

**COMMUNES DE
AMBUTRIX, ST DENIS EN BUGEY,
VAUX EN BUGEY**

**CARTE DES ALÉAS NATURELS PRÉVISIBLES DE
MOUVEMENTS DE TERRAIN, INONDATIONS ET
RUISSELLEMENTS DE VERSANT**

A LA DEMANDE ET POUR LE COMPTE DE LA DDT01

Dossier	20-292 I 1	
Indice	Modifications	Date
g	Suite concertation et prise en compte crues 2021	23/12/2021

Nombre de pages : 66



GÉOLITHE

LIEU :	Ambutrix, St Denis en Bugey et Vaux en Bugey (01)
COMMUNE :	Ambutrix, St Denis en Bugey et Vaux en Bugey (01)
OBJET :	Carte d'aléas pour intégration dans le PLU
TYPE DE MISSION	G5
CLIENT :	DDT 01
DOSSIER SUIVI PAR :	M. Boris SCHMITT

CHARGE D'AFFAIRE :	Jean-Philippe JARRIN
CHEF DE PROJET :	Nicolas GEORGE
INTERVENANTS	Alexandre COSMIDES
NOMBRE DE PAGES	66

Dossier 20-292 I 1		
Indice	Modifications	Date
a	Document initial	04/11/2020
b	Avancement partiel aléas mouvements de terrain	11/12/2020
c	Intégration aléas hydrauliques	23/02/2021
d	Suite remarques DDT	18/05/2021
e	Suite présentation aux communes	17/06/2021
f	Suite concertation	29/11/2021
g	Suite concertation et prise en compte crues 2021	23/12/2021

Nombre de pages : 66

Rédacteurs : N GEORGE
A COSMIDES

Contrôle : JP JARRIN

INGÉNIEURS-CONSEILS EN GÉOLOGIE, GÉOPHYSIQUE ET GÉOTECHNIQUE



SOMMAIRE :

1 - PRÉSENTATION.....	5
1.1 Problématique	5
1.2 Localisation.....	6
1.3 Limites de l'étude	6
1.4 Présentation de la commune.....	7
1.4.1 Données morphologiques.....	7
1.4.2 Contexte géologique sommaire.....	7
1.4.3 Réseau hydrographique :.....	10
2 - ETUDE DES PHÉNOMÈNES.....	12
2.1 Évènements anciens cartographiés.....	12
2.2 Description de l'activité des phénomènes	14
2.2.1 Crues, ravinements et ruissellements	14
2.2.2 Mouvements de terrain	21
3 - ANALYSE HYDROLOGIQUE.....	22
3.1 Analyse des études existantes	22
3.2 Pluviométrie	23
3.3 Estimation des débits de crue de l'Albarine.....	24
3.3.1 Données de la station hydrométrique	24
3.3.2 Débit de pointe de référence retenu pour l'Albarine	25
3.3.3 Hydrogramme retenu pour l'Albarine.....	25
3.4 Estimation des débits de crue sur le Buizin.....	26
3.4.1 Découpage en sous bassins versants.....	26
3.4.2 Hydrogéologie du bassin versant	27
3.4.3 Caractéristiques du bassin versant	27
3.4.4 Estimation du débit décennal Q10.....	28
3.4.5 Estimation du débit centennal Q100	30
3.4.6 Débits de référence retenus sur le Buizin	31
3.4.7 Hydrogramme retenu sur le Buizin	31
4 - ETUDE DES ALÉAS DE MOUVEMENTS DE TERRAIN	32
4.1 Définition des aléas	32
4.1.1 Eboulement rocheux	33

4.1.2 Glissements de terrain	33
4.1.3 Effondrements et affaissements.....	34
4.2 Description détaillée des aléas.....	35
4.2.1 Glissement de terrain.....	35
4.2.2 Eboulements rocheux.....	36
4.3 Protections en place.....	37
5 - ETUDE ET MODÉLISATION DES ALÉAS HYDRAULIQUES	38
5.1 Description naturaliste des cours d'eau	38
5.1.1 Albarine	38
5.1.2 Buizin	38
5.1.3 Ruissellement de versant.....	38
5.2 Construction du modèle hydraulique.....	39
5.2.1 Logiciel de modélisation	39
5.2.2 Source des données utilisées.....	40
5.2.3 Conditions aux limites	40
5.2.4 Injection des débits	41
5.2.5 Caractéristiques du modèle hydraulique.....	41
5.3 Calage du modèle.....	41
5.3.1 Pré-calage.....	41
5.3.2 Calage selon les évènements passés	42
5.4 Résultats des modélisations pour la crue de référence	44
5.4.1 Résultats sur l'Albarine.....	44
5.4.2 Résultats sur le Buizin	44
5.4.3 Modélisations avec transparence des ouvrages de protection	45
5.4.4 Modélisation avec rupture de berges	46
5.4.5 Modélisation avec embâcles	54
5.4.6 Note sur le transport solide.....	58
5.5 Etablissement des aléas de cours d'eau, ruissellement et remontée de nappe.....	59
5.5.1 Débordement des cours d'eau	59
5.5.2 Ruissellement de versant.....	63
5.5.3 Remontées de nappe	64
6 - BIBLIOGRAPHIE	65

1 - PRÉSENTATION

Le présent rapport d'étude a été réalisé par le bureau d'Ingénieurs - Conseils **GEOLITHE** pour le compte de la Commune de Morestel (38).

Il concerne la réalisation d'une cartographie des aléas naturels prévisibles, pour intégration dans un futur PPR, sur les communes d'Ambutrix, St Denis en Bugey et Vaux en Bugey.

Il est réalisé à la demande de la DDT de l'Ain, unité Prévention des Risques - Service Urbanisme et Risques.

La mission d'étude a été réalisée par :

GEOLITHE
Bureau d'Ingénieurs Conseils

Cidex 112 E – 38920 Crolles
Tél. (33) 04 76 92 22 22 – fax (33) 04 76 92 22 23
E mail : geolithe@geolithe.com

Auteur de l'étude
Nicolas GEORGE

Sous la direction de
Lucas MEIGNAN

1.1 PROBLÉMATIQUE

Des *phénomènes naturels* : inondations, ravinements et ruissellements... sont déjà survenus sur le territoire des communes.

De tels phénomènes risquent de se reproduire ; il peut aussi se produire des phénomènes encore jamais observés. Cette *probabilité de survenance* d'un phénomène donné, en un point donné, s'appelle *aléa*. On la caractérise par le *degré* de l'aléa, qui qualifie la gravité de la menace générée par cet aléa.

Ces aléas peuvent menacer les activités humaines, et en particulier l'urbanisation qui constitue *l'enjeu* de cette étude. Ils créent ainsi un *risque naturel*.

L'urbanisation grandissante sur la commune impose de considérer les aléas et risques naturels avec une vigilance toujours accrue.

La DDT de l'Ain souhaite donc disposer d'une cartographie des aléas naturels prévisibles, qui puisse permettre une meilleure prise en compte dans les documents d'urbanisme des risques générés par ces aléas tout d'abord, et le cas échéant évoluer vers l'élaboration d'un Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles sur Ambutrix et Vaux, et la révision de celui existant sur St Denis.

1.2 LOCALISATION

Les communes sont situées sur le rebord ouest du Bugey entre Ambérieu et Lagnieu.

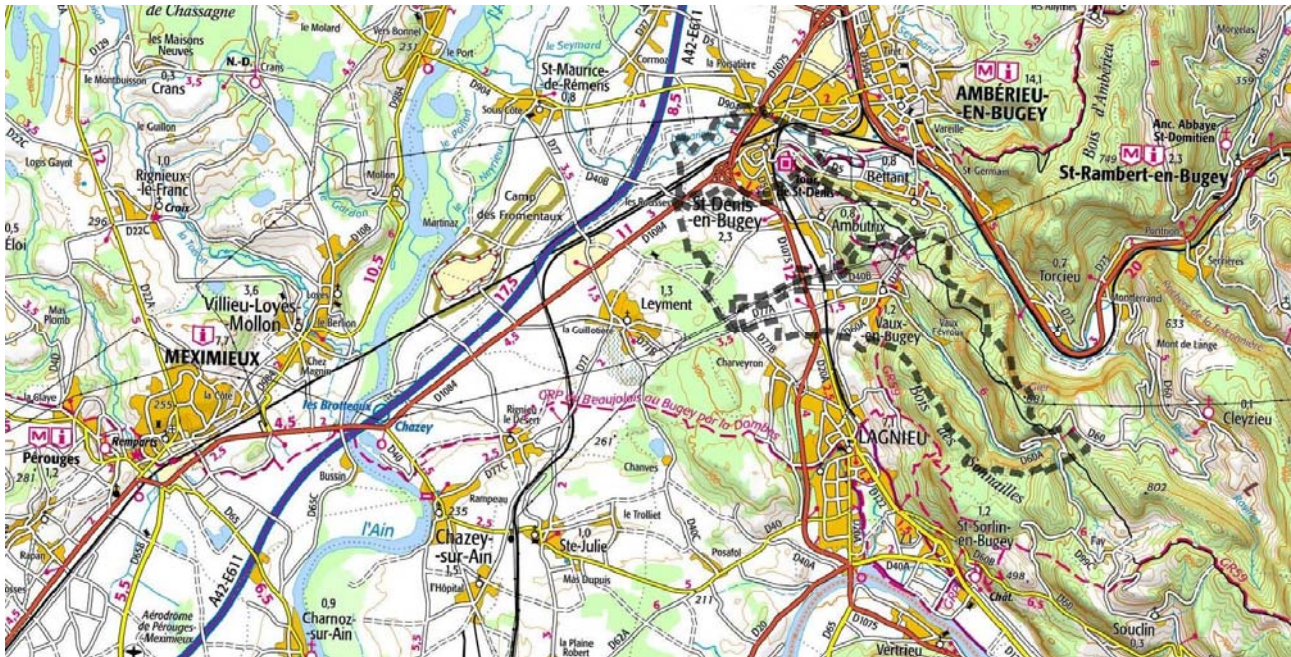


Figure 1 - Situation des communes étudiées (échelle $\approx 1/150\ 000$)

1.3 LIMITES DE L'ÉTUDE

L'étude couvre la totalité des territoires communaux.

Avertissement :

Le présent zonage a été établi en fonction entre autres :

- des connaissances actuelles sur la nature des phénomènes naturels,
- de la topographie et de la morphologie des sites,
- de l'état de la couverture végétale,
- de l'existence ou non d'ouvrages de protection, et de leur efficacité prévisible, à la date de la réalisation du zonage.

A travers cette approche complexe des phénomènes et des aléas, on a du faire le choix d'un aléa de référence, et donc d'un risque résiduel. Dans la mesure du possible, et sauf mention contraire, on a situé ce risque résiduel au-delà de la fréquence centennale.

La présente carte d'aléas ne saurait donc être tenue comme valant garantie contre tous les risques naturels.

1.4 PRÉSENTATION DE LA COMMUNE

1.4.1 Données morphologiques

Le territoire étudié est situé sur le rebord ouest des collines du Bugey, en rive gauche de l'Albarine, qui forme la limite nord de la commune de St Denis, et sur la marge Est (rive gauche) de la plaine de l'Ain.

La morphologie est assez peu accidentée, avec à l'ouest la plaine de l'Ain, au nord sur St Denis et Ambutrix le pointement des coteaux du Bugey entre la plaine et l'Albarine, et sur Vaux, le vallon du Buizin qui entaille ces coteaux.

Les altitudes s'échelonnent entre 681m au Gier, au sud-est dans le fond de Vaux en rive droite du Buizin, et 234m dans l'Albarine à l'aval de St Denis. Les plus hautes habitations permanentes sont vers 320m à Vaux Favroux.

1.4.2 Contexte géologique sommaire

Ce paragraphe a été rédigé d'après la carte géologique (BRGM 1976), complétée et recoupée par des observations de terrain.

La zone étudiée se situe entre les collines calcaires du Bugey et la plaine tertiaire et quaternaire de l'Ain ; plus précisément, les coteaux miocènes et quaternaires d'Ambutrix et St Denis, s'ils sont rattachés au Bugey au sens géographique, sont plus proches géologiquement des formations miocènes de la Cotière en rive droite de l'Ain et du plateau des Dombes.

Les terrains y sont sédimentaires, avec un ordonnancement globalement conforme (l'âge des terrains en un point donné va croissant de haut en bas) et un pendage¹ global des couches proche de l'horizontale, à quelques exceptions près. Des formations glaciaires ou torrentielles récentes (moraines, alluvions) les recouvrent souvent.

¹ Pendage : Inclinaison des couches géologiques par rapport à l'horizontale. Il est caractérisé par un angle, mesuré entre le plan considéré et l'horizontale, et une direction, qui est celle de la ligne de plus grande pente.



Figure 2 - Extrait de la carte géologique (échelle ≈ 1/50 000)

Les terrains calcaires ou marneux sont rattachés au Jurassique, et correspondent à différents processus de sédimentation dans une mer peu profonde, soit du plus ancien au plus récent, ou de bas en haut le long d'une coupe stratigraphique :

- Lias inférieur avec 10 à 15m de calcaires biodétritiques, parfois marneux (Hettangien-Sinemurien, rouge bordeaux, I₁₋₄, 200-190Ma.²), observables en petites écailles autour de Vaux Fevroux (talus rocheux au-dessus de Quart-Balland ?),
- Lias moyen avec 50m de marnes micacées (Pliensbachien, rouge mauve, I₅₋₆, 190-180Ma.) observables autour de Vaux Fevroux (mais affleurant moins que les précédentes du fait de leur moindre dureté),
- Lias supérieur avec 10m de marnes grises (Toarcien, bleu clair, I₇₋₈, 180-175Ma.) puis 15m de calcaires argileux (Aalénien, bleu moyen, I₉, 175-170Ma.) qui forment une transition vers les falaises calcaires au-dessus de Fevroux,

² Ma : abréviation de Millions d'années avant notre ère.

- Les principales falaises de calcaires sont rattachées au Dogger ou Jurassique moyen (Bajocien, marron, j_{1a-b} , 170-168Ma.), formées d'une centaine de mètres de calcaires roux à la stratification complexe et entrecroisée, et affleurent de façon très visible sur les deux rives du Buizin,
- Les plateaux supérieurs sont recouverts par 20 à 30m d'oolithe, calcaire blanc plus ou moins crayeux (Bajocien supérieur, marron clair, j_{1c} , 168Ma.), puis une série de marno-calcaires (Bathonien, jaune, j_2 , 168-166Ma.), qui affleurent au Soyet et au Gier.

Séparés des précédents par une faille juste au nord de Févroux, on trouve au sud de Vaux une deuxième série du Jurassique moyen et supérieur (Malm) :

- Marnes de l'Oxfordien (bleu moyen, j_{5b} , 160Ma.), qui affleurent au lacet sous la chapelle de Nièvre ou tout en haut de ce versant,
- Calcaires de l'Oxfordien supérieur (bleu clair, j_{6b} , 157Ma.), qui affleurent en haut du versant sur la chapelle de Nièvre,
- Calcaires du Kimméridgien inférieur (bleu très clair, j_7 , 155Ma.), qui affleurent sur la colline de Boissière au sud de Vaux.

Ces formations sont ensuite recouvertes par des terrains du Tertiaire, généralement issus de l'érosion des jeunes reliefs jurassiens, d'âge variable mais de faciès assez proches :

- Conglomérats à galets peut-être oligocènes (rose moyen, g , 35-20Ma.?), qui affleurent dans le coteau sous la chapelle de Nièvre, proches des suivants,
- Molasses miocènes (Tortonien-Messinien, 11-5Ma.), avec des faciès plus argileux (m_{3A} , jaune uni) ou conglomératiques à galets (m_3 , jaune à ronds bleus), et surtout une structure en lentilles souvent métriques ou décamétriques typique de dépôts torrentiels, qui forment le bas du versant d'Ambutrix et St Denis.

Ces terrains sont recouverts par des formations récentes (Quaternaire), pour les plus anciennes probablement antérieures au Würm (plus de 130.000 ans) :

- des moraines glaciaires de fond (blanc à points vert-bleu, G_x) qui entourent la route de Vaux à Bettant,
- des alluvions fluvio-glaciaires argileuses à sables et galets (beige, FG_x) qui forment le haut du versant au nord de Vaux jusqu'à St Denis,
- des argiles lacustres mal datées (beige, L_y) observées derrière la chapelle de Nièvre,

Et pour les plus récentes de la période dite du Würm (130.000-10.000 ans), des alluvions fluvioglaciaires d'âges décroissant de haut en bas, les alluvions les plus hauts représentant l'activité plus forte des glaciers dans des temps plus anciens :

- terrasse de Bétagout avec plus de galets (vert clair à tirets bleus, FGy_a) qu'on retrouve aussi aux Cotes au nord de Vaux,
- première terrasse de l'Ain, de Juyère (vert clair à points bleus, FGy_{b1}),
- deuxième terrasse de l'Ain, de Charveyron (vert clair, FGy_{b2}) qui comme son nom l'indique se retrouve aussi au sud au-dessus de Lagnieu,
- troisième terrasse de l'Ain, de St Denis (vert très clair à points bleus, FGy_{b3}), plus issue de l'Albarine.

Enfin, ces terrains sont recouverts de formations relevant plus ou moins de l'altération:

- Limons de plateau à galets (bistre à points rouges, R₀) probablement issus de l'altération de moraines anciennes, sur le sommet du plateau de St Denis et Ambutrix,
- Argiles de placage (bistre, R) issues de l'altération des calcaires, qui peuvent recouvrir ceux-ci sur les plateaux de Vaux,
- Eboulis (blanc à points rouges, E) sous les falaises,
- Colluvions (bistre, C) issus de l'altération du substrat.

Les problèmes les plus courants de risques de mouvements de terrain sur la zone d'étude viennent des terrains meubles et argileux (marnes jurassiques, molasses miocènes et formations glaciaires). Leurs facteurs prépondérants de stabilité (perméabilité et teneur en argile) peuvent évoluer latéralement de façon brusque ; certains faciès très argileux sont très défavorables du point de vue des glissements de terrain, notamment les marnes du Pliensbachien autour de Févroux.

D'autre part, les calcaires peuvent fournir des éboulements rocheux, surtout dans le cas des falaises du Bajocien.

Les niveaux concernés semblent assez peu karstifiés, et on n'a pas trouvé de manifestation évidente de doline sur la commune ou à proximité immédiate, même si des entrées de gouffres sont connues (faille du lacet supérieur de la D60a notamment).

Il ne semble pas y avoir de risque particulier d'évolution brutale de type effondrement ou affaissement dans la période de temps considérée.

1.4.3 Réseau hydrographique :

1.4.3.1 Albarine :

L'Albarine prend sa source, à 950 m d'altitude, dans le massif du Bugey, au nord de la commune de Brénod, dans la combe de Léchaud. Avec un linéaire de 55 km, elle draine un bassin versant d'environ 313 km², et se jette dans la rivière d'Ain à l'ouest de Saint-Maurice-de-Remens.

L'Albarine a un régime hydrologique pluvio-nival océanique avec des débits de crues en décembre et en février-mars, et des étiages en janvier et en été (maxima en août-septembre). L'étiage d'été est particulièrement important puisqu'il conduit à une perte complète des débits superficiels de l'Albarine dans les alluvions de la plaine de l'Ain à hauteur de la commune de Saint-Denis-en-Bugey. Les années les plus sèches (par exemple en 2003) voient cet assèchement remonter jusqu'à hauteur du village de Torcieu.

Les crues de l'Albarine sont caractérisées par un temps de réponse rapide des débits aux précipitations et/ou aux fontes des neiges, par des vitesses importantes, et une

décruée rapide. Les évènements passés indiquent qu'il faut entre un jour et demi à trois jours entre le début de la montée des eaux et la décrue complète.

1.4.3.2 Buizin :

Le ruisseau du Buizin prend sa source dans la "Combe à Billet", sur la commune de Souclin. Il traverse les communes de Vaux-en-Bugey, Ambutrix et Saint-Denis-en-Bugey.

Dans le centre de Vaux-en-Bugey, le Buizin est canalisé le long des maisons par des quais en pierres, avec différents ponts permettant d'accéder aux maisons, la plupart ayant été construits en 1840.

A l'aval du centre de Vaux-en-Bugey, le ruisseau a une forme de canal et coule à une cote supérieure aux zones d'habitations, il est considéré comme « perché ».

A l'origine, le Buizin se jetait dans le Rhône à Lagnieu après avoir traversé le village (Cf. carte de Cassini feuille Belley ci-contre, levés de 1758-1760, édition datant probablement de 1815). Il a probablement été dévié dès le moyen-âge pour alimenter des moulins sur les communes d'Ambutrix et Saint-Denis-en-Bugey. Le cours naturel avait été conservé comme régulateur de débit mais au 19ème siècle, le Buizin a définitivement abandonné son cours naturel.



En amont du centre de Saint-Denis-en-Bugey, un ouvrage de répartition dévie les eaux en grande partie vers un ovoïde se jetant dans l'Albarine en amont du double pont SNCF puis une petite partie vers l'Ouest de la commune en direction des « pertes du Buizin », au lieu-dit les "Terres Guillet". Une étude de la DDAF de l'époque estime le débit de crue décennale à 8.6 m³/s, et le risque de débordement pour un débit supérieur à 5 m³/s. Depuis, des travaux ont été effectués (léger gain en section, restructuration berges en génie végétal, reconstruction des berges maçonnées du Vieux Buizin).

