

Projet de parc photovoltaïque sur la commune de Valensole (04)

Etude hydraulique



Rapport n° 121882 / version B – Mars 2023

Projet suivi par Nicolas DU BOISBERRANGER – 06 11 79 49 36 – nicolas.duboisberranger@anteagroup.fr

Fiche signalétique

Projet de parc photovoltaïque sur la commune de Valensole (04)

Etude hydraulique

CLIENT

SITE

ENGIE GREEN

Le Triade II
Parc d'activités Millénaire II
215, rue Samuel Morse
CS 20756
34967 MONTPELLIER CEDEX 2

Anaïk MOURRAIN
Ingénieure Structure/Génie Civil
Service Ingénierie - Direction construction
anaik.mourrain@engie.com
06 08 30 99 29

RAPPORT D'ANTEA GROUP

Responsable du projet Nicolas DU BOISBERRANGER

Interlocuteur commercial Nicolas DU BOISBERRANGER

Implantation d'Aubagne

Implantation chargée du suivi du projet 04.42.08.70.70

secretariat.marseille-fr@anteagroup.com

Rapport n° 121882

Version n° Version B

Projet n° PACP220319

	Nom	Fonction	Date
Rédaction	Arthur MULLER	Ingénieur d'études	Mars 2023
Approbation	Nicolas DU BOISBERRANGER	Directeur de projet	Mars 2023

Suivi des modifications

Indice Version	Date de révision	Nombre de pages	Objet des modifications
A	02/2023	28	Version initiale
B	03/2023	30	Ajout de précisions à la demande d'ENGIE GREEN : <ul style="list-style-type: none">• Valeurs des hauteurs et des vitesses maximales en état initial et en état projet,• Précisions sur le calage,• Ajout de cartes zoomées sur le projet.

Sommaire

1.	Définition du projet	6
1.1.	Contexte et objectifs	6
1.2.	Description du projet	7
1.2.1.	Ouvrages et implantations	7
1.2.2.	Préaux photovoltaïques	7
1.3.	Méthodologie mise en œuvre	9
2.	Analyse hydraulique et modélisation	10
2.1.	Contexte hydrographique général	10
2.2.	Topographie et ouvrages	11
2.2.1.	Topographie	11
2.2.2.	Ouvrages	12
2.2.3.	Lignes de contrainte	12
2.3.	Hypothèses de modélisation	13
2.3.1.	Présentation du logiciel	13
2.3.2.	Occupation du sol	13
2.3.3.	Conditions aux limites	13
2.3.4.	Maillage	14
2.4.	Calage	15
3.	Diagnostic hydraulique et incidence du projet	18
3.1.	Ecoulement en état actuel	18
3.1.1.	Crue modélisée	18
3.1.2.	Dynamique hydraulique	18
3.2.	Etat projeté	22
3.2.1.	Modélisation avec les aménagements photovoltaïques	22
3.2.2.	Modélisation avec embâcles	25
4.	Synthèse et conclusion	28

Table des figures

Figure 1 : Localisation du projet	6
Figure 2 : Plan d'implantation du projet (source : ENGIE GREEN)	7
Figure 3 : Coupe transversale de la première configuration (source : ENGIE GREEN)	8
Figure 4 : Coupe transversale de la deuxième configuration (source : ENGIE GREEN)	8
Figure 5 : Hydrographie au niveau de la zone d'étude	10
Figure 6 : Extrait du PPRI de Valensole	11
Figure 7 : Topographie sur l'emprise du modèle	12
Figure 8 : Hydrogramme d'entrée de la crue centennale théorique de la Durance à Manosque (Q100) (source : SMAVD)	14
Figure 9 : Maillage dense au droit du site du projet	15
Figure 10 : Localisation des points utilisés pour le calage	16
Figure 11 : Lamme d'eau théorique maximale - état initial (m) - Q100	19
Figure 12 : Lamme d'eau théorique maximale au droit du projet - état initial (m)- Q100	20
Figure 13 : Vitesse d'écoulement théorique maximale - état initial (m/s) - Q100	21
Figure 14 : Vitesse d'écoulement théorique maximale au droit du projet - état initial (m/s) - Q100	22
Figure 15 : Hauteur d'eau théorique maximale en état final (m) - Q100	23
Figure 16 : Différences de hauteur d'eau maximale théorique entre état initial et état final (m) - Q100	23
Figure 17 : Vitesses d'écoulement maximales théoriques en état final (m/s) - Q100	24
Figure 18 : Différences de vitesses d'écoulement maximales théoriques entre état initial et état final (m/s) - Q100	25
Figure 19 : Hauteur d'eau maximale théorique en état final avec embâcles (m) - Q100	26
Figure 20 : Différences de hauteur d'eau maximale théorique entre état initial et état final avec embâcles (m) - Q100	26
Figure 21 : Vitesses d'écoulement maximales théoriques en état final avec embâcles (m/s) - Q100	27
Figure 22 : Différences de vitesses d'écoulement maximales entre état initial et état final avec embâcles (m/s) - Q100	27

Table des tableaux

Tableau 1 : Coefficients de Manning retenus en fonction de l'occupation du sol.....	13
Tableau 2 : Valeurs obtenues après calage.....	16

1. Définition du projet

1.1. Contexte et objectifs

La société ENGIE Green projette la construction d'un parc photovoltaïque-agrioltaïsme dans le département des Alpes-de-Haute-Provence, sur la commune de Valensole (04). Le site est localisé en zone inondable.

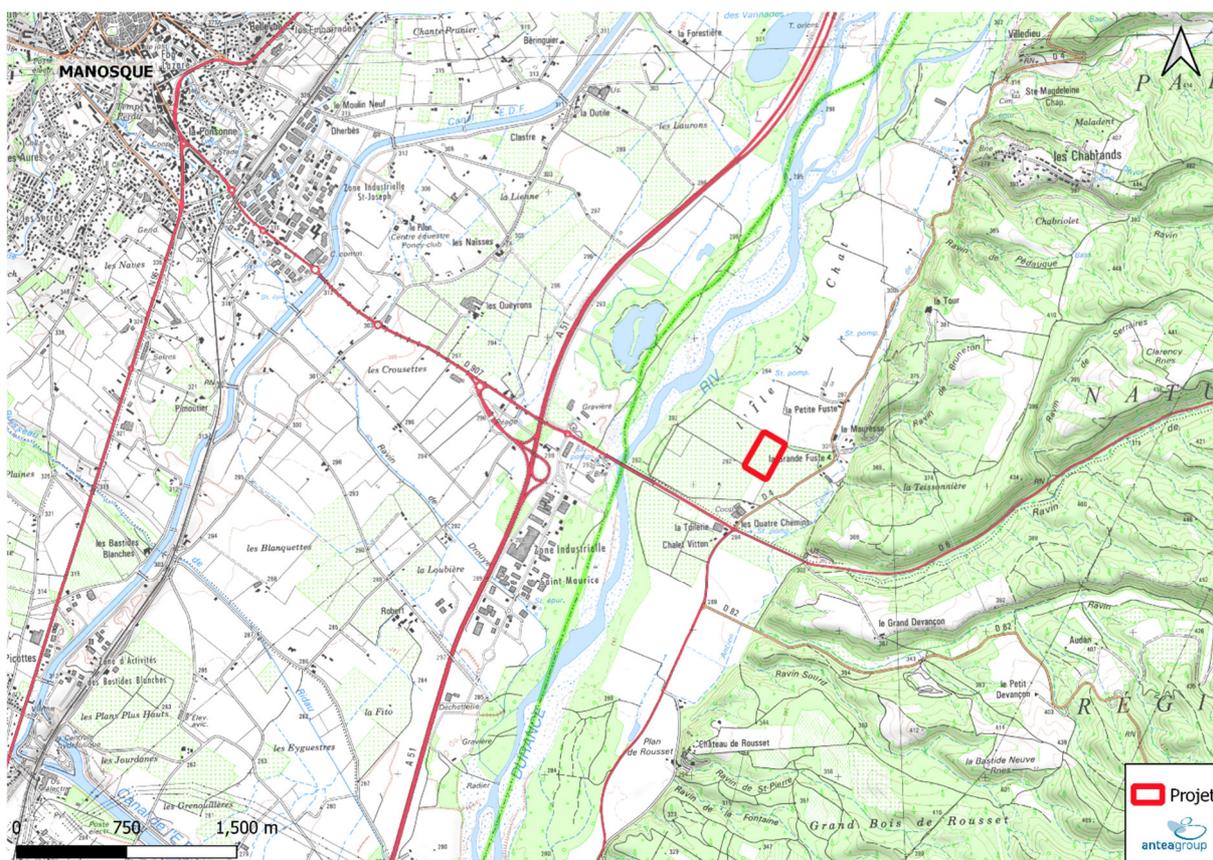


Figure 1 : Localisation du projet

Antea Group a été missionné pour préciser le risque inondation sur le site du projet, définir les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement maximales au droit du site et estimer l'incidence du projet sur les inondations.

1.2. Description du projet

1.2.1. Ouvrages et implantations

Le projet comprend la mise en œuvre de préaux photovoltaïques, d'une piste et d'un poste de livraison, selon le plan de masse en figure 2 :



Figure 2 : Plan d'implantation du projet (source : ENGIE GREEN)

1.2.2. Préaux photovoltaïques

Les préaux photovoltaïques seront constitués par un assemblage de panneaux photovoltaïques fixés sur des poteaux et à une hauteur de 5,5 m/TN. Il existe deux configurations suivant la distance qui sépare deux poteaux en largeur. La première configuration concerne les panneaux distants de 3,80 m et la deuxième configuration les panneaux distants de 7,60 m en largeur.

Les panneaux sont distants de 9,70 m en longueur pour chacune des configurations.

