



L'Entente Oise Aisne : Etablissement public territorial de bassin



Propositions d'aménagements hydrauliques sur le bassin versant du ru de Fayau pour limiter le risque de ruissellement à AIZELLES (02)

LICENCE PROFESSIONNELLE : FORET, GESTION ET
PRESERVATION DE LA RESSOURCE EN EAU

Promotion 2018/2019

Stagiaire : Lemaitre Geoffrey

Maitre de stage : Mr Cornet Jean-Michel

Tuteur : Mr Frayon Thierry



Remerciements

Avant de développer la réalisation de l'étude de mon rapport de stage je tenais à remercier tout d'abord Mr CORNET directeur de l'Entente Oise-Aisne qui m'a permis de réaliser ce stage dans les meilleures conditions et d'acquérir une expérience professionnelle de qualité.

De plus je remercie également Marjorie ANDRE directrice de l'appui aux territoires pour m'avoir dirigé et conseillé durant toute la durée de l'étude ainsi que Thierry FRAYON mon tuteur de stage, qui travaille dans le service des milieux aquatiques et maîtrise des ruissellements. Je remercie également Thomas LEBRETON pour l'initiation au logiciel HEC-HMS ce qui m'a permis de modéliser le bassin versant du lieu d'étude et de ses nombreux conseils ainsi que ses retours d'expériences.

Je remercie aussi toute l'équipe de l'Entente Oise-Aisne qui m'a accueillie et accompagné dans ce stage.

Je remercie également les élus Mr Merlo, maire de la commune d'Aizelles et Mr Raverdy, maire de la commune d'Aubigny-en-Laonnois qui m'ont accueilli sur leur territoire pour réaliser l'étude ainsi que tous les exploitants et propriétaires du bassin versant.

Enfin je tenais à remercier tous mes formateurs durant cette année de licence professionnelle qui m'ont apporté beaucoup de connaissances pour aborder ce stage dans les meilleures conditions.

Résumé

Mots clés : Ruissellement, érosion, inondation, modélisation, génie végétal,

Ce rapport a été réalisé en trois grandes parties afin de pouvoir traiter au mieux la problématique de lutte contre le ruissellement afin de réduire le risque d'inondation. Ces 3 parties sont :

- L'analyse et le contexte du bassin versant avec toutes les données importantes pour la suite de l'étude comme une analyse géographique du bassin versant, des données climatiques, l'aspect socio-économique, la géologie et enfin une analyse agricole. Ensuite il a été mis en avant les objectifs de l'étude et le but de l'utilisation du génie végétal.
- Ensuite, la partie méthodes et applications nous a permis de modéliser et quantifier les volumes et débits que nous pouvons retrouver lors de précipitations. Grâce à ces estimations, nous avons élaboré un programme d'aménagement avec l'utilisation d'ouvrages d'hydrauliques douces (haies, fascines, bandes enherbées, noues). Une deuxième estimation a été réalisée avec les aménagements pour pouvoir estimer les bénéfices des ouvrages de génie végétal dans la gestion du ruissellement
- Enfin, dans la dernière partie de cette étude, il a été mis en avant une partie analyse, résultats et discussion. Cette partie a permis de vérifier la réglementation et la compatibilité avec les textes de lois pour l'implantation d'ouvrages. Ensuite le plan d'aménagement a été estimé pour pouvoir mettre en avant le coût d'installation et le coût d'entretien du projet. Ces coûts ont permis de réaliser la pertinence du projet grâce à l'Analyse Coût-Bénéfices.

Ce projet permettra de réduire les volumes d'eau ruisselés, créer un déphasage entre les axes d'écoulement et ainsi éviter des inondations pour des pluies annuelles à décennale. Au-delà, les ouvrages joueront leur rôle, diminueront le débit et ainsi la hauteur d'eau dans le village, néanmoins le risque d'inondation reste présent dans cette commune.

Abstract

Keywords: runoff, erosion, flooding, modelling, plant engineering,

This report has been produced in three main parts in order to be able to best deal with the problem of control of run-off, these 3 parts are:

- The analysis/context of the watershed with all the important data for the continuation of the study such as a watershed analysis, climate data, socio-economic aspect, geology and finally an agricultural analysis. Then it was recalled the objectives of the study and the purpose of the use of plant engineering.
- Then, the methods and applications part allowed us to model and quantify the volumes and flows we can find during precipitation. Thanks to these estimates, we have developed a development program with the use of soft hydraulic structures (hedges, fascines, grass strips, valleys). A second estimate was made with the development to estimate the benefits of plant engineering works in runoff management.
- Finally, in the last part of this study, a section on analysis, results and discussion was highlighted. This part allowed to verify the regulation and the compatibility with the texts of law for the implementation of works. Then the development plan was estimated to be able to highlight the installation cost and the maintenance cost of the project. These costs made it possible to achieve project relevance through the Cost-Benefit Analysis.

This project will reduce the volumes of water flowing and thus avoid floods for rains of return from 1 to 10 years after, works will play their role, will reduce the flow and thus the height of water in the village, nevertheless, the risk of flooding remains present in this commune.

Table des matières

TABLE DES MATIÈRES	1
PREAMBULE / INTRODUCTION	3
I. ROLE DE L'ENTENTE OISE-AISNE DANS LA LUTTE CONTRE LE RUISSELLEMENT	5
II. CONTEXTE DU BASSIN VERSANT ET DE SON ENVIRONNEMENT	5
1 : LOCALISATION	5
2 : BASSIN VERSANT	6
3 : DONNEES CLIMATIQUES	6
4 : ASPECT SOCIO-ECONOMIQUE	7
5 : GEOLOGIE	8
6 : ANALYSE AGRICOLE	9
III. CADRE DE L'ETUDE	10
1 : OBJECTIFS DES TRAVAUX	10
<i>A : Limiter les inondations et les coulées de boue</i>	<i>10</i>
<i>B : Gestion du ruissellement</i>	<i>10</i>
<i>C : Stratégie d'aménagement</i>	<i>12</i>
2 : LE DEVELOPPEMENT DU GENIE VEGETAL DANS LA GESTION DU RUISSELLEMENT	12
<i>A : Biodiversité et aspect paysager</i>	<i>13</i>
<i>B : Avantages économiques</i>	<i>14</i>
IV. METHODES ET APPLICATIONS	14
1: MODELISATION ET FONCTIONNEMENT HYDRAULIQUE DU BASSIN VERSANT	14
<i>A : Présentation du logiciel</i>	<i>14</i>
<i>B : Hypothèses de travail</i>	<i>15</i>
<i>C : Résultats obtenus</i>	<i>15</i>
2 : LOCALISATION ET INSTALLATION DES AMENAGEMENTS	16
<i>A : Typologie d'ouvrages</i>	<i>16</i>
<i>B : Proposition d'emplacement du projet d'aménagements</i>	<i>18</i>
<i>C : Concertation entre les acteurs (maitre d'ouvrage, mairies, propriétaire, exploitants)</i>	<i>19</i>
<i>D : Cadastre de la zone d'étude</i>	<i>19</i>
<i>E : Dimensionnement des ouvrages</i>	<i>19</i>
1 : Capacité de stockage des ouvrages	19
2 : Composition des ouvrages de génie végétal	20
<i>F : Les différentes grandes étapes du Projet</i>	<i>22</i>
V. COMPATIBILITE AVEC LA REGLEMENTATION	23
1 : SDAGE (SCHEMA DIRECTEUR D'AMENAGEMENT ET DE GESTION DES EAUX)	23
2 : SAGE AISNE VESLE SUIPPE	23
3 : PPRI (PLAN DE PREVENTION DES RISQUES D'INONDATIONS)	24
4 : DOSSIER LOI SUR L'EAU	26
5 : PGRI (PLAN DE GESTION DES RISQUES D'INONDATION)	26
VI. ENTRETIEN DES OUVRAGES	27
1 : ENTRETIEN ANNUEL	27
2 : ENTRETIEN EXCEPTIONNEL	27
VII. RESULTATS, ANALYSES ET DISCUSSION	28
1 : COUT GLOBAL DU PROJET	28
<i>A : Coût des ouvrages</i>	<i>28</i>
1 : Programme d'indemnisation	28
2 : Coût de réalisation	28
<i>B : Coût de l'entretien</i>	<i>28</i>



<i>C : Financier du projet</i>	28
2 : ANALYSE COUTS BENEFICE	28
LA PERTINENCE DU PROJET.	29
<i>A : La Valeur Actualisée nette</i>	29
<i>B : Le rapport des bénéfices totaux sur les coûts totaux</i>	29
CONCLUSION	30
GLOSSAIRE	31
BIBLIOGRAPHIE	32
LISTE DES FIGURES	34
LISTE DES TABLEAUX	34
LISTE DES ANNEXES	35
ANNEXES	36

Préambule / Introduction

Les Hommes se sont installés sur les abords des cours d'eau pour des raisons pratiques.

En effet un cours d'eau offre de nombreux services à l'Homme (transport, commerce, alimentation). De plus, les peuples ont plus de facilité à s'installer dans les fonds de vallées que sur des secteurs à forts reliefs c'est pour cela qu'aujourd'hui un grand nombre de villes sont installées à proximité des berges de nos cours d'eau. Les villes s'étendent à cause de l'augmentation de la population ce qui limite l'expansion des cours d'eau lorsqu'ils montent en charge.

On retrouve ce phénomène dans cette étude, Aizelles est traversée par le ru de Fayau. Lorsque le volume est supérieur à la capacité d'écoulement du ru, cela provoque une montée des eaux dans la commune créant des inondations.

La commune d'Aizelles est marquée par une vulnérabilité importante aux risques des inondations causées par un ruissellement fort (Le ruissellement se définit comme « *l'écoulement par gravité de l'eau à la surface du sol suite à des précipitations* » (Le Bissonnais et al., 2002)), cela est dû aux pentes importantes du bassin versant, en effet on observe une répétition des phénomènes d'inondations et de coulées de boues assez régulières comme du 23 au 26 juin 1983 , 29 mai 1992, du 25 au 29 décembre 1999 , le 11 mai 2000 et enfin les 23 et 26 juillet 2001, ces phénomènes ont été classés en état de catastrophe naturelle. Depuis 2001, d'autres inondations, moins importantes ont eu lieu. Le dernier événement date du 12 juin 2018 avec 2h de précipitations ce qui a provoqué un apport d'eau de ruissellement important et une nouvelle montée des eaux dans la commune.

L'érosion par ruissellements consécutifs aux précipitations intenses provoque des dégâts aux terres agricoles en emportant les éléments fertiles du sol. « *L'érosion des sols se développe lorsque les eaux de pluie, ne pouvant plus s'infiltrer dans le sol, ruissellent sur la parcelle en emportant les particules de terre.* » Le Bissonnais et al, 2002. Ces particules de terre provoquent une dégradation de la qualité des eaux, un comblement du ru et le déplacement de sédiments formant des coulées de boues dommageables pour les zones urbanisées situées en aval.

En 2015, une première étude a été réalisée. Elle consiste à l'implantation d'un ouvrage de régulation du débit pour retenir l'eau de ruissellement au moment des fortes précipitations. Les études de sol réalisées à deux endroits différents ont relevé une présence de tourbes importantes et donc un sol instable pour l'implantation de cet ouvrage. La stabilité de l'ouvrage serait difficile à assurer techniquement. De plus, la réalisation de l'ouvrage aurait été trop onéreuse par rapport au coût des dégâts dans la commune aux moments des inondations. Pour compenser, une première campagne de plantation de haie a eu lieu sur le bassin versant du ru de Fayau afin de limiter le risque de ruissellement. La haie de 175 ml implantée en amont du village (annexe 1) a fonctionné (d'après le dépôt de terre en amont de la haie) notamment à l'été 2018 lors d'un orage, néanmoins cela n'a pas été suffisant car le ruissellement a provoqué une montée des eaux dans la commune.

De plus, des travaux vont être réalisés dans le village, ils consistent à élargir le lit mineur du ru afin d'augmenter la capacité d'écoulement lorsqu'il montera en charge.

En 2019, l'étude est relancée car l'orage de 2018 a créé une nouvelle inondation (*L'inondation est une submersion temporaire, par l'eau, de terres qui ne sont pas submergées en temps normal, quelle qu'en soit l'origine. L'expression recouvre les inondations dues aux crues des rivières, des torrents de montagne et des cours d'eau intermittents méditerranéens, aux remontées de nappe, aux ruissellements urbains et agricoles ainsi que les submersions marines au-delà des limites du rivage de la mer*). L'étude consiste à la réalisation d'un programme d'action pour la mise en place d'ouvrages

hydrauliques douces afin de ralentir, infiltrer ou stocker temporairement l'eau de ruissellement sur l'ensemble du bassin versant.

Il ne s'agit pas d'éliminer les inondations mais de les réduire afin les rendre acceptables pour tous les riverains. Des crues continueront à se produire sur le ru de Fayau, c'est un phénomène naturel qui participe au fonctionnement de l'écosystème. Mais chacun doit prendre ses responsabilités pour conserver une vallée vivante et habitée.

Quels aménagements sont-ils possibles de réaliser sur le bassin versant pour réduire le risque d'inondations dans la commune d'Aizelles ?

Pour répondre à cette question, le rapport est organisé de la façon suivante :

- Il présente dans un premier temps le territoire de l'étude, son contexte géographique, climatique, géologique, agricole et humain.
- Dans une deuxième partie, il présente succinctement le projet encadrant l'étude, les objectifs des travaux.
- Puis il se penche en détail dans une troisième partie sur la modélisation, les simulations et les différentes méthodes employées pour limiter le ruissellement dans la commune.
- La compatibilité avec la réglementation est présentée, analysée et interprétée dans une quatrième partie.
- Enfin la dernière partie du rapport présente la partie économique et financière du projet.

I. Rôle de l'Entente Oise-Aisne dans la lutte contre le ruissellement

L'Entente Oise-Aisne est un syndicat mixte ouvert, également reconnue établissement public territorial de bassin (EPTB) défini par le code de l'environnement. Cette collectivité est composée de 15 salariés dirigés par Mr CORNET Jean-Michel, répartis en 3 services (annexe 2). Durant ce stage, j'ai été affecté au service appui aux territoires dirigés par Mme ANDRE Marjorie avec comme tuteur Mr FRAYON Thierry.

L'Entente Oise-Aisne est compétente et exerce des missions d'après le code de l'environnement L.211-7 sur le bassin versant de l'Oise, de l'Aisne et de tous leurs affluents soit 16 900 km² traversant 6 départements. (Annexe 3).

Les compétences (Entente Oise-Aisne, 2019) sont :

- La prévention des inondations (item 5),
- L'animation et la concertation (item 12),
- La lutte contre le ruissellement (item 4), c'est grâce à cette compétence que j'ai réalisé l'étude pour la lutte contre le ruissellement.

Or, pour que l'Entente exerce des travaux ou des actions il faut que les EPCI ou les départements soient adhérents à l'Entente d'après la loi GEMAPI mis en place le 01 janvier 2018.

Pour l'animation et la concertation, l'Entente est compétente sur la quasi-totalité du bassin versant grâce au transfert des 5 départements.

Pour la compétence PI, l'Entente comporte 25 adhérents représentant environ 40% de la superficie du bassin versant.

Et enfin pour la compétence ruissellement, 2 départements et 1 EPCI ont transféré la compétence à l'Entente. Pour Aizelles (02), l'étude ayant commencé avant la loi GEMAPI, il est normal que l'Entente Oise-Aisne finisse l'étude même si l'EPCI concerné (Communauté de communes du chemin des dames) n'est pas adhérente au titre du ruissellement.

L'Entente Oise-Aisne réalise des actions locales en complément des actions réalisées à l'échelle du bassin versant. Il s'agit d'actions comme la création et les suivis d'ouvrages de protection contre les inondations. Le sujet d'Aizelles, consiste à gérer le ruissellement provoquant des inondations dans cette commune.

II. Contexte du bassin versant et de son environnement

1 : Localisation



Aizelles est une commune de la région des Hauts-de-France dans le département de l'Aisne. Elle se situe à environ 30 km au Nord-Ouest de Reims. Ce Village d'environ 125 habitants (en 2016) est traversé par le ru du Fayau qui est un affluent de la Miette, elle-même affluent de l'Aisne. (Annexe 3).

Le bassin versant du ru de Fayau se trouve entièrement dans la zone naturelle d'intérêt écologique faunistique et floristique (ZNIEFF) type II : collines du laonnois et du soissonnais septentrional et environ 100 ha au nord de la zone d'étude se trouve dans la ZNIEFF de type I : Oppidum du vieux Laon et boisements environnants.

De plus, le bassin versant du ru de Fayau, où se déroule le projet d'aménagement, se trouve à environ 1.5 km d'une zone Natura 2000 « Collines du Laonnois oriental » dans laquelle nous trouvons

des espèces inscrites à l'annexe II de la directive habitat comme le vertigo Angustior, un invertébré sédentaire catégoriser comme espaces très rare menacée, ou encore le murin Bechstein un mammifère de la famille des chiroptères également catégorisés espèces très rare menacées. (Tableau 1).

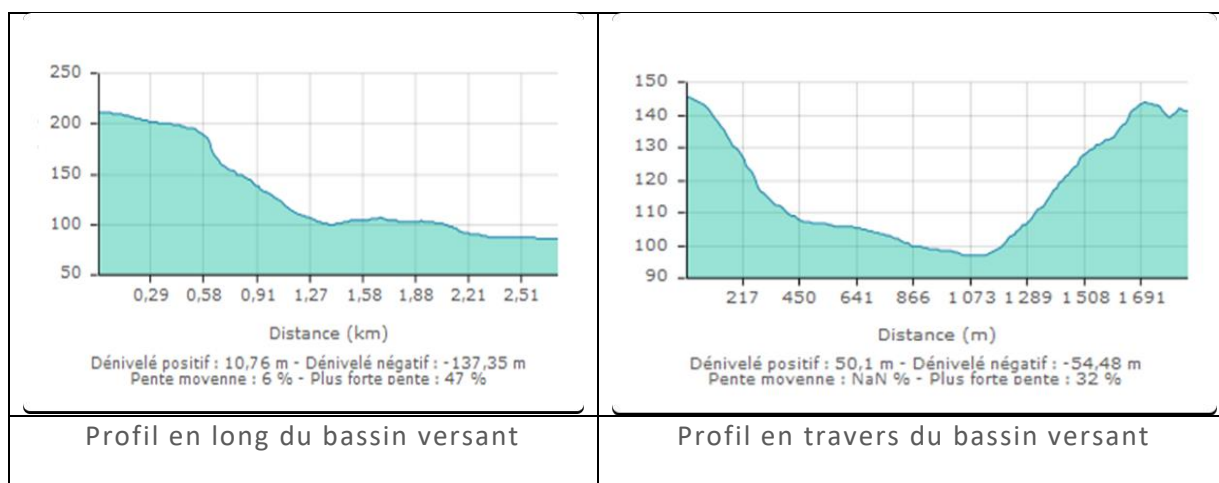
Tableau 1 : Espèces principales protégées dans la zone Natura 2000

	
<p>Le vertigo Angustior</p>	<p>Murin de Bechstein</p>

2 : Bassin Versant

Un bassin versant de 450 ha, divisé en 4 sous bassins versant caractérisé par la présence d'un cirque en tête de bassin ainsi que de nombreuses pentes assez prononcées. Le point le plus haut est à 208m NGF et le point le plus bas dans la commune d'Aizelles à 86m NGF. (Annexe 4).

