

20 février 2015

**Etude hydraulique de cartographie
de l'aléa inondation sur le territoire
communal de Cabriès**

IDENTIFICATION



INGEROP Conseil & Ingénierie – Région Méditerranée – Agence d'Aix en Provence
Domaine du Petit Arbois - Pavillon Laennec - B.P 20056 - 13 545 AIX EN PROVENCE Cedex

04

Téléphone : +33 4 42 50 83 00 - Télécopie : +33 4 42 50 83 01

E-mail : ipseau@ingerop.com

Siège Social : 168/172, boulevard de Verdun - 92408 Courbevoie Cedex - France
Téléphone : 33 (0) 1 49 04 55 00 - Télécopie : 33 (0) 1 49 04 57 01 - E-mail : ingerop@ingerop.com
S.A.S. au capital de 5 800 000 € - R.C.S. Nanterre B 489 626 135 - N° Siret 489 626 135 00011 - APE 7112B - Code TVA n° FR 454 896 261 35



GESTION DE LA QUALITE

Version	Date	Intitulé	Rédaction	Lecture	Validation
1	02/2016	Rapport provisoire	PP	JF	SH
2	03/2016	Rapport complet	PP	JF	SH

Observations sur l'utilisation du rapport :

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable ; en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ce rapport et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des indications et énonciations d'INGEROP ne saurait engager la responsabilité de celle-ci.

La société INGEROP n'est pas responsable de la vérification de la véracité des informations transmises, à l'exception de celles normalement décelables par l'homme de l'art, et celles pour lesquelles le Client a exigé une analyse spécifique.



SOMMAIRE

1	OBJET DE L'ETUDE	7
2	ANALYSE HYDROLOGIQUE	9
2.1	RESEAU HYDROGRAPHIQUE	9
2.2	CLIMATOLOGIE – PLUVIOMETRIE	10
2.2.1	Caractéristiques climatiques générales	10
2.2.2	Précipitations intenses	10
2.2.3	Evènement de Septembre 1993	11
2.3	MODELISATION PLUIE-DEBIT	11
2.3.1	Paramètres hydrologiques	13
2.3.2	Cas du bassin versant de Baume de Baragne	20
3	ANALYSE HYDRAULIQUE	21
3.1	METHODOLOGIE GENERALE	21
3.2	DONNEES TOPOGRAPHIQUES	22
3.2.1	Modèles numériques de terrain	22
3.2.2	Levés terrestres	22
3.3	CONSTRUCTION DU MODELE	22
3.3.1	Modèle 1D – Lit mineur	22
3.3.1	Modèle 2D – Lit majeur	24
3.3.2	Coefficient de rugosité	25
3.3.1	Conditions aux limites	26
3.3.1	Couplage 1D/2D	28
3.4	RESULTATS DES SIMULATIONS	28
3.4.1	Résultats de la modélisation actuelle	28
3.4.2	Résultats des études antérieures	34
3.4.3	Cartographie de synthèse	37



TABLEAUX

Tableau 1 : Quantiles de pluie en mm pour la station météorologique d'Aix-Les-Milles.....	11
Tableau 2 : Caractéristiques géométriques des sous BV	13
Tableau 3 : Définition du Curve Number	14
Tableau 4 : Curve Number moyen pour chaque sous BV.....	14
Tableau 5 : Absorption initiale (mm).....	15
Tableau 6 : Définition des temps de concentration	16
Tableau 7 : Résultats de la modélisation pour la crue de 1993	19
Tableau 8 : Résultats de la modélisation Pluie-Débit pour une pluie de projet centennale	20
Tableau 9 : Coefficients de rugosité retenus en lit majeur	25
Tableau 10 : Coefficients de rugosité retenus en lit mineur	25
Tableau 11 : Condition aval.....	28

FIGURES

Figure 1 : Secteur d'étude	8
Figure 2 : Réseau hydrographique	9
Figure 3 : Pluie de septembre 1993	11
Figure 4 : Cartographie des sous bassins versants	12
Figure 5 : Comparaison des hydrogrammes – bassin versant de la Cluée	17
Figure 6 : Comparaison des hydrogrammes – bassin versant de Rans	17
Figure 7 : Comparaison des hydrogrammes – bassin versant de Calas	18
Figure 8 : Comparaison des hydrogrammes – Grand Vallat aval	18
Figure 9 : Pluie de projet centennale.....	20
Figure 10 : Exemple de profils en travers levés	22
Figure 11 : Vue en plan du modèle 1D réalisé	23
Figure 12 : Vue en plan du modèle 2D.....	24
Figure 13 : Modèle de rugosité en lit majeur	26
Figure 14 : Condition amont	27
Figure 15 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales	29
Figure 16 : Cartographie des vitesses maximales	30
Figure 17 : Cartographie brute de l'aléa	31
Figure 18 : Zooms de la cartographie d'aléa brute.....	32
Figure 19 : Grille d'aléa traditionnelle « débordement de cours d'eau » (Source : DDTM13)	33
Figure 20 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales du Grand Vallat pour la crue de 1993 – source : étude du SABA de 2014	34



Figure 21 : Cartographie des vitesses maximales du Grand Vallat pour la crue de 1993 – source : étude du SABA de 2014	35
Figure 22 : Cartographie de l'aléa brut du Grand Vallat pour la crue de 1993	36
Figure 23 : Cartographie de l'aléa – source : étude Ipseau 2006	37
Figure 24 : Cartographie de synthèse de l'aléa.....	39
Figure 25 : Zoom sur le centre de Calas	41



1 OBJET DE L'ETUDE

La commune de Cabriès est en train de réviser son PLU. Dans ce cadre, la DDTM13 a demandé la réalisation d'études hydrauliques complémentaires afin de préciser le niveau d'aléa inondation dans les secteurs à enjeux (urbanisés ou urbanisable).

La commune souhaite donc se faire accompagner par un bureau d'étude spécialisé en hydraulique afin de réaliser les missions suivantes :

- Concaténation cartographique des études existantes (SABA 2014, Cartographie de synthèse des zones inondable du grand Vallat, atlas géomorphologique)
- Modélisation hydraulique des écoulements dans les secteurs non précisément étudiés
- Assistance du bureau en charge du PLU pour la réglementation des différentes zones d'aléa

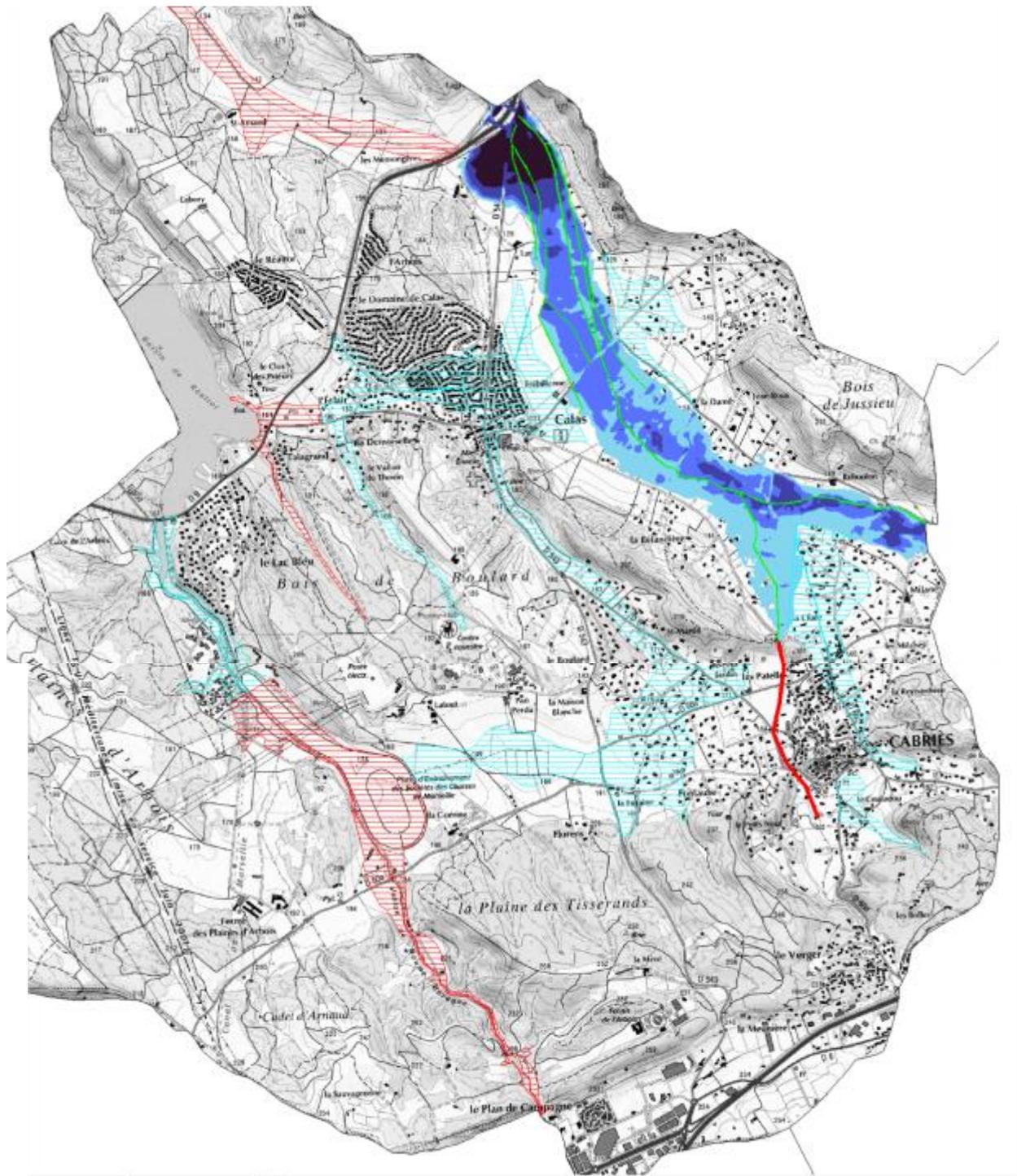


Figure 1 : Secteur d'étude

Hachures rouges : vallats non étudiés

Hachures bleues : vallats à modéliser

2 ANALYSE HYDROLOGIQUE

La connaissance des débits de crues et d'hydrogrammes associés est nécessaire à la quantification des désordres. Dans l' « étude pour la réduction de l'aléa inondation au droit des lieux habités en tenant compte du fonctionnement naturel des cours d'eau » de 2014, INGEROP avait réalisé une étude hydrologique à l'échelle du bassin versant et les débits de référence avaient été calculés en de nombreux nœuds du bassin versant grâce à un modèle pluie débit. Nous proposons ici d'affiner ce modèle en redécoupant les bassins versants

2.1 RESEAU HYDROGRAPHIQUE

La commune de Cabriès est parcourue par plusieurs vallons se rejetant tous au « Grand Vallat » qui constitue l'émissaire principal de la commune, excepté le ruisseau de Baume Baragne à la limite Ouest de la commune se rejetant directement dans l'Arc.

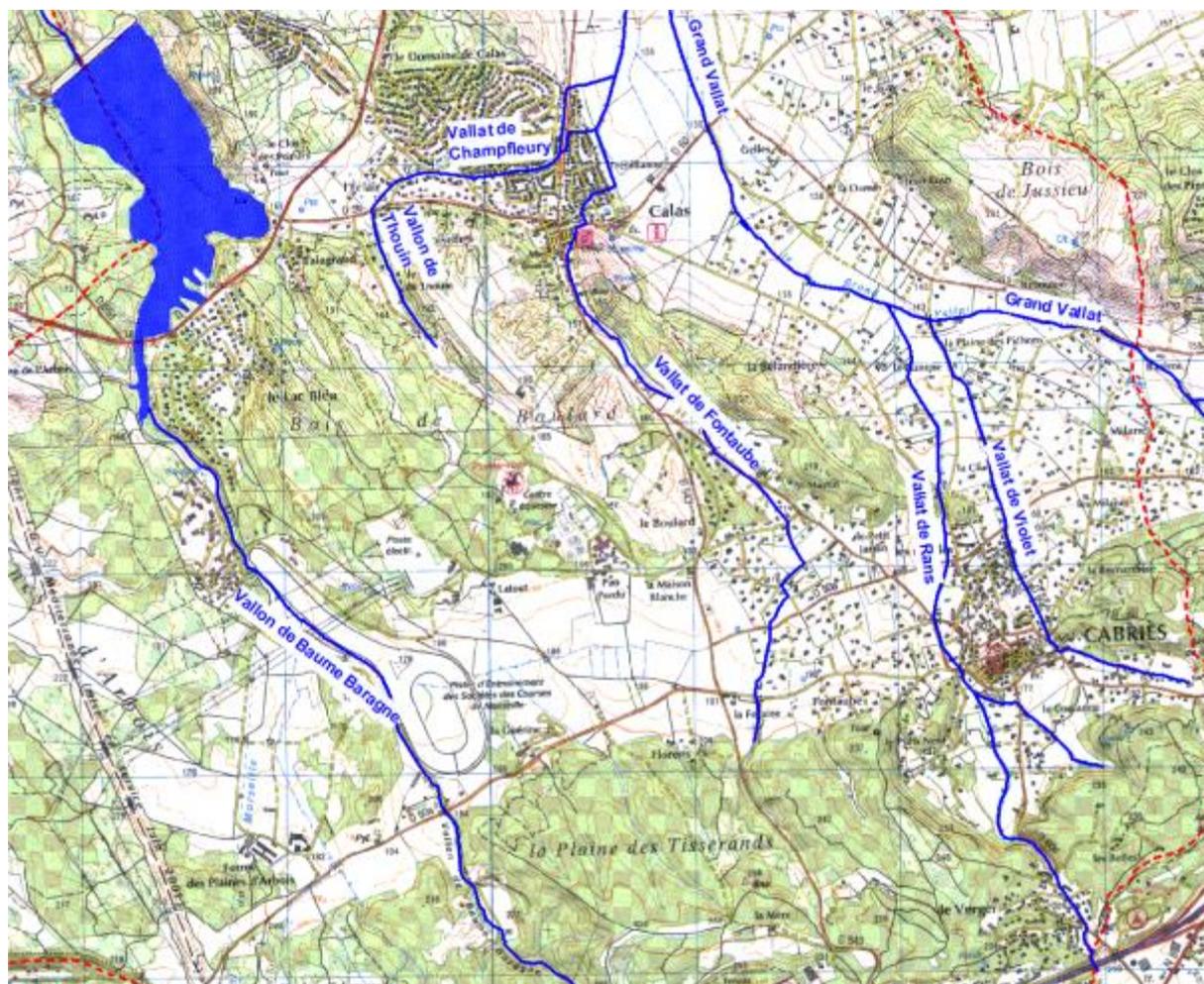


Figure 2 : Réseau hydrographique



2.2 CLIMATOLOGIE – PLUVIOMETRIE

2.2.1 CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES GENERALES

Le secteur d'étude est situé dans une région dont le climat est méditerranéen. Les fréquentes sécheresses estivales et les orages très violents en sont les traits les plus connus.

