



COMMUNAUTE DE COMMUNES VALLEE DE L'HERAULT



ÉTUDE HYDRAULIQUE COMPLÉMENTAIRE
DU PIEGE A EMBACLE DU VERDUS EN AMONT
DE SAINT-GUILHEM-LE-DESERT

RAPPORT D'ÉTUDE – OPTIMISATION D'UN PIEGE A EMBACLES
EN AMONT DE SAINT-GUILHEM-LE-DESERT

Mars 2024

SOMMAIRE

I.	<i>Cadre de l'étude.....</i>	5
I.1.	Contexte et objectif de l'étude	5
I.2.	Zone d'étude	5
II.	<i>Optimisation de la conception du piège à embâcles en amont du village.....</i>	6
II.1.	Rappel des principaux éléments de l'étude précédente	6
II.2.	Optimisation du piège à embâcle.....	12
II.3.	Chiffrage des pièges à embâcles	25
II.4.	Phasage des aménagements.....	27
II.5.	Impact hydraulique	27
III.	<i>Conclusion</i>	28

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Vue de la zone d'étude pour l'implantation d'un piège à embâcle sur le ruisseau du Verdus en amont de Saint-Guilhem-le-Désert	6
Figure 2 : Contrainte foncière au droit de la zone d'implantation des pièges à embâcles.....	7
Figure 3 : Rappels des principaux résultats hydrauliques – Crue 10 ans.....	8
Figure 4 : Rappels des principaux résultats hydrauliques – Crue 100 ans.....	9
Figure 5 : Lignes de courant rive gauche des écoulements amont de crue du Verdus.....	10
Figure 6 : Lignes de courant lit et rive droite des écoulements amont de crue du Verdus.....	10
Figure 7 : Lignes de courant des écoulements de crue du Verdus au droit du stade Joseph PRADEL	11
Figure 8 : Vues globales aménagements proposés pour faire piège à embâcles en amont de Saint-Guilhem-le-Désert.....	11
Figure 9 : Parcelles cadastrales traversées par les lignes de courant de la crue centennale en amont et au droit du stade Joseph PRADEL	12
Figure 10 : Parcelles cadastrales ciblées pour implanter des pièges naturels à embâcles.....	16
Figure 11 : Vue des vitesses et lignes de courant en rive gauche.....	17
Figure 12 : Vue des vitesses et lignes de courant en rive droite	17
Figure 13 : Vues en plan des pièges naturels à embâcles	18
Figure 14 : Ligne de courant du chemin au stade Joseph PRADEL vers l'entrée de Saint-Guilhem-le-Désert	19
Figure 15 : Vitesses maximales des écoulements de la crue centennale en situation actuelle à l'entrée de Saint-Guilhem-le-Désert	20
Figure 16 : Exemple de pieux acier avec dispositif additionnel de retenue des flottants en cas de surverse des pieux.....	22
Figure 17 : Vue en plan du piège à embâcles pour les écoulements du lit mineur.....	23
Figure 18 : Lit mineur du Verdus avec peu ou pas de ripisylve pouvant bloquer les flottants amont	24
Figure 19 : Blocs et végétation limitant la section d'écoulement sous la passerelle amont	25

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Chiffrage sommaire des aménagements pour piéger les flottants en amont de Saint-Guilhem-le-Désert.....	27
--	----

I. Cadre de l'étude

I.1. CONTEXTE ET OBJECTIF DE L'ETUDE

La commune de St Guilhem-le-Désert est traversée par le ruisseau appelé le Verdus. Ce ruisseau est emblématique pour les habitants du village tant il est lié à l'histoire du village de Saint-Guilhem-le-Désert.

Le Verdus traverse l'intégralité du village et de ce fait, l'urbanisation s'est historiquement développée le long du ruisseau.

La crue de référence utilisée pour cet affluent rive droite de l'Hérault est la crue historique de 1907 qui est la plus forte connue et dont le débit a été évalué à 80 m³/s au regard des plus hautes eaux historiques.

Le Maître d'Ouvrage a récemment mandaté une étude de ce cours d'eau dont les objectifs étaient de réaliser une modélisation hydraulique du Verdus pour des crues de période de retour 10 ans, 50 ans, 100 ans et exceptionnelle (≈ 1000 ans) en situation actuelle et projet avec piège à embâcles en amont du village.

Suite à cette étude, le Maître d'Ouvrage a lancé une étude complémentaire afin de poursuivre le travail d'analyse du fonctionnement du ruisseau du Verdus en période de crue pour la problématique des flottants et du risque, lors d'une crue, de formation d'embâcles dans la traversée de Saint-Guilhem-le-Désert qui aggraverait significativement les dommages causés par les débordements du ruisseau.

Pour rappel, la capacité hydraulique du lit mineur du Verdus dans la traversée du village est très en-deçà des débits de référence des crues. Pour une crue importante, une grande partie des écoulements transite en lit majeur dans la vallée encaissée du Verdus c'est-à-dire via les rues du village et via les habitations et bâtis bordant le lit mineur du ruisseau ou le bas de la vallée.

Ce rapport de l'étude complémentaire s'attache à optimiser la conception d'un piège à embâcles en amont de Saint-Guilhem-le-Désert.

I.2. ZONE D'ETUDE

La zone d'étude couvre le bassin versant du ruisseau du Verdus.

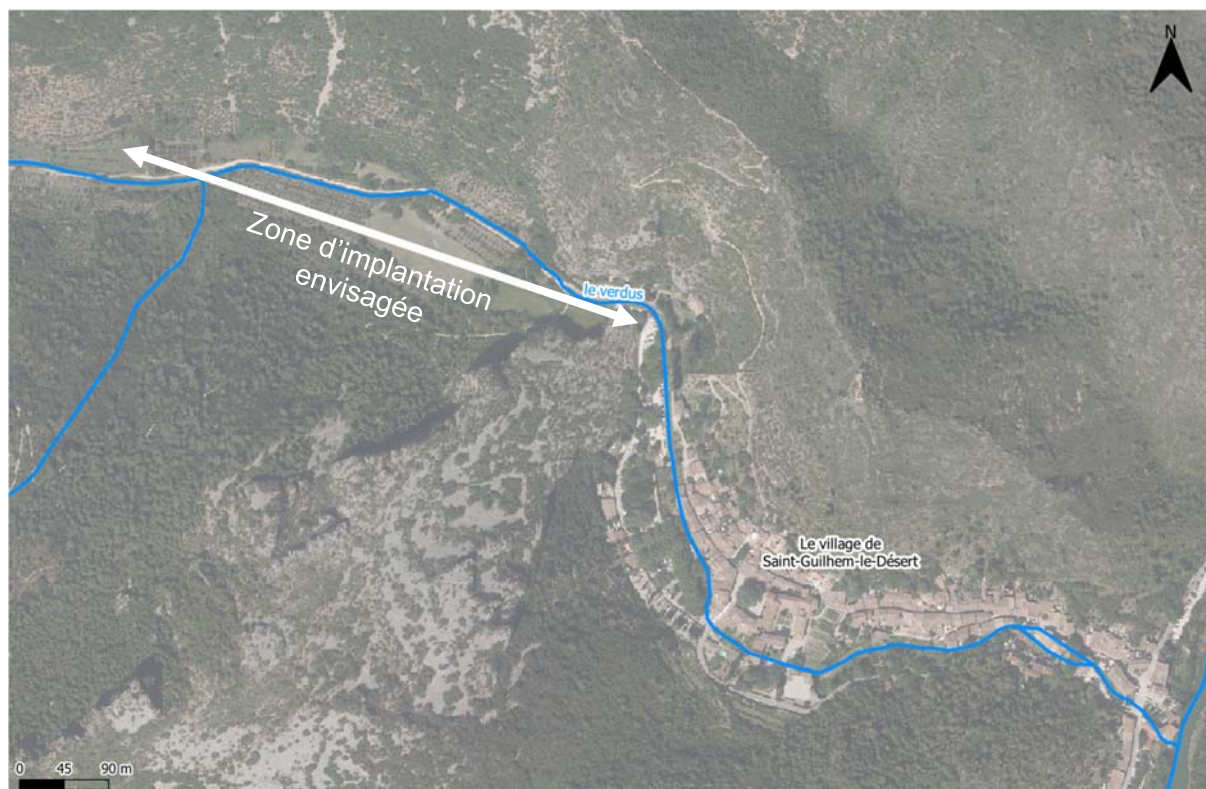


Figure 1 : Vue de la zone d'étude pour l'implantation d'un piège à embâcle sur le ruisseau du Verdus en amont de Saint-Guilhem-le-Désert

II. Optimisation de la conception du piège à embâcles en amont du village

II.1. RAPPEL DES PRINCIPAUX ELEMENTS DE L'ETUDE PRECEDENTE

Concernant la disponibilité foncière des terrains, le long du ruisseau du Verdus sur la commune de Saint-Guilhem-le-Désert, le découpage et la nature (public / privé) des parcelles cadastrales est le suivant :

Etude hydraulique complémentaire du piège à embâcle du Verdus en amont de Saint-Guilhem-le-Désert

