



## RAPPORT

# Note explicative

Mise à jour des cartographies du PPRI ou du PAC (Porter à Connaissance)

Décembre 2021

## DDTM 83



## CLIENT

RAISON SOCIALE	DDTM 83
COORDONNÉES	<b>Accueil du public en DDTM :</b> 244 avenue de L'infanterie de Marine à TOULON <b>Adresse postale :</b> Préfecture du VAR -DDTM- Boulevard du 112 régiment d'infanterie - CS 31209 - 83270 TOULON Cedex.
INTERLOCUTEUR	<b>Didier PALIFERRO</b> Chargé d'études au pôle risques / SPP Direction départementale des territoires et de la mer du Var

## SCE

COORDONNÉES	1120 route de Gémenos Centre d'affaires Alta Rocca – Bat G 13400 Aubagne
INTERLOCUTEUR	Monsieur Humbert Lucas Tél. 04.98.00.67.52 E-mail : lucashumbert@sce.fr

## RAPPORT

TITRE	Note explicative Mise à jour de la cartographie du PPRI
NOMBRE DE PAGES	41
NOMBRE D'ANNEXES	6

## HISTORIQUE DES VERSIONS DES DOCUMENTS

RÉFÉRENCE	DATE	RÉVISION DU DOCUMENT	OBJET DE LA RÉVISION / COMMENTAIRES
201058	16.12.2021	Version 1	

## Sommaire

<b>1. Introduction.....</b>	<b>4</b>
<b>2. Présentation du milieu .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. Présentation du bassin versant.....</b>	<b>5</b>
2.1.1. Situation géographique .....	5
2.1.2. Impact de la chaîne de retenues sur le comportement du Verdon .....	6
<b>2.2. Régime hydrologique .....</b>	<b>8</b>
<b>2.3. Fonctionnement morphodynamique global.....</b>	<b>10</b>
2.3.1. Contexte géomorphologique et géologique .....	10
2.3.2. Impact de la chaîne de retenues.....	12
2.3.3. Synthèse du contexte par rapport aux digues.....	13
<b>3. Modélisation hydraulique .....</b>	<b>14</b>
<b>3.1. Logiciel utilisé.....</b>	<b>17</b>
<b>3.2. Caractéristiques générales du modèle.....</b>	<b>17</b>
3.2.1. Données topographiques utilisées .....	17
3.2.2. Emprise du modèle .....	18
3.2.3. Prise en compte des bâtiments.....	18
3.2.4. Coefficients de Manning-Strickler .....	19
<b>3.3. Caractéristiques spécifiques du modèle.....</b>	<b>19</b>
3.3.1. Conditions aux limites .....	19
3.3.2. Calage du modèle .....	20
3.3.2.1. Amont du pont de Vinon.....	21
3.3.2.2. Aval du pont de Vinon .....	24
3.3.3. Scénarios modélisés .....	26
3.3.4. Cartographie de l'aléa .....	27
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>28</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>29</b>

## 1. Introduction

Le présent rapport a pour objectif de décrire la méthodologie permettant de compléter l'étude de dangers des digues réalisée par SCE en 2020 sur la commune de VINON sur VERDON, et cela en vue de préciser le risque inondation de la commune, d'élaborer un projet de Plan de Prévention du Risque Inondation (PPRI) ou à minima un Porter à Connaissance (PAC) afin de répondre aux objectifs de l'article L.101-2 du Code de l'Urbanisme.

## 2. Présentation du milieu

### 2.1. Présentation du bassin versant

#### 2.1.1. Situation géographique

Le Verdon est l'affluent principal rive gauche de la Durance.

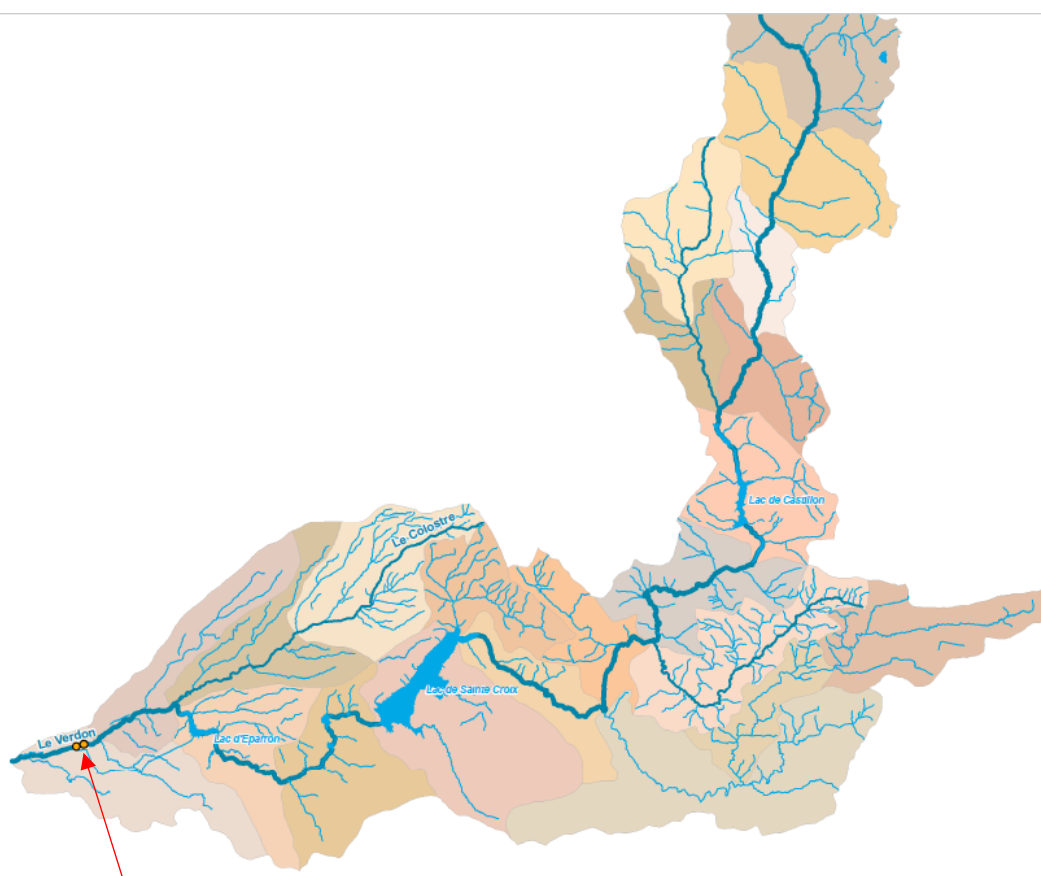
Son bassin versant occupe une superficie totale de 2 218km<sup>2</sup>, entre sa source dans le vallon de la Sestrière (commune d'Allos) et la confluence sur la commune de Saint Paul lès Durance. L'altitude varie entre 3 052m (mont Pelat) et 254m (Durance).

Le cours d'eau principal a une longueur de 155 km. Les affluents principaux sont :

- ▶ En rive gauche : le Bouchier, le Chadoulin, la Lance, l'Ivoire, le Jabron, l'Artuby ;
- ▶ En rive droite : la Chasse, l'Issole, le Colostre.

Il convient d'ajouter à cette liste la résurgence de Fontaine l'Evêque, sans la retenue de Sainte Croix, qui contribue fortement aux débits ordinaires du Verdon aval.

L'altitude moyenne du bassin versant est de 950 m.



Vinon sur Verdon

**Figure 1 : Réseau hydrographique du bassin versant du Verdon**

Les digues de Vinon sur Verdon sont localisées sur la partie aval du bassin versant dit « Bas Verdon ».

Le Bas Verdon s'étend de la retenue de Sainte-Croix jusqu'à la confluence avec la Durance. Il draine la partie occidentale du plan de Canjuers et le plateau de Valensole. La superficie de cette portion du bassin versant est de 788 km<sup>2</sup>. Ce secteur est particulièrement artificialisé du fait de la présence de 3 retenues artificielles sur le Verdon :

- ▶ le lac de Sainte-Croix,
- ▶ le lac de Quinson
- ▶ le lac de Gréoux (ou Esparron).

Par ailleurs, la présence de la retenue de Cadarache sur la Durance juste à l'aval de la confluence Verdon – Durance isole fonctionnellement ce site.

**Ces aménagements ont considérablement modifié le régime hydrologique naturel du tronçon mais aussi sa dynamique sédimentaire, et en conséquence la morphologie de la rivière.**

Ce bassin versant a une superficie d'environ 2290 km<sup>2</sup> dans sa globalité. Cependant, comme signalé au paragraphe précédent, hors période de crue, le secteur étudié se trouve hydrologiquement coupé de l'amont du bassin versant par le barrage de Gréoux à l'aval duquel n'est restitué que le débit réservé.

### 2.1.2. Impact de la chaîne de retenues sur le comportement du Verdon

Depuis les années 1950, 5 ouvrages hydroélectriques ont été construits sur la file du Verdon pour la production d'électricité et l'alimentation en eau de la Provence. La production totale des centrales du Verdon atteint près de 500 millions de kWh par an, soit la consommation annuelle de 206 000 habitants

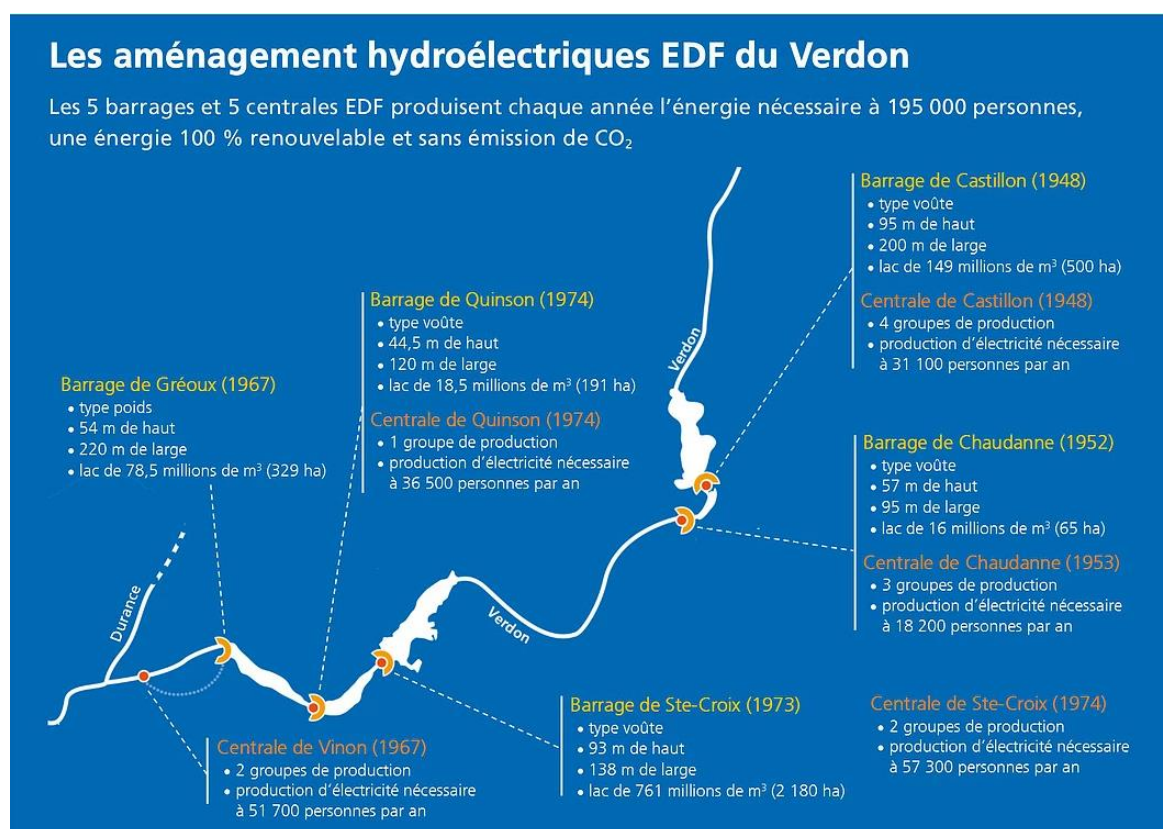


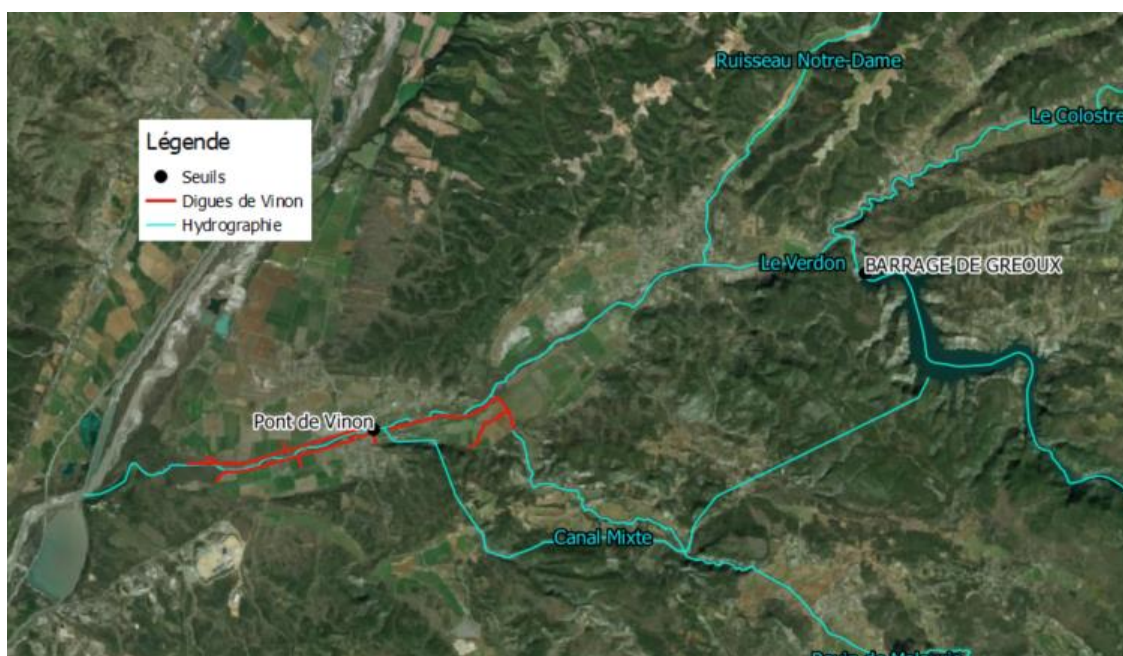
Figure 2 : Schéma des ouvrages EDF présents sur la file Verdon

Sur le secteur d'étude, les différentes sources d'alimentation du débit du Verdon sont présentées ci-dessous, en distinguant la partie amont du canal de restitution EDF (assimilable au tronçon court-circuité entre le barrage de Gréoux et le Pont de Vinon) et la partie aval à cette restitution.

Sur la partie du secteur d'étude en amont du canal de restitution du barrage de Gréoux, les débits du Verdon sont issus des sources suivantes :

- ▶ Drainage naturel des sous-bassins versant du Colostre, de la Malaurie, du ruisseau de Notre Dame et du Verdon dans sa partie court-circuitée ;
- ▶ Débit réservé transité à l'aval du barrage de Gréoux, propre à une valeur de  $2,2 \text{ m}^3/\text{s}$  (valeur fixée au contrat rivière Verdon et du SAGE) ;
- ▶ Débits éventuellement déversés au droit du barrage de Gréoux ;

Sur la partie du secteur d'étude en aval du canal de restitution du barrage de Gréoux, les débits du Verdon sont issus des mêmes sources majorées par des débits du canal de restitution qui relâche au maximum  $48 \text{ m}^3/\text{s}$ .



**Figure 3 : Localisation des installations d'hydroélectriques et du réseau hydrographique au droit du Verdon à Vinon-sur-Verdon**

## 2.2. Régime hydrologique

Les travaux de P. LEFORT dans le cadre de l'Expertise Hydraulique de la crue de novembre 1994 [R001] rappellent les plus fortes crues connues survenues à Vinon :

- ▶ 02/11/1843 :  $Q_{max} = 1660 \text{ m}^3/\text{s}$  à Vinon;
- ▶ 06 et 07/11/1994 :  $Q_{max} = 1085 \text{ m}^3/\text{s}$  à Vinon.

La crue de 1994 y est considérée comme "centennale ou un peu inférieure". Les débits mis en jeux lors de cet évènement ne font pas l'unanimité au sein des différentes approches et sont variables en fonction des études hydrauliques réalisées dans le secteur.

En février 2012, le « porter à connaissance » transmis par la DDTM à la commune de Vinon [R008] en vue de l'élaboration du PPRI de la commune retenait un **débit de référence de  $1640 \text{ m}^3/\text{s}$** , valeur haute de la fourchette des estimations antérieures du débit (1280, 1430 et  $1640 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Pour ce débit, les modélisations hydrauliques mettent en évidence des débordements en rive gauche du pont de Vinon (surverse de  $140 \text{ m}^3/\text{s}$ ) et dans une moindre mesure en rive droite (surverse de  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ ), débordements qui ne sont pourtant pas apparus lors de la crue de 1994. L'analyse des données topographiques utilisées pour estimer ce débit montrant une fiabilité douteuse à certains endroits, **le débit a finalement été réévalué en 2016 à  $1280 \text{ m}^3/\text{s}$** .

