



# COMMUNE D'AYZAC-OST

## Annexe 2 au rapport de présentation du Plan de Prévention des Risques

1 SEP. 2019





# Commune d'Ayzac-Ost

## DETERMINATION DES ALEAS RELATIFS A L'ÉCOULEMENT DE LAVES TORRENTIELLES ET DE CRUES TORRENTIELLES AVEC CHARRIAGE

EVALUATION HYDROLOGIQUE COMPLÉMENTAIRE  
MODELISATION DES SCENARIOS HYDRAULIQUES AVEC  
CHARRIAGE ET DE LAVES TORRENTIELLES  
CARTE DES ALEAS

### RAPPORT TECHNIQUE

SION, LE 07.06.2018



iDEALP sa  
Rue de Pré-Fleuri 10, CH - 1950 Sion  
[www.idealp.ch](http://www.idealp.ch) [info@idealp.ch](mailto:info@idealp.ch)  
Tél. +41 27 321 15 73  
Fax +41 27 321 15 76

Ingénierie pour le Développement en Environnement ALPin

## TABLE DES MATIERES

<b>1</b>	<b>CADRE DU MANDAT</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>DONNEES A DISPOSITION</b> .....	<b>4</b>
	2.1 ETUDES ANTERIEURES .....	4
	2.2 DONNEES GEOMETRIQUES .....	5
<b>3</b>	<b>PARCOURS DE TERRAIN ET PREMIERES EVALUATIONS</b> .....	<b>6</b>
	3.1 VISION LOCALE ET RELEVES GRANULOMETRIQUES .....	6
	3.2 EVALUATIONS DE CAPACITES .....	21
	3.2.1 <i>Le pont de la route départementale</i> .....	21
	3.2.2 <i>Le pont qui mène au lotissement</i> .....	22
	3.2.3 <i>Le tronçon aval</i> .....	22
	3.2.4 <i>Bilan</i> .....	22
<b>4</b>	<b>EVALUATION HYDROLOGIQUE COMPLEMENTAIRE</b> .....	<b>23</b>
	4.1 DEMARCHE .....	23
	4.2 METHODE DU GRADEX ESTHETIQUE .....	23
	4.3 MODELISATION BIDIMENSIONNELLE AVEC TOPOFLOW 2D-HYDROLOGIE .....	24
	4.3.1 <i>Présentation du modèle</i> .....	24
	4.3.2 <i>Intensité de pluie</i> .....	24
	4.3.3 <i>Résultats de modélisation hydrologique bidimensionnelle <math>Q_{100}</math></i> .....	25
	4.4 SYNTHESE .....	28
	4.5 HYDROGRAMMES RETENUS POUR LA MODELISATION .....	28
<b>5</b>	<b>SCENARIOS RETENUS</b> .....	<b>29</b>
	5.1 SCENARIOS HYDRAULIQUES AVEC CHARRIAGE .....	29
	5.1.1 <i>Hydrogrammes</i> .....	29
	5.1.2 <i>Apports solides</i> .....	29
	5.2 LAVES TORRENTIELLES .....	29
	5.2.1 <i>Volumes</i> .....	29
	5.2.2 <i>Paramètres rhéologiques</i> .....	29
<b>6</b>	<b>METHODES POUR L'ETABLISSEMENT DES ALEAS</b> .....	<b>30</b>
	6.1 PRINCIPES DU PPR .....	30
	6.2 METHODE PROPOSEE DANS LE CADRE DU BERGONS .....	30
	6.3 CALCULS HYDRAULIQUES AVEC CHARRIAGE .....	30
	6.3.1 <i>Description du modèle</i> .....	30
	6.3.2 <i>Hypothèses</i> .....	31
	6.4 CALCULS DE LAVES TORRENTIELLES .....	31
	6.4.1 <i>Description du modèle</i> .....	31
	6.4.2 <i>Hypothèses</i> .....	32
	6.5 EVALUATION DES INTENSITES .....	32
	6.6 DETERMINATION DES NIVEAUX DE DANGER ET CARTES RESULTANTES .....	32

<b>7</b>	<b>RESULTATS DES MODELISATIONS</b>	<b>33</b>
7.1	REMARQUE PRELIMINAIRE	33
7.2	SCENARIO Q <sub>100</sub> AVEC DEBIT DE POINTE DE 100 M <sup>3</sup> /S	33
7.2.1	<i>Résultats hydraulique avec charriage</i>	33
7.2.2	<i>Carte d'intensité d'inondation</i>	35
7.3	SCENARIO Q <sub>100</sub> AVEC DEBIT DE POINTE DE 80 M <sup>3</sup> /S	36
7.4	SCENARIO Q <sub>100</sub> AVEC DEBIT DE POINTE DE 80 M <sup>3</sup> /S – OBSTRUCTION DU PONT DE LA RD921	37
7.4.1	<i>Résultats hydraulique avec charriage</i>	37
7.4.2	<i>Carte d'intensité d'inondation</i>	39
7.5	SCENARIO Q <sub>100</sub> AVEC DEBIT DE POINTE DE 110 M <sup>3</sup> /S – OBSTRUCTION DU PONT DE LA RD921	40
7.5.1	<i>Résultats hydraulique avec charriage</i>	40
7.5.2	<i>Carte d'intensité d'inondation</i>	42
7.6	SCENARIO DE LAVE TORRENTIELLE	43
7.7	CARTE D'INTENSITE D'INONDATION RESULTANTE	44
7.8	CARTE DES ALEAS	44
<b>8</b>	<b>CONCLUSION</b>	<b>46</b>
<b>9</b>	<b>REFERENCES</b>	<b>47</b>
<b>10</b>	<b>ANNEXES</b>	<b>48</b>

## 1 CADRE DU MANDAT

Dans le cadre de l'établissement d'un PPR, la DDT 65 des Hautes-Pyrénées souhaite réaliser une modélisation mathématique des écoulements du Bergons sur la commune d'Ayzac-Ost. Le bureau iDEALP a été mandaté pour la réalisation de cette modélisation, dont l'objectif principal est de déterminer les aléas relatifs à l'écoulement des laves torrentielles et de crues torrentielles avec charriage.

La présente étude comporte les étapes suivantes :

- Analyse de l'étude existante, de type hydrogéomorphologique
- Évaluation hydrologique complémentaire
- Analyse de terrain pour déterminer la granulométrie des matériaux charriés et les volumes potentiels de laves
- Détermination des scénarios et modélisations des laves torrentielles et des crues torrentielles
- Traitement SIG des résultats et restitution d'une carte des aléas

Le présent rapport synthétise les hypothèses, scénarios et résultats des modélisations hydrauliques avec charriage et de laves torrentielles, ainsi que la carte d'aléas qui en résulte.

## 2 DONNEES A DISPOSITION

### 2.1 Etudes antérieures

Les deux principales études réalisées correspondent aux références bibliographiques [2] et [3]. L'objectif global de ces études était de définir les aléas liés aux inondations torrentielles. Le but n'est pas d'analyser en détails ces études, mais de mettre en évidence les éléments qui sont à l'origine des différences entre les cartes d'aléas produites.

L'étude d'Hydrétudes [3] présente une évaluation hydrologique puis hydraulique avec une estimation du charriage et des dépôts. Finalement, une carte d'inondation est proposée ainsi que des mesures de protection. Globalement cette étude conclut à un aléa fort de part et d'autre du Bergons à l'aval de la RD, puis l'intensité diminue latéralement. L'étude prend en considération le charriage et les dépôts dans le Bergons, ce qui est effectivement indispensable, mais la répartition des dépôts paraît arbitraire. Les intensités sont justifiées zone par zone, mais il est très difficile de comprendre la relation entre les débits débordés mentionnés et les caractéristiques de l'écoulement, car aucune précision n'est donnée.

L'étude CACG [2] reprend les éléments d'Hydrétudes en adaptant l'hydrologie, puis propose une carte d'aléas, déterminée sur la base d'une approche qualitative de type hydrogéomorphologique. Comme l'étude [3], elle conclut à un aléa fort dans le lotissement. Il est difficile de comprendre le raisonnement fait. Citons en particulier l'évaluation des hauteurs calculées à partir d'un débit de  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ , qui aboutit à une hauteur de 55 à 80 cm (cf. chapitre 5.1.1.5.5 Définition de l'aléa en aval de la RD 921 b).

Dans les deux études, aucune obstruction des ponts n'est indiquée.

## 2.2 Données géométriques

Des levés topographiques par survol Lidar ont été mis à disposition par la DDT de Hautes-Pyrénées.

Pour les modélisations des scénarios hydrauliques avec charriage, les données topographiques, fournies sous forme de fichiers asc, ont permis de constituer un modèle numérique de terrain MNT, à pas de 1 mètre, afin de représenter précisément la zone étudiée. La carte de l'**annexe 1** illustre le relief du secteur d'étude, issu du traitement des données Lidar. On observe une large bande de données de meilleure qualité, puis des secteurs moins précis, notamment le tronçon du Bergons situé de la confluence avec l'Ouzous jusqu'au sommet du cône. En l'absence de données plus précises sur ce secteur, ces données ont été utilisées.

Pour les modélisations complémentaires de l'hydrologie, des données topographiques à pas de 25 mètres, fournies sous forme de shapes, ont été mises à disposition pour l'ensemble du bassin versant du Bergons. Les cartes topographiques correspondantes (SCAN 25) ont également été mises à disposition. Un shape des bâtiments a également été transmis, ce qui a permis de les intégrer au modèle numérique de calcul.

### 3 PARCOURS DE TERRAIN ET PREMIERES EVALUATIONS

#### 3.1 Vision locale et relevés granulométriques

Un parcours de terrain a été fait sur l'ensemble du cône du Bergons, entre la confluence avec le torrent de l'Ouzous et le Gave. Une vision plus générale du bassin versant amont a ensuite été réalisée.

Des relevés granulométriques ont été effectués pour caractériser les matériaux du lit.

Les relevés granulométriques ont été réalisés selon la technique des prélèvements en ligne de Fehr. Un post-traitement est effectué avec un ajustement de Füller. Un exemple de traitement granulométrique figure ci-après, avec indication pour chaque calage des diamètres caractéristiques  $d_{30}$ ,  $d_{50}$ ,  $d_m$  et  $d_{90}$ .

Ayzac-Ost / amont Bergons

Prélèvement en ligne IMG 5947 -5948

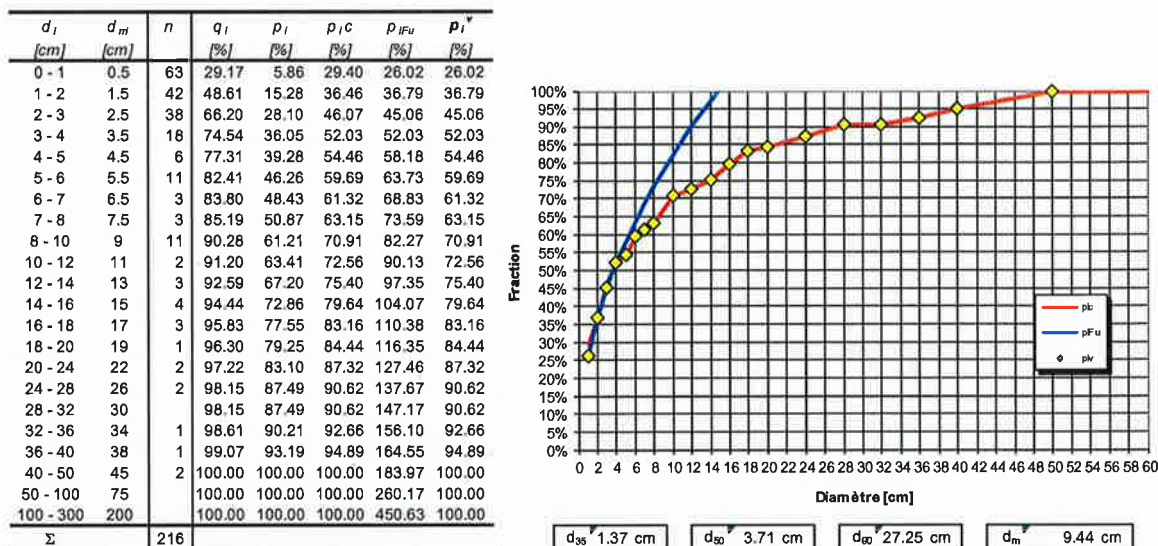


Figure 1 : Exemple de traitement granulométrique

Ces résultats permettent de caractériser les apports solides et les matériaux en place dans le lit du cours d'eau.

La photo suivante montre le secteur de confluence entre le torrent d'Ouzous (à droite) et le Bergons. On constate que le secteur à l'amont de la confluence est alluvial avec une pente légèrement réduite et la présence de végétation mobilisable. Le fond est meuble et comprend un stock de matériaux important.



La photo ci-après permet de visualiser le dernier tronçon de l'Ouzous. Le volume de matériaux mobilisables est évident sur une pente très raide.



L'image suivante se situe directement à l'aval de la confluence avec l'Ouzous. On remarque des dépôts qui peuvent provenir d'anciennes coulées. Celle d'après correspond au lit majeur en rive gauche à l'aval de l'Ouzous.



Les deux photos suivantes, respectivement prises de l'aval puis de l'amont, montrent le sommet du cône en rive gauche. D'anciennes traces d'écoulements sont visibles.



Les photos ci-après montrent le lit du Bergons au sommet du cône avec un pavage important et une végétation de rive constituée d'arbres de grande taille.





Les images ci-après se situent au niveau d'un seuil et d'une dérivation d'eau sur le Bergons.



Les photos suivantes, respectivement vue vers l'amont et vue vers l'aval, montrent la route en rive gauche, la plus proche du Bergons et confinée par un muret et une butte en terre.



Les photos suivantes, vue vers l'aval puis vue vers l'amont, montrent la route qui traverse le village en rive gauche et qui est complètement délimitée sur sa droite par un mur.



Les photos ci-après, vue vers l'amont puis vue vers l'aval, permettent de visualiser le secteur du pont de la RD. On devine sur la seconde photo le seuil à l'aval qui accentue la diminution de pente naturelle. On distingue également le lotissement sur la droite.



L'image suivante, vue vers l'aval, montre le pont qui mène au lotissement et un secteur relativement large du Bergons.



Sur les photos ci-après, on observe le lit majeur en rive droite entre le Bergons et le lotissement.



Les photos suivantes montrent la voie verte, avec le Bergons qui est perché et qui a un gabarit relativement faible (hauteur d'eau maximale de 93 cm)



L'image ci-après montre le secteur terminal du Bergons.



Les photos suivantes, prises sur le torrent de l'Ouzous, sur une partie du bassin versant amont et sur le Bergons, donnent une idée de la morphologie des torrents et des couvertures du bassin versant.







## 3.2 Evaluations de capacités

Afin d'avoir une idée de la capacité de secteurs clés, quelques calculs préliminaires ont été réalisés. Ces calculs permettent également de juger le risque d'obstruction aux ponts.

### 3.2.1 Le pont de la route départementale

La section du pont de la route départementale a été relevée ; ses dimensions principales sont 5.8 m de large / 2.9 m de haut, soit une surface d'environ 17 m<sup>2</sup>. Comme le montre le profil en long établi par Hydrétudes dans [3], en cas de charriage intense, le fond va

au minimum s'adapter pour rétablir la pente d'apport qui correspond à la pente du tronçon amont. Dans ce cas, le gabarit qui reste sous le pont ne sera plus que de 5.8 m / 1.7 m de haut. Pour écouler un débit de 80 m<sup>3</sup>/s, une hauteur de 2.9 m est nécessaire. La hauteur de 1.7 m permet l'écoulement sans revanche d'un débit de près de 35 m<sup>3</sup>/s. En cas de mobilisation des matériaux du lit en amont, le dépôt sera encore plus défavorable et on peut s'attendre à des capacités encore inférieures. Cette première évaluation montre que la section du pont est nettement insuffisante et que le risque d'obstruction est évident en cas de crue majeure. Sans revanche, pour un pont de cette dimension et sans espace libre entre la ligne d'eau et le dessous du pont, on doit en effet considérer que le pont s'obstrue sous l'effet des bois flottants.

### 3.2.2 Le pont qui mène au lotissement

La largeur du pont qui mène au lotissement est plus importante puisqu'elle est de 10 m au niveau du fond. Par contre, la hauteur disponible n'est que de 1.5 m. La capacité est de 55 m<sup>3</sup>/s avec la section totalement exploitée par l'écoulement. Cette valeur est légèrement supérieure à celle du pont de la RD mais reste trop faible pour éviter un risque d'obstruction.

Pour la crue de référence, le pont amont a une probabilité d'obstruction supérieure du fait de ses dimensions et par le fait qu'il est le premier ouvrage rencontré par les bois flottants.

### 3.2.3 Le tronçon aval

Le tronçon situé à l'aval du pont d'accès au lotissement a une section dont la dimension est de 5 m de large et environ 1.5 m de haut. Pour une telle section, le débit à plein bord atteint 40 m<sup>3</sup>/s.

### 3.2.4 Bilan

Quelques calculs simples montrent que la capacité du Bergons actuel avoisine les 40 m<sup>3</sup>/s, ce qui correspond à un temps de retour de 10 ans environ. Pour ce débit, le charriage ne se fait probablement pas encore à saturation, ce qui explique que les premiers débordements se font d'abord en rive gauche au droit du lotissement. En effet, sur ce secteur, des débordements peuvent avoir lieu, même sans la présence de dépôts.

## 4 EVALUATION HYDROLOGIQUE COMPLÉMENTAIRE

### 4.1 Démarche

Une évaluation hydrologique complémentaire a été mise en œuvre afin de préciser les débits et hydrogrammes de crue centennale et de comparer les résultats des différentes méthodes.

Afin de répondre à la demande de la DDT, deux méthodes distinctes et différentes d'ANETO, ont été mises en œuvre :

- Calculs à partir de la méthode du Gradex
- Modélisation bidimensionnelle des écoulements avec prise en considération de la saturation du sol, avec le logiciel Topoflow 2D-Hydrologie

La démarche de modélisation passe par les étapes suivantes :

- Délimitation des sous-bassins versants
- Détermination des points de concentration du réseau hydrographique
- Synthèse de pluies représentatives de différentes périodes de retour
- Modélisation des débits de crue

A noter qu'au cours d'études antérieures, les résultats issus du modèle ont été comparés avec des débits obtenus par une autre méthode déterministe (modélisation Hec-Hms) et par d'autres méthodes empiriques et probabilistes classiques.

### 4.2 Méthode du Gradex Esthétique

La méthode du Gradex a été appliquée dans [2] et [3]. Cette méthode est basée sur l'hypothèse que les précipitations se transforment totalement en écoulement de surface lorsque l'on atteint un temps de retour (considéré à 10 ans par la méthode de base). On utilise alors le gradex (pente) de la distribution des pluies pour extrapoler la distribution des débits à partir du temps de retour choisi.

Cette méthode a été appliquée dans une version « gradex progressif », ce qui signifie que l'extrapolation se fait de manière plus progressive que dans la méthode de base, qui conduit parfois à une surestimation des débits. On prend donc en considération une progression dans la saturation des sols.

La méthode du gradex esthétique (Modèle Agrégé selon MARGOURM & al., 1994) a été appliquée en considérant un débit de temps de retour de 10 ans de 40 m<sup>3</sup>/s et de temps de retour 2 ans de 24.1 m<sup>3</sup>/s.

Les autres paramètres importants sont :

- le gradex des pluies sur la durée du temps de concentration du bassin (2 heures) ; on a considéré deux valeurs de 6 mm et de 10 mm
- le coefficient de forme que l'on a considéré entre 1 et 1.2

L'application de la formule donne une fourchette de débits située entre 88.5 m<sup>3</sup>/s et 99.5 m<sup>3</sup>/s.

## 4.3 Modélisation bidimensionnelle avec Topoflow 2D-Hydrologie

### 4.3.1 Présentation du modèle

Topoflow est un outil de modélisation bidimensionnelle d'hydrologie, d'hydraulique et de charriage. Selon le réseau de maillage utilisé et les objectifs à atteindre, les trois composantes peuvent être modélisées en simultanément. Ce modèle a été mis au point par le bureau IDEALP.

Le modèle hydrologique bidimensionnel Topoflow permet de simuler des écoulements sur des plans inclinés et dans les cours d'eau. Il s'agit d'un modèle déterministe distribué à base physique. Le modèle prend en compte les processus hydrologiques suivants :

- Des fonctions d'infiltration classiques avec ou sans prise en compte d'un écoulement souterrain dans une nappe de subsurface
- L'apparition du ruissellement. Un effet progressif de saturation du bassin versant et de dépassement de capacité d'infiltration fait apparaître un ruissellement superficiel
- Un écoulement superficiel. La loi d'écoulement utilisée est celle de l'onde diffusive.

Il peut également prendre en compte la variabilité de l'isotherme ainsi qu'une composante de l'écoulement liée à la fonte de neige et ou glaciaire.

La topographie du bassin versant est représentée par un réseau de mailles, au sein duquel serpente un réseau hydrographique, qui collecte et propage les écoulements. Les écoulements de nappe et de surface interagissent suivant la topographie du bassin versant (effets d'infiltrations, de concentrations des écoulements et de résurgences).

Des paramètres d'imperméabilité du sol peuvent être introduits aux différentes mailles du modèle pour tenir compte par exemple, de la présence de zones urbaines ou de réseaux de voiries.

L'outil permet de générer les hydrogrammes de crues utiles à toute modélisation hydraulique et de charriage, en de multiples points du réseau hydrographique. Il permet en outre d'analyser la dynamique de propagation de la crue (temps de propagation, effets de laminage, influence particulière d'affluents), et de localiser géographiquement des zones de concentration et de ruissellement particuliers.

### 4.3.2 Intensité de pluie

Sur la base des coefficients de Montana locaux calculés par Météo-France (cf. Tableau 1), l'intensité maximale d'un épisode pluvieux, ou la hauteur maximale à attendre pour un épisode pluvieux de courte durée, peuvent être calculées.

Durée de retour	a	b
5 ans	630	0.753
10 ans	827	0.771
20 ans	1037	0.785
30 ans	1171	0.791
50 ans	1352	0.8
100 ans	1613	0.809

Tableau 1 : coefficients de Montana pour Tarbes-Lourdes-Pyrénées (65) – statistiques pour la période 1982-2016 (source : Météo-France)

Pour le Bergons, la formule de Montana a donc permis de calculer une pluie de durée totale de 8 heures et de temps de retour 100 ans, selon la formule ci-après, en utilisant les coefficients a et b correspondants au temps de retour voulu.

$$i(t) = a \times t^{-b}$$

où est l'intensité de pluie en [mm/h] et t la durée en [min].

Les modélisations bidimensionnelles de l'hydrologie du Bergons ont été réalisées sur la base de la pluie centennale obtenue.

#### 4.3.3 Résultats de modélisation hydrologique bidimensionnelle $Q_{100}$

Les figures suivantes présentent les résultats de modélisation d'une pluie centennale du bassin versant du Bergons.

Pour une meilleure lisibilité, les cartes sont également fournies en annexes 2.1 et 2.2. Respectivement les hauteurs maximales d'écoulement de surface, puis les hauteurs maximales d'écoulement de nappe sont représentées.

