



**ETUDE HYDRAULIQUE PREALABLE ET
AMENAGEMENTS D'EXONDEMENT
EVENTUELS CONCERNANT LE RISQUE DE
RUISSELLEMENT AU NIVEAU DE L'OAP
"VILLAGE" DE LA COMMUNE DE TORNAC
(30)**

Etude hydraulique

LE PROJET

Client	<i>Mairie de Tornac</i>
Projet	Etude hydraulique préalable et aménagements d'exondement éventuels concernant le risque de ruissellement au niveau de l'OAP "Village" de la commune de Tornac (30)
Intitulé du rapport	Etude hydraulique

LES AUTEURS

	Cereg Ingénierie - 589 rue Favre de Saint Castor – 34080 MONTPELLIER Tel : 04.67.41.69.80 - Fax : 04.67.41.69.81 - montpellier@cereg.com www.cereg.com
--	---

Réf. Cereg - 2023-CI-000194

Id	Date	Etabli par	Vérifié par	Description des modifications / Evolutions
V1	Août 2023	Nathan LAURIDANT	Fabien CHRISTIN	Version initiale
V2	Janvier 2024	Nathan LAURIDANT	Fabien CHRISTIN	Prise en compte des remarques de la DDT30

Certification



TABLE DES MATIERES

A. CONTEXTE ET OBJECTIFS.....	7
A.I. CONTEXTE GENERAL	8
A.I.1. Situation géographique	8
A.I.2. Occupation des sols	9
A.I.3. Topographie de la zone d'étude	10
A.II. CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE ET ZONES INONDABLES	11
A.II.1. Réseau hydrographique global	11
A.II.2. Données EXZECO	12
A.II.3. Plan de Prévention du Risque Inondation (PPRI)	13
A.III. OBJECTIFS	13
B. ANALYSE DU RISQUE RUISSELLEMENT EN ETAT ACTUEL	14
B.I. ETUDE HYDROLOGIQUE	15
B.I.1. Définition des bassins versants	15
B.I.2. Données d'entrée du modèle hydrologique	16
B.I.2.1. Coefficients de Montana	16
B.I.2.2. Coefficient de ruissellement	16
B.I.2.3. Temps de concentration	17
B.I.2.4. Débits de pointe.....	18
B.I.3. Hyétoگرامme de pluie	19
B.I.3.1. Pluie de projet.....	19
B.I.3.2. Pluie de septembre 2002	19
B.I.3.3. Analyse des données pluviométriques statistiques	20
B.I.4. Modélisation hydrologique Pluie-débit	21
B.I.5. Calage	22
B.II. MODELISATION HYDRAULIQUE	22
B.II.1. Construction du modèle hydraulique	22
B.II.1.1. Choix du type de modélisation	22
B.II.1.2. Données topographiques.....	22
B.II.1.3. Construction du modèle hydraulique 2D	23
B.II.2. Exploitation des résultats - Crue d'occurrence centennale	26
B.II.2.1. Hauteurs d'eau	26
B.II.2.2. Vitesse d'écoulement.....	27
B.II.2.3. Comparaison avec les données EXZECO	27
B.III. CONCLUSION	28
C. EXONDEMENT DE LA PARCELLE D'ETUDE.....	30

C.I.	MODELE HYDRAULIQUE – SITUATION PROJET	31
C.I.1.	Proposition d'aménagement d'exondement	31
C.I.2.	Maillage de la zone d'étude	32
C.I.3.	Exploitation des résultats - Crue d'occurrence centennale – état projet	33
C.I.3.1.	Nombre de courant	33
C.I.3.2.	Hauteurs d'eau	34
C.I.3.3.	Vitesse d'écoulement.....	36
C.I.3.4.	Incidence de l'exondement.....	37
C.II.	CONCLUSION	39
D.	ANNEXES.....	40

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 :	Caractéristiques physiques des bassins versants interceptés	16
Tableau 2 :	Coefficient de Montana de la station de Nîmes-Courbessac (1982 - 2021)	16
Tableau 3 :	Coefficients de ruissellement unitaire par type d'occupation des sols.	17
Tableau 4 :	Coefficients de ruissellement des bassins versants interceptés.....	17
Tableau 5 :	Temps de concentration des bassins versants d'apport pour différentes méthodes d'estimations	17
Tableau 6 :	Temps de concentration des bassins versants interceptés	17
Tableau 7 :	Débits de pointe des bassins versants interceptés.....	18

Pente (%)	1.7
Longueur (m)	160
Hauteur (m)	1
Largeur radier (m)	0.8
Largeur en gueule (m)	2.3
Pente maximale des talus	3/1

Tableau 8 :	Dimensionnement du fossé d'interception	32
-------------	---	----

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Illustration 1 :	Localisation de la zone d'étude.....	Erreur ! Signet non défini.
Illustration 2 :	Occupation des sols	9
Illustration 3 :	Topographie de la zone d'étude	10
Illustration 4 :	Réseau hydrographique global	11
Illustration 5 :	Analyse de la donnée EZXECO au droit de la zone d'étude	12
Illustration 6 :	Analyse de la donnée du PPRI de la commune de Tornac	13
Illustration 7 :	Délimitation des bassins versants interceptés par la parcelle d'étude.....	15

Tableau 1 : Caractéristiques physiques des bassins versants interceptés	16
Tableau 2 : Coefficient de Montana de la station de Nîmes-Courbessac (1982 - 2021)	16
Tableau 3 : Coefficients de ruissellement unitaire par type d'occupation des sols.	17
Tableau 4 : Coefficients de ruissellement des bassins versants interceptés.....	17
Tableau 5 : Temps de concentration des bassins versants d'apport pour différentes méthodes d'estimations	17
Tableau 6 : Temps de concentration des bassins versants interceptés	17
Tableau 7 : Débits de pointe des bassins versants interceptés.....	18
Illustration 8 : Exemple de pluie de Kiefer	19
Illustration 9 : Comparaison de l'épisode pluvieux de septembre 2002 avec les pluies statistiques.....	20
Illustration 10 : Hydrogramme de crue de la pluie d'occurrence centennale pour le bassin versant 1.....	21
Illustration 11 : Définition des lignes structurantes du modèle hydraulique 2D	23
Illustration 12 : Vue en plan du maillage du modèle hydraulique	24
Illustration 13 : Définition du modèle hydraulique 2D.....	25
Illustration 14 : Cartographie des hauteurs d'eau en situation actuelle pour une pluie centennale.....	26
Illustration 15 : Cartographie des vitesses d'écoulement en situation actuelle pour une pluie centennale	27
Illustration 16 : Cartographie de l'aléa en situation actuelle pour une pluie centennale	28
Illustration 17 : Règlement type du Gard par rapport au risque inondation par ruissellement	29
Illustration 18 : Localisation du fossé d'interception définis dans le modèle hydraulique	31

Pente (%)	1.7
Longueur (m)	160
Hauteur (m)	1
Largeur radier (m)	0.8
Largeur en gueule (m)	2.3
Pente maximale des talus	3/1

Tableau 8 : Dimensionnement du fossé d'interception	32
Illustration 19 : Vue en plan du maillage du modèle hydraulique avec fossé d'interception	32
Illustration 20 : Nombre de courant maximal atteint lors de la modélisation de la crue centennale	33
Illustration 21 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales avec fossé d'interception pour une pluie centennale	34
Illustration 22 : Hauteurs d'eau maximales au niveau du fossé d'interception	35
Illustration 23 : Cartographie des vitesses d'écoulement avec fossé d'interception pour une pluie centennale	36
Illustration 24 : Incidence du fossé d'interception sur les hauteurs d'eau maximales modélisées pour une crue centennale.....	37
Illustration 25 : Incidence relevée au niveau du fossé d'interception	38
Illustration 26 : Cartographie de l'aléa en situation projet pour une pluie centennale	39
Annexe 1 : Références bibliographiques des données CN	41

PREAMBULE

La **mairie de Tornac** envisage le développement du projet « Village » faisant l'objet d'une Orientation d'Aménagement et de Programmation.

La zone de projet est classée comme zone à urbaniser 1AUa dans le PLU de la commune. L'ouverture à l'urbanisation de cette zone est subordonnée à une modification ou une révision du PLU. L'orientation d'aménagement et de programmation « Cœur du Village » vise à créer une centralité à l'échelle du village et à structurer l'espace pour produire de la cohérence urbaine.

Depuis janvier 2024 et la révision du PLU, la modification du contenu de l'OAP « centre de village » s'accompagne d'un ajustement de son périmètre initial, avec la prise de la parcelle 0572 des espaces publics attenants.

Le projet se situe en zone de ruissellement indifférencié de l'étude EXZECO. De manière à s'assurer de la faisabilité des aménagements, il est demandé la réalisation d'une étude hydraulique qualifiant le risque d'inondation par ruissellement pour déterminer la constructibilité des parcelles et des conditions associées.

Dans ce contexte, une **mission d'étude hydraulique** a été confié à Cereg qui a pour objet :

- De **dresser l'état des lieux du fonctionnement hydraulique du secteur** (données EXZECO, réseaux d'écoulement, inondabilité, organisation des ruissellements, milieux récepteurs des ruissellement, ouvrages existants, ...)
- **Évaluer le risque inondation par ruissellement en élaborant un modèle hydraulique 2D**, afin de cartographier l'aléa inondation pour une crue de référence - 100 ans.
- **D'identifier les contraintes, enjeux et atouts à prendre en compte par l'équipe de conception afin d'exonder la parcelle et de limiter le risque au droit du projet.**

Le présent document constitue le rapport de synthèse de restitution de cette étude hydraulique.

A. CONTEXTE ET OBJECTIFS



A.I. CONTEXTE GENERAL

A.I.1. Situation géographique

La zone d'étude se situe au centre du village de la commune de Tornac dans le département du Gard (30) en région Occitanie. Plus précisément, le projet est localisé à l'Ouest de la RD 982, dans la continuité sud du pôle d'équipements formé par la mairie, l'école, le foyer communal et les espaces de loisirs. La zone de projet comprend les parcelles AN 606, AN 605 et AN 56.

La superficie totale de la zone d'étude est de **9 600 m²**. Le contexte géographique du périmètre d'étude est présenté ci-dessous.

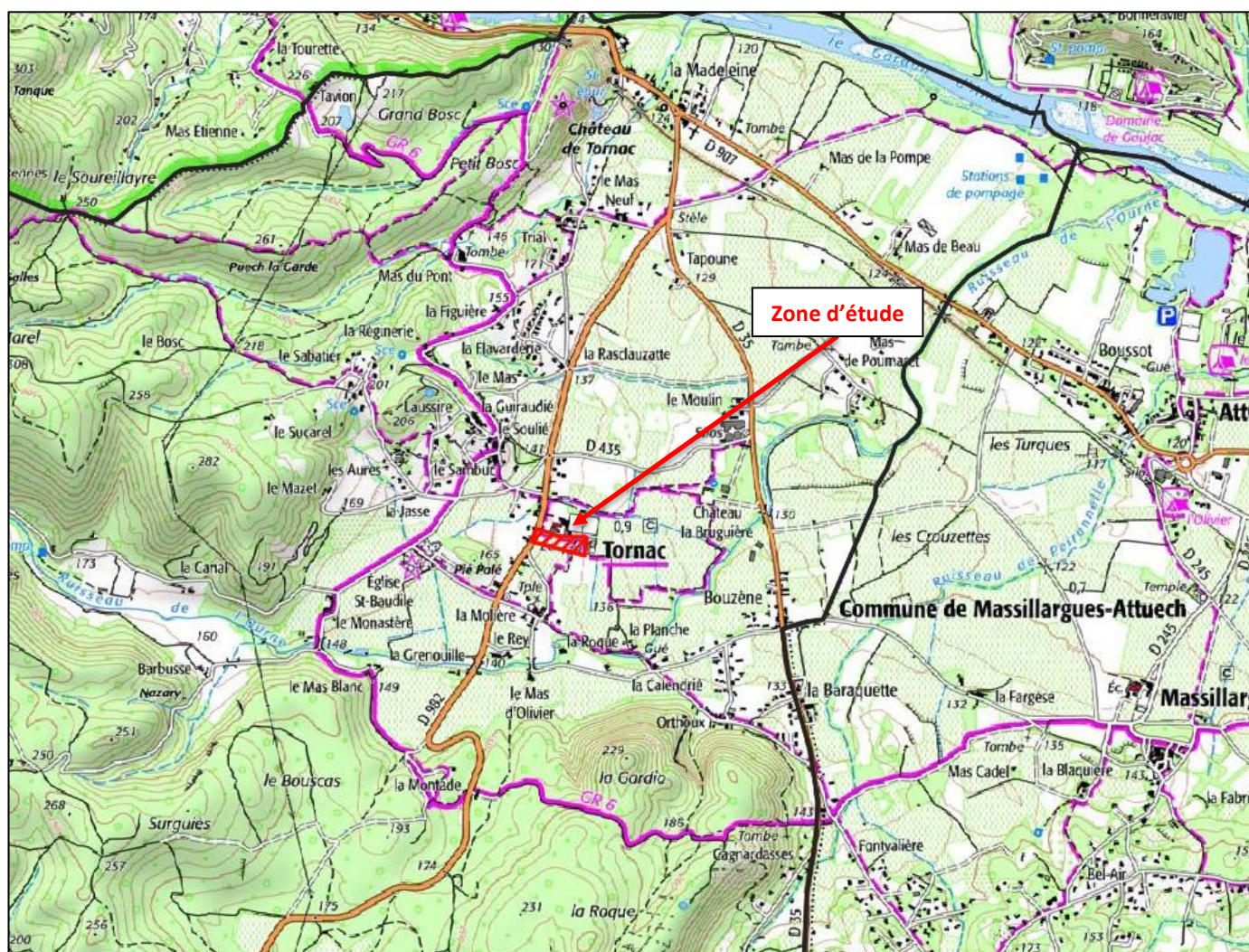


Illustration 1 : Localisation de la zone d'étude

A.I.2. Occupation des sols

L'illustration 2 proposée ci-dessous met en avant l'occupation des sols obtenue à partir des données IGN de la BD Ortho datant de 2021. Cette donnée correspond à la photographie aérienne du territoire.

La zone d'étude est composée de vignes déclarées au Registres Parcellaire Graphique en agriculture biologique, de voiries et du parking chemin de Prunieirous.

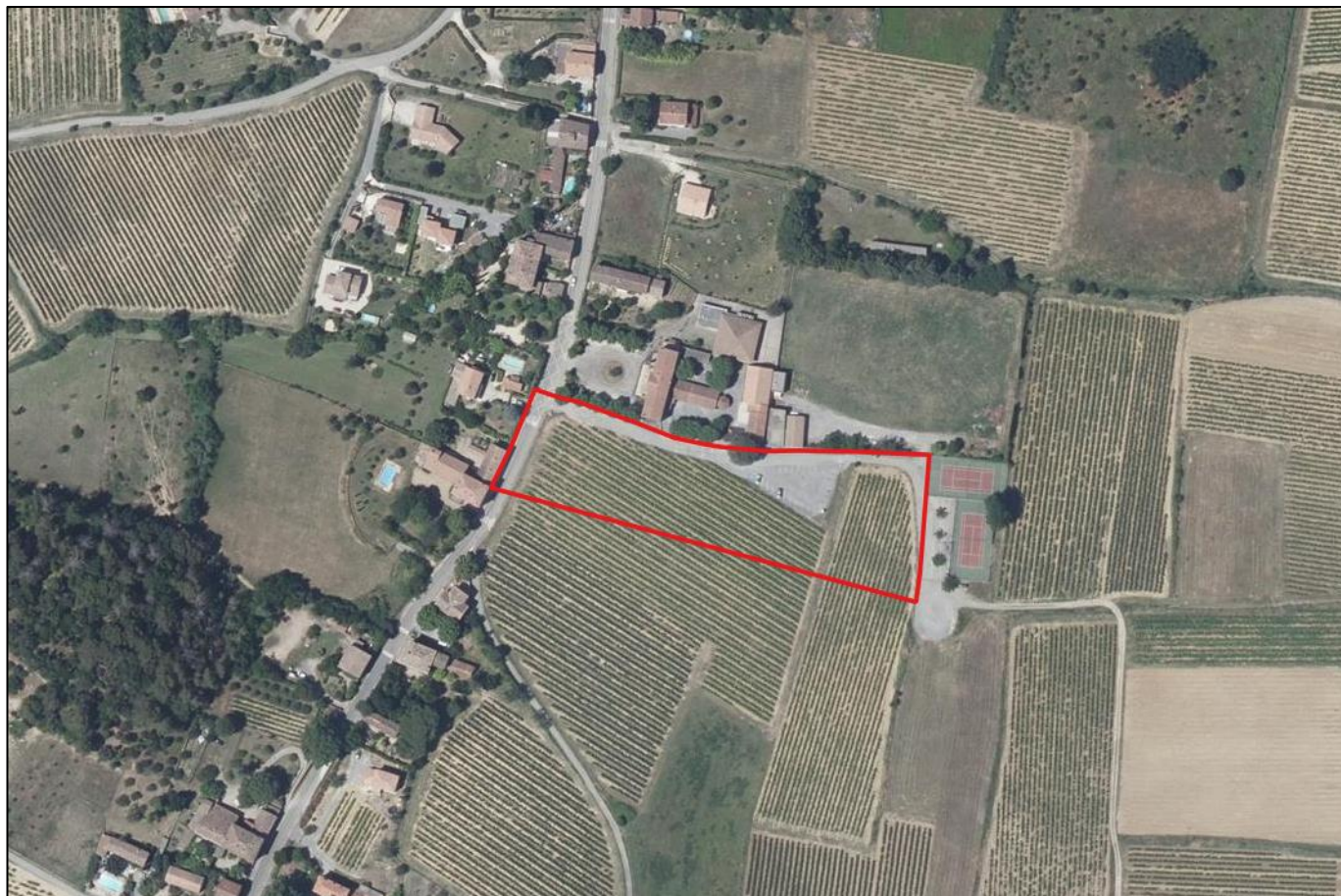


Illustration 2 : Occupation des sols

A.I.3. Topographie de la zone d'étude

Les données altimétriques proviennent du RGE Alti de l'IGN, publié en décembre 2022.