En région méditerranéenne, la présence de la mer et des massifs montagneux proches, associée à la circulation générale des masses d'air d'Europe du Nord, sont à l'origine de situations météorologiques spécifiques, génératrices de champs pluvieux à très fort potentiel de précipitation.

Les pluies, au regard de la lame d'eau annuellement précipitée, sont de l'ordre de 630 mm en moyenne (Station Météo France d'Aix les Milles).

Elles sont très irrégulières, tant d'un mois à l'autre que d'une année à l'autre.

Plus particulièrement, le climat méditerranéen se caractérise par l'existence de pluies localisées de très forte intensité (plus de 300 mm en quelques heures) qui provoquent souvent des inondations catastrophiques, mais de courtes durées.

2.2.2 PRECIPITATIONS INTENSES

Les principaux apports proviennent de violentes averses dans le courant de l'automne ; certains en début d'hiver présentent également des précipitations importantes dues à du mauvais temps persistant parfois plusieurs jours. Les dépressions océaniques jouent quelquefois un rôle essentiel dans le comportement des pluies de printemps.

Les précipitations maximales journalières sur des courtes durées (pas de temps inférieurs à la journée) constituent des données fondamentales lorsqu'il s'agit de prévoir le comportement de petits bassins versants (à fortiori s'ils sont urbanisés) sensibles aux précipitations orageuses très intenses, mais de courte durée.

Ces données ne sont disponibles qu'en de très rares postes d'observation, équipés de pluviographes ou de stations automatiques. Parmi le réseau de mesure équipant la région et permettant de disposer d'informations sur un pas de temps inférieur à la journée, on peut retenir notamment la station d'Aix-en-Provence, à Aix-Les-Milles.

Les valeurs des quantiles de pluies pour différentes durées observées à la station météorologique d'Aix-Les-Milles, sur la période d'observation 1993 – 2008. Les quantiles de pluies résultant (en mm) sont les suivants :

TABLEAU 1 : QUANTILES DE PLUIE EN MM POUR LA STATION METEOROLOGIQUE D'AIX-LES-MILLES

<Durée	Période de retour					
	5 ans	10 ans	20 ans	30 ans	50 ans	100 ans
6 min	11.47	12.55	13.42	13.91	14.38	14.91
15 min	20.98	24.22	27.35	29.27	31.56	34.64
30 min	33.12	39.80	46.86	51.39	57.21	65.54
1 h	52.30	65.43	80.30	90.23	103.69	124.02
2 h	59.75	75.91	95.37	108.33	126.49	155.54
3 h	65.27	82.38	102.84	116.34	135.13	164.96
6 h	75.92	94.77	117.00	131.44	151.29	182.40
12 h	88.30	109.01	133.10	148.49	169.39	201.68
24 h	102.70	125.39	151.41	167.76	189.65	223.01

2.2.3 EVENEMENT DE SEPTEMBRE 1993

L'évènement du 22 septembre 1993 est à ce jour le plus fort évènement enregistré sur le secteur. Le temps de retour de cet évènement est légèrement supérieur à 100ans à l'échelle du bassin versant du Grand Vallat et constitue donc l'évènement de référence.

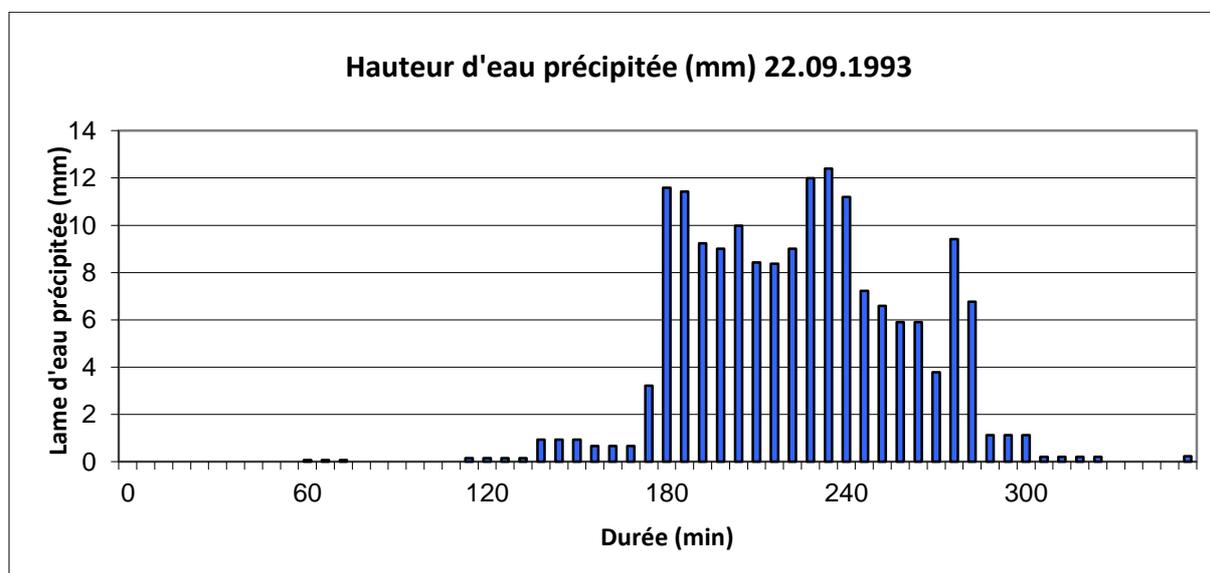


Figure 3 : Pluie de septembre 1993

2.3 MODELISATION PLUIE-DEBIT

Le modèle pluie-débit a été réalisé sur la base du logiciel « HEC-HMS ».,.



Cette méthode, relativement précise, permet de déterminer un hydrogramme de crue en réponse à une pluie de projet.

Pour construire un tel modèle, le secteur d'étude a été découpé en plusieurs sous bassins versants.

La figure ci-dessous illustre le redécoupage plus précis en sous bassin versants.

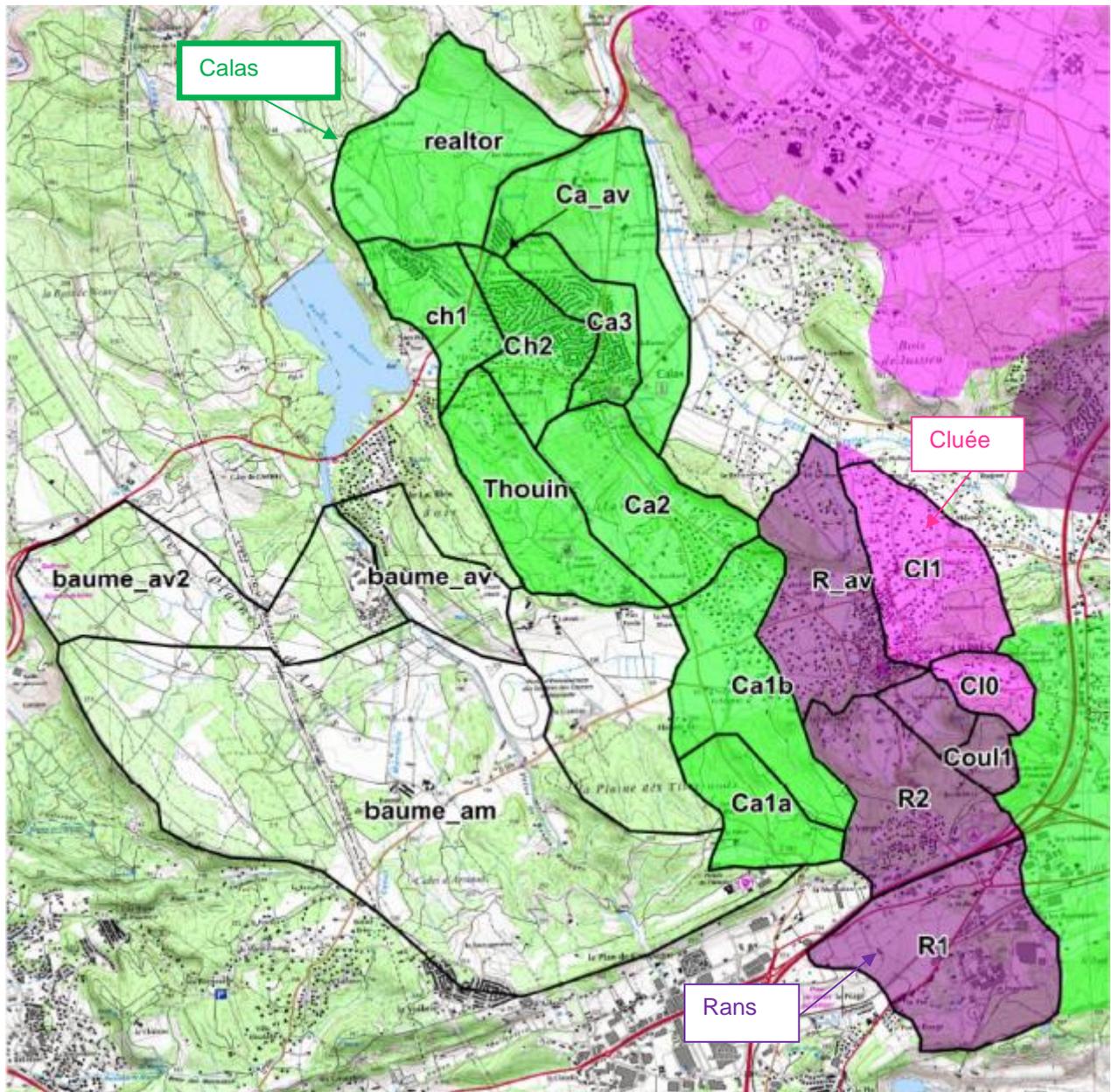


Figure 4 : Cartographie des sous bassins versants

Les bassins versants des vallons de Calas, Rans, Cluée ont été redécoupés en sous bassins versants afin d'avoir un modèle plus détaillé dans les secteurs d'étude.

Le vallon de la Baume de baragne n'étant pas modélisé dans le modèle de l'étude précédente, des nouveaux sous bassins versants ont donc été créés pour étendre le modèle.

Chaque sous BV a été défini par certains paramètres hydrologiques :

- un coefficient de ruissellement appelé Curve Number, défini selon l'occupation du sol, qui caractérise le ruissellement,
- l'absorption initiale,
- un temps de concentration.

2.3.1 PARAMETRES HYDROLOGIQUES

Les paramètres hydrologiques ont été déterminés en cohérence avec la précédente étude réalisée pour le SABA en 2014.

2.3.1.1 Caractéristiques géométriques des sous BV

Les caractéristiques géométriques de chaque sous BV sont :

- la superficie S,
- la longueur du plus long chemin hydraulique L (du point le plus haut du bassin versant jusqu'à son exutoire),
- la pente pondérée Ipond.

Elles sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2 : Caractéristiques géométriques des sous BV

	sous BV	S (km ²)	L (km)	Ipond (%)
Cluée	Cl0	0.3	1.4	4.7
	cl1	1.12	1.8	4.31.8
Calas	ca3	0.6	1.0	1.5
	ca1a	0.7	1.5	3.7
	ch1	0.7	1.4	2.6
	ch2	0.71	1.4	3.0
	ca2	1.25	1.7	2.9
	ca1b	1.34	2.4	3.4
	realtor	1.45	1.9	3.8
	ca_av	1.65	2.5	1.6
	Rans	R2	1.3	1.8
R1		1.8	1.7	4.0
coul1		0.2	0.5	8.0
coul2		0.25	0.8	1.8
Rav		1.39	2.3	4.1
Baume Baragne	baume_aval	2.08	1.7	2.7
	baume_amont	7.9	4.3	1.8
	baume_aval2	0.8	3.6	1.7

2.3.1.2 Curve Number (indice de ruissellement)

Afin d'affecter à chaque sous BV un indice de ruissellement CN, le secteur d'étude a été découpé en plusieurs zones homogènes en termes d'occupation du sol, à l'aide de photographies aériennes.



Les surfaces définies et leur Curve Number associé sont indiquées dans le tableau ci-dessous. Le CN tient compte des caractéristiques et des conditions d'humidité du sol.

Tableau 3 : Définition du Curve Number

Occupation du sol	CN
surface boisée	55
Surface urbanisée dense lots 0.05 ha ou moins	85
Surface urbanisée peu dense lots 0.1 ha	75
Surface urbanisée peu dense lots 0.13 ha	72
Surface urbanisée peu dense lots 0.2 ha	70
Surface urbanisée peu dense lots 0.3 ha	69
Champs ou prairie	58
Secteur industriel	88

Ces coefficients ont été définis pour un groupe hydrologique du sol type « sols de vitesses d'infiltration intermédiaires » et pour des conditions antécédentes d'humidité moyennes (tableau adapté de Chow et al. (1988), Rivard, 2005). Ainsi, la répartition de l'occupation du sol est illustrée par la figure ci-après. Les CN moyens calculés pour chaque sous BV figurent dans le tableau ci-dessous.

Tableau 4 : Curve Number moyen pour chaque sous BV

Sous BV	CN
ba_av2	60
ba_av	65
ba_am	60
ca3	68
ca1a	61
ch1	65
ch2	68
ca2	61
ca1b	61
realtor	58
ca_av	61
Cl0	64
cl1b	64
coul1	61
coul2	64
R2	64
Rav	73
R1	70

2.3.1.3 Absorption initiale

L'infiltration initiale (avant que les sols ne commencent à ruisseler) est représenté dans le modèle pluie-débit par un paramètre I_a , exprimé en mm, représentant les pertes initiales par interception du sol, défini comme tel, par application de la méthode SCS (Soil Conservation Service) :

$$I_a = 0.2 \times S$$

S, exprimé en mm, correspond à la capacité de stockage du sol et du paramètre de ruissellement CN, il est défini par :

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Tableau 5 : Absorption initiale (mm)

Sous BV	I_a
ba_av2	12
ba_av	30
ba_am	36
ca3	29,9
ca1a	40,6
ch1	34,2
ch2	29,9
ca2	40,6
ca1b	40,6
realtor	46
ca_av	40,6
CI0	35,72
cl1b	35,72
coul1	37,8
coul2	34,8
R2	34,8
Rav	23,5
R1	27

2.3.1.4 Temps de concentration

Il correspond au temps que met une goutte d'eau pour traverser le bassin versant de son point le plus haut à son exutoire.

