



Mandat P14334 - 5252/4004

Yverdon-les-Bains, le 10 mars 2015

## Renaturation du Pégran partie aval (Grande-Cariçaie)

# Rapport d'étude préliminaire



Sur mandat de:

DGE-EAU Division économie hydraulique M. Olivier Stauffer Rue du Valentin 10 1014 Lausanne



## Table des matières

1	Intro	duction	2
	1.1	Mandat	.2
	1.2	Périmètre d'étude	.2
2	Ouvra	age sous la route cantonale	3
	2.1	Objectifs et contraintes	.3
	2.2	Données de bases	.3
	2.2.1	Débits de crue	3
	2.2.2	Données topographiques et profils en travers	3
	2.2.3	Rugosités	4
	2.2.4	Conditions aux limites	4
	2.3	Etat actuel	.6
	2.4	Etat futur	.7
3	Ouvra	age de surverse	8
	3.1	Variante n°1	.8
	3.2	Variante n°2	0
	3.3	Enjeux écologiques1	1
	3.3.1	Création de milieux naturels remarquables	1
	3.3.2	Répercussions sur le tronçon amont renaturé 1	2
	3.4	Comparaison des deux variantes	3
	3.4.1	Estimation sommaire des quantités et des coûts	3
	3.4.2	Analyse multicritères	3
4	Recor	nmandations 1	4

## **Annexes**

- A. Lignes de niveau d'eau pour l'ouvrage sous la RC actuel avec seuil sur le chemin forestier
- B. Lignes de niveau d'eau pour l'ouvrage sous la RC futur avec seuil sur le chemin forestier

## Organisation des mandataires

Le bureau Prona SA assure la direction et la coordination générale de ce projet avec le bureau Stucky SA comme spécialiste pour les aspects hydrauliques.

Les chapitres 1, 3 et 4 du présent rapport ont été rédigés conjointement par les bureaux Stucky SA et Prona SA.

Le chapitre 2 ainsi que les annexes A et B correspondantes ont été intégralement réalisés par Stucky SA.

## 1 Introduction

#### 1.1 Mandat

Le ruisseau du Pégran, situé sur les communes de Cudrefin et Haut-Vully, est alimenté par un bassin versant d'environ 3.1 km². Sur son tronçon aval, avant son embouchure dans le lac de Neuchâtel, le cours d'eau s'écoule dans une section trapézoïdale partiellement endiguée. Il traverse une zone de forêt alluviale appartenant à la réserve naturelle de Cudrefin. Cette zone de milieu humide est apparue sur les berges exondées du lac de Neuchâtel suite à la première (1868-1878) et à la seconde (1962-1973) correction des eaux du Jura. Ces corrections successives des eaux du Jura ont permis de réguler les niveaux des trois lacs. Cette régulation entraîna en toute logique la diminution des fluctuations des niveaux du lac. Cependant, ces fluctuations entraînaient des inondations fréquentes des rives du lac et étaient propices au développement de milieux naturels spécifiques.

Fin décembre 2014, la DGE-EAU a mandaté les bureaux Prona et Stucky pour réaliser un projet de renaturation du Pégran pour sa partie située en aval de la route cantonale (RC) 503. Ce projet s'effectue dans la continuité des travaux de renaturation de la partie agricole du Pégran effectués en 2014-15 en amont de la RC.

Le but recherché de ce projet est de redynamiser le bas-marais et la forêt alluviale par la diffusion des eaux du Pégran dans les milieux humides de la réserve naturelle. L'étude préliminaire a pour but d'évaluer l'impact du remplacement de l'ouvrage actuel sous la route cantonale, d'étudier la faisabilité hydraulique d'une surverse en aval et de proposer des solutions pour la valorisation écologique des milieux associés au ruisseau.

## 1.2 Périmètre d'étude

Situé sur la commune de Cudrefin, le périmètre d'étude englobe le tronçon du cours d'eau s'écoulant entre la RC 503 et l'embouchure du Pégran dans le lac, comme l'illustre la figure 1 ci-après. Pour les calculs hydrauliques liés au passage sous la RC, le tronçon d'étude se limite à une cinquantaine de mètres en amont de la RC et une centaine de mètres à l'aval de celleci.