Le Tome 2 du schéma global de gestion du Verdon [R004] propose les débits de référence présentés ci-dessous. Ils sont une reconstitution des débits « naturels » sans influence des barrages en amont :

**Tableau 1 : Débit de référence sur le Verdon proposés par l'étude de SOGREAH**

Site	Verdon Quinson	Verdon Confluence
<b>BV (km<sup>2</sup>)</b>	1 639	2 190
<b>2 ans</b>	120	147
<b>5 ans</b>	370	454
<b>10 ans</b>	554	680
<b>20 ans</b>	728	894
<b>30 ans</b>	826	1 014
<b>50 ans</b>	1 087	1 334
<b>100 ans</b>	1 413	1 734
<b>100 ans (mini)</b>	1 326	1 627
<b>100 ans (maxi)</b>	1 544	1 894



Ces débits sont calculés à l'aide de l'application de la formule suivant :

$$Q = q \frac{S^{0,75}}{12}$$

Avec :

*q* : débit réduit par bassin versant en fonction de la pluie représentative du dit bassin.

*S* : surface du bassin versant

Comme l'explique M. LEFORT, le débit à Vinon est calculé à partir des débits à Quinson et proportionnellement au rapport des superficies à la puissance  $\frac{3}{4}$ , ce qui semble donner des résultats trop élevés. Le calcul ne prend pas en compte également la configuration du bassin versant entre Sainte Croix et Gréoux qui entraîne une atténuation du débit maximum relevés à Vinon de l'ordre d'une centaine de m<sup>3</sup>/s pour une crue centennale.

Dans ce sens, et en suivant l'avis de P.LEFORT, les débits pris en compte sur la commune de Vinon-sur-Verdon sont les débits de référence à Quinson

En résumé, les débits de référence pris en considération dans la présente étude sont :

**Tableau 2 : Débits caractéristiques pris en compte dans la modélisation à Vinon-sur-Verdon.**

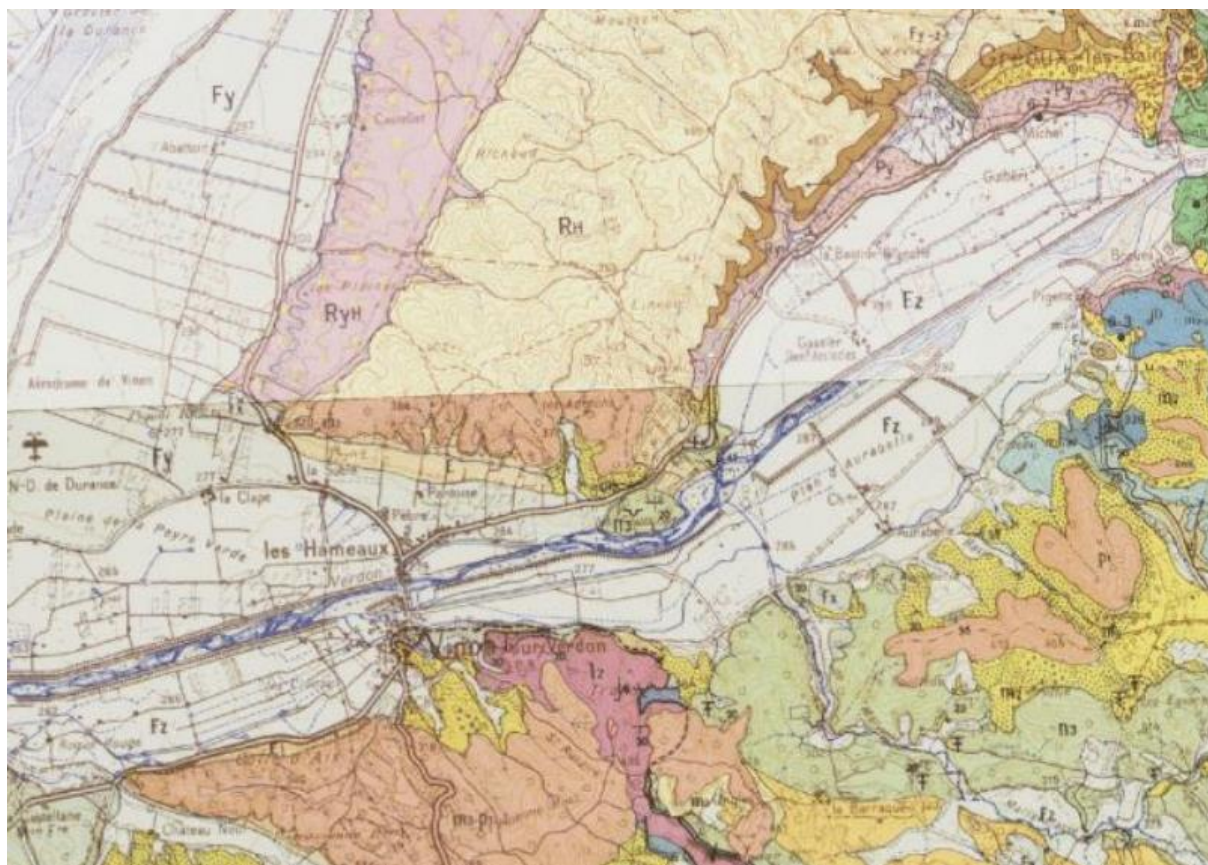
Occurrence	Débits m <sup>3</sup> /s
2 ans	120
5 ans	370
10 ans	554
20 ans	728
30 ans	826
50 ans	1 087
PPRI	1 280

## 2.3. Fonctionnement morphodynamique global

### 2.3.1. Contexte géomorphologique et géologique

Le Verdon évolue dans sa partie amont dans un environnement montagneux où l'écoulement en fond de vallée est contraint par des berges composées par le substratum rocheux. De ce fait, son lit est encaissé et n'est pas mobile.

En aval du bassin versant, à la sortie du barrage de Gréoux, situé juste en amont du secteur d'étude, le lit majeur du cours d'eau s'ouvre sur la plaine alluviale de la Durance au sein d'alluvions modernes ou indifférenciées (Fz) constituées de cailloutis, sables et limons sableux. Le Verdon évolue alors dans un fond de vallée bien plus large que les gorges de sa partie amont. Le substratum local affleure ponctuellement, notamment au niveau du pont de Vinon. Il est constitué de marnes (p1) et de marno-calcaires (n3). Un extrait de la carte géologique est présenté ci-dessous Figure 4



**Figure 4: Carte géologique 1/50 000 vecteur harmonisée (BRGM)**

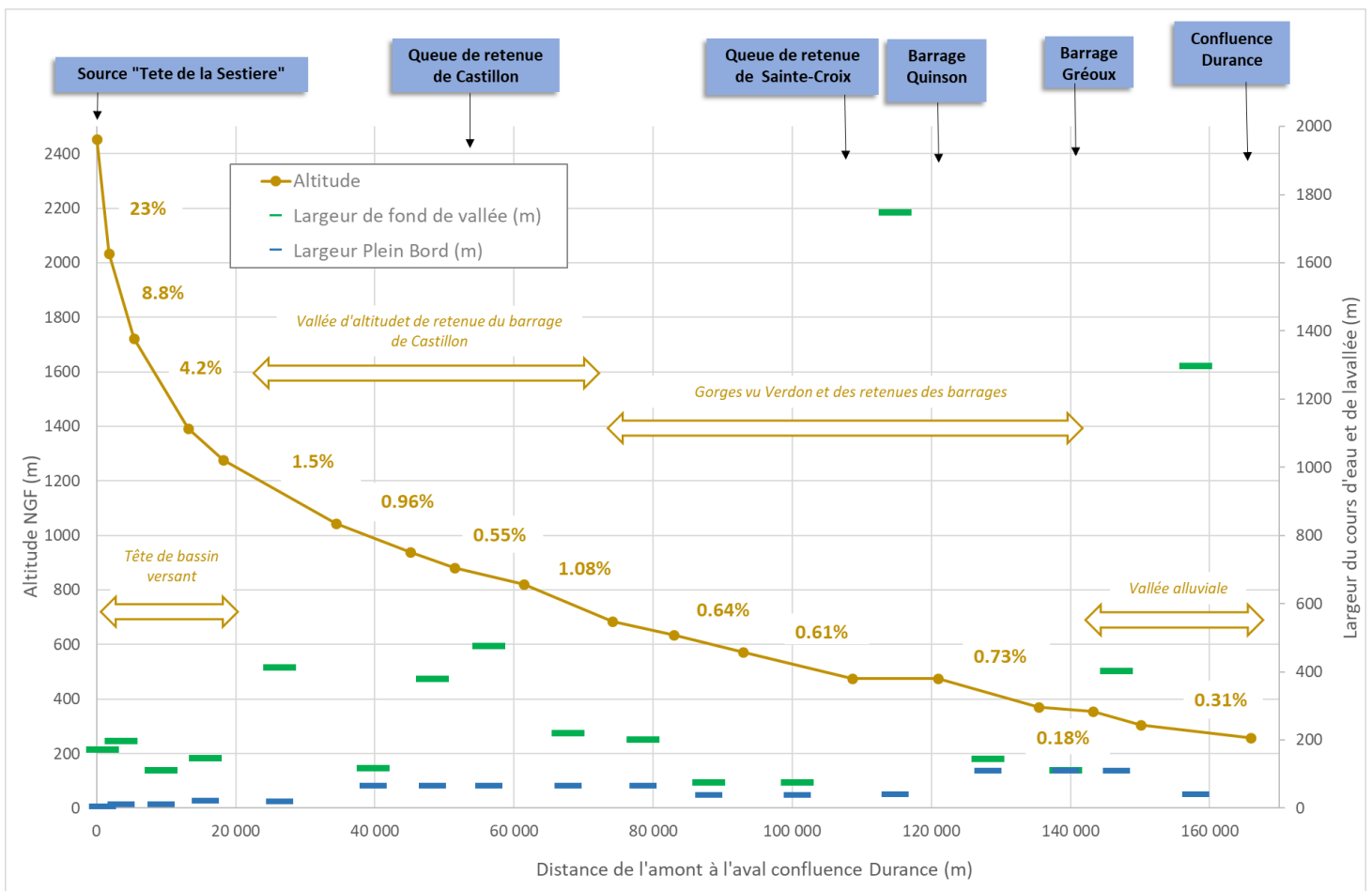
Le profil en long général du Verdon traduit une diminution progressive des pentes du lit vers l'aval. A partir des données SYRAH, le profil en long moyen de l'ensemble du cours d'eau a été reconstitué, sans prise en compte des hauteurs de chute des barrages. De l'amont à l'aval, trois secteurs caractéristiques des tronçons représentatifs du Verdon ont été définis :

- ▶ Des pentes fortes sur la partie amont du Verdon qui s'étend de la source du Verdon (2 454 mNGF) à la queue de retenue du barrage du Castillon (881 mNGF) qui représente la première grande perturbation anthropique par rapport au profil en long d'équilibre du cours d'eau. La pente moyenne de secteur est de 3,1% ;
- ▶ Les pentes moyennes diminuent ensuite entre la queue de retenue de Castillon et le barrage de Gréoux-les-Bains (372 m NGF), où le cours du Verdon alterne entre

retenue de barrages (retenues de Castillon, de Chaudanne, de Sainte-Croix et d'Esparron) et les passages en gorges. La pente est de 0.57%.

- ▶ Après les « Gorges du Verdon », la pente diminue dans la plaine alluviale du Verdon qui rejoint celle de la Durance, avec l'ouverture du fond de vallée. Du barrage de Gréoux à la confluence avec la Durance (257 mNGF), la pente est de 0.44 %.

Notre secteur d'étude est compris dans le tronçon homogène allant de l'aval du barrage de Gréoux à la confluence avec la Durance, caractérisé par une pente de 0.31 % et une largeur de fond de vallée de 1 300 m. Ce tronçon parcourt la plaine alluviale de la Durance et se caractérise par la pente la plus faible du Verdon, à l'exception des zones de remous solide dans les retenues des barrages (Figure 5).



**Figure 5: Profil en long et pentes de la rivière Verdon de sa source à la confluence avec la Durance (SYRAH, SCE)**

Le périmètre d'étude se caractérise ainsi par une géomorphologie de plaine propre à la partie aval du bassin versant. Ce contexte alluvial de fond de vallée (large et peu pentu) favorise un espace de divagation important du lit qui se traduirait naturellement par un style fluvial naturel en tressage pour le lit du Verdon du fait des apports solides du bassin versant. Néanmoins, le contexte historique de déficit sédimentaire au sein du périmètre d'étude en lien avec les pressions anthropiques (barrages hydroélectriques, endiguements, stabilisation des versants, etc.) et le contexte climatique (fin de l'ère glaciaire, boisement des versants, etc.) semble avoir impliqué une migration du style fluviale vers un style à méandres migrants au sein de l'espace intra-digue.

### 2.3.2. Impact de la chaîne de retenues

Depuis la construction des barrages sur le Verdon, les débits solides et liquides qui transitent au sein de l'axe du cours d'eau sont totalement contraints.

Le barrage de Gréoux situé à l'amont direct du secteur d'étude (environ 8,5 km) constitue la source dominante de perturbation de l'équilibre sédimentaire.

En aval, la présence de la retenue de Cadarache sur la Durance juste à l'aval de la confluence avec le Verdon participe également à l'isolement fonctionnel du Verdon au droit du site.

L'ensemble de ces aménagements hydroélectriques ont considérablement modifié le régime hydrologique naturel du tronçon mais aussi sa dynamique sédimentaire, et en conséquence la morphologie de la rivière.

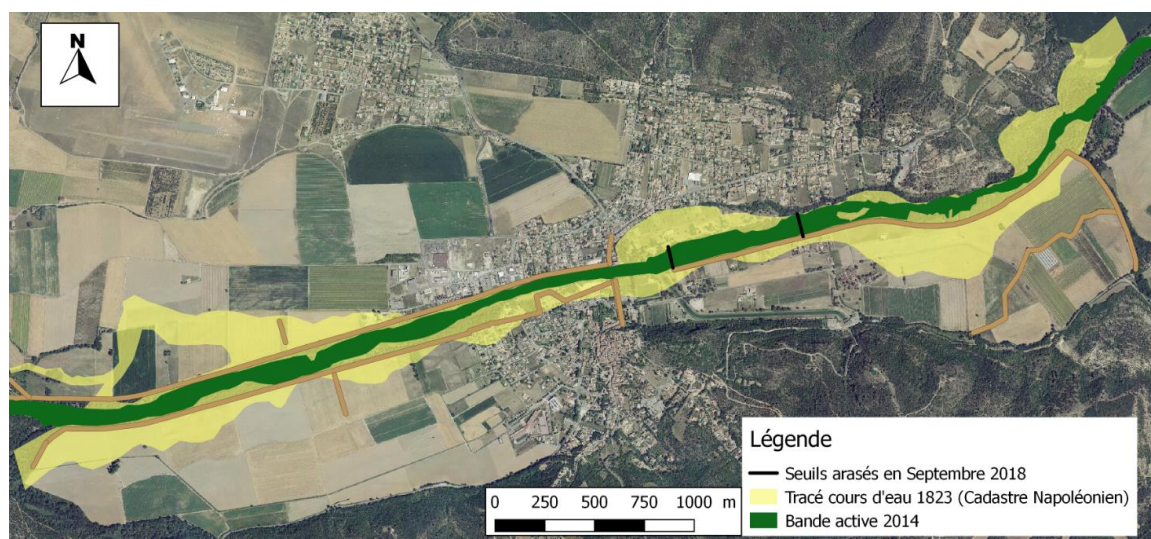


*Evolution de la morphologie du Verdon entre 1958, 2000 et 2015 suite à la mise en place du barrage de Gréoux en 1967 en amont de Vinon-sur-Verdon*



*Evolution de la morphologie du Verdon et de la confluence avec la Durance entre 1958, 2000 et 2015 suite à la mise en place du barrage de Cadarache en 1963 en aval de Vinon-sur-Verdon*

De manière plus ancienne encore, l'endiguement étroit du cours d'eau à Vinon-sur-Verdon a été réalisé pour protéger les zones agricoles puis les zones résidentielles et d'activités associées au développement urbain de la seconde moitié du 20<sup>ème</sup> siècle. L'endiguement semble avoir été mis en place pour répondre aux problématiques régulières de dévastation des terres agricoles par les crues de la rivière. Le tracé du Verdon sur le cadastre Napoléonien (1823) est antérieur à la construction de ces digues. La comparaison au tracé actuel atteste de l'emprise importante du système d'endiguement au sein de l'espace de divagation et de dissipation des crues par le cours d'eau.



**Figure 6: Evolution du tracé du cours d'eau suite à l'endiguement (IGN, Cadastre Napoléonien, SCE)**

En synthèse, le bassin versant du Verdon a connu une artificialisation progressivement importante, notamment sur sa partie aval, avec l'endiguement au 19<sup>ème</sup> siècle et le développement des aménagements hydroélectriques en amont de Vinon-sur-Verdon au cours de la seconde moitié du 20<sup>ème</sup> siècle. Le cumul de ces aménagements a conduit à des perturbations de l'équilibre sédimentaire du Verdon et à son évolution morphologique, dont certaines peuvent participer, à l'avenir, à une déstabilisation des ouvrages longitudinaux.

