

COLAS François



# Etude de renaturation de la rivière Iton sur le site de l'ancien étang de Condé-sur-Iton

Phase d'ingénierie et de modélisation hydraulique



Stage réalisé du 1er Avril au 31 Septembre 2008  
Pour l'obtention du M2 IMACOF

Maitre de stage :  
COZILIS Christian,  
Directeur du bureau d'étude CE3E

Jury : BACCHI Michel  
LARRUE Corinne  
ROTGE Vincent



Ingénierie des Milieux Aquatiques et des Corridors Fluviaux  
Faculté des Sciences et Techniques  
Parc de Grandmont  
37 200 TOURS



## REMERCIEMENT

En premier lieu, je remercie Christian COZILIS de m'avoir permis d'effectuer mon stage au sein du bureau d'étude CE3E et de m'avoir encadré et conseillé durant toute cette période.

Je tiens également à remercier Nicolas GORIN et Serge SALVAN, tous deux ingénieurs du bureau d'étude, pour leurs conseils et leur bonne humeur,

Un grand merci à mes camarades de classes pour leurs précieux conseils. Je cite Damien DELAFOLLYE, Guillaume BOUNAUD dit « Mout-Mout », Lucien LAIZE, Nelly DIGOU, Ronan MARIE et ..... Jonathan LEPROULT.

J'ai également une pensée pour mes parents qui, outre leur soutien financier, m'ont soutenu et encouragé dans les moments les plus difficiles.

Enfin, je remercie toutes les personnes ayant participé, de près ou de loin, à la réalisation de ce rapport.

## SOMMAIRE

<b>SOMMAIRE</b> .....	<b>1</b>
<b>RESUME</b> .....	<b>2</b>
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>3</b>
<b>ORGANISME D'ACCUEIL</b> .....	<b>4</b>
<b>I. PRESENTATION GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE</b> .....	<b>5</b>
<i>I.1 Localisation géographique et zonage</i> .....	<i>5</i>
<i>I.2 Historique et activités</i> .....	<i>7</i>
<i>I.3 Hydrologie</i> .....	<i>7</i>
<i>I.4 Hydromorphologie</i> .....	<i>8</i>
<i>I.5 Qualité des eaux et des sédiments</i> .....	<i>10</i>
<i>I.6 Qualité environnementale et écologique du site</i> :.....	<i>11</i>
<i>I.7 Les problématiques du site</i> .....	<i>11</i>
<b>II. LE PROJET DE RENATURATION</b> .....	<b>13</b>
<i>II.1 La renaturation - Approche conceptuelle</i> :.....	<i>13</i>
<i>II.2 Chronique des études antérieures du site</i> :.....	<i>13</i>
<i>II.3 Phasage et contenu de l'étude</i> .....	<i>13</i>
<i>II.4 Objectifs et hypothèses d'actions en vue de la renaturation</i> .....	<i>14</i>
<i>II.5 Rappel de mes objectifs</i> .....	<i>15</i>
<b>III. MATERIELS ET METHODES:</b> .....	<b>16</b>
<i>III.1 Exploitation des données existantes et réunions d'orientations</i> .....	<i>16</i>
<i>III.2 La renaturation du bras de l'ancien étang</i> :.....	<i>16</i>
<i>III.3 La restauration du reste du continuum fluvial</i> :.....	<i>21</i>
<i>III.4 La conception du modèle hydraulique</i> : .....	<i>24</i>
<b>IV. RESULTATS ET DISCUSSION</b> .....	<b>29</b>
<i>IV.1 Le schéma de renaturation</i> .....	<i>29</i>
<i>IV.2 La modélisation hydraulique</i> .....	<i>40</i>
<i>IV.3 Impacts du projet et mesures accompagnatrices</i> .....	<i>48</i>
<b>CONCLUSION</b> .....	<b>51</b>
<b>GLOSSAIRE</b> .....	<b>52</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>54</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>55</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>56</b>
<b>TABLE DES MATIERES</b> .....	<b>57</b>

## RESUME

Cette étude concerne la renaturation du cours d'eau Iton au sein de l'Espace Naturel Sensible de Condé-sur-Iton. Les vestiges d'une activité industrielle révolue (ouvrages hydrauliques transversaux, ancien plan d'eau, multitude de biefs) sont à l'origine des bouleversements hydromorphologiques et écologiques du cours d'eau et de ses annexes hydrauliques.

L'objectif de cette étude est de définir des aménagements et une gestion appropriée du site pour permettre une reconquête des fonctionnalités naturelles de l'hydrosystème. Parallèlement à ceci, la conception d'un modèle hydraulique vise à évaluer l'impact de ces aménagements sur l'hydrodynamique fluviale.

Les grandes opérations du schéma de renaturation préconisent l'arasement des ouvrages hydrauliques, la recreation d'un cours d'eau sinueux au droit de l'ancien étang et les réajustements morphologiques complémentaires de ce cours d'eau. Ces choix intègrent les différents enjeux du site (sociaux, environnementaux...) dont l'accès au grand public.

En dépit des difficultés rencontrées lors de la modélisation hydraulique, le cours d'eau projeté semble présenter des écoulements plus ou moins diversifiés. Cependant, ce n'est que lors de l'arasement des ouvrages qu'il sera possible d'apprécier la réalité des écoulements, et d'adapter en conséquence les aménagements prévus initialement.

Enfin, outre l'amélioration de la qualité physique et par conséquent écologique du site, un fonctionnement optimisé de l'écosystème ne pourra se faire sans une amélioration de la qualité des eaux.

**Mots clés :** Renaturation, arasement d'ouvrage, modélisation hydraulique.

## ABSTRACT

This study concerns the renaturation of the river Iton within the Sensitive Natural Space of "Condé-sur-Iton". The relics of a past industrial activity (dams, ancient plan of water, multitudes of biefs) are at the origin of the hydromorphological and environmental problems of the watercourse and its hydraulic annexes.

The objective of this study is to define developments and appropriate management of the site to allow a reconquest of the natural functionalities of the hydrosystem. At the same time, the creation of a hydraulic model aims at assessing the impact of these developments on fluvial hydrodynamics.

The big operations of the schema of renaturation recommend the arasement of dams, recreation of a snaky watercourse in the ancient pond and the supplementary morphological readjustments of this watercourse. These choices insert different stakes (social, environmental) of the site of which the access to the general public.

