

Eau
Environnement



ETUDE HYDRAULIQUE ET PRE-DIMENSIONNEMENT
D'ANCRAGES - CENTRALE SOLAIRE DE TRAVAILLAN
20F244_RM1_Etude_hydraulique



Rapport n° : 20F-244-RM-1
Révision n° : B
Date : 29/06/2021

Votre contact :
Claire PLASSE
plasse@isl.fr

Rapport

ISL Ingénierie SAS - MONTPELLIER
65 rue Clément Ader
34170 - Castelnau-le-Lez
FRANCE
Tel. : +33.4.67.54.51.88
Fax : +33.4.67.54.52.05

www.isl.fr

ISL
Ingénierie

Visa

Révision	Date	Auteur	Chef de Projet	Superviseur	Commentaire
A	29/06/2021	ADO	CPL	ASA	
B	29/06/2021	ADO	CPL	ASA	

ADO : D'ORAZIO Alicia

ASA : SALMI Akim

CPL : PLASSE Claire

Rapport ISL
20F-244-RM-1
Revision B

<http://www.isl.fr/r.php?c=199123>



Ingénierie



SOMMAIRE

1	PREAMBULE	1
1.1	CONTEXTE DE L'ETUDE	1
1.2	OBJECTIF DE L'ETUDE	2
2	DONNEES D'ENTREE	3
3	HYDROLOGIE	4
3.1	PREAMBULE	4
3.2	DEBIT DU PPRI	4
3.3	DEBITS SHYREG	4
3.4	HYDROGRAMME DE CRUE	5
4	MODELISATION HYDRAULIQUE	8
4.1	OBJECTIF	8
4.2	LOGICIEL DE MODELISATION	8
4.3	CONSTRUCTION DU MODELE 2D	8
4.4	CALAGE ET VALIDATION DU MODELE	10
4.5	EXPLOITATION DU MODELE	11

TABLE DES ANNEXES

AUCUNE ENTREE DE TABLE DES MATIERES N'A ETE TROUVEE. **TABLE DES FIGURES**

Figure 1: Emprise du projet	1
Figure 2 : Localisation du projet par rapport aux zones inondables PPRI	2
Figure 3 : Hydrogramme de crue de projet pour l'évènement centennal	7
Figure 4 : Structure du modèle 2D mis en œuvre	9
Figure 5 : Carte des aléas du modèle 2D	10
Figure 6 : Carte des aléas du PPRI	10
Figure 7 : Hauteurs d'eau pour la crue centennale en état actuel	11
Figure 8 : Vitesses d'écoulement pour la crue centennale	12

Figure 9 : Aléas pour la crue centennale 13

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Données d'entrée disponibles 3

1 PREAMBULE

1.1 CONTEXTE DE L'ETUDE

La présente étude hydraulique s'inscrit dans le cadre d'un projet agrivoltaïque, porté par TOTAL Quadran, sur la commune de Travaillan.

La figure suivante localise l'implantation du projet.

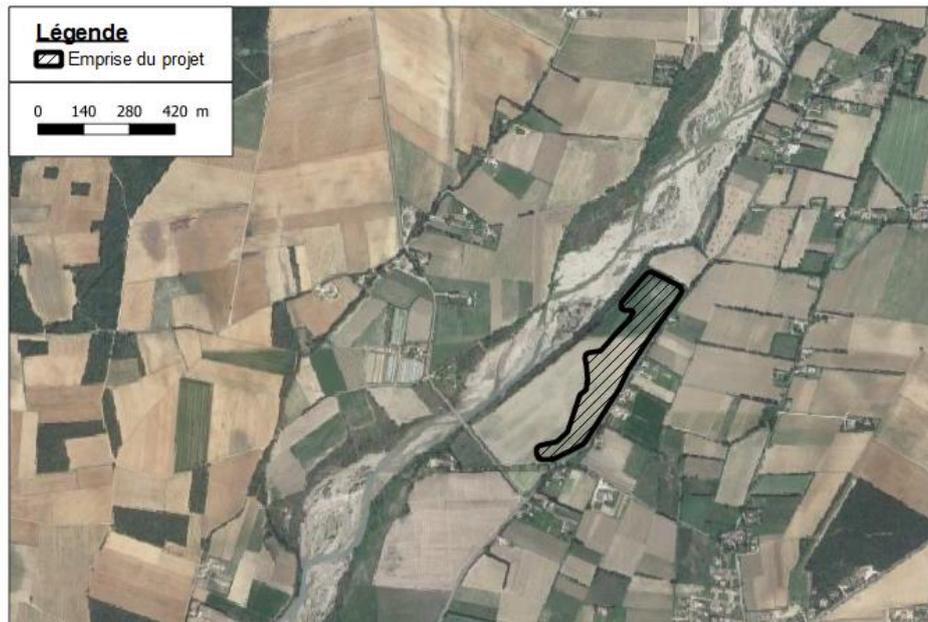


Figure 1: Emprise du projet

Le projet se situe en rive gauche de l'Aygues, dans la zone inondable établie dans le cadre du PPRi de la commune.