Tableau 2 : Profils longitudinale et transversale du bassin versant du ru de Fayau (02)



Ces deux profils altimétriques (tableau 2) nous donnent une idée de la forme du bassin versant avec la présence d'un cirque en tête du bassin. Afin de mieux visualiser ces profils, les traits de coup sont visibles sur la carte de l'annexe 4.

3 : Données climatiques

Selon les données du SAGE Aisne Vesle Suipe (état des lieux – Diagnostic, avril 2009), dans le périmètre duquel se situe la commune d’Aizelles, le climat de la zone d’étude est de type océanique, avec des pluies régulièrement réparties tout au long de l’année.

La hauteur de pluie moyenne annuelle est de l’ordre de 650 mm avec un minimum de 550 mm dans la plaine de Reims.

Durant la période estivale, les pluies sont brèves et intenses, ne favorisant pas la recharge des nappes du fait de la prédominance des ruissellements par rapport à l’infiltration.

La station météorologique la plus significative en termes de données et la plus proche d’Aizelles est celle de Reims située à environ 30 km au SUD-EST de la commune. Cette station mesure l’intensité pluviométrique depuis de nombreuses années. Cela représente une période suffisamment longue pour refléter l’hydrologie correspondant à des périodes de retours rares. Sur cette base, les coefficients de Montana ont été établis. Ces coefficients permettant de déterminer la hauteur d’eau précipitée pour une durée et une période de retour donnée (Annexe 5). La hauteur d’eau est reliée aux coefficients de Montana par la formule suivante :

$$h(t) = a \times t^{(1-b)}$$

Avec $h(t)$: la hauteur de précipitations en millimètres correspondant à la durée de cumul t exprimée en minutes.

a et b : coefficients de Montana (sans unités) déterminer pour la station de Reims-Courcy (Tableau en annexe 5)

4 : Aspect socio-économique

Aizelles a connu 6 inondations reconnues état de catastrophe naturel inondations et coulées de boue dont 3 après 2000, il y a donc un enjeu important dans cette commune.

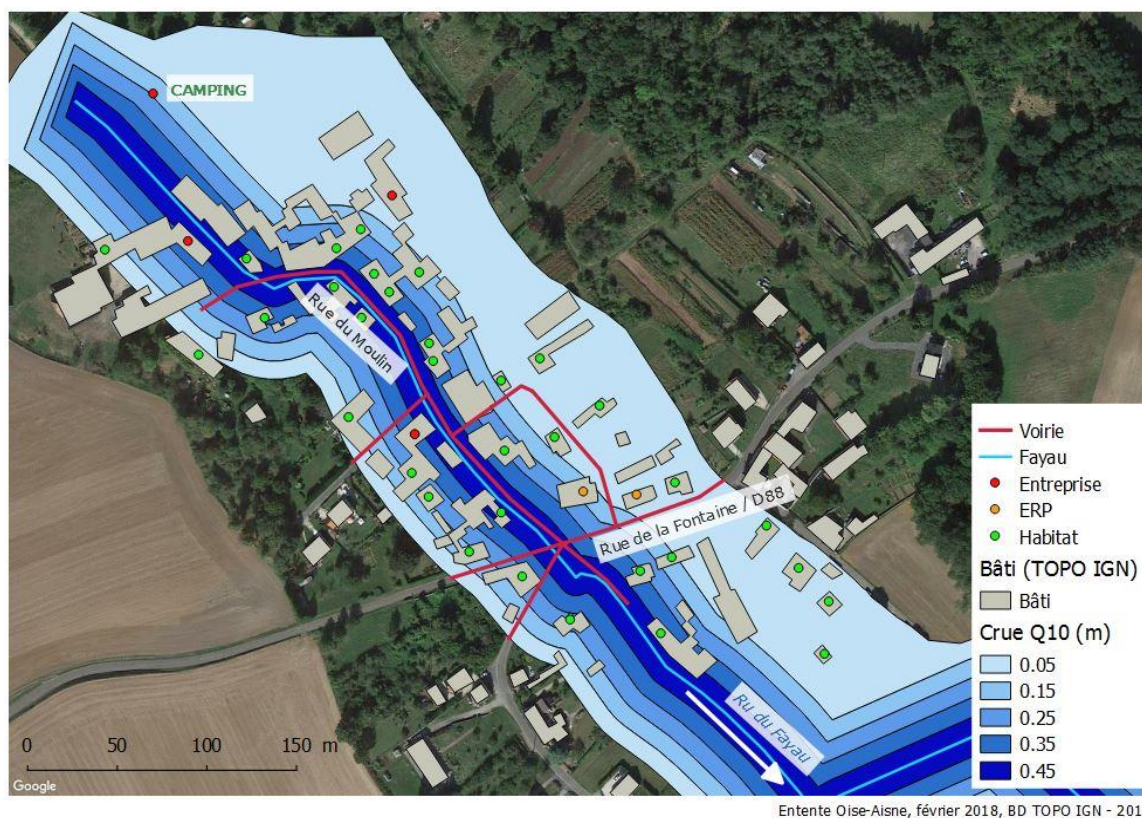


Figure 1 : Carte réalisée par l'Entente Oise Aisne représentant les infrastructures pouvant être inondées en fonction de la hauteur des eaux

La carte représentée en figure 1 (créée par l'Entente Oise-Aisne) nous montre les différentes infrastructures présentes dans la zone inondable. On retrouve 33 habitations, 4 activités économiques (3 fermes 1 camping) et 2 ERP : établissements recevant du public (Mairie, église) Pour une pluie projet de retour 10 ans.

De plus, le ruissellement et les coulées de boue provoquent une perte de terre agricole fertile et par conséquent, un apport régulier d'engrais et de fertilisant qui représente un coût supplémentaire pour l'exploitant agricole. La gestion du ruissellement à la parcelle permettra de garder cette terre fertile sur les parcelles agricoles.

Ce départ de terre agricole, provoque des coulées de boue qui ruisselle jusqu'au ru de Fayau, cela crée de nombreux dégâts pour ce milieu naturel. Ce ruissellement provoque un apport important de matières en suspension (MES) qui a terme peut provoquer un comblement et un engorgement du ru de Fayau. Les MES proviennent des terres agricoles, ces terres sont chargées en produit phytosanitaires. Ces 2 phénomènes dégradent l'état physico-chimique de la DCE (directive cadre sur l'eau) pour ce ru. Il est donc important d'agir contre le ruissellement et les coulées de boues.

5 : Géologie

Le contexte géologique de la zone d'étude a été étudié à partir de la carte au 1/50 000 du BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) (Annexe 6) n°107-Craonne. Les formations rencontrées sont les suivantes :

- Formations superficielles : Alluvions modernes (Fz) : elles comblent la partie inondable du lit de l'Aisne et sont constituées par des limons de débordement très différenciés.
- Loess (OE) : complexes loessiques mis en place au cours de plusieurs cycles de sédimentation éolienne, datant du Würm moyen et du Würm supérieur voire de l'Holocène.
- Formations de substrat : Thanétien : sables et grès (e2b-c) : représenté sur la zone d'étude par les marnes grises généralement masquées par des sables thanétiens.
- Yprésien inférieur (e3) (Sparnacien) : sables, argiles et lignites : cette formation est essentiellement représentée par des argiles plastiques de teintes variées avec de nombreux intercalaires sableux et des niveaux très discontinus d'argiles ligniteuses et de lignites pyriteuses. Le site du projet se situe plus précisément au sein de la formation des alluvions modernes.
- Yprésien supérieur (e4a-b) (cuisien) L'Argile de Laon, constituée de bancs argileux de couleur fauve avec inter-calations sableuses, sans fossiles, est rarement visible en affleurement.
- Les Marnes et Caillasses (e5e) représentent une série laguno-lacustre avec des intercalations marines. Elles sont constituées par un ensemble de marnes blanchâtres et grisâtres alternant avec des calcaires gris sublithographiques, En bancs ou en plaquettes, et des argile magnésiennes.

On observe des couches géologiques avec une faible imperméabilisation comme les argiles ou les marnes avec présence de caillasses. L'infiltration est très faible ce qui favorise donc le ruissellement.

De plus, d'après plusieurs sondages pédologiques réalisés à la carrière durant l'étude, le bassin versant du ru de Fayau est composé principalement d'une texture de limoneux-sableux.

6 : Analyse agricole

Le bassin versant du ru de Fayau est composé de 258 ha de surface agricole, cela représente 57% du bassin versant. D'après le RPG (registre parcellaire graphique) sur les 10 dernières années, l'assolement est représenté par des cultures d'hiver comme le blé d'hiver ou le colza mais également par une grande partie de culture de printemps comme l'orge de printemps, l'avoine de printemps, le maïs, les betteraves ou encore une culture de maraichage (fraisier).

Dans la région d'Aizelles les précipitations provoquant du ruissellement ont lieu au printemps (avril ; mai, juin) pendant cette période, certaines les cultures n'ont pas encore atteint leur croissance « *Lors des orages de printemps et d'été, l'érosion affecte les sols non ou peu couverts par la végétation et affaiblis pour le lit de semence des cultures de printemps. Les particules de terre sont facilement arrachées et entraînées par les pluies de forte intensité.* » (Le Bissonnais, Thorette, Bardet et Daroussin Op.cit). Les sols représentés par des sols nus ou des cultures sardées (figure 2) sont par conséquent des sols représentant un risque élevé à l'érosion favorisant le ruissellement.

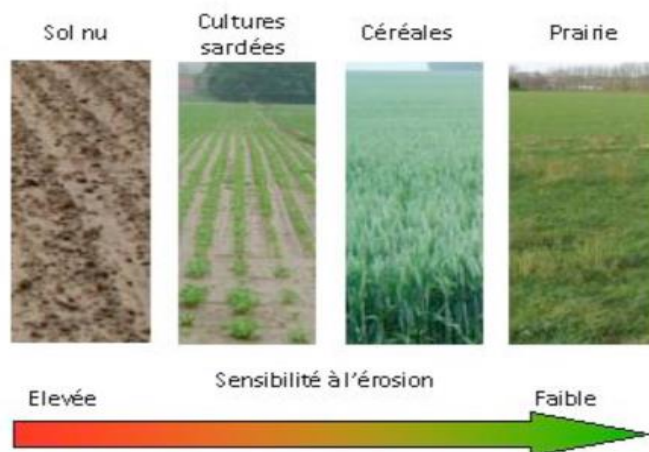


Figure 2 : Sensibilité à l'érosion selon l'occupation du sol

Environ un quart de la surface agricole est cultivé en maïs chaque année, d'après Moulin de Lucy, Op.cit. « *C'est une culture de printemps, semée avec un large inter-rang, et dont temps nécessaire pour couvrir le sol est important (environ 68 jours) est particulièrement sensible aux orages de printemps. Ceux-ci peuvent entraîner des risques de ruissellement important au sein de la parcelle et aussi en aval, sans oublier les risques d'érosions.* ».

L'assolement est donc un facteur important du ruissellement, ce facteur est accéléré par le sens des cultures. Environ 75% des parcelles sur bassin versant sont exploitées dans le sens parallèle de la pente. Cela est défavorable au ruissellement car les rangs dirigent l'eau de surface rapidement vers l'aval ce qui ne laisse pas le temps à l'eau de s'infiltrer.

Sur les surfaces agricoles, l'infiltration peut être limitée par la pente mais également par la croute de battance. Ce phénomène est dû aux gouttes de pluie qui cassent et fragmentent les agrégats (effet splash) les agrégats érodés viennent donc se combler dans les espaces inter-agrégats et donc colmater la porosité du sol. Après ces phénomènes le sol se ressuie, il y a donc formation d'une croute défavorable à l'infiltration et favorise le ruissellement vers l'aval.

Enfin, la surface agricole du bassin versant est également représentée par un nombre important d'entrées charretières, ce sont les passages d'engin agricole pour accéder aux parcelles. Ces entrées sont fréquemment empruntées par des véhicules lourds ce qui crée un tassement. Ces ornières sont

donc topographiquement plus basses que le champ ce qui crée un axe d'écoulement important lors des périodes d'érosion. Les entrées charretières accentuent donc le phénomène de ruissellement, sur le bassin versant nous comptons plus de 20 entrées charretières.

Le monde agricole est donc un acteur important dans le projet car des solutions sont à envisager sur ces zones à fort enjeux permettant aux propriétaires et exploitants d'être des acteurs du projet et non les contributeurs de ces phénomènes d'érosion.

III. Cadre de l'étude

1 : Objectifs des travaux

A : Limiter les inondations et les coulées de boue

Le programme d'aménagement permet de gérer les problématiques d'érosion et de ruissellement sur le bassin versant du ru, répondant à la fois à des objectifs d'amélioration de la qualité du milieu récepteur et de diminution des écoulements vers le ru afin de diminuer le débit en agissant sur le déphasage des écoulements au moment des fortes précipitations. Pour cela nous allons utiliser le génie végétal qui est une méthode hydraulique douce permettant de ralentir, infiltrer ou encore stocker temporairement l'eau de surface pendant des moments de fortes pluies. Le ruissellement créé à Aizelles un apport d'eau supérieur à la capacité d'écoulement du ru de Fayau (figure3).



Figure 3 : Photos représentant les conséquences du ruissellement à Aizelles (02)

B : Gestion du ruissellement

La gestion du ruissellement est primordiale dans cette étude car la topographie du bassin versant draine l'eau de surface vers le réseau hydrographique (ru de Fayau) qui monte en charge rapidement est créée des inondations dans la commune d'Aizelles.

D'après Laubier et al. (2001) et Arousseau et al. (1996), les seuils de pente souvent retenus concernant la thématique du ruissellement sont :

- Les pentes de 0 à 2% (pas de ruissellement de surface strict),

- Les pentes de 3 à 5% (un ruissellement peut se produire, selon les caractéristiques des sols ou dans les cas d'intensités de pluies importantes),
- Les pentes supérieures à 5% (ruissellement sous n'importe quelle pluie).

On peut constater que sur notre bassin versant (figure 4) nous avons une superficie importante des sols avec une pente supérieure à 10% (zone en rouge)



Figure 4 : Carte représentant les fortes pentes (>10%) en rouge du bassin versant

Attention, la pente n'est pas le seul facteur du ruissellement, il est déjà arrivé d'avoir un ruissellement sur une pente à 2%. Le ruissellement et l'érosion des sols peuvent être accentuée par des facteurs suivants:

- La géographie : situation d'Aizelles à l'aval d'un bassin versant en forme de cirque dont les versants présentent de fortes pentes. (Voir en partie bassin versant II.2)
- La géologie avec un phénomène de battance des sols, des intensités pluvieuses supérieures à la capacité d'infiltration des sols (ruissellement hortonien) ou l'absence d'infiltration/horizon saturé en eau (ruissellement par saturation) (voir en partie géologie II.5)
- La pluviométrie : précipitations fortes, saturant rapidement les sols en eau, orages très violents (voir en partie II.3 donnée climatique)
- Pratiques culturales : le temps de concentration des écoulements est sensible au changement des pratiques culturales (prairies retournées, haies arrachées, cultures dans le sens de la pente etc.). (Voir en partie II.6 analyse agricole)
- La surface imperméabilisée : depuis les années 2000, les communes d'Aizelles et Aubigny-en-Laonnois ont connu une croissance démographique, cela a pour conséquence une augmentation des surfaces imperméabilisées, il y a également les routes présentes sur le bassin versant qui augmente l'imperméabilisation, par exemple l'axe Reims – Laon (3 voies) traverse le BV.

L'objectif des aménagements est de créer une succession de freins pour :

- Casser la vitesse des écoulements, notamment à l'interface zone agricole –zone boisée, ainsi que sur les ruptures de pente importantes, pour étaler l'hydrogramme des thalwegs dans le temps.
- Différer dans le temps les apports en eau des différents talwegs afin d'éviter que les volumes ruisselants se cumulent à leurs intersections.
- Créer des micro-rétentions derrière chaque ouvrage, afin de permettre une restitution progressive.

Ces trois objectifs contribuent à limiter le phénomène de saturation des réseaux hydrographique et pluviaux, et donc à diminuer la hauteur d'eau dans les rues. L'objectif visé est la régulation des orages fréquents, de période de retour annuelle à décennale. Pour autant, les aménagements ne seront pas transparents pour des pluies supérieures, en particulier les ouvrages de génie végétal.

2 : Le développement du génie végétal dans la gestion du ruissellement

Le génie végétal est une science pluridisciplinaire. Il se définit comme l'utilisation de plantes ou de parties de celles-ci, pour résoudre des problèmes de protection contre l'érosion, de stabilisation et de régénération des sols. Un ouvrage en génie végétal sert dans le cadre de la gestion des inondations à diminuer la vitesse de l'écoulement donc à retarder l'arrivée des eaux de ruissellement à l'exutoire et crée des micros-rétentions d'eau en amont des ouvrages. Ces ouvrages servent donc à limiter le débit à l'exutoire tout en augmentant le temps de transfert des volumes d'eau ce qui permet de rendre le débit acceptable en aval du bassin versant (figure 5). Les ouvrages sont plus ou moins efficaces en fonction de leur localisation et en fonction de leurs objectifs : une bande enherbée permettra une bonne infiltration mais une faible sédimentation. Le tableau en Annexe 7 permet de choisir les ouvrages en fonction de leur efficacité.