In spite of difficulties met during hydraulic modeling, the cast watercourse seems to introduce more or less diversified flows. However, it is only during the arasement of works that it will be possible to appreciate the reality of flows, and to adapt consequently developments envisaged initially.

Finally, besides the improvement of the physical and as a result environmental quality of the site, a functioning optimized by the ecosystem will not be able to be made without an improvement of the quality of waters.

**Keywords:** Renaturation, arasement of dam, hydraulic modeling.

## INTRODUCTION

Dans le cadre de sa politique départementale des Espaces Naturels Sensibles (ENS), et au regard des orientations et enjeux du SDAGE et de la Directive Cadre Européenne sur l'eau, le Conseil Général de l'Eure (CG 27) souhaite mettre en œuvre une opération ambitieuse et exemplaire de renaturation de la rivière Iton sur le secteur de l'ancien étang de Condé-sur-Iton. Pour ce faire, le Département encourage une dynamique naturelle de l'Iton, actuellement contrainte par la présence d'ouvrages hydrauliques, ainsi qu'une restauration visant l'expression optimale de la biodiversité sur ce site.

L'objectif global de cette étude vise donc à définir, dans le respect des enjeux et contraintes du site, les aménagements et la gestion à réaliser pour obtenir une renaturation de la rivière Iton et des zones humides associées.

Au sein de ce projet, débuté en Mars 2008, mes objectifs s'intègrent à ceux précédemment cités. Plus précisément, une première mission est d'évaluer la création d'un nouveau lit au droit de l'ancien étang de Condé-sur-Iton, qui puisse répondre aux exigences de fonctionnalités définies au commencement de l'étude.

Dans un deuxième temps, mon objectif est de concevoir un Modèle Numérique de Terrain (MNT) modélisant le plus finement possible la topographie du site d'étude (lit mineur/lit majeur) en incluant l'ensemble des aménagements et modifications morphologiques prévus par le scénario de renaturation. Enfin, ce MNT doit conduire à une modélisation hydraulique permettant d'évaluer l'impact des opérations de restauration sur la dynamique du cours d'eau et si nécessaire leurs corrections.

En vue des travaux de restauration, ma contribution s'est également faite autour du calcul de cubature, de l'évaluation technique et financière du projet, et de la définition des aménagements au titre de la loi sur l'eau. Concernant l'ensemble de ces points, seule une esquisse des impacts du projet sera présentée à la fin de ce rapport.

Ce rapport débutera donc par une présentation générale de la zone d'étude afin d'exposer les contraintes et problématiques du site. Une seconde partie édifiera les caractéristiques de ce projet de renaturation et les objectifs précis à atteindre. Puis, une partie « Matériel et méthode » présentera la façon dont j'ai pu répondre à mes principales missions. Une partie « Résultats et Discussion » exposera les aménagements projetés et l'analyse des résultats de la modélisation hydraulique. Enfin, des mesures d'accompagnement seront proposées au vue des impacts potentiels du projet.

## ORGANISME D'ACCUEIL

Le présent rapport rend compte d'une étude effectuée au sein du bureau d'étude Conseil & Etudes, Eau, Espace, Environnement (CE3E).

CE3E est une société indépendante de conseils, d'études et d'expertises en environnement et bioingénierie, spécialisée dans le domaine des milieux aquatiques.

Créé en 1995 par l'actuel directeur, M. Christian COZILIS (ingénieur écologue et hydromorphologue), le bureau d'étude emploie actuellement deux chargés d'étude (1 ingénieur hydromorphologue et 1 ingénieur hydrobiologiste) ainsi que quatre apprentis-techniciens en alternance.

Elle se positionne dans différents types de domaines :

- Etudes générales liées à l'environnement,
- Etude dans le cadre des procédures administratives et réglementaires,
- Etudes et schémas d'aménagement,
- Etudes des milieux naturels / Inventaire faune – flore et microhabitats,
- Bioingénierie, études et maîtrise d'œuvre,
- Formation et communication en environnement.

Les principaux clients de la société CE3E sont majoritairement les collectivités locales, les administrations territoriales, les agences de l'eau, les industriels, les maîtres d'œuvre et les associations de particuliers.

Ma participation à ce projet de renaturation s'est faite aux côtés de Christian COZILIS et du chargé d'étude, Nicolas GORIN.

### **Mes activités au sein du bureau d'étude :**

Outre l'étude de renaturation dont fait l'objet ce rapport, j'ai également participé aux études suivantes :

- Etude de renaturation de la Blaise sur les communes de Tréon et Garnay (scénarii d'interventions, modélisation hydraulique),
- Etude de la restauration des berges en aval du déversoir de l'Huisne (Génie végétal, descente à canoë,...),
- Diagnostique hydromorphologique de la rivière Iton (phase terrain),

### **Mes activités en dehors du bureau d'étude :**

Dans le cadre de la mise en place d'un Plan Départemental de Protection des milieux aquatiques et de Gestion des ressources piscicoles, j'ai effectué, en lien avec la Fédération de pêche de Vendée, un inventaire des frayères à brochet sur le barrage de Mervent (85).

J'ai également réalisé, pour le compte de mon association de pêche (AAPPMA), une étude technique, financière et réglementaire sur les possibilités de création d'une pré-retenu à vocation piscicole sur la queue du barrage d'Albert (85).

## I. PRESENTATION GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE

Avant de rentrer concrètement dans l'étude de renaturation qui a été réalisé sur l'ancien étang de Condé-sur-Iton, il est important de bien cerner la complexité de la zone d'étude, autant du point de vue des activités passées et présentes sur le site, que sur les plans hydraulique, géomorphologique et écologique.

Remarque : Les annexes font l'objet d'un rapport individuel qui permettra de faciliter la lecture de ce rapport.

### I.1 LOCALISATION GEOGRAPHIQUE ET ZONAGE

Le secteur d'étude se situe en Haute-Normandie, au niveau de la commune de Condé-sur-Iton, localisée au sud du département de l'Eure (27).

