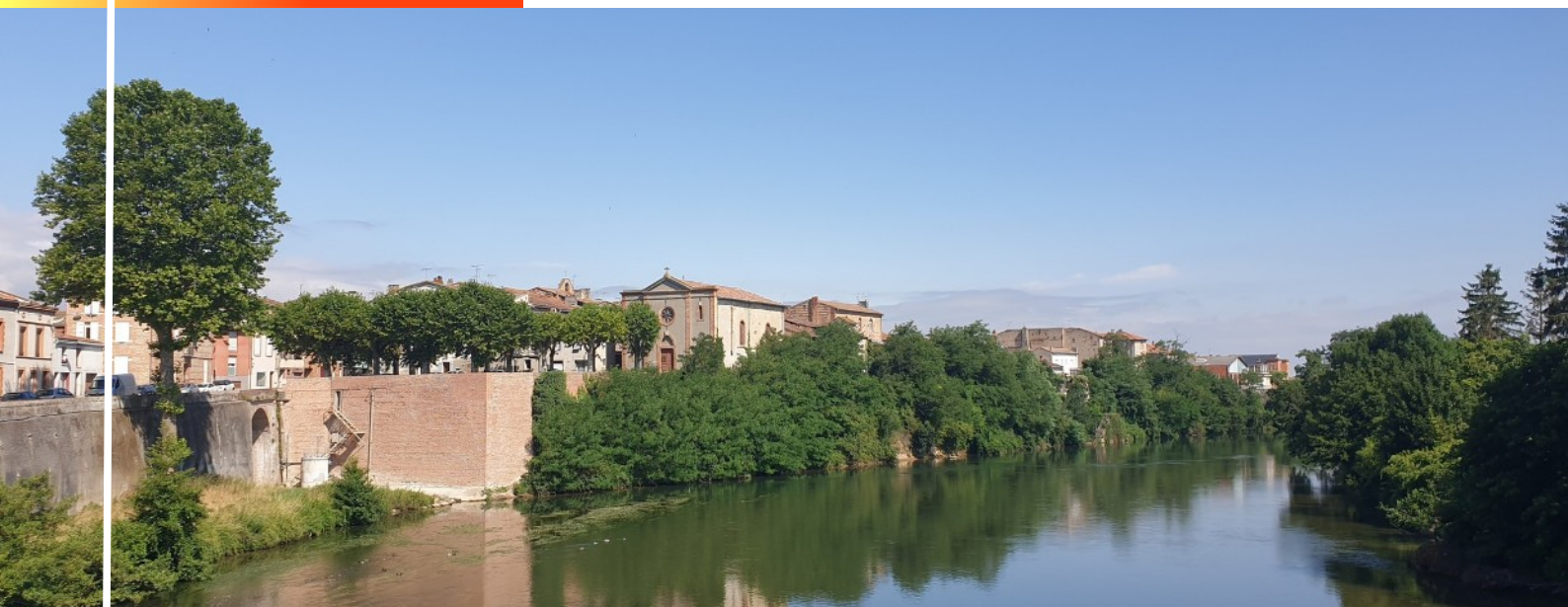


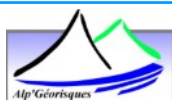
Plan de Prévention des Risques Naturels de la commune de Saverdun

ANNEXE : Étude hydrologique et hydraulique de la Laure aval



Dossier prescrit par l'arrêté préfectoral du 18 décembre 2023
Dossier approuvé le 19 décembre 2025

Maître d'ouvrage°: Préfecture de l'Ariège



Référence	25121809	Version	Approbation
Date	2025	Édition	Décembre 2025

ALP'GEORISQUES - Z.I. - 52, rue du Moirond - Bâtiment Magbel - 38420 DOMENE°-°FRANCE
 Tél. °: 04-76-77-92-00 Fax°: °04-76-77-55-90
 sarl au capital de 18 300 € - Siret°: °380°934°216°00025°-°Code A.P.E. 7112B
 N° TVA Intracommunautaire°: FR 70 380 934 216
 Email°: contact@alpgeorisques.com - Site Internet°: <http://www.alpgeorisques.com/>

a

TABLE DES MATIÈRES

1 CONTEXTE GÉNÉRAL.....	5
2 ÉTUDE HYDROLOGIQUE.....	5
2.1. Méthodologie.....	5
2.2. Données et logiciels utilisés.....	6
2.3. Débit de pointe – Résultats et analyse.....	7
2.3.1. Débit de pointe 2 ans.....	7
2.3.2. Débit de pointe 10 ans.....	7
2.3.3. Débit de pointe 100 ans.....	8
2.3.4. Comparaison avec d'autres études.....	8
2.4. Hydrogramme de crue – Résultat.....	9
2.5. Concomitance de crue.....	10
2.6. Bibliographie.....	10
3 ÉTUDE HYDRAULIQUE.....	11
3.1. Méthodologie.....	11
3.2. Données et logiciels utilisés.....	11
3.3. Construction du modèle hydraulique.....	12
3.3.1. Logiciel hydraulique.....	12
3.3.2. Bathymétrie, topographie du lit majeur.....	13
3.3.3. Carte des rugosités.....	13
3.3.4. Prise en compte des bâtiments.....	14
3.3.5. Ouvrages d'art.....	15
3.3.6. Maillage, ligne de contraintes.....	15
3.3.7. Conditions aux limites.....	15
3.3.8. Paramètres de simulation.....	15
3.4. Mise en transparence des systèmes d'endiguement.....	16
3.5. Exploitation du modèle hydraulique.....	16
3.6. Scénarios, traitements numériques.....	16
3.6.1. Constats et hypothèses.....	16
3.6.2. Scénarios simulés.....	16
3.6.3. Cartographie des maxima bruts de hauteur et de vitesse pour le scénario 8.....	17
3.6.4. Aléa par scénario, aléa de référence brut.....	23
3.6.5. Lissage et interprétation de l'aléa brut.....	23
3.6.5.1. Lissage.....	23
3.6.5.2. Interprétation.....	23
3.7. Transition entre les approches hydro-géomorphologique et hydraulique.....	24
3.8. Bibliographie.....	24

1 Contexte général

Le cours d'eau à l'étude est l'Aure ou la Laure sur une partie du territoire communal de Saverdun⁰⁹. Cette rivière traversant des zones à enjeux dans sa partie aval, dans un milieu semi-urbain à urbain, avec une topographie peu marquée, il a été jugé opportun d'apprécier l'aléa inondation à l'aide d'une modélisation hydraulique.