Deux coupes transversales ont été transmises par Engie Green pour les deux configurations (cf. Figure 3 et Figure 4).

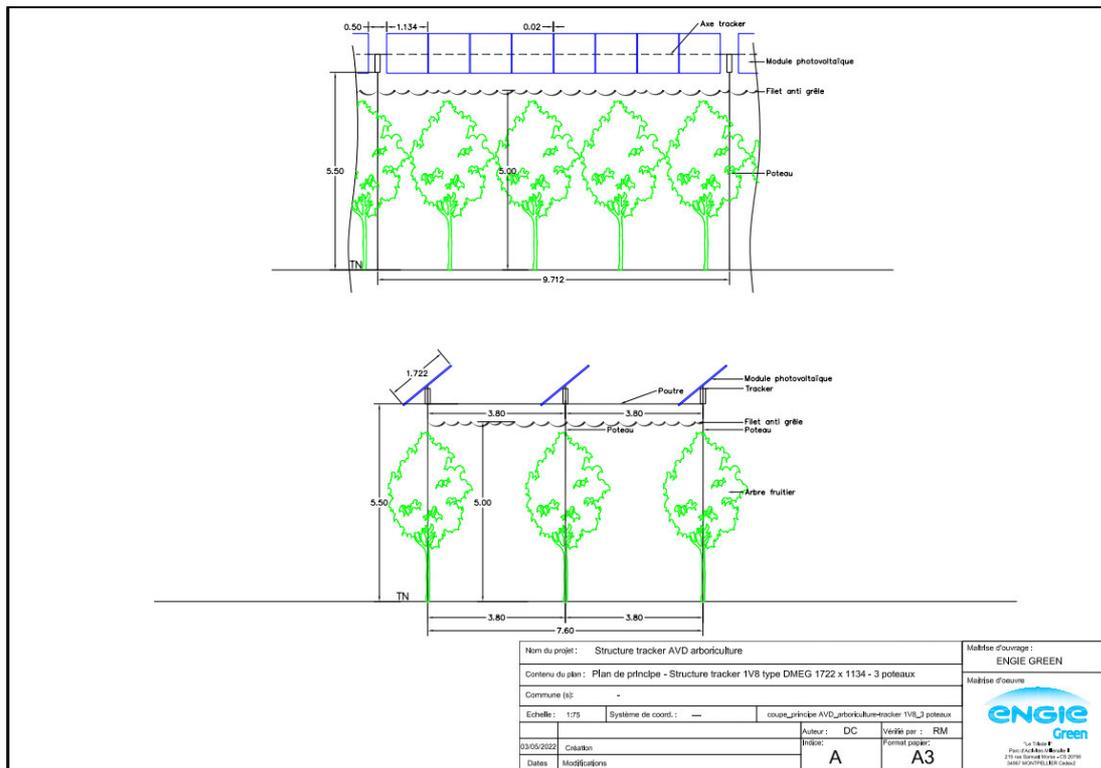


Figure 3 : Coupe transversale de la première configuration (source : ENGIE GREEN)

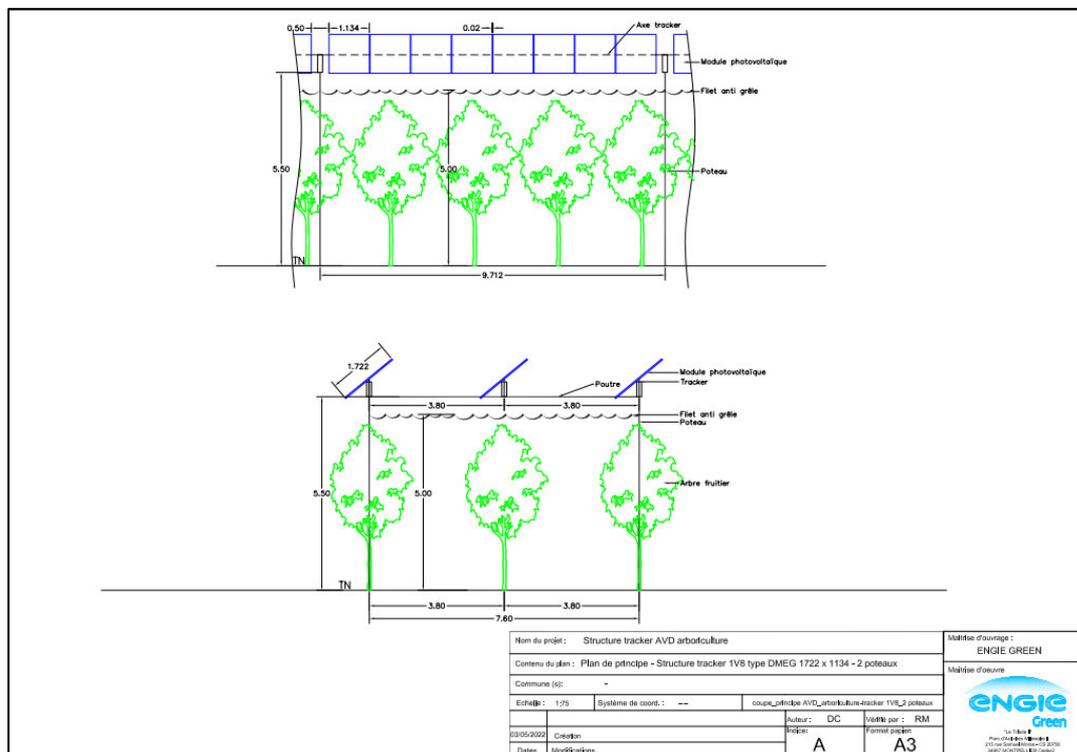


Figure 4 : Coupe transversale de la deuxième configuration (source : ENGIE GREEN)

1.3. Méthodologie mise en œuvre

Antea Group a réalisé une visite de site en vue de comprendre précisément le fonctionnement hydraulique de la zone d'étude. Les différentes données nécessaires à la mise en place de la modélisation ont été collectées et analysées. Antea Group a ensuite réalisé :

- le modèle hydraulique en état initial,
- le calage de ce modèle,
- une modélisation en état aménagé avec intégration du projet,
- une modélisation en état aménagé avec embâcles,
- l'analyse comparative des résultats.

Le présent rapport décrit l'étude hydraulique menée et présente les résultats obtenus.

2. Analyse hydraulique et modélisation

2.1. Contexte hydrographique général

Le périmètre d'étude s'inscrit au sein de la vallée de la Durance, au niveau de la commune de Valensole. La Durance est une rivière majeure en Provence. D'une longueur de plus de 323 km, elle peut présenter des crues très violentes malgré les nombreux aménagements réalisés.

La vallée présente quelques agglomérations, infrastructures et industries mais également de nombreuses cultures, souvent irriguées par la Durance. De nombreux affluents serpentent depuis les contreforts montagneux jusqu'à la Durance.

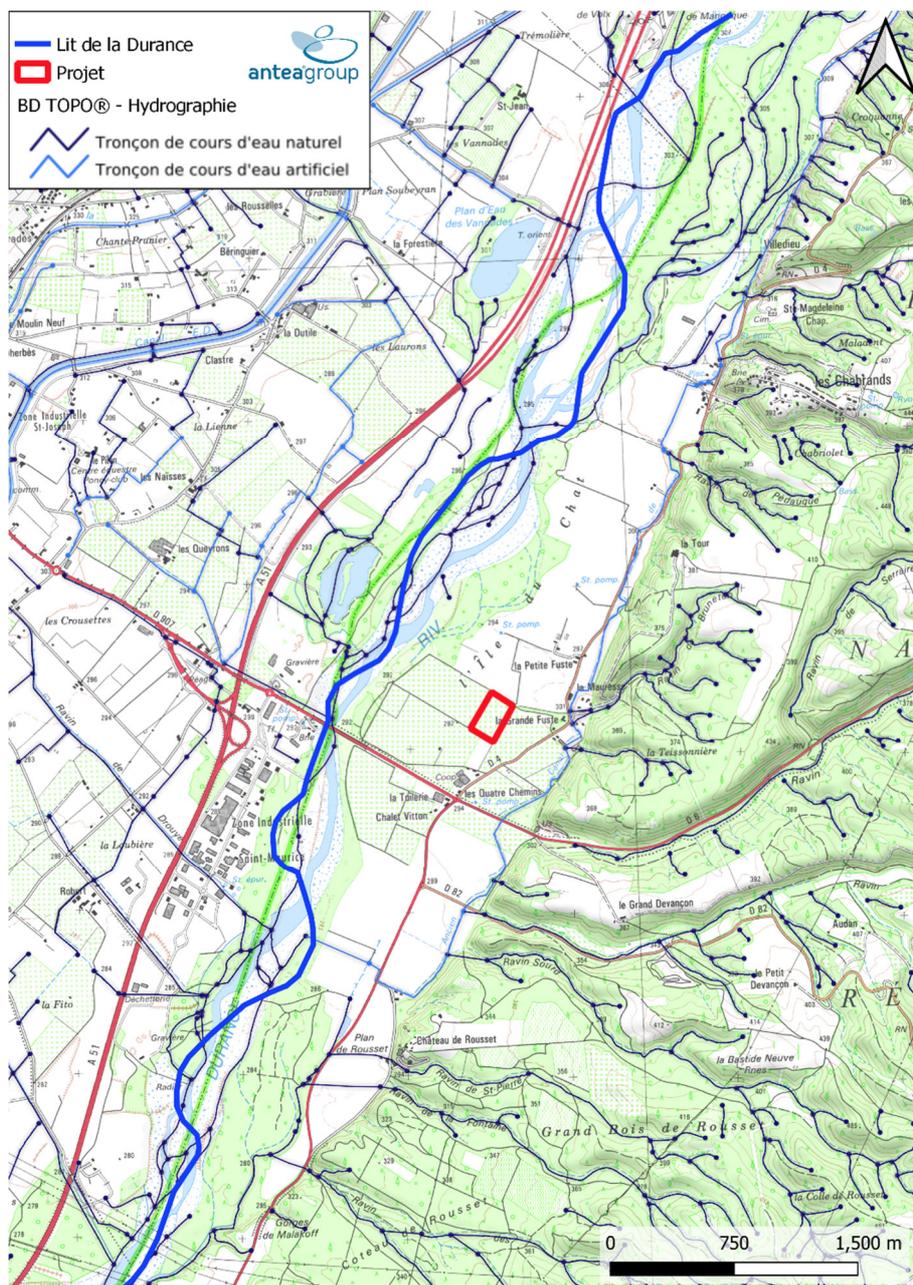


Figure 5 : Hydrographie au niveau de la zone d'étude

Le Plan de Prévention des Risques d’Inondation (PPRI) de Valensole a été approuvé en novembre 2018 et modifié en septembre 2019. Il place le site d’étude en aléa inondation indéfini (moyen / fort).