2 - ETUDE DES PHÉNOMÈNES

Dans un premier temps, nous avons recensé les différents phénomènes observables sur la commune ou répertoriés dans le passé.

Cela permet de dresser un « état des lieux » de l'activité des phénomènes sur la commune.

2.1 ÉVÈNEMENTS ANCIENS CARTOGRAPHIÉS

Les évènements recensés sont issus des archives du BRGM (BDMvt) et des mairies, diverses bases de données ont également été consultées (www.prim.net pour les Cat.Nat ...).

Ils sont présentés ci-après dans l'ordre chronologique.

Les crues des rivières sont détaillées au chapitre suivant.

8 novembre 1840 : Un **glissement de terrain** survient au-dessus de Vaux-Févroux : *« Un canton tout entier de vignes, connu sous le nom de Plansole, de la superficie d'environ six hectares, a glissé sur le canton appelé Partenoze. Ce bouleversement a été produit par suite de l'infiltration des eaux pluviales entre deux terres et à la profondeur d'un mètre soixante centimètres. [...] Plus loin, d'énormes blocs de pierre sont descendus du penchant de la colline, et sont venus se fixer dans le contre-bas où finit la terre bouleversée.*

« [...] un chemin de desserte qui traversait cet endroit, se trouve jeté aujourd'hui à une distance de plus de cent mètres, et on dirait que certaines parties de ce chemin n'ont souffert aucun ébranlement, pendant que d'autres ont disparu presque complètement.

« Plusieurs petits arbres placés dans la vigne transportée sont encore debout ; d'autres ont disparu. Il est impossible de peindre l'aspect de désolation qu'offrent ces lieux, tourmentés par d'effroyables ravages et une sorte de révolution terrestre. ». [Journal de l'Ain, 11 novembre 1840, pp2-3]

Une archive communale citée par [Charpy 1990] mentionne l'existence d'excavation de mines de fer, qui auraient pu infiltrer l'eau plus en profondeur ; le chemin de Vaux à Cleyzieu est emporté sur plus de 100m, et la surface renversée est de 400m de long par 100m de large.

Sur le terrain, il semblerait que ce mouvement puisse être survenu plutôt en rive gauche du vallon de Partenaux, entre 425 et 350m environ, où des traces de fluages et autres bourrelets sont mieux observables à l'aval.

Un autre **glissement de terrain**, probablement moins imposant, est survenu sur l'autre rive, qui a intercepté le chemin de la Bottière et le canal du Moulin de Fataud (visible sur le cadastre de 1825).

Une **crue du Buizin** est également survenue, avec des débordements importants sur les terres agricoles à Verchère en aval de Vaux.

Ces deux derniers évènements sont issus de [Charpy, 1990, p222] qui les date du 7 novembre 1840.

15 mai 1864 : un fort orage sur Saint-Sorlin et une probable embâcle/débâcle génèrent à Vaux une **crue soudaine du Buizin**. « *À Vaux, les boulistes de l'époque, occupés à leur sport favori, furent très surpris de voir le ruisseau enfler subitement alors qu'ils n'avaient perçu aucune goutte de pluie. [...] Au Quart d'en Haut, dans la maison Tissot [vers Boisset ?], l'âtre de la cheminée était inondé. Un peu plus haut, dans le même quartier, les moutons de Joanny Quinson eurent la vie sauve en se réfugiant sur un tas de paille. Près de l'église, entre le quai et la rue Ferrachat, l'enclume du forgeron fut renversée par la poussée du courant.* » [Charpy, 1990, p137]

14-15 février 1990 : De fortes pluies sur sol enneigé provoquent une forte **crue de l'Albarine** à St Denis.

Du **21 au 24 décembre 1991**, de fortes pluies provoquent une **crue de l'Albarine** (embâcles sur les ponts) **et du Buizin** (débordements à Ambutrix).

Vers **1993** (date incertaine), un **glissement de talus** amont de la D60a s'est produit à la sortie de Vaux en direction de Fevroux, vers le chemin du Moulin. Un glissement de talus aval (berge RG du Buizin) est également survenu à proximité, avec une date incertaine.

En **novembre 2000** : un **glissement de talus** survient sur la place de retournement (décaissement anthropique) au bout du chemin des Gorelles à Vaux.

19 avril 2002 : la D60a est coupée un peu à l'ouest de la rue de Montet, à Vaux, par un **effondrement**, qui serait lié à d'anciennes mines de sable.

Le **21 juillet 2014**, forte **crue du Bettet** (amont du vieux village) et **du Buizin** (quai du Buizin) à Vaux.

Au **printemps 2020**, plusieurs **glissements de talus** et chutes d'arbre coupent la D60a en amont de Fevroux.

Les crues du Buizin de 2021 (10 mai et 20-21 juin) sont précisées au chapitre suivant.

Signalons pour mémoire des arrêtés de Catastrophe Naturelle auxquels il n'a pas été possible de rattacher de phénomène particulier sur les communes :

- pour inondations et coulées de boue du 30/4 au 1/5/1983 (les trois communes),
- pour inondations et coulées de boue du 21 au 24/12/1991 (Ambutrix et Saint-Denis en Bugey).

Des crues auxquelles il n'a pas toujours été possible de rattacher des contours cartographiques sont également citées au §2.2.1 ci-dessous.

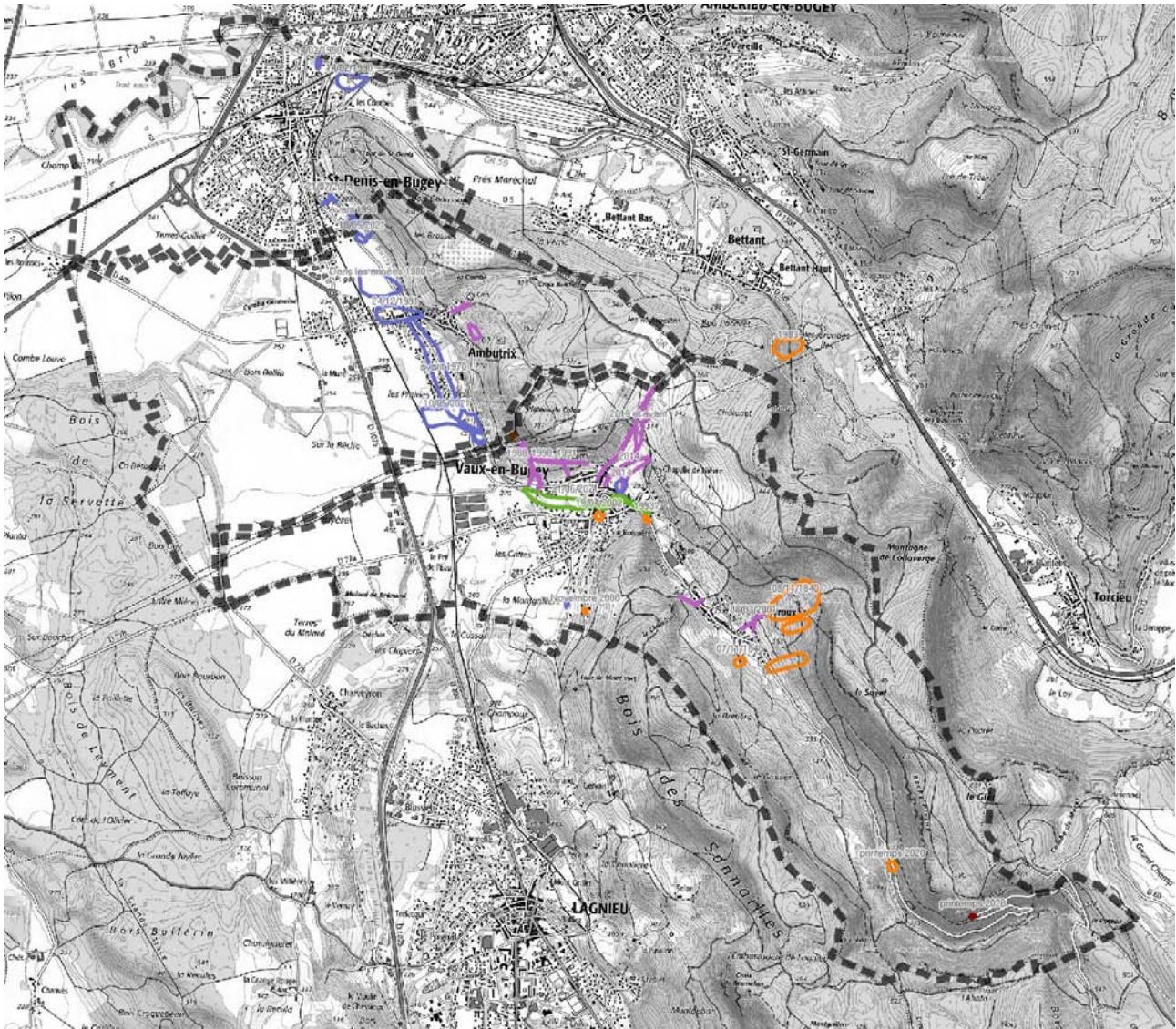


Figure 3 - Carte des phénomènes (échelle $\approx 1/50\ 000$)

2.2 DESCRIPTION DE L'ACTIVITÉ DES PHÉNOMÈNES

2.2.1 Crues, ravinements et ruissellements, inondations

2.2.1.1 Albarine

Date	Localisation	Phénomène	Source
Avril 1668	Vallée de l'Albarine	Crue de l'Albarine	Dauphiné Libéré du 21/07/1995 (source : PPRI du 01/12/2005)
Février 1720	Vallée de l'Albarine	Crue de l'Albarine	Dauphiné Libéré du 21/07/1995 (source : PPRI du 01/12/2005)

Date	Localisation	Phénomène	Source
Octobre 1765	Vallée de l'Albarine	Crue de l'Albarine	Dauphiné Libéré du 21/07/1995 (source : PPRI du 01/12/2005)
18-19 janvier 1910	Plaine fluvio-glaciaire	La route de Bettant est coupée sur 150 m à 200 m par 50 à 80 cm d'eau La route de Châtillon à Ambérieu est submergée	Le courrier de l'Ain du 21/01/1910 (source : PPRI du 01/12/2005)
14 au 16/02/1990	Vallée de l'Albarine	Crue de l'Albarine (cf. analyse hydrologique)	PPRI de 2005, anciennes études
21-22/12/1991	Plaine fluvio-glaciaire	Nombreux embâcles notamment au double pont SNCF RN504	Entretien avec particuliers
15 novembre 2002	Vallée de l'Albarine	Quelques remontées de nappe	Entretien avec particuliers

Rappel de l'évènement des 14, 15 et 16 février 1990 :

Les données sont issues de l'analyse post-crue de 1993 et du PPRN approuvé en 2006.

L'étude hydraulique réalisée par SILENE en 1993 estime le débit à 288 m³/s à la station de Saint-Denis-en-Bugey. Ce sont les importantes chutes de neige sur l'amont du bassin versant (station de Hauteville), suivies par un redoux accompagné de pluies relativement importantes sur l'ensemble du bassin versant qui sont à l'origine de la crue de l'Albarine.

Station pluviométrique	Hauteville	Tenay	Ambérieu
	110 mm équivalent eau de neige, soit un de retour temps de 30 ans	77.7 mm soit un temps de retour de temps de 4 ans	36.4 mm, soit un temps de retour annuel

La montée des eaux a été très rapide, en voici quelques ordres de grandeur :

- Entre la submersion de la RN 504 à l'entrée de Torcieu (matinée du 14) et l'amorce de la décrue à Saint-Denis-en-Bugey (vers 10h00 le 15), environ 24 heures se sont écoulées.
- A 12h00, le 14 février, le carrefour entre la RD 60 et la RN 504 est submergé. Au même moment, la montée des eaux débute à la station de Saint-Denis-en-Bugey, soit plus de 8 km en aval.

La décrue s'est avérée plus ou moins lente en fonction des endroits considérés. Par exemple, alors que la décrue s'est amorcée depuis le 15 février au matin sur la commune de Torcieu, l'eau y est encore trop haute, d'après les pompiers pour nettoyer les zones habitées le lendemain (16) à 10h00.

On retiendra notamment :

- Le dysfonctionnement de l'écoulement de l'Albarine dans son lit majeur. Ce dernier est en grande partie découpé en de multiples casiers hydrauliques, délimités par les infrastructures de transport, plus ou moins bien connectés les uns aux autres. Ce dysfonctionnement s'est illustré par la formation de cuvettes dans lesquelles l'eau restait piégée faute d'ouvrage de décharge (par exemple au hameau du Chauchay à Torcieu, ou au Ranch des Balmettes à Ambérieu), augmentant le temps nécessaire à la décrue (presque deux semaines pour que le sol s'assèche au hameau du Chauchay en 1990).
- Les infrastructures de transports faisant obstacle au bon écoulement des eaux ont particulièrement été touchées, ce qui atteste d'ailleurs de la vitesse importante des eaux : les remblais SNCF à hauteur des méandres et dans les goulots d'étranglement, la gare de triage SNCF à Ambérieu, la RN 504 à de multiples endroits, la RD77 à hauteur du pont de Bettant, la VC longeant la rive gauche de l'Albarine à Bettant, le RD5 à Saint Denis...
- La multiplication des embâcles. Ces derniers sont grandement facilités par l'alternance de larges "casiers" hydrauliques et de goulots d'étranglement formés par les nombreux ponts, le tout étant accentué lorsque les abords végétalisés de la rivière ne sont pas entretenus. La crue de février 1990 n'est d'ailleurs pas la plus représentative à l'égard de cette problématique. Celle de décembre 1991 a nettement démontré l'intérêt de veiller à ce que les berges ("naturelles" ou remblais SNCF) soient entretenues.
- Les habitations ont été inondées par les eaux de crue de l'Albarine et par les eaux de la nappe d'accompagnement de la rivière. Sans faire de distinction entre les deux phénomènes, 20 maisons individuelles ont été touchées à Torcieu, **un quartier de logements collectifs et quelques maisons individuelles à Ambérieu**, quelques maisons à Bettant, le quartier au pied du coteau de Saint-Germain, **le quartier à hauteur du lieu-dit "La pope" à Ambérieu, le quartier de la gare d'Ambérieu compris entre les avenues Salengro - Painlevé - Sarrail et quelques maisons entre les ponts SNCF et le pont de la RN 75 à Saint-Denis**. Des postes électriques et des lignes téléphoniques ont été touchés privant les usagers et entreprises d'électricité et de téléphone pendant 24h. **Plusieurs entreprises ont été inondées à Torcieu, Bettant, Ambérieu et Saint-Denis**. D'autres équipements ont également été touchés les caves d'une crèche, d'un laboratoire, de l'école J. Jaurès, d'une pharmacie, de l'espace 1500, les tribunes et **les vestiaires du stade (le tout appartenant au quartier de la gare) ont été inondés à Ambérieu**. **Les jardins communaux de Saint-Denis-en-Bugey** et les terrains agricoles de Torcieu (pâtures), de Bettant (céréales), et de Saint-Denis (céréales) ont été inondés et érodés.

Quelques crues récentes de moindre importance sont à noter :

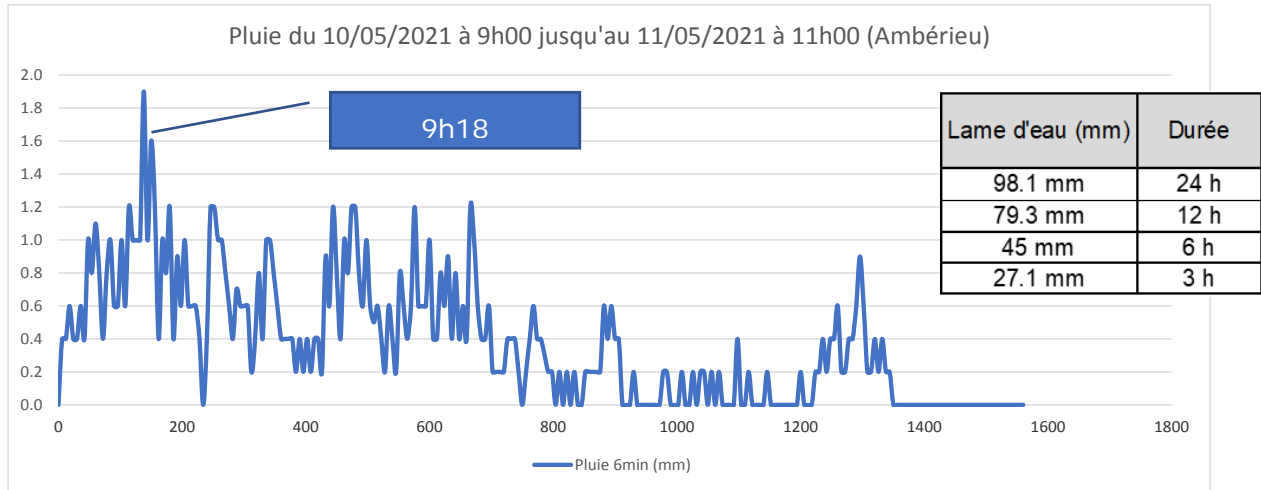
- Crue d'avril 2008 : 125 m³/s
- Décembre 2012 : 117m³/s

2.2.1.2 Buizin

Date	Localisation	Phénomène	Source
7-8/11/1840	Vaux-en-Bugey	Débordement du Buizin en aval du Village	Charpy
15/5/1864	Vaux-en-Bugey	Débordement du Buizin dans le village et en amont	Charpy
2 septembre 1944	Ambutrix	Inondation du bas du village	Ambutrix
Avant 1970	Ambutrix	Inondation du lotissement au lieu-dit « les Prairies » puis le centre du village, avant la construction de la berge en remblai	Ambutrix
Années 1980	Ambutrix	Débordement du Buizin en rive gauche dans des champs	Ambutrix
Avant 1998 (avant travaux élargissement)	Saint-Denis-en-Bugey	Inondation par le Buizin des habitations en contrebas de la berge en remblai	Saint-Denis-en-Bugey
24/12/1991	Ambutrix	Inondation du village, pont du centre obstrué	Ambutrix
28/01/1999	Vaux-en-Bugey	Débordement du Buizin au nouveau pont routier du Dr Clément	Vaux-en-Bugey
21/07/2014	Saint-Denis-en-Bugey, Vaux-en-Bugey	Léger débordement en rive gauche, repris par le réseau pluvial Débordements du Bettet et du Buizin sur les quais	Communes
10/05/2021	Ambutrix, Saint-Denis-en-Bugey	Débordements en rive gauche en amont d'Ambutrix, au niveau de l'ouvrage du centre d'Ambutrix, et en limite avec St Denis	Ambutrix, Saint-Denis-en-Bugey
20-21/06/2021	Vaux-en-Bugey, Ambutrix	Débordements à Févroux, sur les quais de Vaux et en aval à Verchère (mur renversé), et en amont d'Ambutrix	Vaux-en-Bugey, Ambutrix

Détails sur l'évènement du 10/05/2021 :

La pluviométrie relevée à la station d'Ambérieu en Bugey a été importante sur 24 heures, d'environ 98.1 mm, ce qui a fait réagir le bassin versant du Buizin. Par ailleurs, les pluies précédentes, avec un total de 66 mm lors des 12 jours précédents, ont pu contribuer à saturer les sols et augmenter le ruissellement de surface.



Le débit est estimé décennal à vingtennal à Ambutrix.



Figure 4 - Débordement à l'amont d'Ambutrix



Figure 5 - Débordement au pont au centre d'Ambutrix



Figure 6 - Débordement à l'aval d'Ambutrix

(photos du Buizin lors du 10/05/2021, source : commune d'Ambutrix)

Détails sur l'évènement du 20 au 21 juin 2021 :

La pluviométrie relevée à la station d'Ambérieu-en-Bugey a été de l'ordre de 28.1 mm sur 8 heures et 22.9 mm sur 6 heures, ce qui correspond à des pluies relativement courantes. La saturation des sols liée à un printemps pluvieux et les dépôts de matériaux et embâcles laissés par la crue de mai 2021 ont pu jouer un rôle sur les débordements. Selon le SR3A, il s'agissait d'un événement très localisé : 101 mm en 3 heures sur l'amont du bassin versant du Buizin. À Vaux, la pluie a été moins forte et il n'y a pas eu de ruissellements majeurs hors du Buizin.

Le Buizin a quitté son lit à plusieurs endroits à Vaux-en-Bugey, avec des inondations à Févroux et sur les quais, la destruction d'une berge et l'effondrement d'un mur perpendiculaire à l'écoulement aux Verchères (mur bordant à l'ouest les parcelles 122 et/ou 134).

En aval, l'inondation était similaire ou un peu inférieure à celle du 10/5 à Ambutrix, avec une berge dépassée à l'amont d'Ambutrix (comparable à la figure 4 ci-dessus).

À St-Denis, un débordement a eu lieu un peu en amont de la passerelle entre rue des Rochettes et chemin du Buizin.

Le débit est estimé décennal ou inférieur à Ambutrix, sensiblement supérieur au décennal à Vaux.