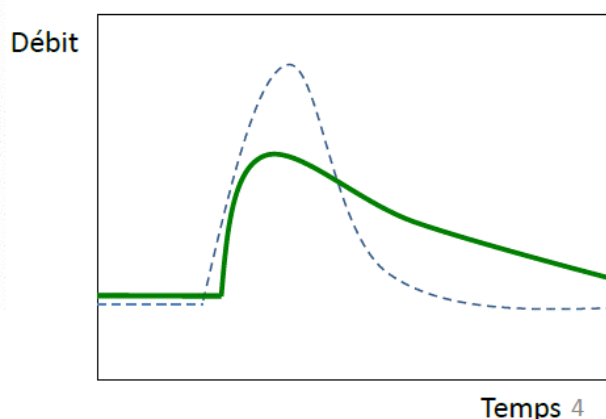


Figure 5 : Hydrogramme représentant l'évolution des débits après la mise en place d'ouvrages de génie végétal

La partie aérienne des végétaux, qui inclut les racines exposées, forme une surface rugueuse qui réduit la vitesse du courant, et de ce fait, lutte contre l'érosion et encourage la sédimentation (Watts and

Watts, 1990, in Rodrigues et al, 2006). Cette rugosité participe également au déphasage des écoulements. *Mais dans le cas d'un couvert ligneux trop dense (forêt alluviale), la section mouillée se retrouve réduite, ce qui diminue la capacité d'écoulement lors des crues et ainsi provoque une augmentation de la ligne d'eau en amont* (Allain Jegou, 2002).

A : Biodiversité et aspect paysager

Le génie végétal est également un refuge pour la faune présente sur le secteur, en effet les haies, fascines, bandes enherbées sont des habitats pour la faune et toute autres auxiliaires créant une biodiversité importante. Il est également important de préconiser des haies avec des essences qui ont un cycle de végétation décalée pour pouvoir avoir une période de pollinisation plus important bénéfique pour la famille des hyménoptères (abeilles). Concernant la faune, *il a été prouvé qu'on retrouve plus de 40 fois plus de lombrics dans les haies et les bandes enherbées que dans les grandes cultures céréalières* (Solagro, 2000 dans Liagre, 2006).

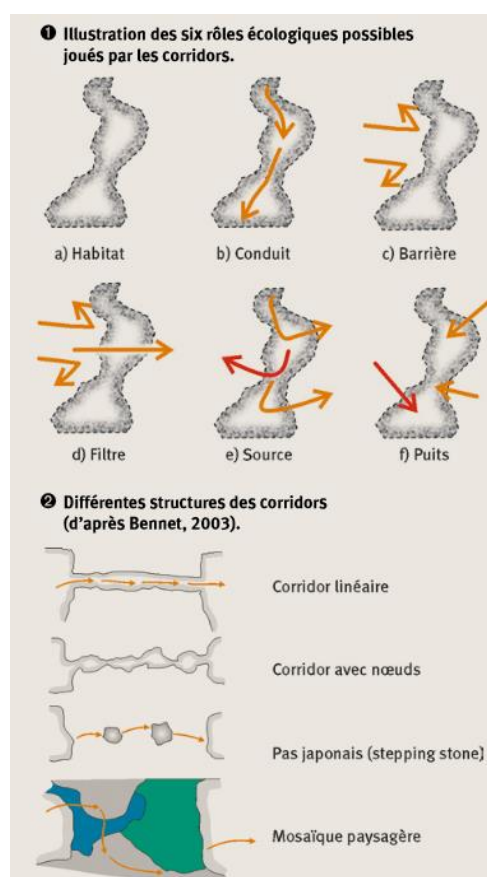


Figure 6 : Schéma représentant les différents corridors écologiques, d'après Bennet, 2003

Les haies sont des zones de reproduction pour la faune, des zones d'alimentation. Elles favorisent le déplacement car elles servent de repère dans le paysage et permettent de se protéger en cas de problème. Elles sont des corridors écologiques. Le génie végétal est un élément du paysage qui permet cette fonctionnalité (figure 6). Un corridor est un élément linéaire du paysage reliant des habitats et favorisant les flux entre ces habitats, au sein d'un environnement plutôt défavorable, de plus, le lieu d'étude se trouve dans une Zone Naturelle d'Intérêt Faunistique et Floristique il y a donc de forts enjeux sur le secteur.

De plus, le génie végétal présente d'autres fonctionnalisées, pour la haie, il est possible de produire du bois, créer un effet brise-vent, protéger du gel mais également des fortes chaleurs grâce aux zones d'ombre. Pour les bandes enherbées, il est possible de récupérer le foin pour les bêtes. Cela permet également de garder l'humidité dans le sol.

Il existe donc une multitude de fonctionnalités et d'avantages pour le génie végétal.

Ce projet d'aménagement va recréer un écosystème favorable à la gestion du ruissellement.

De plus, pour l'aspect visuel, l'acceptation de la population pour un projet avec du génie végétal sur l'ensemble du bassin versant est plus facile qu'un projet de génie civil (barrage) généralement en béton à proximité des zones urbaines.

B : Avantages économiques

Lors de l'étude de 2015, l'analyse coût-bénéfice du projet était négatif, le coût était trop important par rapport aux dommages recensés dans la commune. Il a donc été choisi de réaliser une deuxième étude avec l'objectif d'implanter des ouvrages en génie végétal, cela a permis de diminuer les coûts du projet et de rendre l'ACB positif (Voir partie VII. 2). Or l'inconvénient est que le génie végétal est moins efficace. Pour Aizelles, l'ouvrage de régulation permettait de pouvoir stocker le ruissellement est réguler les inondations pour une pluie projet de retour 50 ans or pour le projet de génie végétal, la régulation du débit se fait que pour les pluies projet de retour 1 à 10 ans. Pour les pluies supérieures aux pluies projet de retour 10 ans le débit sera plus faible mais il y aura toujours un risque d'inondation dans la commune.

Les ouvrages en génie végétal peuvent représenter un moindre coût économique que des ouvrages de génie civil (Adam et al, 2008), notamment grâce au coût des matériaux qui est plus faible étant donné que certains peuvent être prélevés sur place. Cependant les ouvrages de génie végétal nécessitent de l'entretien (plusieurs fois par an) ce qui induit des coûts réguliers. De plus, les aménagements vont créer un écosystème naturel, avec pour but de pérenniser ces aménagements afin qu'ils deviennent autonomes. Le génie civil présente des coûts importants notamment à cause de la gestion des nuisibles, des vérifications du compactage et également à cause d'un renouvellement des ouvrages car le génie civil a une durée de vie limitée dans le temps contrairement au génie végétal.

IV. Méthodes et applications

1: Modélisation et fonctionnement hydraulique du bassin versant

A : Présentation du logiciel

L'estimation du volume ruisselé est une étape importante de l'étude car cela nous permettra de choisir le type d'ouvrage hydraulique, les lieux d'implantations et ainsi estimer le dimensionnement des ouvrages proposés. C'est grâce à un logiciel HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) que sera simulé le fonctionnement hydraulique du bassin versant.

Le logiciel comprend de nombreuses procédures d'analyse hydrologique traditionnelles telles que l'infiltration d'événements, les hydrogrammes unitaires et le routage hydrologique. HEC-HMS inclut également les procédures nécessaires à la simulation continue, y compris la comptabilisation de l'évapotranspiration, de la fonte des neiges et de l'humidité du sol. Des outils d'analyse supplémentaires sont fournis pour l'optimisation du modèle, la prévision du débit, la réduction de la profondeur, l'évaluation de l'incertitude du modèle, l'érosion et le transport des sédiments, ainsi que la qualité de l'eau.

Pour notre étude le débit estimé à l'exutoire (en amont d'Aizelles) est la somme :

- Des débits ruisselés,
- Des débits des différentes sources présentes sur le bassin versant qui exercent un relargage de l'eau en continu,
- Du débit que le marécage délivre vers le cours d'eau (remontée de nappe)

Afin d'être le plus réaliste possible, il a fallu rentrer des paramètres comme la pente des différents sous bassin versant, le pourcentage d'imperméabilisation, le Curve Number (texture du sol), le type de

recouvrement du sol (cultures, forêt, habitations etc.), Pour les surfaces agricoles il a fallu représenter les cultures les plus défavorables comme le maïs, betterave, pommes de terre qui favorisent le ruissellement par rapport aux cultures d'hiver. Une fois le bassin versant modélisé, des pluies projet ont été ajoutées. Pour dimensionner les ouvrages des pluies projet choisies sont de retour 5 ans, 10 ans et 20 ans et nous avons ajouté une 4^{ème} pluie pour comparer les résultats. C'est une pluie de retour 50 ans. Ces pluies ont été calculées grâce au coefficient de Montana (voir Données climatiques) ce qui a permis au logiciel de créer des hydrogrammes en fonction de la durée de la précipitation voulue. (Annexe 8)

B : Hypothèses de travail

Pour réaliser une modélisation la plus cohérente possible il est nécessaire de connaître et de représenter tous les apports d'eaux possibles sur le bassin versant. Dans le cas d'Aizelles il existe plusieurs apports sur le bassin versant :

- L'eau de pluie,
- L'eau provenant des différentes sources présentes sur le bassin versant,
- L'eau re-larguée par le marais (remontée de nappe),
- L'eau provenant des assainissements non collectifs.

Le volume d'eau créant les inondations est la somme de ces 4 volumes, or les volumes sont très difficiles à estimer donc nous avons décidé de réaliser des hypothèses de travail.

On estime que le débit des sources ne varie pas aux moments des fortes précipitations car nous sommes sur un sol de craie il y a donc infiltration-stockage-relargage. Il y a donc un décalage entre les pluies précipitées et l'augmentation du débit des sources, c'est pour cela que nous ne prenons pas en compte l'augmentation du débit des sources pour simuler les inondations.

La 2^{ème} estimation concerne le volume que délivre le marais. Un marais en bon fonctionnement capte les eaux de pluie et les relargages par la suite, ici la nappe étant affleurant au niveau du marais la particularité du site est que le marais est toujours gorgé d'eau ce qui rend l'infiltration nul, les eaux ne sont donc pas stockées, l'eau ruisselle sur la surface de la zone marécageuse. Il n'y a donc pas de perte liée à l'infiltration mais il peut y avoir une augmentation du débit liée à la remontée de nappe.

Enfin pour le volume d'eau délivré par les assainissements non collectifs est considéré comme négligeable car il s'agit que de quelques litres par jour et par habitant sachant que la population d'Aubigny-en-Laonnois est de 106 habitants (en 2016) cela représente donc un volume très faible.

C : Résultats obtenus

Pour pouvoir comparer et voir l'évolution des débits dans le temps pendant les périodes de fortes précipitations j'ai fait le choix de réaliser 3 scénarios :

- Scénario 1 : Fonctionnement initial sans aménagement,
- Scénario 2 : Fonctionnement avec les aménagements proposés sur les propriétés communales,
- Scénario 3 : Fonctionnement avec tous les aménagements proposés,

Ces 3 scénarios sont représentés en hydrogramme en annexe 8. Sachant que le premier obstacle dans la commune est une buse de diamètre 600mm qui permet l'écoulement de ru sous la route. Cet ouvrage limite le débit de ru à $0,622\text{m}^3/\text{s}$ soit 622 l/s. Donc pour limiter le débordement du ru dans la commune le débit arrivant du ru à l'amont d'Aizelles doit être d'environ $0,622\text{m}^3/\text{s}$.

Tableau 3 : Résultats de la modélisation pour les 3 scénarios

Scénarios	Débit à l'exutoire	Présence de déphasage	Réduction du débit	Durée de l'épisode de crue
S1	0,6	non	/	~ 3 h 00
S2	0,52	non	14%	~ 3 h 45
S3	0,33	oui	45%	~ 5 h 00

Le déphasage créé (grâce aux ouvrages) permet donc de rendre le débit acceptable dans le centre d'Aizelles pour des pluies projet annuelles à décennales.

2 : Localisation et installation des aménagements

A : Typologie d'ouvrages

Diverses formes d'ouvrages de gestion du ruissellement sont proposées pour répondre aux contraintes de terrain. Par rapport à la nature du terrain dans le bassin versant il n'est pas possible de réaliser un aménagement hydraulique de régulation du débit. Il a donc été envisagé de mettre en place des ouvrages hydraulique douce cela à plusieurs avantages comme la minimisation des travaux lourds avec un coût important mais également d'assurer une bonne intégration dans le paysage.

Cette partie permet de connaître tous les ouvrages qu'il est possible de réaliser pour une gestion du ruissellement.

- **La saignée** : Cette opération simple et peu coûteuse consiste à favoriser la dispersion de l'eau hors des axes d'écoulements, en creusant des petites rigoles sur les flancs et/ou en dégagant les végétaux constituant un frein. Les saignées, quand elles sont placées de façon répétée, sont notamment utiles pour disperser dans la végétation rase les écoulements fortement canalisés, dans les chemins agricoles et les sentes forestières peu incisées par exemple. Elles peuvent également permettre de dériver les eaux de ruissellement dans des dépressions naturelles.
- **Le merlon** : Aussi appelé petit talus, cet ouvrage permet de jouer également un rôle de frein dans l'axe d'écoulement. Les billons placés sous les haies sont des aménagements à la structure similaire. Le rôle du merlon diffère de celui du gabion dans le fait qu'il soit imperméable.
- **La fascine vive** : L'intérêt d'une fascine est multiple : diminution des vitesses d'écoulement dans les thalwegs, diffusion de la lame d'eau, décantation des matières en suspension Ce dispositif est particulièrement efficace sur un axe de ruissellement concentré, comme une entrée charretière ou une ravine forestière bien incisée. Le manque d'entretien, le sous dimensionnement des ouvrages ainsi que le recours à du bois mort peuvent expliquer que les ouvrages se soient dégradés après des évènements pluvieux violents. Il sera privilégié dans ce projet d'avoir recours à des branches vivantes, pour que la fascine devienne à terme une haie. Dans un premier temps ce sont les branchages qui sont efficaces pour freiner les ruissellements et quand les branchages ont vieilli, quand les fagots et les pieux ont rejetés la fascine joue un rôle vis-à-vis du ruissellement.
- **La haie sur billon avec bande enherbée** : Une haie permet de ralentir les écoulements et favorise l'infiltration et le dépôt de terre. Les tiges de la haie freinent les ruissellements. Cette diminution de la vitesse favorise l'infiltration et la sédimentation des particules. L'ajout d'un billon

permet à la fois de rendre efficace les aménagements dès la plantation des plants, de bénéficier d'une capacité de rétention supplémentaire. Selon le CEMAGREF, DERF et ITCF (1997), la présence d'éléments boisés associés aux bandes enherbées sur une largeur d'au moins 6 m participe à l'infiltration de l'eau et limite le ruissellement jusqu'à 87% ; une haie dense (60 tiges/m de 2cm de diamètre) avec une pente de 3% le ruissellement est de 0,12m/s et de 0,55m/s pour une pente de 15% alors qu'une haie peu dense (1tige/m² de 8cm de diamètre) le ruissellement est de 0,40m/s (pente à 3%) et de 2m/s pour une pente à 15%. De plus la haie intercepte un ruissellement diffus (c'est-à-dire étalé sur une grande largeur), elle peut piéger jusqu'à 70 % des particules et atteindre des vitesses d'infiltration de plus de 200 mm/h.

- **La renaturation de cours d'eau :** Une renaturation peu permettre d'augmenter la capacité de charge du cours d'eau en élargissant le lit mineur cela va diminuer la vitesse de transit. De plus dans le cas du ru de Fayau qui est droit et linéaire la renaturation peut consister à l'implantation de méandres et également limiter l'incision. Cette action aura un impact positif pour les inondations mais également pour la faune et la flore en améliorant la qualité du cours d'eau.
- **La zone tampon :** Le terme de zone tampon est employé ici pour désigner tout espace du paysage rural, maintenu ou mis en place pour assurer une fonction d'interception et d'atténuation des transferts hydraulique dans la cadre de la gestion des inondations la zone tampon sert à augmenter le temps de transfert des eaux de ruissellement pendant un épisode climatique important grâce à une buse qui grâce à sa dimension détermine un débit de fuite. Ces zones tampons peuvent également jouer d'autres rôles tels que la préservation de la biodiversité et du paysage. Ici, pour l'étude du fonctionnement du bassin versant d'Aizelles on a décidé de créer les zones tampons grâce au rehaussement de chemin.

Les zones tampons jouent également un rôle de zones humides qui ont 4 grandes fonctionnalités :

- La régulation des crues,
- Le soutien d'étiage,
- La recharge des nappes,
- Le ralentissement des ruissellements,

Donc les zones tampon sont très importantes pour la gestion des inondations

D'autres aménagements de génie civil peuvent accompagner les aménagements de génie végétal comme :

- **Le gabion :** Cet ouvrage joue un rôle similaire aux haies et fascines présentées précédemment. Ce muret, composé de pierres enrobées d'un grillage, n'est pas complètement imperméable, et un choix judicieux de porosité permet la filtration des boues et le ralentissement du ruissellement, dans des proportions plus importantes cependant qu'une fascine. Un gabion est justifié lorsqu'il est placé en aval d'une zone relativement plane et élargie, permettant un ralentissement des écoulements plus important qu'un ouvrage végétalisé. Il est également intéressant de placer un gabion à l'interface entre une ravine et une rue. La force de ce type d'ouvrage est d'être particulièrement stable, et d'être complètement efficace dès l'installation.
- **Le rehaussement de chemin :** Certains chemins agricoles traversent les thalwegs, et peuvent donc être rehaussé pour créer une retenue temporaire dans les terrains agricoles. Les passages

répétés de l'eau par surverse nécessitent que le chemin soit régulièrement rehaussé à nouveau pour qu'il ne retrouve pas sa concavité naturelle. Pour ne pas pénaliser l'activité agricole, un tuyau en pvc de diamètre 100 peut être placé au point bas pour fournir un débit de fuite.

B : Proposition d'emplacement du projet d'aménagements

Après avoir réalisé une analyse cartographique et avoir parcourus la totalité du bassin versant lors de sorties terrains. J'ai réalisé un état des lieux du bassin versant pour comprendre son fonctionnement, j'ai repéré les talwegs ainsi que les sens d'écoulement ce qui m'a permis de préconiser des lieux d'implantation pour les différents ouvrages en fonction de l'espace disponible (figure 7) et des volumes estimés grâce à la modélisation. Il n'est pas possible de retenir toutes les eaux de ruissellement. L'objectif visé est donc de limiter au maximum les vitesses d'écoulement et de créer des petites zones tampons en exploitant les espaces de faux-plat ou en créant des aménagements pour retenir l'eau comme des merlons ou des rehaussements de chemins. L'annexe 9 nous décrit pour chaque emplacement le type d'ouvrage implantée et les bénéfices qu'ils apportent à la gestion du ruissellement.