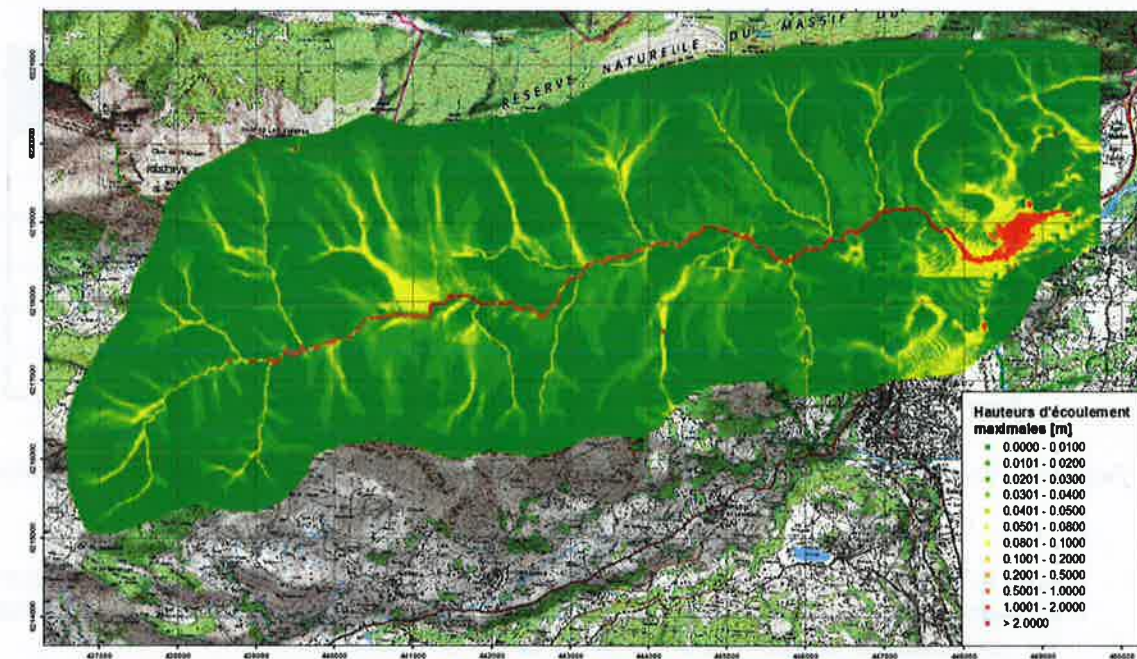


Figure 2 : Hauteurs d'écoulement de surface issues de la modélisation d'une pluie centennale sur le bassin versant du Bergons

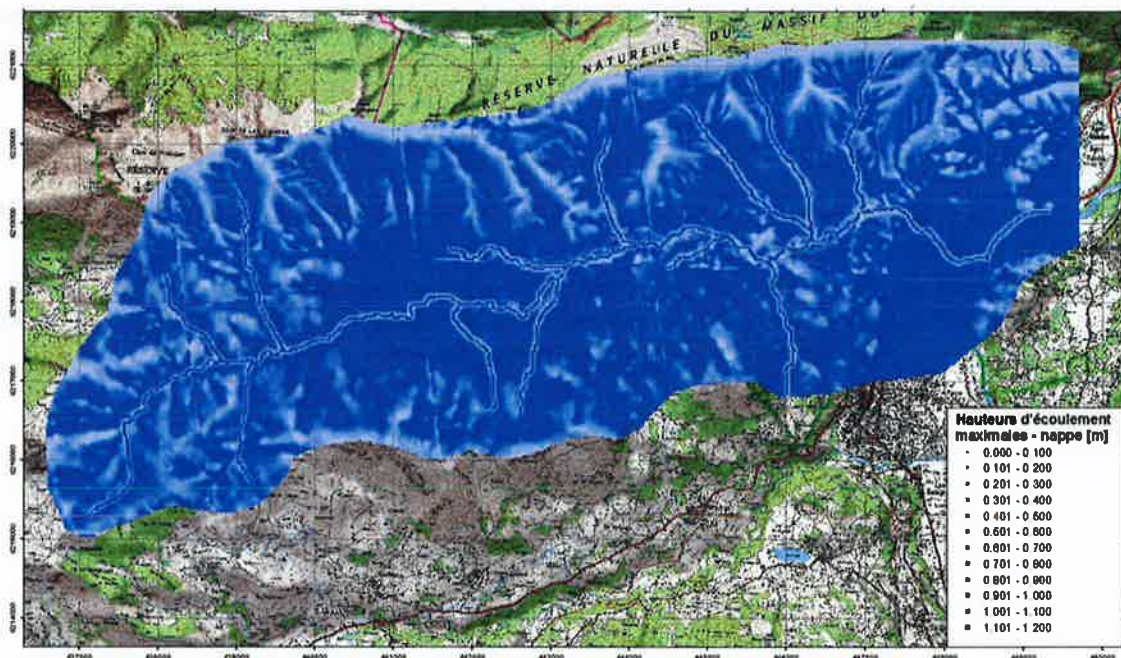


Figure 3 : Hauteurs d'écoulement de nappe issues de la modélisation d'une pluie centennale sur le bassin versant du Bergons

On remarque la concentration des écoulements de nappe sur une partie importante du bassin versant, favorisant la production de hauteurs d'écoulement de surface dans la plaine d'environ 10 à 20 cm par endroits.

Le graphique suivant présente l'hydrogramme de crue centennale obtenu sur le Bergons. Le débit de pointe obtenu avoisine les 110 m<sup>3</sup>/s.

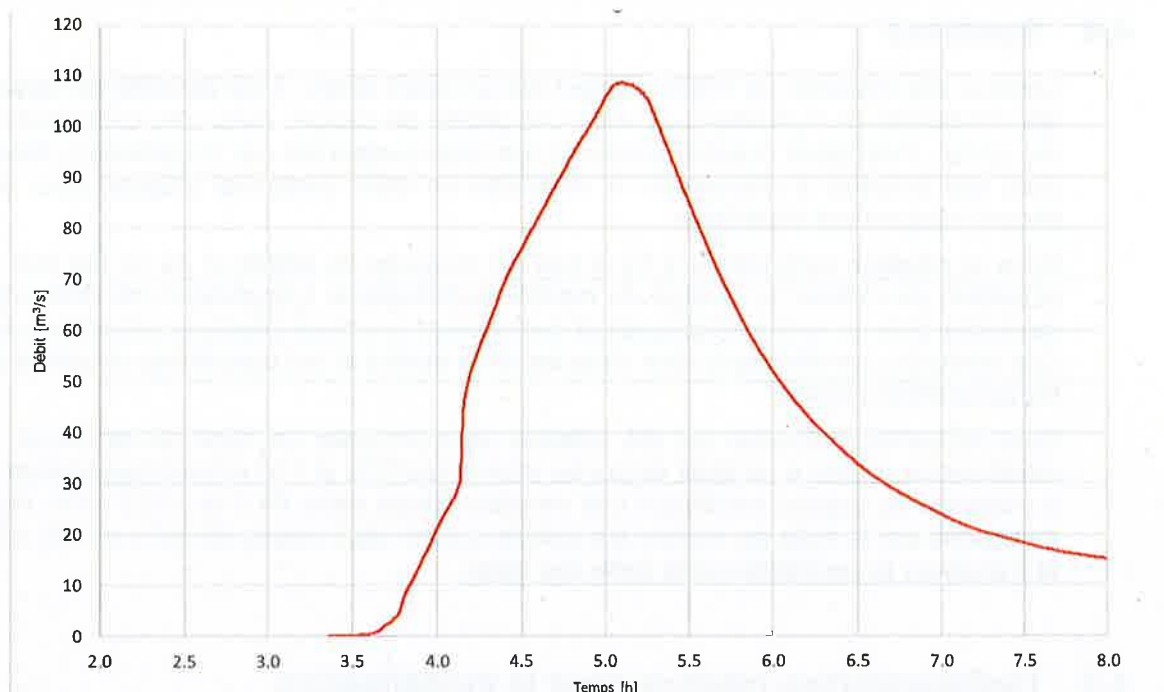


Figure 4 : Hydrogramme de crue centennale  $Q_{100}$  sur le Bergons

Une analyse de sensibilité du choix du coefficient d'infiltration sur les débits a été réalisée. Une seconde modélisation hydrologique, qui considère un coefficient supérieur, a été simulée. L'hydrogramme de crue obtenu est représenté ci-après, avec pour comparaison l'hydrogramme obtenu précédemment. Le débit de pointe est de  $62.5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

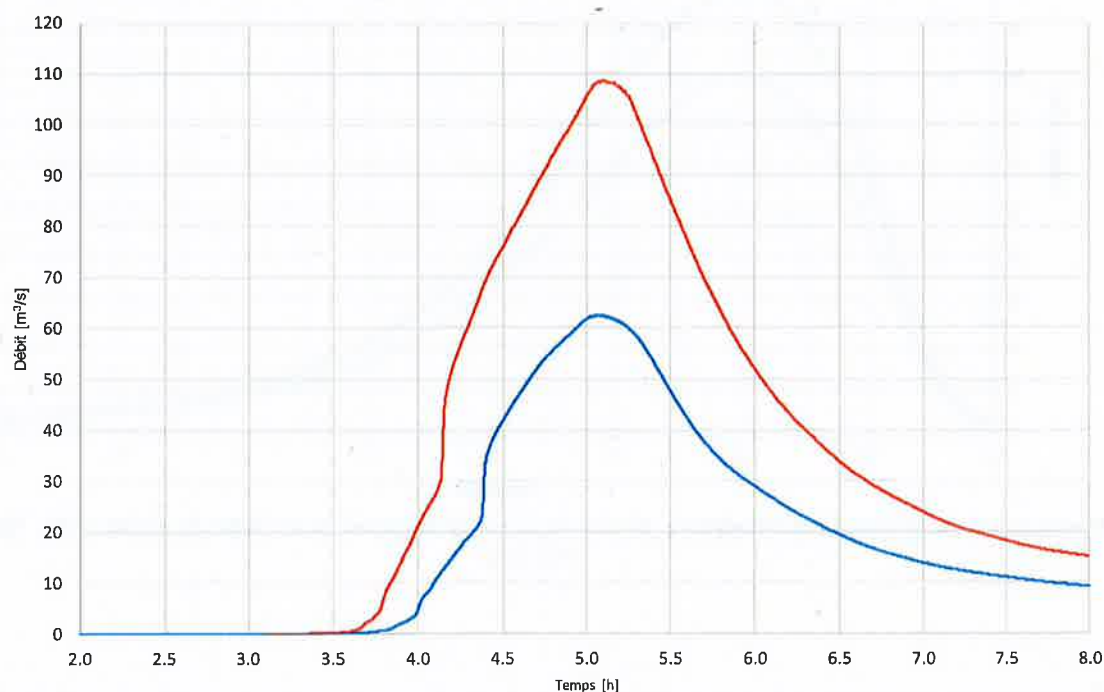


Figure 5 : Hydrogrammes de crue centennale  $Q_{100}$  sur le Bergons – sensibilité sur la perméabilité

Les débits de crue centennale se situent dans cette fourchette de débits modélisés.

## 4.4 Synthèse

Lorsque des mesures de débits existent sur un cours d'eau, il est possible de réaliser des modélisations hydrologiques avec une phase de calage. Avec une connaissance des pluies, il est alors possible d'estimer une crue centennale par modélisation. Même avec ces données à disposition, la variabilité du débit centennal proposé peut être encore relativement importante.

Dans la situation rencontrée, il n'y a pas de mesures de débits et de ce fait pas de possibilité de réaliser un calage du modèle hydrologique. L'application de différentes méthodes plus ou moins empiriques et comprenant une base physique est nécessaire. Ces méthodes ont été appliquées dans les deux études et ont suscité des réactions sur les paramètres utilisés.

Deux nouvelles méthodes ont été utilisées pour proposer un débit de référence. La modélisation aboutit à un débit de pointe situé entre 62.5 et 110 m<sup>3</sup>/s et l'application de la méthode du gradex esthétique une variation située entre 88.5 et 112.5 m<sup>3</sup>/s. Nous proposons par la suite de réaliser les calculs à partir de 2 débits (80 m<sup>3</sup>/s et 100 m<sup>3</sup>/s) et d'analyser la sensibilité sur la carte des aléas.

## 4.5 Hydrogrammes retenus pour la modélisation

Les modélisations de l'hydraulique avec charriage seront mises en œuvre avec les débits 80, 100 et 110 m<sup>3</sup>/s, ces débits étant représentatifs de ce type de crue. La figure suivante illustre les hydrogrammes modélisés.

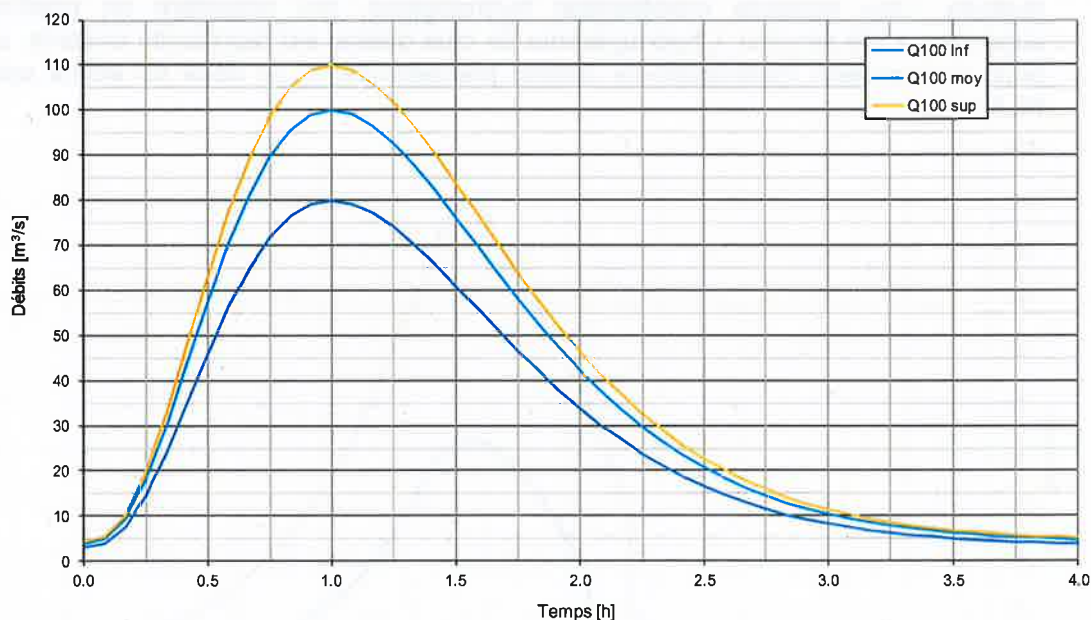


Figure 6 : Hydrogrammes synthétiques de crue  $Q_{100}$  sur le Bergons, avec débit de pointe à 80, 100 et 110 m<sup>3</sup>/s

## 5 SCENARIOS RETENUS

### 5.1 Scénarios hydrauliques avec charriage

#### 5.1.1 Hydrogrammes

Pour les modélisations bidimensionnelles de l'hydraulique avec charriage, les hydrogrammes issus des modélisations hydrologiques complémentaires décrites sous 4.2 et 4.3, ont été retenus.

Des scénarios avec débit de pointe de 80 m<sup>3</sup>/s, 100 m<sup>3</sup>/s et 110 m<sup>3</sup>/s ont été modélisés.

#### 5.1.2 Apports solides

Les apports solides sont introduits à l'amont du cône en fonction de la pente de secteurs jugés clés et représentatifs de la capacité de charriage. Pour le Bergons, cette pente est de 5%.

### 5.2 Laves torrentielles

#### 5.2.1 Volumes

Le parcours de terrain a permis d'estimer les volumes de matériaux potentiellement mobilisables, en considérant les différentes sources d'apports sédimentaires.

Pour les modélisations bidimensionnelles d'un scénario de laves torrentielles sur le Bergons, un volume centennal de 25'000 m<sup>3</sup> a été retenu.

#### 5.2.2 Paramètres rhéologiques

Des méthodes existent pour évaluer la rhéologie des laves torrentielles à partir de mesures de bourrelets frontaux et latéraux. L'application de ces méthodes est intéressante lorsque les informations peuvent être mesurées sur le terrain, ce qui n'est pas le cas pour le torrent étudié.

Cependant, la rhéologie plausible a été déterminée par similitude avec d'autres bassins versants alpins pour lesquels des événements de référence ont été reproduits avec l'outil de calcul, entre autres en testant différentes rhéologies. Sur la base de ces études antérieures, la rhéologie de 2000 [N/m<sup>2</sup>] a été choisie. Cette rhéologie retenue pour des laves de type plutôt boueuses est adéquate pour ce genre de bassin versant.

## 6 METHODES POUR L'ETABLISSEMENT DES ALEAS

### 6.1 Principes du PPR

Le guide PPR [4] ne prévoit pas une véritable démarche de calcul avec croisement des intensités calculées et des probabilités. Il conserve une approche qualitative d'évaluation des aléas même si la probabilité d'atteinte et l'intensité sont évaluées de manière qualitative.

### 6.2 Méthode proposée dans le cadre du Bergons

Dans le cas du torrent du Bergons, la dynamique de charriage et d'inondation est relativement complexe et difficile à appréhender de manière qualitative. La démarche appliquée consiste à définir des scénarios cohérents et étayés liés aux crues et laves torrentielles. Ces scénarios sont ensuite calculés et les intensités des phénomènes sont cartographiées. La carte des aléas peut alors être proposée. Les chapitres suivants présentent les méthodes utilisées pour le calcul des crues et laves torrentielles et les critères d'appréciation des intensités.

### 6.3 Calculs hydrauliques avec charriage

#### 6.3.1 Description du modèle

TOPOFLOW-2D est un outil de modélisation bidimensionnel développé notamment pour l'hydrologie et pour les calculs hydraulique avec charriage. Ce modèle a été développé par le bureau IDEALP.

Les modélisations bidimensionnelles permettent de simuler des écoulements de crue et de préciser les comportements hydrauliques et les enjeux impactés pour un scénario donné.

Le périmètre d'étude est modélisé à l'aide d'un réseau de mailles entre lesquelles les échanges liquides et solides sont calculés dans huit directions, selon les lois de comportement de l'hydraulique et du charriage. Un bilan est fait pour chacune des mailles à chaque pas de temps de calcul.

Le logiciel TOPOFLOW peut être utilisé soit en calcul purement bidimensionnel soit en combinaison unidimensionnel et bidimensionnel (TOPOFLOW-1D/2D). Ce deuxième type de calcul permet si nécessaire de prendre en considération de manière plus précise le chenal d'écoulement. Dans notre cas nous utiliserons le calcul purement bidimensionnel car les capacités des chenaux sont souvent dépassées ou des obstructions dévient les écoulements et rendent les chenaux inefficaces.

Les résultats déterminants fournis par les modélisations bidimensionnelles à l'aide du logiciel TOPOFLOW sont les suivants :

- Hauteurs maximales d'écoulement
- Hauteurs maximales d'érosions / dépôts de matériaux solides
- Vitesses maximales d'écoulement
- Vitesses multipliées par la hauteur (intensité)

Le modèle utilise un schéma explicite de type volumes finis pour résoudre l'équation complète de Barré St-Venant. Pour les champs d'inondation, l'approximation par l'onde diffusive est généralement utilisée.

Le calcul de charriage se fait de manière fractionnaire et permet de prendre en considération le tri granulométrique (Hunziker, 1995). La formule utilisée pour le charriage est celle de Smart & Jaeggi. D'autres formules de charriage peuvent être utilisées (VAW, Lefort, Rickenman, ...).

### 6.3.2 Hypothèses

Dans le cadre de la présente étude, le modèle de calcul 2D hydraulique avec charriage, a été réalisé à l'aide d'une grille régulière de mailles de 1 m par 1 m. Les bâtiments ont été pris en compte et constituent des obstacles à l'écoulement. Les murs n'ont pas été ajoutés à la topographie Lidar.

Pour le Bergons, l'hydrogramme de crue centennale est introduit sur plusieurs mailles, à l'amont du cône en sortie de gorge.

## 6.4 Calculs de laves torrentielles

### 6.4.1 Description du modèle

Le logiciel TOPOFLOW-2D-laves est un logiciel de modélisation bidimensionnelle développé par le bureau IDEALP pour les simulations d'écoulement de laves torrentielles.

Le périmètre d'étude est modélisé à l'aide d'un réseau de mailles entre lesquelles les échanges de laves sont calculés dans huit directions selon les lois de comportement des laves torrentielles et de l'hydraulique (Coussot, St-Venant). Des pertes d'énergie par turbulence peuvent également être considérées. Un bilan est fait pour chacune des mailles à chaque pas de temps de calcul.

Les principaux résultats fournis par les modélisations numériques bidimensionnelles à l'aide du logiciel TOPOFLOW pour les laves torrentielles sont les suivants :

- Hauteurs de lave maximales, avec ou sans superposition des bouffées
- Hauteurs de dépôts à l'état final
- Vitesses d'écoulement maximales
- Débits sur des sections ou tronçons choisis
- Enregistrement à pas de temps donné de paramètres choisis (hauteurs, vitesses)

Le transport solide par lave torrentielle se différencie du transport par charriage notamment par le type d'écoulement qui se comporte différemment. L'écoulement est monophasique (pas de séparation de la phase liquide et solide). Les événements sont brutaux et capables de mobiliser de grandes quantités de matériaux avec de très gros blocs. Au-devant de la lave, un front de matériaux est présent et constitue ce qui est appelé une bouffée.

Les apports sont faits en déterminant un hydrogramme de lave. Ces apports peuvent également être réalisés en considérant des volumes de lave qui sont « lâchés » et correspondent à des glissements de terrains ou accumulation de matériaux qui se transforment en laves.

## 6.4.2 Hypothèses

Sur le même principe que pour les modélisations hydraulique avec charriage, une grille régulière de mailles de 1m par 1m, a été utilisée. Les bâtiments ont été pris en compte et constituent des obstacles à l'écoulement des laves.

Dans le cas présent, nous avons utilisé une loi de comportement correspondant à des laves boueuses (Coussot) et considéré les pertes de charges par turbulence. Grâce à l'expérience sur des bassins similaires et aux observations de terrain, la rhéologie de 2000 [N/m<sup>2</sup>] paraît plausible et a été retenue.

En fonction du volume retenu de 25'000 m<sup>3</sup>, un hydrogramme entrant a été déterminé et introduit sur une maille à l'amont du cône. Les modélisations ont été réalisées en une seule bouffée.

## 6.5 Evaluation des intensités

L'évaluation des intensités a été réalisée sur la base des critères du PPRN et des résultats des modélisations bidimensionnelles.

Ces dernières fournissent les hauteurs maximales et les vitesses d'écoulement, ainsi que les intensités maximales calculées  $v \cdot h$  [m<sup>2</sup>/s]. A partir de 2, on peut considérer qu'on se trouve en zone d'intensité élevée, car les bâtiments exposés peuvent être détruits.

## 6.6 Détermination des niveaux de danger et cartes résultantes

La combinaison des critères d'intensité avec la probabilité d'atteinte a permis de déterminer les niveaux d'aléas.

Un lissage a été effectué.