Figure 1: localisation du périmètre d'étude (source : Swisstopo)

# 2 Ouvrage sous la route cantonale

## 2.1 Objectifs et contraintes

Les modélisations hydrauliques unidimensionnelles réalisées avec le logiciel HEC-RAS dans le cadre de la présente note ont pour objectifs de vérifier que le projet de surverse à l'aval dans la zone alluviale conjugué au remplacement de l'ouvrage actuel sous la route cantonale ne péjore pas la situation actuelle vis-à-vis du risque d'inondation. Elles ont aussi pour but, si nécessaire, de redimensionner le nouvel ouvrage sous la route cantonale de sorte à permettre la mise en place de la surverse et de garantir l'objectif sécuritaire.

En aval de la route cantonale, aucun enjeu sécuritaire ou foncier n'est présent. En amont de celle-ci, un débordement en rive droite se produit dès que la ligne d'eau atteint environ 431 ms.m. En effet, sur cette rive, il n'y a pas de digue et le niveau de la berge correspond au niveau de la route. Le tronçon sur lequel les débordements se produisent (point bas) se situe 250 à 300 m en amont de la route cantonale.

La ferme en rive droite aux « Peupliers » est surélevée par rapport au terrain naturel avoisinant (env. 50 cm selon le MNT) et le volume de stockage potentiel en rive droite (aux « Grande Mottes ») est très important (150'000 m³ dans le casier d'inondation fermé par la route cantonale à la cote de 431.1 m.s.m.)¹.

## 2.2 Données de bases

#### 2.2.1 Débits de crue

Les débits de crues du Ruisseau du Pégran sont tirés de la base de données GESREAU du Canton de Vaud et sont visibles au tableau 1 ci-après.

Temps de retour [an]	2	5	10	30	100	300	Extrême <sup>2</sup>
Débits [m³/s]	2.3	3.8	3.7	4.7	5.7	6.6	8.5

Tableau 1 : débit de crue du ruisseau de Pégran (source : GESREAU)

Ces débits sont déterminés à l'aide de la méthode rationnelle dans GESREAU.

## 2.2.2 Données topographiques et profils en travers

La géométrie des ouvrages actuels et futurs présents sur le ruisseau du Pégran nous a été transmise par le bureau Prona sous la forme de profils en travers et d'un profil en long<sup>3</sup>. Une série de relevés GPS haute précision du cours d'eau en aval de la route cantonale et de la zone alluviale réalisée par l'association de la Grande Cariçaie nous a aussi été transmise (relevés effectués le 29 novembre 2014).

Ces différents éléments ont été complétés par des relevés sommaires au télémètre lors de notre visite sur site du 14 janvier 2015 et par les données topographiques (MNT Swisstopo et Etat de Vaud).

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Courriel du 16 janvier 2015





<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Le volume de crue extrême du Ruisseau du Montet (bassin versant de 3.4 km²) est estimé à 130'000 m³ (Rapport Stucky 5252/4002, décembre 2014)

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Obtenu en multipliant le débit Q<sub>100</sub> par 1.5

#### 2.2.3 Rugosités

Les coefficients de rugosité suivants sont admis pour les modélisations hydrauliques.

Type de surface	Rugosité de Strickler (K) [m <sup>1/3</sup> /s]
Berges (herbes)	29
Fond du lit mineur	33
Lit majeur renaturé	10
Forêt alluviale	9
Béton	67
Métal (ponceau en métal ondulé)	40

Tableau 2 : coefficient de rugosité utilisé pour les modélisations hydrauliques (sources : Stucky)

#### 2.2.4 Conditions aux limites

Les écoulements dans le Pégran, sur le tronçon d'étude, sont de nature fluviale. Ainsi, la ligne d'eau est conditionnée par le niveau d'eau à l'aval.

Lors des périodes de hautes eaux, l'écoulement dans le tronçon de l'ouvrage sous la route cantonale est significativement impacté par le niveau du lac de Neuchâtel. L'effet est d'autant plus important que le débit du Pégran est faible. A l'inverse, lorsque le débit du Pégran est élevé et/ou que le niveau du lac de Neuchâtel est bas, le niveau de la ligne d'eau sur le tronçon d'étude est majoritairement contrôlé par la capacité du tronçon d'étude en lui-même et par celle de la section critique au droit du chemin forestier situé à environ 220 m à l'aval de la route cantonale. En cas de crue du Pégran, le chemin forestier (photo 1) agit comme un seuil. En effet, pour des débits importants, le chemin forestier est noyé et la différence de niveau d'eau entre l'amont et l'aval de celui-ci est donc faible. En outre, on peut vraisemblablement admettre que le tuyau métallique qui permet l'écoulement de faibles débits sous le chemin sera en partie ou totalement obstrué par les matériaux (bois) transportés par le cours d'eau. Par conséquent, le débit passant sous le chemin forestier peut être négligé au regard du débit de crue totale.