Les temps de concentration ont été définis par plusieurs méthodes de calcul hydrologiques :

- la formulation de Ventura,
- la formulation de Passini,
- la méthode du guide du Setra (consistant à diviser le chemin hydraulique du bassin versant en des tronçons de pente homogène et à calculer un temps d'écoulement sur chaque tronçon par une relation entre la pente et la vitesse, différente selon si les écoulements sont diffus ou concentrés).



Ces trois méthodes ont permis de définir dans un premier temps un intervalle de validité. Les temps ont ensuite été définis précisément de manière à être cohérent avec l'étude réalisée pour le SABA.

Tableau 6 : Définition des temps de concentration

Sous BV	Tc (min)
ba_av2	42.00
ba_av	66.00
ba_am	133.00
ca3	60.00
ca1a	20.00
ch1	30.00
ch2	30.00
ca2	20.00
ca1b	20.00
realtor	60.00
ca_av	60.00
Cl0	22.75
cl1b	68.25
coul1	35.00
coul2	35.00
R2	40.00
Rav	66.67
R1	30.00

2.3.1.5 Résultats

Ces paramètres ont été calés afin d'obtenir des hydrogrammes cohérents avec l'étude réalisée pour le Saba, et d'éviter une augmentation préjudiciable des débits à l'aval.

Les figures ci-dessous illustrent la comparaison des hydrogrammes avant et après redécoupage.

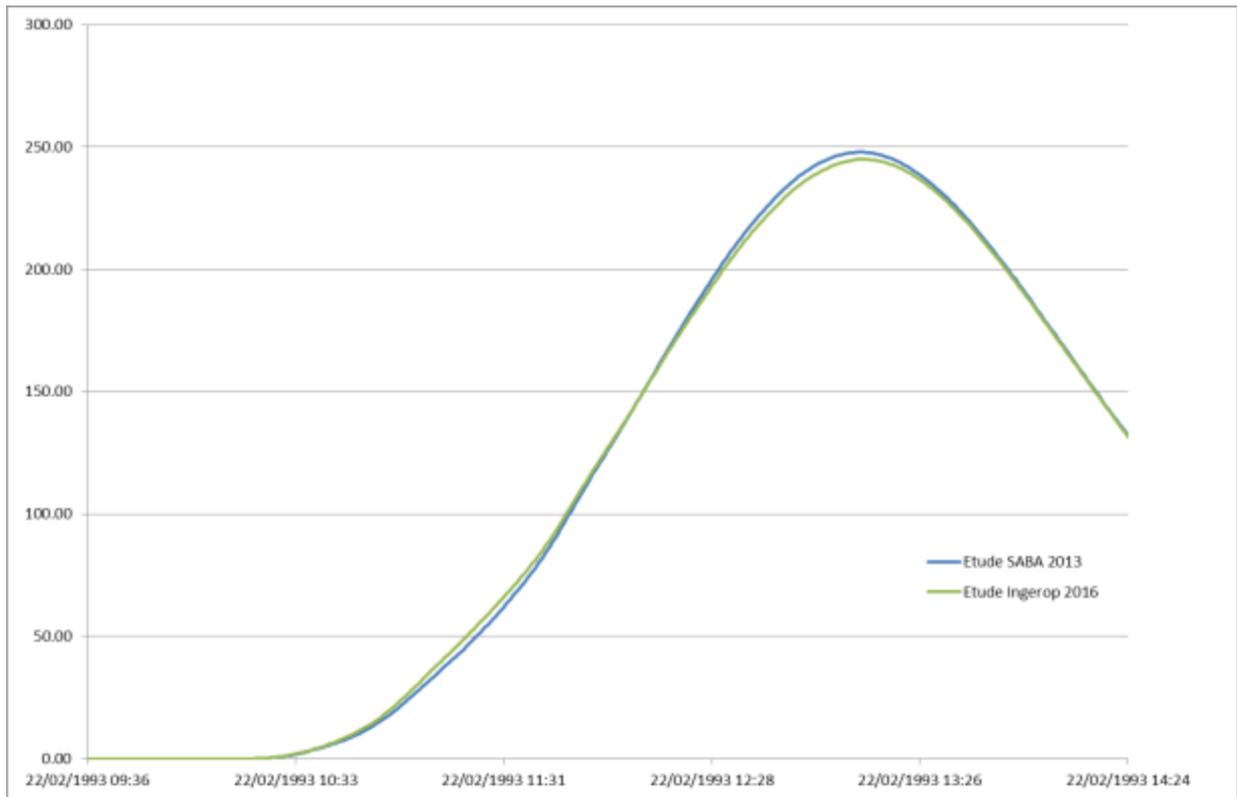


Figure 5 : Comparaison des hydrogrammes – bassin versant de la Cluée

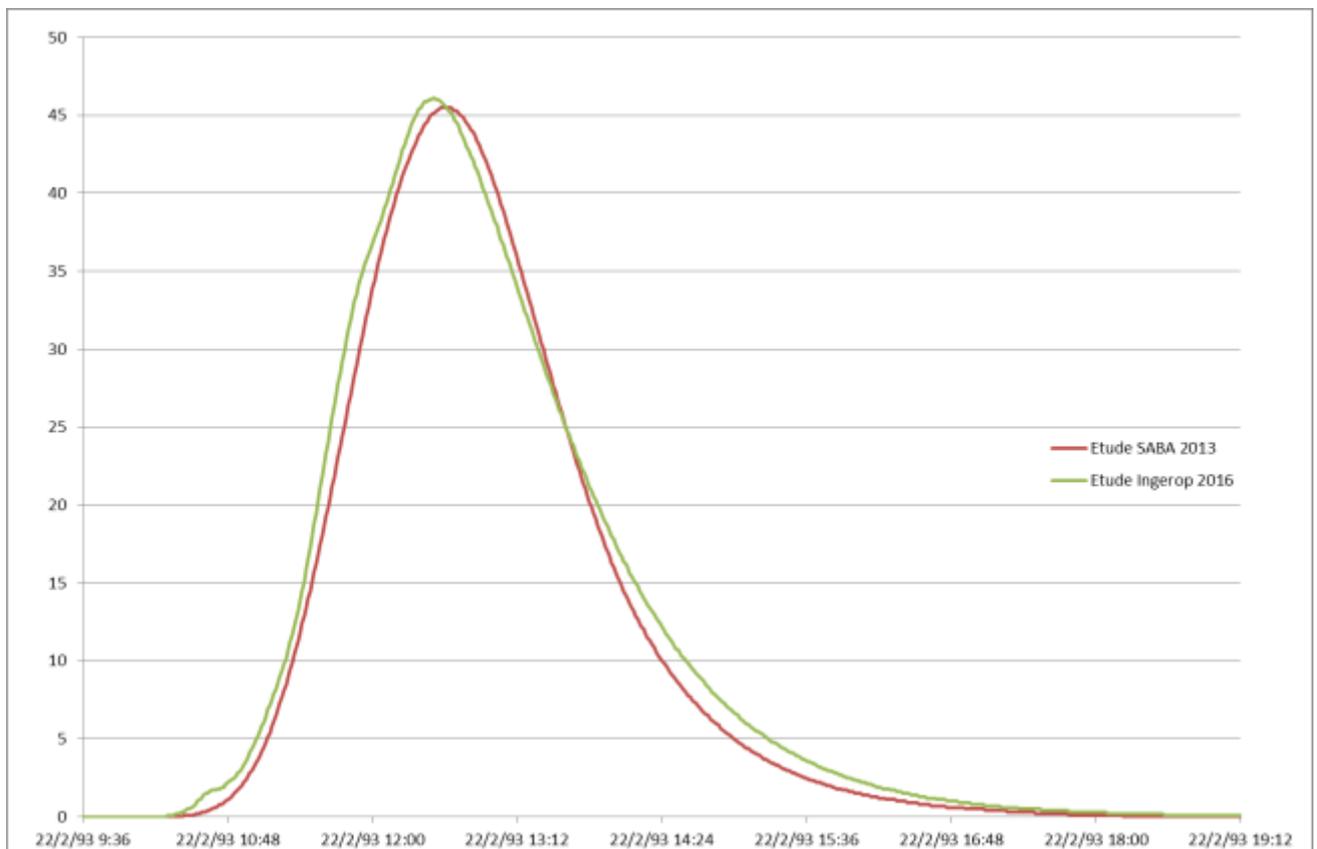


Figure 6 : Comparaison des hydrogrammes – bassin versant de Rans



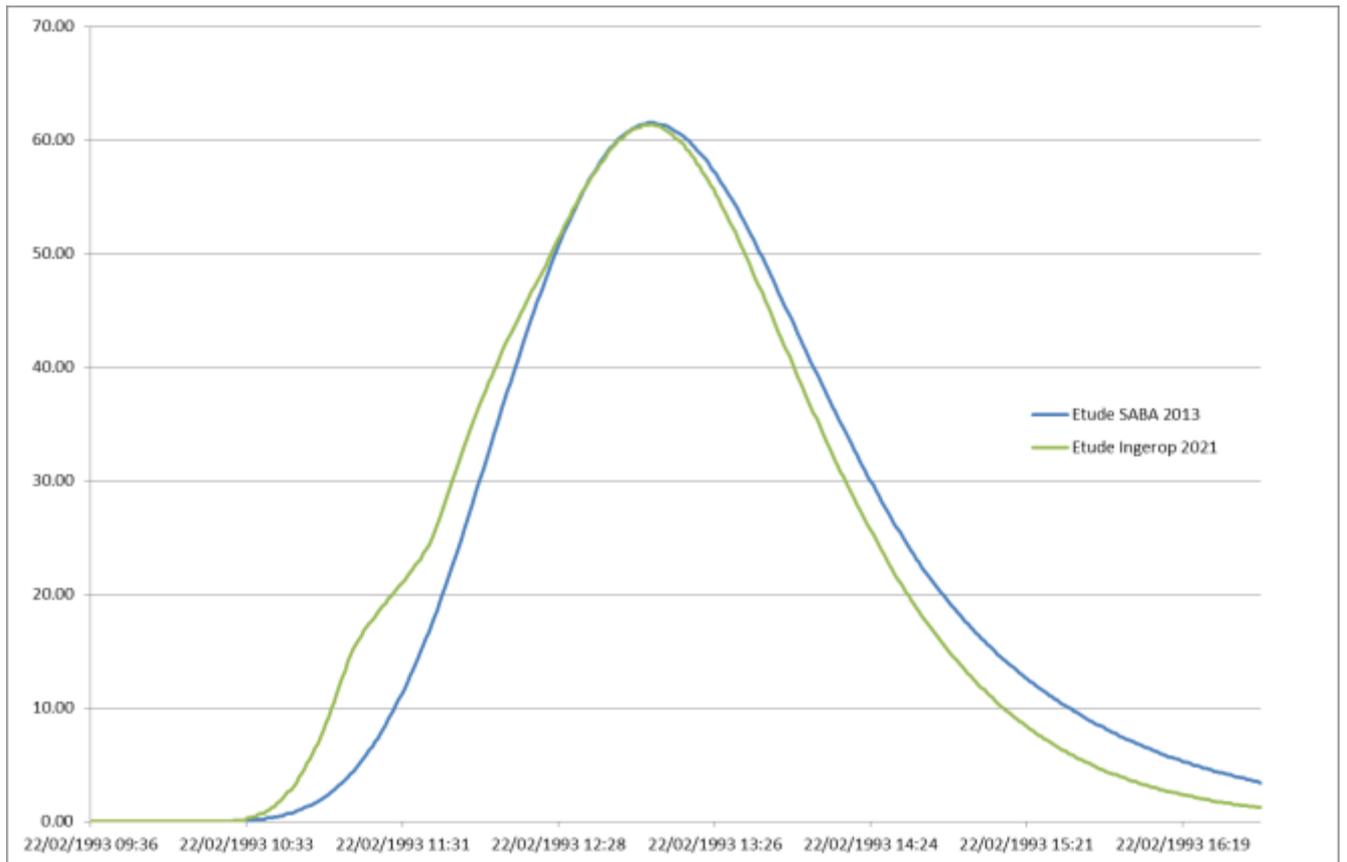


Figure 7 : Comparaison des hydrogrammes – bassin versant de Calas

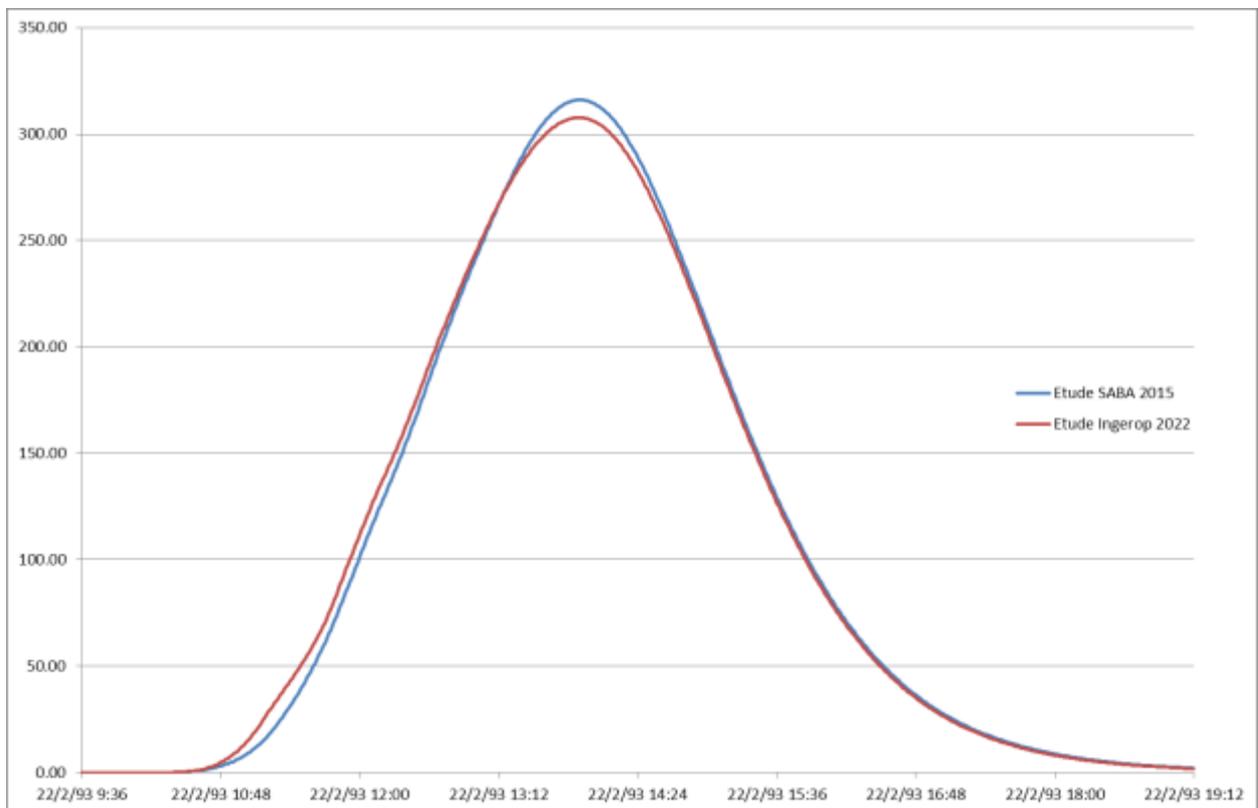


Figure 8 : Comparaison des hydrogrammes – Grand Vallat aval



Ces hydrogrammes indiquent que le redécoupage plus fins des sous bassins versants n'a pas d'impact préjudiciable sur les hydrogrammes. La *Figure 8 : Comparaison des hydrogrammes – Grand Vallat aval* compare les hydrogrammes du Grand Vallat à l'aval de la zone d'étude pour vérifier que la modification du modèle n'entraîne pas d'impact négatif à l'aval de la zone d'étude.