2.2.1.3 Ruissellements de versant

Date	Localisation	Localisation complémentaire	Phénomène	Source
01/05/1983 03/09/1988 21/12/1991 16/11/1992 15/11/2002 24/11/2002 06/07/2004 14/04/2005 08/12/2006 15/06/2007 21/07/2014	Vaux-en-Bugey	Bettet, Grande rue, Passaquet	Inondations plus ou moins intenses en direction de la Grande Rue, route de Bettant, chez Passaquet	Vaux-en-Bugey
22/12/1991 09/09/1993 07/08/1995 04/09/1998	Vaux-en-Bugey	Village	Inondations dans le village par ruissellement, notamment par le Bettet et Grande Rue Inondation école en 1998	Vaux-en-Bugey
13/10/1988 13- 14/02/1990 06/01/1991	Vaux-en-Bugey	Les Cotes	Inondations chez Cavalcante, maisons au pied des Côtes, Tissot Pierre	Vaux-en-Bugey
08/03/2001	Vaux-en-Bugey	Vaux Févroux	Intervention chez Bruno Benech, chemin de Partenaux	Vaux-en-Bugey

2.2.2 Mouvements de terrain

La plupart des glissements de terrain observés sont autour de Vaux-Févroux, et semblent liés aux marnes du Lias qui y affleurent. Un glissement assez superficiel a également été observé plus au nord, sur Vaux près de la limite communale d'Ambutrix, au-dessus d'une source (tufs) vers 320m (lieu-dit Bois Bachat).

Quelques glissements de talus peuvent survenir ailleurs, surtout à la faveur de terrassements mal soutenus.

Les éboulements rocheux sont presque absents de l'historique, mais bien présents sur le terrain ; ils sont essentiellement issus des escarpements calcaires du Bajocien et ne s'observent pas au nord de Févroux.

Ils sont plus marqués sur la rive droite du Buizin, où les escarpements sont plus continus que sur la rive gauche.

3 - ANALYSE HYDROLOGIQUE

3.1 ANALYSE DES ÉTUDES EXISTANTES

Les études donnant des informations sur l'hydrologie sont notamment :

- Etude générale d'aménagement et de gestion de l'Albarine, SIAA, SILENE, 1993
- Etude hydraulique de l'Ain - PPRI, DDE 01, SILENE, 1999
- Etude hydraulique de l'Albarine - PPRI, DDE 01, SILENE et HTV, 2009
- Etude hydraulique pour des aménagements sur le BUIZIN - AVP, CIDEE 2011
- Etude hydraulique et cartographie de l'aléa inondation de l'Ain entre le barrage d'Allement et le Rhône, SUEZ Consulting, 2018

Etude 1993 :

L'étude générale menée en 1993 a établi une analyse approfondie de l'hydrologie du bassin versant de l'Albarine, aboutissant à une estimation du débit centennal de 305 m³/s.

Etude SILENE et HTV 2009 :

L'estimation du débit décennal est faite par ajustement statistique à la station de Saint-Denis-en-Bugey, puis le débit centennal est estimé par extrapolation avec la méthode du Gradex, à une valeur de 325 m³/s.

Etude SUEZ 2018 :

Les débits courants sont issus des données de la station hydrométrique sur l'Albarine (valeurs mesurées jusqu'en 2018, au moment de l'étude) avec un ajustement de Gumbel puis une extrapolation est faite avec la méthode du Gradex brut et du Gradex progressif pour le débit centennal.

18h - sup seuil		Gradex brut		Gradex progressif	
Période de retour (ans)	u gumbel	Qix (m ³ /s)	VCXd (m ³ /s)	Qix (m ³ /s)	VCXd (m ³ /s)
2	0.693	114	96	114	96
5	1.609	145	122	145	122
10	2.303	169	141	169	141
20	2.996	209	174	195	163
50	3.912	261	218	238	199
70	4.248	280	234	255	213
100	4.605	300	251	274	229

Tableau 1 : Tableau des estimations de débits issus de l'étude SUEZ Consulting (2018)

Le débit centennal de l'Albarine calculé dans cette étude est de 274 m³/s, proche du débit calculé par SILENE en 1999 (280 m³/s) mais inférieur au débit de l'étude HTV (325 m³/s).

Au final, l'étude SUEZ retient le débit centennal issu de l'étude HTV par principe de précaution, soit 325 m³/s à Saint-Denis-en-Bugey.

Etude CIDEE - Buizin :

Les débits de crue du Buizin ont été calculés à l'aide des formules empiriques classiques : Socose, Crupedix... Le débit décennal est estimé à 8 m³/s.

Les débits de crue de période de retour 30 à 100 ans ont été calculés à partir du débit décennal par extrapolation par une loi de Gumbel et en utilisant, selon l'étude, les ratios communément admis.

Q2 (m ³ /s)	Q5 (m ³ /s)	Q10 (m ³ /s)	Q30 (m ³ /s)	Q100 (m ³ /s)
4.8	6.4	8	12	16

Le temps de concentration est estimé à 101 minutes soit environ 1h40.

3.2 PLUVIOMÉTRIE

Nous retiendrons la station pluviométrique d'Ambérieu-en-Bugey, située sur la zone d'étude et donnant des informations de pluies journalières et infra-horaire.

Station	Altitude (m)	Distance par rapport à la zone d'étude (km)	Pj10 (mm)	Pj100 (mm)
Ambérieu-en-Bugey	250 m	~1	81	114.6

Période de retour	Coefficients de Montana pour des pluies de 30 minutes à 6 heures	
	a	b
10 ans	9.468	0.696
100 ans	20.744	0.744

Tableau 2 : Coefficients de Montana retenus pour la zone d'étude

3.3 ESTIMATION DES DÉBITS DE CRUE DE L'ALBARINE

3.3.1 Données de la station hydrométrique

Nous utiliserons les données de la station hydrométrique de l'Albarine à Saint-Denis-en-Bugey, située sur la zone d'étude.

Station	Localisation	Période de fonctionnement	Bassin versant	Précision indiquée en hautes eaux
Albarine	Pont Saint-Denis-en-Bugey (pont de la RD5, aval voie ferrée)	Depuis 1958 Soit 63 ans de données, 40 ans pour les crues	288 km ²	« bonne »

Crues (loi de Gumbel - septembre à août) - données calculées sur 40 ans

Fréquence	QJ (m ³ /s)	QIX (m ³ /s)
X ₀	67.700	94.700
Gradex	23.300	30.900
Biennale	76.00 [71.00;83.00]	110.0 [99.00;110.0]
Quinquennale	100.0 [95.00;120.0]	140.0 [130.0;160.0]
Décennale	120.0 [110.0;140.0]	160.0 [150.0;190.0]
Vicennale	140.0 [120.0;160.0]	190.0 [170.0;210.0]
Cinquantennale	160.0 [140.0;190.0]	220.0 [190.0;250.0]
Centennale	Non calculée	Non calculée

Maximums connus (par la banque HYDRO)

Débit instantané maximal (m ³ /s)	315.0 #	15/02/1990 04:29
Hauteur maximale instantanée (cm) *	332	15/02/1990 04:29
Débit journalier maximal (m ³ /s)	244.0 #	15/02/1990

* la synthèse étant effectuée sur la chronique complète de données (station ET stations antérieures comprises s'il en existe), la hauteur maximale connue affichée peut provenir d'une station antérieure

Figure 7 : Données de la station hydrométrique de l'Albarine de Saint-Denis-en-Bugey (date : décembre 2020)

Le maximum connu a été relevé le 15/02/1990, avec un débit de 315 m³/s et une hauteur d'eau de 3.32 m. On notera que le débit de cette crue avait été estimé dans l'étude SILENE de 1993 à 288 m³/s.

Un ajustement suivant une loi de Gumbel réalisé à partir des débits relevés indique que le débit de la crue de février 1990 apparaît plus élevé qu'une valeur de débit centennale obtenue par extrapolation, et proche de l'intervalle de confiance à 95%.

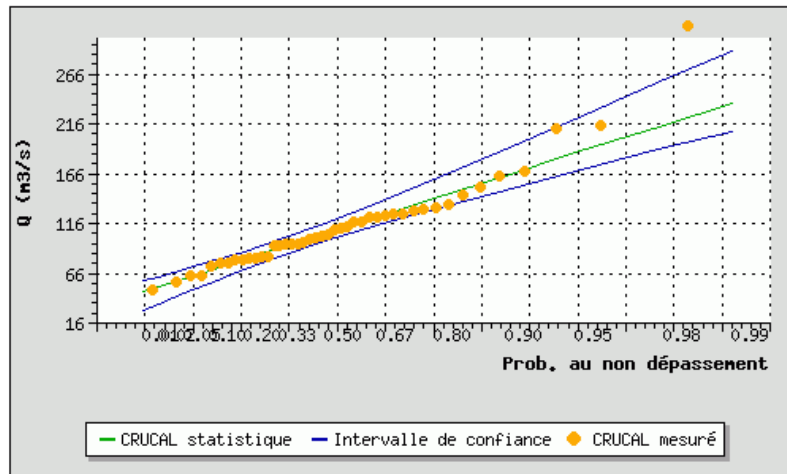


Figure 8 : Ajustement de Gumbel à la station de l'Albarine sur 40 ans de données (banque hydro)

3.3.2 Débit de pointe de référence retenu pour l'Albarine

L'étude SUEZ de 2018 avait calculé le débit de crue centennal avec les méthodes du Gradex brut et du Gradex progressif. Ces estimations restent valables en 2020 car l'Albarine n'a pas connu de crues importantes tout en en subissant à hauteur ou proche de la période supplémentaire d'observation, avec un maximum de 122 m³/s en 2018, soit un temps de retour inférieur à 2 ans.

L'estimation de débit à 325 m³/s réalisée par HTV repose sur la même méthode du Gradex mais avec 11 ans de données en moins. La valeur estimée en 2018 apparaît sensiblement plus faible car il n'y a pas eu de crue majeure depuis 2009 (débits inférieurs à 125 m³/s).

Le débit de la crue du 14/02/1990 reste donc supérieur aux estimations de débit centennal réalisées par les méthodes traditionnelles : extrapolation par une loi de Gumbel et méthode du Gradex (y compris celle du Gradex brut à tendance sécuritaire avec 300 m³/s).

Les Plans de Prévention des Risques préconisent de retenir le débit de la crue la plus forte connue ou de la crue centennale si elle est supérieure.

Le débit de 315 m³/s de la crue du 14/02/1990 sera retenu comme référence, car supérieur à l'estimation d'une crue centennale.

3.3.3 Hydrogramme retenu pour l'Albarine

En analysant les hydrogrammes de la crue de février 1990 et décembre 1991 (traits en pointillés sur la figure ci-après, source : banque hydro), on constate un temps de montée pratiquement similaire pour passer de quelques m³/s à plus de 200 m³/s, soit à près 15 heures.

Pour l'hydrogramme de projet, nous reprendrons l'hydrogramme de la crue de février 1990, en lissant la courbe à son maximum.

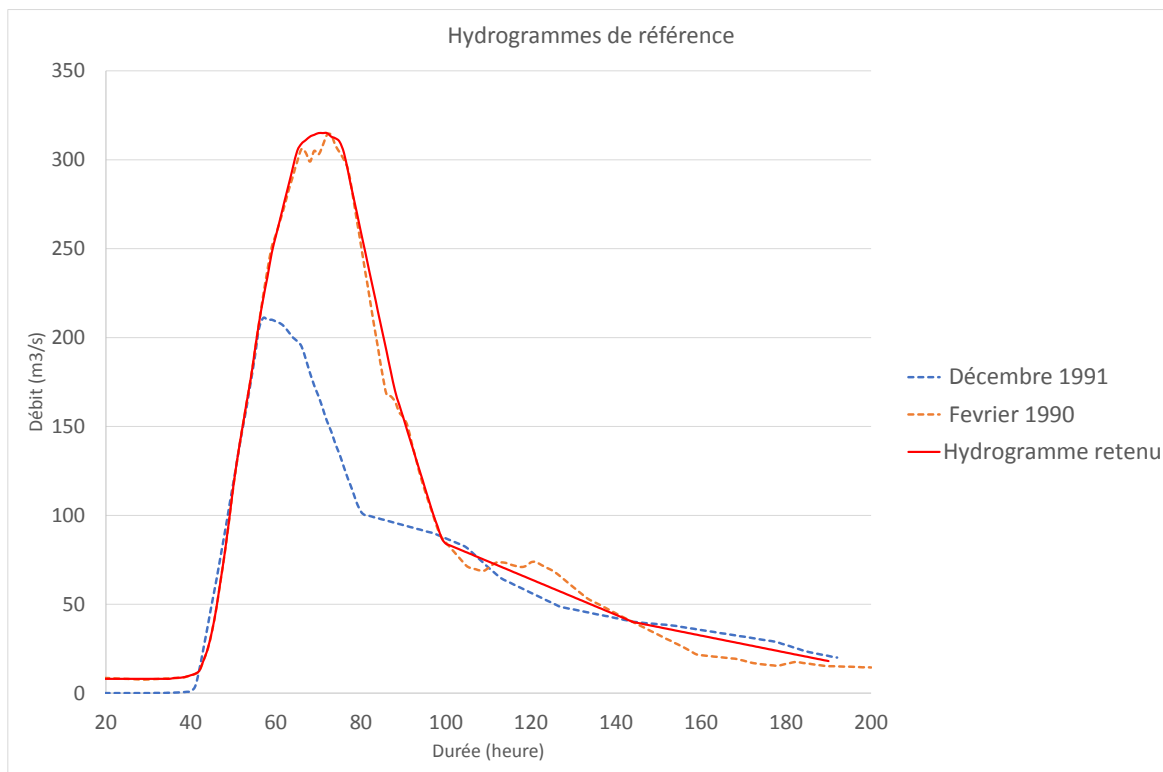


Figure 9 : Hydrogrammes des crues historiques et hydrogramme retenu sur l'Albarine

3.4 ESTIMATION DES DÉBITS DE CRUE SUR LE BUIZIN

3.4.1 Découpage en sous bassins versants

Les bassins versant ont été découpés à partir de la carte IGN, du réseau hydrographique existant (fossés, cours d'eau, conduites, talwegs) et de l'analyse de terrain.

On notera que le bassin versant du Buizin est composé majoritairement de forêts (~82%). Un découpage en 4 sous bassins a été réalisé afin de permettre une injection de débit répartie dans le modèle hydraulique.

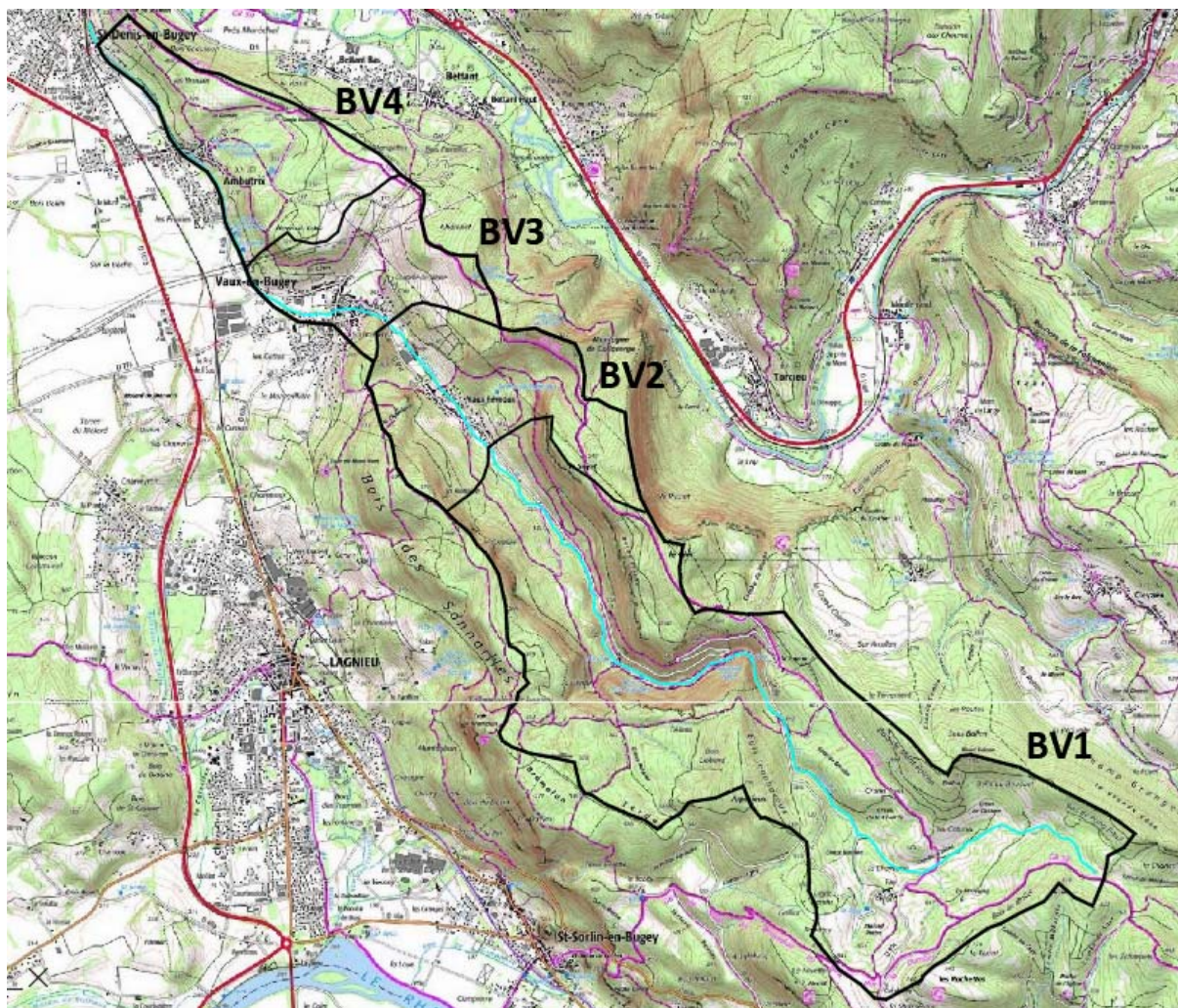


Figure 10 : Découpage en sous bassins versants

3.4.2 Hydrogéologie du bassin versant

Cf. géologie au paragraphe 1.4.2 ci-dessus.

Commentaires :

La zone d'étude est composée majoritairement de calcaires et marnes, ce qui peut induire des phénomènes d'infiltrations et de résurgences.

3.4.3 Caractéristiques du bassin versant

Les caractéristiques du bassin versants sont les suivantes :

Bassin versant	Superficie (ha)	Coefficient de ruissellement	Longueur Hydraulique (m)	Pente (m/m)
Bassin global du Buzin	1326	~0.1	12000	0.047

Tableau 3 : Caractéristiques des sous bassins versant

Le coefficient de ruissellement a été établi à partir de l'occupation du sol et de la carte IGN. Pour chaque type d'occupation du sol, un coefficient de ruissellement est associé en fonction de la pente. Le coefficient global est calculé au prorata des surfaces suivantes :

- Forêt (C=0.05 à 0.07, sol avec infiltration)
- Champs (C=0.28 à 0.30)
- Zone pavillonnaire (C=0.40 à 0.45)
- Parking, routes (C=0.90)

La longueur hydraulique correspond au cheminement le plus long sur le bassin versant.

Temps de concentration :

Le temps de concentration représente le temps nécessaire aux écoulements pour parcourir l'ensemble du bassin versant. Il permet ainsi de déterminer l'instant où le débit sera maximal pour une pluie constante, il permet également de déterminer l'intensité de pluie à prendre en compte pour obtenir une estimation du débit décennal.

Il existe différentes méthodes pour calculer le temps de concentration. Celui-ci sera établi en calculant la moyenne des différentes formules suivantes : Passini, Dujardin, guide SETRA, et en ajoutant un retard de ruissellement de 15 minutes pour les bassins ruraux ou avec infiltration. En effet, la végétation et les sols interceptent les premières précipitations, le ruissellement ne débute donc pas avec le commencement de la pluie.

Bassin versant	Temps de concentration (min)					
	Kirpich	Passini	Dujardin	Desbordes	SETRA	RETENU
BV global Buizin	-	162	117	-	200	~160

Tableau 4 : Temps de concentration des sous bassins versant

3.4.4 Estimation du débit décennal Q10

L'estimation du débit décennal a été réalisée à partir des méthodes traditionnelles suivantes :

- Méthode rationnelle : basée sur l'hypothèse d'un événement pluvieux constant et uniforme sur le bassin versant, engendrant des pluies ruisselées arrivant au même moment à l'exutoire (débit de crue maximum).
- Méthode Crupedix : issue d'une analyse statistique effectuée sur 630 bassins versants jaugés de 2 à 2000 km². Pour tenir compte de l'effet de taille des bassins versants, les calculs ont été menés sur des valeurs de débits décennaux réduites $q = Qi10/S^{0.8}$, où S représente la superficie du bassin versant. Cette méthode s'applique à toutes les régions de France métropolitaine avec application d'un coefficient correctif R (R=1 sur la zone d'étude).
- Modèle hydrologique « pluie-débit » : basé sur la production des hydrogrammes des différents sous bassins versant (avec la méthode SCS Curve Number dans

cette étude), puis en simulant la propagation des écoulements dans le réseau hydrographique en sommant les différents hydrogrammes.