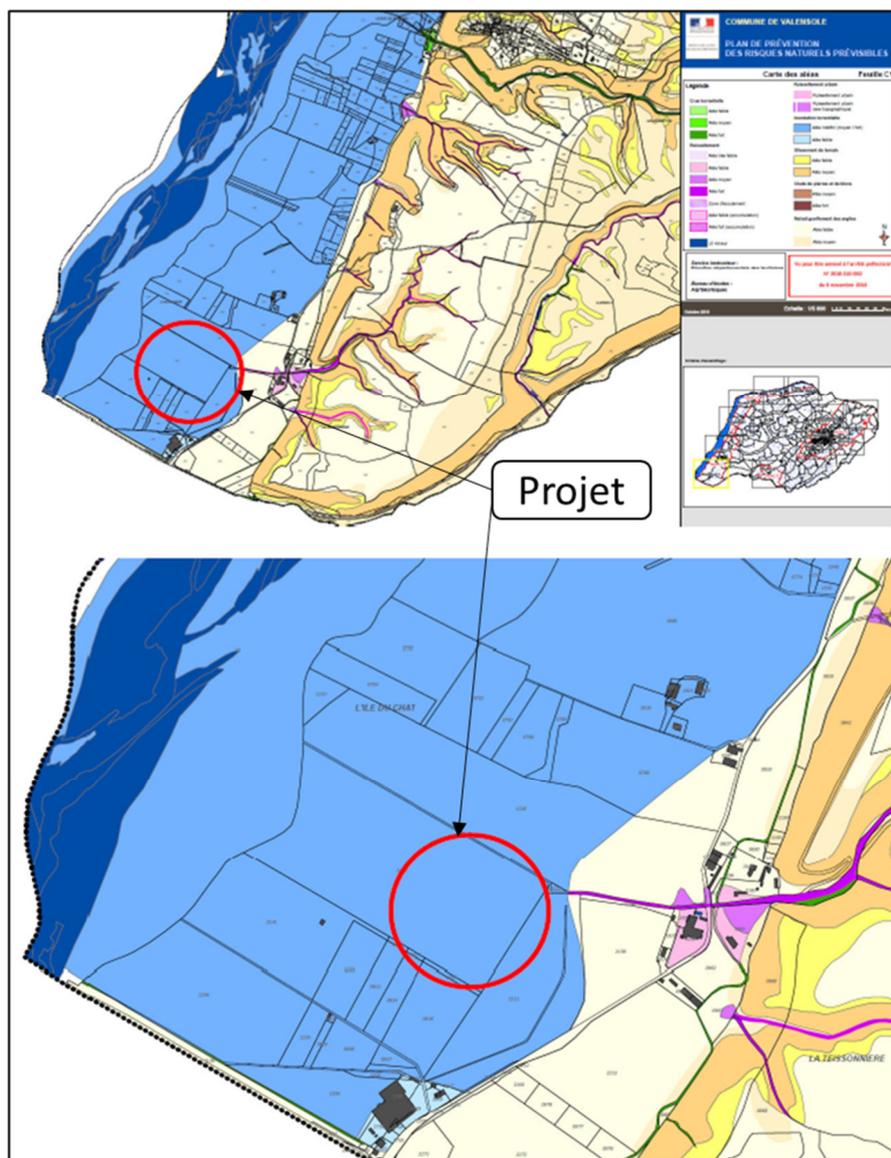


Figure 6 : Extrait du PPRI de Valensole

2.2. Topographie et ouvrages

2.2.1. Topographie

La topographie est issue de deux sources différentes :

- pour le lit mineur et une partie du lit majeur, les données transmises par le SMAVD ont été utilisées. Il s’agit d’un relevé topographique type LIDAR de pas environ 50 cm en lit majeur et 10 cm en lit mineur.
- Pour élargir la topographie en lit majeur, le RGE Alti a été utilisé pour modéliser le terrain naturel. Il s’agit d’un modèle numérique de terrain. Il décrit la forme et l’altitude normale de la surface du sol à grande échelle, avec une résolution de 1 m et une précision altimétrique de 30 cm EMQ.

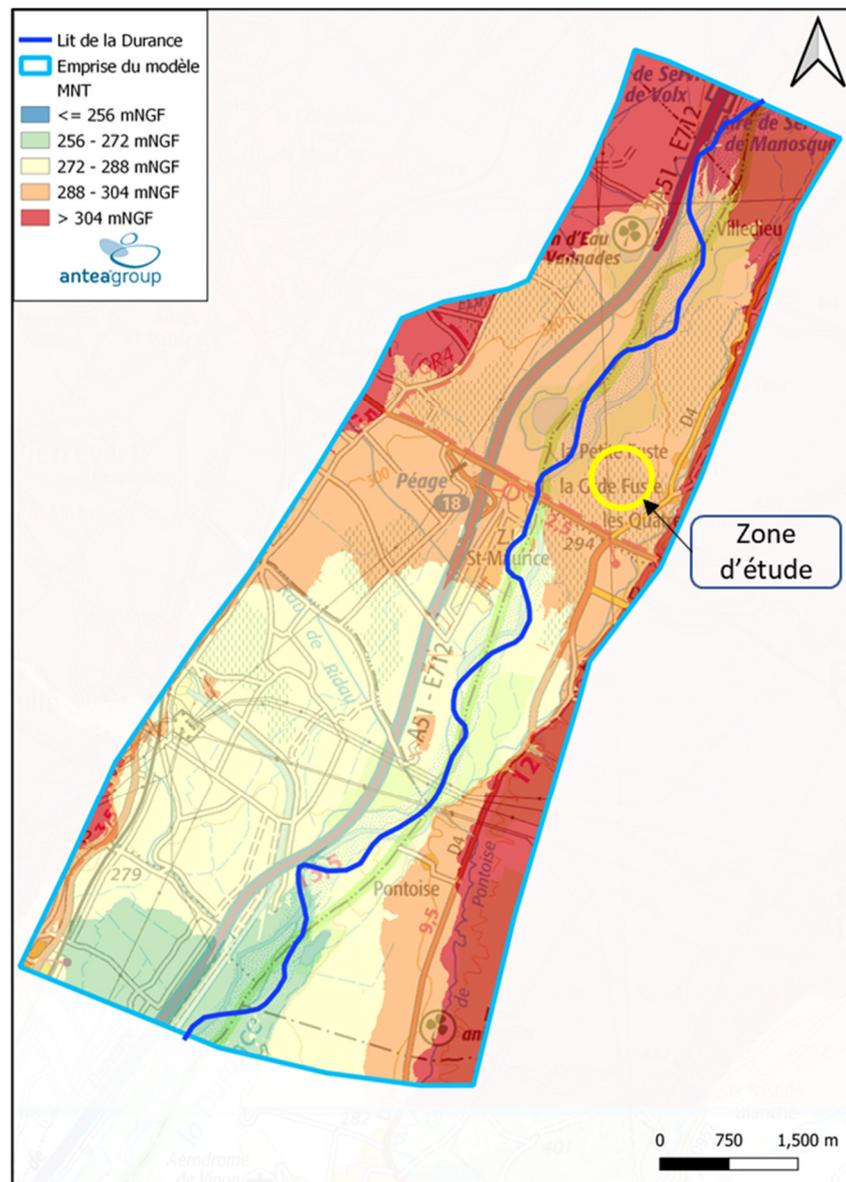


Figure 7 : Topographie sur l'emprise du modèle

2.2.2. Ouvrages

Aucun ouvrage n'a été modélisé. Le pont de la D 907 enjambe la Durance mais ne présente aucune pile ni remblai dans le lit mineur.

2.2.3. Lignes de contrainte

Les ouvrages et remblais structurants présents dans le lit majeur et susceptibles de présenter une influence marquante sur les écoulements sont dessinés sous la forme de lignes de contrainte dans le modèle. Ces lignes permettent notamment de redéfinir la position des mailles et d'éviter le phénomène de fuite de maille.

2.3. Hypothèses de modélisation

2.3.1. Présentation du logiciel

Le logiciel de modélisation utilisé est le logiciel HEC RAS développé par l'US Army Corps of Engineers. Ce logiciel permet d'effectuer des calculs d'écoulements filaires à surface libre en régime permanent et transitoire. Les calculs de lignes d'eau permettent tant l'analyse de la capacité de cours d'eau (risques de débordement, inondations, ...) que l'étude de l'impact de modifications des conditions de bords (ponts, endiguements, ...).

Les calculs de lignes d'eau d'écoulements graduellement variés sont basés sur l'équation de Bernoulli. Les pertes de charge sont évaluées par l'équation de Manning-Strickler pour le terme de frottement et par des coefficients de contraction-expansion ainsi que des coefficients de perte de charges en entrée et sortie d'ouvrage pour les pertes de charges ponctuelles.