## 7 RESULTATS DES MODELISATIONS

### 7.1 Remarque préliminaire

Les cartes habituellement produites sur la base des résultats des différentes modélisations bidimensionnelles sont les suivantes :

- **Résultats hydrauliques avec charriage**
  - Hauteurs maximales d'écoulement
  - Vitesses maximales d'écoulement
  - Hauteurs de déposition / profondeurs d'affouillement
- **Résultats des modélisations de laves torrentielles**
  - Hauteurs d'écoulement maximales
- **Intensité d'inondation**
  - Intensités maximales résultant de la modélisation hydraulique avec charriage
  - Intensités maximales résultant de la combinaison des résultats des modélisations hydrauliques avec charriage et de laves torrentielles
  - Intensités maximales résultant de la combinaison des résultats des modélisations hydrauliques avec charriage, de laves torrentielles et prise en compte du critère d'intensité fort lorsque les hauteurs d'engravement ou profondeurs d'affouillement sont supérieures à 1 m
- **Carte des aléas**

### 7.2 Scénario $Q_{100}$ avec débit de pointe de $100 \text{ m}^3/\text{s}$

#### 7.2.1 Résultats hydraulique avec charriage

Les figures ci-après ainsi que les **annexes 3.1 à 3.3** présentent les résultats obtenus, respectivement les hauteurs maximales d'écoulement, les vitesses maximales d'écoulement, puis les hauteurs de déposition / profondeurs d'affouillement pour le scénario centennial hydraulique et charriage, avec débit de pointe de  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ .

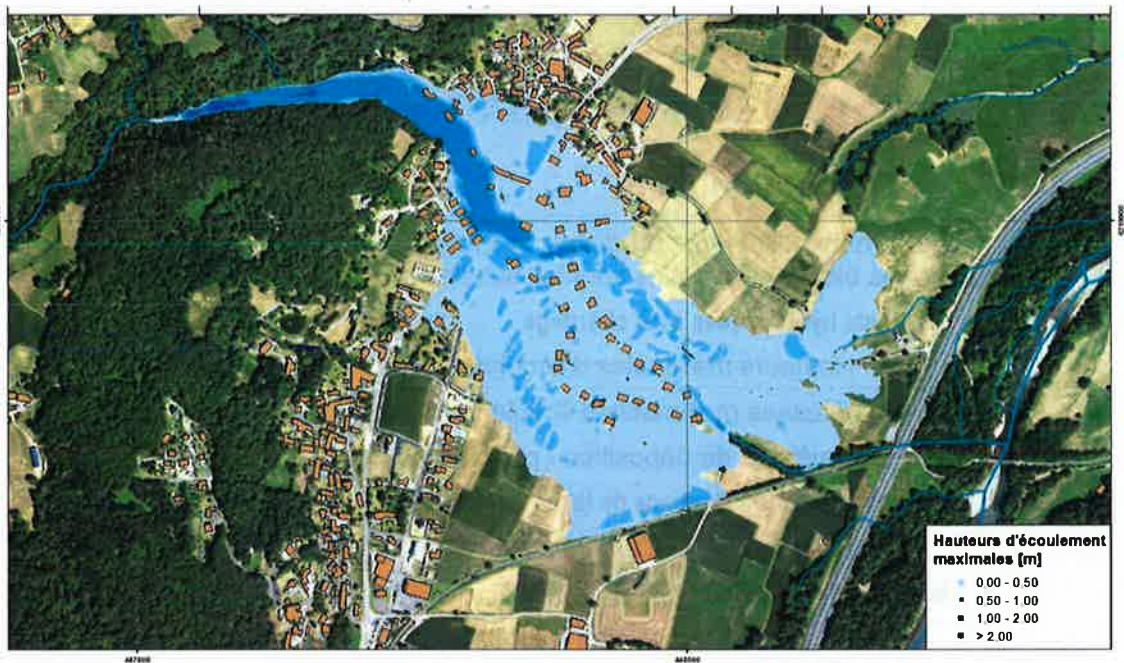


Figure 7 : Scénario  $Q_{100}$  ( $100 \text{ m}^3/\text{s}$ ) – hauteurs maximales d'écoulement

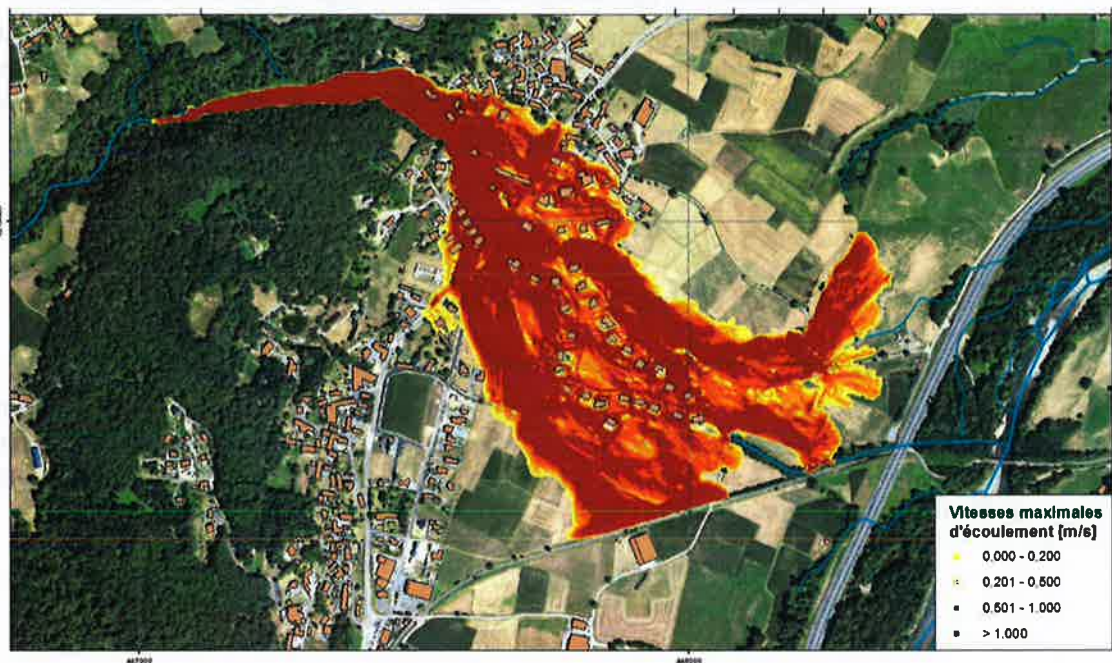


Figure 8 : Scénario  $Q_{100}$  ( $100 \text{ m}^3/\text{s}$ ) – vitesses maximales d'écoulement

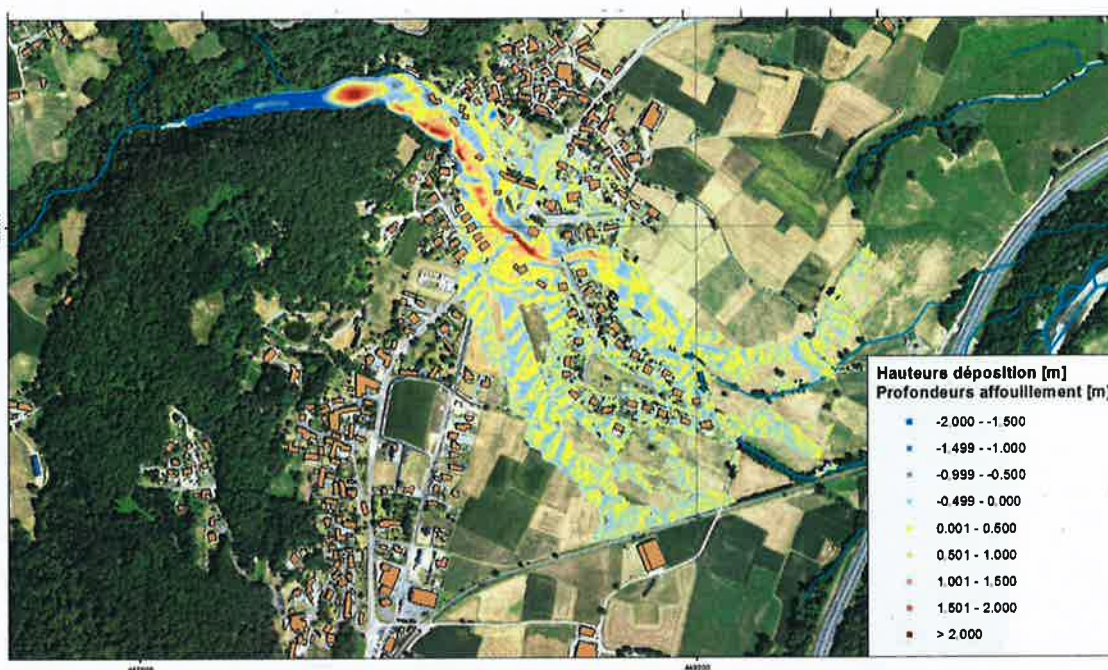


Figure 9 : Scénario  $Q_{100}$  ( $100 \text{ m}^3/\text{s}$ ) – hauteurs de déposition / profondeurs d'affouillement

La zone potentiellement touchée par les débits déversés est relativement importante. Hormis pour le chenal lui-même et une bande de l'ordre de 40-50 m à l'amont du pont de la route RD921, les hauteurs d'écoulement restent globalement inférieures à 50 cm, et le plus fréquemment inférieures à 15-20 cm, notamment en ce qui concerne la zone du lotissement en rive droite.

Les vitesses d'écoulement sont quant à elles globalement supérieures à 1 m/s.

Les plus fortes profondeurs d'affouillement sont observables dans le chenal à l'amont du cône ; les plus importantes hauteurs de déposition sont visibles dans le chenal à l'amont du pont de la RD921, entre ce pont et le pont aval et dans une moindre mesure, dans le chenal à l'aval du pont de la rue du Bergons. Ailleurs, en fonction de la topographie et des écoulements, on observe une alternance d'érosions et de dépositions de faible ampleur.

## 7.2.2 Carte d'intensité d'inondation

La Figure 10, qui fait également l'objet de l'annexe 3.4, illustre la carte d'intensité d'inondation obtenue pour ce scénario  $Q_{100}$ .

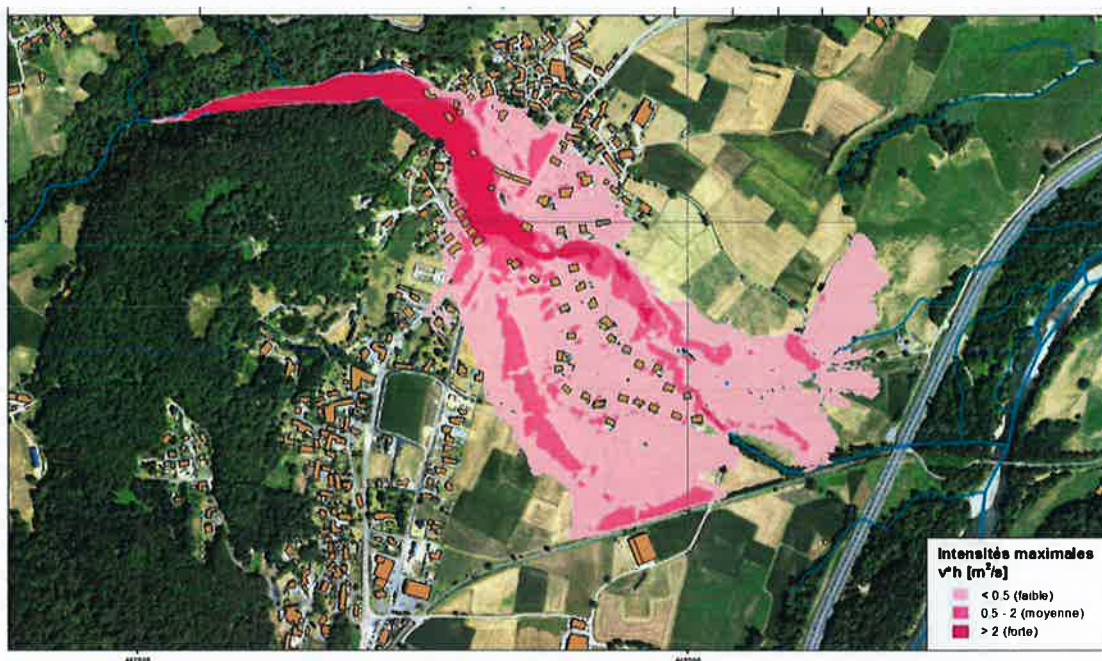


Figure 10 : Scénario  $Q_{100}$  ( $100 m^3/s$ ) – carte d'intensité d'inondation

Les modélisations bidimensionnelles fournissent également, outre les hauteurs et les vitesses maximales d'écoulement, les intensités maximales calculées  $v \cdot h$  [ $m^2/s$ ].

La zone d'intensité forte, soit supérieure à 2, concerne une bande de 40 à 50 m au total, de part et d'autre du chenal du Bergons, jusqu'à environ 80 m à l'aval du pont de la rue du Bergons. De part et d'autre du lotissement, en rives droite et gauche du cours d'eau, des secteurs d'intensité moyenne ( $v \cdot h$  compris entre 0.5 et 2) sont visibles sur la carte. Partout ailleurs l'intensité est faible, inférieure à 1.

### 7.3 Scénario $Q_{100}$ avec débit de pointe de $80 m^3/s$

La figure ci-après, ainsi que la carte de l'annexe 4.1, illustrent les hauteurs maximales d'écoulement d'une crue centennale avec débit de pointe de  $80 m^3/s$ , soit la valeur moyenne retenue pour un événement de ce temps de retour.

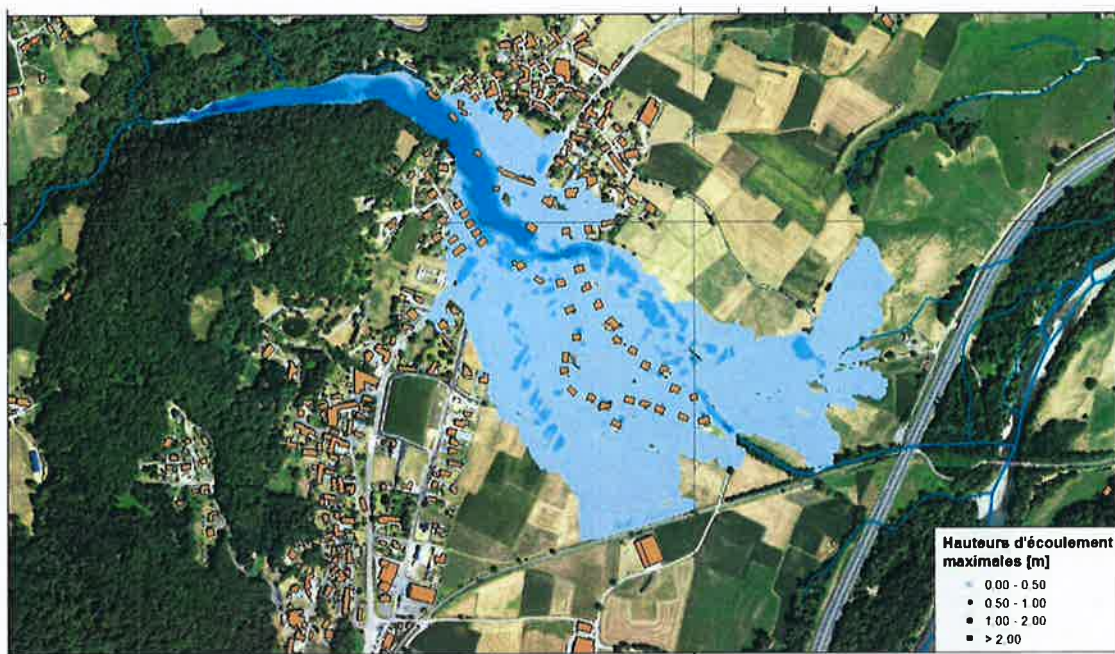


Figure 11 : Scénario  $Q_{100}$  ( $80 \text{ m}^3/\text{s}$ ) – hauteurs maximales d'écoulement

Par rapport à l'emprise du scénario avec débit de pointe de  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ , l'emprise globale est très similaire, légèrement inférieure.

Les hauteurs d'écoulement restent globalement inférieures à 50 cm, et le plus souvent inférieures à 15-20 cm.

## 7.4 Scénario $Q_{100}$ avec débit de pointe de $80 \text{ m}^3/\text{s}$ – obstruction du pont de la RD921

### 7.4.1 Résultats hydraulique avec charriage

Les figures ci-après ainsi que les annexes 5.1 à 5.3 présentent les résultats obtenus, respectivement les hauteurs maximales d'écoulement, les vitesses maximales d'écoulement, puis les hauteurs de déposition / profondeurs d'affouillement pour le scénario centennal hydraulique et charriage, avec débit de pointe de  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  et en considérant l'obstruction du pont de la RD921.

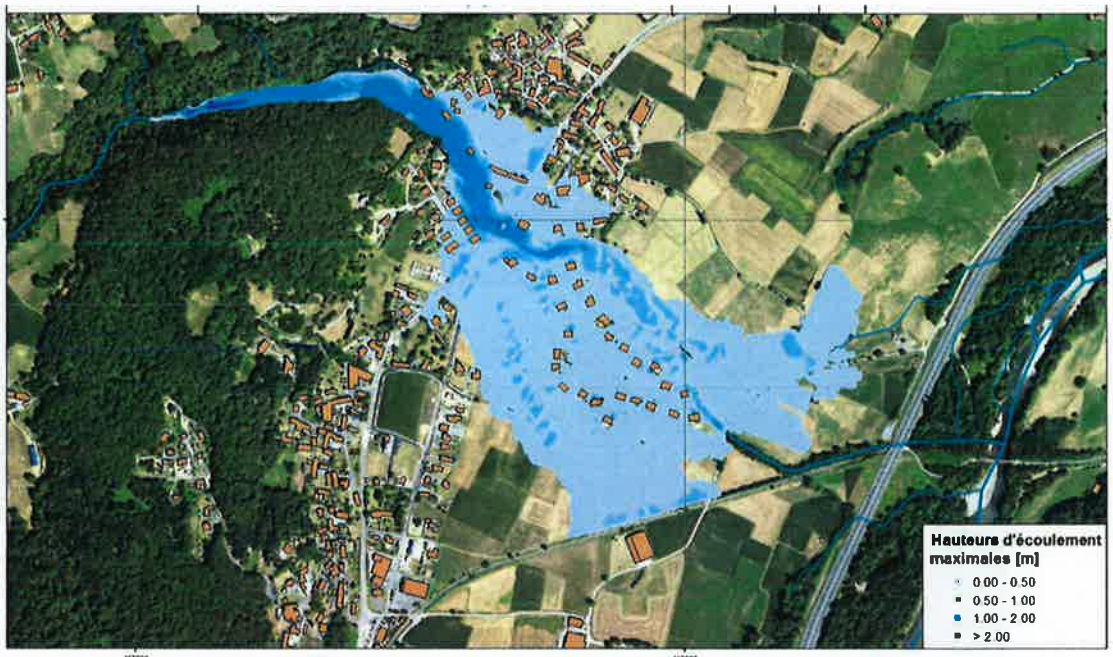


Figure 12 : Scénario  $Q_{100}$  ( $80 \text{ m}^3/\text{s}$ ) avec obstruction du pont de la RD921 – hauteurs maximales d'écoulement

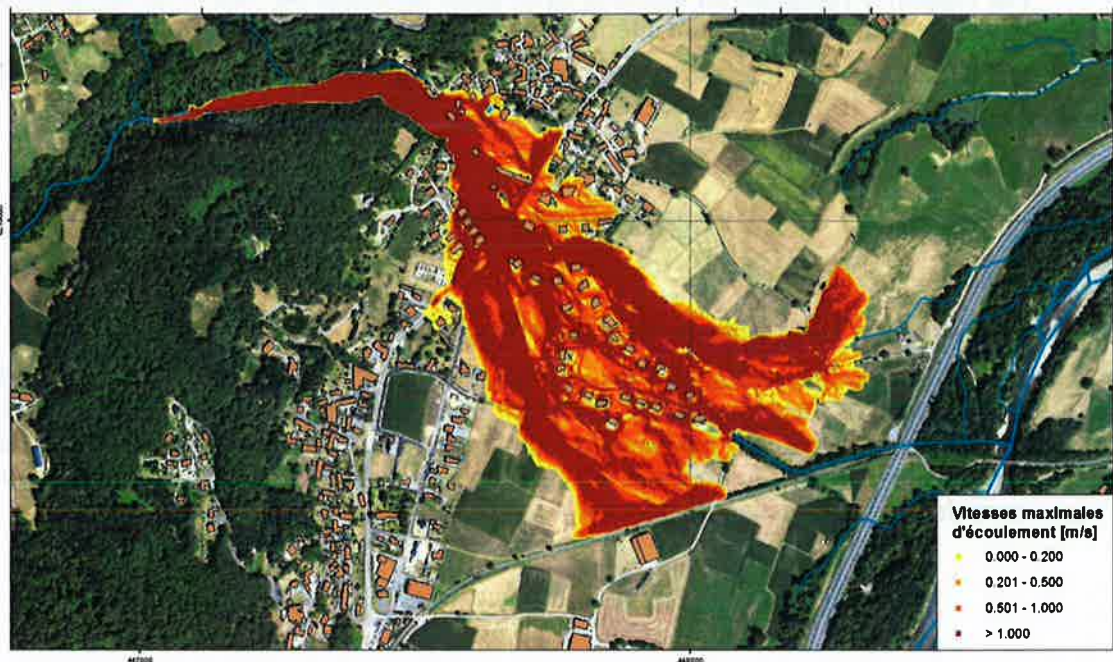


Figure 13 : Scénario  $Q_{100}$  ( $80 \text{ m}^3/\text{s}$ ) avec obstruction du pont de la RD921 – vitesses maximales d'écoulement

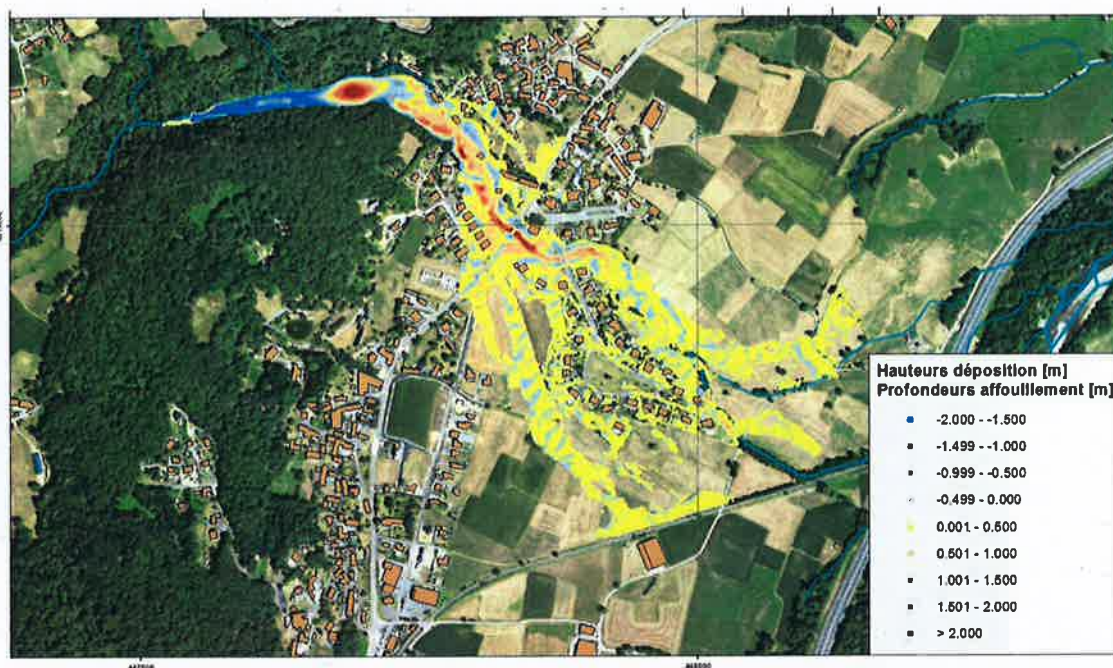


Figure 14 : Scénario  $Q_{100}$  ( $80 \text{ m}^3/\text{s}$ ) avec obstruction du pont de la RD921 – hauteurs de déposition / profondeurs d'affouillement

Par rapport aux deux scénarios précédents, l'emprise globale de l'inondation est similaire, légèrement moindre, notamment au sommet du cône, côté rive gauche.