Photo 1 : chemin forestier à l'aval de la route cantonale au droit du Pégran (source : Stucky)

Cette limite aval est retranscrite dans le modèle comme une section de 15 m de large dont le niveau inférieur est fixé sur la base des relevés GPS (figure 2). Le niveau d'eau dans cette section est fixé comme égale à la hauteur critique. Il faut noter qu'au droit du passage du Pégran, le chemin est « surélevé ».

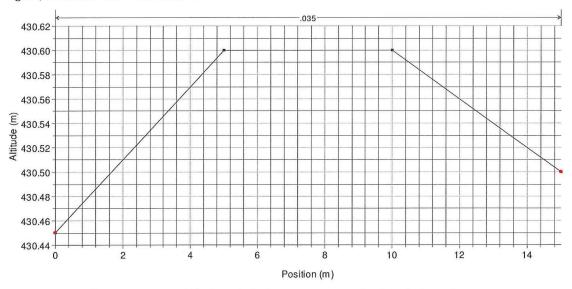


Figure 2 : profil en travers modélisé au droit du passage sous le chemin forestier (profil en long simplifié du chemin, échelle fortement déformée) (source : Stucky)

Il est à noter que le modèle ne considère pas de déversement latéral (c.à.d. que le modèle ne soustrait pas les débits débordés). Dans les faits, la capacité des tronçons en aval du chemin forestier est insuffisante pour faire transiter la totalité des débits de crues (en admettant qu'ils n'aient pas été laminés en amont de la route cantonale). Cette approche simplifiée permet de comparer l'état actuel avec l'état aménagé du point de vue du risque d'inondation, indépendamment des hypothèses relatives aux capacités des tronçons en aval et aux niveaux du lac.

#### 2.3 Etat actuel

Cette modélisation représente le tronçon d'étude dans son état de janvier 2015. Elle considère les éléments suivants :

- Tronçon en amont de la route cantonale dans son état renaturé (élargissement, nouveaux ouvrages de franchissement agricoles, etc.)
- Passage sous la route cantonale constitué de deux ponceaux rectangulaires et superposés (0.8 m de large par 1.3 m de haut environ).

Les résultats des modélisations sont visibles à la figure 3 ci-après et à l'annexe A.

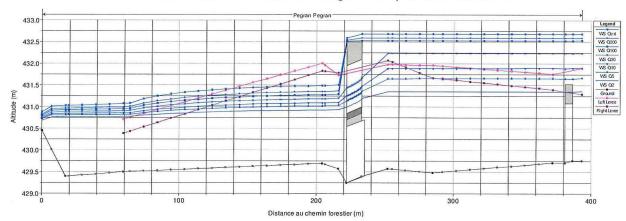


Figure 3: ouvrage sous la RC actuel avec seuil sur le chemin forestier (source: Stucky)

Cette modélisation montre que le voûtage inférieur de l'ouvrage sous la route cantonale se met en charge dès le débit bisannuel. Pour ce même débit, le voûtage supérieur est atteint et le niveau est proche du seuil critique de 431 ms.m. à partir duquel des débordements se produisent en rive droite.

Ces résultats peuvent paraître alarmants pour les crues de faible temps de retour, mais doivent être regardés à la lumière des hypothèses conservatrices qui sont utilisées dans la modélisation.

La Figure 3 ci-avant montre des lignes d'eau dépassant le niveau de la route cantonale (crue trois centennale et extrême). Toutefois, avant que l'ouvrage de la route cantonale ne se mette complètement en charge, des débordements se produiront en rive droite à l'amont. Ces débordements engendreront le remplissage du casier d'inondation en rive droite, à l'amont de la route cantonale (terrain agricole). Pour la crue centennale, le volume de crue<sup>4</sup> est d'environ 90'000 m³. Ce volume est inférieur au volume du casier précité (voir § 2.1). Ainsi, le remplissage du casier sera partiel et le niveau d'eau à l'amont de la route cantonale restera contrôlé par le niveau du chemin agricole.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Estimé sur la base de l'étude de danger du ruisseau de Montet (Rapport Stucky 5252/4002, 9 décembre 2014)



6/14

## 2.4 Etat futur

Cette modélisation représente le tronçon d'étude avec le nouveau voûtage. Elle considère les éléments suivants :

- Tronçon en amont de la route cantonale dans son état renaturé (élargissement, nouveaux ouvrages agricoles, etc.)
- Passage sous la route cantonale constitué d'une buse de type Sytec (ponceau en métal ondulé, de 2.2 m de haut et 3.2 m de large)

Le profil en travers de la buse est présenté à la figure 4.