La topographie du bassin versant amont est accentuée de par la présence des bas des Cévennes. La zone d'étude est située en contrebas de ces reliefs. Au sein de la parcelle d'étude, l'altitude varie entre **de 137,5 m NGF et 140,5 m NGF** avec un point bas situé à l'Est de la parcelle.

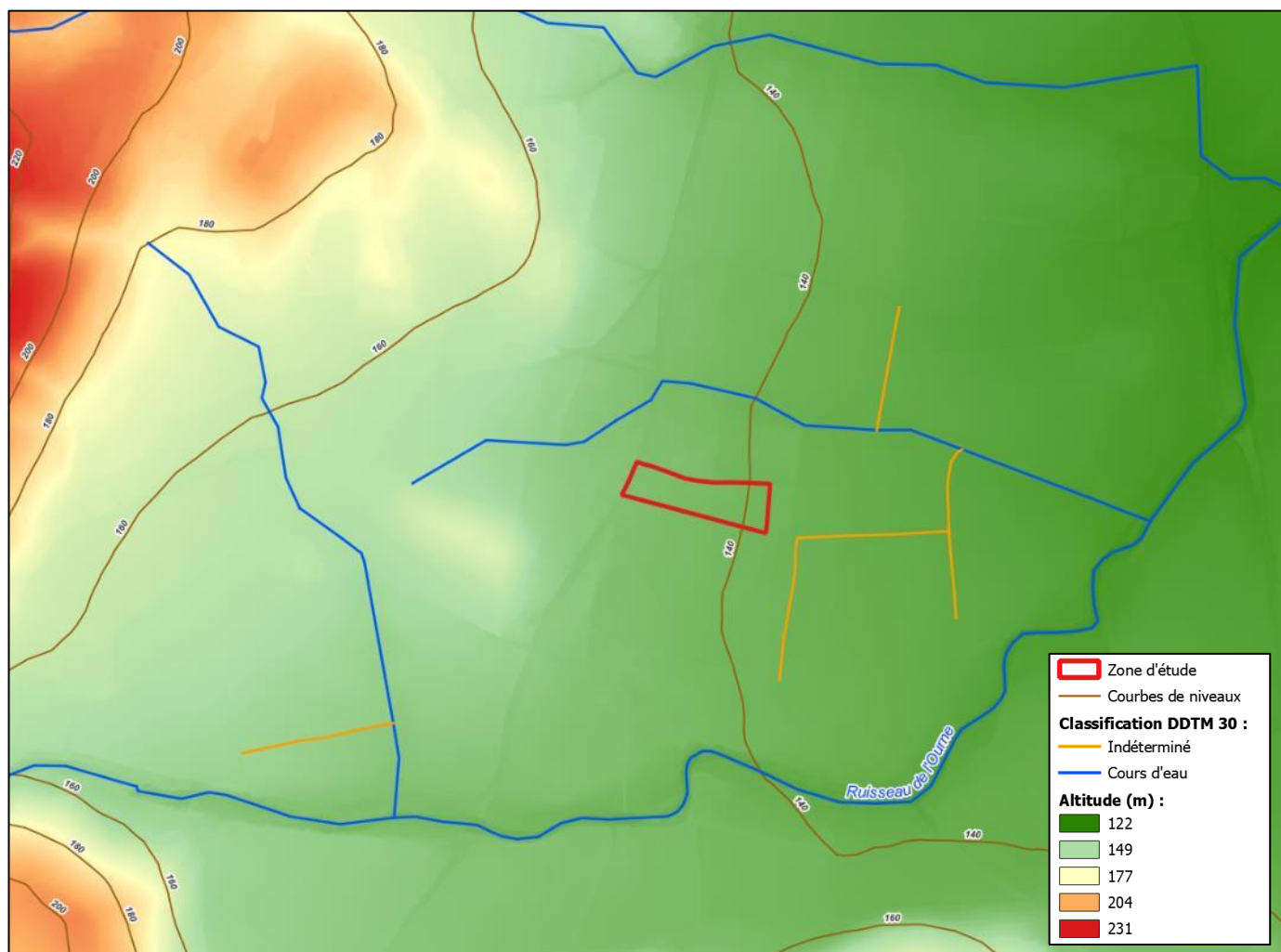


Illustration 3 : Topographie de la zone d'étude

A.II. CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE ET ZONES INONDABLES

A.II.1. Réseau hydrographique global

La zone d'étude est située proche d'un ruisseau défini comme cours d'eau par la DDTM 30. Celui-ci est situé au Nord de la parcelle d'étude à une distance de 100 mètres.

Au Sud du village borde le **ruisseau de l'Ourne**, situé à 300 m de l'étude. Ce cours d'eau est un affluent du Gard, et possède une longueur de 11 km. Le code masse d'eau de l'Ourne est : FRDR11487

Le bassin versant concerné est celui du Gardon d'Anduze. Le sens d'écoulement du ruisseau de l'Ourne se fait du Sud-Ouest vers le Nord-Est en direction du Gardon d'Anduze.

L'illustration 3 ci-dessous met en avant le réseau hydrographique du site. Elle a été établie à partir de la cartographie des cours d'eau de la DDTM du Gard qui identifie les cours d'eau au sens réglementaires.

Aucun cours d'eau et plan d'eau répertorié n'est présent sur la zone de l'étude.

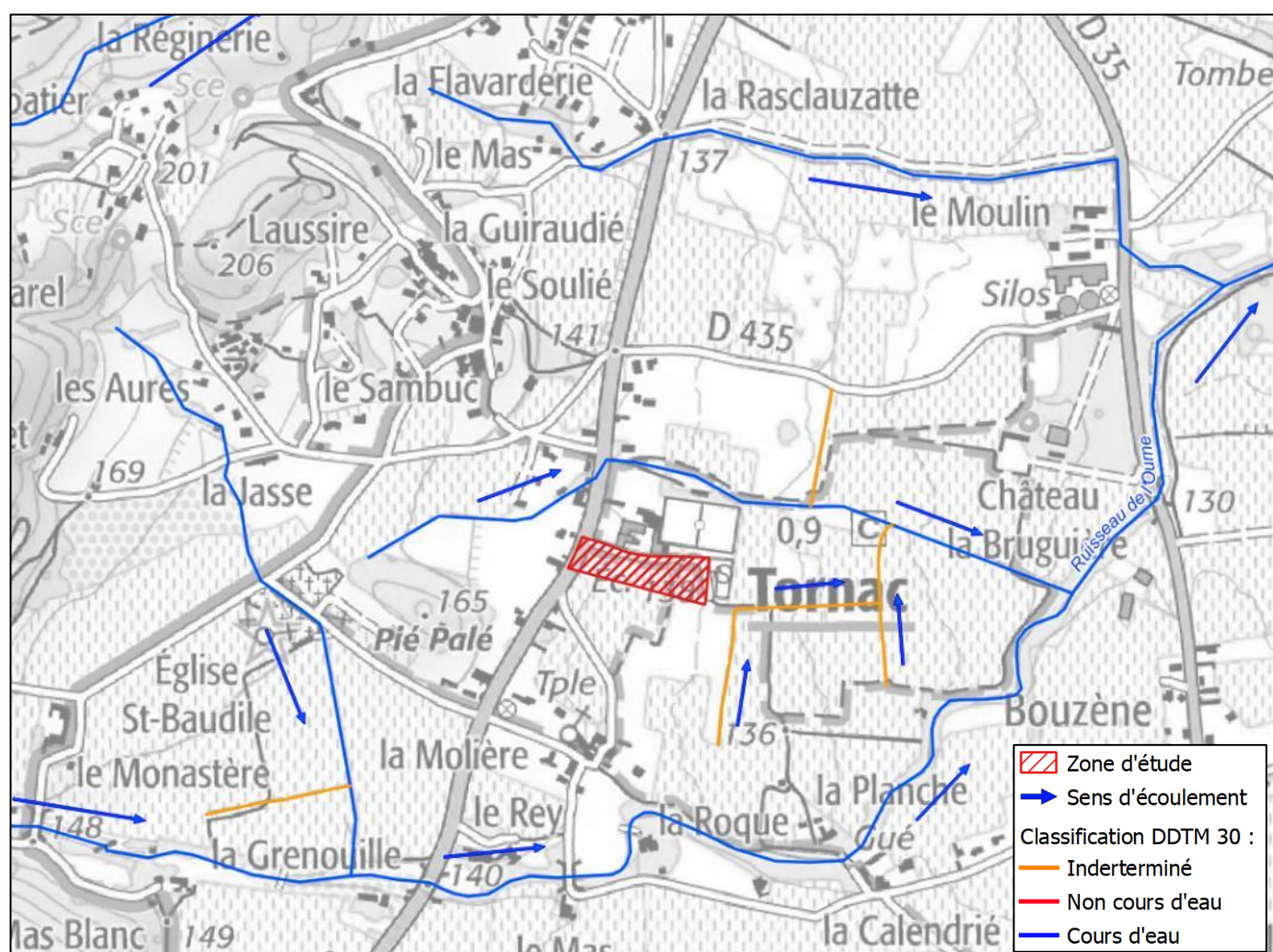


Illustration 4 : Réseau hydrographique global

A.II.2. Données EXZECO

L'EXtraction des Zones de concentration des ECOulements (EXZECO) est un outil développé par le CEREMA visant à donner une estimation préliminaire à grande échelle des risques d'inondation **par débordement et par ruissellement**.

Il s'agit d'une méthode uniquement basée sur la topographie du terrain : en chaque maille du MNT est calculée la superficie drainée et EXZECO en déduit les zones de concentration des écoulements **issus de ruissellement**. Cela permet de définir a priori les zones dans lesquelles se situent le réseau hydrographique naturel et son espace de mobilité ainsi que les endroits où les écoulements seront les plus concentrés.

En première approche, ces zones de concentration des écoulements peuvent être considérées comme des zones potentiellement inondables. La zone d'étude est située en zone inondable par ruissellement à **concentration très faible**.

Cependant, EXZECO ne peut pas fonder une cartographie précise (inférieure au 1/25000^{ème}). En effet, le MNT utilisé pour construire la donnée EXZECO porte l'information d'altitude sur des mailles de 25 m de côté. L'échelle de validité d'EXZECO a donc toute son importance dans le cas présent car l'emprise du projet est bien plus fine que la délimitation des zones de risque (figure ci-dessous).

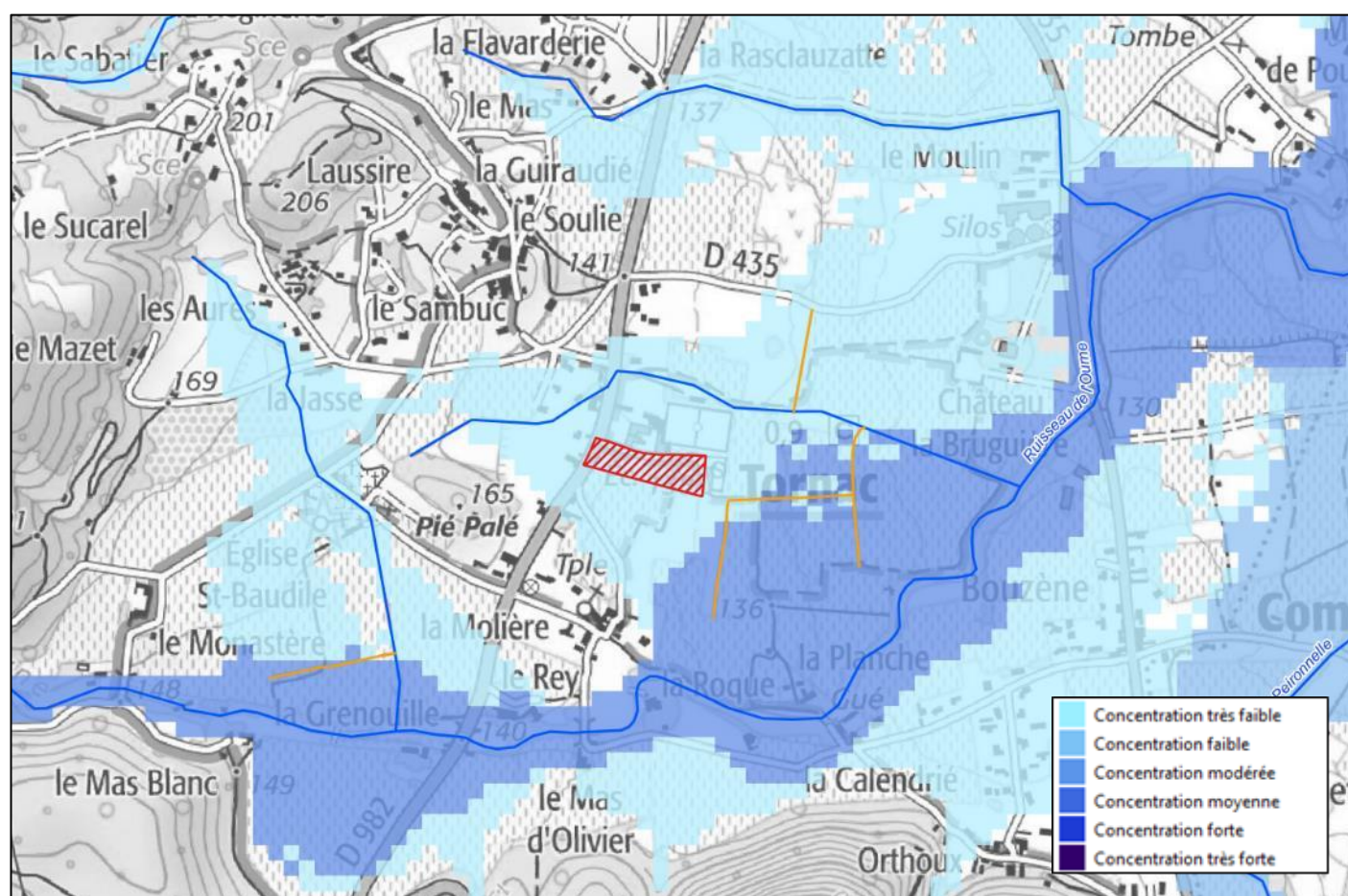


Illustration 5 : Analyse de la donnée EXZECO au droit de la zone d'étude

A.II.3. Plan de Prévention du Risque Inondation (PPRI)

Le Plan de Prévention du Risque Inondation (PPRI) de la commune de Tornac a été approuvé le 27 avril 1995. Il est actuellement en révision.