### 2.3.3. Synthèse du contexte par rapport aux digues

En conclusion, sur le périmètre d'étude, la morphologie du Verdon est issue d'évolutions en liens avec de fortes perturbations associées aux pressions anthropiques. L'endiguement étroit du Verdon a eu pour première conséquence de diminuer l'espace de divagation du cours d'eau et sa bande active. Les écoulements se retrouvant concentrés, ils viennent buter contre les berges du franc-bord et l'érode lors du passage des crues.

À la suite de cet endiguement viennent ensuite s'ajouter les grands aménagements hydroélectriques présents sur tout le linéaire de la rivière qui bloquent le transport solide par charriage de l'amont vers l'aval et contrôlent les débits liquides. Après la construction du barrage de Gréoux, barrage le plus proche du secteur, toute la charge sédimentaire s'est retrouvée bloquée à l'amont. Dans un contexte de déficit sédimentaire aggravé, en réponse, le fond du cours d'eau du lit s'est incisé de manière accélérée. Cette incision aggrave le phénomène de concentration des écoulements en creusant un lit mineur préférentiel très marqué ; pouvant favoriser les affouillements des berges du franc-bord.

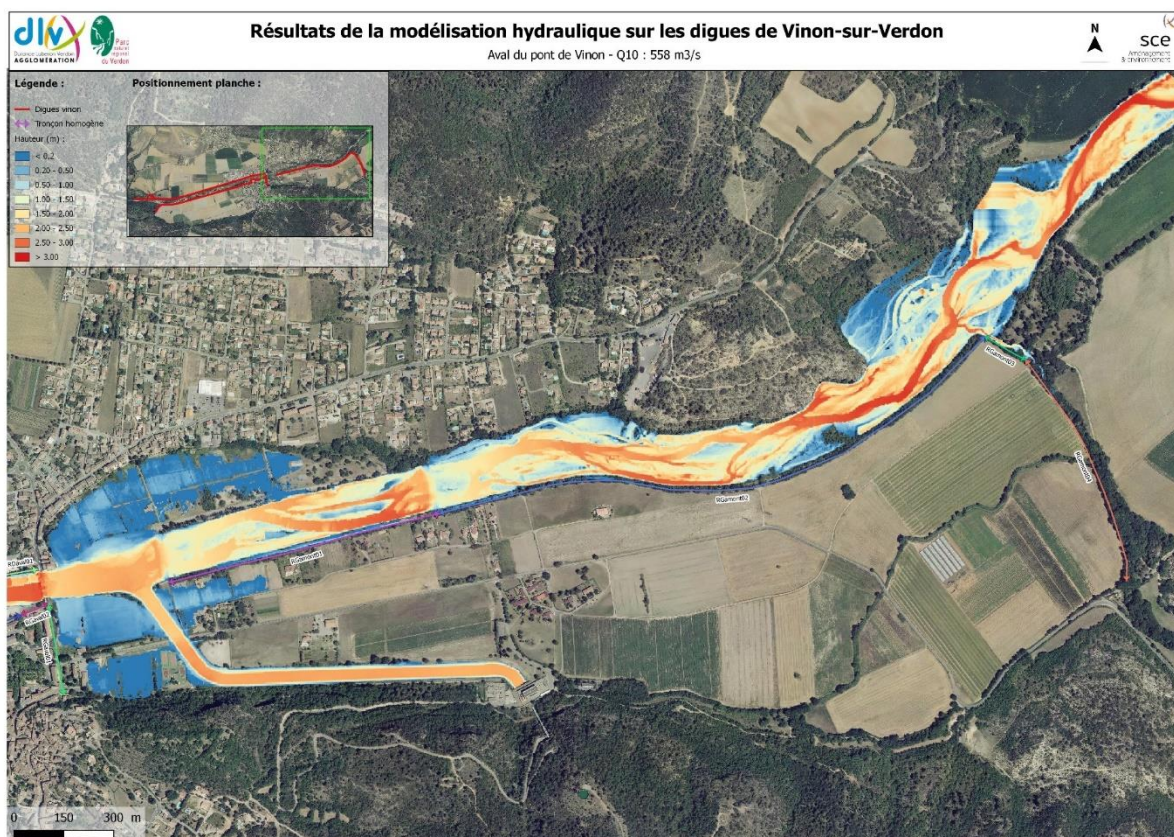
En aval du périmètre d'étude, le profil en long est sous l'influence du remous solide de la retenue de Cadarache, ce qui impose une limite à la continuité du transport solide en sortie du système d'endiguement, voire un exhaussement du fond du cours d'eau. Ce contexte peut ainsi progressivement favoriser une augmentation de la montée des eaux sur la partie aval lors des crues, du fait de la réduction de la pente.

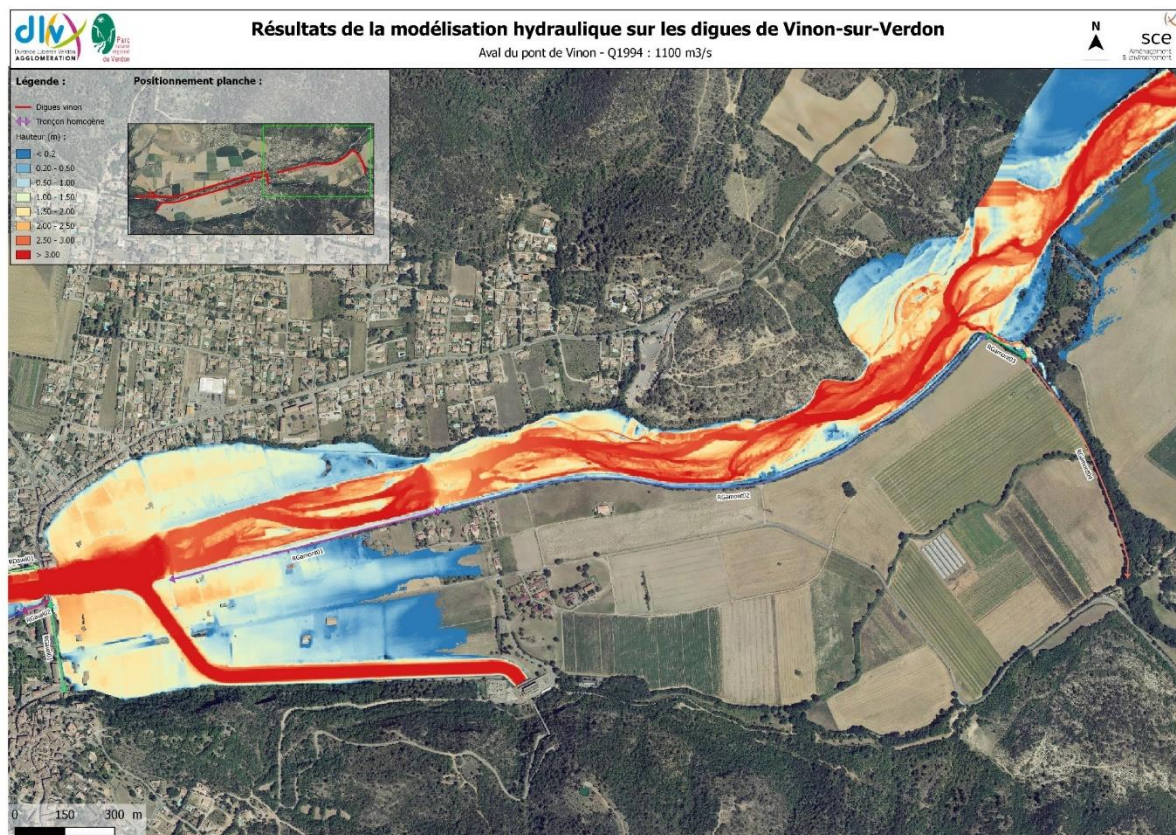
## 2.4. Dynamique des crues

### 2.4.1. Analyse des écoulements en amont du pont de Vinon

Les premiers débordements du Verdon apparaissent en amont direct du pont au niveau du camping (situé en rive droite du Verdon) et des terrains de sports (situés en rive gauche). Ces zones ne sont pas protégées par le système de protection en place. Les débordements apparaissent à partir d'un débit proche de  $400\text{m}^3/\text{s}$ . Ces zones sont sous près de  $2\text{m}$  d'eau pour une crue semblable à celle de 1994, estimée à  $1\,100\text{m}^3/\text{s}$ .

Le contournement du système de protection apparaît à partir de  $570\text{ m}^3/\text{s}$ . En situation actuelle, les 500 derniers mètres de digue, situés à l'extrémité ouest du système, au plus proche du pont, où se situent les principaux enjeux, surversent pour une crue semblable à celle de 1994.





## 2.4.2. Analyse des écoulements en aval du pont de Vinon

Sur ce secteur, le système de protection n°3, situé en rive droite du Verdon, est contourné par l'ancienne digue fusible, localisée environ 3km en aval du pont, à partir d'un débit de 135 m<sup>3</sup>/s.

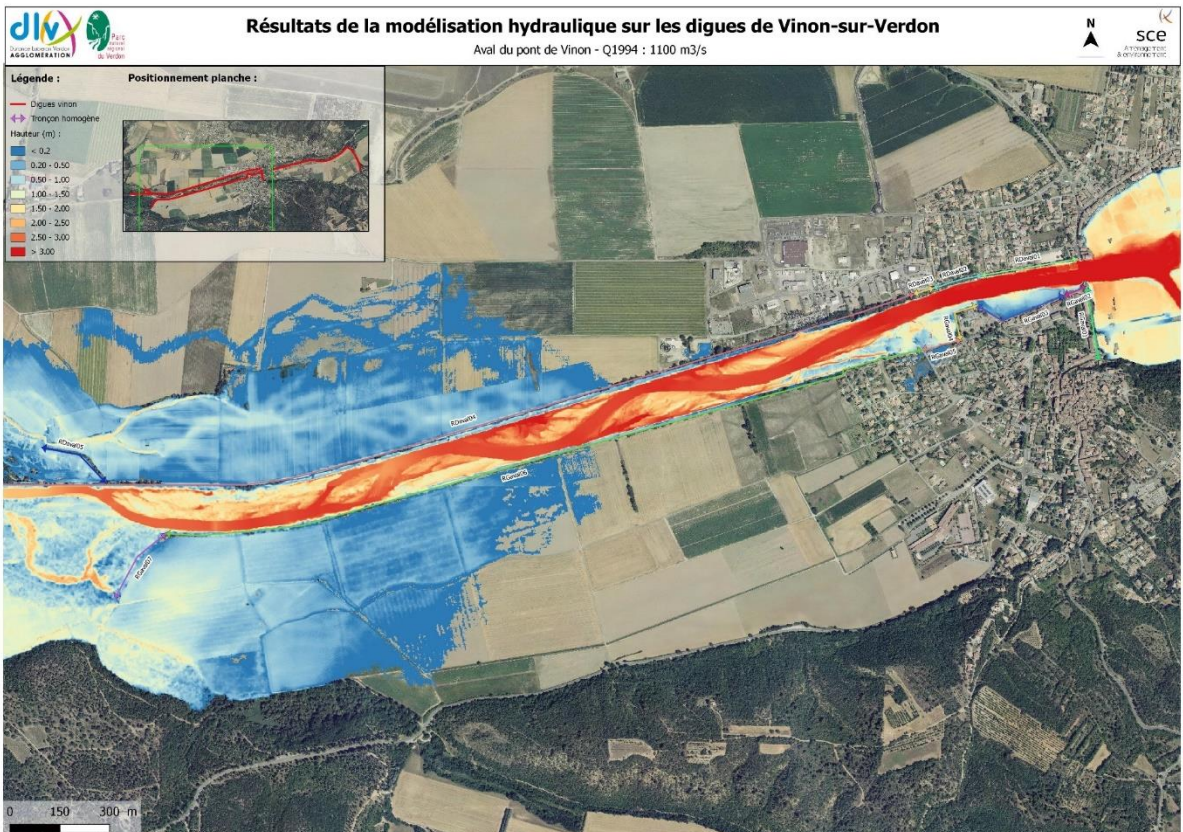
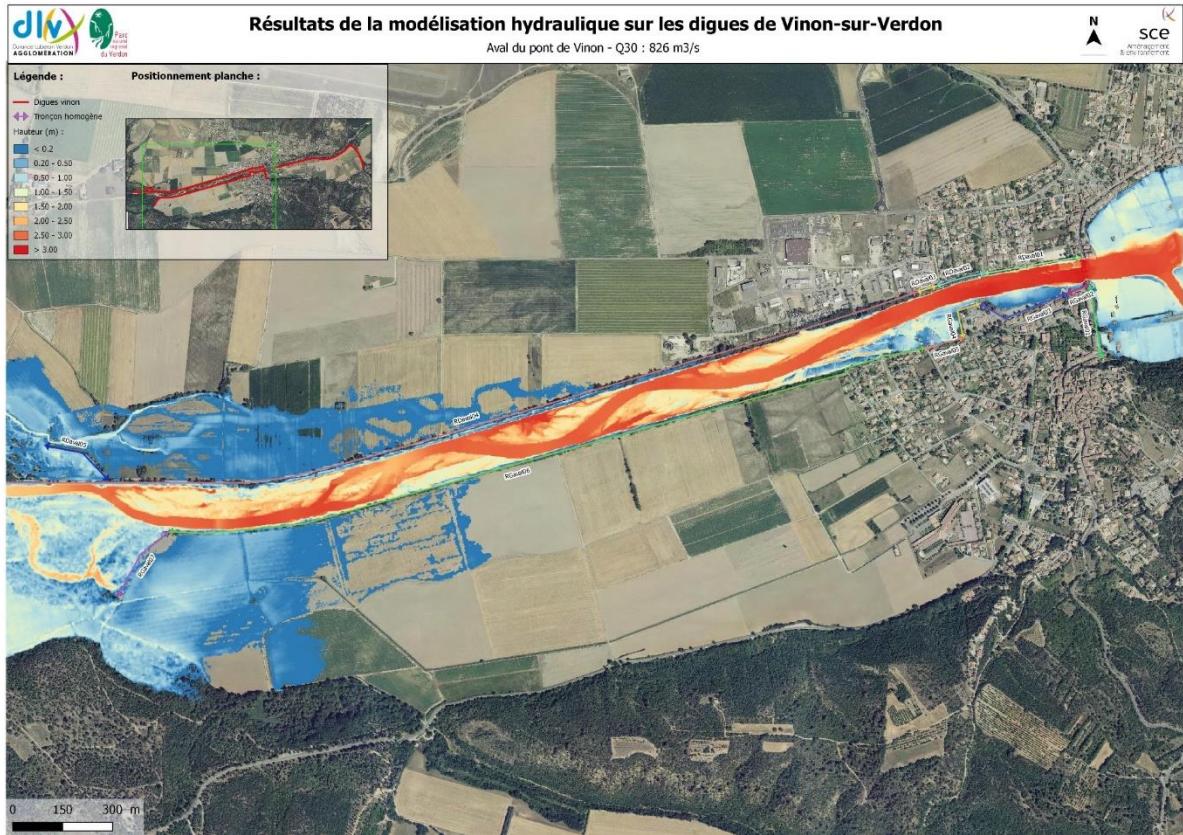
Les premières surverses apparaissent pour les débits suivants :

- ▶ Système de protection en rive gauche : 700 m<sup>3</sup>/s.
- ▶ Système de protection en rive droite : 650 m<sup>3</sup>/s.

Les terrains du gens du voyage, situés en zone exposée, sont impactés par les débordements du Verdon à partir d'un débit de 325 m<sup>3</sup>/s. L'eau est en capacité de franchir le système de protection sur ce secteur à partir d'un débit de 1 150 m<sup>3</sup>/s.

On note également une surverse au niveau de la station d'épuration à partir de 1 120 m<sup>3</sup>/s

Sur le système de protection en rive gauche, les digues présentes sur les secteurs urbanisés, ont une revanche de l'ordre du mètre pour une crue semblable à 1994. En peu plus en aval, des débordements apparaissent en revanche pour des débits semblables à 1994 (sous tronçon RGaval05).





## 3. Modélisation hydraulique

### 3.1. Logiciel utilisé

La modélisation hydraulique a été réalisée au moyen du logiciel HEC-RAS 6.0, permettant la création et l'utilisation de modèles 1D/2D, via la résolution complète des équations dynamiques (Barré de Saint Venant). L'intérêt de ce logiciel est avant tout le fait qu'il soit libre de droit et gratuit, robuste, performant et très ergonomique.

Les modélisations ont été réalisées en régime transitoire en 2D pour la totalité du lit du Verdon et en 1D pour le lit du Malaurie, affluent rive gauche du Verdon localisé en amont du secteur d'étude.

### 3.2. Caractéristiques générales du modèle

Le modèle bidimensionnel permet de retranscrire les conditions d'écoulement au sein d'un terrain comprenant des variations topographiques sans prédéterminer les sens d'écoulements. Cette approche a été retenue pour simuler au mieux les écoulements.

