

Etude hydraulique pour l'aménagement d'un site de panneaux photovoltaïques sur la commune de Robion dans le Vaucluse

hydrétudes
Groupe **altereo**

**Etude
hydraulique**



N° de référence : RO24-013

Version 2

Décembre 2024

SUIVI ET VISA DU DOCUMENT

Maitre d'ouvrage

COSICA SOLE
6 av. du Parc Borély
13008 MARSEILLE

Opération

Etude hydraulique pour l'aménagement d'un site de panneaux photovoltaïques sur la commune de Robion dans le Vaucluse

RO24-013
Lucie Portier
Etude hydraulique

Emetteur

HYDRETUDES - Dauphiné Provence
41 bis avenue des Allobroges
26100 ROMANS SUR ISERE
Tél : 04.75.45.30.57
Mail : contact-romans@hydretudes.com



Document

Etude hydraulique
Décembre 2024

Indice	Date	Mise à jour	Rédigé par	Vérifié par
1	Mars 2024	Version 1	L.P.	B.C
2	Décembre 2024	Version 2	Z.D.	L.P. – B.C
3				
4				
5				

SOMMAIRE

1.	CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE	4
1.1.	Localisation.....	4
1.2.	Prescriptions relatives	5
1.3.	Les études existantes	6
1.4.	Le système d'endiguement.....	6
1.5.	Objectifs de la mission.....	7
2.	PRESENTATION GENERALE DE LA MODELISATION HYDRAULIQUE.....	9
2.1.	Le Logiciel utilisé : ICM.....	9
2.2.	Paramètres de la modélisation	10
2.3.	Données topographiques utilisées	11
2.4.	Données hydrologiques prises en compte	12
2.5.	Localisation des digues	13
3.	RESULTATS DE MODELISATION	14
3.1.	Résultat de modélisation en état actuel	14
3.1.1.	Résultats avec les digues en place sans modification	14
3.2.	Résultats avec modifications des digues	18
3.3.	Résultat de modélisation en état projet	25
3.3.1.	Descriptif du projet.....	25
3.4.	Résultat des modélisations de l'état projet sans modification des digues	25
3.4.1.	Interprétation sur l'impact avant/après aménagement :	28
3.5.	Résultats des modélisations de l'état projet avec modification des digues.....	29
3.6.	Détail sur l'impact du sens et des vitesses d'écoulement	46
4.	CONCLUSIONS.....	50

LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	Localisation de la zone d'étude.....	4
Figure 2 :	Délimitation du bassin versant	5
Figure 3 :	Digues présentes aux abords du projet d'aménagement	7
Figure 4 :	Occupation du sol - Corine Land Cover 2018.....	10
Figure 5 :	Modèles numériques de terrain utilisés et zone d'implantation du projet photovoltaïque (en rouge)	11
Figure 6 :	Plan d'implantation de la centrale électrique à Robion (84)	11
Figure 7 :	Hydrogrammes injectés dans le modèle hydraulique	12
Figure 8 :	Localisation des points d'injection du modèle	13
Figure 9 :	Localisation des digues	13
Figure 10 :	Localisation des ruptures sur les digues	14
Figure 11 :	Plan d'implantation de la centrale électrique à Robion (84)	25

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

1.1. Localisation

Dans le cadre d'un projet d'aménagement d'un parc photovoltaïque dans le Vaucluse sur la commune de Robion (84), la société CORSICASOL a mandaté le bureau d'étude HYDRETUDES pour réaliser une étude déterminant les contraintes hydrauliques de cet aménagement qui se trouve dans la plaine inondable du Calavon-Coulon.

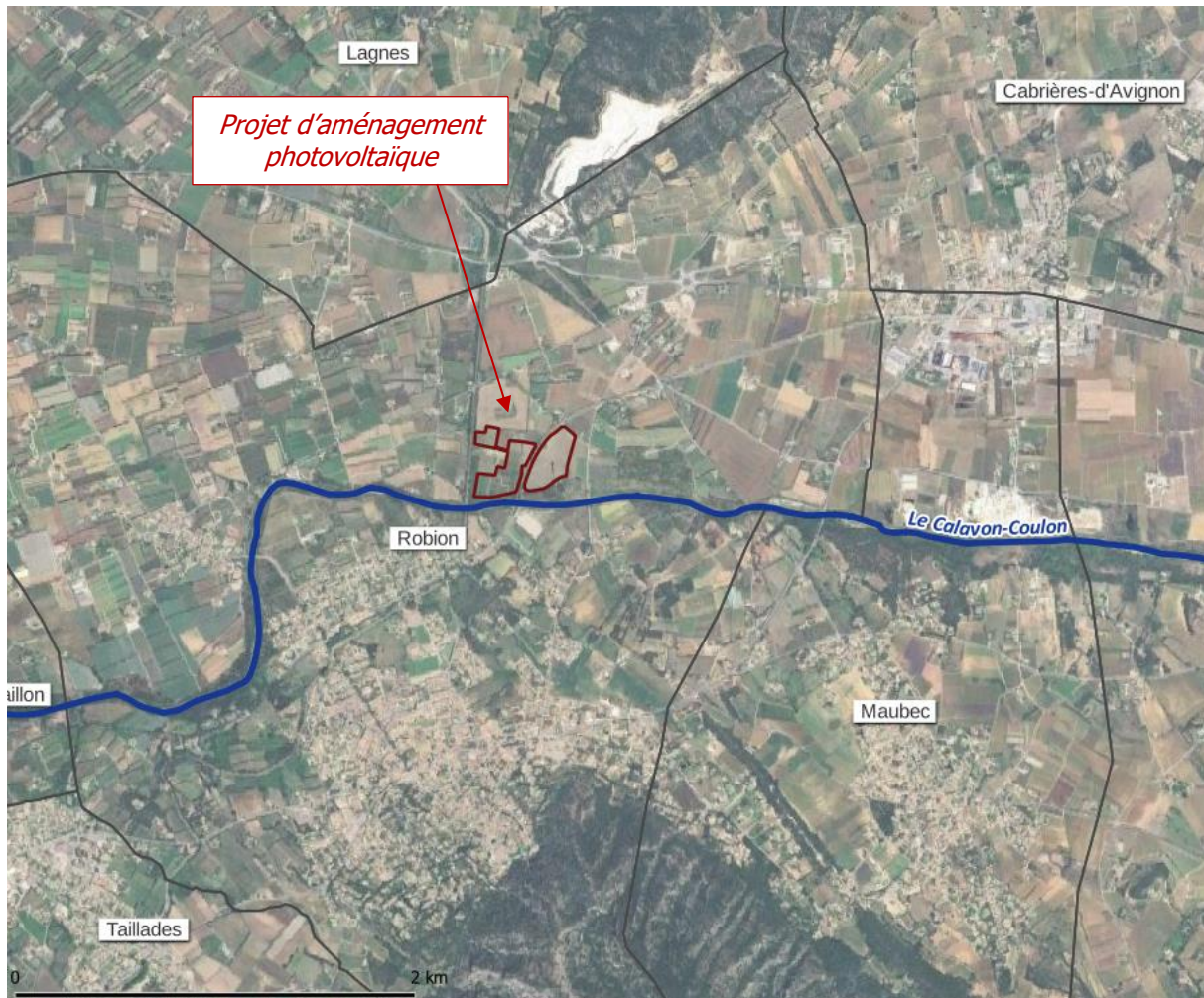


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

La zone d'étude est située dans la commune de Robion (84), sur le bassin versant du Calavon-Coulon. Le Calavon, aussi appelé Coulon, est une rivière qui s'écoule dans les départements des Alpes-de-Haute-Provence puis de Vaucluse, entre le Luberon et les monts de Vaucluse, dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Elle est un affluent droit de la Durance.

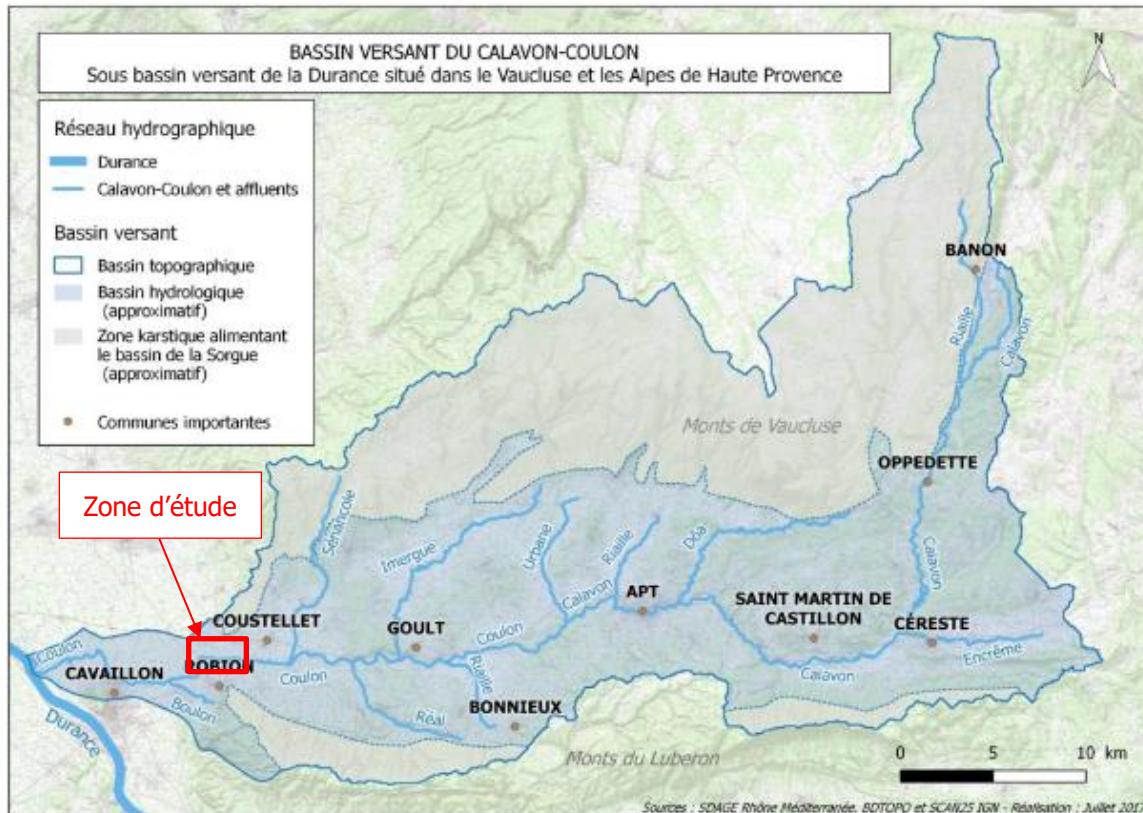


Figure 2 : Délimitation du bassin versant

1.2. Prescriptions relatives

Le Direction Départementale des Territoires de Vaucluse a publié en juin 2023 les prescriptions relatives aux installations de production d'énergie solaires implantées en zone inondable présentée ci-dessous :

Prescriptions relatives aux installations de production d'énergie solaires implantées en zone inondable

L'article n°47 de la loi relative à l'accélération de la production des énergies renouvelables (loi APER), promulguée le 10 mars 2023, ouvre la possibilité d'implanter des installations de production d'énergie solaire en zone inondable « dès lors qu'il n'en résulte pas une aggravation des risques ».

Pour répondre à ce principe de « non aggravation des risques », l'installation solaire implantée en zone inondable (quel que soit le niveau d'aléa) devra satisfaire aux trois conditions suivantes :

- 1) la recherche de la plus grande transparence hydraulique ;
- 2) la mise hors d'eau des éléments sensibles (panneaux, éléments électriques,...) ;
- 3) la résistance de l'installation à la crue (hauteur vitesse), aux embâcles (voitures, arbres) ou aux sur-aléas en cas de rupture de digue.

Ces trois conditions sont déclinées selon les modalités suivantes :

Le demandeur devra établir, par des études spécifiques, que le projet n'est pas de nature à aggraver les risques, au moins jusqu'à la crue de référence :

- en recherchant l'absence d'impact sur la ligne d'eau et la transparence hydraulique maximale de l'installation (y compris les clôtures) quelles que soient les circonstances de crue

(embâcles, rupture de digue...). L'installation ne devra pas aggraver l'aléa sur l'ensemble des enjeux existants à sa proximité, en amont, en aval et sur la rive opposée ;

- en démontrant l'absence de vulnérabilité du projet lui-même y compris dans les situations les plus défavorables (embâcles, rupture de digue, mobilité du lit vif...). A ce titre, l'installation devra notamment respecter les prescriptions suivantes :
 - l'ensemble des éléments sensibles (panneaux, postes de relevé, connectiques afférentes...) devra être implanté au-dessus de la cote de référence en tenant compte des éventuels éléments solides flottants pouvant être transportés par le cours d'eau ;
 - les modalités de protection et d'entretien devront tenir compte du caractère inondable du site, en particulier, un dispositif de mise hors tension de l'installation en cas de crue devra être intégré.
 - l'ancrage au sol (des fondations et structures porteuses des panneaux, des clôtures, des postes électriques, etc.) sera suffisant pour résister aux embâcles (voitures, arbres, etc.) et éviter l'arrachement. Le dimensionnement tient compte :
 - de la nature et de la stabilité du sous-sol (phénomène d'érosion en cas de crue) ;
 - des vitesses et hauteurs d'eau auxquelles seront soumises les installations au moins jusqu'à la crue de référence ;
 - de la capacité de transport solide d'éléments environnants susceptibles de générer l'arrachement des panneaux par choc ou par perte des fondations ;
 - des situations accidentelles possibles, notamment ruptures de digues entraînant des venues d'eau particulièrement rapides.

1.3. Les études existantes

Les terrains du projet ont fait l'objet d'une étude d'inondabilité par débordement du Calavon-Coulon réalisées par HYDRETTUDES :

- Etude des zones d'expansion des crues (HYDRETTUDES – 2017),
- Etude de définition des systèmes d'endiguement du bassin versant du Calavon-Coulon (HYDRETTUDES – 2023).

De plus, une étude hydrologique a été menée sur le bassin versant afin d'estimer les débits du Calavon-Coulon et de l'ensemble de ces affluents (HYDRETTUDES 2017).

1.4. Le système d'endiguement

La zone d'étude jouxte plusieurs digues du Calavon-Coulon recensées auprès de la DDT :

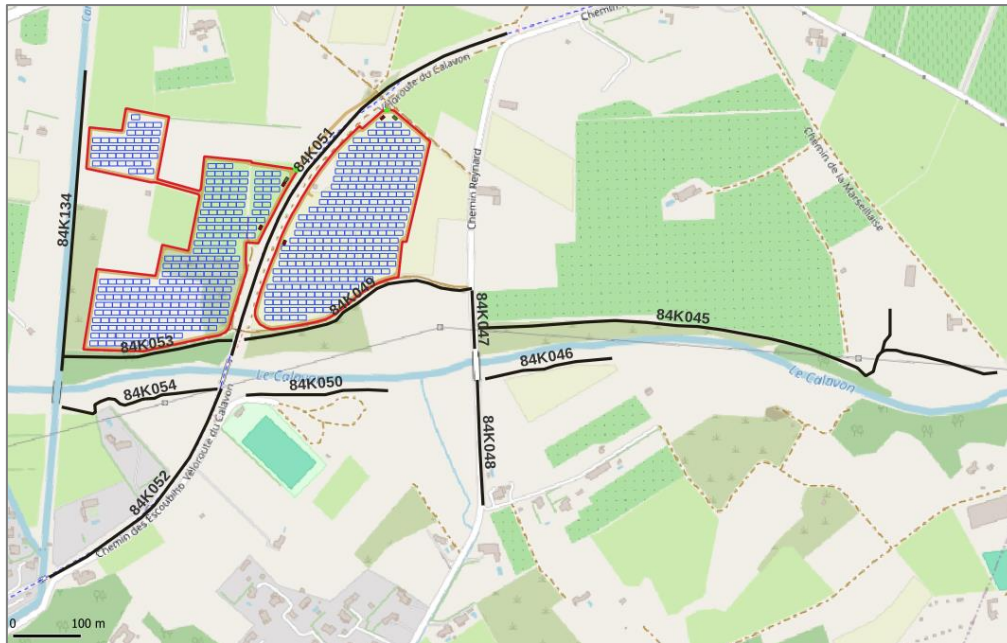


Figure 3 : Digues présentes aux abords du projet d'aménagement

Les digues en rive gauche du Calavon-Coulon ne sont pas analysés dans la présente étude. Il en est de même pour les digues 84K047, 84K051 et 84K134 car leur vocation première n'est pas la protection des biens et des personnes contre les inondations mais plutôt des voies de circulation :

- Digue 84K047 : remblai routier,
- Digue 84K051 : ancien remblai SNCF et actuellement vélo-route,
- Digue 84K134 : canal de Carpentras.

Les digues retenues pour l'analyse sont donc les digues longitudinales au cours d'eau situées en rive droite : 84K045, 84K049 et 84K053.

1.5. Objectifs de la mission

L'étude a pour objectif de quantifier l'impact du projet d'aménagement photovoltaïque sur la zone inondable en crue centennale suivant 4 scénarios :

- Inondation par submersion, c'est-à-dire sans dysfonctionnement des endiguements,
- Inondation avec effacement des endiguements
- Inondation avec rupture des endiguements
- Inondation avec prise en compte des embâcles

Au total, voici les éléments à étudier :

Etat actuel

- Q100 : Etat actuel - présence des digues
- Q100 : Etat actuel – effacement de la digue 84K045
- Q100 : Etat actuel – effacement de la digue 84K049
- Q100 : Etat actuel – effacement de la digue 84K053
- Q100 : Etat actuel – rupture de la digue 84K045
- Q100 : Etat actuel – rupture de la digue 84K049
- Q100 : Etat actuel – rupture de la digue 84K053

Etat projet

- Q100 : Etat projet - présence des digues
- Q100 : Etat projet – effacement de la digue 84K045
- Q100 : Etat projet – effacement de la digue 84K049
- Q100 : Etat projet – effacement de la digue 84K053
- Q100 : Etat projet – rupture de la digue 84K045
- Q100 : Etat projet – rupture de la digue 84K049
- Q100 : Etat projet – rupture de la digue 84K053
- Q100 : Etat projet – embâcle sur la première rangée de panneaux photovoltaïques

2. PRESENTATION GENERALE DE LA MODELISATION HYDRAULIQUE

2.1. Le Logiciel utilisé : ICM

InfoWorks ICM, développé par la société INNOVYZE, est un outil de modélisation des écoulements des rivières. Il permet de résoudre les équations de l'hydraulique à surface libre (équations de Saint-Venant) le long du profil d'une rivière ou d'un canal.

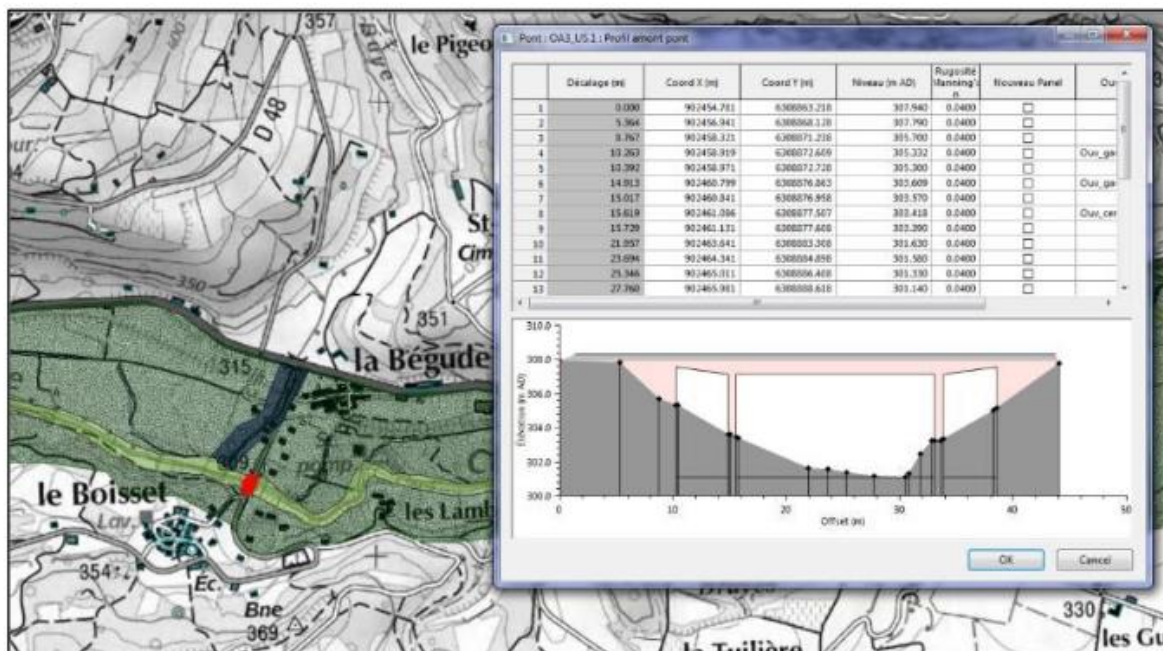
InfoWorks ICM intègre modélisation 1D et 2D. Les moteurs 1D et 2D tournent en même temps et permettant l'échange d'eau entre les modèles à chaque pas de temps. Les échanges se font au niveau des déversements.

En 1D, la résolution des équations de Saint-Venant se fait par l'intermédiaire de la méthode des différences finies entre les différents profils en travers.

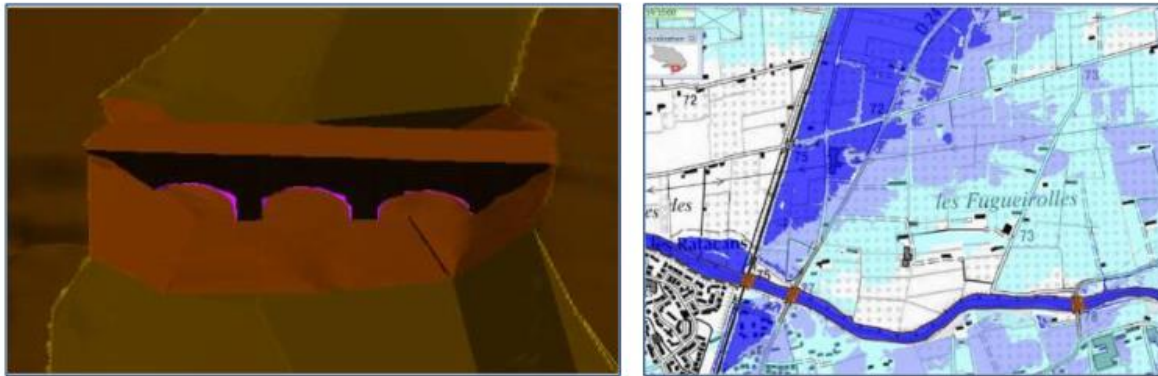
En 2D, InfoWorks ICM applique des algorithmes performants basés sur une méthode type volumes finis pour résoudre l'équation complète de Saint-Venant en utilisant le solveur de Rienmann. Cela est particulièrement adapté aux régimes hydrauliques rapidement variés tels que ceux à travers les rues escarpées, les carrefours et ceux qui sont associés aux submersions de digues et/ou talus naturels.

En plus de modéliser en 1D et 2D, InfoWorks ICM permet d'intégrer facilement et précisément des données supplémentaires (ponts, conduites, seuils, affluents, bâti, zones de rugosité...).

Exemple d'intégration d'un pont sous InfoWorks ICM.



Enfin, son interface offre des rendus clairs sous forme de cartes, graphiques, vues 3D et vidéos qui permettent une compréhension plus aisée des phénomènes hydrauliques (figures suivantes).



Rappels sur les limites d'un modèle :

Il convient de rappeler qu'un modèle est une représentation limitée de la réalité. Les résultats sont conditionnés par la quantité et la précision des données d'entrée (topographie du lit mineur, MNT, hydrologie, informations de calage etc.).

Par ailleurs, les variations locales de la ligne d'eau ne sont pas prises en compte dans le processus de transfert de l'onde de crue (obstacles, embâcles, charriage des matériaux important, ...).

2.2. Paramètres de la modélisation

Les coefficients de Manning-Strickler retenus suivant l'occupation du sol sont :

- Fond de cours d'eau : 25 (condition défavorable sur les hauteurs d'eau),
- Vignoble : 20,
- Prairie et systèmes cultureux parcellaires complexes et surfaces essentiellement agricole : 25,
- Tissu urbain discontinu : 58.

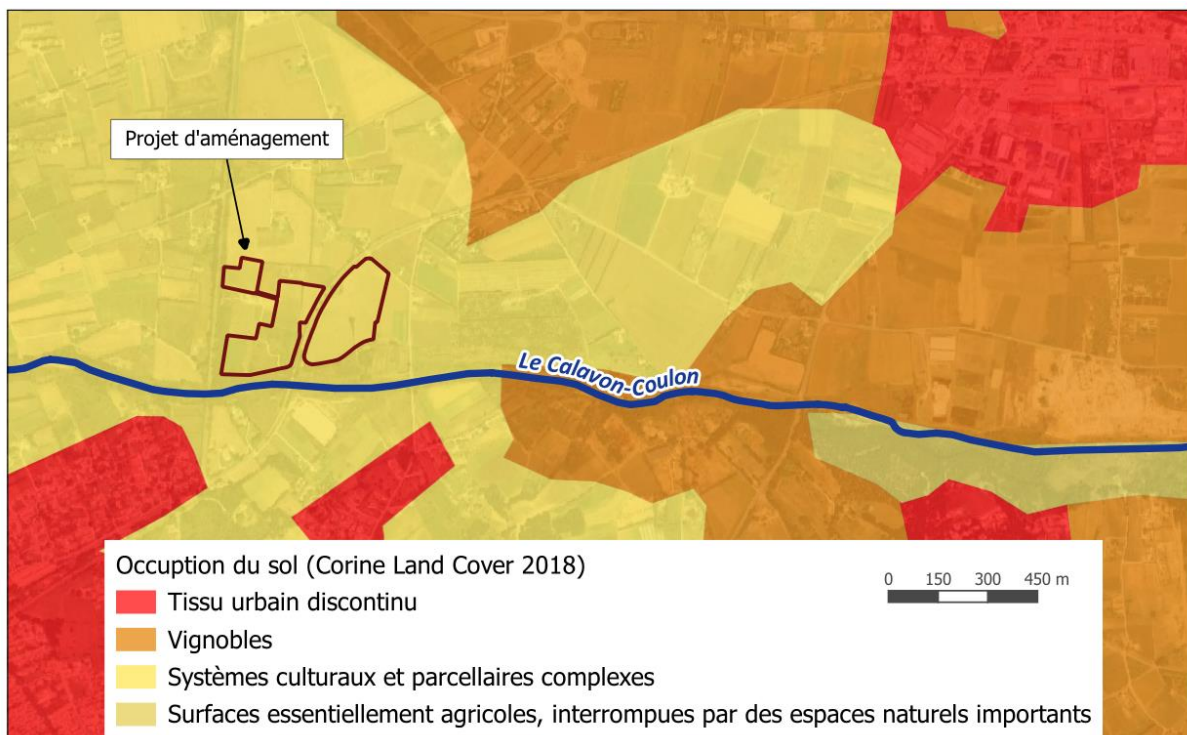


Figure 4 : Occupation du sol - Corine Land Cover 2018

2.3. Données topographiques utilisées

Pour la réalisation de cette étude, 2 sources de données topographiques sont utilisées :

- Le modèle numérique de terrain levé par SINTEGRA en 2016 et 2021 pour le SIRCC d'une résolution d'un mètre,
- Le modèle numérique de terrain fournit par CORSICA SOLE au droit du projet d'une résolution de 0.2 mètre.
- Ce lidar est complété par le lidar HD 1 mètre sur les zones manquantes notamment la zone sud.



