



**ETUDES LOCALES D'AMELIORATION DE LA FONCTIONNALITE  
DES COURS D'EAU ET DE REDUCTION DU RISQUE INONDATION  
SUR LE BASSIN VERSANT DU GAPEAU**

## **Lot 2 – Etude locale du secteur de la Gravière à Pierrefeu-du-Var**

Mission 1 : Expertise hydraulique et hydromorphologique et  
analyse du secteur d'étude sur la commune de Pierrefeu-du-Var

*Mai 2021*



**BASSIN VERSANT  
DU GAPEAU**  
SYNDICAT MIXTE



**sce**  
Aménagement  
& environnement

## CLIENT

RAISON SOCIALE	<b>Syndicat mixte du bassin Versant du Gapeau</b>
COORDONNÉES	Mairie – Place urbain Sénès 83390 PIERREFEU DU VAR 04.98.16.36.00

## SCE

COORDONNÉES	Centre Alta Rocca – Bât G 1120 Route de Gémenos 13400 AUBAGNE E-mail : marseille@sce.fr
INTERLOCUTEUR <i>(nom et coordonnées)</i>	Monsieur VIGNOULLE Olivier Tél. 06.89.73.16.82 E-mail : olivier.vignoulle@sce.fr

## RAPPORT

TITRE	<i>Etudes locales d'amélioration de la fonctionnalité des cours d'eau et de réduction du risque inondation</i> Lot 2 – Etude locale du secteur Gravière à Pierrefeu-du-Var <i>Rapport d'étude</i>
NOMBRE DE PAGES	76
ANNEXES	1
OFFRE DE REFERENCE	20003771 – Edition 2 – Novembre 2020

## SIGNATAIRE

REFERENCE	DATE	REVISION DU DOCUMENT	OBJET DE LA REVISION	REDACTEUR	CONTROLE QUALITE
210031	20/03/2021	Edition 1		ADD / LHM	OVI
200031	13/07/2021	Edition 2	Prise en compte des remarques du client	ADD / LHM	OVI

## Sommaire

<b>1. Préambule .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Expertise et analyse du secteur d'étude .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1. Analyse des données disponibles .....</b>	<b>7</b>
2.1.1. Hydrologie et crues historiques .....	7
2.1.2. Hydraulique .....	12
2.1.3. Hydromorphologie .....	15
2.1.4. Enjeux environnementaux .....	20
<b>2.2. Principaux enseignements des visites de site et de la rencontre des personnes ressources .....</b>	<b>24</b>
<b>2.3. Analyse morphodynamique.....</b>	<b>26</b>
2.3.1. Observations morphodynamiques.....	26
2.3.2. Analyse des grandeurs morphodynamique.....	31
2.3.3. Analyse des grandeurs morphodynamiques.....	36
<b>3. Réalisation d'une modélisation hydraulique du secteur d'étude .....</b>	<b>42</b>
<b>3.1. Développement du modèle hydraulique .....</b>	<b>43</b>
3.1.1. Mode opératoire général .....	43
3.1.2. Débits de référence .....	44
3.1.3. Conditions aux limites imposées .....	47
<b>3.2. Calage du modèle hydraulique.....</b>	<b>48</b>
3.2.1. Paramètres de calage retenus .....	48
3.2.2. Calage du modèle .....	50
<b>3.3. Exploitation du modèle hydraulique .....</b>	<b>51</b>
3.3.1. Caractérisation des hauteurs et vitesses maximales atteintes en crue .....	51
3.3.2. Impact du pont de la départementale.....	2
3.3.3. Analyse des digues .....	0
3.3.4. Analyse des ZEC.....	1
<b>4. Conclusion et premières pistes de restauration.....</b>	<b>5</b>

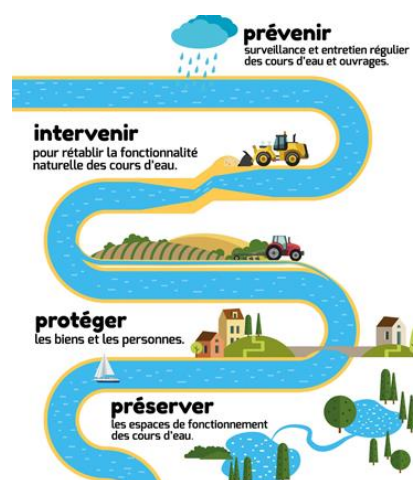
## 1. Préambule

Depuis les inondations de 2014, une réelle dynamique de sauvegarde des milieux aquatiques et de lutte contre les inondations s'est engagée ces dernières années sur le bassin versant du Gapeau.

Elle s'est traduite par l'engagement d'un SAGE et d'un PAPI d'intention permettant à la fois de répondre aux exigences des directives nationales et européennes (DCE, DI) et de s'assurer que le développement du territoire puisse se poursuivre en tenant compte des enjeux de la GEMAPI.

### GEMAPI

*La gestion de l'eau, des milieux aquatiques et la prévention des inondations s'apparente à une gestion d'une partie du grand cycle de l'eau, et notamment les rivières en lien avec les inondations.*



Les démarches entreprises s'inscrivent dans les notions de solidarité amont-aval et ont nécessité une meilleure compréhension des phénomènes mis en jeu.

A cet effet, entre 2017 et 2019, le Syndicat a porté une étude fondatrice visant à étudier le fonctionnement naturel des cours d'eau par une approche hydromorphologique, et à préciser le risque inondation des principaux cours d'eau du bassin par une approche hydraulique. Cette étude, menée dans le cadre du PAPI d'intention, a permis de définir un programme d'aménagement et de restauration des cours d'eau : 17 opérations de travaux ont ainsi été proposées et seront réalisées dans le PAPI complet du Gapeau (2020-2026).

L'étude fondatrice a mis en avant les principales causes des inondations : aménagements anthropiques, pression urbaine, altération de la ripisylve et de la fonctionnalité des cours d'eau. Si les principaux secteurs à enjeux ont été identifiés et ont fait l'objet de propositions d'interventions, les dernières inondations survenues en octobre et novembre 2019 sur le bassin versant du Gapeau ont mis en exergue des problématiques d'écoulement et de débordement sur des secteurs spécifiques à enjeux, sur plusieurs affluents du Gapeau notamment le Gapeau dans la traversée de Solliès-Pont, le Réal Martin dans la traversée de Pierrefeu-du-Var (objet du présent lot 2 : Etude locale du Réal Martin dans la traversée de la commune de Pierrefeu-du-Var) et le Réal Collobrier dans la traversée de Collobrières.

Sur le territoire de Pierrefeu-du-Var, le Réal Martin entre la confluence avec le Farembert et le Traversier a nécessité une analyse complémentaire permettant de se prononcer sur les ouvrages structurants ses crues. Ce secteur a connu d'importants débordements lors des dernières crues de janvier 2014 et novembre 2019.

**SYNDICAT MIXTE BASSIN VERSANT DU GAPEAU - SMBVG**  
**ETUDES LOCALES D'AMELIORATION DE LA FONCTIONNALITE DES COURS D'EAU ET DE REDUCTION DU**  
**RISQUE INONDATION SUR LE BASSIN VERSANT DU GAPEAU – LOT 2 – « PIERREFEU DU VAR »**

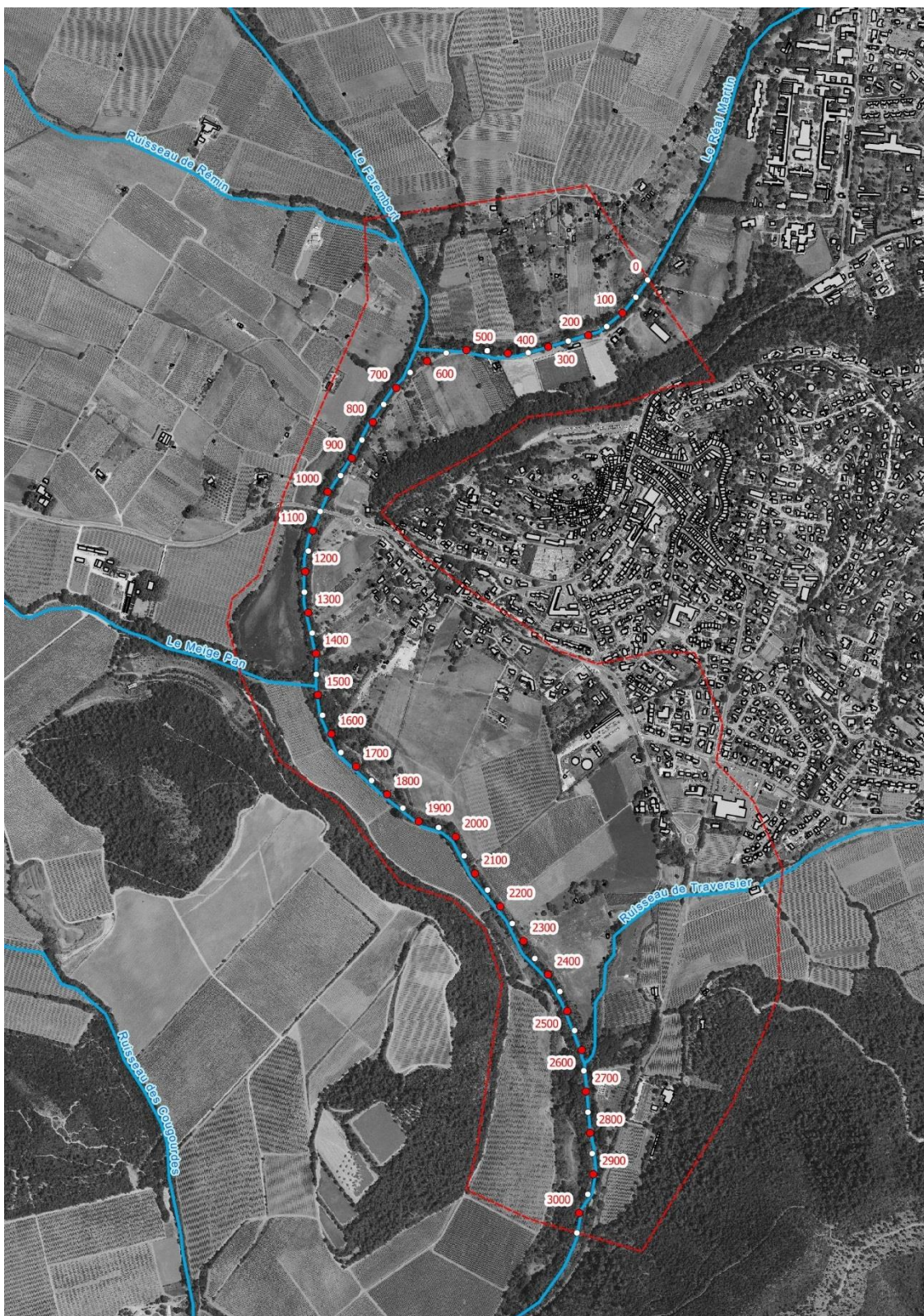
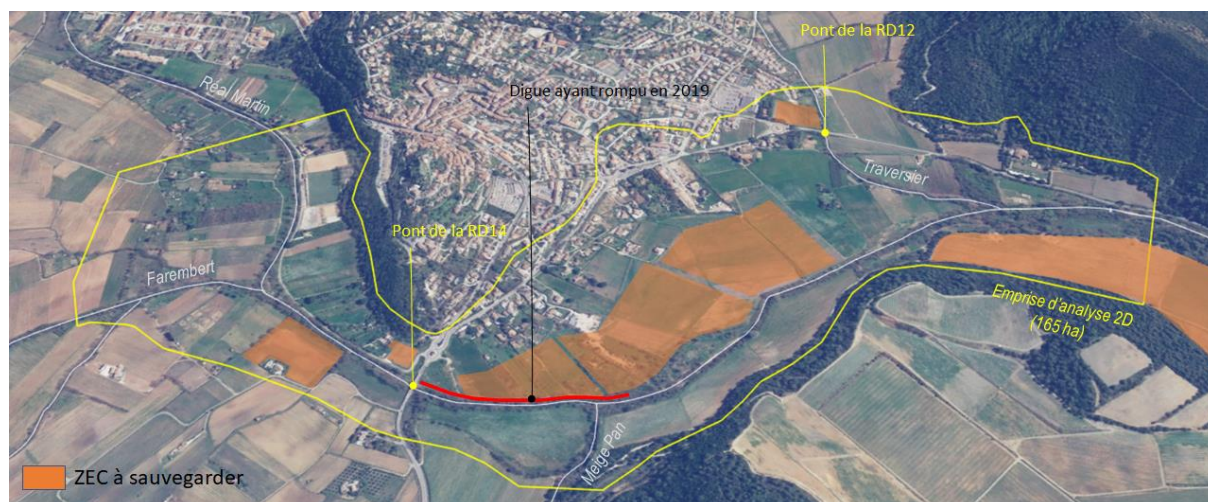


Figure 1 : Secteur d'étude et réseau hydrographique associé concerné par la présente étude.

Le lit du Real Martin est assez contraint par divers aménagements qui réduisent les dynamiques latérales et les érosions de berges, en particulier des endiguements non entretenus « non déclarés dans un système d'endiguement », la digue sur le secteur Gravière (en rive gauche) a cédé le 23 novembre 2019 provoquant une inondation conséquente et de nombreuses zones d'érosion<sup>1</sup>. Des zones d'expansion des crues ont été identifiées comme prioritaire et à protéger dans le cadre du SAGE. Le pont de la RD14 fait l'objet d'interrogation vis-à-vis de son impact sur les crues.



L'objectif de l'étude à mener sur le territoire de Pierrefeu-du-Var a été de préciser l'aléa inondation en comprenant mieux les phénomènes mis en jeu, le rôle des ouvrages (pont, digues) présents mais également quantifier le rôle des ZEC présentes<sup>2</sup>.

Pour cette analyse, une **approche transversale (GEMAPI) et territoriale a été essentielle** au préalable à la réflexion sur les aménagements, à travers les données disponibles sur les attentes, opportunités et points de blocage éventuels du périmètre d'étude. En effet, des solutions d'aménagements uniquement définies sur des paramètres techniques ne donnent qu'une perception réduite des enjeux du territoire et des perceptions des acteurs locaux. Il est donc impératif de les croiser avec les différents usages de l'eau et des milieux terrestres présents.

<sup>1</sup> La digue a été reconstituée depuis, en mai 2020.

<sup>2</sup> Identifiées par SCE en 2015.

## 2. Expertise et analyse du secteur d'étude

Cette toute première étape d'analyse a pour objectif, sur le secteur de la Gravière, de produire une note de synthèse du fonctionnement hydraulique et hydromorphologique.

Cette expertise s'est appuyée sur :

- ▶ Un **recueil des données disponibles** à savoir :
  - Une analyse critique des études existantes notamment des études hydromorphologiques, des retours d'expérience des crues, des débordements passés.
  - Une analyse hydrologique des études disponibles (notamment le modèle hydrologique HEC-HMS que SCE a restitué en 2016) permettant de constituer les hydrogrammes projet pour les 7 occurrences de crue étudiées au cours de l'étude hydraulique.
  - La valorisation des données topographiques, bathymétriques, SIG disponibles, utiles pour caractériser les conditions d'écoulement : semis de points, profils en travers, dimensions des réseaux, caractérisation de l'occupation des sols, dimensions des réseaux structurants enterrés...
- ▶ Des **visites de terrain** permettant de :
  - Reconnaître les points de plus hautes eaux connus,
  - Comprendre les phénomènes de propagation des eaux et en particulier identifier les zones de grands écoulements et les secteurs où les vitesses sont relativement faibles,
  - Appréhender la topographie sur les secteurs où le ruissellement pourrait être à modéliser.
  - Identifier les désordres ayant pu générer ou aggraver des phénomènes de débordements localement (embâcles, etc.),
  - Recenser les laisses de crue,
  - Valider et définir plus précisément les périmètres de modélisation hydraulique si besoin

Les objectifs de cette campagne de terrain étaient multiples et ont dépassé la « simple » problématique hydraulique. Elle a été également l'occasion de :

- Evaluer le gabarit du cours d'eau et de définir les conditions d'écoulement,
  - Recenser l'état des ouvrages structurants sur le réseau hydrographique,
  - De tenir compte, autant se faire que peut, des ouvrages structurants l'évacuation des débordements en lit majeur (remblais, digues, bâtiments, ...), ...
- ▶ La **rencontre des personnes ressource** :

Pour affiner la compréhension des phénomènes mis en jeu, il a été nécessaire de contacter les personnes ressources pour identifier :

  - Les points bloquants (ouvrages limitants, phénomènes à prendre en compte ...),
  - Les facteurs aggravants (zones de remblai en lit majeur, ouvrages de collecte des eaux pluviales sous dimensionnés, endiguement, concomitance des phénomènes, ...),
  - Les études et données topographiques existantes pouvant enrichir notre future analyse hydraulique (schéma d'aménagement, cartographie descriptive des zones inondées, des zones inondables, relevés de PHE, arrêtés CATNAT, REX, ...).
  - Les projets futurs à venir sur le territoire, ...

Ces trois premières étapes d'analyse ont permis :

- ▶ De mieux comprendre la genèse des phénomènes, les dommages occasionnés par les crues historiques,
- ▶ D'établir la nécessité d'investigations complémentaires notamment des levés topographiques,
- ▶ D'identifier les premières pistes permettant l'amélioration des fonctionnalités du cours d'eau et la réduction du risque inondation.

## 2.1. Analyse des données disponibles

Les données et études existantes valorisées dans cette toute première étape d'analyse ont été les suivantes :

Etudes et documents bibliographiques consultés dans le cadre de l'études locales d'amélioration de la fonctionnalité des cours d'eau et de réduction du risque inondation sur le bassin versant du Gapeau					
Référence	Date	Intitulé	Producteur	Commandé par	Constitution du document
<b>Etudes</b>					
E01	2019	Etudes hydraulique et hydrogéomorphologique sur le bassin versant du fleuve Gapeau et du Roubaud en vue de la réalisation de Plans de Prévention des Risques Inondation et d'un programme d'aménagement et de restauration du bassin versant du Gapeau	Groupeement EGIS-EAU/Geopeka/SEPIA/G éorives	SMBVG	- Phase 1 – Analyse du fonctionnement du bassin versant - Phase 2 – Etudes hydraulique et hydrogéomorphologique (partie 1 & 2)
E02	2016	Etude pour la définition d'une stratégie de réduction de l'aléa inondation et détermination des zones naturelles d'expansion des crues du BV du Gapeau	SCE Aménagement & Environnement et AQUA Conseils	SMBVG	
<b>Données topographiques</b>					
T01	2016	Releve topographique pour étude hydraulique	OPSIA	DDTM83	Cahier des ouvrages hydrauliques sur l'ensemble du bassin versant du Gapeau
T02	2020	Lidar 1m		SMBVG	Données Lidar sur les communes de Collobrieres, Pierrefeu et Sollies-Pont
T03	2021	Gapeau relevé du 14/04/2021	HYDROTOPO	SMBVG	Relevés topographiques complémentaires sur Collobrieres, Pierrefeu et Sollies-Pont
T04	2021	Releve topographique pour étude hydraulique - Gapeau	OPSIA	DDTM83	Description des profils en travers sur le Gapeau
T05	2019	Cahier des profils en travers - Real Martin	OPSIA	DDTM83	Description des profils en travers sur le Real Martin
T06	2018	Cahier des profils en travers - Real Collobrier	OPSIA	DDTM83	Description des profils en travers sur le Real Collobrier

Les enseignements intéressants à valoriser pour cette étude sur Pierrefeu-du-Var ont été compilés par thématique :

- ▶ Hydrologie et crues historiques,
- ▶ Hydraulique,
- ▶ Hydromorphologie,
- ▶ Enjeux environnementaux

### 2.1.1. Hydrologie et crues historiques

L'étude de EGIS s'est intéressée à l'hydrologie à l'échelle du bassin versant du Gapeau. Pour ce faire les enseignements de l'étude hydrologique menée par le groupement SCE-Aquaconseils en 2015 ont été valorisés notamment par exploitation du modèle Pluie-débit HEC-HMS. L'objectif du développement du modèle hydrologique était d'atteindre les débits de pointe de la Banque Hydro au droit des stations pour différentes occurrences de crue à partir des hydrogrammes de crue utilisée dans la définition du PPRI.

L'étude de Egis s'est également intéressée aux crues historiques à l'échelle du bassin versant. Les principales crues de ces 50 dernières années sont celles des 16 et 17 janvier 1999, et celle du 19 janvier 2014. Dans le cas de la commune de Pierrefeu-du-Var, le modèle s'est basé sur la crue de janvier 2014



qui correspond à une crue supérieure à une crue d'occurrence cinquantennale mais qui reste inférieure à une crue d'occurrence centennale.

L'hydrogramme de crue de Janvier 2014 pour le Réal Martin au droit de la commune de Pierrefeu-du-Var (en amont de la confluence avec le Meige-Pan) est présenté ci-dessous. Le débit de pointe est estimé à **305 m<sup>3</sup>/s**.

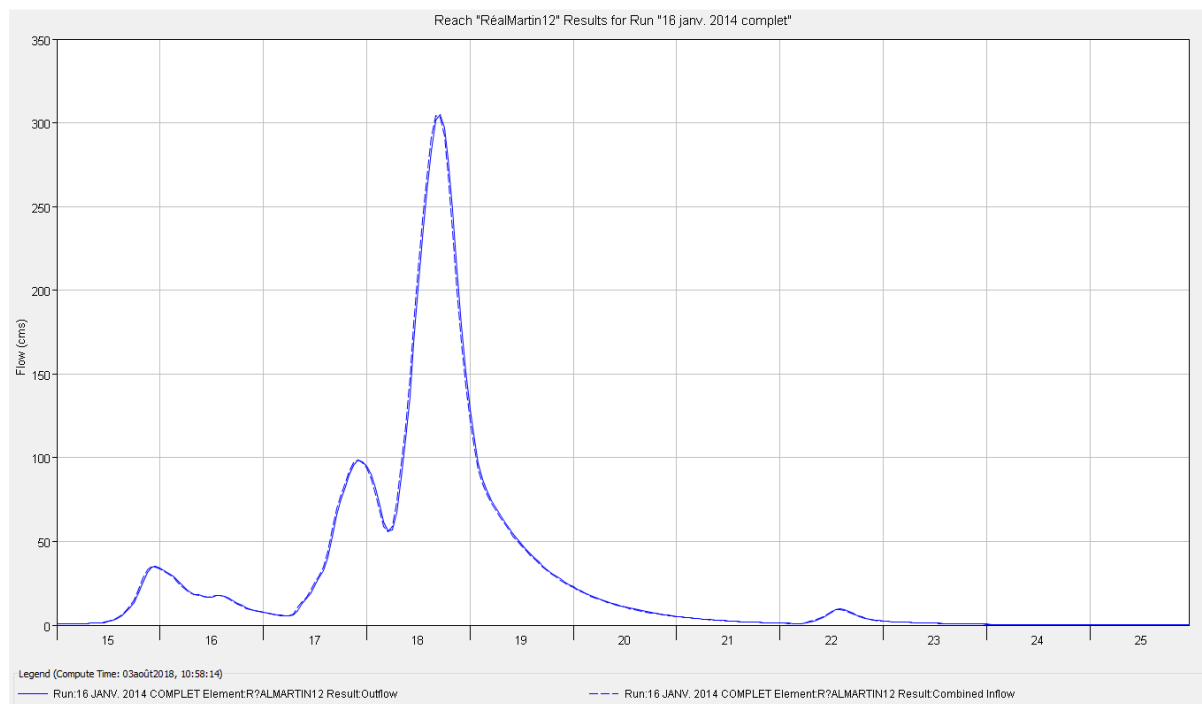
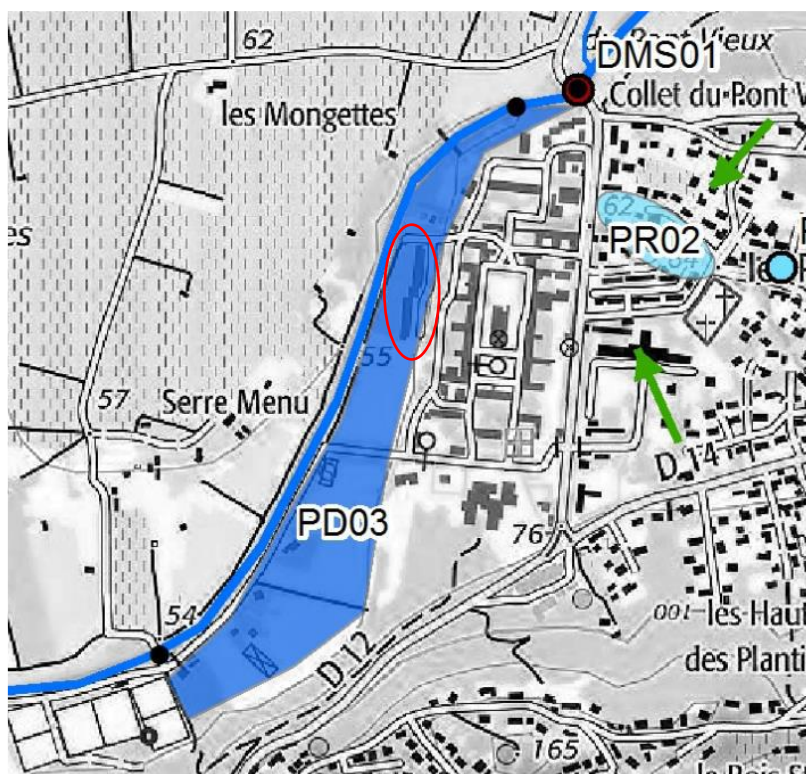


Figure 2 : Hydrogramme de la crue de Janvier 2014 du réal Martin au droit de Pierrefeu-du-Var (Source : EGIS)

Lors de cet épisode, plusieurs secteurs ont été durement touchés :

► **Secteur de l'hôpital**

L'hôpital de Pierrefeu-du-Var est situé en rive gauche du Réal Martin, au nord de la commune de Pierrefeu-du-Var. En janvier 2014 lors de la dernière crue, le Réal Martin a débordé en rive gauche inondant la crèche de l'hôpital et le bâtiment « Le Provence », proche du cours d'eau (entouré en rouge sur l'extrait cartographique suivant).



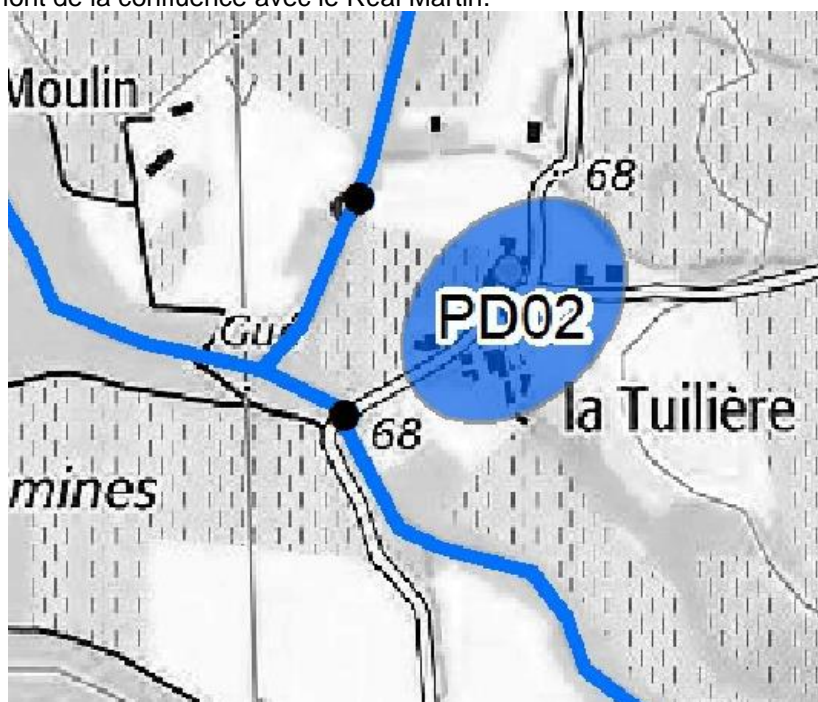
Lors de la visite de terrain réalisée le 24 août 2017 par EGIS, l'ensemble de parc de l'hôpital impacté par la crue de janvier 2014 avait pu être visité, accompagné par le directeur des services techniques du site. L'étude d'EGIS conclut que les premiers débordements sur l'hôpital sont observables avec une crue vingtennale ( $190 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Comme en témoignent les photos présentées ci-après, des dégâts importants ont été observés (clôtures emportées, murs affaiblis voir détruits, routes goudronnées soulevées). Le bâtiment « Le Provence » a été évacué avant l'épisode et reste aujourd'hui encore dans l'état inoccupé.