#### 3.2.1. Données topographiques utilisées

Les données utilisées dans le cadre de la présente étude hydraulique sont rappelées ci-dessous :

- ▶ **Topographie du lit mineur du Verdon** : Levé LIDAR réalisé en 2015
- ▶ **Topographie du lit majeur du Verdon**: Levé LIDAR réalisé en 2015 et RGE ALTI 1m de l'IGN
- ▶ **Topographie des crêtes de digues** : *Levé réalisé en 2019 par le cabinet ELLIPSE Positionnement.*
- ▶ **Profil en travers du lit de la rivière du Malaurie** : 16 profils en travers sur 750 ml de cours d'eau réalisés en 2019 par le cabinet ELLIPSE Positionnement.
- ▶ **Profil en travers du pont de Vinon**: *Levé réalisé par le cabinet BGN en Août 2013*

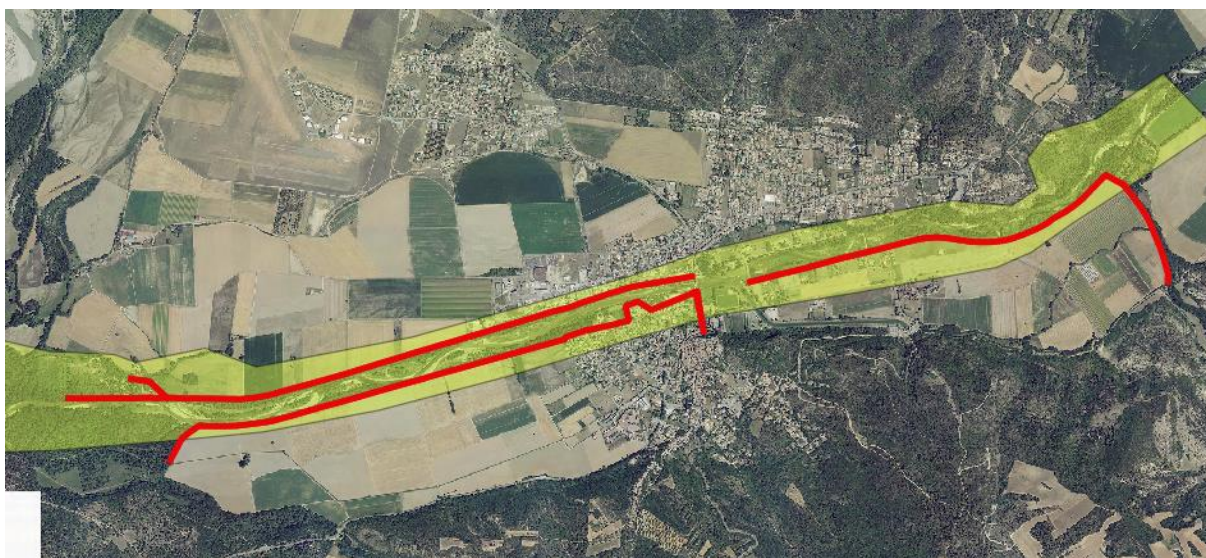
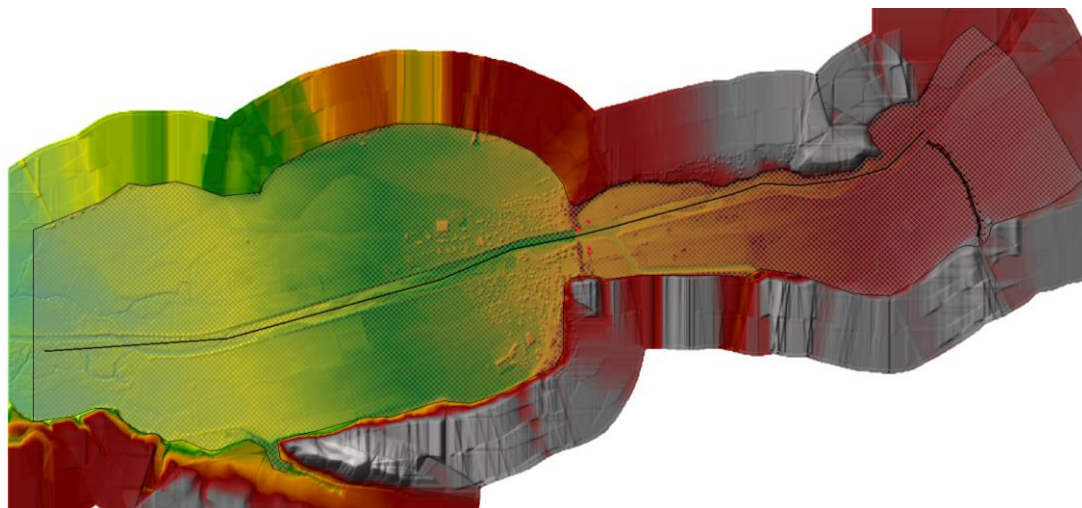


Figure 7 : Emprise du LIDAR (jaune) utilisé et crête de digues relevées (rouge)

### 3.2.2. Emprise du modèle

Le **territoire d'analyse atteint 8.3 km<sup>2</sup>**. Le maillage de calcul est constitué de mailles adaptatives de largeur variable fixée à **7m maximum**. En tout le modèle repose sur **172 000 mailles**.

Il s'étend ainsi sur près de 7 000 mètres de linéaire sur le Verdon.

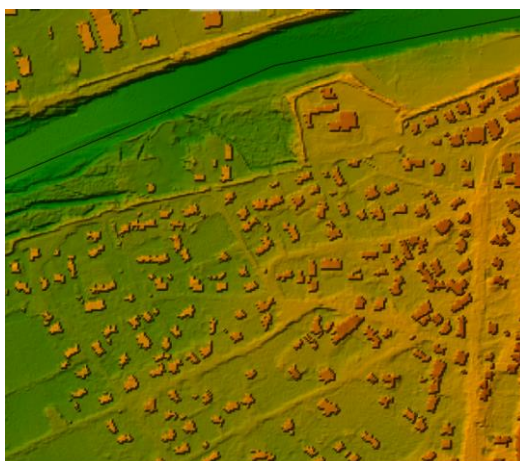


*Figure 8 : Emprise du modèle 2D*

### 3.2.3. Prise en compte des bâtiments

De manière à reproduire le plus fidèlement possible la cinétique de l'inondation dans la zone protégée, l'ensemble du bâti inclus dans celle-ci a été modélisé dans le logiciel.

Les bâtiments ont été pris en compte en modifiant le modèle numérique de terrain initial en créant une élévation équivalente à celle inscrite dans la base de données BD\_TOPO de l'IGN.



*Figure 9 : Représentation des bâtiments sur le MNT*

### 3.2.4. Coefficients de Manning-Strickler

Les coefficients de Strickler retenus sont :

- ▶ **K = 33** pour les tronçons du lit ordinaire où le Verdon coule sur ses alluvions, sans développement arbustif.
- ▶ **K = 20** pour les atterrissements les plus végétalisés et mal entretenus avec une ripisylve exubérante.
- ▶ **K = 12.5** pour le lit majeur.

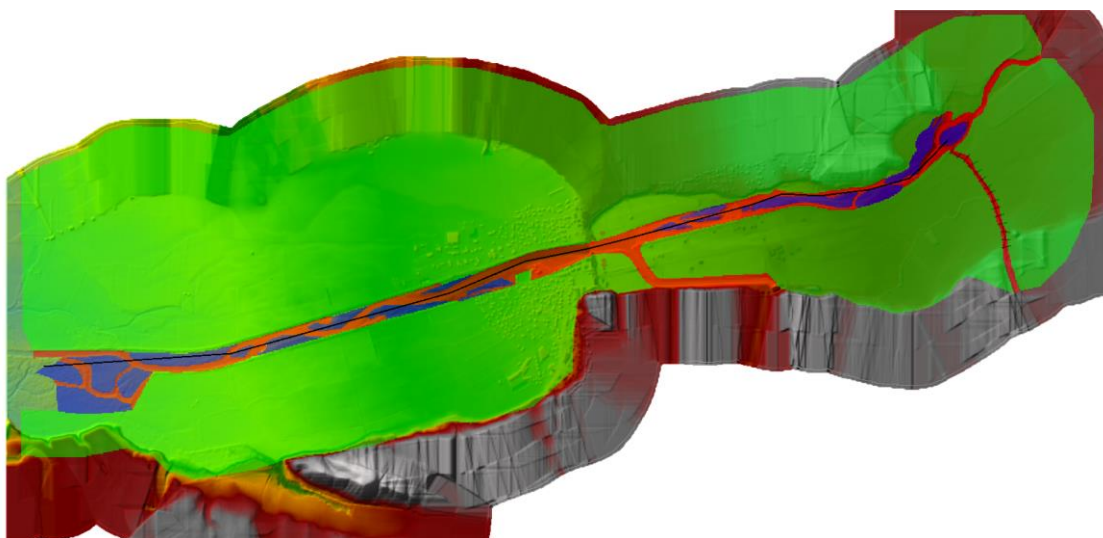


Figure 10 : Coefficients de Strickler retenus : (Bleu) Atterrissements ; (Vert) Lit majeur ; (Rouge) Lit mineur ;

## 3.3. Caractéristiques spécifiques du modèle

### 3.3.1. Conditions aux limites

Les conditions aux limites des modèles retenus sont :

- ▶ **Conditions aux limites amont** : les conditions limites amont sont fixées par les débits de référence cités plus haut en les injectant dans les réseaux hydrauliques modélisés. Les débits sont injectés pendant 20 heures avec l'atteinte du pic de crue en 15 heures. Le modèle est exploité pour les crues de débits 1280 m<sup>3</sup>/s (crue de référence, crue centennale) et 1700 m<sup>3</sup>/s (crue exceptionnelle).
- ▶ **Conditions aux limites aval** : Pente d'équilibre de 0.05

### 3.3.2. Calage du modèle

Toute modélisation mathématique des écoulements doit théoriquement faire l'objet d'une phase de calage du modèle sur des épisodes de crue réels.

Pour la réalisation du calage du modèle hydraulique, il est nécessaire de retenir des événements bien documentés et, dans la mesure du possible récents. Bien que non récente, la crue de 1994 est la dernière crue marquante pour la commune. Après cet événement, seulement 4 PHE ont été relevées en amont du pont en 2009, soit 15 ans plus tard, par la DDEA du Var. Ces PHE ont été relevées à partir de photos issues de Var Matin (8 novembre 1994) et de témoignages des pompiers de Vinon ce qui rend leur précision approximative.



*Figure 11 : PHE relevées en 2009*

Pour le calage du modèle, eu égard à l'utilisation d'un modèle mathématique 2D, la principale variable d'ajustement pour le calage est le coefficient de Strickler.

Le calage a été réalisé en premier lieu en alimentant le modèle hydraulique avec les débits suivant :

- ▶ Débit dans le Verdon : **1 300 m<sup>3</sup>/s**
- ▶ Débit dans le Malaurie : **0.1 m<sup>3</sup>/s**
- ▶ Débit dans le canal de restitution EDF : **45 m<sup>3</sup>/s**

**Après avoir fait varier les coefficients de Strickler dans des ordres de grandeur acceptables, aucune PHE n'a pu être approchée, les hauteurs issues du modèle étant bien plus importantes que les PHE relevées.**

Il a été opté de réaliser un nouveau calage avec un débit dans le Verdon inférieur atteignant les **1 100 m<sup>3</sup>/s**, débit estimé approximativement M. Lefort après la crue.

### 3.3.2.1. Amont du pont de Vinon

L'étude hydromorphologique, réalisée dans le cadre de l'étude de dangers du système d'endiguement de Vinon-sur-Verdon, a montré qu'en amont du pont, entre 2001 et aujourd'hui, il est observé une relative stabilité du profil en long avec une tendance majoritaire à l'engraissement du lit avec un exhaussement moyen mesuré de moins de 10 cm lié à l'emprisonnement des matériaux par les anciens seuils aujourd'hui supprimés.

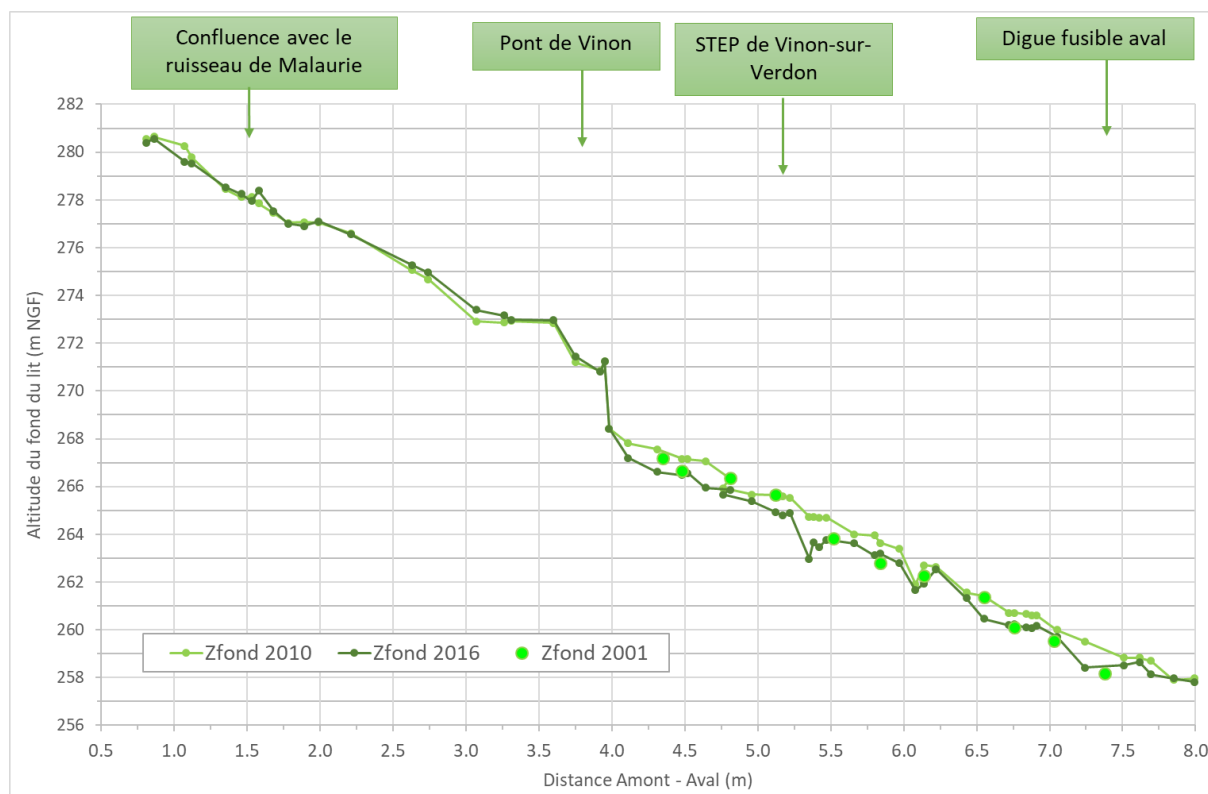
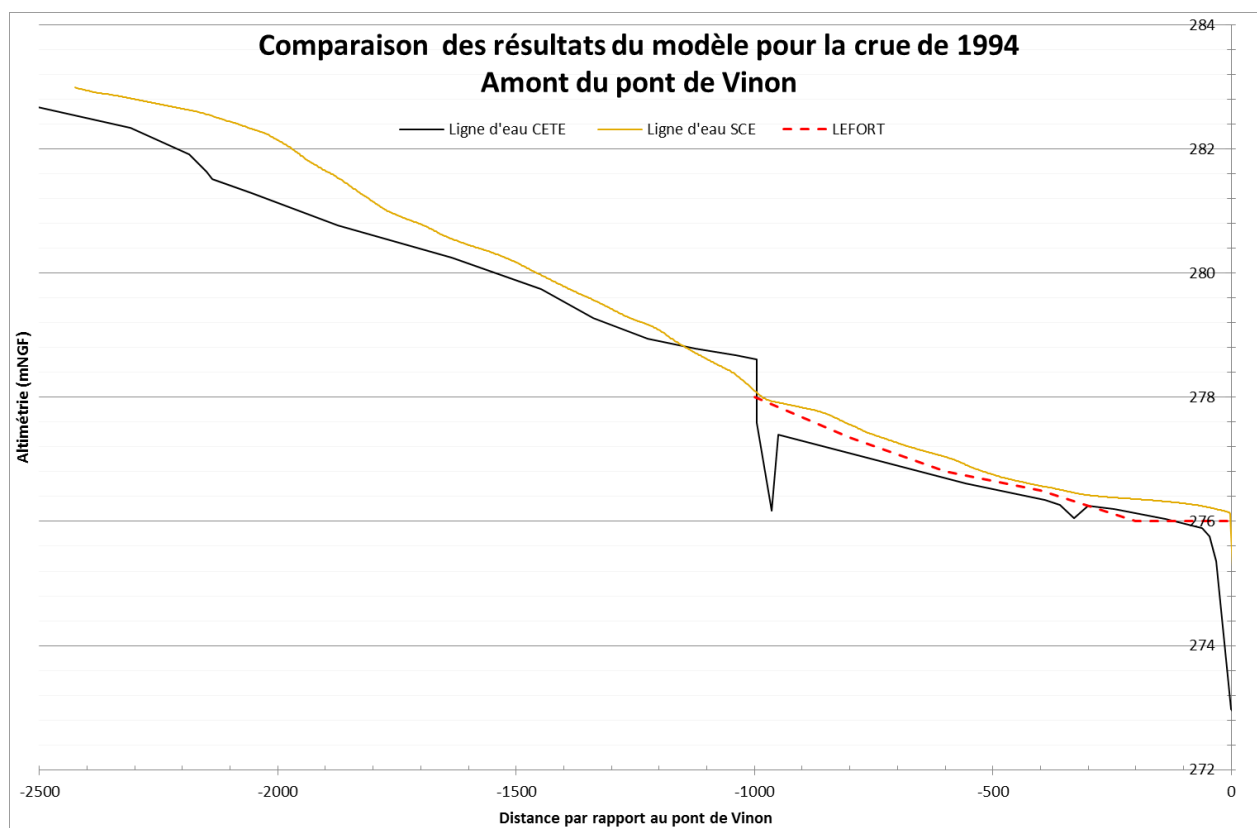