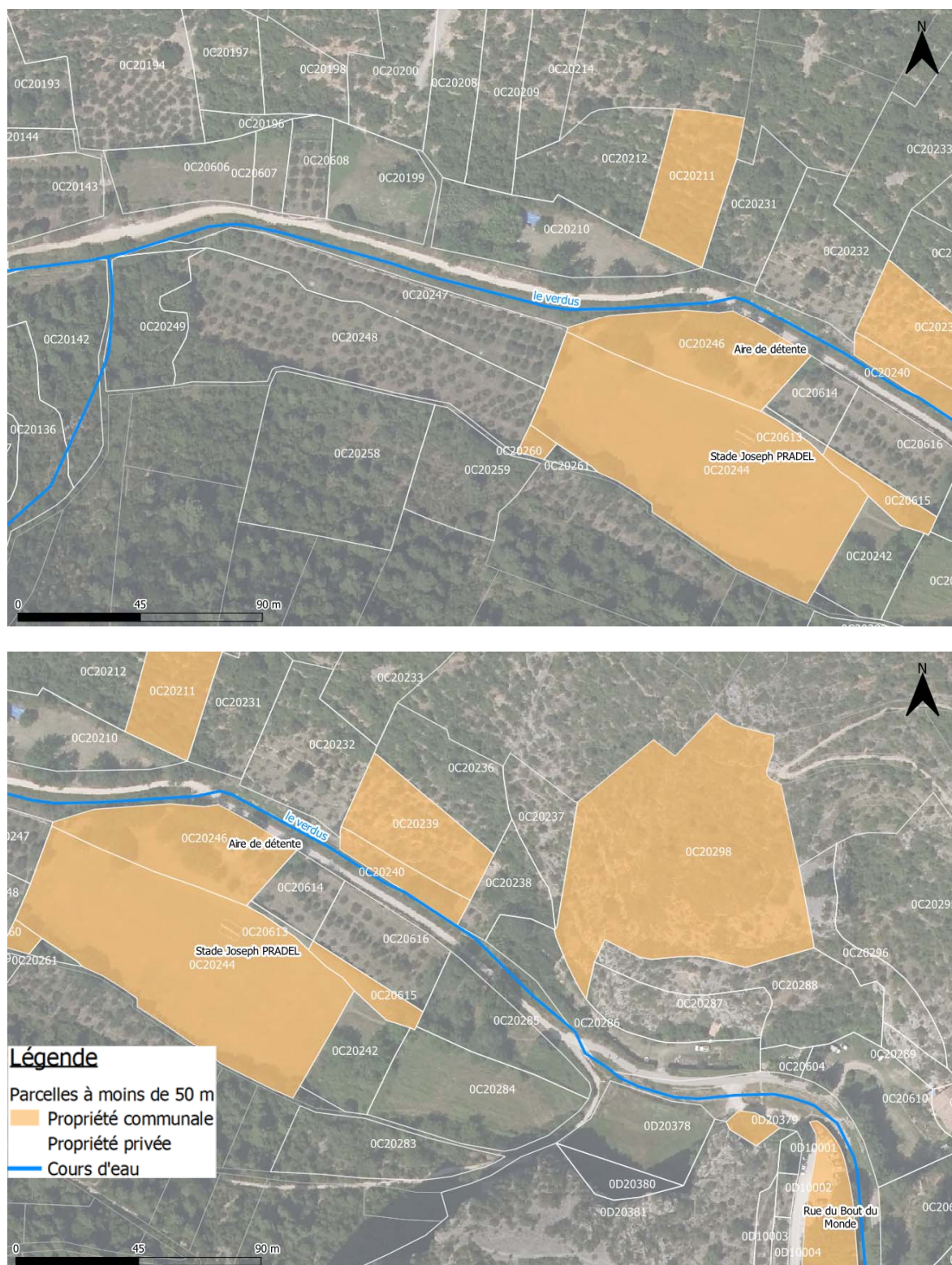
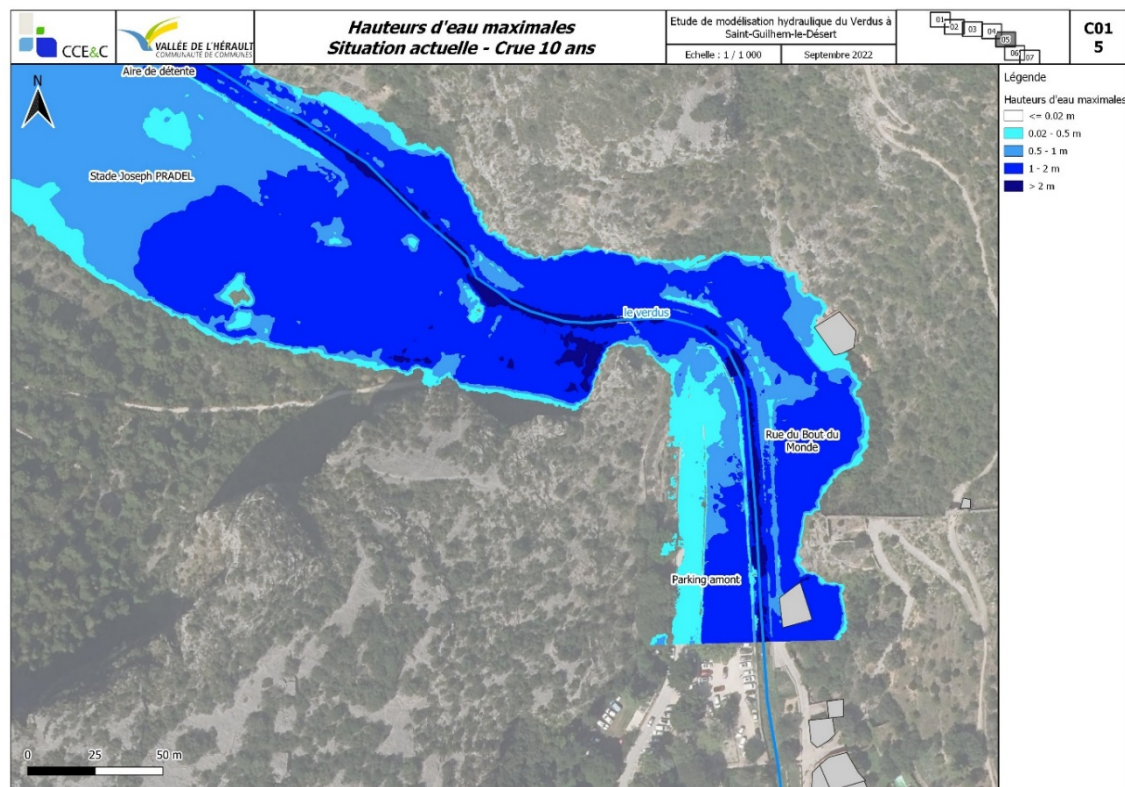


Figure 2 : Contrainte foncière au droit de la zone d'implantation des pièges à embâcles

A propos du fonctionnement hydraulique du ruisseau du Verdus en situation actuelle au droit du stade Joseph PRADEL le long du ruisseau du Verdus, il est fait les rappels suivants :

Etude hydraulique complémentaire du piège à embâcle du Verdus en amont de Saint-Guilhem-le-Désert

- Crue de période de retour 10 ans (en condition de sols et karst initialement saturés) :
 - Hauteurs d'eau maximales :



- Vitesses maximales des écoulements :

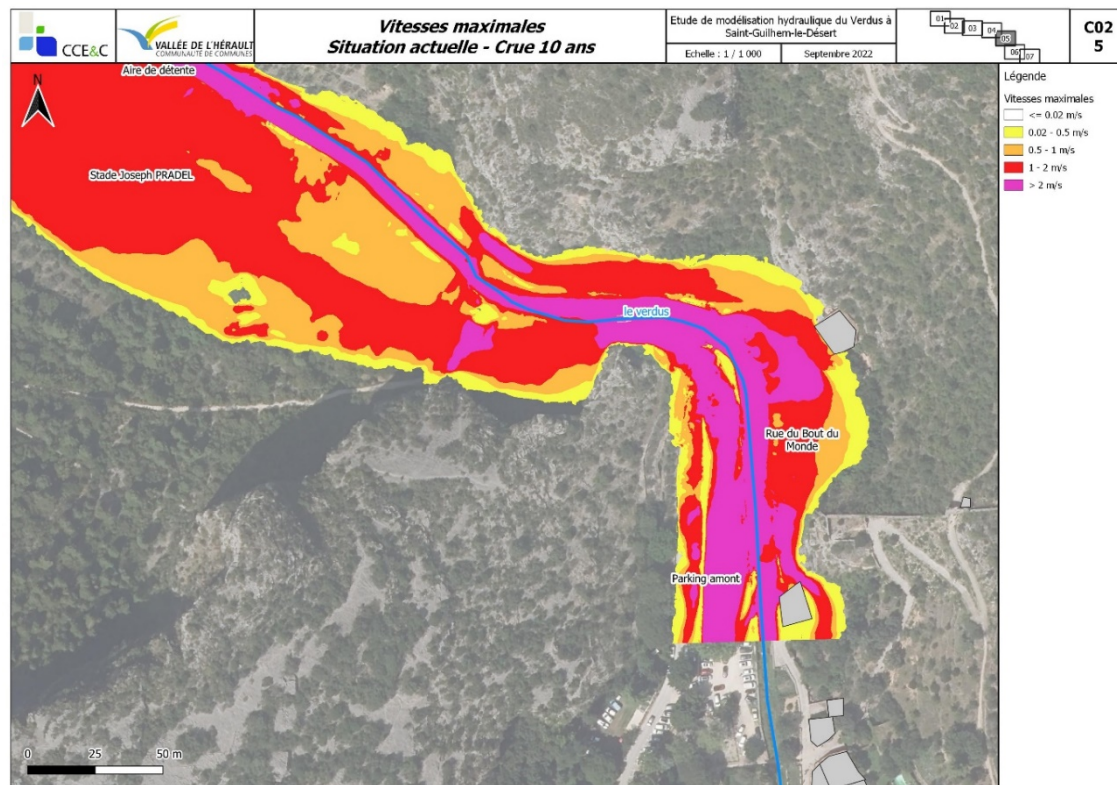
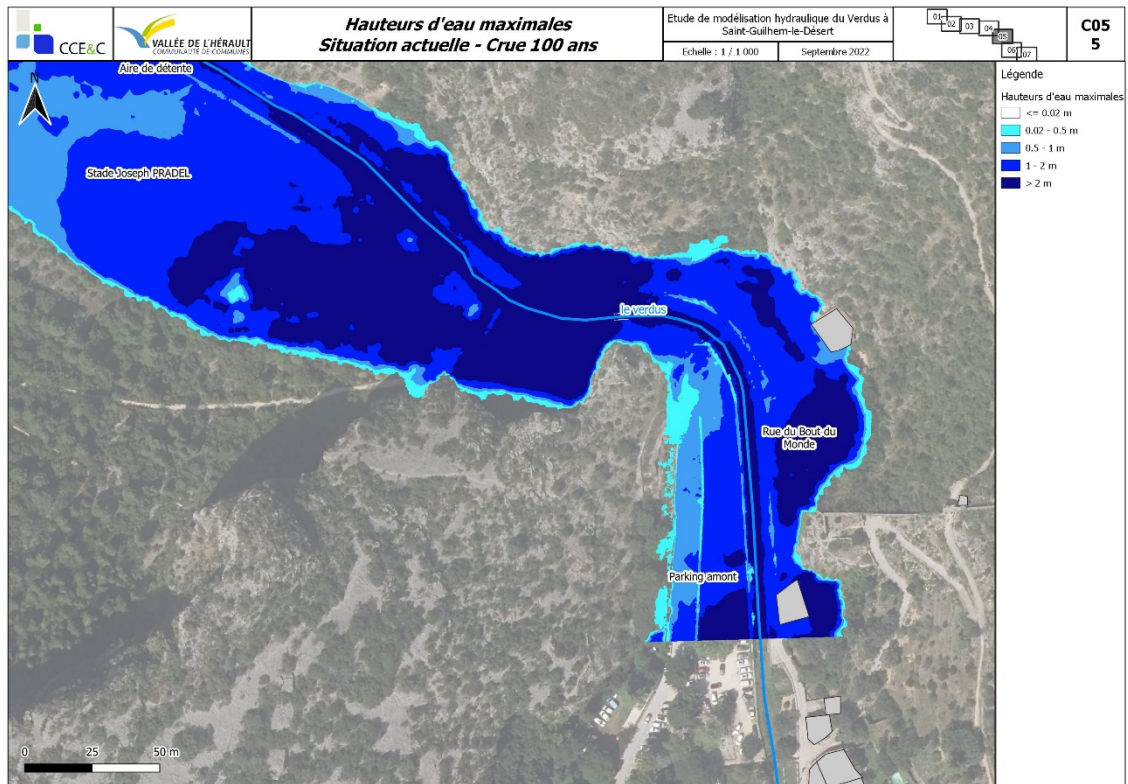