Le tableau suivant présente les débits de pointe obtenus aux exutoires de chaque sous bassin.

Sous BV	Pic Q93 (m³/s)
ba_av2	8
ba_av	20.6
ba_am	50.3
ca3	8.3
ca1a	10.2
ch1	10.8
ch2	12.2
ca2	18.3
ca1b	19.6
realtor	13.9
ca_av	17.8
Cl0	4.8
cl1b	13.1
coul1	2.6
coul2	3.6
R2	17.9
Rav	21.5
R1	32.8

Tableau 7 : Résultats de la modélisation pour la crue de 1993

Les analyses réalisées antérieurement ainsi que la comparaison des débits pseudo-spécifiques constituent des outils intéressants pour la vérification de la cohérence des résultats obtenus.

Le débit pseudo-spécifique, donné par la formule ci-après, permet de comparer des débits générés par des bassins versants similaires, mais de taille différente.

$$Q_{ps} = \frac{Q}{S^{0.8}}$$

Avec Q le débit exprimé en m³/s et S la superficie du bassin versant en km².

L'analyse de ces débits pseudo-spécifiques montre que les valeurs sont globalement cohérentes avec les études antérieures.

2.3.2 CAS DU BASSIN VERSANT DE BAUME DE BARAGNE

Le bassin de Baume de Baragne n'étant pas modélisé dans les études antérieures, il n'a pas été possible de caler le modèle. Afin de vérifier la cohérence des résultats nous avons modélisé une pluie de projet centennale.

La pluie de projet, renseignée en entrée du modèle pluie-débit, a été définie par utilisation de la station pluviométrique d'Aix-les-Milles. C'est une pluie double-triangle dont la période intense est égale au temps de concentration du bassin versant de Baume de Baragne et dont la période totale est égale à trois fois ce temps de concentration. Le temps de concentration de Baume de Baragne a été pris égal à 140 min (soit environ 2h20).

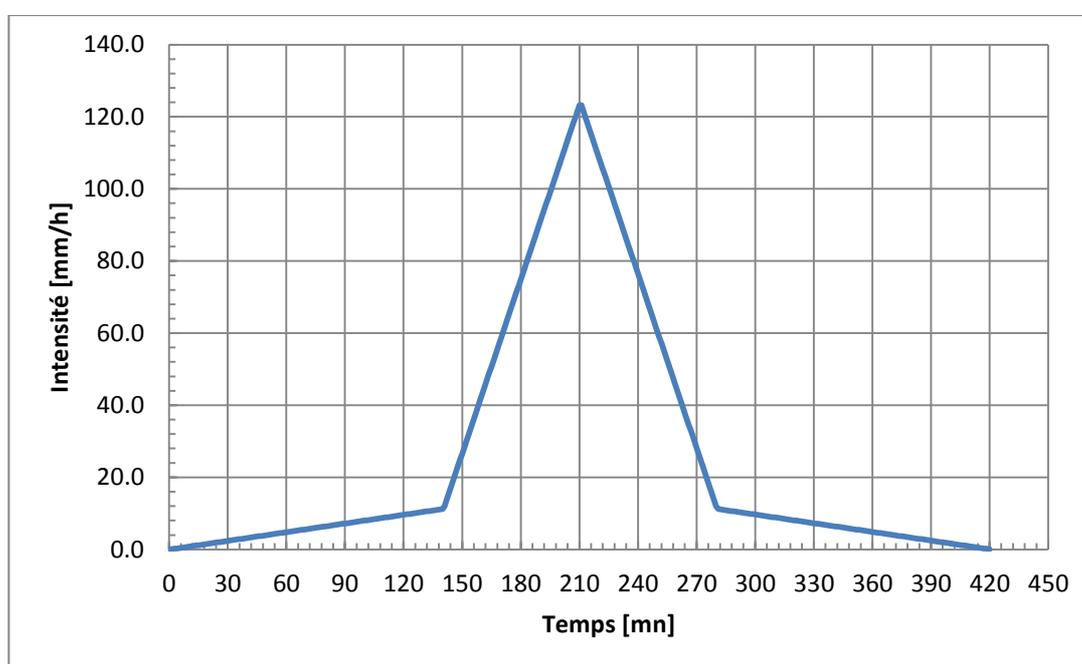


Figure 9 : Pluie de projet centennale

Sous BV	Pic Q93 (m ³ /s)	Pic Q100 (m ³ /s)
ba_av2	8	12.5
ba_av	20.6	29
ba_am	50.3	64

Tableau 8 : Résultats de la modélisation Pluie-Débit pour une pluie de projet centennale

Sur ce bassin versant plus naturel et au temps de réponse plus court, l'évènement centennal est supérieur à l'évènement de 1993.

La crue de référence sur le bassin versant de baume de Baragne est donc la crue centennale.



3 ANALYSE HYDRAULIQUE

3.1 METHODOLOGIE GENERALE

Compte tenu de la complexité des phénomènes mis en jeu et des enjeux de l'étude (plusieurs cours d'eau, multiples obstacles à l'écoulement en lit majeur, différents axes d'écoulement ...), une modélisation couplée 1D/2D des écoulements a été réalisée. Le logiciel utilisé pour cela est MIKE FLOOD distribué par la société DHI (Danish Hydraulic Institute). Cet outil permet le couplage d'un modèle 1D (lit mineur) et d'un modèle 2D (champ d'expansion de crue, lit majeur) sous les interfaces respectives MIKE 11 et MIKE 21.

Par définition, le modèle 1D du lit mineur fournit une ligne d'eau avec une cote constante sur toute la largeur des profils en travers (aucune variation de la ligne d'eau perpendiculairement au sens d'écoulement).

Le modèle bidimensionnel se compose d'un découpage fin du secteur d'étude permettant de connaître à chaque instant de simulation les hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement en chaque maille du modèle, donnant localement les caractéristiques principales d'écoulement.

Le modèle mis en œuvre permet donc d'obtenir une description précise du champ des vitesses et des axes d'écoulement. Autrement dit, il est possible de simuler les crues en temps réel, les vitesses, les directions d'écoulement et les hauteurs d'eau étant connues en tout point et à chaque instant.

Notons que le charriage de débris divers en cas de crue et les phénomènes d'embâcles ne sont pas pris en compte dans la modélisation. Notons également que, par hypothèse, les calculs sont réalisés à fond fixe. Aucune modélisation du transport sédimentaire ni aucune variation du fond du lit n'est modélisée dans la présente étude.

3.2 DONNEES TOPOGRAPHIQUES

3.2.1 MODELES NUMERIQUES DE TERRAIN

Le MNT fourni par la CPA donne un point topographique tous les 5 m avec une précision altimétrique de 15 cm.

3.2.2 LEVES TERRESTRES

Des levés terrestres des profils en travers du lit mineur et des ouvrages ont été réalisés en février 2016 par le cabinet de géomètre Enjalbert. Les figures ci-dessous représentent des exemples de profil en travers levés.

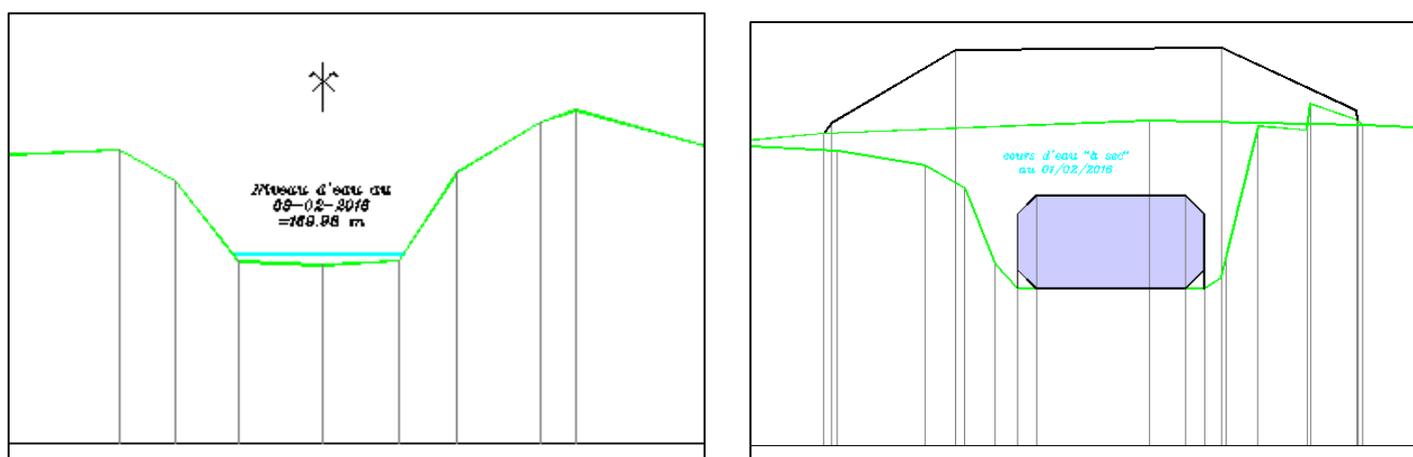


Figure 10 : Exemple de profils en travers levés

3.3 CONSTRUCTION DU MODELE

3.3.1 MODELE 1D – LIT MINEUR

Le modèle 1D (unidimensionnel) du lit mineur des différents cours d'eau a été établi sous le logiciel MIKE 11. La géométrie des cours d'eau est définie par leur profil en long et les différents profils en travers.

7 cours d'eau sont modélisés :

- Le vallon de Fontaube (4.5km)
- Le vallon de Rans (1.6km)
- Le Couladou (0.7km)
- Le vallon de la Cluée (1.6km)
- Le vallon de Champfleury (2.1km)
- Le vallon de Baume Baragne (1.1km)
- Un fossé en amont du vallon de Baume Baragne (0.9km)

Les profils en travers utilisés sont ceux levés par le cabinet Enjalbert en 2015.

Au total, le modèle est constitué de 111 profils en travers (hors interpolés, 470 avec interpolés), sur un linéaire total de 12.5 km de cours d'eau, ce qui représente une interdistance moyenne entre profils d'environ 35 m. Ce modèle comporte également 60 ouvrages hydrauliques (ponts, seuils, etc...).

La figure ci-après présente une vue en plan du modèle 1D réalisé.

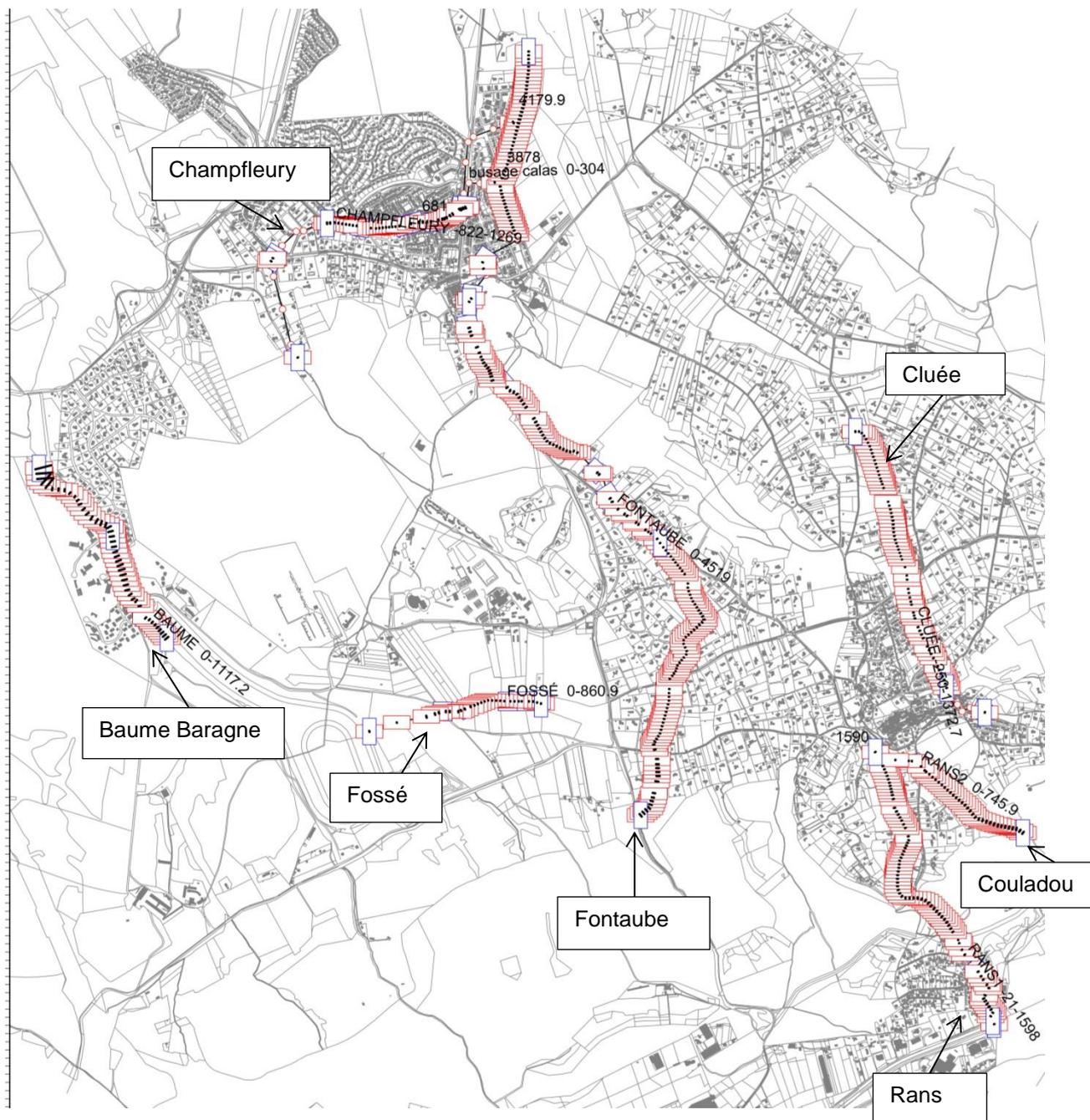


Figure 11 : Vue en plan du modèle 1D réalisé

3.3.1 MODELE 2D – LIT MAJEUR

Le modèle 2D est constitué d'un modèle topographique précis, établi sur la base des données topographiques disponibles, notamment le MNT fourni par la CPA.

