



Annexe n°12 Etude hydrologique

Projet P1539 - Castelnau d'Aude

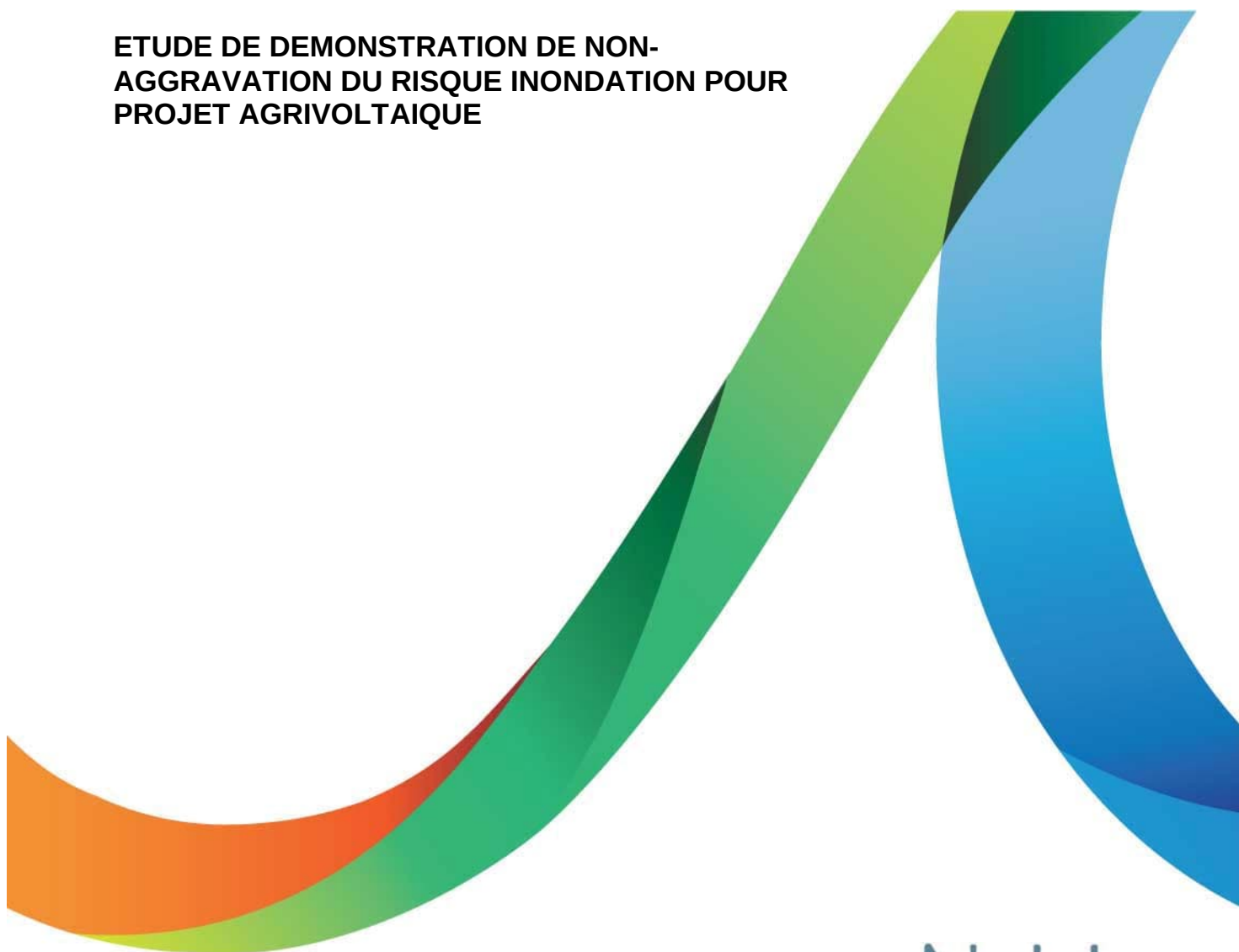
SARL Vallée de l'Argent double
à Castelnau d'Aude (11) • Septembre 2025

sun Agri



SUN'AGRI

**ETUDE DE DEMONSTRATION DE NON-
AGGRAVATION DU RISQUE INONDATION POUR
PROJET AGRIVOLTAIQUE**



Historique des révisions				
VERSION	DATE	COMMENTAIRES	RÉDIGÉ PAR :	VÉRIFIÉ PAR :
2	30/06/2025	Remarque MOA	VFn	NTc / FFy
1	18/06/2025	Création du document	VFn	NTc / FFy

Maître d'ouvrage : Sun'Agri
Mission : ETUDE DE DEMONSTRATION DE NON-
AGGRAVATION DU RISQUE INONDATION POUR
PROJET AGRIVOLTAIQUE

Affaire n° : 2500192
En date du : 30/06/2025

Contact : Florent Fery-Sandoval – Directeur adjoint
Adresse : Naldeo
255 Rue de la Découverte, Bâtiment A
31670 LABEGE
Tél. : 05.61.39.88.88
Fax : 05.61.00.77.13

Table des matières

1	PREAMBULE	4
2	INTRODUCTION	5
2.1	Situation.....	5
2.2	Objectif de l'étude	6
3	L'AUDE	7
3.1	Etude Hydrologique.....	7
3.1.1	Préambule	7
3.1.2	Débit de PSS	9
3.1.3	Hydrogramme de crue.....	9
3.2	Etude hydraulique	10
3.2.1	Modélisation hydraulique.....	10
3.2.2	Construction et calage du modèle	10
3.2.3	Résultat état initial	13
4	INFLUENCE DU PROJET	15
4.1	Etat projeté	15
4.2	Etat première ligne colmatée.....	18
4.3	Résultats et analyses des impacts.....	21
5	SYNTHESE	22
5.1	Résultats de l'analyse hydraulique.....	22
5.1.1	État actuel.....	22
5.1.2	État projeté	22
5.1.3	État projeté avec obstruction (scénario dégradé)	22
5.2	Recommandations pour assurer la durabilité du projet.....	23
5.3	Conclusion générale.....	23

1 PREAMBULE

Le présent document constitue le rapport d'étude hydraulique réalisé par le bureau d'études **Naldeo** dans le cadre du projet agrivoltaïque porté par la SARL Vallée de l'Argent double et **Sun'Agri**, implanté sur le territoire de la commune de **Castelnau-d'Aude** (11).

Le projet s'étend sur une superficie totale de 8,83 hectares, répartie en deux zones accolées. Il est situé au sein d'un secteur identifié comme exposé à un aléa d'inondation du plan des surfaces submersibles (PSS). La commune ne dispose pas de PPRI approuvé, **nous avons donc considéré dans cette étude les cartographies du plan des surfaces submersibles comme crue de référence.**

L'objectif principal de cette étude est de démontrer que l'aménagement envisagé n'engendrera aucune aggravation du risque d'inondation, en conformité avec les prescriptions du PSS ainsi qu'avec la réglementation locale en vigueur. En raison de sa proximité avec l'Aude, cours d'eau majeur du département, le projet est soumis à des exigences hydrauliques renforcées, visant à assurer la sécurité des installations et des secteurs environnants.