- Analyse régionale : basée sur une analyse statistique des cours d'eau jaugés proches de la zone d'étude, et par estimation d'un débit pseudo-spécifique : $Q_{BV1} = Q_{BV2} * (S_{BV1}/S_{BV2})^a$ avec a coefficient de Myer (pris égal à 0.8)

Station hydrométrique	Superficie (km ²)	Q10 (m3/s)	Q20 (m3/s)	Q30 (m3/s)	Q50 (m3/s)	Q100 (m3/s)	(Q10/S)^0.8
Toison à Rigneux le Franc (14 ans de données)	33	24	29	-	-	-	1.46

Les différentes méthodes d'estimation du débit décennal donnent les résultats suivants :

Bassin versant	Superficie (km ²)	Q10 (m3/s)						RETENU
		Méthode rationnelle	Crupedix	Transition	Analyse régionale	Modèle hydrologique	Moyenne	
BV global Buizin	12.64	6.5	8.11		11.58 (non retenu)	6.0 (4.0 à 8.0)	6.9	6.0

Tableau 5 : Débit décennal Q10

- La méthode rationnelle est en dehors de sa limite d'utilisation : le bassin versant du Buizin ayant une superficie supérieure à 10 km² pour une limite de la méthode de l'ordre de 1 km². Cette méthode a l'avantage de prendre en compte l'occupation du sol (majoritairement de la forêt) mais aura tendance à surestimer le débit du fait d'une application au-delà de 1 km².
- La méthode Crupedix est basée sur un ajustement effectué sur plus de 600 bassins versant de tailles différentes, mais elle ne tient pas compte du fait que le bassin versant du Buizin est majoritairement boisé, probablement plus que la moyenne de ces bassins versants, donc elle pourra avoir tendance à surestimer le débit.
- L'analyse régionale a été effectuée par rapport au cours d'eau de La Toison, situé à proximité de la zone d'étude (<20 km). Cependant, ce bassin versant est majoritairement composé de champs et de prairies avec un ruissellement plus important que des forêts. De plus, la station ne dispose que de 14 ans de mesure. Nous ne retiendrons pas cette méthode par comparaison de bassin versant.
- Un modèle hydrologique Pluie-Débit avec la méthode SCS donne des débits de l'ordre 4 à 8 m3/s, selon les valeurs de Curve Number retenus (fonction des capacités d'infiltrations des terrains et variables selon l'hétérogénéité des terrains sub-affleurant).

On notera que les phénomènes d'infiltration / résurgences sont très présents sur le bassin versant du Buizin, ce qui rend difficile l'utilisation des formules traditionnelles. Seuls des ajustements statistiques réalisés à partir de mesures locales de pluies-débits sur une période suffisamment longue pourraient permettre de donner des valeurs représentatives de la réalité. En l'absence de ces données, une analyse de terrain avec

une mise en relation de la capacité hydraulique du lit mineur naturel permet de mieux interpréter les résultats des formules empiriques. Dans notre cas, le Buizin ayant été totalement recalibré, il n'a pas une section « naturelle », ce qui rend plus difficile l'analyse. En faisant un calcul simplifié de capacité du lit avec une formule de Manning Strickler sur une section type à Saint-Denis-en-Bugey, on obtient un débit capable entre 5 et 7 m³/s pouvant correspondre à un débit courant de l'ordre de Q₅ à Q₁₀, ce qui reste dans les valeurs présentées ci-dessus.

3.4.5 Estimation du débit centennial Q₁₀₀

L'estimation du débit centennial a été réalisée à partir des méthodes traditionnelles suivantes :

- Méthode du Gradex : basée sur l'hypothèse qu'au-delà d'une certaine fréquence de pluie donnée l'eau tombée au sol ruisselle en totalité et participe donc totalement à l'accroissement du débit (point pivot pris à 30 ans compte tenu des sols calcaires avec infiltration).
- Méthode du guide SETRA « Recommandation pour l'Assainissement Routier » de 1982 : estimation de manière simplifiée par l'application d'un coefficient multiplicateur sur le débit décennal de 2 (bassin versant de plaine) à 3 (bassin versant de montagne ou pentu).
- Modèle hydrologique « pluie-débit » : basé sur la production des hydrogrammes des différents sous bassins versant (avec la méthode SCS Curve Number dans cette étude), puis en simulant la propagation des écoulements dans le réseau hydrographique en sommant les différents hydrogrammes.

Les différentes méthodes d'estimation du débit centennial donnent les résultats suivants :

Bassin versant	Superficie (km ²)	Q ₁₀₀ (m ³ /s)						
		Gradex	Gradex progressif	SETRA	Analyse régionale	Modèle hydrologique	Moyenne	RETENU
BV global Buizin	13.27	27.8 (non retenu)	24.30 (non retenu)	15.0 (12.5 à 18.0)	-	~15 (10 à 19)	15.00	15.0

Tableau 6 : Débit centennial Q₁₀₀

- La méthode du Gradex apparait peu adaptée et aura tendance à surestimer les débits, car elle suppose que l'ensemble du bassin versant contribue au ruissellement, ce qui n'est probablement pas le cas du bassin versant karstique du Buizin. Cette méthode ne sera pas retenue.
- La méthode du guide SETRA donne un débit Q₁₀₀ compris entre 12.5 et 18 m³/s selon le coefficient multiplicateur variant de 2 à 3. Nous retiendrons une valeur moyenne de 2.5*Q₁₀.

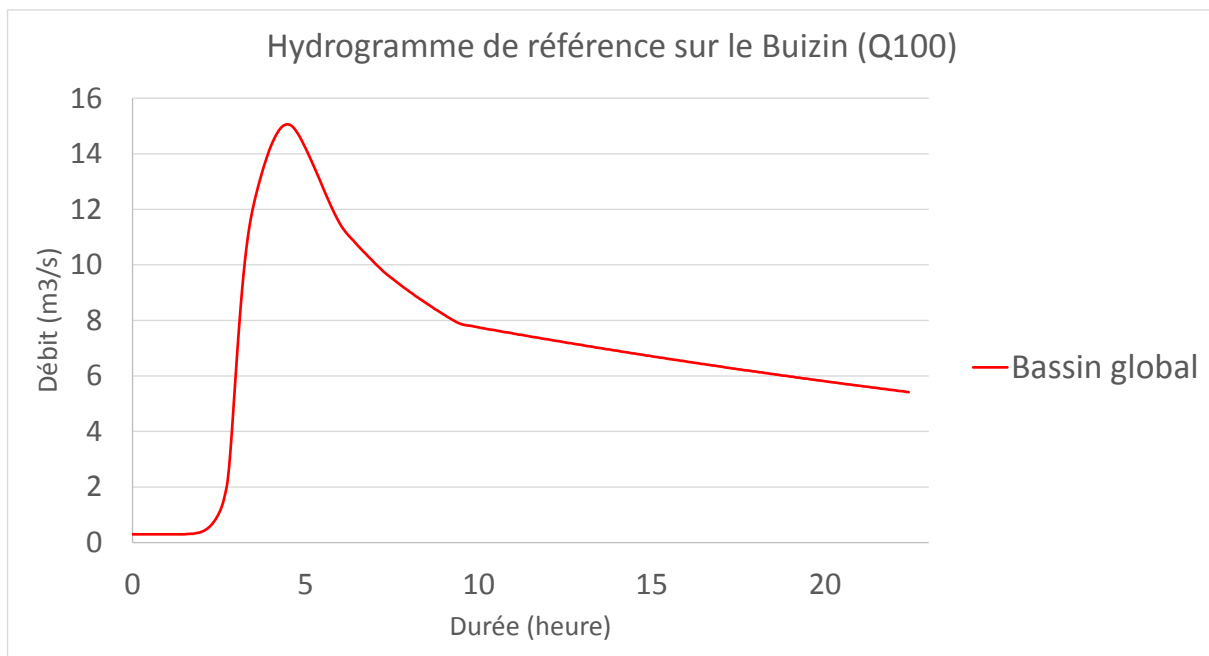
- Le modèle hydrologique avec la méthode SCS donne des débits variants de 10 à 19 m³/s (Curve Number variant de 30 à 60, correspondant à un sol composé de forêt de classe A à B et une couverture du sol de bonne à moyenne).

Comme pour le débit décennal, l'estimation du débit centennal par les méthodes traditionnelles est rendue complexe par l'absence de données hydrométriques sur le Buizin et les phénomènes d'infiltration et résurgences sur le bassin versant. La réponse du bassin versant à des pluies « courantes » comme la pluie décennale est plus facile à mettre en relation avec la capacité hydraulique du cours d'eau et les retours sur des événements passés relativement courant. Pour une pluie centennale, il est plus difficile de prédire la réponse réelle du sol, d'autant plus si les informations sur ce type de crue sont manquantes. De fait, nous retiendrons des valeurs moyennes proposées dans la littérature. Par ailleurs, un test de sensibilité sur les zones inondables a été mené dans la phase de calage du modèle hydraulique.

3.4.6 Débits de référence retenus sur le Buizin

Bassin versant	Superficie (km ²)	Q10 (m ³ /s)	Q100 (m/s)
Bassin du Buizin	13.27	6.00	15.00

3.4.7 Hydrogramme retenu sur le Buizin



4 - ETUDE DES ALÉAS DE MOUVEMENTS DE TERRAIN

L'aléa désigne une *probabilité d'occurrence* d'un phénomène naturel de nature et d'intensité données.

Les phénomènes ne sont pas nécessairement répétitifs, aussi un aléa peut exister sur un site où aucun phénomène n'a encore été observé.

Les aléas sont déterminés à dire d'expert, par examen du terrain et de photos aériennes, ainsi qu'à l'aide des archives les plus facilement accessibles.

La présente étude ne peut malheureusement prétendre inventorier la totalité des aléas, certains nécessitant pour être révélés des techniques de prospection plus élaborées.

4.1 DÉFINITION DES ALÉAS

Un aléa est caractérisé par sa *nature* et son *degré*.

La nature des aléas est définie de la même façon que pour les phénomènes ; on se reportera donc au §2.1 pour retrouver ces définitions.

Le degré d'un aléa qualifie la gravité de la menace représentée par cet aléa.

Cette gravité est essentiellement fonction de **l'intensité du pire phénomène probable** à l'échelle de temps considérée (un siècle sauf mention contraire), et donc des pires dommages potentiels susceptibles de survenir au cours de cette période.

Elle est également pondérée par la fréquence d'occurrence du phénomène : par exemple, un phénomène peu intense mais survenant souvent peut, par les coûts cumulés qu'il engendre, devenir incompatible avec l'occupation humaine.

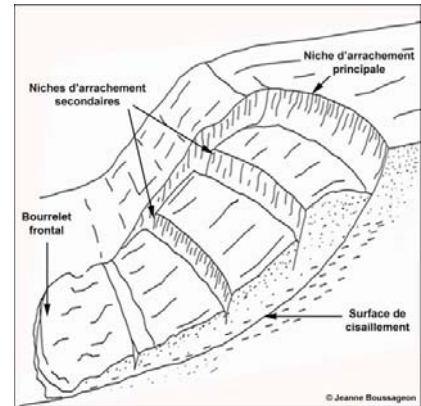
La présente étude se limite, sauf mention contraire, aux phénomènes de fréquence au plus centennale ; les phénomènes ayant une probabilité d'apparition inférieure ne sont donc pas pris en compte dans cette étude.

Compte tenu de la variété des phénomènes et de leurs conséquences, on définit pour chaque aléa un certain nombre de critères d'évaluation qui permettent de déterminer si le degré de l'aléa est *faible*, *moyen* ou *fort* voire *très fort* ; bien entendu, l'aléa peut aussi être *négligeable* ou *nul* si aucun des critères n'est rempli. Les tableaux ci-après définissent ainsi quatre (ou cinq) degrés d'aléa pour chaque phénomène, éventuellement subdivisés.

Dans le cas de phénomènes répétitifs, où l'on peut considérer plusieurs cas d'intensité et de fréquence différentes, on ne considère que le plus intense de ces cas, dans les limites exposées : c'est l'aléa de référence.

4.1.1 Eboulement rocheux

Cet aléa concerne les phénomènes de mouvements gravitaires rapides de roches cohérentes, avec propagation d'éléments en surface.



Les phénomènes observables vont de la chute de pierre de petit volume, à l'écrasement en masse de pans de falaises entières, en passant par la chute de blocs de volume variable. Les vitesses de propagation peuvent tous les rendre dommageables.

Leur détermination commence avec celle des zones de départ : falaises, affleurements, blocs posés... dont on détermine l'instabilité, en tenant compte de la probabilité qu'un élément se détache d'une part, mais aussi de la densité de ces instabilités (quantité d'éléments par unité de surface) d'autre part.

La propagation est ensuite estimée, d'après les pentes surtout (accélération sur les pentes > à 30-35°, freinage sous 20° environ) et aussi leur rugosité et leurs propriétés mécaniques (un sol dur favorisera le rebond, un sol mou le freinera).

La probabilité d'atteinte est alors estimée en croisant ces deux probabilités de départ et de propagation.

L'intensité est dérivée de la taille des blocs d'une part, et de leur vitesse prévisible d'autre part.

L'aléa fort (P3) correspond aux secteurs touchés par des phénomènes importants : zones en pied de falaise, en versant raide avec propagation aérienne...

L'aléa moyen (P2) concerne des zones exposées, mais où la propagation se fait avec des hauteurs et vitesses modérées. Souvent, il s'agit de zones moins pentues en aval des précédentes, ou de versants peu actifs.

L'aléa faible concerne des zones exposées à des chutes de pierres peu fréquentes et de volume faible, sur des pentes modérées, et est rarement rencontré.

4.1.2 Glissements de terrain

Cet aléa concerne les phénomènes de mouvements gravitaires dans les sols meubles, sauf ceux liés à la rupture d'une cavité souterraine (auquel cas on parle d'affaissement ou d'effondrement, phénomènes non observés sur la commune).

Le phénomène classique montre généralement une surface de rupture bien marquée, formant des crevasses caractéristiques en surface (cf. figure ci-contre de l'IRMa Grenoble).

On peut aussi observer des déformations progressives du terrain dites *fluages*, sans surface de rupture individualisée, surtout pour les cas de petits déplacements (<<1m, en ordre de grandeur).

Les phénomènes actifs ou passés sont détectés par leurs traces dans la topographie : niches d'arrachement à la forme concave typique en amont, fissures longitudinales et latérales, bourrelets en aval... Les fluages forment une topographie en creux et bosses moins stéréotypée, mais qui peut aussi être assez caractéristique.

Les indices d'instabilité autres que de déplacement et déformation, notamment venues d'eau, végétation hygrophile, présence de formations sensibles... complètent les précédents.

L'aléa fort (G3) correspond aux secteurs touchés par des mouvements actifs, ou par des mouvements passés importants ; il est également appliqué aux terrains voisins lorsque leur contexte hydrogéologique est similaire.

L'aléa moyen (G2) concerne des terrains assez sensibles : les éventuels mouvements naturels y sont faibles ou d'ampleur limitée, mais ils pourraient être déclenchés ou aggravés par des aménagements sans précautions, et ils peuvent dans certains cas concerner des zones non immédiatement voisines (risques d'extension ou régression).

L'aléa faible (G1) concerne des terrains moins sensibles : on n'y observe pas de mouvements, mais des désordres pourraient y être causés par des aménagements sans précautions. Ces désordres ont peu de risque de menacer à leur tour leurs avoisinants (extension vers l'aval ou régression amont). L'application soignée des règles de l'art y constitue déjà une bonne prévention.

4.1.3 Effondrements et affaissements

Ce risque concerne les phénomènes de mouvements gravitaires dans les sols liés à la rupture d'une cavité souterraine.

Si le phénomène montre une surface de rupture bien marquée en surface (doline conique caractéristique), on parle d'*effondrement*. Si les déplacements en surface sont progressifs et répartis (formation d'une dépression aux bords arrondis), on parle d'*affaissement*.

L'effondrement intervient généralement quand la cavité rompue est proche de la surface, au contraire de l'affaissement où cette rupture est généralement tempérée par des terrains de couvertures épais.

De telles cavités se forment dans des terrains solubles comme les calcaires karstifiés, (ou dans les cargneules, dolomies ou gypses, à l'évolution beaucoup plus rapide, non observés en surface sur la zone d'étude). Elles sont dues à l'action de l'eau dans la grande majorité des cas, mais peuvent aussi être creusées par l'homme (anciennes mines par ex.).

Dans le cas de l'effondrement, les déplacements sont généralement importants (souvent métriques, parfois bien plus) et entraînent alors la ruine des constructions.

Dans le cas de l'affaissement, les déplacements peuvent être plus faibles, et parfois supportables par une construction spécialement renforcée.

L'aléa fort correspond aux secteurs touchés par des mouvements actifs (ex : dolines bien formées et/ou avec perte d'eau sur gypse). Il n'a pas été rencontré sur la zone d'étude.

L'aléa moyen concerne des terrains très sensibles (gypse subaffleurant), ou des dolines marquées mais peu actives (cas général des dolines franches en terrain calcaire).

L'aléa faible (E1) concerne des terrains sensibles : il n'y a pas de doline active en surface, mais les terrains sont néanmoins sujets à formation de cavités (plateaux karstiques lapiazés).

4.2 DESCRIPTION DÉTAILLÉE DES ALÉAS

La description des aléas ci-après fait référence à la carte d'aléas sur fond topographique 1/10 000, et à celle sur fond cadastral et orthophotographique au 1/5 000.

Si la lecture des deux cartes est discordante ou laisse voir des ambiguïtés, c'est la carte sur fond cadastral qui prévaut.

4.2.1 Glissement de terrain

On peut distinguer trois grandes familles de terrains, du point de vue de la sensibilité aux glissements de terrain :

- les recouvrements sur calcaires, au sud de Vaux, génèrent quelques instabilités très superficielles et plutôt cantonnées aux talus raides, comme ceux de la D60a,
- de façon similaire mais pas identique, les alluvions tertiaires et quaternaires au nord de Vaux génèrent des instabilités plus nombreuses, et plus marquées dans les pentes raides,
- Enfin, les marnes présentes autour de Vaux Févroux conditionnent des instabilités plus marquées et surtout plus étendues et plus profondes.

Ce sont ces dernières instabilités qui sont les plus apparentes, surtout à l'est du village de Févroux, avec plusieurs combes (Quart Balland, les Merlières, Rebuisson, Sous Plan Saule) affectées au moins de fluages diffus, et probablement de mouvements anciens, avec un aléa fort.

Ailleurs autour du village, et au nord jusque vers la chapelle de Nièvre, on trouve des pentes assez soutenues sur les marnes, avec quelques indices de fluages modérées et quelques venues d'eau, qui présentent un aléa moyen.

En rive gauche du Buizin, on retrouve les mêmes marnes en amont de Fevroux, par endroits surmontées de terrains glaciaires, de façon plus continue entre le Buizin et des terrasses vers 350m, avec un aléa en général moyen (traces de fluages modérés), ponctuellement fort au-dessus de quelques berges du Buizin.

Les matériaux pourront être repris par l'écoulement du Buizin lors des crues et transiter vers l'aval. La pente moyenne sur le tronçon étant modérée (environ 3%), les matériaux les plus gros se déposeront aux abords des glissements actifs et les matériaux les plus fins transiteront vers l'aval. Ces glissements favoriseront notamment les dépôts de graviers et sables rencontrés tout le long du Buizin à l'aval, notamment dans les zones de réduction de la vitesse (élargissement de section comme sous le pont d'Ambutrix, réduction de la pente, etc.).

Les pentes soutenues plus au nord, sur les alluvions tertiaires et quaternaires, présentent aussi un aléa moyen mais moins de traces de fluages compte tenu du caractère plus superficiel des phénomènes.

Sur ces mêmes alluvions, les pentes plus modérées peuvent présenter un aléa faible, de même que les pentes plus soutenues sur les calcaires ; on n'y observe a priori pas de phénomènes existants, sauf à l'occasion de talus surcreusés (talus de la D60a par exemple).

4.2.2 Eboulements rocheux

Les éboulements sont issus des affleurements calcaires, et dans une moindre mesure de blocs calcaires posés, et n'ont été rencontrés qu'au sud de Vaux.

Les principaux escarpements sont au sud de Févroux ; d'une façon générale, l'aléa est fort au niveau des escarpements eux-mêmes, et moyen en aval lorsque la propagation des blocs est suffisamment atténuée, ou sur des versants à blocs posés avec peu d'instabilités. Les escarpements sources sont plus continus en rive droite du Buizin qu'en rive gauche.

À proximité des enjeux, on ne trouve guère que le rocher du Châtelard au-dessus de Vaux ; les blocs au départ sont de volume faible à modéré, et la fracturation rend les volumes résultants faibles après le premier impact (<250l en ordre de grandeur). La plupart des phénomènes devraient s'arrêter au pied de l'escarpement (aléa fort) ou dans les replats sur le chemin du Châtelard ou juste à son aval, mais quelques-uns pourraient marginalement atteindre quelques bâtiments de Févroux avec des énergies faibles à modérées (aléa moyen).

Un peu plus au nord, le talus amont de la D60a peut aussi produire des pierres de volume modéré, arrêtées par la route. On retrouve un phénomène comparable de l'autre côté de Boissière, mais ni l'un ni l'autre ne menacent d'habitations.