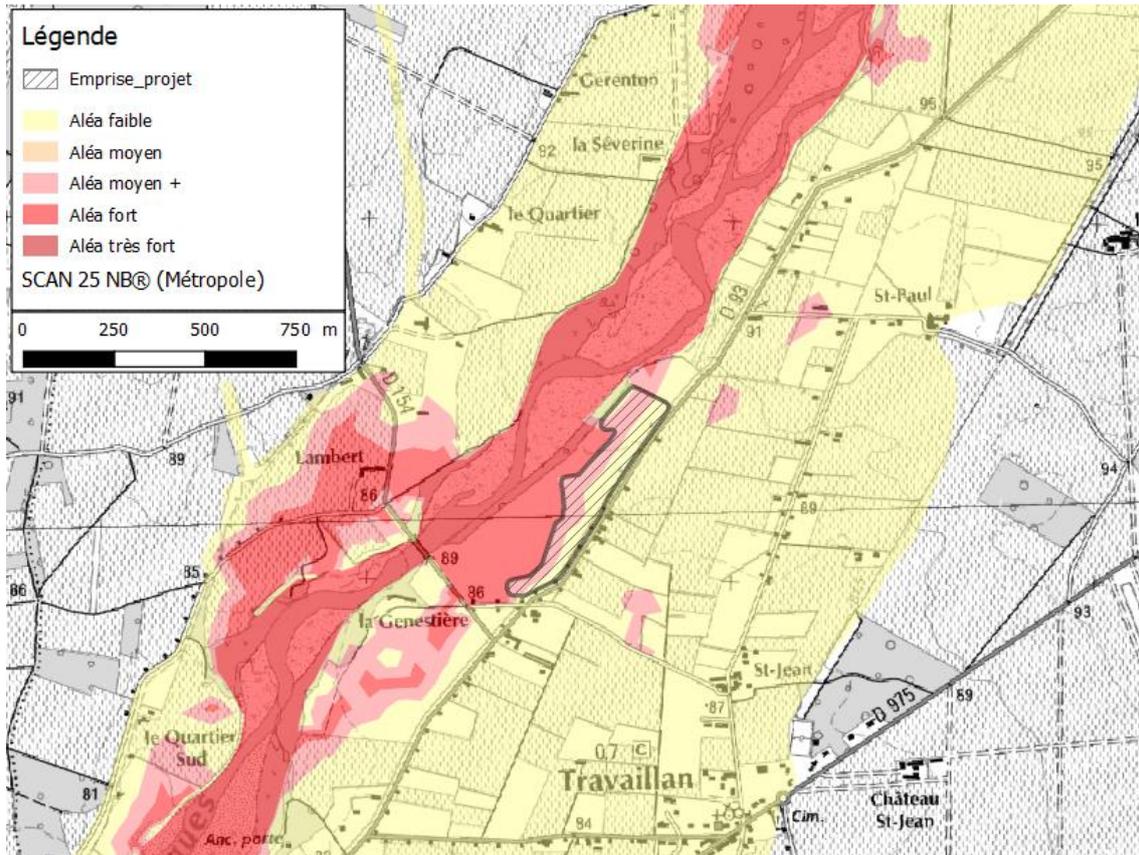


Figure 2 : Localisation du projet par rapport aux zones inondables PPRi

1.2 OBJECTIF DE L'ETUDE

Les objectifs de l'étude sont de répondre aux exigences règlementaires du PPRi en évaluant l'impact hydraulique du projet et en aidant à définir les dispositions techniques permettant d'assurer la pérennité de la structure.

Ce premier rapport présente la modélisation hydraulique en état actuel de l'Aygues dans la zone du projet, actualisée à l'aide de nouvelles données topographiques et d'un modèle hydraulique bi-dimensionnel.

2 DONNEES D'ENTREE

Les données disponibles sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Thème	Données	Source
Topographie	RGE_1m	IGN
Topographie	Levés topographiques sur l'emprise du projet	Cabinet COURBI Géomètre Expert
Hydrologie	Débit de pointe de l'évènement centennal Débit Shyreg	PPRi – DDT 84 INRAE
Hydraulique	Couches SIG des aléas du PPRi	PPRi – DDT 84

Tableau 1 : Données d'entrée disponibles

3 HYDROLOGIE

3.1 PREAMBULE

Le projet est localisé dans la zone inondable de l'Aygues. Ce cours d'eau prend sa source dans le massif de la Bochaine. Dans la vallée, il prend la configuration d'un cours d'eau en tresses.



Figure 3 : L'Aygues depuis le pont de la RD154 à Travaillan

L'analyse hydrologique s'est basée sur plusieurs sources de données :

- le débit de pointe du PPRI,
- les débits de pointe Shyreg.

Une station hydrométrique est présente à Orange, à environ 10 km en aval du projet. Cependant cette station ne dispose pas de suffisamment de données (débits disponibles sur 7 années) pour réaliser une analyse statistique sur les crues.

3.2 DEBIT DU PPRI

Dans le rapport de présentation du PPRI, il est indiqué que :

- Il y a peu de variations de débit entre Nyons et Orange (Travaillan étant situé entre ces deux communes) :

Toutes ces études tendent à estimer des débits de crue peu différents entre Nyons et Orange compte tenu du fait qu'il y a peu d'amortissement des crues sur ce secteur et que l'Aygues ne reçoit plus d'affluents notables en aval de Nyons.

- Le débit retenu pour l'Aygues dans le PPRI est de 970 m³/s.

3.3 DEBITS SHYREG

Un point de calcul SHYREG est disponible sur l'Aygues au droit du lieu-dit Saint Paul, soit 500 m en amont de la parcelle du projet.

Les données Shyreg sont présentées dans le tableau suivant.

	Pointe	Jour	1h	2h	3h	4h	6h	12h	24h	48h	72h
T= 1000	1580	936	1320	1260	1190	1140	1090	1020	953	673	490
T= 500	1300	788	1100	1060	1010	968	922	857	803	564	411
T= 100	781	511	698	676	649	627	597	555	520	364	270
T= 50	613	417	560	544	525	509	487	453	424	302	228
T= 20	444	319	415	405	394	384	369	345	324	238	185
T= 10	348	262	331	324	317	310	300	282	266	201	158
T= 5	274	216	263	259	254	250	243	231	219	170	135
T= 2	198	164	192	190	188	185	182	174	167	132	105

Figure 4 : Débits Shyreg

Le débit centennal Shyreg est de 781 m³/s. Ce débit est inférieur à celui retenu dans le cadre du PPRi. **Pour conserver une cohérence dans les études, le débit du PPRi est retenu.**

3.4 HYDROGRAMME DE CRUE

L'hydrogramme correspondant au débit de pointe de 970 m³/s a été construit selon la méthode du Cemagref :

$$Q(t) = Q_p \times \frac{2(t/D)^a}{1 + (t/D)^a}$$

Avec :

Q(t) : débit à l'instant t

Q_p : débit de pointe

D : temps de montée : instant ou Q(t) = Q_p

a : paramètre de forme compris entre 1 et 3

Le paramètre de forme « a » est ajusté de manière à respecter le débit de pointe d'une part et le volume écoulé sur la durée D d'autre part.