Cette approche nécessite, dans un premier temps, de déterminer le débit de pointe et l'hydrogramme de crue de référence, puis dans un second temps d'utiliser ces informations comme condition limite amont à la modélisation hydraulique. Les résultats de ces calculs hydrauliques sont finalement utilisés pour qualifier l'aléa «inondation», entre les niveaux «faible», «moyen» et «fort» selon les directives de la Direction départementale des territoires (DDT) de l'Ariège.

La présente note a donc pour objectifs de :

- déterminer le débit de pointe, la durée et la forme de l'hydrogramme de crue de référence;
- décrire la construction d'un modèle hydraulique pour la simulation des conditions en crue de la Laure dans la zone à l'étude (emprise inondée, hauteurs et vitesses d'écoulement maximales);
- calculer l'aléa inondation en croisant les paramètres hauteur et vitesse selon la grille de qualification spécifiée par la DDT de l'Ariège.

Les chapitres suivants décrivent brièvement les aspects hydrologiques et hydrauliques abordés.

2 Étude hydrologique

2.1. Méthodologie

Aucune inondation, récente ou ancienne, n'a été suffisamment bien documentée pour estimer le débit de crue et son emprise. La crue de référence pour la qualification de l'aléa sera donc une crue théorique de période de retour centennale.

La Laure ne possède pas de station hydrométrique et la superficie de son bassin versant est relativement modeste (34,2 km²).

Dans une telle situation, l'utilisation de méthodes statistiques ou empiriques est privilégiée pour estimer le débit théorique de période de retour 100 ans, caractérisant l'événement de référence. Ce débit centennal est obtenu en calculant les débits de faible période de retour (2 à 10^{ans}), puis les débits moins fréquents (période de retour comprise entre 50 et 100 ans ou plus).

Ainsi, les formules mentionnées ci-dessous sont utilisées pour estimer le débit[°]:

- de période de retour 2 ans
 - régression à partir des données relatives à des bassins versants jaugés avoisinants disponibles sur le site HydroPortail (<https://hydro.eaufrance.fr/>)
- de période de retour 10 ans
 - Crupedix (CTGref, 1980-1982)
 - SOCOSE (CTGref, 1980-1982)
 - Cipriani et al. (2012)
- de période de retour 100 ans
 - Gradex (Guillot et Duband, 1967)
 - Gradex esthétique (Michel, 1982).

En outre, pour apprécier la plausibilité des estimations du débit décennal, l'approche ANETO (Peteuil et al., 2010) et une analyse régionale succincte des débits calculés aux stations hydrométriques sont mises en œuvre. Quant aux résultats de l'approche SHYREG-Débit (Arnaud et al., 2013[°]; Aubert et al., 2014), ils ne sont pas pris en compte, car le domaine d'application de la méthode n'est pas respecté (bassin fortement influencé par des zones planes, spécificité non prise en compte par la méthode SHYREG-Débit).

L'hydrogramme de crue est établi en appliquant la formule proposée par CTGref[°](1980-1982) (Cf. Équation[°](1))[°]:

$$Q(T, t) = Q_{max}(T) \cdot \frac{2 \cdot \left(\frac{t}{t_m}\right)^\alpha}{1 + \left(\frac{t}{t_m}\right)^{(2\alpha)}} \quad \text{Équation}^\circ(1)$$

avec

- $Q(T, t)$: débit de période de retour T au temps t , en m³/s[°];
 $Q_{max}(T)$: débit de pointe de période de retour T , en m³/s[°];
 t : temps t , en s[°];
 t_m : durée caractéristique de crue t_m , en s[°];
 α [°]: coefficient de forme, sans dimension.

2.2. Données et logiciels utilisés

Pour mettre en œuvre les calculs hydrologiques, les principales données exploitées sont[°]:

- le RGE[°]ALTI[®] (Modèle numérique de terrain ou MNT) de l'IGN au pas de 1[°]m[°];
- l'occupation du sol OSO (CES OSO, 2022)[°];
- l'analyse statistique des précipitations enregistrées à la station Météo France de Brie (09) entre 2003 et 2018[°];
- l'analyse statistique des hautes eaux pour les stations hydrométriques
 - O137 2510 : L'Ariège à Saverdun
 - O166 2910 : Le Grand Hers à Calmont
 - O165 2930 : Le Grand Hers à Mazères
 - O163 4010 : La Vixiège à Belpech
 - O182 4010 : La Lèze au Fossat

- O181 4010 : La Lèze à Pailhès
- O158 4610 : Le Douctouyre à Dun et à Vira.

Concernant les logiciels utilisés, il s'agit de Quantum GIS (Qgis) et de la suite LibreOffice.

2.3. Débit de pointe – Résultats et analyse

2.3.1. Débit de pointe 2 ans

Pour les stations mentionnées (Cf. sous-chapitre 2.2), le débit pseudo-spécifique varie entre 0,48 et 0,99 m³/s/(km²)^{0,8}. Une valeur sécuritaire pour la suite des calculs, valant 0,91 m³/s/(km²)^{0,8} est retenue, correspondant à un débit biennal de 15,3 m³/s pour la Laure.

2.3.2. Débit de pointe 10 ans

L'application des formules de régression mentionnées au sous-chapitre 2.2 donne les résultats synthétisés au Tableau 1.

Ces formules de régression font intervenir la pluie journalière décennale, et l'analyse statistique de cette valeur fournit un intervalle de confiance à 70%. Les valeurs de débits correspondant à cet intervalle de confiance est également affiché entre parenthèses.

Il est à noter que pour la formule Crupedix, un coefficient régional de 1,75 doit être utilisé dans le cas de la Laure selon les cartes accompagnant cette méthode de calculs.