4.3 PROTECTIONS EN PLACE

Les seules protections contre les mouvements de terrain rencontrées sur le terrain ressortent du simple respect des règles de l'art, avec essentiellement des soutènements de talus anthropiques.

5 - ETUDE ET MODÉLISATION DES ALÉAS HYDRAULIQUES

5.1 DESCRIPTION NATURALISTE DES COURS D'EAU

5.1.1 *Albarine*

Sur le secteur d'étude, l'Albarine a un style de cours d'eau à méandres, présentant une alternance de mouilles le long des berges externes du méandre, et des radiers au voisinage des points d'inflexion de la sinuosité. La largeur en pied de berge est de l'ordre de 10 m avec une hauteur de berge variable de 2.5 à 4.0 m selon les endroits. Le tracé en plan dans la traversée dans de Saint-Denis-en-Bugey est rectiligne, avec une pente moyenne inférieure à 1%. A l'arrivée dans le centre de Saint-Denis-en-Bugey, on dénombre plusieurs ouvrages de traversée dont la plupart avec des piles centrales : 3 ponts SNCF et 2 ponts routiers de la RD1075 et RD5. Le risque d'embâcles est ainsi toujours présent sur ce type de pont.

5.1.2 *Buizin*

En amont de Vaux-Bugey, le Buizin présente un profil naturel de rivière torrentielle avec des pentes généralement supérieures à 2% puis à l'arrivée dans Vaux-Févroux, la pente se réduit à moins de 2-3%. De nombreux ouvrages de traversée sont alors présents, plus d'une vingtaine, en particulier dans le centre de Vaux-en-Bugey avec la présence de quais aménagés et de nombreux ponts et passerelles d'accès aux maisons.

A l'aval de Vaux en Bugey, le Buizin a été fortement recalibré du fait de la déviation de son lit il y a plusieurs siècles pour alimenter les villages d'Ambutrix et Saint-Denis-en-Bugey avec la force motrice. Le Buizin présente alors un lit « perché » en flanc de versant, avec des berges surélevées en remblai tout le long en rive gauche et à l'aval immédiat de Vaux en rive droite. La largeur en fond est de l'ordre de 3 m et la hauteur de berge d'environ 1.5 à 2.0 m. Les berges sont très hétérogènes et construites à différentes époques, avec une alternance de remblais en terre, murs anciens en pierre, et plus récemment des murs en béton et des palplanches. De manière générale, la berge est assez végétalisée avec de nombreux arbres et arbustes, avec parfois un système racinaire mis à nu par l'érosion du courant.

Sur certains tronçons non protégés, notamment entre Ambutrix et Saint-Denis-en-Bugey, la berge en rive gauche n'apparaît pas en bon état avec des érosions latérales marquées. Même si le tracé en plan est rectiligne à ces endroits, un risque de rupture de berge est probable à moyen terme, notamment en cas de tempête pouvant déraciner des arbres et leurs racines. Historiquement, on répertorie plusieurs débordements du Buizin, dont certains potentiellement en raison d'une dégradation de berge (même s'il est difficile de retrouver avec certitudes les causes).

5.1.3 *Ruissellement de versant*

Sur la commune de Saint-Denis-en-Bugey, on constate peu de traces d'écoulements superficiels en dehors du Buizin, une grande partie de la commune ayant peu de dénivelé, avec par endroits des secteurs d'infiltration.

Sur la commune d'Ambutrix, les principaux risques pourraient provenir du lieu-dit la Combe et de la Croix Balthazar, en raison d'un talweg marqué concentrant les eaux.

Le chemin forestier menant aux captages d'eau potable peut également intercepter une partie des eaux avec un débouché en direction du village si les eaux ne sont pas suffisamment collectées.

Sur la commune de Vaux-en-Bugey, plusieurs secteurs peuvent être soumis à un ruissellement important dans des secteurs à enjeux.

- Dans la combe route de Bettant, les versants sont raides et relativement peu boisés, ce qui peut induire un ruissellement important. Plusieurs fossés et ruisseaux se concentrent aux abords du chemin de Trozier, en amont du village. Un piège à embâcles, une conduite diamètre 800 mm, un fossé en travers et des aménagements le long de la route de Bettant ont été réalisés afin de réduire le risque d'inondation.
- Au lieu-dit « les Côtes », le flanc de versant du plateau du Colou est très pentu, avec notamment des cultures de vignes favorisant un ruissellement intense et rapide en direction des habitations situées directement pied de versant.
- A Vaux Févroux, on constate un talweg débouchant chemin de Partenaux. Les traces d'écoulements venant de la forêt en amont sont faibles mais en cas de forte pluie un risque de débordement en rive gauche en direction d'une maison est possible. En effet, la section du « fossé » est très hétérogène, avec un gabarit très réduit par endroit et plusieurs ouvrages de traversés dont certains en partie obstrués.
- A Vaux Févroux, rue du Paute, un petit fossé d'environ 50 ml draine les eaux du versant boisé en direction d'une grille. En cas de forte pluie et d'embâcles, un risque de ruissellement sur la route puis sur la RD60A est possible. Il est conseillé de ne pas prolonger le fossé afin de ne pas collecter plus d'eau, les eaux allant naturellement dans le Buizin.

5.2 CONSTRUCTION DU MODÈLE HYDRAULIQUE

5.2.1 Logiciel de modélisation

L'outil de modélisation utilisé est INFOWORKS ICM, développé par la société INNOVYZE. Ce logiciel précise la transformation Pluie-Débit (définition des hydrogrammes entrant), et simule les écoulements dans le réseau hydrographique (conduite, fossés, cours d'eau...) en sommant les hydrogrammes des différents apports des sous bassins versants qu'ils soient urbains ou ruraux. Il permet de prendre en compte à la fois des écoulements de type "conduite" et de type "rivière". Pour les modélisations de type rivière avec le lit mineur en 1D, le calcul repose sur les données suivantes :

- Une représentation géométrique du lit mineur par des profils en travers et les caractéristiques des différents ouvrages hydrauliques,
- Une représentation des paramètres hydrauliques du lit mineur : coefficient de Strickler de manière à représenter les frottements, coefficient de perte de charge de manière à représenter les perturbations induites par les obstacles aux écoulements.

Dans le cas de débordements en lit majeur, les écoulements sont modélisés grâce au module 2D du logiciel. Dans ce cas, la topographie disponible est utilisée pour construire un Modèle Numérique de Terrain (MNT) sur lequel le logiciel applique la

méthode des éléments finis et les équations de Barré de Saint Venant pour calculer les hauteurs d'eau et les vitesses.

Le calcul est basé sur un écoulement liquide (charriage faible, corps flottants de petites dimensions...) sans évolution du lit. Les discontinuités d'écoulement sont intégrées dans la valeur du coefficient de Strickler. Les pertes de charge par élargissement, ressaut et chute sont prises en compte dans le calcul. Les conséquences de la présence des ponts sur l'écoulement sont également intégrées dans le calcul.

Les simulations sont menées en régime transitoire afin de bien identifier l'impact des débordements sur la pointe de débit de crue.

Rappels sur les limites d'un modèle :

Il convient de rappeler qu'un modèle est une représentation limitée de la réalité. Les résultats sont conditionnés par la quantité et la précision des données d'entrée (topographie du lit mineur, MNT, hydrologie, informations de calage, etc.).

Par ailleurs, les variations locales de la ligne d'eau ne sont pas prises en compte dans le processus de transfert de l'onde de crue (obstacles, embâcles, charriage des matériaux important, ...).

5.2.2 Source des données utilisées

Cours d'eau :

- Topographie terrestre de l'Albarine et du Buizin, HYDRETUDES, 11/2020
- Topographie terrestre de l'Albarine - compléments, HYDROTOPO, 2016
- Topographie terrestre du Buizin, SCS Plantier (étude CIDEE), 2006
- Topographie terrestre récolement Giratoire RD1075 x 1084 - R400A, Brunet TP, 02/2020 (uniquement test car fichier peu utilisable)

Lit majeur :

- RGE Alti, grilles 1 m (collectée en janvier 2021)
- RGE Alti, grilles 5 m en dehors de la grille 1 m (uniquement 2 grilles sur la partie aval du modèle vers l'A42 sur l'Albarine)

5.2.3 Conditions aux limites

En amont des modèles, nous prendrons l'hypothèse d'une hauteur normale, compte tenu du régime fluvial sur ces tronçons (nombre de Froude inférieur à 1).

A l'aval du modèle de l'Albarine, nous prendrons l'hypothèse d'une hauteur normale, ce qui apparaît adapté au vu de l'homogénéité de la pente et de section du cours d'eau. Afin de réduire au maximum l'impact de la condition aval sur la ligne d'eau au niveau de la zone d'étude, le modèle a été prolongé sur environ 1.3 km, avec la prise en compte du pont de l'autoroute A42 et de sa perte de charge.

A l'aval du modèle du Buizin, nous prendrons un niveau décennal de l'Albarine, (160 m³/s à la station hydrométrique, soit un niveau calculé par le modèle de 242.78 mNGF). Cependant, ce niveau a peu d'influence sur les résultats du Buizin à ciel

ouvert, le dernier tronçon étant souterrain sur une longueur importante et suffisamment pentée.

5.2.4 Injection des débits

Les hydrogrammes des crues mentionnées dans l'analyse hydrologique sont injectés.

Dans le modèle hydraulique de l'Albarine, un débit d'environ 5 m³/s est ajouté progressivement depuis la station hydrométrique jusqu'au pont de l'autoroute A42 (ajout d'un débit proportionnel à l'augmentation de la surface de bassin versant).

Dans le modèle du Buizin, les débits ont été calculés pour 4 sous bassins versants. Ces débits ont été injectés de manière répartie après un sous découpage de ces bassins en 3 à 4 surfaces.

5.2.5 Caractéristiques du modèle hydraulique

Albarine :

- Linéaire : ~6 km
- Profil en travers : 42, soit 1 profil / 150 m

Buizin :

- Linéaire : ~5.1 km
- Profil en travers : 178, soit 1 profil / 30 m

5.3 CALAGE DU MODÈLE

5.3.1 Pré-calage

Un des paramètres hydrauliques principal de calage des cours d'eau est la rugosité, à travers le coefficient de Manning-Strickler. La capacité d'un tronçon hydraulique augmente linéairement avec ce coefficient. Pour le pré-calage du modèle, nous avons adopté les valeurs utilisées traditionnellement dans la littérature :

- Fond du lit : $K_s=20$ à 30
- Berges végétalisées : $K_s=10$ à 15 ,
- Lit majeur naturel (forêt, champs) : $K_s=10$ à 30 ,
- Lit majeur aménagé (route, goudronnage ...) : $K_s=25$ à 50 .

5.3.2 Calage selon les évènements passés

5.3.2.1 Albarine - calage sur la crue de février 1990 :

Les profils en long suivants présentent les résultats du calage du modèle hydraulique.

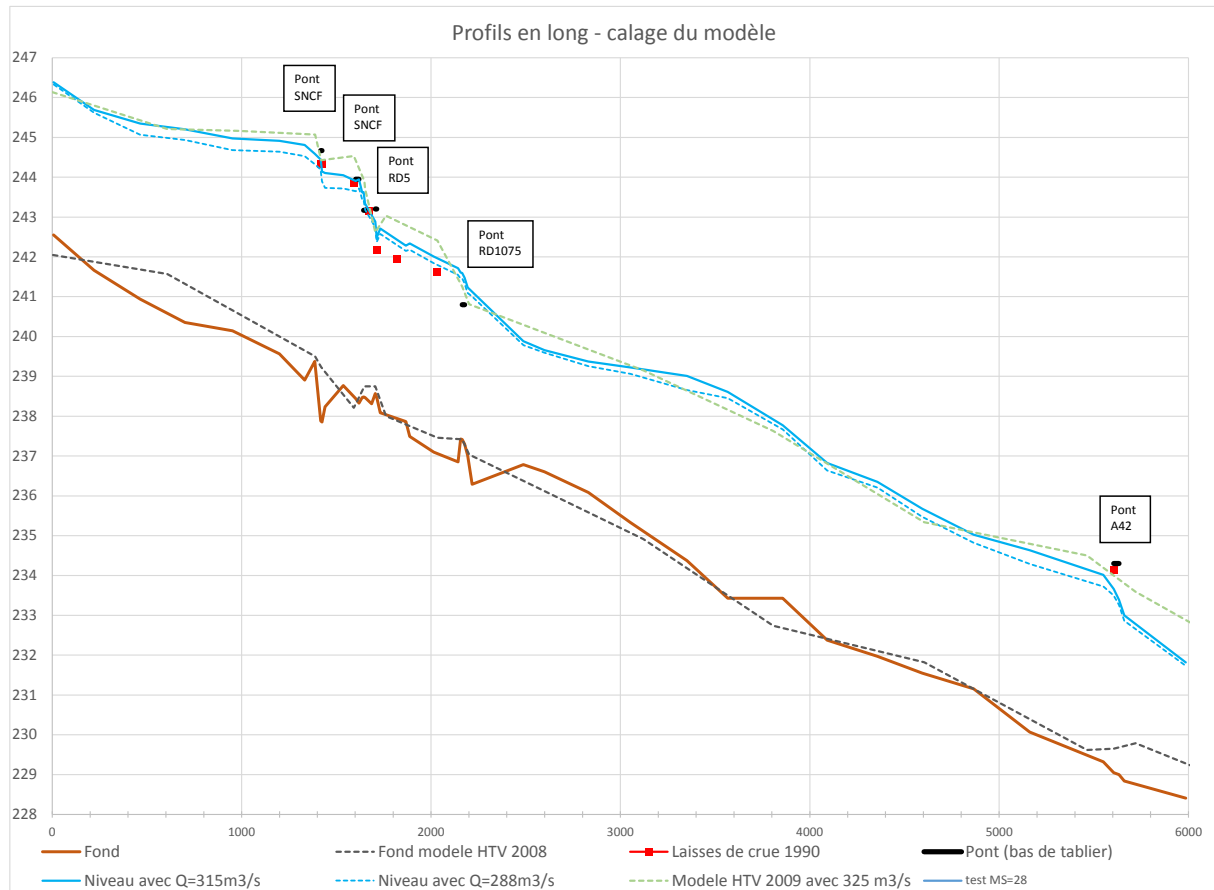


Figure 11 : Résultats du calage du modèle hydraulique de l'Albarine

Le modèle apparaît bien calé en amont du pont de la RD5 (rue du Docteur Charcot).

Entre les ponts de la RD5 et de la RD1075, le modèle apparaît plus élevé de 10 à 40 cm. Cela est également le cas sur le modèle HTV de 2009, modèle calé sur la crue de 1990.

Au niveau du pont de l'A42, le modèle donne un niveau plus bas d'environ 50 à 60 cm que la laisse de crue mais le fond est d'autant plus bas sur la topographie actuelle comparée à celle avant 2008.

Par ailleurs, les potentielles différences de niveau peuvent s'expliquer notamment par :

- L'évolution du fond de l'Albarine depuis 1990
- La modification de rugosité en lit majeur (modification de l'occupation du sol) et lit mineur (évolution de la végétation sur les berges)
- La réalisation de travaux sur l'Albarine dans la traversée d'Ambérieu-en-Bugey
- Les modifications d'ouvrages de transparence de remblais routiers en lit majeur
- La quantité d'embâcles au droit des ponts, notamment SNCF
- La précision des laisses de crue

La crue de février 1990 est estimée de nos jours par la Banque Hydro à 315 m³/s et à 288 m³/s dans l'étude SILENE de 1993. A titre indicatif, cette incertitude sur le débit occasionne une différence moyenne d'environ 20 cm dans le modèle hydraulique. Ainsi avec ce débit plus faible, le modèle se rapprocherait des laisses de crue sur le tronçon entre les ponts entre la RD5 et RD1075 (modèle 2021 présentant des niveaux de +10 à +40 cm).

5.3.2.2 Buizin :

Au moment de la construction du modèle hydraulique, nous ne disposons pas de données suffisantes pour permettre un calage pour une crue spécifique. Nous avons pris des valeurs proches de la littérature avec des coefficients de rugosité suivants :

- Lit mineur entièrement artificiel (murs, enrochements, palplanches sur berge – tracé en S du fait du clavetage entre elles - avec fond naturel) : 30 à 35
- Lit partiellement artificialisé : 26 à 30
- Lit mineur naturel : 20 à 28 selon la densité de la végétation

Avec ces valeurs, le modèle hydraulique montre des débordements pour des débits liquides (hors embâcles) de l'ordre du débit décennal, ce qui correspondrait aux quelques débordements observés ces dernières décennies avant 2021, notamment dans la partie chenalisée à l'aval de Vaux-en-Bugey.

Les quais du Buizin à Vaux-en-Bugey ont été inondés par le passé, ce qui est confirmé par le modèle hydraulique, même si les quais ont été réaménagés depuis.

A l'aval de Vaux-en-Bugey, l'ancien lit en direction de Lagnieu avait été conservé avant le 19^{ème} siècle. A cette époque, lorsque le Buizin était en crue, la ville de Lagnieu était régulièrement inondée comme pendant l'hiver 1680 ou le 14 janvier 1789 où les eaux s'élevèrent jusqu'à 'un mètre dans la Grande-Rue, la rue du Four et la rue des Pénitents.

Un canal au « Pré de l'Eau » a été ouvert en 1782 pour permettre l'irrigation des champs. Lorsqu'il a été comblé au début du 20^{ème} siècle, une pétition avait été signée par des propriétaires d'Ambutrix car il réduisait les inondations, le bief du Buizin étant insuffisant en crue.

Le modèle hydraulique confirme les débordements le long de l'ancien lit en direction de Lagnieu et également dans la plaine de l'ancien canal du « Pré de l'eau ». Les volumes débordés sont variables et dépendant notamment de la durée de la pluie.



Figure 12 : Panneau du sentier du Buizin

Sur la commune d'Ambutrix, des débordements sont modélisés au niveau de l'ouvrage du centre du village, ce qui avait été reporté dans les années 1940, même si l'ouvrage cadre a été élargi depuis.

Nous ne disposons pas d'informations suffisamment précises et récentes sur des crues de grande ampleur. Ainsi, il est possible que des champs aient été inondés dans le passé, ce qui n'a pas été relevé à l'époque et depuis ceux-ci ont été urbanisés.

Par ailleurs, nous avons réalisé deux tests de sensibilité afin d'évaluer l'impact de la variation du débit centennal sur les emprises inondables.

- Pour un débit de l'ordre de 10 m³/s, les zones de débordements restent sensiblement identiques, notamment dans la partie à l'aval de Vaux-en-Bugey, dont la capacité n'excède pas 5 à 10 m³/s. Les volumes débordés sont en revanche plus faibles, ce qui réduit les zones d'accumulation d'eau dans la plaine. Les simulations de rupture de berge seront relativement similaires car la hauteur de mise en charge est sensiblement la même, la capacité maximale étant atteinte avant 10 m³/s. Les simulations d'accumulation d'embâcles réduisant fortement la section pourront occasionner des débordements y compris pour ce débit plus faible.
- Pour un débit de l'ordre de 19 m³/s, les zones inondables sont également sensiblement identiques mais avec des volumes débordés plus importants.

5.4 RÉSULTATS DES MODÉLISATIONS POUR LA CRUE DE RÉFÉRENCE

5.4.1 Résultats sur l'Albarine

De l'amont vers l'aval sur la commune de Saint-Denis-en-Bugey, on constate :

- Des débordements dans des champs en amont du premier pont SNCF,
- Des débordements en rive gauche entre les 2 remblais SNCF, sans impacter un lotissement avec un niveau du plancher surélevé,
- Des débordements en rive gauche entre les 2 ponts de la RD5 (rue du Docteur Charcot) et la RD1075, impactant de nombreuses habitations,
- Des débordements dans les champs à l'aval de la RD1075.

5.4.2 Résultats sur le Buizin

De l'amont vers l'aval sur la commune de Vaux-en-Bugey, on constate des débordements :

- à Vaux Févroux, le long du lit mineur et impactant plusieurs habitations,
- le long des quais du centre de Vaux
- à l'aval du village, dans la partie aménagée, la pente se réduisant.

De l'amont vers l'aval sur la commune d'Ambutrix, on constate des débordements :

- dans la partie naturelle située entre la route RD40B et le centre du village,
- au niveau du pont du centre du village, en rive gauche, comme relevé historiquement.

De l'amont vers l'aval sur la commune de Saint-Denis-en-Bugey, on constate des débordements :

- dans la partie naturelle à l'aval d'Ambutrix
- quelques débordements localisés dans la partie urbanisée

Note sur le canal allant au « Terres Guillet » à Saint-Denis-en-Bugey :

Le canal qui traverse le centre-ville et qui se jette dans les pertes du Buizin au niveau des « Terres Guillet » a un débit limité par le débit transitant dans l'ancien bief du moulin au niveau de la dérivation du Buizin dans l'ovoïde. Pour la crue centennale et dans la configuration actuelle avec la vanne, le débit dans ce bief est de l'ordre de 0.50 m³/s. A cela, s'ajouteront les apports pluviaux de la zone urbanisée et le drainage des terrains. Des débordements d'ampleur modérée restent envisageables selon la concomitance de la réaction du réseau pluvial avec le Buizin, notamment au niveau de certains ouvrages de traversée (capacité de l'ordre de 0.50 à 1.0 m³/s).