Figure 3 : Rappels des principaux résultats hydrauliques – Crue 10 ans

Etude hydraulique complémentaire du piège à embâcle du Verdus en amont de Saint-Guilhem-le-Désert

- Crue de période de retour 100 ans (en condition de sols et karst initialement saturés) :
- Hauteurs d'eau maximales :



- Vitesses maximales des écoulements :

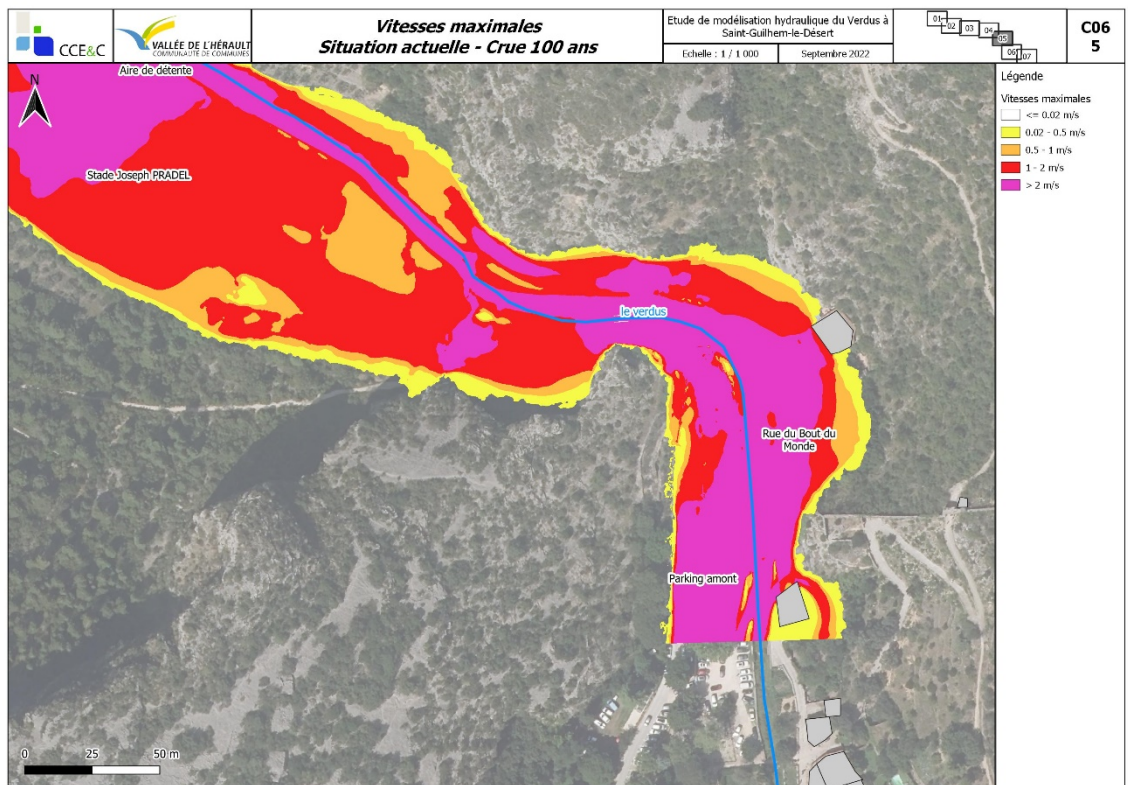


Figure 4 : Rappels des principaux résultats hydrauliques – Crue 100 ans

Les lignes de courant issues de la modélisation hydraulique du ruisseau du Verdus en crue centennale sont les suivantes :

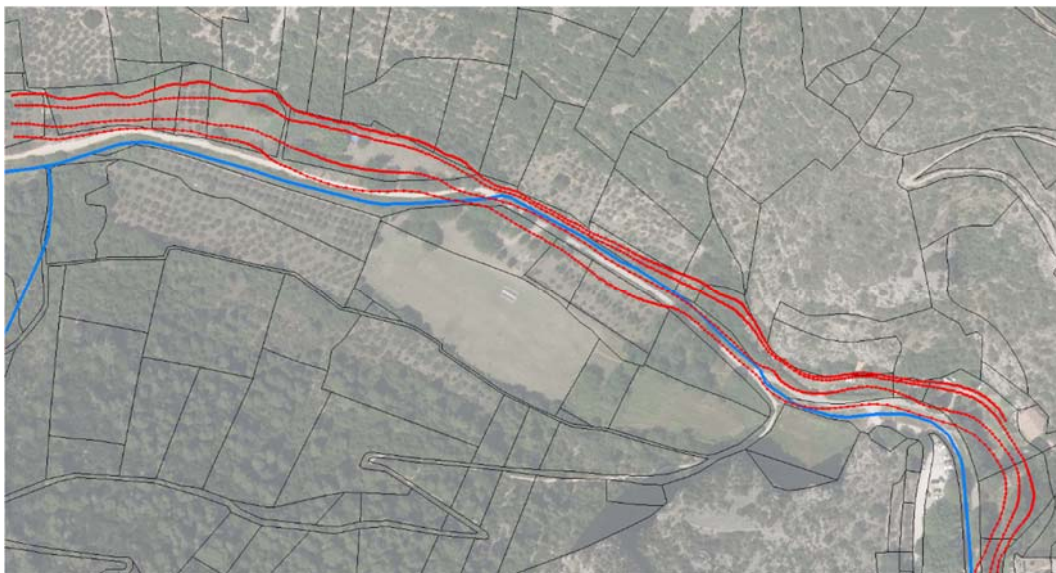


Figure 5 : Lignes de courant rive gauche des écoulements amont de crue du Verdus

Commentaire : Les écoulements de la rive gauche, du lit mineur et du chemin en aval du stade Joseph PRADEL correspondent aux écoulements débordants du lit majeur rive gauche et du chemin situés environ 170 m en amont du stade Joseph PRADEL (2^{ème} figure) ;

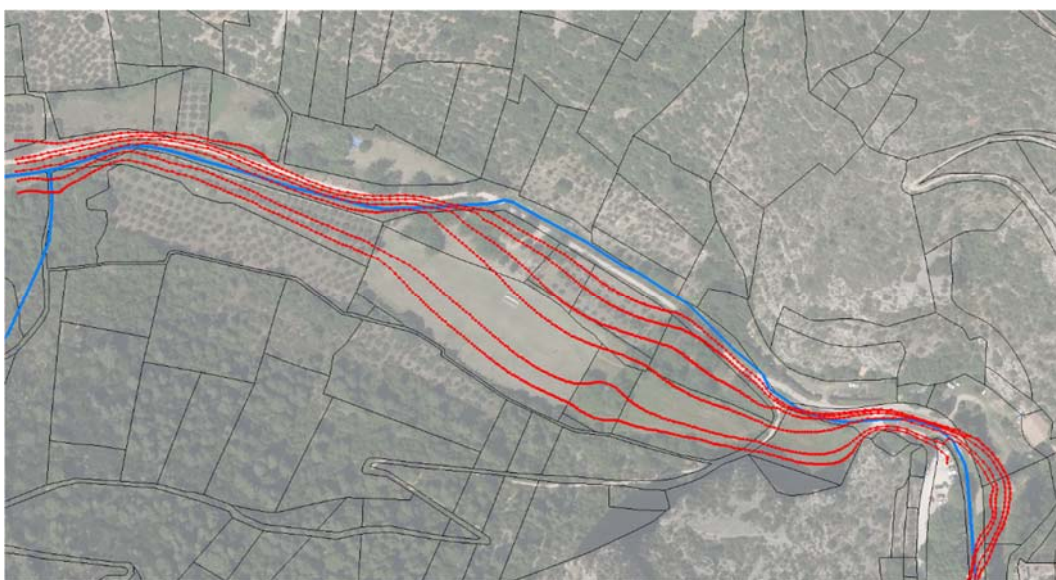


Figure 6 : Lignes de courant lit et rive droite des écoulements amont de crue du Verdus

Commentaire : Les écoulements de la rive droite et du chemin en aval du stade Joseph PRADEL correspondent aux écoulements débordants passant par le stade Joseph PRADEL ou l'aire de détente et plus en amont, à environ 170 m en amont du stade Joseph PRADEL, aux écoulements du chemin, du lit mineur et du lit majeur rive droite.

En rassemblant toutes les lignes de courant calculées, il est obtenu :

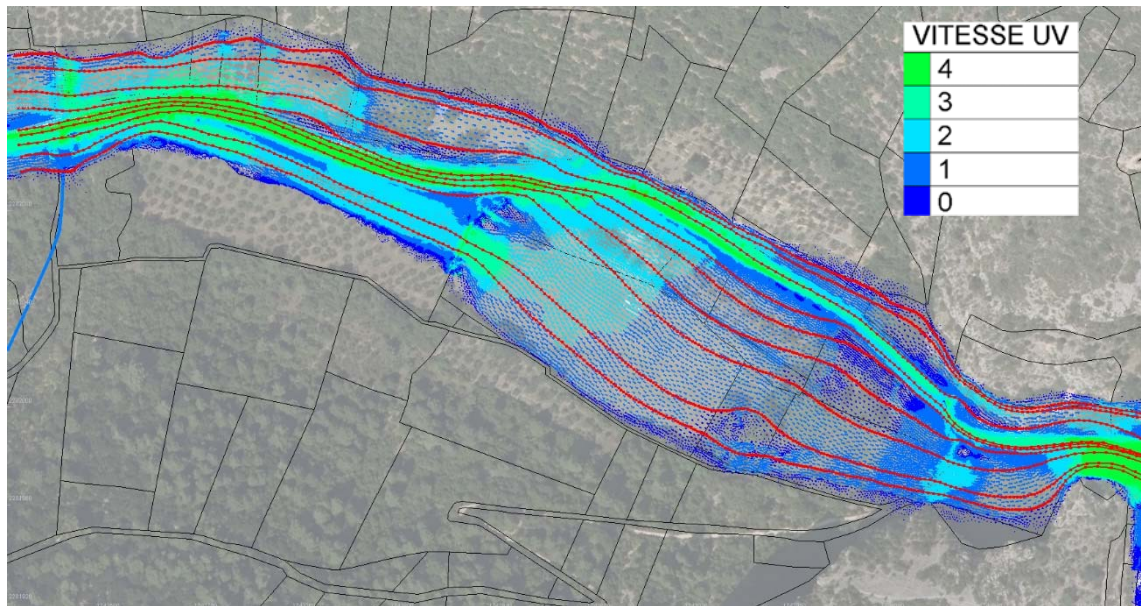


Figure 7 : Lignes de courant des écoulements de crue du Verdus au droit du stade Joseph PRADEL