Tableau 1: Débit décennal calculé par différentes formules de régression

Méthode de calcul (-)	Superficie Laure (km²)	Pluie jour. 10 ans (mm)	Débit décennal (m³/s)
Crupedix	34,2	77,1 (70,1 – 85,3)	27,5 (22,7 – 33,6)
SOCOSE			7,5 (6,6 – 8,7)
Cipriani et al.			20,1 (18,8 – 21,5)
Les valeurs entre parenthèses correspondent à l'intervalle de confiance à 70°%			

Le résultat de SOCOSE est sensiblement plus faible que celui des deux autres méthodes. En effet pour un bassin versant de quelques dizaines de kilomètres carrés, un débit spécifique d'environ 1 m³/s/km² est généralement attendu (hors façade méditerranéenne).

Pour évaluer si cette valeur est réaliste, la méthode ANETO est également appliquée à la Laure, bien que son bassin versant soit en limite extérieure de la zone couverte par cette méthode. Ainsi, le débit décennal varie entre 25,7 et 28,7 m³/s, avec une valeur « centrale » de 27,1 m³/s, qui correspond à un débit spécifique proche de la valeur attendue de 1 m³/s/km².

On en conclut que :

- l'application de la méthode SOCOSE n'est pas appropriée dans le cas de la Laure°;
- la valeur de débit de 27,5 m³/s donnée par la méthode Crupedix est plausible et proche d'une valeur «°standard°» de débit décennal. **Cette valeur de 27,5 m³/s est donc choisie pour le débit décennal.**

2.3.3. Débit de pointe 100 ans

Les résultats des deux méthodes d'estimation du débit centennal sont regroupés au Tableau 2.

Tableau 2: Débit centennal calculé par les méthodes du Gradex et du Gradex progressif

Méthode de calcul (-)	Débit biennal (m³/s)	Point pivot (ans) Débit pivot (m³/s)	Débit centennal (m³/s)
Gradex	–	10 27,5	47,2
Gradex esthétique	15,3	10 27,5	44,9
Gradex	–	20 36,3	50,5
Gradex esthétique	15,3	20 36,3	49,8

De manière à apprécier la sensibilité des résultats à la période de retour du point pivot, celle-ci est prise successivement égale à 10 et 20 ans.

Pour chacune des périodes de retour 10 et 20 ans, le débit est celui retenu au sous-chapitre°2.3.2, alors que le débit biennal est calculé à partir des analyses statistiques du site HydroPortail, en utilisant un débit spécifique représentatif (Cf. sous-chapitre°2.3.1).

L'expérience montre que de manière générale, on peut s'attendre à une valeur proche de 2 pour le rapport Q100/Q10. Ainsi, pour un point pivot correspondant à une période de retour de 10 ans, le rapport entre les débits de pointe centennal et décennal est un peu faible (1,6 à 1,7), alors qu'il est légèrement plus élevé avec un point pivot de 20 ans (1,8). **C'est pourquoi cette dernière période de retour est retenue comme point pivot, alors que le débit de 50,5 m³/s calculé par le Gradex est choisi pour le débit centennal°**; la différence avec le Gradex esthétique étant faible, il n'y a pas une surestimation manifeste du débit 100 ans.

2.3.4. Comparaison avec d'autres études

Deux autres études donnant des valeurs de débit de la Laure ont été consultées (AQUA Conseils, 2000°; DDEA°09, 2009), dont les débits 10 et 100 ans sont comparés à ceux de la présente étude au Tableau 3.

Tableau 3: Comparaison des débits de pointe 10 et 100 ans de la Laure pour différentes études

Étude (-)	Superficie Laure (km²)	Débit décennal (m³/s)	Débit centennal (m³/s)
AQUA Conseils (2000)	32,5	14	24-25
DDEA de l'Ariège (2009)	33,0	29	44
Alp'Géorisques	34,2	27,5	50,5

On constate que les débits 10 et 100 ans mentionnés par AQUA Conseil sont inférieurs de moitié environ à ceux des deux autres études, alors que la superficie considérée de la Laure est similaire entre les trois études.

Pour le débit décennal, les valeurs retenues pour l'élaboration du PPRN en vigueur (DDEA, 2009) et de la présente étude sont similaires. Elles sont, en revanche, légèrement différentes pour la crue de référence (100 ans)[°]: la valeur de référence du PPRN est inférieure à celle de la présente étude.

De manière sécuritaire, le débit de pointe 100 ans de 50,5 m³/s de la présente étude est conservé pour le calcul de l'hydrogramme de crue, qui sera utilisé comme condition limite amont de la modélisation hydraulique (Cf. chapitre[°]3).

2.4. Hydrogramme de crue – Résultat

Le résultat de la mise en œuvre de l'Équation[°](1) est présenté à la Figure 1.

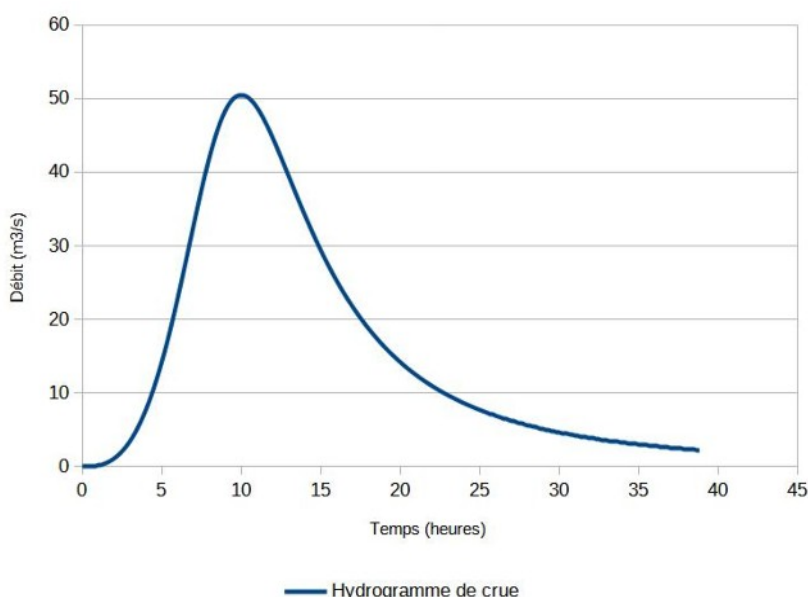


Figure 1: Hydrogramme de crue centennale

Le débit de pointe $Q_{max}(T)$ est pris égal au débit centennal calculé précédemment (Cf. sous-chapitre[°]2.3.4), alors que la valeur de la durée caractéristique de crue t_m est estimée à 9,9[°]h par la formule de la méthode SOCOSE (CTGref, 1980-1982).