► **Hameau de la Tuillière**

Lors de l'évènement de 2014, le hameau de la Tuilière a été impacté par les débordements du Réal Collobrier en amont de la confluence avec le Réal Martin.



Lors de la visite de terrain sur Pierrefeu du 24 août 2017 par EGIS, les traces de la crue de janvier 2014 étaient encore visibles sur la maison la plus proche du cours d'eau, comme l'illustre la photo suivante.



Concernant l'hydrologie connue sur le secteur d'étude, le tableau présenté ci-après récapitule les débits de pointe apparaissant dans l'étude EGIS au droit de la station hydrométrique à la Crau ou Decapris (277 km<sup>2</sup> de bassin versant drainés) pour sept périodes de retour de crue : 2, 5, 10, 20, 30, 50 et 100 ans.

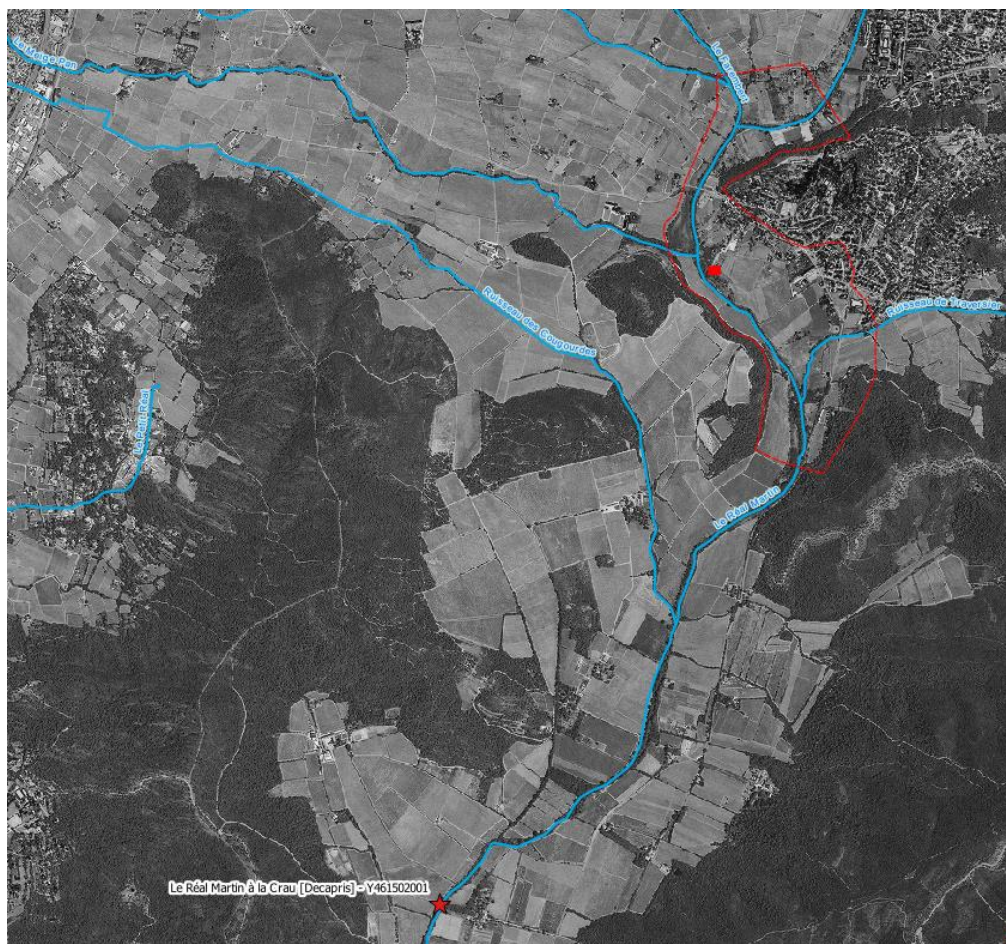


Figure 3 : Localisation de la station hydrométrique par rapport au secteur d'étude

Les débits spécifiques correspondant ont été calculés (rapport du débit sur l'emprise drainée affectée d'une puissance 0.8), exprimés en m<sup>3</sup>/s/km<sup>1.6</sup>.

BV	Surface drainée	Périodes de retour							PPR
		2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	30 ans	50 ans	100 ans	
Réal Martin à Decapris	277.0 km <sup>2</sup>	90.5	145	182	216	237	261	507	507
Débit spécifique (m <sup>3</sup> /s/km <sup>1.6</sup> )		1.01	1.61	2.02	2.40	2.63	2.90	5.64	5.64
BV Réal Martin amont zone étude	189.9 km <sup>2</sup>	66.9	107.2	134.6	159.7	175.2	193.0	374.8	374.8
BV le Farembert	29.2 km <sup>2</sup>	90.5	145.0	192.0	240.0	269.0	307.0	354.0	519.0
BV ruisseau de Remin	3.8 km <sup>2</sup>	18.7	30.0	38.0	46.0	51.0	57.0	65.0	75.0
BV intermediaire	2.4 km <sup>2</sup>	8.1	13.0	20.8	26.3	31.8	35.3	39.5	45.0
BV Meige Pan	4.1 km <sup>2</sup>	54.9	88.0	124.0	161.0	183.0	213.0	250.0	390.0

## SYNDICAT MIXTE BASSIN VERSANT DU GAPEAU - SMBVG

### ETUDES LOCALES D'AMELIORATION DE LA FONCTIONNALITE DES COURS D'EAU ET DE REDUCTION DU RISQUE INONDATION SUR LE BASSIN VERSANT DU GAPEAU – LOT 2 – « PIERREFEU DU VAR »

<b>BV intermediaire2</b>	1.1 km <sup>2</sup>	4.2	6.7	10.8	13.7	16.6	18.4	20.5	23.4
<b>BV Ruisseau de Traversier</b>	6.3 km <sup>2</sup>	31.2	50.0	65.0	79.0	88.0	99.0	103.0	154.0

Tableau 1 : Débits de pointe de crue du Réal Martin et ses affluents au droit de la zone d'étude hydraulique (m<sup>3</sup>/s) d'après la note hydrologique EGIS d'avril 2019.

A noter que EGIS estime que les débits de pointe de crue du Farembert (29.2 km<sup>2</sup>) sont comparables à ceux estimés pour les crues du Réal Martin à la station hydrométrique de Decapris (277 km<sup>2</sup>).

## 2.1.2. Hydraulique

### 2.1.2.1. Détermination des débits de plein bord et analyse des ZEC

Dans le cadre des « études pour la définition d'une stratégie de réduction de l'aléa inondation et détermination des zones naturelles d'expansion de crues du BV du Gapeau » menée par SCE et AQUA Conseils en 2016 [E02], complété par EGIS en 2019 [E01], sur le secteur d'étude, 9 ZEC sont identifiées.

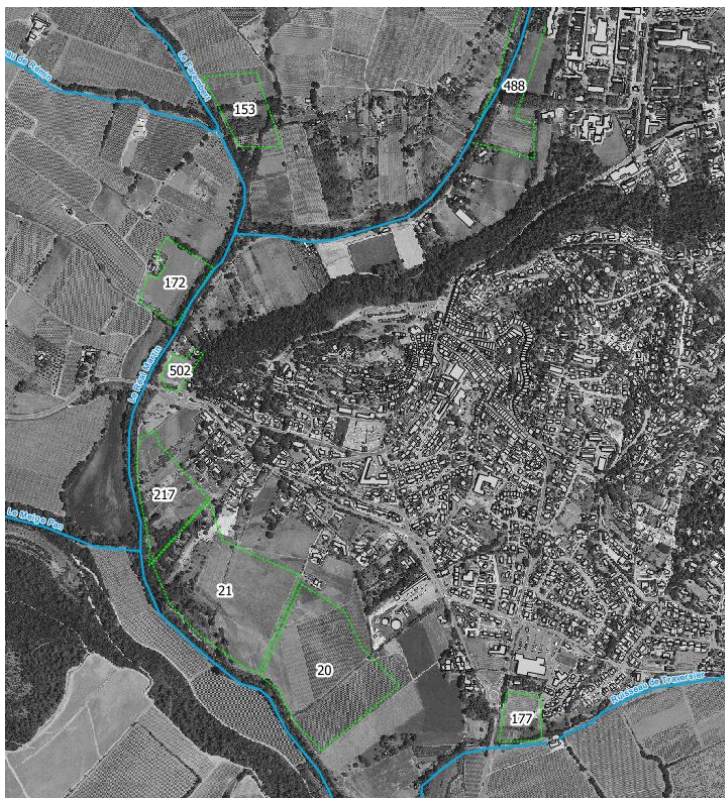


Figure 4 : Localisation des ZEC à proximité du secteur d'étude

L'analyse hydraulique menée par EGIS a ainsi permis d'évaluer :

- ▶ les débits de plein bord correspondant aux débits limites avant débordement. Ils permettent ainsi de déterminer les débits d'entrée en fonctionnement des ZEC en l'état actuel.
- ▶ Le volume capable d'être amorti par la ZEC en crue en l'état actuel, sans aménagement, pour différentes occurrences de crues selon l'approche SCE et EGIS.

## SYNDICAT MIXTE BASSIN VERSANT DU GAPEAU - SMBVG

### ETUDES LOCALES D'AMELIORATION DE LA FONCTIONNALITE DES COURS D'EAU ET DE REDUCTION DU RISQUE INONDATION SUR LE BASSIN VERSANT DU GAPEAU – LOT 2 – « PIERREFEU DU VAR »

ZEC	Débit de plein bord (m <sup>3</sup> /s)	T (ans)	Volume mobilisé pour Q10 (en m <sup>3</sup> )	Volume mobilisé pour Q100 (en m <sup>3</sup> )	Volume capable en l'état (SCE) (en m <sup>3</sup> )	Volume de crue décennal (en m <sup>3</sup> )	Efficacité en l'état pour Q10 (en %)	Volume de crue centennal (en m <sup>3</sup> )	Efficacité en l'état pour Q100 (en %)
20	196	10 ans	206	8 929	57 863	2 560 465	0.01%	28 119 723	0.03%
21	196	10 ans	406	34 621	47 996	2 727 820	0.01%	35 284 683	0.10%
146	35.9	10 ans	82	3 861	/	2 554 659	0.00%	6 418 143	0.06%
153	43.6	5 ans	2 245	2 612	7 593	4 091 168	0.05%	11 588 994	0.02%
172	129	20 ans	8 296	8 249	18 025	2 399 215	0.35%	25 348 835	0.03%
177	38.2	20 ans	788	1 203	32 693	652 051	0.12%	558 276	0.22%
217	132	10 ans	3 803	3 726	4 862	2 496 054	0.15%	33 373 364	0.01%
488	140	> 20 ans	1 890	13 385	/	2 148 993	0.09%	30 425 533	0.04%
502	140	> 20 ans	837	1 315	5 660	2 498 522	0.03%	22 921 189	0.01%

Les débordements du Réal Martin sur le secteur de la Gravière se font donc observer à partir d'une crue quinquennale (130 m<sup>3</sup>/s) sur la rive gauche en aval direct du pont. Les débordements sont centralisés sur les terrains en contrebas du quartier de la Gravière.

A partir de ces résultats, une note globale d'efficacité a été attribuée pour les crues d'occurrences 10 et 100 ans selon la grille suivante :

Note (/5)	Efficacité Q10	Efficacité Q100
1	ZEC non mobilisée	/
2	<1%	<1%
3	Entre 1% et 5%	Entre 1% et 5%
4	Entre 5% et 10%	Entre 5% et 10%
5	>10%	>10%

Sur le secteur d'étude, les ZEC identifiées sont notées entre 3 et 4 présentant ainsi un intérêt modéré à fort. En parallèle, EGIS s'est attaché à l'étude de l'aménagement (par terrassement) de ces ZEC de manière à améliorer leur efficacité. Sur le secteur d'étude, aucuns travaux d'aménagement ne permettent d'avoir un réel gain sur les volumes mobilisés en crue.

#### 2.1.2.2. Analyse de digues

Sur le bassin versant du Gapeau, prêt de 200 km de digues ont été recensées.

La majorité de ces ouvrages sont des merlons de terres installés en terrain agricole et ont pour objectif principaux de contenir les crues les plus fréquentes ayant un impact fortement érosif sur les parcelles agricoles.

Ces ouvrages sont particulièrement implantés sur le secteur de Pierrefeu-du-Var

**SYNDICAT MIXTE BASSIN VERSANT DU GAPEAU - SMBVG**  
**ETUDES LOCALES D'AMELIORATION DE LA FONCTIONNALITE DES COURS D'EAU ET DE REDUCTION DU**  
**RISQUE INONDATION SUR LE BASSIN VERSANT DU GAPEAU – LOT 2 – « PIERREFEU DU VAR »**

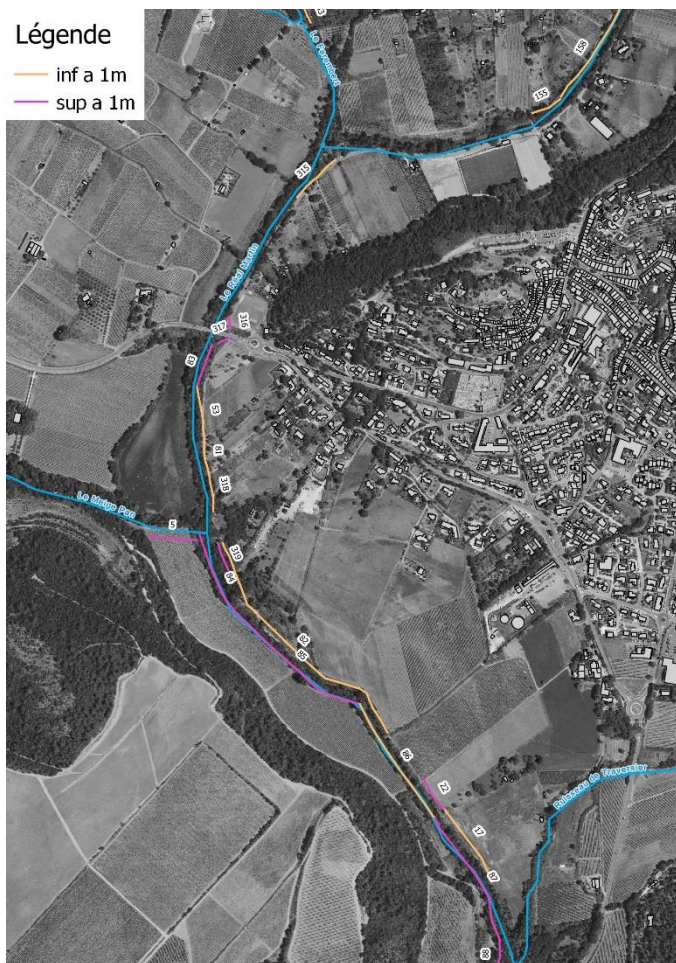


Figure 5 : Localisation des digues recensées dans le cadre de l'étude d'Egis.

ID Digue	Linéaire	Classe hauteur	Débit submersion	Rive
5	101	>1m	141	Droite
17	163	<1m	177	Gauche
22	79	>1m	196	Gauche
53	112	<1m	117	Gauche
81	50	<1m	140	Gauche
82	549	<1m	141	Gauche
83	90	>1m	120	Gauche
84	178	>1m	134	Droite
85	332	>1m	110	Droite
86	287	<1m	143	Droite
87	291	>1m	132	Droite
88	159	>1m	141	Droite
155	66	<1m	80	Droite

## SYNDICAT MIXTE BASSIN VERSANT DU GAPEAU - SMBVG

### ETUDES LOCALES D'AMELIORATION DE LA FONCTIONNALITE DES COURS D'EAU ET DE REDUCTION DU RISQUE INONDATION SUR LE BASSIN VERSANT DU GAPEAU – LOT 2 – « PIERREFEU DU VAR »

158	575	<1m	80	Droite
315	113	<1m	55	Gauche
316	25	>1m	140	Gauche
317	29	>1m	140	Gauche
318	103	<1m	140	Gauche
319	64	>1m	141	Gauche

Du fait des nombreuses discontinuités identifiées sur ces ouvrages, le contournement des ouvrages apparaît bien avant le débit de submersion estimé. Ces ouvrages peuvent donc être considérés comme transparent hydrauliquement et ne présentent pas d'intérêt de gestion particulière.

### 2.1.3. Hydromorphologie

Dans le cadre de l'étude hydraulique et hydrogéomorphologique du Gapeau, réalisée par le groupement EGIS-EAU/Geopeka/SEPIA/Géorives en 2019, le bassin versant du Gapeau a fait l'objet d'une analyse complète de son fonctionnement hydrogéomorphologique.

Les éléments de connaissance apportés par l'étude sur le secteur d'étude concerné est repris ci-dessous :

- ▶ Le secteur d'étude s'insère dans le tronçon de fonctionnement théorique (TFT) « Le Réal Martin aval » - « RM1 » qui débute à partir de la confluence avec le Réal Collobrier et fini à la confluence avec le Gapeau. Sur ce tronçon la pente du Réal Martin diminue avec la présence de nombreux seuils contrôlant le profil longitudinalement et impactant la continuité sédimentaire.

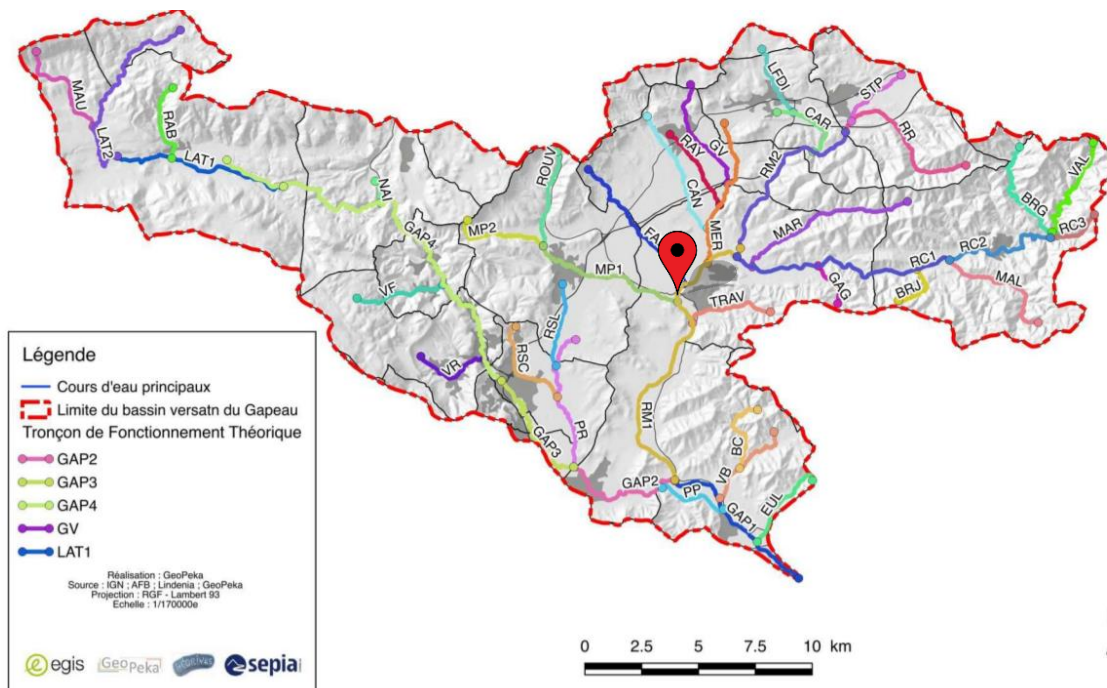


Figure 6 : Localisation du secteur d'étude ( ) par rapport aux différents tronçons de fonctionnement théorique (TFT) du bassin versant du Gapeau – Source [E01]



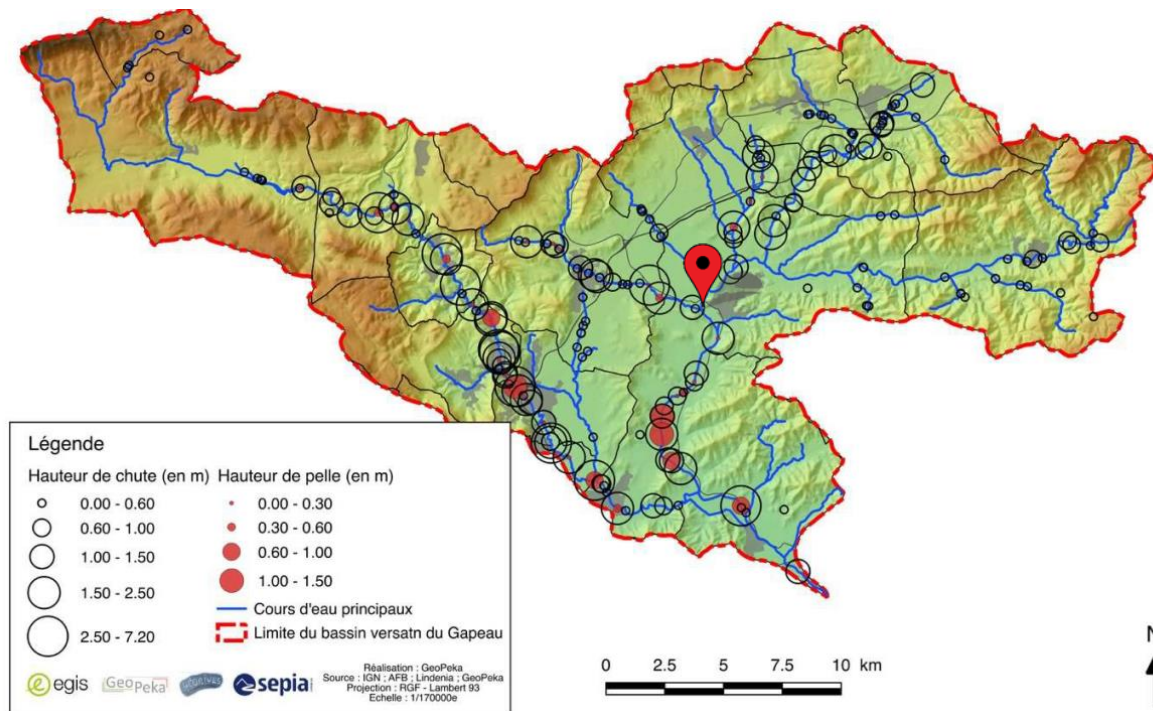


Figure 7 : Hauteur de chute et pelle des seuils sur le bassin versant du Gapeau

- ▶ Le secteur d'étude est installé dans l'Unité Hydrogéomorphologique Cohérente #UHC RM5.1

Dans ce secteur, le Réal Martin décrit une vaste courbure pour contourner la colline de Pierrefeu-du-Var. Sur cette section, le lit de la rivière est aménagé de manière conséquente par des endiguements sur la quasi-totalité de son linéaire. Les protections de berge sont aussi présentes mais elles sont moins systématiques : elles se retrouvent surtout au niveau de la confluence avec le Meige Pan. La géométrie de la section présente un profil relativement encaissé sur la partie supérieure de ce tronçon alors qu'elle s'adoucit en amont du seuil de Pourret, transparent en termes de transport solide (seuil présent à la fin du secteur d'étude).

Les principaux fournisseurs en charge solide sont les affluents rive droite du Réal Martin dont les capacités de transport théoriques pour une Q5 sont estimées à :

- Le Merlançon – 2 400 m<sup>3</sup>/s
- Le Farembert – 3 700 m<sup>3</sup>/s
- Le Meige Pan – 5 600 m<sup>3</sup>/s





Figure 9 : Réseau hydrographique du Réal Martin

La confluence entre le Réal Martin et le Réal Collobrier est un secteur très dynamique. En effet, le lit moyen y occupe tout le fond de vallée, les hauteurs et vitesses peuvent y être très fortes comme en témoignent les nombreux axes d'écoulement identifiés. Un bras secondaire de lit majeur contourne par les Condamines le niveau perché de lit majeur exceptionnel situé au nord de la Rouvière. Ce niveau a probablement été conservé grâce à un soubassement résistant. Au nord de ce niveau, lit moyen et mineur sont très encaissés.

En aval, la confluence avec le Merlançon est également un secteur très dynamique. Au hameau des Platanes, quelques bâtiments sont en lit majeur. Jusqu'en limite communale, le niveau alluvial de fond de vallée a été caractérisé en lit moyen du fait des dynamiques fortes qu'il peut connaître. Le lit majeur est cantonné aux raccordements avec les niveaux de lit majeur exceptionnel qui correspondent aux terminaisons des cônes du Meige Pan et du Merlançon. Ce dernier, plutôt circonscrit sur le nord du territoire communal forme à partir de la confluence du Canadel un vaste cône sur sa rive droite. D'après la carte géologique (BRGM, feuille Collobrières) les alluvions de cette formation semblent récentes. On y distingue plusieurs axes d'écoulement privilégiés qui peuvent être utilisés soit par les eaux de ruissellement, soit par les eaux de débordement du Canadel ou du Merlançon.

A l'ouest, l'aérodrome est implanté au coeur d'une vaste plaine inondable où confluent les vallons des Plans de Loube, de la Maurine, le Sautarel et la Houlette pour former le Farembert. De nombreuses modifications topographiques ont été opérées, et plusieurs tronçons sont enterrés. Un fossé de drainage ceinture le côté nord de la base.

Le vieux village de Pierrefeu-du-Var est judicieusement implanté sur une butte isolée de quartzites très résistants. A l'est, les collines de Saint Michel à Jean Court sont formées de phyllades plus favorables à la formation de vallons, qui présentent des fonds assez plats, largement urbanisés depuis les années

80. Le vallon à la Joliette a formé en aval un large glacis-cône peu convexe. Un chenal, certainement d'origine anthropique, est maintenu sur la marge Est de cette forme totalement urbanisée. Au nord, les quartiers de la Joselette aux Plantiers sont constitués de terrains Permians également propices à l'érosion. Une dépression remplie d'alluvions a été dégagée au coeur des collines, concentrant les eaux vers les Plantiers. La butte longitudinale des Hauts des Plantiers se raccorde à cette petite dépression par un glacis où les eaux de ruissellement peuvent s'étaler largement. C'est également un secteur où l'urbanisation s'est considérablement développée ces dernières décennies.

Au sud-ouest du centre urbain, le vallon du Traversier est un affluent du Réal Martin. Long de plus de 4 km, il se structure rapidement autour d'une petite plaine alluviale classique, à pente transversale assez forte. A partir du lieu Beaussénas, le couple lit mineur/moyen présente une forte incision, sur près de 850 m (jusqu'à 5 m), et le lit majeur se perche. En aval celui-ci a été urbanisé en rive droite.

La RD 12 traverse perpendiculairement la plaine alluviale en remblai.