A l'issue de l'étude précédente, il avait été proposé et étudié les aménagements suivants pour un piégeage des flottants (bois...) en amont de Saint-Guilhem-le-Désert pour éviter la formation d'embâcle au droit du village durant les crues du ruisseau du Verdus :

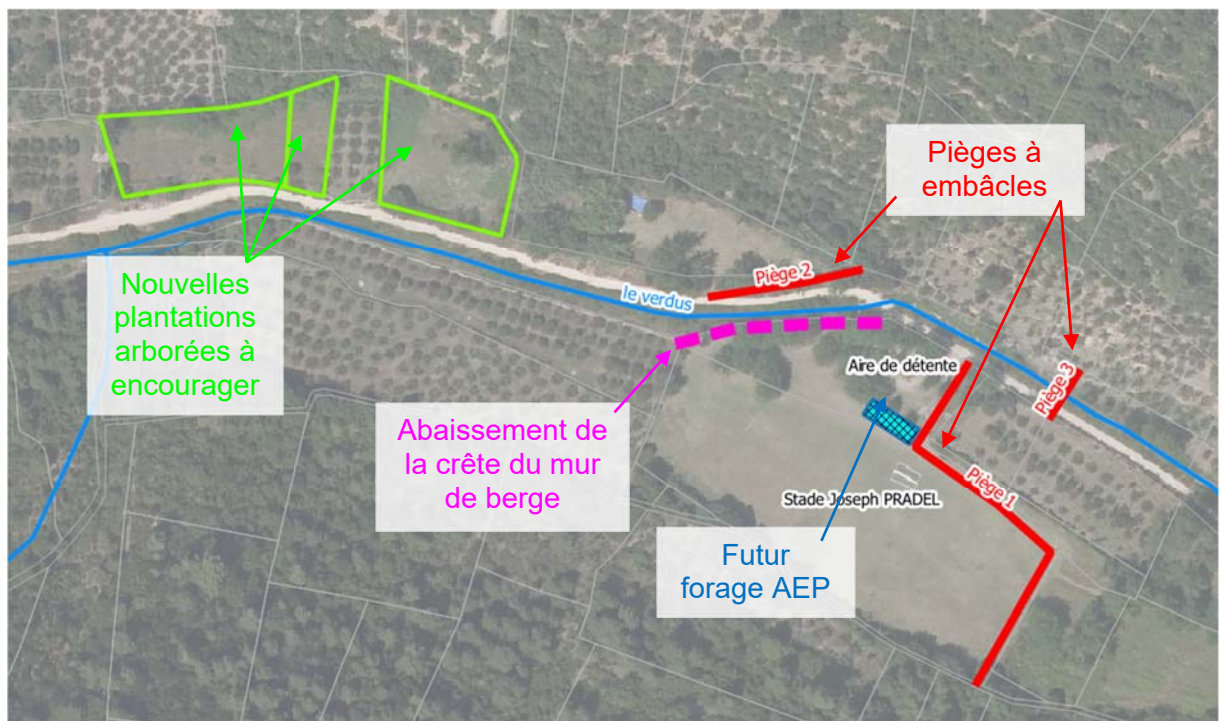


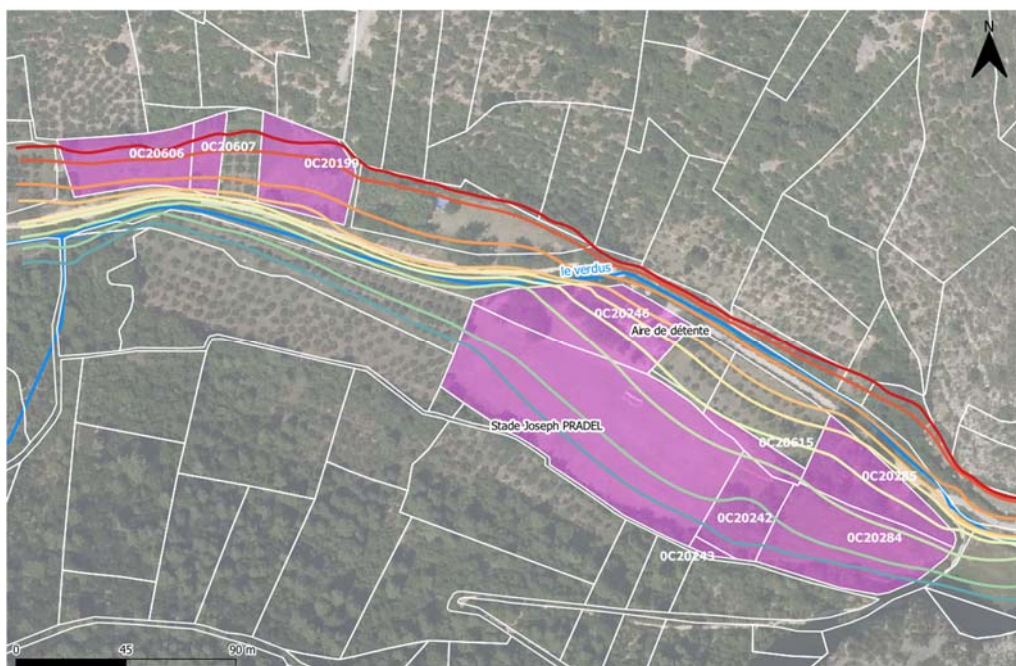
Figure 8 : Vues globales aménagements proposés pour faire piège à embâcles en amont de Saint-Guilhem-le-Désert

Se reporter à l'étude précédente pour le rappel des contraintes paysagères, patrimoniales et environnementales.

II.2. OPTIMISATION DU PIEGE A EMBACLE

A partir des résultats de l'étude précédente réalisée et des échanges en réunion du 5/12/23, il a été optimisé la conception du piège à embâcles sur le ruisseau du Verdus en amont de Saint-Guilhem-le-Désert.

Il ressort de l'analyse des lignes de courant des écoulements d'une crue 10 ans ou 100 ans débordante au droit du stade Joseph PRADEL que la majeure partie des écoulements du ruisseau du Verdus traversent les parcelles cadastrales suivantes :



Autrement dit, en positionnant des pièges à embâcles dans ces parcelles, il est envisageable de pouvoir intercepter la majeure partie des flottants des crues du ruisseau du Verdus.

A partir des échanges en réunion de travail et compte tenu la préservation du paysage à prendre en compte, il est proposé de mettre en œuvre des pièges naturels à embâcle réalisés par un agencement choisi d'arbres adaptés et appropriés à jouer un rôle naturel de filtre ou d'effet peigne à même de piéger les flottants emportés dans les écoulements débordants des crues du ruisseau. L'agencement d'arbres est complété d'un agencement de haies qui participent à ralentir les écoulements, à en diminuer la puissance ou à les influencer à la montée de crue ou à la décrue. Les arbres arrêtent, résistent et piègent. Les haies arbustives détournent vers les troncs ou ralentissent.

Il est ici choisi une stratégie « Faire avec la Nature ». Il est proposé d'envisager de « faire progressivement avec la nature » plutôt que d'implanter des pieux métalliques qui seront inévitablement dénaturant pour le paysage... Des dispositifs amovibles (filets...) semblent

également peu adaptés au contexte (crue soudaine du ruisseau possible tout au long de l'année, pas d'engin suffisant pour mettre en place du matériel lourd, besoin d'un dispositif permanent et opérationnel 24/24 h...).

Il est ainsi proposé d'implanter un piège naturel à embâcles dans lequel le rôle de peigne est joué par les troncs d'arbres suffisamment développés pour résister aux écoulements et aux flottants. Le contexte de la zone semble propice à cette expérience.

Entre le moment de la plantation des végétaux et un développement suffisant des arbres, il y a une période de croissance des arbres (10-20 ans) pendant laquelle le piège à embâcles sera moins efficace sans être totalement inefficace car les jeunes arbres offrent néanmoins une résistance même si elle est moindre. Même s'il est plutôt opté pour les essences à croissance rapide, le facteur climatique conditionnera l'évolution du piège à embâcles.

Un piège naturel à embâcles met certes plus de temps à atteindre une efficacité mais il peut participer à offrir un habitat écologique intéressant pour la biodiversité locale ou pour une activité agricole diversifiée (agroforesterie...).

Il a été vu que compte tenu le contexte du bassin versant amont du ruisseau du Verdus, les écoulements ou débordements transportent majoritairement des végétaux de taille variable : Bout de bois, branches, troncs, souches, arbres... avec a priori peu de grands ou gros éléments (supérieure à 5 m ou de diamètre supérieure à 0.3-0.5 m).

Il ne s'agit pas d'arrêter tous les flottants. Il est à cibler les flottants causant :

- Le plus de dommage aux ouvrages hydrauliques dans la traversée du village de Saint-Guilhem-le-Désert ;
- Ou nécessitant le plus d'efforts pour la réparation des dommages.

Dans le cas présent, il est ciblé en priorité le piégeage des moyens et macro-flottants : grosses branches, troncs d'arbres... Il est considéré que les petits flottants traversent « plus facilement » les ouvrages hydrauliques aval ou causent des dommages moindres.

Il ne s'agit pas de causer un ou des barrages devenant peu perméables qui vont avoir un impact hydraulique important sur les écoulements ou perturber l'expansion des crues dans le lit majeur. Le piège à embâcles doit si possible limiter au mieux son impact hydraulique potentiel sur les écoulements et sur l'expansion des crues.

Dans un piège à embâcles classique, la distance inter-pieux conditionne les flottants qui pourront être bloqués par le peigne réalisé. Une interdistance de l'ordre de 1 m est relativement classique.

Dans un peigne avec des arbres, il faut tenir compte de l'espace nécessaire à chaque arbre afin de pouvoir se développer pour atteindre un système racinaire et un tronc de diamètre suffisant (> 20-30 cm) assurant une résistance suffisante aux crues.

Ainsi, il n'est pas envisageable d'implanter des arbres avec une interdistance de 1 m. Il est choisi un espacement entre arbres de 2 à 6 m. Cette distance permet un développement d'arbres pouvant atteindre des tailles moyennes à grandes selon leur besoin de canopée. Les arbres sont également mis à distance des chemins, cultures existantes... avec une distance minimale de 2 m.