Concernant le coefficient de forme α , une valeur de 2,8 est utilisée afin que le débit de crue soit supérieur à $Q_{max}/2$ durant la durée caractéristique de crue t_m (Cf. CTGref, 1980-1982).

2.5. Concomitance de crue

Pour évaluer la possibilité de concomitance de crue entre l'Ariège et la Laure, leurs temps de concentration respectifs sont calculés et comparés. Les formules utilisées font suite à une revue non exhaustive de la littérature hydrologique (par exemple Chow et al., 1988[°]; Ockert et Smithers, 2014[°]; Quéfféléan, 2015) et prennent en compte leur domaine de validité s'il est connu.

Pour l'Ariège, les formules de Ventura et Turraza sont utilisées, donnant un temps de concentration de 21,6[°] à 46,4 heures. Pour la Laure, en plus des formules mentionnées, celles de Giandotti, Bransby-Williams et Watt-Chow sont également employées. Globalement, pour la Laure, le temps de concentration varie entre 5,2 et 8,3 heures.

La différence de temps de concentration étant importante, il semble peu probable qu'il y ait concomitance du pic de crue entre ces deux cours d'eau, et cette hypothèse n'est donc pas retenue dans la suite de l'étude.

2.6. Bibliographie

AQUA Conseils (2000). Analyse du risque d'inondation par l'Aure sur la commune de Saverdun. Expertise hydraulique. Référence[°]: 0009. Date[°]: 09/2000.

Arnaud, P., Eglin, Y., Janet, B., Payrastre, O. (2013). Notice utilisateur base de données SHYREG-Débit. Méthode – Performances – Limites. Date[°]: 03/2013.

Aubert, Y., Arnaud, P., Ribstein, P., Fine, J.-A. (2014). La méthode SHYREG débit, application sur 1605 bassins versants en France Métropolitaine. Hydrological Sciences Journal, 59:5, 993-1005, DOI: 10.1080/02626667.2014.902061.

CES OSO (2022). CES Occupation des sols [En ligne] <https://www.theia-land.fr/ceslist/ces-occupation-des-sols> (consulté le 18/09/2022).

Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W. (1988). Applied Hydrology. McGraw-Hill Professional. 572[°]p., ISBN-13[°]: 978-0070108103.

Ockert, J.G., Smithers, J.C. (2014). Review of methods used to estimate catchment response time for the purpose of peak discharge estimation. Hydrological Sciences Journal, 59:11, 1935-1971, DOI[°]: 10.1080/02626667.2013.866712.

Cipriani, T., Toilliez, T., Sauquet, E. (2012). Caractérisation du régime des crues en France métropolitaine. Irstea. 2012, pp.148. Hal-02600204.

CTGref (1980-1982). Synthèse nationale sur les crues des petits bassins versants. Fascicule[°]2[°]: la méthode Socose. Fascicule 3[°]: la méthode Crupedix.

Direction départementale de l'équipement et de l'agriculture (DDEA) de l'Ariège (2009). Commune de Saverdun. Plan de prévention des risques naturels prévisibles. Rapport de présentation. Date[°]: 09/01/2009.

Guillot, P., Duband, D. (1967). La méthode du Gradex pour le calcul de la probabilité des crues à partir des pluies. IAHS publ. 84[°]: 560-569.

Galéa, G., Ramez, P. (1995). Maîtrise du ruissellement et de l'érosion en vignoble de coteau[°]: Guide à l'usage des aménageurs. Cemagref, 1995.

Michel, C. (1982). Extrapolation par la méthode du Gradex. Note du 03-05, Cemagref Antony.

Ockert, J.G., Smithers, J.C. (2014). Review of methods used to estimate catchment response time for the purpose of peak discharge estimation. Hydrological Sciences Journal, 59:11, 1935-1971, DOI[°]: 10.1080/02626667.2013.866712.

Peteuil, C. Carlados, S., Mathys, N. (2010). La méthode ANETO[°]: un outil pour la prédétermination des débits de crue des bassins versants torrentiels des Pyrénées françaises. Sciences Eaux & Territoires, INRAE, 2010, pp. 116-127. 10.14758/SET-REVUE.2010.2.14. Hal-00537336.

Quéfféléan, Y. (2015). Évaluation du temps de montée des crues torrentielles rapides. ONF-RTM.

3 Étude hydraulique

3.1. Méthodologie

Une modélisation hydraulique strictement bi-dimensionnelle (2D) est réalisée à l'aide du logiciel HEC-RAS (HEC, 2022a, 2022b). Une telle approche permet d'obtenir en tout point notamment les paramètres suivants[°]:

- hauteur d'écoulement[°];
- vitesse[°];
- cote de la surface de l'eau.

L'exploitation de ces résultats sert à établir, dans un premier temps, la cartographie « brute[°] » de l'aléa inondation, par croisement des hauteurs et des vitesses. Son lissage et son interprétation permettent ensuite de produire l'aléa de référence inondation, qui est finalement intégré à la carte générale multi-aléas.

3.2. Données et logiciels utilisés

Les principales données exploitées sont[°]:

- le RGE[°]ALTI[®] de l'IGN au pas de 1[°]m. Le MNT disponible est issu de la technologie LiDAR dans la plaine de l'Ariège[°];
- l'occupation du sol OSO (CES OSO, 2022)[°];

- les levés sommaires des ouvrages hydrauliques présents sur la Laure en aval de la route départementale 62 (lieu-dit «Trésorier d'en bas»). Ces levés ont été réalisés par Alp'Géorisques en juin 2022;
- les analyses et résultats hydrologiques mentionnés au chapitre 2.

Quant aux logiciels utilisés, il s'agit de Quantum GIS (Qgis) et de HEC-RAS (version 6.3).