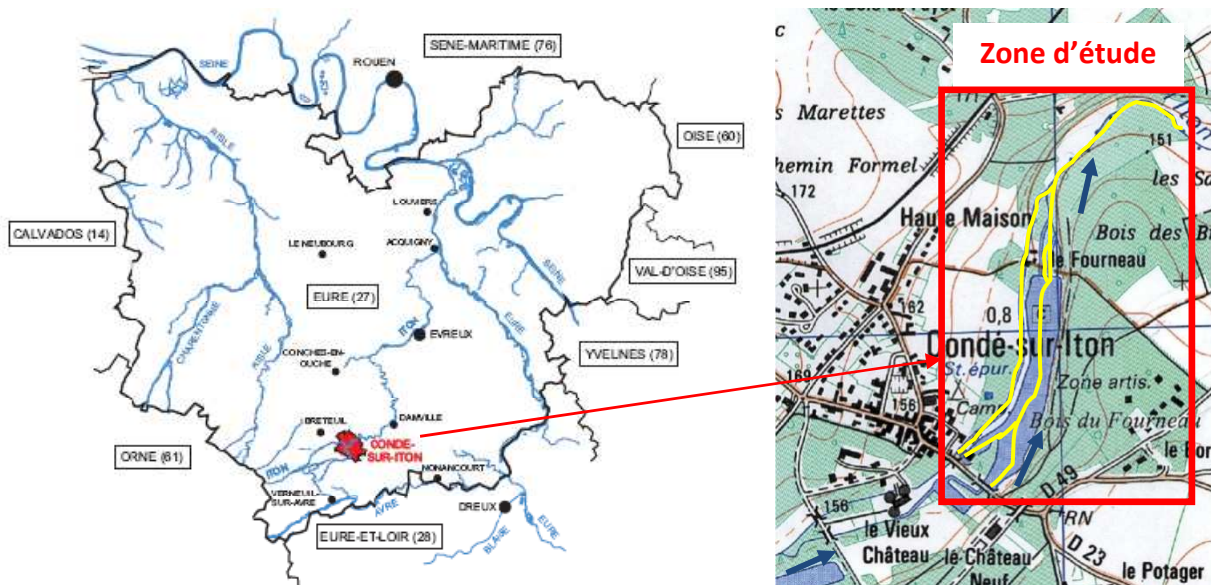


Figure 1: Localisation géographique de la commune de Condé sur Iton (à gauche) et de la zone d'étude sur un extrait de la carte IGN n°1914E BRETEUIL (à droite).

La zone d'étude, qui fait partie intégrante de hydrosystème Iton, est cantonnée au périmètre de l'Espace Naturel Sensible (ENS). Ce dernier s'étend sur un linéaire de 1,3 Km, de la départementale 23 (en amont) à l'extrémité aval du bois de Fourneau (Figure 1 et 2).

Cette délimitation particulière s'explique de la façon suivante :

- Premièrement, le Conseil Général de l'Eure, qui est le maître d'ouvrage de cette étude, est gestionnaire de la quasi-totalité des terrains compris dans cet Espace Naturel Sensible. Une intervention de restauration s'en trouve être facilitée du fait de la maîtrise foncière des terrains.

- Par ailleurs, un Château et un Moulin classé constituent respectivement les limites de restauration amont et aval, et pour lesquels une renaturation n'est pas envisageable.

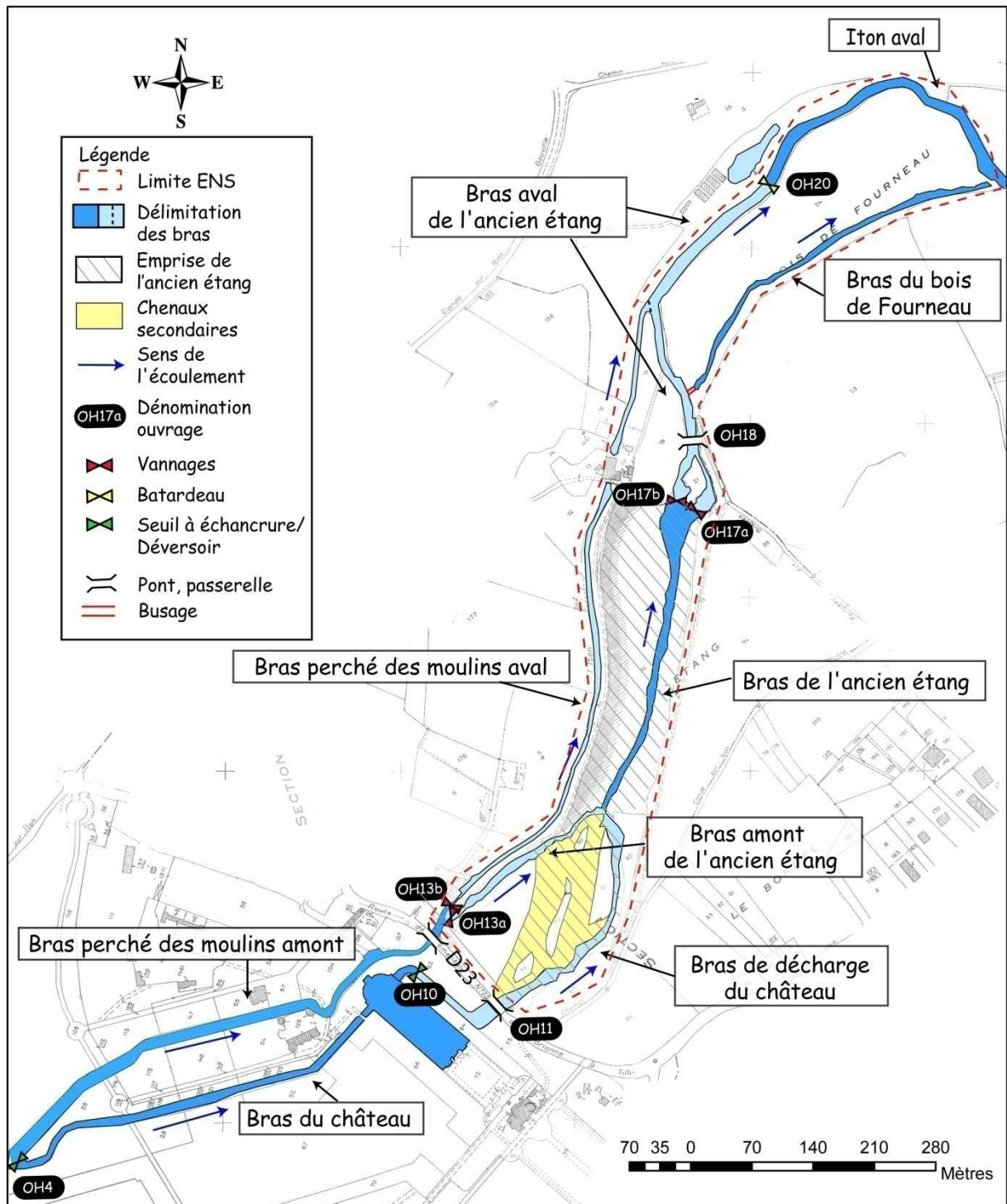


Figure 2: Localisation des biefs et ouvrages de la zone d'étude.