Comme le définit l'illustration ci-dessous, **aucune zone inondable par débordement de cours d'eau n'est recensée sur la zone d'étude.**

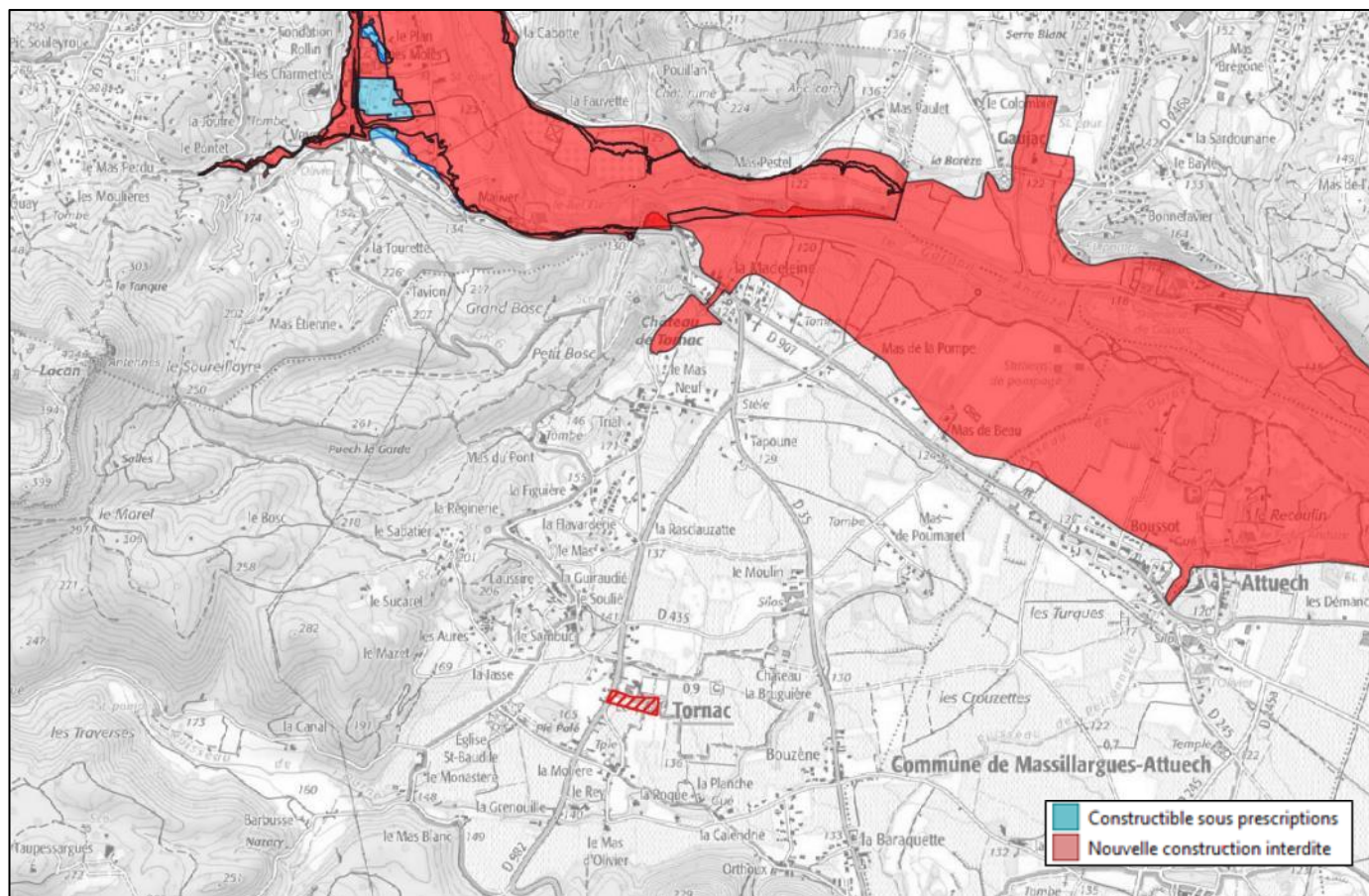


Illustration 6 : Analyse de la donnée du PPRI de la commune de Tornac

A.III. OBJECTIFS

De manière à s'assurer de la faisabilité des aménagements, une étude hydraulique est à réaliser le risque d'inondation par ruissellement pour déterminer la constructibilité des parcelles et des conditions associées.

Le but de cette étude est de réaliser une modélisation hydraulique fine permettant de caractériser le phénomène de ruissellements sur la parcelle d'étude.

En cas d'inondabilité de la parcelle, un exondement sera nécessaire.

B. ANALYSE DU RISQUE RUISSELLEMENT EN ETAT ACTUEL



B.I. ETUDE HYDROLOGIQUE

B.I.1. Définition des bassins versants

L'analyse des données topographiques a permis préalablement de définir le bassin versant global potentiellement intercepté par l'emprise du projet.

En fonction de l'emprise du modèle hydraulique développé ci-après et de l'opération, les bassins versants topographiques ont été subdivisés en 2 sous bassins versants d'apport à l'emprise du modèle hydraulique.

La délimitation de ces bassins a été élaborée à partir des données topographiques (LIDAR HD et RGE alti). Ces bassins versants sont les surfaces pour lesquelles les eaux précipitées peuvent être interceptées par la parcelle projet.

Du fait de la topographie du terrain, un écart altimétrique entre la rue Saint Hippolyte du Fort et le fossé principal qui traverse la voirie, permet de considérer ce fossé comme l'axe d'écoulement principal du BV2. Il définit perpendiculairement aux écoulements.

Comme le souligne l'illustration suivante et l'analyse topographique, les eaux provenant du BV2 sont interceptées par ce fossé, tout comme les eaux de la rive droite.

Concernant la route départementale D982 (rue Saint Hippolyte du Fort) au droit du projet, un mur de soutènement est défini en amont de la parcelle d'étude. La voirie est légèrement plus basse que la zone agricole.

Les sous-bassins versants définis sont présentés sur l'illustration suivante et leurs caractéristiques sont détaillées dans le tableau ci-dessous.

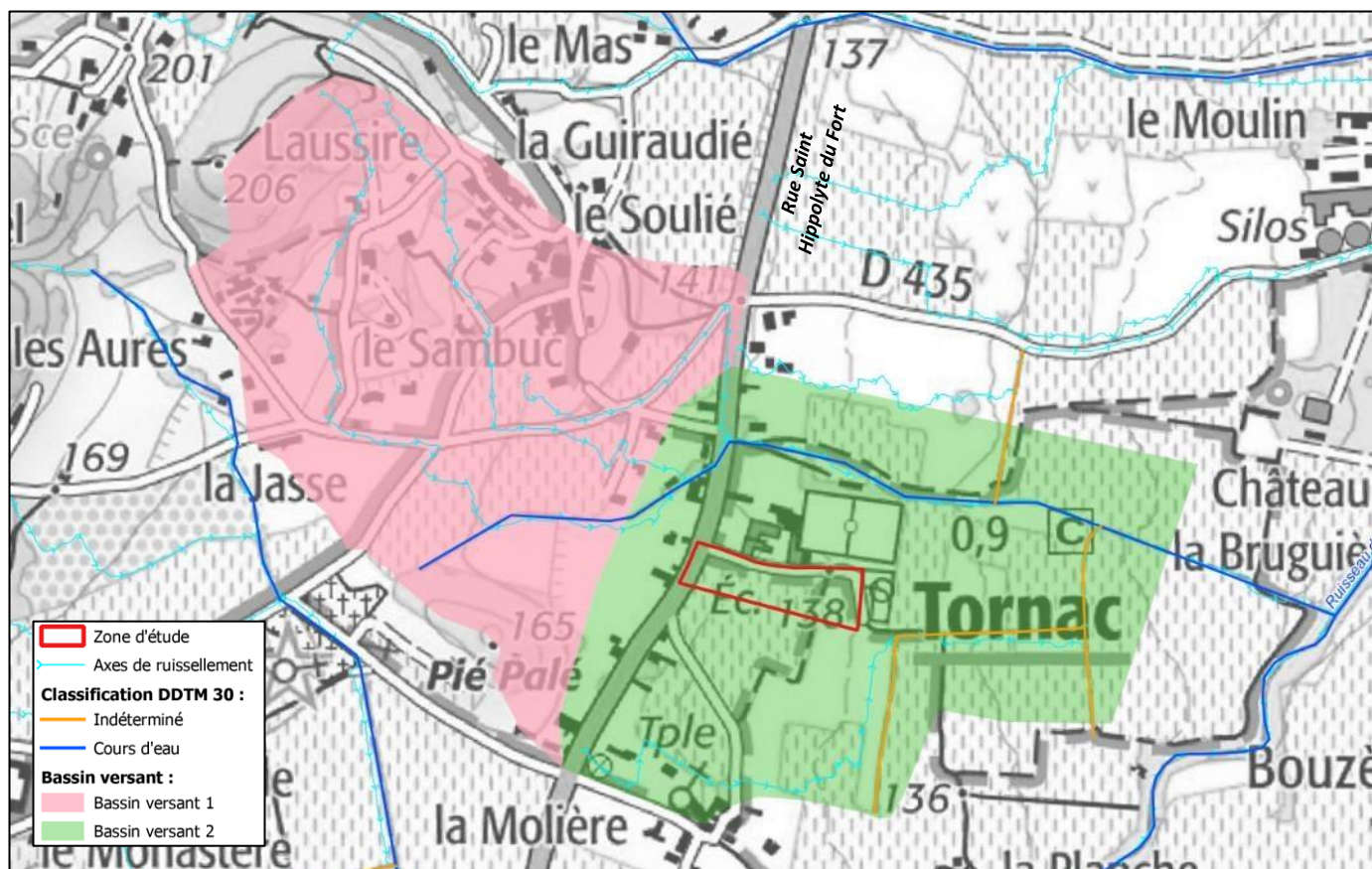


Illustration 7 : Délimitation des bassins versants interceptés par la parcelle d'étude

Identifiant du bassin versant	Surface (ha)	Longueur (m)	Dénivelé (m)	Pente moyenne
1	22.5	775	55	7.1 %
2	23.3	650	12	1.9 %

Tableau 1 : Caractéristiques physiques des bassins versants interceptés

B.I.2. Données d'entrée du modèle hydrologique

B.I.2.1. Coefficients de Montana

Les données pluviométriques utilisées dans le cadre de cette étude sont issues de la station de **Nîmes - Courbessac**, poste de référence dans le département du Gard, pour lequel la durée de chronique est plus importante et de données de meilleures qualités.

En effet, la station de Nîmes-Courbessac a commencé les relevés en 1921 au pas de temps quotidien ensuite en 1993 le pas de temps est horaire et depuis 2005, pas de temps est de 5 minutes. La station est du type 0 depuis sa création. De plus, la station de Nîmes-Courbessac est la station de référence du secteur. Le type 0 de la station assure des contrôles plus fréquents des instruments d'acquisitions pour une meilleure qualité de données.

Les intensités des précipitations, connues sur une longue période de 39 ans (1982-2021), sont reliées à leur durée par la formule suivante :

$$I(mm/h) = a * t(h)^{-b}$$

Où **a** et **b** sont les coefficients de Montana précisés dans le tableau ci-dessous.

Nîmes - Courbessac	6' - 2h		2h - 6h		6h - 24h	
1982 - 2021	a	b	a	b	a	b
5 ans	49.5	0.453	52.8	0.705	65.2	0.823
10 ans	59.8	0.426	64.6	0.679	84.1	0.833
20 ans	70.1	0.397	76.3	0.644	106.8	0.841
30 ans	76.3	0.382	83.4	0.620	122.4	0.845
50 ans	84.3	0.361	92.2	0.588	144.1	0.851
100 ans	95.8	0.330	104.4	0.541	180.0	0.857

Tableau 2 : Coefficient de Montana de la station de Nîmes-Courbessac (1982 - 2021)

B.I.2.2. Coefficient de ruissellement

Pour un bassin versant, le coefficient de ruissellement correspond au rapport entre le volume de pluie tombé et le volume effectivement ruisselé.

Le calcul des coefficients de ruissellement permet donc d'évaluer la proportion des précipitations qui participent au ruissellement sur le bassin versant. Ces calculs tiennent compte des pertes initiales dues au remplissage des dépressions du sol et à la rétention par la végétation ainsi que des pertes continues liées à l'infiltration de l'eau dans le sol pour les surfaces perméables.

Ce coefficient est fortement influencé par l'occupation et la nature du sol du bassin versant. La valeur des coefficients croît avec l'intensité de la précipitation (phénomène de saturation des sols dû à leur limite de capacité d'infiltration).

Pour les calculs nous retiendrons les hypothèses suivantes :

- Pour les surfaces imperméabilisées, le coefficient de ruissellement est égal à 1 quelle que soit l'occurrence de pluie.
- Pour les surfaces non imperméabilisées, les coefficients de ruissellement utilisés pour les différentes occurrences de pluies présentés dans le tableau ci-dessous.

Dans notre cas, la méthode indiquée par la DDTM du Gard a été utilisée.

Occupation des sols	T= 5 ans	T= 10 ans	T= 30 ans	T= 100 ans
Surfaces perméables (naturelles, espaces verts, matériaux perméables)	0.15	0.25	0.4	0.68
Voiries, bâtiments	1			

Tableau 3 : Coefficients de ruissellement unitaire par type d'occupation des sols.

Les coefficients de ruissellement pour les différentes occurrences de pluie sont les suivants :

Coefficient de ruissellement	T= 5 ans	T= 10 ans	T= 20 ans	T= 30 ans	T= 50 ans	T= 100 ans
BV 1	0.57	0.62	0.66	0.67	0.70	0.72
BV 2	0.50	0.56	0.61	0.63	0.66	0.69

Tableau 4 : Coefficients de ruissellement des bassins versants interceptés

B.I.2.3. Temps de concentration

Le temps de concentration correspond au temps nécessaire pour permettre à l'eau de parcourir le plus long chemin hydraulique sur le bassin avant d'atteindre l'exutoire (il est généralement supposé que les écoulements se propagent en surface).

Différents auteurs ont présenté des formules pour calculer le temps de concentration des bassins versants en fonction de leurs caractéristiques (superficie, chemin hydraulique, pente, occupation du sol, intensité de pluie...).

De nombreuses méthodes de calcul sont possibles, chacune généralement adaptée à certaines caractéristiques du bassin versant (notamment la superficie). Les résultats des temps de concentration sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Temps de concentration (min)	Kirpich	Richards	FBG	SCS lag	Gard	Expert	Turazza	USBR
BV 1	9	9-20	14	30	14	14	8	9
BV 2	13	14-34	24	51	24	12	8	13

Tableau 5 : Temps de concentration des bassins versants d'apport pour différentes méthodes d'estimations

La méthode de Richard n'est pas adaptée pour des bassins versants supérieurs à 20 ha. De même, la méthode de Turazza est adaptée aux petits bassins versants ruraux et semi-ruraux, elle n'est pas adaptée à notre étude.

Les bassins versants ont des superficies supérieures à 20 ha. Les méthodes les plus adaptées (domaine de validité) sont les méthodes FBG, SCS Lag, des Experts, et du Gard.

Par ces méthodes, les bassins versants conduisent à des estimations de temps de concentration de l'ordre de 14 à 30 minutes pour le bassin versant 1 et de l'ordre de 12 à 51 minutes pour le bassin versant 2.

Afin de rester dans le domaine de validité des coefficients de Montana et de prendre des hypothèses sécuritaires maximisant le débit de pointe, les temps de concentration du bassin versant 1 est de 14 minutes et le bassin versant 2 de 12 minutes.

Sous bassin versant	Temps de concentration (min) $T < 100$	Temps de concentration (min) $T \geq 100$
BV 1	14	14
BV 2	24	12

Tableau 6 : Temps de concentration des bassins versants interceptés

B.I.2.4. Débits de pointe

Les débits de pointe sont déterminés à partir de la **méthode rationnelle** rappelée ci-dessous. Sur des bassins versants de taille comparable, cette méthode est la seule permettant une évaluation des débits de pointe :

$$Q = \frac{C \times I \times A}{360}$$

Avec

- Q = débit de pointe (m³/s)
- C = coefficient de ruissellement (%)
- I = intensité de pluie (mm/h) sur le temps de concentration t_c
- A = surface du bassin (ha)

Les résultats pour les différentes occurrences sont indiqués dans le tableau suivant.

Bassin versant	Débits de pointe (m³/s)					
	T= 5 ans	T= 10 ans	T= 20 ans	T= 30 ans	T= 50 ans	T= 100 ans
BV 1	4.01	5.04	6.03	6.39	7.28	7.97
BV 2	2.85	3.75	4.66	5.06	5.85	8.36

Tableau 7 : Débits de pointe des bassins versants interceptés

B.I.3. HyétoGramme de pluie

B.I.3.1. Pluie de projet

Une pluie de projet est une pluie de synthèse fictive, établie à partir des éléments statistiques observés sur les pluies locales (courbes Intensité-Durée-Fréquence ou coefficients de Montana).

La méthode utilisée est la **pluie de Keifer** ; elle est constituée d'éléments (hauteur précipitée sur une durée donnée) qui ont tous la même période de retour T . Ainsi, en appliquant cette pluie de projet sur un bassin versant, on s'assure d'obtenir le débit de période de retour T en tout point de calcul.