3.3. Construction du modèle hydraulique

3.3.1. Logiciel hydraulique

HEC-RAS a la capacité de réaliser des calculs bi-dimensionnels en régime non permanent avec les équations de Saint-Venant. Cette configuration est retenue pour les calculs hydrauliques.

En mode strictement 2D, l'utilisateur doit créer une grille de calcul sur l'ensemble des lits mineur et majeur à modéliser (Cf. Figure 2).



Figure 2: Grille de calcul avec le MMNT utilisé (trait noir : limite des mailles ; point noir : centre des mailles)

Puis HEC-RAS résout les équations des écoulements non uniformes en utilisant un algorithme implicite aux volumes finis. De la sorte, et de manière très raccourcie, l'hydrodynamique des écoulements est calculée à l'aide de flux traversant les surfaces de chaque volume fini et par bilan dans chaque volume fini.

Les volumes finis considérés par HEC-RAS sont ceux définis par chacun des polygones du maillage mentionné plus haut, dont une illustration est donnée à la Figure 3. Les calculs hydrauliques ne sont donc pas réalisés ponctuellement aux points transmis (ces points correspondent approximativement au centre des mailles), mais bien dans le volume dont la projection horizontale est représentée par chacune des mailles (polygone).



Figure 3: Représentation du fond et des faces d'une maille de calculs si le logiciel impose une valeur unique (gauche) et pour HEC-RAS (droite) avec fond et face quelconques

Les données requises pour réaliser les calculs hydrauliques peuvent être regroupées selon les catégories suivantes[°]:

- données géométriques
Les données géométriques de base doivent permettre la représentation du cours d'eau ou du réseau de canaux dans lequel les écoulements vont être modélisés[°]: modèle numérique de terrain des lits mineur et majeur, coefficients de perte d'énergie (coefficients de frottement et de contraction / expansion). Les structures hydrauliques (pont, buse, déversoir, seuil, etc.) sont également comprises dans les données géométriques.
- données hydrauliques pour le régime non permanent
Ces données comprennent les conditions aux limites (externes et internes) et les conditions initiales.
Les conditions doivent être établies à toutes les limites ouvertes du système modélisé. Pour les conditions amont et aval, elles peuvent correspondre à un hydrogramme, à un limnigramme, etc.
Les conditions aux limites internes, quant à elles, sont de type hydrogramme.

De plus amples informations sur le logiciel HEC-RAS peuvent être obtenues en consultant HEC[°](2022a, 2022b).

3.3.2. Bathymétrie, topographie du lit majeur

La bathymétrie (topographie du lit mineur) des secteurs modélisés est issue du MNT (technologie LiDAR). La profondeur de l'écoulement étant a priori faible lors des mesures LiDAR, cette source de topographie ne modifie pas significativement la géométrie et la cote du terrain mesuré.

Pour le lit majeur, les données topographiques sont également celles du MNT (LiDAR) de la zone d'étude.

3.3.3. Carte des rugosités

Le choix de la rugosité du lit mineur se base sur une visite des biefs modélisés et une revue de la littérature technique[°]; une valeur de Manning de $0,050 \text{ s/m}^{1/3}$ est proposée (Strickler de $20^\circ \text{m}^{1/3}/\text{s}$).

La rugosité du lit majeur se base sur l'occupation du sol établie par CES OSO (2022), avec une résolution en plan de 10 m (format matriciel). Cette base de données est privilégiée par rapport à CORINE Land Cover, par exemple, du fait de sa résolution spatiale et de son millésime récent.

Pour chacune des classes d'occupation des sols de OSO, une valeur de rugosité (coefficient de Manning) est attribuée sur la base d'une revue de la littérature technique[°]; le Tableau 4 associe la classe d'occupation du sol avec la rugosité correspondante.

Certaines routes pouvant constituer des axes concentrant les écoulements en cas de débordement du cours d'eau, elles ont été ajoutées à l'occupation des sols OSO. Pour ces routes, une valeur de Manning de $0,020 \text{ s/m}^{1/3}$ est proposée (Strickler de $50 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$).

Tableau 4: Valeur du coefficient de Manning du lit majeur

Code OSO (-)	Description (-)	Manning ($\text{s/m}^{1/3}$)
1 2 3	Bâtis denses Bâtis diffus Zones indus. et commerciales	0,021
5 6 7 9 12	Colza Céréales à pailles Protéagineux Tournesol Tubercules / racines	0,070
10	Maïs	0,030
13	Prairies	0,030
14	Vergers	0,100
15	Vignes	0,150
16 17	Forêts de feuillus Forêts de conifères	0,220
18	Pelouses	0,050
19	Landes ligneuses	0,150
21	Plages et dunes	0,100
23	Eau	0,020
–	Lit mineur des cours d'eau	0,033
–	Axe routier	0,020
–	Bâtiment	10

3.3.4. Prise en compte des bâtiments

La littérature technique consultée mentionne diverses approches pour représenter le bâti dans la modélisation hydraulique[°]: bâti non représenté dans le maillage, zone poreuse, perte de charge additionnelle dans l'emprise des bâtiments, augmentation de la rugosité dans l'emprise au sol des bâtiments.

Cette dernière approche est choisie, puisque facilement mise en œuvre et donnant de bons résultats selon Beretta et al. (2018) par exemple. Un coefficient de Manning égal à $10 \text{ s/m}^{1/3}$ (Strickler de $0,1 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) est utilisé dans les calculs.

3.3.5. Ouvrages d'art

Les principaux ouvrages d'art de type pont, busage, ouvrage de décharge présents dans les lits mineur et majeur de la Laure sont intégrés à la modélisation grâce aux levés topographiques sommaires réalisés par Alp'Géorisques.

À partir des informations ainsi obtenues, l'intégration de ces ouvrages dans la modélisation fait apparaître° :

- la position de l'ouvrage°;
- la définition du type d'ouvrage°;
- la définition des caractéristiques géométriques de l'ouvrage°;
- la définition de divers paramètres de calculs.

3.3.6. Maillage, ligne de contraintes

Par défaut le maillage est régulier et orthogonal dans HEC-RAS. La taille des mailles de calcul est de 10°m de côté.