## I.2 HISTORIQUE ET ACTIVITES

Le secteur d'étude est situé sur une ancienne friche industrielle de fonderie et de scierie dont l'aménagement et le fonctionnement ont fortement modifiés la géomorphologie du cours d'eau. Cette anthropisation s'est traduite essentiellement par la création de bras usiniers, de moulins et d'un plan d'eau, nommé par la suite « Etang de Condé-sur-Iton » (Figures 2 et 3).

Après l'arrêt des activités industrielles, le site a évolué vers des usages socio-récréatifs (pêche, promenade, loisirs liés à l'eau). Très fréquenté par les habitants de la vallée de l'Iton et du pays, il a permis de maintenir une activité de commerce et de camping sur la commune jusqu'à ces dernières années où la fréquentation a fortement chuté.

En effet, le manque d'entretien des ouvrages hydrauliques de la retenue d'eau et la tempête de 1999, génératrice de nombreux embâcles, se sont traduits par la prise d'un arrêté préfectoral le 18 février 2000 visant à la mise à l'eau basse du plan d'eau. Cette décision devait permettre une sécurisation du site en évitant la rupture des ouvrages de gestion du niveau d'eau.

Actuellement, le plan d'eau n'existe donc plus et les installations de ces anciennes usines sont en ruine.

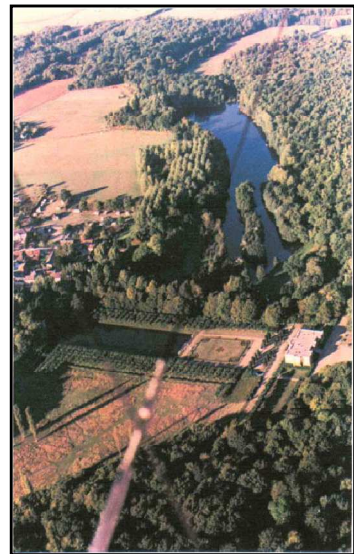


Figure 3: Vue aérienne avant la mise à l'eau basse de

## I.3 HYDROLOGIE

Alimentée par des précipitations faibles mais régulières, la rivière Iton présente des fluctuations saisonnières de débit peu importantes.

L'Iton connaît habituellement sa période d'étiage au mois d'Août et ces débits moyens les plus forts au mois de Février (Tableau 1).

Les valeurs suivantes ont été mesurées à la station hydrologique de Manthelon, en 2005 (données issues de la Banques Hydro -H9402010-).

Tableau 1: Débits moyens mensuels de l'Iton sur l'année hydrologique de 2005 à Manthelon.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Débit (m <sup>3</sup> /s)	1.530	1.910	1.660	1.330	1.060	0.703	0.598	0.371	0.332	0.499	0.979	1.120	Débit module 1.000

D'autres valeurs caractéristiques des différents régimes de l'Iton peuvent être mises en évidence.

- QMNA5\* de l'Iton = 0,14 m<sup>3</sup>/s
- Le débit module\* = 1,0 m<sup>3</sup>/s
- Le débit annuel QJ1\* = 7,5 m<sup>3</sup>/s
- Le débit décennal Q10 = 17 m<sup>3</sup>/s
- Le débit vicennal Q20 = 22 m<sup>3</sup>/s

Cette station hydrologique est située à 15 km en aval de la zone d'étude et constitue la seule station de référence, ce sont donc ces valeurs qui ont été prises en compte dans le cadre de cette étude.

Remarque : Le symbole « \* » indique qu'une définition du mot précédent est présente dans le glossaire à la page 52.

## I.4 HYDROMORPHOLOGIE

En conséquence des activités industrielles passées, un réseau complexe de bras de dérivations et d'ouvrages hydrauliques transversaux régie l'hydraulicité du site d'étude.

Aussi, bien que notre étude soit conditionnée aux limites de l'ENS, l'évaluation du fonctionnement hydraulique du site a du être étendue à l'amont de la départementale 23 (Figure 2).

Remarques : La dénomination des ouvrages hydrauliques qui est faite ci-dessous découle d'une étude hydraulique préalable de la rivière Iton réalisée en 2004 et qui comprenait, entre autre, la zone d'étude dont fait l'objet ce rapport.

### I.4.1 *Le lit mineur* :

#### I.4.1.1 En amont de la départemental 23

L'ouvrage OH4, simple seuil à échancrure, constitue le 1<sup>er</sup> ouvrage répartiteur de débit. Celui-ci permet l'alimentation de deux chenaux :

- le « **Bras perché des moulins amont** » au Nord. Axe principal de l'Iton, celui-ci alimente les douves du château. Il passe sous la départementale 23 (D23) avant de rejoindre un nouvel ouvrage répartiteur de débit : OH13 (a et b).

- le « **Bras du château** » au Sud. Celui-ci alimente la pièce d'eau du château. Le maintien de celle-ci est assuré par un déversoir (ouvrage OH10), situé à quelques dizaines de mètres en amont de la départementale 23 (pont OH11).

#### I.4.1.2 Au droit et en périphérie de l'ancien étang

Dans un premier temps, l'ouvrage OH13, constitué d'un double vannage actuellement hors d'usage (a et b), répartie les débits entre deux autres bras :

- le « **Bras perché des moulins aval** » : En situation perchée, il constitue le cours d'eau de dérivation de l'ancien étang. Partant de l'ouvrage OH13b, il présente un tracé rectiligne de près de 700 mètres. Il alimente le lavoir communal (élément patrimonial), reçoit les eaux de la station d'épuration et passe sous un ancien moulin en ruine (« Moulin des Forges »).