Les mêmes observations que pour le scénario  $Q_{100}$  ( $100 \text{ m}^3/\text{s}$ ) peuvent être faites en ce qui concerne les hauteurs maximales d'écoulement. A l'amont du pont obstrué, des hauteurs supérieures à 2 m sont observables localement. Globalement les hauteurs sont inférieures à 50 cm et le plus souvent inférieures à 20 cm.

Les vitesses maximales d'écoulement restent globalement supérieures à 1 m/s, avec des valeurs légèrement inférieures pour un même endroit, par rapport au scénario centennal ( $100 \text{ m}^3/\text{s}$ ) sans obstruction.

Les plus fortes profondeurs d'affouillement sont visibles dans le chenal à l'amont du cône, les plus grandes hauteurs d'engravement dans le chenal à l'amont du pont de la RD921, entre ce pont et le pont aval et dans le chenal à l'aval de la rue du Bergons. Ailleurs, on observe des dépôts et des érosions de faible ampleur.

#### 7.4.2 Carte d'intensité d'inondation

La Figure 15, qui fait également l'objet de l'annexe 5.4, illustre la carte d'intensité d'inondation obtenue pour ce scénario  $Q_{100}$  avec obstruction du pont.

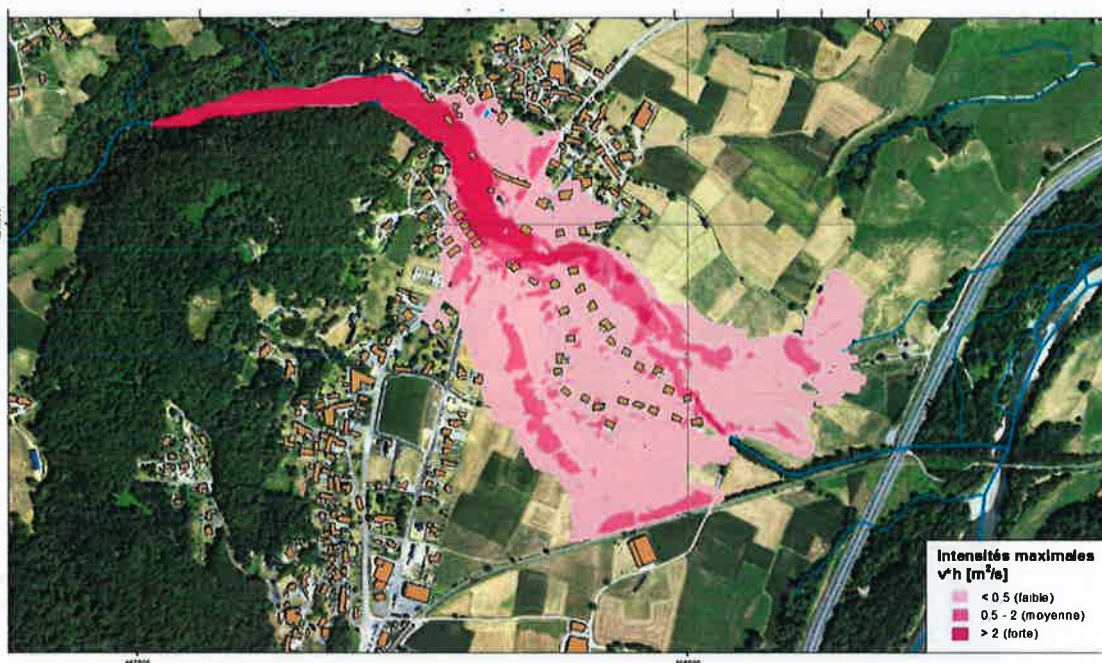


Figure 15 : Scénario  $Q_{100}$  ( $80 \text{ m}^3/\text{s}$ ) avec obstruction du pont de la RD921 – carte d'intensité d'inondation

La zone d'intensité forte, supérieure à 2, concerne une bande de 40 à 50 m au total, de part et d'autre du chenal du Bergons, jusqu'à environ 80 m à l'aval du pont de la rue du Bergons. De part et d'autre du lotissement, en rives droite et gauche du cours d'eau, des secteurs d'intensité moyenne ( $v \cdot h$  compris entre 0.5 et 2) sont visibles sur la carte. Partout ailleurs l'intensité est faible, inférieure à 0.5.

## 7.5 Scénario $Q_{100}$ avec débit de pointe de $110 \text{ m}^3/\text{s}$ – obstruction du pont de la RD921

### 7.5.1 Résultats hydraulique avec charriage

Les figures ci-après, reproduites aux annexes 5.5 à 5.7 illustrent respectivement les hauteurs maximales d'écoulement, les vitesses maximales d'écoulement, puis les hauteurs de déposition / profondeurs d'affouillement pour le scénario centennal hydraulique et charriage, avec débit de pointe de  $110 \text{ m}^3/\text{s}$  et considérant l'obstruction du pont de la RD921.

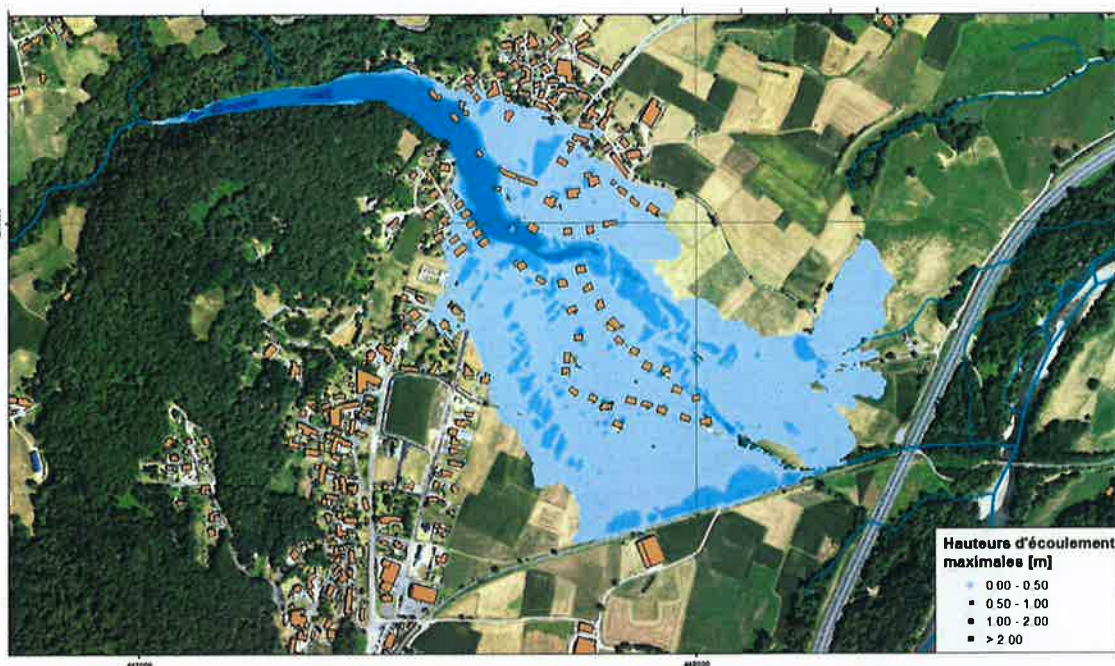


Figure 16 : Scénario  $Q_{100}$  ( $110 \text{ m}^3/\text{s}$ ) avec obstruction du pont de la RD921 – hauteurs maximales d'écoulement

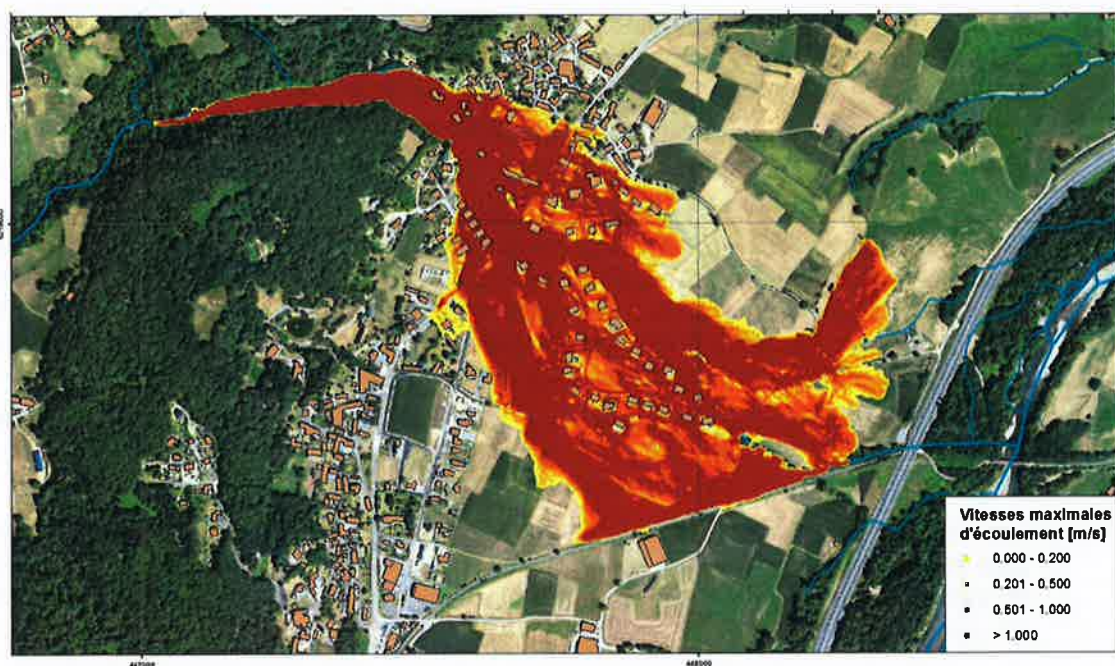


Figure 17 : Scénario  $Q_{100}$  ( $110 \text{ m}^3/\text{s}$ ) avec obstruction du pont de la RD921 – vitesses maximales d'écoulement

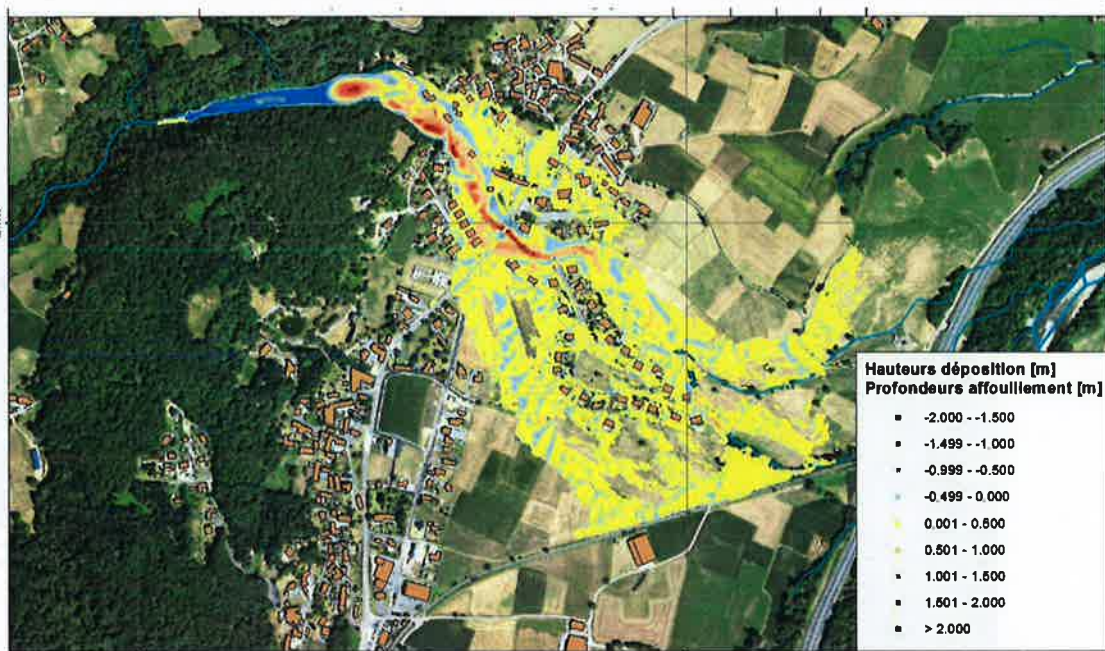


Figure 18 : Scénario  $Q_{100}$  ( $110 \text{ m}^3/\text{s}$ ) avec obstruction du pont de la RD921 – hauteurs de déposition / profondeurs d'affouillement

La comparaison avec le scénario considérant également l'obstruction du pont, mais de débit de pointe de  $80 \text{ m}^3/\text{s}$ , montre que l'emprise globale pour le scénario à  $110 \text{ m}^3/\text{s}$ , est globalement identique, sensiblement plus importante en rive gauche du Bergons.

L'étalement plus important est notamment visible pour le quartier délimité par la rue de la Vieille Tour et l'avenue des Pyrénées, et pour le quartier au sud de cette même avenue, compris entre le Bergons et le chemin du Sailhet.

Les observations sur les hauteurs maximales d'écoulement restent valables pour ce scénario. A l'amont du pont obstrué, des hauteurs supérieures à 2 m sont observables localement. Les secteurs concernés par des hauteurs d'écoulement comprises entre 0.5 et 1 m sont un peu plus étendues. Cependant, les hauteurs d'eau maximales restent globalement inférieures à 50 cm, et pour la plupart, inférieures à 20 cm.

Les vitesses maximales d'écoulement sont globalement supérieures à 1 m/s. Par rapport au scénario avec débit de pointe de  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  et obstruction, de plus larges secteurs sont concernés par ces valeurs de vitesses.

Les secteurs concernés par les hauteurs de déposition et profondeurs d'affouillement les plus importantes sont pratiquement similaires entre les deux scénarios avec obstruction du pont. De plus larges secteurs sont par contre concernés par les dépôts ou érosions de plus faible ampleur.

## 7.5.2 Carte d'intensité d'inondation

La Figure 19, reprise à l'annexe 5.8, illustre la carte d'intensité d'inondation obtenue pour ce scénario  $Q_{100}$  avec obstruction du pont.

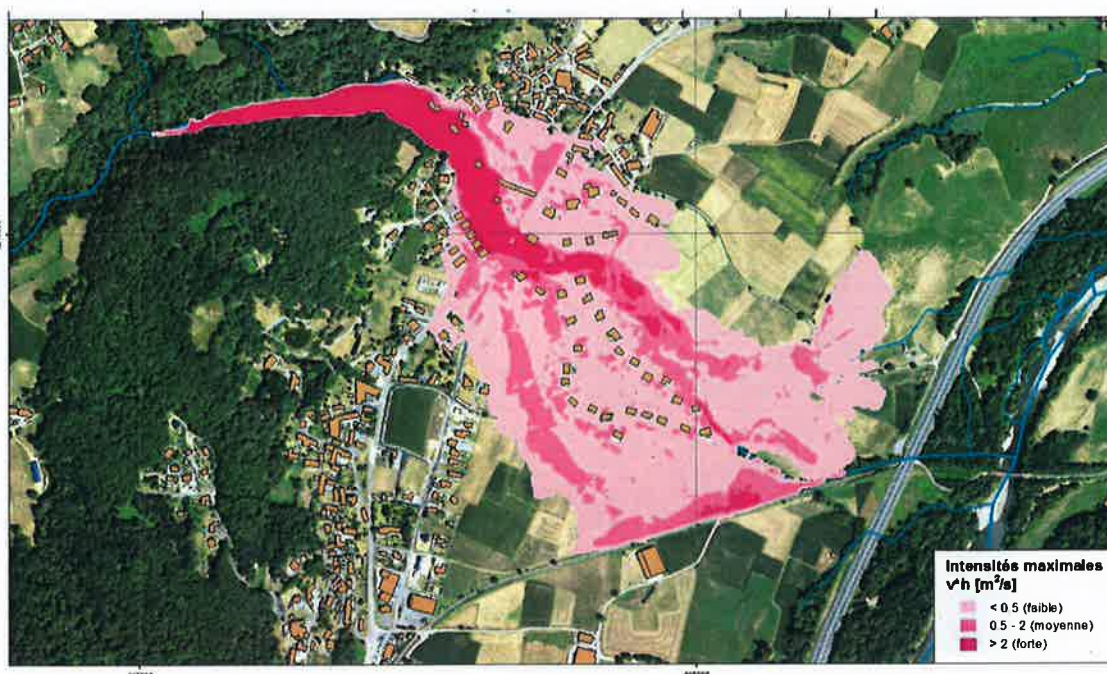


Figure 19 : Scénario  $Q_{100}$  ( $110 \text{ m}^3/\text{s}$ ) avec obstruction du pont de la RD921 – carte d'intensité d'inondation

La zone d'intensité forte, supérieure à 2, est comparable à celle du scénario avec  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  et obstruction. Son emprise est légèrement plus importante tout en amont du cône et s'étend maintenant jusqu'à environ 230 m à l'aval du pont de la rue du Bergons.

De part et d'autre du lotissement, en rives droite et gauche du cours d'eau, des secteurs d'intensité moyenne ( $v \cdot h$  compris entre 0.5 et 2) sont visibles sur la carte. Etant donné le débit de crue plus important, ils sont légèrement plus étendus que pour le scénario avec débit de pointe de  $80 \text{ m}^3/\text{s}$ . Partout ailleurs l'intensité est faible, inférieure à 0.5.

## 7.6 Scénario de lave torrentielle

Les résultats de la modélisation d'une lave torrentielle sur le Bergons sont représentés à la Figure 20 et à l'annexe 6.1, en termes de hauteurs maximales d'écoulement de lave.

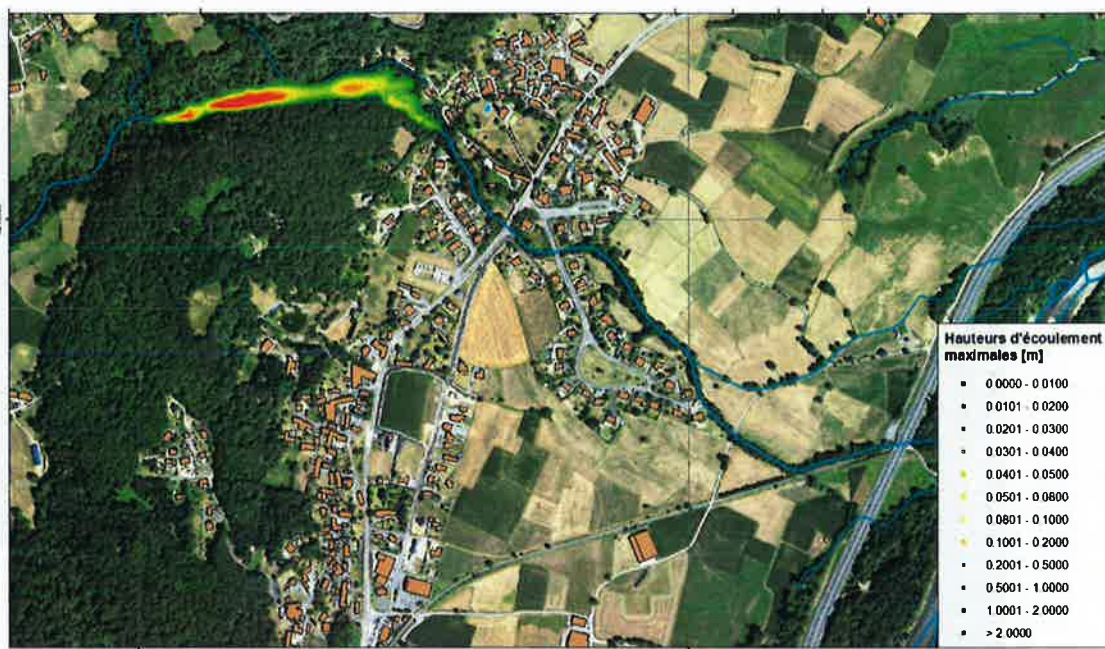


Figure 20 : Scénario de lave torrentielle sur le Bergons –  $1 \times 25'000 \text{ m}^3$ ,  $\tau_{auc} 2000 \text{ [Pa]}$

La lave reste pratiquement confinée à l'amont du cône et s'essouffle avant l'entrée dans le village, ce qui s'explique par les pentes locales et la surface d'étalement disponible sur le secteur concerné.

## 7.7 Carte d'intensité d'inondation résultante

Habituellement la carte définitive des intensités maximales résulte de la combinaison des résultats des modélisations hydrauliques avec charriage, de laves torrentielles et prise en compte du critère d'intensité fort lorsque les hauteurs d'engravement ou profondeurs d'affouillement sont supérieures à 1 m.

Dans le cas du Bergons, les cartes d'intensité produites sur la base des modélisations hydrauliques avec charriage englobent les secteurs d'intensité forte générés par la modélisation de lave torrentielles et par la prise en compte des hauteurs d'engravement et profondeurs d'affouillement supérieures à 1 m.

Les cartes d'intensité globales sont donc celles des annexes 5.4 et 5.8.

## 7.8 Carte des aléas

Sur la base des résultats des modélisations, en particulier des cartes d'intensités d'inondation, et en prenant également en compte les principes du PPR décrits au chapitre 6, des cartes d'aléas ont été produites pour le torrent du Bergons.

Les deux variantes de cartes produites se basent sur les scénarios suivants :

- $Q_{100}$  avec débit de pointe de  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  et obstruction du pont de la RD921 (§7.4)
- $Q_{100}$  avec débit de pointe de  $110 \text{ m}^3/\text{s}$  et obstruction du pont de la RD921 (§7.5)

La Figure 21 et l'annexe 7.1 présentent la carte des aléas obtenue pour le Bergons, sur la base du premier scénario avec obstruction du pont.