Les impacts hydrauliques liés à l'aménagement ont été analysés sur la base d'une crue de référence définie selon les exigences du PSS. Les simulations ont été réalisées à l'aide du logiciel HEC-RAS, permettant une modélisation précise des conditions d'écoulement dans le secteur concerné.

Ce rapport constitue ainsi un support technique essentiel pour évaluer la faisabilité hydraulique du projet, tout en garantissant le respect des contraintes réglementaires locales. Il apporte également les éléments nécessaires à l'instruction administrative du dossier ainsi qu'à l'appréciation des enjeux en matière de gestion du risque inondation.

2 INTRODUCTION

2.1 Situation

Le projet agrivoltaïque se situe dans le département de l'Aude (11), au Sud-Ouest de la France, plus précisément dans la commune de Castelnaud d'Aude, à proximité immédiate de l'Aude.

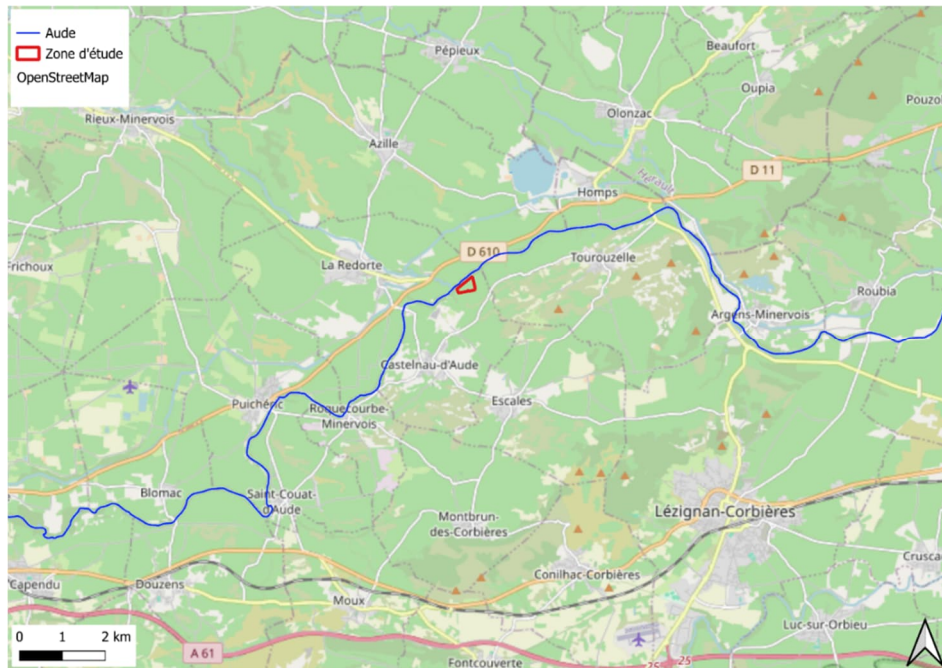


Figure 1 : Plan de situation

Le projet est entouré de vigne, il n'y a pas d'habitation proche de la zone projetée.



Figure 2 : Plan de situation

2.2 Objectif de l'étude

L'objectif principal de la présente étude est de vérifier que le projet agrivoltaïque porté par la SARL Vallée de l'Argent double et Sun'Agri, implanté sur la commune de Castelnaud-d'Aude, n'engendre aucune aggravation du risque d'inondation, en conformité avec les prescriptions du PSS.

Plus spécifiquement, l'étude poursuit les objectifs suivants :

1. **Analyser les impacts hydrauliques** : évaluer l'influence de l'implantation des structures photovoltaïques sur les conditions d'écoulement en crue, notamment en termes de hauteur d'eau et de vitesse d'écoulement, dans le contexte d'un événement de type PSS.
2. **Vérifier la conformité réglementaire** : s'assurer du respect des critères de transparence hydraulique imposés par la réglementation en vigueur, et confirmer que les écoulements naturels ne sont pas perturbés de manière significative. Il s'agit également de s'assurer que les équipements sensibles associés au projet sont situés hors d'eau, conformément aux exigences de sécurité hydraulique.

3 L'AUDE

3.1 Etude Hydrologique

3.1.1 Préambule

L'Aude prend sa source dans les Pyrénées sur les contreforts du Mont Llalet et s'écoule sur environ 170 km avant d'atteindre Castelnau-d'Aude et la zone d'étude. Son bassin versant au point de la zone d'étude couvre une superficie d'environ 3 515 km².

La figure suivante illustre la limite du bassin versant de l'Aude à l'exutoire de Castelnau-d'Aude.



Figure 3 : Bassin versant de l'Aude depuis la zone projet

Le projet agrivoltaïque est situé dans une zone de surfaces submersibles, conformément aux données du PSS de la commune de Castelnau-d'Aude. La carte suivante illustre cette localisation.