En écoulement brusquement varié, HEC-RAS utilise l'équation de quantité de mouvement. Celle-ci est appliquée aux ressauts, et dans certains cas, aux passages de ponts et aux confluences. La résolution de ces équations nécessite la connaissance de la géométrie du cours d'eau, de ses caractéristiques de rugosité et du débit d'écoulement.

2.3.2. Occupation du sol

La zone d'étude présente diverses occupations du sol. Chacune présente des spécificités de rugosité caractérisées par le coefficient de Manning ou de Strickler. Les coefficients utilisés dans le modèle sont présentés dans le tableau 1.

Occupation du sol	Strickler	Manning
Champs, cultures et photovoltaïque	25	0,040
Carrières	25	0,040
Lit de la Durance	22	0,045
Plans d'eau	20	0,050
Zone urbaine	33	0,030
Forêt et espaces boisés	10	0,100

Tableau 1 : Coefficients de Manning retenus en fonction de l'occupation du sol

2.3.3. Conditions aux limites

Les simulations seront effectuées pour la crue de référence : la crue centennale de la Durance. En condition limite amont, l'hydrogramme de la crue centennale issu des données du SMAVD a été utilisé (hydrogramme retenu pour l'étude de danger du système d'endiguement de Manosque). Cet hydrogramme présente un débit de pointe d'environ 3 900 m³/s.

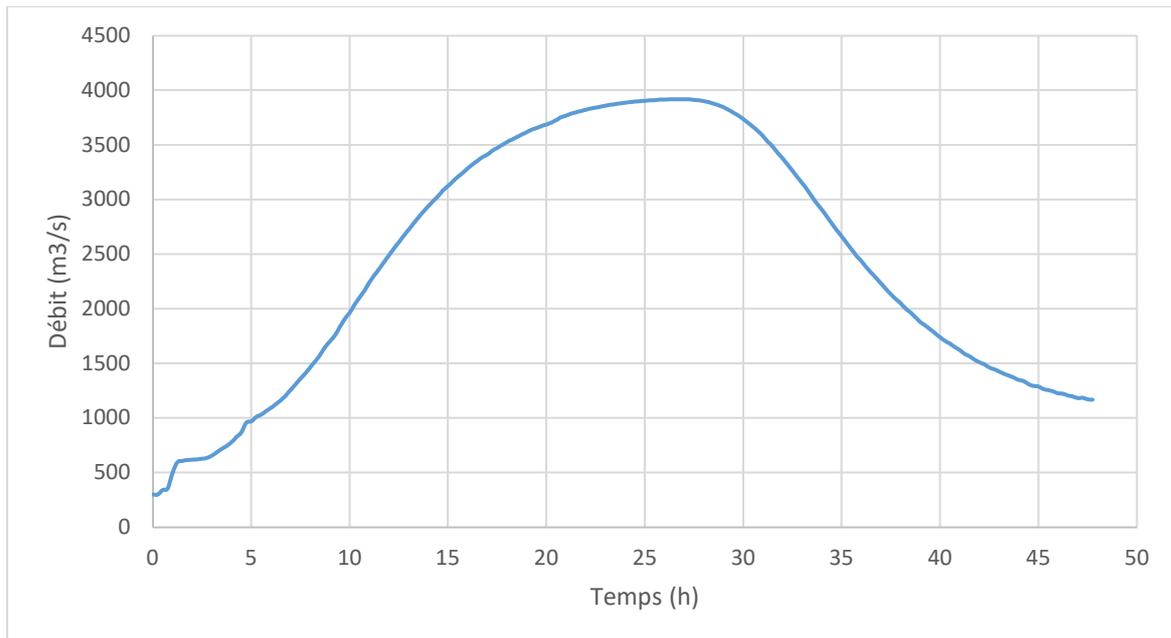


Figure 8 : Hydrogramme d'entrée de la crue centennale théorique de la Durance à Manosque (Q100) (source : SMAVD)

En condition limite aval, le SMAVD a fourni un niveau d'eau pour le débit utilisé en entrée et les données altimétriques du fond du lit. Une lame d'eau a donc pu être rentrée, correspondant à 4,7 m en lit mineur. Cette hauteur d'eau a été prise constante tout au long de l'évènement modélisé. En effet, le niveau d'eau indiqué n'influe pas au droit de la zone d'étude, située environ 7,7 km en amont.

2.3.4. Maillage

Un maillage à mailles carrées a été utilisé. La taille des mailles diffère selon les enjeux de la zone d'emprise :

- 150x150 m pour les zones à faibles enjeux : zones éloignées du site du projet, essentiellement champs, forêts ;
- 20x20 m pour les zones à enjeux modérés (par exemple, lit mineur) ;
- 5x5 m pour les zones à forts enjeux : zone d'étude et zones urbaines denses.

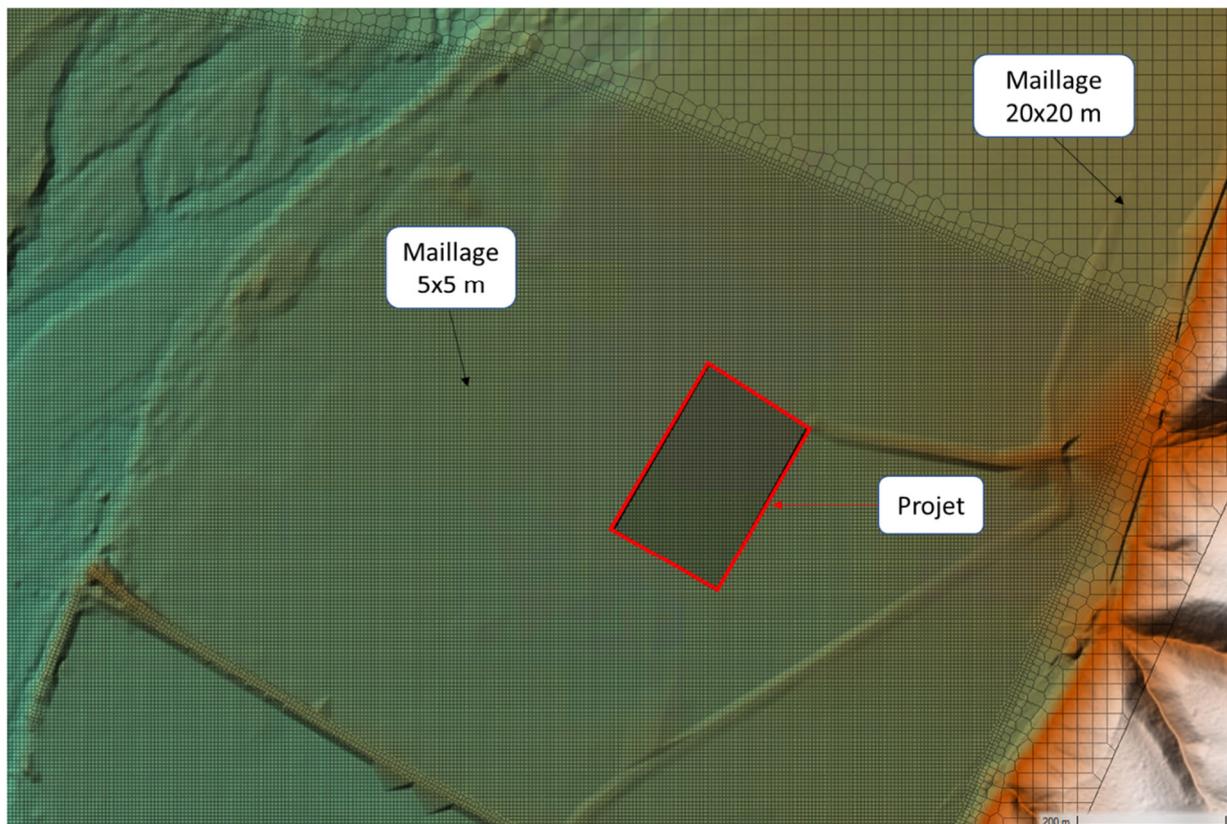


Figure 9 : Maillage dense au droit du site du projet

2.4. Calage

Le calage a été effectué sur les résultats hydrauliques obtenus par le SMAVD pour la crue centennale dans le cadre de l'étude de danger du système d'endiguement de Manosque. Cinq points ont été utilisés : un à l'amont du modèle, un à l'aval et trois autres plus proches du site d'étude.

La localisation de ces points est donnée sur la figure 10.

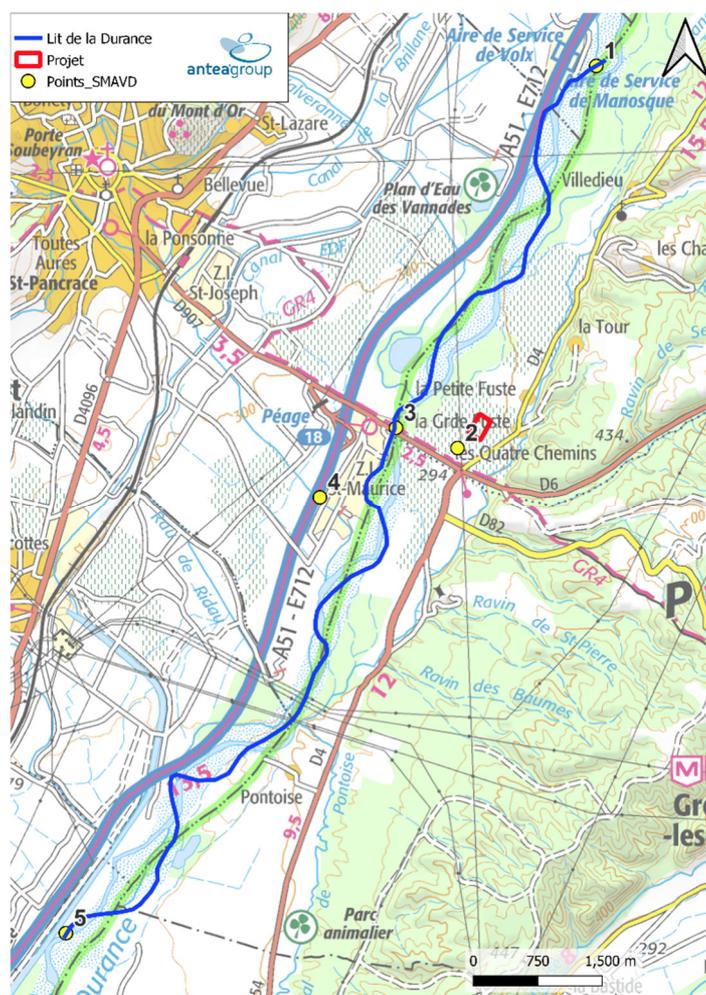


Figure 10 : Localisation des points utilisés pour le calage

Les résultats du modèle ont été comparés aux valeurs obtenues par le SMAVD. Ils sont résumés dans le tableau 2.