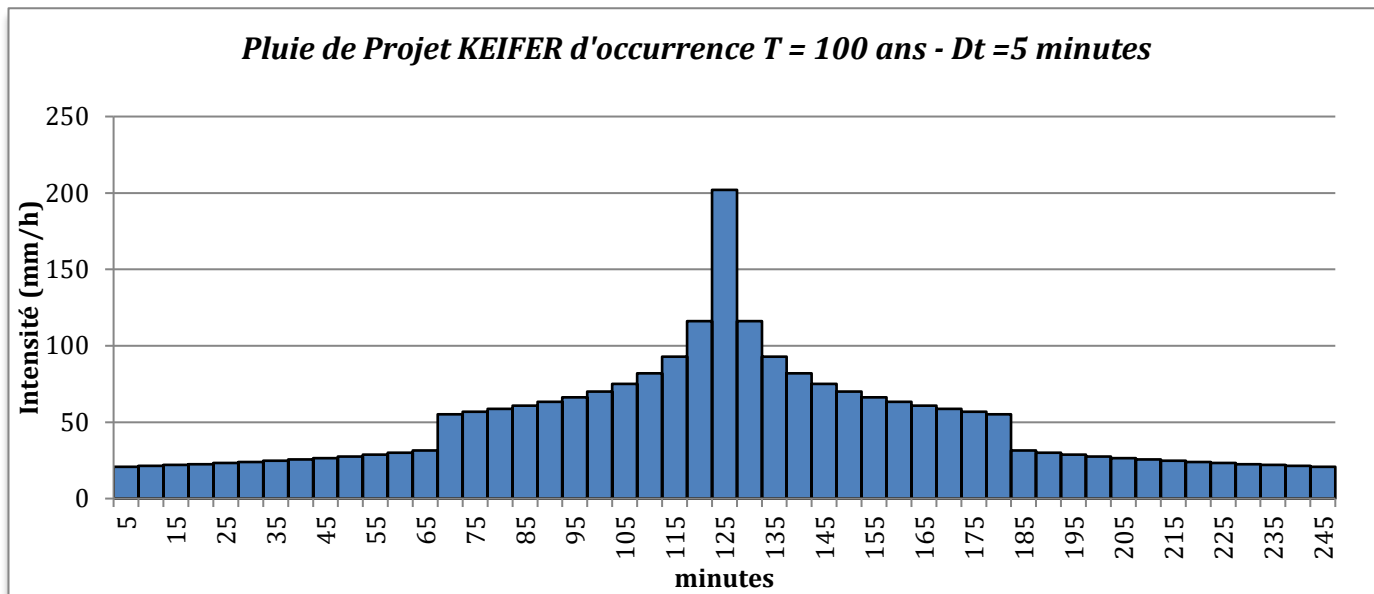


Illustration 8 : Exemple de pluie de Kieffer

Lors de l'élaboration d'une pluie de synthèse se pose la question de la durée de la pluie. Pour les pluies de Keiffer, la méthodologie préconise de prendre une durée supérieure ou égale à deux fois le temps de concentration du bassin versant à modéliser.

Dans notre cas, il a été vu que le temps de concentration maximal des bassins versants périphériques est de **24 min pour une pluie de période de retour supérieure ou égale à 100 ans**.

Pour qu'un bassin versant réponde de façon nominale à la pluie de Keiffer, il faut que l'ensemble des ruissellements du bassin versant aient le temps de converger jusqu'à cet exutoire au moment de ce maximum et donc il est nécessaire que $t_0 > T_c$, soit $D/2 > T_c$ et donc $D > 2 \times T_c$. **Il a donc été décidé de fixer la durée des pluies de projet à 2 heures.**

Cette pluie de projet permet d'obtenir une réponse maximale quel que soit la différence de temps de concentration des bassins versants. Ici, la pluie fait réagir les bassins versants, de temps de concentration de 16 minutes, de sorte que le débit de pointe à l'exutoire soit d'occurrence centennale.

Cette méthode a également l'avantage de maximiser le volume ruisselé ce qui va dans le sens d'une maximisation de l'hydrologie.

B.I.3.2. Pluie de septembre 2002

La pluie du 8 et 9 septembre 2002 est une pluie de référence exploitées dans le PPRI qui a permis de caler le modèle hydraulique pluie-débit.

Dans notre étude, nous analyserons la pluie de septembre 2002 et la compare avec la pluie centennale.

Le hyétoGramme de la pluie de septembre 2002 sur la parcelle d'étude a été obtenu à partir d'une moyenne pondérée selon la surface du projet et les données d'intensité mesurées par radar.

B.I.3.3. Analyse des données pluviométriques statistiques

Une analyse statistique des pluies de projet et de la pluie réelle du 08 septembre 2002 a été fait afin de définir quelle sera la pluie de référence sur cette étude. **La pluie la plus importante au droit du projet sera celle intégrée au modèle.**

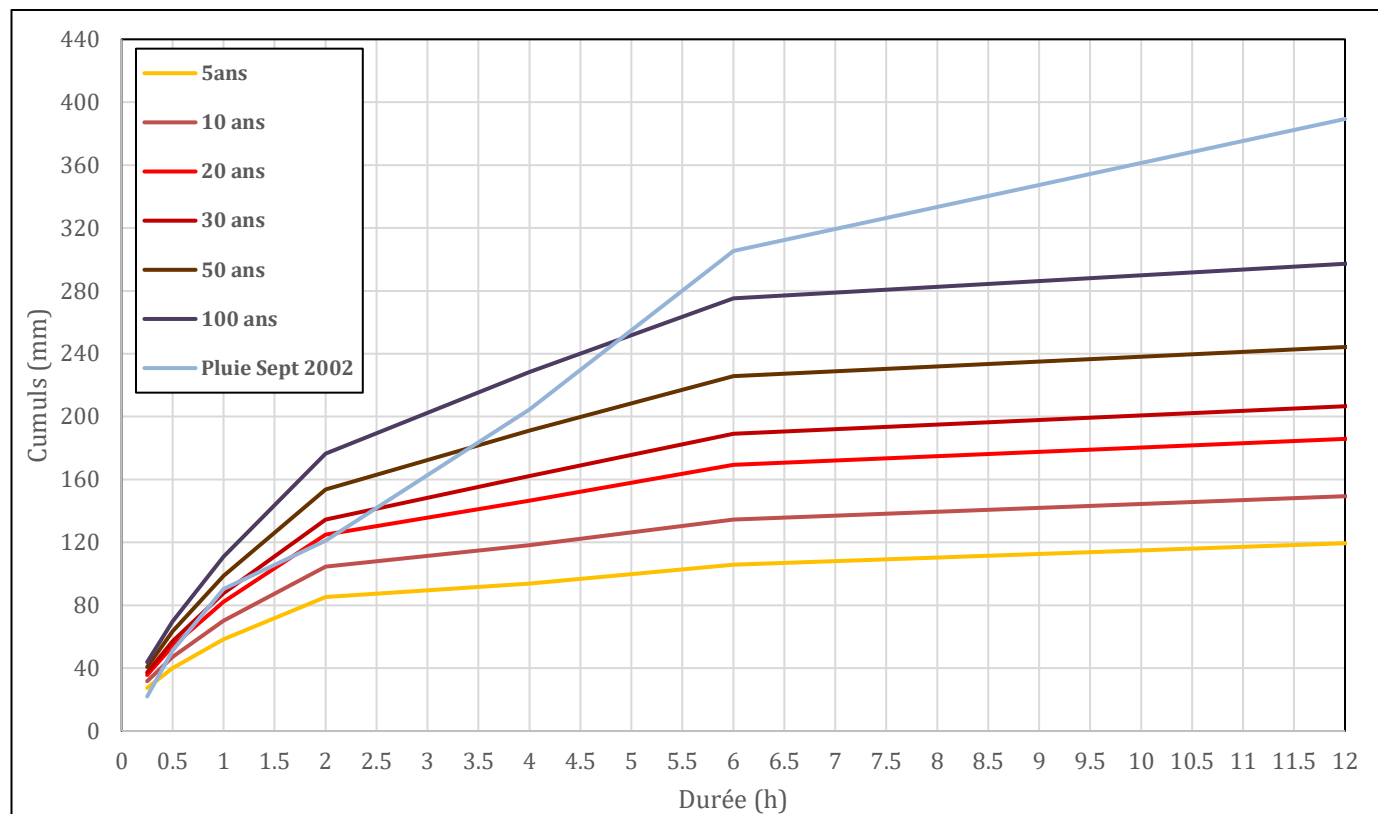


Illustration 9 : Comparaison de l'épisode pluvieux de septembre 2002 avec les pluies statistiques

Sur la base des données radar et en comparant les cumuls avec les données statistiques au droit de la station de Nîmes-Courbessac (coefficient de Montana), il apparaît que l'évènement de 2002 a une occurrence inférieure à 100 ans pour la durée de pluie inférieure à 5h environ.

Or, notre temps de concentration de bassin versant est de 24 minutes. Le temps de réaction de cette pluie sur la parcelle d'étude est donc inférieur à 5 heures. La pluie la plus impactante au droit du projet est la pluie centennale pour ces durées.

Ainsi, la pluie de référence considéré sera la pluie de projet de période de retour 100 ans (pluie centennale).

B.I.4. Modélisation hydrologique Pluie-débit

Sur le bassin versant 2, le hyétogramme de la pluie centennale est imposé. En amont, pour le bassin versant 1 des débits seront injectés aux frontières du modèle hydraulique pour représenter les ruissellements de l'événement à l'amont. Pour se faire, l'hydrogramme de crue pour le bassin versant 1 doit être généré.

Le modèle de transformation pluie-débit HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center, Hydrological Modeling System) a été mis en œuvre. Il s'agit d'un code assurant :

- Le calcul de la **fonction de production** pour estimer la fraction de la pluie brute qui ruisselle au cours du temps (prends en compte l'effet de saturation des sols au cours du temps) ;
- La détermination de la **fonction de transfert** qui transforme la pluie nette en hydrogramme de crue à l'exutoire du bassin versant (au droit des points d'injections du modèle hydraulique).

Dans le cadre de l'étude, la méthode du Soil Conservation Service (SCS) a été utilisée. Elle est adaptée aux bassins versants à dominante rurale. L'utilisation de ce modèle de calcul fait intervenir deux paramètres :

- Le **Curve Number** (noté CN) utilisé dans la fonction de production qui tient compte de l'occupation des sols et des conditions initiales de saturation des sols. Des abaques associés à la méthode de calcul permettent de déterminer les gammes de valeurs correspondantes pour chaque sous-bassin versant. Plus le Curve Number est élevé, plus le ruissellement est important. Dans notre étude, les CN du bassin versant 1 a été défini à partir des données OCS GE, des données Bâties et Routes de l'IGN et de données bibliographies définis en annexes. Une moyenne pondérée à la surface de chaque type de sol a été appliqué. Cette méthode prend en compte le type de sol et son occupation.
- Le **Lag-Time** correspondant au temps de réponse du bassin versant. ce paramètre correspond à la différence temporelle des centres de gravité entre celui de l'hydrogramme de sortie et celui de l'hydrogramme du débit de pluie nette.

L'utilisation du modèle nécessite la connaissance de la pluie sous forme d'hyétogrammes représentant la variation dans le temps des intensités pluviométriques. Il s'agit de pluie de projet qui sont construites à partir de paramètres statistiques élaborés sur la pluviométrie réelle.

Les paramètres (Curve Number et Lag-Time) sont ajustés pour obtenir des hydrogrammes dont le débit de pointe correspond aux débits obtenus précédemment avec la méthode rationnelle et le temps de concentration correspond est celui également obtenu précédemment avec la méthode du Gard.

Ainsi, les hydrogrammes de crue du bassin versant amont n°1 est défini est obtenu et présenté ci-dessous.

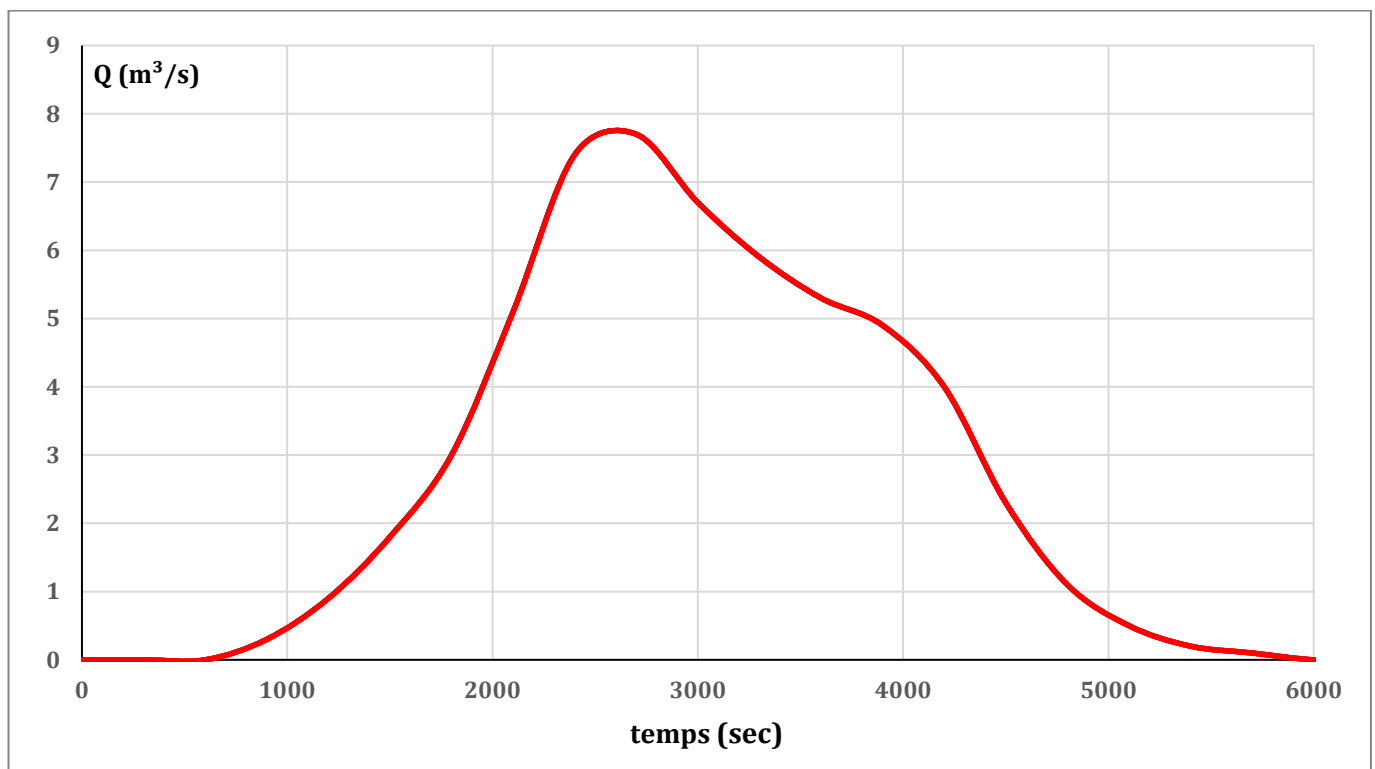


Illustration 10 : Hydrogramme de crue de la pluie d'occurrence centennale pour le bassin versant 1

B.I.5. Calage

Le calage du modèle hydraulique consiste à reproduire pour un épisode pluvieux donné, un fonctionnement hydraulique similaire aux observations de terrains sur le secteur d'étude.

Dans le cadre d'une modélisation hydraulique en 2D, les paramètres de calage sont le coefficient de Strickler, qui caractérise la rugosité du sol, ainsi que le coefficient d'infiltration, qui caractérise la capacité des sols à infiltrer les précipitations.

Au niveau de la commune et de la zone d'étude, aucun repère de crue n'est relevé.

Dans le cadre du projet, nous avons contacté tout d'abord la commune de Tornac.

D'après la commune, aucune donnée n'est recensée ou disponible dans le secteur d'étude (enquête, valeurs de plus hautes eaux, désordres ...).

De même, nous avons pu échanger avec le syndicat EPTB des Gardons (SMAGE des Gardons) mais aucun témoignage n'est disponible sur ce secteur.

Aucun calage de modèle n'a pu être effectué car aucune donnée n'est disponible sur le secteur d'étude du projet.

B.II. MODELISATION HYDRAULIQUE

B.II.1. Construction du modèle hydraulique

B.II.1.1. Choix du type de modélisation

L'emprise de la zone modélisée présente de multiples axes d'écoulements en raison de son réseau hydrographique varié. L'utilisation d'un modèle hydraulique bidimensionnel capable de résoudre l'ensemble des équations 2D du système de Barré-de-Saint-Venant s'est avérée nécessaire.