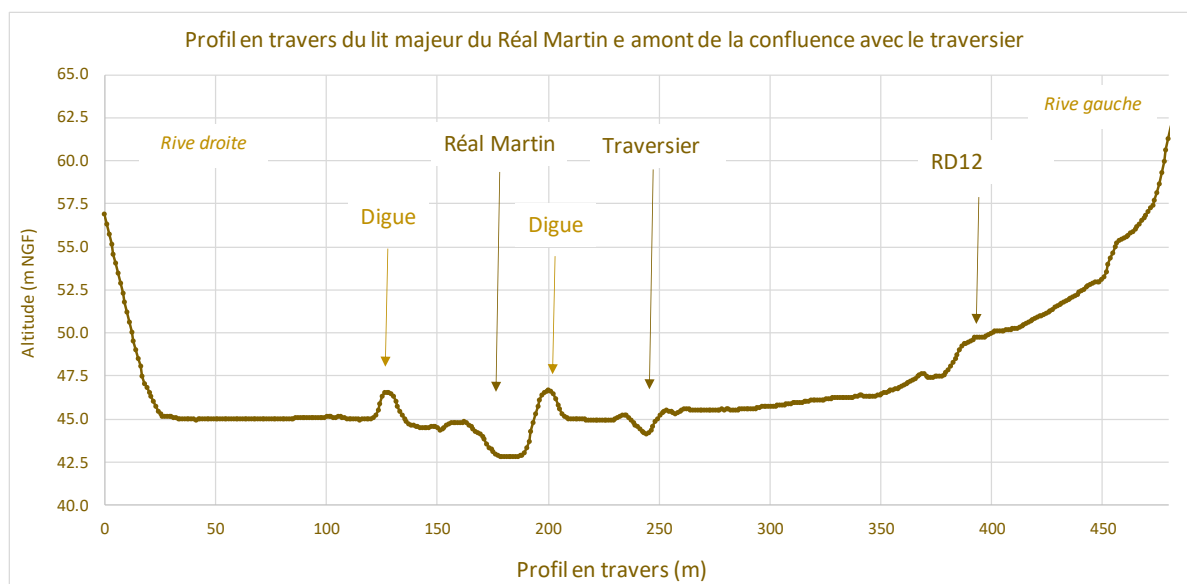


Figure 10 : Coupe transversale du lit majeur du Réal martin à la sortie de Pierrefeu du var (LIDAR)

En synthèse, l'étude de 2018 met bien en évidence une densité d'aménagement forte sur le cours d'eau dans ce secteur avec la présence de digue sur la majorité du linéaire et plus localement de protections de berge.

Ces aménagements, n'empêchent néanmoins pas des contournements locaux par les écoulements en crue dans la plaine, notamment en rive droite du seuil situé en amont de Pierrefeu (ROE45647).

## 2.1.4. Enjeux environnementaux

### 2.1.4.1. Faune et flore patrimoniale

Le bassin versant du Gapeau dispose d'une importante diversité et qualité d'habitat. En 2015, le BE Lindenia a dénombré :

- ▶ 40 habitats d'intérêt communautaires ;
- ▶ 10 habitats déterminants ZNIEFF et 119 espèces floristiques d'intérêt.

Le secteur d'étude s'intègre principalement dans la zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique « ZNIEFF de type 2 - RIPISYLVES ET AGROSYSTEMES DE SAUVEBONNE ET DE RÉAL MARTIN »

On y retrouve notamment la faune patrimoniale suivante :

- ▶ Anguille
- ▶ Barbeau méridional
- ▶ Blageon
- ▶ Guêpier d'Europe

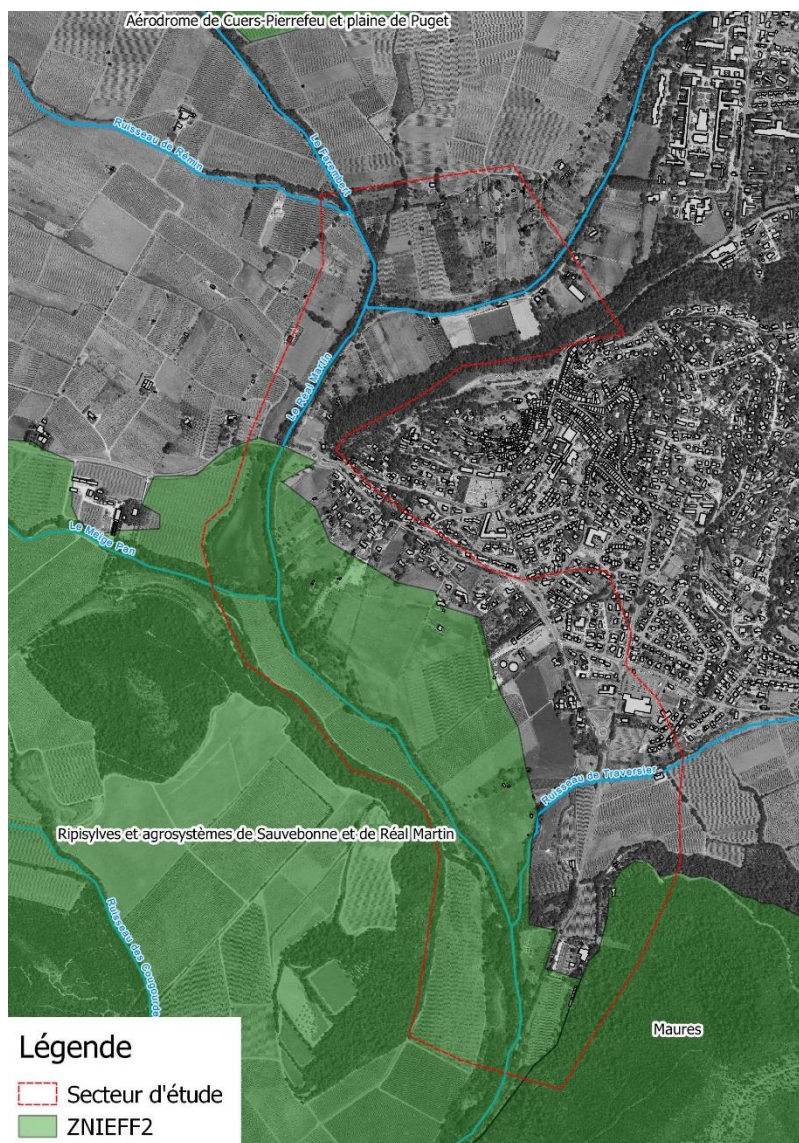


Figure 11 : Localisation des sites de protection à proximité du secteur d'étude

#### 2.1.4.2. Etat de la ripisylve

La ripisylve (ou végétation rivulaire) assurent un rôle essentiel pour le bon fonctionnement hydraulique, biologique et sédimentaire des cours d'eau. D'un point de vue écologique, elle permet notamment le nourrissage, la reproduction, le refuge et la vie pour de nombreuses espèces animales terrestres et aquatiques. Elle joue ainsi un rôle de corridor écologique et participe à l'équilibre bioécologique des ruisseaux. L'ombre apportée par les ripisylves sur les cours d'eau permet de limiter l'augmentation de la température de l'eau et l'eutrophisation.

En 2015, le Lindénia a réalisé un état des lieux complet de la ripisylve du bassin versant du Gapeau. Ce diagnostic a permis de caractériser 5 niveaux d'altération de la ripisylve dans le bassin versant du Gapeau variant de 7% à 37% et répartis comme le montre la figure suivante.

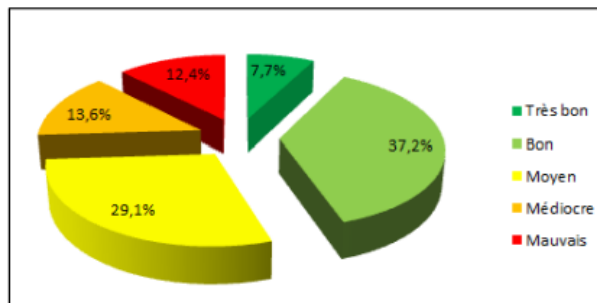


Figure 12 : Etat d'altération de la ripisylve sur le bassin versant du Gapeau (source : Lindenia)

Sur le bassin versant du Gapeau, globalement 45 % de la ripisylve est bien équilibrée et diversifiée et assure un rôle bénéfique vis-à-vis du fonctionnement écologique et morphologique du Gapeau dans les secteurs de tête de bassin versant et du Réal Martin notamment.

Sur le secteur d'étude, LINDENIA identifie la présence d'une ripisylve en bon état dans son ensemble excepté sur la rive gauche du Réal Martin sur plus de la moitié du secteur de la Gravière où celle-ci reste très morcelée, discontinue, dégradée et présentant de nombreuses espèces envahissantes (principalement canne de Provence).

Dans son ensemble, il est identifié une ripisylve assez étroite (1 à 5 m), composée majoritairement d'Aulnes, de frênes et d'Ormes assez mature présentant tout de même de nombreuses discontinuités.

De nombreuses espèces envahissantes sont identifiées à savoir principalement :

- ▶ De la Canne de Provence,
- ▶ De l'Ailante Glanduleux,
- ▶ Et du Robinier.

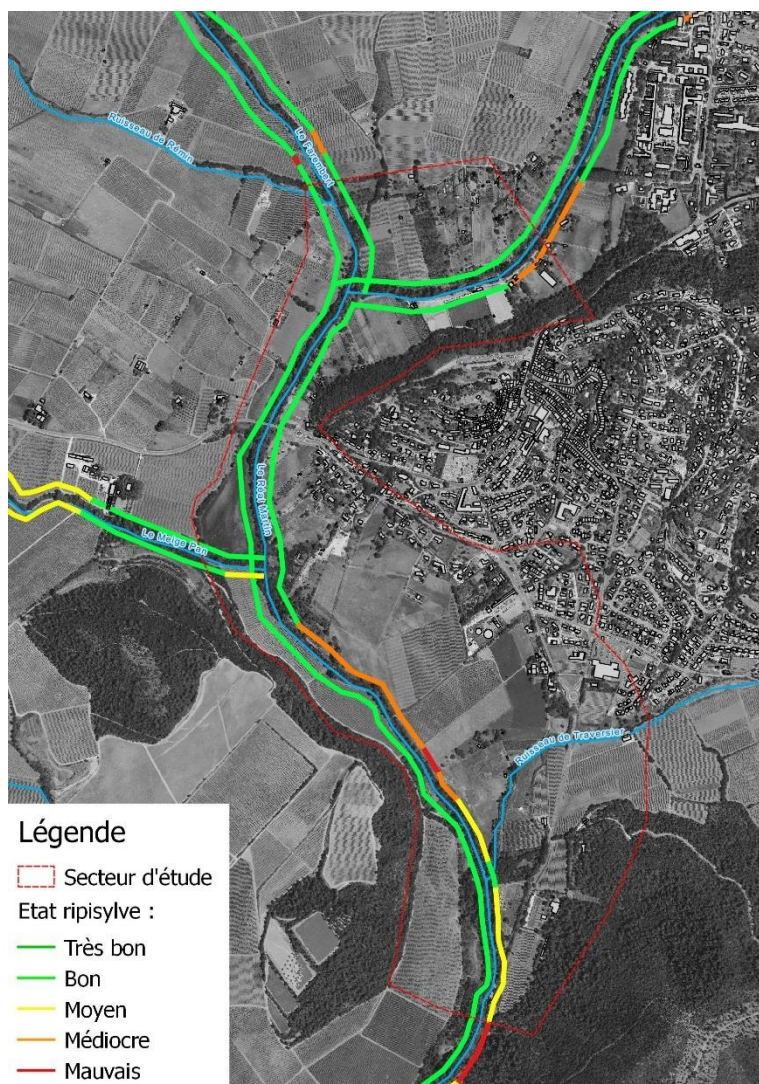


Figure 13 : Etat de la ripisylve identifié par LINDENIA en 2015.



## **2.2. Principaux enseignements des visites de site et de la rencontre des personnes ressources**

Le DST, Monsieur LOTTIEAU, a pu nous confier que le pont de la départementale est pour lui le principal point noir responsable sur le secteur des débordements du Réal martin dans le secteur de la Gravière.

Son hétérogénéité en fait notamment un ouvrage particulièrement sensible aux risques d'embâcles.

Les caractéristiques principales du pont sont les suivantes :

- ▶ Longueur totale de 76.00 m.
- ▶ Constitué d'une travée principale métallique de 17.30 m constituée de voûtains en brique et de 7 voûtes de décharge.

Le développement rapide de la végétation en aval entraîne la réduction de sa capacité d'écoulement.

Les arches sont souvent obstruées par les sédiments et les dépôts sont assez récurrents ce qui nécessite un entretien important.

Les services du Département, en charge de l'entretien, ont connaissance des problèmes de capacité d'écoulement sous ce pont. Leurs services ont beaucoup de mal à intervenir pour différentes raisons.

- ▶ Nécessité d'engager un marché spécifique,
- ▶ Disposer des autorisations et données réglementaires comme notamment:
  - L'accord des propriétaires riverains permettant d'accéder au lit
  - Le calcul de la côte de rétablissement du lit (mineur, moyen, majeur)
  - L'accord de la DDTM (dossier de loi sur l'eau) pour autoriser l'intervention dans le lit
  - L'autorisation de couper la ripisylve pour accéder au lit

Lorsque le Réal Martin rentre en crue, la maison de Monsieur Mouton est la première impactée par les débordements en lit majeur. Elle a notamment été inondée en 2011, 2014, 2018 et 2019. L'évènement majeur reste la crue de 2014 obligeant les propriétaires à se réfugier au premier étage.

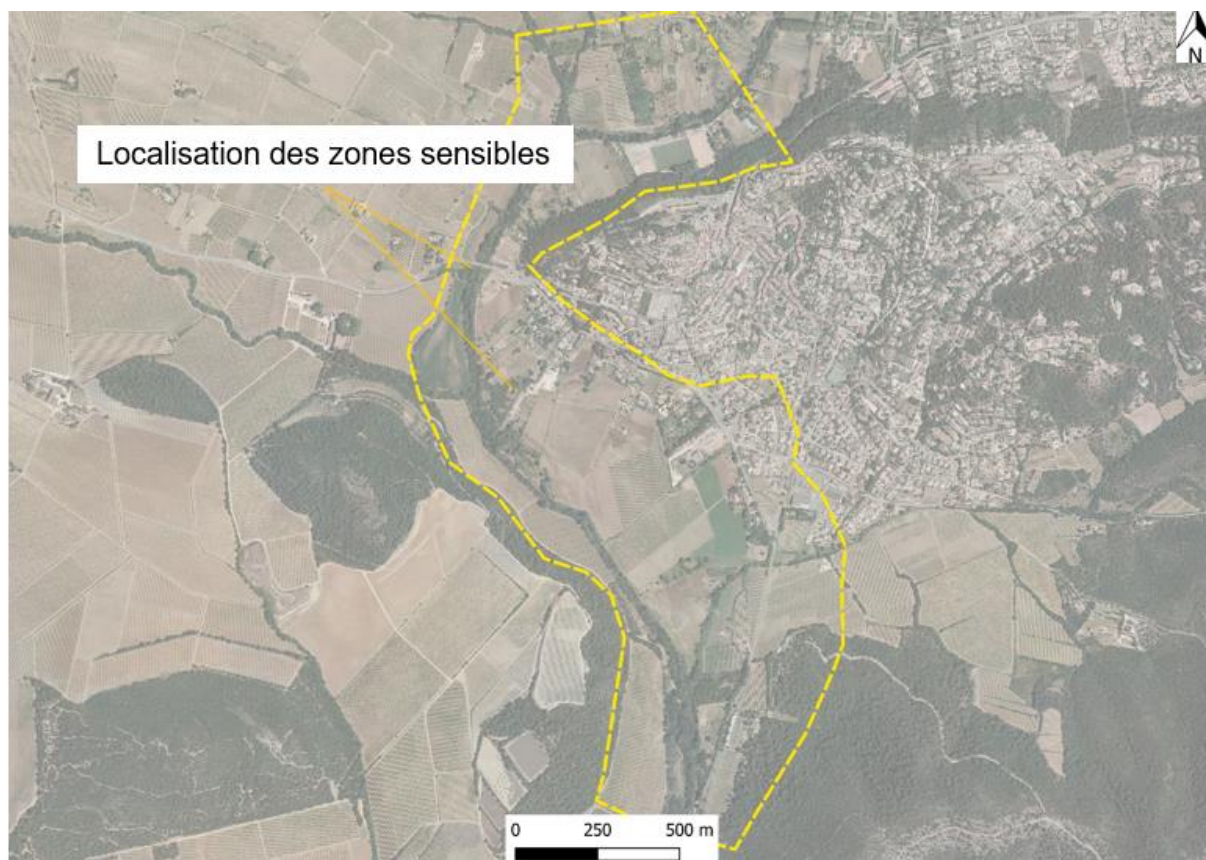
Depuis cet évènement, les propriétaires ont engagé des travaux conséquents de réduction de vulnérabilité de leur maison :

- ▶ Pose d'un batardeau amovible
- ▶ Pose de clapets anti-retour sur le réseau EU
- ▶ Installation d'un puisard et d'une pompe vide cave pour évacuer l'eau à l'extérieur
- ▶ Condamnation de certaines ouvertures.

Selon les propriétaires, la cause principale des inondations sur leur parcelle est la présence d'une ripisylve malade, qui lorsque celle-ci dépérit, crée des embâcles favorisant les débordements en lit majeur.

La présence de remblais en lit majeur (digue et plateforme remblayée par la société de BTP voisine) sont également responsables pour eux d'une augmentation locale des hauteurs de submersion.

En période de crue, à partir d'une hauteur d'eau de 2,80 m mesurée à la Station La Crau [Decapris] les propriétaires savent que la rivière est sur le point de déborder. Les premiers débordements ont lieu à partir de 3,00 mètres. Au-delà de 3,80 mètres, la maison est impactée.



*Figure 14 : Localisation des zones sensibles (pont le plus au Nord et maison de Monsieur Mouton plus au sud)*

## 2.3. Analyse morphodynamique

### 2.3.1. Observations morphodynamiques

Une expertise sur site a été réalisée en février 2021 dans des conditions hydrologiques favorables avec un débit estimé à la station hydrométrique de La Crau [Decapris] (Y461502001) à environ 750 l/s ce qui correspond à des conditions d'étiage (30% du module interannuel).

Les principales observations sont reprises ci-après.

Dans un premier temps, l'expertise sur site a permis de se faire une idée des principales problématiques pressions sur le fonctionnement du cours d'eau du secteur. Dans ce cadre, ont notamment été observés :

- ▶ L'impact de la route sur la mobilité latérale potentielle du cours d'eau,
- ▶ La présence de points durs du profil en long, sorte de micro-seuils plus ou moins naturels,
- ▶ Les traces de travaux historiques et interventions anthropiques de type recalibrage, rectification de tracé, endiguement etc.,
- ▶ Les marques de travaux plus récents de lutte contre les inondations (reprise de la digue ayant cédé en 2019),
- ▶ La présence de plusieurs ouvrages de confortement de berge,
- ▶ A l'aval du secteur d'étude un ouvrage hydraulique constituant un point dur du profil en long,



*Traversée de la RD14*



*Contrainte sur la mobilité latérale par route en rive gauche*

**SYNDICAT MIXTE BASSIN VERSANT DU GAPEAU - SMBVG**  
**ETUDES LOCALES D'AMELIORATION DE LA FONCTIONNALITE DES COURS D'EAU ET DE REDUCTION DU**  
**RISQUE INONDATION SUR LE BASSIN VERSANT DU GAPEAU – LOT 2 – « PIERREFEU DU VAR »**

---



*Seuils de fond ou seuil naturels issus du phénomène de pavage constituant des points durs du profil en long*



*Sur-calibrage du lit du Réal Martin en amont de la traversée de la RD14*



*Digue en remblais en rive droite du réal martin en amont de la RD14*



*Digue en remblais en rive droite à l'aval de la confluence avec le Meige Pan*



*Digue en remblais en rive gauche dans la plaine agricole au droit de la STEP – présence de canne de Provence*



*Merlon de terre installé en rive gauche du Réal martin à l'aval du rond-point de la RD14 et créé à partir de matériaux provenant de la parcelle à la suite de travaux d'aplanissement*



*Seuil du Pourret situé à l'aval du périmètre d'étude imposant un remous solide et liquide (ROE45642)*

Malgré des indices de vitalité de la rivière, ces pressions ont conduit à différents types de perturbations du fonctionnement morphodynamique du cours d'eau et à des altérations des fonctionnalités hydrauliques, morphologiques et écologiques, dont quelques exemples sont donnés ci-dessous :

- ▶ L'alternance des faciès d'écoulement (alternance radier mouilles), témoignant d'une certaine dynamique fluviale à l'origine de la mise en place de macroformes diversifiées caractéristiques des cours d'eau en bon état morphologique,
- ▶ Les indices d'un transport solide actif et récent (bancs de pierres grossières et de blocs récemment mobilisés (non végétalisés),
- ▶ Des traces visibles d'affleurement de la roche mère, traduisant un possible déficit local de charge solide au regard des capacités de charriage et/ou une surcalibrage du cours d'eau.

**SYNDICAT MIXTE BASSIN VERSANT DU GAPEAU - SMBVG**  
**ETUDES LOCALES D'AMELIORATION DE LA FONCTIONNALITE DES COURS D'EAU ET DE REDUCTION DU**  
**RISQUE INONDATION SUR LE BASSIN VERSANT DU GAPEAU – LOT 2 – « PIERREFEU DU VAR »**

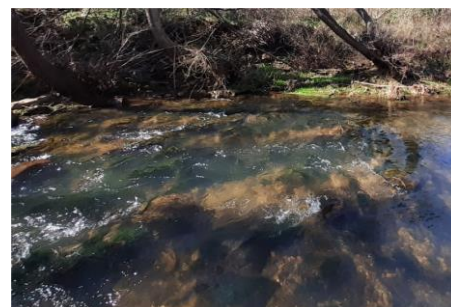
---



*Alternance intéressante de faciès d'écoulement entre radier, plat et chenaux lenticules et lotiques sur linéaire d'étude*



*Exemples de bancs de matériaux et de radiers récemment mobilisés par les crues*



*Exemple d'affleurements locaux du substratum le long du linéaire d'étude traduisant une incision historique progressive du cours d'eau*

En conclusion de cette première analyse visuelle, le Réal Martin sur le secteur de Pierrefeu du Var a subi d'importantes pressions d'origine anthropiques :

- ▶ Sur la composante latérale : protections de berges qui entravent la mobilité latérale et endiguement limitant localement les capacités de sollicitation du lit majeur.
- ▶ Sur la composante verticale : perturbation du profil en long par des points durs d'origine anthropiques (ouvrage à l'aval) ou naturels (substratum à nu).

Ces pressions qui pèsent sur le cours d'eau semblent se traduire par des altérations de la dynamique fluviale, que ce soit du point de vue hydraulique (réduction des capacités de débordement) mais aussi du point de vue sédimentaire (perturbation localisée de l'équilibre dynamique entre les phénomènes d'érosion et les phénomènes de dépôts).

Il convient toutefois de noter que ces perturbations ne sont pas généralisées à l'ensemble du secteur.

En effet, il n'a pas été observé d'incision généralisée, d'atterrissements démesurés, d'envasement important ou de très longues érosions de berges. Ces problématiques de perturbation du transport solide pourront par conséquent être éventuellement traitées au cas par cas.

Une analyse plus fine et quantitative est présentée par la suite. Elle est basée notamment sur l'exploitation des données topographiques produites à proximité.

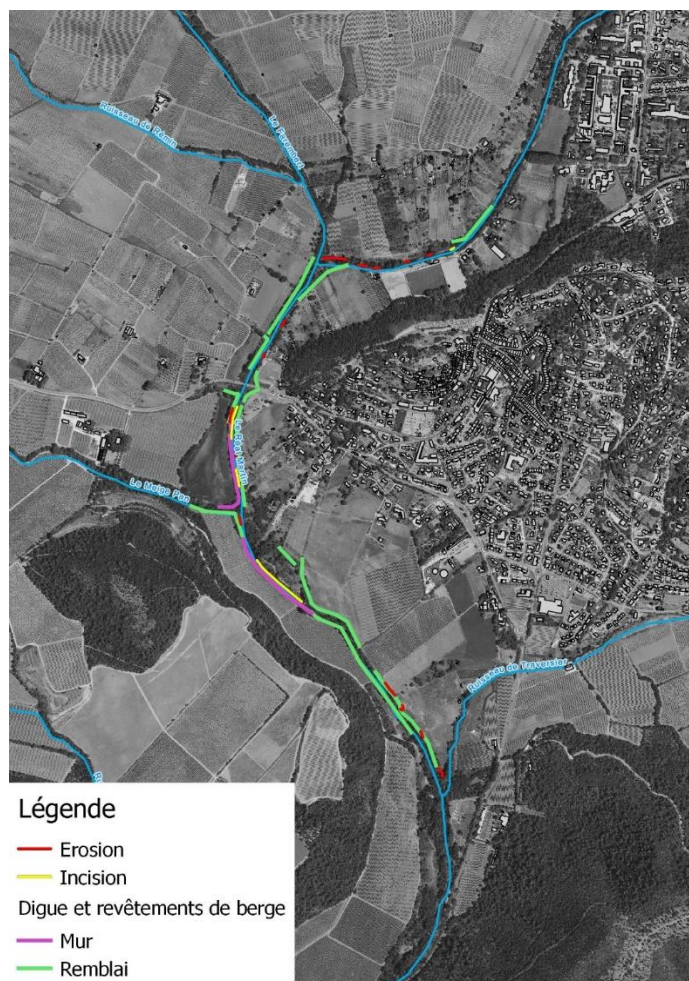


Figure 15 : Résumé des principales observations faites sur le terrain.