En terme de choix de localisation, un piège à embâcles classique est souvent positionné perpendiculairement ou avec un léger biais par rapport aux écoulements. Différents types de piège à embâcles sont envisageables selon les opportunités offertes par le lit de la rivière :

- Piège à embâcles en travers de la totalité du lit mineur : Ce type de piège consiste souvent en une série de pieux implantés en travers du lit depuis la berge rive gauche jusqu'à la berge rive droite. Les pieux sont ancrés dans le substratum suffisamment profondément. Une semelle ou radier facilite la stabilité et l'entretien. Il arrive à bloquer les flottants circulant dans le lit mineur. En cas d'obturation par formation d'embâcles importants, il peut provoquer un exhaussement important de la ligne d'eau. Il est souvent nécessaire de l'éloigner des zones à enjeux du fait de cet impact hydraulique potentiel important. La surveillance et l'entretien doivent être fréquents pour réduire le risque d'une obturation importante du lit.
- Piège à embâcles en extrados de méandre : Le piège est implanté dans la partie du lit qui concentre les plus forts écoulements et/ou qui a le plus de chance de présenter des flottants. Comme il n'occupe qu'une partie du lit, l'impact hydraulique potentiel est moindre. Il nécessite souvent un renforcement de la berge concernée contre le risque d'érosion.
- Piège à embâcles en intrados d'une chicane du lit : Le piège est implanté dans une risberme creusée dans l'intrados d'une chicane. En période de crue, les écoulements ne suivent plus la chicane et deviennent rectiligne via la risberme.
- Piège à embâcles en lit majeur : Le piège est implanté en travers des écoulements en lit majeur. Il est opérationnel uniquement pour les crues débordantes. Les écoulements vers le piège peuvent être favorisés via l'aménagement d'un chenal d'amenée entre le lit mineur et la zone du lit majeur recevant le piège à embâcles.

Dans notre cas, le contexte correspond à l'implantation de piège naturel à embâcles en lit majeur.

L'utilisation d'arbres pour jouer le rôle de pieux du peigne formant le piège à embâcles ne permet pas l'implantation d'un peigne de manière rectiligne en travers des écoulements. Il est nécessaire d'implanter différemment le piège à embâcles pour tenir compte de l'espacement nécessaire entre arbres qui est plus important que l'interdistance entre pieux d'un piège à embâcles classique.

Les arbres sont ainsi positionnés au mieux pour faire obstacle au maximum aux lignes de courant des débordements pour :

- Assurer qu'un flottant rencontre probablement un arbre planté ;
- Favoriser une migration des flottants vers les bords du lit majeur sans retour vers le lit mineur.

Concernant les strates végétales à implanter, il est retenu les rôles suivants :

- La strate arbustive fléchit face aux écoulements ; Elle permet un ralentissement des écoulements ; Elle dévie les flottants vers la strate arborée ; Elle peut piéger les petits ou les moyens flottants ;
- La strate arborée est plus résistante face aux écoulements ; Elle joue le rôle d'un peigne ou filtre qui arrête les moyens ou macro-flottants ;

- La strate herbacée est intéressante pour combler les espaces restants afin d'améliorer la résistance des sols à l'érosion provoquée par les écoulements lors des crues débordantes.

Etant donné l'éloignement relatif du lit mineur et de la nappe d'accompagnement et compte tenu la nature caillouteuse du sous-sol, il sera à privilégier des essences végétales adaptées au contexte méditerranéen et à des périodes de manque d'eau ou de sécheresses récurrentes.

Il doit être choisi des essences à fort système racinaire permettant une bonne résistance du tronc à la poussée des eaux et des flottants. Il est à choisir des essences acceptant d'être rapprochées les uns des autres sans que cela nuise au développement d'un tronc de bon diamètre (supérieur à 20 cm environ à terme). Cela correspond souvent à des essences qui ont une canopée peu développée en diamètre et qui permet un bon ensoleillement de chaque individu.

Il est plutôt à envisager de planter une diversité d'essences adaptées :

- Au sol de la zone (limons, graviers, galets, cailloux, éboulis) ;
- Aux conditions hydriques (climat méditerranéen) ;
- A croissance rapide ;
- Et avec des systèmes racinaires bien développés pour un ancrage solide du végétal dans le sol.

Il n'est pas nécessaire des arbres de grande taille ou avec une canopée très développée, ce qui importe c'est la taille de leur tronc, leur résistance aux écoulements et embâcles et leur capacité à grandir dans l'espacement contraint qui leur est réservé.

En région méditerranéenne, les principales essences a priori possibles sont par exemple : Olivier, Frêne, Chêne pubescent, Chêne vert, Aubépine, Chèvrefeuille, Nerprun, Cormier, Alisier, Arbousier, Cornouiller, Troène...

Les cyprès sont également intéressants du fait de la forme réduite et colonnaire de leur canopée. Le cyprès commun « *cupressus sempervirens* » est un grand arbre étroit au port colonnaire et au feuillage persistant, typique des régions méditerranéennes. Cet arbre est très rustique. Il aime les sols frais et profonds mais supporte les sols secs. Il peut être planté en situation ensoleillée, à mi-ombre ou à l'ombre.

Il est sans doute à s'inspirer des essences d'arbres et d'arbustes non invasifs déjà présentes sur place dans la vallée du Verdus ou à proximité le long de la vallée de l'Hérault moyen.

Par ailleurs, il est également possible d'augmenter l'intérêt écologique de la zone de plantation en choisissant si possible des essences végétales qui répondent aux enjeux écologiques des nombreux périmètres de protections environnementales qui croisent la vallée du Verdus (Cf. rapport de phase 2).

Il est à prévoir un entretien de la végétation sur plusieurs années (>3 ans) pour assurer un développement correcte des plantations, notamment durant la période estivale ou en cas de sécheresse (arrosage régulier des jeunes arbres).

Un suivi régulier et post-crue débordant et un entretien dès que des ilots d'embâcles seront formés restent nécessaires pour garantir la pérennité de la végétation et leur bon fonctionnement type « piège à embâcles » en cas de crue débordante.

Le remplacement des végétaux morts et l'entretien occasionnel des arbres et arbustes, du sol sont également des éléments importants de gestion pour la durée de vie de l'aménagement.

La localisation des pièges naturels à embâcle proposés doit prendre en compte les contraintes ou facteurs d'aménagement suivants :

- Les pièges à embâcle doivent être implantés dans des zones de disponibilité foncière ou dans lesquelles des plantations sont envisageables ;
- Ils doivent être situés en amont des zones à protéger c'est-à-dire en amont de la traversée de Saint-Guilhem-le-Désert ;
- Ils sont si possibles situés au plus proche du lit mineur afin de permettre un renforcement de la ripisylve du lit du ruisseau ou une meilleure continuité de celle-ci ;
- Il faut prendre en compte la direction des écoulements et des débordements en crue pour implanter au mieux les troncs de végétation jouant un rôle de piège à embâcle. Dans le cas présent, la principale direction des débordements est celle de la vallée, à savoir d'Ouest en Est.

Compte tenu l'occupation des sols actuels et afin de conserver une possibilité d'activité sportive sur le stade Joseph PRADEL, il est proposé d'implanter des pièges naturels à embâcles dans les parcelles cadastrales suivantes :



Figure 10 : Parcelles cadastrales ciblées pour implanter des pièges naturels à embâcles

Au droit de ces parcelles, les écoulements ou débordements de crue sont :