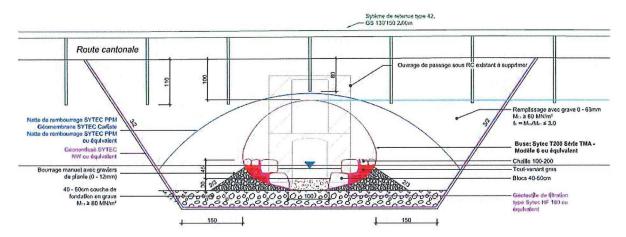


Figure 4 : profil en travers du futur ouvrage sous la route cantonale ; Le trait horizontal rouge représente la cote 430 ms.m (source : Prona)

Les résultats des modélisations sont visibles à la Figure 5 ci-après et à l'annexe B.

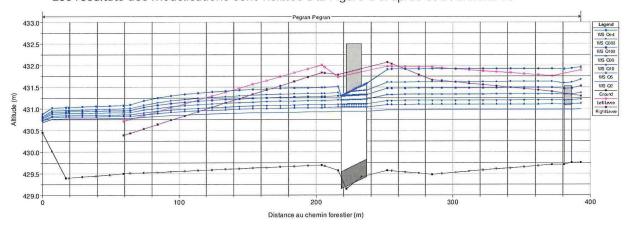


Figure 5 : ouvrage sous la route cantonale futur avec seuil sur le chemin forestier (source : Stucky)

L'augmentation de la capacité de l'ouvrage sous la route cantonale par rapport aux deux voûtages rectangulaires existants diminue grandement l'ampleur de la courbe de remous à l'amont. L'exhaussement du plan d'eau, respectivement la perte d'énergie au droit de l'ouvrage, est nettement réduit.

Les modélisations montrent aussi que l'ouvrage permettrait de faire passer la crue bisannuelle sans que la cote critique de 431 ms.m. (début des débordements à l'amont en rive droite) ne soit atteinte. En outre, l'augmentation du niveau d'eau en fonction du débit est nettement plus faible qu'avec l'ouvrage actuel.

## 3 Ouvrage de surverse

L'objectif de la surverse du ruisseau est de créer des milieux plus humides par l'inondation permanente de la zone alluviale, à l'aval de la route cantonale, avec les eaux du Pégran.

Afin d'inonder la plus grande surface possible, le MNT (figure 6) montre qu'une surverse en rive droite serait plus favorable qu'en rive gauche. La rive droite est occupée par une parcelle appartenant à la surface agricole utile (SAU) et exploitée en prairie de fauche et pâturage (1 fauche annuelle en été puis pâturage en automne). L'exploitante agricole (Mme Pascale Cornuz) contactée dans le cadre de ce mandat n'est pas favorable à une inondation même partielle de cette parcelle pour des raisons techniques d'exploitation agricole et financières. Selon elle, une inondation partielle de la parcelle entrainerait une modification de la flore de la prairie et donc un manque à gagner si la flore ne correspond plus aux exigences de qualité biologiques requises selon l'Ordonnance sur la qualité écologique (OQE) pour lesquelles elle touche des primes.

Deux variantes d'aménagement de la surverse sont proposées en fonction des contraintes liées à la parcelle agricole et à des enjeux écologiques.

#### 3.1 Variante n°1

La variante 1 prévoit de réaliser la surverse uniquement en rive gauche afin de pouvoir permettre de continuer l'exploitation actuelle de la parcelle agricole.

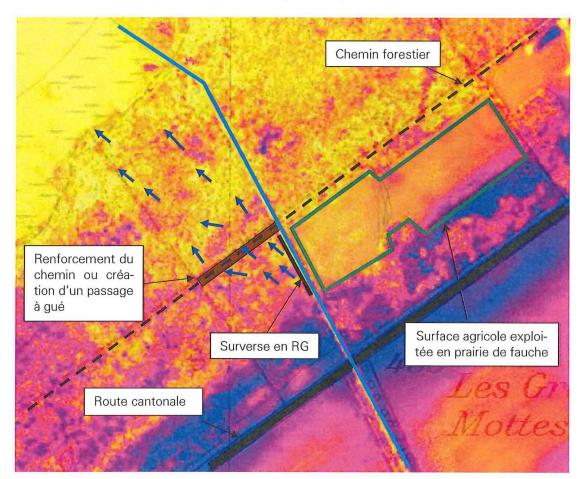


Figure 6 : MNT de la zone alluviale (les altitudes basses sont en jaune et les élevées en violet) (source : MNT de l'Etat de Vaud), adapté V1.