Ce maillage peut être modifié par zone ou alors l'alignement des mailles de calcul peut être contraint localement, pour orienter ces dernières parallèlement ou perpendiculairement à l'écoulement, en fonction du comportement prévisible de celui-ci.

Pour contraindre l'orientation des mailles de calcul, des lignes de contrainte (*breakline* en anglais) doivent être définies. Celles-ci sont donc ajoutées au maillage initial pour spécifier au logiciel° :

- l'axe du lit mineur de la Laure et de certains affluents°;
- les axes préférentiels d'écoulement identifiés sur le terrain et par traitement du MNT°;
- des cassures de pente qui peuvent influencer la dynamique des écoulements°;
- des axes routiers qui concentrent les écoulements en cas de débordement du cours d'eau, ou qui forment un obstacle aux écoulements (par exemple un remblai routier).

3.3.7. Conditions aux limites

La condition limite amont correspond à l'hydrogramme de crue, alors que la condition limite aval est obtenue pour une cote de l'Ariège représentative d'une estimation de son débit centennal moyen journalier.

Cette dernière condition a fait l'objet d'une analyse de sensibilité sommaire, qui met en évidence une influence négligeable du débit de l'Ariège sur l'emprise du champ d'inondation de la Laure et les hauteurs / vitesses d'écoulement. En effet, une chute naturelle est présente dans le lit mineur de la Laure à proximité de sa confluence avec l'Ariège, limitant l'influence de celle-ci sur le champ d'inondation de la Laure.

3.3.8. Paramètres de simulation

HEC-RAS propose une valeur par défaut pour la plupart des paramètres de calcul. Ces valeurs sont utilisées sauf pour celles mentionnées ci-dessous° :

- équations de Barré de Saint-Venant, sans prise en compte de la force de Coriolis ni de la turbulence°;
- pas de temps de calcul de 3,0 secondes.

3.4. Mise en transparence des systèmes d'endiguement

Il n'a pas été identifié d'ouvrage de protection de type digue (système d'endiguement) le long de la Laure et de ses affluents dans l'emprise modélisée.

Par conséquent, aucune mise en transparence de systèmes d'endiguement n'a été réalisée.

3.5. Exploitation du modèle hydraulique

Aucune donnée objective permettant un processus de calage-validation de la modélisation n'est disponible pour la zone d'étude. Par conséquent, les paramètres de modélisation se basent sur la littérature technique consultée, pour les gammes de valeur communément acceptées.

Concernant les conditions aux limites et les paramètres de simulation, les sous-chapitres 3.3.7 et 3.3.8 les décrivent. Enfin, les scénarios pris en compte pour établir la cartographie de l'aléa sont présentés au sous-chapitre 3.6.2.

3.6. Scénarios, traitements numériques

3.6.1. Constats et hypothèses

Compte tenu de la nature très boisée des berges de la Laure sur tout son linéaire, la probabilité de formation d'embâcle est forte pour chacun des ouvrages hydrauliques modélisés. Ce phénomène d'embâcle est donc pris en compte dans les simulations, avec comme hypothèse une réduction de 50% de la section d'écoulement de l'ouvrage hydraulique considéré.

Par contre, le transport solide étant relativement faible, il n'est pas pris en compte dans les simulations.

3.6.2. Scénarios simulés

L'hypothèse d'embâcle (Cf. sous-chapitre 3.6.1) est appliquée aux ouvrages modélisés pour produire huit scénarios (Cf. Tableau 5), avec la même condition limite amont mentionnée au sous-chapitre 3.3.7 :

- une obstruction à 50% d'un seul des ouvrages (total de six scénarios possibles) ;
- une obstruction à 100% de l'ouvrage de décharge sous la route départementale 820 (buse de 1500 mm de diamètre) ;
- une obstruction concomitante à 50% des ouvrages pont de la RD 927, pont RD 820, ouvrage de décharge de la RD 927, ouvrage de décharge de la RD 820.

Tableau 5: Liste des scénarios simulés et description

Numéro scénario (-)	Description (-)
1	Obstruction à 50°% de la section du pont SNCF
2	Obstruction à 50°% de la section du pont de la RD27
3	Obstruction à 50°% de la section du pont de la RD927
4	Obstruction à 50°% de la section du pont de la RD820
5	Obstruction à 50°% de la section de l'ouvrage de décharge de la RD927
6	Obstruction à 50°% de la section de l'ouvrage de décharge de la RD820
7	Obstruction à 100°% de la section de l'ouvrage de décharge de la RD820
8	Obstruction à 50°% de la section des ouvrages pont RD927 pont RD820 décharge RD927 décharge RD820

Chacun de ces scénarios fait l'objet d'une simulation hydraulique, selon les conditions limites retenues (Cf. sous-chapitre 3.3.7), pour laquelle les valeurs maximales des paramètres « hauteur » et « vitesse » de l'écoulement sont compilées en fin de simulation.

3.6.3. Cartographie des maximas bruts de hauteur et de vitesse pour le scénario 8

Les figures 4 et 5 présentent les résultats du scénario numéro 8.

Ce scénario est illustré car il donne, globalement, l'emprise inondée la plus importante de tous les scénarios simulés. Ces figures sont données uniquement à titre informatif, sans commentaires ni interprétation.