- le « **Bras amont de l'ancien étang** » : Il part de l'ouvrage OH13a et rejoint une connexion entre le Bras de décharge du Château et le Bras de l'ancien étang (connexion 1). Sur un plan morphologique, l'emprise de ce bras est limitée en rive gauche par la digue de l'étang surmontée d'un cheminement. Ce tronçon présente dans sa partie amont la fosse de dissipation de l'ouvrage OH13, suivi d'un large radier. Enfin, les 140 derniers mètres de ce tronçon laissent apparaître des faciès d'écoulement plats à profonds lentiques, résultants du remous des ouvrages OH17a et b (Annexe 1). Il en découle également un envasement par les limons du substrat benthique graveleux.

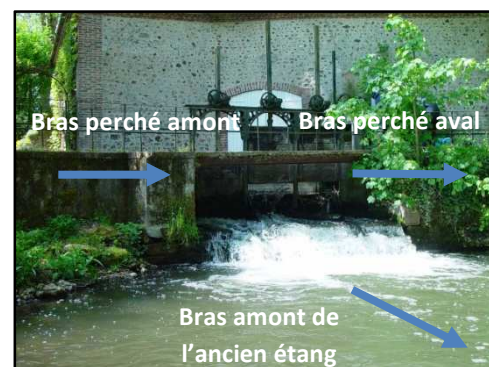


Figure 4: Ouvrage hydraulique OH 13.

- le « **Bras de décharge du Château** » : Il part du pont de la D23 ou plus précisément de l'ouvrage OH10 pour rejoindre la connexion précédemment citée. Comme son nom l'indique, il constitue un chenal de décharge de la pièce d'eau du château. Profond de 70 cm en moyenne, il se trouve être sous l'influence totale des ouvrages OH17. Les écoulements stagnants expliquent l'envasement prononcé sur ce linéaire.

- le « **Bras de l'ancien étang** » : Il représente le chenal curé de l'ancien étang de Condé-sur-Iton (Figure 5). Par un tracé semi rectiligne, il joint la connexion 1 et les ouvrages OH17. Il est entièrement sous le remous des ouvrages OH17a et b, défectueux et embâclés (Figures 6 et 7).

Pour ce qui est du substrat, celui-ci est entièrement constitué de limons, résultat de plusieurs décennies de sédimentation.



Figure 5: « Bras de l'ancien étang » depuis OH17a.

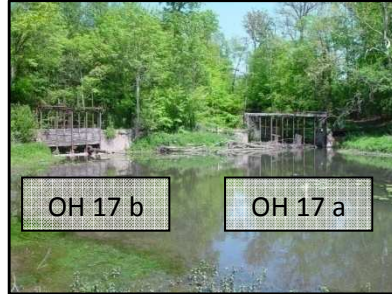


Figure 6: Vue amont des vannages OH17 (a et b).



Figure 7: Vue amont d'OH17a embâclé.

#### 1.4.1.3 En aval de l'ancien Etang

- Le « **Bras aval de l'ancien étang** » : Dans sa partie amont, les deux exutoires de l'ancien étang contournent un îlot et se rejoignent en un chenal unique au droit de la passerelle OH18, avant de rejoindre l'ouvrage OH20, 400 mètres plus loin.

Sous le remous de OH20, ce tronçon présente un faciès de plat à profond lentique - 1 à 2 mètres de profondeur (Figures 8 et 9).



Figure 8: « Bras aval de l'ancien étang ».



Figure 9: L'ouvrage OH20.

Enfin, OH20 était destiné originellement à l'alimentation du plan d'eau d'un élevage de Myocastors (Ragondins), situé en rive gauche. Cet usage n'est plus d'actualité.

- L' « **Iton aval** » : Ce tronçon joint l'ouvrage OH20 à l'extrémité aval de la zone d'étude. Sur le plan hydromorphologique, ce bras présente une succession diversifiée de faciès d'écoulement (Annexe 1). En revanche, en fin de parcours, un écoulement profond lentique domine, conséquence de la présence d'un moulin situé à Sées-Moulins (1 km en aval).

- Le « **Bras du bois de Fourneau** » : Au Sud de la peupleraie du bois de Fourneau, ce bras court-circuite l'Iton sur près de 450 mètres avant de rejoindre l'extrémité aval de la zone d'étude. Constitué d'une buse dans sa partie amont (OH19), l'alimentation de ce bras est permise par le maintien de la ligne d'eau induite par la présence de l'ouvrage OH20.

Enfin, ce bras artificiel n'apparaît ni sur les cartes IGN (Echelle au 1 : 25000), ni sur les plans cadastraux : il n'a aucune existence légale.

## **1.4.2 Le lit majeur**

### **1.4.2.1 Géologie**

Le lit majeur de l'Iton s'étend sur environ 120 mètres de large. Évoluant essentiellement sur des massifs d'alluvions récents, quelques massifs d'alluvions plus anciens ponctuent le lit majeur. Ces irrégularités sont à l'origine du resserrement géologique au droit de l'ouvrage OH17. Les alluvions constitutives du plancher alluvial sont issues des massifs crayeux alentours.

### **1.4.2.2 Végétation et occupation du sol**

- Enclavé entre le Bras amont de l'ancien étang et le Bras de décharge du château, des chenaux secondaires sont présents (Figure 10). Activées en régime de crue, ces dépressions, colonisées par de jeunes saules et aulnes, serpentent entre des îlots envahis de vieux aulnes (Annexe 1).

La végétation rivulaire sur ces deux bras est variée mais souffre d'une absence d'entretien.

- Sur le Bras de l'ancien étang, les bancs de sédimentation sont fortement colonisés par des espèces rudérales telles l'ortie, puis par une végétation arborée pionnière participant à la fermeture du milieu.

Les saules et les aulnes forment des massifs denses sur des zones autrefois découvertes. Ils constituent un peigne sédimentaire et leur présence accentue l'exhaussement des zones de dépôt.



**Figure 10: Chenaux secondaires de débordement.**

Les formations végétales des versants sont essentiellement arborées. Une forêt de bois dur (chênaie-hêtraie) est située sur le versant droit du cours d'eau. Le versant gauche, au niveau de la digue latérale de l'ancien étang, est occupé par des groupements arbustifs plus récents.

- À l'aval du site d'étude, en rive droite, une peupleraie occupe une parcelle d'environ 4 ha. En strate basse, on trouve une prairie humide constituée de hautes graminées (*Phalaris arundinacea*, *Deschampsia cespitosa*...) et de grands carex (*Carex flacca*, *Carex acuta*...).