La superficie du secteur modélisé en 2D est de **9.3 km²**. Ce modèle est constitué de mailles carrées de **5 m x 5 m**, soit un nombre total de mailles potentiellement inondables égal à **373 000**. Chaque maille correspond à un point de calcul pour lequel le modèle fournit une valeur de hauteur d'eau ainsi qu'une vitesse et une direction d'écoulement à chaque instant de simulation.

La figure ci-après présente une vue en plan du modèle topographique réalisé. Le lit mineur des différents cours d'eau n'apparaît pas coloré compte tenu que le calcul est effectué en 1D en lit mineur. L'ensemble des bâtiments du cadastre a été intégré au modèle en tant qu'obstacle à l'écoulement (mise hors d'eau des bâtis).

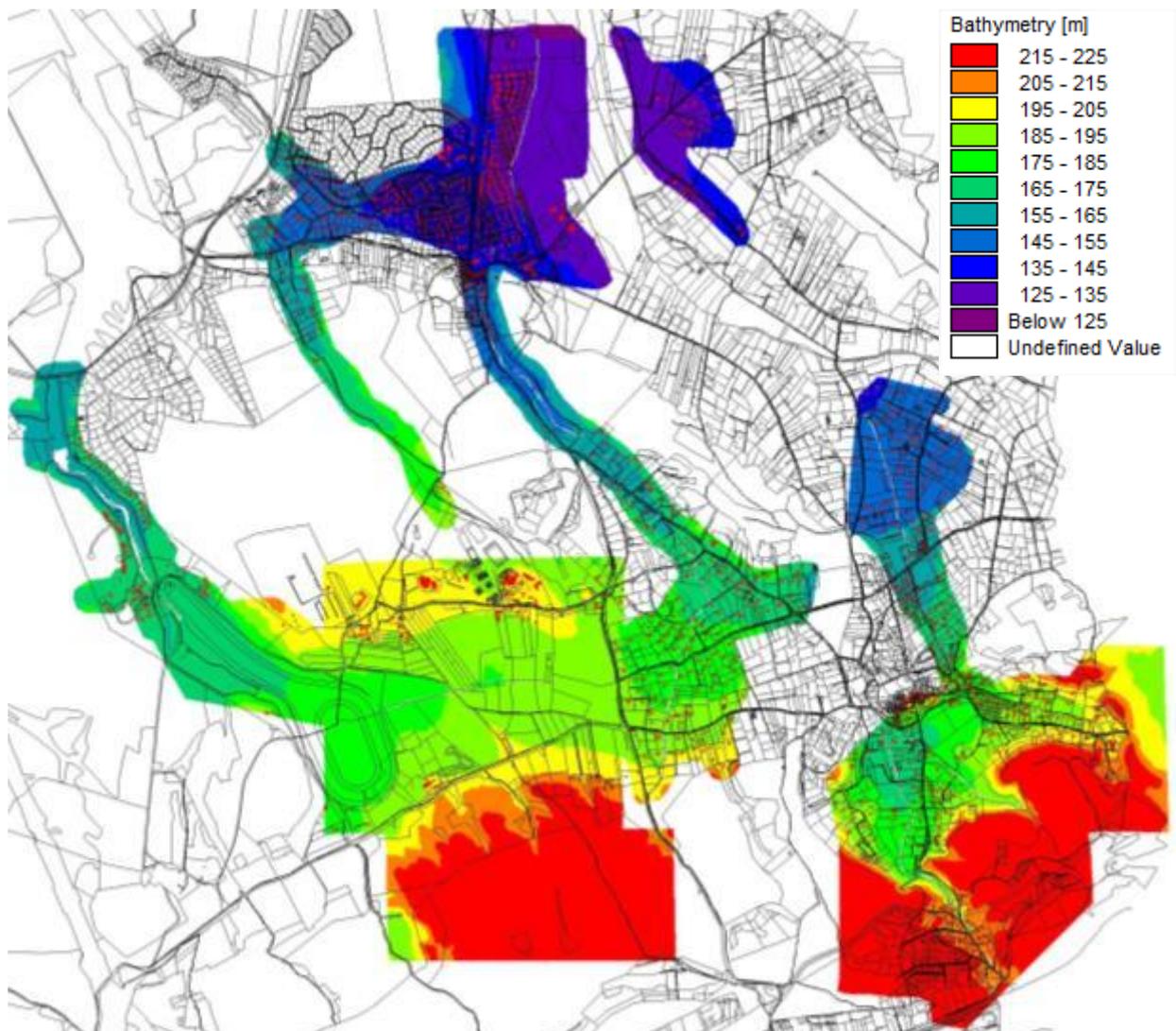


Figure 12 : Vue en plan du modèle 2D

3.3.2 COEFFICIENT DE RUGOSITE

Un coefficient de rugosité a été attribué à chaque maille en fonction de l'occupation du sol. Les coefficients de rugosité retenus pour chaque type d'occupation du sol sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 9 : Coefficients de rugosité retenus en lit majeur

Occupation du sol	Coefficient de rugosité
Zones boisées	10
Lotissements	12
Champs type friche ou jardin	20
Champs type culture	30
Stabilisé	45
Routes	55

Les coefficients de rugosité retenus dans les lits mineurs sont les suivants :

Tableau 10 : Coefficients de rugosité retenus en lit mineur

Type de surface	Coefficient de rugosité
Lit naturel fortement encombré	15
Lit naturel moyennement	20-25
Lit bétonné	40

Il est important de rappeler que les bâtiments ont été intégrés au modèle hydraulique en tant qu'obstacle à l'écoulement des crues (mise hors d'eau). Le coefficient de rugosité retenu en lit majeur intègre ainsi les différentes occupations du sol rencontrées et la prise en compte des effets d'obstacles des différents éléments (mobilier urbain, murets, etc...).

Le coefficient de rugosité retenu en lit mineur traduit plusieurs éléments (sinuosité, rugosité de fond, présence plus ou moins importante de végétation).

La figure ci-après présente un extrait de la vue en plan des coefficients de rugosité appliqués selon l'occupation du sol de la zone d'étude.

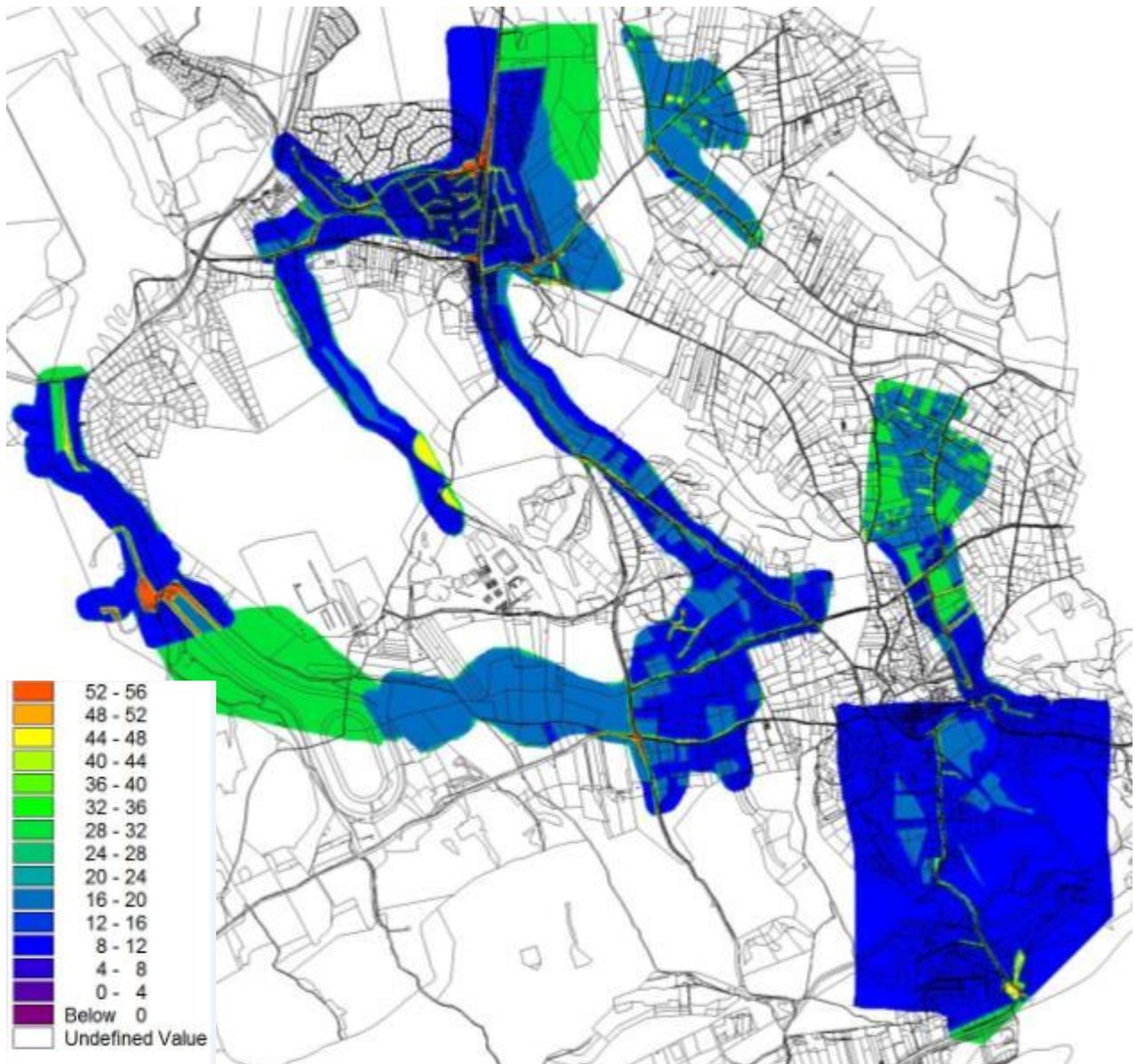


Figure 13 : Modèle de rugosité en lit majeur

3.3.1 CONDITIONS AUX LIMITES

3.3.1.1 Condition amont

Les injections de débit se font ponctuellement ou progressivement. Le type d'injection a été défini à partir du réseau hydrographique et des reconnaissances de terrains.

Pour certains bassins versants ne possédant pas de thalweg marqué, la pluie a été modélisée directement dans le modèle 2D, en injectant la pluie nette ruisselée sur l'ensemble de ces bassins versants.

L'implantation des nœuds d'injection ponctuels ou progressifs de débit est présentée sur la figure suivante :



Figure 14 : Condition amont

3.3.1.2 Condition aval

Par souci de cohérence avec les études antérieures les niveaux d'eau aval de ces études ont été conservés. Pour les cours d'eau n'étant pas modélisé dans les études précédentes, une loi hauteur – débit est calculée en fonction de la géométrie de ce profil et de la pente du tronçon aval. Elle correspond à une condition libre d'écoulement des eaux.

L' « étude pour la réduction de l'aléa inondation au droit des lieux habités en tenant compte du fonctionnement naturel des cours d'eau » de 2014 donne le niveau aval du vallat de Fontaube.

L'étude de « Synthèse et mise en cohérence des études existantes relatives à l'inondabilité des communes de Cabriès, Simiane-Collongue et Bouc-Bel-Air » de 2006 indique le niveau aval du Vallat de Rans et de la Cluée.

Le tableau ci-dessous récapitule les différentes conditions aval.

Tableau 11 : Condition aval

Cours d'eau	Condition aval
Fontaube	126.66 mNGF
Culée	146.36 mNGF
Rans	169.83 mNGF
Baume Baragne	Libre écoulement
Fossé	Libre écoulement

3.3.1 COUPLAGE 1D/2D

Le couplage entre le modèle 1D du lit mineur des ruisseaux et le modèle 2D représentant le lit majeur au droit du secteur d'étude a été réalisé sous l'interface de MIKE FLOOD.

Ainsi, des liens de déversements latéraux permettent les échanges entre le lit mineur et le lit majeur durant toute la durée de la simulation.

3.4 RESULTATS DES SIMULATIONS

3.4.1 RESULTATS DE LA MODELISATION ACTUELLE

Les figures ci-dessous présentent les résultats de la simulation.