Point	Cote fond (mNGF)	Cote modèle SMAVD (mNGF)	Cote modèle Antea Group (mNGF)	Ecart cote (Antea-SMAVD)
1	305,51	309,83	310,31	0,48
2	292,46	293,80	293,73	-0,07
3	287,38	293,26	293,13	-0,13
4	289,14	289,20	289,14	-0,06
5	263,18	267,88	267,95	0,07

Tableau 2 : Valeurs obtenues après calage

L'écart des niveaux du modèle Antea par rapport aux laisses de crue est inférieur à 15 cm pour les points 2, 3, 4 et 5. Le point 2 est situé au niveau du site du projet, le point 3 au droit du projet dans le lit mineur de la Durance. Le point 4 est un peu plus en aval, dans le lit majeur.

L'écart est plus marqué pour le point 1, probablement dû à la proximité de ce point de comparaison avec la limite amont du modèle (injection du débit). Cependant, il est situé tout à l'amont du modèle, loin de la zone d'étude. Les résultats à ce point n'ont pas d'influence sur les résultats au niveau du site du projet.

Au vu de ces résultats, le calage est validé.

3. Diagnostic hydraulique et incidence du projet

3.1. Ecoulement en état actuel

3.1.1. Crue modélisée

La crue modélisée est la crue de référence du secteur : la crue centennale de la Durance. L'hydrogramme d'entrée est issu des données du SMAVD (hydrogramme retenu pour l'étude de danger du système d'endiguement de Manosque).

3.1.2. Dynamique hydraulique

A l'échelle de l'emprise du modèle, la dynamique de crue est la suivante :

- Dans un premier temps, les eaux restent dans le lit mineur de la Durance. Les différentes tresses qui le composent sont progressivement mises en eau.
- Le niveau d'eau montant, les premiers débordements en lit majeur sont observés. Il s'agit d'axes d'écoulement parallèles au lit mineur dans la plaine adjacente. Ils sont localisés :
 - à l'amont du modèle, en rive gauche ;
 - au niveau du projet en rive gauche mais en restant encore éloignés ;
 - en aval de la zone industrielle Saint-Maurice, entre la carrière et le champ photovoltaïque, en rive droite;
 - sur la partie aval de la zone d'étude, en rive gauche.
- Les inondations s'amplifient ensuite aux mêmes endroits. Les axes d'écoulement en lit majeur s'élargissent et le niveau d'eau augmente.
- Pour la crue centennale, la plaine en rive gauche ainsi que certaines parties en rive droite jusqu'à l'autoroute sont inondées. La zone industrielle Saint-Maurice est épargnée dans un premier temps puis des axes d'écoulement la traversent. La plaine en rive droite, en amont et en aval du canal EDF est inondée. Les eaux remontent également par ce canal une fois les digues submergées.
- Les vitesses d'écoulement les plus fortes sont localisées dans le lit mineur de la Durance avec en particulier une zone de vitesse élevée au niveau du pont de la D 907 (vitesses allant jusqu'à 6 m/s). Les vitesses sont plus faibles en lit majeur avec des valeurs globalement inférieures à 1 m/s et des points plus ponctuels avec des vitesses comprises entre 1 et 2 m/s.

Au niveau du site du projet, les écoulements débordants en lit majeur sont progressivement retenus par le remblai de la D 907 qui induit une remontée du niveau d'eau en amont. Dans le même temps, un flux venu du Nord à travers la plaine inonde le site. La hauteur d'eau théorique maximale sur le site est de 60 cm environ et la vitesse maximale d'environ 0,60 m/s pour la Q100 en état initial.