Figure 12: Evolution du profil en long du Verdon entre 2001, 2010 et 2016

**Il peut donc être considéré que la caractérisation du lit mineur à partir des données LIDAR est suffisamment représentatif du lit lors de la crue de 1994.**

La comparaison entre les résultats obtenus par le CETE, LEFORT et le présent modèle est retranscrite sur le graphique ci-dessous :



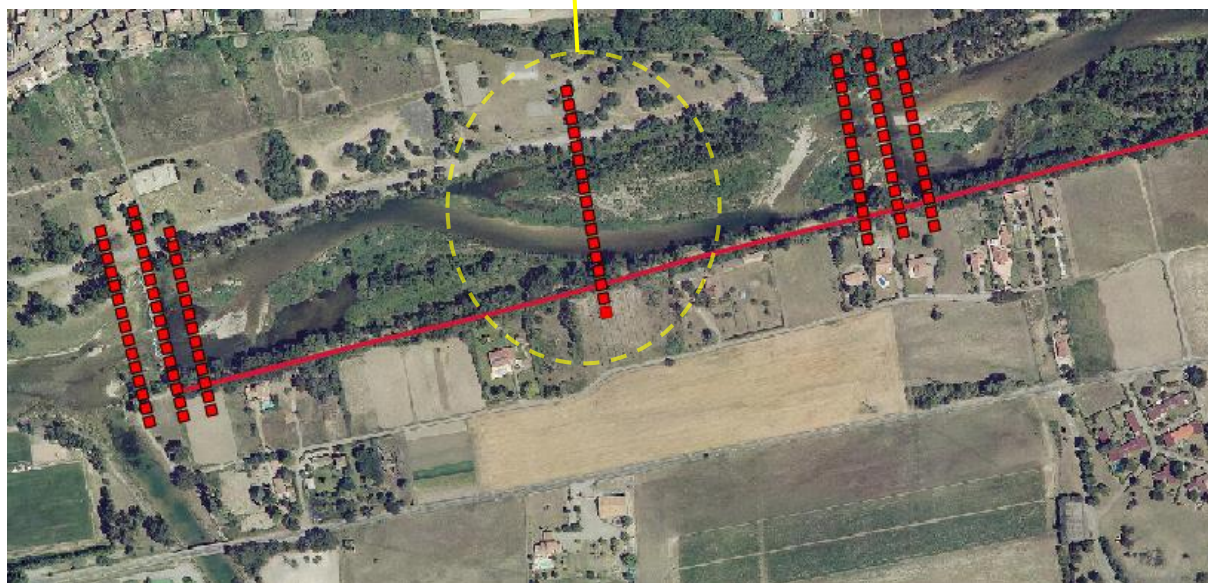
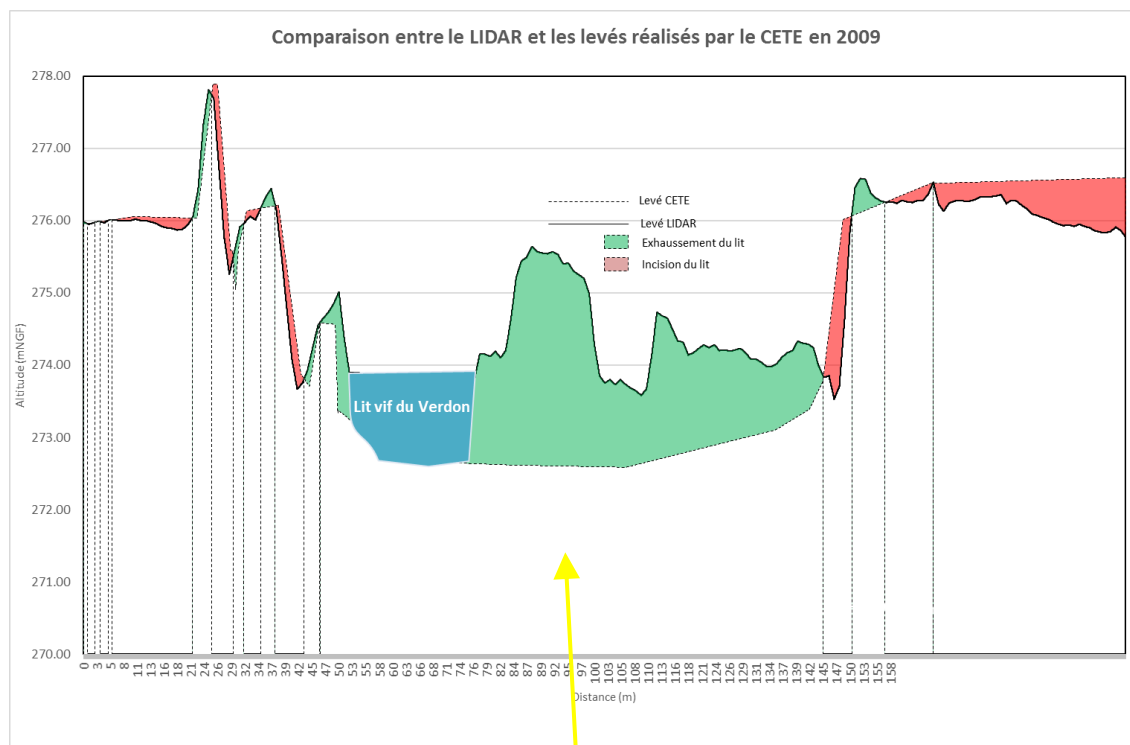
**Figure 13: Comparaison des résultats des différents modèles pour la crue de 1994 – Amont pont de Vinon**

**Les résultats obtenus sont en moyenne 20 cm au-dessus des résultats de monsieur LEFORT ce qui est considéré acceptable.**

En comparant les résultats avec les valeurs du CETE issues du PPRI, les différences obtenues sont comprises entre 50 cm et 1.00 m, voire localement 1.5 mètre.

Après analyse des données topographiques utilisées par le CETE (37 profils en travers relevés en 2009), il est estimé que les données exploitées sont peu fiables et de densité insuffisante pour caractériser suffisamment finement l'altimétrie lit mineur du Verdon.

En effet, il est à noter, en moyenne, une densité d'une trentaine de points pour caractériser le profil en travers du lit mineur du Verdon sur une distance comprise entre 150 et 200 mètres soit un point tous les 5 à 7 mètres. En comparant les profils en travers aux données extraites du LIDAR, des différences notables sont identifiables entre les deux jeux de données.



**Figure 14 : Comparaison des données topographiques issues du LIDAR et des levés topographiques réalisés en 2009 dans le cadre du PPRI (CETE)**

Une différence d'altimétrie du lit de plus de 2 mètres est identifiable localement entre le LIDAR et les levés réalisés en 2009 par le CETE. Ceci peut expliquer les différences de niveaux obtenus dans le modèle hydraulique.

La différence altimétrique entre les PHE et les valeurs issues du modèle hydraulique est de l'ordre de 10 cm.



Figure 15 : Comparaison entre les niveaux d'eau du modèle et les PHE de la crue de 1994

Il est considéré que les coefficients de Strickler retenus en amont du pont sont satisfaisants.

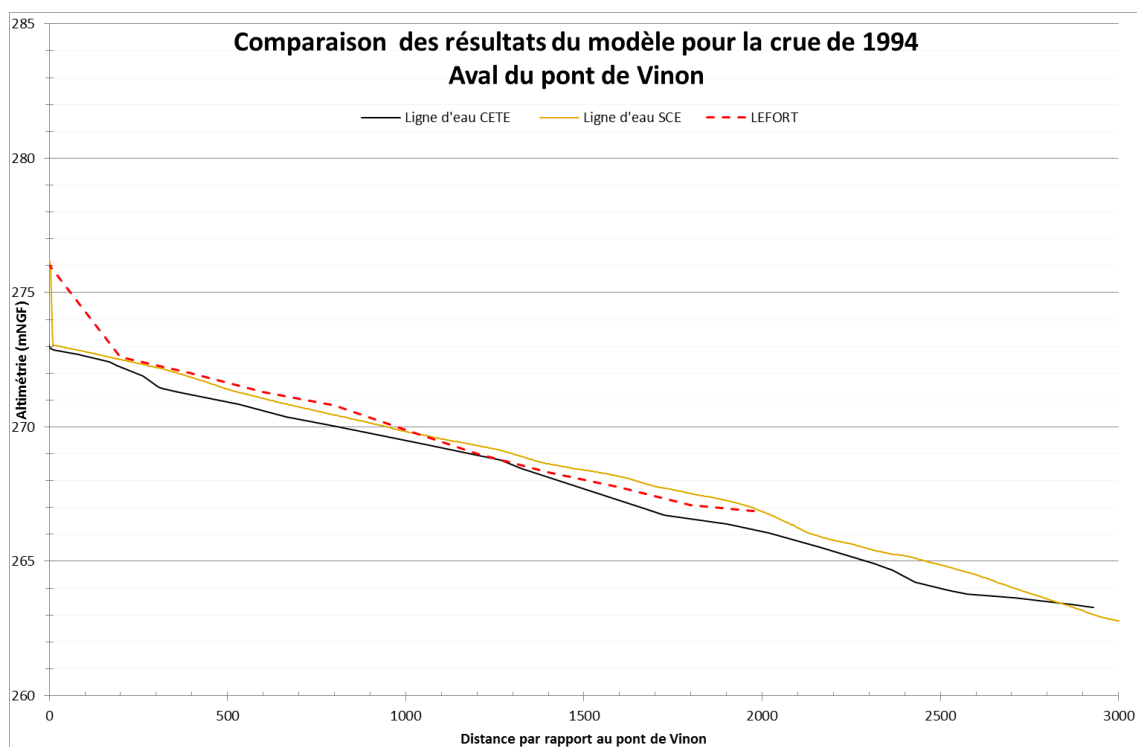
### 3.3.2.2. Aval du pont de Vinon

En aval du Pont de Vinon, l'étude morphologique a montré que la tendance depuis 2010 était davantage à l'incision avec un enfoncement moyen mesuré de 0,55 m, voir Figure 12.

Le constat d'incision sur la partie aval est néanmoins à relativiser du fait des données de 2001, qui indiquent un profil globalement proche au contexte de 2016. La comparaison entre 2016 et 2001 permet ainsi de préciser la dynamique alluviale en aval de Pont de Vinon depuis 15 ans :

- ▶ Une progression de l'incision sur 1,0 km en aval de Pont de Vinon jusqu'à la fin de la zone urbanisée (pK de 5,20 – référence précisée sur la Figure 12) avec une enfoncement moyen mesurés de près de 0,57 m, soit une progression de 3,8 cm par an ;
- ▶ En aval, entre le pK 5,20 et le début du remous du barrage de Cadarache (pK 8,50), la comparaison des données semble mettre en évidence un phénomène de respiration du lit avec un fond du cours d'eau qui s'est exhaussé entre 2001 et 2010, puis qui est redescendu au niveau de 2016, traduisant une oscillation du fond alluvial sous l'effet des rares crue morphogènes.





**Figure 16: Comparaison des résultats des différents modèles pour la crue de 1994 – Aval pont de Vinon**

Entre le pont de Vinon et environ 1000 mètres en aval, le modèle hydraulique donne en moyenne des résultats 15 cm en dessous de ceux de LEFORT. Plus en aval, les résultats sont en moyenne 30 centimètres au-dessus. Ces variations rejoignent les constats de l'évolution morphologique présentée ci-dessus.

*Note : les résultats de LEFORT sont extraits d'un graphique numérisé provenant du rapport d'expertise hydraulique de 1995 de qualité médiocre.*

En comparant les résultats avec les valeurs du CETE, les différences obtenues sont comprises entre 50 cm et 1 mètre. La même analyse que celle réalisée en amont du pont sur les données topographiques utilisées par le CETE permet d'identifier une différence notable avec le LIDAR.

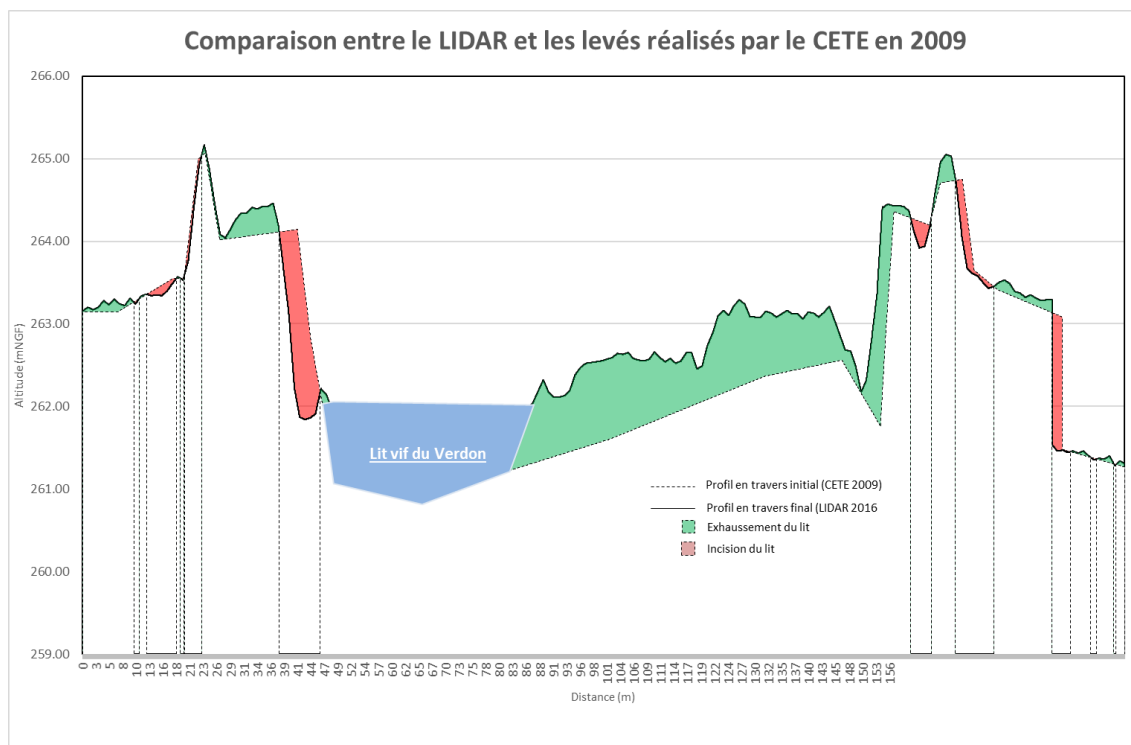


Figure 17 : Comparaison des données topographiques issues du LIDAR et des levés topographiques réalisés en 2009 dans le cadre du PPRI (CETE) – Profil 31

Il est considéré que les coefficients de Strickler retenus en aval du pont sont satisfaisants.

### 3.3.3. Scénarios modélisés

Pour la mise à jour des cartographies du PPRI de la commune de Vinon sur Verdon, les scénarios suivants ont été modélisés :

- ▶ 1280 m<sup>3</sup>/s, sans la digue amont ;
- ▶ 1280 m<sup>3</sup>/s, sans les digues aval ;
- ▶ Scénario de brèche de 50m en aval du pont en rive droite, 1280 m<sup>3</sup>/s ;
- ▶ Scénario de brèche de 50m en aval du pont en rive gauche, 1280 m<sup>3</sup>/s ;
- ▶ 1700 m<sup>3</sup>/s, sans les digues amont et aval.



**Figure 18 : Localisation des brèches**

Les cartographies des différents scénarios sont disponibles en annexe du présent rapport.

### 3.3.4. Cartographie de l'aléa et réglementaire

Pour réaliser les cartographies de l'aléa, les scénarios suivants ont été superposés :

- ▶ 1280 m<sup>3</sup>/s sans la sigue amont
- ▶ 1280 m<sup>3</sup>/s sans les digues aval
- ▶ 1280 m<sup>3</sup>/s brèche rive gauche
- ▶ 1280 m<sup>3</sup>/s brèche rive droite.

Ces sont ensuite les hauteurs et les vitesses les plus importantes de chaque scénario qui ont été gardées puis lissées.

Les résultats des hauteurs et des vitesses sont présentées en annexe.