Sur chacun de ces lieux des méthodes hydrauliques douces ont été mis en avant.



Figure 7 : Carte représentant le plan d'aménagement pour la lutte contre le ruissellement

Il est également prévu de travailler sur le déphasage des apports des différents thalwegs dans le but d'éviter une action conjointe des différents axes d'écoulements sur les 4 sous bassins versants.

- 1 sous-bassin est laissé à son état naturel sans ouvrages, les volumes d'eau ruisselée arriveront donc en premier à l'amont du village. Ces volumes ruisselés sont similaires à la capacité d'écoulement du ru,



- Sur les 3 autres sous-bassins versants, la densité d'ouvrages implantés va contribuer au décalage des écoulements.

Cette stratégie va permettre d'étaler l'hydrogramme du ru dans le temps et permettre au volume des eaux précipitées de pouvoir transiter dans son lit sans déborder.

C : Concertation entre les acteurs (maître d'ouvrage, mairies, propriétaire, exploitants)

Une première réunion a eu lieu le 6 juin à la mairie d'Aizelles avec Mr Merlo, maire d'Aizelles et Mr Raverdy, maire de la commune d'Aubigny-en-Laonnois. Cette réunion avait pour objectif de présenter les aménagements qu'il est possible de réaliser sur leurs territoires, leur présenter les différentes simulations que l'on a réalisées, avoir leurs avis, leurs remarques par rapport aux contraintes de terrain qu'ils connaissent mieux que nous. Cette réunion permet d'inclure les acteurs dans notre projet. Ensuite des conventions (réalisées par l'Entente Oise-Aisne en partenariat avec la chambre d'agriculture de l'Aisne) seront signées entre le maître d'ouvrage, le propriétaire du terrain et l'agriculteur chez qui des solutions peuvent être trouvées pour mettre en place la compétence ruissellement. Il s'agit donc de l'aboutissement d'une démarche qui consiste à replacer l'agriculteur, non pas comme la cause du problème, mais comme le porteur de la solution grâce aux ouvrages.

D : Cadastre de la zone d'étude

Le cadastre a pour but de pouvoir réunir les exploitants et les propriétaires dans une réunion dans le but de les associer afin qu'ils s'approprient le projet.

À travers ce stage, j'ai réalisé le tableau afin de récupérer les contacts pour pouvoir aborder cette étape de concertations une fois l'étude réalisée.

Les feuilles ont été distribuées aux maires de la commune d'Aizelles et d'Aubigny-en-Laonnois sur lesquelles se trouvent les parcelles où l'on préconise d'implanter des ouvrages. Une fois remplies par les mairies, ces feuilles nous donneront des informations sur l'adresse, le nom des propriétaires et exploitants.

La rencontre avec les propriétaires va permettre de leur proposer les aménagements afin de créer un partenariat via la convention qui permettra également de pérenniser les ouvrages.

E : Dimensionnement des ouvrages

1 : Capacité de stockage des ouvrages

Pour estimer le bénéfice des ouvrages pour la lutte contre le ruissellement il a fallu tout d'abord réaliser de la topographie avec le matériel de topographie (GPS) de l'Entente. Pour cela des profils longitudinaux (figure 9) et transversaux (figure 8) ont été réalisés pour les ouvrages. Grâce à ces courbes, nous avons pu déterminer le volume que l'ouvrage est capable de stocker ou de ralentir.

Exemple de profils, L'ouvrage n°2 est une rehausse de chemin avec en amont une bande enherbée de 3m.

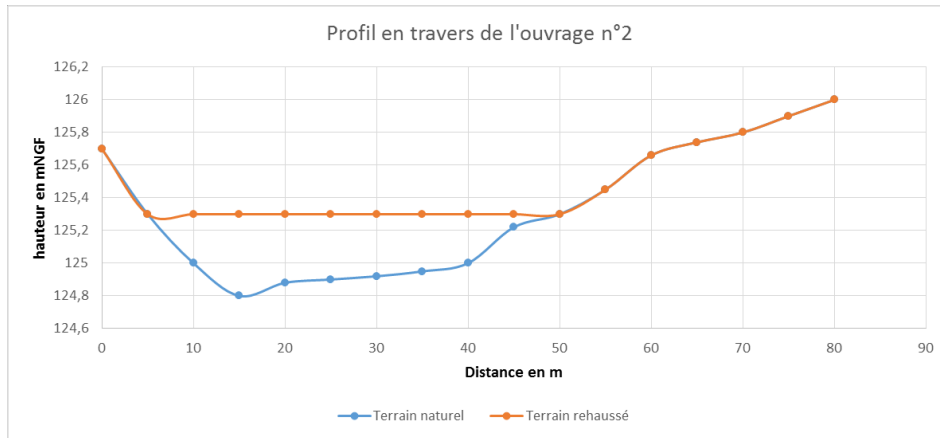


Figure 8 : Profil transversale de l'ouvrage n°2

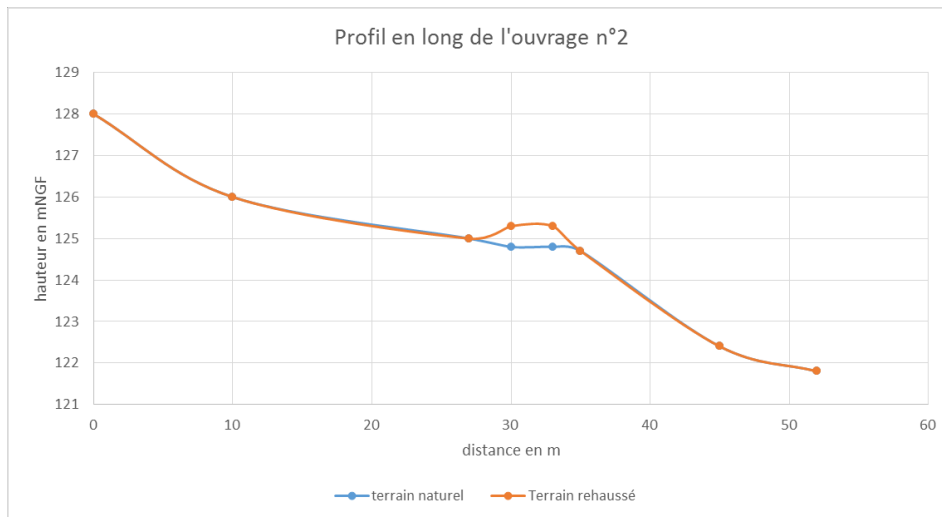


Figure 9 : Profil longitudinal de l'ouvrage n°2

La dimension, la typologie, l'estimation de la rétention et les parcelles cadastrales sont donc récapitulés dans le tableau (Annexe 9).

2 : Composition des ouvrages de génie végétal

a : Composition des haies

Les haies sont implantées perpendiculairement aux écoulements. Cela permet de capter les ruissellements, d'augmenter la rugosité du terrain et de réduire la vitesse des écoulements. La lame d'eau est ralentie, légèrement stockée et son infiltration dans le sol est facilitée par le système racinaire des végétaux. Les haies sont multi-strates : elles sont composées d'arbustes et d'arbrisseaux. Cela permet un développement racinaire dense et équilibré, et donc résistant aux contraintes mécaniques liées aux ruissellements.

De plus, cette diversité de strates favorise la richesse écologique de la haie et sa densification, avec une recolonisation naturelle de la haie par d'autres espèces végétales. Les essences composant

les haies font partie de la palette champêtre locale. Elles sont choisies en fonction des contraintes du milieu. Ces essences sont adaptées au climat et au sol. (Annexe 10).

La densité des plantations va permettre un effet hydraulique optimum, la haie devra être épaisse afin de freiner les écoulements. Les plants utilisés sont de jeunes plants, il s'agit de plants à racines nues de 60/80 cm. D'un point de vue physiologique, il est toujours préférable de planter des individus jeunes. Ceux-ci présentent un rapport système racinaire / système foliaire optimal, leur système racinaire n'a pas été dégradé par les contraintes de cultures en pépinière, et ils s'adapteront d'autant mieux au sol dans lequel ils vont être plantés.

De plus, d'un point de vue économique et pratique, les plants jeunes sont peu coûteux et peu encombrants, ce qui facilite leur transport et demande moins de mise en œuvre pour leur plantation. L'utilisation d'une toile de paillage biodégradable favorise la croissance des végétaux en limitant la concurrence des herbacées et en maintenant l'humidité du sol. Il permet de limiter l'entretien des végétaux. La protection à gibier, mise en place pour les premières années de la plantation, permettent d'éviter l'abrutissement des végétaux par les animaux (chevreuils et lapins principalement). Il est important de protéger les jeunes plants les premières années, où ils sont les plus vulnérables à l'abrutissement. Les protections à gibiers sont des manchons en matière plastiques ; après avoir rempli leur fonction, ils seront enlevés et recyclés suivant les dispositions prévues en matière de déchets plastiques de ce type.

b : Composition des fascines

La fascine est composée de pieux de saules de diamètre d'environ 10cm et une longueur d'environ 2m ces pieux seront enfoncer d'environ 1.40m avec un espacement longitudinal de 60cm et un espacement latéral de 40cm. Entre les pieux des fagots de saules seront installés. L'alternance de fagot et de terre est indispensable pour favoriser la reprise des saules. Les fagots sont constitués de branches de 2à4 cm de diamètre sur une longueur de 2m il est également nécessaire que les fagots soit bien tasser pour ne pas laisser de vide entre eux. Enfin après avoir installé les fagots entre les pieux et après avoir tasser il est nécessaire de joindre les pieux entre eux à l'aide d'un fil de fer pour éviter la rupture de la fascine lors des épisodes climatiques. (Figure 10).

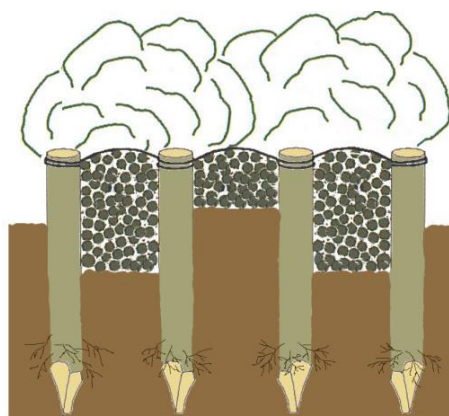


Figure 10 : Schéma de réalisation d'une fascine





La fascine a pour but de rejeter, le développement des racines permettra à celle-ci de s'ancrer dans le sol et ainsi se solidifier, les racines permettront aussi une meilleure infiltration. Pour la partie aérienne, les branches vont se développer et se densifier jusqu'à une hauteur souhaitable, environ 2 m, ces

branches, perpendiculaire à la pente vont créer un filtre et un freine à l'écoulement de l'eau et donc limiter le ruissellement et les coulées de boues. (Annexe 11).

c : Composition des bandes enherbées

Après le décaissement, les bandes seront aussitôt ensemencées, la terre décapée sera utilisée pour le talus ou le billon. On y projettera un mélange de Ray grass, fétuque, pâturin des prés et trèfle blanc et on tassera les graines pour une bonne adhésion au sol (Tableau 3).

Tableau 4 : Les différentes espèces constituant la bande enherbée

Ray grass	Fétuque	Trèfle blanc	Pâturin des prés
			

Ces 4 espèces ont la particularité d'être très dense, le trèfle par exemple est une plante herbacée qui se reconstitue rapidement grâce à la vivacité de ses tiges rampantes. Une fois mature ces plantes joueront donc un rôle de frein important permettant également l'infiltration de l'eau. Or il est nécessaire de faucher ces bandes enherbées notamment pour éviter la prolifération dans les parcelles voisines (généralement des champs cultivés) et également contre la prolifération des plantes adventices.

Les bandes enherbées seront implanté sur la longueur totale du linéaire de l'ouvrage et sur une largeur de 3m.

F : Les différentes grandes étapes du Projet

L'Entente Oise-Aisne réalise les travaux grâce à un prestataire de services, pour cela un marché sera réalisé avec mise en concurrence des entreprises. Les propriétaires et les exploitants autorisent l'Entente Oise-Aisne à réaliser les travaux via la convention. La DIG (Déclaration d'intérêt général) est délivrée par la préfecture et assure de pouvoir utiliser de l'argent public sur les propriétés privées, ce document officiel permet également de pérenniser les ouvrages.

L'Entente Oise-Aisne s'engage en amont à prévenir les propriétaires et/ou exploitants du démarrage des travaux. Un état des lieux sera réalisé avant et après les travaux afin de ne pas endommager les lieux sur lesquels les travaux seront réalisés. S'il est constaté des dégâts en dehors de la zone d'aménagement de l'ouvrage, l'exploitant sera indemnisé selon les documents de la chambre d'agriculture « pertes de récoltes » et « dommage à la structure du sol ».

L'annexe 12 nous récapitule les grandes étapes du projet jusqu'à l'aboutissement des travaux.

Dans le cadre de ce stage, j'ai réalisé la deuxième étape du projet, la réalisation de l'étude et la proposition du plan d'aménagement aux élus.

V. Compatibilité avec la réglementation

1 : SDAGE (schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux)

Le SDAGE est un document qui fixe des orientations fondamentales pour la gestion de l'eau dans le milieu naturel, ce document a pour objectif de réglementer le choix et l'avis de tous les acteurs sur l'ensemble d'un bassin versant (Agence de l'eau seine Normandie, 2016-2021) dont les activités, installations, travaux, aménagements ont ou peuvent avoir un impact direct ou indirect sur la ressource en eau.

Ce document est rédigé sous forme de défis, pour le SDAGE seine Normandie il existe 8 défis dans lesquelles se trouvent des orientations ainsi que 2 leviers.

Défi 1 : Diminuer les pollutions ponctuelles des milieux par les polluants classiques

Défi 2 : Diminuer les pollutions diffuses des milieux aquatiques

Défi 3 : Réduire les pollutions des milieux aquatiques par les micropolluants

Défi 4 : Protéger et restaurer la mer et le littoral

Défi 5 : Protéger les captages d'eau pour l'alimentation en eau potable actuelle et future

Défi 6 : Protéger et restaurer les milieux aquatiques et humides

Défi 7 : Gérer la rareté de la ressource en eau

Défi 8 : Limiter et prévenir le risque d'inondation

Levier 1 : Acquérir et partager les connaissances pour relever les défis

Levier 2 : Développer la gouvernance et l'analyse économique pour relever les défis

Dans le cadre de la gestion du ruissellement, les défis 2 et 8 sont à prendre en compte pour l'étude réalisée sur la commune d'Aizelles.

Dans le défi 2 nous retrouvons l'orientation 4 : Adopter une gestion des sols et de l'espace agricole permettant de réduire les risques de ruissellement, d'érosion et de transfert des polluants vers le milieu aquatique.

Le Programme d'aménagements d'Aizelles a pour objectif de limiter le ruissellement grâce à des techniques permettant de filtrer et de retenir les particules en amont des ouvrages et ainsi diminuer l'apport de sédiments vers le ru de Fayau.

Dans le défi 8 nous retrouvons l'orientation 35 : Prévenir l'aléa d'inondation par ruissellement. Le ruissellement est à l'origine d'un transfert d'une grande quantité d'eau notamment vers les zones urbanisées qui peut représenter des inondations avec de forts enjeux économiques et humains, ce transfert d'eau peut également augmenter le phénomène de débordement des cours d'eau comme ici à Aizelles. L'orientation 35 complète ce défi car le programme de gestion de ruissellement propose de retenir l'eau en amont des ouvrages et ainsi limiter le débit de fuite ce qui permettra d'avoir un transfert de volume d'eau moins conséquents vers la zone urbanisée.

Ce projet d'aménagement prend en compte les préconisations du SDAGE seine-Normandie notamment grâce à des techniques de génie végétal (haies, fascines, talus) Ce programme inscrit donc de nouveaux aménagements fixe dans le paysage. Il est donc compatible avec le SDAGE grâce aux actions réalisées qui respectent les orientations 4 du défi 2 et 35 du défi 8. Le projet contribue à l'atteinte des objectifs du SDAGE pour la prévention des inondations par ruissellement.

2 : SAGE Aisne Vesle Suipe

Le SAGE est un document de concertation qui fixe les objectifs d'utilisation de mise en valeur, de protection qualitative et de gestion quantitative des ressources en eaux superficielles et souterraines et des milieux aquatiques.

Le SAGE se divise en deux parties :

- Le PAGD (plan d'aménagement de gestion durable) qui comprend 7 enjeux :
 - La gestion quantitative de la ressource en période d'étiage,
 - L'amélioration de la qualité de l'eau souterraine,
 - L'amélioration de la qualité de l'eau superficielle,
 - La préservation et la sécurisation de l'alimentation en eaux potables,
 - La préservation et la restauration de la qualité des milieux aquatiques et des zones humides,
 - Les inondations et ruissellement,
 - La gestion des ouvrages hydrauliques,

Sur ces 7 enjeux, celui qui concerne le projet est « Inondations et ruissellement ». L'objectif de cet enjeu est de réduire le risque d'inondations et de coulées de boue, pour répondre à cet objectif, le PAGD met en avant 3 orientations :

O : Limiter les quantités d'eau ruisselée

P : Etaler la crue

Q : Réduire la vulnérabilité des zones urbanisées

- La 2ème partie du PAGD est le règlement mais ce projet n'est pas concerné par cette rubrique.

Les aménagements préconisés sur le bassin versant ont pour but de ralentir ou stocker temporairement l'eau de ruissellement afin d'augmenter le temps de transit dans le village pour limiter les impacts sur la zone urbanisée. Le projet est donc en adéquation avec le SAGE Aisne, Vesle, Suipe.

3: PPRI (Plan de prévention des risques d'inondations)

Face aux risques importants des inondations dans la commune d'Aizelles un plan de prévention des risques d'inondations et coulées de boue a été approuvé le 3 mars 2008 par Mr le Préfet de l'Aisne. L'article L.562-1 du Code de l'Environnement précise les grands objectifs des PPR :

- Délimiter les zones exposées aux risques en tenant compte de la nature et de l'intensité du risque encouru, y interdire le cas échéant tout type de construction, ouvrage, aménagement ou exploitation ou prescrire les conditions dans lesquelles ils peuvent être réalisés.
 - Délimiter les zones qui ne sont pas directement exposées aux risques mais où constructions, ouvrages ou aménagements sont susceptibles d'aggraver les risques ou d'en provoquer de nouveaux.
 - Définir dans les zones citées les mesures de préventions, de protections et de sauvegardes
- Ce PPRI est applicable sur les communes d'Aizelles, Aubigny-en-Laonnois et de Saint-Thomas (Figure 11).

