux fins qui n'ont pas ou peu d'incidences sur la morphologie du lit. Au contraire, les fortes crues qui parviennent à détruire le substrat (>Q30) peuvent subitement mobiliser une grande quantité des matériaux sous-jacents – de toute dimension – qui peuvent jouer un rôle majeur dans l'évolution morphologique du lit (notamment exhaussement dans notre cas).
- Le diamètre moyen des sédiments mesurés apparaît assez faible au regard de la taille pressentie des sédiments concrétionnés en fond de lit (non mesurables) et des matériaux visibles dans les merlons (curés historiquement dans le fond du lit) en aval du pont de la voie ferrée. Il est probable que celui-ci soit sous-estimé par rapport à ce qui pourrait être mobilisé en cas de destruction de la couche indurée.

Ainsi, si les résultats de capacité de transport que nous affichons peuvent apparaître élevés au regard des témoignages et de ce que les habitants ont l'habitude de constater après une crue (fréquente), il ne faut pas sous-estimer l'effet d'une déstructuration du fond du lit qui se produirait lors d'un événement exceptionnel qui pourrait générer une mobilisation de tout ou partie des matériaux du lit et des berges.

6.4.2.2 Résultats

La figure ci-après restitue les résultats des capacités de charriage de l'Arène en crue centennale. Elle fait apparaître l'étendue des résultats à chaque profil ainsi qu'une estimation théorique du diamètre maximum des matériaux (Dmax) pouvant être mobilisés pour le débit de pointe de la crue.



Dans la situation actuelle, les principaux constats qui seraient observés en crue centennale sont les suivants :

- L'évolution des capacités de charriage diminuent logiquement d'amont en aval compte tenu de (1) la diminution de pente du lit et (2) de l'hydrologie dont les débordements majeurs observés sur les profils P15 à P18 diminuent significativement les capacités de transport dans le lit mineur.
- Chaque diminution de capacité qui succède de fortes capacités de charriage illustre une sensibilité au dépôt sédimentaire. Ils peuvent se produire principalement au niveau :
 - Profil P5 en amont du seuil du pont de la Couerie ;
 - Profil P10 en amont du pont de la Chanaz ;
 - Profil P12 en amont du pont de Croz ;
 - De façon généralisé entre P14 et P19 (traversée du centre bourg).
- La taille des matériaux qui pourraient être mobilisés sont supérieurs à 30 cm en amont du secteur d'étude (amont P13 à l'exception des deux secteurs identifiés précédemment, P10 et P12) et diminue significativement entre P14 et P19 confirmant la diminution de la capacité de transport solide de l'Arène sur ce secteur.

6.4.3 Incidences sur l'évolution des fonds du lit en crue

Afin de déterminer les incidences du transport solide sur l'évolution altimétrique du fond du lit et sur les lignes d'eau associées, nous avons considéré plusieurs scénarios :

- Une crue centennale avec charriage sédimentaire sans obstruction des ouvrages de franchissement (solide ou encombrés) ;

- Arrachement superficiel de l'ordre de 50 m³ de moraine en amont du pont de la Couerie ;
- Arrachement superficiel de l'ordre de 150 m³ de moraine en amont du pont de la Couerie ;
- Arrachement généralisé de la moraine et obstruction brutale du lit en amont du pont de la Couerie.

6.4.3.1 Incidence d'une crue centennale avec charriage sédimentaire

Sur la base des éléments théoriques précédents, nous avons déduit le volume de matériaux mobilisé puis déposé à chacun des secteurs de perte de capacité de transport identifiés précédemment. Le calcul de volume déposé a été calculé entre le début et le débit de pointe de la crue (phase de montée) pour représenter la situation la plus critique. Ces volumes ont été converti en épaisseur de matériaux dans le fond du lit répartis de façon homogène entre chaque profil modélisé. Les résultats mettent en évidence des exhaussements majeurs sur les secteurs P5 et P10 (voir tableau suivant).

Grandeur des dépôts de matériaux dans l'Arène en crue centennale

	P5	P10	P12	P14 à P19
Volume déposé (m ³)	760	570	304	228
Hauteur du dépôt moyen sur le profil (maximum) (m)	0,81 (1,50)	1,23 (1,38)	0,55 (0,74)	0,16 (0,26)

Comme il l'a été présenté dans le § 6.4.2.1, les capacités de charriage représentent dans notre cas une vision pessimiste du phénomène car elles sont probablement supérieures au transport solide réel. Si les matériaux qui seraient mobilisés pour un tel évènement semblent peu disponibles dans la situation morphologique actuelle, ils pourraient le devenir dans le cas d'une déstructuration du fond du lit, d'érosions massives de berges ou de glissements de terrain. Nous rappelons que les témoignages de la crue de 1888 font état d'une « inondation épouvantable » avec plusieurs ponts emportés en conséquence des forts aléas liquides et solides. Il n'est donc pas exclu que de tels phénomènes puissent se reproduire dans le futur.

Les incidences de ces évolutions du fond sur les lignes d'eau en crue centennale ont été modélisées. Les résultats sont présentés dans les cartes hors texte.

Remarque : Les résultats théoriques montrent des dépôts majorés sur la partie amont du village de Virieu (P5 et P10). Dans les faits, il est probable que ces dépôts se déplacent davantage vers l'aval (P14 à P19) une fois la pente d'équilibre rétabli sur les P5 et P10. Cela se traduirait par une majoration de l'exhaussement du lit sur la partie aval qu'il n'est pas possible de quantifier précisément sans prise en compte du caractère dynamique des dépôts (modélisation hydro-sédimentaire).

6.4.3.2 Arrachement superficiel de 50 m³ de moraine

Selon les hypothèses de Alpes Géo Conseils, cet arrachement modeste de 50 m³ serait composé comme suit :

- 65 % de très gros blocs de diamètre 1 à 2 m, soit 32.5 m³ ;
- 30 % de pierres de diamètre 0,2 m, soit 15 m³ ;
- 5 % d'éléments plus fins de diamètre < 0,1 m, soit 2.5 m³.

La moitié des matériaux pourrait s'arrêter sur le bourrelet de talus qui pourrait se faire éroder par le torrent. On considère alors un apport direct au cours d'eau de 25 m³ de matériaux puis une reprise progressive des 25 m³ restant sur le bourrelet (+ le volume du bourrelet d'environ 25 à 50 m³).