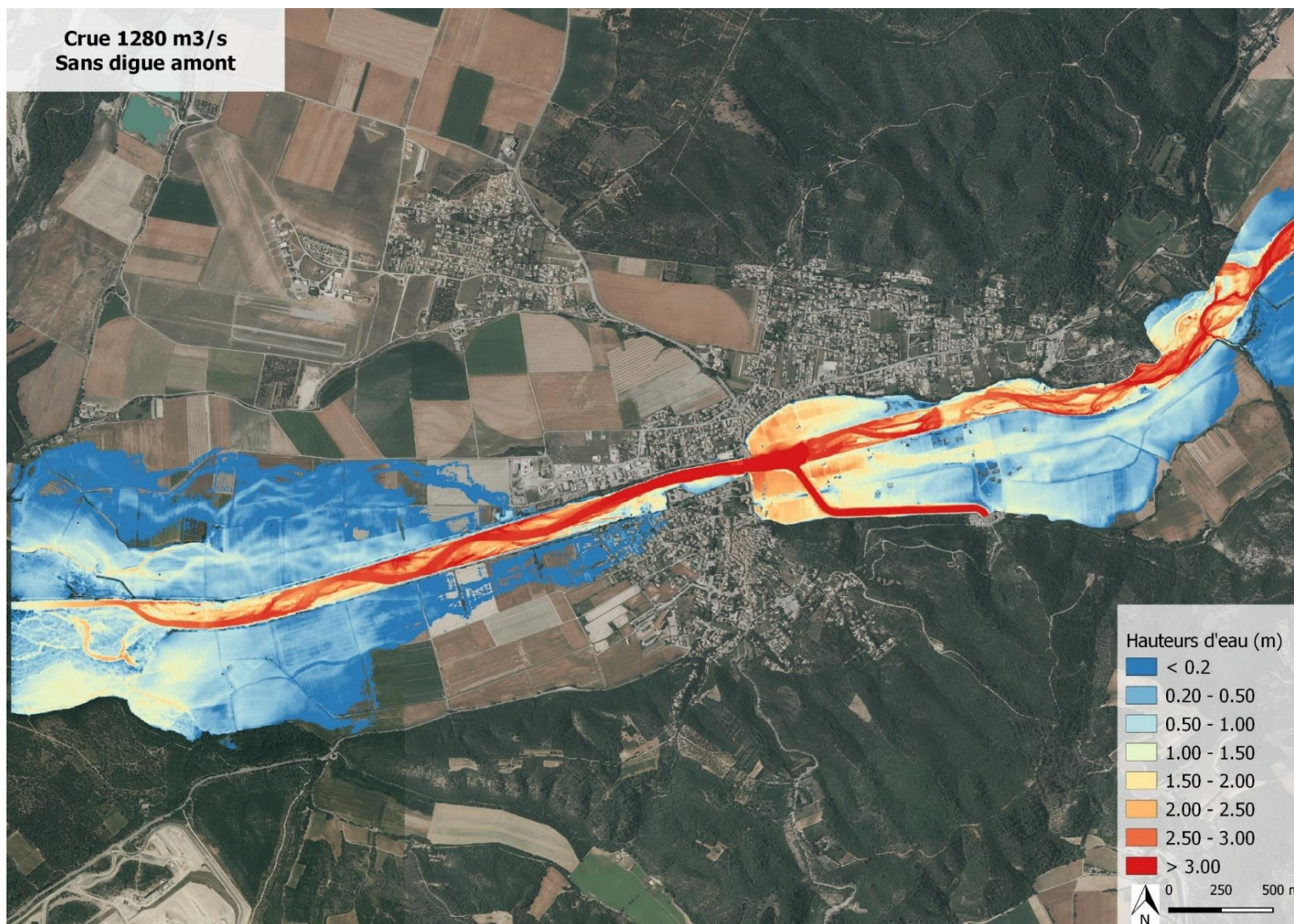
## BIBLIOGRAPHIE

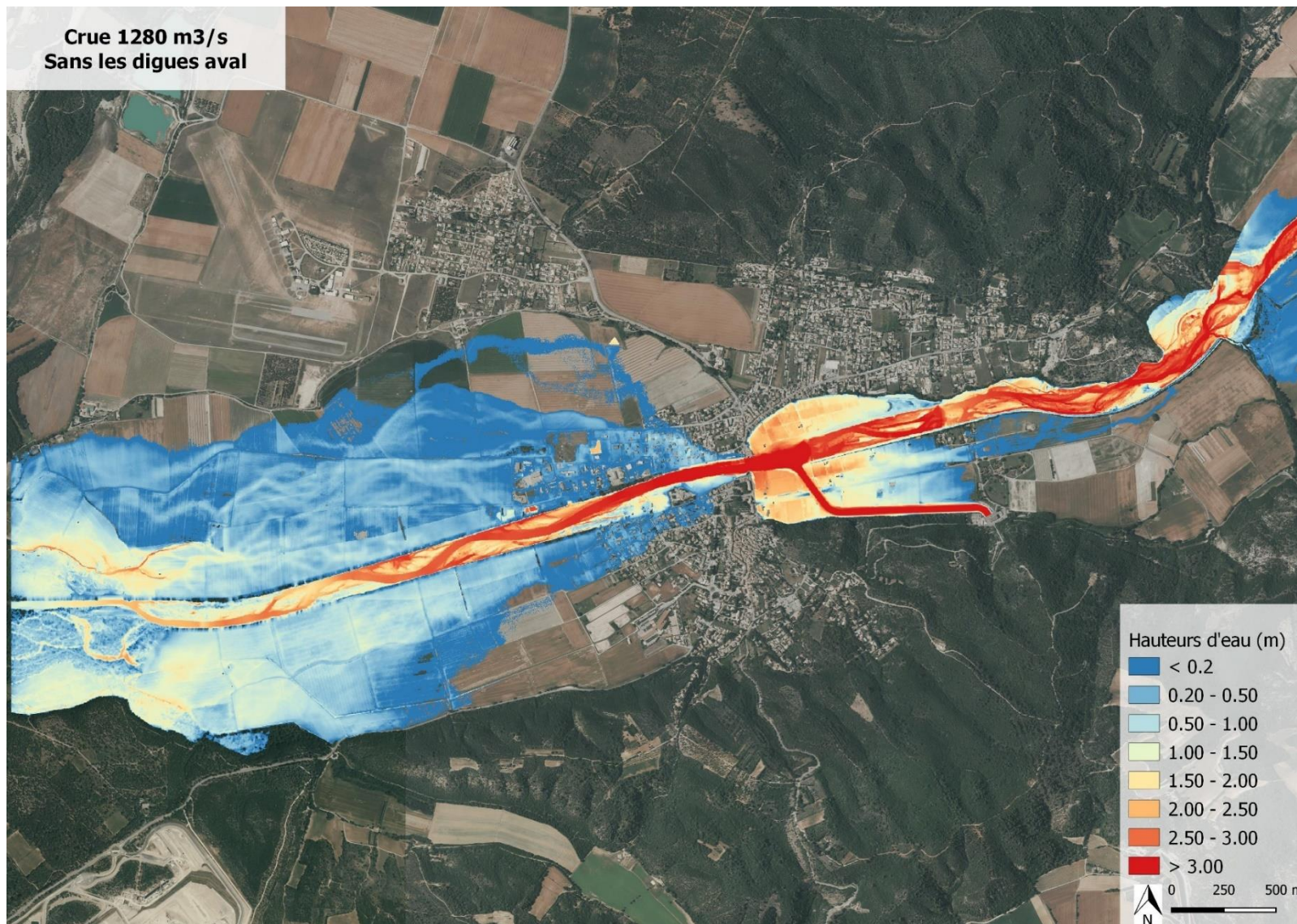
Etudes et documents bibliographiques consultés dans le cadre du présent rapport				
Référence	Date	Intitulé	Producteur	Commandé par
<b>Données hydrologique/hydrauliques</b>				
R001	Mai	1995	Rivière Le Verdon – Crue de novembre 1994 – Expertise hydraulique	P. LEFORT Commune de Vinon-sur-Verdon
R002	Juin	2000	Zone d'activité du PAS DE MENC Etude du risque d'inondation	SCP Département du Var
R003	Septembre	2000	Etude du risque inondation sur la commune de Vinon-sur-Verdon	SCP Département du Var
R004	Avril	2002	Schéma Global de Gestion du Verdon Tome 2 - Hydrologie des crues Tome 4 - Analyse de l'inondabilité	SOGREAH Parc Naturel Regional du Verdon
R005	Septembre	2012	Remarques sur les débits maximum des crues dans le cours inférieur du Verdon	P. LEFORT
R006	Mai	2006	Élaboration d'un P.P.R. multirisques sur la commune de Vinon sur Verdon PHASE 1 : Recueil et synthèse des connaissances existantes, Définition du contenu des études complémentaires -Avis sur les crues de référence	
R007	Juin	2006	Zone artisanale du Pas de Menc 2 Etude du risque d'inondation	HGM Commune de Vinon-sur-Verdon
R008	Février	2012	Porter à connaissance de l'Etat relatif à la définition de l'aléa inondation sur la commune de Vinon-sur-Verdon lié à la présence du Verdon – DDTM83 – Février 2012*	CETE DDTM83
R009	Décembre	2012	PPRN prévisibles multirisques sur la commune de Vinon-sur-Verdon Phase 2 - Etudes hydrauliques complémentaires - Proposition de l'aléa inondation	CETE DDTM83
R010	Novembre	2015	Projet de confortement des digues du Verdon – Etude des digues en aval du pont du Verdon et Programme de rénovation des ouvrages	SAUNIER Infra Commune de Vinon-sur-Verdon