## 2.3.2. Analyse des grandeurs morphodynamique

### 2.3.2.1. Données topographiques et géométrie du lit

Afin de définir les grandeurs morphodynamique du secteur, les données topographiques de la géométrie du lit sont nécessaires. Sur ce secteur « Pierrefeu / gravière », il est proposé d'exploiter spécifiquement les données d'un tronçon d'environ 2270 m, contenant les profils en travers, 49, 48, 46, 45, 44, 43, 42, 40, 39 (source OPSIA 2018)



Figure 16 : Localisation des profils en travers exploités



**SYNDICAT MIXTE BASSIN VERSANT DU GAPEAU - SMBVG**  
**ETUDES LOCALES D'AMELIORATION DE LA FONCTIONNALITE DES COURS D'EAU ET DE REDUCTION DU RISQUE INONDATION SUR LE BASSIN VERSANT DU GAPEAU – LOT 2 – « PIERREFEU DU VAR »**

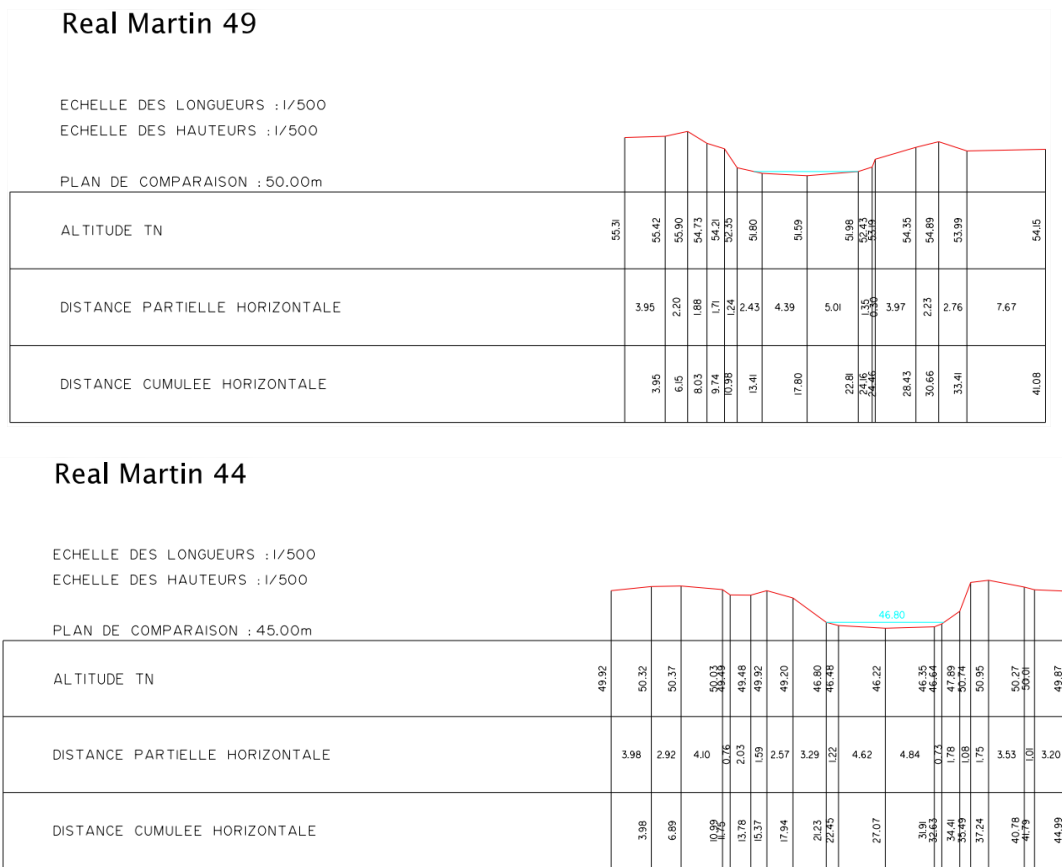


Figure 17: Exemples des profils en travers 44 et 49 exploités dans le cadre de l'analyse morphodynamique

Le traitement de ces données topographiques permet d'aboutir aux résultats suivants pour les principaux indicateurs morphodynamiques :

Identifiant profil	Largeur du fond du lit (m)	Largeur pleins bords (m)	Hauteur pleins bords (m)	Lpb / Hpb
49	13.2	22.6	3.3	6.9
48	5.2	18.5	3.7	5.0
46	7.9	39.9	3.9	10.3
45	4.8	39.9	4.4	9.0
44	11.4	20.1	3.7	5.4
43	11.0	24.8	4.0	6.2
42	4.5	33.4	5.0	6.7
40	3.0	25.4	4.2	6.1
39	11.7	19.8	4.6	4.3
<b>Moyenne</b>	<b>8.1</b>	<b>27.2</b>	<b>4.1</b>	<b>6.7</b>

## SYNDICAT MIXTE BASSIN VERSANT DU GAPEAU - SMBVG

### ETUDES LOCALES D'AMELIORATION DE LA FONCTIONNALITE DES COURS D'EAU ET DE REDUCTION DU RISQUE INONDATION SUR LE BASSIN VERSANT DU GAPEAU – LOT 2 – « PIERREFEU DU VAR »

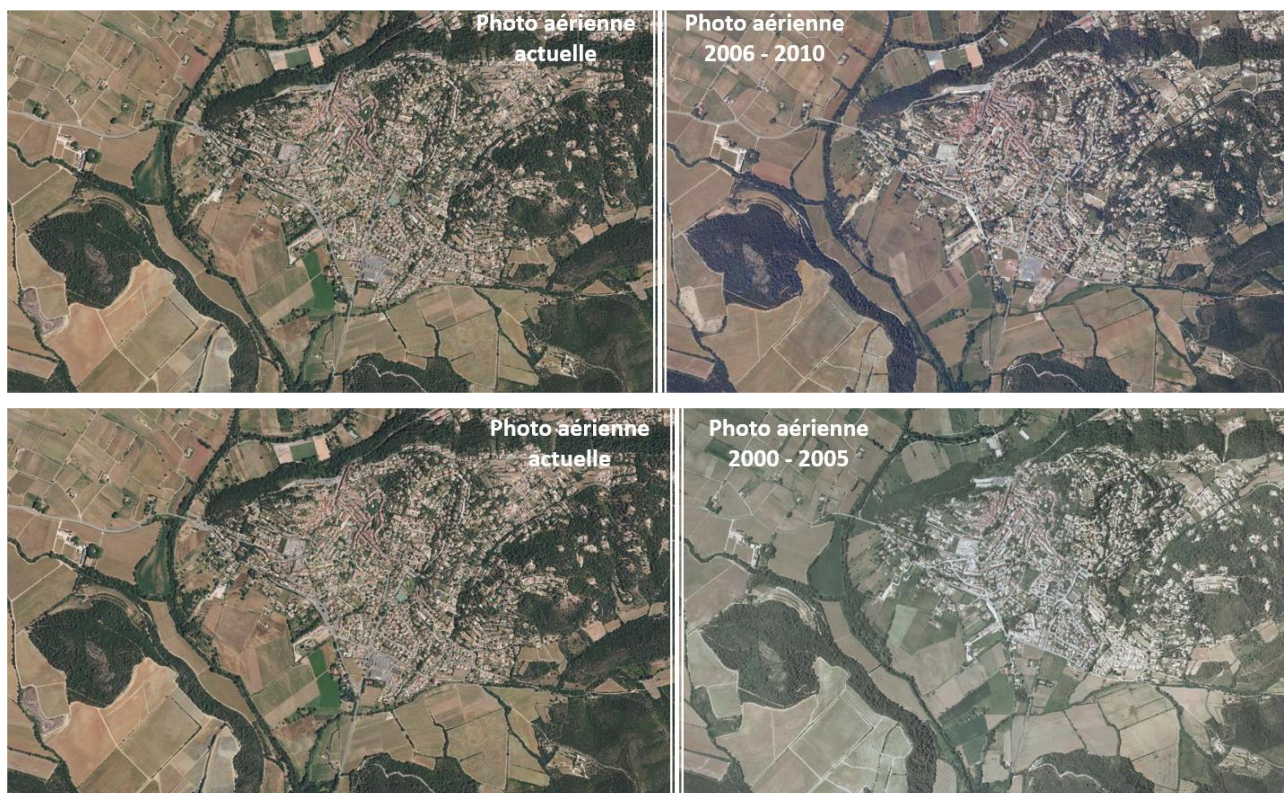
Dénivelée sur le tronçon (m)	9.88
Longueur tronçon (m)	2278
Pente (m/m)	0,00433714
Pente (%)	0.43
Rapport Lpb/Hpb moyen	6.7

L'analyse du rapport des dimensions plein bord Lpb/ / Hpb permet d'apporter des éléments sur la caractérisation de la dynamique du cours d'eau et de son style fluvial. Dans le cas présent, un rapport moyen Lpb/Hpb de 6.7 traduit un style fluvial de type « cours d'eau à bancs alternés » avec une géométrie qui se caractérise par des berges plutôt hautes, de l'ordre de 4,0m en moyenne. On peut néanmoins supposer que la morphologie de référence du cours d'eau se caractériserait par une valeur moyenne plus importante du fait d'un léger encaissement historique en lien avec les pressions présentes (endiguements, incision, etc.)

Les surlargeurs observées au niveau des profils 46 et 45 s'expliquent par l'influence de l'ouvrage de traversée de la RD14.

#### 2.3.2.2. Analyse diachronique

Les photos présentées ci-après permettent de comparer la situation actuelle aux situations passées (analyse diachronique).



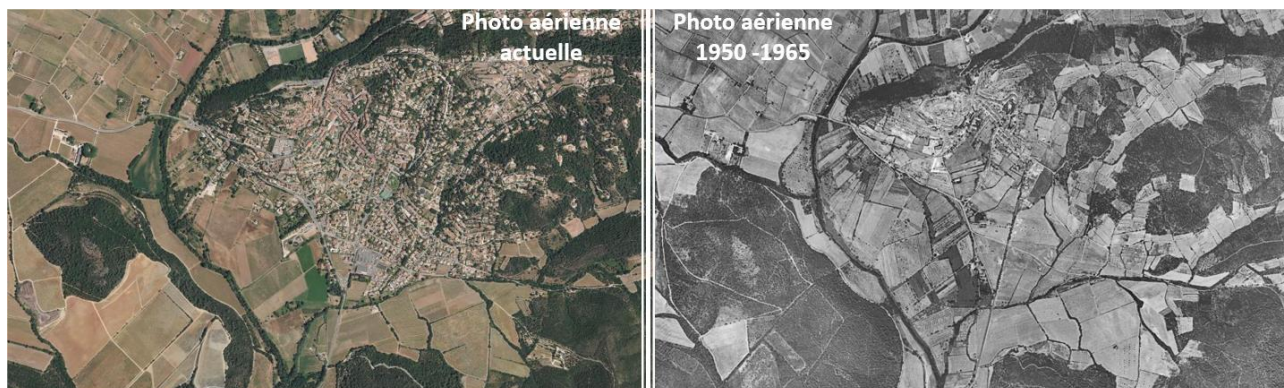


Figure 18 : Comparaison des photos aériennes actuelles avec celles des dernières décennies

L'analyse des photo aériennes récentes ne mettent pas en évidence une mobilité latérale importante du cours d'eau, si ce n'est une légère réduction de la largeur de la bande active du cours d'eau depuis le milieu du 20ème siècle.





Figure 19 : Comparaison des photos aériennes actuelles avec celles historiques

Les cartes historiques ne permettent pas de conclure à une mobilité historique marquée du cours d'eau dans ce secteur qui semble ne pas avoir beaucoup évolué latéralement au cours du dernier siècle. La carte de Cassini mettrait en évidence une éventuelle sinuosité au 18ème siècle mais cette interprétation est à relativiser du fait du manque de précision de ces cartes historiques. Il est également possible que d'importants travaux agricoles de chenalisation du cours d'eau aient eu lieu entre le 18ème siècle et le 19ème siècle.

Néanmoins, le cadastre napoléonien de 1811 sur la commune de Pierrefeu semble confirmer en premier abord, la faible mobilité du cours d'eau et la réduction de la largeur de la bande active de ce dernier au cours des deux derniers siècles.



Figure 20 : Extrait du Cadastre Napoléonien de la commune (1811, Archives CD83)

### 2.3.3. Analyse des grandeurs morphodynamiques

Dans le cadre de ce paragraphe, les interprétations et analyses sur la morphologie et le transport solide des cours d'eau ont été réalisées sur la base de données récoltées lors des investigations de terrain et des données topographiques existantes.

#### 2.3.3.1. Géométrie plein bord

Au premier abord, il est intéressant de comparer les capacités hydrauliques du cours d'eau à plein bord avec les valeurs hydrologiques des occurrences de crue Q2 et Q10. On constate rapidement que le lit actuel présente des capacités majoritairement supérieures au Q10, ce qui peut confirmer l'effet de « sur-calibrage » observé lors des investigations de terrain.

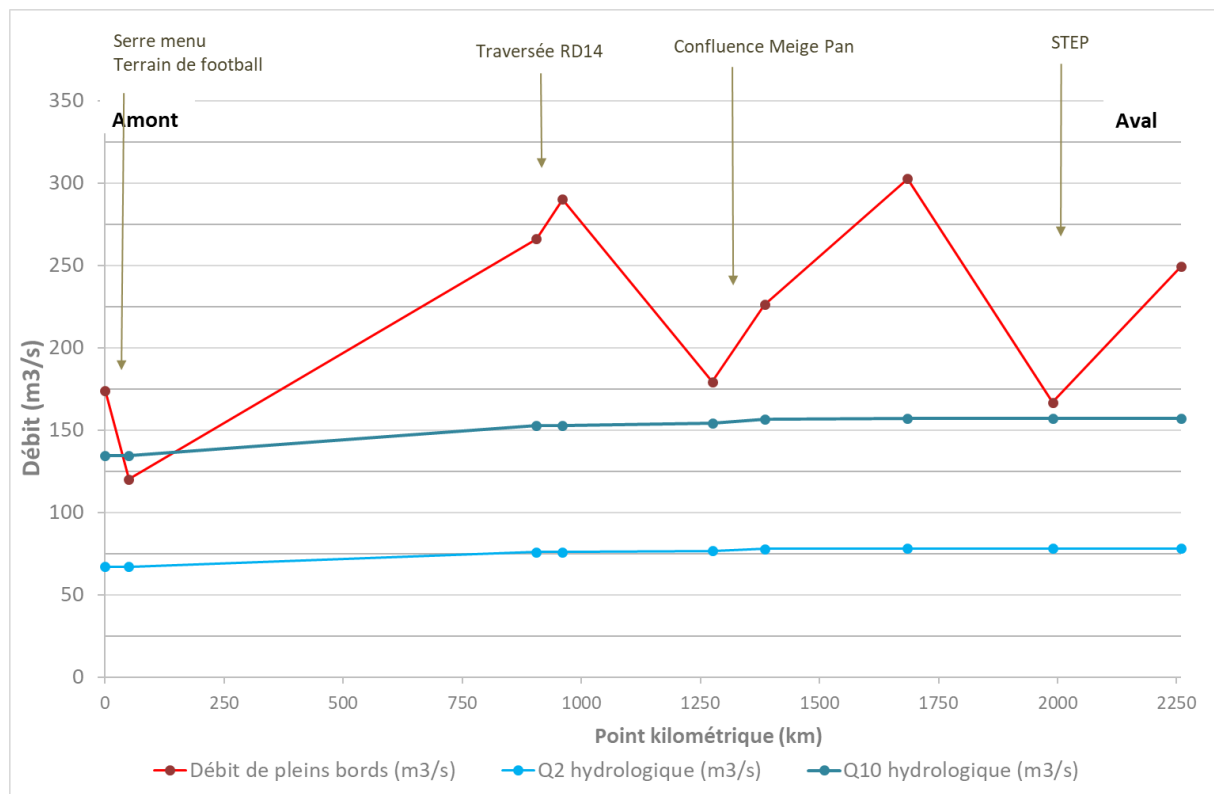


Figure 21 : Profil en long des capacités hydraulique du Réal Martin sur le périmètre d'étude

### 2.3.3.2. Puissances spécifiques et forces tractrices

La puissance spécifique ( $\omega$ ) décrit l'énergie développée par le cours d'eau pour une crue morphogène. Elle est donnée par l'équation définie :

$$\omega = \gamma \cdot Q_{pb} \cdot i \cdot w^{-1}$$

$\omega$  : puissance spécifique ( $W/m^2$ )

$\gamma$  : poids volumique de l'eau ( $\gamma = \rho \cdot g = 9\,810 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-2}$ )

$Q_{pb}$  : débit de plein bord ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$i$  : pente moyenne de la ligne d'eau considérée équivalente à la pente du fond du lit ( $\text{m}/\text{m}$ )

$w$  : largeur du lit à plein bord ( $\text{m}$ )

Il a été démontré depuis de nombreuses années que les capacités d'ajustement d'un cours d'eau étaient en grande partie fonction de sa puissance spécifique. Ainsi, des cours d'eau à faible puissance ( $10 - 15 \text{ W}/\text{m}^2$ ) peuvent présenter une activité géodynamique relativement importante si leurs berges ne sont pas ou peu cohésives. A l'inverse, des cours d'eau plus puissants ( $40 - 50 \text{ W}/\text{m}^2$ ), mais coulant dans une plaine alluviale composée de sédiments plus cohésifs (argiles, limons, sables limoneux), sont moins actifs. Au-dessus de  $100 \text{ W}/\text{m}^2$ , il peut être considéré que la nature des berges n'est plus un paramètre discriminant (BIOTEC & Malavoi, 2006).

Pour le Réal Martin à Pierrefeu-du-Var, la cohésion des berges peut être assez variable avec une érodabilité faible à forte selon les secteurs. En effet, les lithologies observées sur le terrain laissent néanmoins constatées une tendance à une faible érodabilité des berges du fait de la présence régulière d'horizons de matrices limoneuses et/ou argileuse denses dans les berges qui assurent une forte cohésion. La tendance historique des berges à se verticaliser sous l'effet de l'érosion plutôt que de favoriser des anses d'érosion latérales traduit également ce phénomène de cohésion des rives.

Dans le cadre de notre analyse, les débits d'occurrence Q2 et Q10 ont été retenus pour l'évaluation de la puissance spécifique.

On constate que les valeurs de puissance pour Q2 varient autour de  $170 \text{ W}/\text{m}^2$  [ $120 ; 210$ ] et de autour de  $200 \text{ W}/\text{m}^2$  [ $250 ; 350$ ] pour Q10. Ces ordres de grandeurs traduisent ainsi la forte capacité d'ajustement du cours d'eau dans le secteur, que l'étude de 2018 avait identifié sous l'appellation de « surpuissance ». Sous l'effet de la forte densité d'aménagements le long des berges (digues, protection de berge, etc.), le passage des crues s'est ainsi traduit par une intensification du déséquilibre naturel du cours d'eau, connaissant déjà une tendance au déficit de matériaux (apports amont, forte cohésion des berges, etc.) et à accentuer le phénomène d'incision du fond et de tri granulométrique (pavage partiel du fond).

La force tractrice que subissent les matériaux du lit et des berges est exprimée par la relation suivante :

$$\tau = K \cdot \gamma \cdot R \cdot i$$

$\tau$  : Force tractrice ( $\text{N}/\text{m}^2$ )

$K$  : Coefficient de sinuosité

$\gamma$  : Poids unitaire de l'eau ( $\gamma = \rho \cdot g = 9\,810 \text{ N}/\text{m}^3$ )

$R$  : Rayon hydraulique ( $\text{m}$ )

$i$  : Pente du lit ( $\text{m}/\text{m}$ )

Les ordres de grandeurs correspondant aux limites d'arrachement des matériaux sont les suivants : 100 N/m<sup>2</sup> pour des berges enherbées ; 250 N/m<sup>2</sup> pour une berge boisée naturellement ou par techniques végétales ; 350 N/m<sup>2</sup> pour des enrochements (AGRCQ, 2016). Il convient toutefois de manipuler ces seuils avec prudence dans la mesure où, selon les contextes, de grandes variations peuvent être observées. Par exemple, une ripisylve bien en place et de qualité peut atteindre des résistances plus élevées ; à contrario, des enrochements mal posés et sans sabot présenteront finalement une résistance bien plus faible.

Sur le périmètre d'étude, les forces tractrices ont été évaluées à partir du débit d'occurrence de la crue décennale (Q10). Les valeurs obtenues varient autour de 150 N/m<sup>2</sup> [120 ; 180] traduisant des forces d'arrachement suffisantes pour déstabiliser une berge mise à nue mais ne permettant pas de déstabiliser une berge artificialisée ou bien végétalisée, hormis sous l'effet de survitesses locales comme cela peut fréquemment arriver lors des crues.

Ces résultats sont cohérents avec nos observations de terrain, qui ont mis en évidence des érosions latérales ponctuelles et des phénomènes érosifs et de transport solide actifs mais souvent limités à la composante longitudinale du cours d'eau se traduisant ainsi majoritairement par un tassement du lit mineur.

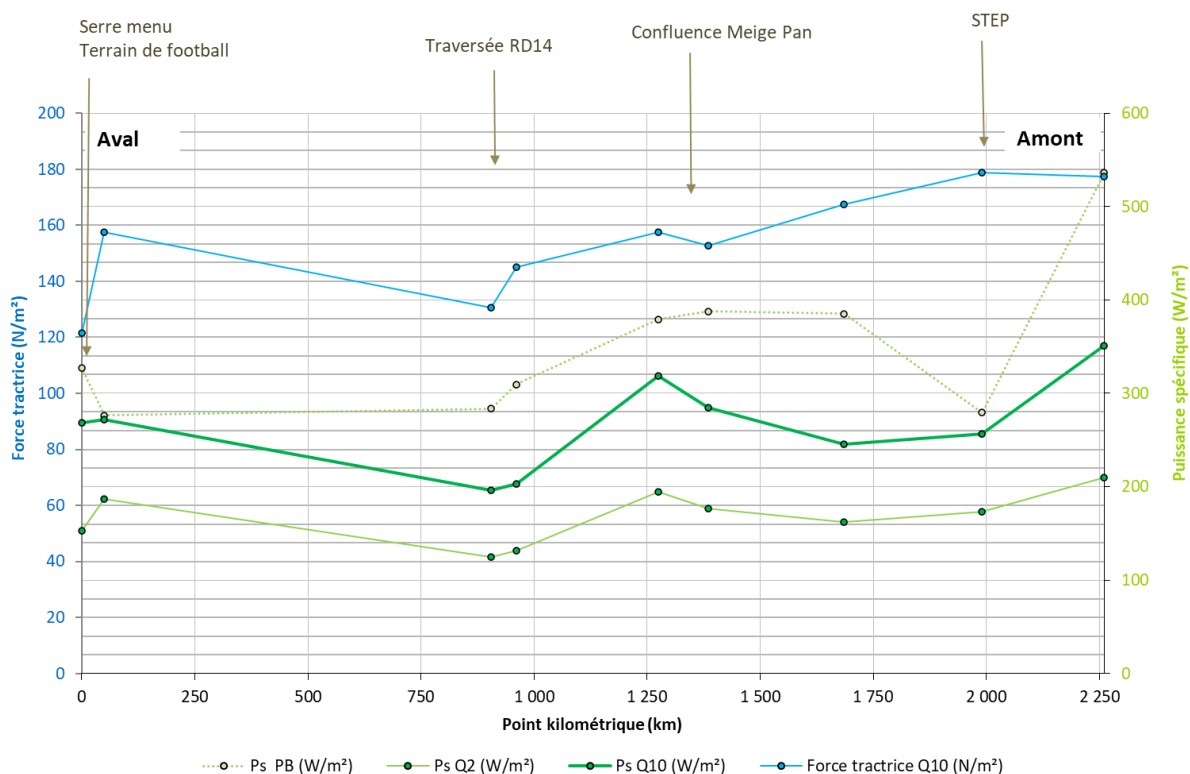


Figure 22 : Profil en long des puissances spécifiques du Réal Martin sur le périmètre d'étude



*Erosion latérale en rive gauche dans la plaine agricole au niveau d'une berge mise à nue et fragilisée par la canne de Provence*



*Observation du phénomène de tri granulométrique des éléments les plus grossier sur un atterrissement situé au droit d'une protection de berge*



*Zone de dissipation intéressante du cours d'eau en rive gauche par sollicitation de la terrasse alluviale (Fz) en crue*



*Indice d'incision légère du cours d'eau par la mise à nue du système racinaire des arbres*

### 2.3.3.3. Transport solide

La première étape a consisté à caractériser la granulométrie du substrat du cours d'eau sur le périmètre d'étude. Pour cela deux stations de mesures ont été retenues pour la réalisation du protocole Wolman permettant de quantifier la taille des matériaux présents dans le lit. La figure suivante présente la localisation des stations et les résultats en termes de diamètres caractéristiques.



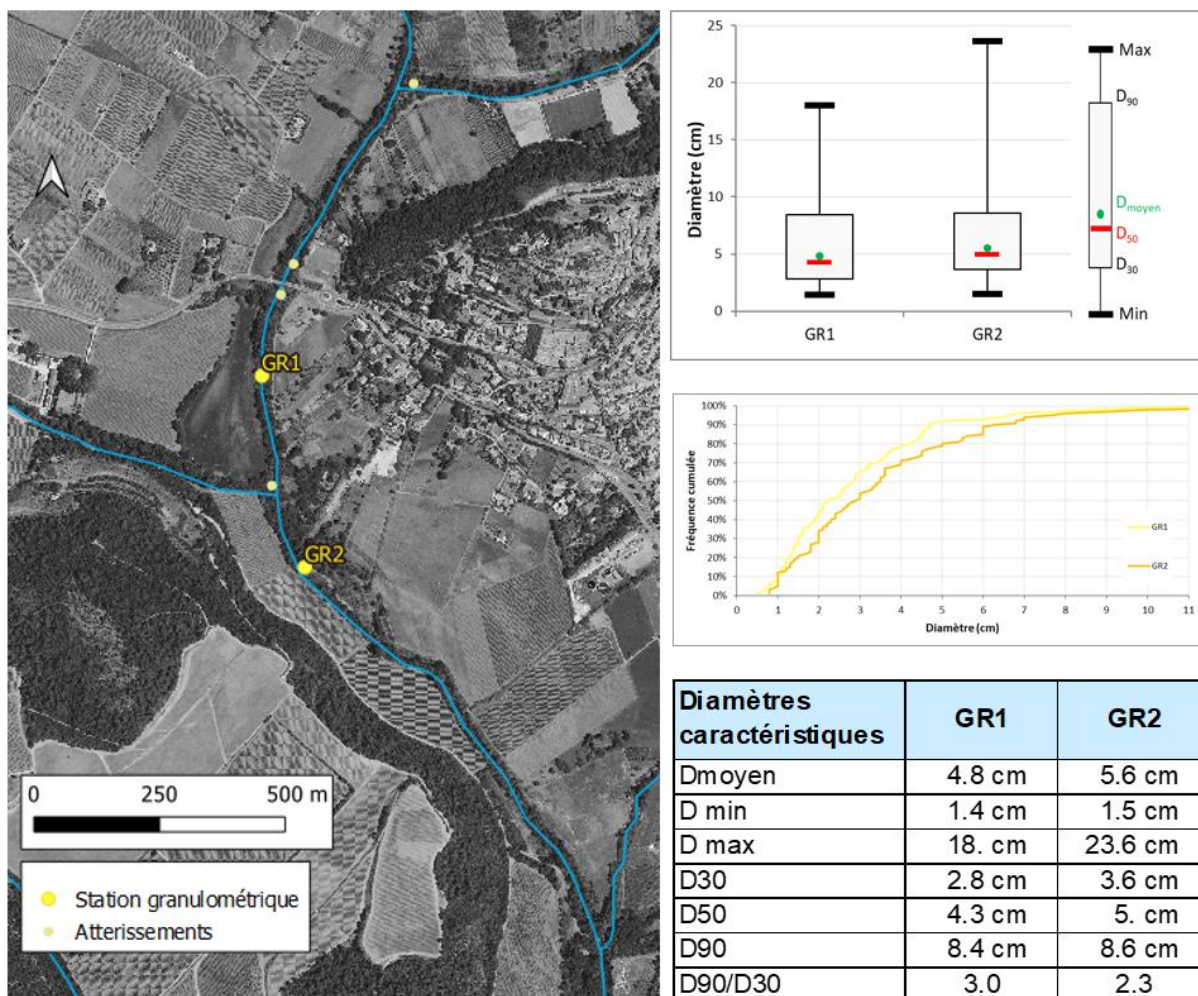


Figure 23 : résultats du protocole Wolman sur les 2 stations granulométriques

Les résultats des deux stations sont globalement homogènes avec des Dmoy respectivement de 4,8 cm et de 5,6 cm pour GR1 et GR2. Ces résultats traduisent bien les observations de terrain avec des gammes dominantes de cailloux fins (1,6-3,2 cm) et grossiers (3,2-6,4 cm) et de pierres fines (6,4-12,8 cm).

Le transport sédimentaire du Réal Martin a ensuite été analysé sur la base de la formule de Shields simplifiée ( $D_{max} = 10 \times h \times i$ ). Cette formule permet d'estimer la taille maximale de grain mobilisé ( $D_{max}$  en mètre) pour une hauteur d'eau  $h$  (évaluée sur la base de la formule de Manning-Strickler et des profils en travers réalisés lors de nos investigations, en mètre) et une pente  $i$  (estimée sur la base des données topographiques disponibles et des tronçons SYRAH, en mètre/mètre). Cette méthode permet ainsi de déterminer les fractions granulométriques mobilisables jusqu'au débit de plein bord et les points de rupture du transport solide.

Cette analyse met évidence que le cours d'eau est capable, en moyenne, sur le secteur de déplacer par charriage des matériaux de diamètre maximal 10,6 cm [8,3 ; 13,2] pour la crue d'occurrence biennale et de diamètre maximal 15,7 cm [12,4 ; 18,2] pour la crue d'occurrence décennale. Si l'on compare ces résultats aux D50 et D90 mesurés au niveau des stations Wolman, on constate alors que le cours d'eau peut théoriquement mettre en mouvement plus de 90% ( $D_{max} > D_{90}$ ) de la charge de fond présents dès le passage de la crue biennale.

**SYNDICAT MIXTE BASSIN VERSANT DU GAPEAU - SMBVG**

**ETUDES LOCALES D'AMELIORATION DE LA FONCTIONNALITE DES COURS D'EAU ET DE REDUCTION DU RISQUE INONDATION SUR LE BASSIN VERSANT DU GAPEAU – LOT 2 – « PIERREFEU DU VAR »**

Ces résultats sont cohérents avec les observations de terrain qui mettent en évidence des atterrissements remobilisés lors de crues récentes et dont les matériaux dominants sont des cailloux grossiers et des pierres fines.