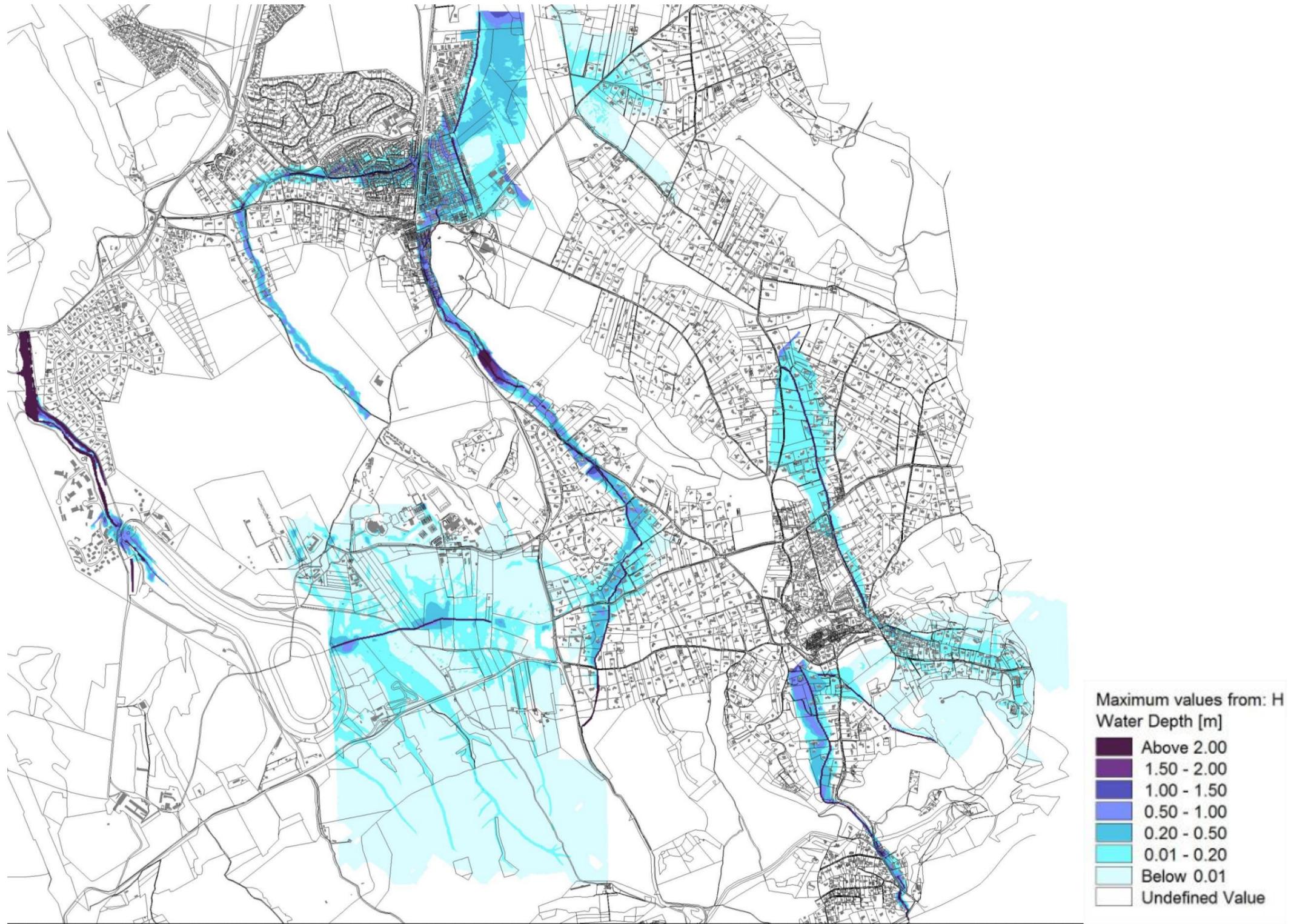


Figure 15 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales

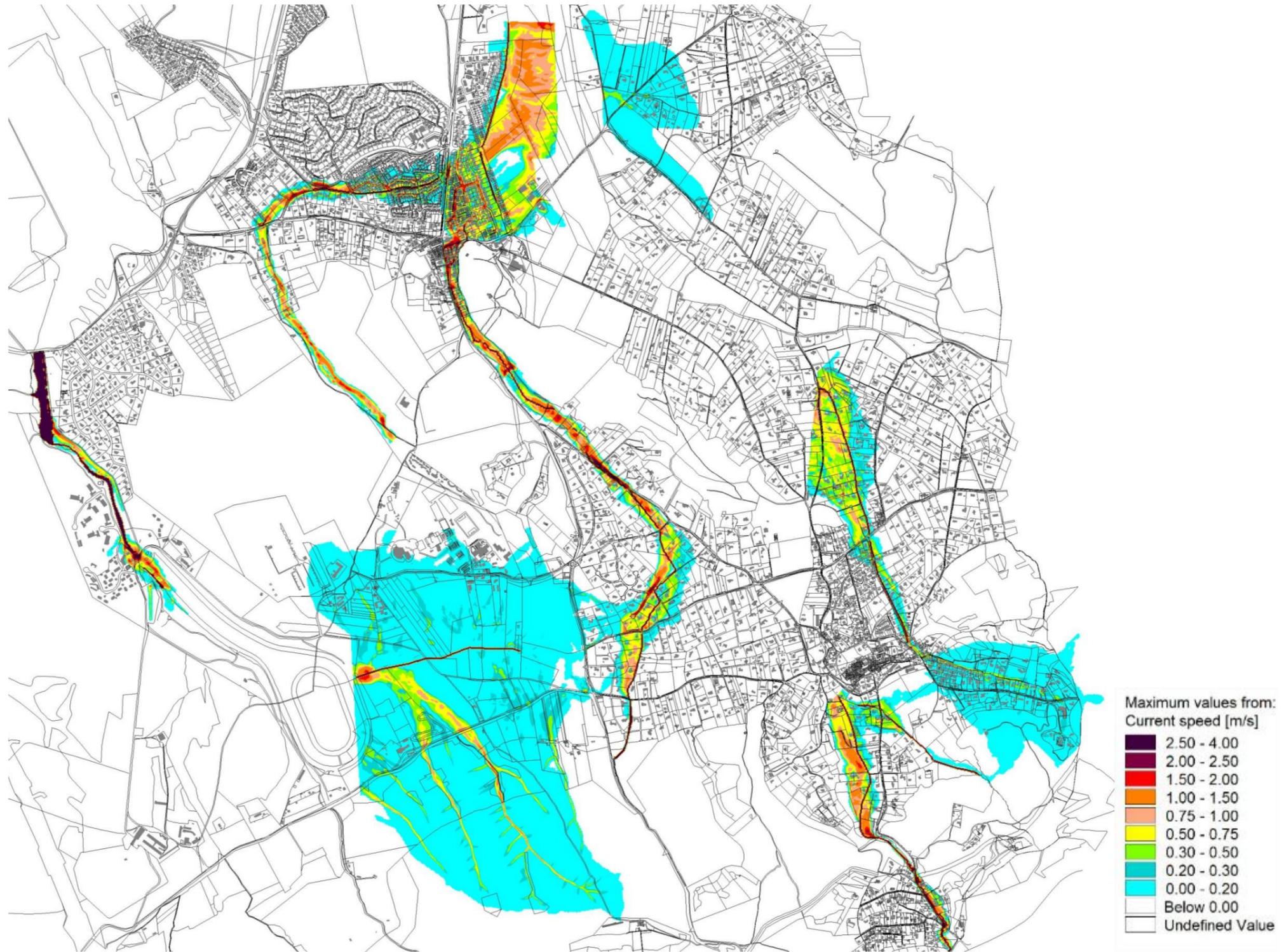


Figure 16 : Cartographie des vitesses maximales

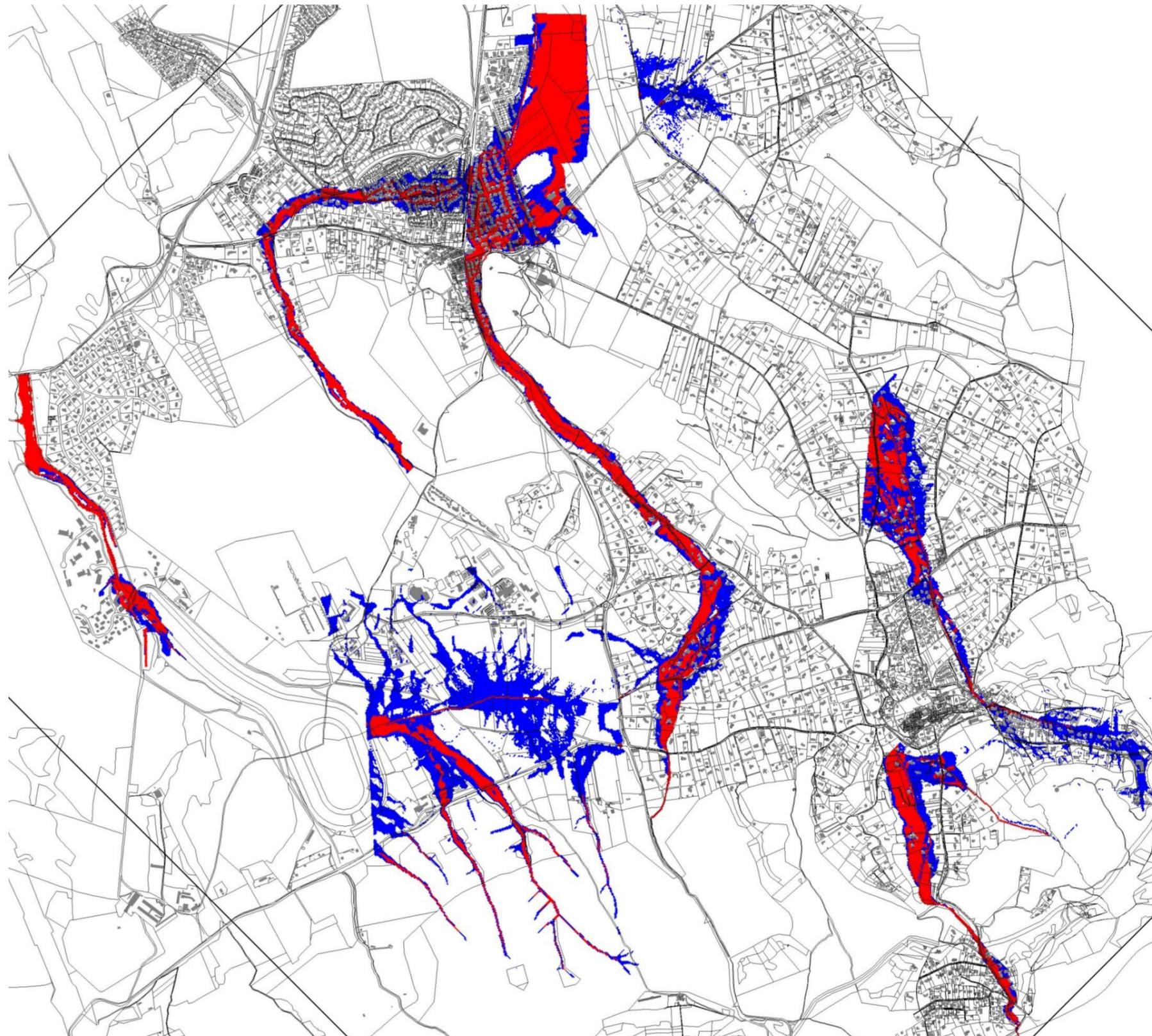


Figure 17 : Cartographie brute de l'aléa

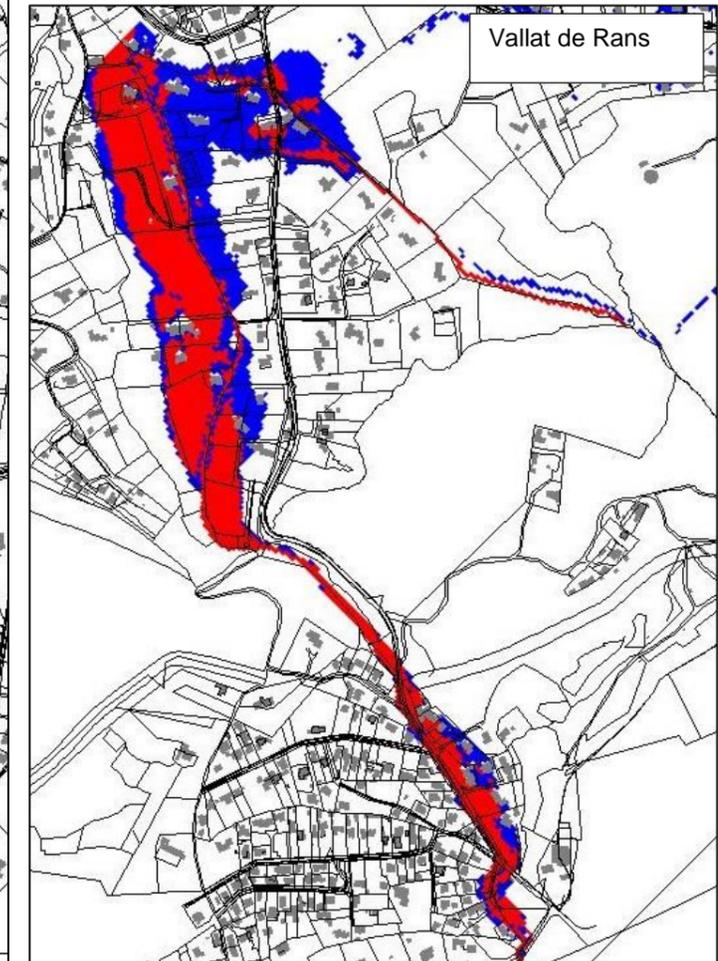
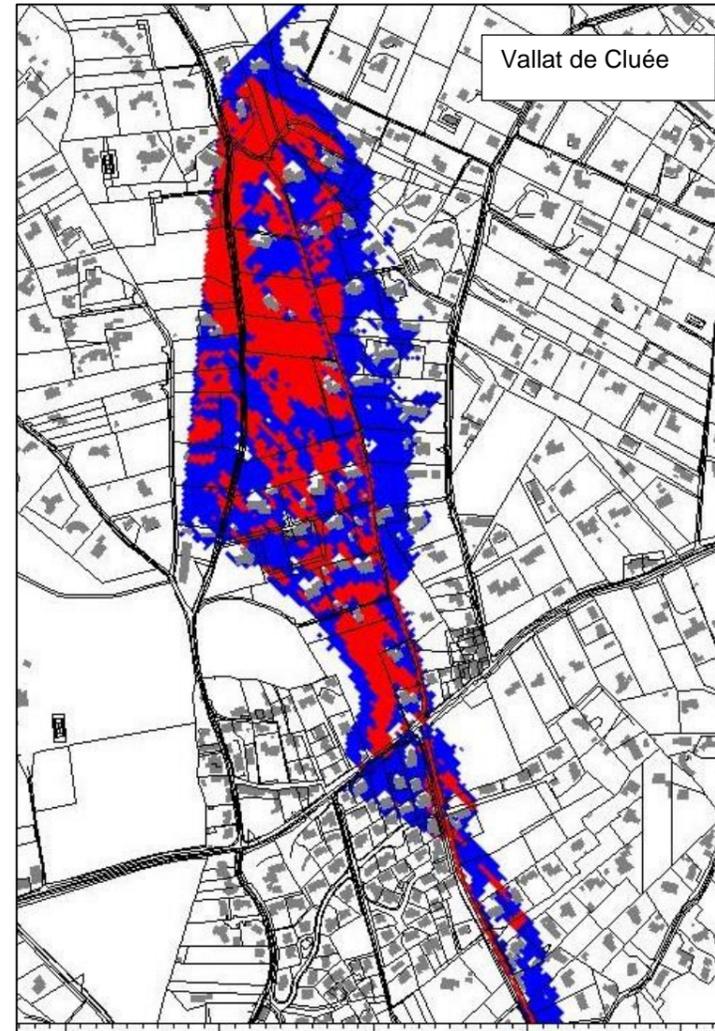
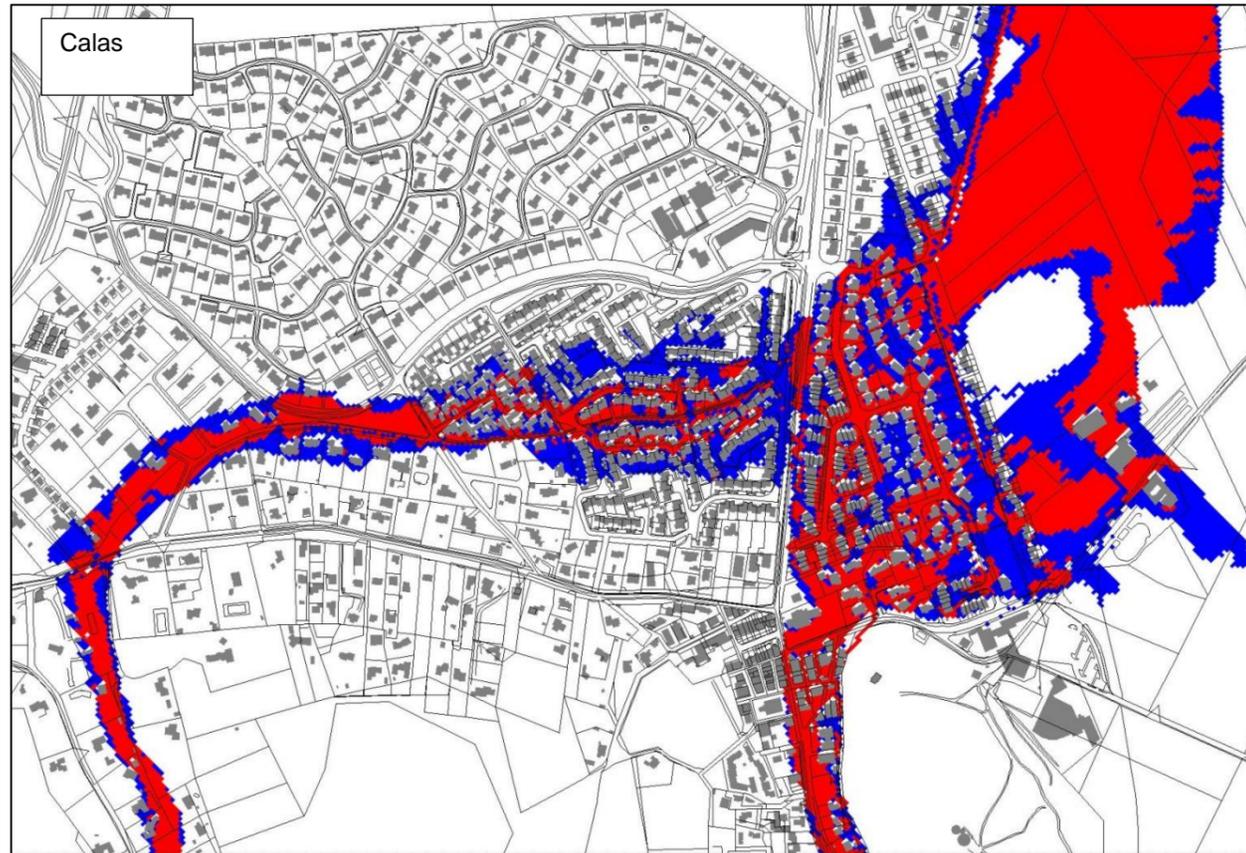