La durée caractéristique D a été évaluée à partir d'hydrogrammes de crue réels relevés à la station d'Orange. Cette durée est évaluée à 9h.

Les hydrogrammes des crues de mai 2013, janvier 2014 et février 2019 sont présentés ci-après.

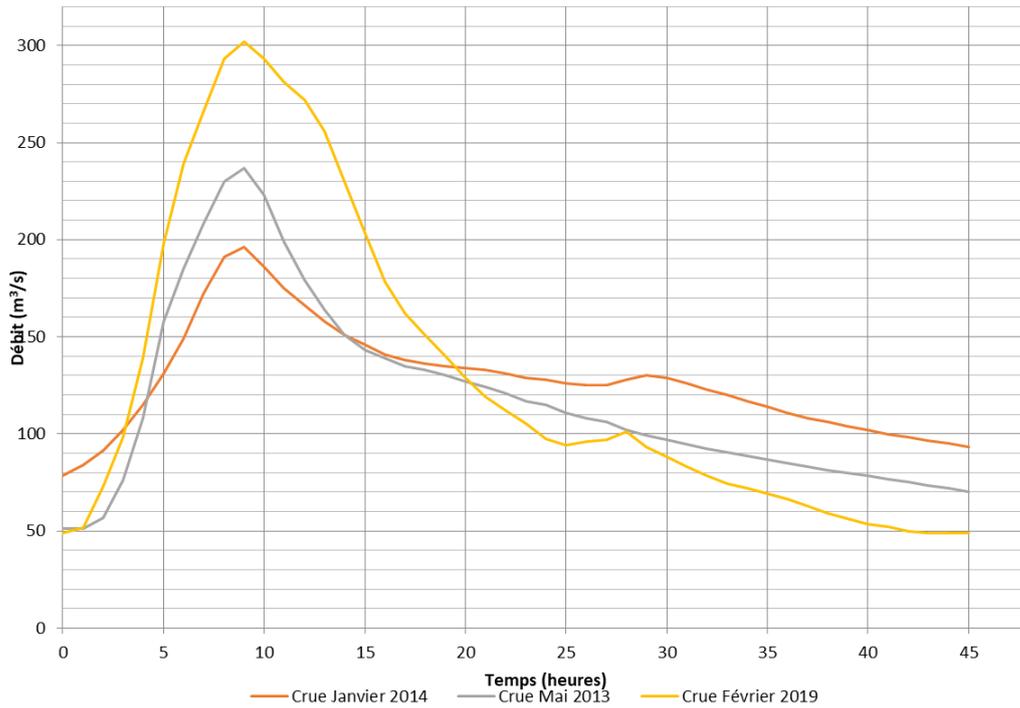


Figure 5 : Hydrogrammes de crues réelles

L'hydrogramme calculé par la méthode de Cemagref s'appuie principalement sur la crue de Février 2019. La comparaison de l'hydrogramme Cemagref et celui de la crue historique est présentée ci-après.

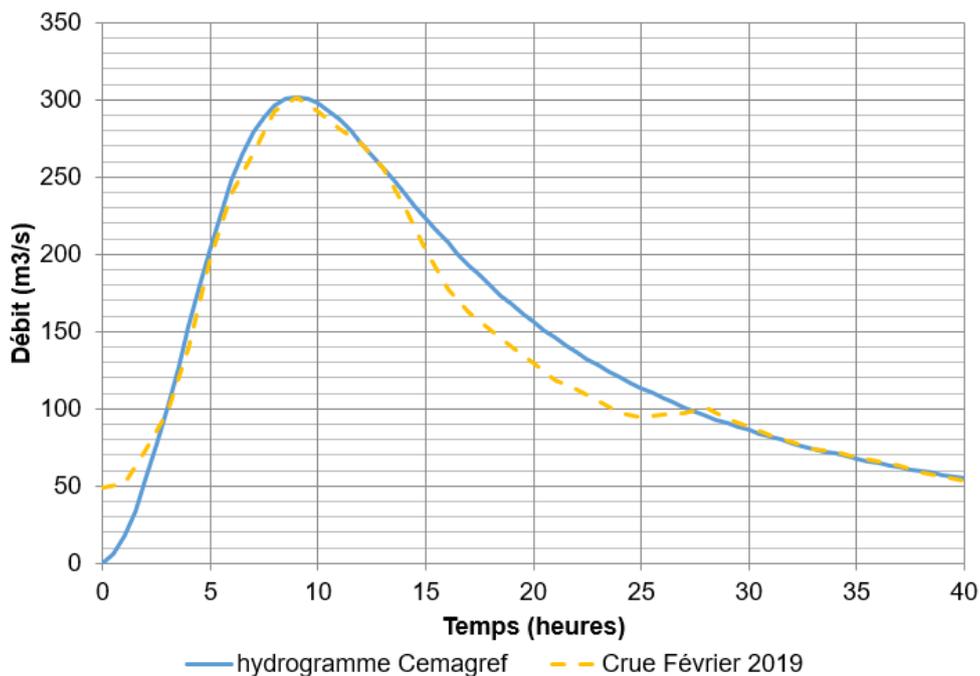


Figure 6 : Comparaison de l'hydrogramme Cemagref et de la crue historique de février 2019

L'hydrogramme de projet a été calculé par homothétie de l'hydrogramme Cémagref présenté ci-dessus. La crue de projet est la crue correspondant à l'évènement centennal et dont le débit de pointe est de 970 m³/s.