Compte tenu des capacités de charriage de l'Arène et des diamètres maximum mobilisables sur ce secteur (P3 et P4) les incidences d'un tel arrachement pour une crue centennale⁴ sur l'Arène seraient :

- Obstruction de toute ou partie du lit mineur du torrent par des matériaux dont la majorité ne serait pas mobilisable conduisant à des débordements locaux puis un retour rapide au lit mineur.
- Les matériaux qui pourront être remobilisés auront peu d'incidences sur la majoration des niveaux de fond compte tenu des faibles volumes concernés (35 m³ au plus).

6.4.3.3 Arrachement superficiel de 150m³ de moraines

Selon les hypothèses de Alpes Géo Conseils, cet arrachement plus conséquent de 150 m³ serait composé comme suit :

- 65 % de très gros blocs de diamètre 1 à 2 m, soit 97.5 m³ ;
- 30 % de pierres de diamètre 0,2 m, soit 45 m³ ;
- 5 % d'éléments plus fins de diamètre < 0,1 m, soit 7.5 m³.

Environ 1/3 du volume des matériaux s'arrêterait sur le bourrelet et le reste atteindrait le torrent. On considère alors un apport direct au cours d'eau d'environ 100 m³ puis une reprise progressive des 50 m³ sur le bourrelet par érosion du torrent (+ le volume du bourrelet d'environ 25 à 50 m³).

Compte tenu des capacités de charriage de l'Arène et des diamètres maximum mobilisables sur ce secteur (P3 et P4) les incidences d'un tel arrachement pour une crue centennale¹ sur l'Arène seraient :

- Obstruction majeure mais locale du lit mineur du torrent par des matériaux dont la majorité ne serait pas mobilisable conduisant à des débordements locaux puis un retour rapide au lit mineur.

⁴Les tests de sensibilité réalisés en considérant une crue trentennale sur l'Arène amènent aux mêmes conclusions.

- Les matériaux qui pourront être remobilisés auront peu d'incidences sur la majoration des niveaux de fond compte tenu des faibles volumes concernés (100 m³ au plus).

6.4.3.4 Arrachement généralisé de la moraine

Un arrachement généralisé de la moraine en amont du Pont de la Couerie induirait une obstruction brutale et localisée (sur environ 100 m) du lit mineur de l'Arène et de la section du pont de la Couerie (encombre). Il constituerait une fourniture sédimentaire majeure non limitante qui pourrait rendre tout à fait réalistes les résultats de transport solide présentés précédemment.

Il faudrait alors s'attendre à :

- Une évidente majoration des dépôts en amont du pont de la Couerie générant une sortie du lit de l'Arène et une divagation sur tout le fond de vallée, puis un retour vers le lit mineur en aval du pont.
- Sur les profils P10, P12, P14 à P19, des dépôts comparables à ceux mis en évidence dans le tableau «Grandeur ». Il est probable que les évolutions morphologiques sur P10 et P12 soient toutefois plus rapides compte tenu de la proximité de la source sédimentaire.

6.5 Caractérisation de l'aléa

Plusieurs scénarios ont été développés pour caractériser l'aléa torrentiel, notamment au travers de l'incidence du transport solide et/ou des flottants.

- Scénario de crue centennale liquide uniquement ;
- Scénario de crue centennale liquide avec incidence du transport solide dite « lit rehaussé » (Cf. Figure hors texte).
 - Profil P5 en amont du seuil du pont de la Couerie – fort sur-aléa sur les deux rives en amont du pont sur les habitations en aval rive gauche du pont.
 - Profil P10 en amont du pont de la Chanaz – débordements quasiment nuls compte tenu de la chenalisation du lit en amont du pont. Leger sur-aléa sans enjeux.
 - Profil P12 en amont du pont de Croz – incidences nulles sur les débordements.
 - De façon généralisée entre P14 et P19 (traversée du centre bourg) – peu, voire pas de changement par rapport à la situation de référence liquide.

La prise en compte du transport solide dans les résultats hydrauliques reflète une situation exceptionnelle mais réaliste qui fait globalement échos aux témoignages de la crue de 1888. Nous proposons donc de retenir cette configuration plutôt que le scénario de crue strictement liquide qui apparait moins réaliste.

- Scénarios d'obstruction d'ouvrages de franchissement (hors influence du transport solide, celui-ci étant considéré de moindre importance sur le rehaussement de ligne d'eau que l'obstruction complète). Un premier scénario combinant l'obstruction de OH2 + OH7 a été retenu suites aux derniers échanges techniques avec le Maître d'Ouvrage. Une nouvelle proposition de scénario (modifiant le précédent) est proposée pour prendre en compte une probabilité réaliste de la combinaison des phénomènes sur d'autres ouvrages. Le tableau ci-après présente les probabilités d'obstructions des principaux ouvrages hydrauliques proches des enjeux et la combinaison possible du phénomène.

Probabilité d'obstruction des principaux ouvrages hydrauliques sur l'Arène

Ouvrage	Probabilité d'obstruction	Incidences hydrauliques	Combinaison / Survenue du phénomène
OH1 – Claire Fontaine	Section = 14,4 m ² (H=3,66 m) Probabilité d'obstruction faible.	Inondation de voirie et bâtiment amont Claire Fontaine.	Premier ouvrage à réceptionner les flottants depuis les gorges amont.
OH2 - Couerie	Section = 10,1 m ² (H=2,16 m) Probabilité d'obstruction forte.	Inondation majeure en aval sur la rive gauche le long de la route d'Hauteville et habitations riveraines. Inondation rive droite centrale hydroélectrique. Retour au lit au pont de la Chanaz (OH5).	Obstruction possible en cas de glissement de terrain (amont) ou érosion de versant mobilisant des bois en grande quantité.

Ouvrage	Probabilité d'obstruction	Incidences hydrauliques	Combinaison / Survenue du phénomène
OH5 - Chanaz	Section = 4,4 m ² (H=1,17 m) Probabilité d'obstruction très forte.	Inondation locale des bâtiments en amont et aval rive gauche.	Premier ouvrage à très faible section hydraulique. Son obstruction combinée à celle de OH2 est tout à fait probable.
OH7 – Tannerie	Section = 4,1 m ² (H=1,28 m) Probabilité d'obstruction très forte.	Inondation majoritairement orientée en rive gauche sur la route d'Hauteville affectant tout le centre bourg, la gare puis s'écoulant vers le lotissement le long de la RD904. Moins de débordements en rive droite jusqu'à la voie ferrée par rapport à la situation de référence.	Second ouvrage à très faible section hydraulique. Son obstruction est possible en cas d'érosion du bosquet d'arbres situé en rive droite aval du pont de Croz.
OH9 – RD53	Section = 2,8 m ² (H=1,13 m) Probabilité d'obstruction très forte.	Inondation identique à OH7 sur la rive gauche et inondation majeure en rive droite en amont du remblai SNCF jusqu'à la route de Lyon.	Probabilité d'obstruction de cet ouvrage réduite car les ouvrages OH5 et OH7 situés en amont présentent un plus grand risque d'obstruction par les flottants car situés en première ligne. Les témoignages rapportent davantage de dégâts aux Tanneries qu'au pont de la route de Lyon lors de la crue de 1888.