Le code de calcul utilisé par CEREH est SW2D (Shallow Water 2D), développé par le laboratoire HYDROSCIENCES de Montpellier. Il repose sur la discrétisation de la zone d'étude en petites mailles basées sur les données topographiques disponibles.

Le modèle hydraulique mis en œuvre intègre l'ensemble des ouvrages de franchissement recensés ainsi que tous les éléments topographiques susceptibles de générer un obstacle au libre écoulement des crues (talus, remblais, ...) ainsi que les bâtiments.

B.II.1.2. Données topographiques

La géométrie des modèles est basée sur les données du RGE Alti diffusé par l'IGN en décembre 2022. Cette donnée possède une précision de 20 cm EMQ avec 1 point par mètre carré.

A noter que les données LIDAR HD ont été comparées aux données du RGE Alti 2022. Cereh participe à un groupe de travail avec l'IGN sur le traitement et l'utilisation des données du LIDAR HD. La donnée LIDAR HD brute utilisée pour cette étude a été classée et traitée selon une méthodologie développée par Cereh et calée avec l'IGN.

La méthodologie est la suivante :

- A l'aide d'un package lidR sous R, la donnée brute du LIDAR HD est reclassifiée avec un algorithme ;
- La donnée reclassifiée est ensuite traitée pour créer un MNT en prenant en compte uniquement la donnée classée comme « ground », qui représente l'altimétrie du TN.

Ces deux sources sont fiables et récentes. Elles possèdent une précision similaire pour la modélisation 2D. Après analyse des données, **les données RGE alti et du LIDAR sont similaires** sur la zone modélisée.

Ainsi, dans le modèle hydraulique, la source du RGE alti a été considérée.

Concernant les ouvrages hydrauliques, ceux-ci sont intégrés dans le modèle à partir d'un script répertoriant les paramètres de l'ouvrage, ses données GPS et son altimétrie.

Les données GPS sont celles définies au centre de maille de la tête de buse amont et aval de l'ouvrage.

B.II.1.3. Construction du modèle hydraulique 2D

B.II.1.3.1. Maillage de la zone d'étude

Le modèle mathématique utilisé s'appuie sur un maillage de l'espace élaboré à partir des données topographiques et complété localement par des observations de terrain. Il permet de prendre en compte les éléments structurants principaux du secteur : les ouvrages linéaires en remblais, les talus, les fossés, ainsi que les ouvrages de franchissement nécessaires à la bonne description du fonctionnement hydrodynamique de la zone d'étude.

Le maillage s'appuie donc sur l'utilisation de lignes de structure, c'est-à-dire des lignes topographiques utilisées obligatoirement dans le maillage : cas des fossés, digues, et des remblais en lit majeurs (route, ...). Les lignes de structure sont ainsi des lignes de forçage du maillage afin que la donnée topographique souhaitée (dans le cas de remblai ou de fossé) soit utilisée dans le maillage.

Les bâtiments sont également intégrés dans le maillage et peuvent être assimilés à des blocs imperméables. Dans ce cas, ils constituent des obstacles infranchissables aux écoulements.

Afin de prendre en compte les divergences d'écoulement liées aux habitations, Cereg fait le choix de représenter l'ensemble des bâtis dans ces modèles. Dans le but de ne pas sous-estimer le ruissellement lié aux contributions des bâtiments (ruissellement sur toiture), **la pluie est réhaussé de manière homogène en reportant les hauteurs de précipitations tombées sur les bâtiments vers la zone maillée de la zone d'étude** (ratio pris égal à la surface de bâti sur la surface du modèle).



Illustration 11 : Définition des lignes structurantes du modèle hydraulique 2D

À partir de ces lignes de structures, un maillage intégrant la composante topographique a été réalisé sur l'ensemble du secteur d'étude.

Le maillage couvre une superficie de 23,3 ha défini par 41 500 mailles au droit desquels sont effectuées en chaque pas de temps, un calcul de hauteur et de vitesse. L'illustration suivante présente le maillage réalisé pour les besoins de l'étude.

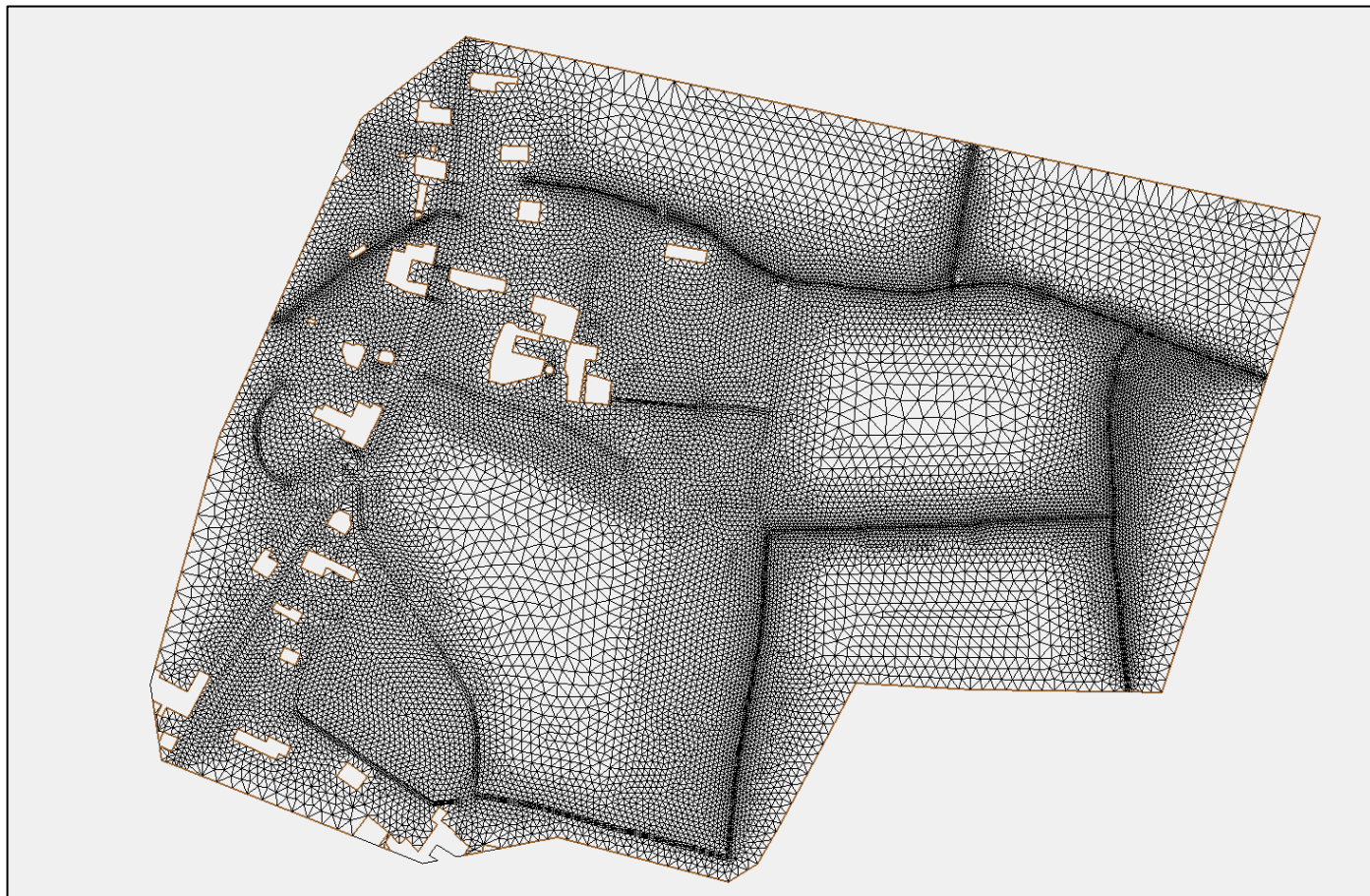


Illustration 12 : Vue en plan du maillage du modèle hydraulique

B.II.1.3.2. Conditions aux limites

L'emprise du modèle hydraulique 2D considéré constitue l'intégralité du bassin versant 2. Le bassin versant 1 est intercepté par l'emprise du modèle.

Sur l'intégralité de l'emprise du modèle, la pluie de référence est précipitée. Une intensité d'eau définie est injectée sur chacune des mailles du modèle et cela à tous les pas de temps (5 minutes).

En amont du modèle, l'hydrogramme de crue du bassin 1 sera injecté. Cette frontière est localisée au niveau de l'axe de ruissellement principal défini en amont par l'étude topographique. Il a été choisi de reprendre directement ce fossé en aval en considérant une injection diffuse sur le tronçon en limite de modélisation. Cette injection diffuse permet de statuer et répartir les eaux sur le BV1.

Sur l'intégralité des frontières du modèle, une condition d'écoulement libre a été retenue : il s'agit d'un coefficient d'écoulement défini tel que la pente de la ligne d'eau soit parallèle à la pente du terrain naturel.

Les polygones définissant les bâtiments ne sont pas maillés et ceux aux frontières sont définis comme frontières imperméables.

L'ensemble des calculs a été réalisé en régime transitoire c'est-à-dire en prenant en compte une variation du débit au cours du temps via un hydrogramme. Le régime transitoire permet de mettre en évidence les phénomènes de stockage dans le champ d'inondation et de laminage de la pointe de crue. De plus, et par définition, le facteur « durée de submersion » peut être introduit dans l'analyse de l'aléa inondation en tant que critère de caractérisation du risque.

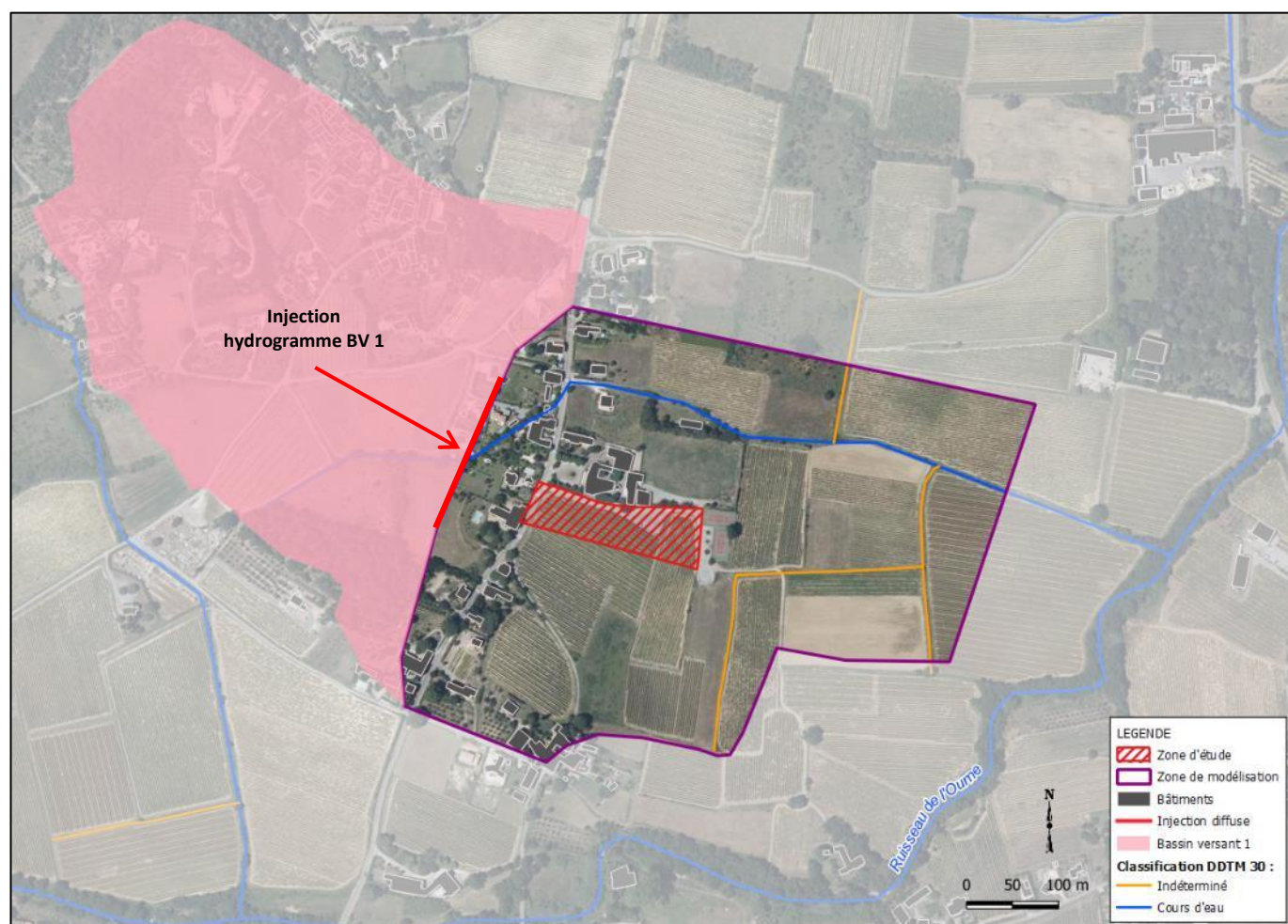


Illustration 13 : Définition du modèle hydraulique 2D

B.II.2. Exploitation des résultats - Crue d'occurrence centennale

L'ensemble des cartographies sont présentes en annexes de ce rapport.

B.II.2.1. Hauteurs d'eau

Les résultats suivants définissent les hauteurs d'eau maximales obtenues pour la simulation avec la pluie d'occurrence centennale :

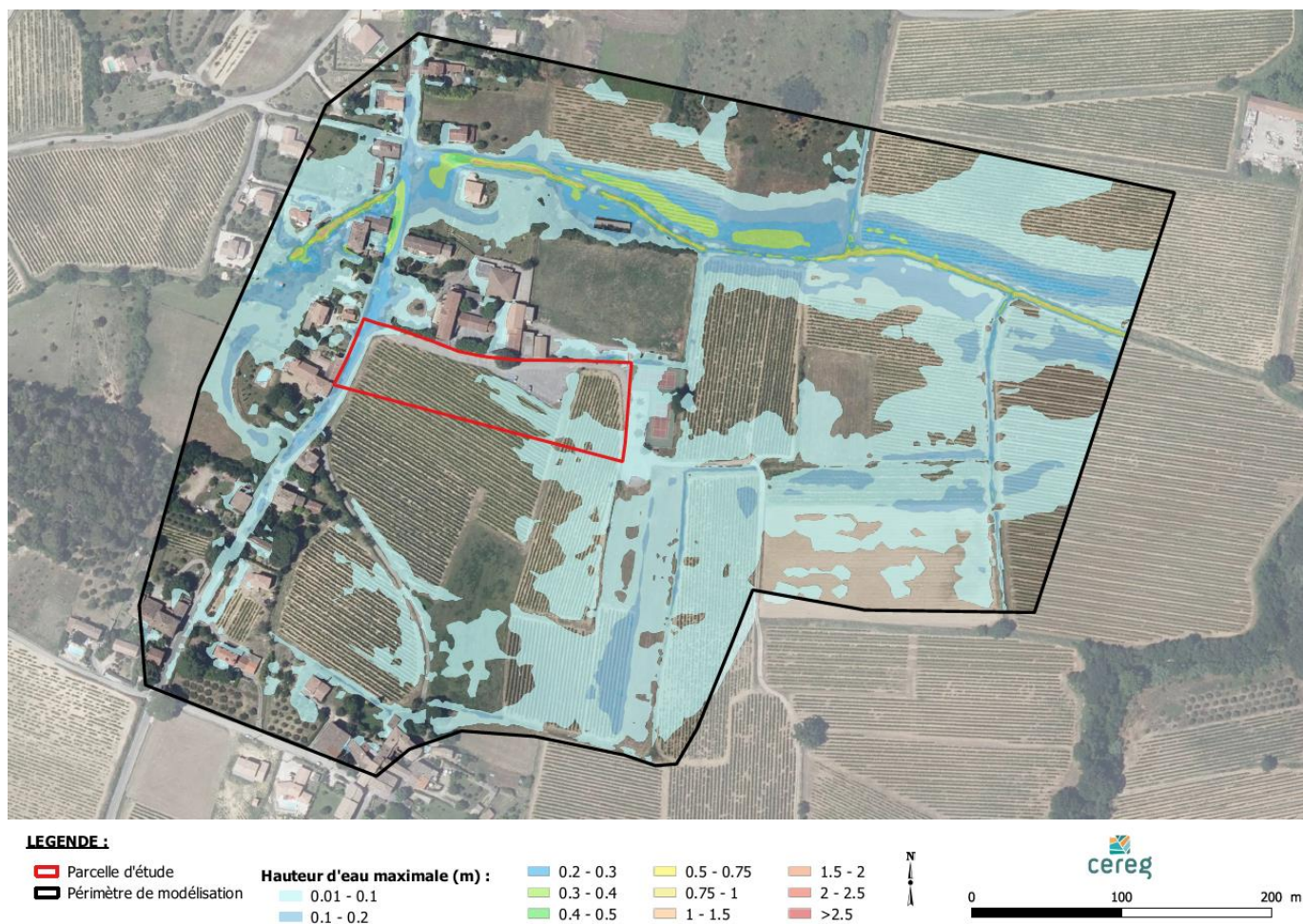


Illustration 14 : Cartographie des hauteurs d'eau en situation actuelle pour une pluie centennale

La zone d'étude est impactée par la pluie centennale. Des zones de ruissellement sont présentes sur la parcelle d'étude.