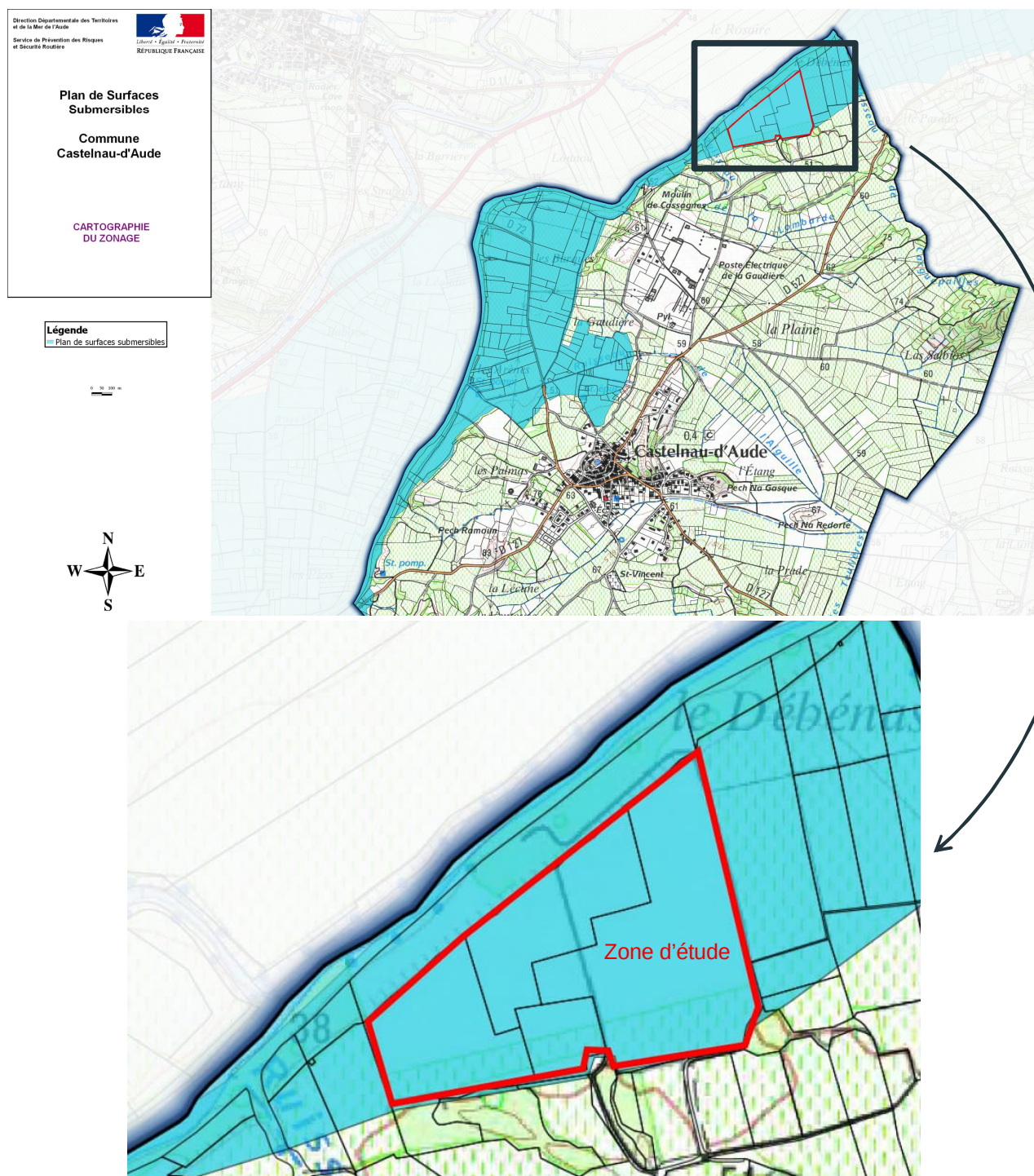


Figure 4 : Localisation du projet par rapport aux zones inondables PSS

3.1.2 Débit de PSS

Afin d'analyser les impacts hydrauliques du projet en situation d'inondation, il a été choisi de se placer dans le cas le plus contraignant, à savoir celui correspondant au débit de référence du PSS.

Le débit de crue de l'Aude, dans le cadre d'événements significatifs, est estimé à l'aide de la méthode Audoise.

Développée au début des années 2000 à l'occasion de l'élaboration des PPRI du département, cette méthode repose sur l'analyse des données issues des stations hydrométriques locales et sur un découpage du territoire en zones hydrologiques homogènes.

Elle s'applique aux bassins versants d'une superficie supérieure à 20 km² selon la formulation suivante :

$$Q_{PPRI} = 0.0436 * P_{j_{PPRI}}^{1.413} * I^{0.31} * S^{0.793} * L^{-0.207}$$

Avec :

- Q_{PPRI} : le débit correspondant à la carte d'inondation PPRI en m³/s (nous avons considéré le PSS);
- $P_{j_{PPRI}}$: la pluie journalière PPRI en mm (estimée à 240 mm) ;
- S : La superficie du bassin versant en km² (estimé à 3 515 km²) ;
- I : La pente moyenne pondérée le long du talweg en m/m (estimé à 0.50 m/m) ;
- L : le chemin hydraulique en km (estimé à 170 km).

Le débit PSS obtenu pour l'Aude à Castelnau-d'Aude est de 4 360 m³/s.

3.1.3 Hydrogramme de crue

Dans le cadre de cette étude, un hydrogramme de crue a été construit pour représenter l'évolution du débit lors de la crue PSS au niveau de la zone projeté. Les données suivantes ont été utilisées :

- Débit de pointe (Q_p) : 4 360 m³/s (correspondant à la crue PSS) ;
- Temps de propagation de la crue retenue : 4 heures.

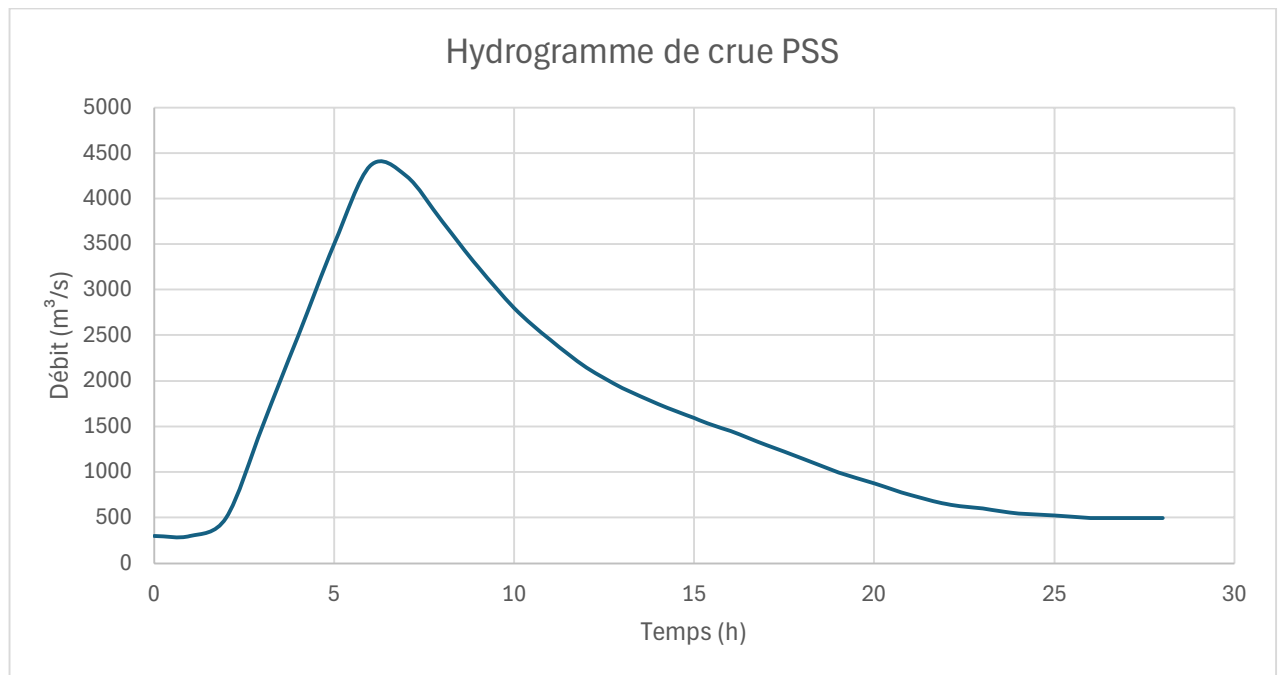


Figure 5 : Hydrogramme de crue de projet

3.2 Etude hydraulique

3.2.1 Modélisation hydraulique

L'objectif de la modélisation hydraulique est, dans un premier temps, d'évaluer les caractéristiques d'écoulement en l'état actuel, au droit de la zone concernée par le projet. Cette évaluation porte notamment sur les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement lors d'un événement de type PSS, afin de caractériser la situation de référence. Puis dans un second temps de modéliser les impacts des installations lors d'inondation.