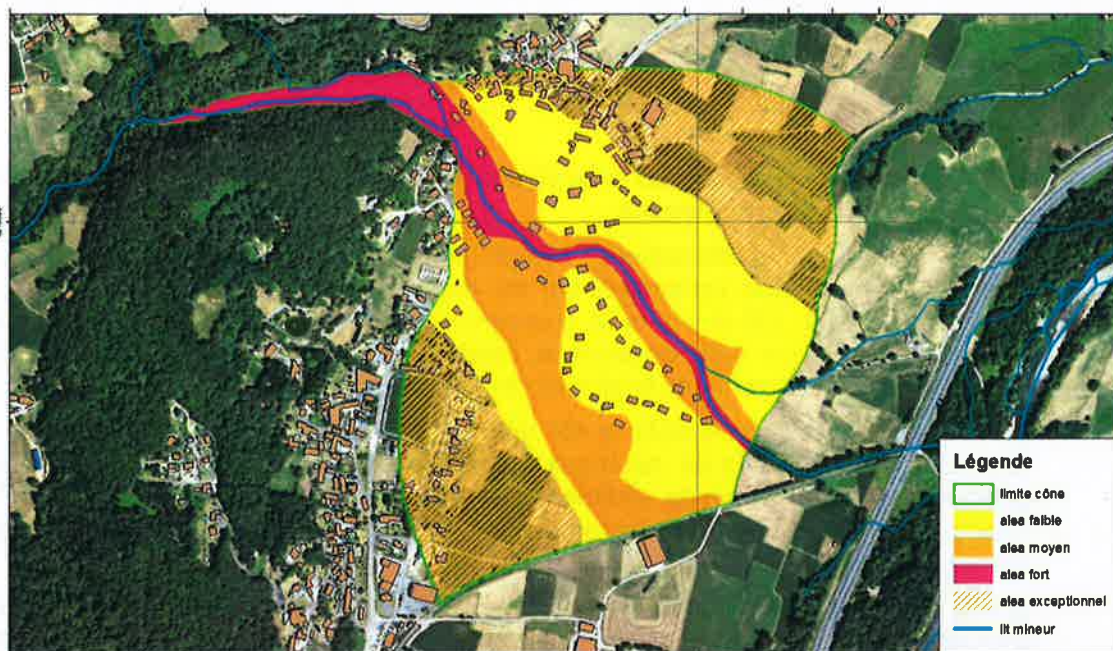


Figure 21 : Scénario  $Q_{100}$  ( $80 \text{ m}^3/\text{s}$ ) avec obstruction du pont de la RD921 – carte des aléas

La Figure 22 et l'annexe 7.2 illustrent la carte d'aléas définie sur la base des résultats de modélisation du second scénario avec obstruction du pont.

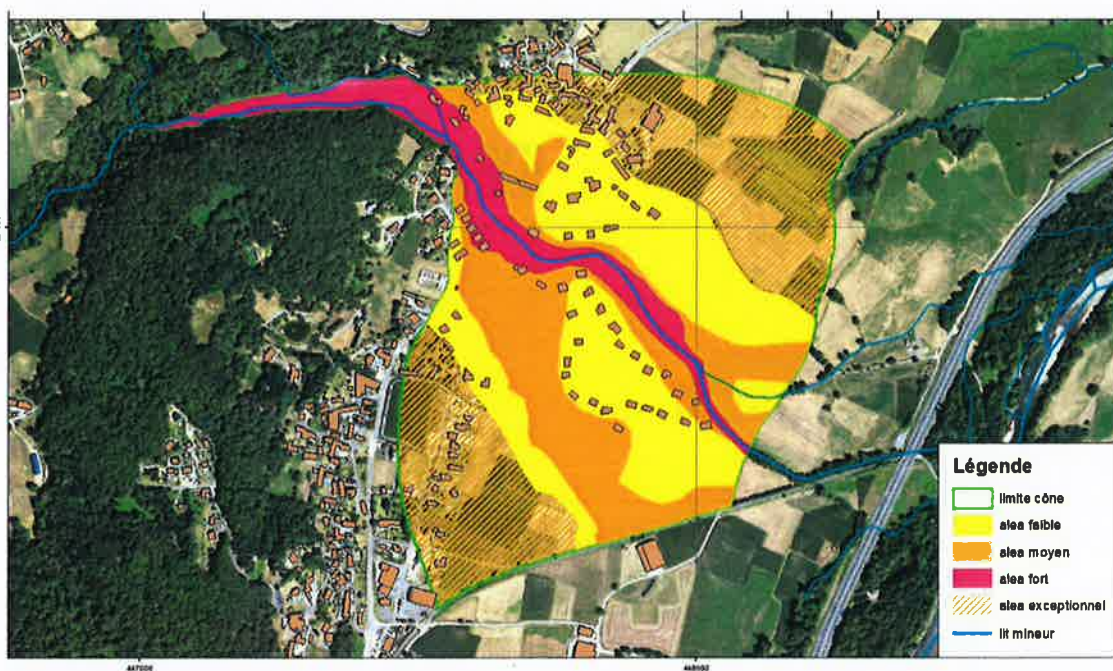


Figure 22 : Scénario  $Q_{100}$  ( $110 \text{ m}^3/\text{s}$ ) avec obstruction du pont de la RD921 – carte des aléas

Conformément aux résultats des modélisations, les aléas fort et moyen concernent des secteurs un peu plus étendus, principalement en rive gauche du Bergons, au nord de l'avenue des Pyrénées.

## 8 CONCLUSION

Des modélisations hydrauliques avec charriage et de laves torrentielles ont été mises en œuvre pour le torrent du Bergons.

Sur la base des modélisations hydrologiques complémentaires effectuées, des hydrogrammes de crue centennale ont été déterminés. Les débits de pointe des crues modélisées, de 80, 100 et 110 m<sup>3</sup>/s, couvrent la fourchette de valeurs représentatives de ce type de crue. Pour cette occurrence, l'obstruction du pont de la RD921 est probable et a été prise en compte dans la plupart des modélisations.

Un scénario de lave torrentielle a été défini sur la base du parcours de terrain et de l'estimation des volumes de matériaux potentiellement mobilisables, en considérant les différentes sources d'apports sédimentaires. Un volume centennal de 25'000 m<sup>3</sup> a été retenu. La rhéologie a été déterminée par similitude avec d'autres bassins versants alpins.

Sur la base de la combinaison des résultats des modélisations hydrauliques avec charriage et de laves torrentielles, des cartes d'aléas ont été produites pour les deux principaux scénarios, à savoir :

- Q<sub>100</sub> avec débit de pointe de 80 m<sup>3</sup>/s et obstruction du pont de la RD921
- Q<sub>100</sub> avec débit de pointe de 110 m<sup>3</sup>/s et obstruction du pont de la RD921

iDEALP

Philippe BIANCO  
Ing. Dipl. HES en Génie Civil  
Postgrade EPFL en hydrologie



Manuella BIANCO-RICCIOZ  
Ing. Dipl HES en Génie Civil



## 9 REFERENCES

- [1] Ministère de l'environnement / Construire en montagne
- [2] CACG – Plans de prévention des risques naturels prévisibles des communes de Ayzac-Ost, Agos-Vidalos, Boo-Silhen, Ger et Lugagnan – Etude des aléas inondation, crues torrentielles, mouvement de terrain. Juin 2017
- [3] Syndicat Mixte du Haut-Lavedan – Etude hydraulique du Gave de Bergons dans la traversée d'Ayzac-Ost - Rapport d'étude. Hydrétudes, novembre 2006.
- [4] Plan de prévention des risques naturels (PPR) – Risques d'inondation – Guide méthodologique. Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, Ministère de l'équipement, des transports et du logement.

## 10 ANNEXES

**COMMUNE D'AYZAC-OST - torrent du Bergons**

ÉVALUATION DES ALEAS ET MESURES DE PROTECTION CONTRE LES PHÉNOMÈNES TORRENTIELS

**TRAITEMENT TOPO LIDAR 1m**

**Géométrie 2D**

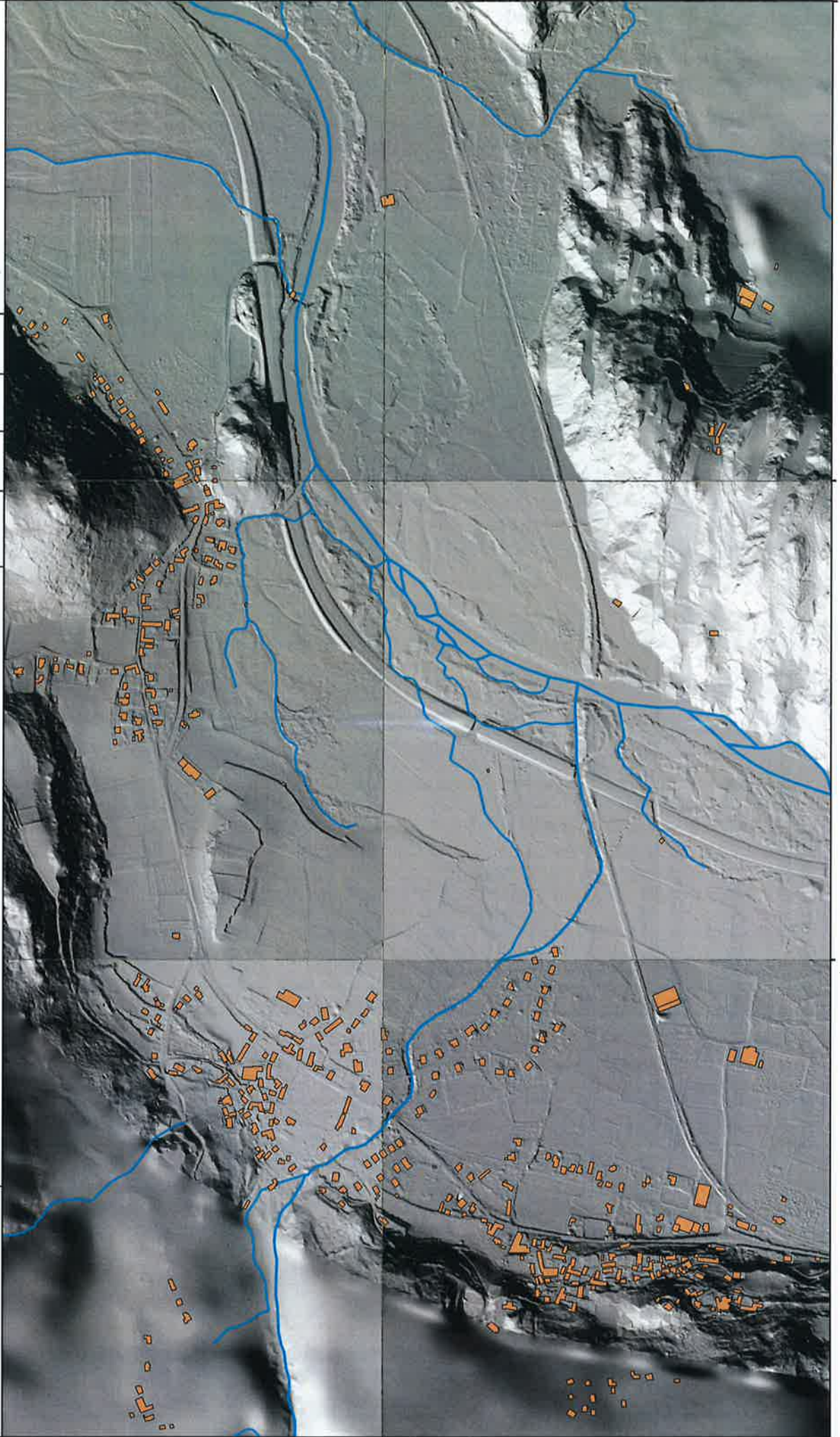


**Annexe n° 1**

Echelle	1:7 500		
Date	Format	Dessiné	Contrôle
16.05.2018	A3	MB	MB



0 200 Mètres



6220000

6219000

450000

449000

448000

6220000

6219000



# COMMUNE D'AYZAC-OST - torrent du Bergons

ÉVALUATION DES ALEAS ET MESURES DE PROTECTION CONTRE LES PHÉNOMÈNES TORRENTIELS

## TOPOFLOW 2D HYDROLOGIE

Pluie 8h T100

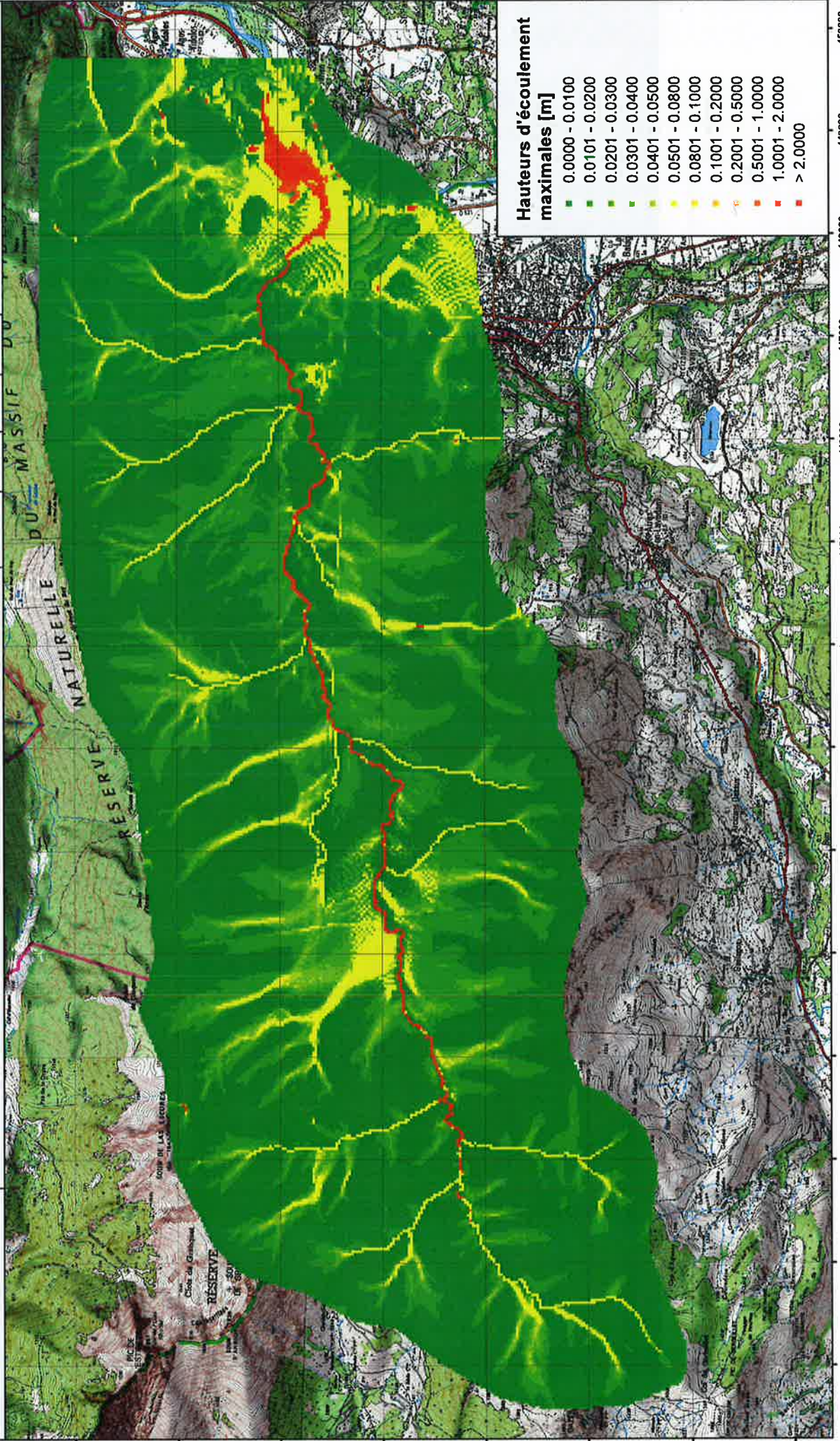
Hauteurs d'écoulement maximales

### Annexe n° 2.1

Echelle 1:35 000	
Date	12.04.2018
Format	A3
Dessiné	MB
Contrôlé	MB



0 1 000 Mètres



#### Hauteurs d'écoulement maximales [m]

- 0.0000 - 0.0100
- 0.0101 - 0.0200
- 0.0201 - 0.0300
- 0.0301 - 0.0400
- 0.0401 - 0.0500
- 0.0501 - 0.0800
- 0.0801 - 0.1000
- 0.1001 - 0.2000
- 0.2001 - 0.5000
- 0.5001 - 1.0000
- 1.0001 - 2.0000
- > 2.0000



**COMMUNE D'AYZAC-OST - torrent du Bergons**

**ÉVALUATION DES ALEAS ET MESURES DE PROTECTION CONTRE LES PHÉNOMÈNES TORRENTIELS**

**TOPOFLOW 2D HYDROLOGIE**

**Pluie 8h T100**

**Hauteurs d'écoulement maximales - nappe**

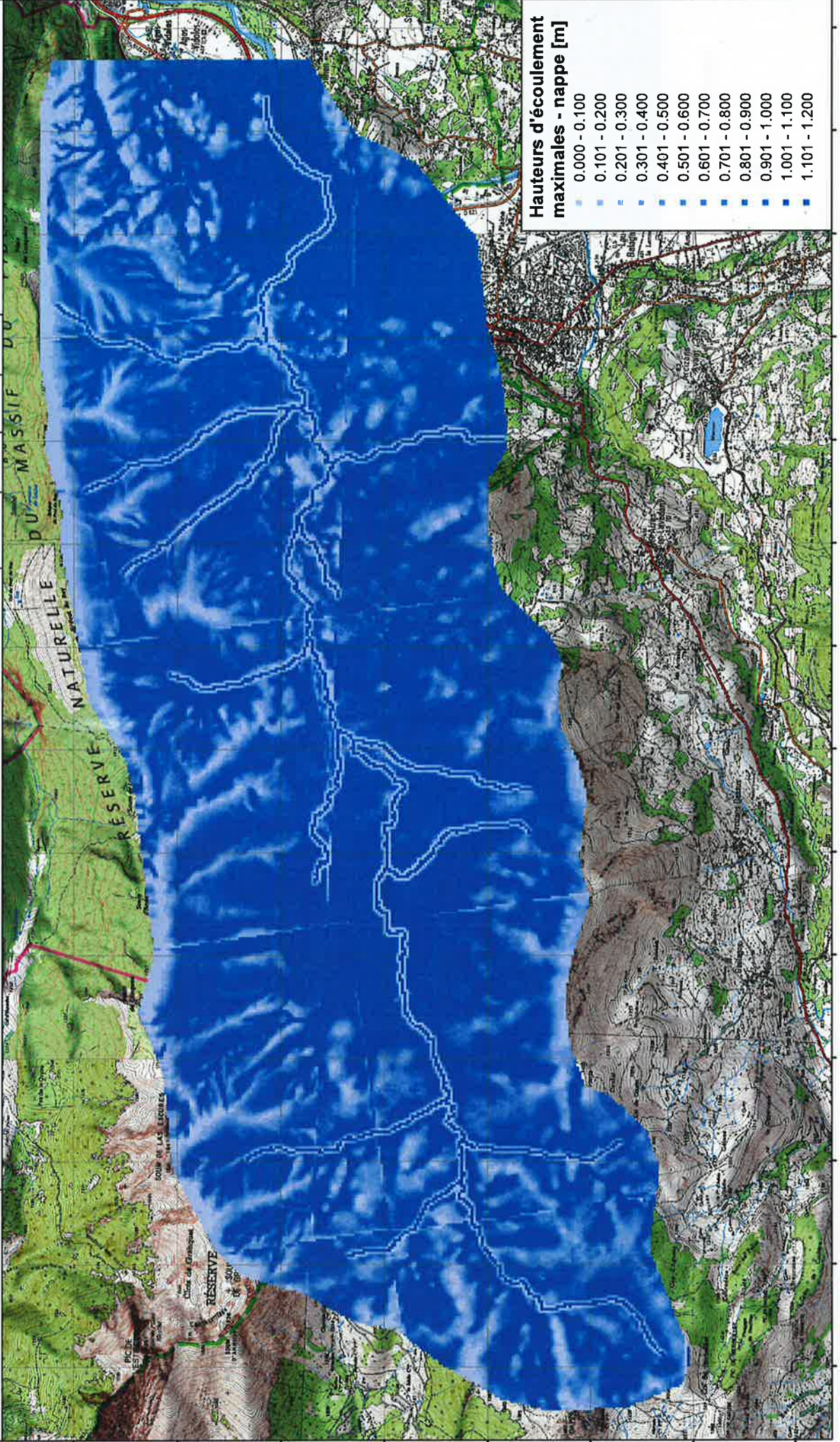
**Annexe n° 2.2**

Echelle 1:35 000

Date	Format	Dessiné	Contrôlé
12.04.2018	A3	MB	MB



0 1 000 Mètres



**Hauteurs d'écoulement maximales - nappe [m]**

- 0.000 - 0.100
- 0.101 - 0.200
- 0.201 - 0.300
- 0.301 - 0.400
- 0.401 - 0.500
- 0.501 - 0.600
- 0.601 - 0.700
- 0.701 - 0.800
- 0.801 - 0.900
- 0.901 - 1.000
- 1.001 - 1.100
- 1.101 - 1.200

6223000 6222000 6221000 6220000 6219000 6218000 6217000 6216000 6215000 6214000

6223000 6222000 6221000 6220000 6219000 6218000 6217000 6216000 6215000 6214000

437000 438000 439000 440000 441000 442000 443000 444000 445000 446000 447000 448000 449000 450000

COMMUNE D'AYZAC-OST - torrent du Bergons

ÉVALUATION DES ALEAS ET MESURES DE PROTECTION CONTRE LES PHÉNOMÈNES TORRENTIELS

### Annexe n° 3.1

**TOPOFLOW 2D HYDRAULIQUE ET CHARRIAGE**

Crue  $Q_{100}$  (pointe de crue  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ )

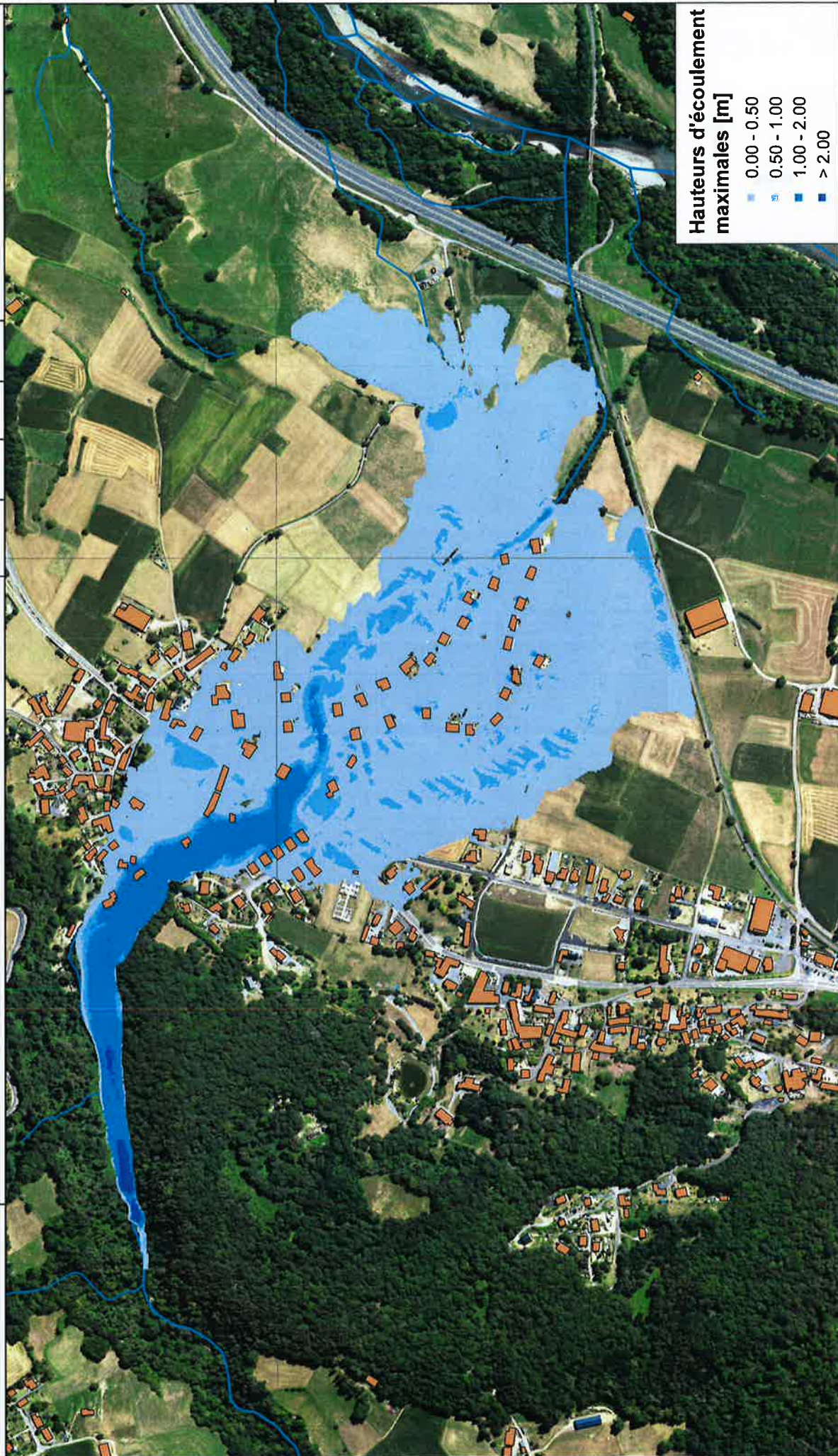
Hauteurs maximales d'écoulement [m]