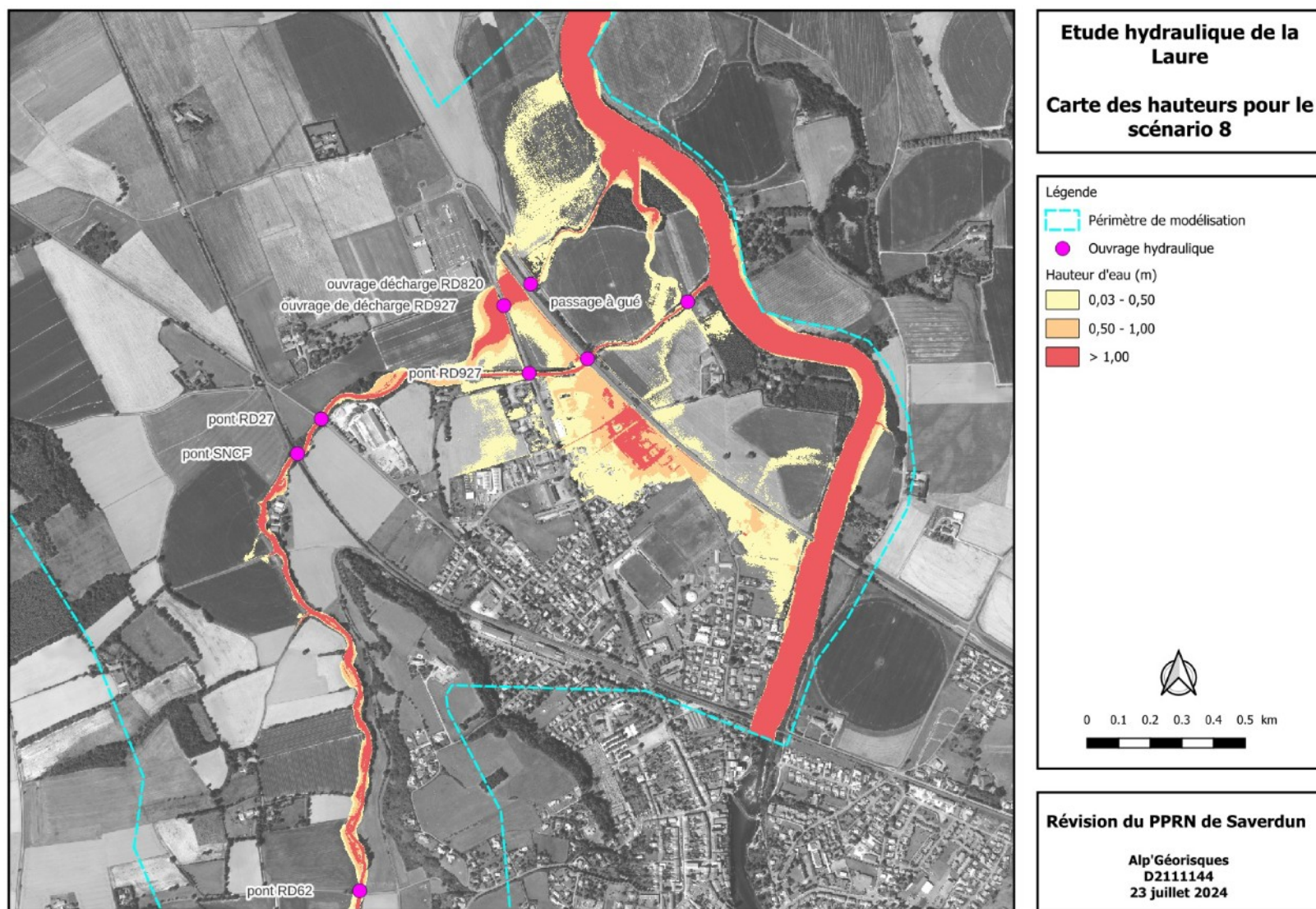


Figure 4: Scénario 8 – carte des hauteurs

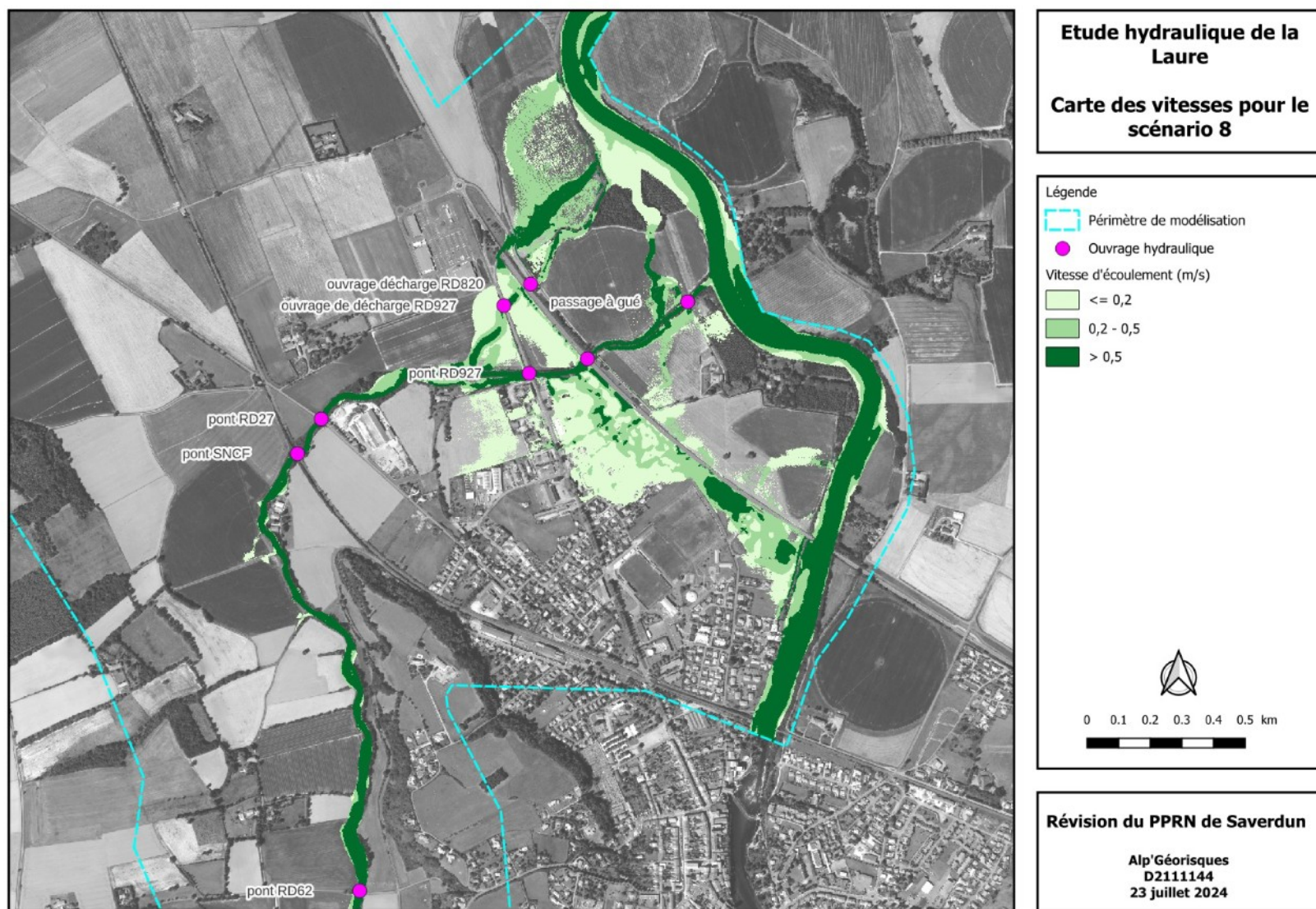


Figure 5: Scénario 8 – carte des vitesses

3.6.4. Aléa par scénario, aléa de référence brut

Pour chaque scénario simulé (Cf. sous-chapitre 3.6.2), une carte d'aléa est produite selon la grille de qualification présentée au Tableau 6, grille qui a été confirmée par la DDT de l'Ariège à Alp'Géorisques (DDT⁰⁹, 2022).

Tableau 6: Grille de qualification de l'aléa inondation avec étude hydraulique selon la DDT⁰⁹

Vitesse en m/s	Faible 0 à 0,2	Moyenne 0,2 à 0,5	Forte 0,5 à 1
Hauteur en mètre			
0 à 0,5	Faible I1	Moyen I2	Fort I3
0,5 à 1,0	Moyen I2	Moyen I2	Fort I3
> à 1,0	Fort I3	Fort I3	Fort I3

Enfin, l'aléa de référence inondation « brut » est obtenu en prenant, en chaque point du territoire modélisé, la valeur maximale de toutes les cartes d'aléa pour ce point. Cette carte brute représente donc l'aléa le plus pénalisant en tout point.

3.6.5. Lissage et interprétation de l'aléa brut

3.6.5.1. Lissage

L'aléa de référence inondation « brut » fait encore l'objet de traitements numériques visant à simplifier et lisser ses contours.

Les principales étapes de traitements numériques consistent à :

- simplifier les zones d'aléa homogène ;
- purger les zones où l'aléa est isolé ;
- fusionner des zones de petites taille (une valeur de 300 m² est proposée et intégrée aux résultats) avec la zone d'aléa la plus grande ;
- mettre en évidence les axes d'écoulement par la continuité de l'aléa ;
- lisser les contours des enveloppes d'aléa.

3.6.5.2. Interprétation

Un dernier traitement « manuel et ponctuel » de lissage de l'aléa est effectué, soit pour supprimer les artefacts de modélisation, soit pour l'interprétation du phénomène.

Cette interprétation se base sur les aspects suivants :

- les hauteurs et les vitesses calculées (champ d'inondation, déversement par-dessus un obstacle) ;
- la fiabilité des scénarios d'obstruction modélisés ;
- la continuité de l'aléa.

L'incertitude sur le scénario hydrologique, les phénomènes non pris en compte (éventuels embâcles, érosion) et l'appréciation du phénomène d'inondation (zone d'écoulement ou de

stagnation) suggèrent que les très faibles hauteurs d'eau calculées se situent dans la marge d'incertitude du phénomène modélisé. **C'est pourquoi l'aléa est calculé uniquement pour des hauteurs d'eau supérieures à 3°cm.**