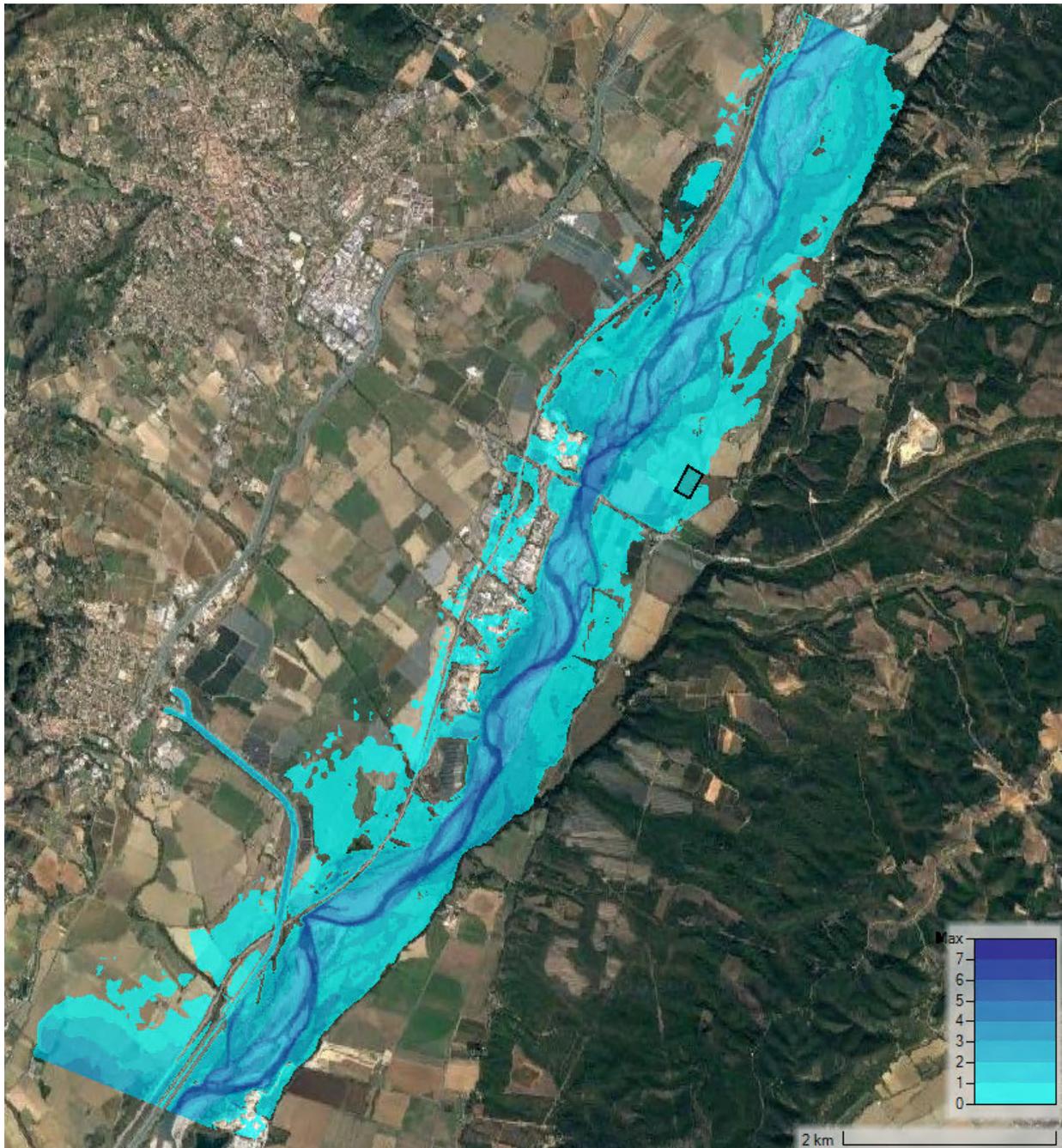


Figure 11 : Lame d'eau théorique maximale - état initial (m) - Q100

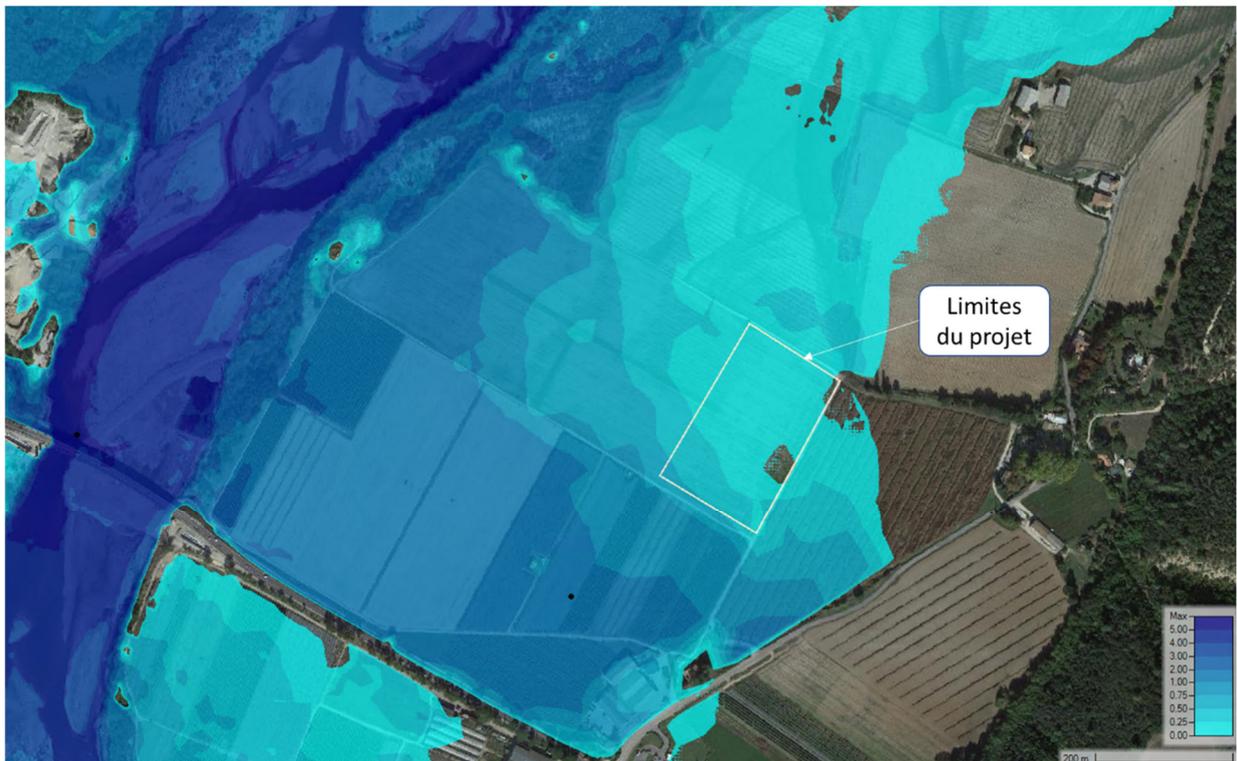


Figure 12 : Lame d'eau théorique maximale au droit du projet - état initial (m)- Q100

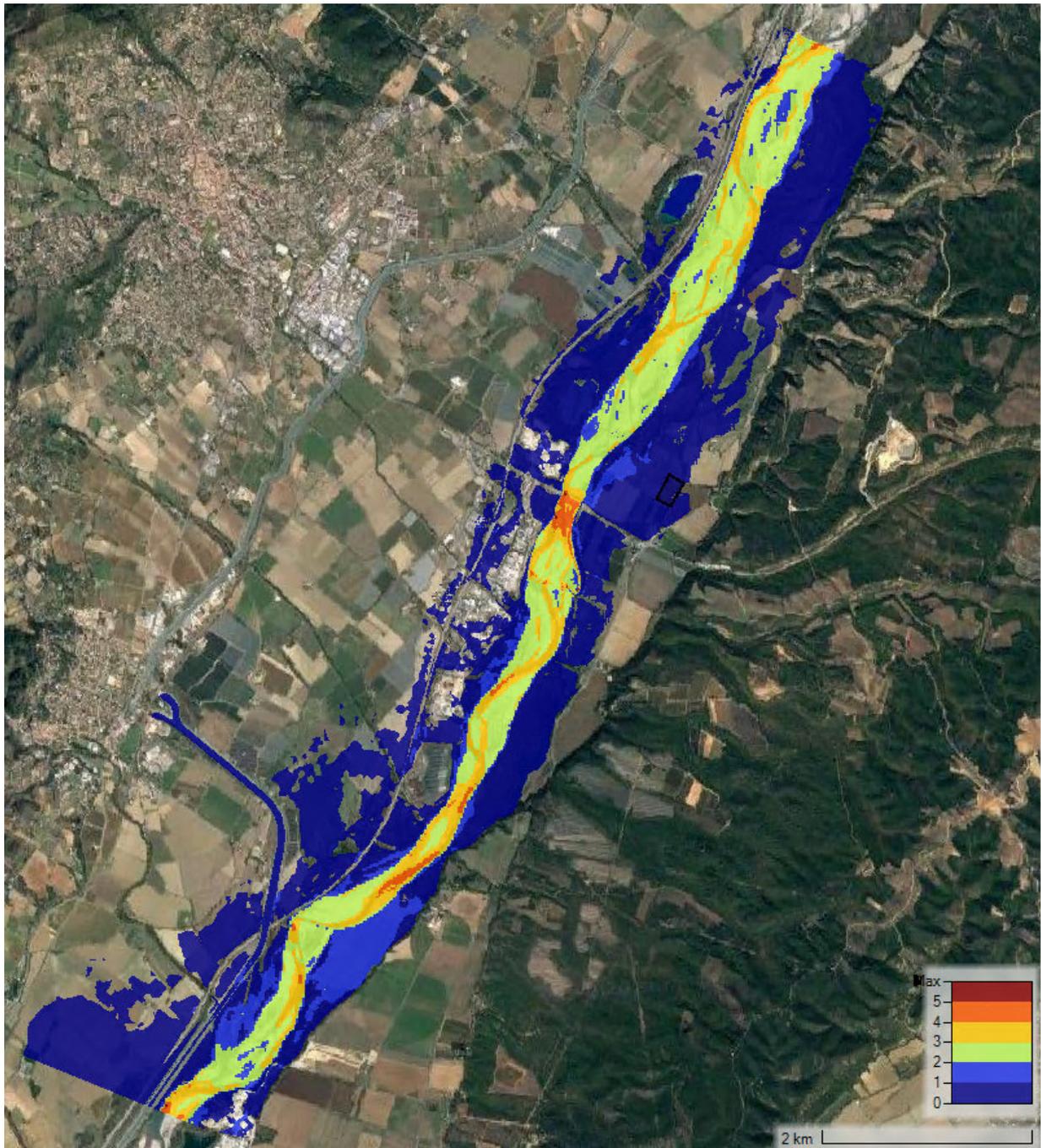


Figure 13 : Vitesse d'écoulement théorique maximale - état initial (m/s) - Q100

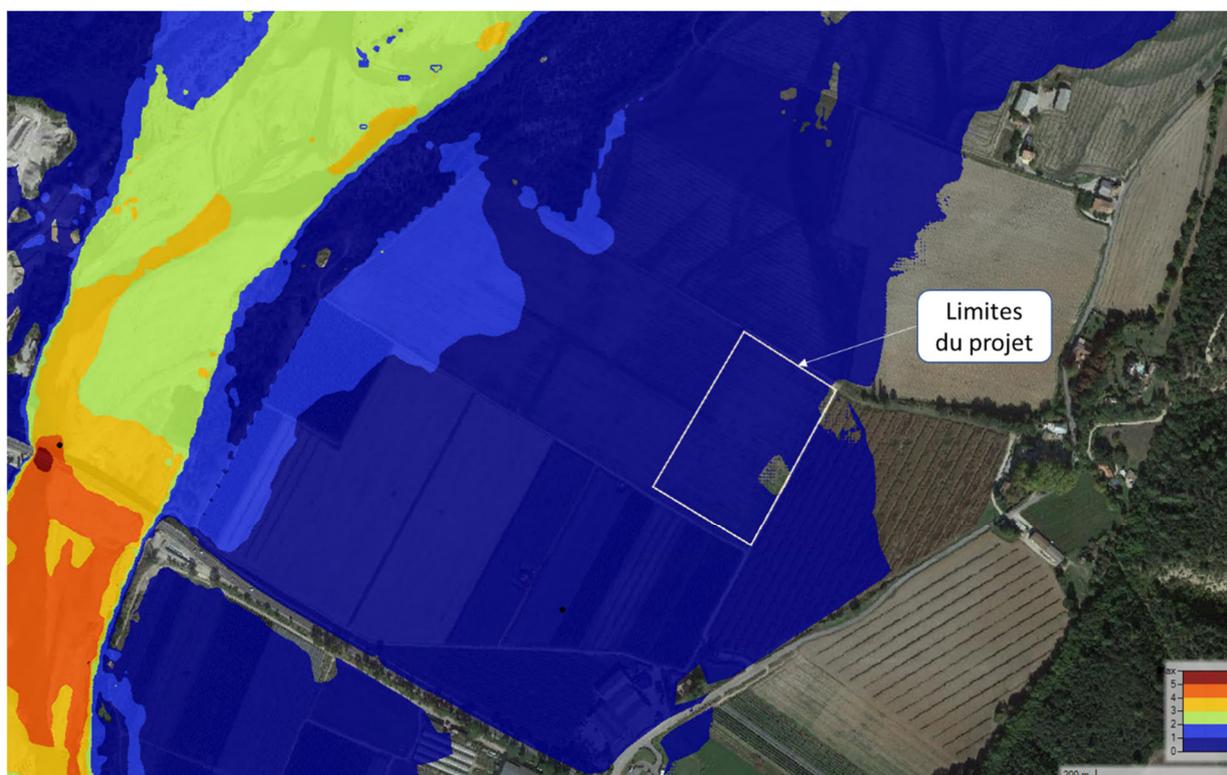


Figure 14 : Vitesse d'écoulement théorique maximale au droit du projet - état initial (m/s) - Q100

3.2. Etat projeté

3.2.1. Modélisation avec les aménagements photovoltaïques

3.2.1.1. Modélisation des aménagements

Les aménagements projetés consistent en la mise en place de panneaux photovoltaïques sur poteaux avec arbres en-dessous. En conséquence, l'occupation du sol est modifiée. En effet, la surface occupée par les poteaux est de 70 m² environ tandis que celle occupée par les arbres arrivés à maturité est de 1 340 m² environ sur une emprise totale d'environ 48 000 m². Les arbres sont donc à l'origine d'une modification de la surface d'écoulement.