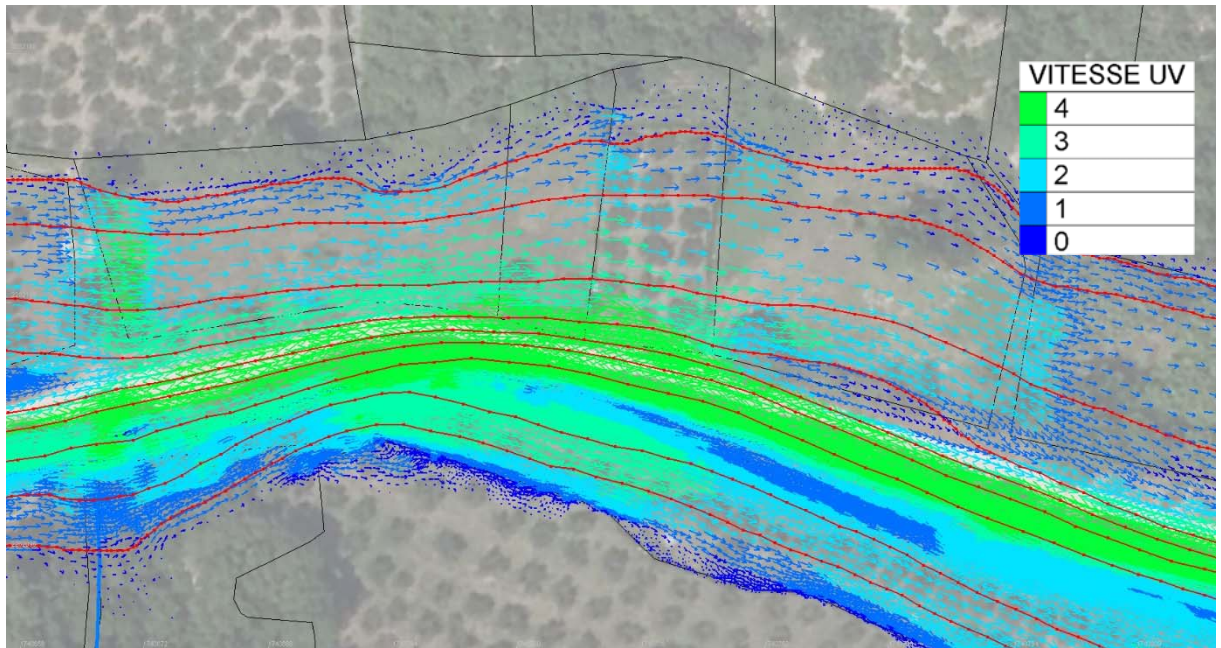


Figure 11 : Vue des vitesses et lignes de courant en rive gauche

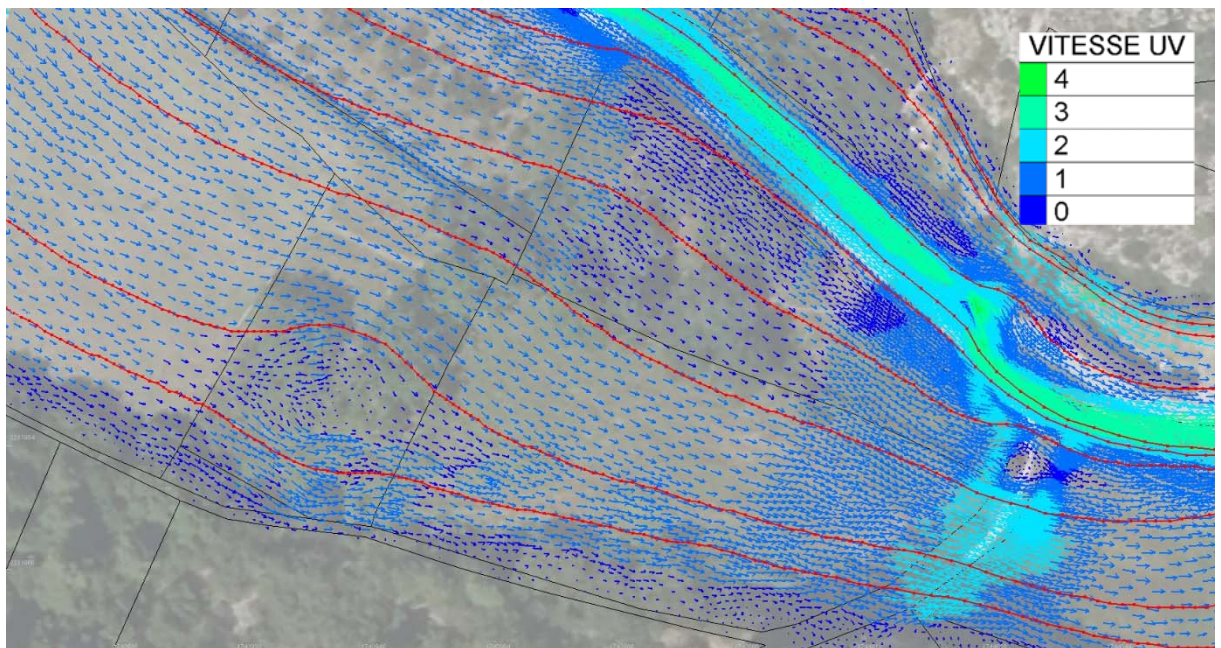


Figure 12 : Vue des vitesses et lignes de courant en rive droite

Commentaire : Les vitesses maximales de la crue centennale sont globalement inférieures à 2-3 m/s en rive gauche. Elles sont inférieures à 2 m/s en rive droite en aval du stade Joseph PRADEL. Ces valeurs de vitesse modérée à forte restent compatibles avec l'implantation d'arbres pour jouer un rôle de piège à embâcle. Leurs directions sont d'Ouest en Est et relativement parallèles à la direction de la vallée du Verdus sur la largeur du champ d'inondation.

Il est proposé l'implantation suivante des pièges naturels à embâcles (cf. en **Annexe A** pour plus de détail) :



Figure 13 : Vues en plan des pièges naturels à embâcles

Commentaires :

- L'arasement sur une hauteur de 0.4 m environ du petit merlon en rive gauche favorise l'entrée des débordements rive gauche vers le piège à embâcles ;
- Afin de favoriser les débordements vers la rive droite et permettre un fonctionnement au plus tôt du piège à embâcles rive droite, il est proposé d'abaisser le muret de berge rive droite situé en partie amont du stade Joseph PRADEL le long du ruisseau du Verdus à la cote du terrain naturel de la berge rive droite. Il est conservé la partie basse du mur de berge en pierres sèches existants (intérêt patrimonial) et les arbres existants situés en haut de berge ;
- La végétation existante située au droit des plantations est conservée. Les nouvelles plantations sont positionnées autour de la végétation existante en s'adaptant au mieux ;

- Il est à garder des accès transversaux depuis le chemin aux différentes allées entre les alignements d'arbres. C'est pourquoi les haies sont implantées 1 rang sur 2. Ces accès sont à garder pour faciliter les opérations d'entretien et d'évacuation des flottants ou embâcles post-crue débordante du ruisseau du Verdus. Il est préconisé une largeur minimale de 3 m pour le passage des engins. Il est à préférer des accès transversaux à la vallée pour éviter que ces axes deviennent des couloirs préférentiels de transport des flottants en période de crue.

En complément de ces pièges naturels à embâcles, il est nécessaire d'imaginer un ouvrage hydraulique de type piège à embâcles qui soit adapté au contexte singulier du projet et qui jouera un rôle de piège ou d'effet peigne pour les crues non débordantes ou pour les flottants qui arriveront à ne pas être piégés dans ces pièges naturels à embâcles filtrant les débordements en lit majeur rives gauche et droite.

Il s'agit donc d'imaginer un piège positionné entre ces pièges naturels amont et l'entrée de Saint-Guilhem-le-désert, à savoir la première galerie souterraine située en aval de la passerelle amont ou proche de la limite aval du parking amont du Pré des Pères.

A la pointe d'une crue décennale ou centennale, les écoulements sur le chemin, le lit mineur et la rive gauche au droit du stade vont ensuite s'écouler dans le lit ou en rive gauche à l'entrée de Saint-Guilhem-le-Désert.

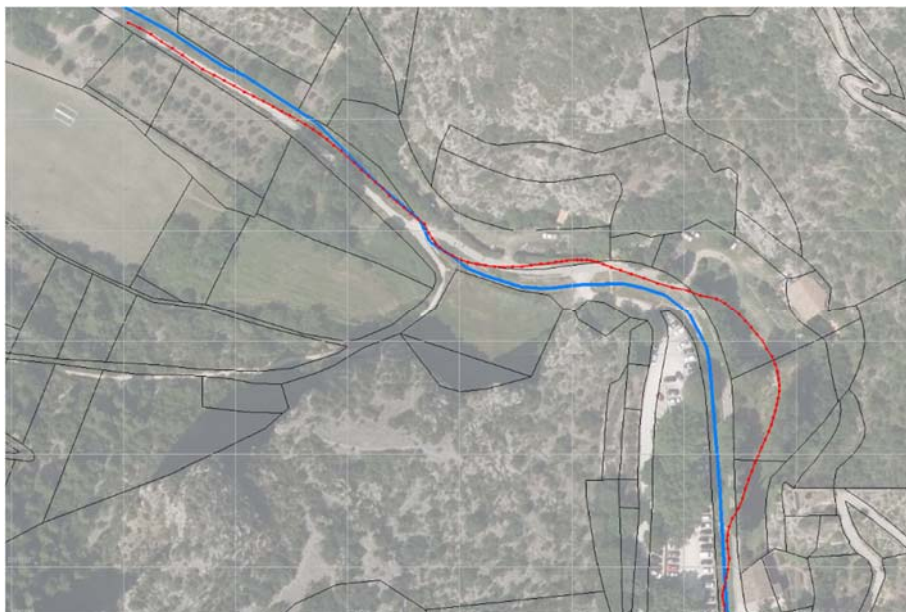


Figure 14 : Ligne de courant du chemin au stade Joseph PRADEL vers l'entrée de Saint-Guilhem-le-Désert

En terme de vitesses d'écoulement maximales, elles peuvent dépasser 3 m/s en rive droite et dans le lit mineur comme le montre la figure suivante :

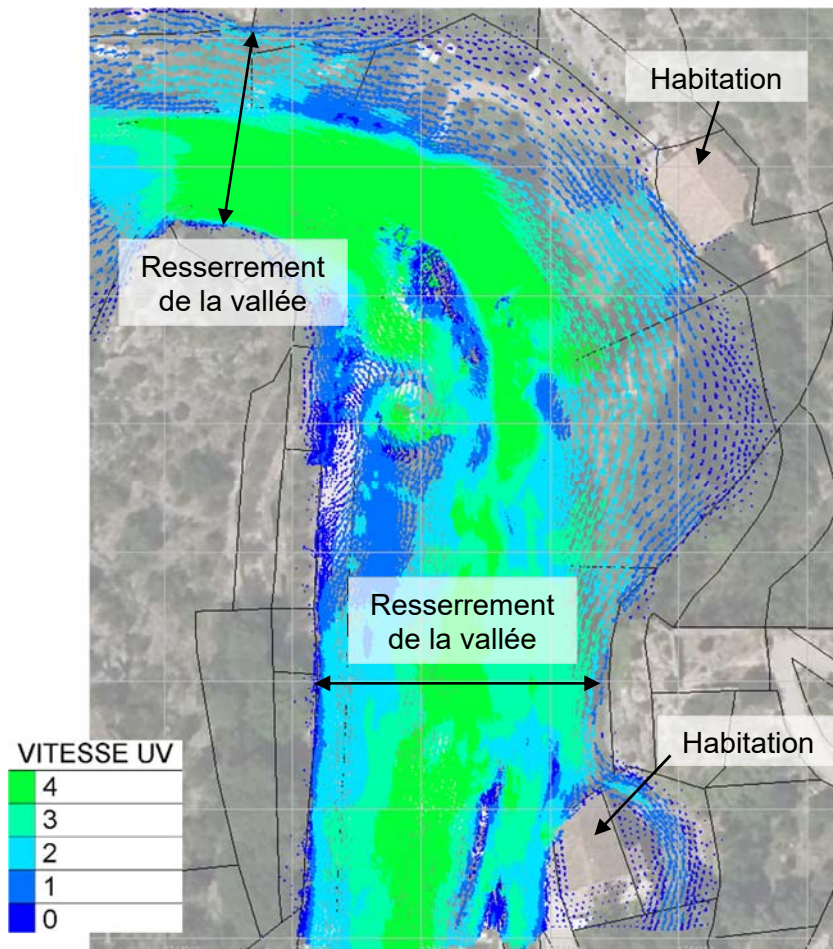


Figure 15 : Vitesses maximales des écoulements de la crue centennale en situation actuelle à l'entrée de Saint-Guilhem-le-Désert

Commentaire : En crue centennale, les vitesses d'écoulement dépassent souvent 2 m/s à l'entrée de la traversée de Saint-Guilhem-le-Désert. Au droit du resserrement de la vallée, elles dépassent 4 m/s en lit mineur et 3 m/s en rive gauche. Cela remet en question l'utilisation d'arbres pour jouer un rôle de piège à embâcles. La proximité avec la première galerie souterraine va également dans le sens d'éviter ce type d'aménagement végétal.

L'implantation d'un aménagement de type piège à embâcle à l'entrée de Saint-Guilhem-le-Désert nécessite de le positionner de telle manière à éviter des enjeux proches en amont de celui-ci afin de limiter l'impact hydraulique éventuel en cas de formation d'un embâcle rehaussant en amont la ligne d'eau maximale.

En aval de la 2^{ème} habitation de l'entrée de Saint-Guilhem-le-Désert (habitation du bas sur la figure précédente), l'obstruction d'un piège à embâcle serait similaire à un dysfonctionnement hydraulique de la première galerie souterraine, c'est-à-dire que cela provoque des débordements vers le parking du Pré des Pères (vers le lit majeur rive droite) ou vers la rue du Bout du Monde (en rive gauche entre les habitations). Aussi, il n'est pas pertinent d'implanter un piège à embâcles dans le lit en aval de cette limite.

Entre les 2 resserrements de la vallée, la végétation en rive gauche (haies, alignements d'arbres) ainsi qu'un mur transversal récent rive gauche dans le coude limitent la propagation de flottants en rive gauche. Aussi, même si le terrain situé entre l'alignement d'arbres de la

route et le rocher en amont de cette 2^{ème} habitation est intéressant pour implanter un piège à embâcle, celui-ci recevrait a priori peu de flottants. Il ne semble pas pertinent d'implanter un ouvrage de type piège à embâcle sur cette parcelle privée.