## **1.5 QUALITE DES EAUX ET DES SEDIMENTS**

### **1.5.1 La physico-chimie des eaux:**

L'Iton présente une qualité des eaux passable (Données DIREN, 1999 et 2000) en raison d'un déclassement dû au paramètre nitrate et phosphate.

Cette pollution est, sur cette zone amont du cours d'eau, liée à d'importants apports d'origine agricole et dans une moindre mesure, à des rejets d'eau provenant de stations d'épuration (STEP).

### **1.5.2 Les sédiments de la zone de l'ancien étang :**

Un prélèvement de sédiment a été réalisé le 17/04/2001 au niveau de l'étang de Condé par le S.I.H.V.I. (Syndicat Intercommunale de la Haute Vallée de l'Iton). Trois échantillons ont été prélevés sur la zone de l'étang : deux près du déversoir de l'OH17A et un au centre de la zone. Ces trois échantillons ont été réalisés sur des sédiments de surface, et regroupés en un seul.

L'analyse des résultats montre un déclassement des sédiments en qualité passable pour deux micropolluants minéraux : le cuivre (60,7 µg/g de MS) et le plomb (46 µg/g de MS), conséquence en grande partie de l'ancienne activité industrielle du site.

## **I.6 QUALITE ENVIRONNEMENTALE ET ECOLOGIQUE DU SITE :**

### ***I.6.1 La faune piscicole :***

Au droit du site d'étude, l'Iton est en 2<sup>ème</sup> catégorie piscicole (cyprinidés dominants) tandis qu'en amont (dans le département de l'Orne) et en aval de cette zone, on se situe en 1<sup>ère</sup> catégorie piscicole (salmonidés dominants).

Un seul inventaire piscicole a été réalisé en aval de l'étang de Condé en 1984 (source : Schéma Départemental de Vocation Piscicole et Halieutique de l'Eure, 1992). Cet inventaire a mis en évidence la présence de cyprinidés d'eau vive (chevesne, vandoise, barbeau et goujon) et de poissons d'eau calme (gardon, rotengle, tanche, perche, brochet, carpe commune et brème), population caractéristique des étangs.

### ***I.6.2 La flore :***

L'étang de Condé-sur-Iton est inventorié comme Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF) de type I (n° 0 793.0000) en raison d'une association végétale assez rare dans la région, typique des rivières à courant lent et caractérisée par la présence de la sagittaire à feuilles en flèche (*Sagittaria sagittifolia*), du rubanier nageant (*Sparganium emersum*) et du nénuphar jaune (*Nuphar lutea*). Cette formation végétale n'existe que dans certains endroits des 3 principales vallées du département de l'Eure (Iton, Eure et Risle).

L'inventaire ZNIEFF a été réalisé lorsque l'étang se trouvait en eau et présentait un écosystème lacustre (année 1985 et mis à jour en 1996). Aujourd'hui, cet inventaire est contestable car lors des études de terrain, la sagittaire n'a pas été recensée. Il semblerait donc que cette espèce végétale ait disparue de la zone de l'étang de Condé.

## **I.7 LES PROBLEMATIQUES DU SITE**

Les activités industrielles anciennes et le manque de gestion qui s'en est suivi sont à l'origine de multiples désordres. Ainsi, les fonctionnalités hydrauliques, hydromorphologiques, hydroécologiques mais également socio-récréatifs (pêche, promenade,...) de la zone d'étude font état d'un réel dysfonctionnement.

### ***I.7.1 Les seuils et vannages - des ouvrages transversaux :***

Les ouvrages OH 17 et OH 20, qui n'ont plus de vocation économique « active » génèrent des impacts importants sur les caractéristiques abiotiques (hydromorphologie, physico-chimie de l'eau, etc.) et biologiques (entraves à la circulation des espèces, dérive typologique, etc.) de l'hydrosystème Iton.

#### **I.7.1.1 La rupture des flux liquides, solides et biologiques :**

Ils se traduisent par :

- Un blocage des débits liquides et solides en amont de l'ouvrage. Variables de contrôle essentielles de la géodynamique fluviale (Annexe 2), les débits liquides et solides participent, entre autre à la diversification des faciès d'écoulement par le biais du processus d'érosion et de dépôts.

- Une rupture longitudinale de la continuité écologique pour les biocénoses aquatiques (poissons, macro-invertébrés,...).

### I.7.1.2 Un effet « retenue » :

Il se traduit par :

- Un remous à l'origine de faciès d'écoulement lenticules et profonds en lieu et place des séquences naturelles de faciès d'écoulement (radiers, plats, mouilles etc.). Les remous des ouvrages OH 17 et OH 20 impactent la quasi-totalité de la zone d'étude offrant une gamme réduite de couples profondeur / vitesse et limitant l'installation d'une mosaïque d'habitats diversifiés.

- Une sédimentation accélérée des matières fines, participant au colmatage du substrat benthique. Cette couverture, granulométriquement homogène, n'est pas biogène et limite, par la même occasion, les échanges lit mineur/nappe alluviale. Cette sédimentation est plus particulièrement mise en évidence au droit du « Bras de l'ancien étang » où le phénomène se réitère depuis plusieurs dizaines d'années.

- Un réchauffement des eaux à l'étiage et une aggravation des effets de l'eutrophisation.

### I.7.1.3 Une multiplication des chenaux :

Dans le cas particulier du site de Condé sur Iton, les vannages permettent l'alimentation de divers chenaux. Ceci se traduit par une répartition des débits qui est préjudiciable à la faune piscicole en période d'étiage principalement.

## ***1.7.2 Les annexes hydrauliques :***

Il est constaté une fermeture du milieu par l'implantation de formations monostratifiées de type saulaie et aulnaie. Ceci induit un certain nombre de dysfonctionnements :

### I.7.2.1 Limitation de la biodiversité :

La dominance et le manque d'entretien de cette végétation alluviale ne permettent pas l'expression optimale de la biodiversité.

Par ailleurs, certaines espèces type peupliers (localisée au sud de la zone d'étude) limitent le développement de mégaphorbiaies\*, favorables à la biodiversité.