Figure 5 : Modèles numériques de terrain utilisés et zone d'implantation du projet photovoltaïque (en rouge)

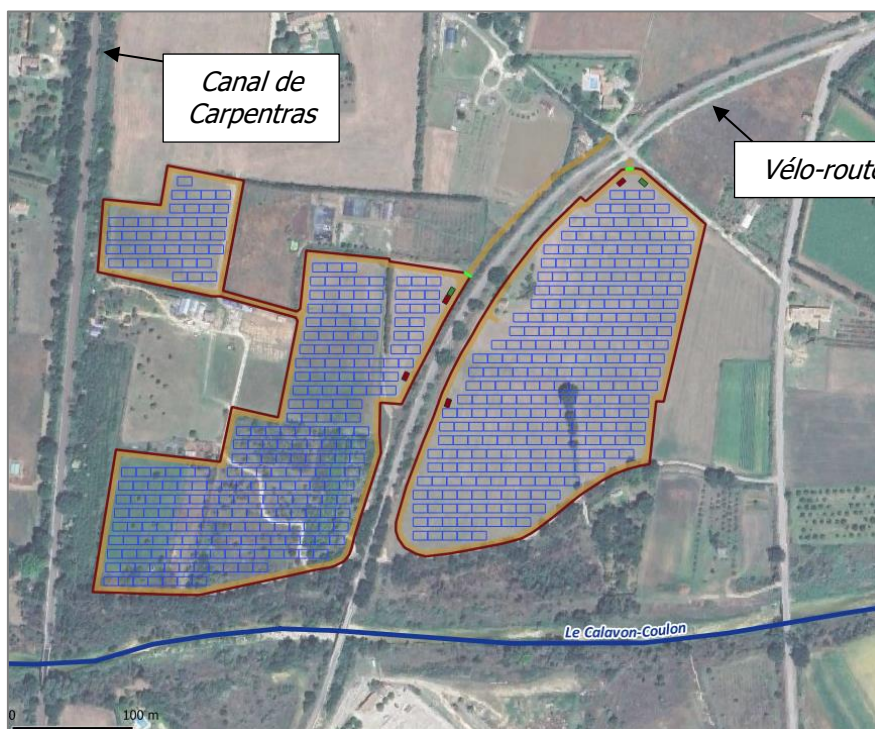
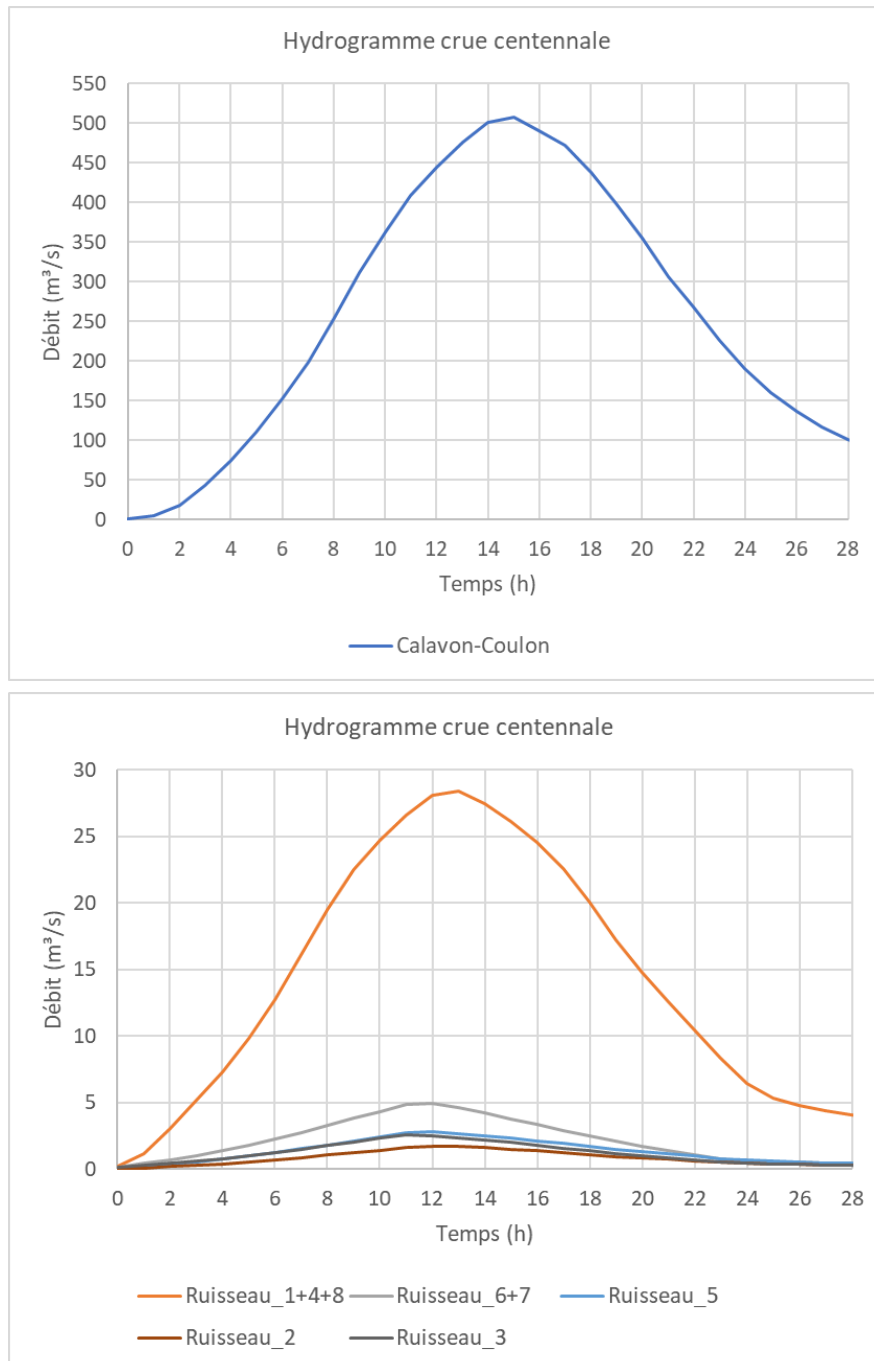


Figure 6 : Plan d'implantation de la centrale électrique à Robion (84)

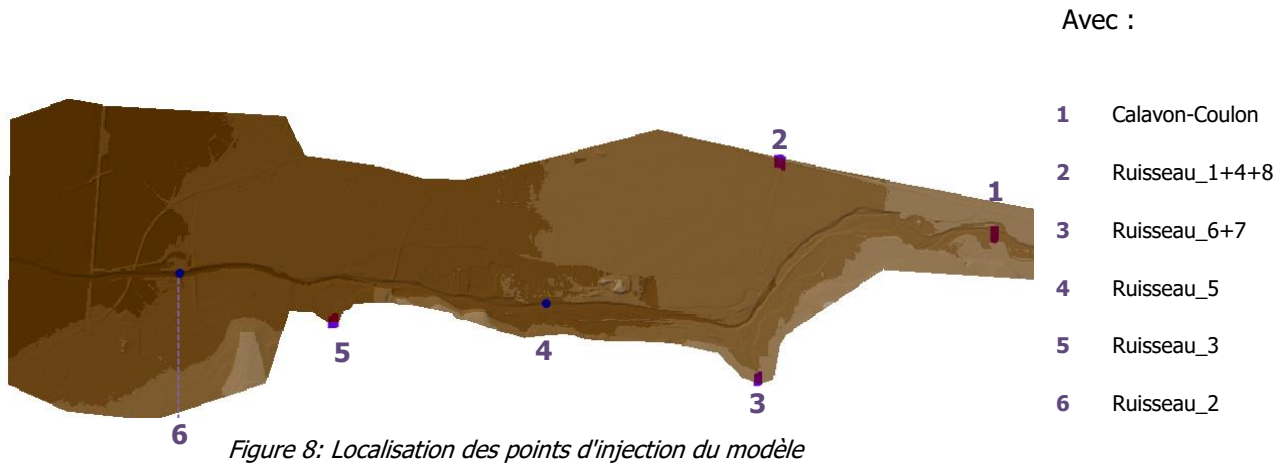
2.4. Données hydrologiques prises en compte

Pour la modélisation hydraulique, les données hydrologiques issues de l'étude HYDRETTUDES 2017 sont utilisées. L'hydrologie utilisée dans le modèle actuel est issue de la modélisation hydraulique du Calavon Coulon en amont de la zone d'étude prenant en compte les écrêtements naturels du cours d'eau. Les hydrogrammes pour la crue centennale sont les suivant :



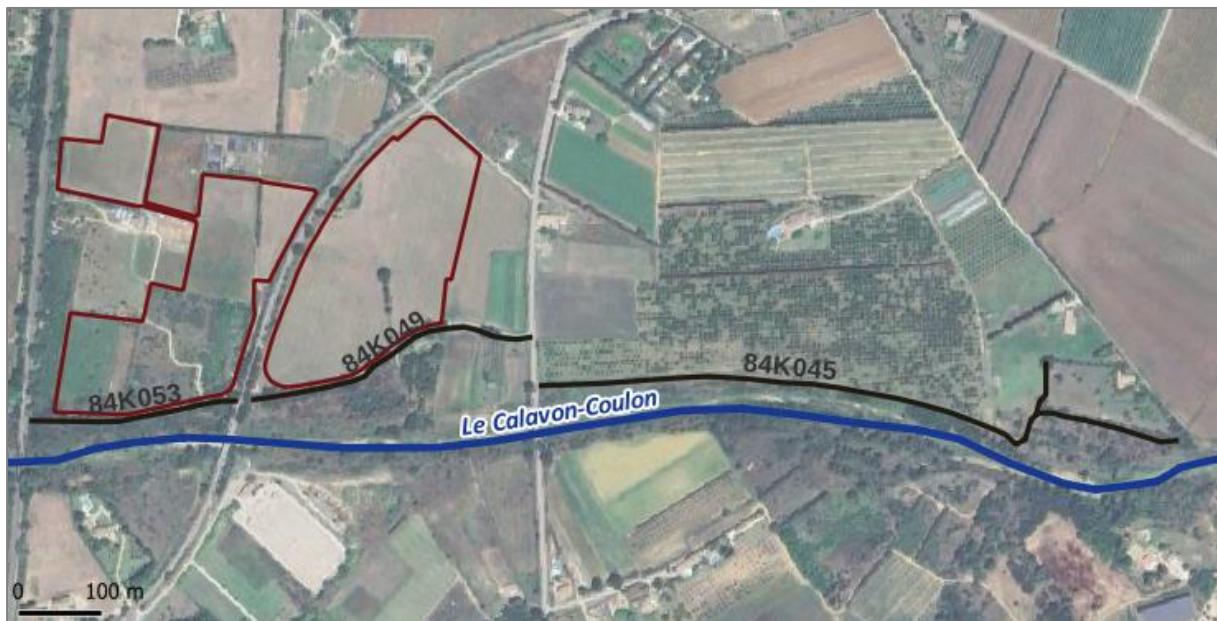
Le cumul de chacun des hydrogrammes montre un débit de 545 m³/s au droit du canal de Carpentras.

NB : la première version des modélisations hydrauliques du rapport fourni dans le premier semestre 2024 prenait déjà en compte la bonne hydrologie.



2.5. Localisation des digues

Comme vu précédemment, les digues étudiées dans cette étude sont les suivantes : 84K045, 84K049 et 84K053.



La prise en compte d'embâcle est réalisée en créant « un mur » au droit de la première rangée de panneaux photovoltaïques des 2 zones. La hauteur du mur est équivalente à la cote d'eau en état initial.

La rupture et l'effacement des ouvrages sont étudiés en état initial et en état projet.

Les modélisations d'effacement des ouvrages sont réalisées comme suit :

- Chaque ouvrage effacé est étudié indépendamment,
- L'intégralité de l'ouvrage est effacée dès le début de la modélisation.

Les modélisations de rupture des ouvrages sont réalisées comme suit :

- Chaque ouvrage effacé est étudié indépendamment,
- La rupture est réalisée au maximum de la crue et de manière instantanée (temps de rupture 5 minutes),
- La largeur de la rupture est égale à 50 mètres soit la largeur du cours d'eau.

La localisation des ruptures (étoiles violettes) est présentée dans la figure suivante :

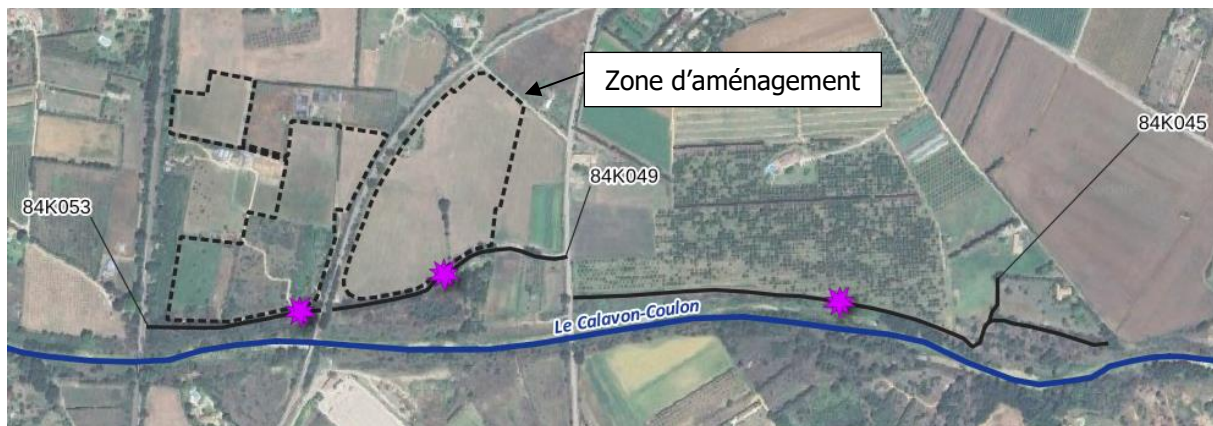


Figure 10 : Localisation des ruptures sur les digues

La localisation des ruptures est choisie de la manière suivante :

- Rupture de la digue au droit de la plus grande mise en charge,
- Rupture de la digue dans les extrados du Calavon-Coulon où les vitesses d'écoulement sont plus importantes,
- Rupture des digues aux endroits les plus impactants pour le projet d'aménagement.

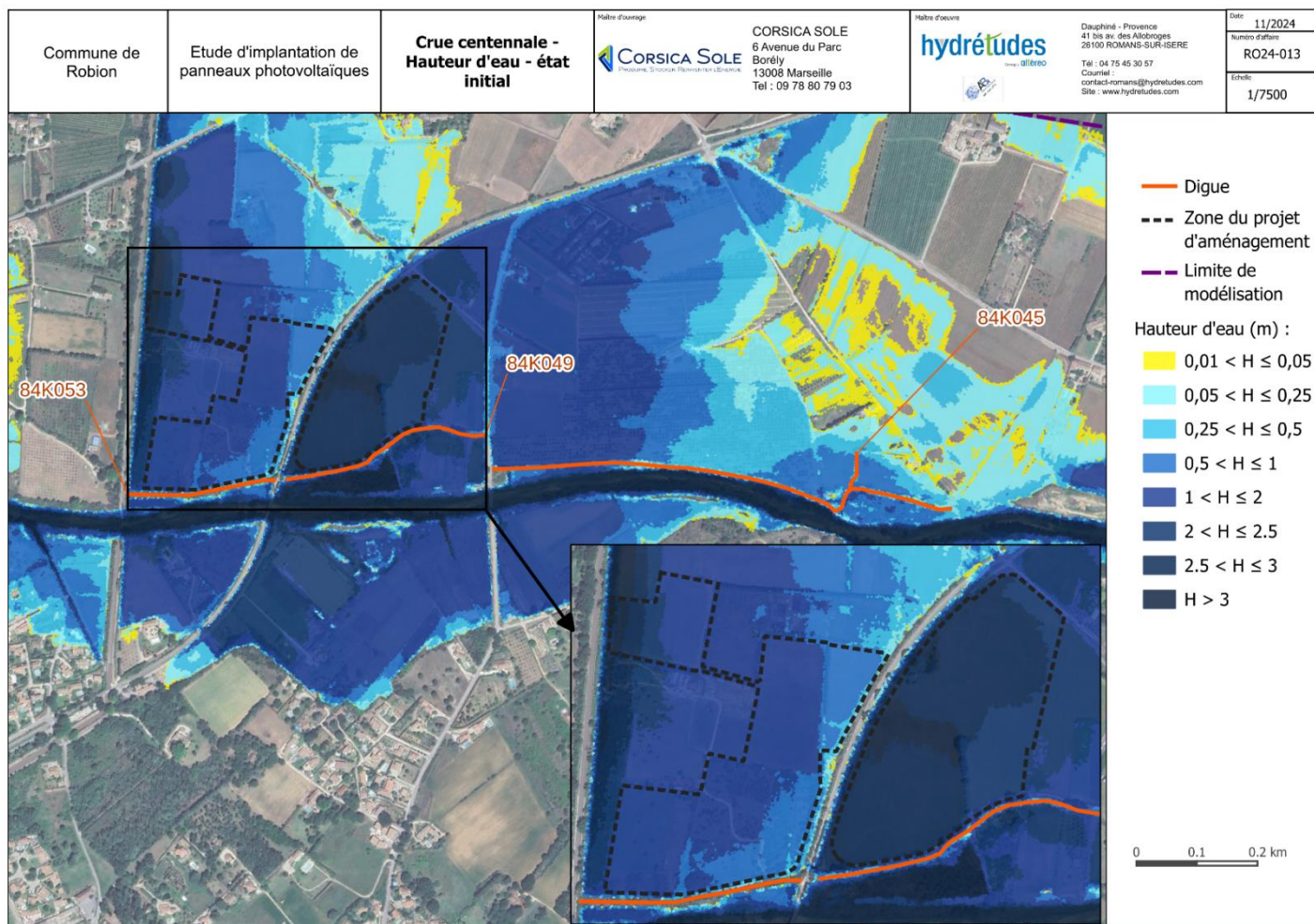
Les comparaisons entre l'état initial et l'état projet seront réalisées sur les hauteurs d'eau et sur les vitesses d'écoulement.

3. RESULTATS DE MODELISATION

3.1. Résultat de modélisation en état actuel

3.1.1. Résultats avec les digues en place sans modification

Les cartes de zonage des hauteurs d'eau de ruissellement et des vitesses d'écoulement pour une crue centennale sont représentées dans les pages suivantes.



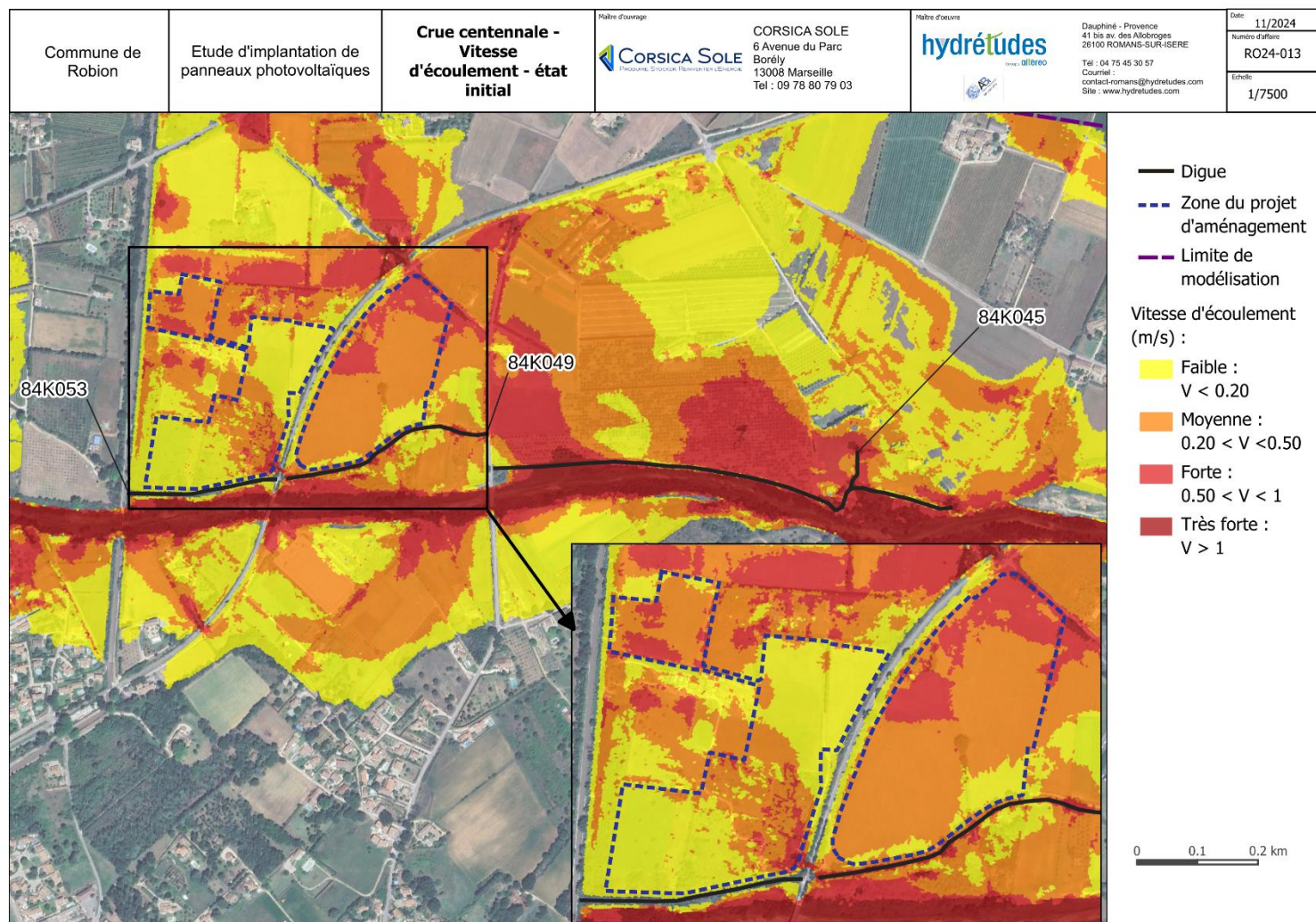
La hauteur des écoulements pour la crue centennale sur la zone de projet d'aménagement atteint entre 0.5m et très localement plus de 3.6 m. En effet, la présence du remblai de la véloroute et du remblai du canal de Carpentras jouent le rôle de stockage de l'eau en amont. Les hauteurs d'eau atteintes sont donc importantes déjà en état initial. En rive gauche, au niveau du quartier des Molières, les hauteurs d'eau ne dépassent pas les 3m et les eaux restent bloquées au nord du lotissement.

Explication des hauteurs d'eau plus importantes vis-à-vis de la première version du rapport :

Dans la première version du rapport, les limites du modèle hydraulique étaient plus restreintes car le lidar de l'IGN qui permet actuellement de compléter les données manquantes n'avait pas été utilisé. De ce fait, les eaux de débordement qui s'approchaient de la zone limite du 2D sortaient du modèle. Dans la version actuelle, ces eaux de débordements sont limitées vers le sud car le terrain naturel remonte à l'approche du quartier des Molières (figure ci-dessous).



L'absence de sortie d'eau au-delà de la zone 2D explique qu'il y a davantage d'eau dans les modélisations actuelles en rive droite puisque la contrainte topographique en rive gauche (terrain naturel qui remonte), qui empêche la perte d'eau observée dans le modèle initial, est prise en considération.



Les vitesses d'écoulement sont faibles à modérées, elles peuvent atteindre au maximum 1m/s localement sur la parcelle de l'étude.
 En rive gauche, les vitesses ne dépassent pas les 1m/s.

Interprétations :

Le plus gros des écoulements se propage sur la partie Ouest de la parcelle du projet et se stocke en raison de la présence des remblais, les hauteurs d'eau sont donc importantes (jusqu'à très localement plus de 3.6m de haut). Les vitesses d'écoulement sont faibles à fortes soit de quasiment nulles jusqu'à 1m/s.



Les contraintes hydrauliques sur la zone sont globalement importantes sur le secteur du projet d'aménagement.