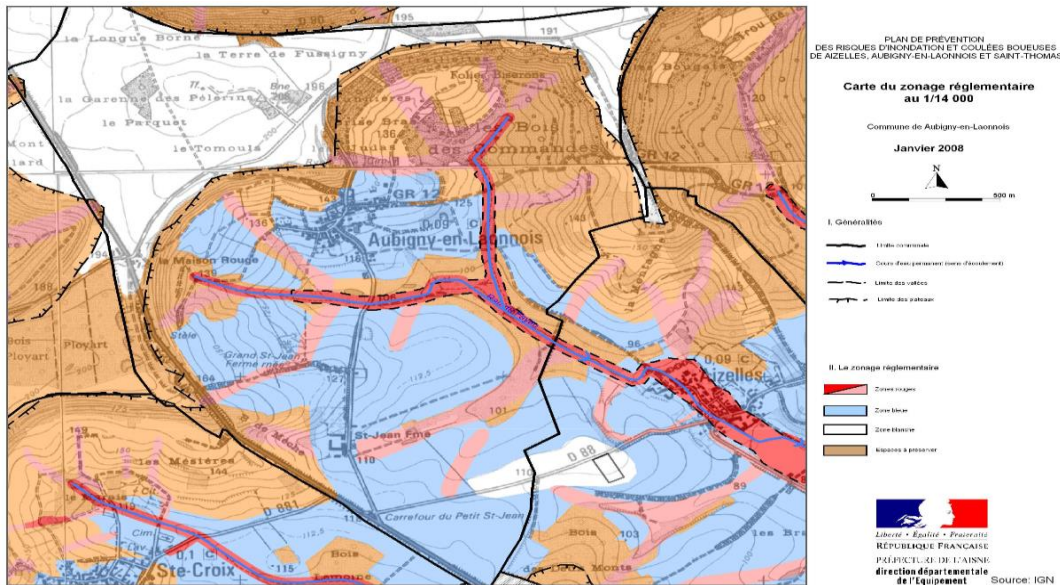


Figure 11: Carte du zonage réglementaire du PPRI sur le bassin versant du ru de Fayau (02), d'après DDT de l'Aisne

En fonction de la zone dans laquelle nous nous trouvons le PPRI autorise ou refuse des installations ou aménagements, ce zonage est réalisé en fonction des aléas.

L'article 2.1.6 (pour le zonage rouge), l'article 4.1.5 (pour le zonage marron) et l'article 3.1.2 (pour le zonage bleu) refuse les remblais, les exhaussements du sol, digues quel que soit le volume à l'exception des travaux visés à l'article 2.2.8 / 4.2.7 / 3.2.5. Ces articles autorisent les travaux et installations destinés à réduire les conséquences du risque d'inondations à l'échelle du bassin versant (dignes, bassins de rétention) sous réserve de :

- Une justification technique et économique de l'installation. Or l'étude qui a abouti aux propositions d'aménagements justifie techniquement le projet. Une analyse coût-bénéfice a été réalisée pour justifier leur intérêt économique.
- de mesure compensatoire si nécessaire. Le projet n'est pas concerné par cette rubrique.
- que les travaux soient réalisés par une collectivité compétente qui assurera la mise en place et la gestion des ouvrages. Pour ce projet, les travaux seront portés par une collectivité qui aura la compétence en matière de ruissellement.
- que le projet respecte la réglementation en vigueur.

Donc les ouvrages 1/2/3/5/6/8/10/11/12/14/15 présentés dans l'annexe 9 sont compatibles avec le PPRI.

Par ailleurs, les haies et fascines sont des ouvrages végétalisés au rôle filtrant participant à la recommandation « Maintien voire développement des zones boisées et des terrains enherbés ». Soit les aménagements 13/16 sont compatibles avec le PPRI.

Enfin pour la mise en place de saignée hydraulique, aucune mesure ne correspond à ces ouvrages mais étant considéré comme un ouvrage pour la lutte contre le ruissellement les articles 2.2.8, 4.2.7, 3.2.5 autorisent les travaux et installations destinés à réduire les conséquences du risque d'inondation à l'échelle du bassin versant.

L'ensemble des ouvrages permettent de créer des micro-rétentions temporaires, d'une hauteur maximale de 1 m, filtrant les écoulements pour la lutte contre le ruissellement et ainsi diminuer le risque d'inondation. Le plan d'aménagement est donc compatible avec le PPRI.

Le PPRI oblige à entretenir ces ouvrages. Un entretien régulier (vérification de la stabilité des ouvrages, taille et recépage des haies, fauche des bandes enherbées, curage des boues retenues après les fortes précipitations) sera réalisé.

4 : Dossier Loi sur l'eau

Le projet d'aménagement étant pour partie dans le lit majeur du cours d'eau (ru de Fayau), il est obligatoire de réaliser un dossier loi sur l'eau. Les installations, ouvrages, travaux sont définis dans une nomenclature, établie par décret en Conseil d'État après avis du Comité national de l'eau, et soumis à autorisation ou à déclaration suivant les dangers qu'ils présentent et la gravité de leurs effets sur la ressource en eau et les écosystèmes aquatiques. Cette nomenclature est composée de 5 titres :

1^{er} titre : Les prélèvements

2^{ème} titre : Les rejets

3^{ème} titre : Les impacts sur le milieu aquatique ou sur la sécurité public

4^{ème} titre : Impacts sur le milieu marin

5^{ème} titre : Régimes d'autorisation valant autorisation au titre des articles L214-1 et suivants du code de l'environnement

D'après la nomenclature, des opérations seront soumises à autorisation ou à déclaration en application des articles L.214-1 à L.214-3 du code de l'environnement.

Dans le cadre de notre projet nous retrouvons l'**article 3.2.2.0** « installations, ouvrages, remblais dans le lit majeur d'un cours d'eau » qui est soumis à autorisation si la surface soustraite est supérieure ou égale à 10000 m² et est soumis à déclaration si la surface est inférieure à 10 000 m² et supérieur à 400 m².

Nous retrouvons également l'**article 3.2.6.0** « ouvrages construits ou aménagés en vue de prévenir les inondations et les submersions » qui est soumis à autorisations pour les systèmes d'endiguement au sens de l'article R.562-13 et également à autorisation pour les aménagements hydrauliques au sens de l'article R.562-18. (Ouvrage pouvant stocker ou ralentir les eaux de surface)

L'**article 3.3.1.0** « Assèchement, mise en eau, imperméabilisation, remblais de zones humides ou de marais, la zone asséchée étant » supérieure à 0.1 ha, mais inférieur à 1 ha le projet est donc soumis à déclaration.

L'ensemble du projet est donc soumis un dossier d'autorisation (procédure en annexe 13) car le projet comporte 2 articles à procédure d'autorisation et 2 articles à procédure de déclaration.

5: PGRI (plan de gestion des risques d'inondation)

Le PGRI fixe pour 6 ans 4 objectifs pour réduire les conséquences du risque d'inondations sur la santé humaine, les acteurs économiques ou encore le patrimoine et l'environnement. Nous sommes actuellement dans le PGRI 2016-2021 du bassin Seine-Normandie.

Les objectifs ont pour but de mettre en œuvre et proportionné les enjeux des dispositifs, ces 4 objectifs sont :

- Objectif 1 : Réduire la vulnérabilité des territoires
- Objectif 2 : Agir sur l'aléa pour réduire le coût des dommages
- Objectif 3 : raccourcir fortement le délai de retour à la normale des territoires sinistrés
- Objectif 4 : Mobiliser tous les acteurs pour consolider les gouvernances adaptées et la culture du risque

Notre étude de lutte contre le ruissellement fait référence à l'objectif 2 parties F « prévenir l'aléa d'inondation par ruissellement » paragraphe 2.F.2 « privilégier la gestion et la rétention des eaux à la parcelle » Ce texte rappelle que l'objectif poursuivi est la rétention et la gestion des eaux adaptées à chaque parcelle en mobilisant les techniques de l'hydraulique douce, lorsque cela est techniquement possible notamment si les conditions pédologiques et géologiques le permettent : mise en place de haies, de talus, de fascines, noues. Ces stratégies peuvent mener une réflexion sur les pratiques agricoles susceptibles d'aggraver localement le risque de ruissellement.

Les aménagements de l'étude sont donc compatibles avec le PGRI.

VI. Entretien des ouvrages

1 : Entretien annuel

L'entretien annuel comporte les fauches des bandes enherbées, le nettoyage des buses, la taille des haies et fascines. Cela permet l'efficacité des ouvrages lors des fortes précipitations afin qu'il y ait une grande efficacité, Cela permet également de garder de bonne relation avec les propriétaires et exploitants.

2 : Entretien exceptionnel

Suite aux événements climatiques, il est nécessaire de réaliser un entretien dit « exceptionnel » car il se fait en fonction de l'intensité des épisodes climatiques, cela représente la remise en état des ouvrages pour leur redonner une capacité de fonctionnement optimale comme :

- Nettoyage d'ouvrages : extraire la boue en amont des ouvrages comme les rehausses de chemin, les haies, les fascines.
- Remise en état :
Si les rehausses de chemin sont creusés par la surverse la remise en état consiste au remblayage du chemin pour que le volume stocké en amont soit optimal.
Si les fascines sont décolmatées, il est nécessaire de rajouter de la terre et/ou des fagots pour assurer le contact entre la terre et les fagots pour faciliter la reprise.
S'il y a eu un dépôt de terre dans les zones tampons dû à la décantation de boue, il est nécessaire d'extraire ce dépôt pour garder un volume maximal de stockage pour la régulation des prochains épisodes climatiques.
- Enlever les accumulations de végétaux en amont des buses pour assurer un débit de fuite.

Cet entretien doit être réalisé le plus rapidement possible après les événements de ruissellement pour pouvoir assurer la fonctionnalité des ouvrages en cas d'enchaînement d'épisodes climatique provoquant du ruissellement.

VII. Résultats, Analyses et discussion

1 : Coût global du projet

A : Coût des ouvrages

1 : Programme d'indemnisation

Les indemnisations sont établies grâce à la convention agricole, elles comportent des frais de procédure soit 200 euros pour le propriétaire, et un montant pour une occupation temporaire de terrain pour les 20 années suivant les travaux. (Annexe 15)

2 : Coût de réalisation

Le programme d'aménagement (annexe 14) a un coût de 71 161 euros TTC, cela comporte les matériaux, la main d'œuvre et les coûts administratifs. Ce coût n'est qu'estimatif et peut varier au moment de la consultation des entreprises.

B : Coût de l'entretien

Le coût d'entretien annuel est un coût fixe qui permet la pérennité et le bon fonctionnement de l'ouvrage hydraulique.

L'entretien exceptionnel a lieu qu'après un sinistre, il est donc difficile d'estimer le coût de cet entretien, de plus il peut varier en fonction des dégâts, des volumes et de l'accessibilité. (Annexe 15)

C : Financier du projet

Le plan de financement n'est qu'estimatif à ce stade, il permet notamment de pouvoir demander des subventions auprès de partenaires financeurs.

Le principal financeur des projets est l'Agence de l'eau Seine-Normandie qui finance à 80% les travaux notamment lorsque que les conséquences du projet améliorent la qualité des cours d'eau. Des aides financières sont apportées pour les actions qui permettent de lutter contre les pollutions, d'améliorer la qualité de l'eau et des milieux aquatiques et de protéger la ressource en eau.

Plusieurs collectivités (Annexe 16) sont susceptibles de financer ce projet comme :

- L'Agence de l'eau Seine-Normandie
- La Région Hauts-de-France

L'Entente paye le reste à charge à cause de son rôle de maître d'ouvrage d'un minimum de 20% en fonction publique, sauf dérogation.

2 : Analyse coûts Bénéfice

L'analyse coût bénéfice a été menée pour le projet d'aménagement du bassin versant du ru de Fayau pour la lutte contre les inondations. L'ACB permet une évolution économique des bénéfices apporter par les ouvrages du plan d'aménagement en comparaison aux coûts de réalisation et d'entretien. Cette analyse prend en compte les dommages sur les habitations, pour les activités économiques (ici les exploitations agricoles et le camping) et enfin pour les ERP (établissement recevant du public) ici la mairie, l'église et les voiries.

La pertinence du projet.

Tout d'abord pour évaluer si le projet est économiquement rentable nous avons calculé le DEMA (dommage évité moyen annuel) il est dû à la soustraction entre le DMA (dommage moyen annuel) sans aménagements et le DMA avec aménagements (tableau 4).

Tableau 5: Récapitulatif du dommage évité moyen annuel pour la commune d'Aizelles (02)

	Habitat	Entreprise	ERP	TOTAL
DMA sans aménagements	93 100 euros	6 100 euros	27 700 euros	126 900 euros
DMA avec aménagements	18 200 euros	1100 euros	5 900 euros	25 200 euros
DEMA	74 900 euros	5000 euros	21 800 euros	101 700 euros

A : La Valeur Actualisée nette

Grâce à ce DEMA de 101 700 euros nous avons pu calculer la valeur actualisée nette (VAN). Cette valeur représente la pertinence du projet, en effet cela correspond à la quantité de dommages évitée dans la commune et donc l'économie réalisée grâce à la réalisation des aménagements. VAN est calculé grâce au coût du projet, au coût de l'entretien des aménagements et enfin grâce au DEMA

$$VAN = -C_0 + \sum_{i=0}^n \frac{DEMA - C_i}{(1 + r_i)^i}$$

Avec : C₀ le coût du projet (71 161 euros)

C_i le coût de l'entretien (5900 euros)

DEMA : le dommage évité moyen annuel (101 700 euros)

r_i : le taux d'actualisation à l'année i, ici 4%

Avec l'horizon temporel de 20 ans, on obtient : **VAN= 1 241 700 €**. La VAN du projet étant positive cela signifie que le projet est pertinent économiquement.

B : Le rapport des bénéfices totaux sur les coûts totaux

Le rapport bénéfice sur les coûts est également utilisé pour vérifier la pertinence du projet. Si le rapport est supérieur à 1 le projet est donc pertinent d'un point de vue économique.

$$B/C = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{DEMA}{(1 + r_i)^i}}{C_0 + \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(1 + r_i)^i}}$$

Avec : C₀ le coût initial du projet (71 161 euros)

C_i le coût d'entretien (5900 euros)

DEMA : le Dommage évité moyen annuel (101700 euros)

r_i : le taux d'actualisation à l'année ici 4%

Le rapport B/C pour le projet de lutte contre le ruissellement est de **9,6**.

Les indicateurs de L'ACB (VAN et B/C) nous montrent que le projet est pertinent et donc économiquement rentable. L'ACB est également un atout dans la recherche de financeurs pour le projet.

Conclusion

Le travail réalisé répond aux objectifs de l'étude. D'après la modélisation réalisée sur HEC-HMC, les ouvrages implantés sur l'ensemble du bassin versant permettront la réduction du débit d'environ 45% et une augmentation du temps de transfert (de 3h à 5 h).

De plus, ce projet est en parfait accord avec la réglementation environnementale (SDAGE, SAGE, dossier loi sur l'eau, PPRI). Or les aménagements hydrauliques ont une capacité hydraulique limitée, ils seront efficaces pour des pluies de retour 10 ans maximum, pour les pluies supérieures aux pluies de retour 10 ans les aménagements limiteront mais n'effaceront pas les inondations.

Les travaux respecteront un cahier des charges bien défini pour éviter tous impacts négatifs sur l'environnement. Cela sera bénéfique pour la faune et la flore du secteur (ZNIEFF I et ZNIEFF II) mais également pour la zone Natura 2000 située à environ 1.5 km n'aura aucun impact indirect pendant et après travaux.

Ce projet est donc un outil hydraulique facile à mettre en place avec l'aide et le soutien du monde agricole et des propriétaires. Il a également un impact économique important grâce à la baisse des dédommagements liés aux inondations, un impact environnemental important pour la faune et la flore présente sur le bassin versant et également un impact humain et matériel qui est réduit grâce à ce projet d'aménagement.

Or ce projet a des limites, les principales causes d'échec du génie végétal parmi les événements malheureux de mise en œuvre qui peuvent conduire à l'échec de la gestion du ruissellement, on peut citer de manière non exhaustive :

- L'absence de conception (absence de diagnostic, méconnaissance des techniques, etc.);
- Le choix d'une technique inadaptée ;
- L'absence de travaux forestiers d'éclaircissement ;
- Une préparation du terrain insuffisante (manque de nivellement, absence de débroussaillage préalable, etc.) ;
- Une mauvaise méthode de réalisation ;
- Une période de travail inadaptée ;
- Un mauvais choix de végétaux ;
- Des erreurs de manipulation des matériaux vivants (lors de prélèvement, du transport, du stockage, etc.) ;
- L'absence de soins et d'entretien à la végétation nouvellement installée ;
- Une mauvaise connaissance du ruissellement sur le territoire ;
- L'absence de connaissances fondamentales d'écologie (relations sol/eau/air/lumière).

Or toutes ces causes, ont été abordées durant l'étude ou dans le cahier des charges que les entreprises devront respecter. Ce projet d'aménagement est donc bénéfique à la gestion contre le ruissellement sur le bassin versant du ru de Fayau pour limiter les inondations dans la commune d'Aizelles.