Concernant les scénarios d'obstruction, bien que subjectifs, ils doivent rester plausibles selon les observations réalisées par le chargé d'études lors des reconnaissances de terrain. De ce fait, les emprises inondées selon les témoignages et celles obtenues par calculs peuvent diverger de manière significative.

Enfin, lorsque les calculs indiquent le franchissement d'un obstacle par déversement, la hauteur et la largeur de la lame déversante, de même que le débit, doivent être suffisamment «°importants°» pour que les incertitudes sur ce phénomène soient considérées comme faibles. Dans une telle situation, des artefacts de calculs sont possiblement représentés dans les résultats et doivent être corrigés.

Dès lors, la version finale de l'aléa de référence inondation est disponible et peut être intégrée à la carte multi-aléas.

3.7. Transition entre les approches hydro-géomorphologique et hydraulique

Sur la carte multi-aléas, la limite entre l'approche «°à dire d'expert°» et celle par modélisation hydraulique du phénomène d'inondation est identifiée par une ligne en pointillés.

La transition entre ces deux approches s'effectue sur quelques centaines de mètres, à l'aval de la RD°62 (lieu-dit «°Trésorier d'en bas°»). Plus à l'aval encore, l'emprise du lit mineur est délimitée par les reconnaissances de terrain (aléa fort°I3), alors que le champ d'inondation est issu des résultats de modélisation.

3.8. Bibliographie

Beretta, R., Ravazzani, G., Maiorano, C. et Mancini, M. (2018). Simulating the Influence of Buildings on Flood Inundation in Urban Areas. *Geosciences* 2018, 8, 77; doi:10.3390.

CES OSO (2022). CES Occupation des sols [En ligne] <https://www.theia-land.fr/ceslist/ces-occupation-des-sols> (consulté le 18/09/2022).

DDT de l'Ariège (DDT°09). (2022). *Re: [INTERNET] PPRN Saverdun - modélisation de la Laure* [message électronique]. Date°: 07/09/2022.

HEC (2022a). HEC-RAS – River Analysis System. Hydraulic Reference Manual. Version 6.2. Référence°: version exportée. Date°: 20/09/2022.

HEC (2022b). HEC-RAS – River Analysis System. 2D Modeling User's Manual. Version 6.3. Référence°: version exportée. Date°: 20/09/2022.

IGN (2018). RGE ALTI® Version 2.0 – Descriptif de contenu. Date°: 09/2018.



ALP'GEORISQUES - Z.I. - 52, rue du Moirond - Bâtiment Magbel - 38420 DOMENE - FRANCE
Tél. : 04-76-77-92-00 Fax : 04-76-77-55-90
sarl au capital de 18 300 €
Siret : 380 934 216 00025 - Code A.P.E. 7112B
N° TVA Intracommunautaire : FR 70 380 934 216
Email : contact@alpgeorisques.com
Site Internet : <http://www.alpgeorisques.com/>