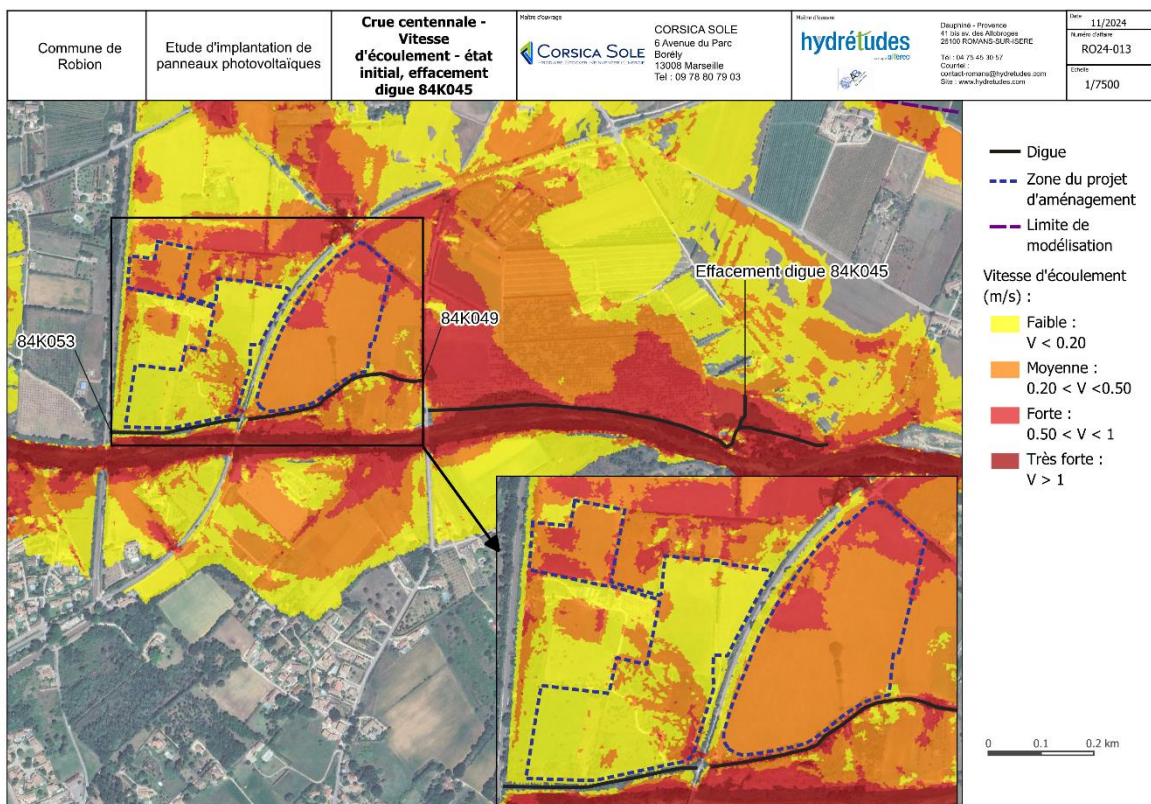
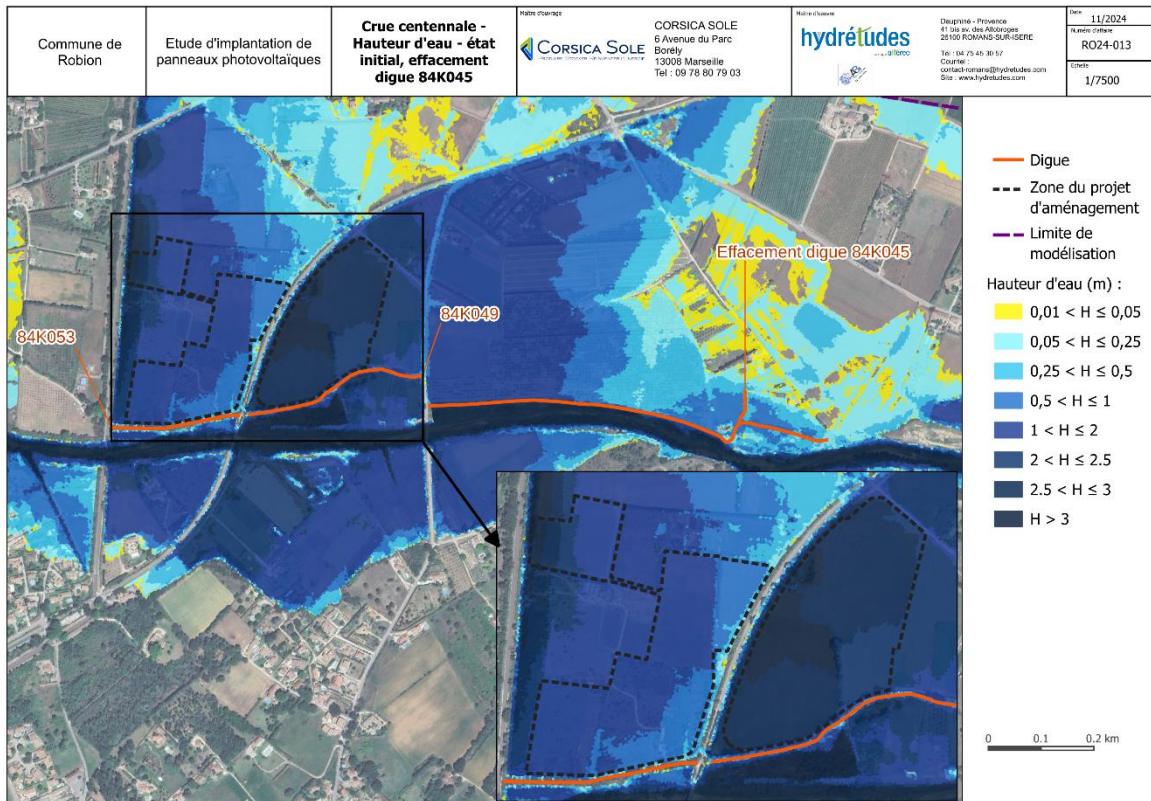
3.2. Résultats avec modifications des digues

En raison de la présence des digues proche de la zone d'aménagement prévue, l'analyse a également été portée sur les défaillances des digues (rupture) et sur l'impact de l'effacement des digues. Premièrement ces éléments sont étudiés en état initial c'est-à-dire sans implantation du projet photovoltaïque.

Les figures suivantes présentent les résultats des modélisations hydrauliques en état actuel pour les scénarios suivants :

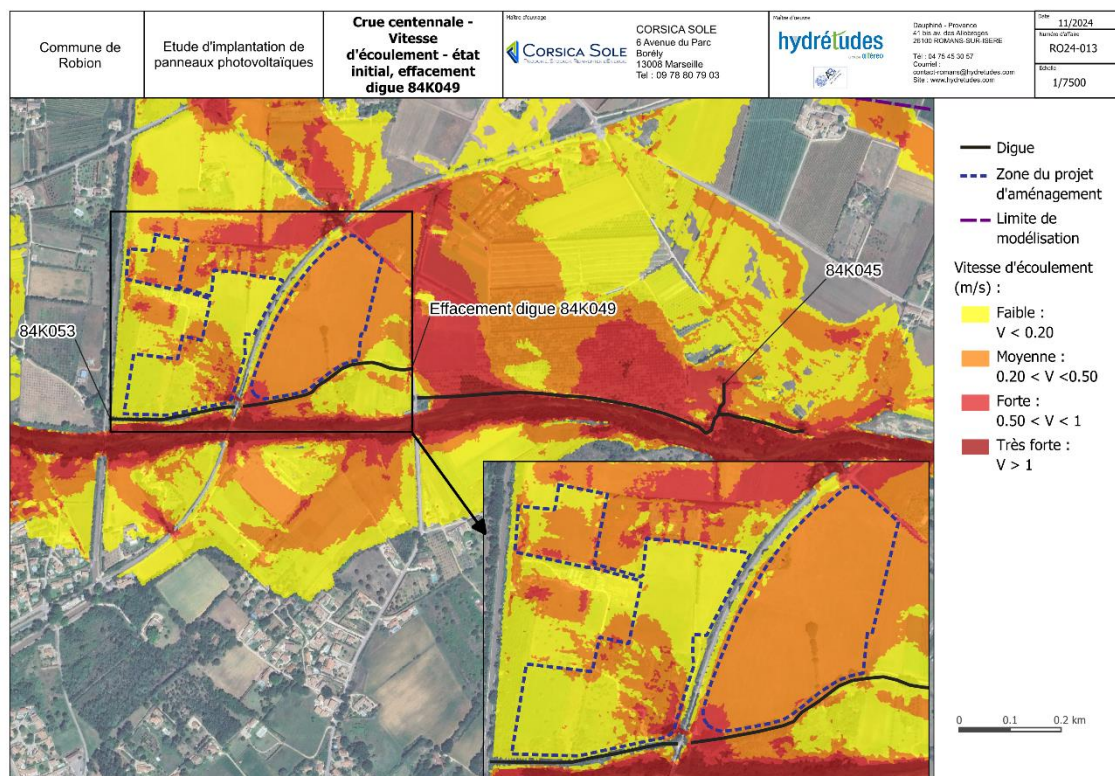
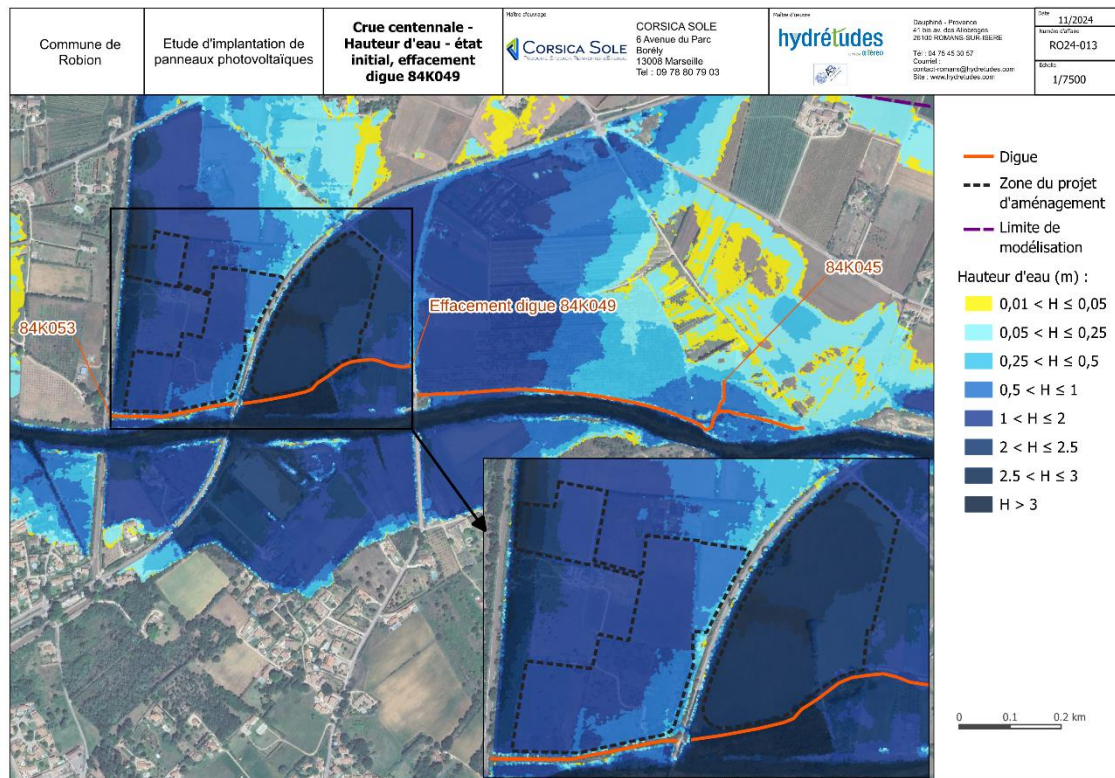
- Effacement de la digue 84K045,
- Effacement de la digue 84K049,
- Effacement de la digue 84K053,
- Rupture de la digue 84K045,
- Rupture de la digue 84K049,
- Rupture de la digue 84K053.

Effacement de la digue 84K045



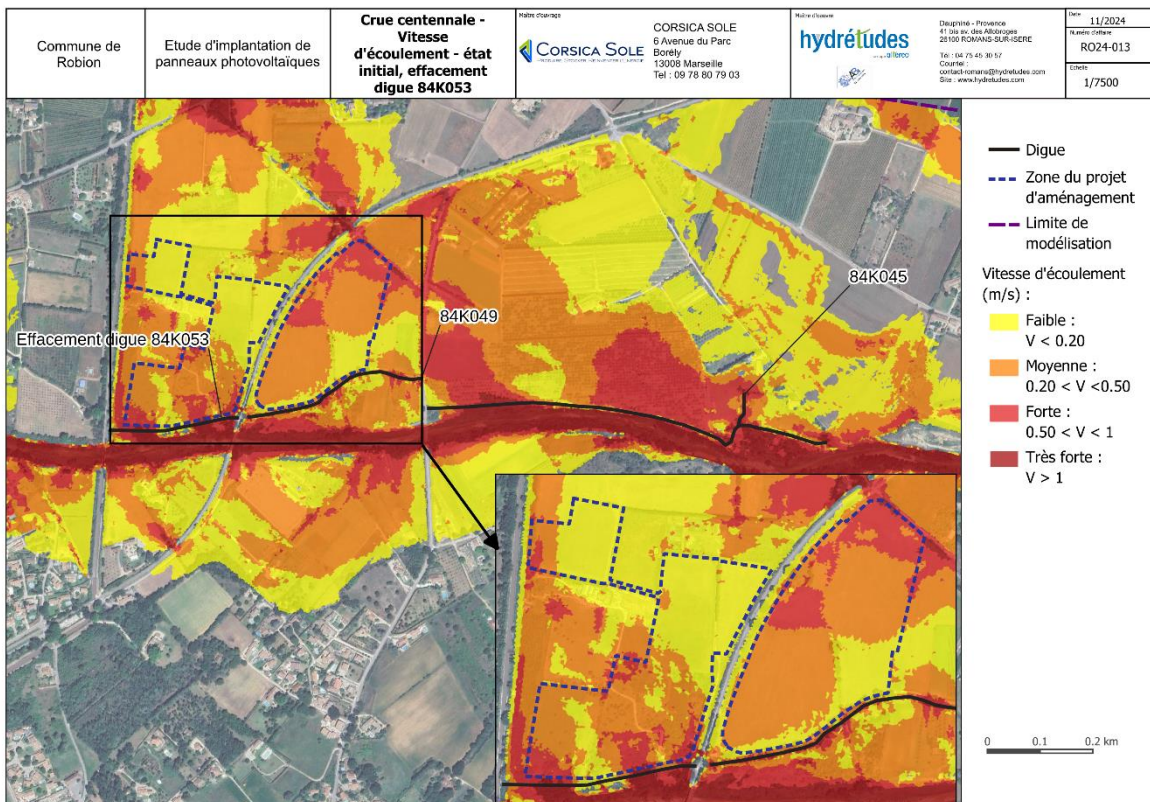
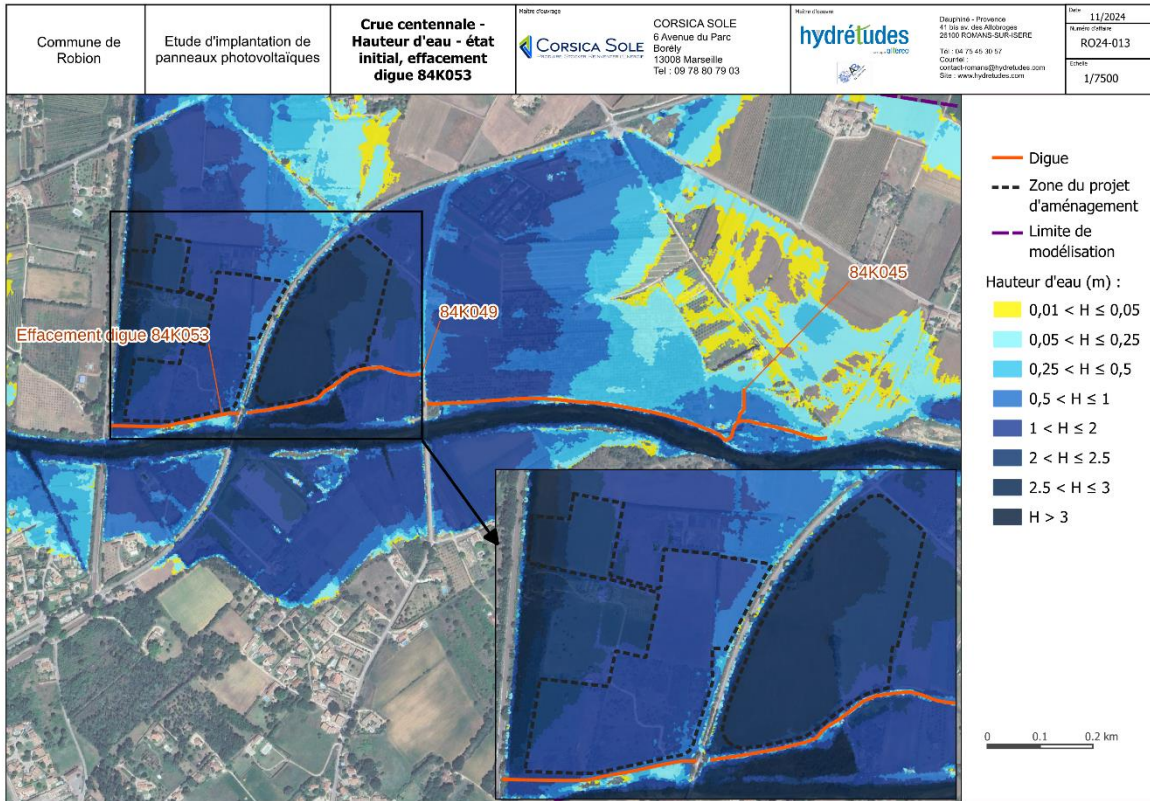
Sur la zone du projet d'aménagement, les hauteurs d'eau sont importantes, de 0.25m à localement 3m, en raison de la présence du remblai de la véloroute et du canal de Carpentras qui jouent le rôle de stockage. Les vitesses d'écoulement sont faibles (quasiment nulles) à fortes (localement 1 m/s).

Effacement de la digue 84K049



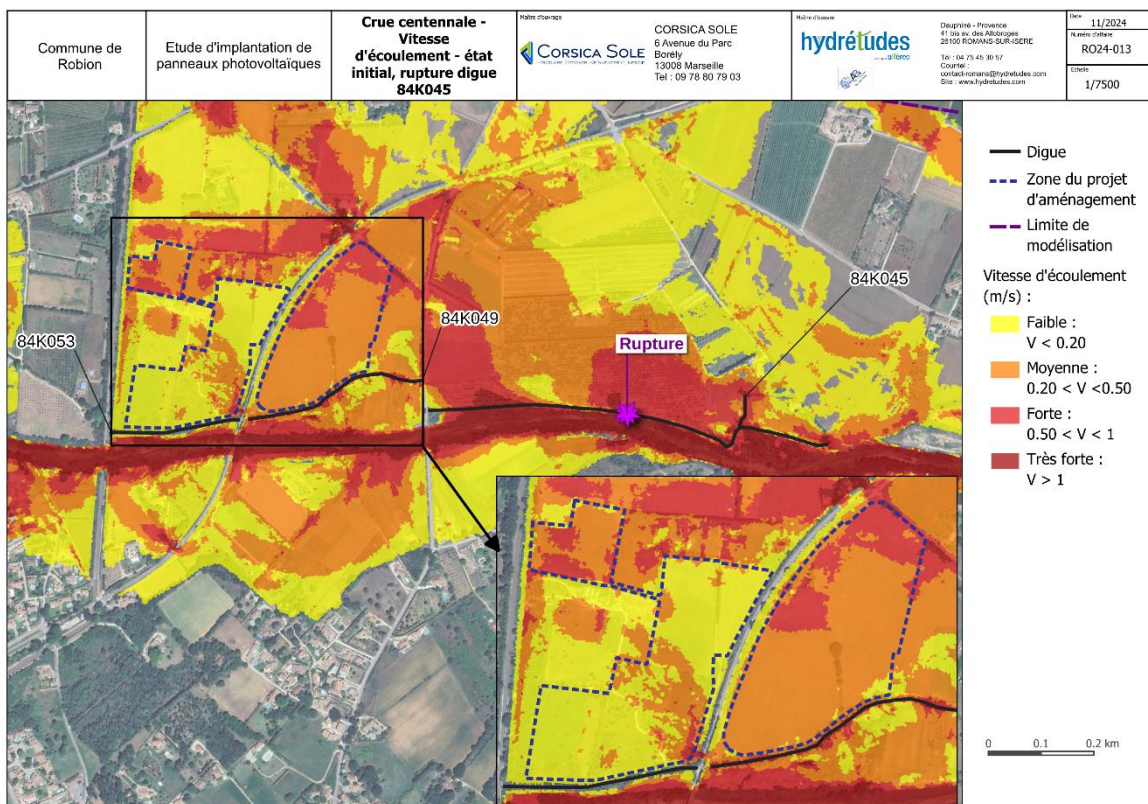
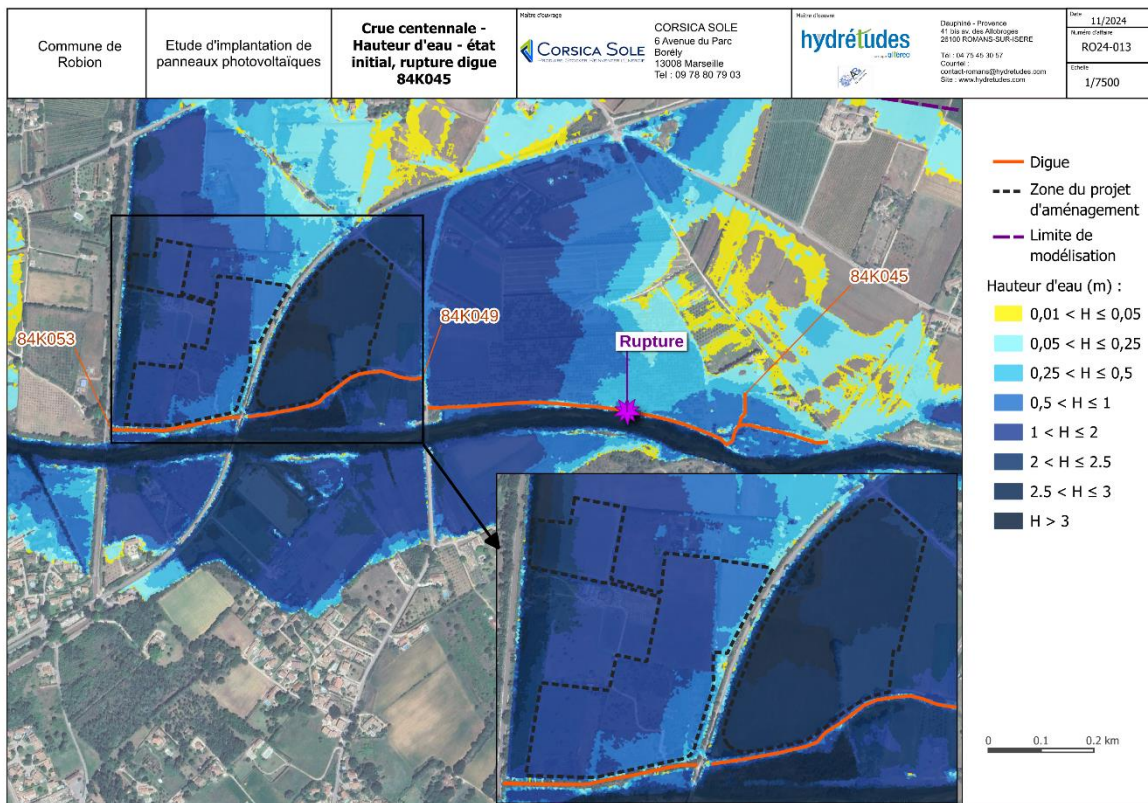
Sur la zone du projet d'aménagement, les hauteurs d'eau sont importantes, de 0.05m à localement 2.5m, en raison de la présence du remblai de la véloroute et du canal de Carpentras qui jouent le rôle de stockage. La zone ouest du projet est soumise à des hauteurs d'eau plus faibles avec l'effacement de la digue 84K049 en raison d'un meilleur retour des eaux de débordement vers le lit mineur. Les vitesses d'écoulement sont faibles à fortes, elles sont quasiment nulles par endroit et atteignent 0.5 m/s et très localement 1 m/s.