### I.7.2.2 Limitation des échanges lit mineur/lit majeur :

Ces formations végétales, implantées sur les anciennes zones de sédimentation de l'étang, font office de peigne et participent à l'exhaussement du planché alluvial. La fréquence des débordements de l'Iton s'en trouve donc diminuée.

### I.7.2.3 Limitation des possibilités de divagation de la rivière :

La fermeture du lit majeur par une végétation arborée tend à stabiliser considérablement les berges du cours d'eau limitant ainsi les processus d'érosion et de divagations latérales de la rivière.

## ***1.7.3 L'accessibilité du site :***

On constate aussi le manque d'accessibilité du site (notamment aux personnes à mobilité réduite), avec des cheminements insuffisants, dégradés et mal entretenus. Des passerelles en mauvais état et des zones de circulation peu sécurisées (arbres menaçants de tomber) sont des freins à la fréquentation du site.

## II. LE PROJET DE RENATURATION

Après le constat des désordres hydrauliques, géomorphologiques, écologiques et socio-récréatifs du site de Condé-sur-Iton, le projet de renaturation s'est imposé progressivement comme un choix sociétal issu de la logique du développement durable.

### II.1 LA RENATURATION - APPROCHE CONCEPTUELLE :

Par définition, la « **Renaturation** » est un **retour** à l'état **naturel**. Plus précisément, ce terme regroupe l'ensemble des mesures et des interventions entreprises permettant la réhabilitation d'un milieu plus ou moins artificialisé, et visant à atteindre un état proche de son état d'origine (Deleuze, 2004).

Cette renaturation est permise par une connaissance technique des fonctionnalités hydrologiques, hydrauliques, hydromorphologiques et hydroécologiques du cours d'eau mais également des milieux annexes et inféodés à celui-ci.

### II.2 CHRONIQUE DES ETUDES ANTERIEURES DU SITE :

Une 1<sup>ère</sup> étude concernant l'état des lieux de l'étang de Condé sur Iton, sous maîtrise d'ouvrage du SHIVI, a été instituée en juin 2004. Cette étude, réalisée par le groupement CE3E&DHI, a été suivie en 2005 d'un deuxième rapport dont l'objet était d'étudier les impacts hydrauliques, hydroécologiques et socio-économiques d'un scénario de remise en eau du plan d'eau et d'un scénario de non-intervention. Ce dernier visait à évaluer les incidences de la fermeture du milieu alluvial sur le risque inondation et sur la banalisation des habitats naturels.

*In fine*, aucun des deux scénarii n'a été retenu, le premier pour des raisons financières et du fait de son inadéquation avec le SDAGE et plus largement vis-à-vis des enjeux de la DCE.

La solution de *statu quo* du deuxième scénario n'était pas non plus satisfaisante, car outre la banalisation des habitats, le modèle hydraulique a montré que l'augmentation de la rugosité du lit majeur et l'encombrement prévisible du lit mineur étaient susceptibles de modifier à terme la fonctionnalité du champ d'expansion des crues : l'augmentation des lignes d'eau en amont de l'étang (au droit de l'ouvrage OH13) risquait de menacer les habitations riveraines.

Le bureau d'étude CE3E avait alors proposé au comité de pilotage un scénario alternatif de renaturation du cours de l'Iton qui n'avait pas été étudié dans le cadre de cette étude.

Suite à l'acquisition par le CG 27 du site au titre de sa politique ENS, l'étude de renaturation de l'étang de Condé-sur-Iton s'est imposé comme étant la solution permettant de répondre le plus justement à tous les enjeux du site. Cette étude, instituée en décembre 2007, a de nouveau été attribuée au groupement CE3E&DHI.

### II.3 PHASAGE ET CONTENU DE L'ETUDE

Cette étude de renaturation a débuté en Mars 2008. Durant ce premier mois, différents scénarii d'aménagements ont été proposés par le bureau d'étude. A l'issue de la réunion du comité de pilotage du 8 avril 2008, regroupant les principaux concernés (élus, propriétaires riverains, acteurs de l'environnement, maître d'ouvrage,...), un unique scénario d'intervention a été validé.



- Par la mise en place d'aménagements hydrauliques adaptés:

Ces aménagements doivent, entre autre, permettre une diversification supplémentaire des écoulements. Ce sont, à titre d'exemple, des blocs de roche (Notion développée dans la partie IV).

**Objectif 3 / Restaurer les annexes hydrauliques :**

- Par la reconstitution de milieux à hygrométrie élevée :

En prévision et en compensation de la baisse avérée de la ligne d'eau (suite à la suppression des ouvrages), l'arasement des îlots enclavés entre le « Bras amont de l'ancien étang » et le « Bras de décharge du château », ainsi que le décaissement des chenaux secondaires doivent permettre une réactivation plus fréquente de cette zone par les petites crues et un tamponnement des crues les plus importantes. Une augmentation de l'hygrométrie des sols permettra le développement d'une végétation de type jonchaie, cariçaie, et roselières.... Enfin, ceci limitera la fermeture du milieu par les boisements pionniers et les espèces rudérales (orties, circes, ronciers, ...).

Au droit de l'ancien étang, il est également envisagé de décaisser les bancs limoneux colonisés par les saules. L'ouverture du milieu et une plus grande hygrométrie des sols permettront le développement d'une mosaïque de milieux humides (notamment favorable à l'avifaune). Enfin, il est prévu la création d'une délaissée (dépression topographique / mare temporaire), en rive gauche, qui puisse être activée par une crue d'occurrence annuelle à biennale. Cette mare doit, entre autre, favoriser une certaine biodiversité (faunistique et floristique).

- Par la réaffectation de chenaux :

Une déconnexion du « Bras du Bois de Fourneau » afin de concentrer les écoulements dans un chenal unique pour les faibles régimes hydrauliques.

**Objectif 4 / Restaurer les usages liés au site (pêche itinérante, promenade):**

- Par la réfection des cheminements et des passerelles :

L'ouverture du site au grand public nécessite des aménagements de promenade adaptés.

- Par l'abattage de la peupleraie :

Le développement d'une mosaïque de milieux (actuellement banalisé par la présence de peupliers) sera un atout pour un parcours de découverte et de suivi de la faune et de la flore endémique des milieux humides.

## **II.5 RAPPEL DE MES OBJECTIFS**

Au sein de ce projet, ma participation était double. Celle-ci a premièrement consisté à définir et dimensionner, en lien avec Monsieur Cozilis, les interventions et aménagements qu'il serait nécessaire d'apporter à l'Iton et à ces annexes hydrauliques pour atteindre les objectifs précédemment cités (Partie II 4).