Echelle 1:5 000

Date	Format	Dessiné	Contrôlé
15.03.2018	A3	MB	MB



0 200 Mètres



**Hauteurs d'écoulement maximales [m]**

- 0.00 - 0.50
- 0.50 - 1.00
- 1.00 - 2.00
- > 2.00

COMMUNE D'AYZAC-OST - torrent du Bergons

ÉVALUATION DES ALEAS ET MESURES DE PROTECTION CONTRE LES PHÉNOMÈNES TORRENTIELS

### Annexe n° 3.2

Echelle 1:5 000			
Date	Format	Dessiné	Contrôlé
15.03.2018	A3	MB	MB

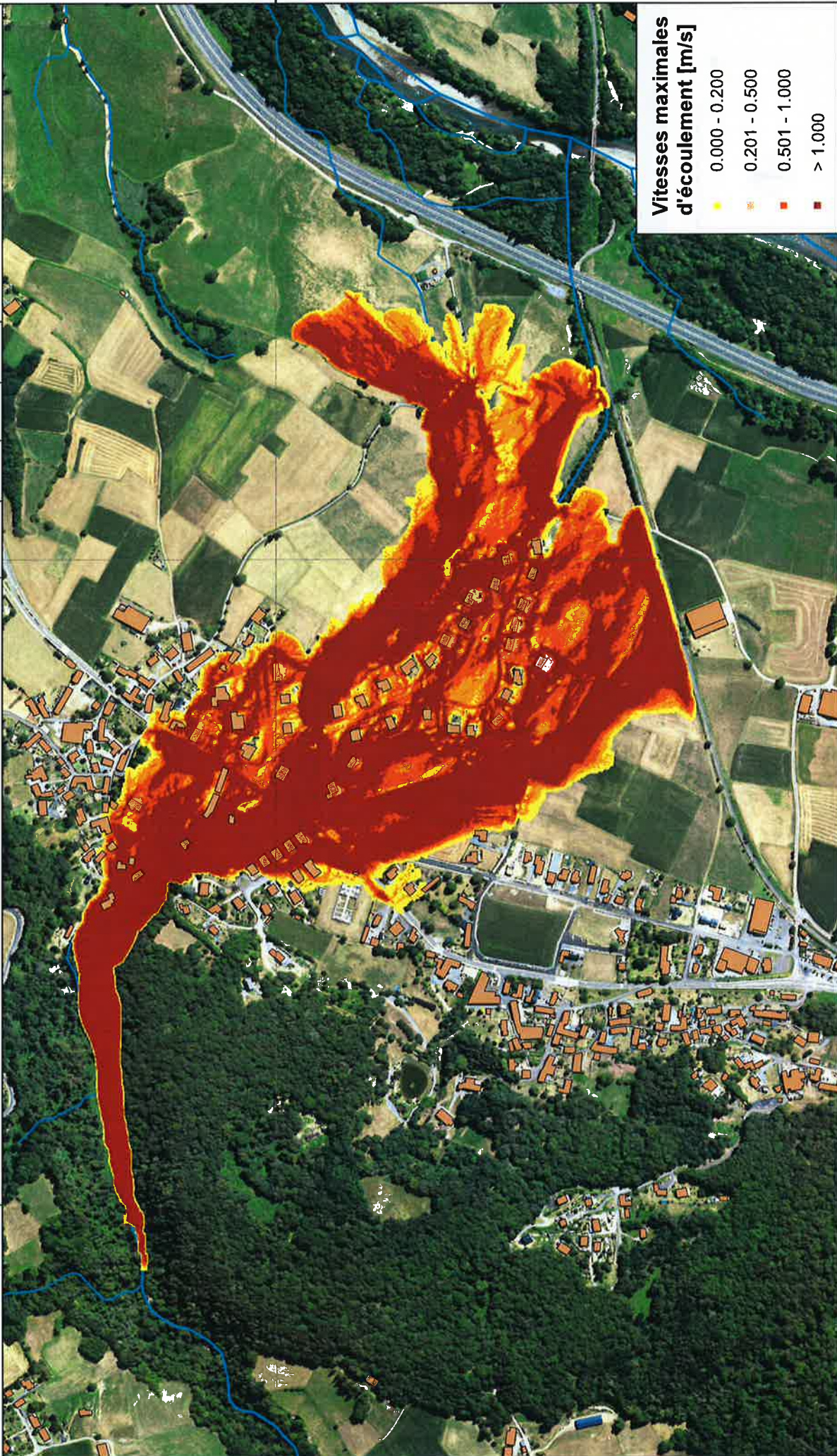
## TOPOFLOW 2D HYDRAULIQUE ET CHARRIAGE

Crue Q<sub>100</sub> (pointe 100 m<sup>3</sup> /s)

Vitesses maximales d'écoulement [m/s]



0 200 Mètres



COMMUNE D'AYZAC-OST - torrent du Bergons

ÉVALUATION DES ALEAS ET MESURES DE PROTECTION CONTRE LES PHÉNOMÈNES TORRENTIELS

### Annexe n° 3.3

Echelle 1:5 000		Contrôle	
Date	Format	Dessiné	MB
15.03.2018	A3	MB	MB

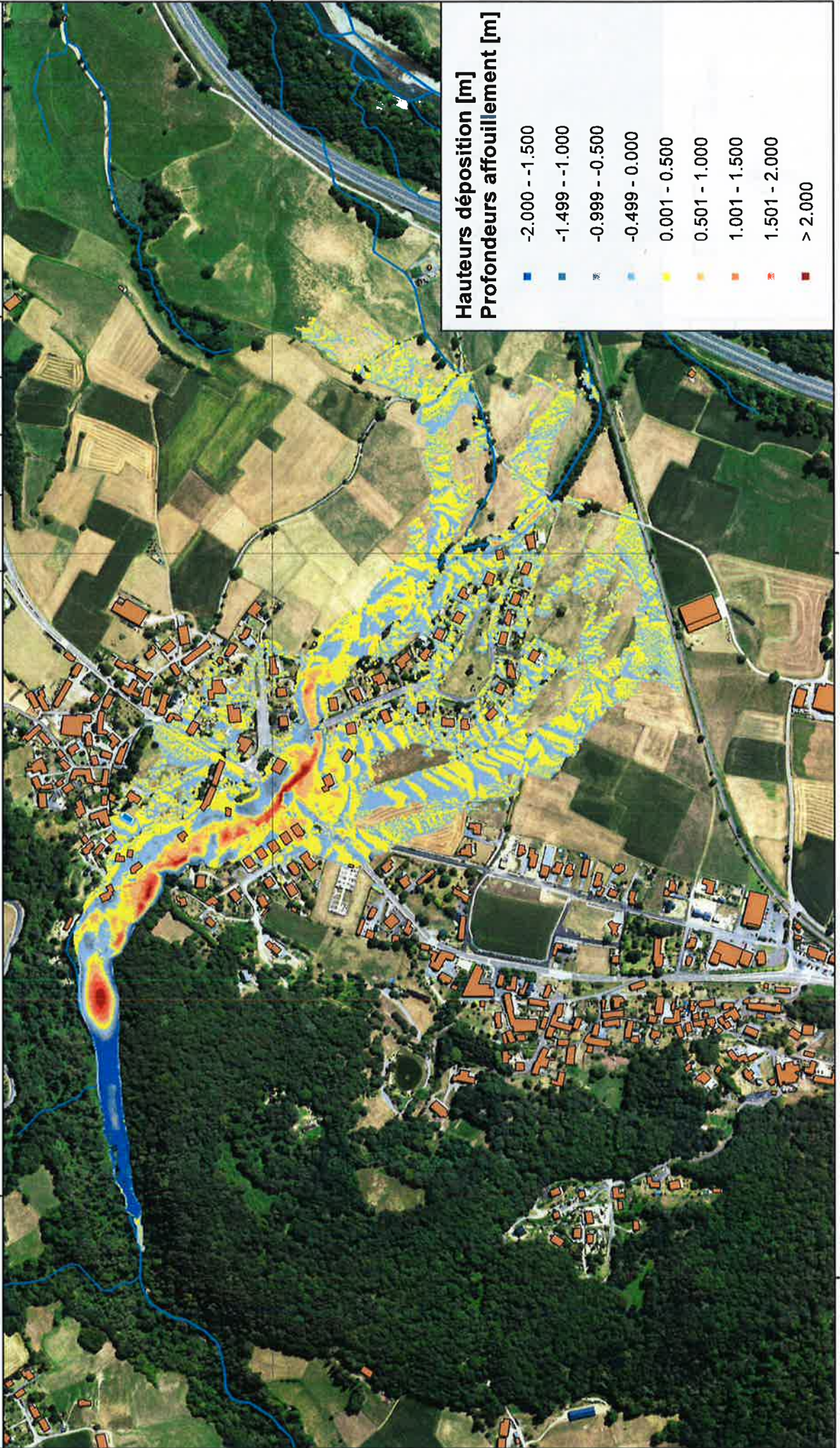
## TOPOFLOW 2D HYDRAULIQUE ET CHARRIAGE

Crue  $Q_{100}$  (pointe  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ )

Hauteurs de déposition / profondeurs d'affouillement [m]



0 200 Mètres



### Hauteurs déposition [m] Profondeurs affouillement [m]

- 2.000 - -1.500
- 1.499 - -1.000
- 0.999 - -0.500
- 0.499 - 0.000
- 0.001 - 0.500
- 0.501 - 1.000
- 1.001 - 1.500
- 1.501 - 2.000
- > 2.000



COMMUNE D'AYZAC-OST - torrent du Bergons

ÉVALUATION DES ALEAS ET MESURES DE PROTECTION CONTRE LES PHÉNOMÈNES TORRENTIELS

### Annexe n° 3.4

Echelle 1:5 000			
Date	Format	Dessiné	Contrôlé
15.03.2018	A3	MB	MB

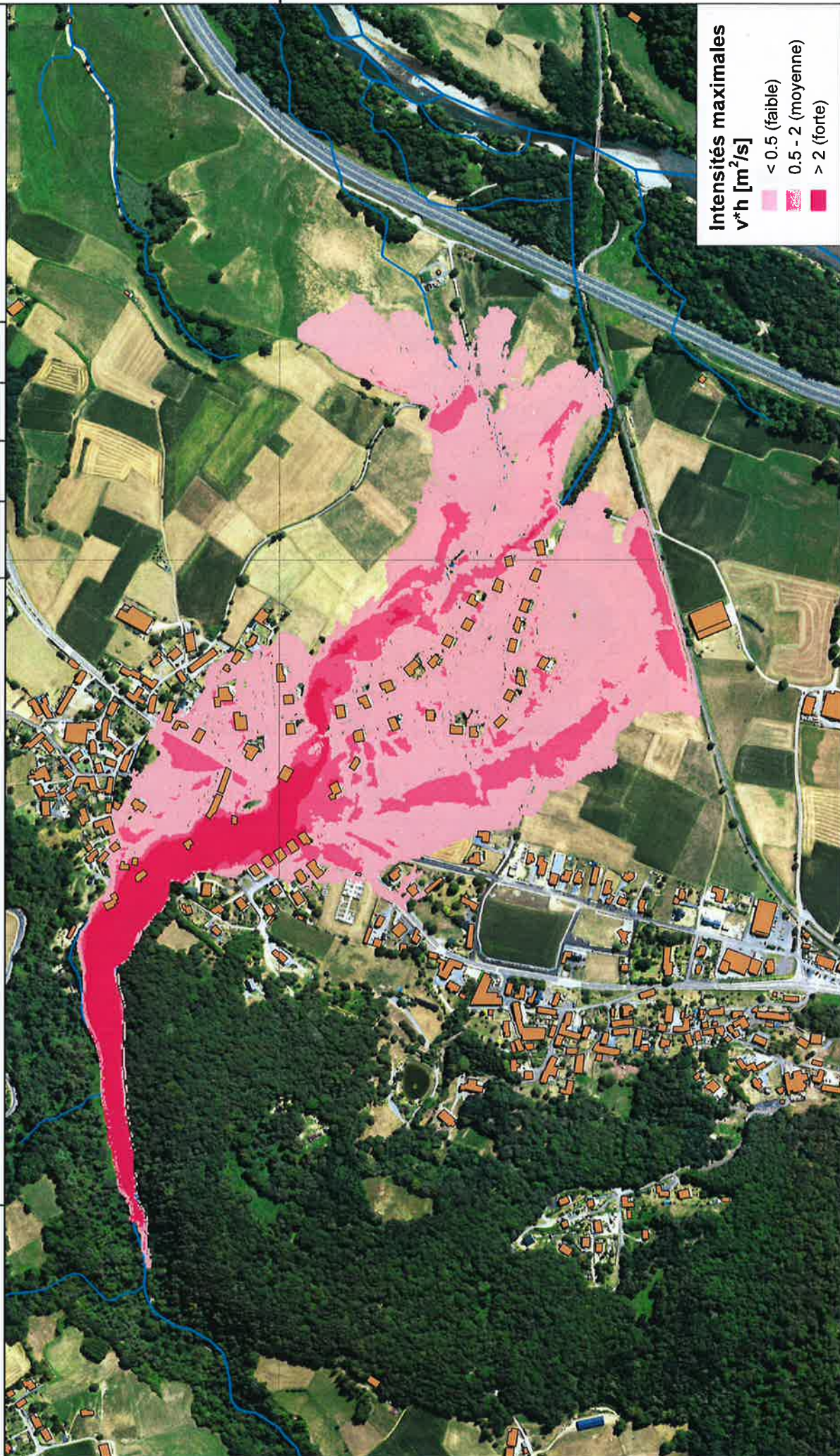
### TOPOFLOW 2D HYDRAULIQUE ET CHARRIAGE

Crue Q<sub>100</sub> (pointe de crue 100 m<sup>3</sup>/s)

Calcul d'intensité d'inondation v\*h [m<sup>2</sup>/s]



0 200 Mètres



**Intensités maximales v\*h [m<sup>2</sup>/s]**

- < 0.5 (faible)
- 0.5 - 2 (moyenne)
- > 2 (forte)

COMMUNE D'AYZAC-OST - torrent du Bergons

ÉVALUATION DES ALEAS ET MESURES DE PROTECTION CONTRE LES PHÉNOMÈNES TORRENTIELS

Annexe n° 4.1

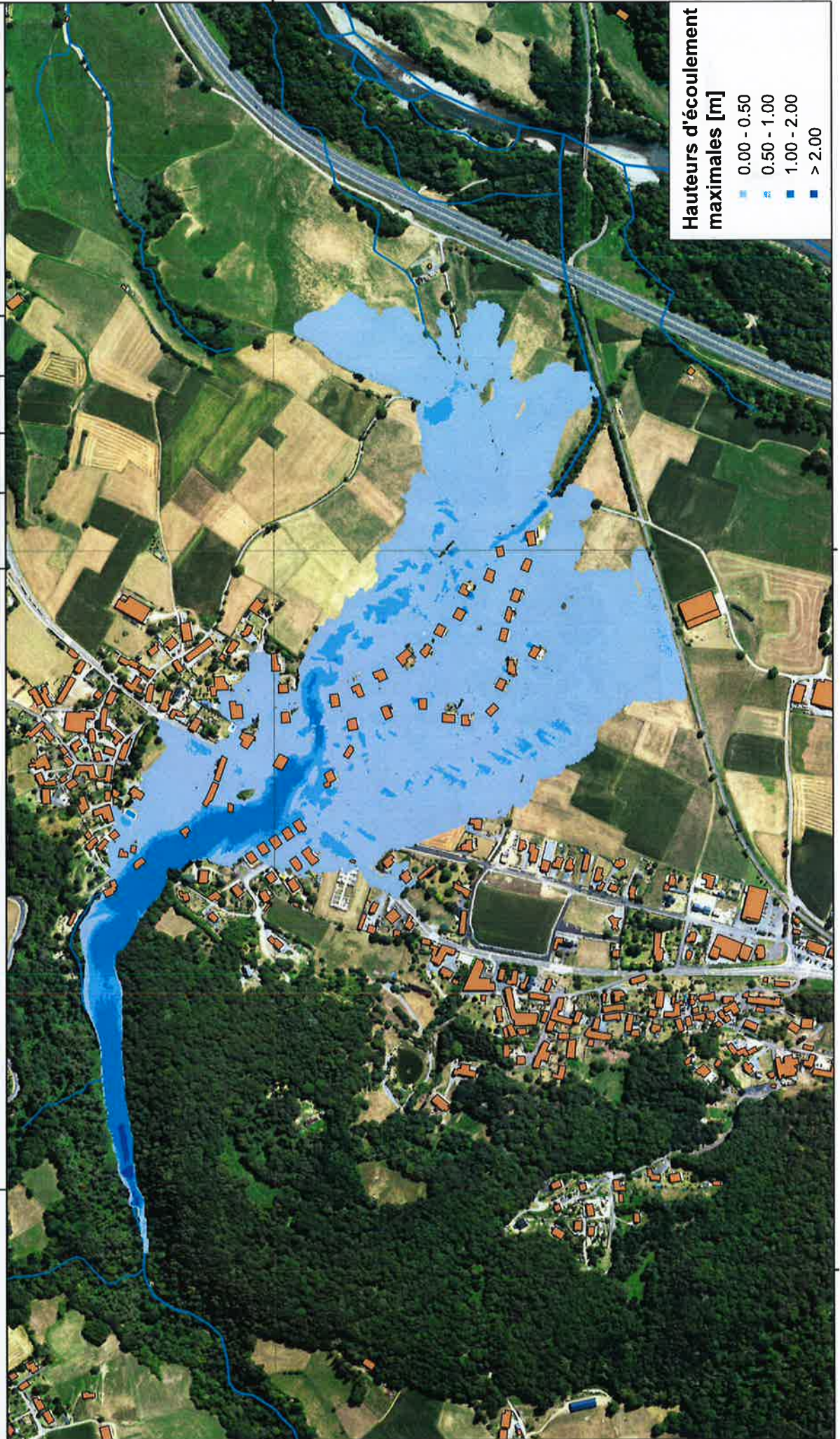
Echelle 1:5 000

Date	Format	Dessiné	Contrôlé
03.04.2018	A3	MB	MB

TOPOFLOW 2D HYDRAULIQUE ET CHARRIAGE

Crue Q<sub>100</sub> (pointe de crue 80 m<sup>3</sup>/s)

Hauteurs maximales d'écoulement [m]



**Hauteurs d'écoulement maximales [m]**

- 0.00 - 0.50
- 0.50 - 1.00
- 1.00 - 2.00
- > 2.00

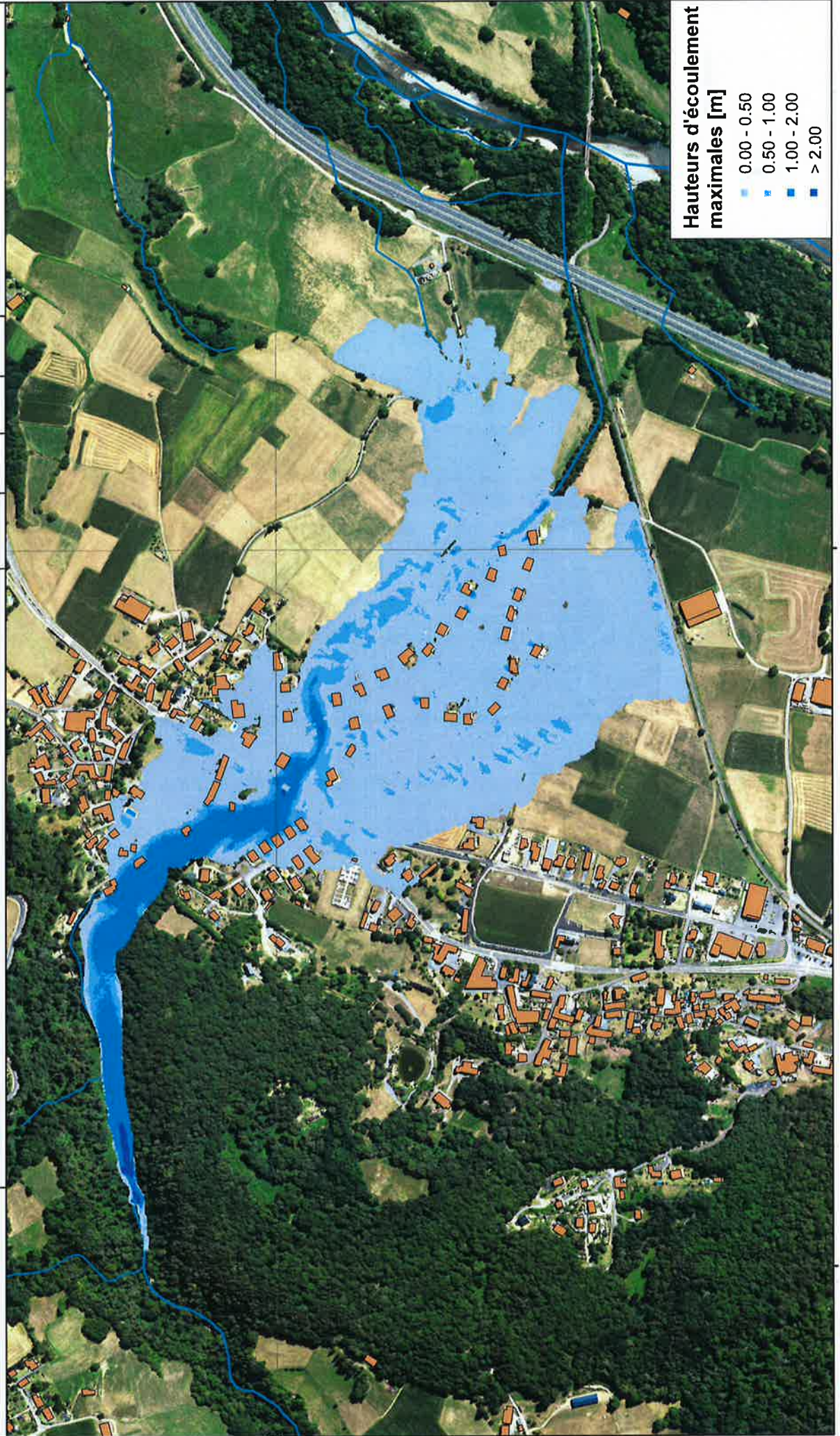
COMMUNE D'AYZAC-OST - torrent du Bergons