Afin d'appréhender les emprises possibles en cas de débordement, une modélisation entièrement en 2D a été réalisée sur le MNT (grille à pas d'espace 1 m). Il faut cependant garder en mémoire que les débits débordés étant faibles, les débordements restent conditionnés par la microtopographie locale (merlons, levées de terre, murs, haies, trottoirs, etc.) qui ne sont pas ou peu prises en compte dans le MNT.

5.4.3 Modélisations avec transparence des ouvrages de protection

Les ouvrages de protection ont vocation à réduire l'exposition des personnes et des biens contre les événements naturels dont les intensités sont inférieures ou égales à l'événement pour lequel ils ont été dimensionnés.

De manière générale, les terrains protégés par des ouvrages de protection seront considérés comme vulnérables aux aléas. On ne peut en effet avoir de garantie absolue sur leur efficacité, ni préjuger de leur bonne gestion et de leur tenue dans la durée.

En ce qui concerne les inondations, les principes sont définis dans plusieurs circulaires interministérielles et ministérielles, notamment dans la circulaire interministérielle du 30 avril 2002 relative à la politique de l'État en matière de risques naturels prévisibles et de gestion des espaces situés derrière les digues de protection contre les inondations et les submersions marines et la circulaire ministérielle du 27 juillet 2011 relative à la prise en compte du risque de submersion marine dans les plans de prévention des risques naturels littoraux.

Le PPRN devra ainsi afficher la cartographie des aléas en l'absence des ouvrages de protection.

Dans le cas du Buizin, une modélisation sans berge aurait peu de sens car le ruisseau est perché sur la partie aval, avec un terrain descendant en rive gauche. De fait, nous prendrons comme hypothèse une hauteur de berge de l'ordre de 20 à 30 cm depuis le fond (notamment pour la stabilité du modèle).

5.4.4 Modélisation avec rupture de berges

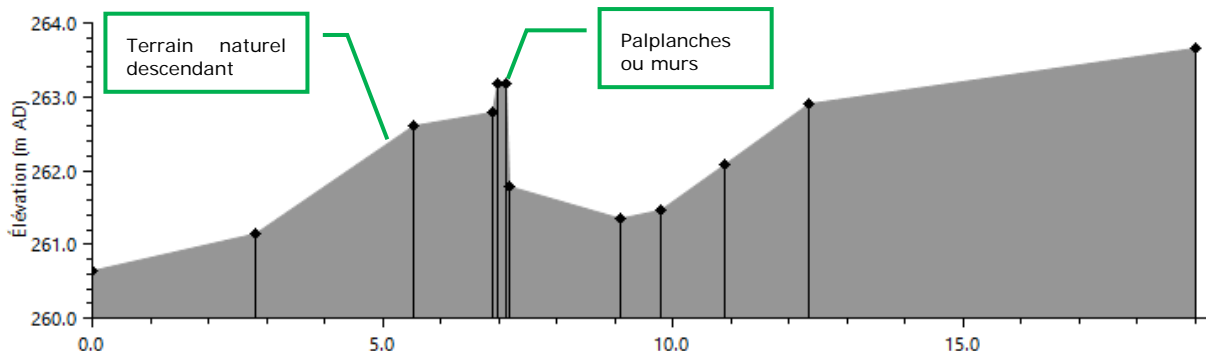
L'étude d'aléa doit intégrer la défaillance des ouvrages par surverse ou brèche. La cartographie des aléas montrera l'inondabilité des terrains « protégés » ainsi que les effets aggravants à proximité de l'ouvrage (surverse, hauteur d'eau...) engendrant un sur-aléa.

Avis sur le risque de rupture par tronçon homogène :

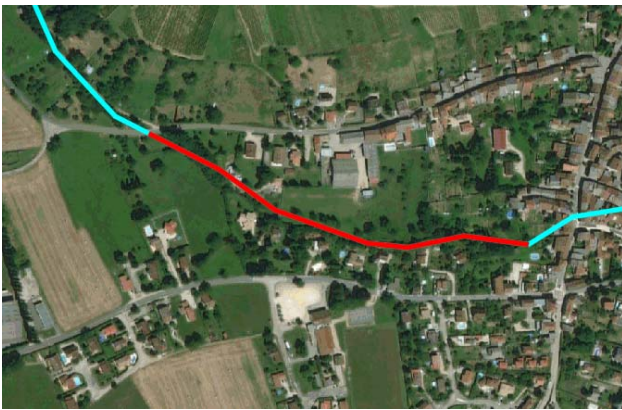
Une étude géotechnique a été réalisée dans l'étude hydraulique du Buizin de 2011.

« Les investigations géotechniques réalisées au droit des profils précédemment identifiés ont démontré, au regard du contexte géologique et hydrogéologique, une forte instabilité potentielle des berges "naturelles" en rive gauche du canal du Buizin, notamment en période de hautes eaux (lame d'eau considérée de 1,4 m correspondant à une forte crue). Même si l'instabilité des berges n'est pas visible, les surfaces de rupture mises en évidence montrent une rupture complète de la digue sous l'effet de la pression d'eau, laissant supposer une ruine complète et totale de l'ouvrage. La rupture est engendrée par un phénomène de glissement des terrains. Les matériaux composant la digue sont entraînés, induisant la ruine complète de l'ouvrage. De plus, les observations réalisées sur le cours d'eau montrent des zones d'érosion non négligeables au sein de l'ouvrage, aggravant les risques de circulation d'eau au sein de celui-ci, et par là-même les risques de rupture. Compte tenu de cette conclusion, une rupture de digue apparaît être un risque non négligeable à prendre en compte. »

Nous donnerons ci-après un avis par tronçon homogène à partir de l'analyse du terrain. Le Buizin étant « perché » à l'aval de Vaux-en-Bugey, avec un terrain continuellement descendant, il est difficile d'estimer la hauteur de l'ouvrage par rapport au terrain naturel. Nous prendrons de manière simplifiée la hauteur de berge depuis le fond du lit.



Tronçon naturel entre le pont RD60A et RD40B



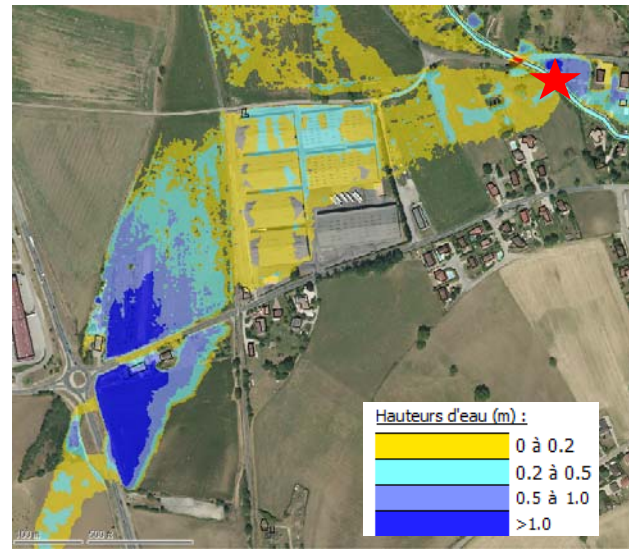
Berge rive gauche végétalisée

Les 2 berges sont aménagées **principalement** à l'approche de la RD40B avec une berge végétalisée et une hauteur de berge variable de 1.00 à 1.50 m. Le risque de rupture, notamment par surverse est probable, compte tenu de la capacité limitée de la section à **l'approche de la RD40B**. Le reste du tronçon présente quelques murs localisés au droit des maisons et un terrain naturel descendant de part et d'autre du cours d'eau.

Cette simulation permet de visualiser l'impact d'une rupture dans un tronçon sollicité au niveau des contraintes hydrauliques. Historiquement, un canal existait à cet endroit et collectait une partie des écoulements débordés.



Etat initial



Rupture B111

Tronçon naturel entre le pont de la RD40B et le centre d'Ambutrix



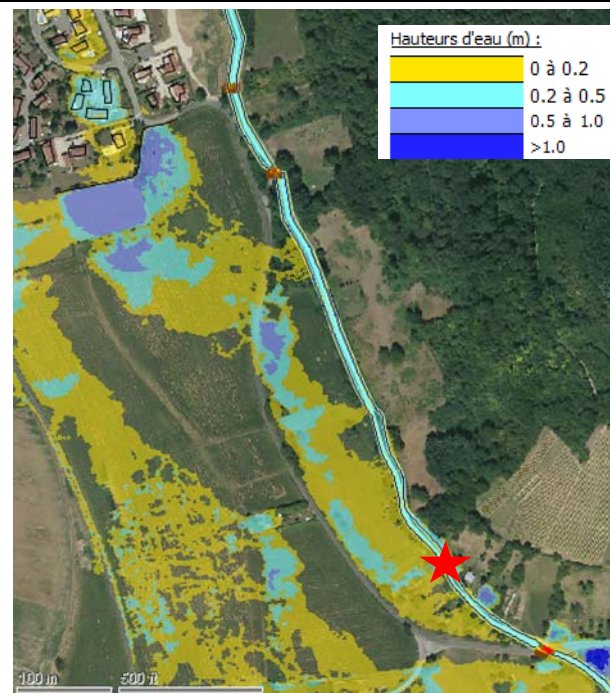
Berge rive gauche non protégée et érodée

Le Buizin devient « perché » sur le versant et seule la rive gauche est surélevée. La hauteur de berge est variable de 1.0 à 1.60 m. Plusieurs érosions du remblai sont visibles, laissant peu de volume de remblai par endroit. Un risque de rupture par érosion externe ou surverse est donc probable. Des ruptures de berge sur ce tronçon sont déjà survenues dans le passé, avec des débordements en direction du centre d'Ambutrix. Un merlon en lit majeur a ainsi été réalisé pour dévier les écoulements. De plus, la berge étant végétalisée et les arbres érodés en pied, la combinaison d'une crue avec du vent pourrait faire déchausser des arbres et ouvrir une brèche dans la berge.

La simulation de rupture B119 permet de visualiser la direction des écoulements débordés, en direction des zones urbanisées d'Ambutrix et du merlon de protection situé en amont immédiat. D'autres simulations ont été menées plus proche du merlon et montrent les mêmes directions d'écoulement.

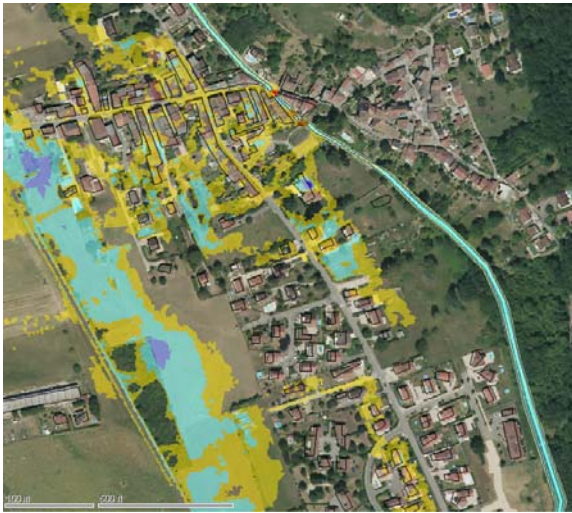


Etat initial Q100

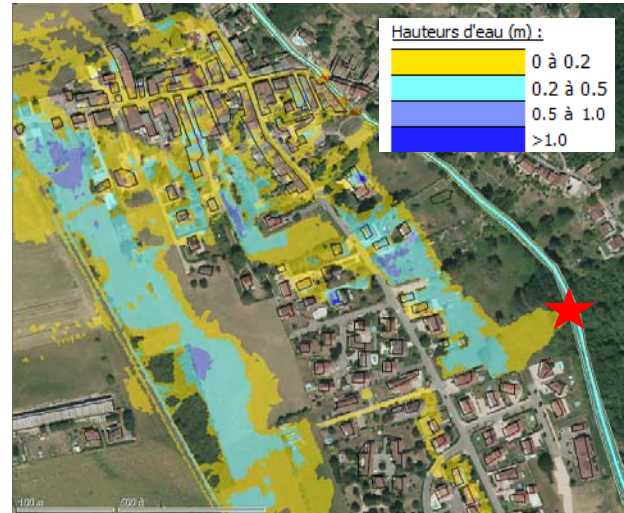


Rupture B119

La simulation de rupture B134 permet de visualiser l'impact d'une rupture sur un tronçon naturel actuellement dégradé, donc un risque de rupture probable en crue.

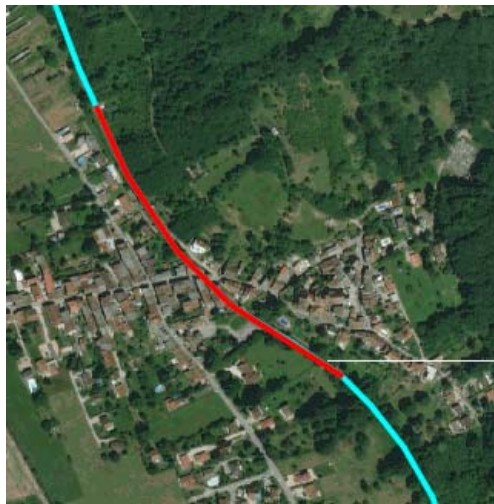


Etat initial Q100



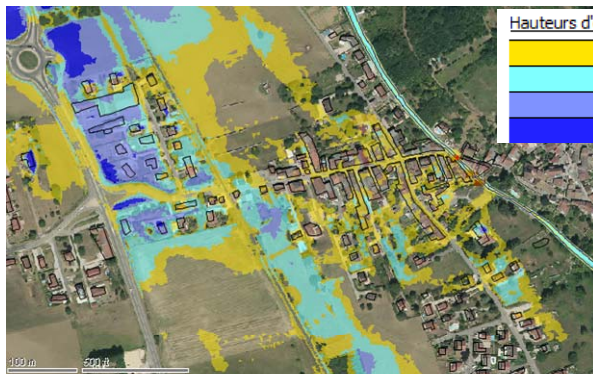
Rupture B134

Centre d'Ambutrix, avec berge protégée

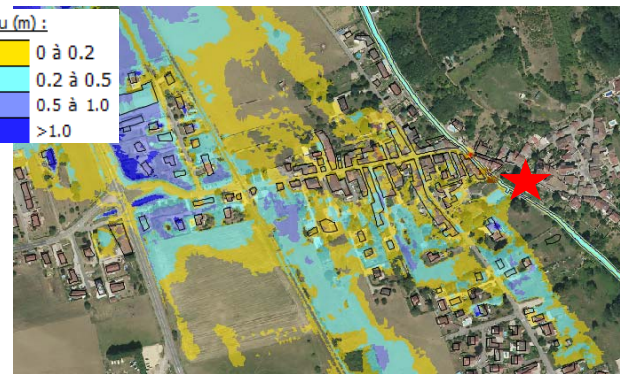


Berge protégée par des palplanches ou murs

La hauteur de berge en rive gauche est variable de 1.4 à 2.00 m. Le risque de rupture apparait moins probable, compte tenu de la protection des berges qui devrait assurer une résistance à l'érosion externe. En cas de surverse, il faudrait une érosion importante pour déstabiliser le mur et éroder l'ensemble du remblai.

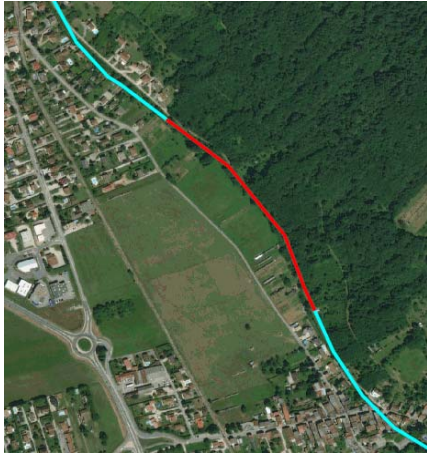


Etat initial Q100



Rupture B141

Tronçon « naturel » à l'aval d'Ambutrix

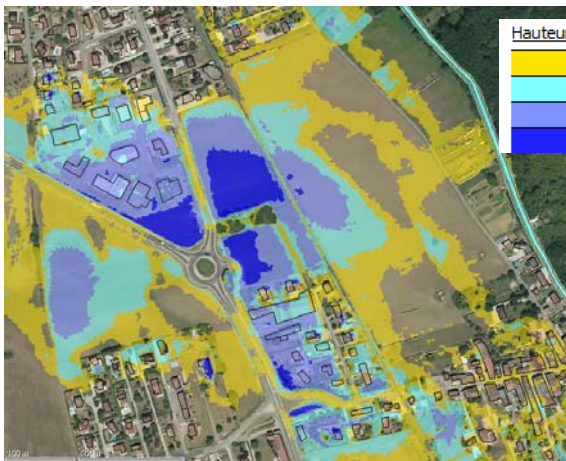


Berge rive gauche érodée, laissant apparaître un ancien mur

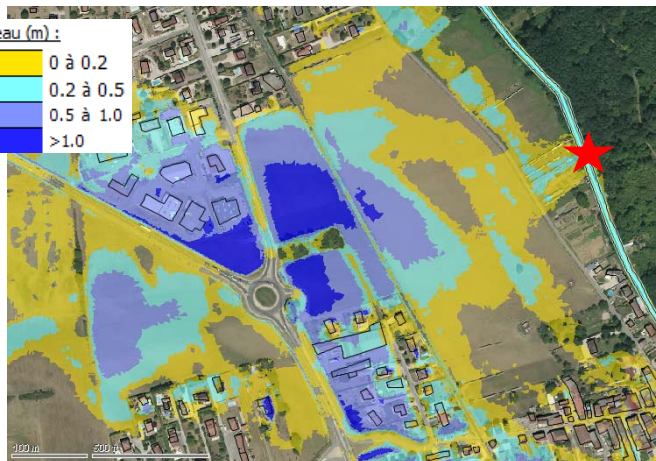
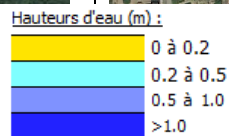
La hauteur de berge en rive gauche est variable de 1.7 à 2.0 m. La largeur en crête est faible : inférieure à 0.50 m.

Plusieurs érosions du remblai sont visibles, laissant apparaître par endroit un ancien mur en pierres maçonnées. Un risque de rupture par érosion externe ou surverse est probable, compte tenu de la faible largeur de remblai et de l'ancien mur de résistance inconnue et probablement altérée au fur et à mesure des années. Des débordements potentiellement liés à des ruptures de l'ouvrage sont déjà survenus dans le passé.

La simulation de rupture B158 permet de visualiser le sens des écoulements qui impactent d'abord des champs puis des zones urbanisées.



Etat initial Q100



Rupture B158

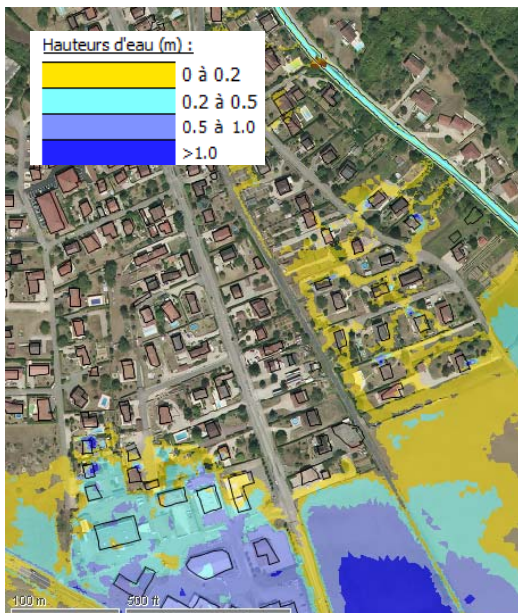
Tronçon artificiel dans St-Denis-en-Bugey



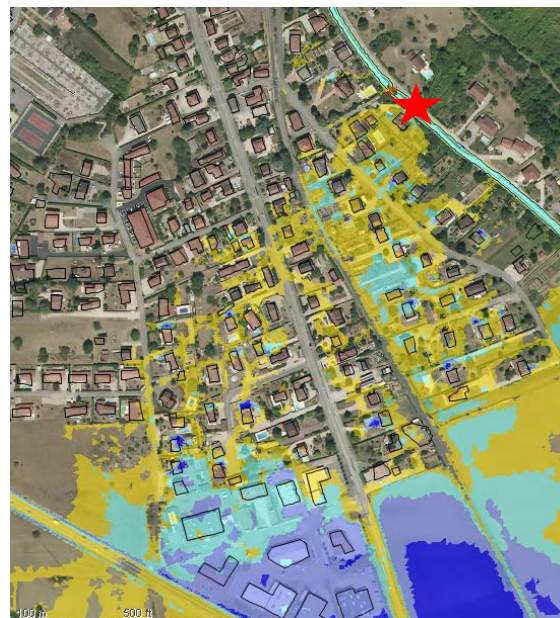
Berge protégée par des palplanches ou murs

La hauteur de berge en rive gauche est variable de 1.5 à 2.0 m. Le risque de rupture apparaît moins probable, compte tenu de la protection des berges qui devrait assurer une résistance à l'érosion externe. En cas de surverse, il faudrait une érosion importante coté val pour déstabiliser le mur.