L'aménagement de la surverse comprendrait les éléments suivants:

- travaux forestiers en rive gauche, exportation et/ou valorisation du matériel sur site;
- excavation de la digue en rive gauche sur environ 100 m en amont du chemin forestier :
- remblayage des matériaux extraits en rive droite afin de renforcer et surélever la digue protégeant la parcelle agricole sur 100 m à l'amont du chemin forestier;
- aménagement du chemin forestier sur 100 m côté ouest, de façon à permettre le passage de l'eau dans des tuyaux sous ce dernier, ou abaissement du chemin pour créer un passage à qué;
- obstruction du tuyau sous le chemin forestier.

L'obstruction du tuyau sous le chemin forestier entraînera une diminution de la vitesse de l'écoulement et une élévation du niveau d'eau en amont (jusqu'à une cinquantaine de centimètres), y compris en période d'étiage. Ainsi, le tronçon est susceptible de se remplir d'alluvions et des interventions de curage seront nécessaires à moyen/long terme.

Avec l'ouvrage projeté sous la route cantonale (buse Sytec) et avec une largeur de surverse de 20 m seulement à une cote inférieure à 430.5 ms.m. environ, le modèle montre que le risque d'inondation ne sera pas augmenté par rapport à l'état actuel. Dans le cas où l'ouvrage projeté sous la route cantonale serait partiellement alluvionné (env. 1 m de dépôts), le risque d'inondation serait semblable à la situation actuelle.

La topographie locale permet l'aménagement d'une surverse en rive gauche sur une centaine de mètres en amont du chemin forestier. Celle-ci respecterait les conditions d'altitude et de largeur de surverse (le terrain a une altitude d'environ 430.1 ms.m. et le chemin forestier de 430.3 ms.m.). La photo 2 ci-après montre la zone de surverse.



Photo 2 : zone de surverse (source : Stucky)

D'une manière générale, les déversements qui favorisent une diminution du niveau d'eau en cas de crue en aval de l'ouvrage sous la route cantonale sont favorables à la protection de l'amont. À l'inverse, le rehaussement d'une rive, et donc la diminution du débit déversé, devrait être compensé par l'augmentation des déversements sur la rive opposée.

#### 3.2 Variante n°2

La variante 2 propose le même principe que la variante 1 mais avec une surverse sur les deux rives. Cette variante vise à favoriser une inondation plus diffuse de part et d'autre du chenal actuel, ce qui impliquera une inondation partielle de la prairie agricole. La figure 7 ci-après illustre le principe.

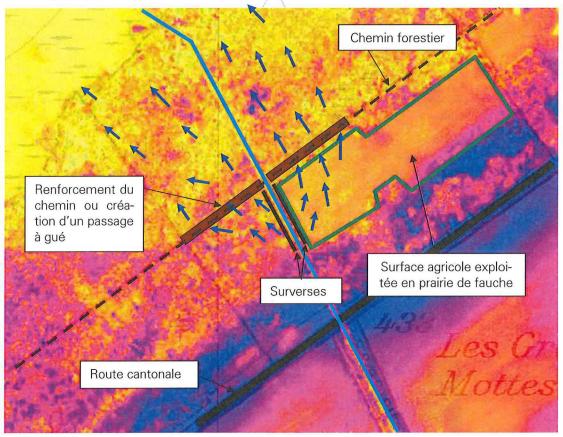


Figure 7 : MNT de la zone alluviale (les altitudes basses sont en jaune et les élevées en violet) (source : MNT de l'Etat de Vaud), adapté V2.

L'aménagement des surverses de part et d'autre du ruisseau comprendrait les éléments suivants:

- travaux forestiers en rive gauche et droite, exportation et/ou valorisation du matériel sur site;
- excavations des digues en rive gauche et rive droite sur environ 100 m en amont du chemin forestier et évacuation des matériaux terreux extraits;
- aménagement du chemin forestier sur 100 m à l'est et sur 100 m à l'ouest, de façon à permettre le passage de l'eau dans des tuyaux sous ce dernier, ou abaissement du chemin pour créer un passage à gué;
- obstruction du tuyau sous le chemin forestier.

L'obstruction du tuyau sous le chemin forestier entraînera, comme pour la variante 1, une diminution de la vitesse de l'écoulement et une élévation du niveau d'eau en amont.