Glossaire

- Hydrogramme : L'hydrogramme est le graphique de la variation temporelle du débit d'écoulement d'eau, mesurée au sol. On utilise des hydrogrammes pour étudier cette variation soit au point d'un bassin versant (hydrogramme de précipitations), soit à une section d'un cours d'eau (hydrogramme de ruissellement).
- Thalwegs correspond à la ligne formée par les points ayant la plus basse altitude, soit dans une vallée, soit dans le lit d'un cours d'eau.
- Réseau hydrographique : Ensemble des éléments naturels (rivières) ou artificiels (réseau), drainant un bassin versant.
- Bassin versant : bassin-versant est l'espace drainé par un cours d'eau et ses affluents. L'ensemble des eaux qui tombent dans cet espace convergent vers un même point de sortie appelé exutoire
- Pluies de retour 5 ans c'est une précipitation qui a 1 chance sur 5 de se produire
- Le routage hydrologique : c'est un décalage temporel entre un hydrogramme ruisselé calculé à l'exutoire d'un BV.
- Le génie végétal est une science pluridisciplinaire. Il se définit comme l'utilisation de plantes ou de parties de celles-ci, pour résoudre des problèmes de protection contre l'érosion, de stabilisation et de régénération des sols (Agence de l'eau seine Normandie, 2016-2021)

Bibliographie

- ~ Agence de L'eau seine Normandie, Le SDAGE 2016-2021 du bassin de la seine et des cours d'eau côtiers normands, 459 pages
- ~ Antea group, 21/12/2015, Réalisation de deux bassins d'écrêtement sur le ru de Fayau, Rapport : Note technique AVP, 21 pages
- ~ Antea group, Mission D'orientation, Analyse de scénarios d'aménagements de lutte contre le ruissellement sur le bassin versant de la commune d'Aizelles, Juin 2011, 14 pages
- ~ Arousseau P., Squidant H., Baqué M-C., Simon F., 1997 : Analyse des facteurs de risque de transferts de pesticides dans les paysages. Etablissement d'une hiérarchie de ces risques : application au calcul d'un indice de risque par bassin versant et par parcelle. Rapport de contrat pour l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, 22 p.
- ~ Aqua terre solution : Les solutions du génie végétal [en ligne]. Disponible sur < <http://www.aquaterra-solutions.fr/> > (consultée le 10/06/2019)
- ~ Arbres et paysages d'antan, 2019, Haies et biodiversité, [en ligne], Disponible sur < <http://www.arbresetpaysagesdautan.fr> > Consultée le 03/06/2019
- ~ BRGM/RP-64102-fr, Etude du fonctionnement hydrologique-hydrogéologique du bassin versant de la miette (02), rapport final, novembre 2015, 80 pages
- ~ BRGM/RP-68567-FR, Evaluation du risque ruissellement et coulée de boue Bassin versant de la Troesne Rapport final Décembre 2018, 78 pages
- ~ BIO TEC, Dossier d'autorisation au titre de la Loi sur l'eau, Aménagement et restauration morpho-écologique du ruisseau de Fayau en deux secteurs distincts Mai 2016 60pages
- ~ Contrat de Riviere Dyle-Gette : Aout 2011, Les coulées de boue par ruissellement [En ligne] Disponible sur < <http://www.crdg.be/site/thematique-inondations/503-les-coulees-de-boue-par-ruissellement.html> > Consultée le 30/05/2019
- ~ Département de Haute Normandie, Brochure - Les aménagements d'hydraulique douce, Avril 2010, 33 pages
- ~ Direction Départementale du territoire de l'Aisne, Règlement - Plan de Prévention des risques d'inondations et coulées de Boue (Aizelles, Aubigny en Laonnois et Saint Thomas), décembre 2007, 18 pages
- ~ Direction régionale et interdépartementale de l'environnement et de l'énergie d'ile de France (DRIEE), Plan de gestion des risques d'inondation 2016-2021, 151 pages
- ~ Entente Oise Aisne : Collectivité [En ligne]. Disponible sur < <https://www.oise-aisne.net/collectivite/C3%A9/> > (Consulté le 02/06/2019)
- ~ Entente Oise-Aisne, Dossier de Déclaration d'intérêt général, Proposition d'aménagement de gestion du ruissellement sur la commune de Valmondois, 41 pages
- ~ Entente Oise-Aisne, Dossier de déclaration d'intérêt général, bassin versant du ru de Fayau plantation de haies : campagne 2015, 49 pages

- ~ Entente Oise Aisne, Juin 2017: Propositions d'aménagements de gestion du ruissellement: commune de Bitry Rapport du dossier de déclaration d'intérêt général 17 pages
- ~ Gouvernement français, 2019, risques prévention des risques majeurs : Prévenir – Agir [En ligne] Disponible sur < <https://www.gouvernement.fr/risques/inondation> > Consultée le 15/07/2019
- ~ Laubier F., 2001 : La méthode de diagnostic parcellaire du risque de contamination des eaux superficielles et le détachement des particules des sols cultivés, Ingénieries EAT, Numéro spécial phytosanitaire, pp. 91-97.
- ~ Leonora Fleurent, Florence Habats, Maïa Akopian, Ludovic Oudin, Pierre Ribstein,(2016).Les Apports de l'hydraulique douce pour la gestion du ruissellement, Application à la crue de la seine de mai/juin, 16 pages
- ~ Ministère de la transition écologique et solidaire, Arrêtés portant reconnaissance de catastrophe naturelles, [En ligne] disponible sur <http://www.georisques.gouv.fr/connaitre_les_risques_pres_de_chez_soi/ma_commune_face_aux_risques/rapport?codeInsee=02007> (Consulté le 25/06/2019)
- ~ Ministère de la transition écologique et solidaire 23 octobre 2007 : [En ligne] DIRECTIVE 2007/60/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL : Disponible sur < <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/prevention-des-inondations> > (consulté le 28/06/2019)
- ~ Solagro, 2000 dans Liagre, 2006. Octobre 2007 LA HAIE ET L'ARBRE CHAMPÊTRE [en ligne] Disponible sur < http://www.grainepc.org/IMG/pdf/2007_haie_v2.pdf > Consultées le 03/06/2019
- ~ Syndicat des Rivières des Territoires de Chalaronne, Avril 2011, Etude et proposition de différentes solutions de gestion des inondations à mettre en œuvre sur les territoires de Chalaronne par modélisation hydraulique : Rapport d'étude. 94 pages
- ~ Yves LE BISSONNAIS, Jacques THORETTE, Cécile BARDET, Joël DAROUSSIN (novembre 2002 : L'érosion hydrique des sols en France Rapport de INRA, IFEN, 106 pages

Liste des figures

~	Figure 1 : Cartes réalisée par l'Entente Oise-Aisne représentant les infrastructures pouvant être inondées en fonction de la hauteur des eaux.....	7
~	Figure 2 : Sensibilité à l'érosion selon l'occupation du sol.....	9
~	Figure 3 : Photos représentant les conséquences du ruissellement à Aizelles(02)	10
~	Figure 4 : Carte représentant les fortes pentes (>10%) en rouge du bassin versant	11
~	Figure 5 : Hydrogramme représentant l'évolution des débits après la mise en place d'ouvrages de génie végétal.....	12
~	Figure 6 : Schéma représentant les différents corridors écologiques.....	13
~	Figure 7 : Carte représentant le plan d'aménagement pour la lutte contre le ruissellement....	18
~	Figure 8 : Profil transversale de l'ouvrage n°2.....	20
~	Figure 9 : Profil longitudinal de l'ouvrage n°2.....	20
~	Figure 10 : Schéma de réalisation d'une fascine.....	21
~	Figure 11 : Carte du zonage réglementaire du PPRI sur le bassin versant du ru de Fayau (02)	25

Liste des tableaux

~	Tableau 1 : Espèces principales protégées dans la zone Natura 2000.....	6
~	Tableau 2 : Profils longitudinale et transversale du bassin versant du ru de Fayau (02).....	6
~	Tableau 3 : Résultat de la modélisation pour les 3 scénarios.....	15
~	Tableau 4 : Les différentes espèces constituant la bande enherbée.....	22
~	Tableau 5 : Récapitulatif du dommage évité moyen annuel pour la commune d'Aizelles (02)	29

Liste des annexes

~ Annexe 1 : Carte représentant l'implantation de la haie de 2015.....	37
~ Annexe 2 : Organigramme de L'Entente Oise-Aisne.....	38
~ Annexe 3 : Carte représentant la localisation d'Aizelles dans le bassin versant de l'Oise.....	39
~ Annexe 4 : Carte représentant le fonctionnement hydraulique du bassin versant d'Aizelles.....	40
~ Annexe 5 : Courbe déterminant le type de pluies en fonction des hauteurs d'eau et de la durée des précipitations pour la commune d'Aizelles	41
~ Annexe 6 : Carte géologique et légende géologique.....	42
~ Annexe 7 : Tableau représentant l'efficacité hydraulique en fonction du type d'aménagement.....	43
~ Annexe 8 : Modélisation et résultats du fonctionnement du bassin versant	44
~ Annexe 9 : Tableau représentant les ouvrages proposés avec leur dimension, leur rétention et leur cadastre.....	46
~ Annexe 10 : Schéma de fonctionnement d'une haie Ainsi qu'un tableau représentant les espèces pouvant être implanté dans une haie.....	48
~ Annexe 11 : Tableau récapitulatif l'évolution d'une fascine.....	49
~ Annexe 12 : Tableau représentant les grandes étapes du projet avec leurs durées estimatives.....	50
~ Annexe 13 : Schéma représentant la procédure de demande d'autorisation loi sur l'eau	51
~ Annexe 14 : Tableau représentant le coût total du projet.....	52
~ Annexe 15 : tableaux de l'estimation des entretiens et des indemnités.....	53
~ Annexe 16 : Tableaux récapitulatif les subventions de l'agence de l'eau seine Normandie et de la région Hauts de France.....	54

Annexes

Annexe 1 : Carte représentant l'implantation de la haie de 2015



(Entente Oise-Aisne)

Direction : Jean-Michel Cornet
Secrétariat : Iris Hubert
Communication : Cécile Strippe

Service Ouvrages et
exploitation
Julien Leroy

Service Appui aux
territoires
Marjorie Andre

Secrétariat général
Véronique Zieteck

Joseph Descamps
Eve Baradel
Antoine Romano

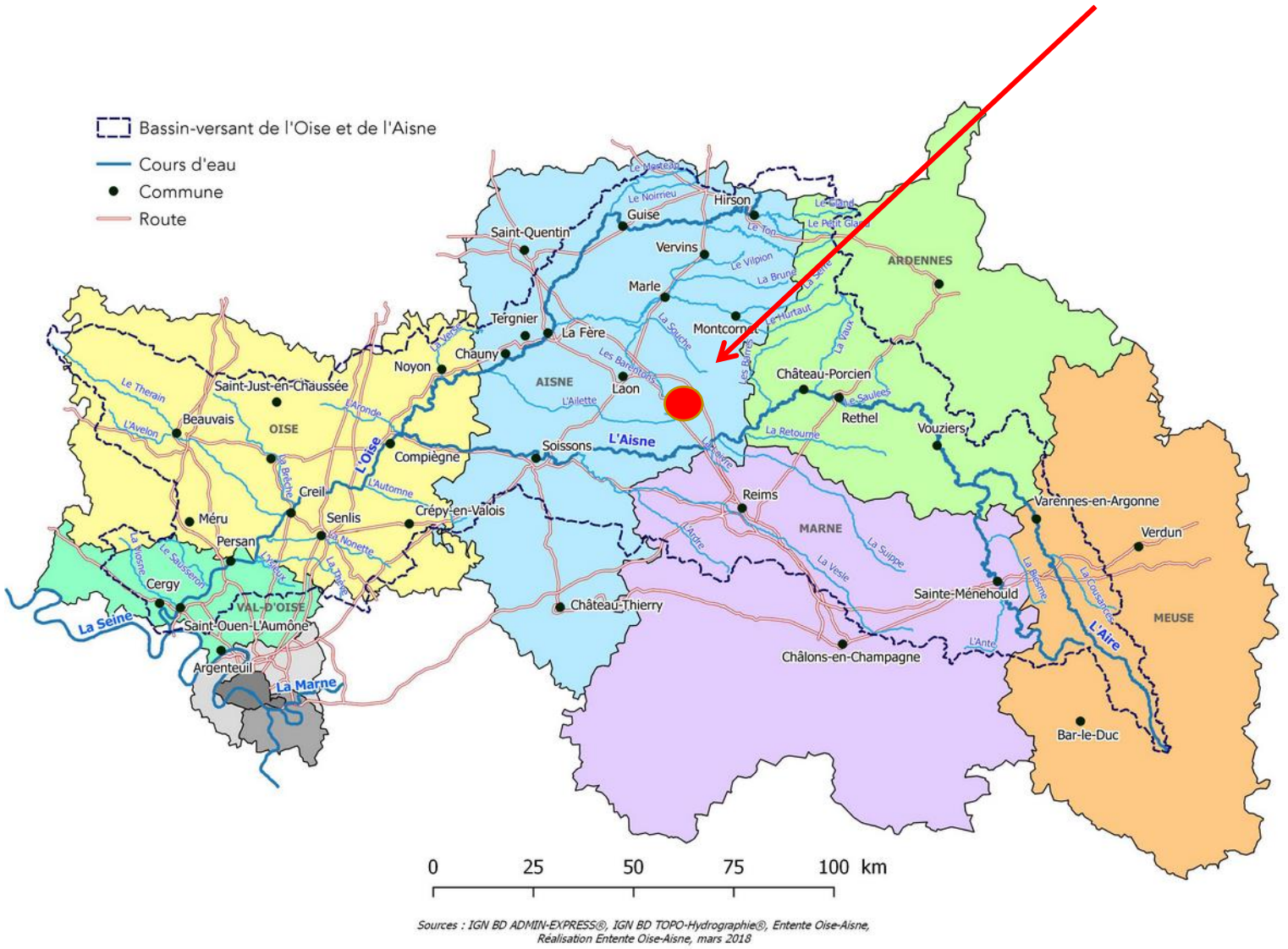
Thomas Lebreton
Thierry Frayon
Enora Chabran-
Poete

Catherine Zemb
Sandra Lebrun
Annabelle
Clement

(Lemaitre Geoffrey)

Annexe 3 : Carte représentant la localisation d'Aizelles dans le BV de l'Oise

Aizelles (02)



(Entente Oise Aisne, 2019 modifié par Lemaitre Geoffrey)

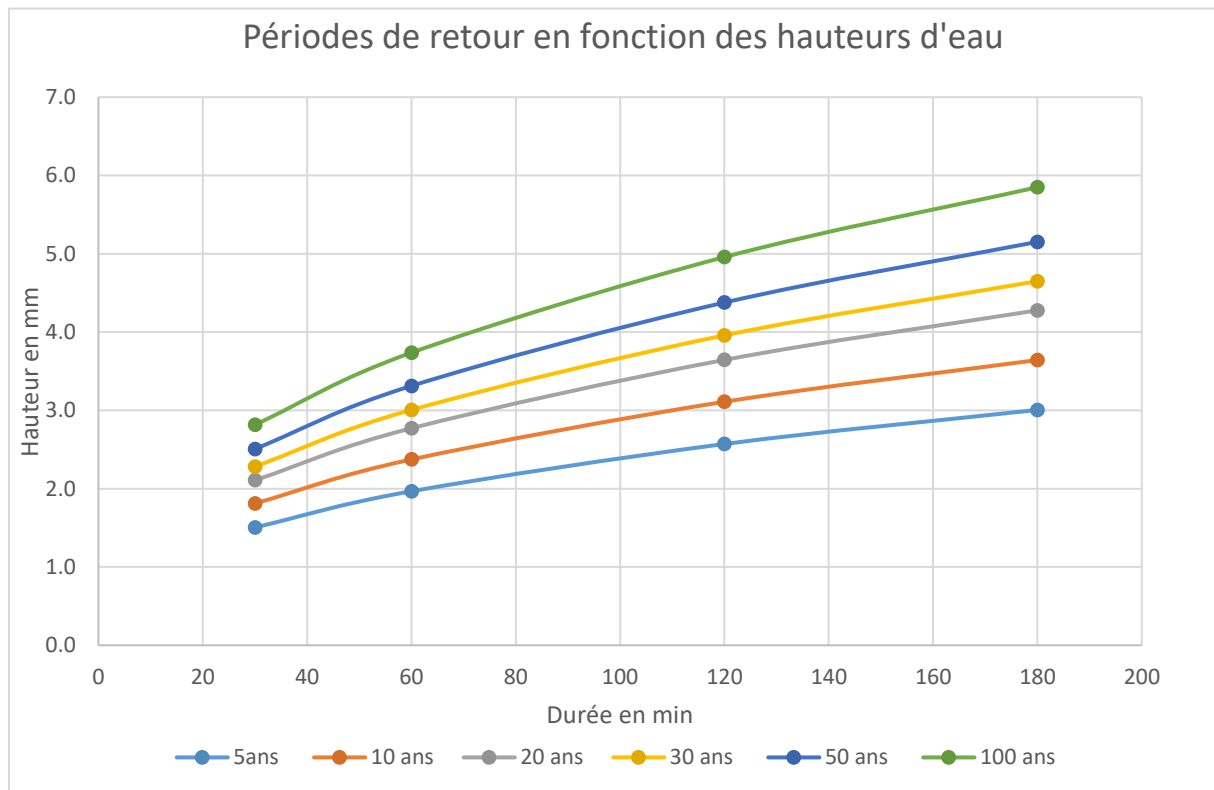


(Antea group, 21/12/2015 modifié par Lemaitre geoffrey)

Annexe 5 : Courbes déterminants le type de pluie en fonction des hauteurs d'eau et de la durée