En conclusion, nous avons retenu, en concertation avec le Maître d'Ouvrage, les scénarios suivants pour considérer l'aléa à l'origine (1) du transport solide et (2) de l'obstruction des ponts (encombre de bois et déchets autres) :

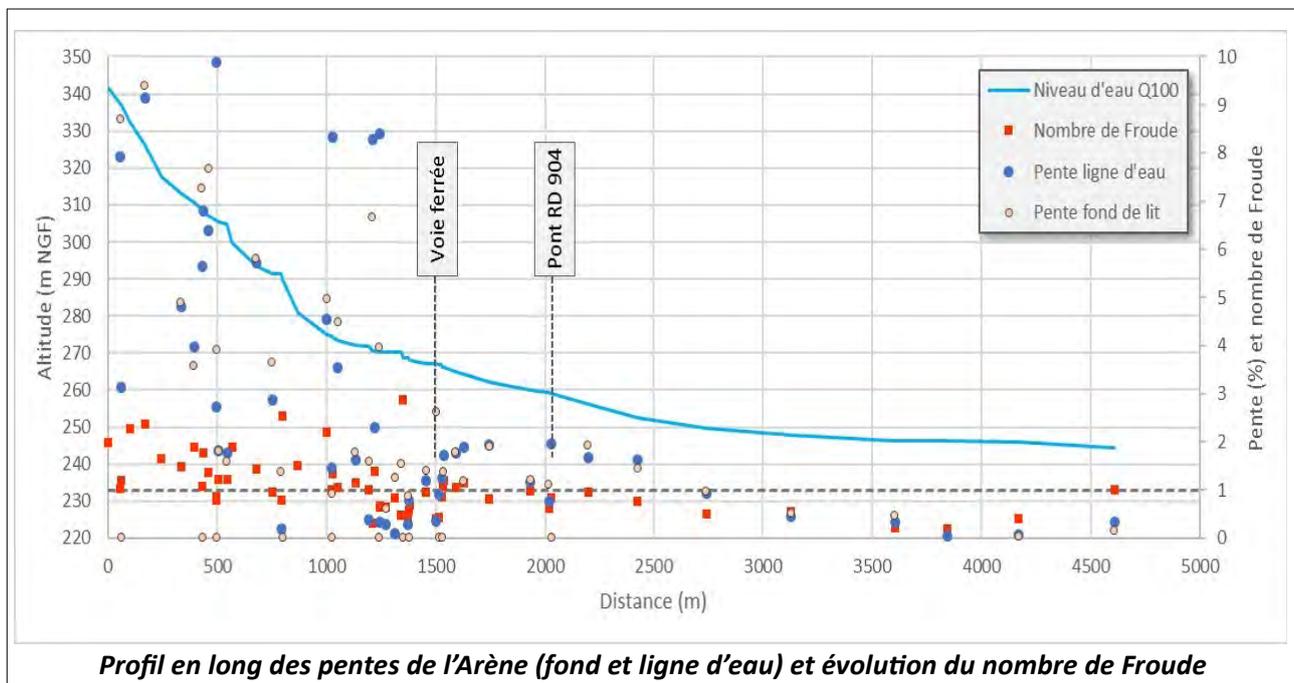
- Scénario de crue centennale liquide avec incidence du transport solide ;
- Scénario combinant l'obstruction des ponts OH2 + OH5 + OH7.

6.6 Qualification de l'aléa

6.6.1 Justification du type d'aléa retenu

Les aléas hydrauliques issus sont distingués en trois classes :

- **Inondation de plaine** : Inondation à montée lente des eaux. La vitesse du courant reste souvent faible. Ces types de crues sont rencontrés sur les vallées des grands cours d'eau comme le Rhône. A ce phénomène, sont rattachées les inondations par remontée de nappe et les inondations par refoulement de rivières à crue lente. Il n'est pas question de ce type d'aléa ici.
- **Crue rapide des rivières** : Inondation pour laquelle l'intervalle de temps entre le début de la pluie et le débordement est rapide. Les bassins versants de taille petite et moyenne sont concernés par ce type de crue dans leur partie ne présentant pas un caractère torrentiel dû à la pente ou à un fort transport de matériaux solides.
- **Crue torrentielle** : Crue d'un cours d'eau à pente longitudinale supérieure à 1 % lorsque le transport solide reste important et que les phénomènes d'érosion ou de divagation sont comparables à ceux des torrents. Dans le cas présent, la pente de l'Arène (fond et écoulement en crue centennale) est au moins supérieure à 1 % jusqu'à P25 (soit au repère 2500m, à 100 m en aval de la voie ferrée sur la figure suivante). L'analyse du nombre de Froude (caractérisant le régime hydraulique torrentiel par rapport au régime fluvial) traduit un caractère prédominant torrentiel ($Fr > 1$) en amont du point repère 1600 m.



Aussi pour les raisons suivantes, nous avons retenu l'aléa crue torrentielle dans la caractérisation du risque :

- Critère morphologique : pente supérieure à 1 % et transport solide potentiel important en cas d'évènement exceptionnel ;
- Critère hydraulique : nombre de Froude supérieur à 1 sur les zones amont et/ou à enjeux ;
- Critère historique : les crues de 1888 et 199 ont visiblement transité des matériaux solides en grande quantité ;
- Cohérence avec les PPR réalisés sur le Sud Bugey, qui ont retenu l'aléa crue torrentielle dans des configurations similaires.

6.6.2 Grille de qualification

Les aléas de crues torrentielles concernent l'ensemble des débordements de l'Arène dans la traversée de Virieu-le-Grand, et sont qualifiés selon la méthodologie suivante :

- 1 Pour les secteurs modélisés, la pré-qualification de l'aléa est réalisée par analyse couples hauteurs/vitesses selon la grille ci-dessous :

Grille d'aléas crues torrentielles – Approche quantitative

		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 < H < 2 m	Fort (T3)	Fort (T3)	Très fort (T4)
	> 2m	Très fort (T4)	Très fort (T4)	Très fort (T4)

Les résultats du scénario de crue centennale liquide avec incidence du transport solide sont traités de cette façon sur l'ensemble du territoire : ils constituent *le scénario de référence*.