Effacement de la digue 84K053



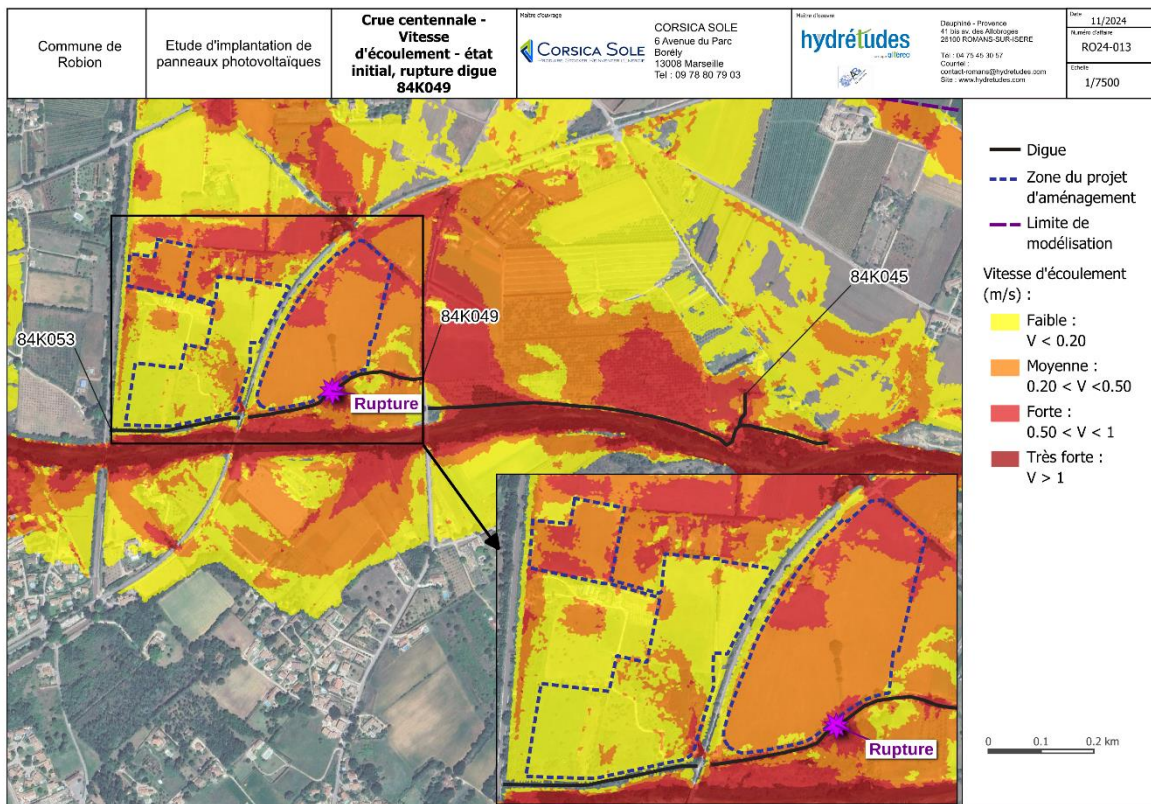
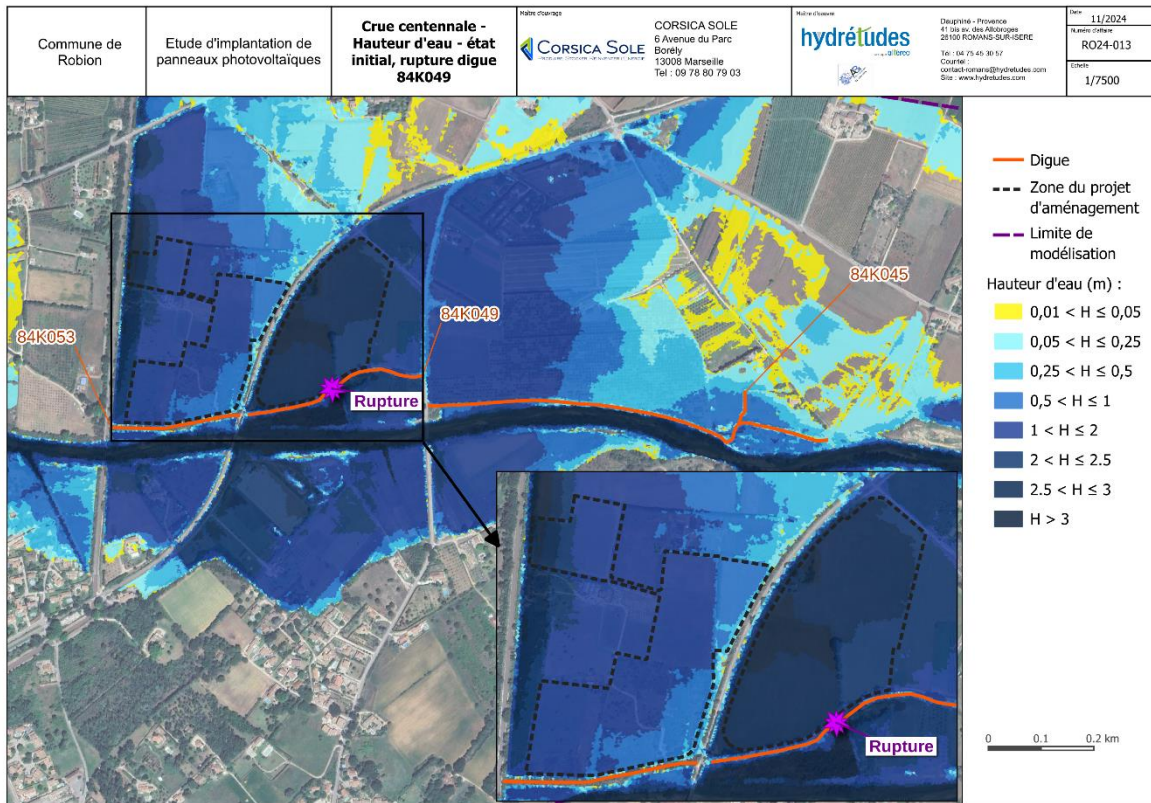
Sur la zone du projet d'aménagement, les hauteurs d'eau sont importantes, de 0.5m à localement plus de 3m, en raison de la présence du remblai de la véloroute et du canal de Carpentras qui jouent le rôle de stockage. Les vitesses d'écoulement sont faibles à fortes, elles sont quasiment nulles par endroit et atteignent localement 1 m/s.

Rupture de la digue 84K045



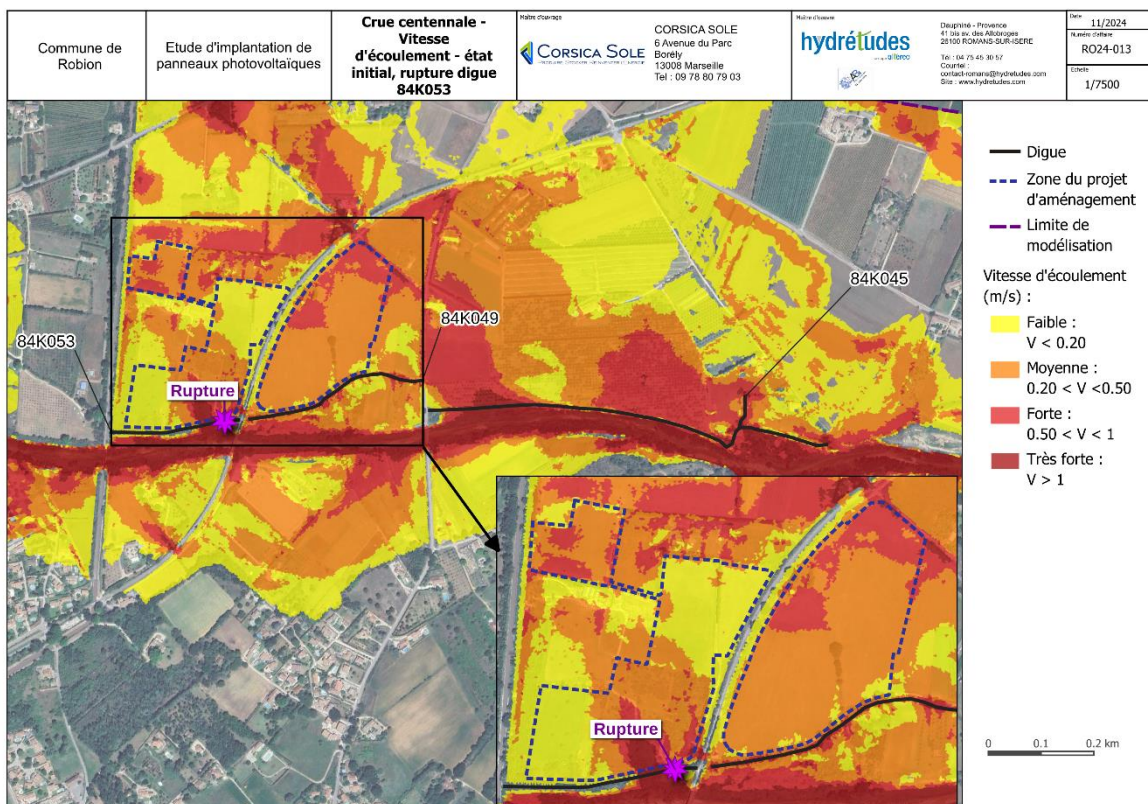
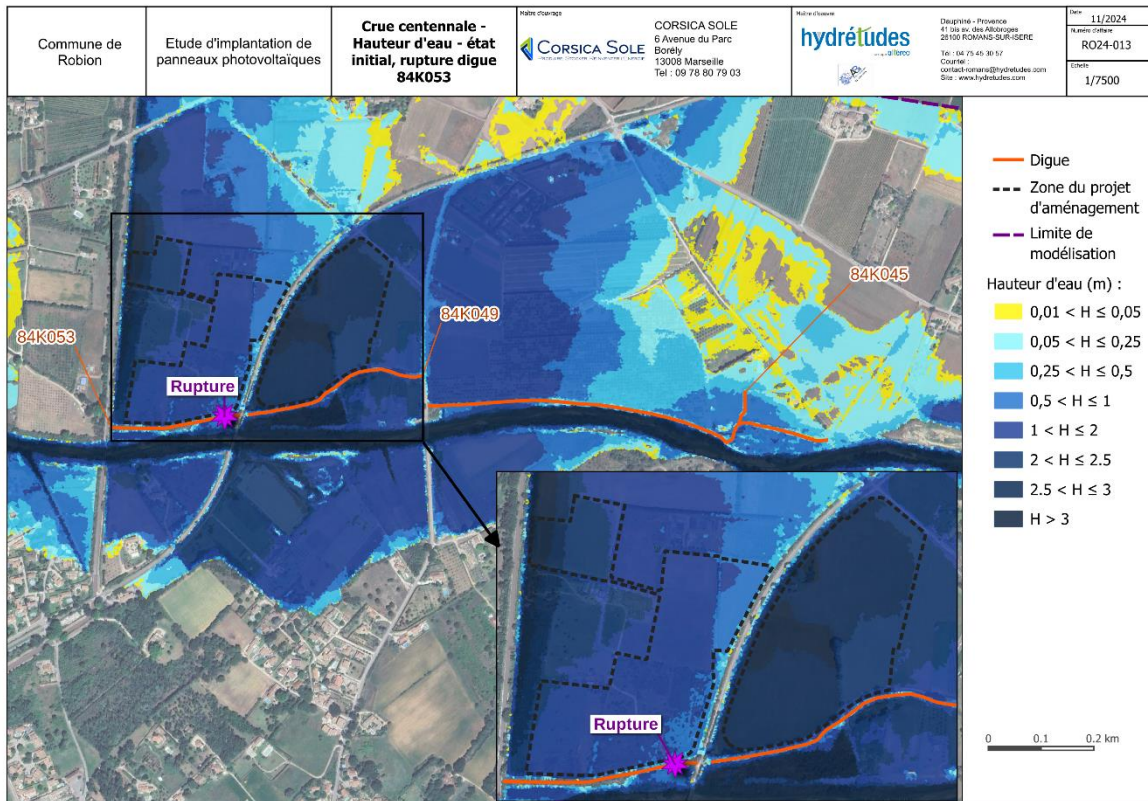
Sur la zone du projet d'aménagement, les hauteurs d'eau sont importantes, de 0.25m à localement plus de 3m, en raison de la présence du remblai de la véloroute et du canal de Carpentras qui jouent le rôle de stockage. Les vitesses d'écoulement sont faibles à fortes, elles sont quasiment nulles par endroit et atteignent localement 1 m/s.

Rupture de la digue 84K049



Sur la zone du projet d'aménagement, les hauteurs d'eau sont importantes, de 0.25m à localement 3m, en raison de la présence du remblai de la véloroute et du canal de Carpentras qui jouent le rôle de stockage. Les vitesses d'écoulement sont faibles à fortes, elles sont quasiment nulles et atteignent localement 1 m/s. Au droit de la rupture, les vitesses d'écoulement sont supérieures à 1 m/s.

Rupture de la digue 84K053



Sur la zone du projet d'aménagement, les hauteurs d'eau sont importantes, de 0.5m à localement plus de 3m, en raison de la présence du remblai de la véloroute et du canal de Carpentras qui jouent le rôle de stockage. Les vitesses d'écoulement sont faibles à fortes, elles sont quasiment nulles par endroit et atteignent localement 1 m/s. Au droit de la rupture, les vitesses d'écoulement sont supérieures à 1 m/s.

3.3. Résultat de modélisation en état projet

3.3.1. Descriptif du projet

Le projet d'aménagement prévoit d'installer un ensemble de panneaux photovoltaïques sur la parcelle commune de Robion, décrite sur le plan suivant. Le projet prévoit :

- Une piste d'accès aux différentes parcelles concernées,
- L'implantation d'environ 550 panneaux photovoltaïques,
- Une clôture encerclant l'ensemble des panneaux,
- 4 postes de transformation (PDR),
- 2 postes de raccordement au réseau d'énergie (PDL)

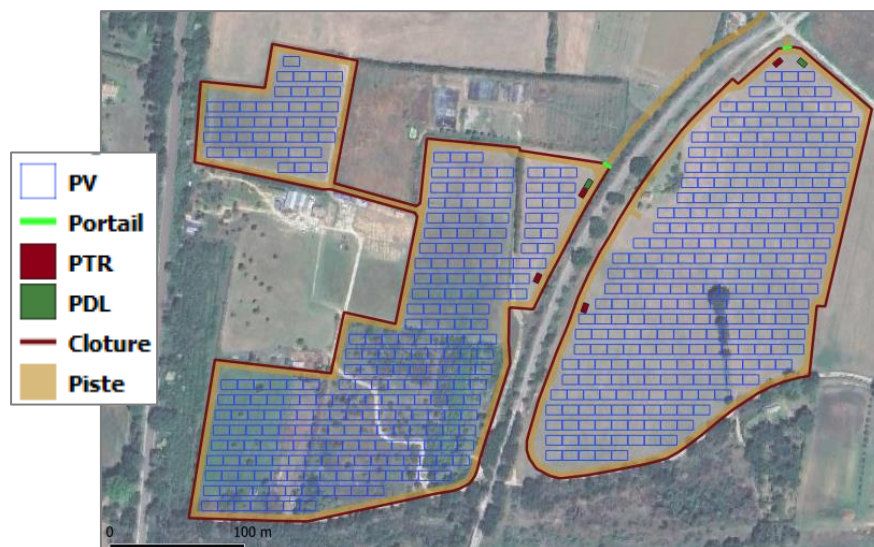


Figure 11 : Plan d'implantation de la centrale électrique à Robion (84)

3.4. Résultat des modélisations de l'état projet sans modification des digues

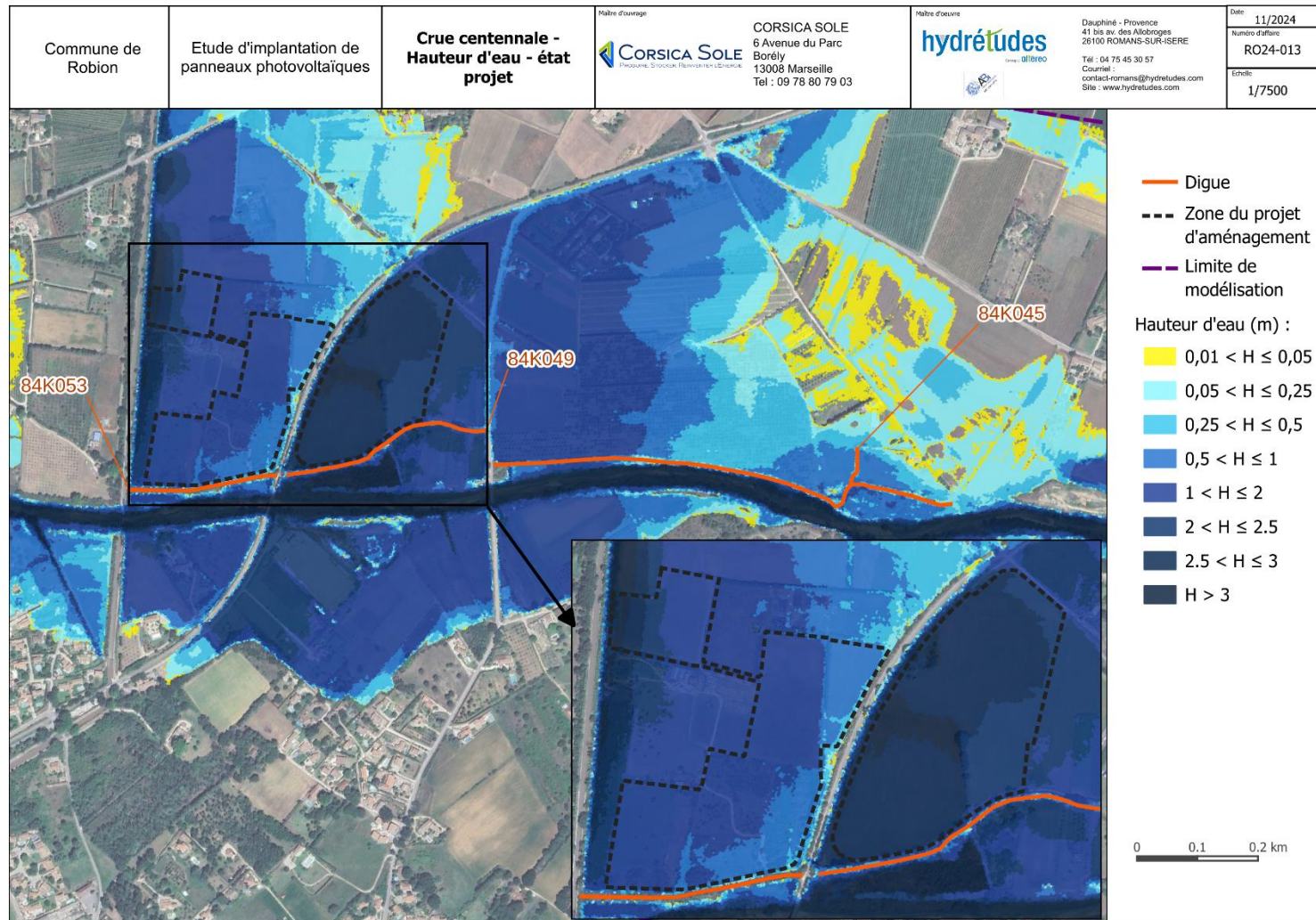
Afin de modéliser l'impact sur la ligne d'eau de l'installation des panneaux photovoltaïques, nous avons considéré dans la zone d'étude que la mise en place des structures portantes faisait augmenter le niveau de rugosité et donc baisser les vitesses d'écoulement sur toute la zone (à l'intérieur des clôtures).

D'un point de vue modification du modèle hydraulique, ceci se traduit par une modification du coefficient de Strickler (K) passant d'une valeur de 25 en état actuel à une valeur de 15 en état projet. (Voir abaque annexe 4) :

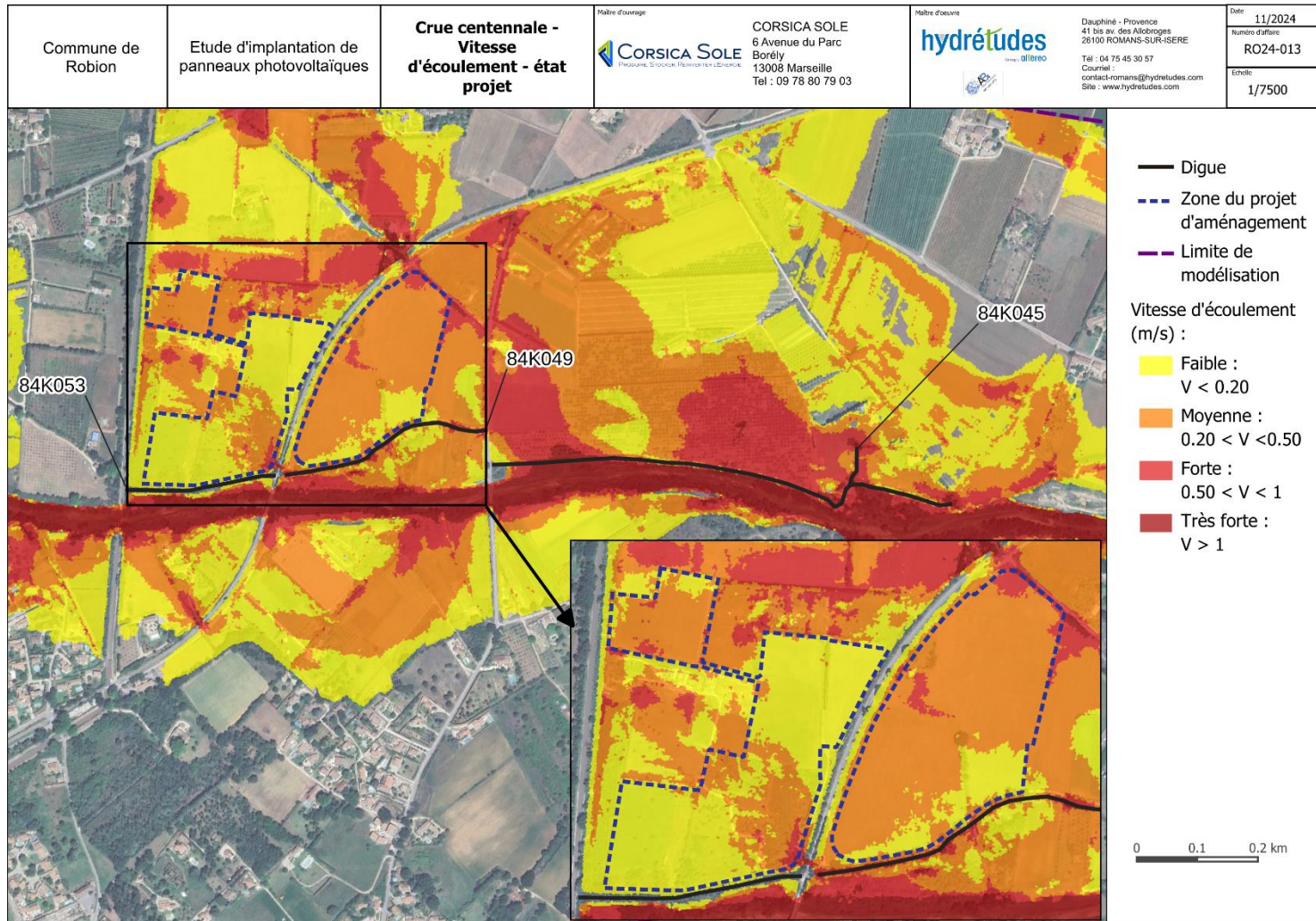
- En état initial : surface cultivée en lit majeur sans cultures (coefficient $K=25$),
- En état projet : surface en revêtement similaire avec la présence de poteaux qui soutiennent les panneaux (coefficient $K=15$).

Les résultats d'incidence sont présentés sur les cartes suivantes.

- Premièrement, les cartes du zonage projet avec les hauteurs et les vitesses d'écoulement sont présentées en page 26 et 27,
- Deuxièmement, les cartes de différences de hauteurs et de vitesses sur la zone du projet sont présentées en page 28 et 29. L'annexe de ce dossier présente les cartes de différence sur l'ensemble de la zone de modélisation.



Comme en état initial, la hauteur des écoulements pour la crue centennale sur la zone du projet d'aménagement atteint entre 0.5 et très localement plus de 3 m. Les hauteurs d'eau atteintes sont donc importantes comme en état initial.

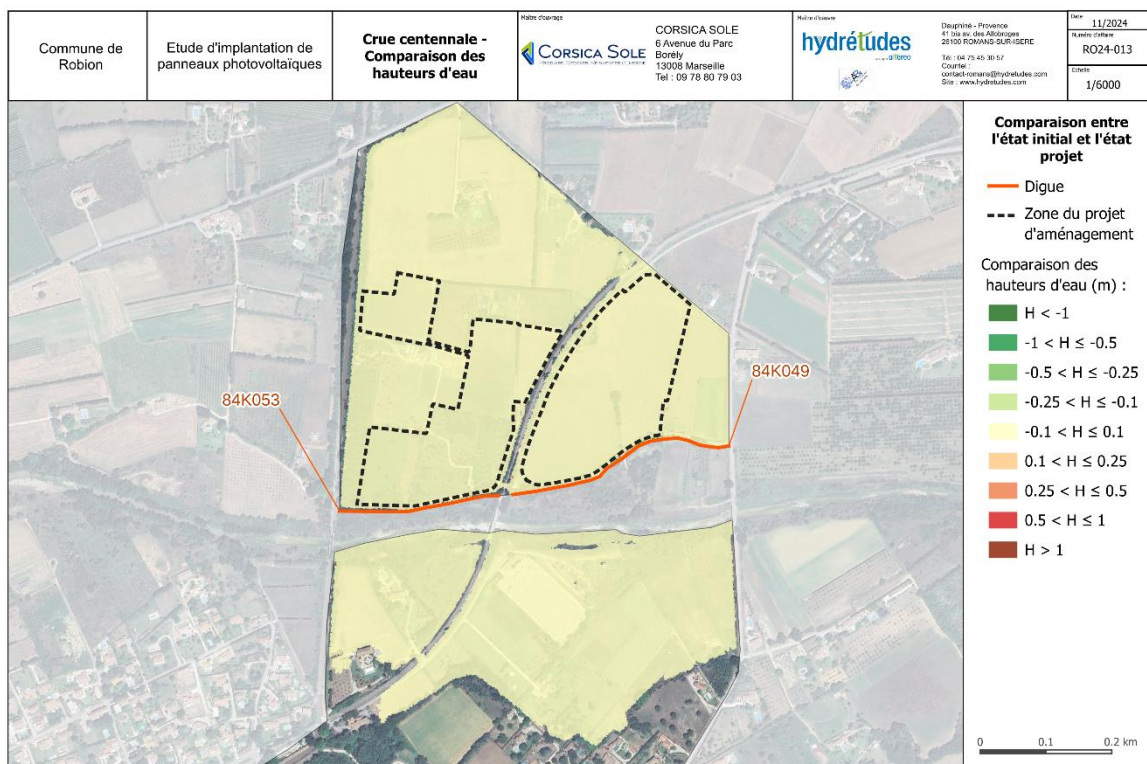


Tout comme en état initial, les vitesses d'écoulement sont faibles à modérées, elles peuvent atteindre au maximum 1m/s localement sur la parcelle de l'étude.

3.4.1. Interprétation sur l'impact avant/après aménagement :

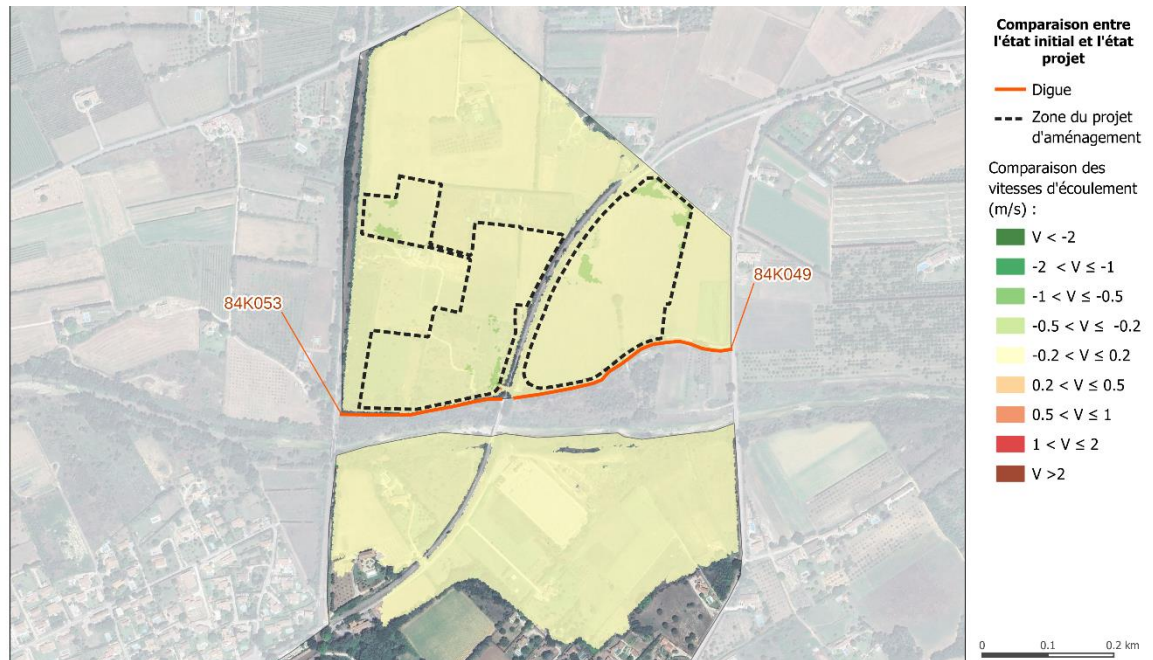
Les 2 cartes suivantes présentent la comparaison entre l'état initial et l'état projet pour les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement.