3.2.2 Construction et calage du modèle

Le modèle hydraulique a été élaboré à partir d'une géométrie de type couplé 1D/2D. Le lit mineur est représenté en 1D, ce qui permet une modélisation précise des niveaux d'eau au sein des sections hydrauliques dans le cas d'écoulements principalement unidirectionnels. Le lit majeur est quant à lui modélisé en 2D, offrant ainsi une représentation plus fine des écoulements en zone inondable et de l'influence des obstacles physiques présents sur le site.

La construction du modèle repose sur les données topographiques disponibles issues des relevés LIDAR et du MNT de l'IGN. Afin d'améliorer la précision de la représentation du cours d'eau, des profils en travers ont été levés spécifiquement dans le lit de l'Aude, au droit du site du projet. La carte suivante précise l'emplacement des profils en long.

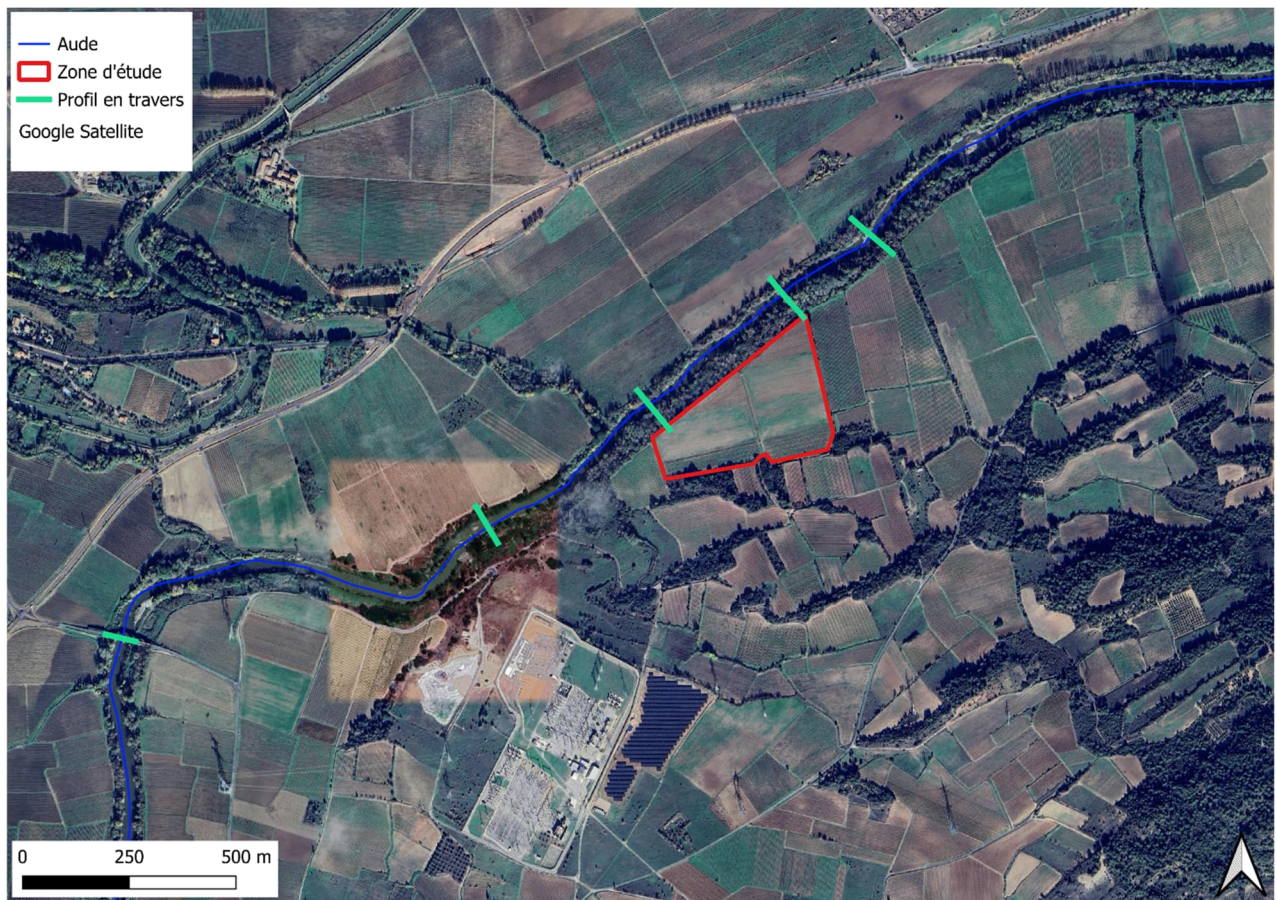


Figure 6 : Localisation des profils en travers

La zone modélisée en 2D comprend environ 25 000 mailles. Le maillage a été adapté en fonction du niveau de détail requis, avec une taille variant de 20 mètres dans les zones périphériques à 5 mètres dans les secteurs les plus sensibles, notamment au niveau de la zone de projet.

Les valeurs des coefficients de Strickler adoptées pour la simulation sont les suivantes :

- $K_s = 16$ au droit des zones boisées ;
- $K_s = 25$ au droit des parcelles agricoles et dans la zone du projet ;
- $K_s = 35$ dans le lit mineur de l'Aude.

Les poteaux des structures photovoltaïques ont été intégrés dans le modèle conformément aux localisations et aux dimensions transmises par la maîtrise d'ouvrage. Leur influence sur les écoulements a été explicitement prise en compte dans la simulation.



Figure 7 : Plan d'implantation projetée

On présente ensuite la géométrie construite dans le cas projeté avec la zone d'étude :