- 2 Les résultats systématiques obtenus par cette méthode de croisement hauteur/vitesse sont ensuite expertisés à l'aide des grilles qualitatives suivantes et des observations de terrain. L'aléa est obtenu en croisant une intensité du phénomène (Grille d'aléas crues torrentielles – Approche qualitative) avec une probabilité d'atteinte de la parcelle (selon la description du tableau Probabilité d'atteinte) en pages suivantes.

Grille d'aléas crues torrentielles – Approche qualitative

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. La hauteur d'écoulement ou d'engravement reste inférieure à 0,5 m.	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	Espaces 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.
	Batiments	Les contraintes dynamiques imposées par l'écoulement et les matériaux charriés peuvent détruire les bâtiments exposés. La ruine des constructions peut notamment intervenir sur les façades ou par sapement des fondations (les angles des bâtiments étant particulièrement menacés d'affouillement en raison des survitesses induites par la concentration des écoulements).	Les contraintes dynamiques imposées par l'écoulement et les matériaux charriés peuvent endommager gravement les façades non renforcées mais sont insuffisantes pour endommager les façades renforcées. Les affouillements prévisibles ne sont pas assez profonds pour entraîner la ruine des constructions normalement fondées.
	Infrastructures et ouvrages	Les ponts peuvent être engravés, submergés ou emportés. Les routes ou les équipements (pylônes, captages, etc.) faisant obstacle aux divagations du torrent peuvent être détruites ou ensevelies par les dépôts. Les voies de communication sont impraticables du fait de la perte du tracé. De longs travaux de déblaiement et remise en service sont nécessaires.	Les dégâts aux infrastructures, aux ouvrages et aux équipements (pylône, captage, etc.) restent modérés et leur remise en service peut être rapide.

Probabilité d'atteinte

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
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

L'aléa résultant est donné par la Grille d'aléas crues torrentielles– Approche qualitative ci-après croisant l'intensité du phénomène et la probabilité d'atteinte.

Grille d'aléas crues torrentielles– Approche qualitative

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

- Les secteurs riverains du cours d'eau sur une emprise de 5 m sont considérés en bande d'érosion d'aléa très fort. Cette bande de part et d'autre du cours d'eau est appliquée systématiquement jusqu'à la voie ferrée en cohérence avec la typologie des écoulements de l'Arène présentée aux paragraphes précédents et rappelée ici : pente longitudinale soutenue, écoulements torrentiels (au sens hydraulique), importants phénomènes de transports solides constatés lors des épisodes historiques et par l'approche par modélisation. En aval de la voie ferrée, cette bande de recul n'est pas poursuivie du fait de l'abaissement significatif de la pente longitudinale qui favorise les dépôts de matériaux.
- La prise en compte du scénario combinant l'obstruction des ponts OH2 + OH5 + OH7 est effectuée en traitant le niveau d'aléa brut obtenu par la grille du Grille d'aléas crues torrentielles – Approche quantitative avec une probabilité d'atteinte diminuée d'un niveau pour prendre en compte une occurrence plus faible du phénomène par rapport au scénario de référence, les niveaux faibles étant conservés en faibles.

6.6.3 Aléas résultants

De nombreux secteurs riverains de l'Arène sont concernés par un aléa de crue torrentielle. Les débordements du cours d'eau au niveau du centre bourg concernent également un large secteur à l'Ouest en contrebas de la route de Lyon, drainé par un ouvrage modeste sous la voie ferrée ainsi que le quartier en cours de développement au sud de l'avenue de la Gare et le long de la route de Belley à l'ouest, des venues d'eau par le passage inférieur de la voie ferrée étant possibles.

Concernant les enjeux habités, on retient les points suivants :

Chef-lieu :

Le quartier de Claire Fontaine est en partie concerné par un aléa faible à moyen, issu de débordements amont en rive droite. L'extension des zones inondées reste limitée.

A hauteur du pont de la Couerie, les débordements empruntent la route d'Hauteville mais les divagations s'arrêtent environ 150m en aval avec un retour des eaux au lit mineur. Les zones habitées (principalement en rive gauche) sont concernées par des aléas faibles à moyens.

Quelques débordements sont observés en amont et au droit du pont de Chanaz.

Les débordements principaux sont observés à partir du pont de la Tannerie aussi bien en rive droite qu'en rive gauche. Les vitesses d'écoulement globalement élevées sont responsables d'un aléa fort sur les principales voiries (route d'Hauteville, avenue de la Gare, allée du Pré devant).

Les eaux viennent ensuite butter contre le remblai de la voie ferrée et sont principalement drainées d'une part par l'ouvrage de l'Arène sous la voie ferrée et d'autre part par le passage inférieur à proximité de la gare.

Les bâtiments riverains de l'Arène sont globalement en aléa très fort du fait de la proximité du cours d'eau (responsable de vitesses d'écoulement élevées et des risques morphologiques en berges), en particulier le long de la rue de la Tannerie et le long de la route d'Hauteville dans le centre bourg.

Les divagations du cours d'eau en dehors du lit, en aléas moyen à fort, dans le centre bourg concernent de nombreux bâtiments dont la gendarmerie et de nombreux commerces.

Les écoulements issus de l'Arène via le passage inférieur de la voie ferrée viennent également inonder la zone nouvellement urbanisée au sud de l'avenue de la Gare et le long de la route de Belley à l'Ouest, principalement en aléas faible et moyen.

6.6.4 Assemblage des aléas inondation

Les aléa ruissellement et crue torrentielle ont ensuite été assemblés en une unique couche cartographique d'aléa inondation, en conservant l'origine des phénomènes : un secteur soumis uniquement à un aléa torrentiel porte l'étiquette Ti, un secteur soumis uniquement à un aléa ruissellement porte l'étiquette Vi, un secteur soumis à l'aléa crue torrentielle et ruissellement porte une étiquette TiVi.

Afin de faciliter la lecture et l'exploitation de la carte d'aléa inondation, les petits polygones (<100 m² environ) résultant de l'assemblage des deux couches d'aléas crue torrentielle et ruissellement sont agglomérés aux polygones voisins selon la nature et/ou l'intensité de l'aléa.