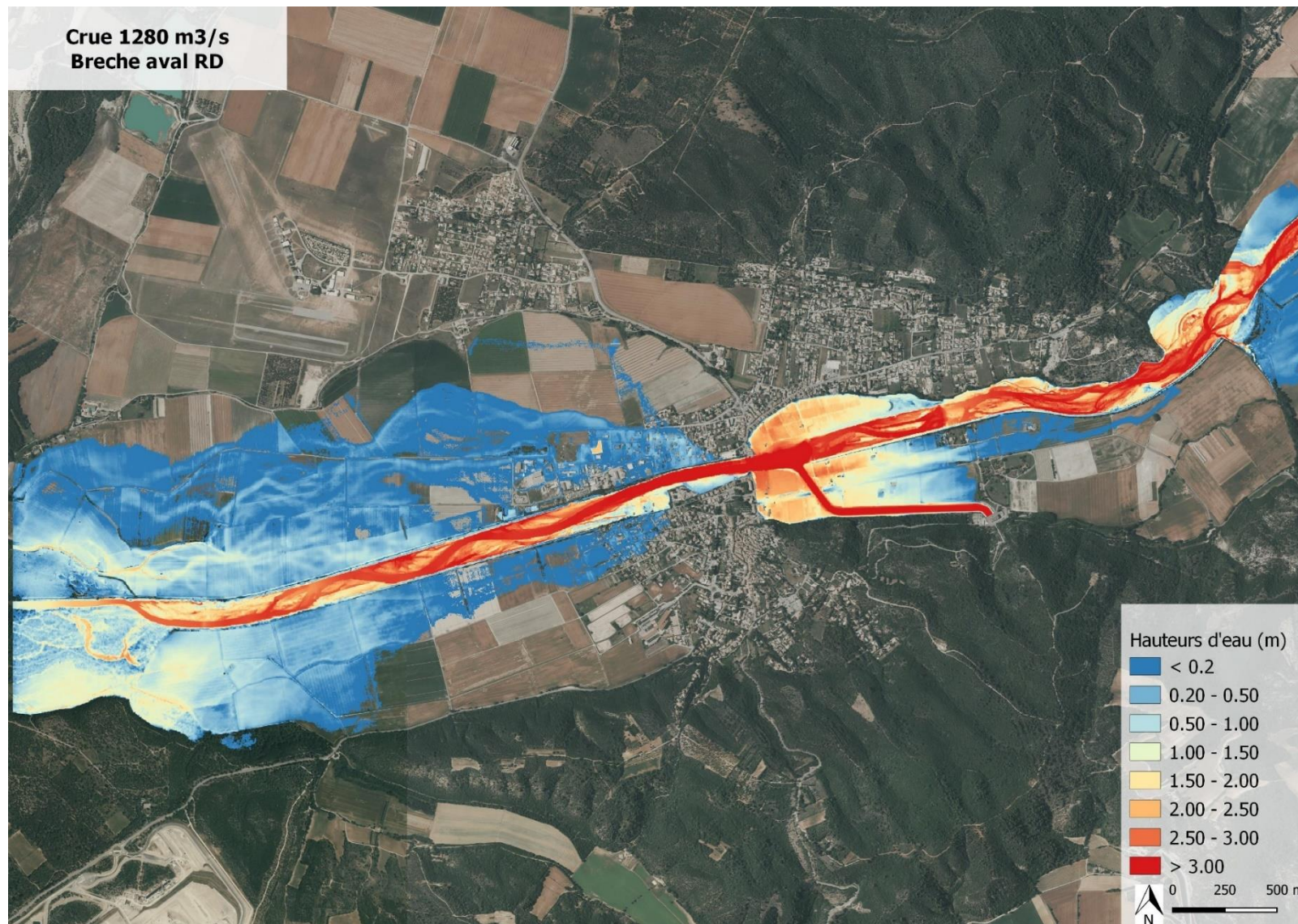
## **ANNEXES**

Annexe 1 – Cartographie des hauteurs

**NOTE EXPLICATIVE**  
MISE A JOUR DE LA CARTOGRAPHIE DU PPRI

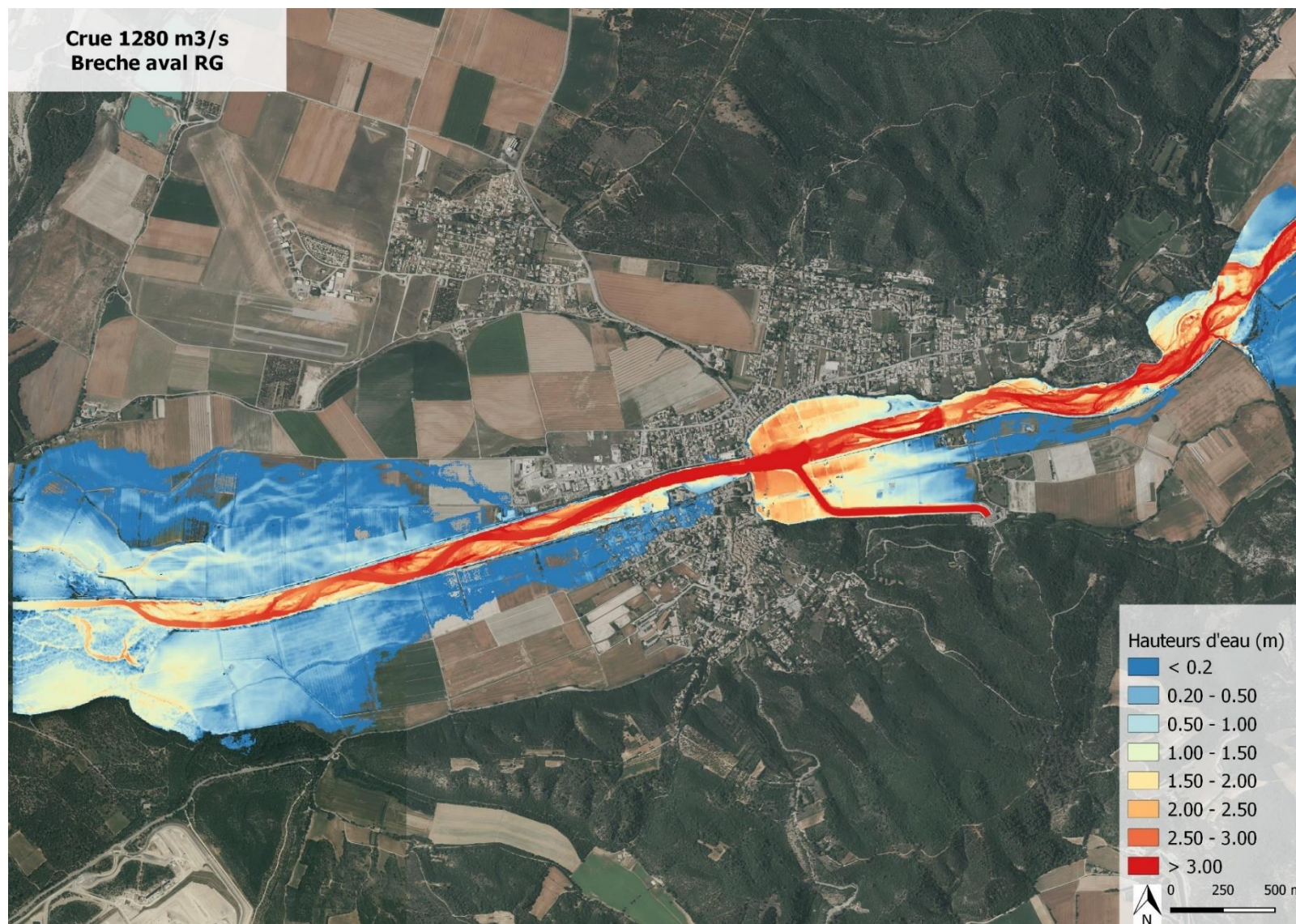


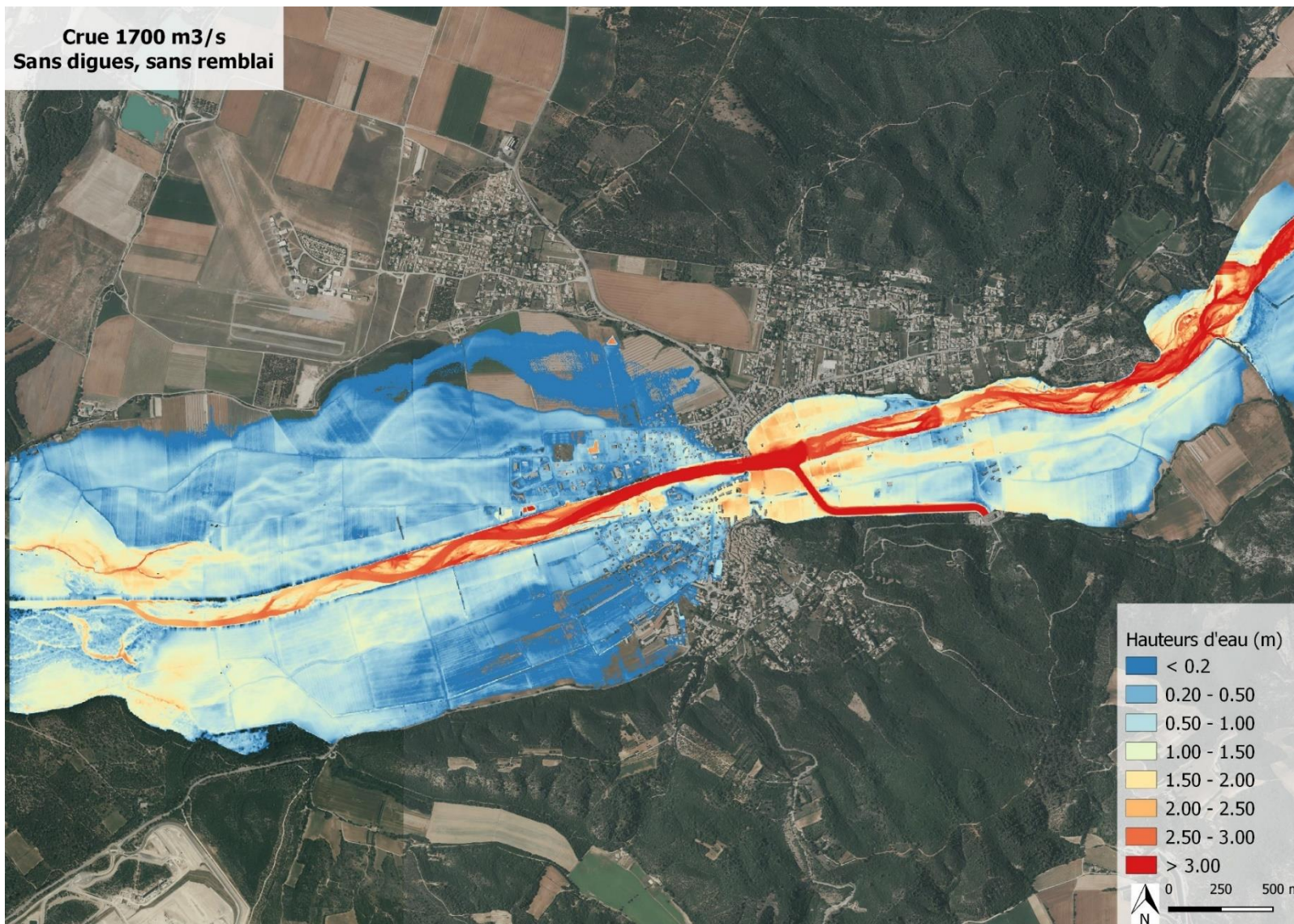




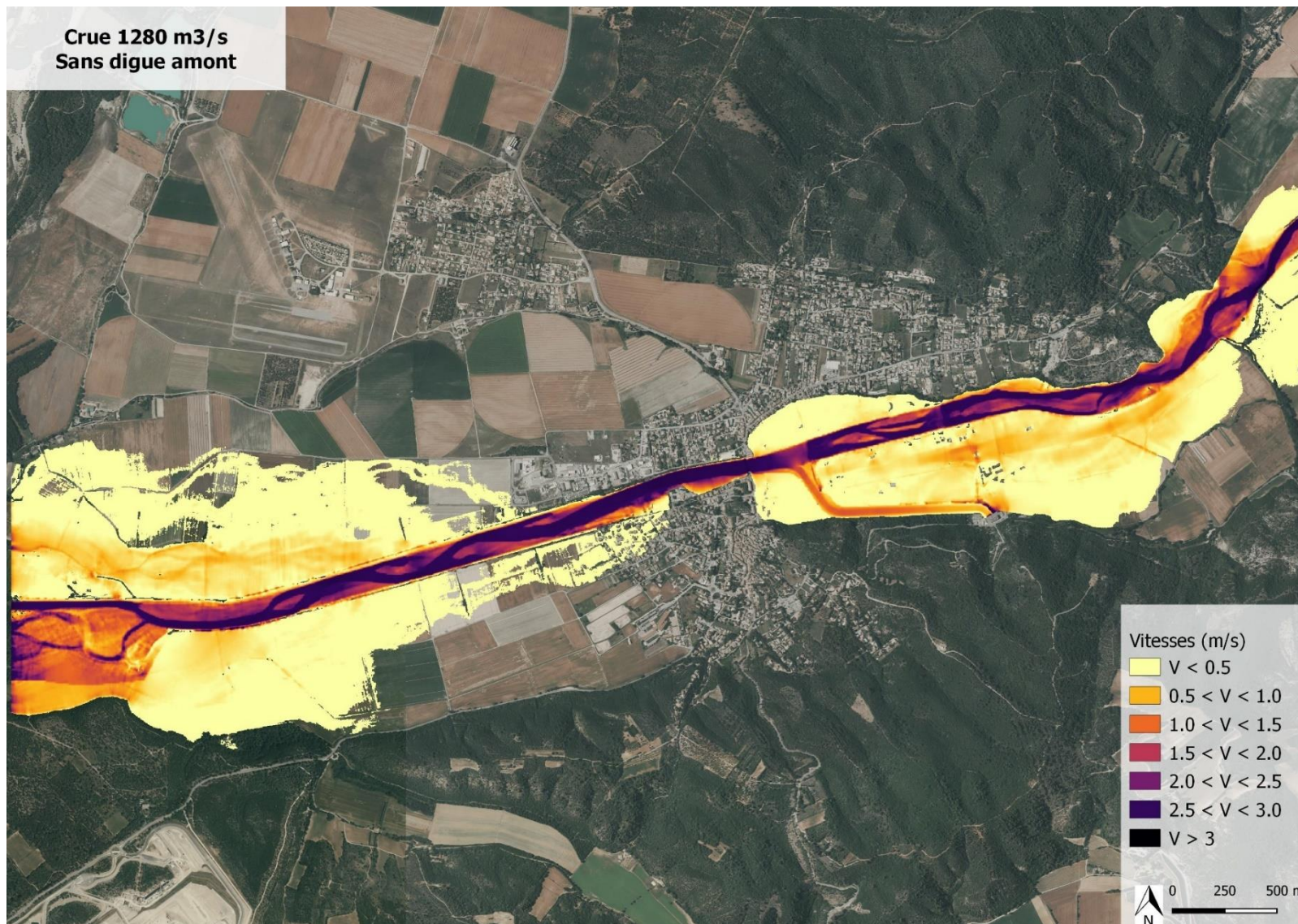


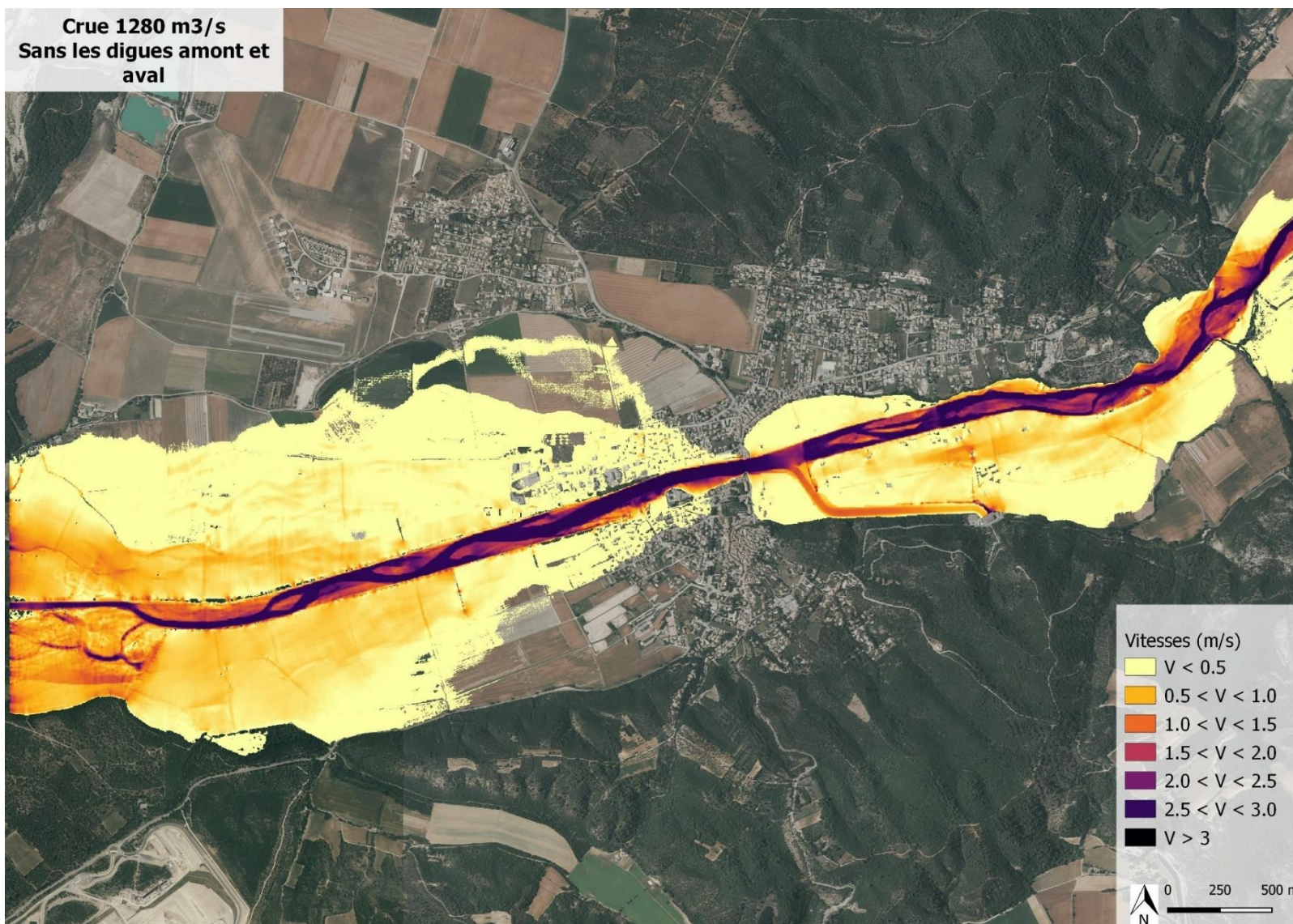
**NOTE EXPLICATIVE**  
MISE A JOUR DE LA CARTOGRAPHIE DU PPRI