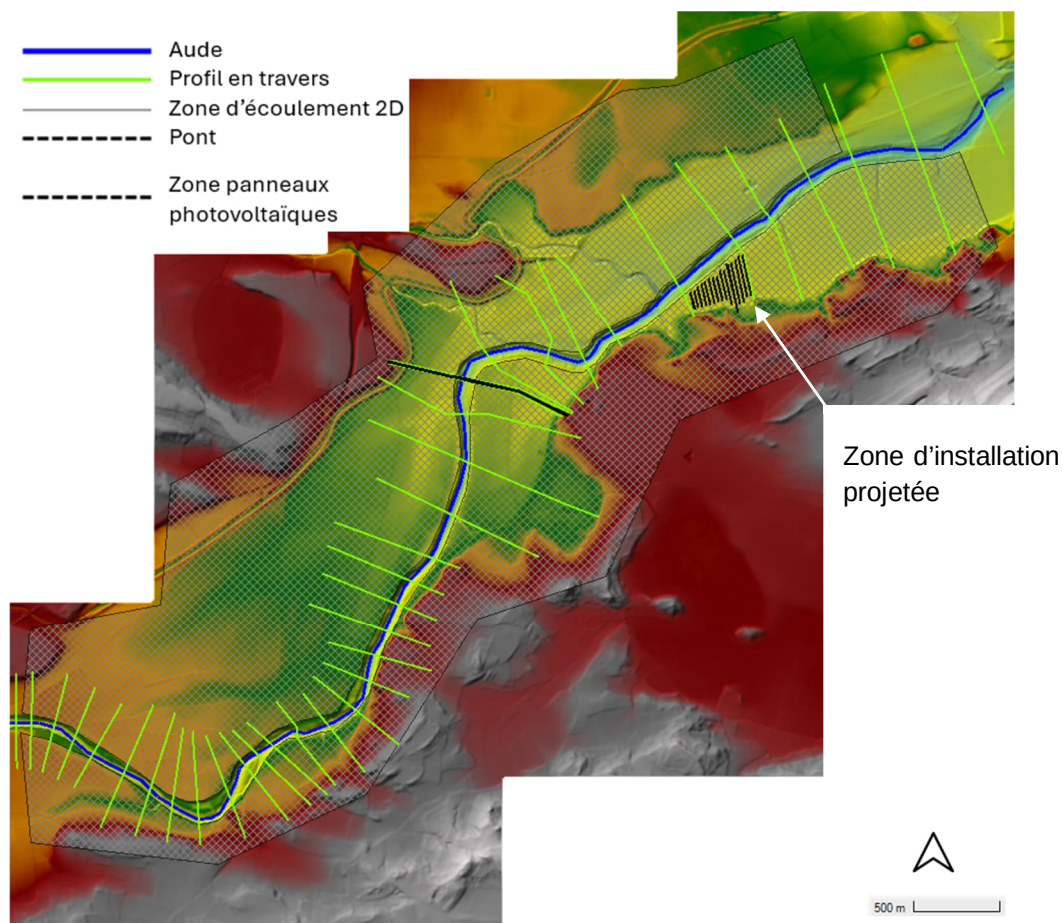


Figure 8 : Géométrie du modèle

3.2.3 Résultat état initial

Ce scénario représente la situation actuelle. Il permet d'évaluer les hauteurs d'eau maximales sous les conditions hydrologiques actuelles.

Les cartographies des hauteurs d'eau et vitesses sont présentées ci-dessous au droit de la zone de projet.