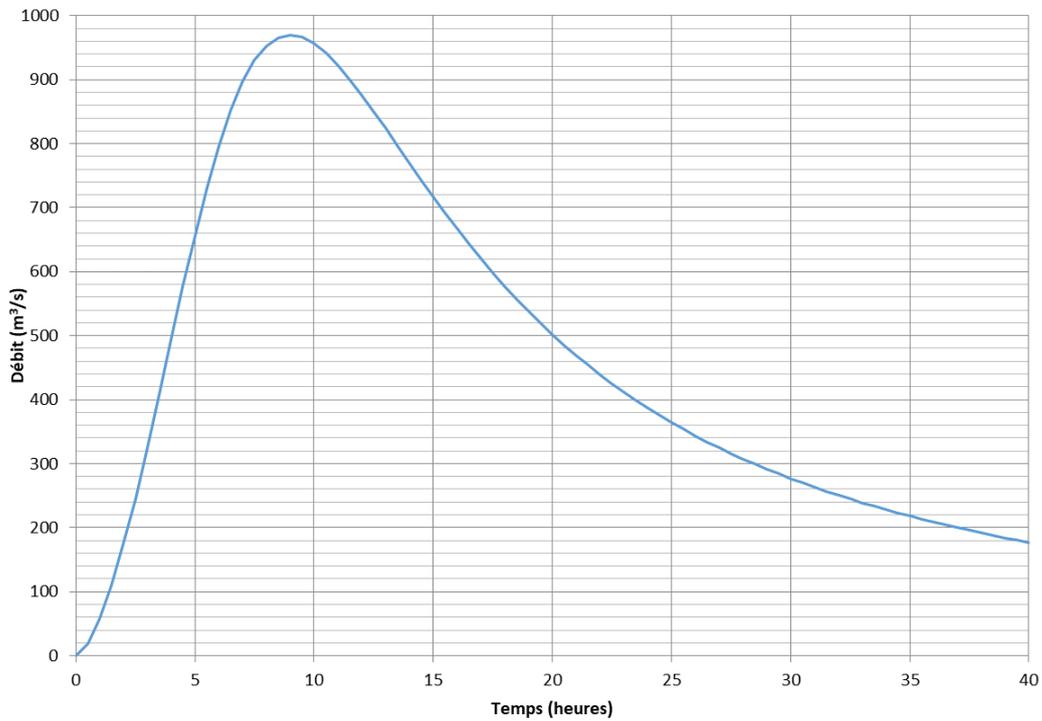


Figure 7 : Hydrogramme de crue de projet pour l'évènement centennal

4 MODELISATION HYDRAULIQUE

4.1 OBJECTIF

L'objectif du modèle hydraulique est d'évaluer, dans un 1^{er} temps en état actuel, les caractéristiques d'écoulement (hauteurs d'eau et vitesses) au droit de la zone de projet.

4.2 LOGICIEL DE MODELISATION

Le logiciel TELEMAC 2D a été exploité pour la modélisation bidimensionnelle.

TELEMAC-2D résout les équations de Saint-Venant à l'aide de la méthode des éléments finis ou des volumes finis sur une grille de calcul à éléments triangulaires. Il permet d'effectuer des simulations en régime transitoire aussi bien qu'en régime permanent.

TELEMAC-2D permet de prendre en compte les phénomènes physiques suivants :

- Propagation des ondes longues avec prise en compte des effets non linéaires,
- Frottement sur le fond,
- Turbulence,
- Écoulements torrentiels et fluviaux,
- Coordonnées cartésiennes ou sphériques pour les grands domaines,
- Zones sèches dans le domaine de calcul : bancs découvrants et plaines inondables,
- Traitement de singularités : seuils, digues, buses.

4.3 CONSTRUCTION DU MODELE 2D

L'emprise du modèle est présentée ci-après.



Figure 8 : Emprise du modèle 2D mis en œuvre

L'hydrogramme injecté dans le modèle est issu de l'analyse hydrologique présentée précédemment (§3).

La structure du modèle intègre :

- la zone de projet,
- le lit mineur de l'Aygues avec les lignes de courant,
- la route de Cairanne et la RD154 qui sont en remblai,
- la pile du pont en aval du projet

Les piles et les culées ont directement été intégrées à la topographie du modèle.

Ces zones, citées ci-dessus, sont des zones du modèle où le maillage a été affiné.

Le modèle final comprend environ 85 000 nœuds et la taille de la maille varie de 30 m à 5 m dans les secteurs les plus détaillés (lit mineur de l'Aygues et la zone de projet).

Les coefficients de Strickler retenus sont les suivants :

- $K_s = 5$ au droit des zones urbanisées denses,
- $K_s = 10$ au droit des zones boisées,
- $K_s = 20$ au droit des parcelles agricoles et dans la zone du projet,
- $K_s = 35$ dans le lit mineur de l'Aygues,
- $K_s = 50$ au droit des routes.

4.4 CALAGE ET VALIDATION DU MODELE

Aucune donnée de calage n'est disponible sur le secteur.

L'emprise de l'aléa calculée pour l'évènement centennal est comparée à celle donnée par le PPRi. L'analyse ne peut être menée qu'en plan, aucune cote de référence PPRi n'ayant été mise à disposition.