7 Cartes et figures hors texte

- Carte informative des phénomènes d'inondations
- P100_10 – Lamé d'eau ruisselée
- P100_10 – Vitesse des ruissellements
- Q100 – Etat « lit rehaussé » - Hauteurs d'eau
- Q100 – Etat « lit rehaussé » - Vitesses d'écoulements
- Q100 – Etat « ouvrages OH2-OH5-OH7 obstrués » - Hauteurs d'eau
- Q100 – Etat « ouvrages OH2-OH5-OH7 obstrués » - Vitesses d'écoulements

id	Historique	Nature
1	1990	ruissellement et matériaux
2	1990	arrivées d'eau et matériaux
3	non daté (CD01)	embâcles
4	fréquent (observation)	dépôts de matériaux grossiers
5	2020	mise en eau du bras de décharge
6	fréquent (SDA)	inondation
7	fréquent (observation)	érosion
8	fréquent (témoignage)	inondation
9	1990	arrivée d'eau et matériaux
10	1888	inondation Arène
11	1990	dépôts de matériaux par l'Arène

Carte informative des phénomènes

Légende

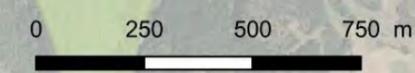
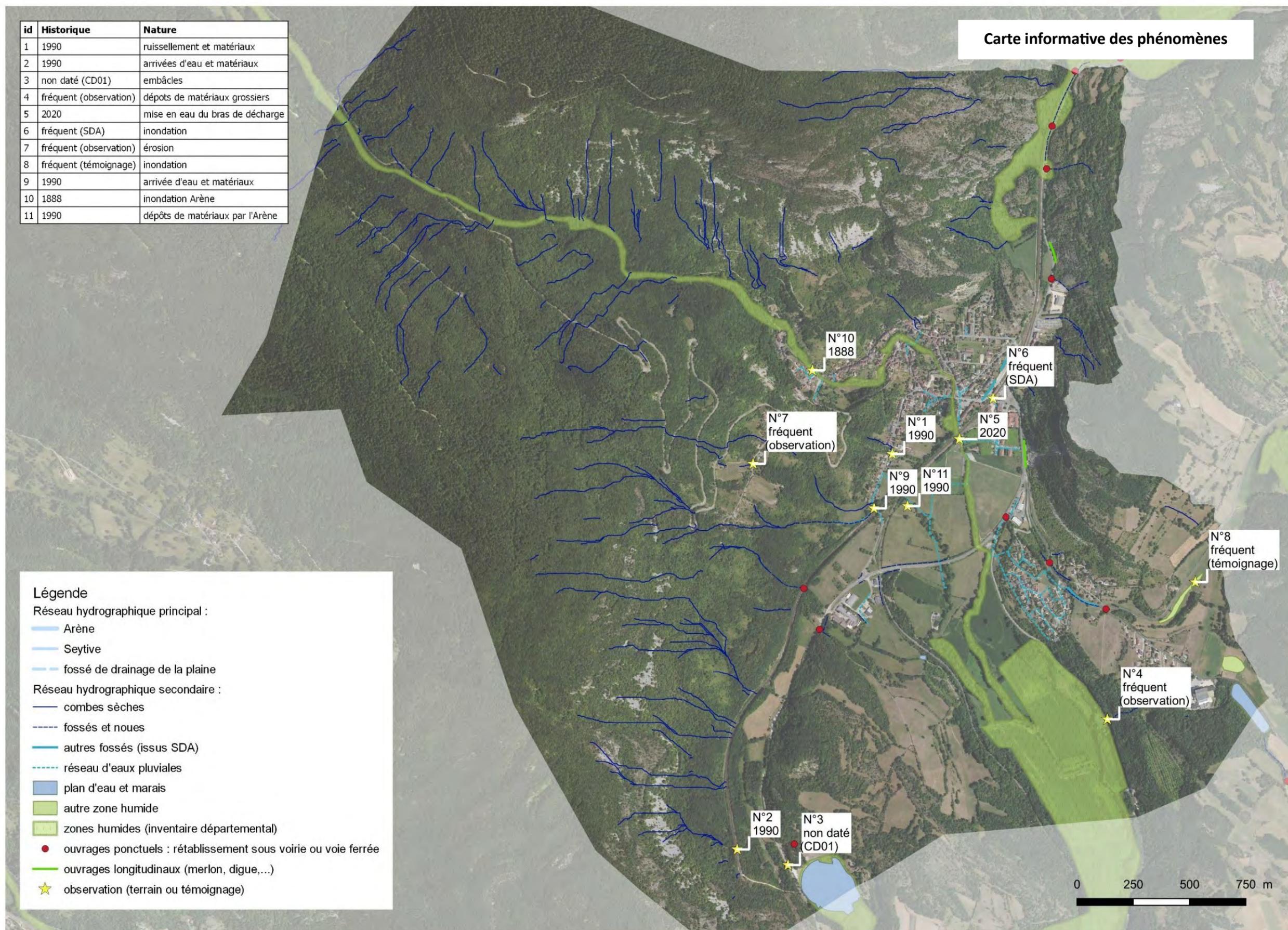
Réseau hydrographique principal :

-  Arène
-  Seytive
-  fossé de drainage de la plaine

Réseau hydrographique secondaire :