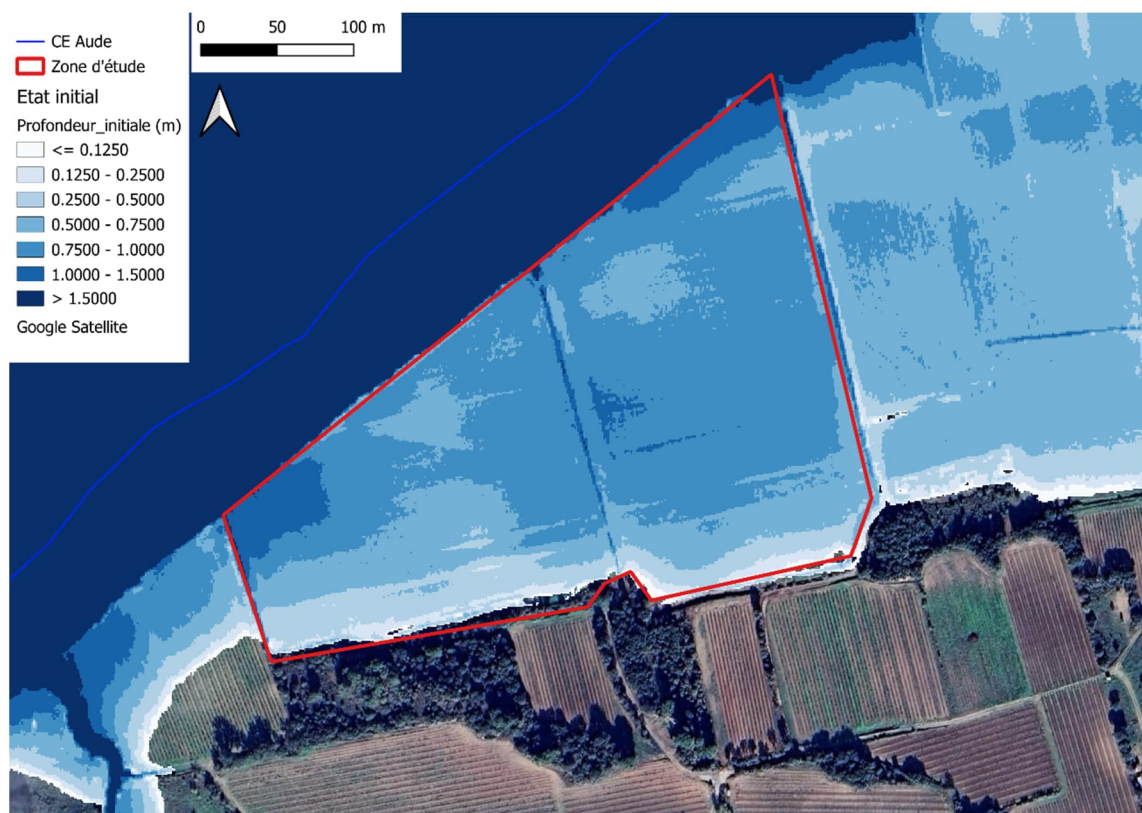


Figure 9 : Carte d'inondation état initial Q_{PSS}

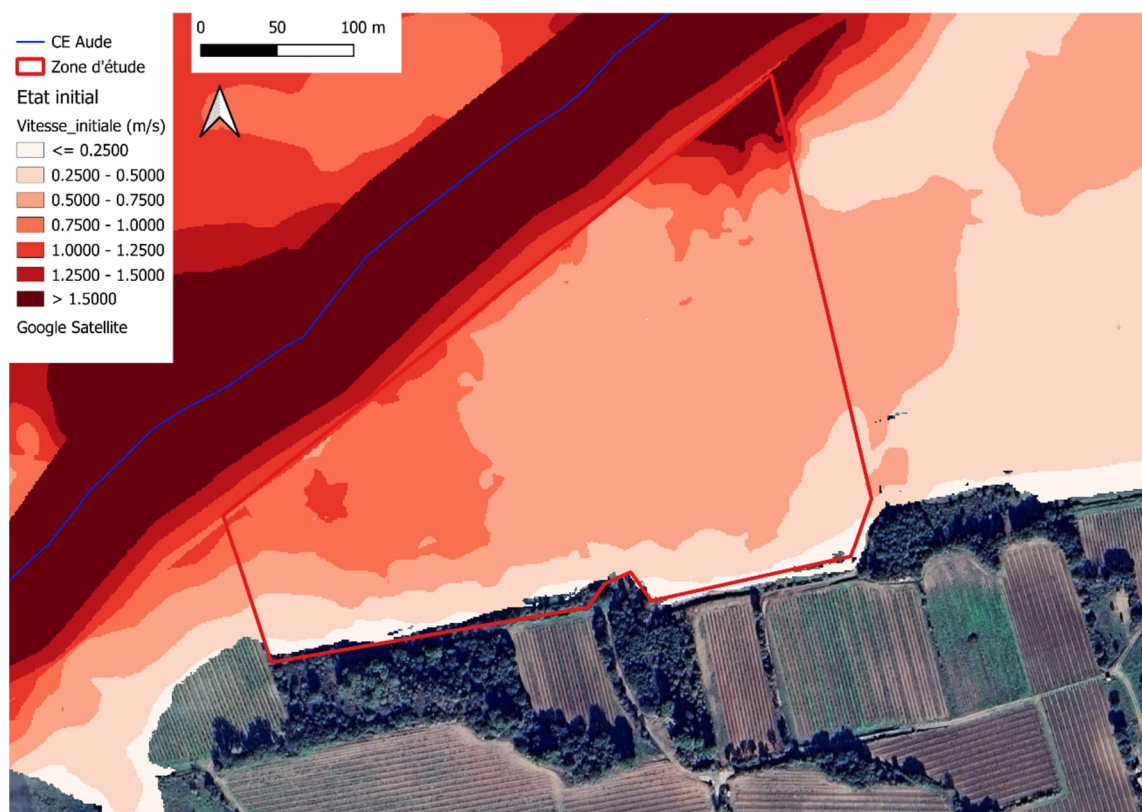


Figure 10 : Vitesses d'écoulement pour la crue PSS

4 INFLUENCE DU PROJET

4.1 Etat projeté

Dans ce scénario, les poteaux soutenant les panneaux du projet agrivoltaïque ont été intégrés pour représenter les infrastructures présentes et leur influence sur les écoulements.

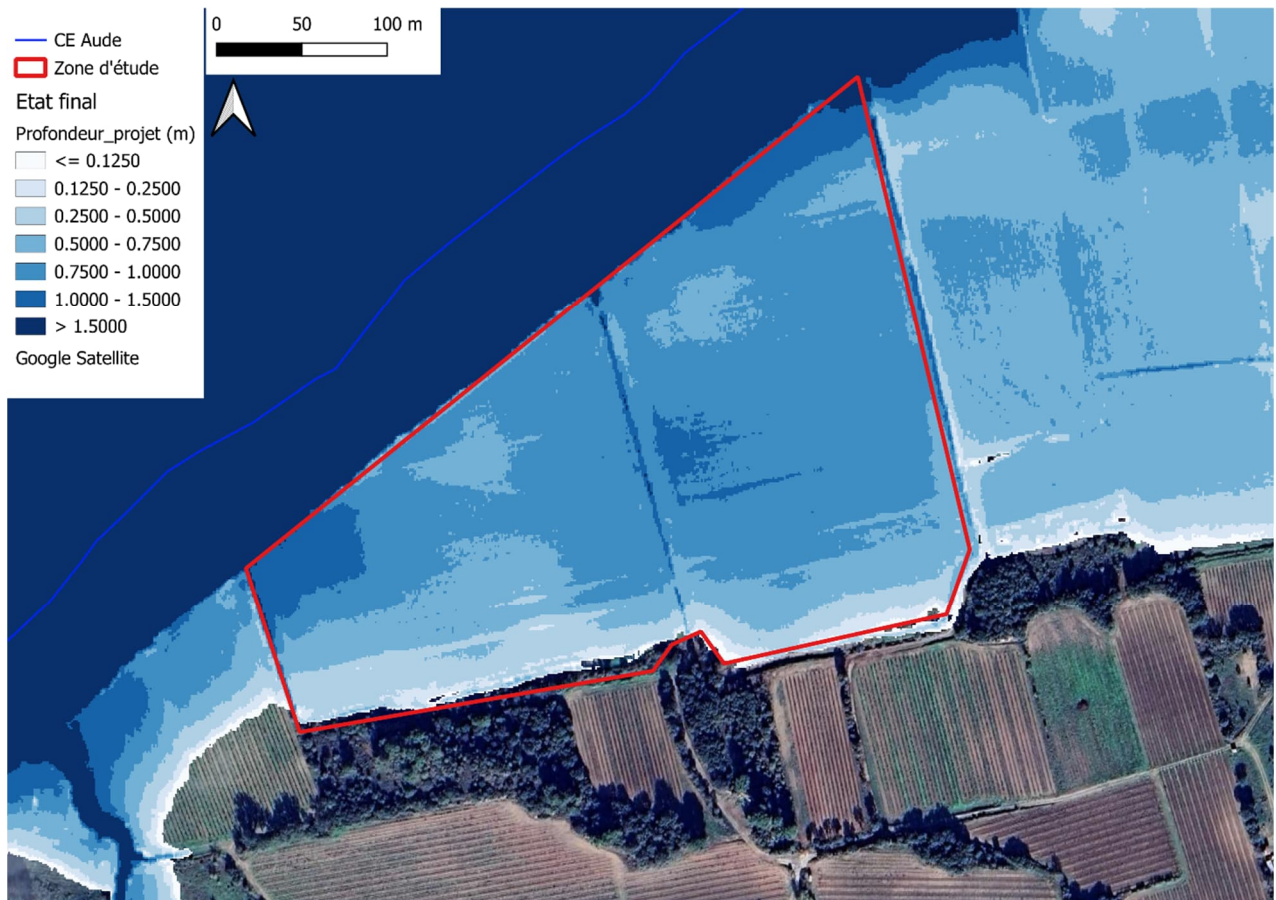


Figure 11 : Carte d'inondation état projet Q_{PSS}

L'analyse comparative entre les scénarios « état actuel » et « état projeté » met en évidence que le projet n'engendre qu'un impact **très limité sur les hauteurs d'eau**. Au droit du site, les hauteurs d'eau restent équivalentes entre les deux états modélisés, traduisant une transparence hydraulique satisfaisante de l'aménagement.

En périphérie de la zone d'étude, les hauteurs d'eau simulées présentent également des valeurs **globalement identiques**, ne révélant aucune modification significative du régime d'écoulement.



Figure 12 : Vitesses des écoulements état projet Q_{PSS}

En ce qui concerne les **vitesses d'écoulement**, ponctuellement, une **légère diminution est observée à proximité des poteaux** de support des panneaux photovoltaïques, traduisant une dissipation locale d'énergie. À l'inverse, **des accélérations modérées sont constatées en périphérie du site**, principalement du côté de l'Aude, en raison de la réorganisation naturelle des écoulements autour des structures.

Une analyse fine porte sur **onze points de contrôle** répartis au sein de la zone d'étude. En chacun de ces points, les **profondeurs d'eau** ainsi que les **vitesses d'écoulement** ont été relevées à partir des résultats de la modélisation hydraulique.

La carte suivante permet de localiser les différents points.



Figure 13 : Localisations des points de mesures

			Etat actuel			Etat projeté			Ecart H d'eau	Ecart Vitesse
	X	Y	Hauteur (m)	Hauteur (cm)	Vitesse (m/s)	Hauteur (m)	Hauteur (cm)	Vitesse (m/s)	(cm)	(m/s)
1	674058.608	6238746.68	1.20	120	0.888	1.21	121	1.100	1.1	0.212
2	674154.51	6238714.29	0.70	70	0.711	0.71	71	0.490	1.4	-0.221
3	674190.711	6238803.2	0.84	84	0.719	0.86	86	0.680	2.4	-0.039
4	674270.735	6238890.85	0.74	74	0.658	0.76	76	0.880	1.5	0.222
5	674303.761	6238770.81	0.92	92	0.540	0.95	95	0.501	2.5	-0.039
6	674360.921	6238944.2	0.83	83	0.780	0.85	85	0.914	1.8	0.134
7	674376.798	6238781.61	0.86	86	0.568	0.88	88	0.683	1.9	0.115
8	674440.47	6239010.81	0.56	56	0.551	0.57	57	1.120	0.5	0.569
9	674469.085	6238870.92	0.69	69	0.533	0.69	69	0.536	0.9	0.003
10	674644.118	6238980.61	0.58	58	0.487	0.59	59	0.488	0.9	0.001
11	673981.825	6238655.98	0.52	52	0.490	0.53	53	0.670	0.6	0.18

Il est observé une légère augmentation de la hauteur d'eau dans la zone, en majorité de l'ordre du cm, ce qui reste très faible vis-à-vis du modèle et de la crue considérée.