Comparaison des hauteurs d'eau :



L'impact de l'installation sur les écoulement en lit majeur est négligeable. Dans la zone d'étude, la hauteur d'eau n'est quasiment pas augmentée par rapport à l'état initial en raison de la présence des remblais (canal de Carpentras et véloroute anciennement remblai SNCF) qui jouent le rôle de zone de stockage. La différence des hauteurs d'eau se situent dans la tranche de -10 cm à +10 cm (aplat de couleur jaune paille) ce qui correspond à la marge d'incertitude du modèle.

Comparaison des vitesses d'écoulement :



Concernant les vitesses, la majeure partie de l'emprise du projet est caractérisée par une variation négligeable (aplat de couleur jaune paille entre -0.2 m/s et $+0.2$ m/s) ce qui correspond à la marge d'incertitude du modèle. Quelques zones sont en vert clair qui concerne une variation de -0.2 à -0.5 m/s en état projet, les vitesses d'écoulement sont donc légèrement moins importantes en état projet comparé à l'état initial.

L'impact en dehors de la zone de projet est nul, en effet, la mise en place du projet n'influence que la zone d'implantation et non les zones alentours.

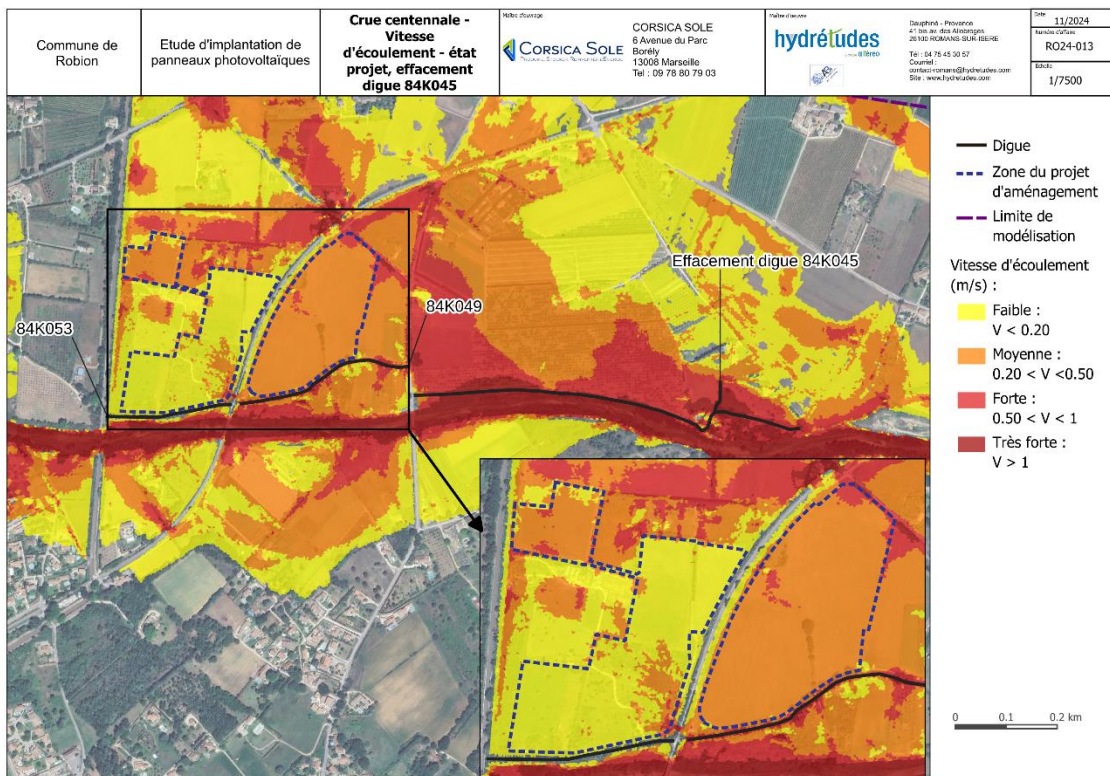
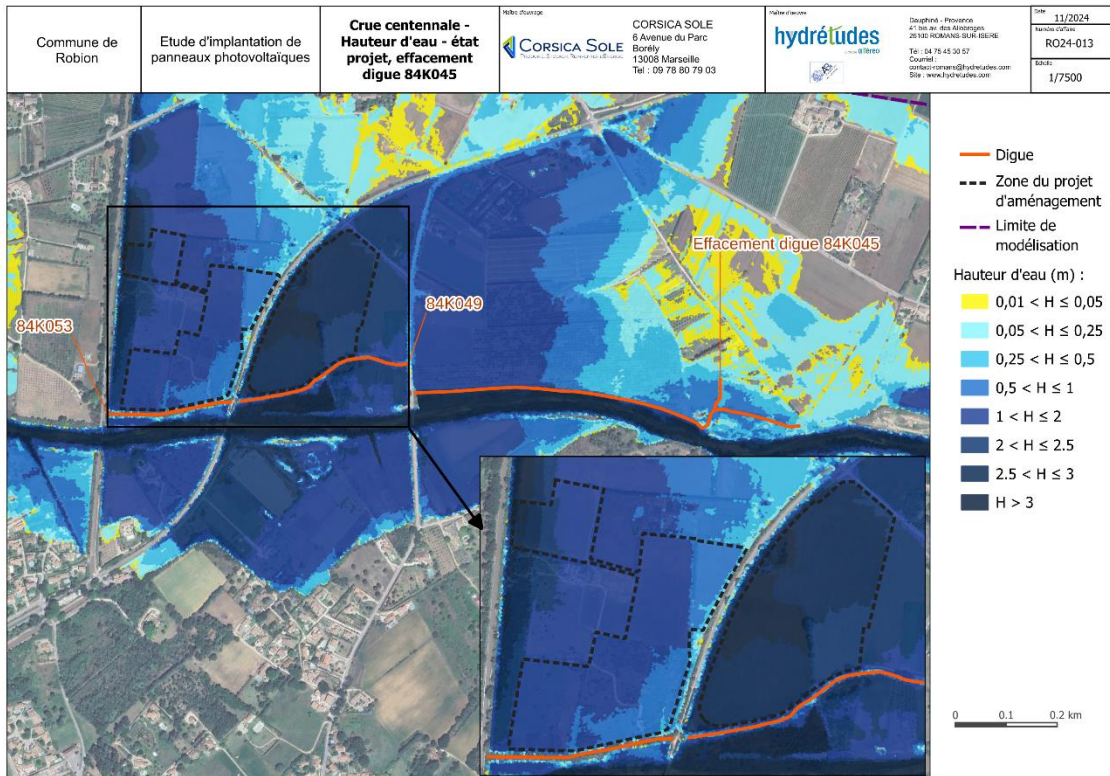
3.5. Résultats des modélisations de l'état projet avec modification des digues

Les figures suivantes présentent les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement en état projet pour les scénarios suivants :

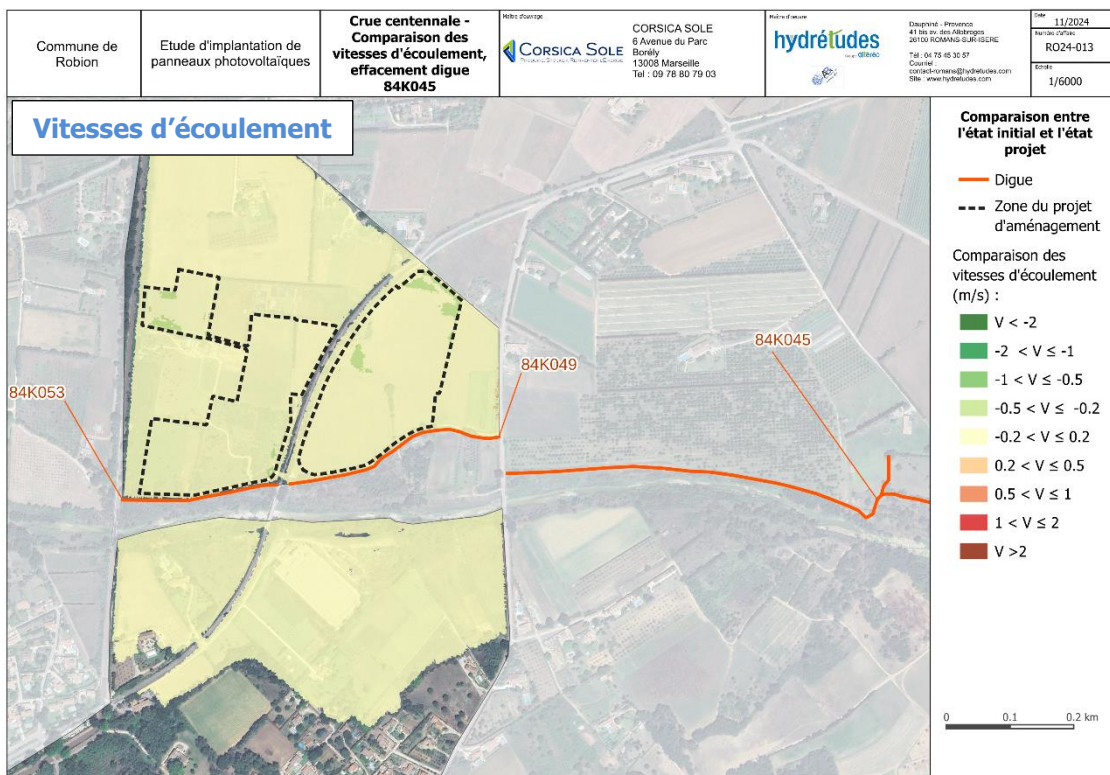
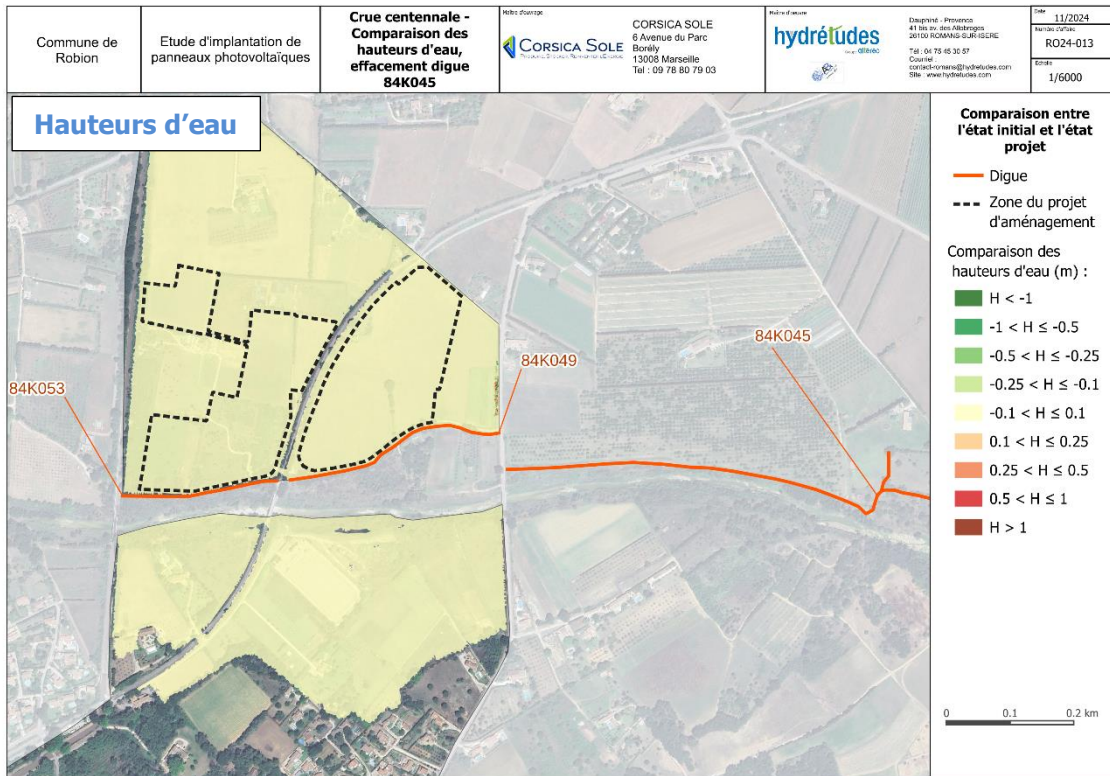
- Effacement de la digue 84K045,
- Effacement de la digue 84K049,
- Effacement de la digue 84K053,
- Rupture de la digue 84K045,
- Rupture de la digue 84K049,
- Rupture de la digue 84K053.
- Scénario de piège à embâcle.

La comparaison des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement entre l'état initial et l'état projet est directement ajouté à la suite des résultats.

Effacement de la digue 84K045

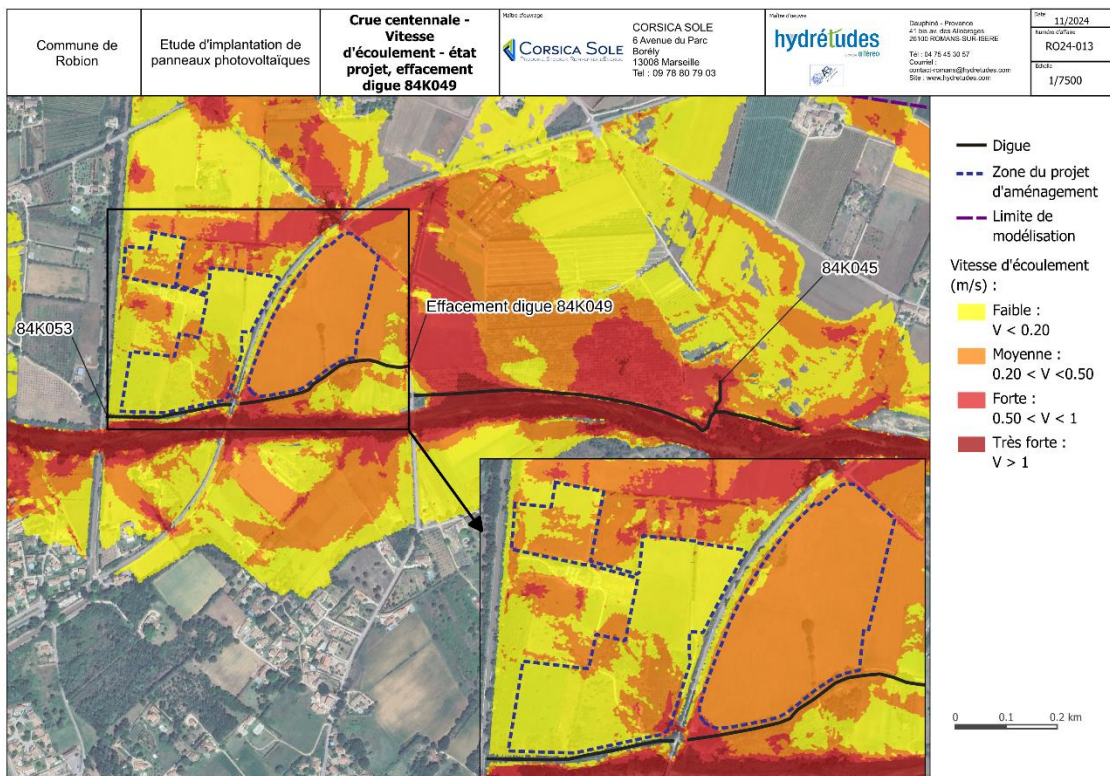
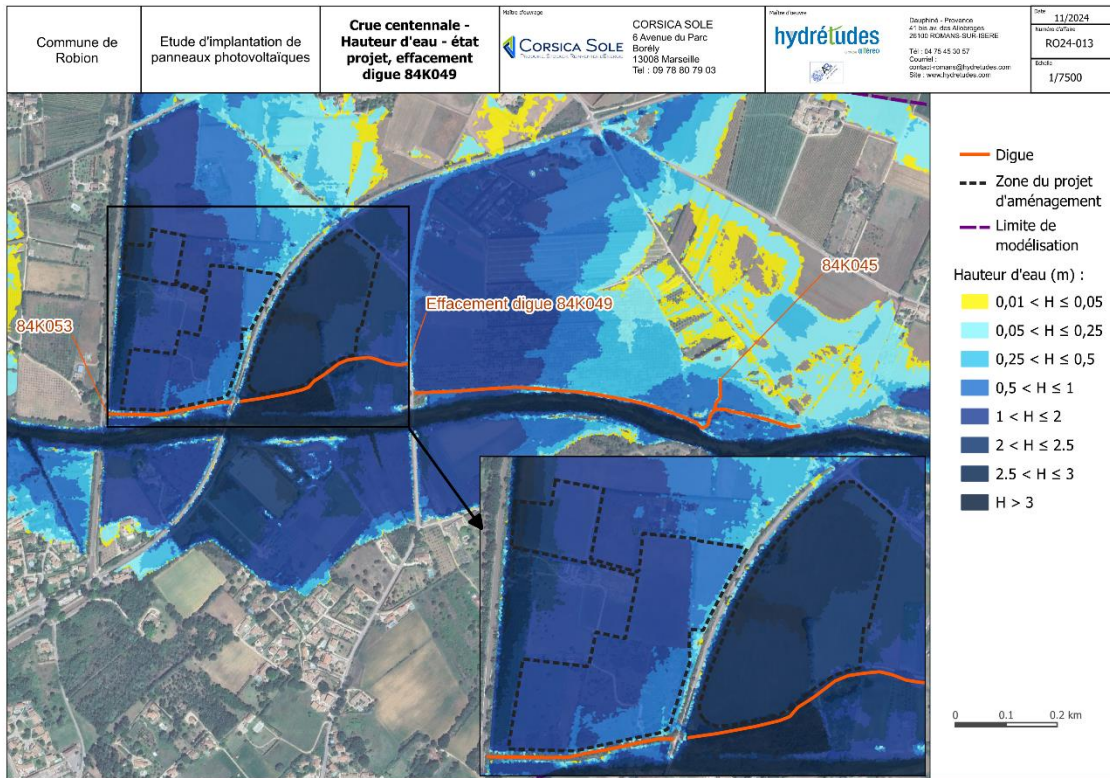


Résultat des comparaisons

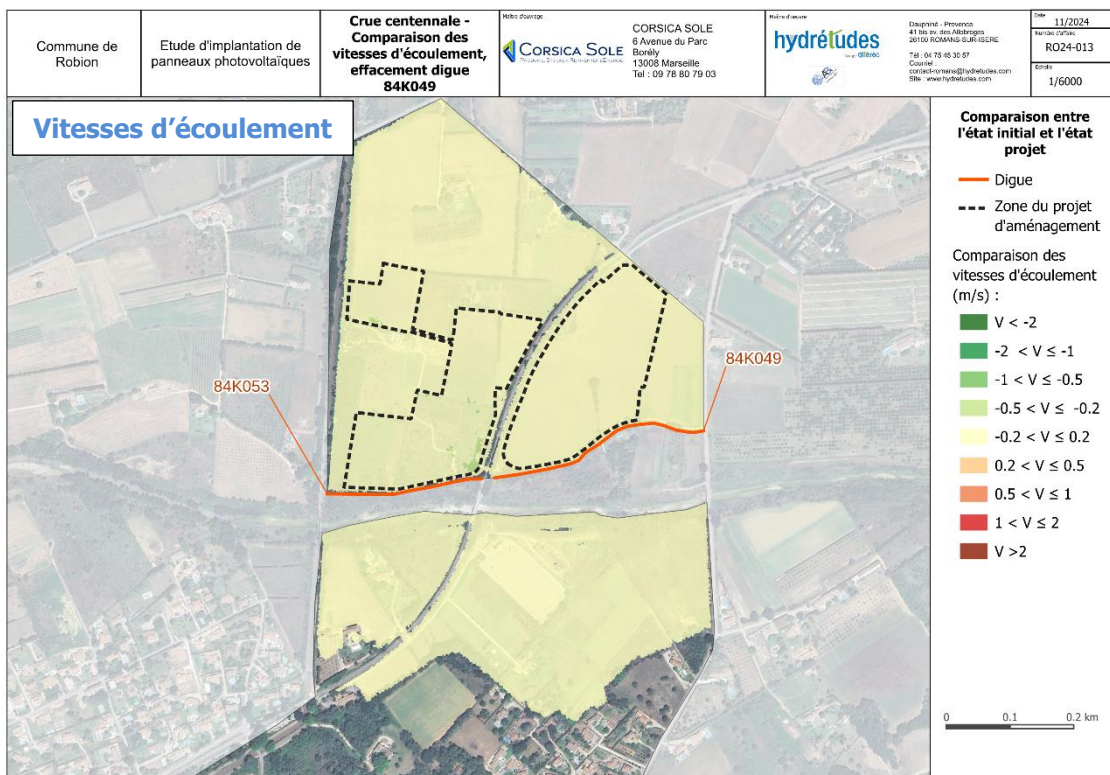
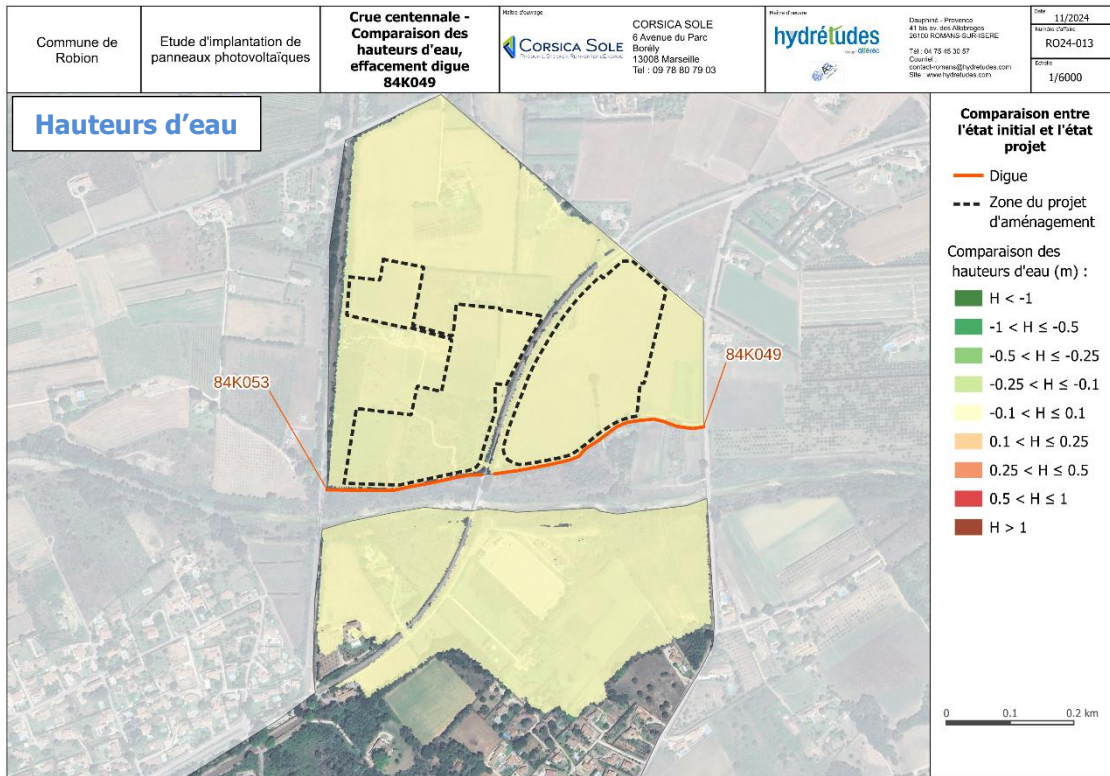


L'impact du projet dans le scénario d'effacement de la digue 84K045 est très faible. Aucune différence de hauteur d'eau significative n'est observée et seulement quelques zones localisées dans le projet d'aménagement sont concernées par une diminution des vitesses d'écoulement (zones en vert clair).