Figure 18 : Zoons de la cartographie d'aléa brute



Les niveaux d'aléas sont déterminés en fonction de l'intensité des paramètres physiques de l'inondation de référence qui se traduisent en termes de dommages aux biens et de gravité pour les personnes. Ce sont essentiellement les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulements. Des grilles de qualification de l'aléa ont été élaborées dans le cadre de la réglementation PPRi.

La grille de classification de l'aléa utilisée par les services de l'Etat dans le département des Bouches-du-Rhône est la suivante :

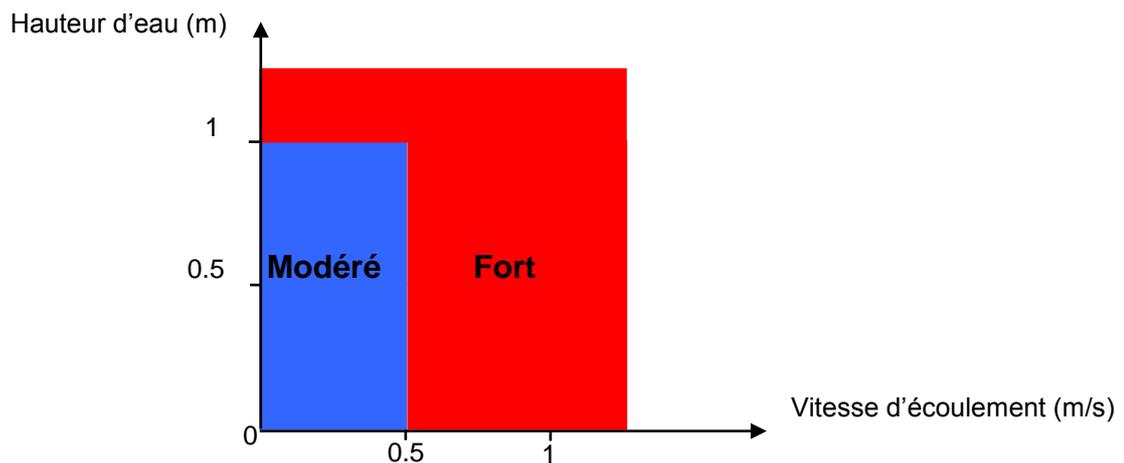


Figure 19 : Grille d'aléa « débordement de cours d'eau » (Source : DDTM13)

La cartographie de l'aléa inondation (croisement hauteurs / vitesses sur la base des résultats des simulations hydrauliques) sert de base au zonage règlementaire vis-à-vis de l'inondabilité.

Les figures précédentes présentent la cartographie « brute » de l'aléa inondation, établie sur la base des résultats des simulations (croisement hauteurs maximales / vitesses maximales).

Les principaux secteurs à aléa fort sont dus à de fortes vitesses dans les fonds de vallons. Les nombreux busages dans le centre de Calas entraînent des débordements et du ruissellement dans le centre urbain.

En amont du Vallat de Rans dans le quartier du Verger, le cours d'eau est chenalisé le long des habitations, plusieurs ouvrages sont présents sur ce linéaire ce qui crée des débordements en rive droite.

A l'aval du Vallat de la Cluée, l'aléa fort est dû aux fortes vitesses de débordements (jusqu'à 1m/s).

3.4.2 RESULTATS DES ETUDES ANTERIEURES

3.4.2.1 Etude de réduction de l'aléa inondation - SABA 2014

L'étude du Saba de 2014 portait sur le Grand Vallat, les figures ci-dessous illustrent les résultats de la modélisation pour la crue de 1993 sur le territoire de Cabriès.

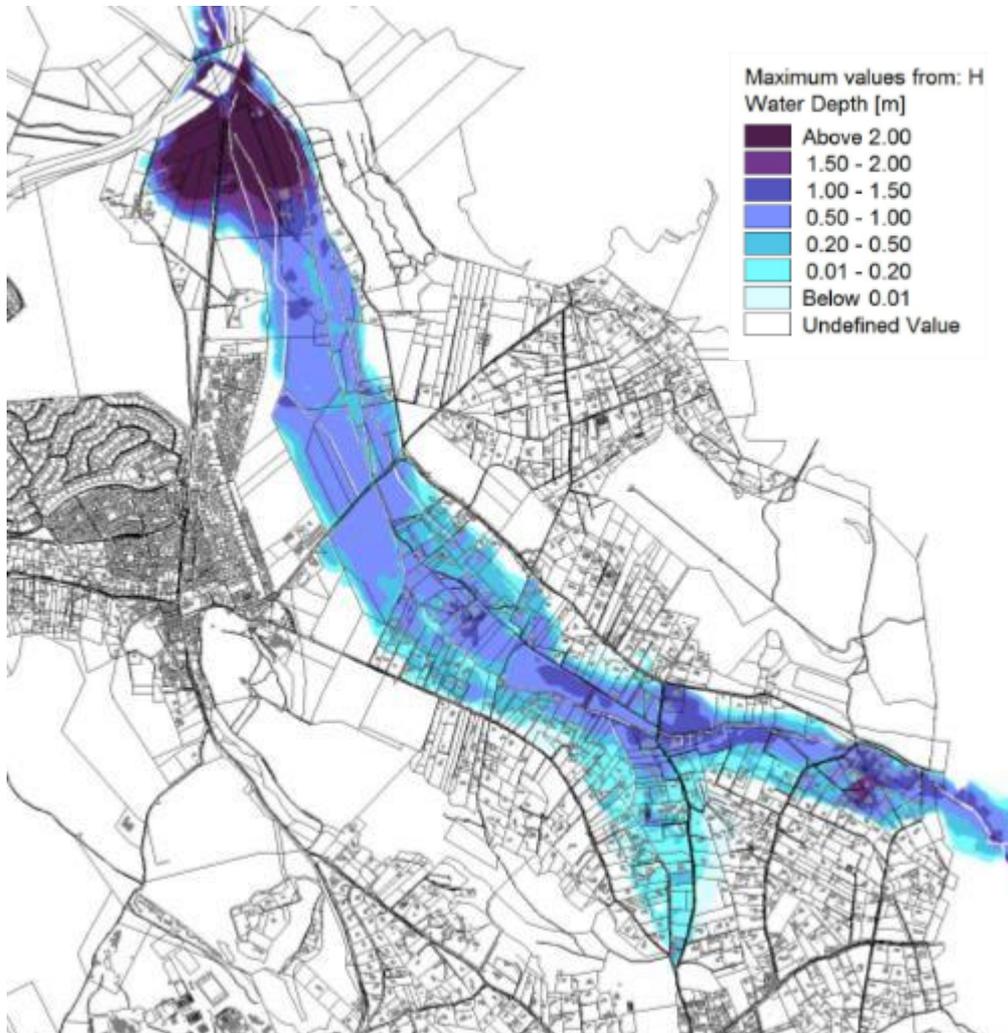
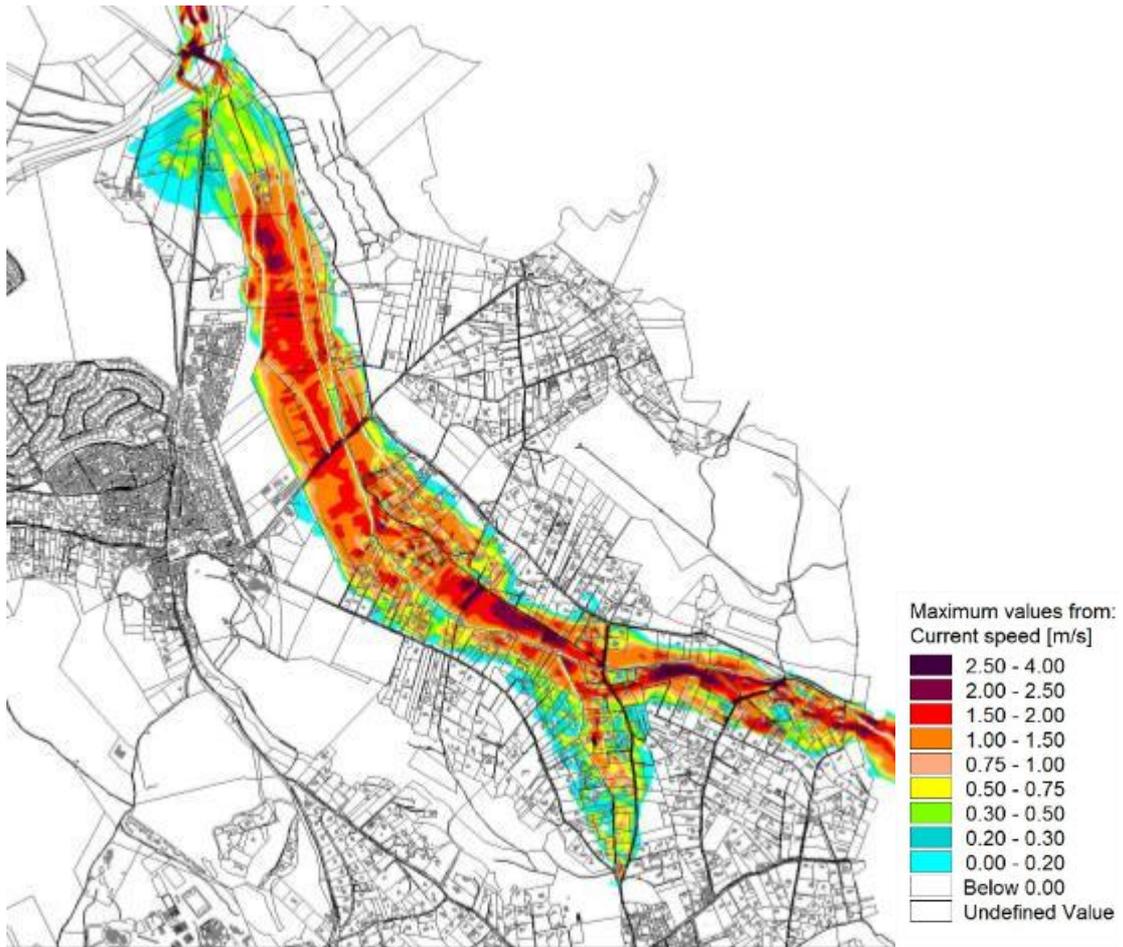


Figure 20 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales du Grand Vallat pour la crue de 1993 –
source : étude du SABA de 2014



**Figure 21 : Cartographie des vitesses maximales du Grand Vallat pour la crue de 1993 –
source : étude du SABA de 2014**

La cartographie de l'aléa ci-dessous a été construite à partir des deux cartes précédentes en utilisant la même grille d'aléa que précédemment.