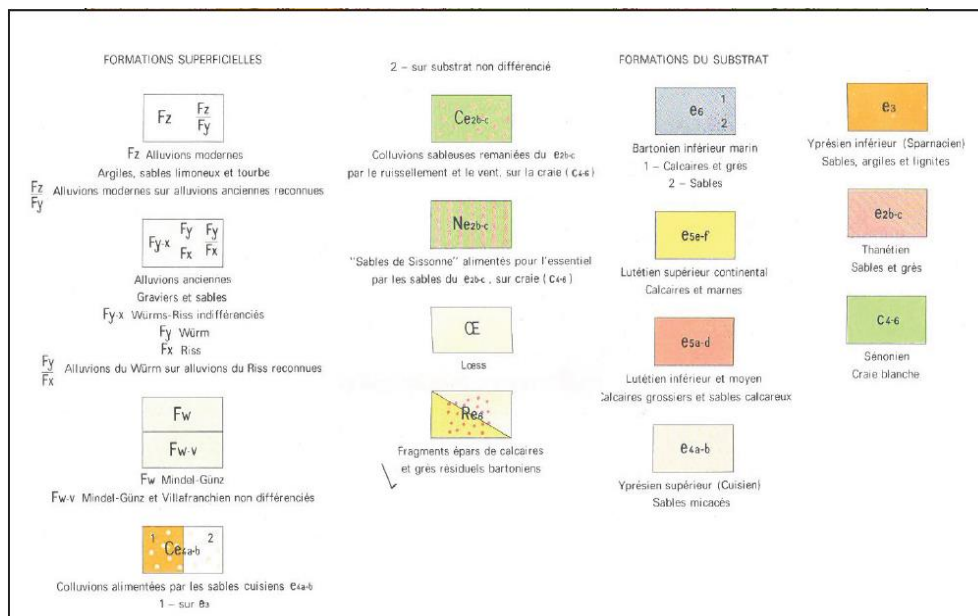
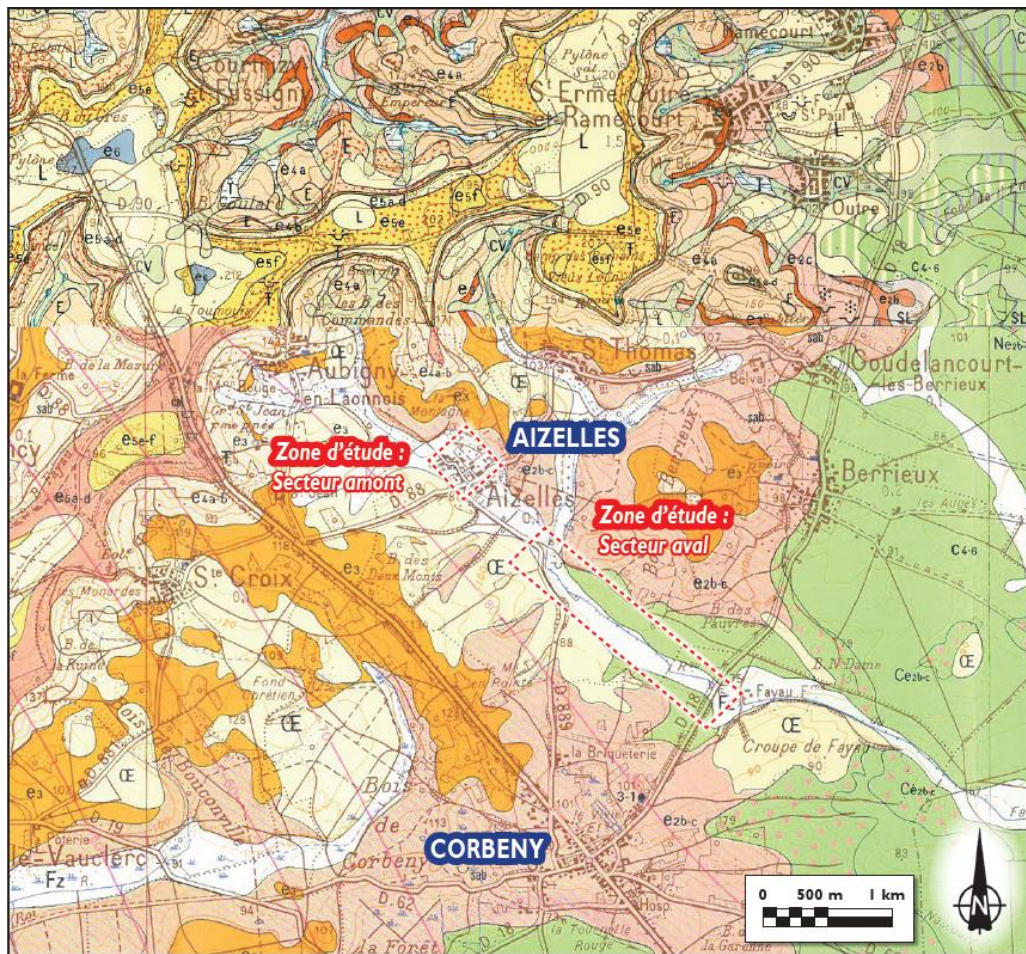
Reims			
6 min à 3 heures			
	a	b	Pluie (mm)
5 ans	4,054	0,614	19,7
10 ans	4,807	0,61	23,7
20 ans	5,5	0,605	27,7
30 ans	5,916	0,603	30,1
50 ans	6,388	0,598	33,1
100 ans	7,031	0,592	37,4

Hauteurs de pluie au poste de Reims-Courcy pour une pluie d'orage d'une heure (source : Météo France)



(Lemaitre Geoffrey)

Annexe 6 : Carte géologique et légende géologique



(BIO TEC, 2016)

Annexe 7 : tableau représentant l'efficacité hydraulique des ouvrages de génie végétal :

Type d'Aménagement (Ordre de grandeur valable en Haute-Normandie sur sol limoneux profond)		Echelle d'appréciation							
		1 : 0 - 20% d'efficacité	2 : 20 - 40% d'efficacité	3 : 40 - 60% d'efficacité	4 : 60 - 80% d'efficacité	5 : 80 - 100% d'efficacité			
		Efficacité / évènement d'occurrence F10							
		Plage temporelle	Erosion de versant	Erosion linéaire par R concentré	Sédimentation (MES; P ₂ O ₅)	Infiltration (Phyto)	Laminage		
Hydraulique rapprochée : réduction de l'érosion, ralentissement des écoulements, augmentation de l'infiltration et de la sédimentation	Mesures herbe surfacique	Bout de champs enherbé		5	5	4			
		Talweg enherbé	CT et LT		5	4	3	2	
		Cunette enherbée, noue			5		2		
	Mesures Linéaires	Fascine ⊥ talweg	morte	CT		3	4	1	1
			vivante (->haie hyper-dense)	CT et LT		3	4	2	1
		Haie vive ⊥ écoulement	Haie hyper-dense (1) à plat ⊥ talweg	LT		3	4	2	1
			Haie sur talus ⊥ versant	CT et LT	5	5	5	5	3
			Haie peu dense à plat sur versant	LT	1		1	2	1
		Haie vive // écoulement	Haie peu dense à plat dans talweg	LT				1	
	Mesures infiltration surfacique : herbe ou bois	Prairie de versant		5			5		
		Prairie d'infiltration et de sédimentation	CT et LT		5	4	5	2	
		Boisement d'infiltration		5		2	5	1	
	Mesures de ceinturage et de stockage	CT et LT	Gabion		5	1			
			Fossé simple		5	1	1		
			Fossé à redents		5	4	3		
			Fossé de ceinturage		5	1	1		
			Talus simple		3	3	1	1	
			Talus busé		3	4	2	2	
			Fossé-talus type cauchois		5	3	2	2	
			Diguette - Pli cultivable		2	4	1	2	
Mare tampon				2	4		2		

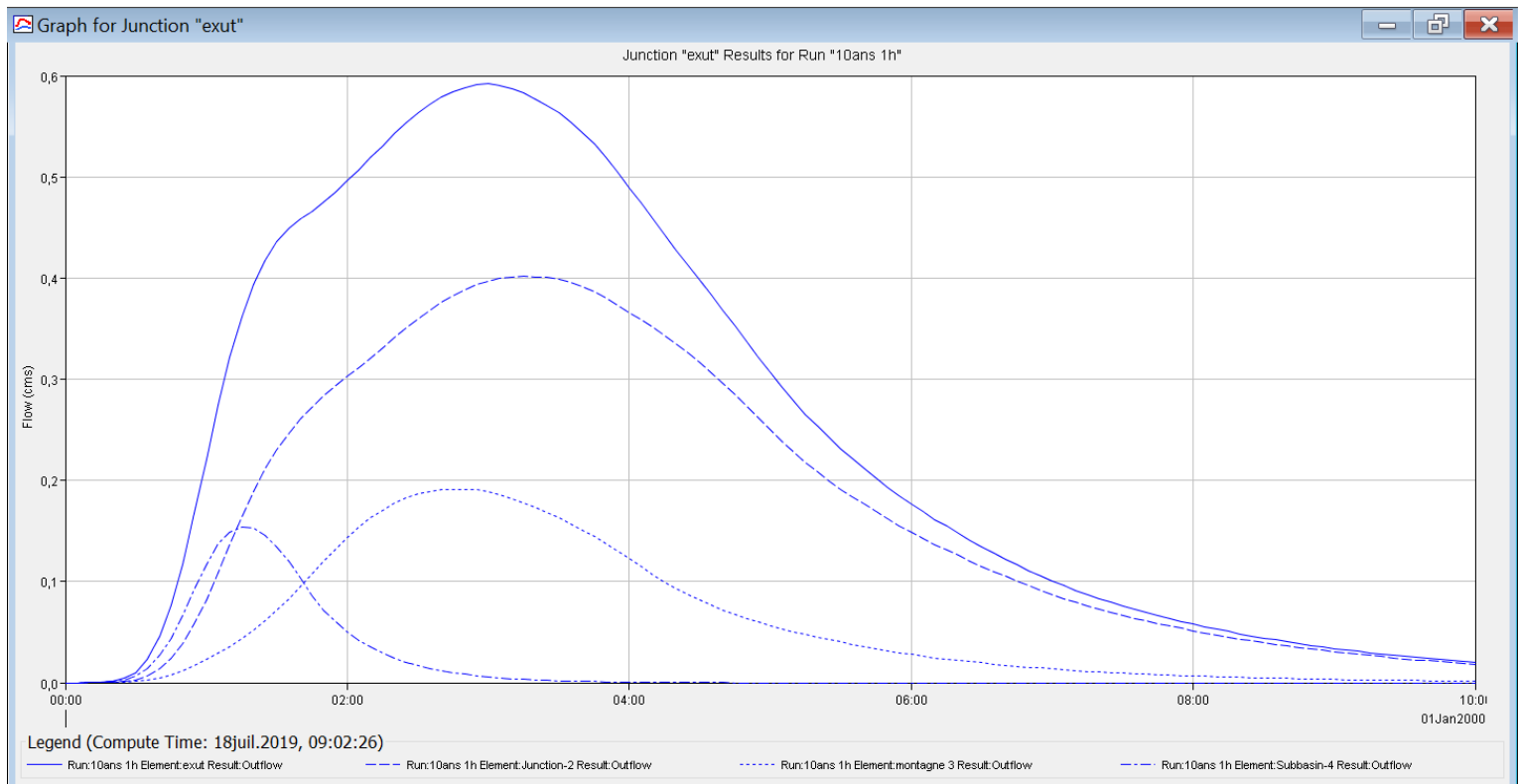
CT = Court Terme : 1 à 5 ans.
 CT et LT = Court et Long Terme : 1 à + de 10 ans.
 LT = Long Terme : à partir de 10 ans.

(1) Haie hyper-dense = haie avec + de 40 tiges /ml qui sortent du sol.

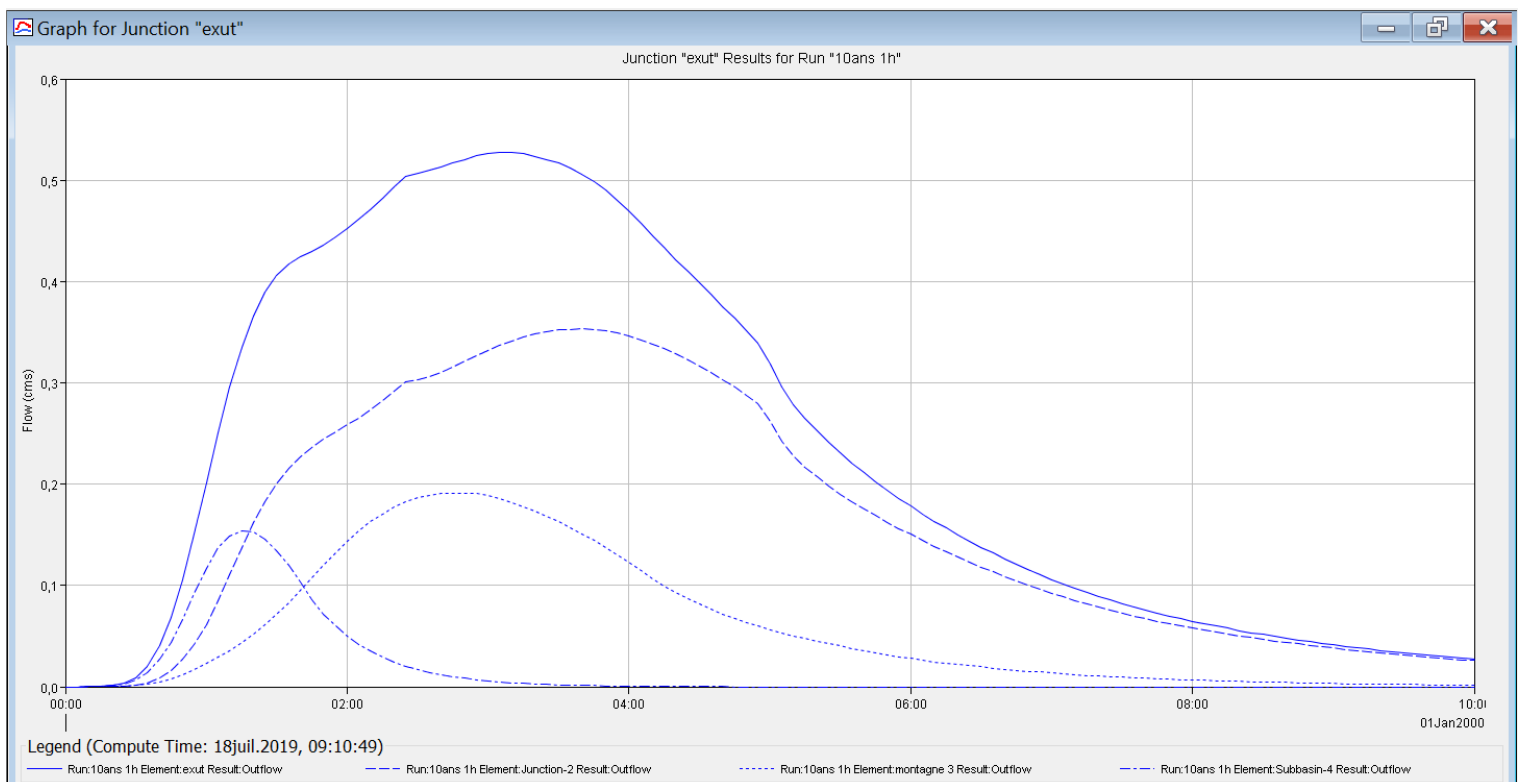
Source: AREAS 2011 JF OUVRY

(AREAS 2011)

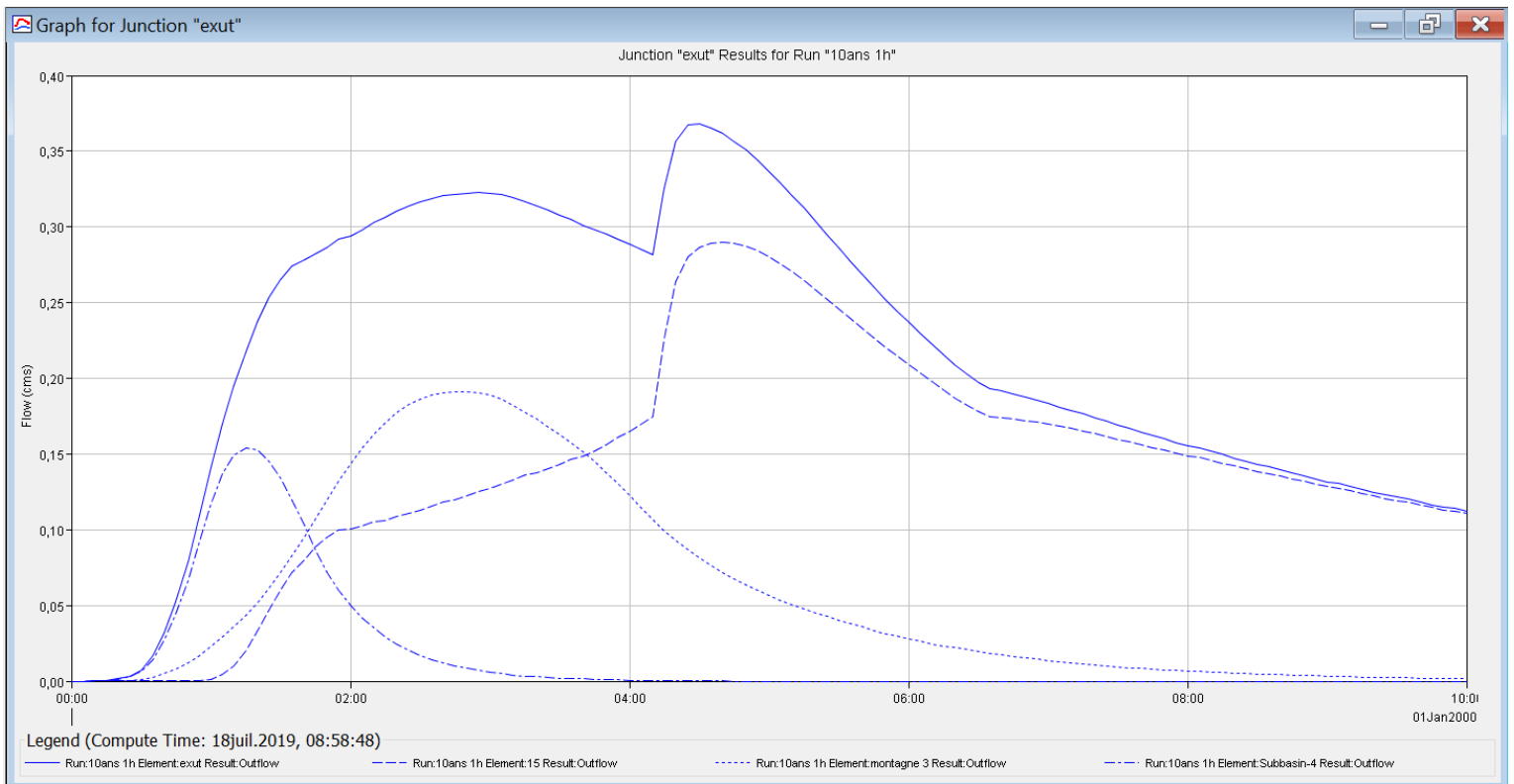
Scénario 1 :



Scénario 2 :



Scénario 3 :



(Lemaitre Geoffrey)

Annexe 9 : Tableau les ouvrages proposés avec leur dimension, leur rétention et leur cadastre