Après observation du MNT il apparait que les altitudes sont plus basses au-delà de la rive droite qu'au-delà de la rive gauche. Ainsi, un écoulement préférentiel des eaux pourrait en priorité avoir lieu en direction de la parcelle agricole.

#### 3.3 Enjeux écologiques

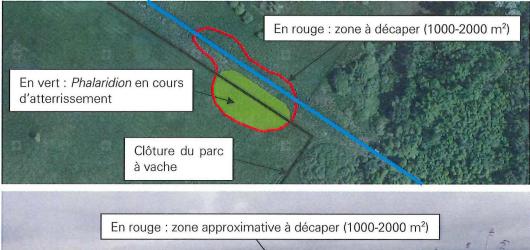
Les enjeux et les potentialités écologiques du projet ont été discutés en coordination avec l'association de la Grande Cariçaie.

## 3.3.1 Création de milieux naturels remarquables

Une diffusion maximale et diffuse des eaux à travers l'espace forestier est souhaitée pour favoriser une dynamique de forêt alluviale et améliorer la saturation du marais en eau plus en aval. La forêt alluviale doit permettre de décharger l'eau du Pégran des nutriments et des fines avant la pénétration des eaux dans le marais. L'apport régulier en eau dans la forêt favoriserait, à plus ou moins long terme, l'apparition de milieux naturels humides particulièrement intéressants pour la diversité biologique tels : l'aulnaie noire, l'aulnaie alluviale ou la frênaie humide.

Dans le cas de la variante 2 (voir § 3.2), la diffusion des eaux dans la parcelle agricole favoriserait probablement, à terme, une transformation de la flore de celle-ci en bas-marais de type Phragmition ou Phalaridion.

A la sortie de la forêt, on observe une roselière terrestre (Phalaridion) en cours d'atterrissement sur la rive gauche du Pégran. Pour améliorer la diversité et la qualité biologique des milieux contigus au cours d'eau, il est proposé de décaper une zone incluant le Phalaridion afin de créer des mares temporaires annexes au Pégran. Cette intervention nécessite un décapage d'une profondeur irrégulière de 15-30 cm sur une surface située entre 1'000 et 2'000 m². Elle permettrait de créer une succession de gouilles temporaires inondées et exondées en fonction de la hauteur des eaux. L'objectif écologique principal de ce décapage est de créer des lieux de reproduction favorables à la rainette verte dont plusieurs populations sont recensées à proximité, au détriment de la grenouille rieuse qui a tendance à coloniser la zone.



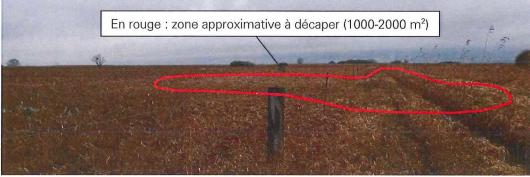
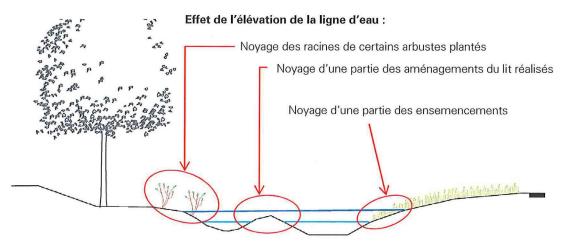


Figure 8 : illustration de la zone où le décapage est proposé (source : Swisstopo / Prona)

## 3.3.2 Répercussions sur le tronçon amont renaturé

Quelle que soit la variante de surverse retenue, l'obstruction du tuyau sous le chemin forestier va engendrer une augmentation du niveau d'eau (y compris en période d'étiage) d'environ 50 cm. Cette augmentation engendre des répercussions sur le tronçon renaturé du Pégran en amont de la RC 503. Cette nouvelle ligne d'eau va noyer une partie des aménagements réalisés (gouilles à batraciens, bras morts, etc.) et rapprocher la ligne d'eau des pieds d'arbustes plantés en rive gauche tel qu'illustré sur la figure 9 ci-après.

Selon le profil en long, un effet d'élévation de la ligne d'eau devrait être constaté jusqu'à environ 200 m en amont de la RC.



Ligne d'eau actuelle

Ligne d'eau élevée de 50 cm suite à l'obstruction du tuyau sous le chemin forestier

Figure 9 : illustration des effets de l'élévation du niveau d'eau sur le profil en travers du tronçon amont renaturé

Lors de l'aménagement du chemin forestier pour permettre le passage de l'eau sous ce dernier, la question de la migration des poissons devra également être abordée. En obstruant le voûtage actuel, la migration des poissons pour remonter le Pégran depuis le lac pourrait être empêchée si les eaux du Pégran se diffusent complètement dans le marais.