En fonction du point de mesure de la vitesse, il peut être observé des augmentations ou des diminutions de la valeur. On remarque que pour les points retenus hors de la parcelle d'étude, les vitesses simulées sont légèrement inférieures dans le cas projeté. La principale augmentation de vitesse apparaît coté berge de l'Aude.

4.2 Etat première ligne colmatée

Dans cette section, l'analyse porte sur un scénario de fonctionnement dégradé correspondant à l'obstruction complète de la première rangée de panneaux photovoltaïques, notamment par la formation d'embâcles.

Ce cas de figure constitue une hypothèse défavorable, représentative du **pire cas envisageable** en matière de transparence hydraulique. Afin de simuler cette situation, la première rangée de structures située en amont immédiat du parc est modélisée comme un **obstacle étanche**, équivalent à un mur imperméable aux écoulements.

Conformément à la méthodologie précédemment décrite, les cartographies des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement obtenues dans ce scénario sont présentées ci-après, au droit de la zone de projet.

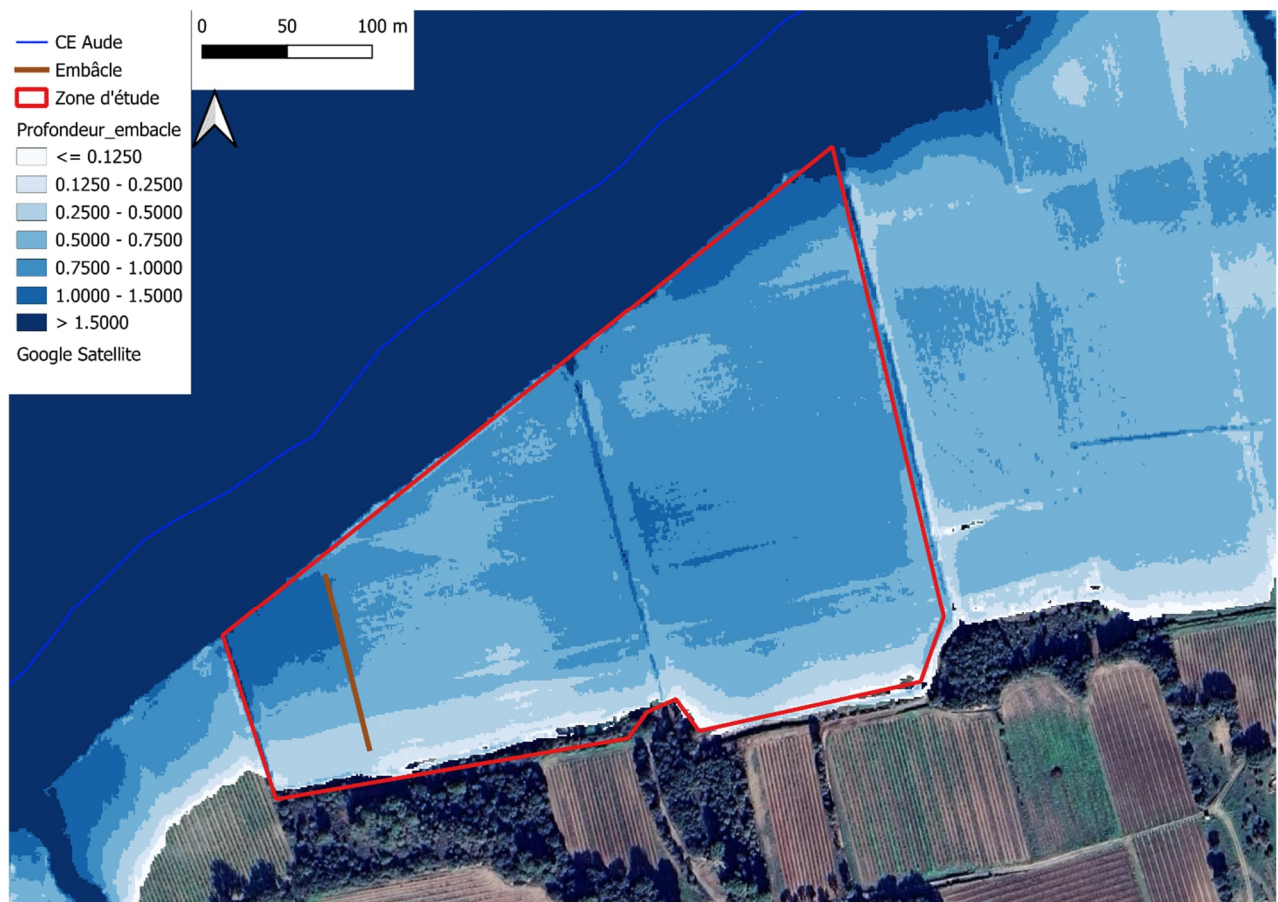


Figure 14 : Carte d'inondation état première ligne colmatée Q_{PSS}

En ce qui concerne les hauteurs d'eau, il n'y a que peu de différence, la crue réussit à contourner l'obstacle de la première ligne assez facilement.



Figure 15 : Vitesses des écoulements état première ligne colmatée Q_{PSS}

En ce qui concerne les **vitesses d'écoulement**, une **diminution est observée en amont de la ligne colmatée**. À l'inverse, **des accélérations modérées sont constatées en périphérie de cette ligne**, principalement du côté de l'Aude, en raison de la réduction de la surface permettant le passage des écoulements.

Comme précédemment il est relevé la profondeur et la vitesse en chacun des 11 points présentés plus tôt.