Les hauteurs d'eau maximales obtenues sur la parcelle d'étude atteignent 10 cm.

Ces eaux proviennent des zones de stagnation en aval des parcelles d'étude et de l'impluvium propre de la parcelle. Aucun ruissellement ne provient de débordement du cours d'eau Nord.

Concernant la route départementale à l'Ouest de la parcelle d'étude, elle concentre et stocke les eaux du bassin versant amont. Les hauteurs d'eau maximales atteignent 30 cm **mais cela ne ruisselle pas sur la zone d'étude.**

De hauts niveaux d'eau se présentent autour du cours d'eau Nord et dépassent les 50 cm.

La parcelle projet est inondée par les ruissellements pour un évènement pluvieux de retour période égale à 100 ans.

B.II.2.2. Vitesse d'écoulement

Les vitesses maximales modélisées pour une pluie de projet de période de retour 100 ans sont définies sur la cartographie suivante :

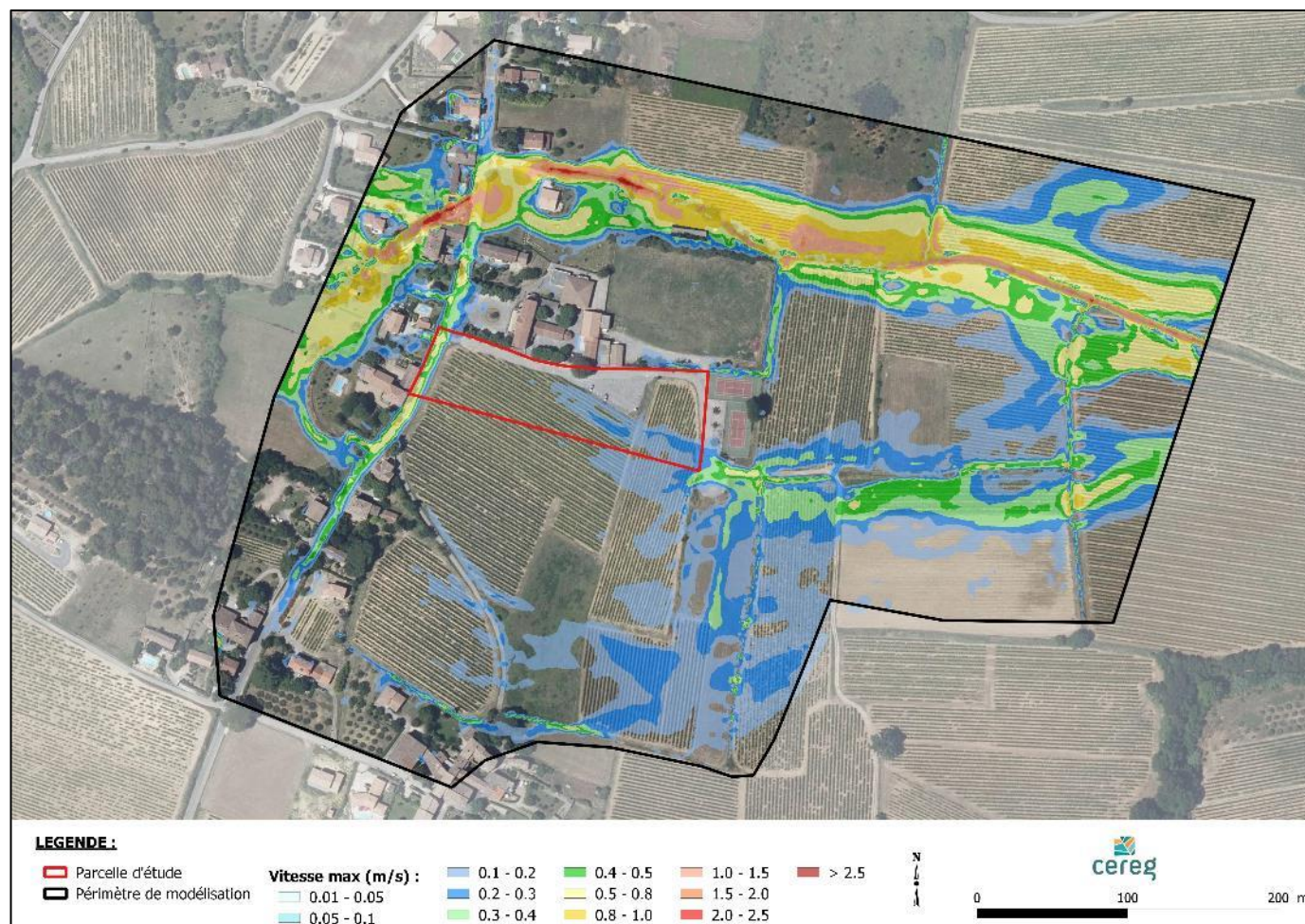


Illustration 15 : Cartographie des vitesses d'écoulement en situation actuelle pour une pluie centennale

Les vitesses de ruissellement sont importantes au niveau du cours d'eau Nord. Elles atteignent les 2 m/s. Le risque de ces fortes vitesses est l'érosion et l'incision des sols.

Les ruissellements définis sur la parcelle d'étude possèdent une vitesse d'écoulement de 0,3 m/s environ.

A partir de profils en travers définis sur la parcelle d'étude et la zone en eau, les débits mesurés atteignent les 0,7 m³/s.

B.II.2.3. Comparaison avec les données EXZECO

Sur l'ensemble des scénarios l'emprise de la zone inondable est plus faible que celle décrite par EXZECO. EXZECO ne prend pas en compte les ouvrages hydrauliques ou encore les réseaux aériens ou enterrés. C'est pourquoi, sur la cartographie d'EXZECO la zone impactée par les ruissellements est beaucoup plus importante.

De surcroît, la cartographie EXZECO est réalisée sur la base d'un MNT 5m alors que le modèle hydraulique 2D possède de mailles plus fine (0.25 m² au minimum) pour décrire la topographie ; ce qui rend le modèle hydraulique plus précis pour déterminer l'emprise de la zone inondable.

B.III. CONCLUSION

Le risque d'inondation par ruissellement identifié par la donnée EXZECO au droit du projet traduit une réalité confirmée par la modélisation hydraulique 2D.

Toutefois, l'emprise inondable définie par EXZECO est beaucoup plus importante que celle définie par la modélisation hydraulique 2D. Cela s'explique par l'utilisation, dans le modèle hydraulique 2D, de données topographiques plus fines.

La modélisation hydraulique 2D affiche une zone inondable par ruissellement qui s'étend sur les parcelles projet.

La modélisation hydraulique 2D affiche une zone inondable par ruissellement qui s'étend sur les parcelles projet. **La parcelle d'étude est située sur une zone d'aléa modéré.** L'aléa est présenté dans la cartographie ci-dessous.

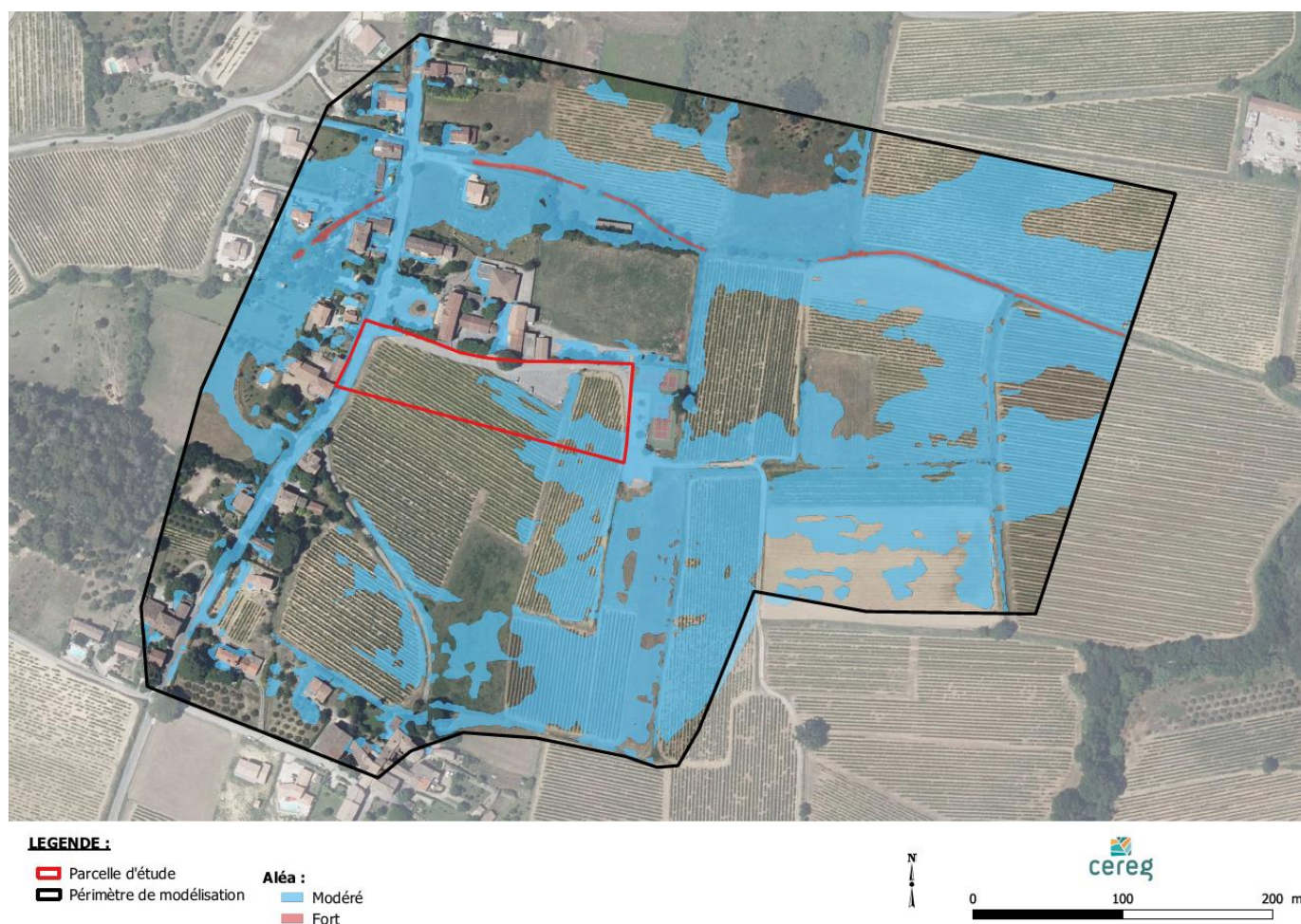


Illustration 16 : Cartographie de l'aléa en situation actuelle pour une pluie centennale

Le règlement type du Gard est présenté ci-dessous avec la réglementation associée à la zone d'aléa modéré.

D'après ces résultats, les extension et projet d'aménagement ne sont pas autorisés. Le terrain doit être mis hors des eaux.

Il est nécessaire de réaliser un exondement de terrain.

ALEA	ENJEUX		URBANISES	NON URBANISES
FORT			- inconstructibles - extensions limitées des bâtiments existants sous conditions (calage à PHE+30cm ou TN+1m sans PHE) - adaptations possibles en centre urbain	
NON QUALIFIE			- constructibles avec calage à PHE+30 cm ou TN+80cm sans PHE - pas d'établissements stratégiques ou accueillant des populations vulnérables - adaptations possibles en centre urbain	- inconstructibles sauf les bâtiments agricoles sous conditions - extensions limitées des bâtiments existants sous conditions
MODERE			- constructibles avec calage à PHE+30cm ou TN+80cm sans PHE - pas d'établissements stratégiques ou accueillant des populations vulnérables - adaptations possibles en centre urbain	- inconstructibles sauf les bâtiments agricoles sous conditions - extensions limitées des bâtiments existants sous conditions
EXONDE pour une pluie de référence (centennale ou historique)			- constructibles avec calage à TN+30cm - pas d'établissements stratégiques	- extension d'urbanisation possible (voir le paragraphe précédent) - calage à TN+30cm - pas d'établissements stratégiques

Illustration 17 : Règlement type du Gard par rapport au risque inondation par ruissellement

C. EXONDEMENT DE LA PARCELLE D'ETUDE



C.I. MODELE HYDRAULIQUE – SITUATION PROJET

C.I.1. Proposition d'aménagement d'exondement

En situation actuelle, la parcelle n'est pas hors d'eau comme le souligne la modélisation précédente, pour la crue de projet d'occurrence centennale. Un ou des aménagements doivent être proposés afin d'exonder la parcelle.

La source principale de ruissellements sur la parcelle est dû aux débordements des eaux provenant du fossé.

Ainsi, pour réduire et éviter ces ruissellements sur la parcelle, la mise en place d'un fossé au sud de la parcelle du projet permettra de capter ces eaux. Le fossé est dimensionné pour **capter au minimum un débit de 0,8 m³/s** et donc intercepter l'intégralité des eaux relevés dans la modélisation précédente. Les caractéristiques du fossé sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Les eaux interceptées sont rejetées en aval dans le ruisseau classé *indéterminé* par la DDT 30.

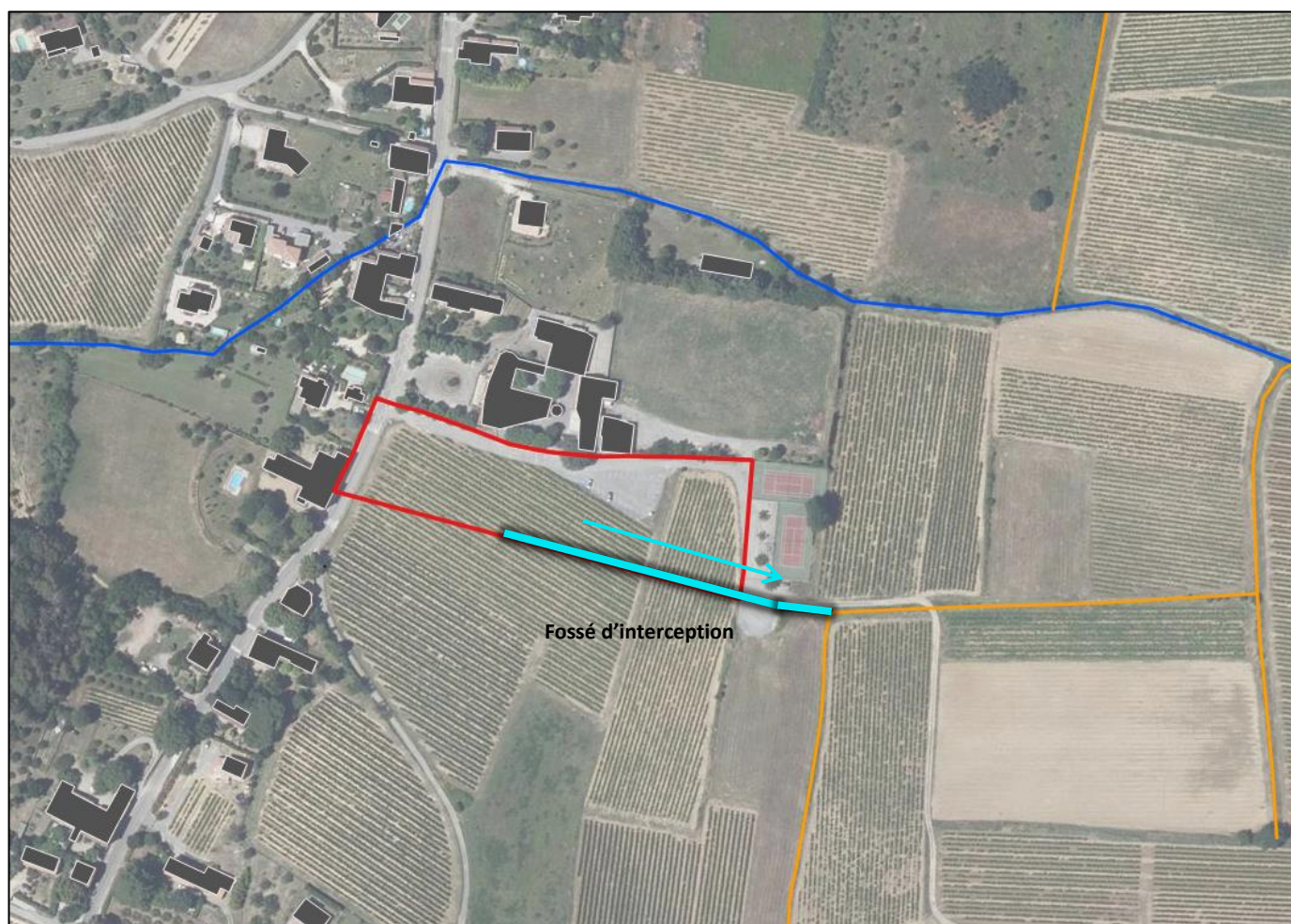


Illustration 18 : Localisation du fossé d'interception définis dans le modèle hydraulique

Pente (%)	1.7
Longueur (m)	160
Hauteur (m)	1
Largeur radier (m)	0.8
Largeur en gueule (m)	2.3
Pente maximale des talus	3/1

Tableau 8 : Dimensionnement du fossé d'interception

La topographie du modèle est modifiée en prenant en compte le fossé.