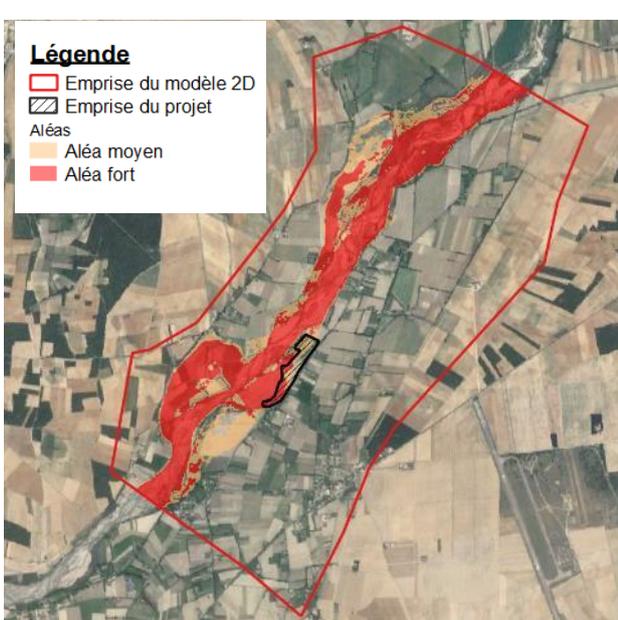


Figure 9 : Carte des aléas du modèle 2D

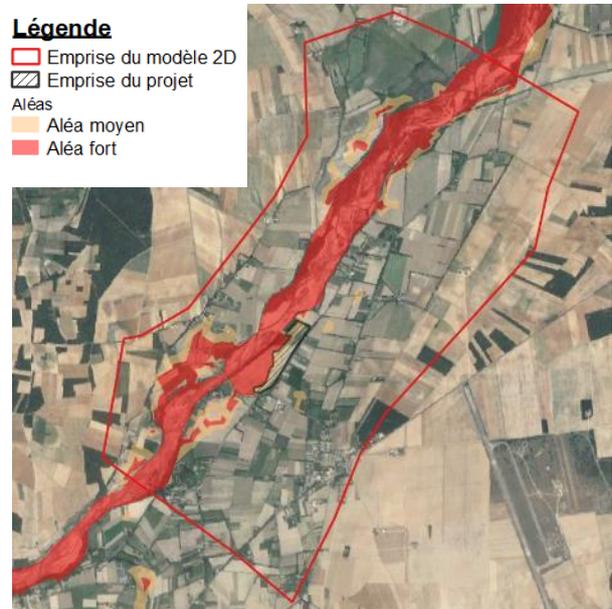


Figure 10 : Carte des aléas du PPRi



Figure 11 : Zoom sur la carte des aléas du modèle 2D

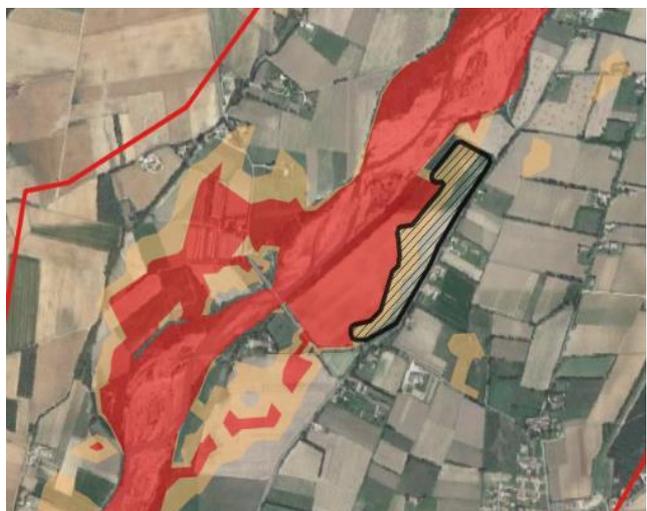


Figure 12 : Zoom sur la carte des aléas du PPRi

L'emprise des aléas moyens et forts du modèle 2D et du PPRi sont globalement comparables. Les aléas sont un peu plus importants en lit majeur, en rive droite de l'Aygues, pour le modèle 2D.

La note du PPRi ne mentionne pas le type de modèle et les données utilisées lors de la détermination des aléas. Les différences entre les aléas du modèle 2D et ceux du PPRi peuvent s'expliquer par la différence de topographie ou l'absence de données bathymétriques pour le modèle 2D.

Un test de sensibilité a été mené sur le coefficient de Strickler dans le fond du lit de l'Aygues. Le coefficient de Strickler du lit mineur a été imposé à 35. Cette valeur est classée dans la borne supérieure pour ce type de cours d'eau et il n'est pas préconisé de retenir des valeurs plus élevées.

4.5 EXPLOITATION DU MODELE

Les cartographies des hauteurs d'eau, vitesses et aléas sont présentées en Annexe 1 au droit de la zone de projet.

Ci-après est présenté un extrait de ces cartes.