Plus en amont, au niveau du coude du premier resserrement de la vallée, l'implantation d'un piège à embâcles semble trop risquée. En effet, il y a une concentration de tous les écoulements. Un dysfonctionnement du piège à embâcle pourrait causer des dommages conséquents en aval. De plus, il est uniquement à chercher où positionner un piège à embâcles qui contrôle les lignes de courant arrivant du chemin ou du lit mineur.

Au final, l'endroit qui semble le plus pertinent pour implanter un piège à embâcles pour les écoulements du lit mineur du ruisseau reste plus en amont au droit du second piège naturel à embâcles.

Il est proposé l'implantation suivante d'un piège naturel à embâcles en rive gauche et un piège à embâcle de pieux en lit mineur, depuis le haut de berge rive gauche (jonction avec le piège naturel à embâcle) jusqu'au haut de berge rive droite (le long du chemin existant).

Sous réserve des conclusions de l'analyse géotechnique à mener, ce piège à embâcles serait a priori constitué de pieux en acier fondé dans le sol. Il est probable une semelle en béton armé afin de réduire la profondeur d'ancrage des pieux. Cette semelle pourra être enterrée ou recouverte par de la terre végétale ou des alluvions afin de masquer sa présence et améliorer l'intégration paysagère de l'aménagement.

L'espacement entre les pieux est fixé en fonction de la taille ou longueur des flottants que l'on souhaite bloquer. Les galeries souterraines limitantes amont sont des ouvrages voûtés de largeur / hauteur voisin de 1.6 à 3 m globalement.

En suivant les recommandations du document de référence « Embâcles : concilier gestion des risques et qualité des milieux. Guide de diagnostic et de recommandations – ISL / INRAE – Sept. 2022 », l'écartement des pieux optimal est souvent de l'ordre de $B_0 \approx B/3$ avec B la largeur d'ouverture de l'ouvrage à protéger.

Dans le cas présent, cela conduirait à une largeur ou espacement entre pieux de l'ordre de 0.53 m.

Une telle largeur entre pieux avec des pieux de diamètre supérieure a priori à 0.2 m conduirait à une diminution importante de la section d'écoulement par les pieux et à un piégeage des petits flottants transportés par les petites crues qui ne représentent pas de risque d'obturation des ouvrages hydrauliques dans la traversée de Saint-Guilhem-le-Désert.

A ce stade du projet, il est proposé de retenir un espacement entre pieux de l'ordre de 1 m. En considérant des pieux de 0.3 m de diamètre, il est proposé l'implantation de 19 pieux en L en travers du lit mineur depuis le piège naturel à embâcle de la rive gauche (en aval de la parcelle d'oliviers). Le piège avec pieux remonte entre le chemin et le lit mineur sur une dizaine de mètres pour former une zone de stockage des flottants retenus par ce piège.

La cote de la ligne d'eau centennale est voisine de 112.0 mNGF en lit mineur. La cote du chemin varie de 109.5 à 109.8 mNGF au droit du piège à embâcle du lit mineur. La cote du petit merlon longitudinale de haut de berge longeant le chemin varie de 109.8 à 110 mNGF. La cote de fond du lit est proche de 108.8 mNGF.

Autrement dit, en fond de lit et en prenant une revanche de sécurité de +1 m, il faudrait une hauteur de pieux de $112+1-108.8 = 4.2$ m. En rive droite, sur la partie remontante, la hauteur de pieux par rapport au chemin serait proche de $112+1-109.5 = 3.5$ m. Ces hauteurs sont très importantes et nécessiteront des pieux de diamètre et d'épaisseur importants avec un massif de fondation conséquent.

Par ailleurs, l'intégration paysagère de pieux de cette grande hauteur semble peu évidente. Il est sans doute à définir la hauteur de pieux possible dans le contexte du projet et compte tenu des contraintes locales pour ce type d'aménagement. Il s'agit a priori de réaliser la hauteur maximale de pieux envisageable même si celle-ci est inférieure à la cote centennale maximale. Plus la hauteur se rapprochera de la hauteur initiale minimale, plus la protection contre les embâcles se rapprochera d'une protection centennale.

A ce stade du projet, il est fait l'hypothèse de pieux de 2 m de hauteur maximum sur le bord du chemin et de 3 m en fond de lit. Le massif béton d'accompagnement serait de 2 m de largeur par 1 m de hauteur sur une longueur de 20 m (analyse à faire en phase AVP/PRO après étude mécanique des pieux et mission géotechnique déterminant la profondeur du substratum rocheux et sa résistance).

En cas de pieux de hauteur inférieure avec arase supérieure inférieure à la cote maximale de la crue centennale, il pourra être ajouté un dispositif de retenue des flottants en limite supérieure des pieux en veillant à une bonne intégration paysagère de ce dispositif additionnel.



Figure 16 : Exemple de pieux acier avec dispositif additionnel de retenue des flottants en cas de surverse des pieux

Il est ainsi proposé comme aménagement de protection contre les embâcles (cf. en **Annexe A** pour plus de détail) :

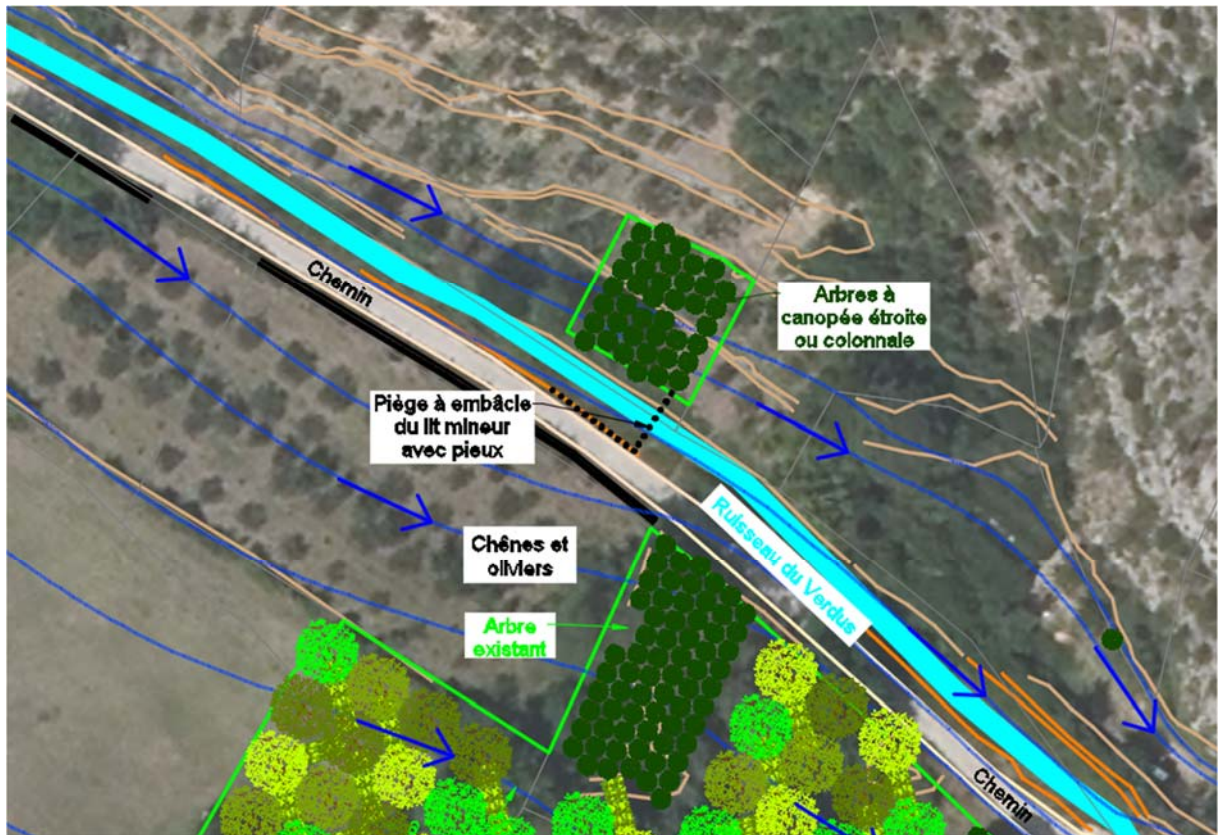


Figure 17 : Vue en plan du piège à embâcles pour les écoulements du lit mineur

Commentaires :

- Globalement, seul le chemin n'est pas traversé par un piège à embâcle. Néanmoins, compte tenu des lignes de courant simulées, il est probable que les flottants passant sur le chemin passent par l'un des pièges à embâcle implantés dans le lit mineur ou majeur. Compte tenu des différences éventuelles entre les simulations menées et la réalité d'une crue avec ses aléas, il reste possible le passage de flottants par le chemin mais cela devrait rester peu important en volume. S'il est souhaité améliorer la protection, il est envisageable d'étendre le piège à embâcle du lit en y intégrant le chemin avec des pieux amovibles au droit du chemin. Cela engendre un coût supplémentaire et une contrainte de gestion nécessitant d'aller mettre les pieux amovibles à chaque alerte de crue. A ce stade du projet, même si la protection est moindre, il est proposé une solution opérationnelle 24h/24 sans intervention préalable.
- En phase AVP / PRO du projet, il est à réaliser une analyse géotechnique des sols au droit des lieux d'implantation des pieux (sondages...). Les résultats de cette analyse devront permettre de définir le type de fondation, de préciser la conception des aménagements (semelle béton, protection des berges...), les dimensions structurales des pieux (profondeur d'enfoncement, matériaux, diamètre...) ainsi que le mode de réalisation des travaux (battage, terrassement, forage...).
- Il sera également à prendre en compte, en phase travaux et d'exploitation, la présence proche d'un futur forage AEP avec un périmètre de protection renforcée pouvant probablement recouper tout ou partie des pièges à embâcles. Il est à ce jour identifié le

risque suivant lors des travaux : « Le fait de forer à proximité d'un forage en production peut générer un risque de turbidité et de rupture de l'alimentation en eau. Les alluvions se situent de 1 à 10 m de profondeur, le niveau d'eau statique en étiage est de 4 à 5 m. Le fait de forer à plus de 4m peut donc entraîner une agitation de l'eau et générer un risque de turbidité. »

- Pour faciliter l'intégration paysagère des alignements de pieux, améliorer la perception visuelle de ces ouvrages et intégrer un aspect artistique, il pourra être recherché :
 - A réaliser des légères courbes plutôt que des lignes droites ;
 - A faire varier la cote d'arase des pieux selon de courtes ou grandes courbes, avec une cote minimale d'arase fixée ;
- Enfin, s'il est souhaité une efficacité rapide du piège à pieux en lit mineur sans attendre le développement du petit piège naturel le bordant, il pourrait être ajouté quelques pieux remontant le long de la rive gauche, pour éviter un contournement du piège à pieux par cette rive sur le délai nécessaire au développement des arbres.