ÉVALUATION DES ALEAS ET MESURES DE PROTECTION CONTRE LES PHENOMENES TORRENTIELS

### Annexe n° 5.1

Echelle 1:5 000		Contrôle	
Date	Format	Dessiné	MB
16.04.2018	A3	MB	MB


**TOPOFLOW 2D HYDRAULIQUE ET CHARRIAGE**  
**Crue Q<sub>100</sub> (pointe de crue 80 m<sup>3</sup>/s) - obstruction du pont D921**  
**Hauteurs maximales d'écoulement [m]**



**Hauteurs d'écoulement maximales [m]**

- 0.00 - 0.50
- 0.50 - 1.00
- 1.00 - 2.00
- > 2.00

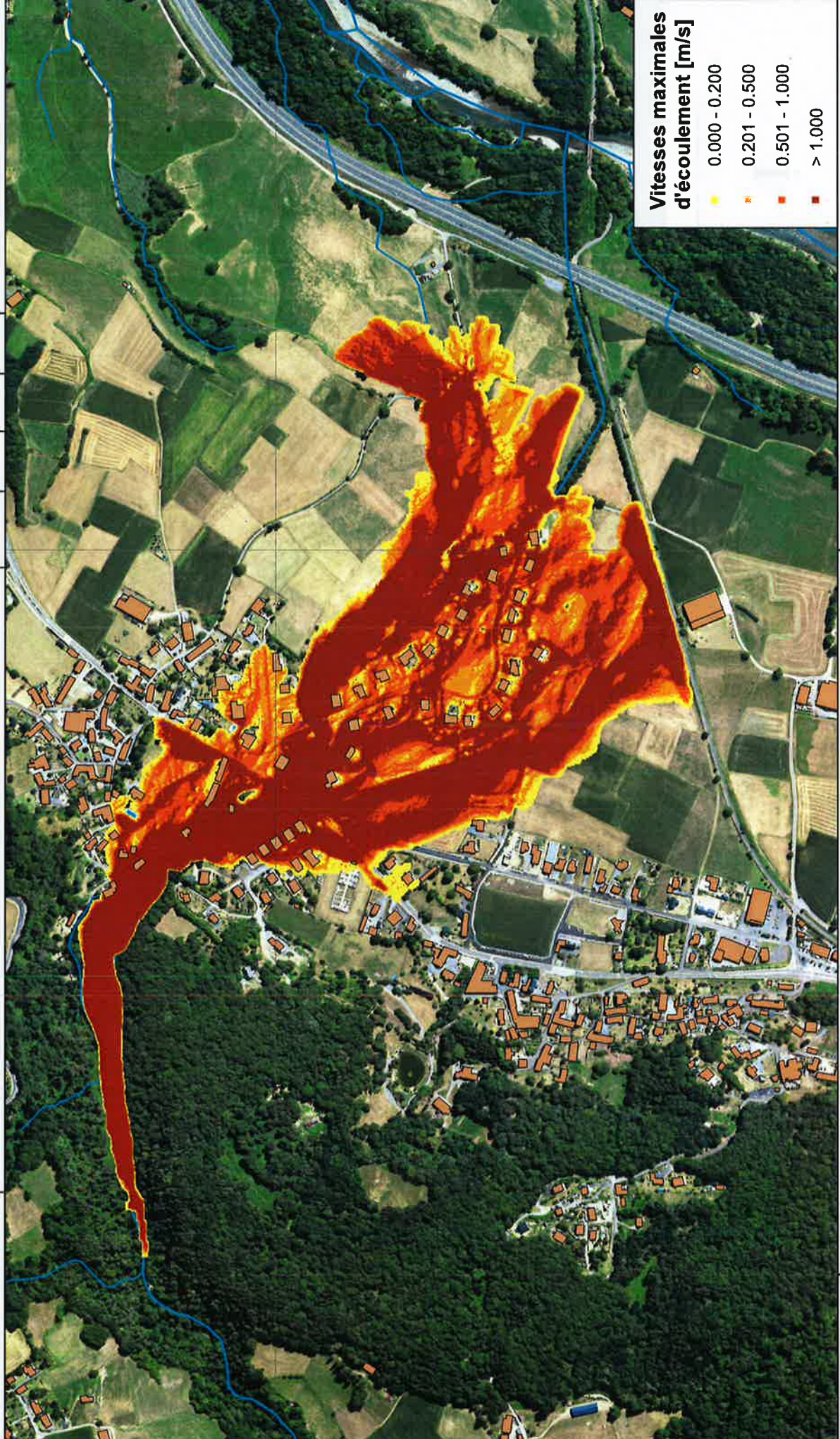




**COMMUNE D'AYZAC-OST - torrent du Bergons**  
ÉVALUATION DES ALEAS ET MESURES DE PROTECTION CONTRE LES PHENOMENES TORRENTIELS

**Annexe n° 5.2**

Echelle 1:5 000		
Date	Format	Dessiné
16.04.2018	A3	MB
		Contrôlé
		MB



**Vitesses maximales d'écoulement [m/s]**

■	0.000 - 0.200
■	0.201 - 0.500
■	0.501 - 1.000
■	> 1.000

COMMUNE D'AYZAC-OST - torrent du Bergons

ÉVALUATION DES ALEAS ET MESURES DE PROTECTION CONTRE LES PHÉNOMÈNES TORRENTIELS

### Annexe n° 5.3

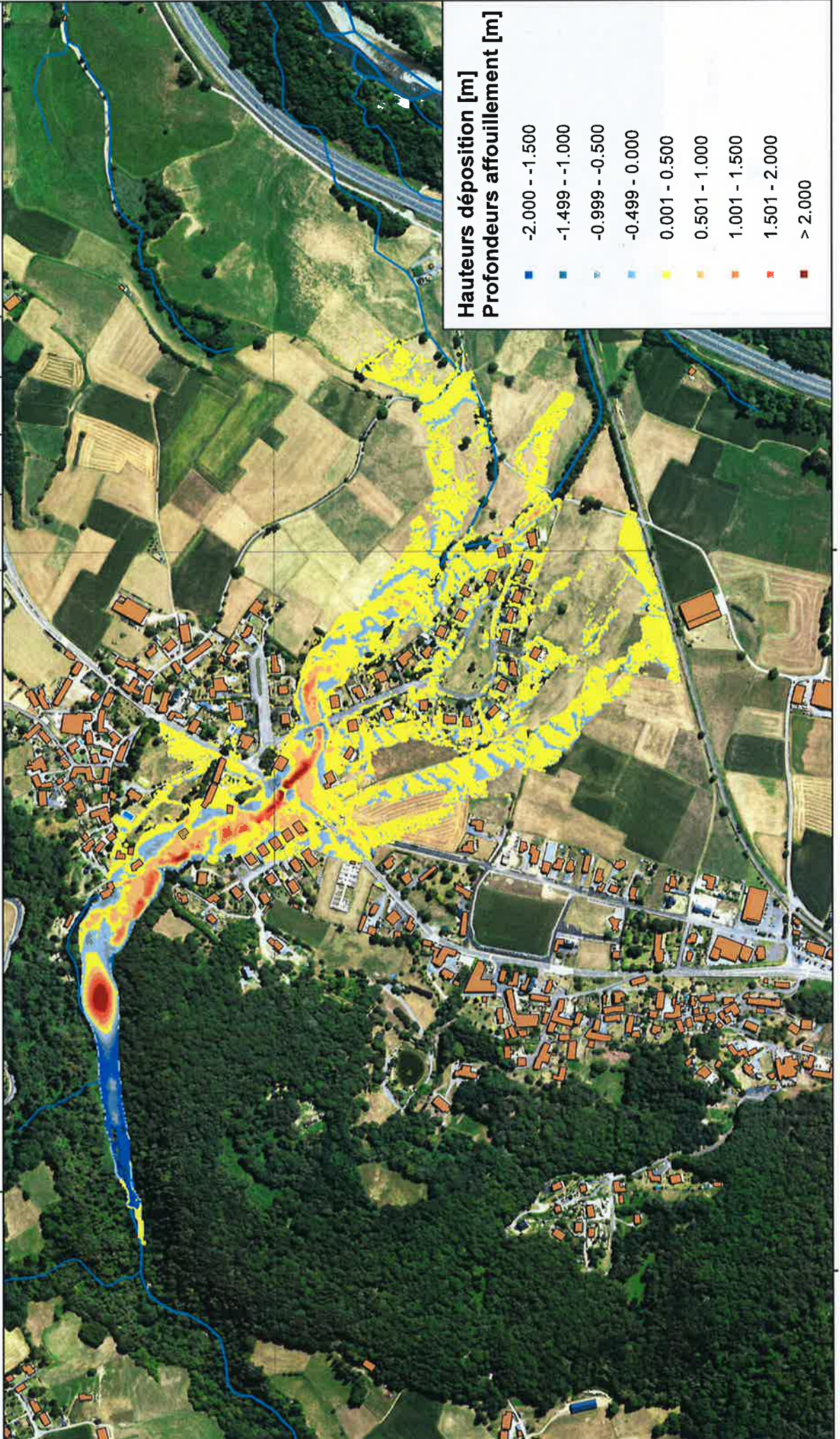
Echelle 1:5 000		Contrôle	
Date	Format	Dessiné	MB
16.04.2018	A3	MB	MB

### TOPOFLOW 2D HYDRAULIQUE ET CHARRIAGE

Crue  $Q_{100}$  (pointe de crue  $80 \text{ m}^3/\text{s}$ ) - obstruction du pont D921  
Hauteurs de déposition / profondeurs d'affouillement [m]



0 200 Mètres



#### Hauteurs déposition [m] Profondeurs affouillement [m]

- -2.000 - -1.500
- -1.499 - -1.000
- -0.999 - -0.500
- -0.499 - 0.000
- 0.001 - 0.500
- 0.501 - 1.000
- 1.001 - 1.500
- 1.501 - 2.000
- > 2.000

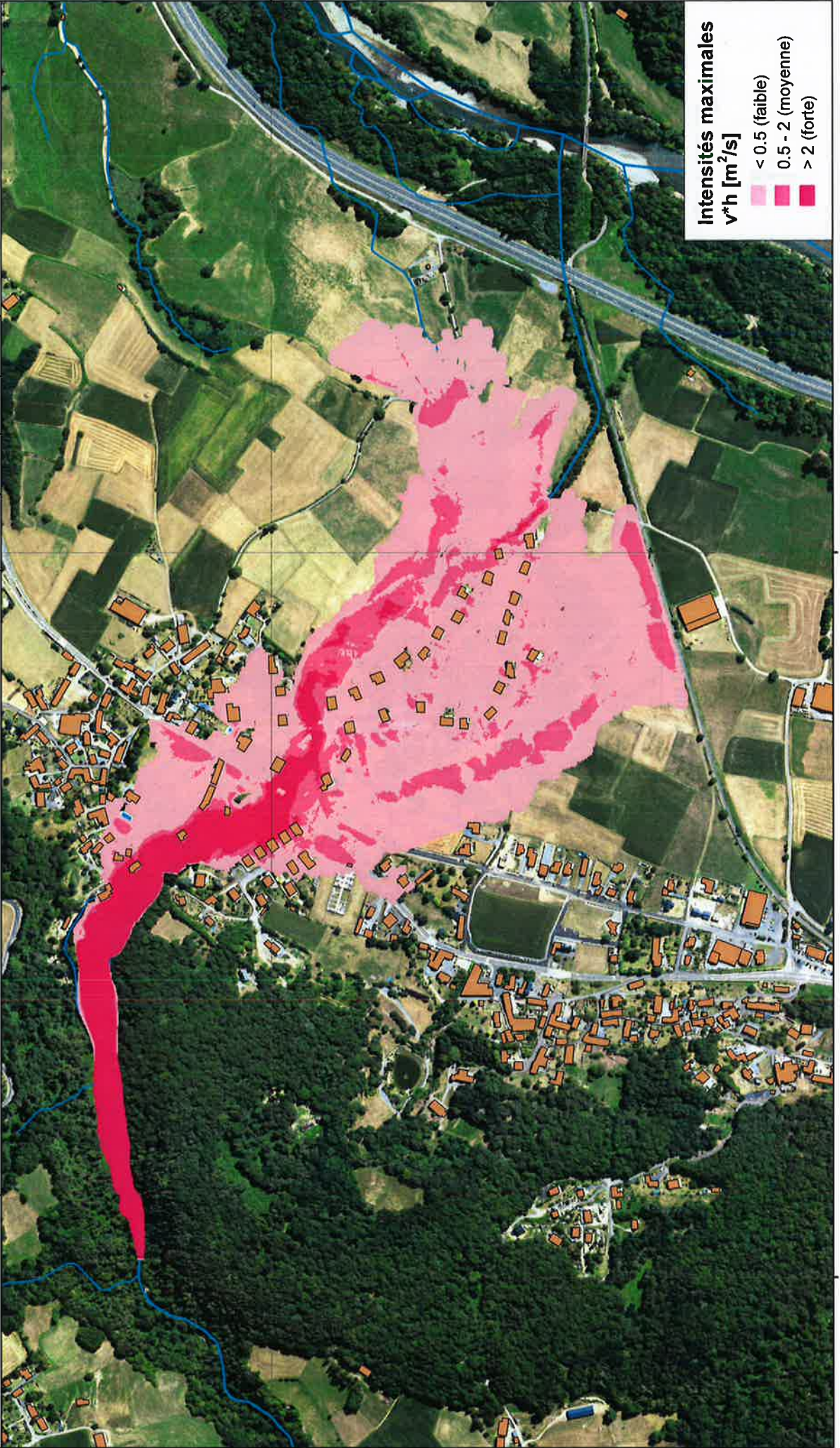




**COMMUNE D'AYZAC-OST - torrent du Bergons**  
 ÉVALUATION DES ALEAS ET MESURES DE PROTECTION CONTRE LES PHENOMENES TORRENTIELS

**Annexe n° 5.4**

Echelle 1:5 000		Contrôle	
Date	Format	Dessiné	MB
16.04.2018	A3	MB	MB



**Intensités maximales**  
 $v \cdot h$  [ $m^2/s$ ]

	< 0.5 (faible)
	0.5 - 2 (moyenne)
	> 2 (forte)

COMMUNE D'AYZAC-OST - torrent du Bergons

ÉVALUATION DES ALEAS ET MESURES DE PROTECTION CONTRE LES PHÉNOMÈNES TORRENTIELS

### Annexe n° 5.5

Echelle 1:5 000			
Date	Format	Dessiné	Contrôlé
18.05.2018	A3	MB	MB

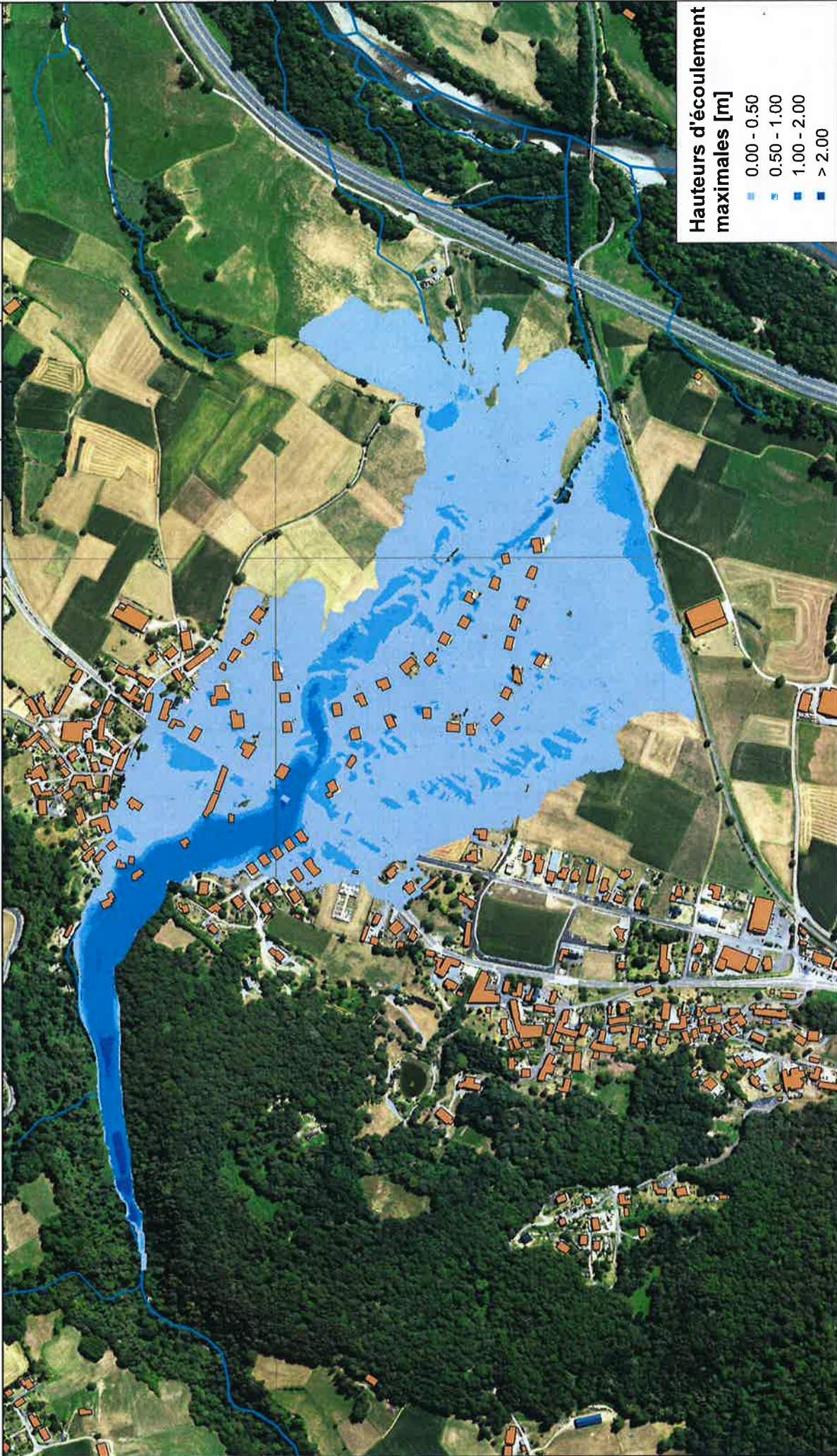
### TOPOFLOW 2D HYDRAULIQUE ET CHARRIAGE

Crue  $Q_{100}$  (pointe de crue  $110 \text{ m}^3/\text{s}$ ) - obstruction du pont D921

Hauteurs maximales d'écoulement [m]



0 200 Mètres



Hauteurs d'écoulement maximales [m]

- 0.00 - 0.50
- 0.50 - 1.00
- 1.00 - 2.00
- > 2.00

COMMUNE D'AYZAC-OST - torrent du Bergons

ÉVALUATION DES ALEAS ET MESURES DE PROTECTION CONTRE LES PHENOMENES TORRENTIELS

### Annexe n° 5.6

Echelle 1:5 000	
Date	18.05.2018
Format	A3
Dessiné	MB
Contrôlé	MB

### TOPOFLOW 2D HYDRAULIQUE ET CHARRIAGE

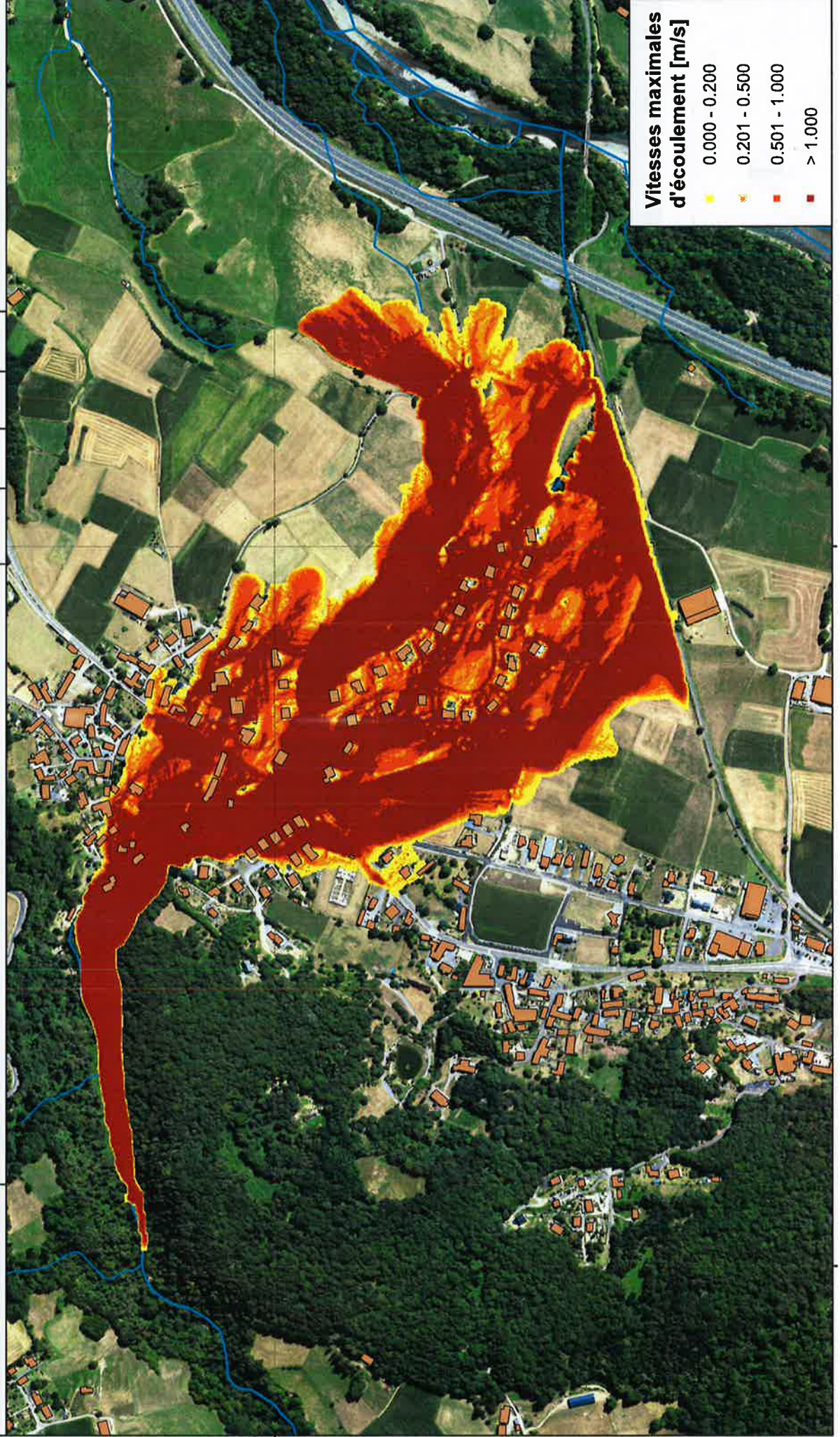
Crue Q<sub>100</sub> (pointe de crue 110 m<sup>3</sup>/s) - obstruction du pont D921