Effacement de la digue 84K049

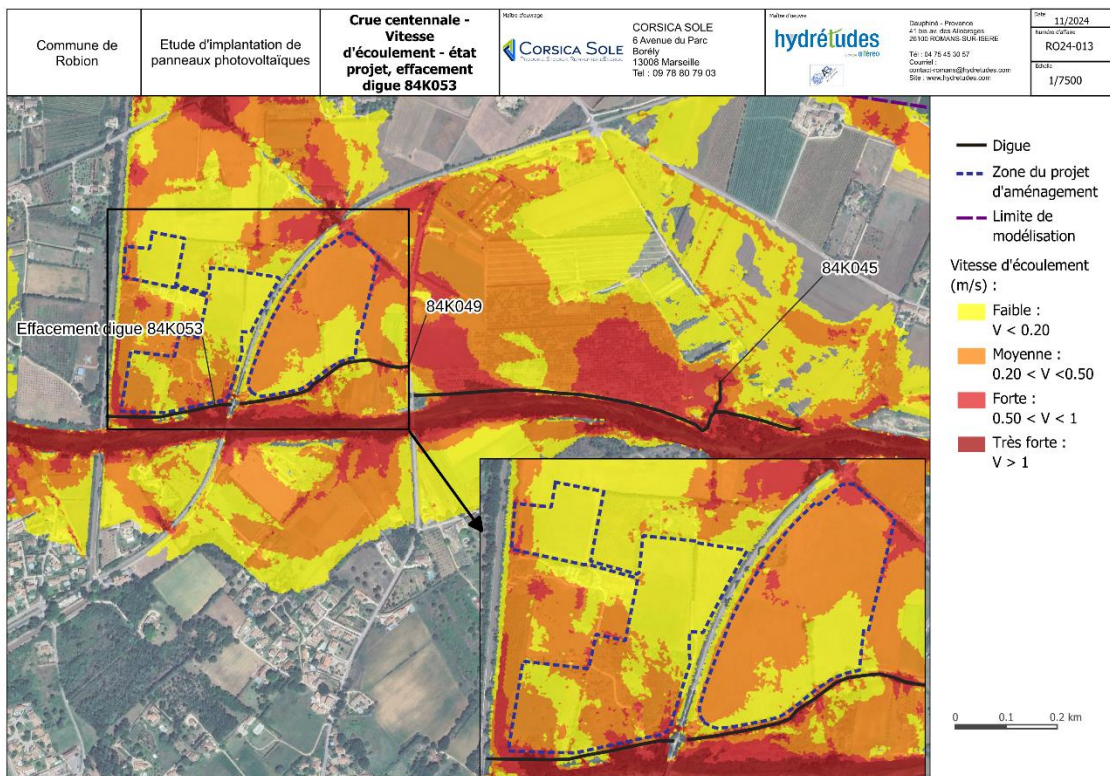
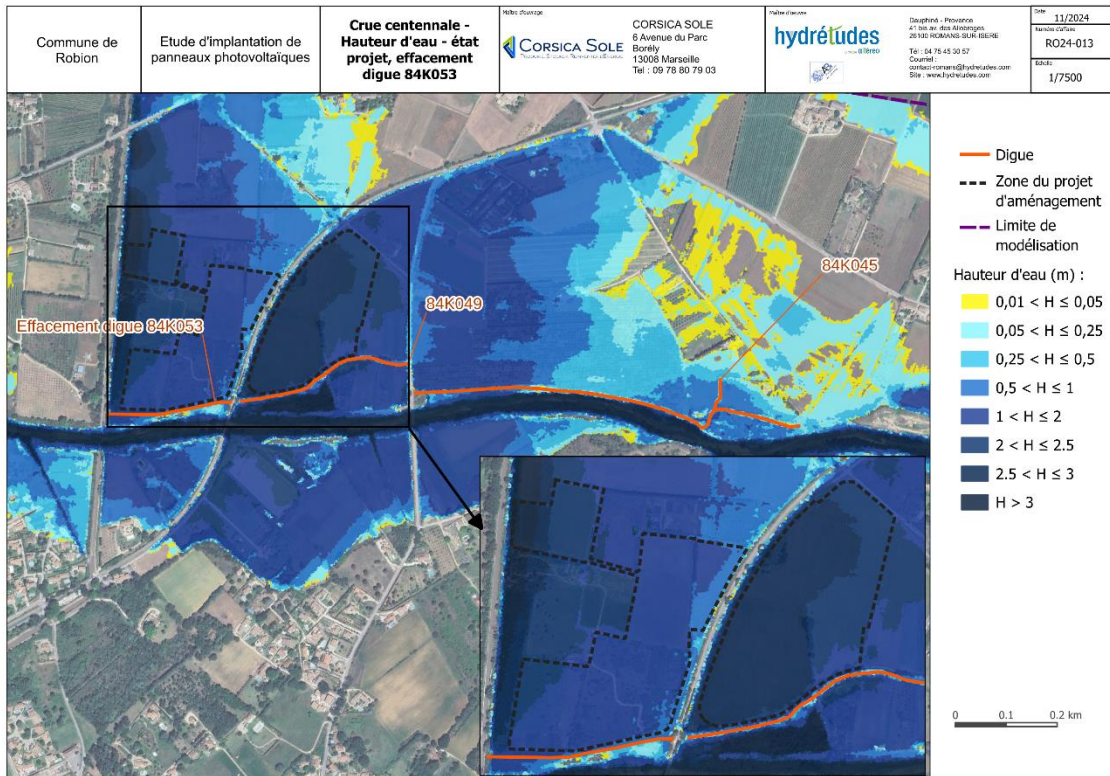


Résultat des comparaisons

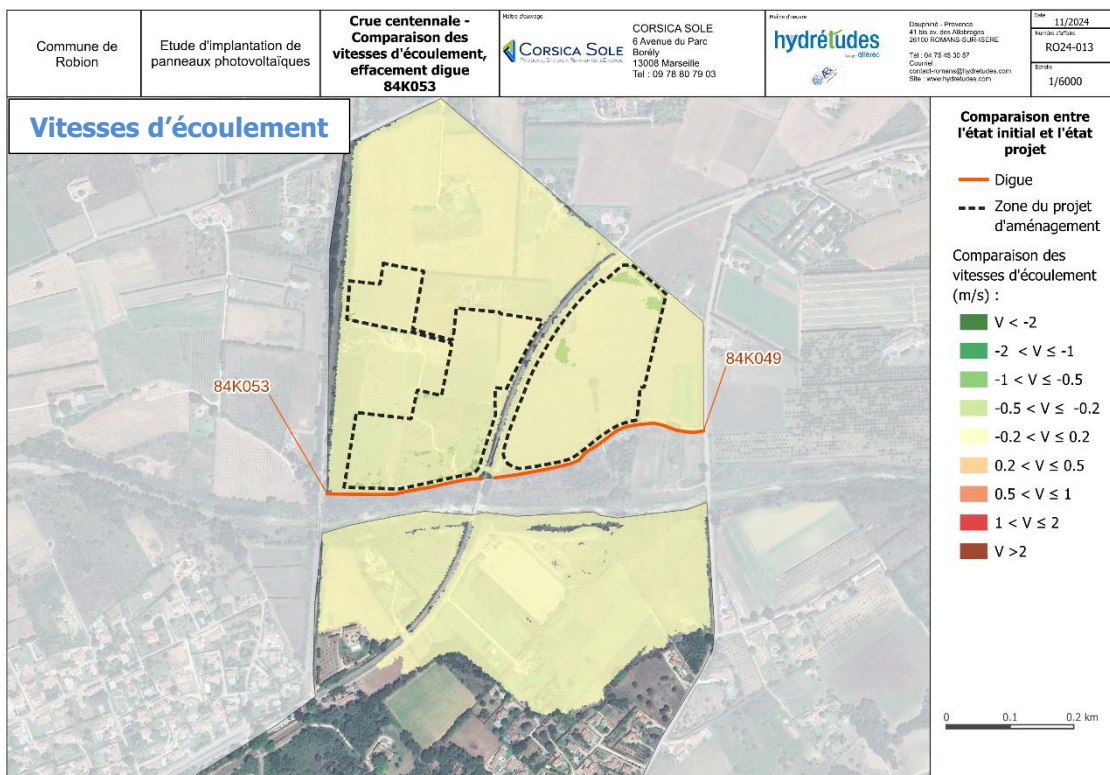
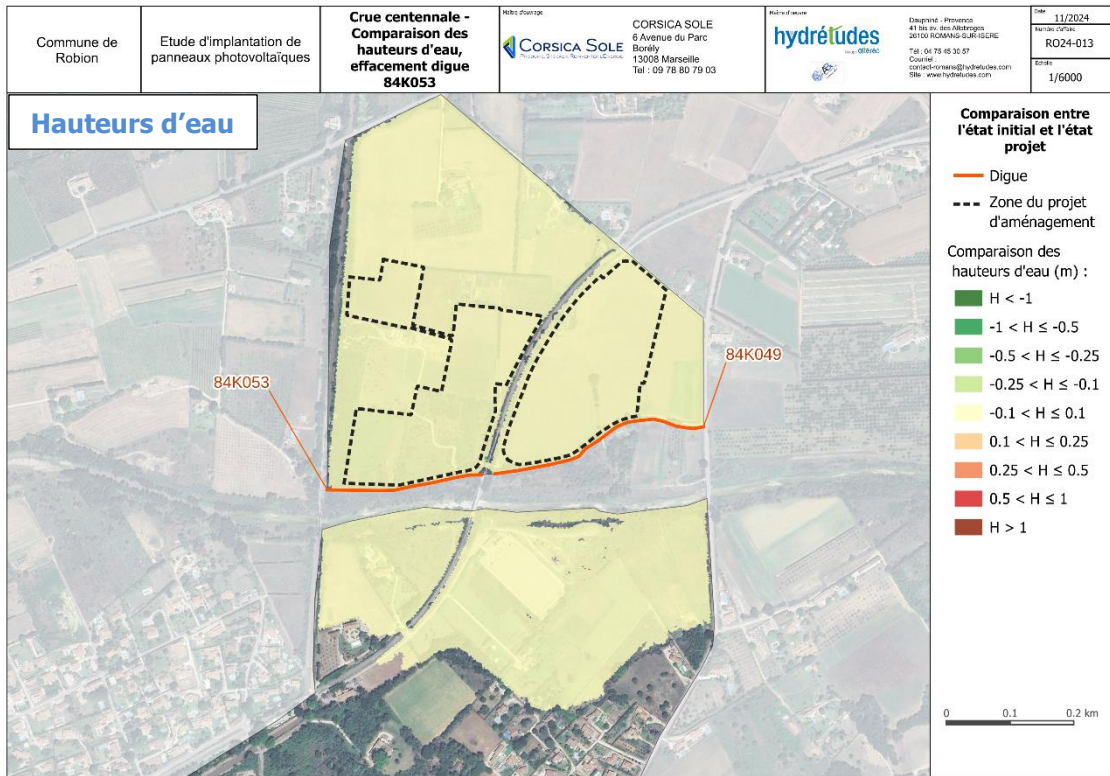


L'impact du projet dans le scénario d'effacement de la digue 84K049 est très faible. Aucune différence de hauteur d'eau significative ou de vitesses d'écoulement n'est observée dans l'emprise du projet d'aménagement.

Effacement de la digue 84K053

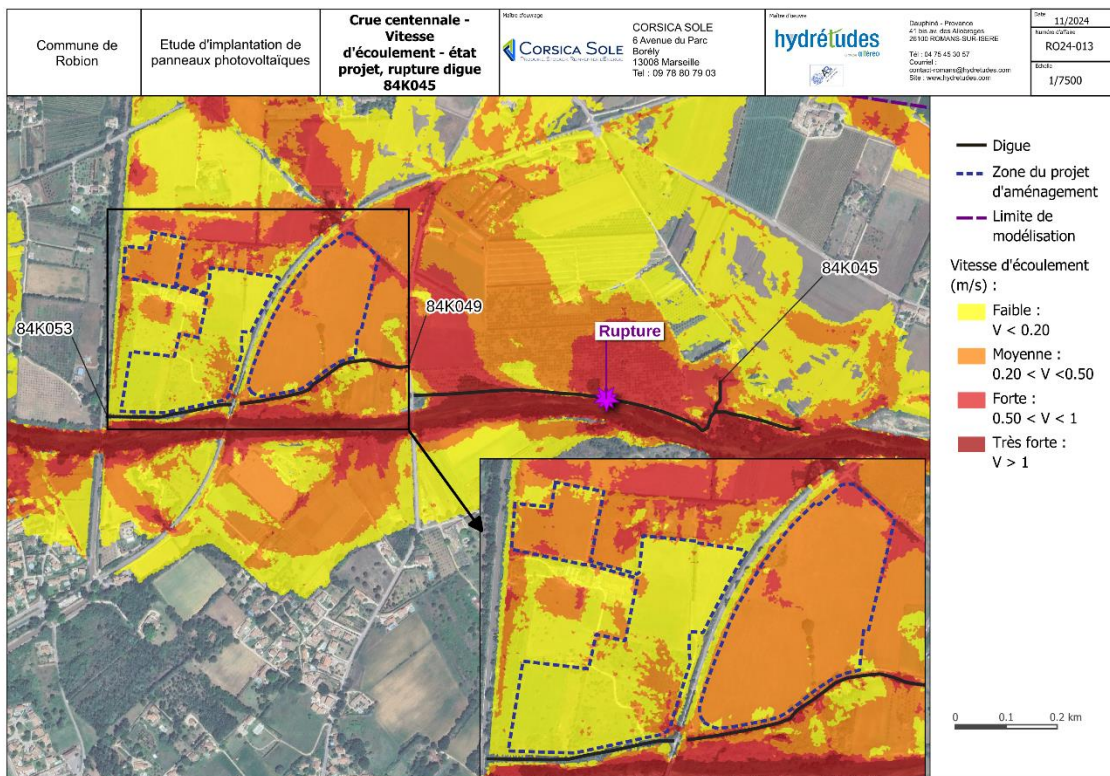
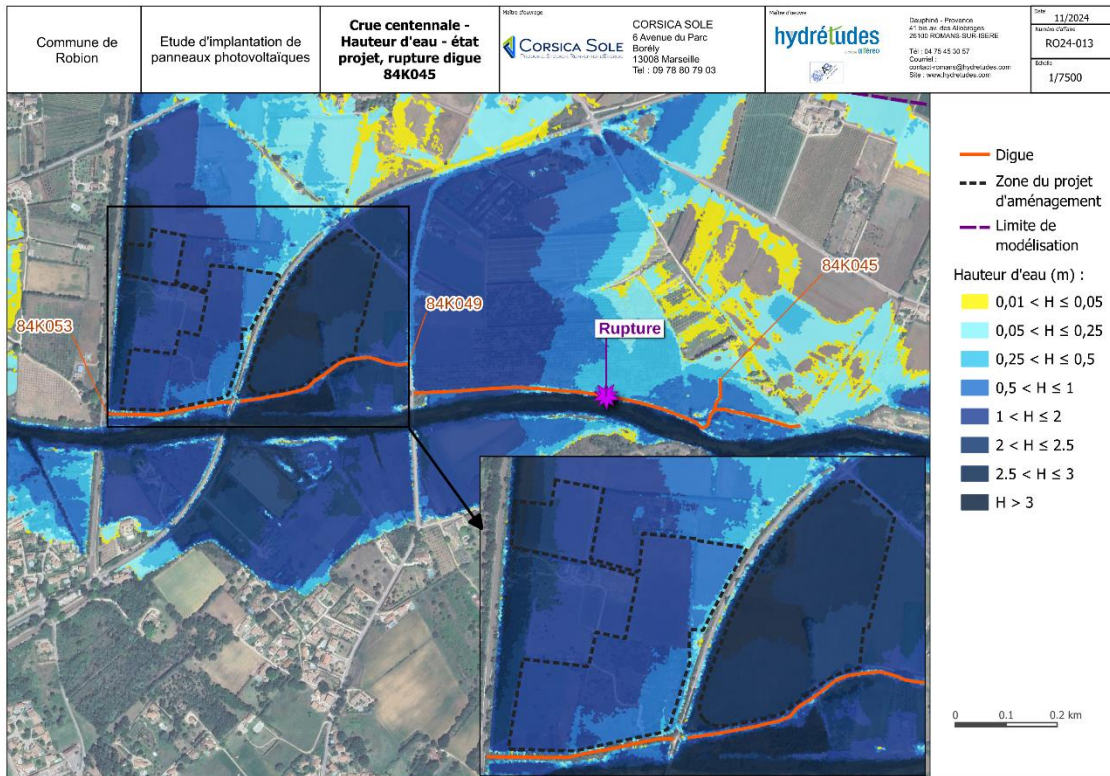


Résultat des comparaisons

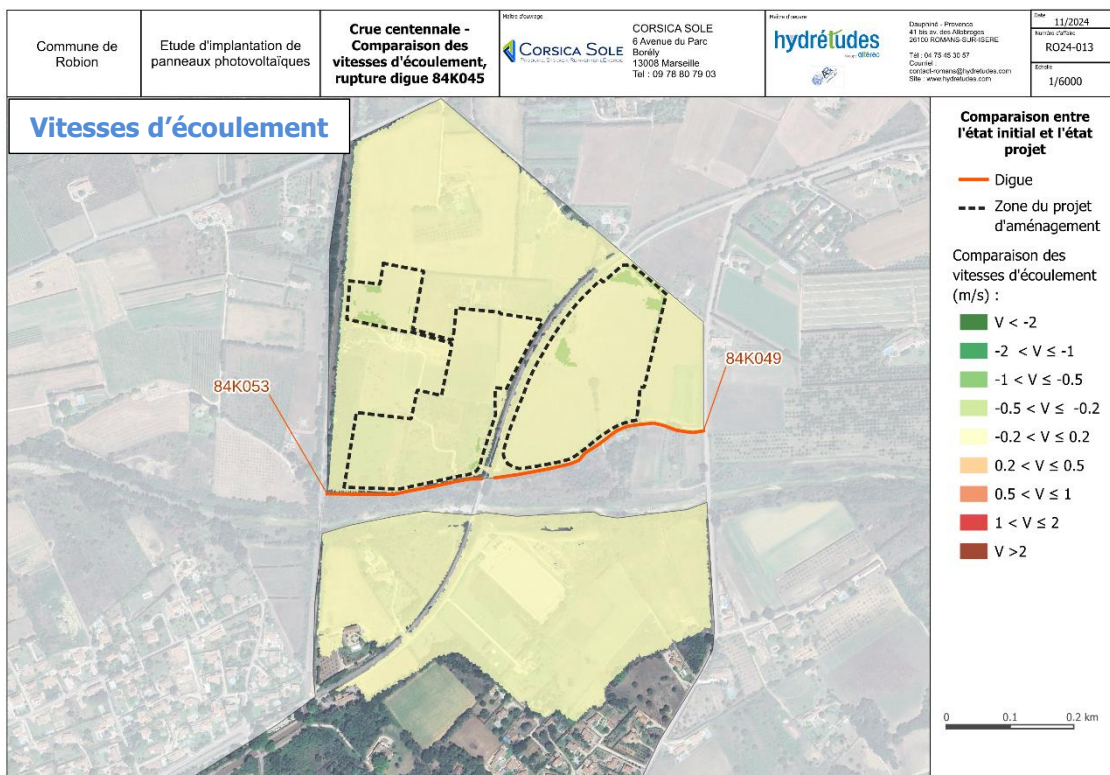
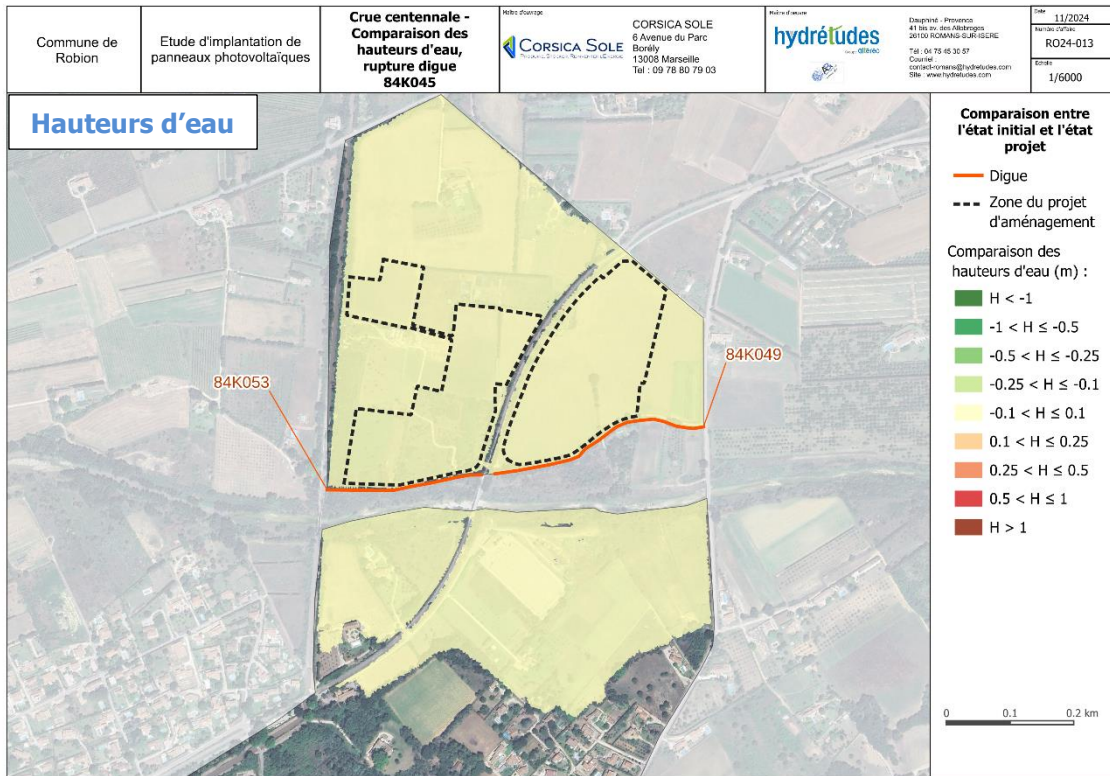


L'impact du projet dans le scénario d'effacement de la digue 84K053 est très faible. Aucune différence de hauteur d'eau significative n'est observée et seulement quelques zones localisées dans le projet d'aménagement sont concernées par une diminution des vitesses d'écoulement (zones en vert clair).

Rupture de la digue 84K045

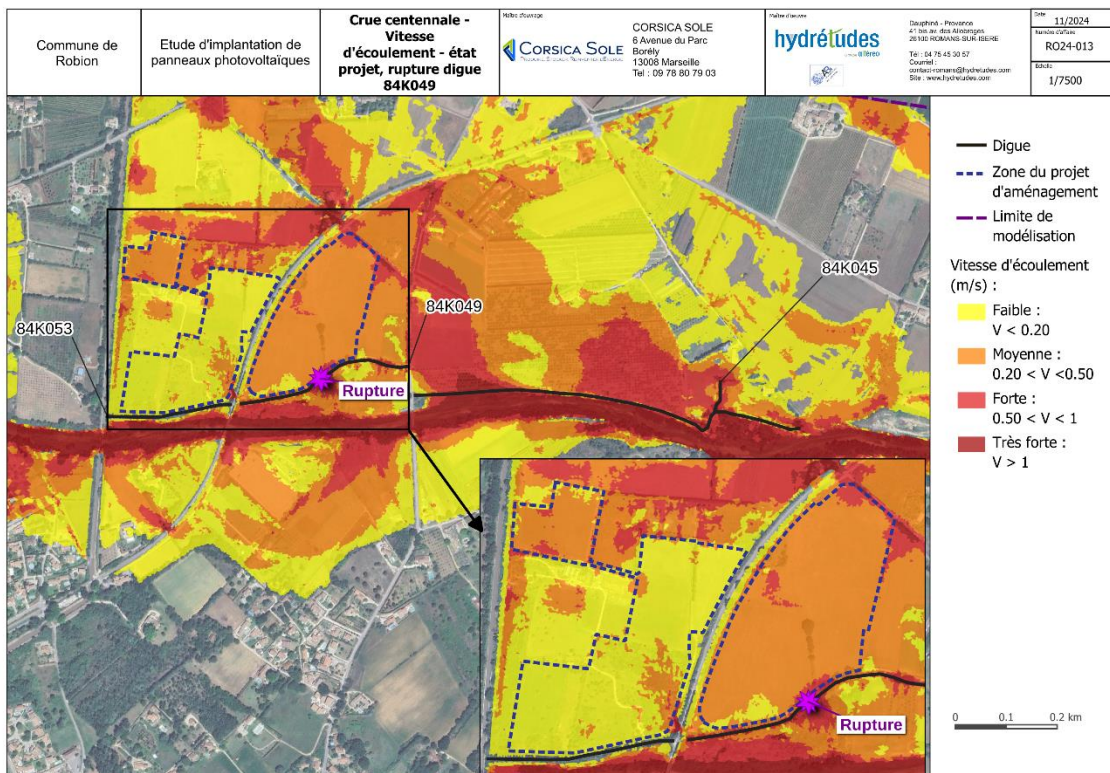
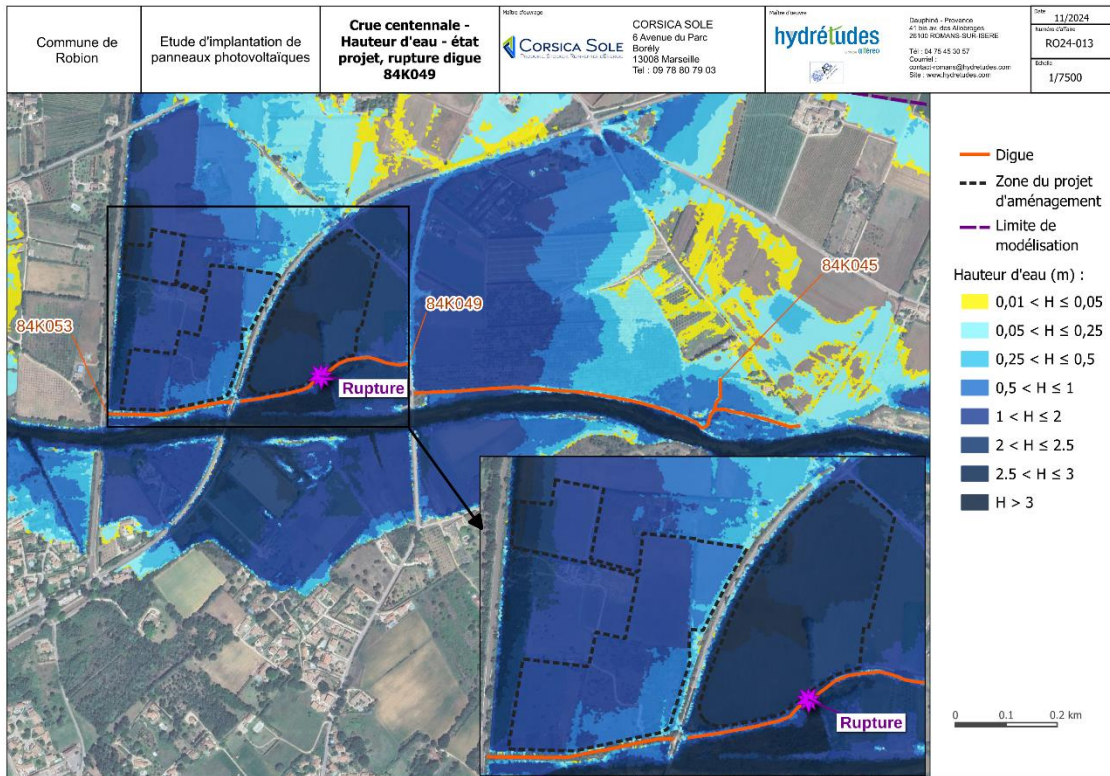