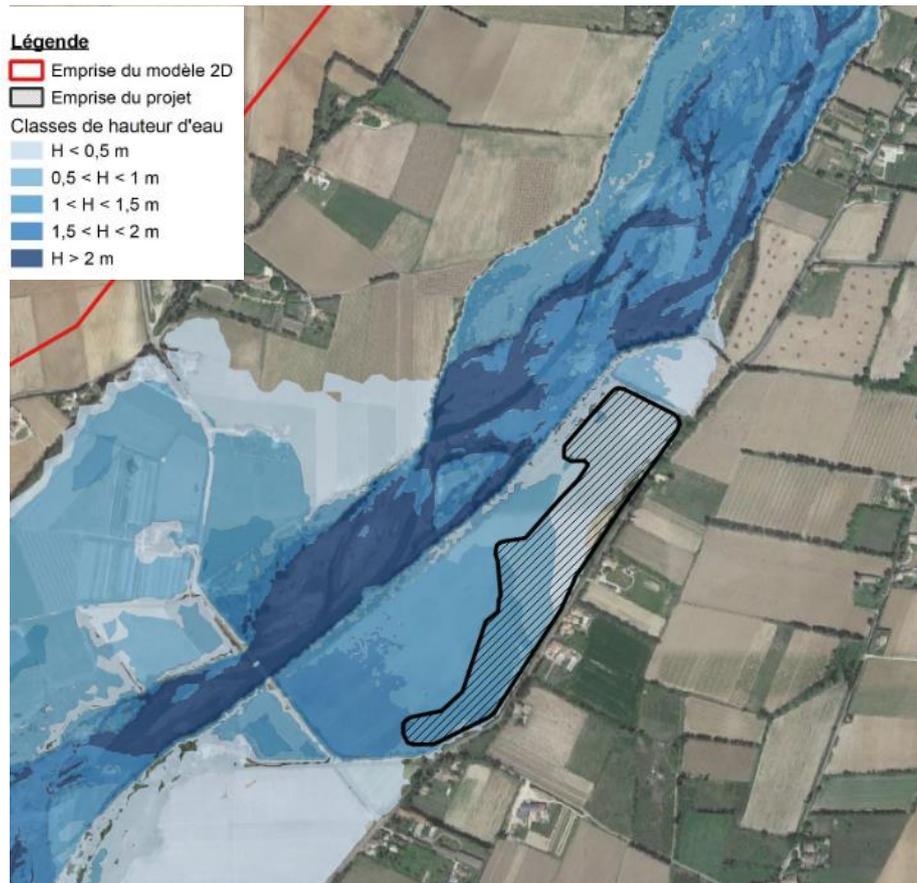


Figure 13 : Hauteurs d'eau pour la crue centennale en état actuel

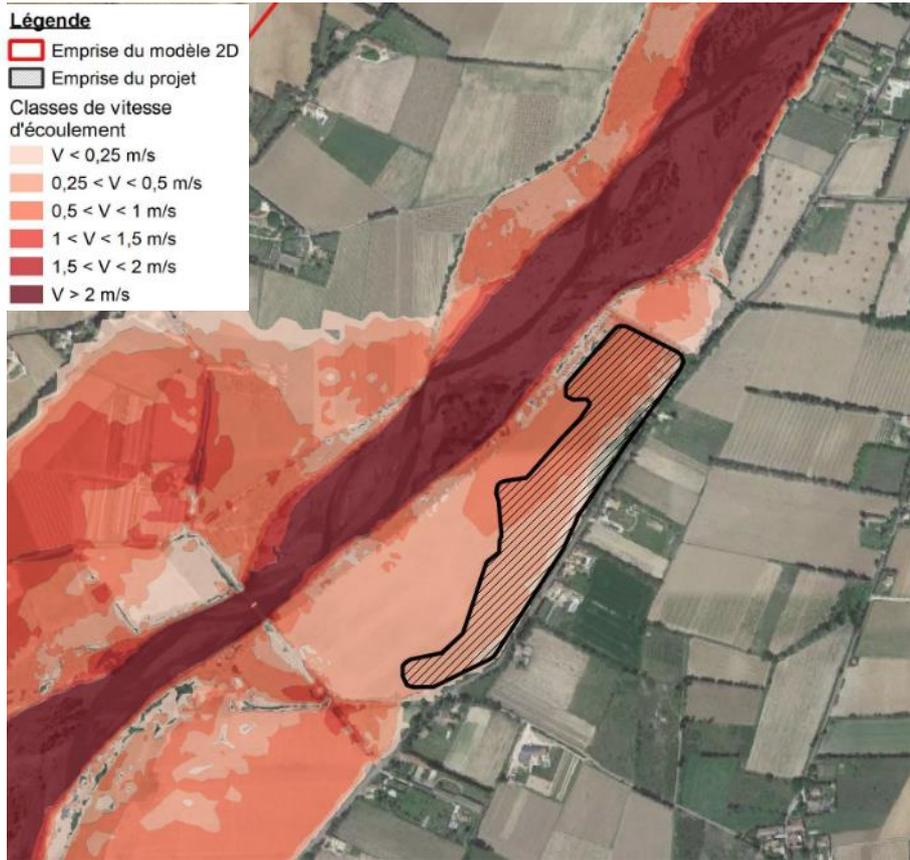


Figure 14 : Vitesses d'écoulement pour la crue centennale

40% de l'emprise du projet présentent des hauteurs d'eau supérieures à 0,5m. Les vitesses au nord de la zone du projet sont supérieures à 0,5 m/s.

La grille de croisement utilisée pour calculer l'aléa est la suivante.

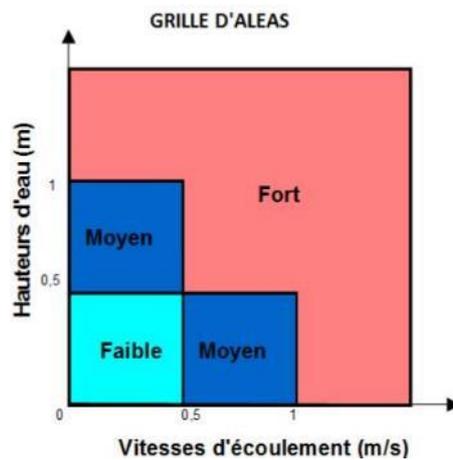


Figure 15 : Grille de croisement de l'aléa

La carte des aléas déduite à partir des cartes de hauteurs d'eau et de vitesses est présentée ci-dessous.