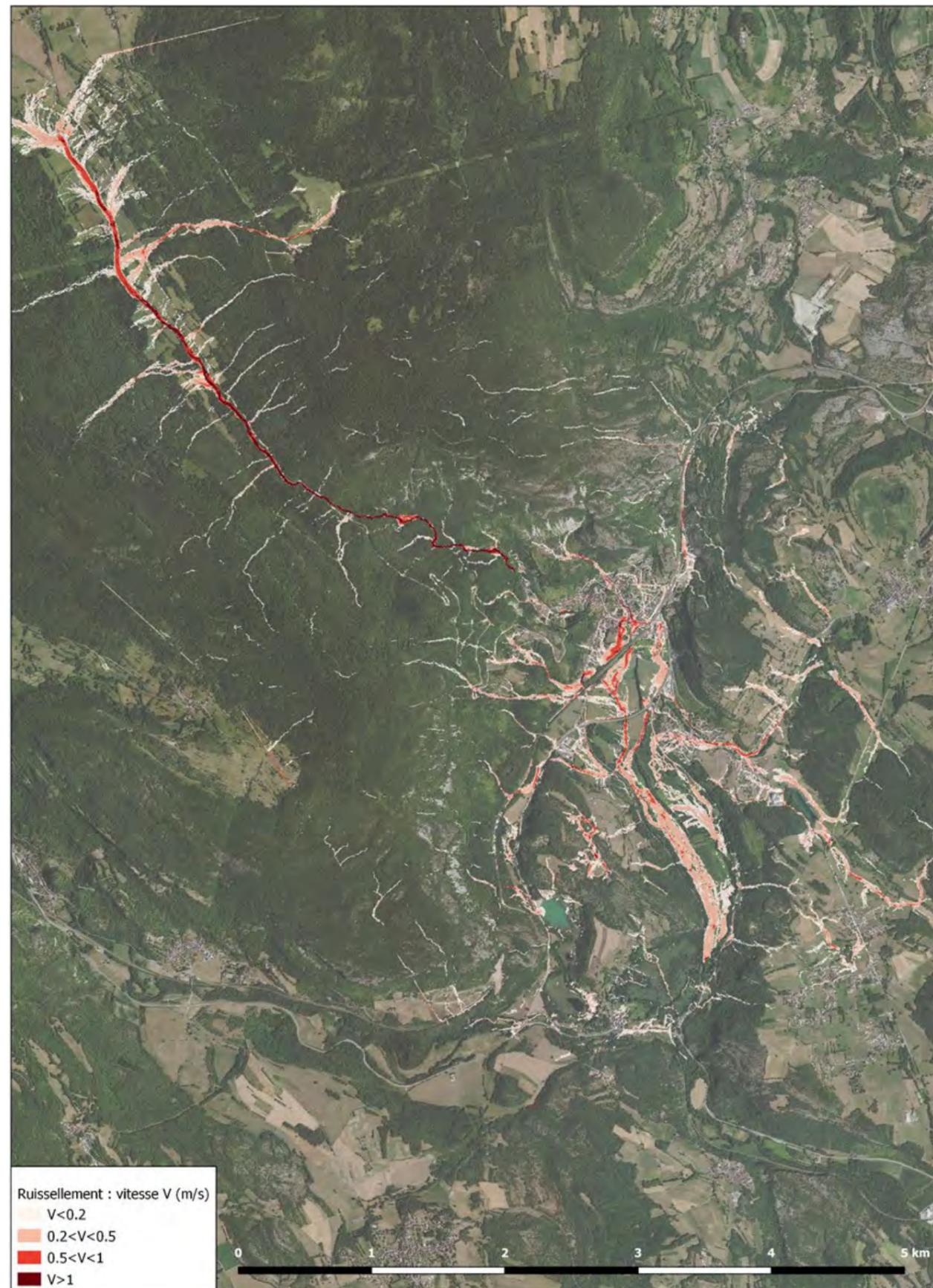
-  combes sèches
-  fossés et noues
-  autres fossés (issus SDA)
-  réseau d'eaux pluviales
-  plan d'eau et marais
-  autre zone humide
-  zones humides (inventaire départemental)

-  ouvrages ponctuels : rétablissement sous voirie ou voie ferrée
-  ouvrages longitudinaux (merlon, digue,...)
-  observation (terrain ou témoignage)