Pour tenir compte de cette nouvelle occupation, le coefficient de Strickler de la surface du projet a été porté à 15 (proche des terrains naturels boisés).

3.2.1.2. Incidences sur les écoulements

La dynamique de crue reste inchangée par rapport à l'état initial. Le projet provoque une surinondation locale pouvant aller jusqu'à 5 cm au maximum (cf. figure 16). Cette surinondation est localisée sur la moitié Nord du projet.

En dehors des limites du projet, la surinondation concerne une zone de 3 100 m² et elle atteint au maximum 3 cm, sur une zone agricole. La hauteur d'eau théorique maximale au droit du site pour la crue d'occurrence 100 ans est de 65 cm (cf. figure 15).

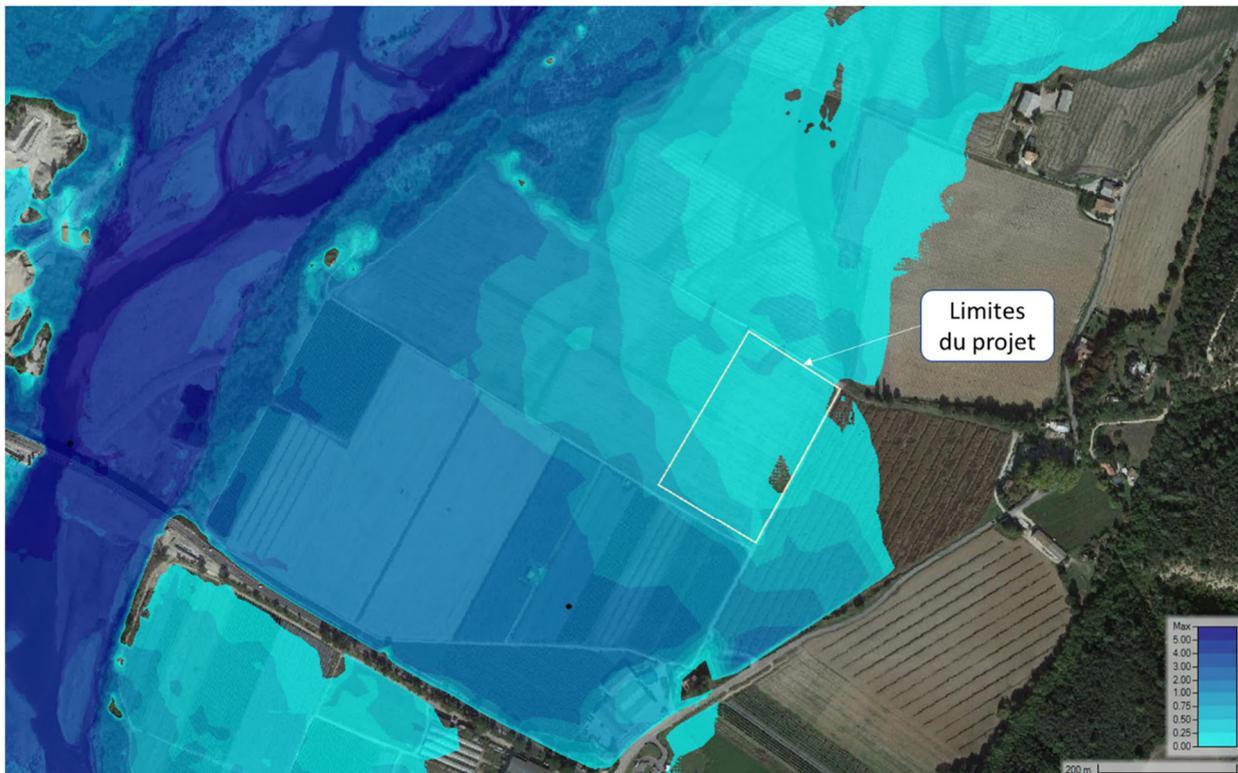


Figure 15 : Hauteur d'eau théorique maximale en état final (m) - Q100



Figure 16 : Différences de hauteur d'eau maximale théorique entre état initial et état final (m) - Q100

Les vitesses d'écoulement maximales théoriques au droit du site pour la crue d'occurrence 100 ans sont de l'ordre de 0,50 à 1 m/s (cf. figure 17).

Les vitesses d'écoulement au droit du projet sont plus faibles qu'en état initial (baisse de 0,2 m/s au maximum ; cf. figure 18). Cela est cohérent avec les hypothèses de la modélisation puisque le coefficient de rugosité (Strickler) a été relevé au droit du projet.

En dehors du périmètre du projet, les vitesses sont localement plus faibles ou plus fortes (survitesses jusqu'à 0,06 m/s) qu'en état initial suivant que les écoulements ont été ralentis ou déviés par le projet.

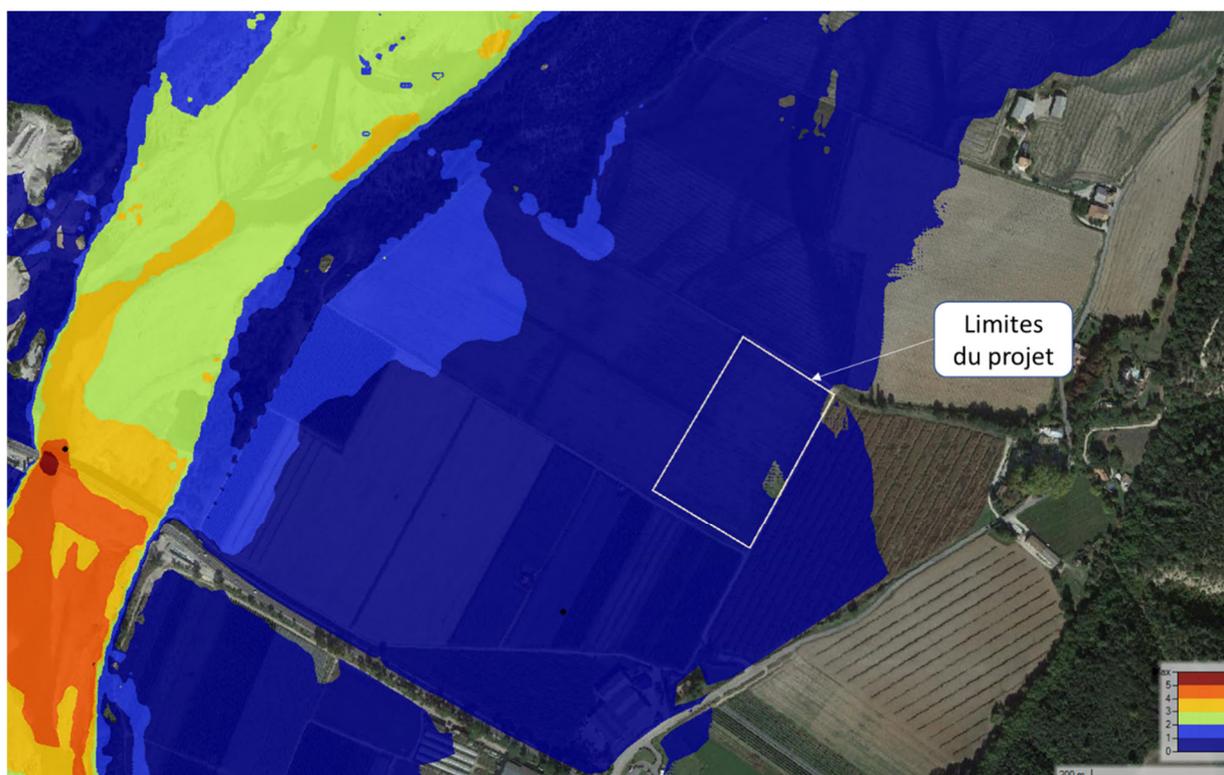


Figure 17 : Vitesses d'écoulement maximales théoriques en état final (m/s) - Q100



Figure 18 : Différences de vitesses d'écoulement maximales théoriques entre état initial et état final (m/s) - Q100

3.2.2. Modélisation avec embâcles

3.2.2.1. Modélisation des aménagements

Une modélisation avec embâcles a été réalisée. Elle représente une situation très défavorable et improbable où les arbres et les poteaux retiendraient de nombreux embâcles, conduisant à bloquer totalement les écoulements sur toute la zone du projet. Cela a été modélisé par la mise en place d'un remblai dans le modèle sur toute l'emprise de la parcelle du projet.

3.2.2.2. Incidences sur les écoulements

La dynamique de crue reste inchangée par rapport à l'état initial. Le projet provoque une surinondation locale pouvant aller jusqu'à 18 cm au maximum (cf. figure 20). Cette surinondation est localisée au droit du projet et un peu plus au Nord.

L'emprise de surinondation est de 6,5 ha en dehors de la zone du projet. La hauteur d'eau théorique maximale au droit du site pour la crue d'occurrence 100 ans est de 65 cm (cf. figure 19).