La simulation de rupture B169 permet de visualiser la direction des écoulements en direction des zones urbanisées situées au Sud-Ouest (les écoulements ne partent pas en direction du Nord et du centre de Saint-Denis-en-Bugey).

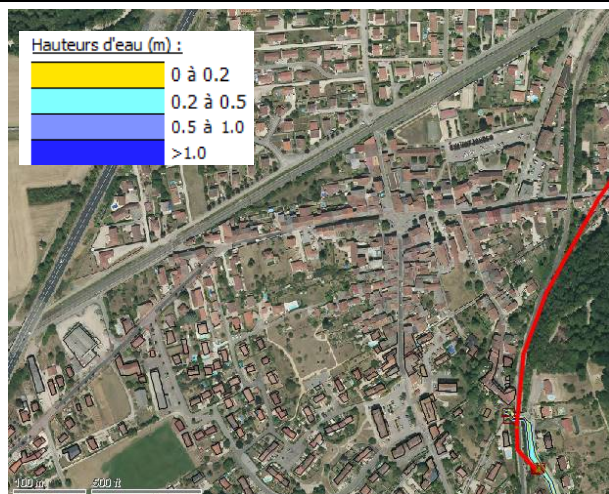


Etat initial Q100



Rupture B169

La simulation de rupture B175 permet de visualiser une direction des écoulements en direction du Nord et du centre de Saint-Denis-en-Bugey. Les écoulements passent alors entre les talus de la voie ferrée puis inonde le centre ville.



Etat initial Q100



Rupture B175

Caractéristiques des ruptures de berges modélisées :

Pour les ruptures des ouvrages, nous proposons d'étudier un type de rupture progressive, scénario proche d'un comportement réel (berge en matériaux terreux).

Le développement d'une brèche dans un ouvrage longitudinal se fait généralement en deux phases :

- Une première phase de développement géométrique associée directement à la géométrie de l'ouvrage
- Une seconde phase de développement géométrique associée à la dynamique du cours d'eau et sa morphologie

Pour le calcul, nous utiliserons les hypothèses suivantes :

- Forme de la brèche : par retour d'expérience pour les remblais compactés, il est communément admis que la brèche prend généralement une forme trapézoïdale avec une pente des bords de la brèche de 1V/1H.
- Hauteur de la brèche : nous retiendrons une formation du haut de l'ouvrage jusqu'au terrain naturel +10 à 20 cm (pour stabilité du modèle).
- Début de formation : pic de crue, cas le plus défavorable
- Première phase de développement de la brèche : nous prendrons la moyenne des formules couramment utilisées pour estimer le temps de formation des brèches et leur largeur finale pour des remblais :

Source	Largeur de la brèche à la base (m)	Temps de formation (h)
US Bureau of Reclamation	3*Hauteur de mise en charge	0.011*Largeur brèche
Office Fédéral des Eaux et de la Géologie (Suisse). R.W. Müller, (2003)	2*Hauteur de mise en charge	-

o Seconde phase de développement de la brèche :

La seconde phase traduit le développement longitudinal d'une brèche. Les orientations permettant de définir la forme définitive et le temps de développement d'une brèche sont issues de la littérature et de la mise en pratique d'analyses similaires que nous avons pu faire au cours d'autres missions :

- la pente des talus de la brèche est assimilée constante, soit une pente de 1 m/m,
- la largeur finale de la brèche (avec développement linéaire vers l'aval) est celle du lit mineur,
- le temps de développement de la brèche dans la seconde phase est de l'ordre de 1 m/min.

- o Cas particulier des protections de berges (mur, palplanches) : nous considérerons une rupture d'un pan de mur de l'ordre de 4 m de largeur, quasi instantanée (<1 minute), suivie d'une érosion plus lente du remblai en terre coté val.

Le récapitulatif est le suivant :

<i>Localisation brèche</i>	<i>Hauteur digue (m)</i>	<i>H mise en charge retenue * (m)</i>	<i>Largeur phase 1 (m)</i>	<i>Tps formation phase 1 (minutes)</i>	<i>Largeur finale phase 2 (m)</i>	<i>Tps formation phase 2 (minutes)</i>	<i>Tps formation TOTAL (minutes)</i>
Tronçon naturel entre pont RD60A et RD40B	entre 0 et 1.40 m	1	2.5	2.0	6	3.5	5.5
Tronçon naturel entre le pont RD40B et Ambutrix	entre 1 et 1.60 m	1 1.5	2.5 3.8	2.0 3.0	5 5	2.5 1.3	4.5 4.2
Centre Ambutrix avec protection	entre 1.2 et 1.90 m	1.2	4.0	2.4	4	0.0	2.4
Tronçon naturel aval Ambutrix	entre 1.7 et 2.00 m	1.8	4.5	3.6	5	0.5	4.1
Centre Vaux avec protection	entre 1.5 et 2.00 m	1.8	4	3.6	4	0.0	3.6

** H = hauteur de mise en charge retenue



Figure 13 : Localisation des scénarios de ruptures de berge sur le Buizin

5.4.5 Modélisation avec embâcles

5.4.5.1 Embâcles sur l'Albarine

Le modèle hydraulique a été calé sur la crue de février 1990, dans laquelle des embâcles se sont accumulés au droit des ponts SNCF. De fait, la prise en compte des embâcles pour un évènement de type centennal a déjà été intégrée dans le modèle de l'état actuel lors de la phase de calage. Cette situation avec embâcles apparait en effet très probable lors d'un évènement centennal ou supérieur, en raison des zones boisées situées en amont et de la présence de piles sur ces ponts SNCF.

Par ailleurs, une modélisation avec une accumulation d'embâcles réduisant la section de 30% supplémentaire au droit du premier pont SNCF montre une augmentation du niveau d'eau en amont, dans des zones naturelles. L'emprise des zones inondables restent sensiblement identique à l'aval de ce pont SNCF, en particulier dans les zones à enjeux.

Une modélisation avec une accumulation d'embâcles réduisant la section de 30% supplémentaire au droit du deuxième pont SNCF induit des débordements dans le centre de Saint-Denis-en-Bugey, avec des écoulements passant rue de la Liberté puis rue de la République et du Docteur Charcot. Cependant, cette situation apparait moins probable car le premier pont SNCF situé 200 m en amont a également 2 piles et une

section passante légèrement inférieure, ce qui bloquera prioritairement les embâcles. Une accumulation d'embâcles comme la situation de février 1990 à laquelle s'ajoute 30% de réduction supplémentaire apparaît peu probable pour ce deuxième pont.

5.4.5.2 *Embâcles sur le Buizin*

Des embâcles sur le Buizin ont déjà été recensés dans le passé au niveau de certains ouvrages, comme celui du centre d'Ambutrix (ouvrage élargi depuis). Le Buizin a une ripisylve relativement dense par endroit et un bassin majoritairement boisé (supérieur à 80%).

Nous avons ainsi modélisé une obstruction de 50% de la section, localisée sur différents ouvrages favorables à l'accumulation d'embâcles et pouvant avoir un impact sensible sur les zones inondables.

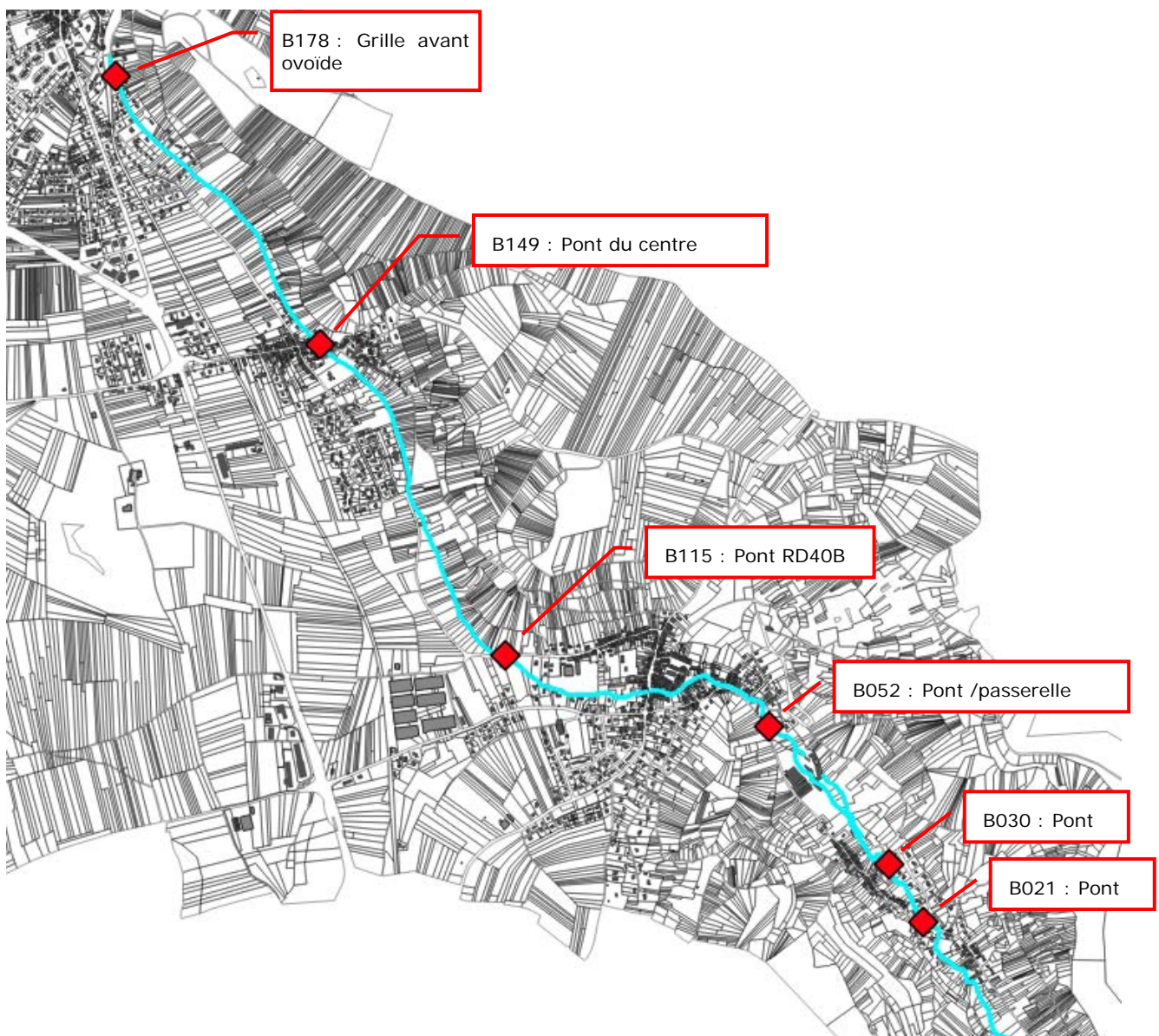
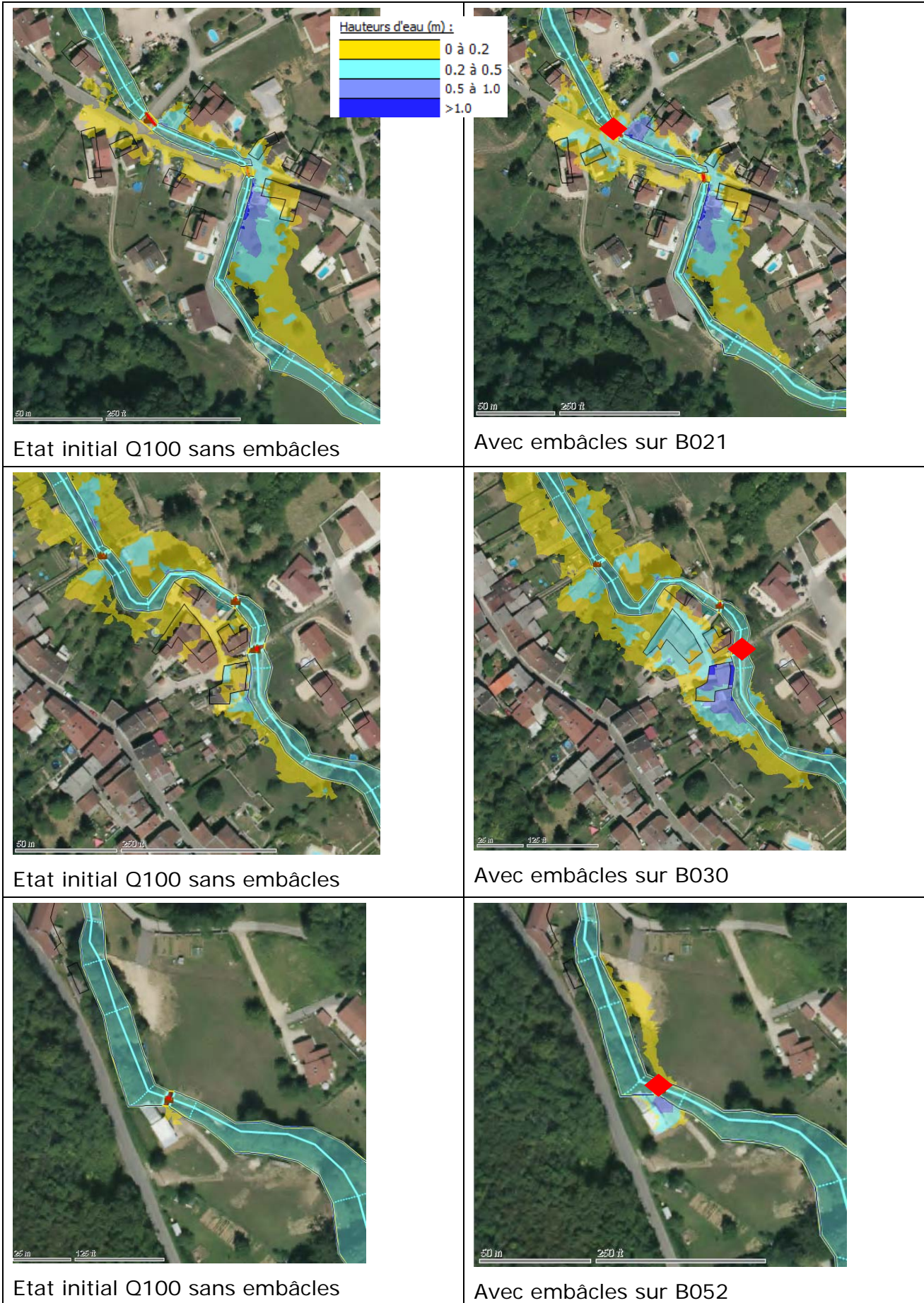
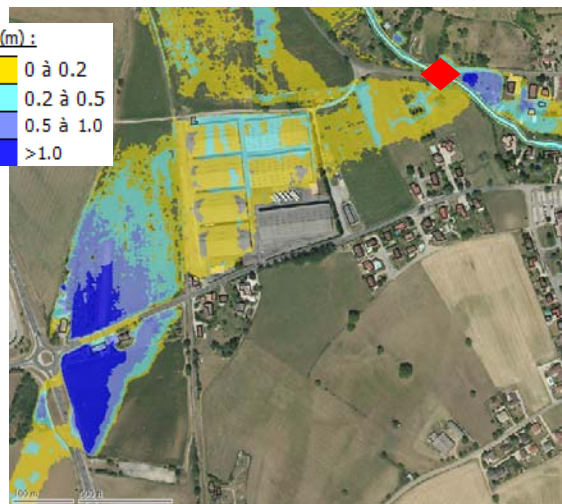
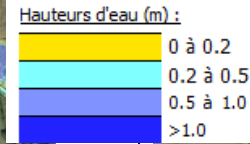
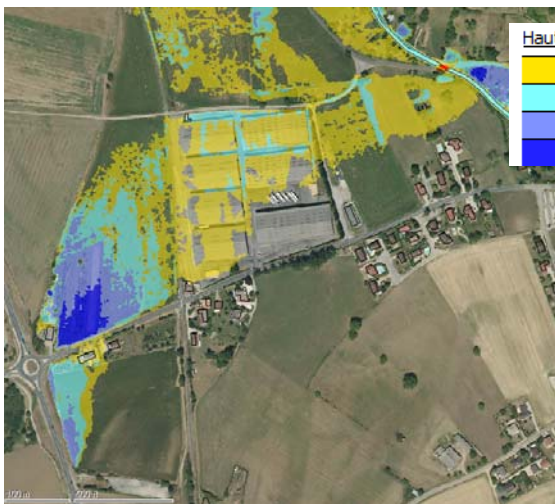


Figure 14 : Localisation des scénarios avec embâcles sur le Buizin

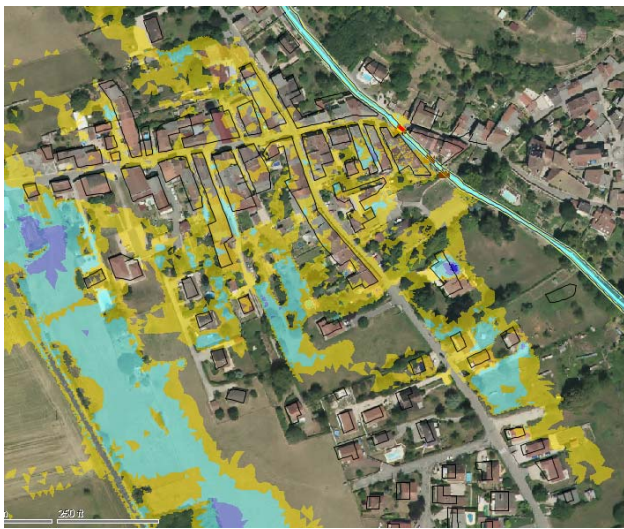
Ci-après une comparaison des hauteurs d'eau atteinte en lit majeur pour chaque cas de modélisation avec embâcles (extraction directe du modèle sans post-traitement cartographique) :



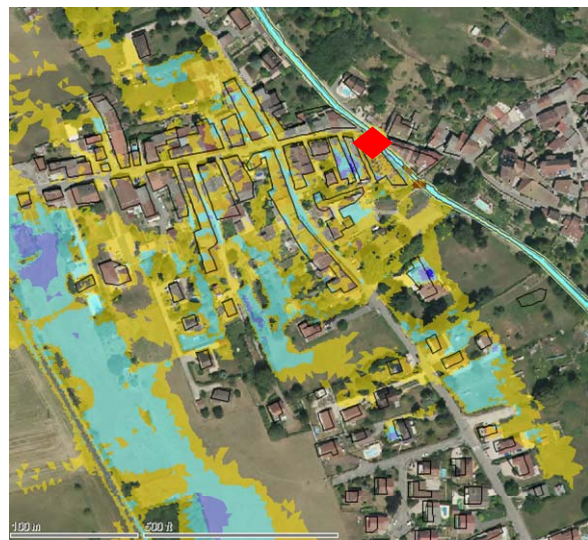


Etat initial Q100 sans embâcles

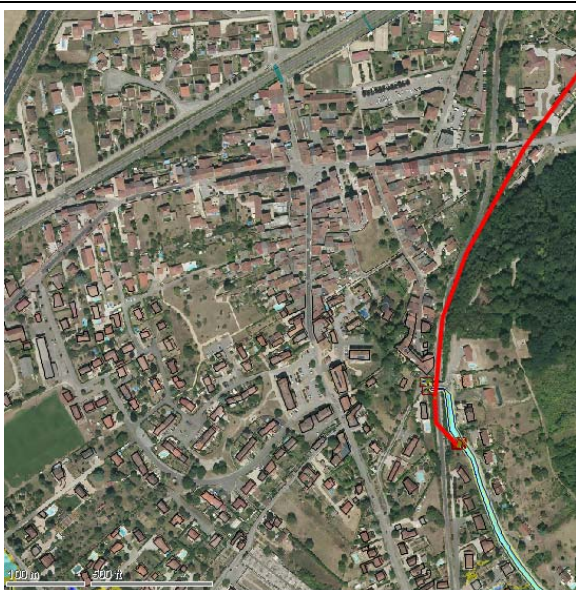
Avec embâcles sur B115



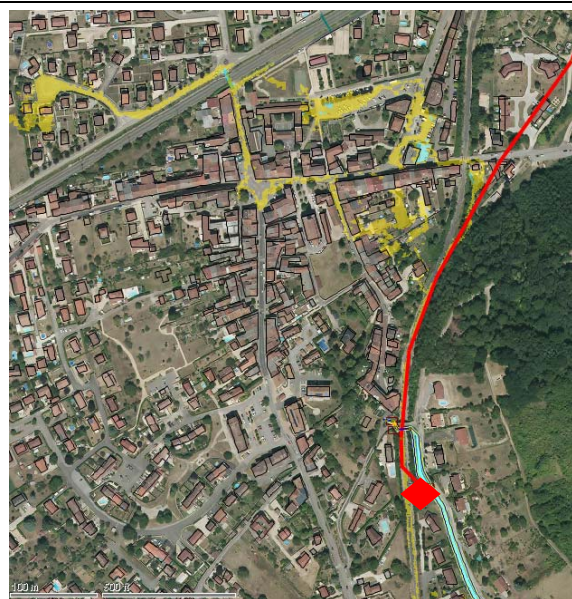
Etat initial Q100 sans embâcles



Avec embâcles sur B149



Etat initial Q100 sans embâcles



Avec embâcles sur B178

5.4.6 Note sur le transport solide

5.4.6.1 Transport solide sur l'Albarine

En amont de Saint-Denis-en-Bugey, l'Albarine présente un profil en méandres avec une alternance de mouilles et de radiers, avec des structures alluvionnaires non végétalisées et mobiles. Lors des crues, ces éléments pourraient se retrouver mobilisés.