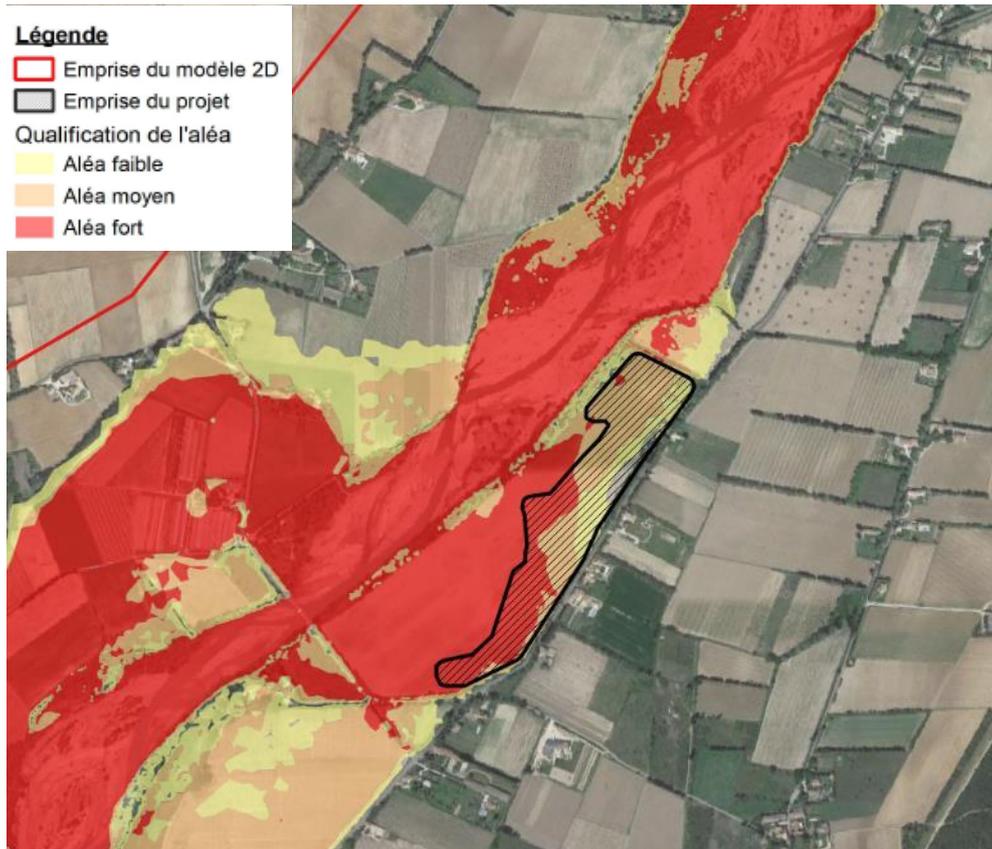


Figure 16 : Aléas pour la crue centennale

35% de l'emprise du projet est situé en aléa fort, d'après la modélisation hydraulique 2D.

Le PPRi impose les dispositions suivantes pour les unités de production d'énergie photovoltaïque :

- interdites en aléas fort,
- autorisées sous certaines conditions en aléas moyens :

Dans les seuls secteurs de la zone rouge exposés à un aléa moyen (cote de référence 1m mentionnée sur le plan de zonage), les unités de production d'énergie photovoltaïques au sol sous réserve que :

- o les installations (et en particulier les mâts d'ancrage au sol) résistent aux pressions hydrauliques des crues, écoulements et ruissellements pour la crue de référence ;
- o le projet, notamment par son emprise, sa localisation et son implantation, n'entrave pas le libre écoulement des eaux et ne réduise pas le champ d'expansion des crues ;
- o les équipements et réseaux sensibles à l'eau soient situés au minimum 0.20m au-dessus de la cote de référence ;
- o un dispositif de mise hors tension en cas de crue soit intégré.

Ainsi, l'emprise du projet agrivoltaïque devrait être réduite d'environ 35% si l'on se réfère à cette nouvelle modélisation.

ANNEXE 1 CARTOGRAPHIE DE L'ETAT ACTUEL

Numéro de carte	Description
Carte 1	Hauteurs d'eau pour la crue centennale de l'Aygues – Etat actuel
Carte 2	Vitesses d'écoulement pour la crue centennale de l'Aygues – Etat actuel
Carte 3	Aléas pour la crue centennale de l'Aygues – Etat actuel

Étude hydraulique et pré-dimensionnement d'ancrages pour la centrale solaire de Travaillan