			Etat actuel			Etat bouché			Ecart H d'eau	Ecart Vitesse
	X	Y	Hauteur (m)	Hauteur (cm)	Vitesse (m/s)	Hauteur (m)	Hauteur (cm)	Vitesse (m/s)	(cm)	(m/s)
1	674058.608	6238746.68	1.20	120	0.888	1.24	124	0.635	3.8	-0.25
2	674154.51	6238714.29	0.70	70	0.711	0.66	66	0.427	-3.9	-0.28
3	674190.711	6238803.2	0.84	84	0.719	0.82	82	0.490	-1.4	-0.23
4	674270.735	6238890.85	0.74	74	0.658	0.75	75	0.509	0.9	-0.15
5	674303.761	6238770.81	0.92	92	0.540	0.93	93	0.262	0.7	-0.28
6	674360.921	6238944.2	0.83	83	0.780	0.84	84	0.355	0.5	-0.43
7	674376.798	6238781.61	0.86	86	0.568	0.87	87	0.493	0.7	-0.08
8	674440.47	6239010.81	0.56	56	0.551	0.57	57	0.550	0.3	0.00
9	674469.085	6238870.92	0.69	69	0.533	0.69	70	0.511	0.7	-0.02
10	674644.118	6238980.61	0.58	58	0.487	0.58	58	0.479	0.2	-0.01
11	673981.825	6238655.98	0.52	52	0.490	0.54	54	0.406	1.6	-0.08

Les impacts hydrauliques générés par l'obstruction de la première ligne de panneaux sont les plus significatifs à proximité immédiate de l'obstacle. On observe une **élévation des hauteurs d'eau en amont direct** de la zone colmatée, traduisant un léger effet de retenue, tandis qu'en **aval immédiat**, une **baisse localisée des hauteurs d'eau** est constatée. Ces effets s'atténuent rapidement à mesure que l'on s'éloigne de l'obstacle, tant en amont qu'en aval, traduisant un impact spatialement limité.

Concernant les vitesses d'écoulement, une **diminution notable est observée au droit de l'obstacle**, liée à la dissipation de l'énergie cinétique. Comme pour les hauteurs d'eau, cet impact est d'autant plus marqué que l'on se situe à proximité de la ligne colmatée, et tend à s'amortir rapidement avec la distance.

Le projet prévoit la mise en place de mesures paysagère et environnementale, il s'agit de renforcer la ripisylve coté Aude et la haie à l'Est du projet. Ces deux actions vont permettre de densifier la végétation et donc permettre de ralentir la vitesse des écoulements en périphérie du projet, elles sont compatibles d'un point de vue hydrologique et n'aggraveront pas les crues.

4.3 Résultats et analyses des impacts

Les simulations hydrauliques réalisées pour évaluer l'influence du projet sur l'Aude montrent des résultats cohérents en termes de hauteur d'eau et de vitesse d'écoulement. Les conclusions suivantes peuvent être établies :

1. Hauteur d'eau :

- Dans les deux scénarios, les hauteurs d'eau sur l'emprise du site restent modérées et confirment que les équipements situés à plus de 4.2 m resteront hors d'eau.
- Il n'y a pas d'augmentation significative des hauteurs pour la crue de référence au droit du site et sur les parcelles à proximité.

2. Vitesse d'écoulement :

- Les vitesses d'écoulement maximales enregistrées sur le site ne dépassent pas 1.1 m/s, une valeur qui reste dans une plage acceptable pour les infrastructures projetées.

5 SYNTHÈSE

Cette étude hydraulique a été réalisée dans le cadre du projet agrivoltaïque de Sun'Agri situé à Castelnaud-d'Aude (Aude), avec pour objectif principal de **vérifier que l'implantation du parc agrivoltaïque n'entraînera aucune aggravation des risques d'inondation sur la crue PSS**. Les résultats obtenus, confirment que le projet ne modifie pas significativement l'inondabilité de la parcelle du parc lui-même et des propriétés voisines.

Les simulations réalisées dans le cadre de cette étude confirment que le projet **n'induit pas de modification significative de l'inondabilité**, tant sur l'emprise du parc que sur les parcelles voisines, y compris dans des conditions hydrauliques défavorables.

5.1 Résultats de l'analyse hydraulique

5.1.1 État actuel

La modélisation est basée sur les données LIDAR disponibles, complétées par des profils topographiques du lit de l'Aude :

- Les hauteurs d'eau au droit de la zone projetée varient entre 0,50 m et 1,00 m ;
- Les vitesses d'écoulement moyennes sont de l'ordre de 0,5 m/s.

5.1.2 État projeté

La modélisation intègre, en complément des données précédentes, le relief précis du parc photovoltaïque issu des plans fournit :

- L'implantation des structures n'entraîne **aucune aggravation significative** des risques d'inondation ;
- Les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement sont **globalement identiques** à celles de l'état actuel ;
- Les écarts maximaux observés atteignent 2,5 cm pour les hauteurs d'eau en un point localisé, et 0,5 m/s pour la vitesse d'écoulement, sans incidence notable sur le fonctionnement hydraulique global du site.

5.1.3 État projeté avec obstruction (scénario dégradé)

Une situation défavorable a été modélisée avec une obstruction linéaire étanche de 1,5 m sur la première rangée de panneaux, représentant un dépôt potentiel d'embâcles (branchages, troncs, débris flottants) :

- Une élévation locale des hauteurs d'eau est constatée en amont immédiat de l'obstacle (+3,8 cm) ;
- Cette surcote est **limitée spatialement** et n'a pas d'incidence sur la zone de projet ni sur les secteurs à enjeux ;
- Une diminution des vitesses est observée au sein du site en raison de la dissipation d'énergie ;
- Des accélérations modérées apparaissent en périphérie, notamment en berge de l'Aude, là où le débit est partiellement dévié. Ces secteurs ne présentent aucun enjeu particulier et aucune aggravation du risque n'est constatée.

5.2 Recommandations pour assurer la durabilité du projet

Afin d'assurer la **résilience du site face aux événements hydrauliques futurs**, les recommandations suivantes sont émises :

1. Surveillance continue :

- Mettre en place un système de surveillance des conditions hydrologiques pour détecter toute variation significative post-implantation ;
- Suivre en particulier les secteurs sensibles (premières rangées de poteaux) pouvant faire l'objet de modifications locales d'écoulement.

2. Évaluation de la résilience des infrastructures :

- S'assurer que les structures, notamment les poteaux soutenant les panneaux photovoltaïques, sont conçues pour résister aux forces hydrauliques, même en cas d'événements extrêmes (étude géotechnique G2 et G4, dimensionnement des poteaux et assise par un bureau d'étude structure)

3. Gestion proactive des écoulements :

- Définir un protocole de gestion et de contrôle des embâcles (branchages, déchets flottants) susceptibles d'entraver les écoulements ; l'exploitant prévoit la mise en place d'une piste d'exploitation autour de la parcelle. Cette piste permettra de contrôler l'état de poteaux
- Mettre en œuvre des inspections régulières des abords du site et des axes hydrauliques environnants.

L'exploitant prévoit la mise en place d'une piste d'exploitation autour de la parcelle. Cette piste permettra de contrôler régulièrement l'état des structures.

5.3 Conclusion générale

Au terme de cette étude, il est confirmé que le projet agrivoltaïque de Sun'Agri n'entraîne **aucune perturbation significative du régime hydraulique** du secteur, ni sur l'emprise du projet, ni en aval.

Le **scénario dégradé avec obstruction**, bien qu'extrêmement défavorable, démontre également une **robustesse satisfaisante du projet**, sans aggravation des risques pour les terrains avoisinants.

La mise en œuvre des **recommandations de surveillance et d'entretien** permettra de garantir la **pérennité hydraulique** du site et d'assurer sa conformité à long terme avec les exigences réglementaires en matière de prévention du risque inondation.