Résultat des comparaisons

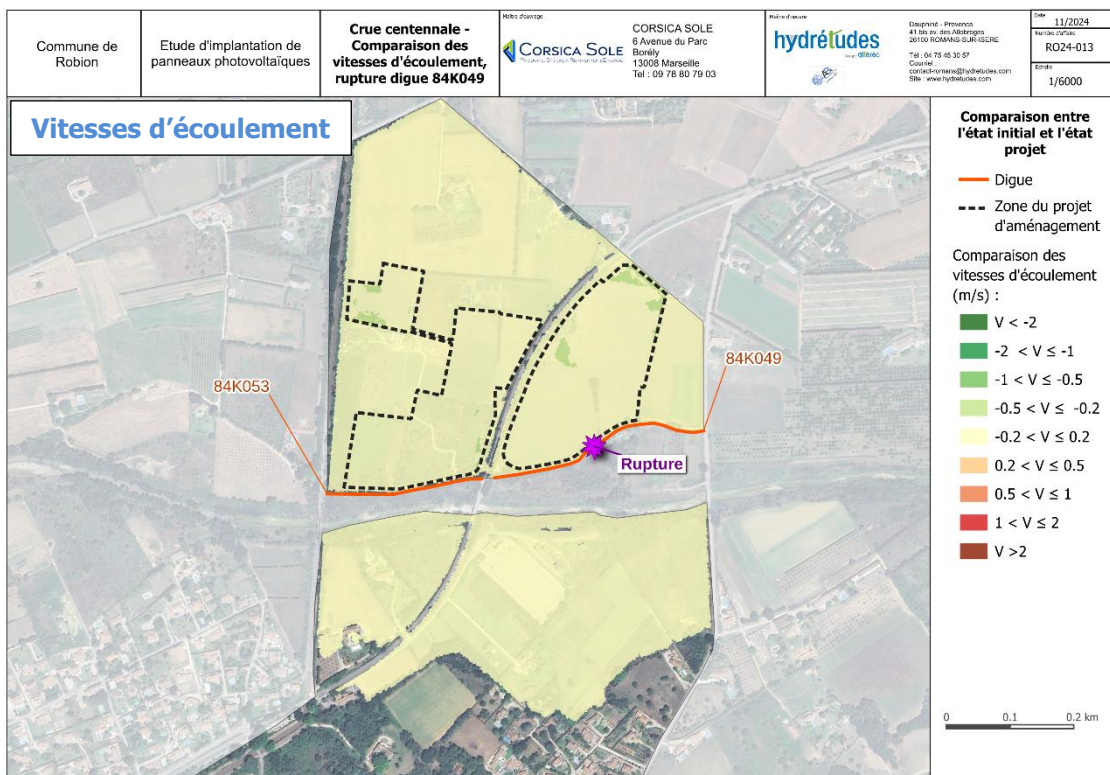
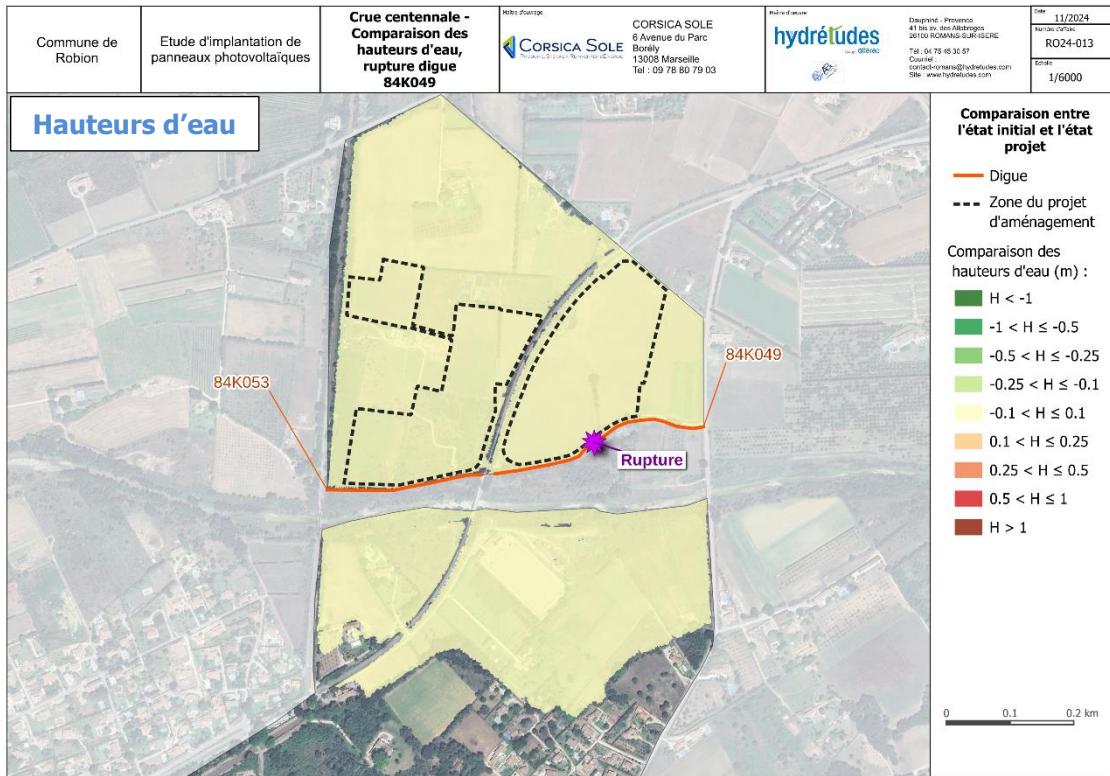


L'impact du projet dans le scénario de rupture de la digue 84K045 est très faible. Aucune différence de hauteur d'eau significative n'est observée et seulement quelques zones localisées dans le projet d'aménagement sont concernées par une diminution des vitesses d'écoulement (zones en vert clair).

Rupture de la digue 84K049

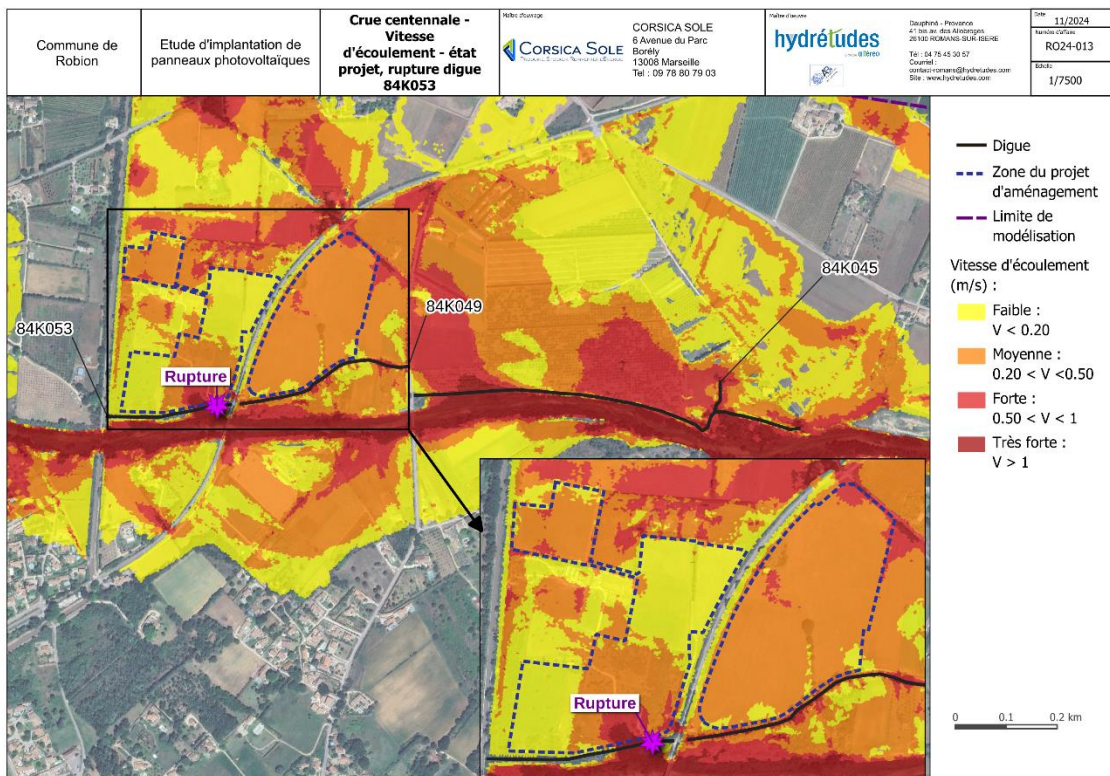
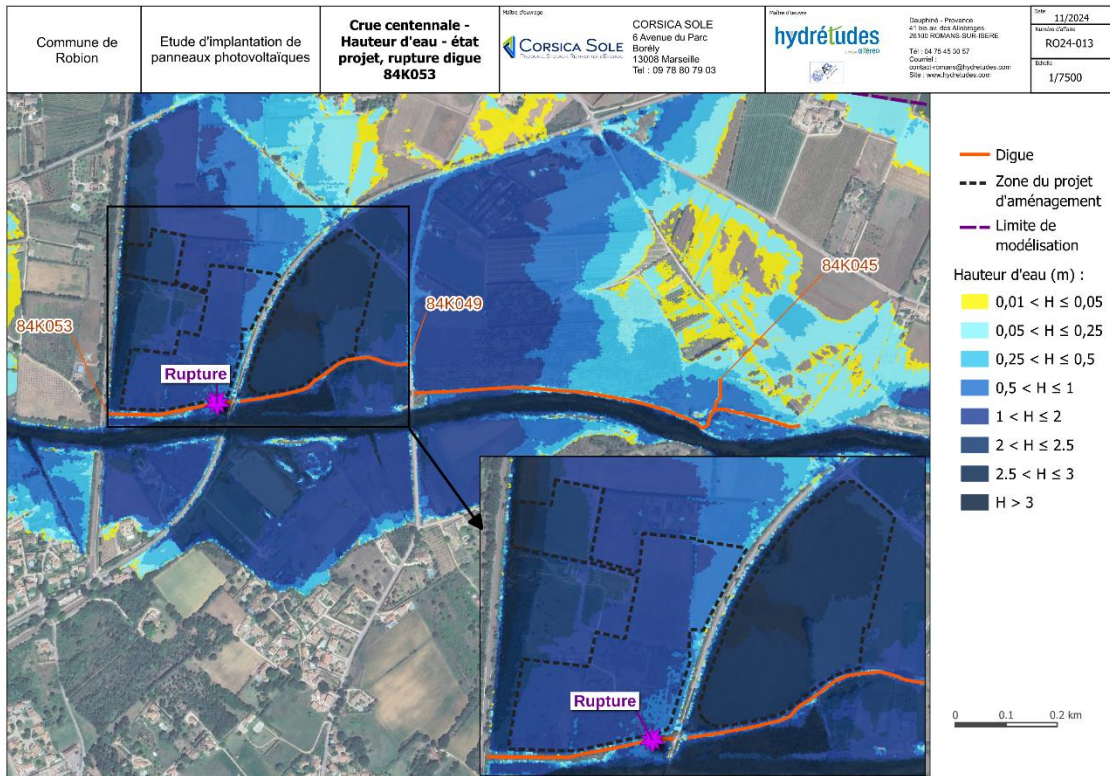


Résultat des comparaisons

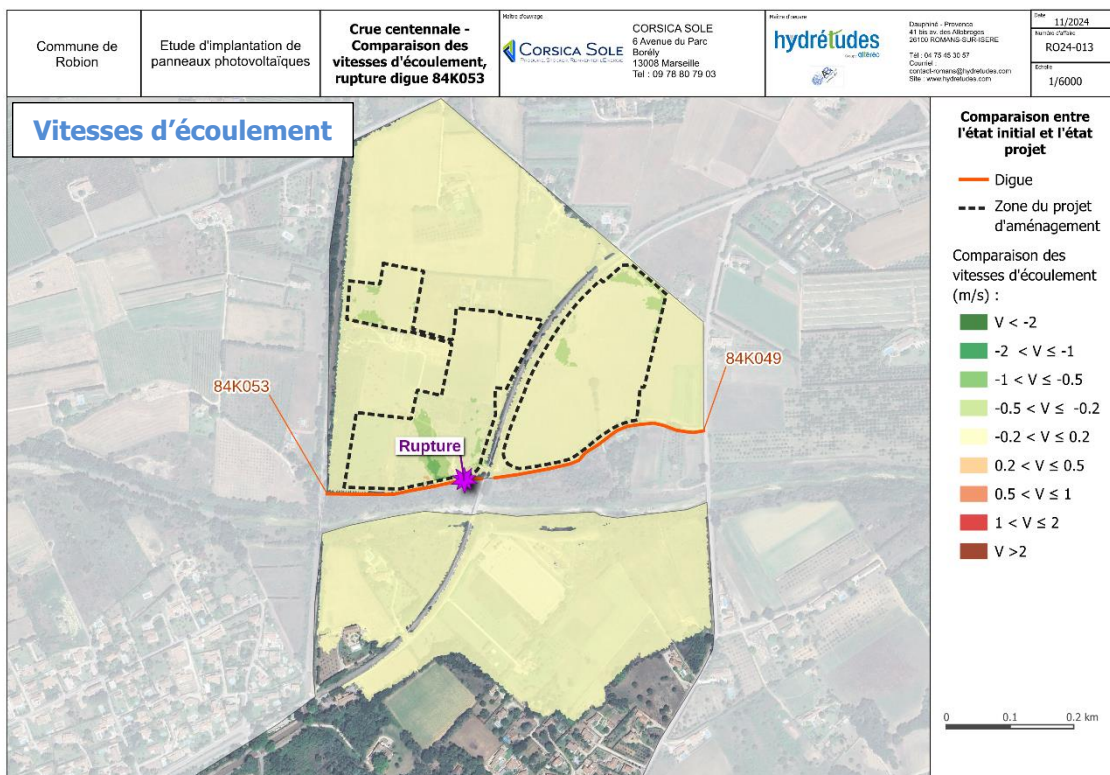
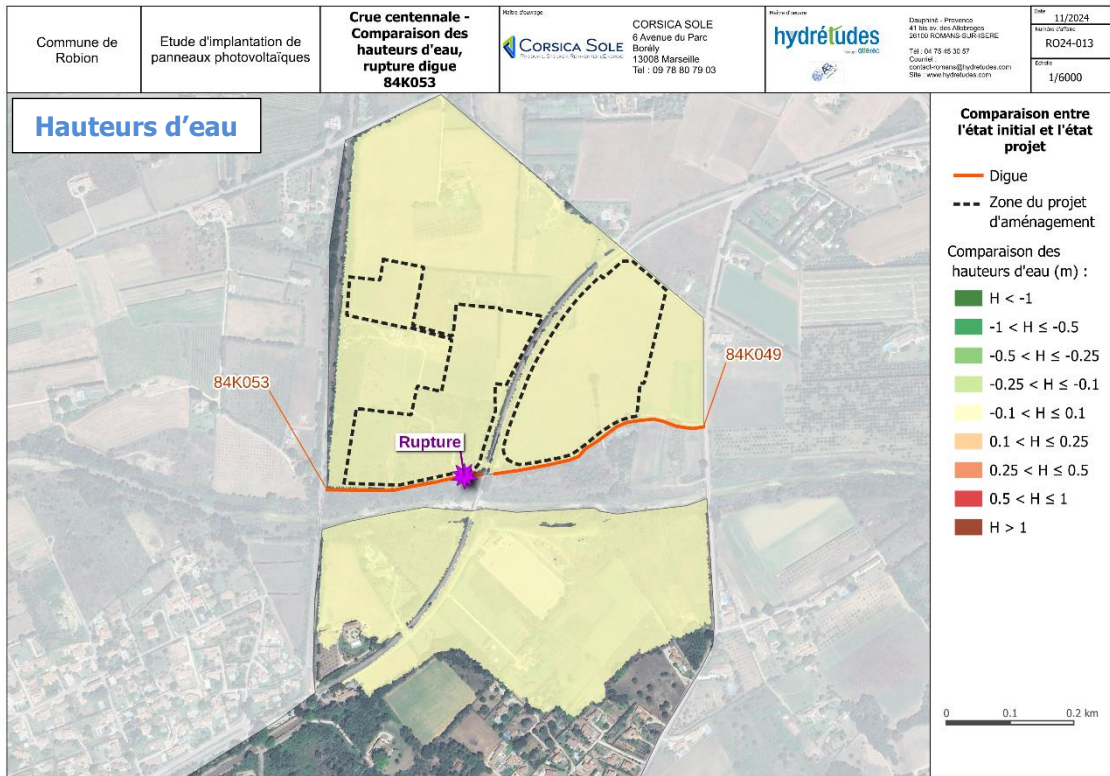


L'impact du projet dans le scénario de rupture de la digue 84K049 est très faible. Aucune différence de hauteur d'eau significative n'est observée et seulement quelques zones localisées dans le projet d'aménagement sont concernées par une diminution des vitesses d'écoulement (zones en vert clair).

Rupture de la digue 84K053

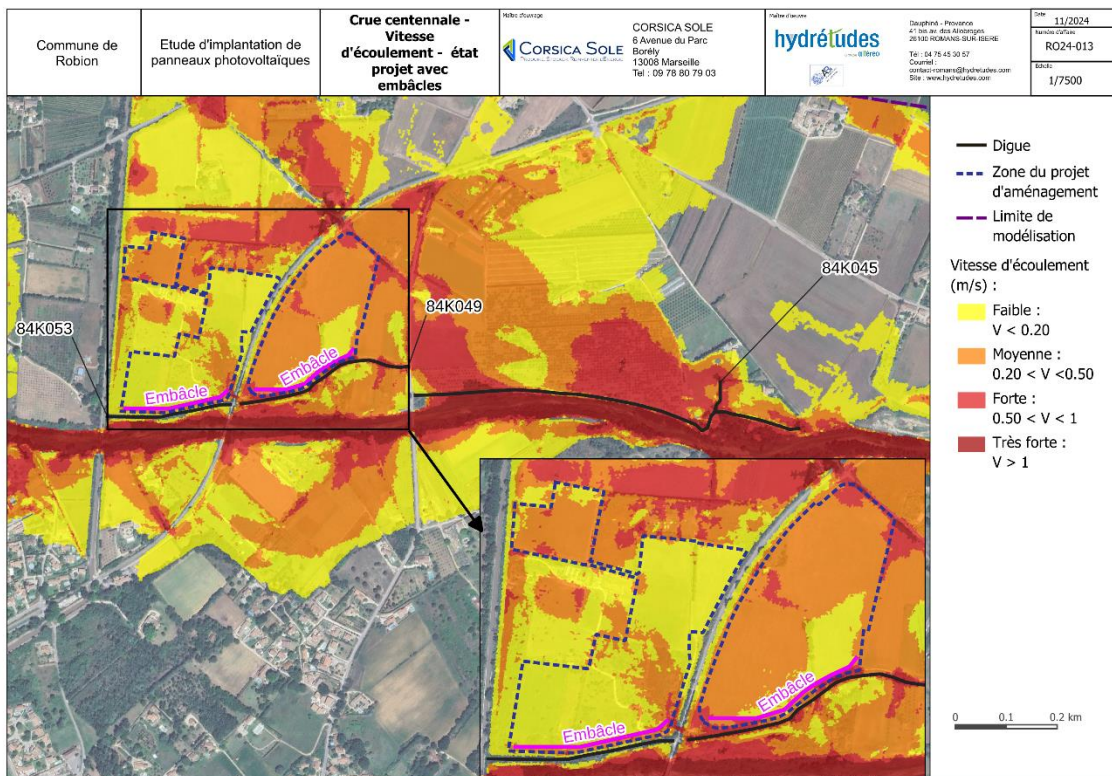
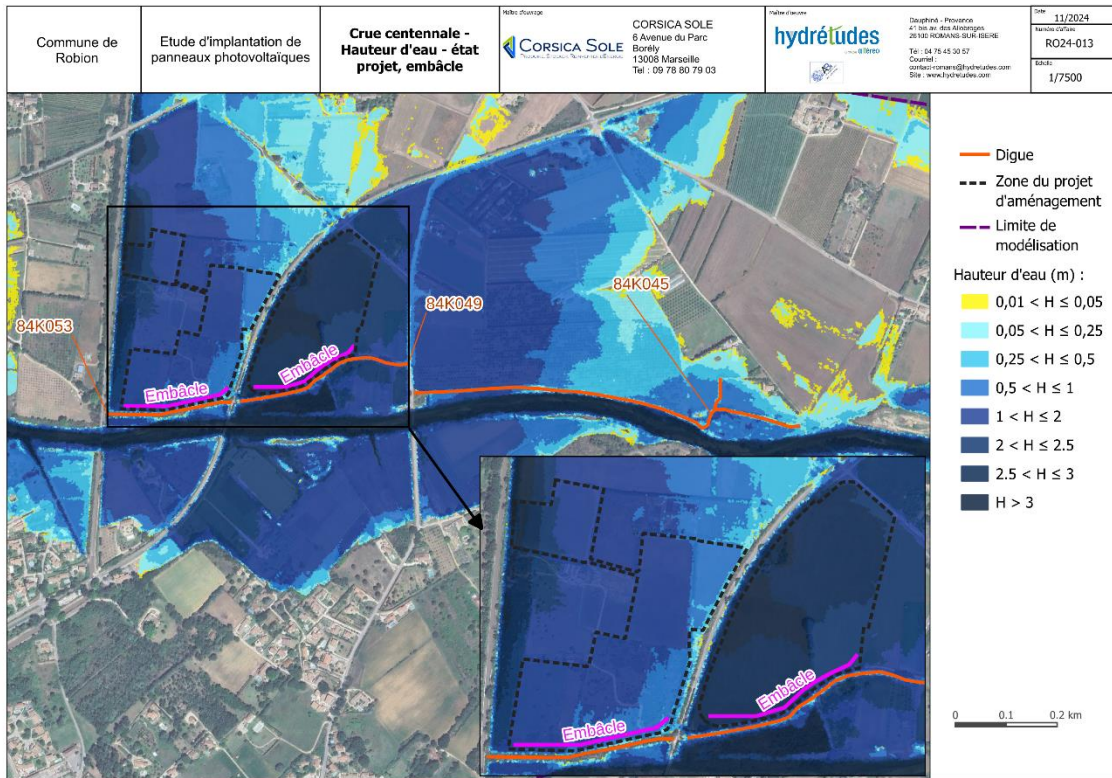


Résultat des comparaisons

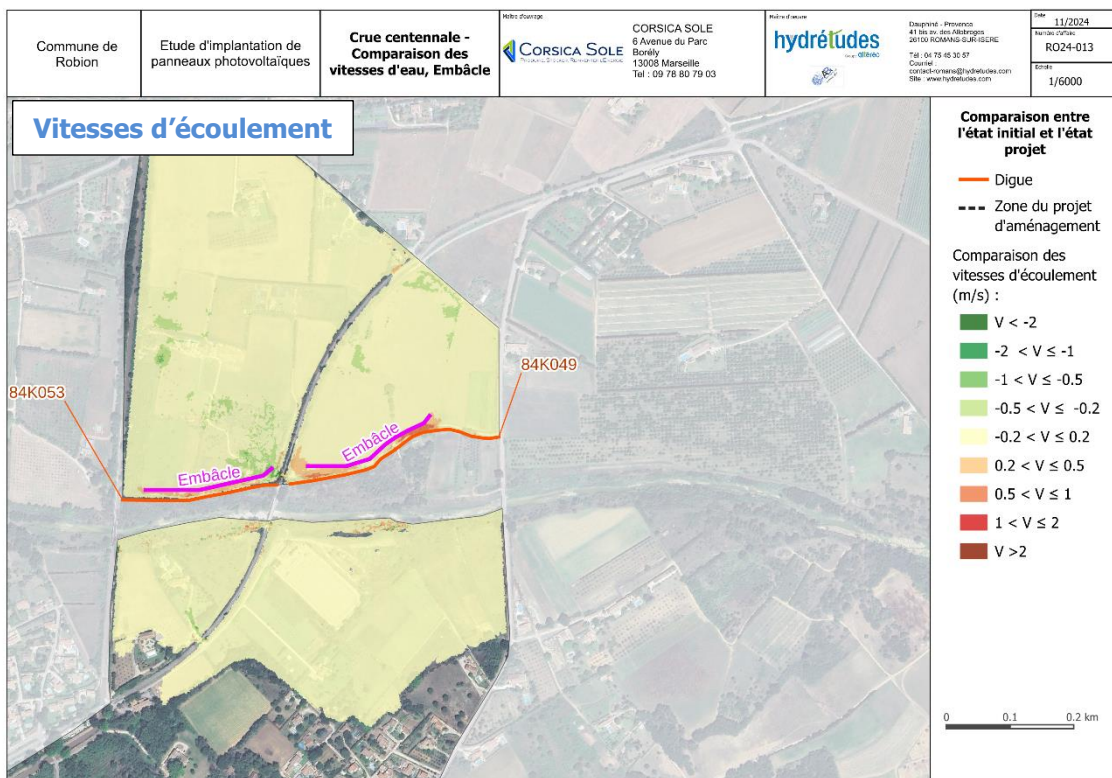
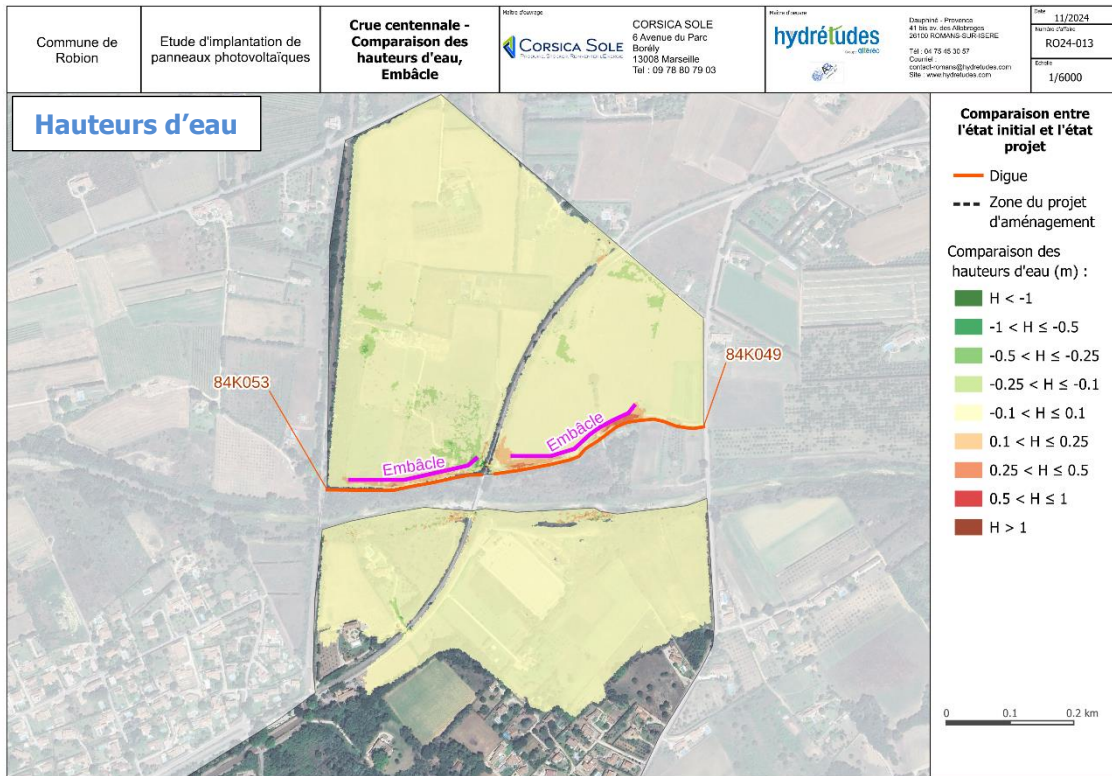


L'impact du projet dans le scénario de rupture de la digue 84K053 est très faible. Aucune différence de hauteur d'eau significative n'est observée et seulement quelques zones localisées dans le projet d'aménagement sont concernées par une diminution des vitesses d'écoulement (zones en vert clair).