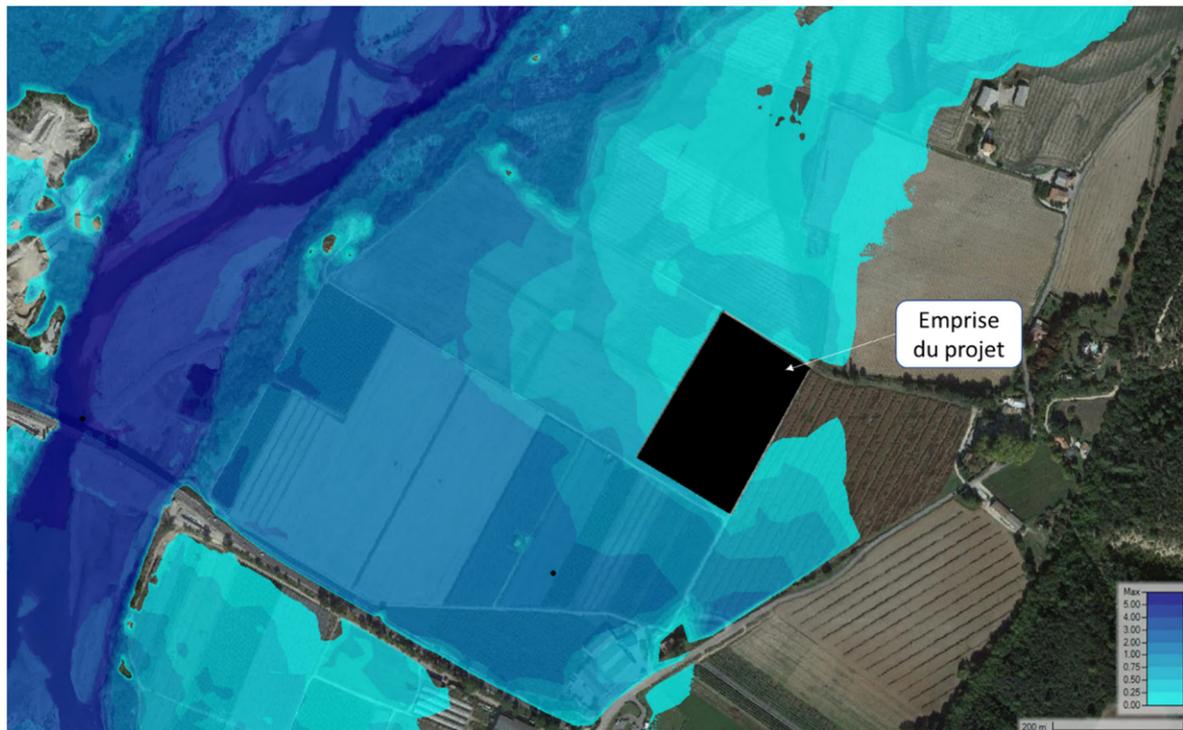


Figure 19 : Hauteur d'eau maximale théorique en état final avec embâcles (m) - Q100



Figure 20 : Différences de hauteur d'eau maximale théorique entre état initial et état final avec embâcles (m) - Q100

Les vitesses d'écoulement maximales théoriques au droit du site pour la crue d'occurrence 100 ans sont de l'ordre de 0,50 à 1 m/s (cf. figure 21).

En dehors du périmètre du projet, les vitesses sont localement plus faibles ou fortes qu'en état initial suivant que les écoulements ont été ralentis ou déviés par le projet (cf. figure 22). Les plus fortes augmentations de vitesse sont de l'ordre de 0,4 m/s.

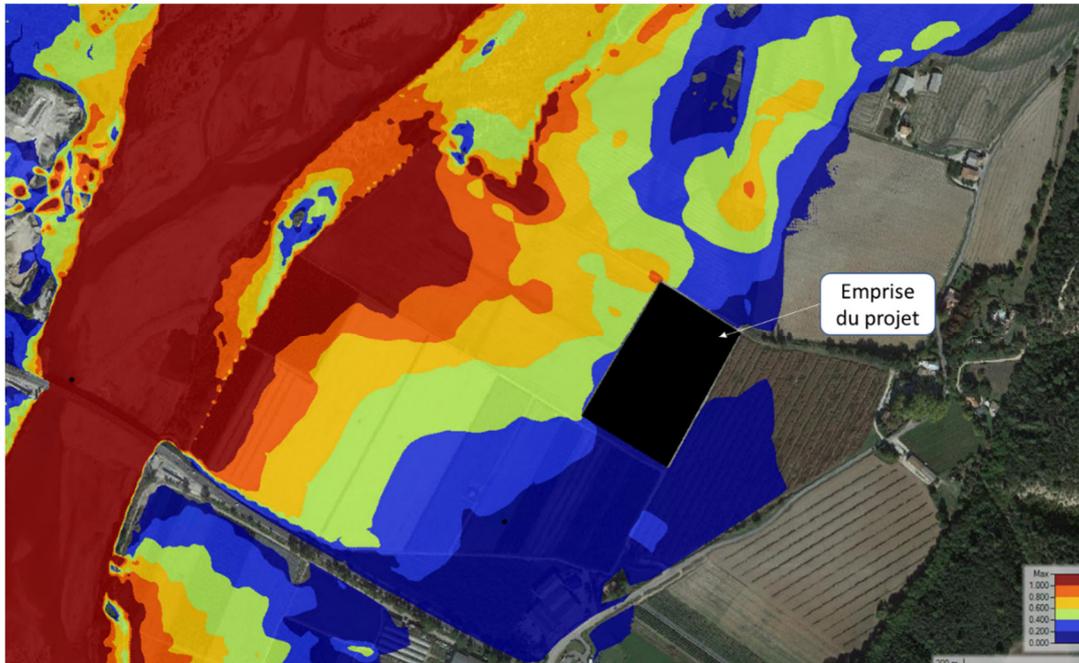


Figure 21 : Vitesses d'écoulement maximales théoriques en état final avec embâcles (m/s) - Q100

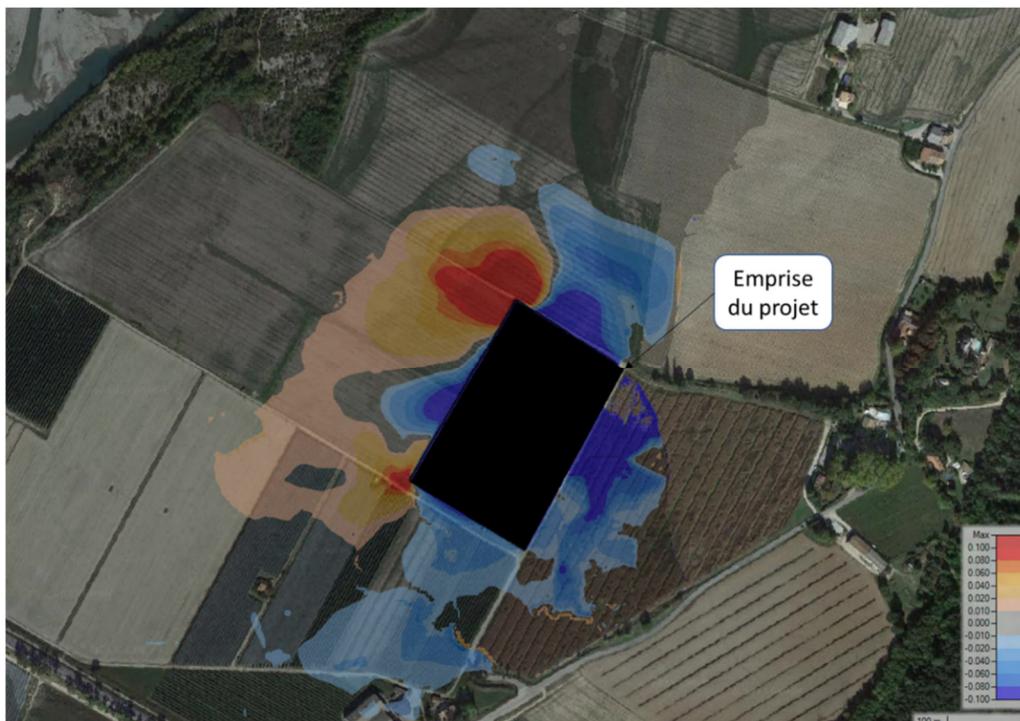


Figure 22 : Différences de vitesses d'écoulement maximales entre état initial et état final avec embâcles (m/s) - Q100

4. Synthèse et conclusion

Le projet engendre des surinondations pour la crue centennale de l'ordre de 3 cm en dehors du projet sur une emprise de 3 100 m² environ ainsi que des augmentations locales de vitesse.

Les surinondations peuvent aller jusqu'à 18 cm dans la configuration où l'ensemble de la parcelle est obstrué (cas très peu probable en pratique). Ces surinondations sont localisées au niveau du projet ou à proximité immédiate et touchent par conséquent uniquement des zones agricoles présentant des enjeux faibles.

Observations sur l'utilisation du rapport

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable. Les incertitudes ou les réserves qui seraient mentionnées dans la prise en compte des résultats et dans les conclusions font partie intégrante du rapport.

En conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou d'une reproduction partielle de ce rapport et de ses annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'Antea Group ne sauraient engager la responsabilité de celui-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.

Les résultats des prestations et des investigations s'appuient sur un échantillonnage ; ce dispositif ne permet pas de lever la totalité des aléas liés à l'hétérogénéité des milieux naturels ou artificiels étudiés. Par ailleurs, la prestation a été réalisée à partir d'informations extérieures non garanties par Antea Group ; sa responsabilité ne saurait être engagée en la matière.

Antea Group s'est engagé à apporter tout le soin et la diligence nécessaire à l'exécution des prestations et s'est conformé aux usages de la profession. Antea Group conseille son Client avec pour objectif de l'éclairer au mieux. Cependant, le choix de la décision relève de la seule compétence de son Client.

Le Client autorise Antea Group à le nommer pour une référence scientifique ou commerciale. A défaut, Antea Group s'entendra avec le Client pour définir les modalités de l'usage commercial ou scientifique de la référence.

Ce rapport devient la propriété du Client après paiement intégral de la mission, son utilisation étant interdite jusqu'à ce paiement. A partir de ce moment, le Client devient libre d'utiliser le rapport et de le diffuser, sous réserve de respecter les limites d'utilisation décrites ci-dessus.

Pour rappel, les conditions générales de vente ainsi que les informations de présentation d'Antea Group sont consultables sur : <https://www.anteagroup.fr/fr/annexes>



Références :



Portées communiquées
sur demande