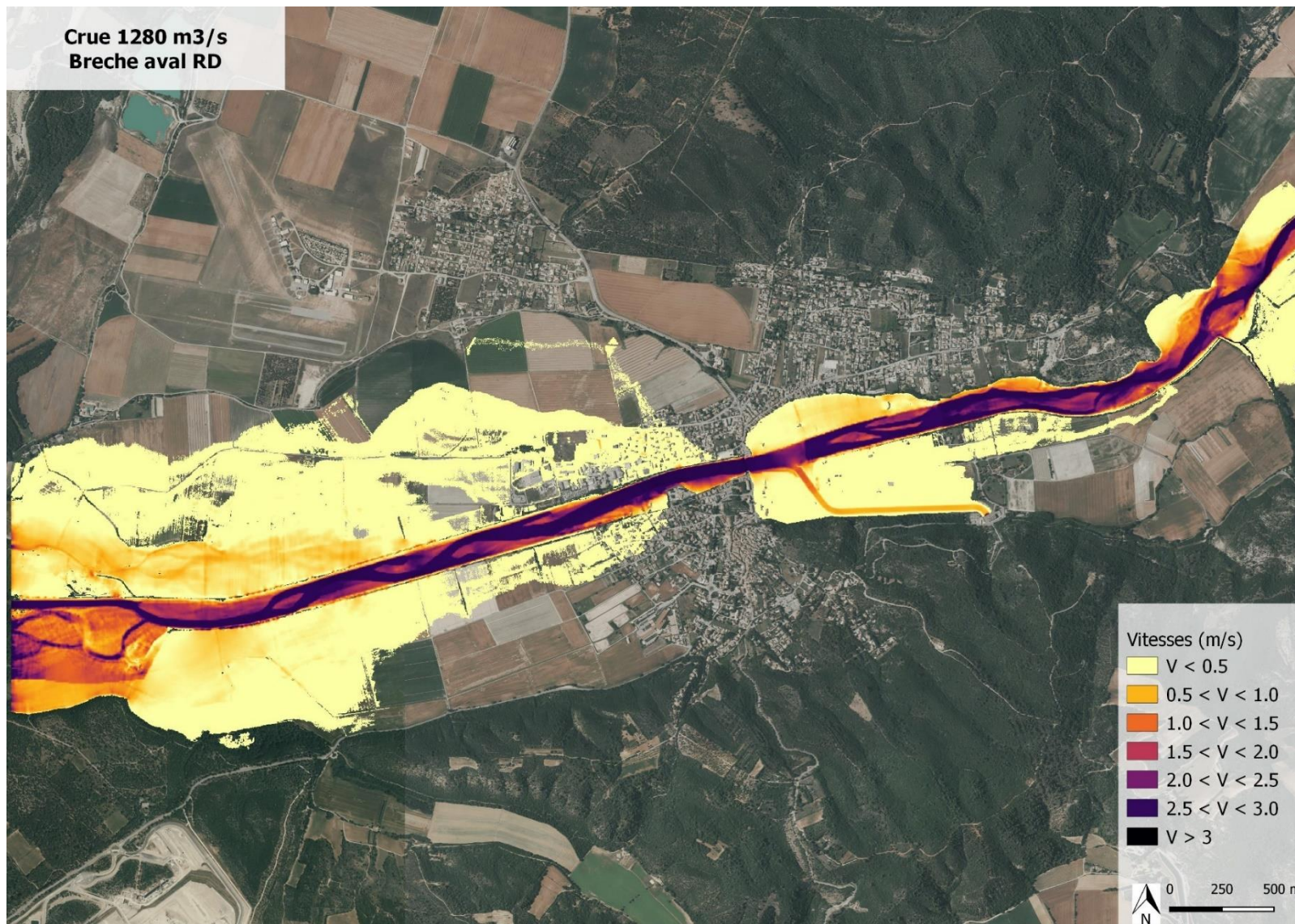


Annexe 2 – Cartographie des vitesses

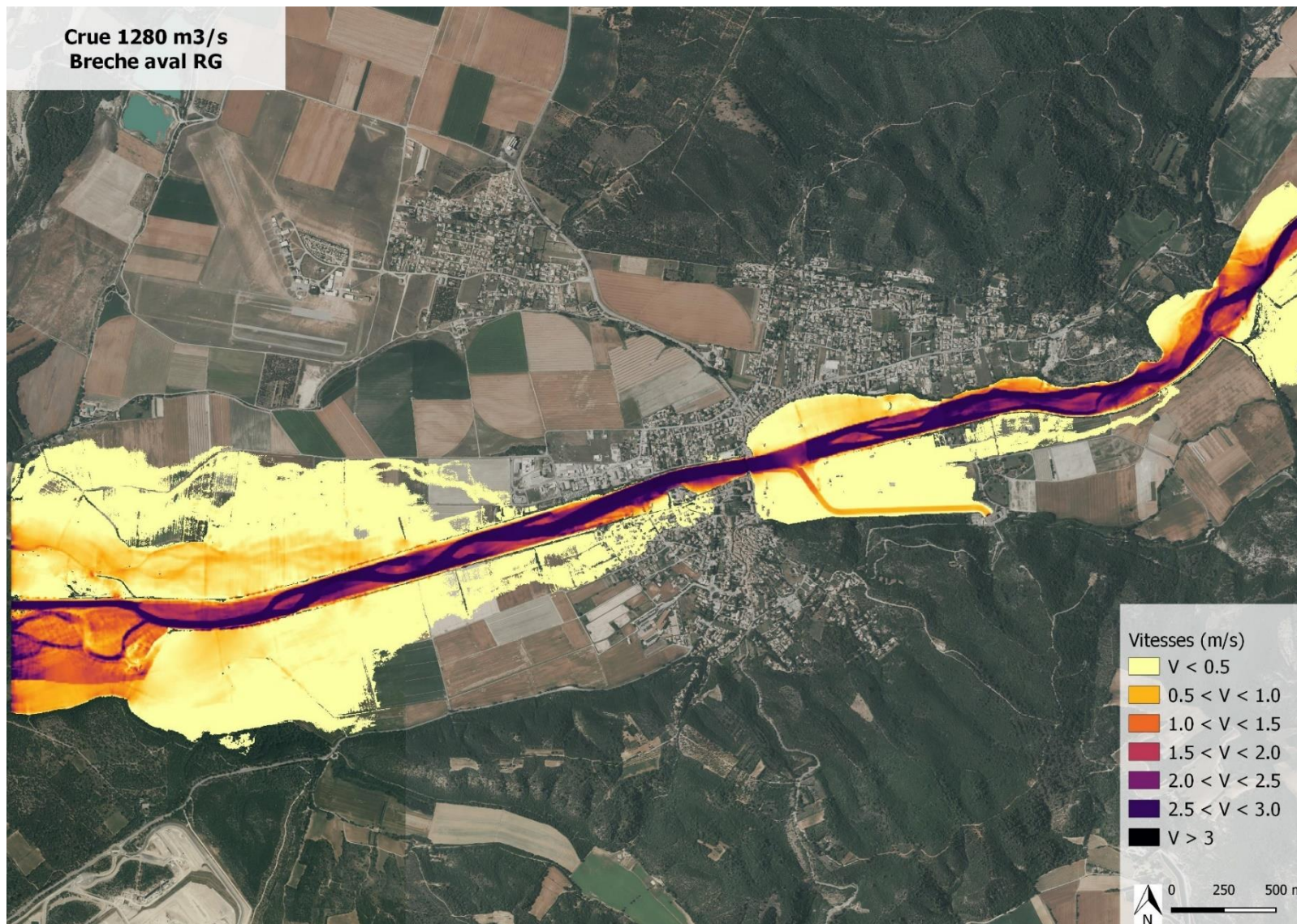


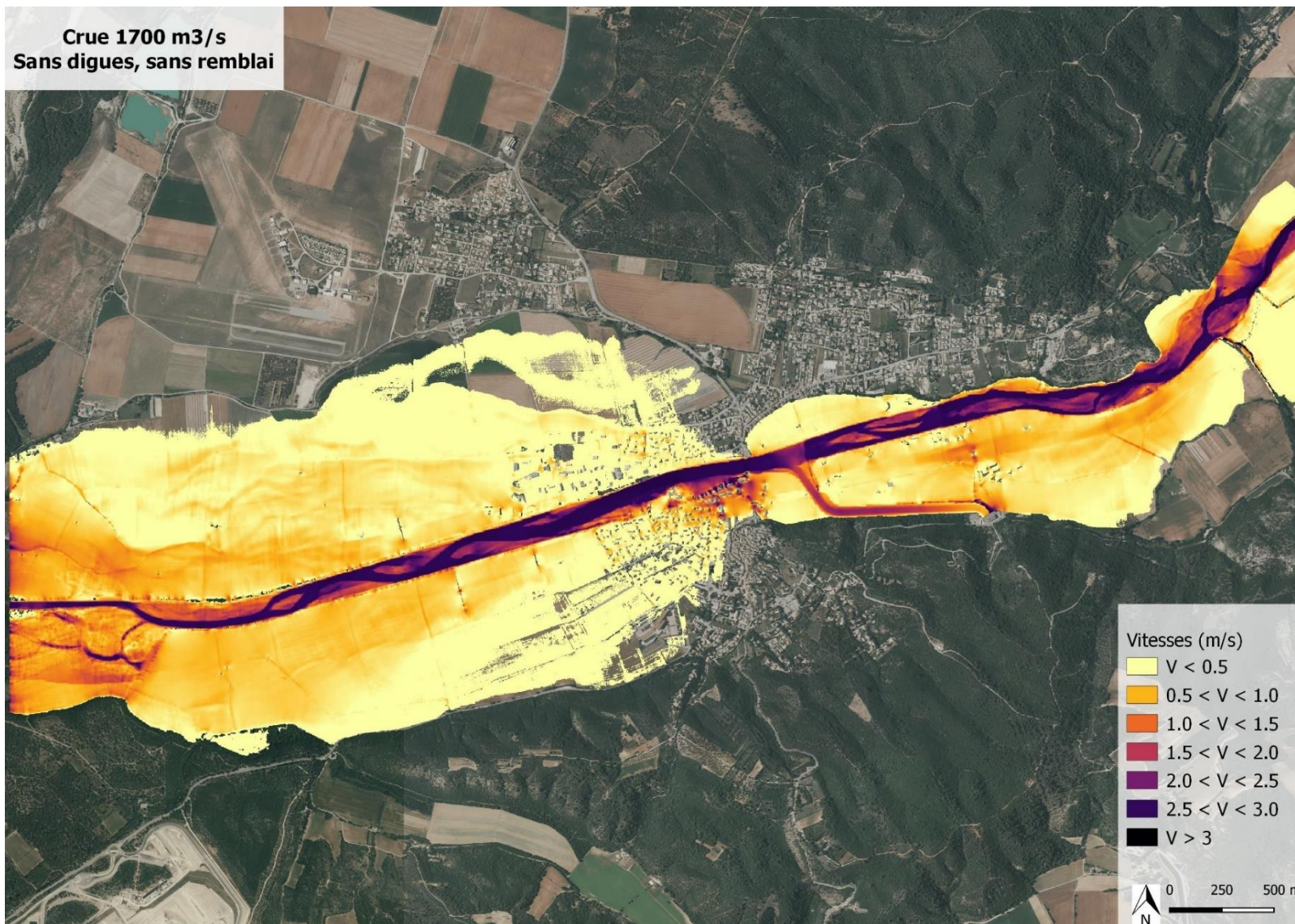


NOTE EXPLICATIVE  
MISE A JOUR DE LA CARTOGRAPHIE DU PPRI

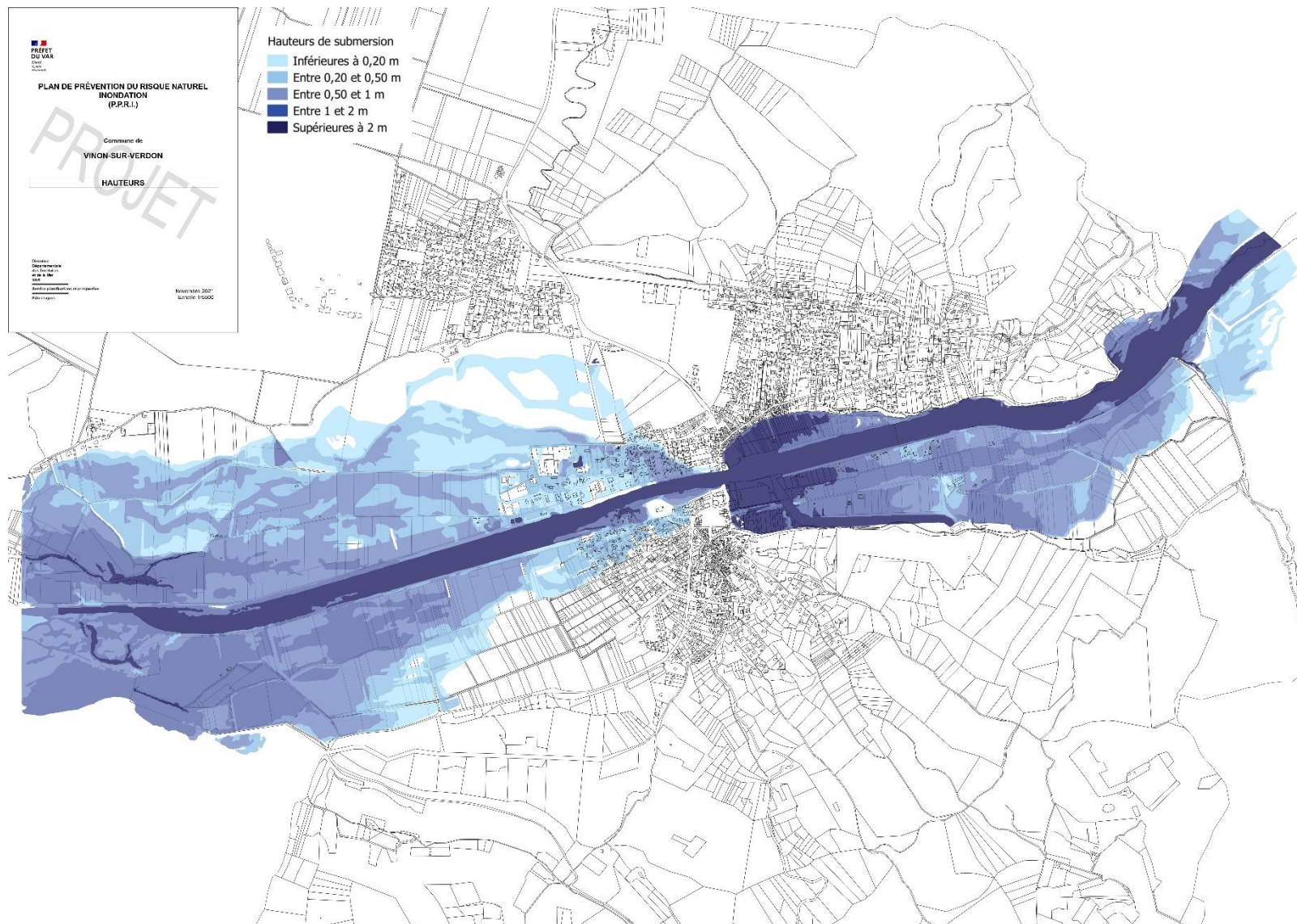


NOTE EXPLICATIVE  
MISE A JOUR DE LA CARTOGRAPHIE DU PPRI



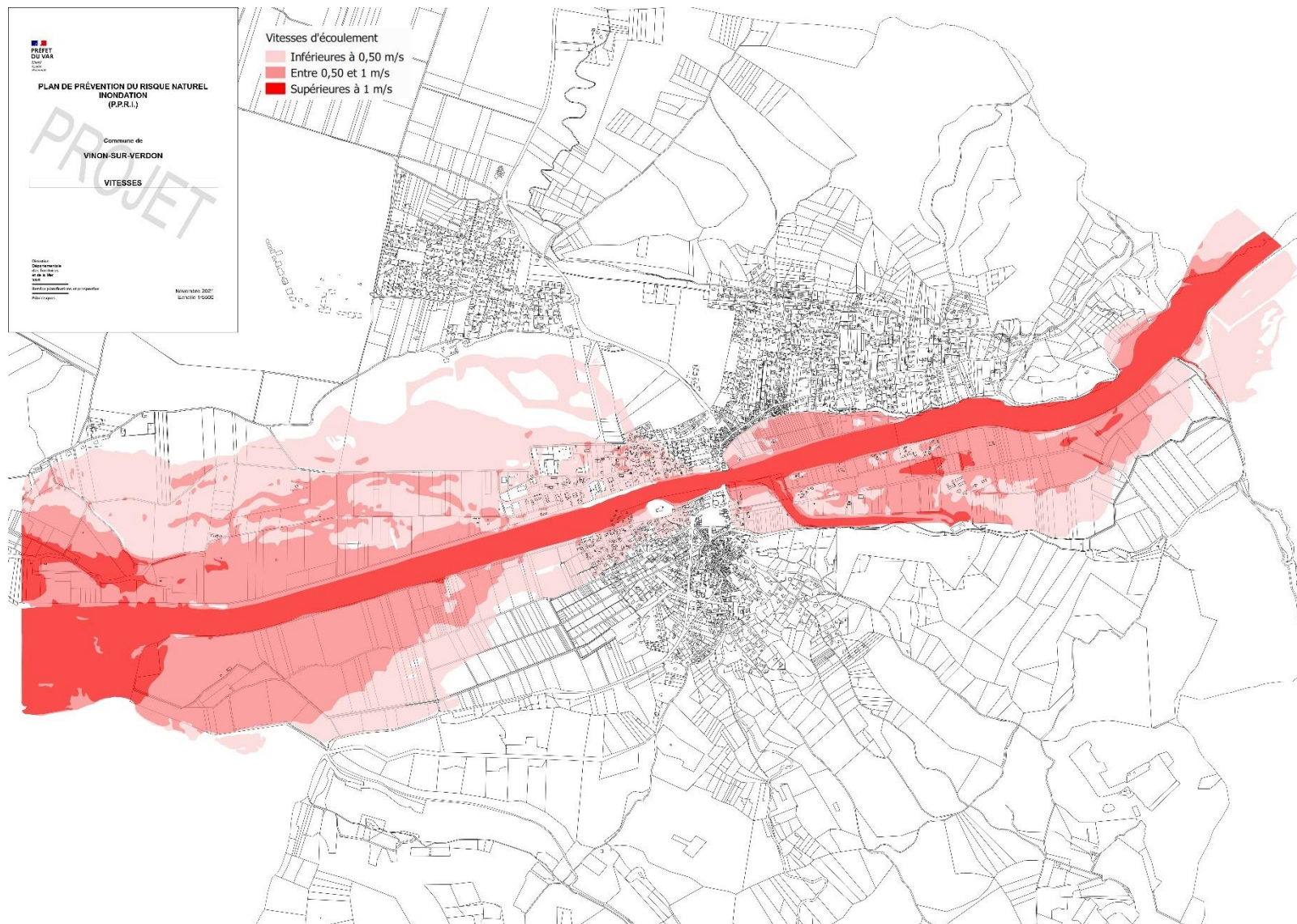


Annexe 3 – Cartographie finale des hauteurs lissées

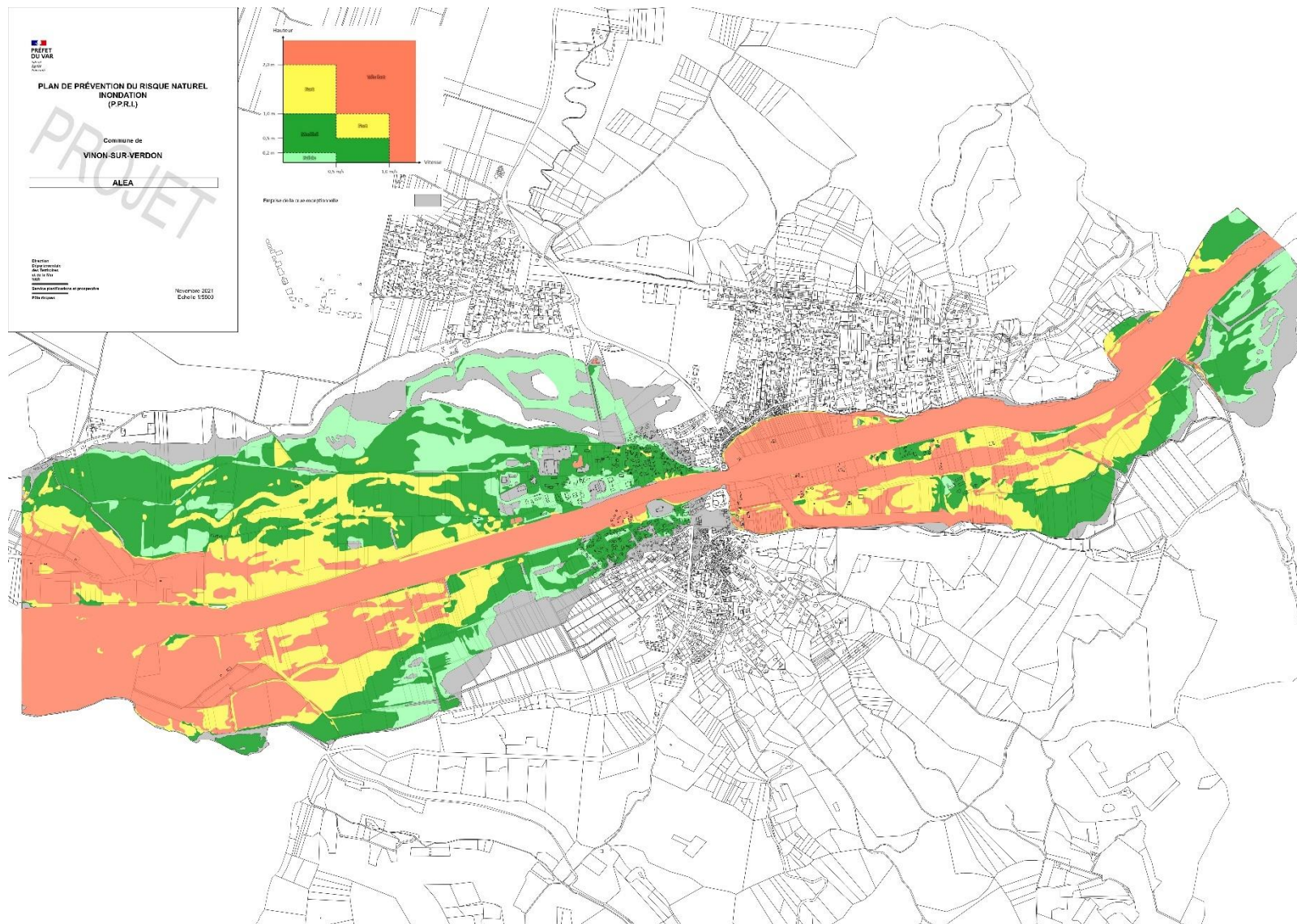




Annexe 4 – Cartographie finale des vitesses lissées



Annexe 5 – Cartographie finale de l'aléa lissé







**sce**

Aménagement  
& environnement

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

GRUPE KERAN