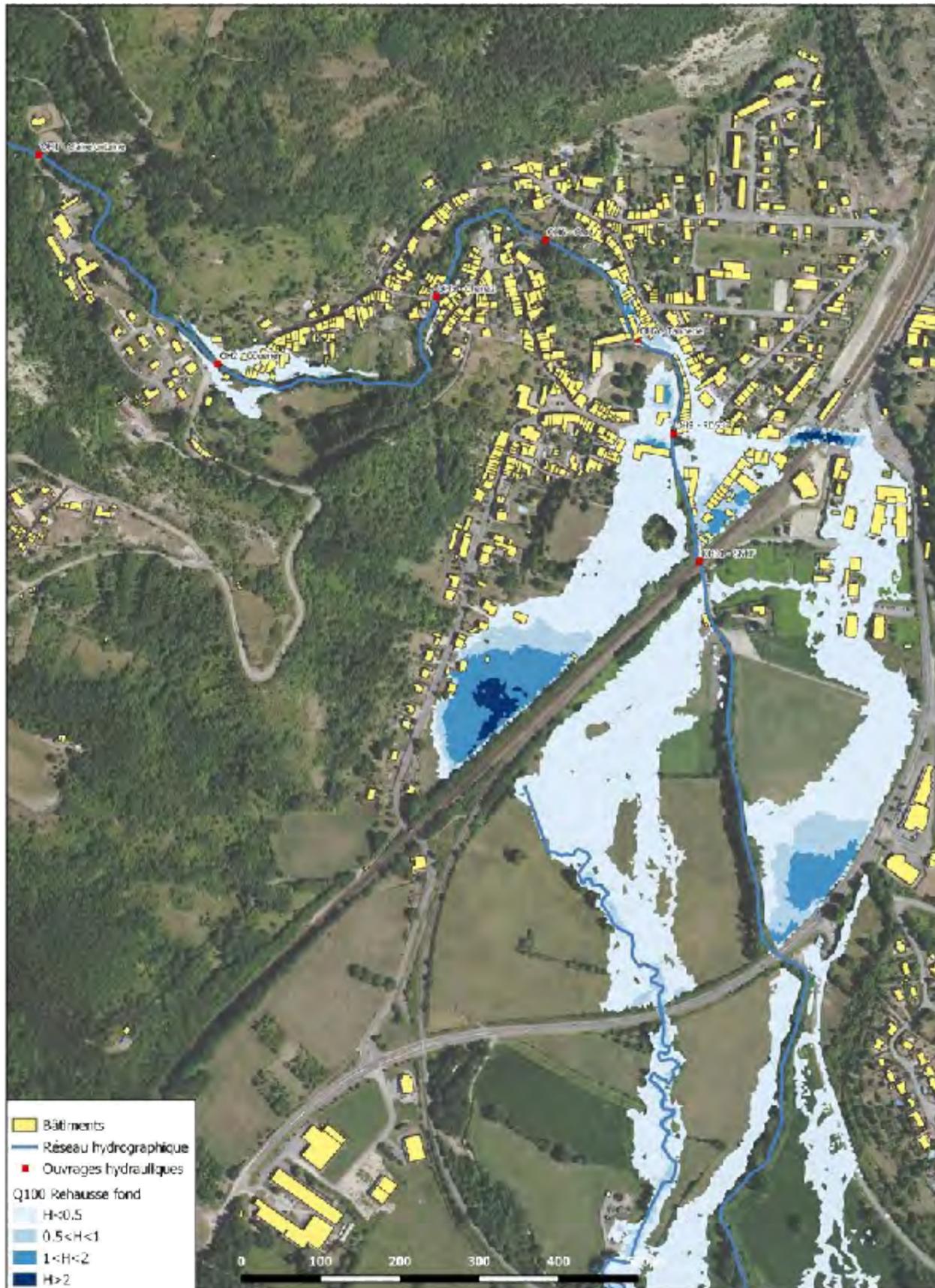




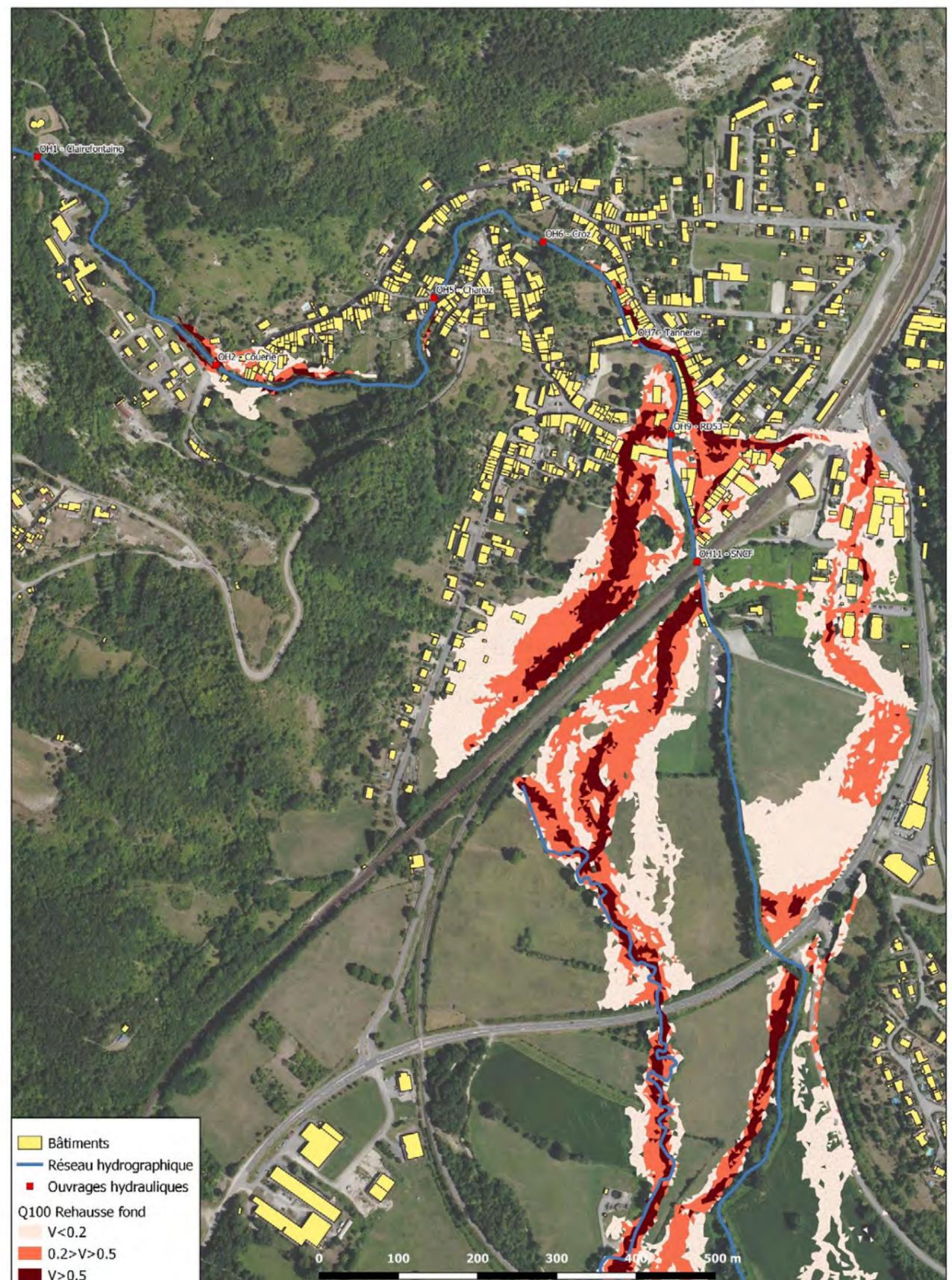
P100_10 - Lame d'eau ruissellée



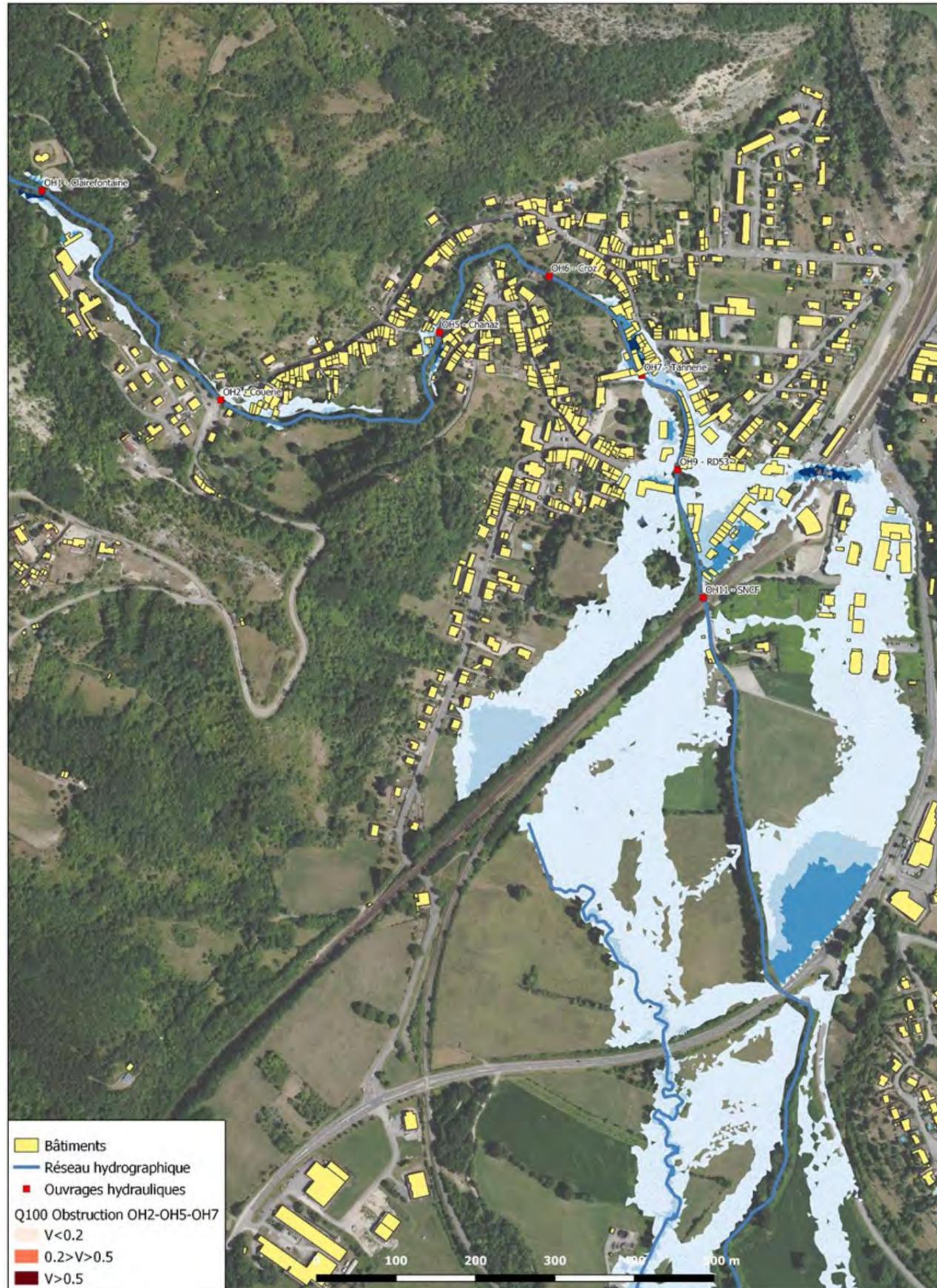
P100_10 - Vitesses des ruissellements



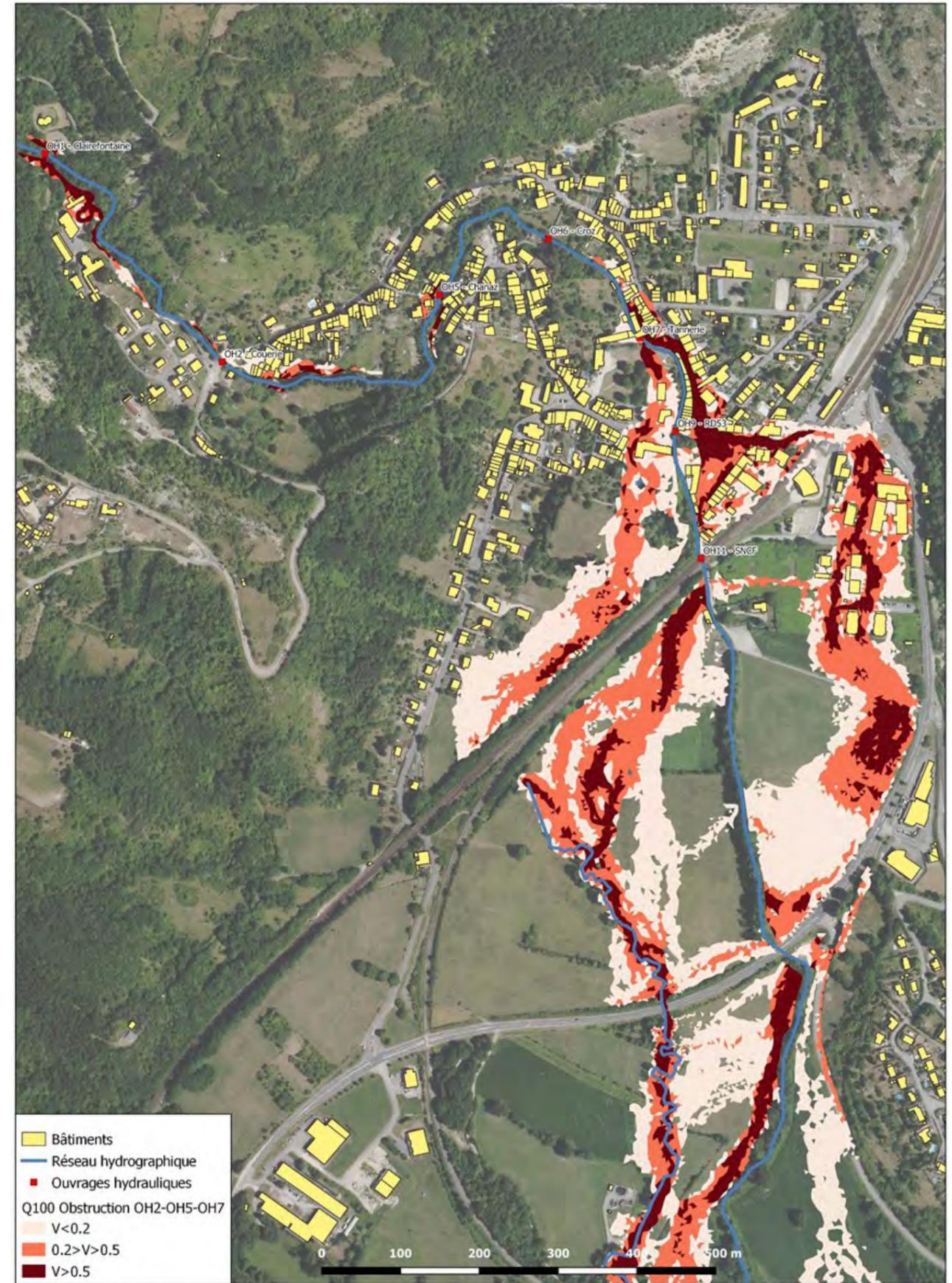
Q100 - Etat "lit réhaussé" - Hauteurs d'eau



Q100 - Etat "lit réhaussé" - Vitesses d'écoulements



Q100 - Etat "ouvrages OH2-OH5-OH7 obstrués" - Hauteurs d'eau



Q100 - Etat "ouvrages OH2-OH5-OH7 obstrués" - Vitesses d'écoulements

Bibliographie

Date	Titre	Auteur/Maître d'ouvrage
2018	Plan de Prévention des Risques Naturels Sud Bugey Communes de Brégnier-Cordon, Briord, Groslée-Saint-Benoit, Lhuis, Montagnieu, Murs et Géligneux, Serrières de Briord, Villebois. <i>Rapport technique</i> <i>Rapport de synthèse</i> <i>Cartes informatives et aléas multirisques</i>	RTM Savoie Direction départementale des territoires de l'Ain
2017-2018	Schéma Directeur de l'Assainissement collectif et diagnostic des réseaux et de la station d'épuration <i>Phase 1 : Etats des lieux préliminaires</i> <i>Phases 2 et 3 : Diagnostic de fonctionnement du réseau</i> <i>Phase 4 : Scénarii d'aménagements et Schéma Directeur</i>	Altereo - G2C ingénierie Virieu-le-Grand
2013	Etude hydraulique de l'Arène et cartographie des aléas sur la commune de Virieu-le-Grand	HTV Direction départementale des territoires de l'Ain
1990	Notice explicative de la carte géologique de Belley	BRGM

Autres sources d'information consultées

Source
Site Institut des risques majeurs
Base de données historiques sur les inondations
Témoignage sur la crue de 1888 (Auteur : Victor Mugnier)
Remonter le temps - IGN
Site de la mairie de Virieu-le-Grand
Archives départementales de l'Ain

Annexes

Etude des phénomènes – Analyse hydrologique