Plusieurs éléments conduisent à conserver un modèle hydraulique avec un fond issu de la topographie actualisée en 2020 :

- Le tracé en plan de l'Albarine dans la traversée du centre de Saint-Denis-en-Bugey est rectiligne favorisant un transit des matériaux sur ce secteur. Des dépôts pourraient être constatés à l'aval du pont de la RD1075, notamment en fin de crue.
- Les fonds relevés en 1993 et 2008 ont peu évolué dans le centre et à l'aval de Saint-Denis-en-Bugey, par rapport à la topographie de 2020.
- En crue centennale, les débordements apparaissent généralisés dans la plaine alluviale amont favorisant les dépôts en lit majeur. Les crues morphogènes avec un lit en plein bord auraient un temps de retour moindre.
- Le modèle « Etat actuel » a été calé sur la ligne d'eau de la crue de février 1990, qui intègre le transport solide et les embâcles via la phase de calage.

5.4.6.2 Transport solide sur le Buizin

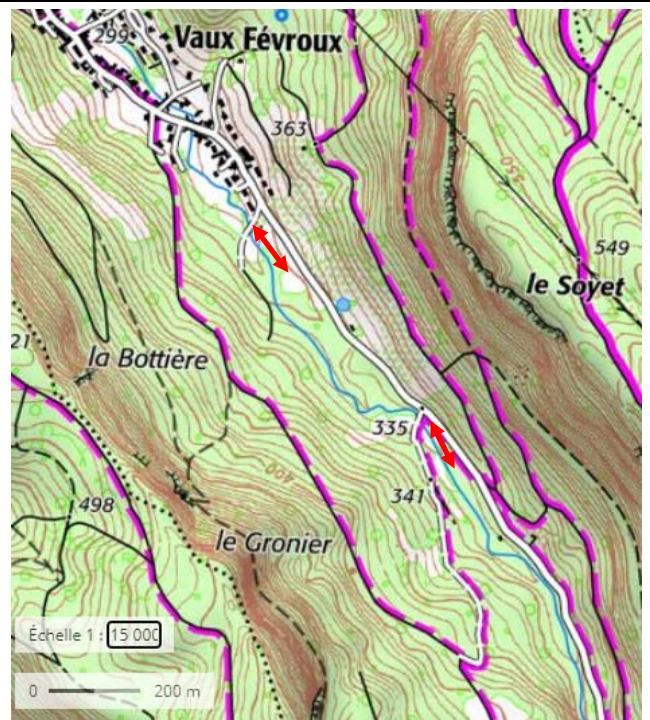
Selon les communes rencontrées, il n'y a pas ou peu de transport d'éléments grossiers (blocs, pierres, graviers) dans les zones urbanisées lors des crues.

Des éléments fins sont déposés ponctuellement, comme sous le pont principal d'Ambutrix, dont la section élargie favorise les dépôts, notamment en fin de crue.

L'apport en matériaux solides reste limité par la faible quantité des zones de fourniture de matériaux sur l'ensemble du bassin versant (exception faite de la tête de bassin, mais dont la production est piégée et régulée en amont de la zone de d'étude). En effet, les apports liés aux zones de glissement, érosions de berge et affluents (principalement ruissellement pluvial diffus) restent modérés.

En amont de Vaux-Févroux, la pente du Buizin est relativement homogène, de l'ordre de 3%. Les glissements de terrain et les érosions de berges repérés plus en amont auront tendance à fournir des matériaux, dont une grande partie, notamment les plus gros éléments comme les blocs, pierres et graviers, se déposera dans les deux zones naturelles d'inflexion de pente.

La première zone est située à une altitude proche de 332 m et la seconde à une altitude de 313 m, avec une pente inférieure ou égale à 1% sur environ 50 m (selon la donnée LIDAR).



Au niveau de Vaux Févroux, la pente est relativement faible : environ 2.5%, ce qui limite le transit des matériaux les plus grossiers.

Dans la traversée aménagée de Vaux-en-Bugey, la rugosité moindre et les vitesses plus élevées favoriseront le transit des éléments solides.

A l'aval de Vaux-en-Bugey, le Buizin a été dévié selon une pente faible, inférieure à 1%, ce qui limite le transport solide aux éléments les plus fins (sables et limons). Les éléments plus gros pourraient alors se déposer dans le secteur naturel aménagé.

D'une manière générale, le transport solide dans les zones urbanisées reste relativement faible et essentiellement composé d'éléments fins, qui se déposeront en fin de crue. L'impact sur l'hydraulique et les débordements au cours d'une seule crue reste donc faible.

Les crues de mai et juin 2021 ont laissé des dépôts visibles en plusieurs secteurs à l'aval de Vaux et de la D40b, du fait de la forte réduction de pente et de la chenalisation. Un entretien du fond du lit pourrait être ponctuellement réalisé afin de lui redonner le gabarit d'avant les crues.

5.5 ETABLISSEMENT DES ALÉAS DE COURS D'EAU, RUISSELLEMENT ET REMONTÉE DE NAPPE

5.5.1 Débordement des cours d'eau

La carte de l'aléa par débordement de cours d'eau est un document cartographique résultant du croisement des différents paramètres hydrauliques qui constitue l'aléa d'inondation pour la crue de référence. Le Décret n° 2019-715 du 5 juillet 2019 et arrêté du 5 juillet 2019 redéfinissent l'aléa dans les PPRi avec des classes selon les hauteurs d'eau atteintes et la dynamique de l'écoulement (lente à rapide).

La crue de référence est la plus forte crue historiquement connue ou au minimum la crue centennale théorique.

Nous adopterons la proposition de classement proposée par la DDT01 au moment de cette étude :

Vitesse de montée des eaux	Vitesse d'écoulement		
	$V < 0,2 \text{ m/s}$	$0,2 < V < 0,5 \text{ m/s}$	$V > 0,5 \text{ m/s}$
Lente (Saône)	Dynamique lente	Dynamique moyenne	Dynamique rapide
Moyenne (cours d'eau de plaine)	Dynamique lente	Dynamique moyenne	Dynamique rapide
Rapide (BV avec réaction rapide)	Dynamique moyenne	Dynamique rapide	Dynamique rapide

5.5.1.1 Albarine :

Pour l'Albarine, les temps de montée des crues peuvent être rapides à modérés : de l'ordre de 15 à 30 heures. Les vitesses en lit majeur dans la traversée urbanisée de Saint-Denis-en-Bugey (amont RD1075) sont globalement comprises entre 0.2 et 0.5 m/s.

La dynamique se rapproche d'une dynamique moyenne.

La grille utilisée est alors la suivante :

Hauteur d'eau	Dynamique moyenne
< 0.2 m	Aléa Faible (I1)
0.2 à 0.5 m	Aléa Modéré (I2)
0.5 à 1 m	Aléa Modéré (I2)
1 à 2 m	Aléa Fort (I3)
> 2m	Aléa Très fort (I4)

5.5.1.2 Buizin :

Pour le Buizin, le temps de montée des crues est rapide : de l'ordre de 2 à 3 h. Les vitesses en lit majeur sur la partie amont sont relativement rapides entre 0.2 et 1.0 m/s, notamment à proximité du lit mineur. Sur la partie aval, le Buizin étant perché, les vitesses sont rapides sur le versant puis deviennent plus faibles dans la plaine.

De plus, la plupart des débordements sont issus de ruptures de berges et ont donc une dynamique rapide bien marquée.

D'une manière globale, la dynamique se rapproche d'une dynamique rapide, et l'aléa est qualifié de torrentiel (T) plutôt que d'inondation (I) en amont du pont de la D40b et de la ligne de chemin de fer sur Vaux (y compris la diffluence vers Lagnieu), et au niveau du lit mineur et des ruptures de berges sur l'ensemble du périmètre.

Pour la zone à l'aval de Vaux située entre le Buizin et la RD1075, et donc proche du cours d'eau, les temps de montées des eaux, en crue centennale ou dans le cas des ruptures de berge, sont rapides avec des pics de hauteurs d'eau possibles 1 heure après le pic de la pluie.

Les vitesses sont globalement comprises entre 0.2 et 0.5 m/s.

La **dynamique** est clairement **rapide** sur cette zone.

La grille utilisée pour la partie en inondation, à l'aval de la RD40b mais en amont (est) de l'axe D1075/rue Pasteur, est alors la suivante :

Hauteur d'eau	Dynamique rapide
< 0.2 m	Aléa Modéré (I2)
0.2 à 0.5 m	Aléa Fort (I3)
0.5 à 1 m	Aléa Fort (I3)
1 à 2 m	Aléa Très fort (I4)
> 2m	Aléa Très fort (I4)

Pour la zone située à l'**Ouest (aval) de l'axe RD1075 / rue Pasteur**, les temps de montée des eaux commencent à minima environ 3 heures après le pic de la crue et s'étalonnent dans le temps jusqu'à plus de 15 heures. Les vitesses varient surtout entre 0 et 0.2 m/s sur les zones « plates » sans contraction de l'écoulement (écoulements qui s'étendent dans la plaine), ce qui plaide pour un classement en **dynamique moyenne** de cette zone.

Pour le canal de l'ancien moulin traversant le centre et allant au lieu-dit « Terres Guillet », la dynamique est également moyenne : le lit mineur est classé en aléa fort avec des hauteurs d'eau comprises entre 0.5 et 1 m et le lit majeur en modéré avec des hauteurs d'eau inférieures à 0.20 m et des vitesses inférieures à 0.20 m/s.

La grille d'aléa est alors la suivante :

Hauteur d'eau	Dynamique moyenne
< 0.2 m	Aléa Faible (I1)
0.2 à 0.5 m	Aléa Modéré (I2)
0.5 à 1 m	Aléa Modéré (I2)
1 à 2 m	Aléa Fort (I3)
> 2m	Aléa Très fort (I4)

La grille utilisée pour la partie à l'amont de la RD40b, en torrentiel, prend en compte la vitesse d'écoulement au point considéré :

Vitesse Hauteur d'eau	$v < 0,2 \text{ m/s}$	$0,2 < v < 0,5$	$0,5 < v < 1$	$v > 1 \text{ m/s}$
$H < 0,5 \text{ m}$	Faible (T1)	Moyen (T2)	Fort (T3)	Très fort (T4)
$0,5 \text{ m} < H < 1 \text{ m}$	Moyen (T2)	Moyen (T2)	Fort (T3)	Très fort (T4)
$1 \text{ m} < H < 2 \text{ m}$	Fort (T3)	Fort (T3)	Fort (T3)	Très fort (T4)
$H > 2 \text{ m}$	Très fort (T4)	Très fort (T4)	Très fort (T4)	Très fort (T4)

A noter que le lit mineur, étant en permanence en eau, est par convention en aléa **très fort T4**.

Dans le cas des ruptures de digue, le décret n° 2019-715 du 5 juillet 2019 relatif aux plans de prévention des risques concernant les « aléas débordement de cours d'eau et submersion marine » précise la largeur de la bande de précaution en fonction de la hauteur du système d'endiguement. Dans la mesure où la dynamique du Buizin à ce niveau est plus proche du torrentiel que de l'inondation en raison des vitesses élevées d'une part, et que l'ouvrage n'est pas à proprement parler une digue mais plutôt une berge surélevée et remblayée, ces informations ne sont qu'indicatives et ne s'appliquent pas directement.

Dans le cas du Buizin, la hauteur de mise en charge de la berge est difficile à définir car le terrain en rive gauche est continuellement descendant : il s'agit d'un lit « perché » et non d'un système d'endiguement. On se basera donc sur les hauteurs et vitesses déterminées par les modèles d'écoulement lors des ruptures de berge, plutôt que sur des largeurs forfaitaires déterminées à partir de la hauteur de mise en charge.

Le modèle montre qu'en cas de rupture les hauteurs d'eau en aval de la berge sont inférieures à 0.50 m car le terrain est pentu. D'une manière générale, les vitesses sont de l'ordre de :

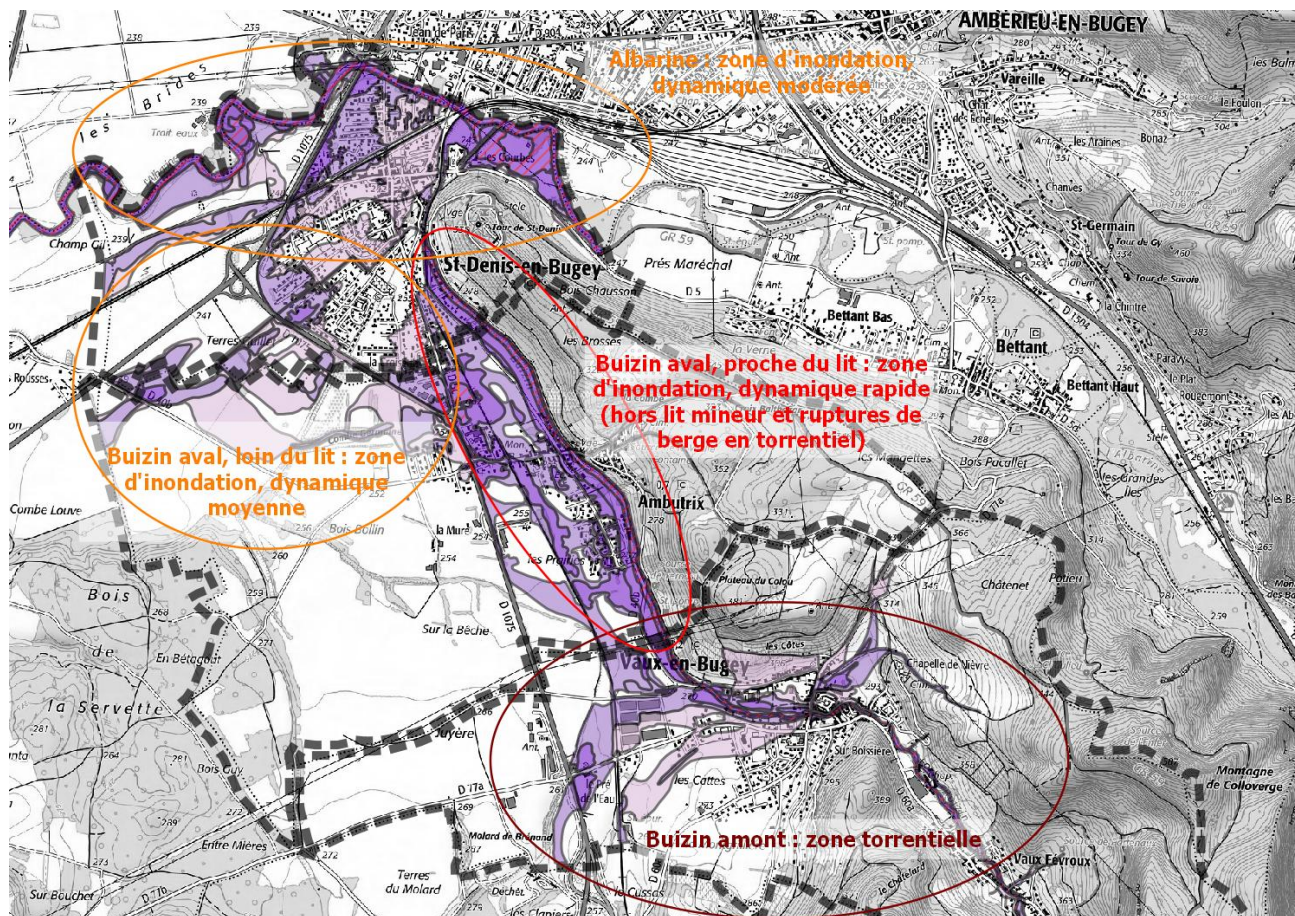
- Entre 0 et 5 m : supérieures à 2 m/s
- Entre 5 et 20-30 m : entre 1 et 2 m/s
- Entre 20-30 m et 100 m environ : entre 0.5 et 1 m/s, dépendant de la pente du terrain naturel (on se reportera au zonage d'aléas).

La grille d'aléa torrentiel définie précédemment se base sur des classes de vitesses avec un palier haut à 0.50 m/s et ne tient pas compte des vitesses très élevées.

L'aléa de rupture de berge a été calé sur la topographie et les résultats du modèle hydraulique en fonction des éléments suivants :

En se basant sur un croisement hauteur/vitesse, l'aléa pourra être caractérisé comme **très fort (T4) entre 0 et 30 m environ (premier talus plus raide directement sous la berge), fort (T3) entre 30 et 100 m environ (pente moins raide**

intermédiaire) et modéré ou faible au-delà (champ d'inondation classique, passage à une dynamique d'inondation).



Les zones d'application de ces différentes typologies d'aléa sont précisées dans la carte ci-dessus.

5.5.2 Ruissellement de versant

Pour le ruissellement de versant, la méthode a consisté à croiser les différentes sources suivantes :

- Informations historiques données par la mairie : présence de zones avec fort ruissellement, ravinement constaté, désordres chez les riverains, transports de matériaux, mise en eau des talwegs, etc.
- Analyse de terrain par un hydraulicien : analyse de la topographie sur le site, des traces d'érosions et ruissellement,
- Modèle hydraulique de ruissellement en 2D : à partir d'une pluie centennale et d'un modèle hydrologique par coefficient de ruissellement constant (cf. valeurs dans l'hydrologie), le modèle hydraulique propage et calcule les hauteurs d'eau et les vitesses atteintes en tout point de la zone 2D. Dans cette étude, le modèle numérique de terrain à pas d'espace 1 m ne permet pas une modélisation précise des fossés et des lits mineurs de cours d'eau ; on retiendra que le modèle indiquera les principaux axes de ruissellement et des ordres de grandeurs de l'aléa.
- Ainsi, dans le cas de la combe de Bettet, l'ouvrage DN800 et le piège à embâcles réalisés sont considérés comme transparents, ce qui correspond à un cas avec obstruction totale de l'ouvrage (cas probable pour une pluie centennale, notamment avec la configuration du ruisseau végétalisé en amont).

Compte tenu de la rapidité de réaction du ruissellement de versant et les pentes relativement fortes, les vitesses sont souvent supérieures à 0.20 m/s.

La dynamique se rapproche d'une dynamique rapide. L'aléa est individualisé en ruissellement de versant (V) pour le distinguer des inondations.

La grille utilisée est la suivante, similaire au torrentiel :

Vitesse Hauteur d'eau	$v < 0,2 \text{ m/s}$	$0,2 < v < 0,5$	$0,5 < v < 1$	$v > 1 \text{ m/s}$
$H < 0,5 \text{ m}$	Faible (V1)	Moyen (V2)	Fort (V3)	Très fort (V4)
$0,5 \text{ m} < H < 1 \text{ m}$	Moyen (V2)	Moyen (V2)	Fort (V3)	Très fort (V4)
$1 \text{ m} < H < 2 \text{ m}$	Fort (V3)	Fort (V3)	Fort (V3)	Très fort (V4)
$H > 2 \text{ m}$	Très fort (V4)	Très fort (V4)	Très fort (V4)	Très fort (V4)

5.5.3 Remontées de nappe

Pour les remontées de nappe, nous reprendrons le zonage issu du précédent PPRi, qui se base sur les analyses de la crue de février 1990, complété et adapté par une analyse topographique sommaire.

Ces aléas complètent ceux d'inondations dans le centre de Saint-Denis, ils restent faibles (I1).

6 - BIBLIOGRAPHIE

Archives Départementales de l'Ain :

Cadastres napoléoniens (1825-1828)

Ambutrix :

www.archives.ain.fr/archives/archives/fonds/FRAD001_CADASTRE_NAPO/view:38962

St Denis :

www.archives.ain.fr/archives/archives/fonds/FRAD001_CADASTRE_NAPO/view:191773

Vaux : www.archives.ain.fr/archives/archives/fonds/FRAD001_CADASTRE_NAPO/view:356404

BRGM :

Carte géologique de la France au 1/50 000, Feuille Ambérieu
1988

CIDEE :

Étude hydraulique pour aménagements sur le Buizin
Pour le compte du SR3A, 2006

Louis CHARPY :

Sous le charme de Vaux-en-Bugey
Édité par le foyer rural de Vaux-en-Bugey, 1990

IGN :

Fonds cartographiques *Scan25* (carte topo 1/25.000 agrandissable) et *BDOrtho* (vue aérienne orthorectifiée)

Préfecture de l'Ain :

Plan de Prévention des Risques de l'Albarine et de ses affluents
BET Silene et HTV, Avril 2009

SILENE

Étude générale d'aménagement et de gestion de l'Albarine,
SIAA, 1993

SILENE

Étude hydraulique de l'Ain
PPRI, DDE 01, 1999

SILENE et HTV :

Étude hydraulique de l'Albarine
PPRI, DDT 01, 2009

Suez Consulting :

*Étude hydraulique et cartographie de l'aléa inondation de
l'Ain entre le barrage d'Allement et le Rhône*
Avril 2018