Vitesses maximales d'écoulement [m/s]



**Vitesses maximales d'écoulement [m/s]**

- 0.000 - 0.200
- 0.201 - 0.500
- 0.501 - 1.000
- > 1.000



COMMUNE D'AYZAC-OST - torrent du Bergons

ÉVALUATION DES ALEAS ET MESURES DE PROTECTION CONTRE LES PHÉNOMÈNES TORRENTIELS

### Annexe n° 5.7

Echelle 1:5 000	
Date	Contrôle
16.05.2018	MB
Format	Dessiné
A3	MB

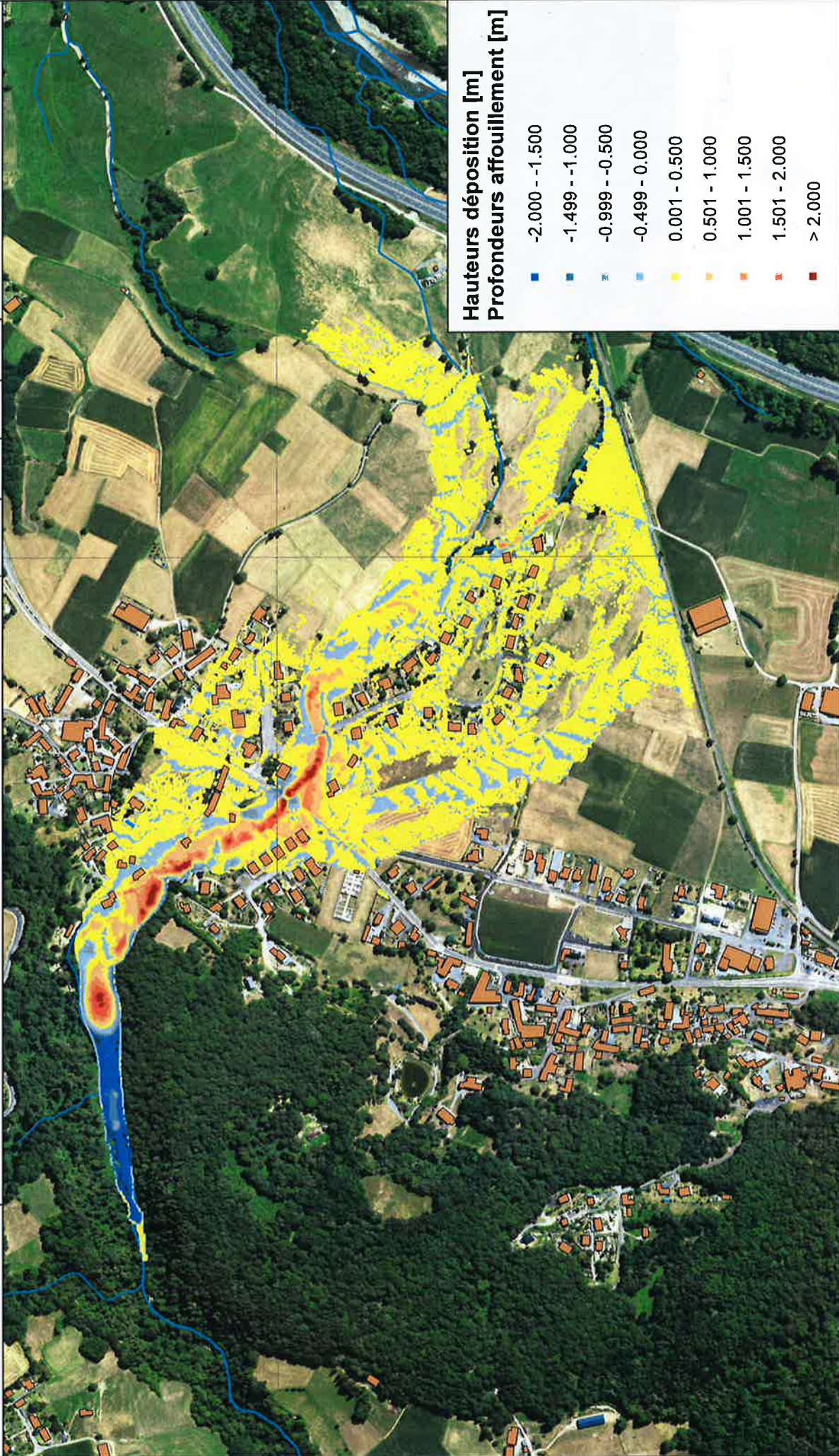
### TOPOFLOW 2D HYDRAULIQUE ET CHARRIAGE

Crue Q<sub>100</sub> (pointe de crue 110 m<sup>3</sup>/s) - obstruction du pont D921

Hauteurs de déposition / profondeurs d'affouillement [m]



0 200 Mètres



### Hauteurs déposition [m] Profondeurs affouillement [m]

- -2.000 - -1.500
- -1.499 - -1.000
- -0.999 - -0.500
- -0.499 - 0.000
- 0.001 - 0.500
- 0.501 - 1.000
- 1.001 - 1.500
- 1.501 - 2.000
- > 2.000

COMMUNE D'AYZAC-OST - torrent du Bergons

ÉVALUATION DES ALEAS ET MESURES DE PROTECTION CONTRE LES PHÉNOMÈNES TORRENTIELS

### Annexe n° 5.8

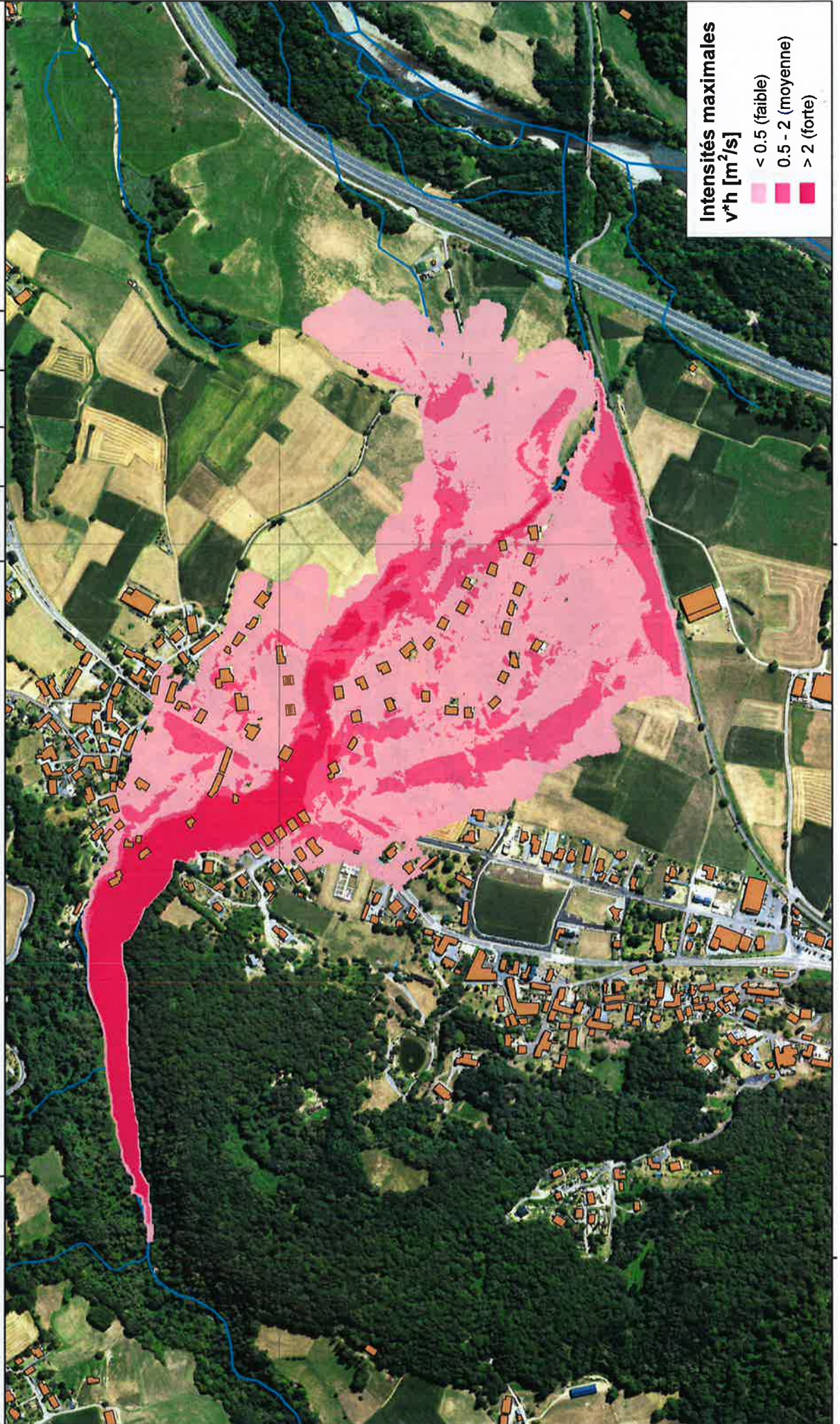
Echelle 1:5 000

Date	Format	Dessiné	Contrôlé
18.05.2018	A3	MB	MB

### TOPOFLOW 2D HYDRAULIQUE ET CHARRIAGE

Crue Q<sub>100</sub> (pointe de crue 110 m<sup>3</sup>/s) - obstruction du pont D921

Calcul d'intensité d'inondation v\*h [m<sup>2</sup>/s]



**Intensités maximales v\*h [m<sup>2</sup>/s]**

- < 0.5 (faible)
- 0.5 - 2 (moyenne)
- > 2 (forte)

COMMUNE D'AYZAC-OST - torrent du Bergons

ÉVALUATION DES ALEAS ET MESURES DE PROTECTION CONTRE LES PHÉNOMÈNES TORRENTIELS

# Annexe n° 6.1

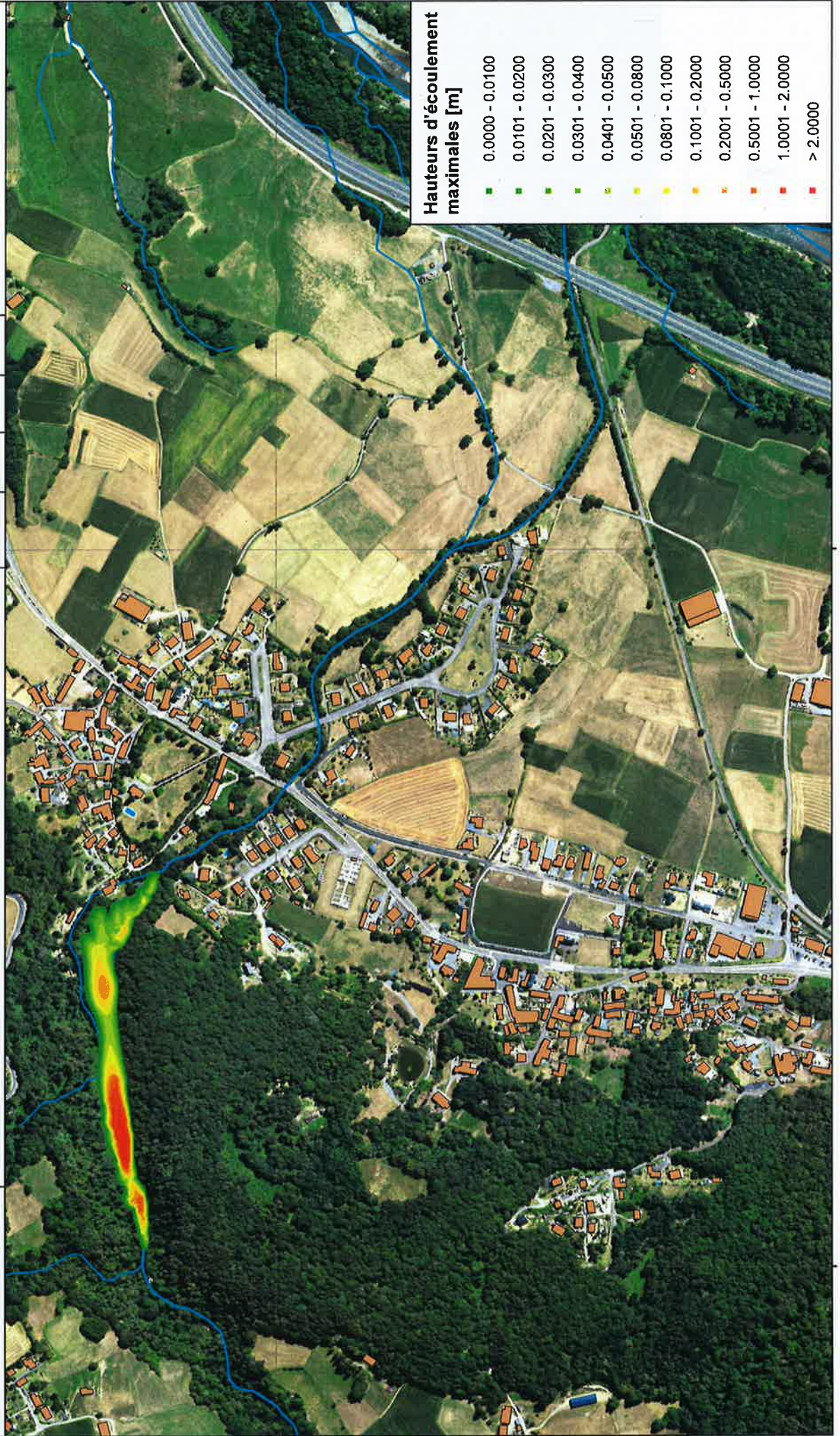
Echelle 1:5 000

Date	Format	Dessiné	Contrôlé
20.03.2018	A3	MB	MB

## TOPOFLOW 2D LAVES TORRENTIELLES

Scénario 1x25'000 m<sup>3</sup>

Tc 2000 Pa



### Hauteurs d'écoulement maximales [m]

- 0.0000 - 0.0100
- 0.0101 - 0.0200
- 0.0201 - 0.0300
- 0.0301 - 0.0400
- 0.0401 - 0.0500
- 0.0501 - 0.0800
- 0.0801 - 0.1000
- 0.1001 - 0.2000
- 0.2001 - 0.5000
- 0.5001 - 1.0000
- 1.0001 - 2.0000
- > 2.0000

COMMUNE D'AYZAC-OST

ÉVALUATION DES ALEAS ET MESURES DE PROTECTION CONTRE LES PHÉNOMÈNES TORRENTIELS

### Annexe n° 7.1

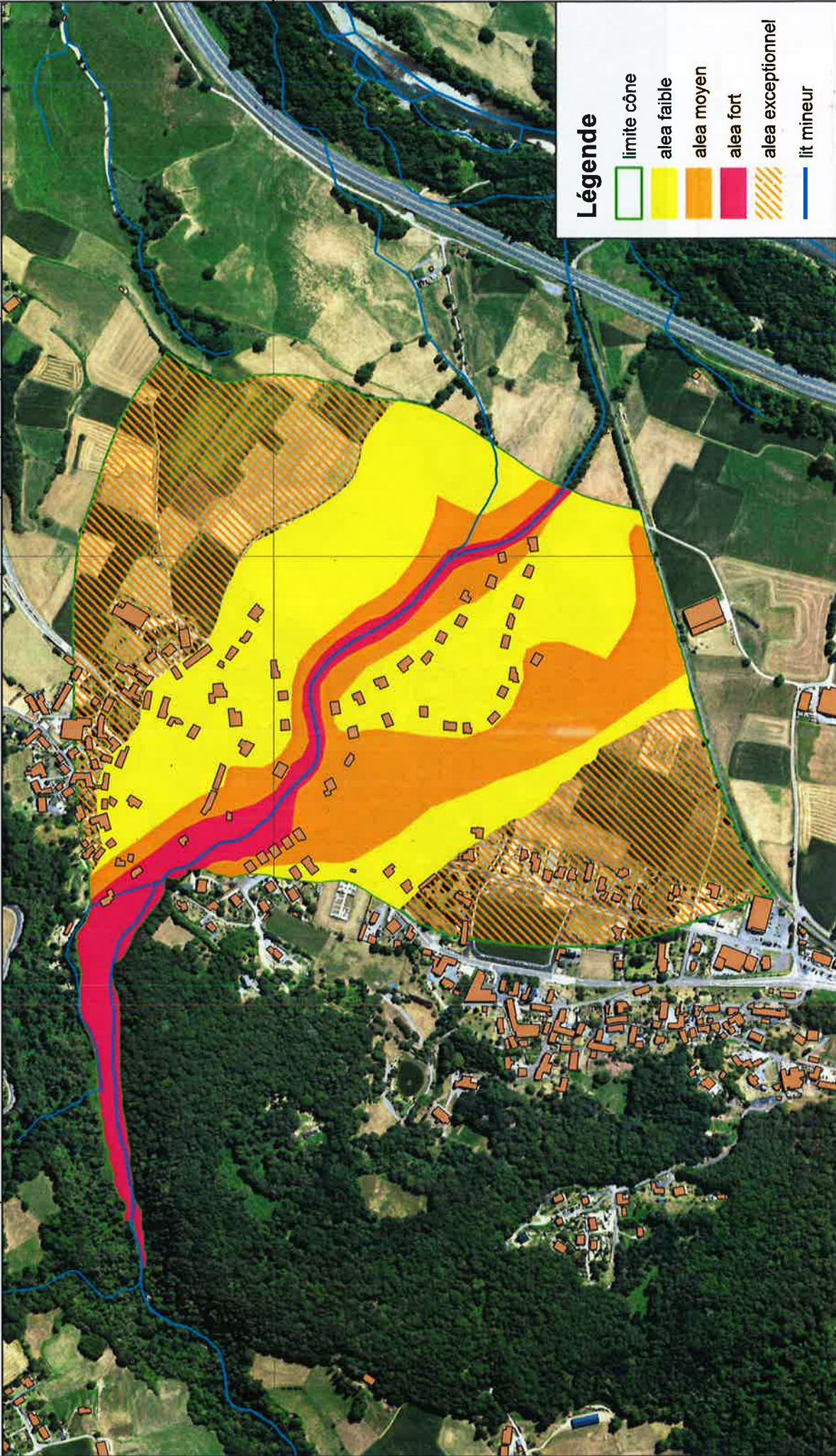
Echelle 1:5 000			
Date	Format	Dessiné	Contrôlé
16.04.2018	A3	MB	MB

CARTE DES ALEAS

Torrent du Bergons



0 200 Mètres



### Légende

- limite cône
- alea faible
- alea moyen
- alea fort
- alea exceptionnelnel
- lit mineur

COMMUNE D'AYZAC-OST

ÉVALUATION DES ALEAS ET MESURES DE PROTECTION CONTRE LES PHÉNOMÈNES TORRENTIELS

### Annexe n° 7.2

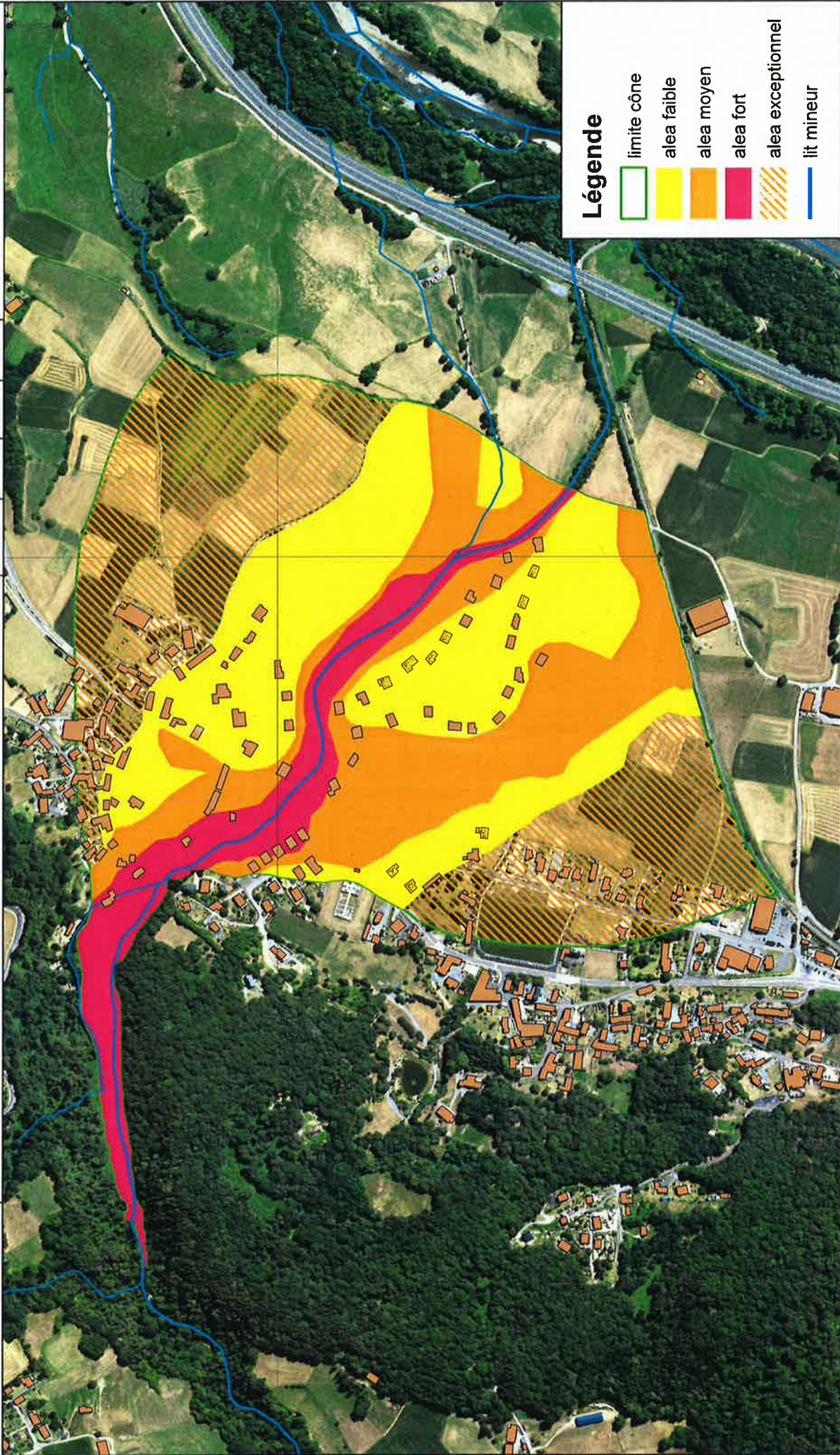
Echelle 1:5 000		Contrôlé	
Date	Format	Dessiné	MB
18.05.2018	A3	MB	MB

### CARTE DES ALEAS

Torrent du Bergons



0 200 Mètres



### Légende

- limite cône
- alea faible
- alea moyen
- alea fort
- alea exceptionnelnel
- lit mineur