Type de mesure	Identifiant	Dimensions	Rétention (estimation)	Parcelle(s)
Génie végétal	Haie 1	6ml+9ml avec bande enherbée de 3m de large, billon de 40cm de haut et une largeur 1m sur la surface	5m ³	Commune d'Aizelles, lieu-dit : les grandes vignes, ZB 34 : lieu-dit les sencourts : ZB 33
Remblai	Remblai 2	50ml / 5m de largeur, rehausse de 30 à 40 cm au point bas avec buse d200	20m ³	Commune d'Aizelles, lieu-dit: les percheries, Chemin rural dit des percherie, ZB 20/ ZB 152/ ZB 22/ ZB 23a/ ZB 24a
Génie végétal	Haie 3	Environ 20ml avec bande enherbée de 3m de large, billon de 40cm de haut et une largeur 1m sur la surface	7m ³	Commune d'Aizelles, lieu-dit : Les chênes, ZB 37
Génie végétal	Haie 5	Environ 200ml avec bande enherbée de 3m de large, billon de 40cm de haut et une largeur 1m sur la surface + talutage	50m ³	Commune d'Aubigny en laonnois, lieu-dit : Les Roizelets, Chemin rural dit des Roizelets
Remblai	Remblai 6	50ml / 5m de largeur, rehausse de 1m au lit du ru avec buse d200	35m ³	Commune d'Aubigny, lieu-dit : A droite du chemin de saint-thomas, Chemin rural d'Aizelles à Aubigny
Saignée	Saignée 7	Réalisation de 2 saignées pour diriger l'eau du chemin vers les zones Boisées	/	Commune d'Aubigny, lieu-dit : A droite du chemin de saint-thomas, Chemin rural d'Aubigny à Sainte-Croix : ZB 39
Saignée	Saignée 7 bis	Réalisation de 2 saignées pour diriger l'eau du chemin vers les zones Boisées	/	Commune d'Aubigny, lieu-dit : Les Croix basses, Chemin rural d'Aubigny à Sainte-Croix : ZB 60 / ZB 59a
Remblai	Remblai 8	50ml / 5m de largeur, rehausse de 1m au lit du ru avec buse d200	35m ³	Commune d'Aubigny, lieu-dit : A droite du chemin de saint-thomas, Chemin rural d'Aubigny à Sainte-Croix : ZB 28a / b
Saignée	Saignée 9	Réalisation de 2 saignées pour diriger l'eau du chemin vers les zones Boisées	/	Communes d'Aubigny, lieu-dit : Les fayets, Chemin rural dit des fayets, ZB 70a/b

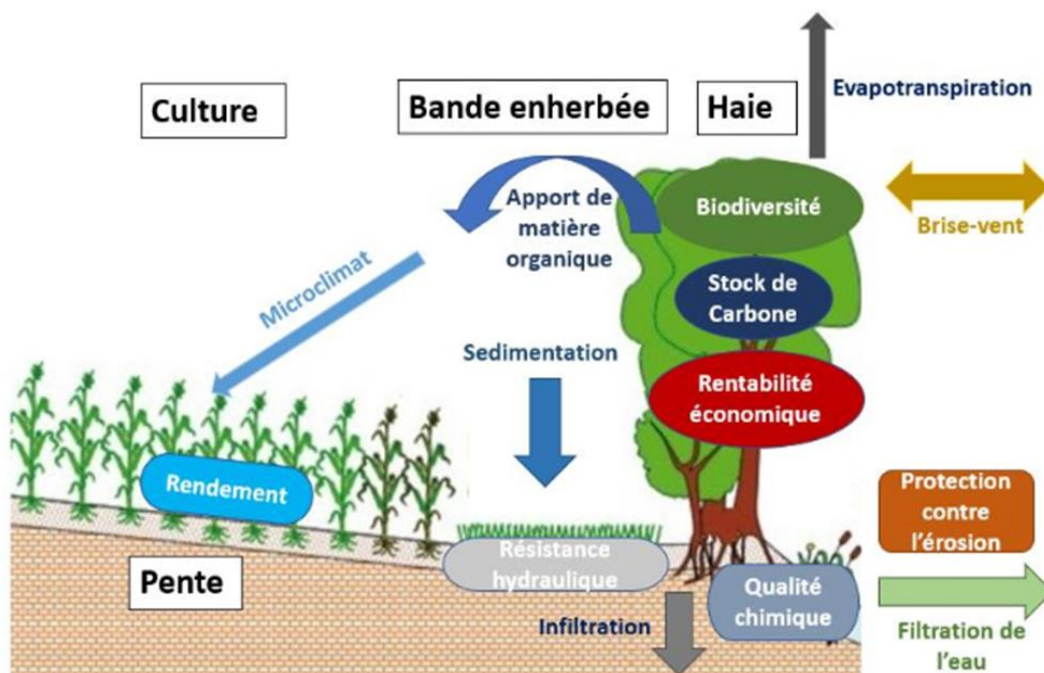
Zone humide	Z tampon 10	Environs 500m ²	50m ³	Commune d'Aubigny, Lieu-dit les Rotoy, Chemin rural dit des gloriottes, ZB 52
Zone humide	Z tampon 11	Environs 2000m ² abaissement du niveau de l'étang pour pouvoir stocker de l'eau lors de la montée du ru	100m ³	Commune d'Aubigny, Lieu-dit : Les Crassins : ZD 51a/b/c, ZD 50b
Génie végétal	Merlon 12	Environ 200ml avec bande enherbée de 3m de large, merlon de 40cm de haut et une largeur 1m sur la surface et 2m de largeur à la base	30m ³	Commune d'Aubigny, lieu- dit : Les vignes des visins; chemin rural dit des terres missions : ZD 22a/b, ZD 23
Génie végétal	Fascine 13	Environ 50ml (25ml de chaque côté du ru), 50 à 70 cm de haut, 1,3 à 1,5 m de large au sol	20m ³	ZB 4 / ZB 5 / ZB 6 / ZB 3 : Commune : Aizelles, Lieu- dit : La bigorne
Génie végétal	Fossé à redent 14	Environ 100ml, ouverture de 1m de large au point haut et 60-71cm à la base du fossé ; redent espacé de 5m avec une buse d200	10m ³	Chemin rural dit d'Aubigny à Aizelles ; lieu-dit : Les berceaux
Zone humide	Z tampon 15	Environ 700m ²	60m ³	ZB 145a/b : Commune : Aizelles, Lieu-dit : La bigorne
Génie végétal	Fascine 16	16 A = environ 35ml, 16 B = environ 15 ml, 50 à 70 cm de haut, 1,3 à 1,5 m de large au sol	10m ³	Communes d'Aubigny, lieu-dit : Les bas Bouleaux, ZC 49/ ZC55/ ZC 56/ ZC 3

(Lemaitre Geoffrey)




Annexe 10 : Schéma de fonctionnement d'une haie ainsi qu'un tableau représentant les espèces pouvant être implanté dans une haie

Choix	Espèces		Sols		Humidité		Profondeur	
			Argileux	Sableux	Frais	Sec	Profond	Superficiel
	Aubépine	<i>Crataegus monogyna</i>						
	Aulne glutineux	<i>Alnus glutinosa</i>	☺	☹	☺	☹	☺	☹
	Argousier	<i>Hippophae rhamnoides</i>	☺	☺	☹	☺	☺	☺
	Bourdaïne	<i>Frangula alnus</i>	☺	☹	☹	☺	☺	☺
	Cassis	<i>Ribes nigrum</i>	☺	☹	☺	☹	☺	☺
X	Cerisier de Sainte-Lucie	<i>Prunus mahaleb</i>	☹	☺	☹	☺	☺	☹
	Charme commun	<i>Carpinus betulus</i>	☹	☹	☹	☺	☹	☹
X	Cornouiller mâle	<i>Cornus mas</i>	☹	☺	☹	☺	☺	☺
	Cornouiller Sanguin	<i>Cornus sanguinea</i>	☺	☹	☺	☹	☺	☹
X	Coudrier (noisetier)	<i>Coryllus avellana</i>	☹	☺	☺	☹	☺	☹
x	Églantier	<i>Rosa canina</i>	☹	☺	☹	☺	☺	☹
	Érable champêtre	<i>Acer campestre</i>	☺	☹	☺	☹	☺	☹
	Fusain d'Europe	<i>Euonymus euræus</i>	☺	☹	☺	☹	☺	☹
	Groseillier commun	<i>Ribes rubrum</i>	☺	☹	☺	☹	☺	☺
	Pommier sauvage	<i>Malus sylvestris</i>	☹	☹	☺	☹	☺	☹
x	Prunelier	<i>Prunus spinosa</i>	☺	☺	☺	☺	☺	☺
	Saule blanc	<i>Salix alba</i>	☺	☹	☺	☹	☺	☹
	Saule vannier	<i>Salix viminalis</i>	☺	☹	☺	☹	☺	☹
	Saule pourpre	<i>Salix purpurea</i>	☺	☹	☺	☹	☹	☺
x	Saule cendré	<i>Salix cinerea</i>	☹	☺	☺	☺	☺	☹
x	Saule marsault	<i>Salix caprea</i>	☹	☺	☺	☺	☺	☹
x	Troène vulgaire	<i>Ligustrum vulgare</i>	☹	☺	☺	☺	☺	☹
	Viorne Lantane	<i>Viburnum lantana</i>	☹	☺	☺	☹	☺	☹
	Viorne obier	<i>Viburnum opulus</i>	☺	☺	☺	☹	☺	☹

(Entente Oise-Aisne)



Annexe 11 : tableau récapitulatif de l'évolution d'une fascine

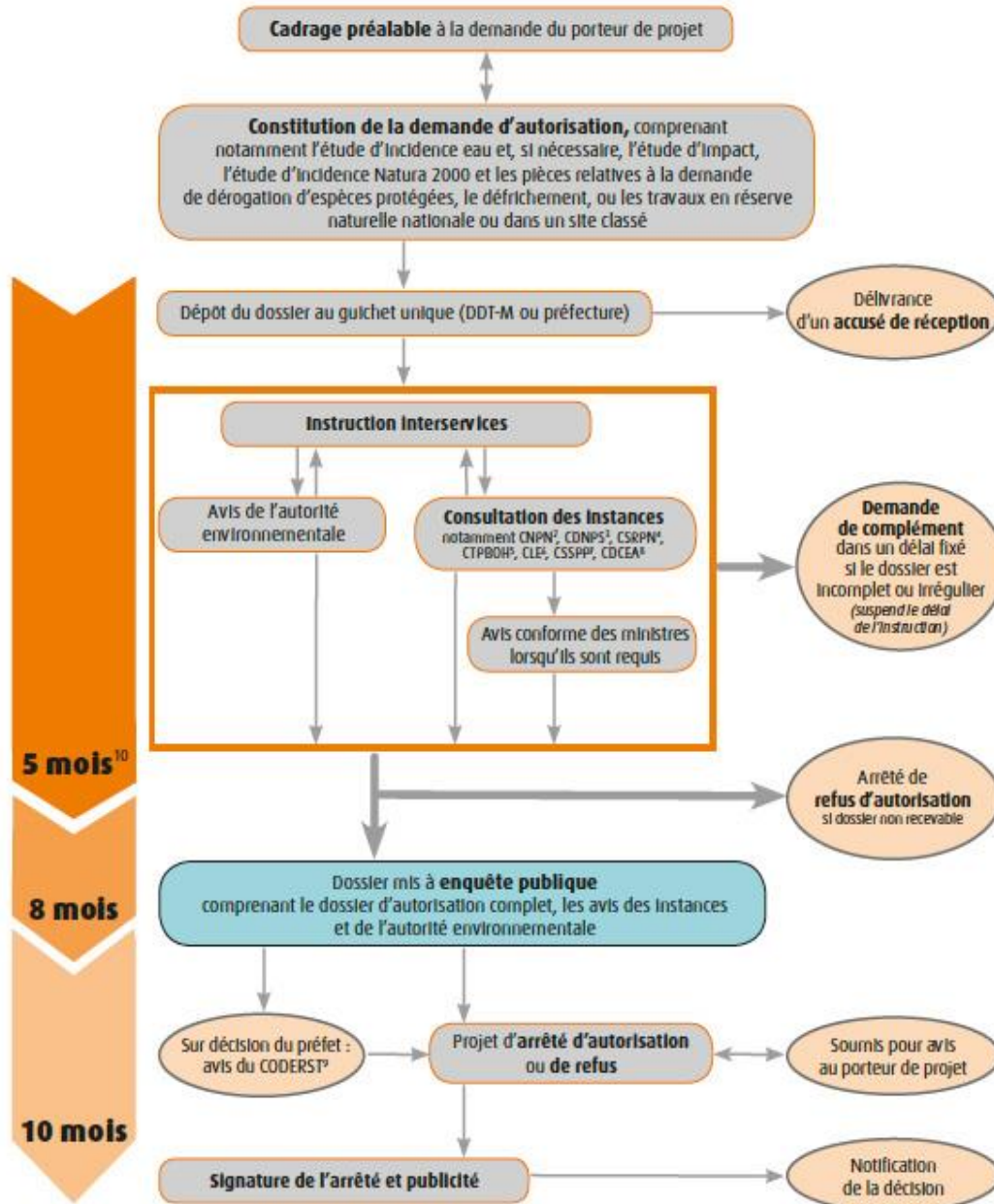
	<p>Fascine après travaux</p>
	<p>Fascine plusieurs mois après travaux en train de reprendre</p>
	<p>Rejet de saules créant un filtre et un obstacle à l'écoulement</p>

Annexe 12 : Tableau récapitulant les grandes étapes du projet avec leurs durées estimatives

Durée	Début du projet	6 mois	1mois	1ans	2 mois	4mois	20 ans
Etape du projet	Etat des lieux post-sinistre						
	Réalisation de l'étude						
	Reunion avec les acteurs						
	Concertation						
	Signature de la convention avec les						
	Réalisation des dossiers techniques et administratifs CCTP/CCAG						
	Demande de DIG avec enquête publique						
	Demande d'autorisation lois sur l'eau						
	Demande de subventions						
	Consultation publique						
	Choix de l'entreprise						
	Etat des lieux avant travaux						
	Réalisation des travaux						
	Etat des lieux après travaux						
							Entretien des ouvrages

(Lemaitre Geoffrey)

La procédure



² Conseil national de la protection de la nature ³ Commission départementale de la nature, des paysages et des sites ⁴ Conseil scientifique régional du patrimoine naturel ⁵ Comité technique permanent des barrages et ouvrages hydrauliques ⁶ Commission locale de l'eau ⁷ Commission supérieure des sites, des paysages et des perspectives ⁸ Commission départementale de la consommation des espaces agricoles ⁹ Conseil départemental de l'environnement et des risques sanitaires et technologiques ¹⁰ Le délai d'instruction est fixé à cinq mois. Le délai peut être prorogé par arrêté motivé.

Annexe 14 : Tableau représentant le coût total du projet

Ouvrages envisagés	Dimension en ml	Opérations	Coût (HT)	Coût (HT)
Haies 1-3-5	15+20+160	Réalisation de la haie sur le billon	5510	9401
		Apport de terre	3241	
		Grillages de protection + tuteurs	650	
Fascine 13-16	100	Mise en place d'une fascine triple	12000	15500
		Réalisation de trouées (2 opérations)	3500	
Zones tampons 10-11-15	2jours	Décaissement 400m3	2000	4800
	100	Création de merlons de fermeture	2500	
		Pose de 2 buses	300	
Saignées 7-7bis-9-14	1jours	Terrassement	2000	2000
Rehausse de chemins 2-6-8	175ml	Apport de graves (200m3)	5500	9500
	2 jours	Installations géotextile, buses	4000	
Fossé à redents 14	100	Redimensionnement/ terrassement	1200	2200
	100m3	Apport de pierres pour les redents	1000	
Merlon 12	200	Apport de terre	3000	3000
		Mise en place		
		Bande enherbée		
bande enherbée	600m ²	Semis	1800	1800
Frais divers			4820,1	
DIG			6000	
Amenée / repli du matériel			2500	
Total HT			48201	
TVA 20%			9640,2	
Total TTC			71161,3	

Annexe 15 : tableaux de l'estimation des entretiens et des indemnités

Entretien annuel						
Type d'ouvrage	Opérations	Coût	Dimension	Fréquence	Total	Total en euros TTC (2ans)
Haie	Taille des haies	1euros /ml	235ml	1fois/2ans	235euros / 2ans	235
	Extraction des rémanents					
Bande enherbée	Fauchage de la bande enherbée	1euros /m ²	1800m ²	3fois/ans	1800/ans	3600
Fascine	Taille des fascines	3euros/ml	100ml	1fois/2ans	300 euros/ 2ans	300
	Extraction des rémanents					
Noues, Merlons	Fauchage de la végétation herbacée	1euros /ml	300ml	3fois/ans	900euros / ans	1800
						5935

Entretien exceptionnel			
Type d'ouvrage	Opérations	Coût	Fréquence
Ouvrages servant de frein hydraulique (haies, fascine, redents, merlons)	Retrait et évacuation des boues accumulées en amont des ouvrages	2000euros /jours	Après chaque épisode climatique causant une diminution de l'efficacité des ouvrages hydrauliques
	Remise en état si les ouvrages sont endommagés	Devis en fonction des dégâts	
Rehausses de chemins	Nettoyage des buses	2000euros /jours	

Indemnisation					
Ouvrages	Dimension L*I	Montant année *n	Montant années 2<n<20	Frais de procédure	Coût total en euros TTC
1	15*3	38,25	11,43	400	
2	50*3	127,5	38,1	200	
3	20*3	51	15,24	200	
5	160*3	510	152,4	1400	
12	200*3	510	152,4	200	
		1236,75	369,57	2400	4006,32

Annexe 16 Tableaux récapitulant les subventions de l'agence de l'eau seine Normandie

VOS PROJETS	VOS FINANCEURS	État	Agence de l'eau Seine-Normandie	FEDER Bassin ou FEDER Régions (*)	Régions (*)
Animation de la mise en œuvre des actions		~	€ €	~	~
→ SLGRI : Stratégie Locale de Gestion des Risques d'Inondation		~	€ €	~	€
→ SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux		€ €	~	~	~
→ PAPI : Programme d'Actions de Prévention des Inondations					
AXE 1 : amélioration de la connaissance et de la conscience du risque		€ €	€	€	€
AXE 2 : surveillance, prévision des crues et des inondations		€ €	~	~	€
AXE 3 : alerte et gestion de crise		~	~	€	~
AXE 4 : prise en compte du risque d'inondation dans l'urbanisme		€ €	€	€	€
AXE 5 : réduction de la vulnérabilité des personnes et des biens		€ €	~	€	€
AXE 6 : ralentissement des écoulements		€ €	€	€	€
AXE 7 : gestion des ouvrages de protection hydrauliques		€ €	~	€	€

Ruissellement-érosion : études globales d'aménagement des bassins versants, étude de diagnostics et d'élaboration de programme d'actions, suivi de l'impact des aménagements	S 80 %	Oui pour les actions réalisées en régie***	2120	*** Coûts de référence et plafond définis pour l'animation (§ I.3)
Ruissellement-érosion : travaux hydraulique douce (haies, talus, bandes enherbées...)	S 80 % Ou S jusqu'au maximum autorisé par l'encadrement communautaire	Non	2121	