Néanmoins le phénomène de transport solide généralisé est ici à nuancer du fait de l'absence d'apports solides et d'une charge de fond mobilisable continue le long du cours d'eau. Ce déficit sédimentaire peut à la fois s'expliquer par des facteurs naturels (fin de l'ère glaciaire, reboisement des versants, cohésion de berges, etc.) et des facteurs de pressions anthropiques (stabilisation des versants, protection de berge, barrage, etc.). Sur ce secteur le poids des pressions anthropiques n'est pas négligeable notamment à travers les digues et les protections de berges présentes.

Ce « surplus » d'énergie propres aux capacités de charriage se retrouve ainsi dans les phénomènes d'érosion latérales ponctuelles et à travers le tassement du fond du cours d'eau, parfois jusqu'au substratum.

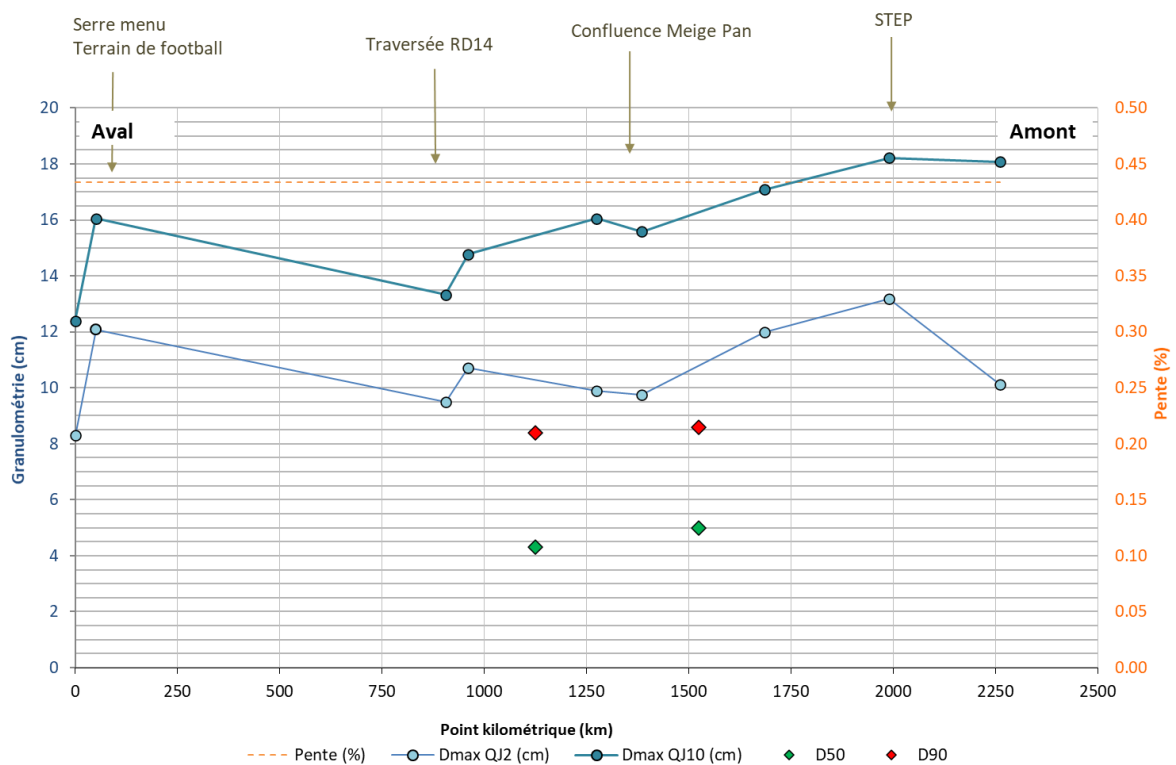


Figure 24 : Profil en long des diamètres maximaux des matériaux transités lors des crues



*Atterrissement mobilisable en rive droite et fond pavé du radier dans le chenal central*



*Secteur aval intra-digue avec un transport solide peu fonctionnel du fait du déficit en matériaux et affleurement local du substratum*

### **3. Réalisation d'une modélisation hydraulique du secteur d'étude**

Cette phase d'analyse repose sur le développement d'un modèle mathématique d'écoulement. Elle doit permettre de :

- ▶ Comprendre les phénomènes mis en jeu lors des crues du Real Martin et de ses affluents permettant de dimensionner des actions de restauration hydromorphologiques adaptées ou d'évaluer les niveaux de protection de certains ouvrages hydrauliques,
- ▶ Définir les principes d'aménagement permettant de lutter efficacement contre les crues,
- ▶ Etablir et démontrer l'efficacité des aménagements proposés,
- ▶ Nourrir l'analyse multicritère future des scénarii.

Le modèle hydraulique a été développé à l'aide du progiciel HEC-RAS.

Les étapes clés de mise en œuvre ont été :

- ▶ La description des dimensions du lit mineur, des ouvrages structurants influençant l'écoulement (lit mineur, ponts, seuils, ...)
- ▶ La caractérisation du relief et des conditions d'écoulement au sein des lits majeurs, des zones inondables,
- ▶ L'affectation de coefficients de rugosité (coefficient de Manning, de Strickler), de pertes de charge adaptés permettant de définir la propension des territoires à freiner voire accélérer les écoulements,
- ▶ Le calage du modèle à partir des informations obtenues lors de la première étape d'analyse (crues réelles observées, ...), en veillant à tenir compte des conditions d'écoulement à l'époque de la survenance des crues, des débordements. Lors de cette phase de calage, des valeurs représentatives, usuellement retenus, des coefficients de rugosité (strickler) ont été retenus. Il ne s'agit pas de vouloir « à tout prix » caler le modèle au mépris de la non-vraisemblance des paramètres retenus. Toutes différences obtenues avec des résultats antérieures (notamment étude EGIS) ou les écarts avec des laisses de crue ont été expliquées.

## 3.1. Développement du modèle hydraulique

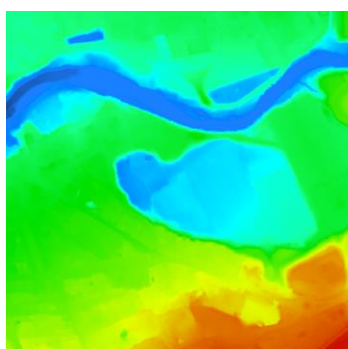
### 3.1.1. Mode opératoire général

Le développement du modèle hydraulique s'est appuyé sur un travail de prétraitement particulièrement important :

- ▶ Compilation des données topographiques existantes pour constitution d'un modèle numérique de terrain,
- ▶ Valorisation des visites de site pour intégration à cette « maquette numérique » des obstacles à l'écoulement pouvant influencer les conditions d'évacuation des eaux.

L'ensemble de ces données ont été compilées sous SIG, certaines étant saisies directement dans le modèle hydraulique et exportées au format shape.

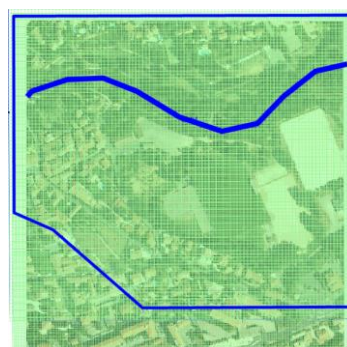
Classiquement, le processus de développement du modèle hydraulique 1D/2D peut être résumé par les six étapes suivantes :



Constitution du MNT dans le progiciel de modélisation hydraulique



Analyse des conditions d'écoulement à partir des photos aériennes



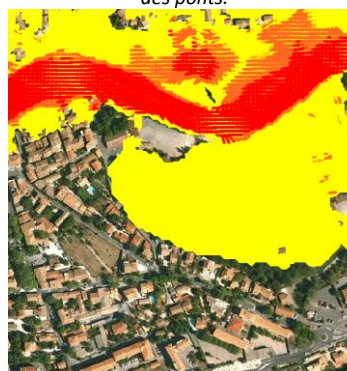
Définition du maillage de calcul, de l'aire d'étude en 2D et représentation en 1D des ponts.



Prise en compte des bâtiments pour calculs hydrauliques de propagation. Définition des coefficients de rugosité



Résultats des modélisations – Hauteurs de submersion ( $H < 0,2$  m,  $H$  entre 20 et 50 cm,  $H$  entre 50 cm et 1 m,  $H$  entre 1,0 m et 2,0 m,  $H > 2$  m) – Cartographie automatique



Résultats des modélisations – Vitesses d'écoulement ( $V < 0,5$  m/s,  $V$  entre 50 cm/s et 1 m/s,  $V > 1$  m/s) – Cartographie automatique

Figure 25 : Présentation, étape par étape, du processus de constitution du modèle d'écoulement 2D



Figure 26 : Emprise du modèle hydraulique développé sur Pierrefeu-du-Var.

Le tracé jaune sur la cartographie permet d'établir les profils en long présentant les résultats.

### 3.1.2. Débits de référence

Pour les modélisations hydrauliques, afin de ne pas surestimer les débits de pointe de crue du Real Martin qui doivent être compris dans la plage des débits fixés dans le tableau ci-après.

BV	Surface drainée	Périodes de retour						
		2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	30 ans	50 ans	100 ans
Réal Martin à Decapris	277.0 km <sup>2</sup>	90.5	145	182	216	237	261	507
Débit spécifique (m <sup>3</sup> /s/km <sup>1.6</sup> )		1.01	1.61	2.02	2.40	2.63	2.90	5.64
BV Réal Martin amont zone étude	189.9 km <sup>2</sup>	66.9	107.2	134.6	159.7	175.2	193.0	374.8
BV Réal Martin aval zone étude	236.8 km <sup>2</sup>	79.8	127.9	160.5	190.5	209.0	230.2	447.2

Tableau 2 : Débits de pointe de crue estimés en amont et en aval du modèle hydraulique d'après estimations des débits de crue au droit de la station Decapris (m<sup>3</sup>/s).

Les débits des affluents ou BV intermédiaires ont été estimés au prorata de la surface de BV drainé.

**SYNDICAT MIXTE BASSIN VERSANT DU GAPEAU - SMBVG**

**ETUDES LOCALES D'AMELIORATION DE LA FONCTIONNALITE DES COURS D'EAU ET DE REDUCTION DU RISQUE INONDATION SUR LE BASSIN VERSANT DU GAPEAU – LOT 2 – « PIERREFEU DU VAR »**

BV	Surface drainée	Périodes de retour						
		2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	30 ans	50 ans	100 ans
BV le Farembert	29.2 km <sup>2</sup>	8.1	12.9	16.2	19.2	21.1	23.2	45.1
BV ruisseau de Remin	3.8 km <sup>2</sup>	1.0	1.7	2.1	2.5	2.7	3.0	5.9
BV intermediaire	2.4 km <sup>2</sup>	0.7	1.1	1.3	1.6	1.7	1.9	3.7
BV Meige Pan	4.1 km <sup>2</sup>	1.1	1.8	2.3	2.7	3.0	3.3	6.3
BV intermediaire2	1.1 km <sup>2</sup>	0.3	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	1.6
BV Ruisseau de Traversier	6.3 km <sup>2</sup>	1.7	2.8	3.5	4.1	4.5	5.0	9.7

Tableau 3 : Débits de pointe de crue des affluents du Real Martin pris en compte en limite amont du modèle hydraulique (m<sup>3</sup>/s).

Pour les modélisations, ces débits ont été injectés de façon progressive afin de pouvoir disposer d'un régime établi des crues du Real Martin sur le linéaire d'analyse.

temps	Amont Modele	BV le Farembert	BV ruisseau de Remin	BV intermediaire	BV Meige Pan	BV intermediaire2	BV Ruisseau de Traversier
0 h	5	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
1 h	66.9	8.1	1.0	0.7	1.1	0.3	1.7
2 h	66.9	8.1	1.0	0.7	1.1	0.3	1.7
3 h	107.2	12.9	1.7	1.1	1.8	0.5	2.8
4 h	107.2	12.9	1.7	1.1	1.8	0.5	2.8
5 h	134.6	16.2	2.1	1.3	2.3	0.6	3.5
6 h	134.6	16.2	2.1	1.3	2.3	0.6	3.5
7 h	159.7	19.2	2.5	1.6	2.7	0.7	4.1
8 h	159.7	19.2	2.5	1.6	2.7	0.7	4.1
9 h	175.2	21.1	2.7	1.7	3.0	0.8	4.5
10 h	175.2	21.1	2.7	1.7	3.0	0.8	4.5
11 h	193.0	23.2	3.0	1.9	3.3	0.8	5.0
12 h	193.0	23.2	3.0	1.9	3.3	0.8	5.0
15 h	374.8	45.1	5.9	3.7	6.3	1.6	9.7
16 h	374.8	45.1	5.9	3.7	6.3	1.6	9.7

Tableau 4 : Hydrogrammes de crue rentrée en amont du modèle hydraulique (m<sup>3</sup>/s).

## SYNDICAT MIXTE BASSIN VERSANT DU GAPEAU - SMBVG

### ETUDES LOCALES D'AMELIORATION DE LA FONCTIONNALITE DES COURS D'EAU ET DE REDUCTION DU RISQUE INONDATION SUR LE BASSIN VERSANT DU GAPEAU – LOT 2 – « PIERREFEU DU VAR »

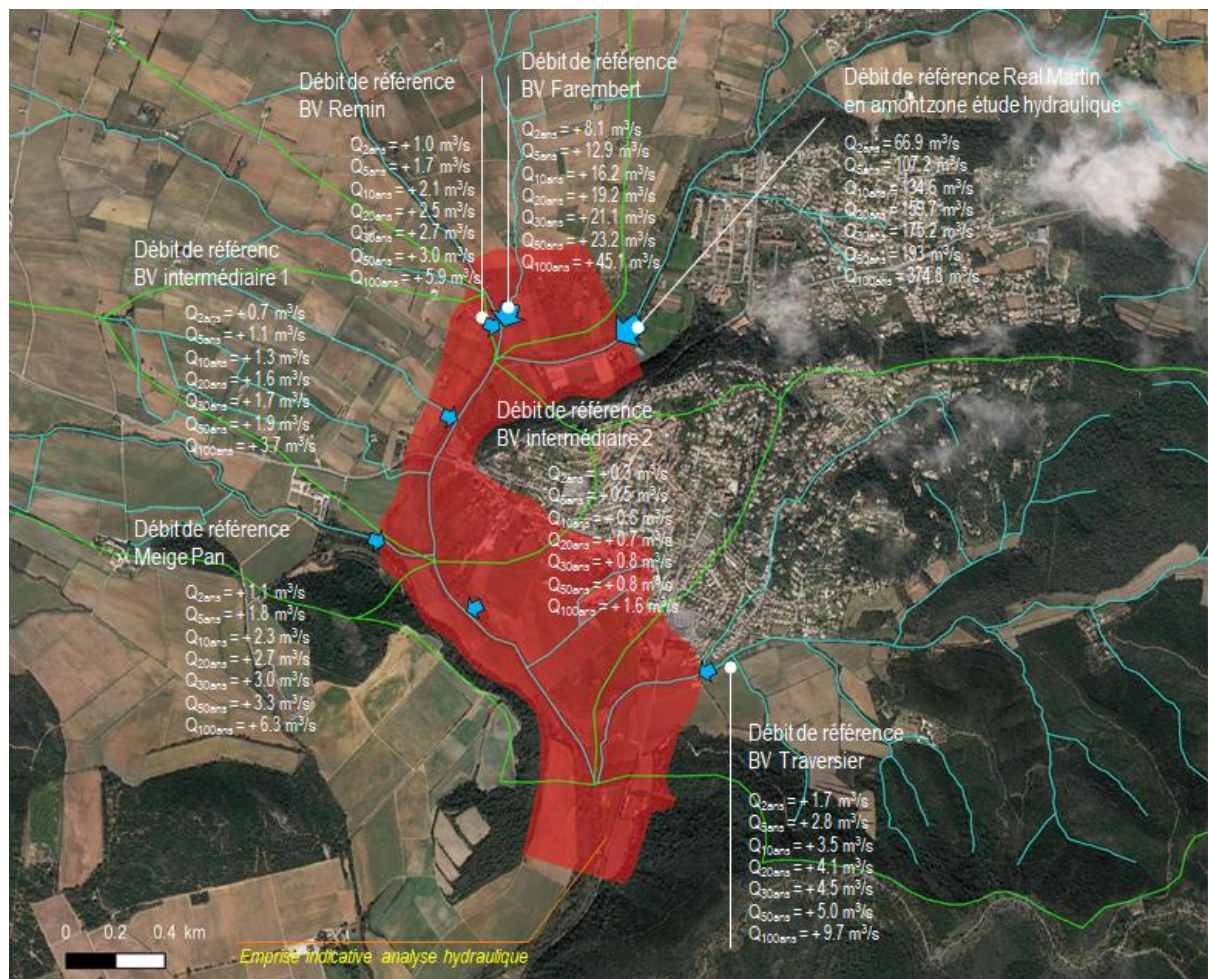


Figure 27 : Débits de pointe de crue du Real Martin injectés dans le modèle hydraulique avec indication des « surplus de débit » liés aux affluents ( $m^3/s$ ).

Les caractéristiques d'écoulement (hauteurs et vitesses atteintes) seront extraites du modèle pour les temps suivants :

- ▶ T = 2 ans : 2 h
- ▶ T = 5 ans : 4 h
- ▶ T = 10 ans : 6 h
- ▶ T = 20 ans : 8 h
- ▶ T = 30 ans : 10 h
- ▶ T = 50 ans : 12 h
- ▶ T = 100 ans : 16 h.

### 3.1.3. Conditions aux limites imposées

#### 3.1.3.1. Conditions aux limites amont

Les conditions limites amont correspondent aux hydrogrammes de crues injectés pour les sept périodes de retour d'analyse au sein du modèle mathématique 2D de façon graduelle.

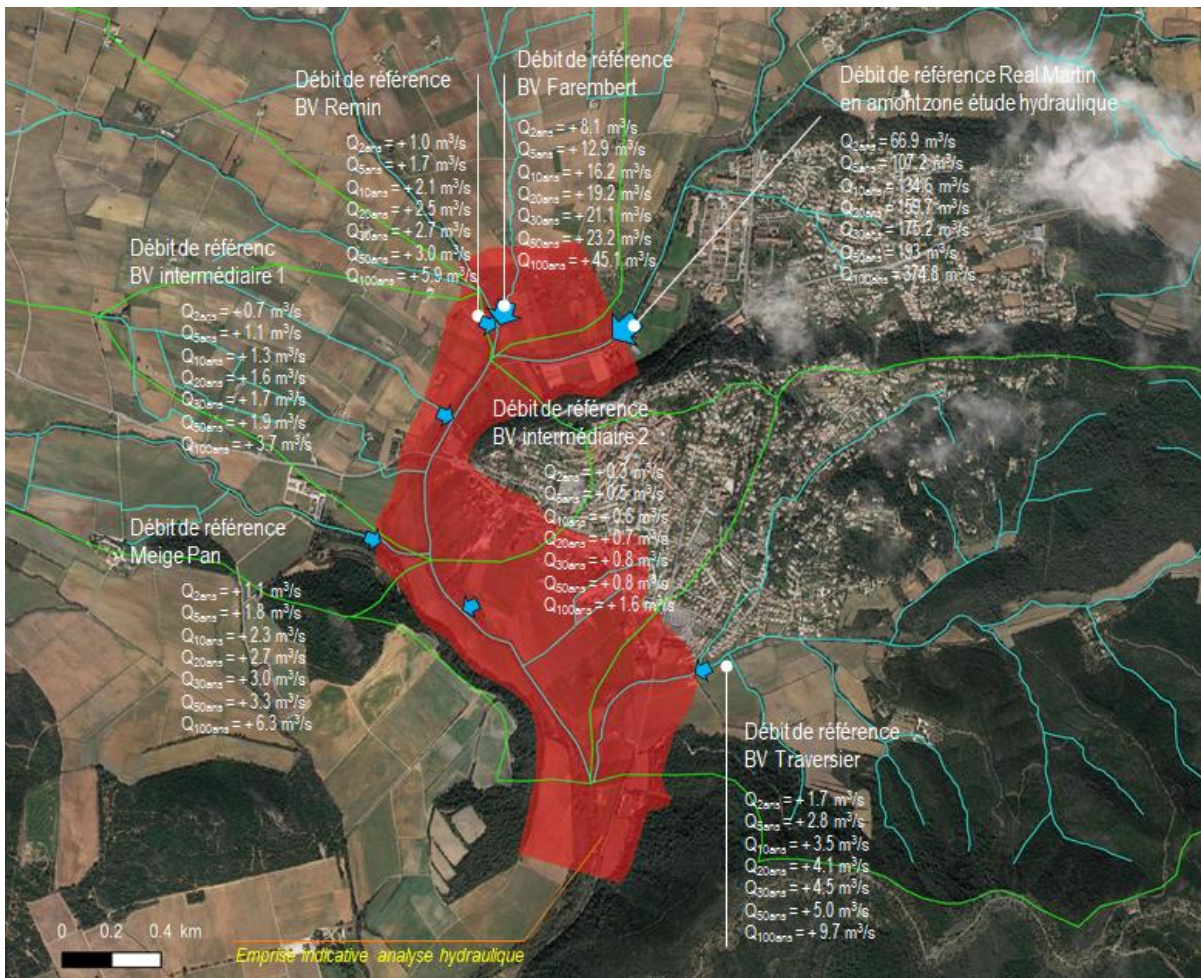


Figure 28 : Débit de pointe de crue du Real Martin injectés dans le modèle hydraulique avec indication des « surplus de débit » liés aux affluents ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).



temps	Amont Modele	BV le Farembert	BV ruisseau de Remin	BV intermediaire	BV Meige Pan	BV intermediaire2	BV Ruisseau de Traversier
0 h	5	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
1 h	66.9	8.1	1.0	0.7	1.1	0.3	1.7
2 h	66.9	8.1	1.0	0.7	1.1	0.3	1.7
3 h	107.2	12.9	1.7	1.1	1.8	0.5	2.8
4 h	107.2	12.9	1.7	1.1	1.8	0.5	2.8
5 h	134.6	16.2	2.1	1.3	2.3	0.6	3.5
6 h	134.6	16.2	2.1	1.3	2.3	0.6	3.5
7 h	159.7	19.2	2.5	1.6	2.7	0.7	4.1
8 h	159.7	19.2	2.5	1.6	2.7	0.7	4.1
9 h	175.2	21.1	2.7	1.7	3.0	0.8	4.5
10 h	175.2	21.1	2.7	1.7	3.0	0.8	4.5
11 h	193.0	23.2	3.0	1.9	3.3	0.8	5.0
12 h	193.0	23.2	3.0	1.9	3.3	0.8	5.0
15 h	374.8	45.1	5.9	3.7	6.3	1.6	9.7
16 h	374.8	45.1	5.9	3.7	6.3	1.6	9.7

Tableau 5 : Hydrogrammes de crue rentrée en amont du modèle hydraulique (m<sup>3</sup>/s).

### 3.1.3.2. Conditions limites aval

En aval du modèle, un régime uniforme d'écoulement du Real martin en crue a été retenu.

## 3.2. Calage du modèle hydraulique

### 3.2.1. Paramètres de calage retenus

Les paramètres de calage sont conditionnés dans le tableau suivant.

Tableau 6 : Paramètre de calage des modèles hydraulique

Type de sol	Coefficient de Manning (s/m <sup>1/3</sup> )	Coefficient de Strickler (K)
Lit mineur	0.05	20
Foret	0.13	7.6
Prairies	0.10	10
Agricole	0.05	20
Espaces urbains	0.02	50

Une cartographie reprenant les coefficients de Manning selon l'occupation du sol est présente par la suite.

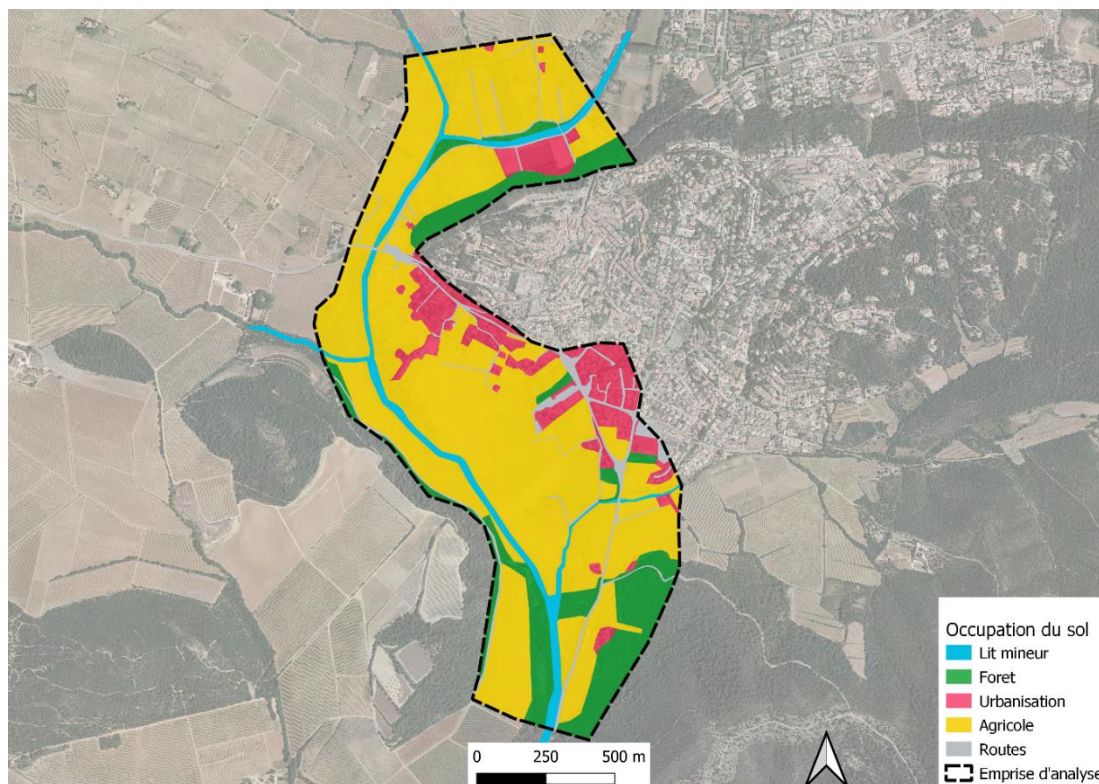


Figure 29 : Occupation du sol sur le secteur de Pierrefeu-du-Var

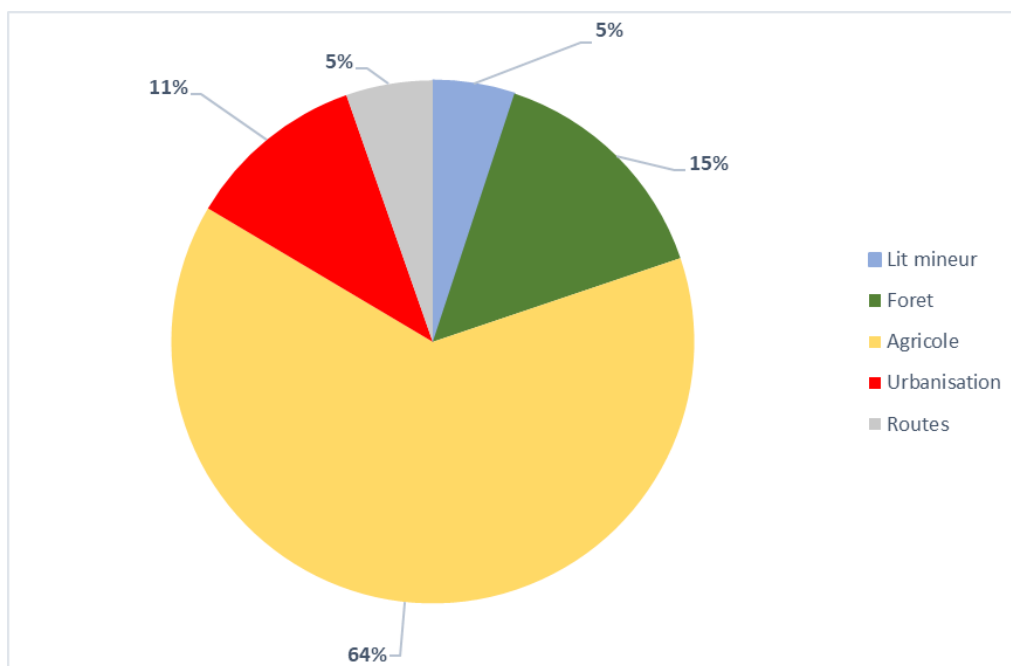


Figure 30 : Répartition de l'occupation du sol sur l'emprise d'analyse

Au sein de l'emprise d'analyse, la surface la plus importante est l'agriculture avec une répartition de 64% par rapport à la surface totale. Ensuite, la surface forestière représente 15% de la surface de l'emprise d'analyse. La zone urbaine de Pierrefeu représente 11%, et les routes correspondent à 5% de la surface totale.