C.I.2. Maillage de la zone d'étude

La géométrie du modèle hydraulique est modifiée avec le fossé d'interception.

A partir des données du plan de masse et de l'étude hydraulique, l'aménagement est implémenté au modèle hydraulique. Le maillage final du modèle est défini ci-dessous. À partir de ces lignes de structures, un maillage intégrant la composante topographique a été réalisé sur le secteur d'étude.

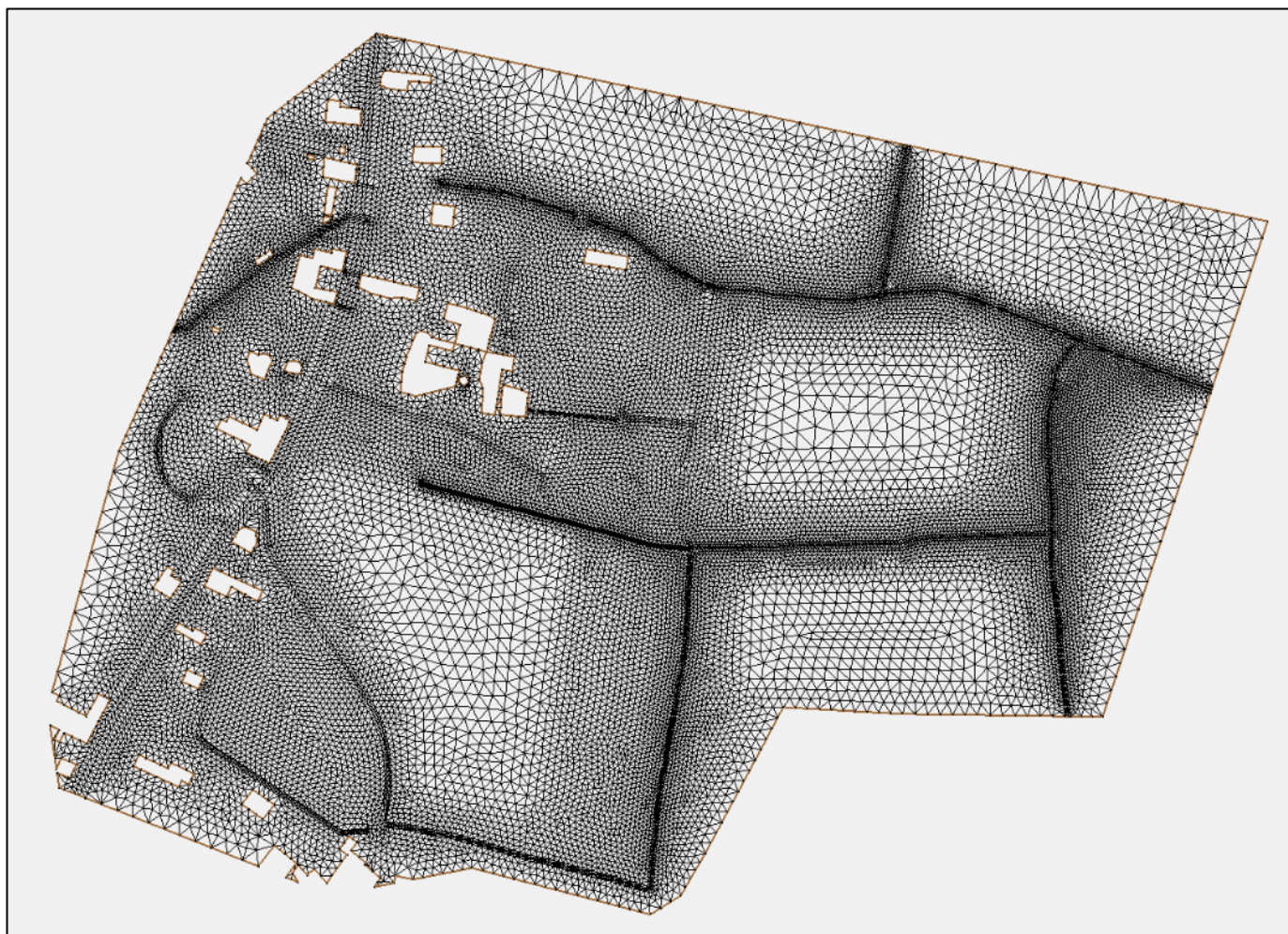


Illustration 19 : Vue en plan du maillage du modèle hydraulique avec fossé d'interception

C.I.3. Exploitation des résultats - Crue d'occurrence centennale – état projet

L'ensemble des cartographies sont présentes en annexes de ce rapport.

C.I.3.1. Nombre de courant

Afin d'étudier la convergence des calculs et l'obtention de résultats cohérents, l'analyse du nombre de courant est réalisée pour la situation projet après ajout de fossé en amont de la parcelle du projet.

Le nombre de courant est inférieur à 1 sur l'ensemble des simulations, la cartographie suivante montre le nombre de courant maximum en chaque maille :

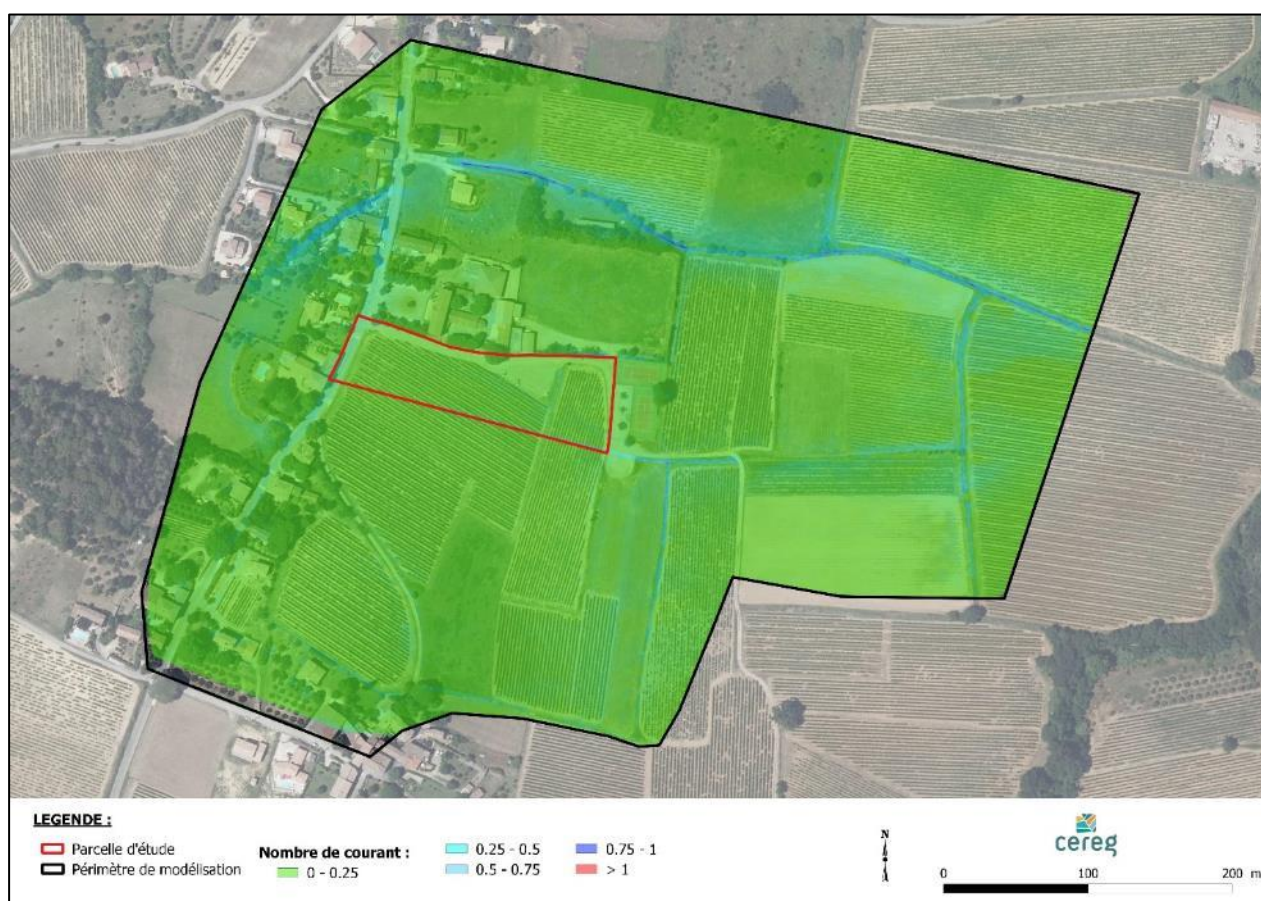


Illustration 20 : Nombre de courant maximal atteint lors de la modélisation de la crue centennale

C.I.3.2. Hauteurs d'eau

Les résultats suivants définissent les hauteurs d'eau maximales obtenues pour la simulation avec fossé d'interception avec la pluie d'occurrence centennale :

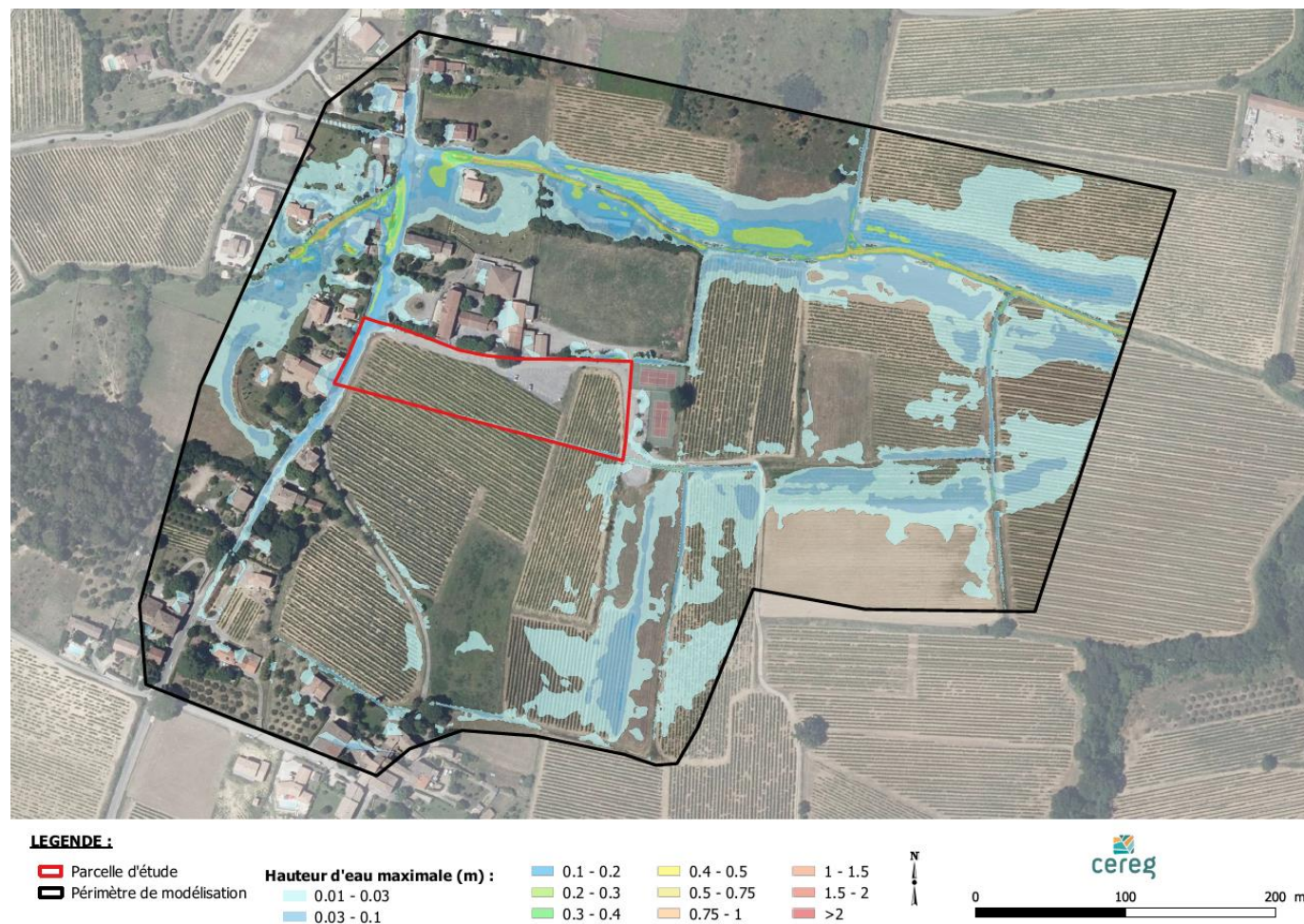


Illustration 21 : Cartographie des hauteurs d'eau maximales avec fossé d'interception pour une pluie centennale

Avec la mise en place du fossé au sud de la parcelle du projet, les eaux sont captées et aucune hauteur d'eau de plus de 3 cm n'est relevée sur la parcelle d'étude (hors fossé d'interception et voirie de la route D982).

Au niveau du fossé, les hauteurs d'eau maximales atteignent les 30 cm comme le souligne l'illustration ci-dessous :

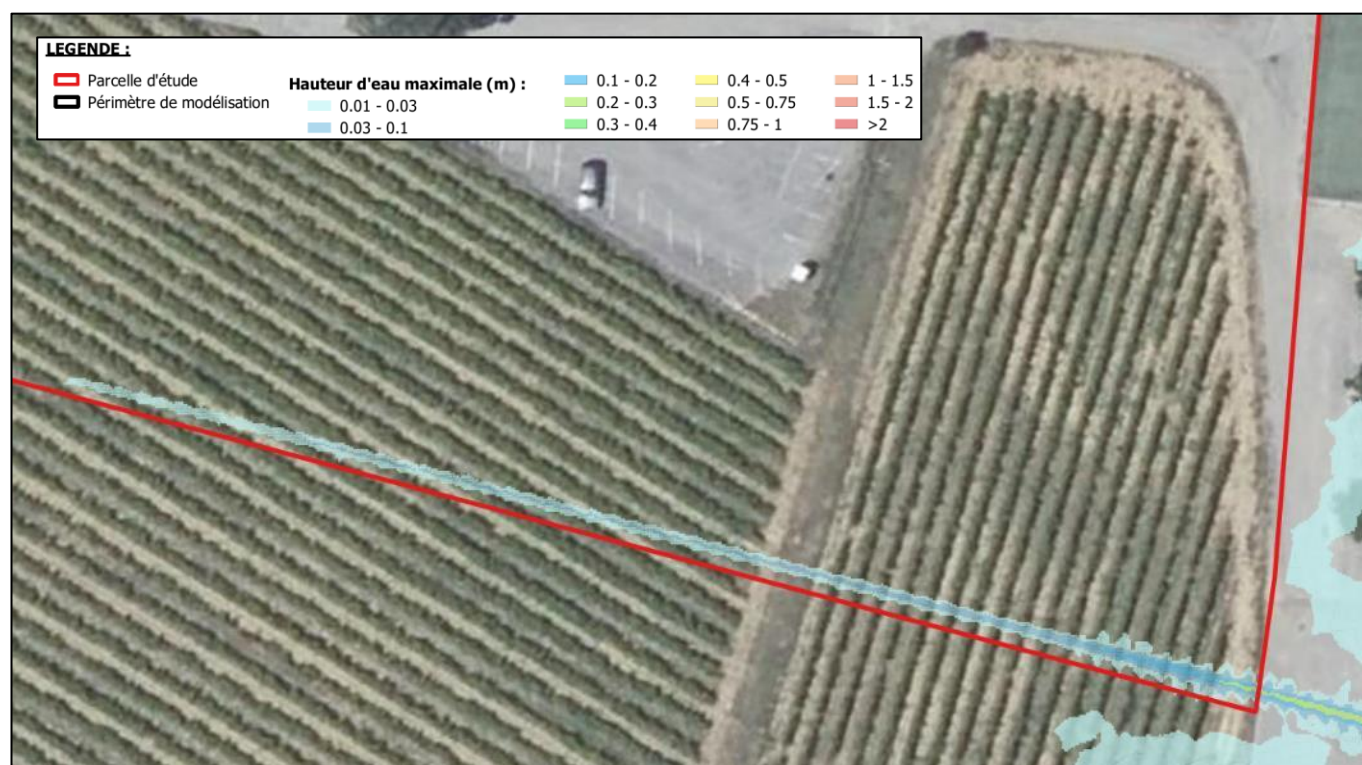


Illustration 22 : Hauteurs d'eau maximales au niveau du fossé d'interception

Avec les mesures d'exondement, la parcelle projet est mise hors d'eau.