Scénario de piège à embâcle



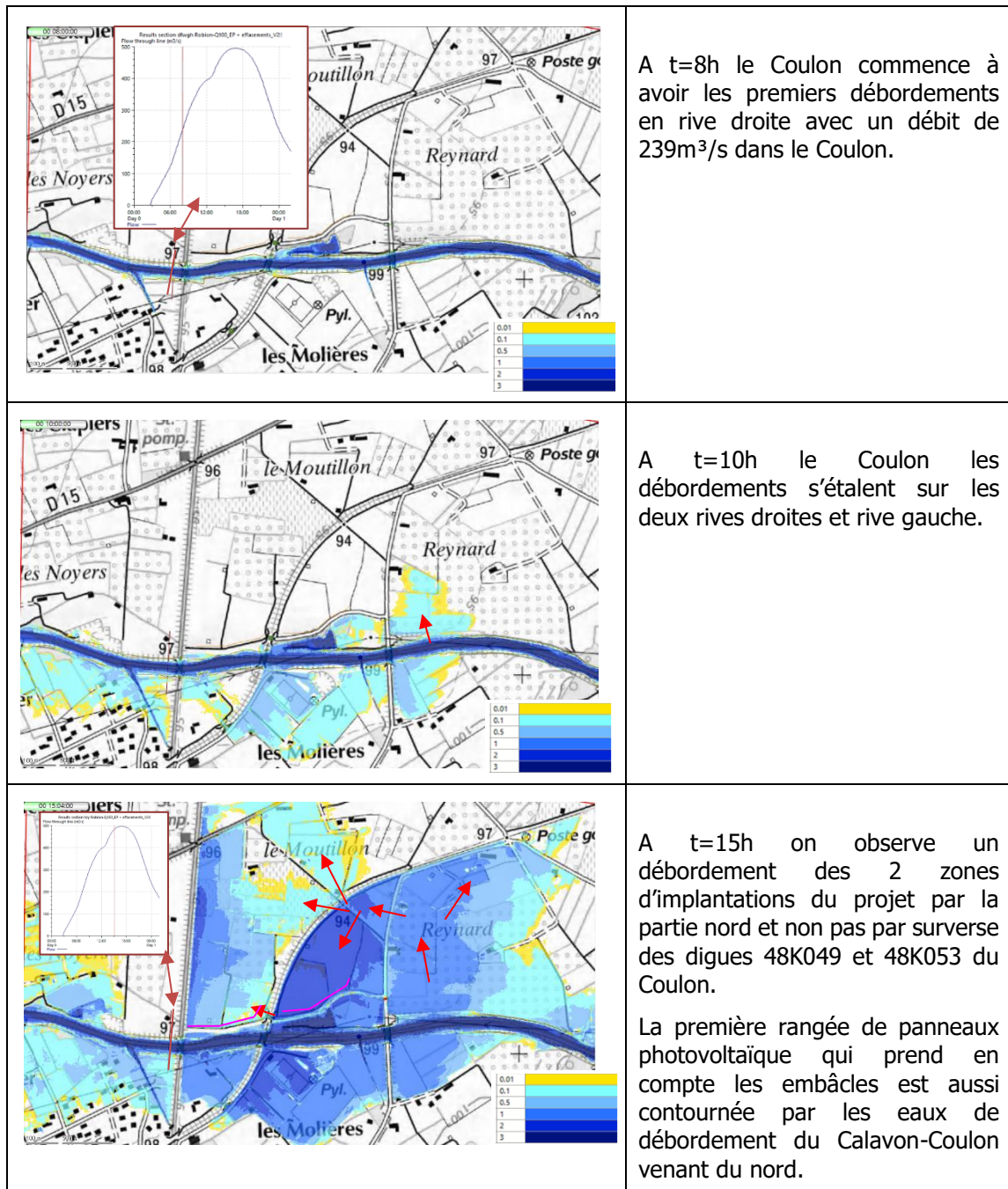
Résultat des comparaisons

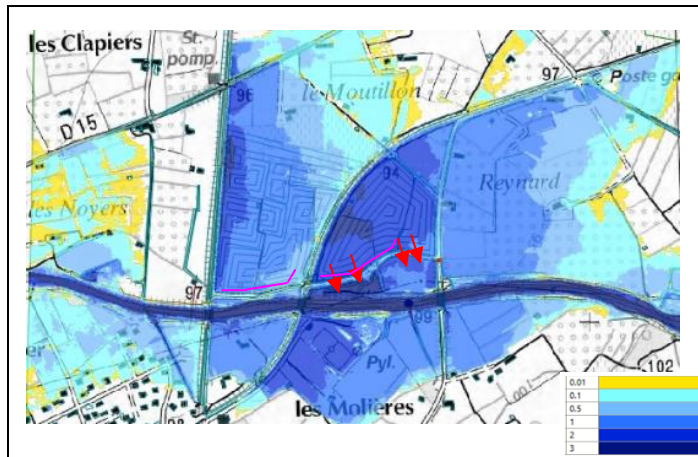


L'impact du projet dans le scénario de prise en compte d'un embâcle sur la première rangée des panneaux photovoltaïques est faible. Aucune différence de hauteur d'eau significative n'est observée et seulement quelques zones localisées au droit des embâcles sont concernées par une augmentation des vitesses d'écoulement (zones en rouge clair), et quelques zones localisées dans

le projet d'aménagement sont concernées par une diminution des vitesses d'écoulement (zones en vert clair).

Explication de la cinétique de la crue :








Au maximum de la crue on observe des retours d'eau dans le Coulon par surverse de la digue 48K049.

Ceci n'est pas le cas pour la digue 48K053.

La prise en compte des embâcles (en rose sur les photos de gauche) n'ont pas d'impact sur la synoptique de la crue.

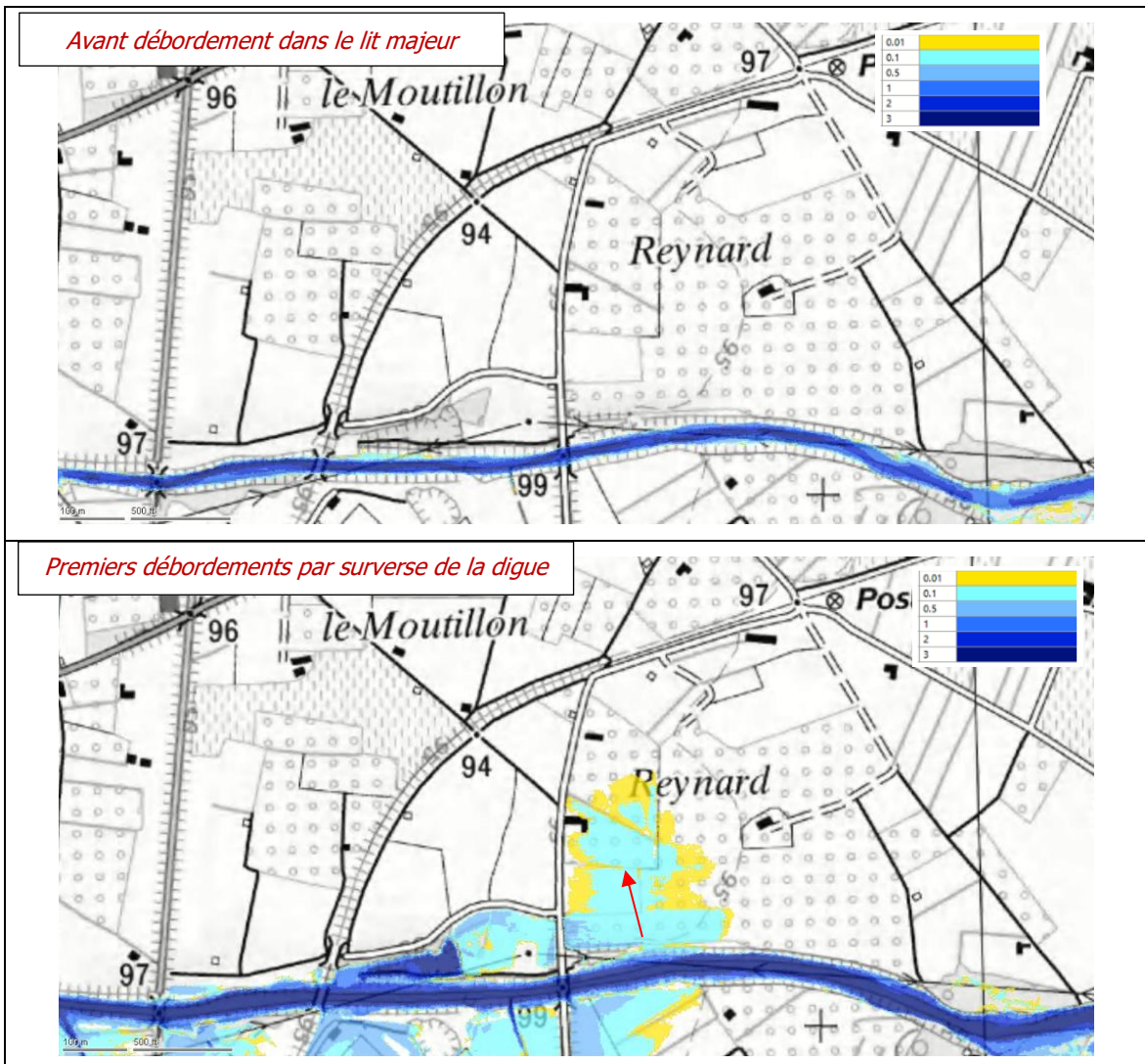
-  **Le projet d'aménagement n'a pas d'impact significatif sur les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement (sans modification des digues).**
-  **De même que le projet d'aménagement n'a pas d'impact important sur l'ensemble des scénarios de rupture ou d'effacement des digues.**
-  **Le projet d'aménagement n'a pas d'impact important sur le scénario de pose d'embâcles.**

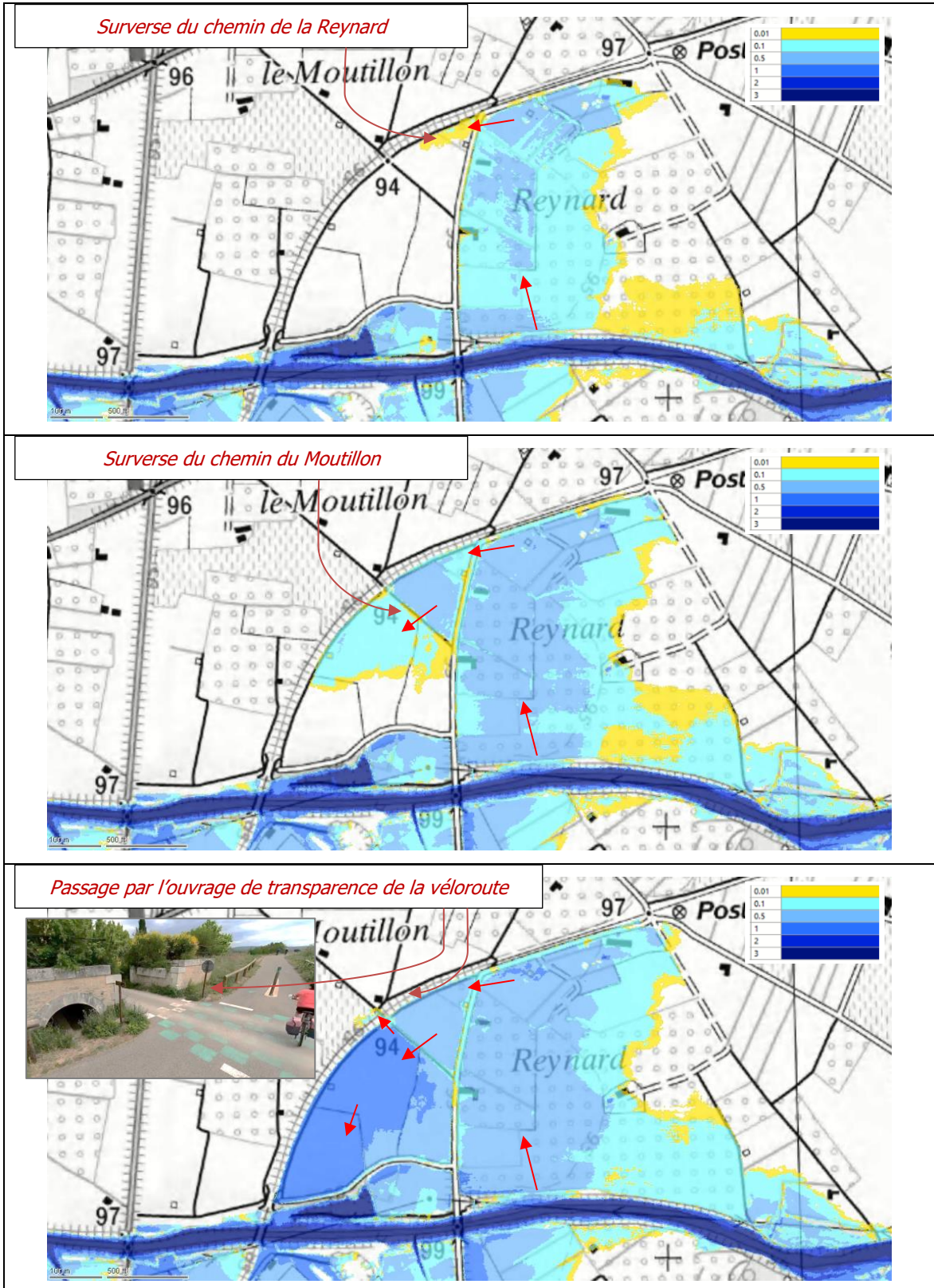
3.6. Détail sur l'impact du sens et des vitesses d'écoulement

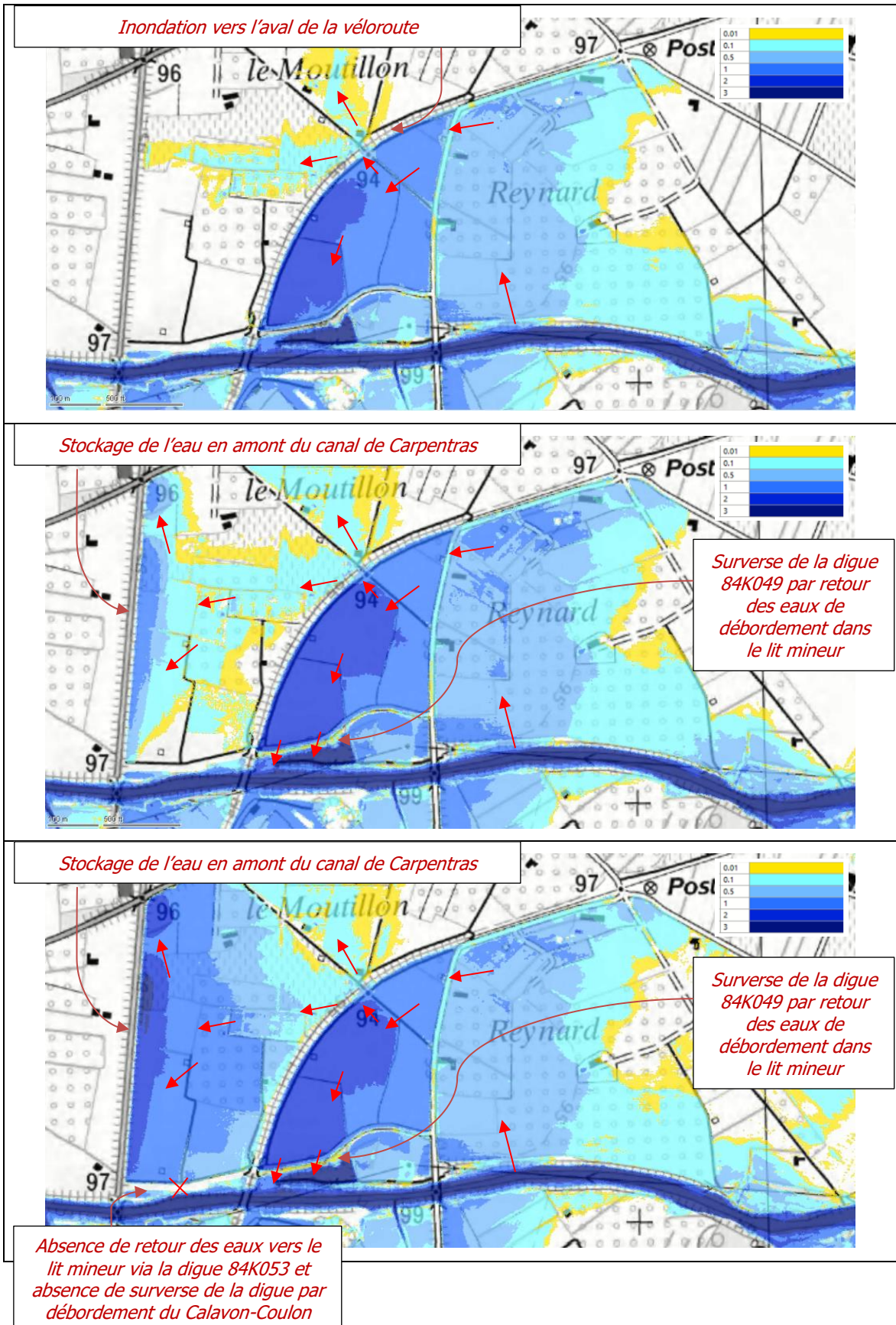
Une analyse plus en détail est menée sur l'impact des sens et des vitesses d'écoulement aux alentours du projet d'aménagement. Cette analyse permet de définir s'il est nécessaire de prévoir un piéage à embâcle autour du projet d'aménagement.

Pour cela, l'analyse est menée en état projet, qui n'engendre pas de différences notoires vis-à-vis de l'état initial, et sans défaillance ni effacement des digues.

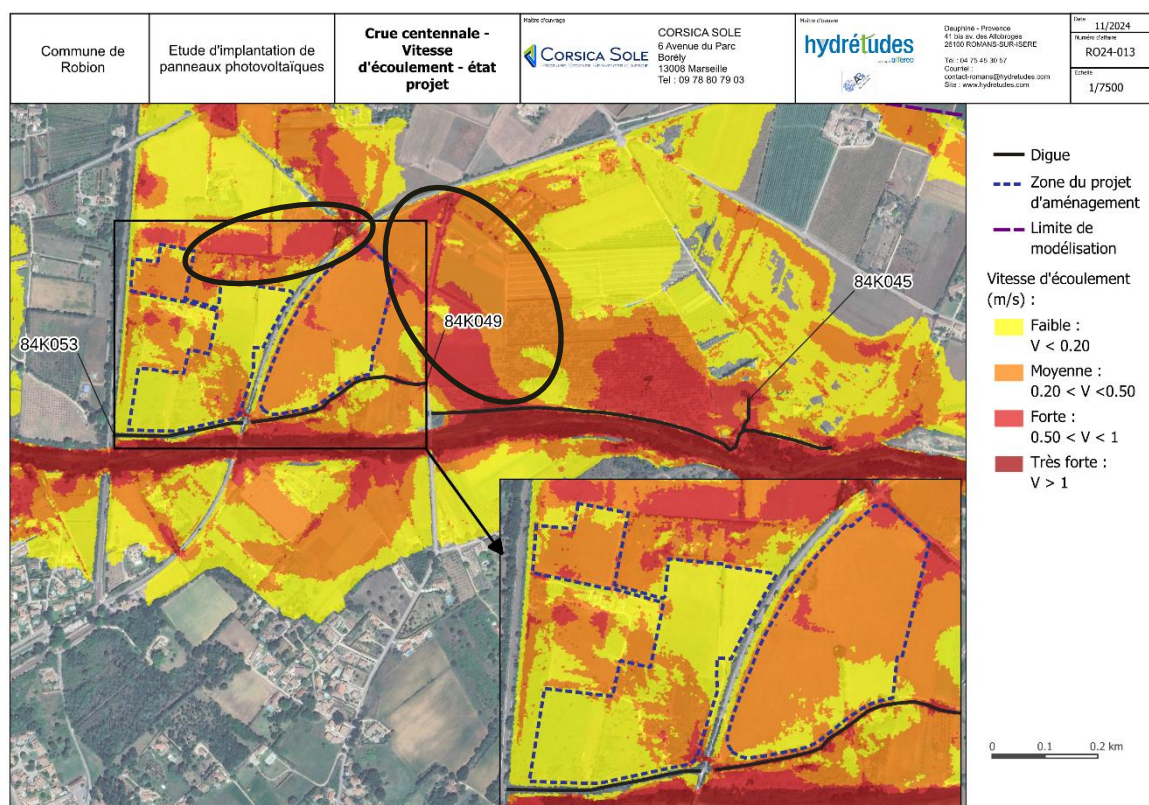
Ci-dessous les cartographies sur les sens d'écoulement au fur et à mesure de la crue centennale en état projet (sans rupture ni effacement des digues) :








Rappel des vitesses d'écoulement :



Les vitesses d'écoulement sont globalement faibles à moyennes au droit de l'emprise du projet. En revanche, sur les axes de progression des eaux de débordement, la vitesse est entre 0.2 et 1 m/s soit moyenne à forte (cercles noirs).

L'analyse du sens d'écoulement et des vitesses permet de conclure que :

- La zone du projet d'aménagement est inondée par des eaux venant du nord-est via la surverse des chemins de la Reynard et du Moutillon et le passage par l'ouvrage de transparence de la véloroute,
- Par ailleurs, la prise en compte d'un embâcle sur la première rangée de panneaux photovoltaïques sur la partie nord de la parcelle (représenté par les traits pointillés noirs ci-dessous) n'est pas pertinente car les matériaux flottant auront l'occasion de se déposer dans la première plaine d'inondation
- Les vitesses au droit de ces passages sont moyennes à fortes mais éloignées des premiers débordements du lit mineur : plus de 500 m de parcours des eaux avant d'atteindre la partie Est du projet d'aménagement. De ce fait, si des flottants sont transportés dans le lit majeur, ils seront probablement déposés avant d'atteindre la parcelle visée pour le projet photovoltaïque,
- La digue 84K049 est surversée par les eaux du nord vers le sud, c'est un retour des eaux vers le lit mineur, il n'y a donc pas de sujet d'embâcle,
- La digue 84K053 n'est pas surversée en crue centennale, il n'y a donc pas de sujet d'embâcle non plus.

 **Au vu des conditions d'écoulement pour la crue centennale, il n'est pas préconisé de mettre en place un piège à embâcle afin de protéger la zone du projet photovoltaïque.**

4. CONCLUSIONS

La présente étude a établi ces éléments précédemment détaillés :

- Une modélisation hydraulique en 2 dimensions de **l'état initial** a été réalisée. Ses résultats montrent des **hauteurs d'eau allant de 0.05 à localement plus de 3.6 m tout scénario confondu** dans le périmètre du futur projet. Les vitesses d'écoulement sont faibles à fortes. Elles sont parfois quasiment nulles car les eaux se stockent le long des 2 remblais présents que sont la véloroute et le canal de Carpentras. Elles atteignent par endroit jusqu'à 1m/s.
- Après **l'implantation du projet, les hauteurs d'eau ne varient quasiment pas**. La variation de hauteur se situe entre -0.1m et +0.1 m, ce qui correspond à la marge d'incertitude du modèle hydraulique. **Les vitesses d'écoulement sont globalement similaires** (variation entre -0.2m/s et +0.2 m/s) avec quelques zones où elles sont plus faibles en état projet qu'en état initial (entre -0.2 et -0.5m/s en état projet comparé à l'état initial).
- **Le projet d'implantation de panneaux photovoltaïques n'engendre pas de modifications importantes sur la zone inondée que ce soit au droit de la parcelle comme aux alentours du projet tant sur les hauteurs d'eau que sur les vitesses d'écoulement.**
- L'analyse de la nécessité de réaliser un piège à embâcle est faite sur l'état projet sans défaillance (rupture) ni effacement des ouvrages de type digue et conclue qu'**il n'est pas nécessaire d'accompagner le projet par l'implantation d'un piège à embâcle** en raison de :
 - Zones de débordements préférentiels du lit mineur éloignées de la zone de projet (débordement par l'amont via la digue 84K045 et passage des routes chemin de la Reynard et chemin du Moutillon avant d'arriver sur les parcelles du projet d'aménagement),
 - L'écoulement des eaux de débordement au-dessus de la digue 84K049 vers le lit mineur et non l'inverse,
 - L'absence de surverse de la digue 84K053.



Cette étude a démontré que l'impact hydraulique du projet de centrale de stockage électrique est très faible dans le périmètre du projet et aux alentours de celui-ci sur les hauteurs comme sur les vitesses.

5. ANNEXES

Annexe 1 : Cartes des hauteurs d'eau en état initial et en état projet avec et sans modifications des digues

Annexe 2 : Cartes des vitesses d'écoulement en état initial et en état projet avec et sans modifications des digues

Annexe 3 : Cartes de variation des hauteurs et vitesses de l'ensemble de la zone modélisée caractérisant l'impact du projet d'aménagement

Annexe 4 : Le coefficient de Strickler (Source : cassiopee.g-eau.fr)