### 3.2.2. Calage du modèle

Afin de caler le modèle hydraulique, nous nous sommes basés sur les PHE existantes de la crue de janvier 2014 sur le territoire de la commune de Pierrefeu-du-Var.

La figure suivante permet la comparaison entre les PHE mesurées sur le terrain lors de l'épisode de crue, les résultats obtenus par EGIS lors de l'étude hydraulique sur le bassin versant, et les PHE calculées par le modèle hydraulique développé sur logiciel Hec-Ras.

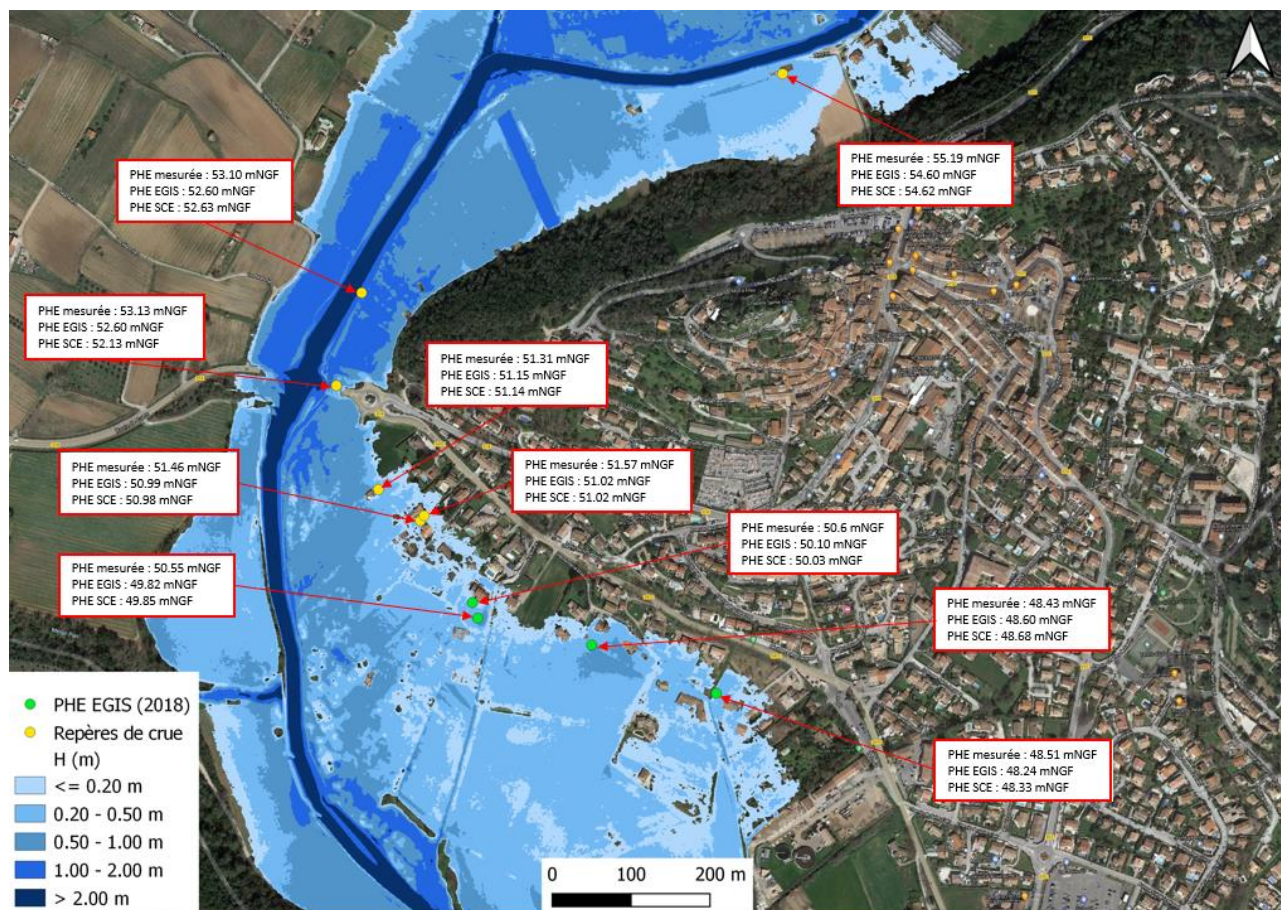


Figure 31 : Comparaison des PHE (Plus Hautes Eaux) sur le territoire de Pierrefeu-du-Var

Les différences sont plutôt minimales entre les résultats de EGIS et les résultats calculés par le nouveau modèle. Néanmoins, les PHE mesurées apparaissent 20 à 60 cm au-dessus des valeurs calculées par les modèles. Ces écarts constatés peuvent être dus à un manque de fiabilité des mesures relevées à la station hydrométrique à la Crau ou Decapris lors de l'événement.

Au regard des incertitudes liées à la précision des témoignages et des mesures, les résultats de modélisation semblent témoigner d'un calage satisfaisant du modèle pour retranscrire l'événement.

### **3.3. Exploitation du modèle hydraulique**

Le modèle hydraulique développé a été exploité pour caractériser les dynamiques et établir les grandeurs maximales atteintes (hauteurs, vitesses) lors des crues du Real Martin et ses principaux affluents sur l'emprise d'analyse pour 7 périodes de retour :

#### **3.3.1. Caractérisation des hauteurs et vitesses maximales atteintes en crue**

Les caractéristiques d'écoulement (hauteurs et vitesses atteintes) ont été extraites du modèle pour les temps suivants :

- ▶ T = 2 ans : 2 h
- ▶ T = 5 ans : 4 h
- ▶ T = 10 ans : 6 h
- ▶ T = 20 ans : 8 h
- ▶ T = 30 ans : 10 h
- ▶ T = 50 ans : 12 h
- ▶ T = 100 ans : 16 h.

Les cartographies suivantes reprennent l'ensemble des résultats à travers les périodes de retour citées ci-dessus.

Un détail des cartographies est présent en Annexe selon les différentes occurrences. Ces cartographies sont centrées sur les zones à enjeux du territoire.



Figure 32 : Hauteurs de submersion pour une période de retour 2 ans



Figure 33 : Vitesses d'écoulements pour une période de retour 2 ans



Figure 34 : Hauteurs de submersion pour une période de retour 5 ans

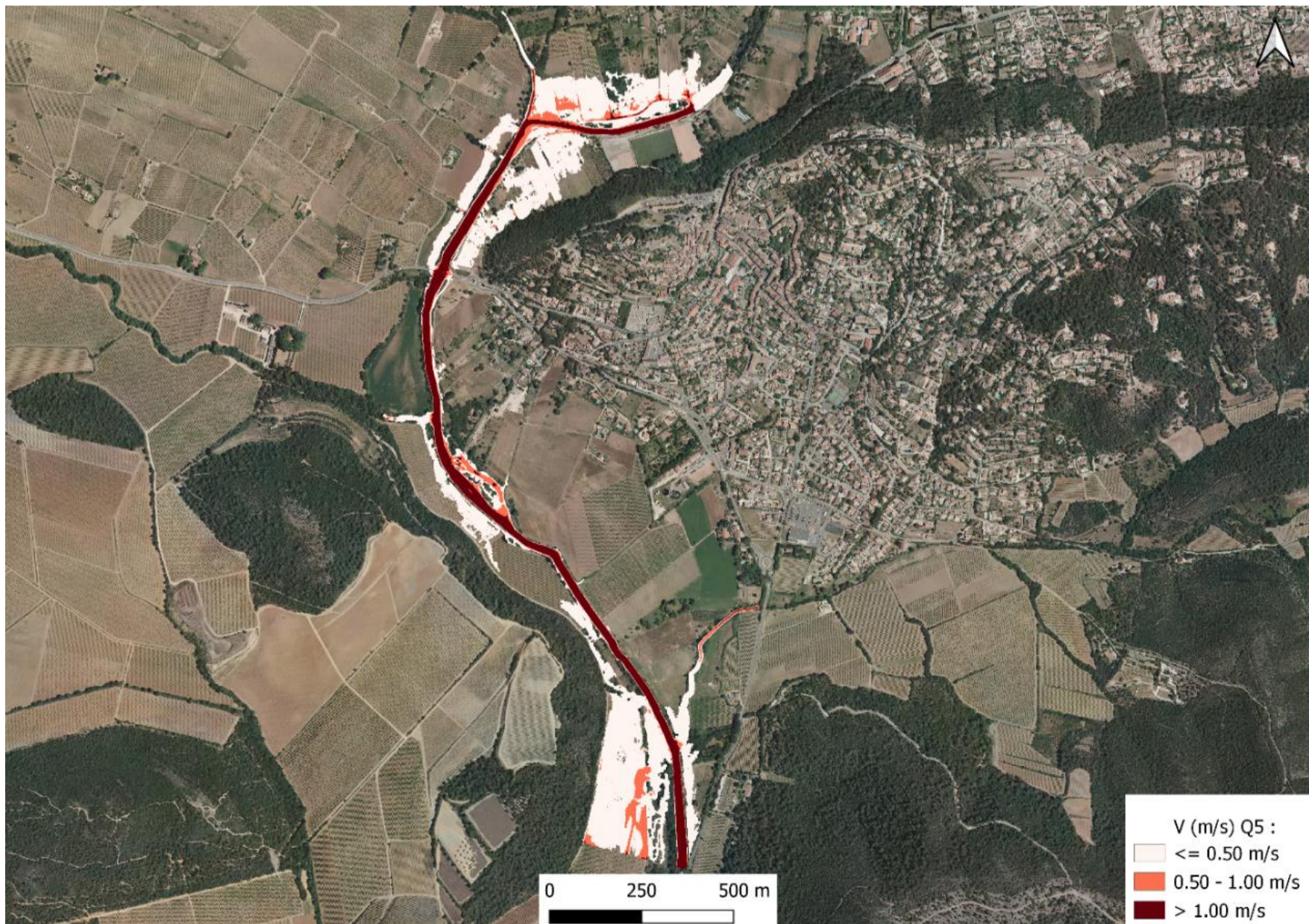


Figure 35 : Vitesses d'écoulements pour une période de retour 5 ans



Figure 36 : Hauteurs de submersion pour une période de retour 10 ans



Figure 37 : Vitesses d'écoulements pour une période de retour 10 ans



Figure 38 : Hauteurs de submersion pour une période de retour 20 ans

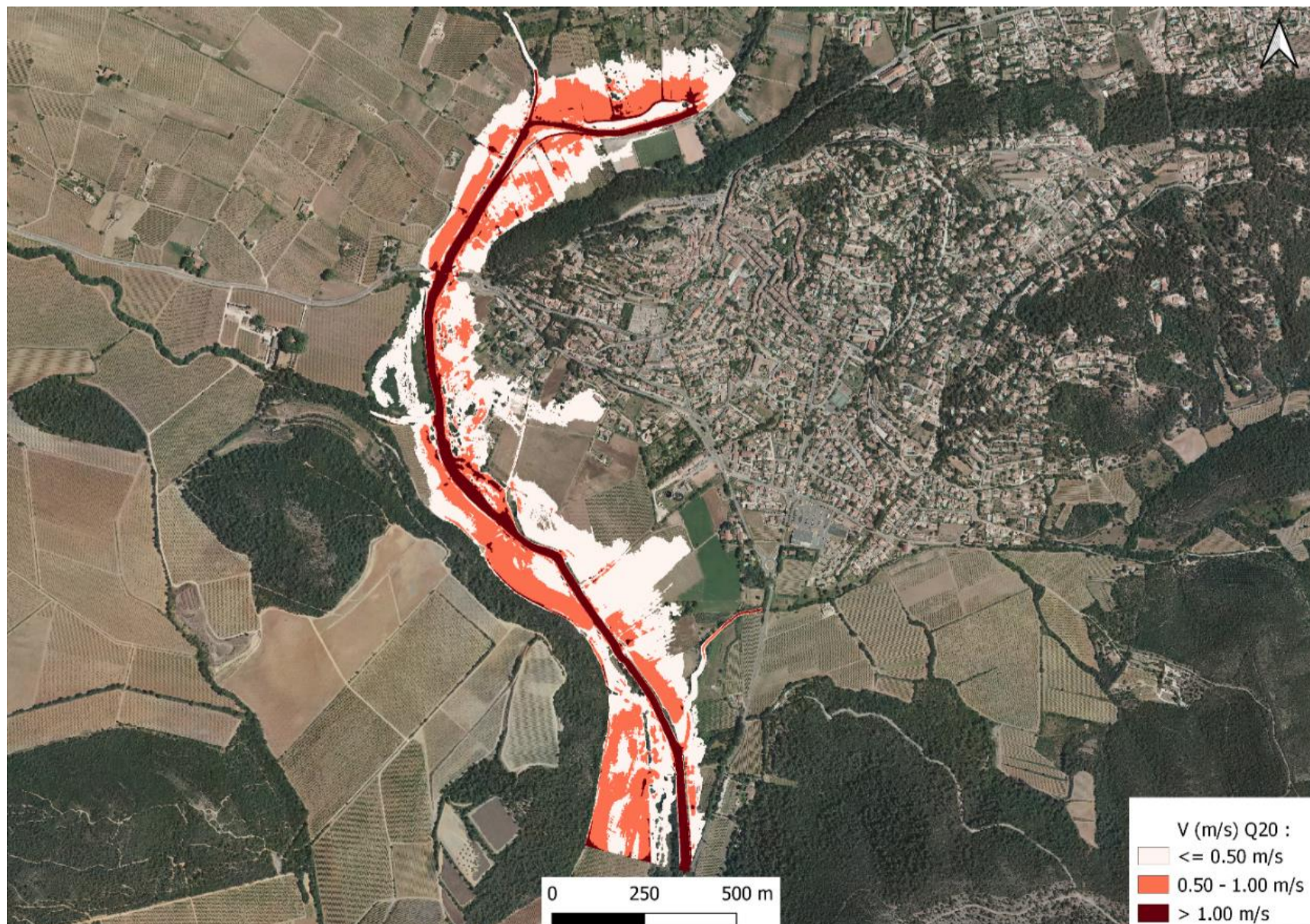


Figure 39 : Vitesses d'écoulements pour une période de retour 20 ans





Figure 40 : Hauteurs de submersion pour une période de retour 30 ans



Figure 41 : Vitesses d'écoulements pour une période de retour 30 ans

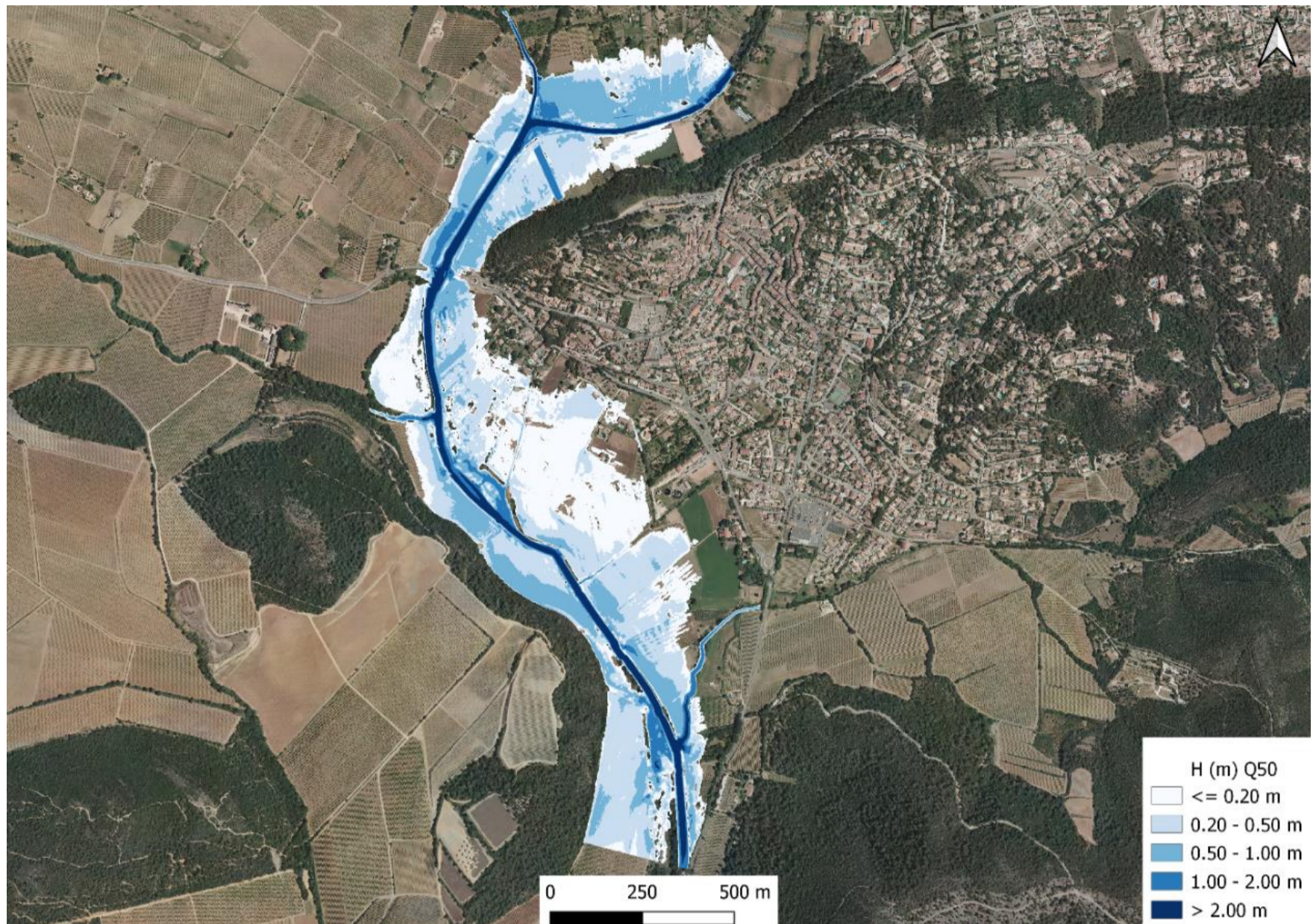


Figure 42 : Hauteurs de submersion pour une période de retour 50 ans

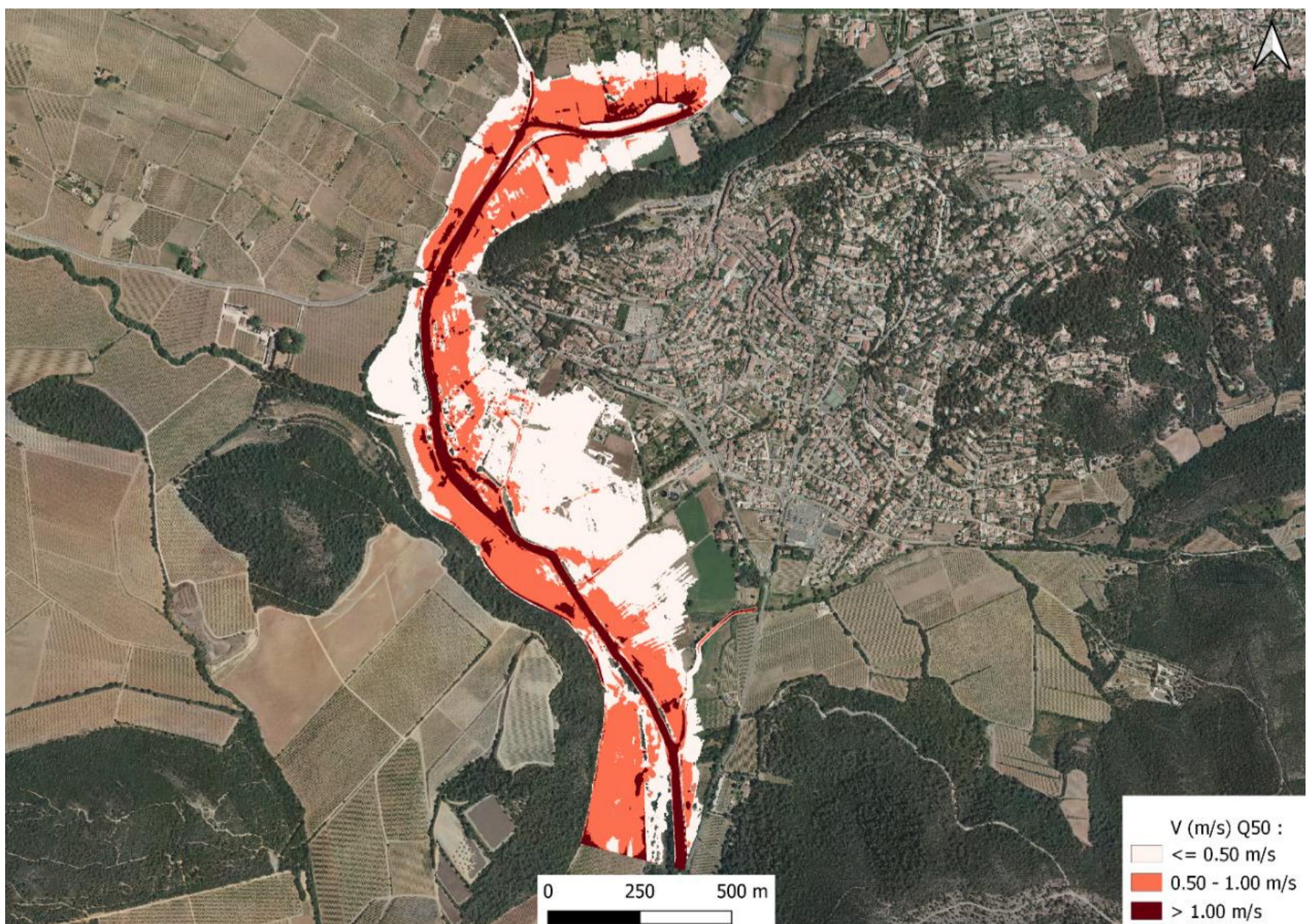


Figure 43 : Vitesses d'écoulements pour une période de retour 50 ans

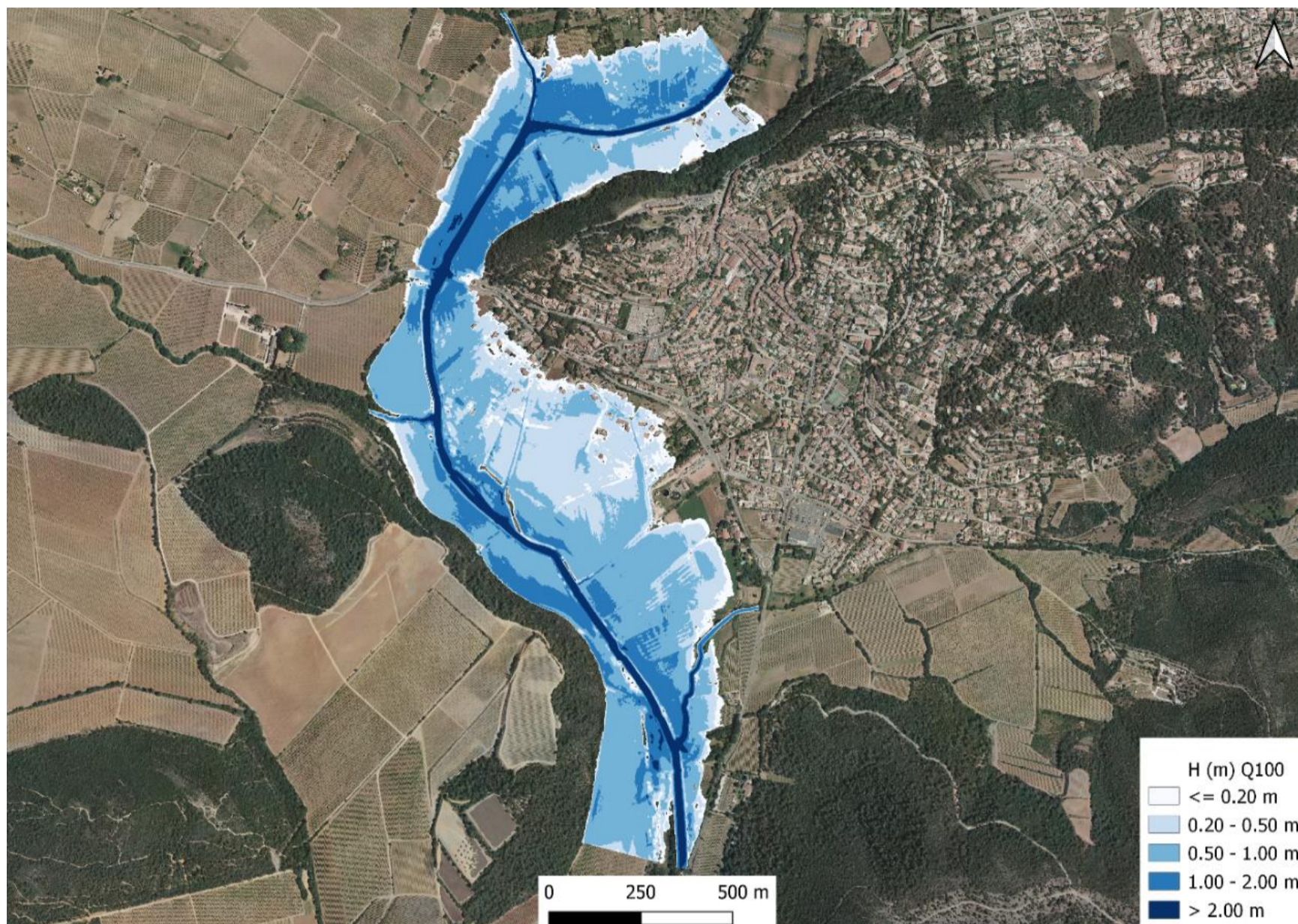


Figure 44 : Hauteurs de submersion pour une période de retour 100 ans

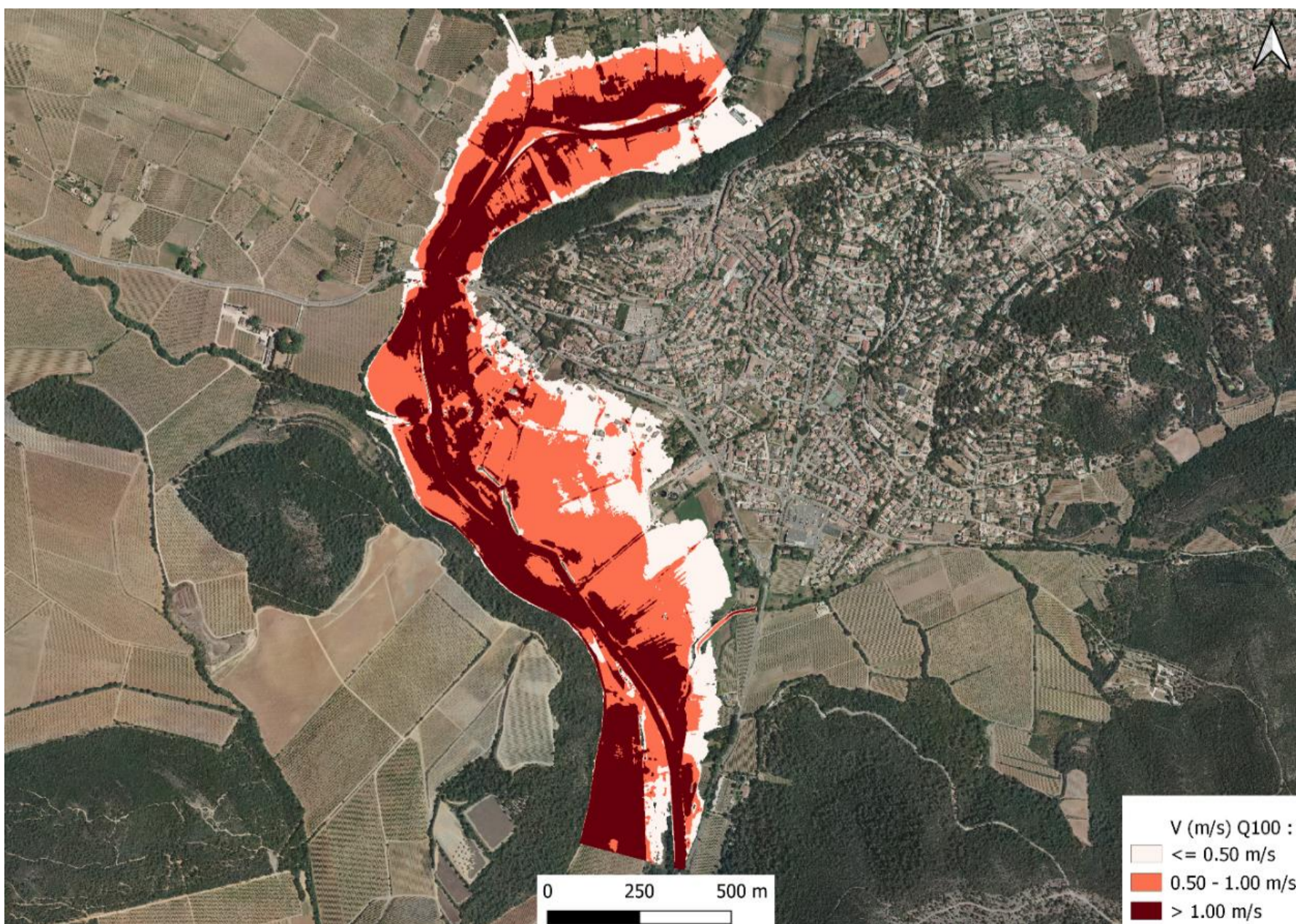


Figure 45 : Vitesses d'écoulements pour une période de retour 100 ans

D'après l'étude hydraulique de EGIS réalisée en 2019, le secteur de la Gravière comporte 4 habitations impactées dès une crue d'occurrence 30 ans, 23 pour la crue de référence d'occurrence 100 ans. Ces observations se sont révélées cohérentes avec nos résultats.