C.I.3.3. Vitesse d'écoulement

Les vitesses maximales modélisées pour une pluie de projet de période de retour 100 ans sont définies sur la cartographie suivante :

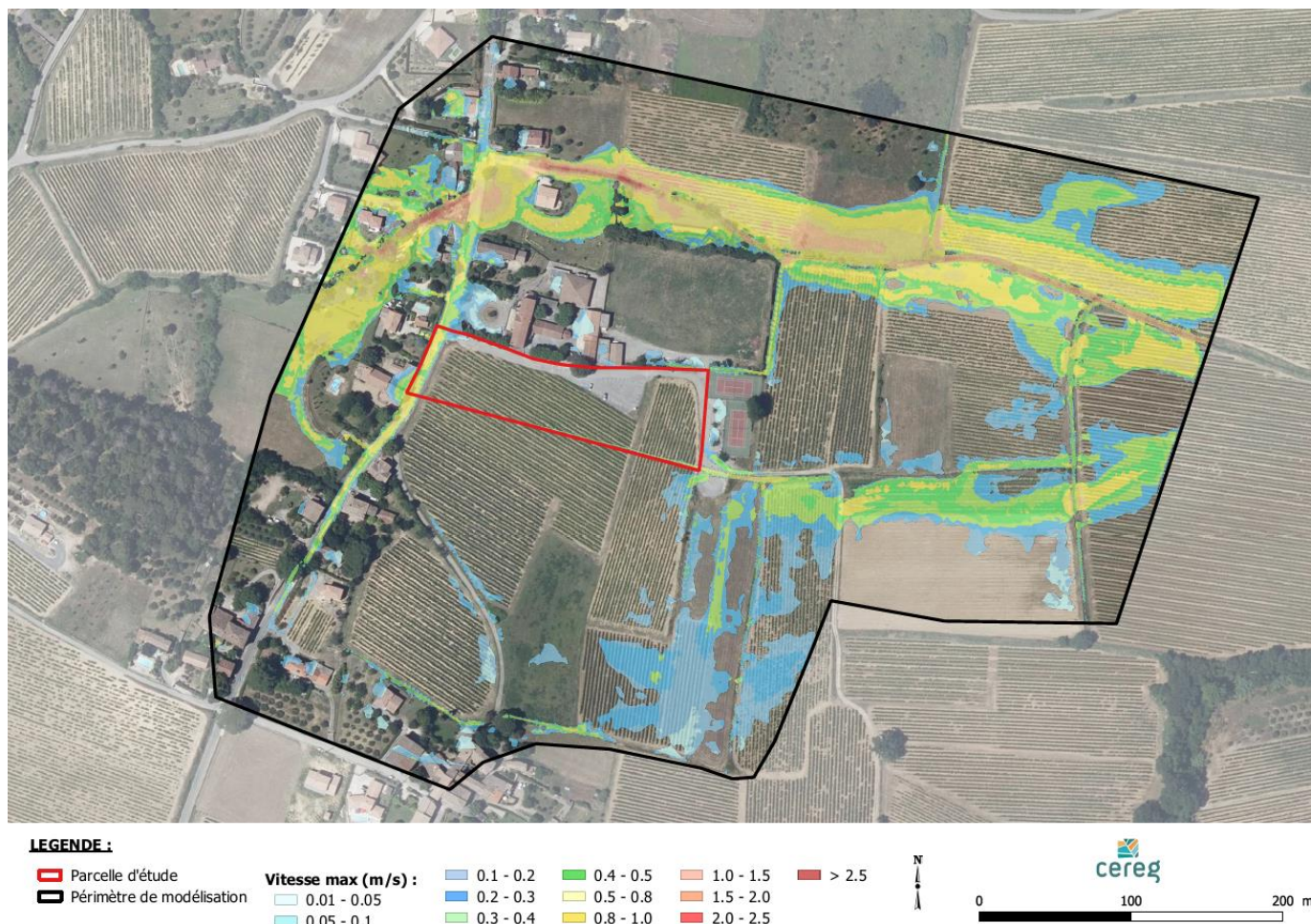


Illustration 23 : Cartographie des vitesses d'écoulement avec fossé d'interception pour une pluie centennale

Les vitesses d'écoulement maximales relevées dans le fossé d'interception sont de 0,4 à 0,5 m/s.

En aval au niveau de la jonction avec le fossé existant, les vitesses d'écoulement maximales modélisés atteignent les 0,75 m/s.

C.I.3.4. Incidence de l'exondement

Les résultats suivants définissent l'incidence de l'exondement au droit du projet. Il définit la différence des hauteurs d'eau maximales modélisées entre l'état actuel et l'état projet (exondement) avec la pluie d'occurrence centennale :

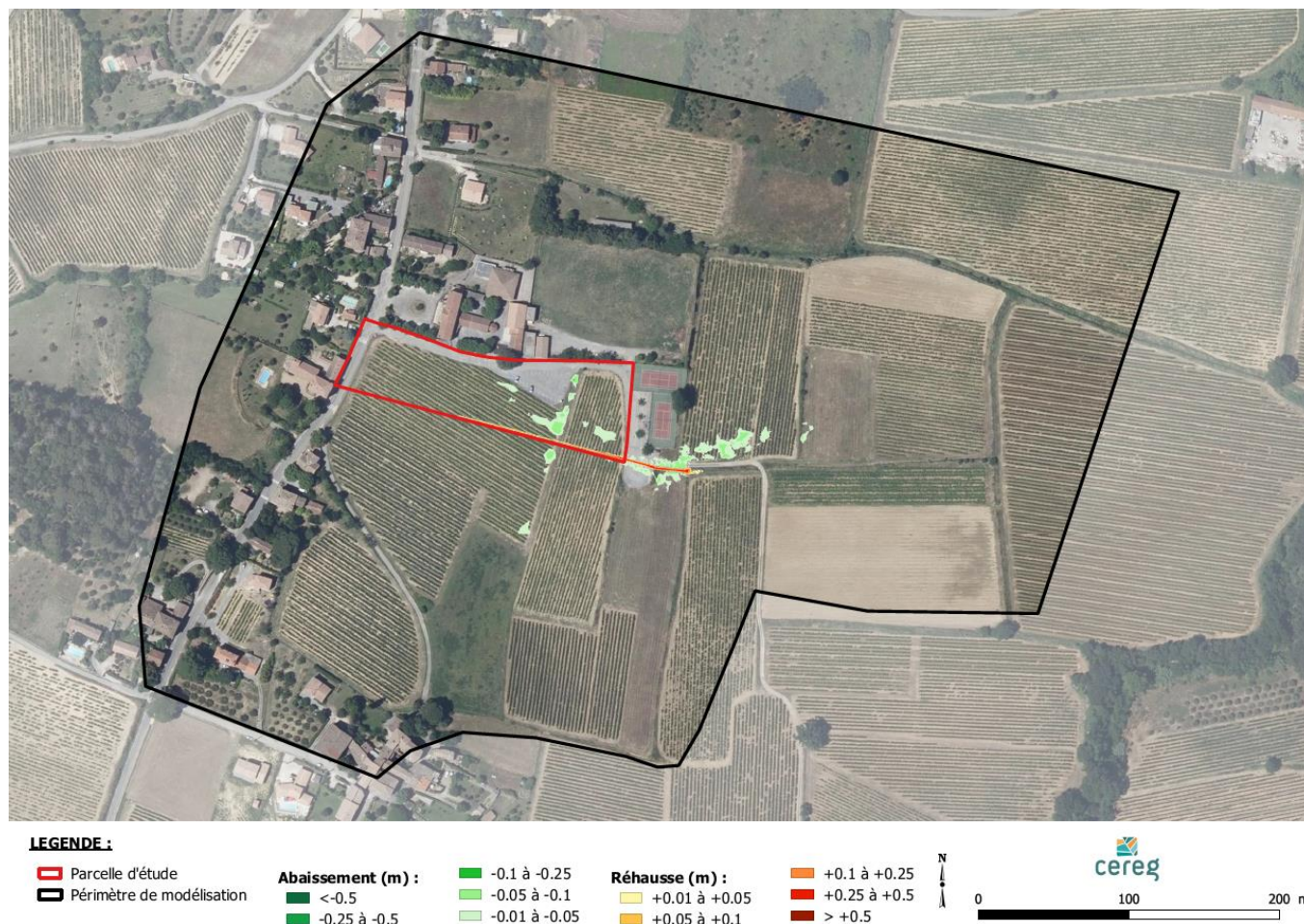


Illustration 24 : Incidence du fossé d'interception sur les hauteurs d'eau maximales modélisées pour une crue centennale

Avec la mise en place de ce fossé d'interception, l'incidence sur la parcelle est soulignée par un abaissement des eaux sur la parcelle d'étude atteignant les -10 cm.

Le fossé d'interception génère un rehaussement des hauteurs d'eau due à l'interception des eaux précipitées sur la parcelle comme le souligne l'illustration ci-dessous. Cette incidence atteint les 30 cm (hauteur d'eau maximale atteinte dans le fossé). Ce rehaussement se prolonge jusqu'à la confluence avec le fossé existant à l'aval de la parcelle d'étude.



Illustration 25 : Incidence relevée au niveau du fossé d'interception

C.II. CONCLUSION

La proposition d'aménagement permettant d'exonder la parcelle a été modélisé et permet de réduire les eaux présentes sur la parcelle du projet.

La modélisation hydraulique 2D affiche une zone inondable par ruissellement qui s'étend hors des parcelles projet.

La parcelle projet n'est pas située sur une zone d'aléa (hors fossé d'interception et D982).

La cartographie des aléas sur le secteur d'étude est présentée ci-dessous.

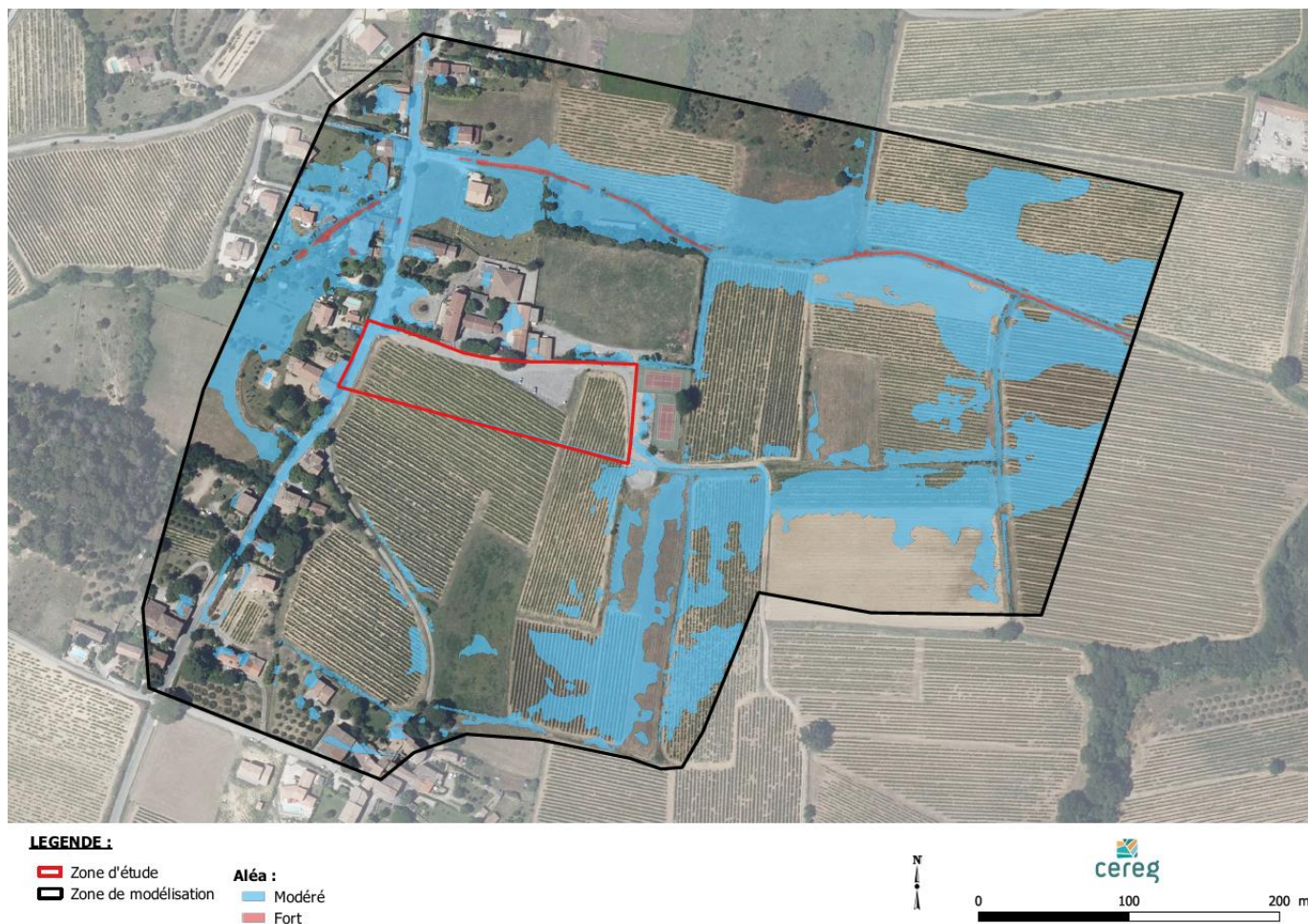


Illustration 26 : Cartographie de l'aléa en situation projet pour une pluie centennale

Les mesures d'exondement permettent de mettre hors d'eau la parcelle d'étude pour des événements pluvieux de période de retour au moins égale à 100 ans.

Selon la réglementation en vigueur, en zone exondé urbanisés, la parcelle est constructible avec un calage à TN +30 cm seulement si la construction n'est pas un établissement stratégique.

D. ANNEXES



Evaluation du CN :

En fonction du type de sol :

Groupe de sol	Description	Conductivité hydraulique K_s en (mm/hr)
A	Potentiel de ruissellement faible. Sols à forts taux d'infiltration. Sols profonds sableux ou graveleux, très bien drainés.	³ 11
B	Sols à taux d'infiltration modérés. Sols moyennement profonds à profonds, bien à très bien drainés, à texture assez grossière (limon sableux ou loess)	8 à 4
C	Sols à faibles taux d'infiltration. Sols comportant un horizon faisant obstacle au mouvement vertical de l'eau ou sols à textures moyennement fines à fines. (limons argileux)	4 à 1
D	Potentiel de ruissellement élevé. Sols à très faibles taux d'infiltration. Sols argileux à fort potentiel de gonflement, sols en présence d'une nappe permanente à faible profondeur, sols comportant un horizon argileux proche de la surface et sols superficiels sur matériau imperméable.	1 à 0

En fonction de l'occupation du sol (d'après *SCS Urban Hydrology for Small Watersheds*, 2nd Ed., (TR-55), June 1986) :

Groupe de sol				
Occupation du sol	A	B	C	D
Cultures				
sans traitement de conservation des sols	72	81	88	91
avec traitement de conservation des sols	62	71	78	81
Pâturage				
mauvais état	68	79	86	89
bon état	39	61	74	80

Annexe 1 : Références bibliographiques des données CN