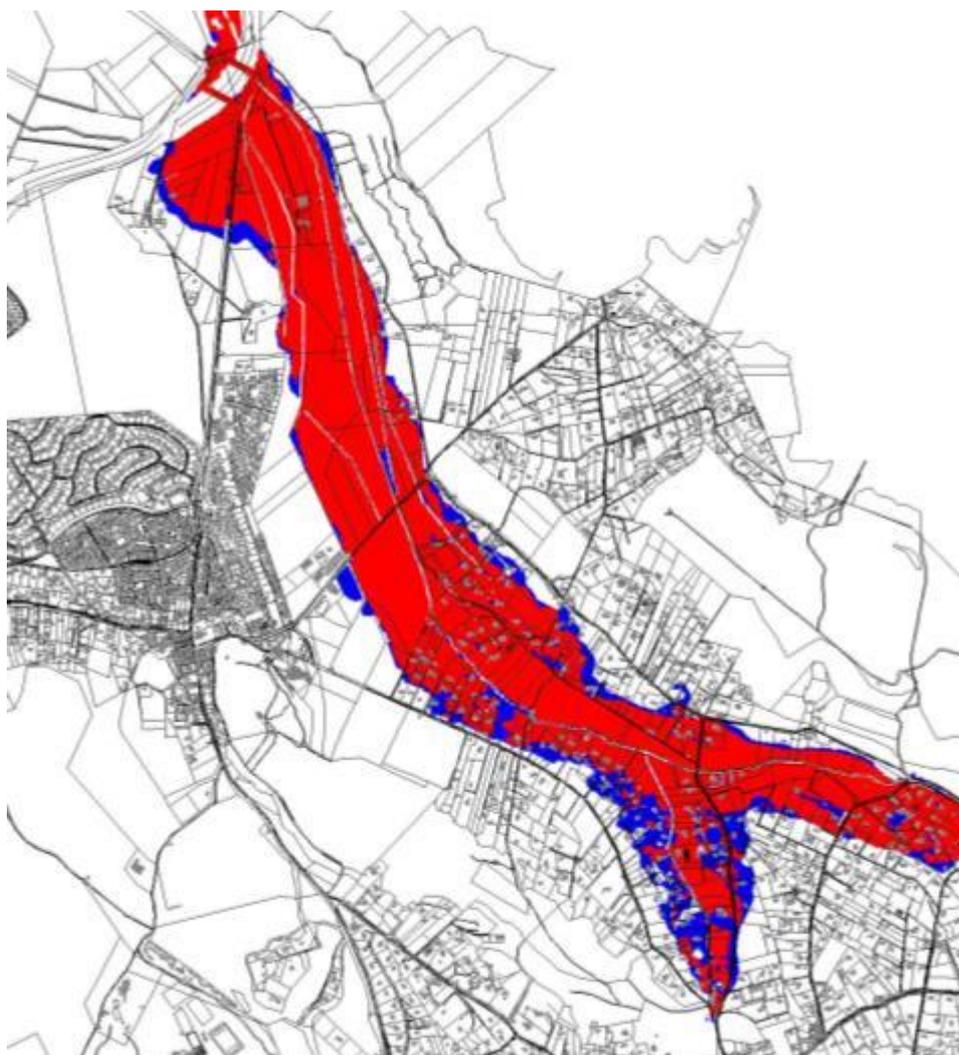


Figure 22 : Cartographie de l'aléa brut du Grand Vallat pour la crue de 1993

3.4.2.2 Etude de l'inondabilité de la commune de Cabriès – Ipseau 2006

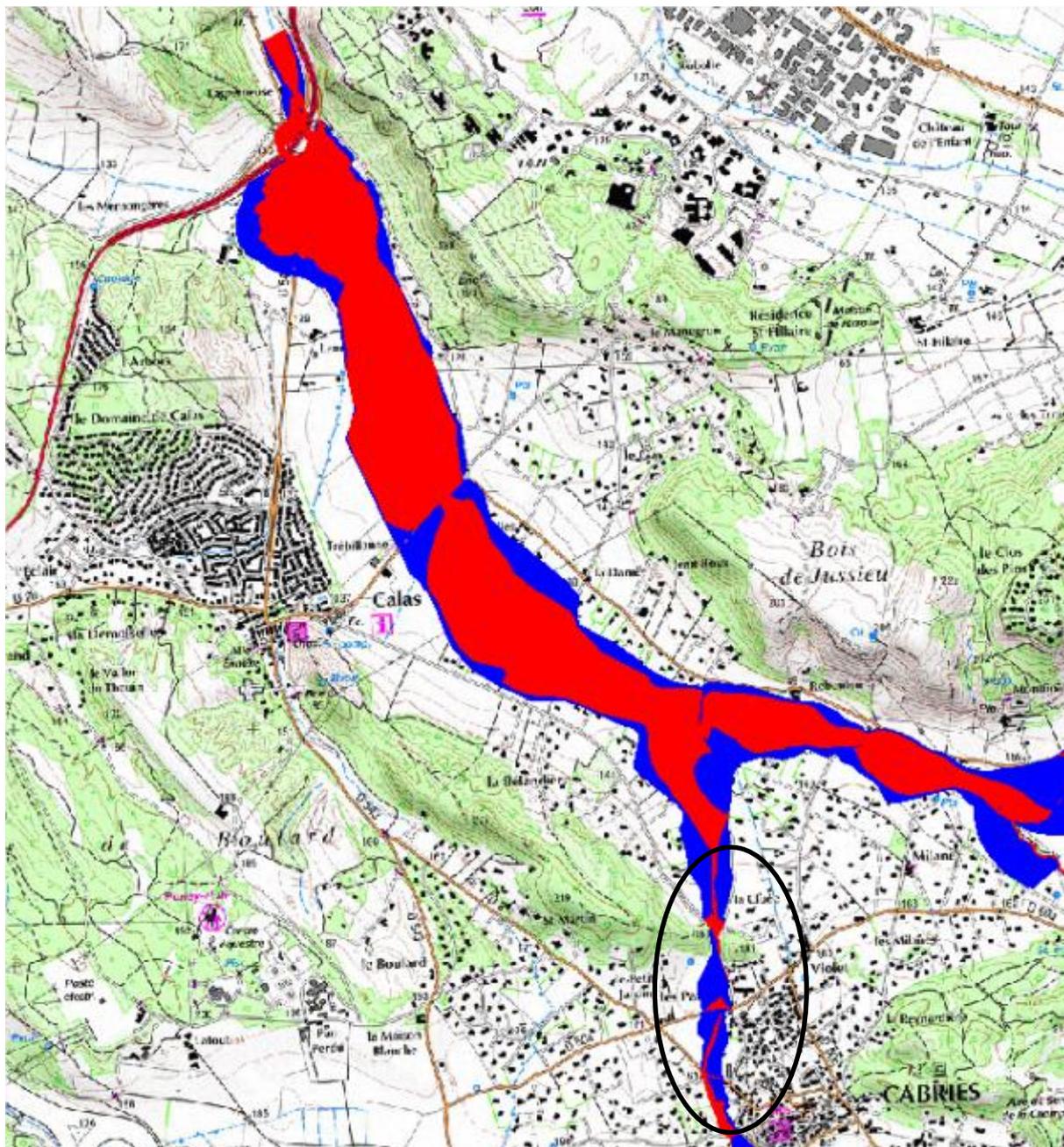


Figure 23 : Cartographie de l'aléa – source : étude Ipseau 2006

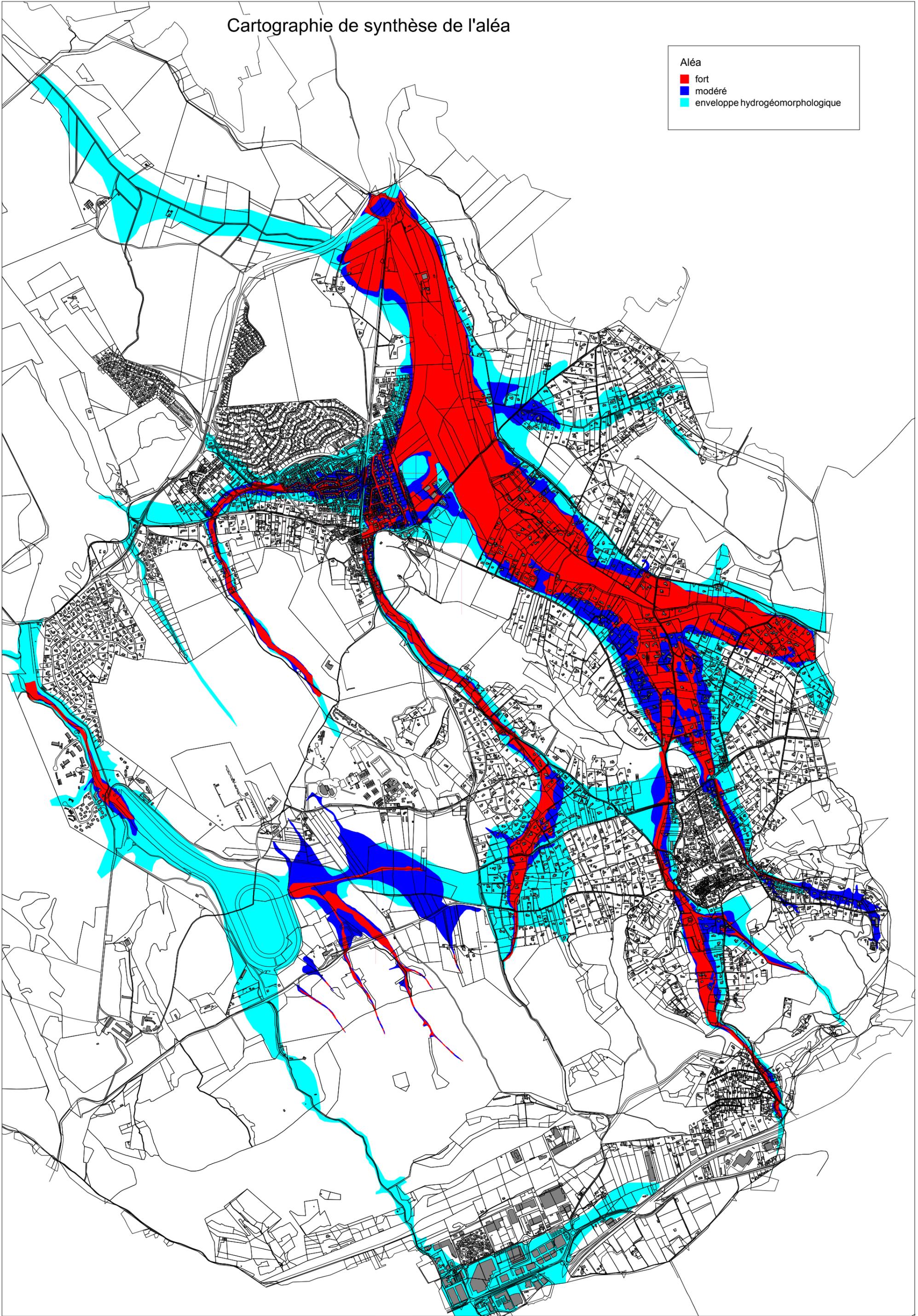
Les résultats de cette modélisation ne seront utilisés que dans le secteur entouré en noir.

3.4.3 CARTOGRAPHIE DE SYNTHESE

La cartographie suivante regroupe les résultats des différentes études afin de préciser l'aléa sur l'ensemble de la commune. Cette cartographie a été obtenue à partir du lissage de l'aléa brut et de la suppression de poches isolées.

Cartographie de synthèse de l'aléa

- Aléa
- fort
 - modéré
 - enveloppe hydrogéomorphologique



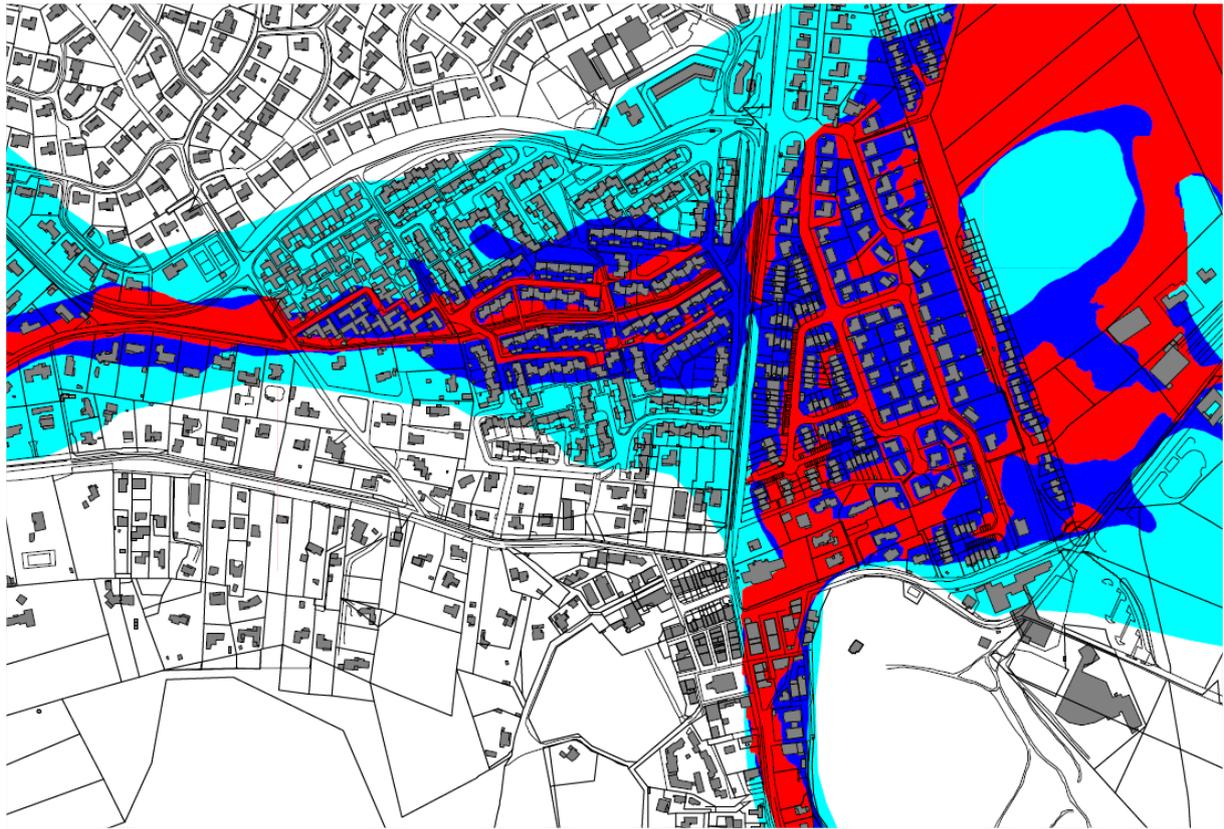


Figure 25 : Zoom sur le centre de Calas