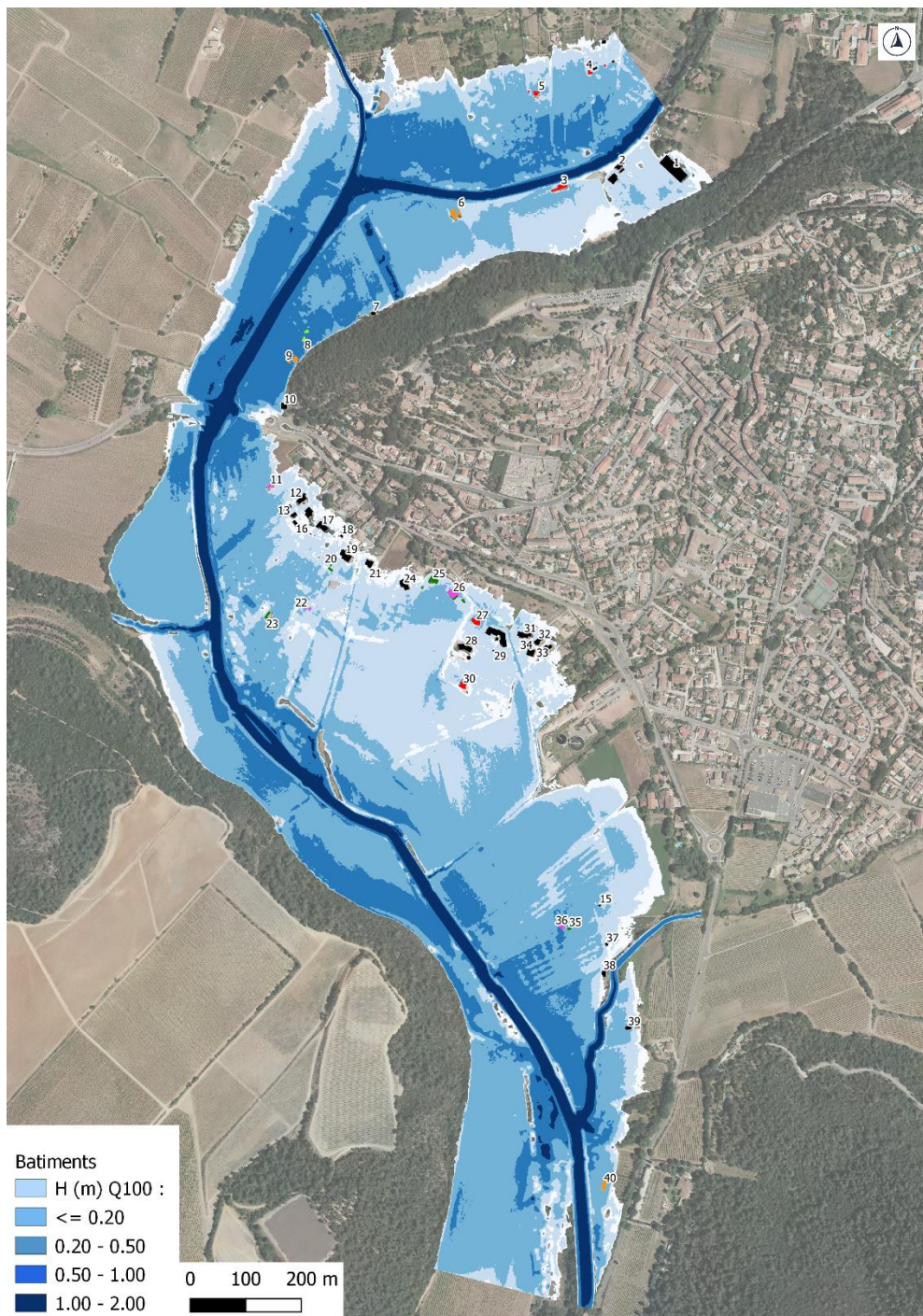


Figure 46 : Enjeux impactés en fonction des différentes occurrences de crues (occurrence de la carte : Q100)

**SYNDICAT MIXTE BASSIN VERSANT DU GAPEAU - SMBVG**  
**ETUDES LOCALES D'AMELIORATION DE LA FONCTIONNALITE DES COURS D'EAU ET DE REDUCTION DU**  
**RISQUE INONDATION SUR LE BASSIN VERSANT DU GAPEAU – LOT 2 – « PIERREFEU DU VAR »**

*Tableau 7 : Hauteur d'eau au droit des bâtiments impactés sur l'ensemble des occurrences modélisées*

ID bati	Q2 (m)	Q5 (m)	Q10 (m)	Q20 (m)	Q30 (m)	Q50 (m)	Q100 (m)
1							0.6
2							0.54
3						0.1	0.56
4						0.07	0.5
5						0.05	0.58
6			0.28	0.39	0.43	0.52	0.85
7							0.78
8		0.24	0.3	0.4	0.46	0.58	1.33
9			0.16	0.32	0.4	0.5	1.3
10							0.61
11				0.15	0.26	0.29	0.8
12							0.35
13							0.33
14							0.35
15							0.62
16							0.21
17							0.4
18							0.1
19							0.3
20					0.1	0.23	0.52
21							0.31
22				0.23	0.3	0.36	0.64
23					0.11	0.2	0.56
24							0.45
25					0.13	0.3	0.42
26				0.18	0.4	0.52	0.67
27						0.11	0.57
28							0.35
29							0.41
30						0.02	0.37
31							0.47
32							0.32
33							0.22
34							0.32
35					0.12	0.27	0.88
36				0.21	0.31	0.35	1.21
37							0.3
38							0.33
39							0.65
40			0.26	0.36	0.4	0.44	0.89
41							0.33

### 3.3.2. Impact du pont de la départementale

Les résultats permettent d'estimer qu'à partir d'une occurrence trentennale, le pont de la départementale commence à avoir un très léger impact sur les écoulements (augmentation légère des hauteurs et ralentissement des vitesses au droit de l'ouvrage).

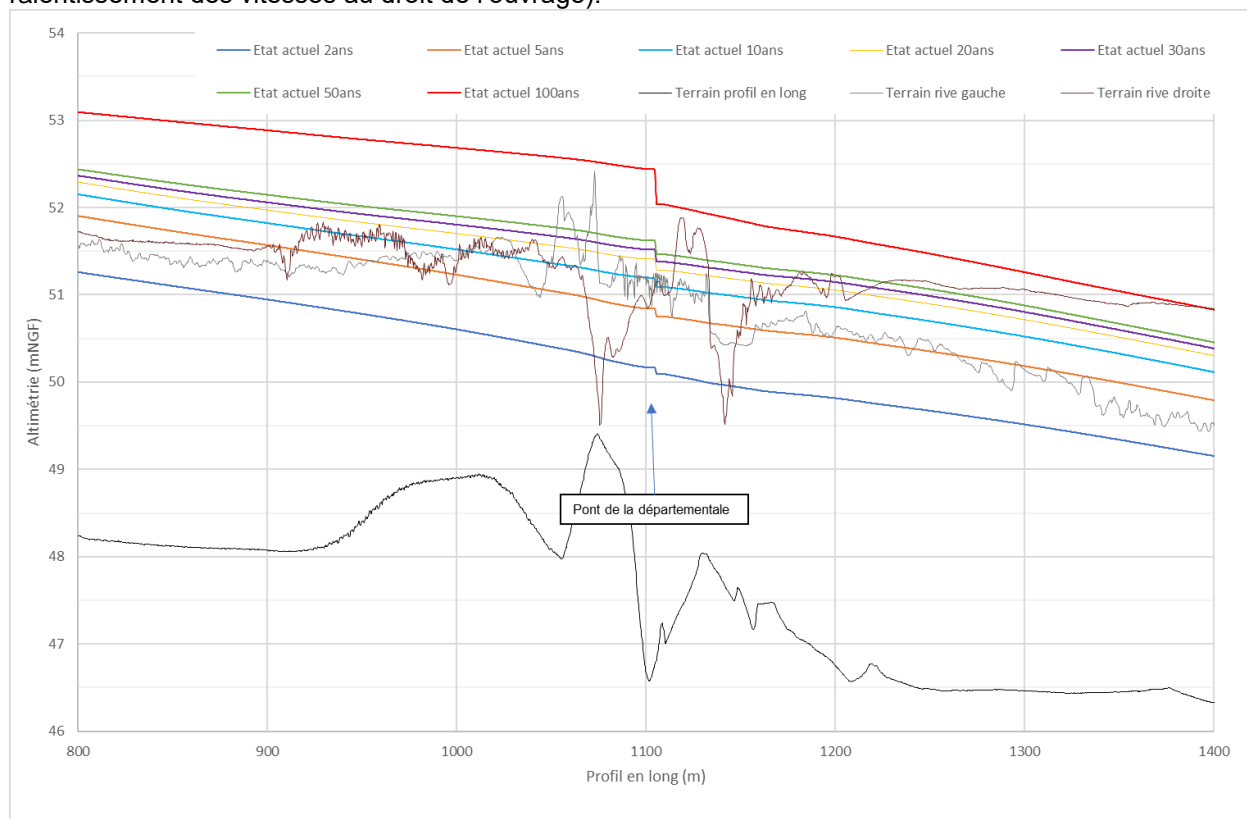


Figure 47 : Profil en long du Réal Martin – Etat actuel

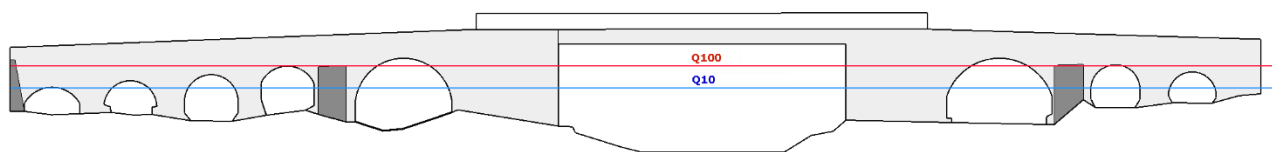


Figure 48 : Niveau d'eau pour Q10 et Q100 en l'état actuel en amont du pont de la départementale

Pour une crue centennale, l'ouvrage crée une perte de charge d'environ 30 à 40 cm qui n'impacte pas d'enjeux particuliers en amont.

La modélisation semble laisser à penser que l'impact du pont sur les écoulements reste donc marginal. Ce constat se confirme en réalisant une modélisation sans la présence du pont.

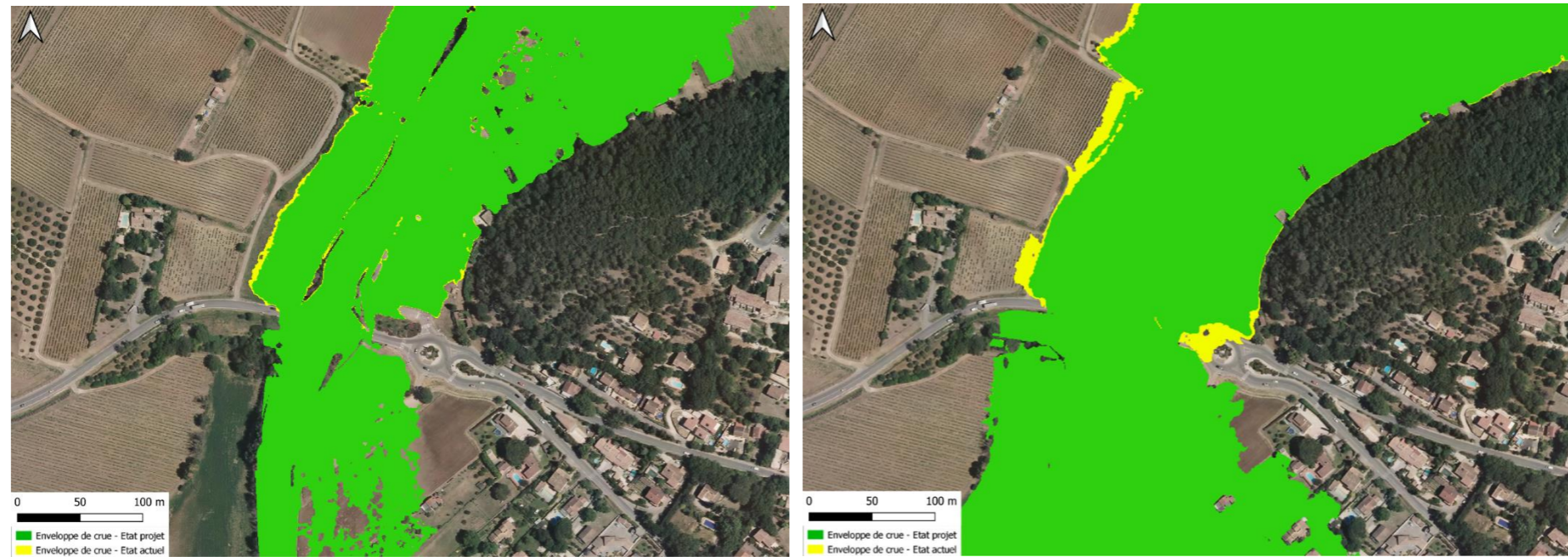


Figure 49 : Différence de l'enveloppe de crue de crue d'occurrence 10 ans (gauche) et 100 ans (droite) avec et sans le pont de la départementale

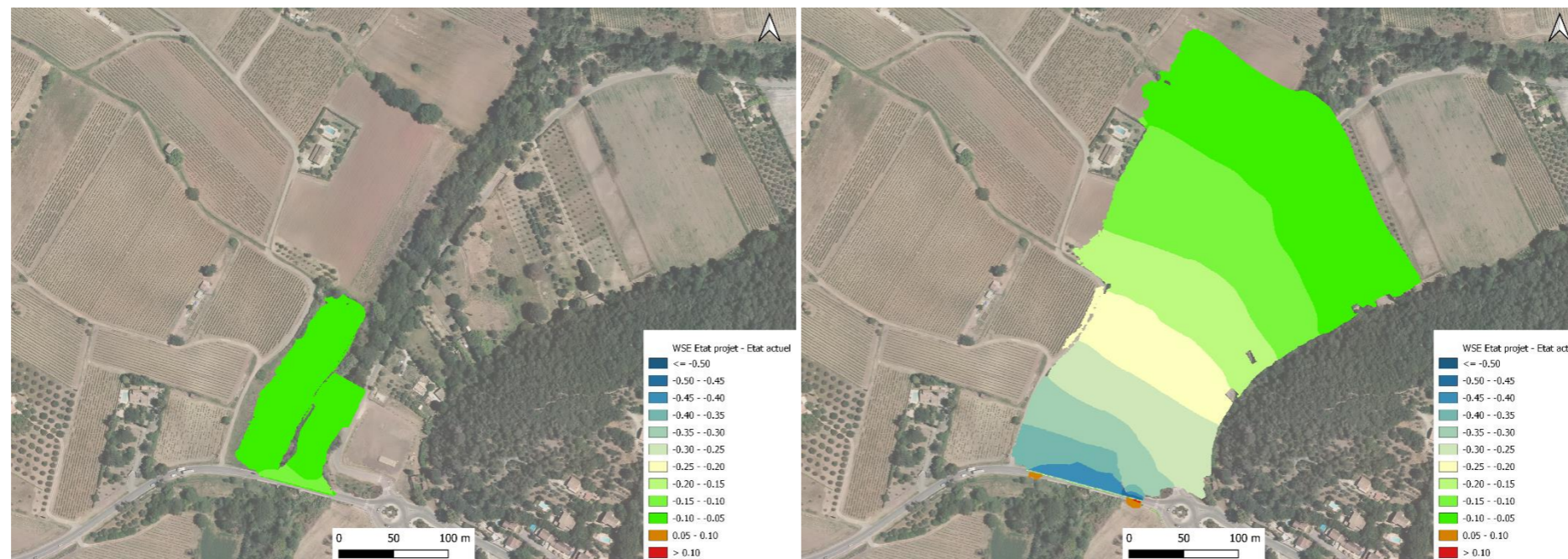


Figure 50 : Evolution des niveaux d'eau pour Q10 (gauche) et Q100 (droite) du Réal Martin du fait de la suppression du pont de la départementale

Pour une crue centennale, la suppression du pont se fait ressentie sur environ 400 mètres avec un abaissement maximum d'environ 30 cm au droit du pont.

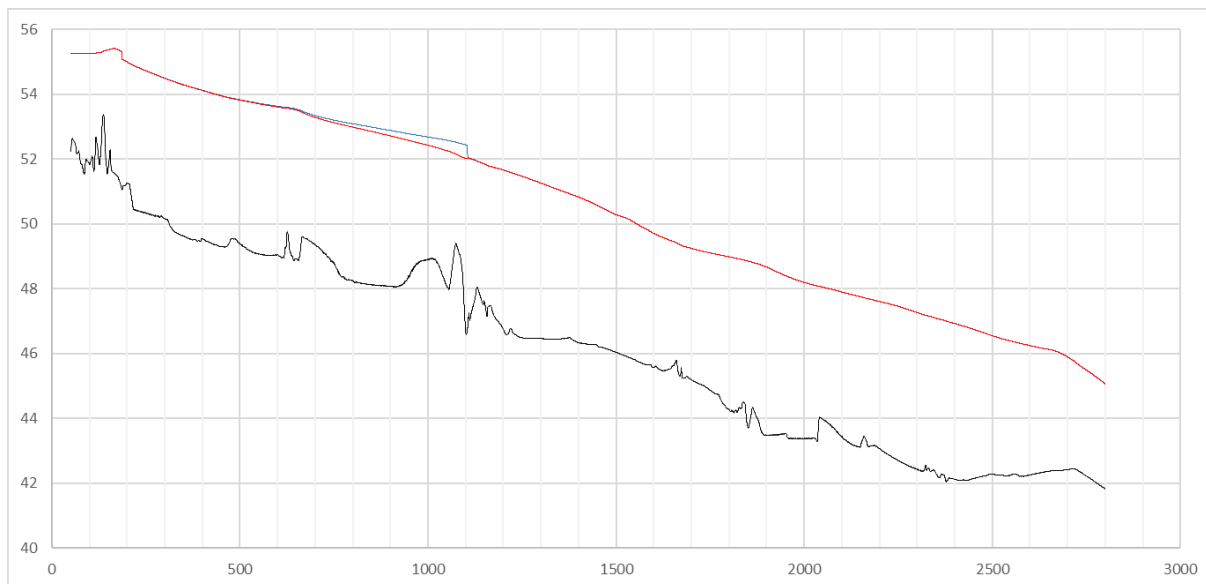


Figure 51 : Evolution du profil en long du Réal Martin pour Q100 du fait de la suppression du pont de la départementale

**Il peut donc être estimé que le pont de la départementale a un impact minime sur les écoulements en crue du Réal Martin. Néanmoins, dans la réalité, l'évaluation fine de l'impact réel du pont sur les écoulements reste complexe du fait de ses caractéristiques géométriques hétérogènes (présence de multiples buses), de sa sensibilité à l'obstruction par des embâcles et des difficultés associées à la prise en compte du développement de la végétation en aval jouant le rôle de frein.**

### 3.3.3. Analyse des digues

Les résultats de la modélisation hydraulique permettent de confirmer que les principaux remblais présents dans le secteur de la Gravière sont rapidement contournés (Q5) n'apportant pas de réelle protection aux peu d'enjeux présents à proximité.

Cette situation s'explique principalement par la présence de nombreuses irrégularités sur ces ouvrages créés à priori à la suite d'opérations successives de curages sans qu'un quelconque entretien n'ait été réalisé depuis.

Il est à noter la présence, en rive droite, entre le pont de la départementale et la confluence avec le Meige Pan, la présence de merlons et de murs faisant office de digue, non pris en compte dans l'étude d'Egis, déconnectant le lit mineur avec son lit majeur jusqu'à une crue décennale (profil 2).



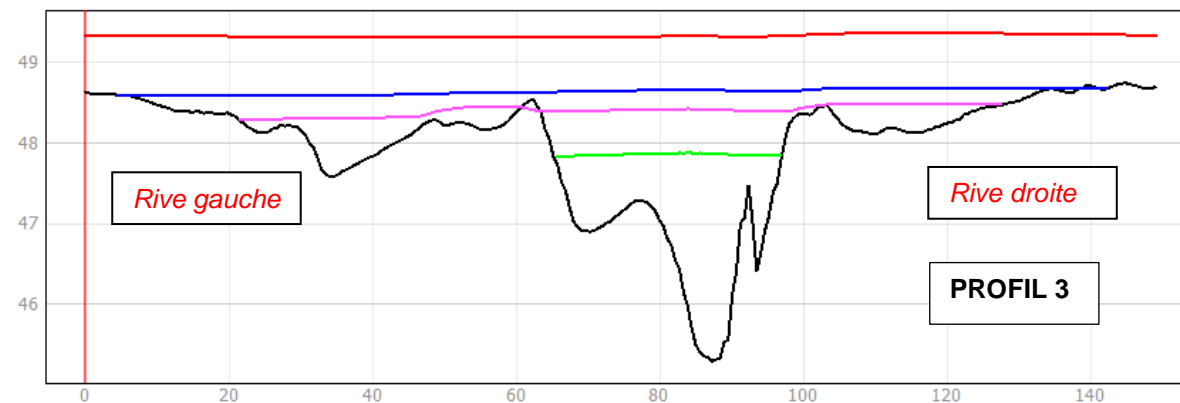
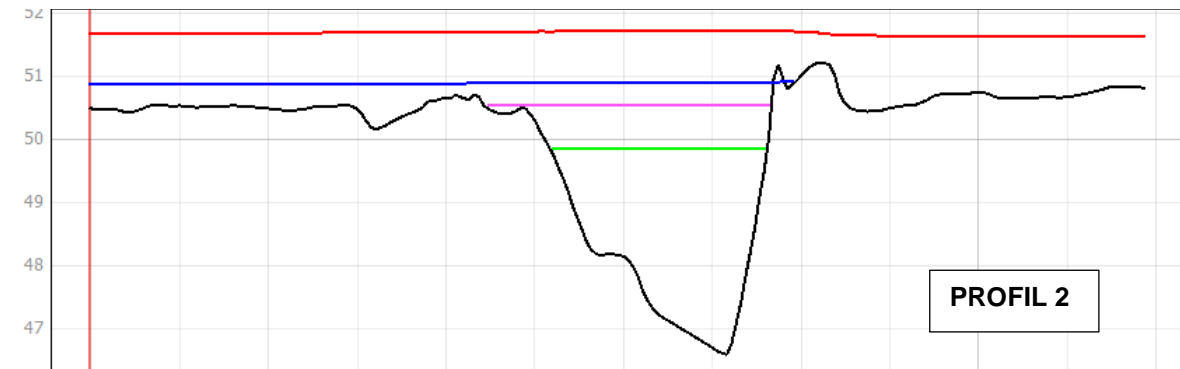
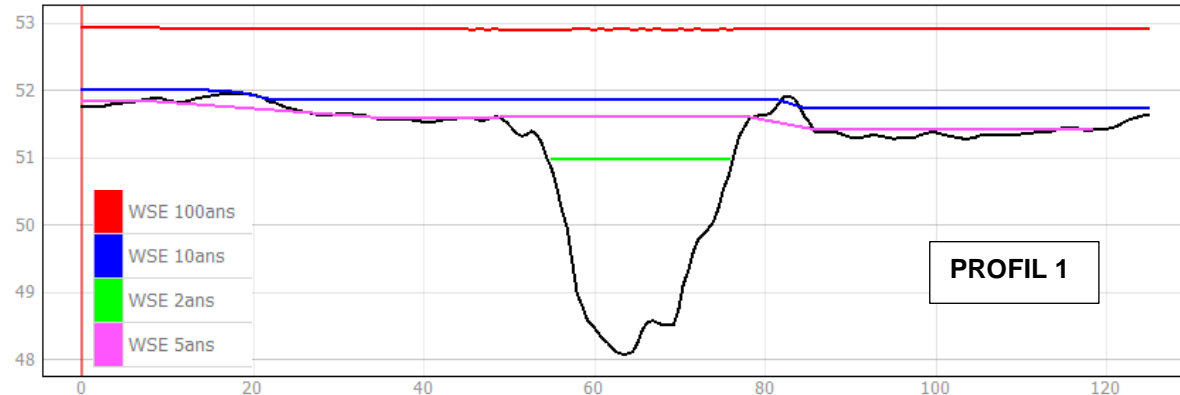
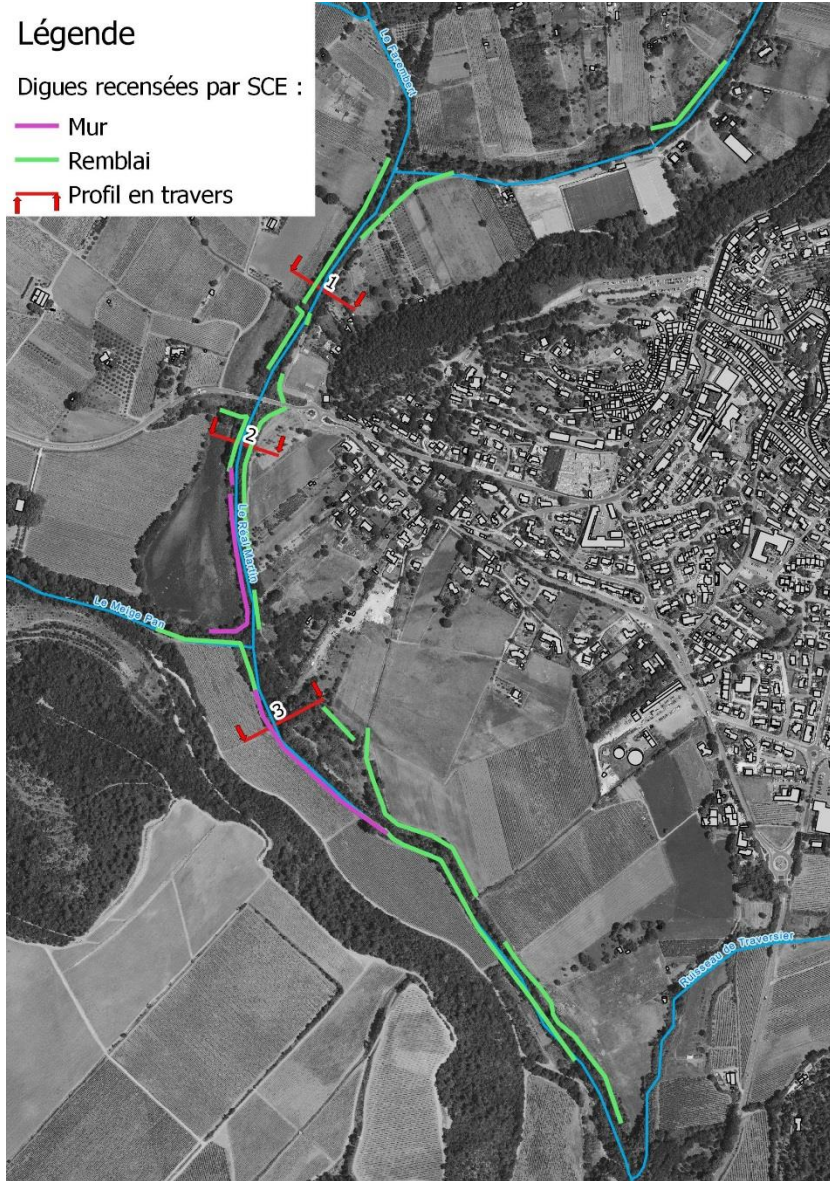
# SYNDICAT MIXTE BASSIN VERSANT DU GAPEAU - SMBVG

## ETUDES LOCALES D'AMELIORATION DE LA FONCTIONNALITE DES COURS D'EAU ET DE REDUCTION DU RISQUE INONDATION SUR LE BASSIN VERSANT DU GAPEAU – LOT 2 – « PIERREFEU DU VAR »

### Légende

Digues recensées par SCE :

- Mur
- Remblai
- Profil en travers



### 3.3.4. Analyse des ZEC

Sur le territoire de Pierrefeu-du-Var, on recense au total quatre ZEC (Zones d'Expansions de Crues) situées en aval du pont de la départementale, rive gauche du Réal Martin, et, également deux ZEC en amont de cet ouvrage, située en rive droite.