## 3.4 Comparaison des deux variantes

## 3.4.1 Estimation sommaire des quantités et des coûts

A l'étape de l'étude préliminaire, une estimation financière à +/- 30% d'exactitude est proposée dans le tableau 3 ci-après :

Т	RAVAUX PREVUS	Prix	VARIANTE 1		VARIANTE 2	
	HAVAOXITIEVOS	unitaire	Quantité	Coûts (CHF)	Quantité	Coûts
1	Travaux forestiers: abattage arbres,					
	déchiquetage et exportation du bois	80/m <sup>3</sup>	75 m <sup>3</sup>	6'000.00	120 m <sup>3</sup>	9'600.00
2	Excavations des digues sur env.	15/m <sup>3</sup>	400 m <sup>3</sup>	6'000.00	550 m <sup>3</sup>	8'250.00
3	Remblayage en rive droite	18. <b>-/</b> m³	400 m <sup>3</sup>	7'200.00	-	0.00
4	Exportation matériaux terreux	45/m <sup>3</sup>	-	0.00	550 m <sup>3</sup>	24'750.00
5	Aménagement du chemin forestier: rehaussement et mise en place de					
	tuyaux pour écoulement de l'eau.	100/ml	100 ml	10'000.00	200 ml	20'000.00
6	Obstruction du tuyau sous le chemin	200		W West old order		
_	forestier.	500/pce	1 pce	500.00	1 pce	500.00
7	Décapage d'une zone de 1'500 m²	20/m <sup>3</sup>	450 m <sup>3</sup>	9'000.00	450 m <sup>3</sup>	9'000.00
8	Epandage de la matière organique sur					
	champs par agriculteurs	12/m <sup>3</sup>	450 m <sup>3</sup>	5'400.00	450 m <sup>3</sup>	5'400.00
	TOTAL HT (CHF)			44'100.00		77'500.00

Tableau 3 : Estimatif des coûts des travaux prévus

#### 3.4.2 Analyse multicritères

L'analyse multicritère est un outil d'aide à la prise de décision qui énumère les enjeux du projet et fixe une appréciation pour chacun d'eux en fonction des deux variantes. Le résultat de cette analyse n'est pas figé et devra être discuté lors de la séance de présentation des résultats.

Enjeux	Variante n°1	Variante n°2
Enjeu sécuritaire de protection contre les crues	0	0
Enjeu écologique de redynamisation des milieux naturels rivulaires	+	++
Enjeu agronomique de maintien de la prairie de fauche	О	-
Répercussion sur le tronçon amont à la RC (augm. ligne d'eau et noyage d'une partie des aménagements)	-	-
Coûts des travaux	+	-

#### Légende :

- effet attendu plutôt défavorable
- O aucun effet attendu
- + effet attendu bénéfique
- ++ effet attendu bénéfique supérieur

Tableau 4 : analyse multicritères des variantes

## 4 Recommandations

Afin de réduire le risque inondation, nous recommandons de remplacer l'ouvrage actuel sous la route cantonale par l'ouvrage tel que planifié dans le projet de renaturation amont. Ce nouvel ouvrage réduira de manière significative le risque d'inondation à l'amont (fréquence hydrologique décennale contre bisannuelle actuellement).

Pour la redynamisation des milieux humides de la réserve de Cudrefin, deux variantes peuvent être envisagées :

- la première avec une surverse aménagée uniquement en rive gauche du ruisseau sur une centaine de mètres en amont du chemin forestier. Cette dernière permettrait d'inonder environ 5'000 m² de zone alluviale en amont du chemin forestier et de garantir la protection de la parcelle agricole sise en rive droite.
- La deuxième variante avec une surverse aménagée sur chaque rive du ruisseau (RG et RD), également sur une centaine de mètres en amont du chemin forestier. Cette variante permettrait de diffuser les eaux de part et d'autre du ruisseau, avec un écoulement préférentiel en rive droite dans la parcelle agricole, où la topographie naturelle est la plus basse. L'exploitation agricole de la parcelle devra alors être adaptée.

Au cas où une des variantes venait à être réalisée, il deviendrait impératif de remplacer l'ouvrage actuel sous la route cantonale par l'ouvrage de plus grand gabarit proposée dans le projet de renaturation amont. Il sera aussi nécessaire de maintenir un accès pour curer le lit du ruisseau à l'aval de la route cantonale.