Carte n° 01 : Hauteurs d'eau pour la crue centennale de l'Aygues - État actuel

Légende

- Emprise du modèle 2D
- Emprise du projet

Classes de hauteur d'eau

- $H < 0,5$ m
- $0,5 < H < 1$ m
- $1 < H < 1,5$ m
- $1,5 < H < 2$ m
- $H > 2$ m



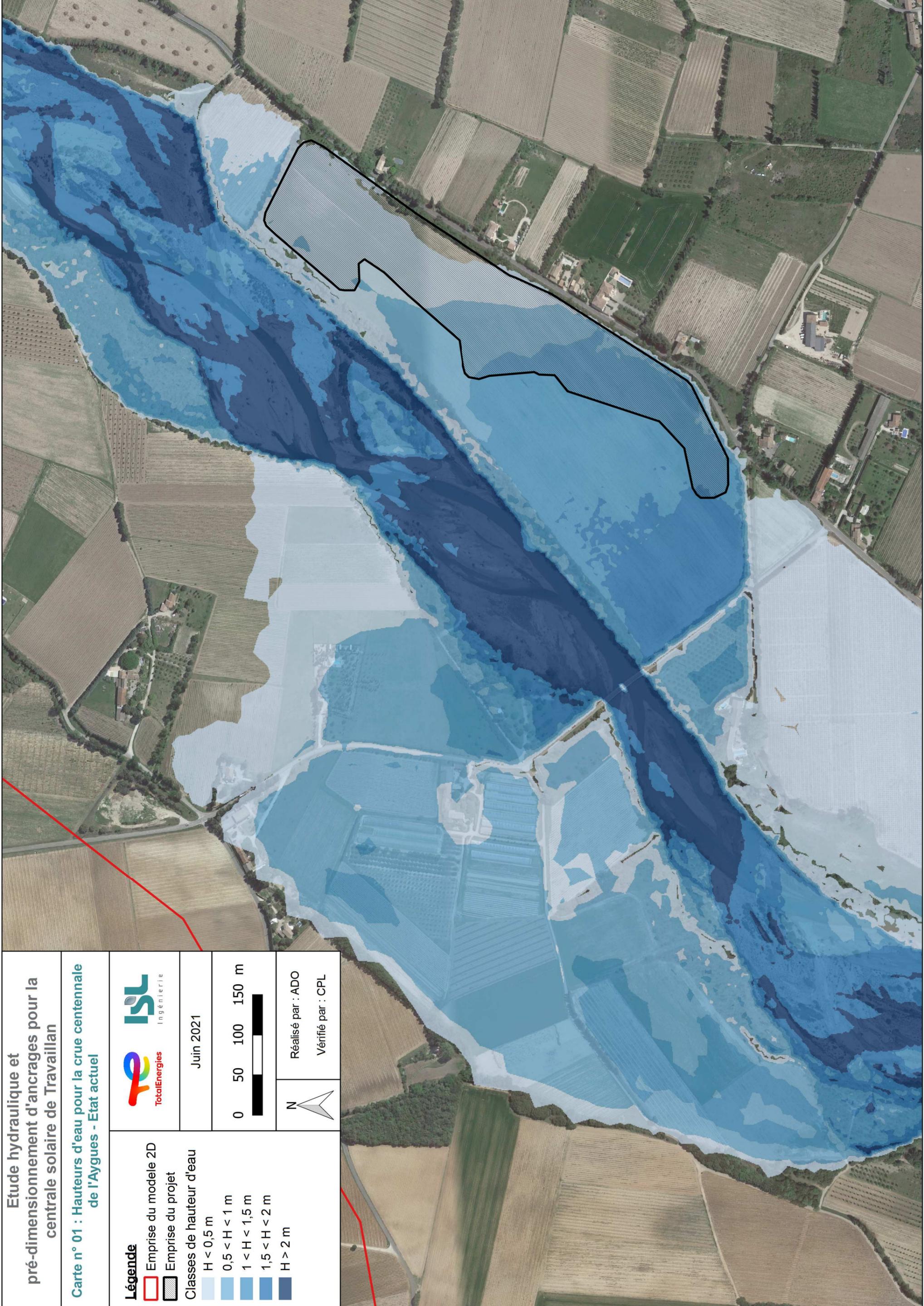
Juin 2021

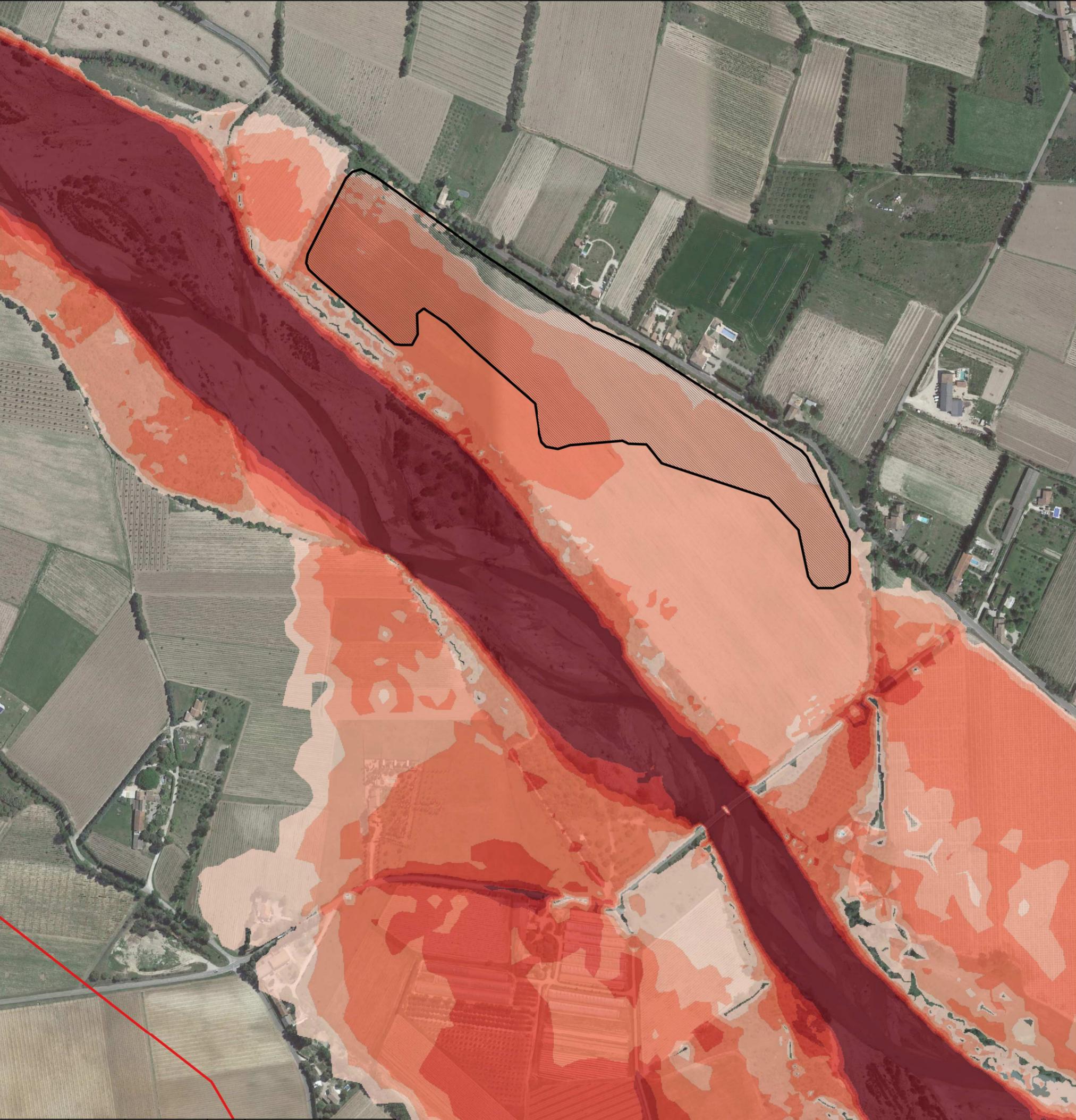
0 50 100 150 m

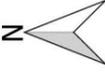


Réalisé par : ADO

Vérifié par : CPL





<p>Etude hydraulique et pré-dimensionnement d'ancrages pour la centrale solaire de Travaillan</p>	
<p>Carte n° 02 : Vitesses d'écoulement pour la crue centennale de l'Aygues - Etat actuel</p>	
	
<p>Junin 2021</p>	
<p>0 50 100 150 m</p> 	
<p>N</p> 	
<p>Réalisé par : ADO Vérifié par : CPL</p>	
<p>Légende</p> <ul style="list-style-type: none">  Emprise du modèle 2D  Emprise du projet 	<p>Classes de vitesse d'écoulement</p> <ul style="list-style-type: none">  $V < 0,25$ m/s  $0,25 < V < 0,5$ m/s  $0,5 < V < 1$ m/s  $1 < V < 1,5$ m/s  $1,5 < V < 2$ m/s  $V > 2$ m/s

Etude hydraulique et
pré-dimensionnement d'ancrages pour la
centrale solaire de Travaillan

Carte n° 03 : Aléas pour la crue centennale de l'Aygues
- Etat actuel

Légende

-  Emprise du modèle 2D
-  Emprise du projet
- Qualification de l'aléa
 -  Aléa faible
 -  Aléa moyen
 -  Aléa fort



Juin 2021

0 50 100 150 m



Réalisé par : ADO

Vérifié par : CPL