Figure 52 : Localisation des ZEC sur la commune de Pierrefeu-du-Var

Une analyse de ces zones d'expansion de crues a pu être effectuée afin de déterminer les caractéristiques de celles-ci, à savoir, si la ZEC est classée comme étant mobilisable ou non à partir d'une crue décennale ou centennale.

Après analyse des résultats de la modélisation, on estime que les ZEC sont mobilisables à partir d'une crue décennale. Pour des occurrences supérieures, les ZEC sont majoritairement exploitées également.

L'analyse hydraulique menée par EGIS a ainsi permis d'évaluer :

- ▶ les débits de plein bord correspondant aux débits limites avant débordement. Ils permettent ainsi de déterminer les débits d'entrée en fonctionnement des ZEC en l'état actuel.
- ▶ Le volume capable d'être amorti par la ZEC en crue en l'état actuel, sans aménagement, pour différentes occurrences de crues selon l'approche SCE et EGIS.

ZEC	Débit de plein bord (m <sup>3</sup> /s)	T (ans)	Volume mobilisé pour Q10 (en m <sup>3</sup> )	Volume mobilisé pour Q100 (en m <sup>3</sup> )	Volume capable en l'état (SCE) (en m <sup>3</sup> )	Volume de crue décennal (en m <sup>3</sup> )	Efficacité en l'état pour Q10 (en %)	Volume de crue centennal (en m <sup>3</sup> )	Efficacité en l'état pour Q100 (en %)
172	129	20 ans	8 296	8 249	18 025	2 399 215	0.35 %	25 348 835	0.03 %
502	140	>20 ans	837	1 315	5 660	2 498 522	0.03 %	22 921 189	0.01 %
217	132	10 ans	3 803	3 726	4 862	2 496 054	0.15 %	33 373 364	0.01 %
21	196	10 ans	406	34 621	47 996	2 727 820	0.01 %	35 284 683	0.10 %

**SYNDICAT MIXTE BASSIN VERSANT DU GAPEAU - SMBVG**

**ETUDES LOCALES D'AMELIORATION DE LA FONCTIONNALITE DES COURS D'EAU ET DE REDUCTION DU RISQUE INONDATION SUR LE BASSIN VERSANT DU GAPEAU – LOT 2 – « PIERREFEU DU VAR »**

20	196	10 ans	206	3 861	57 863	2 560 465	0.01 %	28 119 723	0.03%
177	38.2	20 ans	788	1203	32 693	652 051	0.12 %	558 276	0.22 %

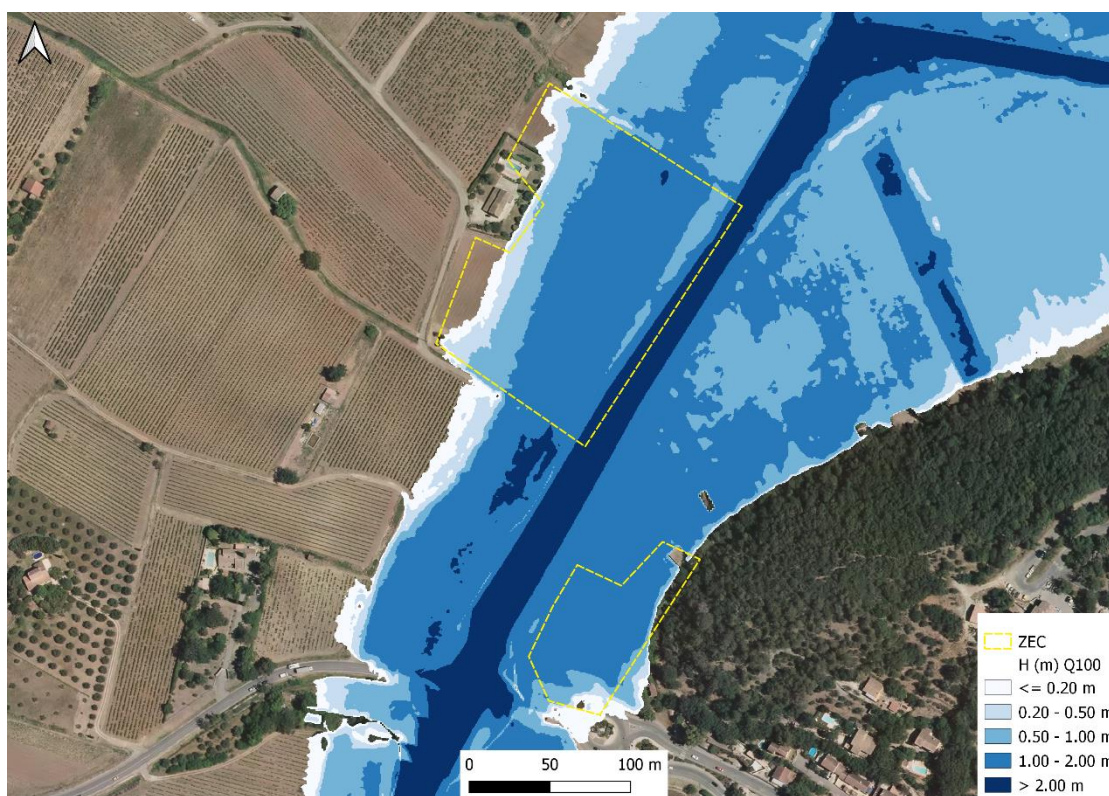
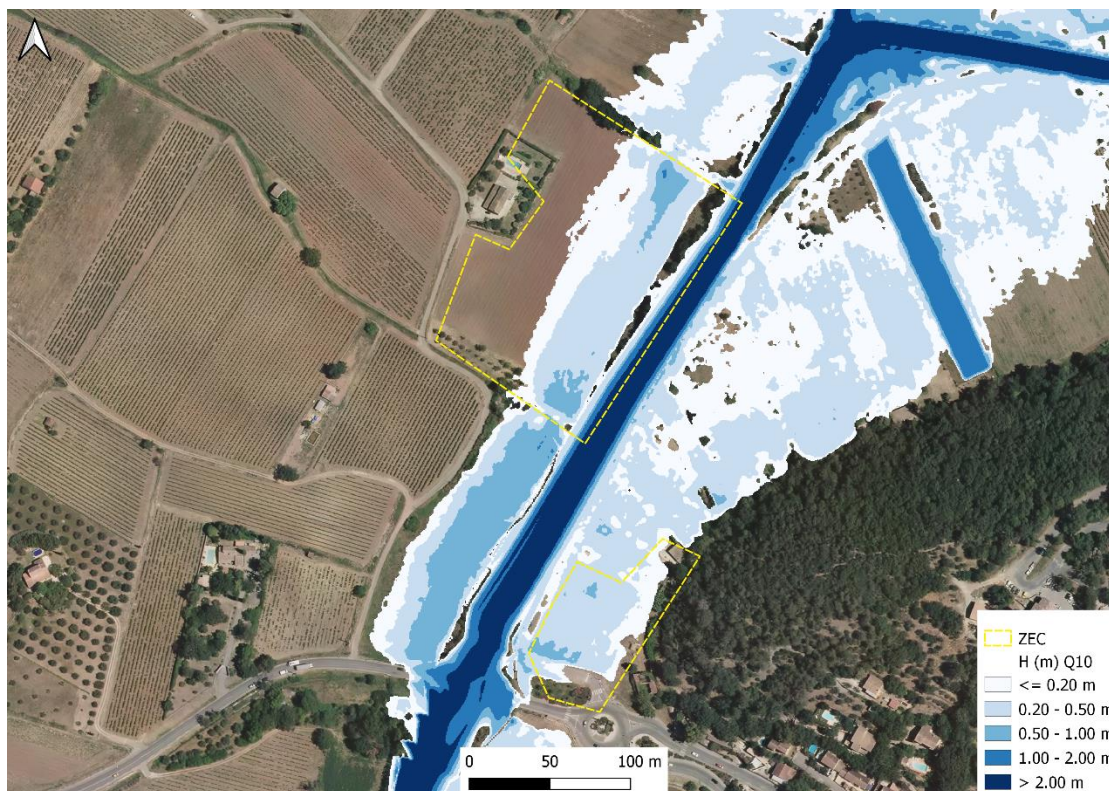


Figure 53 : Fonctionnement des deux ZEC en amont de l'ouvrage sous la départementale (Q10 et Q100)

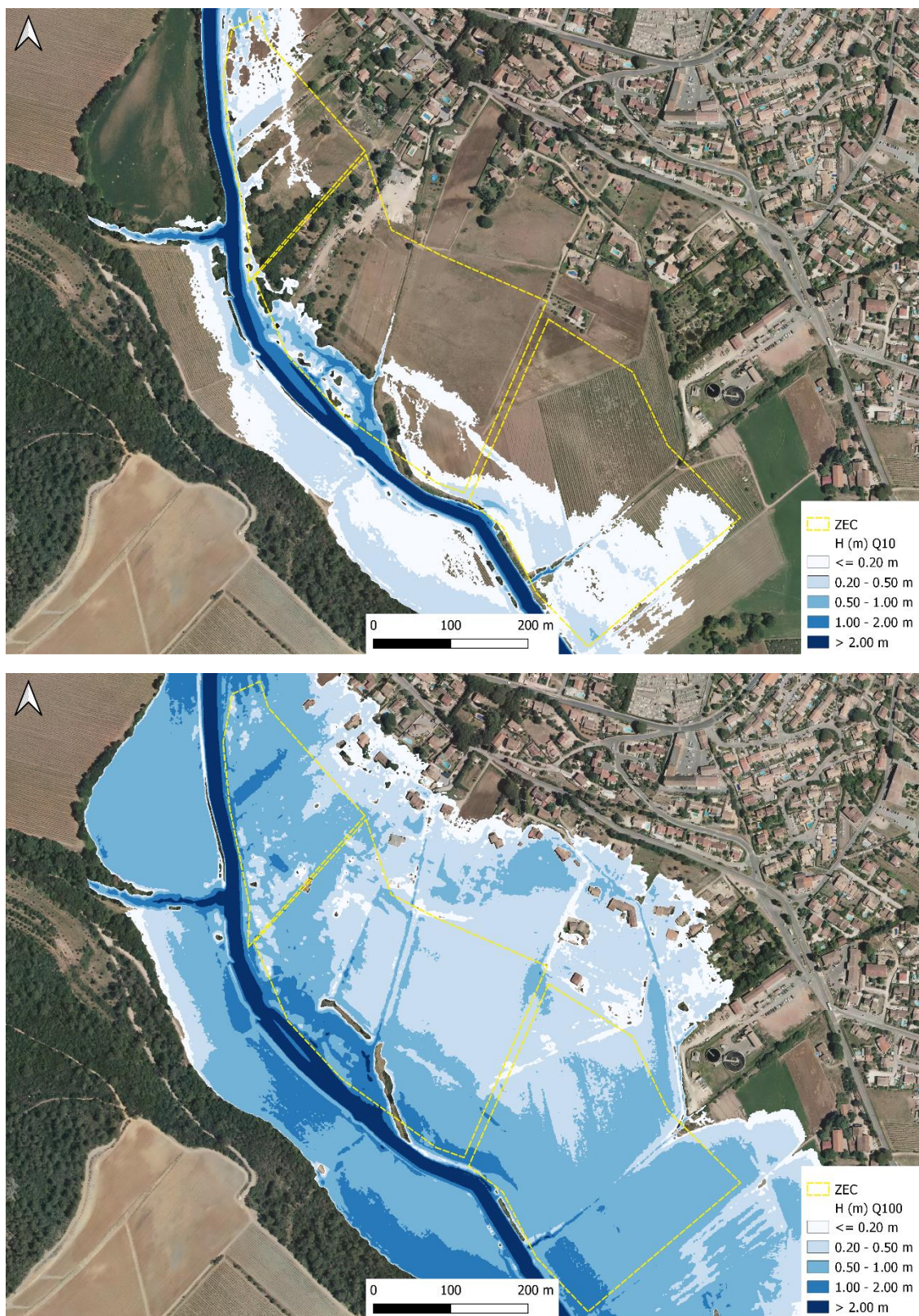


Figure 54 : Fonctionnement des trois ZEC en aval de l'ouvrage sous la départementale (Q10 et Q100)

**SYNDICAT MIXTE BASSIN VERSANT DU GAPEAU - SMBVG**  
**ETUDES LOCALES D'AMELIORATION DE LA FONCTIONNALITE DES COURS D'EAU ET DE REDUCTION DU**  
**RISQUE INONDATION SUR LE BASSIN VERSANT DU GAPEAU – LOT 2 – « PIERREFEU DU VAR »**

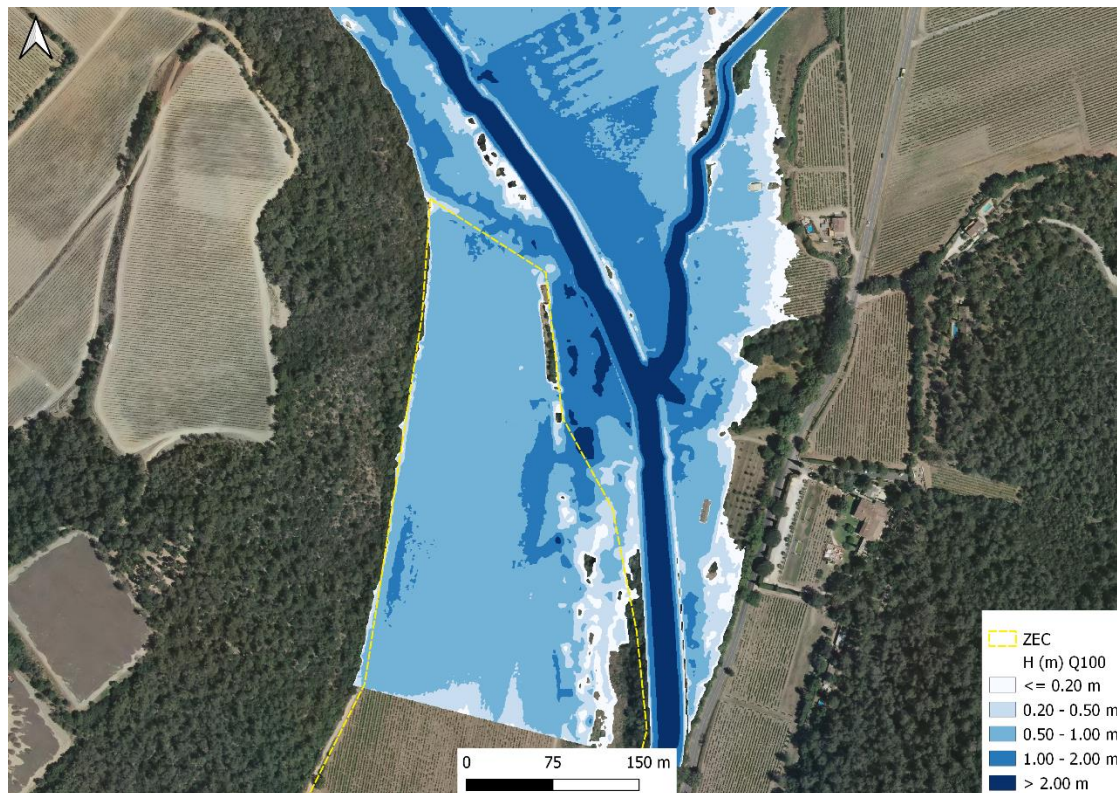


Figure 55 : Fonctionnement de la ZEC en aval du territoire communal (Q10 et Q100)

## 4. Conclusion et premières pistes de restauration

Les résultats obtenus lors de cette première étape sont riches en enseignement et permettent d'orienter les premières pistes d'amélioration de la fonctionnalité et de réduction du risque inondation du Réal Martin sur le secteur de Pierrefeu-du-Var.

Les points suivants sont intéressants à mettre en évidence pour assurer la cohérence du futur projet :

- ▶ La situation du Réal Martin dans la plaine inondable alluviale (Fz) et sa puissance spécifique importante dès les crues fréquentes (Q2), devraient aboutir à une morphologie du cours d'eau variable dans le temps et mobilisant une bande active d'une largeur de 70 m à 100 m. Or aujourd'hui, le cours d'eau se concentre dans un chenal principal dont la largeur plein bord moyenne est de 27,2 m [18,5 ; 39,9] du fait des travaux historiques de chenalisation et d'endiguement. Ce chenal principal, coupé partiellement de sa connexion avec le lit majeur s'est progressivement incisé jusqu'à retrouver un profil d'équilibre, découvrant parfois le substratum sous les couches alluvionnaires transférées en aval.
- ▶ Néanmoins, malgré les aménagements (présence de nombreuses digues), la plaine alluviale continue d'être sollicitée par les crues de manière ponctuelle pour la crue d'occurrence quinquennale, mais de manière plus généralisée pour la crue d'occurrence décennale. Ces ouvrages ne présentant à l'heure actuelle aucun intérêts de gestion particuliers, aucun scénario de confortement/déclaration en système d'endiguement ne sera étudié par la suite au vu des contraintes financières et réglementaires imposées au gestionnaire.
- ▶ Du point de vue morphologique, les mesures qui nous semblent pertinentes pour retrouver un équilibre sédimentaire et spatial plus intéressant pour la dissipation des crues et la qualité des habitats aquatiques sont les suivantes :
  - Redonner une largeur mobilisable plus intéressante au cours d'eau qui permet de progressivement ajuster une morphologie plus fonctionnelle et équilibrée lors du passage des crues ;
  - Retirer les contraintes latérales (protections de berge et digues) lorsque cela est possible afin de restaurer l'espace de mobilité du cours d'eau et des champs d'expansion de crue ;
  - Supprimer ou aménager les verrous de la mobilité du tracé et du profil en long que sont les ouvrages transversaux lorsque cela est possible ;

En effet, plusieurs secteurs érosifs sont en cours de développement sur le cours d'eau, et il serait intéressant de les laisser se développer et les favoriser dans d'autres secteurs où les enjeux le permettent.

Ces conclusions nous semblent cohérentes avec la définition des EBF réalisée dans le cadre de l'étude de 2018. La figure suivante compare par exemple deux profils, l'un se situant dans un secteur dynamique en cours de reconquête de sa bande active (Profil 1 - 75 m) et l'autre dans un secteur qui reste figé sous l'effet des travaux de chenalisation historique (profil 2 – 25 m).

**SYNDICAT MIXTE BASSIN VERSANT DU GAPEAU - SMBVG**  
**ETUDES LOCALES D'AMELIORATION DE LA FONCTIONNALITE DES COURS D'EAU ET DE REDUCTION DU**  
**RISQUE INONDATION SUR LE BASSIN VERSANT DU GAPEAU – LOT 2 – « PIERREFEU DU VAR »**

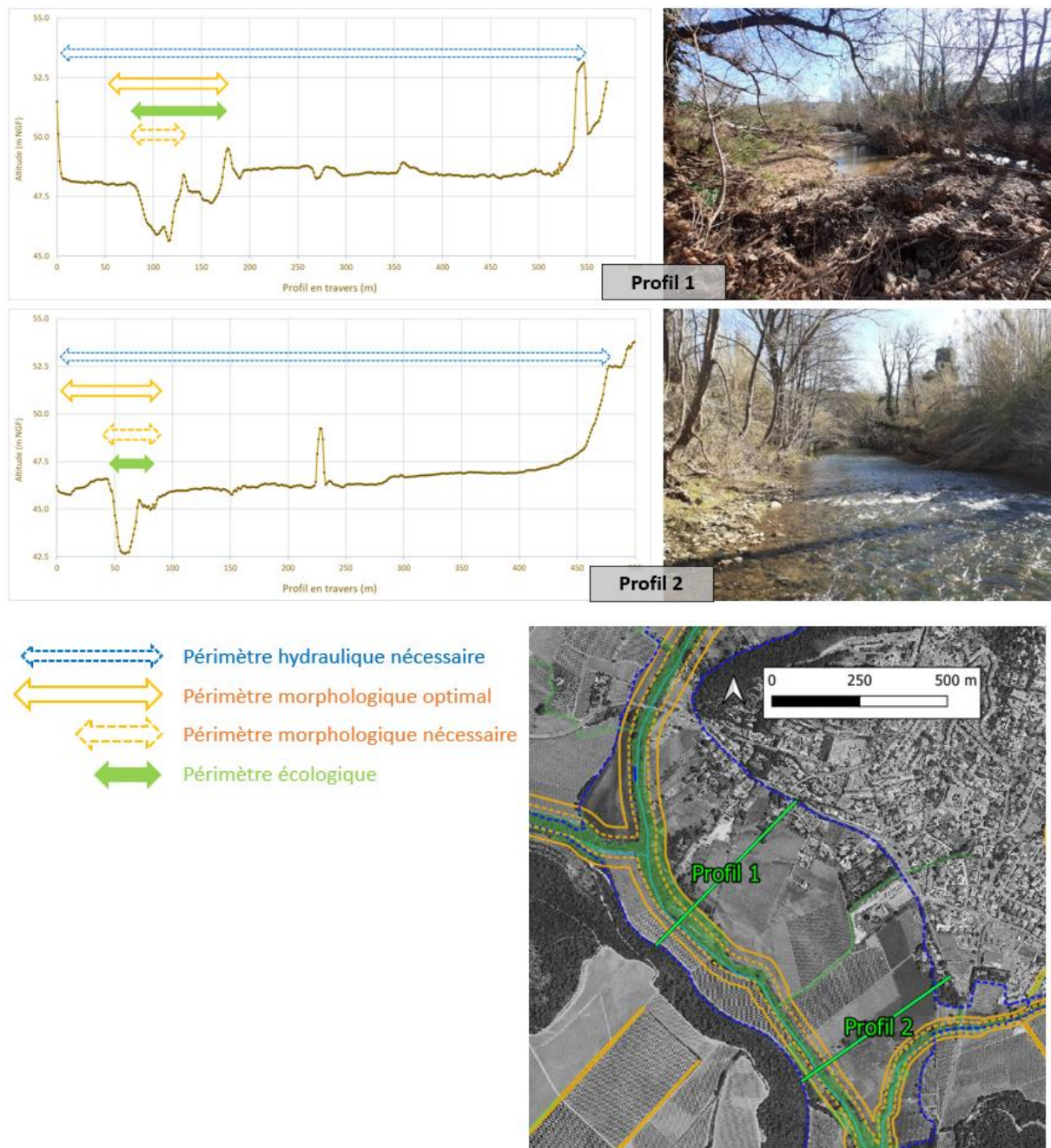


Figure 56 : Comparaison de 2 secteurs du Réal Martin en lien avec les EBF (Lidar, Geopeka)

Cette analyse permet d'apporter plusieurs éléments :

- ▶ La reconquête de l'espace de mobilité par le cours d'eau permet de retrouver une mosaïque d'habitat plus diversifiée et une meilleure qualité des habitats aquatiques qui se traduit directement par un meilleur potentiel écologique ;
- ▶ L'espace d'inondabilité fonctionnelle de la plaine reste très large quelle que soit la situation. Néanmoins le fait de redonner une bande active plus fonctionnelle permettra une meilleure dissipation des crues dans le fond de vallée ;
- ▶ L'analyse permet également de mettre en évidence que si le cours d'eau se cantonne à l'espace morphologique nécessaire (40-50 m), les processus sédimentaires ne peuvent s'exprimer en équilibre et conduisent à une incision et à une banalisation du milieu (Profil 2).

Par contre, dans le cas où l'on résonne à l'échelle du périmètre morphologique optimal (80-120 m), on s'aperçoit que le cours d'eau retrouve une morphologie plus fonctionnelle et résiliente.

Cette analyse confirme ainsi l'intérêt de supprimer les contraintes latérales à l'intérieur du périmètre morphologique optimal afin de permettre le retour d'une morphologie équilibrée et plus fonctionnelle du cours d'eau.

Enfin, bien que l'analyse hydraulique du pont de la départementale ne semble pas mettre en évidence de problématique particulière, les différents échanges avec les personnes ressources concernées (élus de la commune, département) montrent qu'il reste néanmoins nécessaire d'engager des mesures spécifiques pour faciliter l'entretien de celui-ci :

- ▶ Discussion avec les services de l'état pour produire les dossiers réglementaires nécessaires et suffisants pour intervenir régulièrement,
- ▶ Gestion des autorisations foncières,
- ▶ Définition du suivi du profil en long et des seuils nécessitant l'engagement d'opérations spécifiques d'entretien
- ▶ Etc.





# Annexes

## **Table des annexes**

***Annexe 1 – Résultats modélisation hydraulique***

## **Annexe 1 –Résultats modélisation hydraulique**



**sce**

Aménagement  
& environnement

[www.sce.fr](http://www.sce.fr)

GRUPE KERAN