Finalement, compte tenu de la diminution des vitesses d'écoulement sur le tronçon renaturé en amont de la route cantonale et donc de l'augmentation du risque de déposition de matériaux, nous recommandons aussi de maintenir le dépotoir situé juste en amont du tronçon renaturé fin 2014.

Prona SA

Andreas Hufschmid

Directeur

e.r. Gabriel Gerber

Chef de projet

Stucky SA

Vincent Dehail

Chef de projet

Auteurs:

Prona SA: Mathieu Baumann, ingénieur de projet

Gabriel Gerber, chef de projet

Stucky SA: Michaël Rusconi, ingénieur de projet

Vincent Dehail, chef de projet



## Annexe A

Lignes de niveau d'eau pour l'ouvrage sous la RC actuel avec seuil sur le chemin forestier





## Annexe A: Lignes de niveau d'eau pour l'ouvrage sous la RC actuel avec seuil sur le chemin forestier

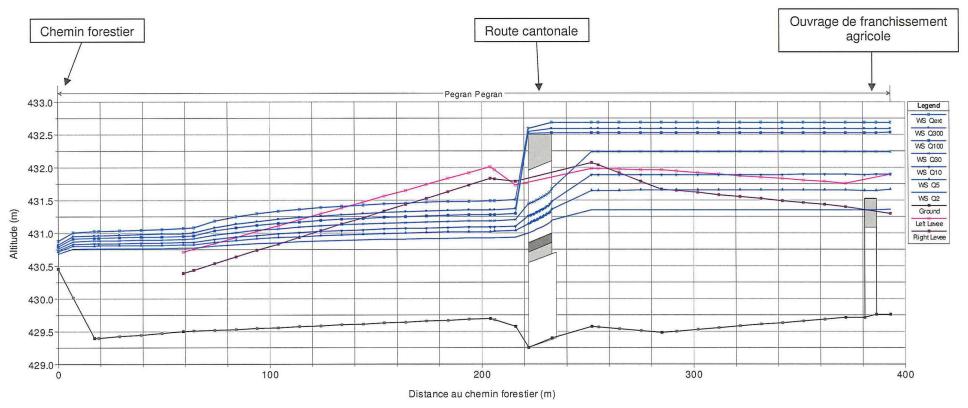


Figure 1 : Ligne de niveau d'eau pour différentes crues  $(Q_2, Q_5, Q_{10}, Q_{30}, Q_{100}, Q_{300})$  et  $Q_{ext}$ , en rose niveau de la digue gauche et en violet niveau de la digue droite

## Annexe B

Lignes de niveau d'eau pour l'ouvrage sous la RC futur avec seuil sur le chemin forestier



# Annexe B : Lignes de niveau d'eau pour l'ouvrage sous la route cantonale futur avec seuil sur le chemin forestier

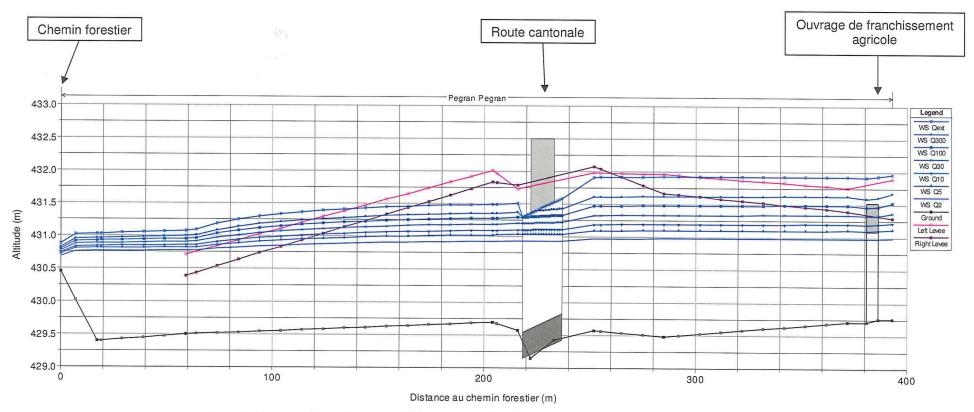


Figure 2 : Ligne de niveau d'eau pour différentes crues ( $Q_2$ ,  $Q_5$ ,  $Q_{10}$ ,  $Q_{30}$ ,  $Q_{100}$ ,  $Q_{300}$  et  $Q_{ext}$ ), en rose niveau de la digue gauche et en violet niveau de la digue droite