Pour rappel, les autres actions d'aménagement ou de restauration proposées sont :

- Restauration d'une ripisylve continue sur les berges du ruisseau : Pour obtenir un lit mineur qui transporte peu les flottants, il serait à recommander une re-végétalisation naturelle ou volontaire des berges du Verdus car la ripisylve actuelle n'est pas continue d'amont en aval de la vallée en amont du village. Il est au moins à veiller à un entretien moins drastique sur les berges qui laisse un libre écoulement uniquement entre le pied des berges sur une largeur constante d'amont en aval correspondant à la largeur moyenne du lit (environ 2-3 m maximum). Plus la ripisylve est présente en berge, plus elle est à même de réduire la longueur de cheminement d'un flottant arrivant du bassin versant. Si la ripisylve est en bon état et entretenue et adaptée à résister aux crues (choix approprié des essences à avoir en berge), elle produira peu de flottants supplémentaires. Globalement, les bénéfices de la ripisylve en services écosystémiques pour la régulation des crues sont supérieures aux désavantages liés à la présence d'une strate arborée ou arbustive le long du ruisseau.



Figure 18 : Lit mineur du Verdus avec peu ou pas de ripisylve pouvant bloquer les flottants amont

- Suppression des blocs gênant les écoulements sous la passerelle : Plusieurs blocs de pierre et un arbuste gênent le libre écoulement sous la passerelle amont en entrée du village de Saint-Guilhem-le-Désert. En réduisant la section d'écoulement, ces obstacles aux écoulements augmentent le risque de formation d'embâcles au droit de la passerelle. Il est proposé de retirer du lit mineur ces éléments afin de faciliter les écoulements sous la passerelle et réduire au maximum le risque de formation d'embâcles au droit de la passerelle.



Figure 19 : Blocs et végétation limitant la section d'écoulement sous la passerelle amont

II.3. CHIFFRAGE DES PIEGES A EMBACLES

Le chiffrage sommaire prend en compte le phasage des travaux et les conditions de réalisation des travaux. Les prix comprennent la fourniture et pose des matériaux.

Le chiffrage des travaux des aménagements prévus (hors coût d'éventuelle acquisition foncière, études ou investigations complémentaires à mener en phase PRO, études réglementaires...) est détaillé ci-après :

Etude hydraulique complémentaire du piège à embâcle du Verdus
en amont de Saint-Guilhem-le-Désert

N° prix	Intitulé	Unité	Qté	PU	Coût €HT	
	Installation et repli du chantier, études d'exécution	U	1.0	10%		14 453.00 €
106	Mise en place d'un dispositif de veille météorologique et hydraulique	Ft	1.0	250.0 €		250.00 €

Piège naturel à embâcles en rive gauche en amont du stade Joseph PRADEL

107	Aménagement facile de l'accès	Ft	1.0	2 000.0 €	2 000.00 €	
209	Débroussaillage	m2	2470.7	0.4 €	988.26 €	
404	Ensemencement ou enherbement avec variétés sélectionnées	m2	2470.7	2.0 €	4 941.32 €	
414	Plantations d'arbustes (60-80cm)	U	314.0	10.0 €	3 140.00 €	
415	Plantations d'arbres (80-120cm)	U	53.0	30.0 €	1 590.00 €	
415	Plantations d'arbres (80-120cm)	U	105.0	30.0 €	3 150.00 €	
422	Entretien sur la 1ière année après plantation	%	12821.3	35.0%	4 487.46 €	
423	Entretien sur la 2ième année après plantation	%	12821.3	30.0%	3 846.40 €	
424	Entretien sur la 3ième année après plantation	%	12821.3	15.0%	1 923.20 €	
Sous-total €HT					26 066.64 €	

Piège naturel à embâcles en rive droite en aval du stade Joseph PRADEL

107	Aménagement facile de l'accès	Ft	1.0	2 000.0 €	2 000.00 €	
209	Débroussaillage	m2	4185.2	0.4 €	1 674.08 €	
404	Ensemencement ou enherbement avec variétés sélectionnées	m2	4185.2	2.0 €	8 370.40 €	
414	Plantations d'arbustes (60-80cm)	U	690.0	10.0 €	6 900.00 €	
415	Plantations d'arbres (80-120cm)	U	80.0	30.0 €	2 400.00 €	
415	Plantations d'arbres (80-120cm)	U	182.0	30.0 €	5 460.00 €	
422	Entretien sur la 1ière année après plantation	%	23130.4	35.0%	8 095.64 €	
423	Entretien sur la 2ième année après plantation	%	23130.4	30.0%	6 939.12 €	
424	Entretien sur la 3ième année après plantation	%	23130.4	15.0%	3 469.56 €	
Sous-total €HT					45 308.80 €	

Piège naturel à embâcles en rive gauche en aval du stade Joseph PRADEL

107	Aménagement facile de l'accès	Ft	1.0	2 000.0 €	2 000.00 €	
108	Aménagement d'un franchissement provisoire des eaux rivière	Ft	1.0	3 000.0 €	3 000.00 €	
209	Débroussaillage	m2	189.5	0.4 €	75.80 €	
201	Abattage arbres <30cm	U	5.0	150.0 €	750.00 €	
213	Dessouchage arbres <30cm	U	5.0	100.0 €	500.00 €	
404	Ensemencement ou enherbement avec variétés sélectionnées	m2	189.5	2.0 €	379.00 €	
415	Plantations d'arbres (80-120cm)	U	40.0	30.0 €	1 200.00 €	
422	Entretien sur la 1ière année après plantation	%	1579.0	35.0%	552.65 €	
423	Entretien sur la 2ième année après plantation	%	1579.0	30.0%	473.70 €	
424	Entretien sur la 3ième année après plantation	%	1579.0	15.0%	236.85 €	
Sous-total €HT					9 168.00 €	

Etude hydraulique complémentaire du piège à embâcle du Verdus
en amont de Saint-Guilhem-le-Désert

Piège à embâcles avec pieux en rive gauche en aval du stade Joseph PRADEL						
107	Aménagement facile de l'accès	Ft	1.0	2 000.0 €	2 000.00 €	
104	Gestion des eaux	Ft	1.0	5 000.0 €	5 000.00 €	
209	Débroussaillage	m2	100.0	0.4 €	40.00 €	
312	Extraction de déblais et évacuation avec transfert à >3 km	m3	80.0	25.0 €	2 000.00 €	
309	Utilisation du brise-roche hydraulique sur ouvrage ou en terrain rocheux et évacuation	m3	20.0	60.0 €	1 200.00 €	
417	Pieux bois ou cylindrique acier 4 m / Ø300	U	14.0	1 400.0 €	19 600.00 €	
425	Pieux bois ou cylindrique acier 6 m / Ø300	U	5.0	2 200.0 €	11 000.00 €	
333	Fourniture et pose de coffrages simples	m2	50.0	60.0 €	3 000.00 €	
334	Fourniture, mise en forme et pose des armatures Fe500	kg	1600.0	2.5 €	4 000.00 €	
336	Fourniture et coulage du béton C30/37 pour ouvrages, murs, dalles...	m3	40.0	400.0 €	16 000.00 €	
Sous-total €HT					63 840.00 €	
					TOTAL €HT sans aléa	159 086.44 €
Aléa : 20%					TOTAL €HT avec aléa	190 903.73 €
					TVA : 20%	38 180.75 €
					TOTAL €TTC	229 084.47 €
					TOTAL €HT avec aléa arrondi à :	191 000.00 €
					TOTAL €TTC	230 000.00 €

Tableau 1 : Chiffrage sommaire des aménagements pour piéger les flottants en amont de Saint-Guilhem-le-Désert

Commentaires :

- Le coût total des travaux serait de l'ordre de **230 000 €TTC** ;
- Il est considéré qu'il est mis en œuvre des jeunes plants d'arbre de taille 80-120 cm. S'il est mis des arbres plus grands de taille 150-200 cm permettant un développement plus rapide de la végétation, le coût global augmenterait à 313 000 €TTC.

II.4. PHASAGE DES AMENAGEMENTS

Les plantations des pièges naturels à embâcle peuvent être faites indépendamment de l'aménagement du piège à embâcles dans le lit mineur.

Le piège à embâcle avec pieux en lit mineur assurera une protection dès sa réalisation.

Les pièges naturels à embâcle assureront une protection progressivement au fur et à mesure du développement de la végétation. Il est probable une protection quasi-nulle durant les 5 premières années de pousse de la végétation. Au bout de 3 à 5 ans, les haies seront développées. Il restera à la strate arborée à devenir suffisamment résistante face aux fortes crues du ruisseau du Verdus.

II.5. IMPACT HYDRAULIQUE

Le dispositif proposé devrait avoir un impact hydraulique comparable au dispositif initial de pièges à embâcles déjà simulé compte tenu que cette solution s'inspire ou est similaire de la

solution initialement imaginé (cf. étude précédente pour détail sur l'impact hydraulique de la solution initiale).

III. Conclusion

Le dispositif proposé de pièges à embâcles sur le ruisseau du Verdus en amont de la traversée de Saint-Guilhem-le-Désert adopte une stratégie « Faire avec la Nature ».

Il cherche une meilleure intégration paysagère des aménagements et une plus grande compatibilité du projet avec les différents périmètres de protection ou de préservation existant au droit de la zone de projet.

Le dispositif proposé s'appuie en lit majeur sur des pièges naturels à embâcles qui sont un agencement choisi de haies et d'alignements d'arbre. Ce type d'aménagement ne permet pas une protection immédiate et nécessite un suivi ou un entretien sur une longue durée pour s'assurer d'un bon développement et d'un bon état sanitaire de la végétation les composant.

Le dispositif proposé en lit mineur reprend une solution plus classique de pieux acier en L par rapport à l'axe du lit.

Le dispositif proposé a un impact hydraulique limité en cas d'obstruction partielle des pièges à embâcles. Il n'y a pas d'aggravation du risque inondation au droit des enjeux situés plus en aval.

Sous réserve des études complémentaires à réaliser, le coût total des aménagements proposés serait de l'ordre de **230 000 €TTC**.

Annexe A : Vues en plan du dispositif de pièges à embâcles





Echelle : 1/500
Unités : en m / en mNGF /
pente en m/m / Ø en mm

Date: 03/2024

Communauté de Communes Vallée de l'Hérault
Etude hydraulique complémentaire du piège à embâcle du Verdus en amont de Saint-Guilhem-le-Désert
Vue de l'implantation des pièges naturels à embâcles

Créé par : CCE&C

Indice

A01

N° dossier : E23-06

1

N° fichier : PROJ_piège_naturel_embacle_V4.dwg