Ainsi, deux grands niveaux d'interventions ont été fixés :

- La recréation totale d'un cours d'eau sur le bras de l'ancien étang,
- Les réajustements morphologiques (et écologiques) des autres sections de l'Iton.

Parallèlement à ceci, et sur la base des modifications morphologiques définies précédemment, ma participation s'est prioritairement axée sur la conception d'un modèle hydraulique permettant d'évaluer l'impact des aménagements projetés sur la dynamique fluviale (vitesses, hauteurs et ligne d'eau).

Enfin, cette modélisation hydraulique doit permettre de statuer sur le scénario d'aménagement proposé et d'intégrer, si nécessaire, des mesures correctives.

### III. MATERIELS ET METHODES :

#### III.1 EXPLOITATION DES DONNEES EXISTANTES ET REUNIONS D'ORIENTATIONS

L'ensemble des données, études et plans, anciennement réalisés sur le site de Condé, ont été nécessaires pour aborder les missions qui m'ont été confiées. Les principales études concernées sont :

- L'état des lieux et le diagnostic hydromorphologique (Juin 2004),
- L'étude hydraulique 1D de l'état actuel et les relevés topographiques associés (Avril 2005),
- Le rapport de phase 1 de la présente étude.

Par ailleurs, la réunion de validation de phase 1 a permis au bureau d'étude de valider certaines orientations d'aménagements qui ont été prises en compte dans la « construction » géomorphologique du cours d'eau tant sur le plan de l'ingénierie que sur le plan de la modélisation.

#### III.2 LA RENATURATION DU BRAS DE L'ANCIEN ETANG :

##### III.2.1 L'étude technique préliminaire

Une étude préalable des caractéristiques physiques du tronçon concerné a été nécessaire pour évaluer les possibilités et les libertés de la création d'un nouveau lit du cours d'eau. Ces caractéristiques sont les suivantes :

- **La nature du terrain** : En fonction de la nature des matériaux constitutifs du lit majeur, les travaux de recréation d'un lit sont plus ou moins facilités. Leur nature conditionne, notamment, l'apport exogène ou non de matériaux pour la construction d'un nouveau lit. Afin de s'en rendre compte, un sondage tarière a été réalisé avec pour second objectif d'évaluer la profondeur des horizons alluvionnaires.
- **L'espace de liberté (ou de mobilité)** : Il définit l'espace minimal à préserver pour permettre au cours d'eau de conserver son potentiel d'ajustement en plan et en long en fonction de l'évolution des débits liquides et solides (Annexe 2). Correspondant à l'emprise de l'ancien étang, son évaluation s'est faite, *de visu*, sur le terrain et à partir de données existantes.



Figure 11: Carottage à la tarière sur les bancs limoneux (crédit photo CE3E).

L'**acquisition foncière** est également un élément très important dans une opération de renaturation. Dans notre situation et comme il a déjà été dit, la zone concernée appartient à la municipalité de Condé-sur-Iton.

##### III.2.2 La morphométrie du lit

###### III.2.2.1 L'état de référence

Le cours d'eau projeté doit tendre vers un fonctionnement naturel d'un point de vue hydromorphologique et hydroécologique. Les caractéristiques naturelles de l'Iton ont donc été visées comme état de référence à atteindre. Ces choix morphologiques se sont également fait en fonction des caractéristiques physiques locales, exposées ci-avant.

Enfin, les lois hydromorphologiques connues ont été utilisées et respectées dans le cadre de l'ingénierie de concept du nouveau lit.

### III.2.2.2 La définition du tracé en plan

Bien que celui-ci eut été préalablement défini au commencement de mon stage, je me permets tout de même de vous exposer le cheminement « méthodologique » qui a été suivi.

#### a) Approche typologique :

En fonction de la géologie, du relief et de l'hydrologie locale, le cours d'eau peut prendre différentes formes en plan. Ces formes sont régies par quatre principales variables (eux-mêmes plus ou moins dépendantes des paramètres précédemment cités) qui sont :

- **La puissance spécifique\***, correspondant sommairement au produit de la pente par le débit, qui caractérise les potentialités dynamiques du cours d'eau,
- **Le degré d'érodabilité** des berges et du lit mineur, qui caractérise les potentialités d'érosion latérale,
- **Le débit solide**, moteur de la dynamique fluviale et l'un des composants majeurs des habitats aquatiques.
- **L'espace de liberté**.

Ainsi, en fonction de l'importance de chacune de ses trois variables, le cours d'eau prendra une forme en plan caractéristique.

Enfin, lors de la recréation totale d'un cours d'eau, le choix de son tracé en plan ne doit pas aller à l'encontre du style fluvial pour lequel il est « destiné ».

#### b) Mode opératoire :

Dans cet objectif de respecter le tracé en plan d'équilibre de l'ancien cours d'eau, le tracé originel de celui-ci a été recherché.

Ainsi, dans un premier temps, la prospection de documents cartographiques anciens (cartes de Cassini) a été faite. Ces cartes, qui datent du 18<sup>ème</sup> siècle, sont susceptibles de mettre en évidence le tracé originel du cours d'eau avant anthropisation.

Dans un deuxième temps, les caractéristiques physiques du site ont également été prises en compte.

### III.2.2.3 La définition du profil en long

#### a) Approche typologique :

Le profil en long d'une rivière, c'est à dire sa pente, est d'une importance particulière dans la mesure où il affecte les forces de cisaillement, la puissance fluviale et la nature des ajustements géomorphologiques (Amoros et Petts, 1993).

A l'échelle du tronçon, le profil en long moyen voit se superposer des changements localisés de la pente. Les plus communes sont les séquences de faciès d'écoulements radiers/mouilles (respectivement défini par un exhaussement et une incision du lit), conséquence de processus morphodynamiques.

**Les mouilles** sont caractérisées par un écoulement lent et profond et par un dépôt de matériel relativement fin, alors que les **radiers**, au matériel plus grossier, sont parcourus par des eaux peu profondes et rapides.

Aussi, selon la littérature, le rythme d'espacement de deux unités de seuils (radiers) est estimé à 5 à 7 fois la largeur du chenal en moyenne (Malavoi et Souchon, 2002).

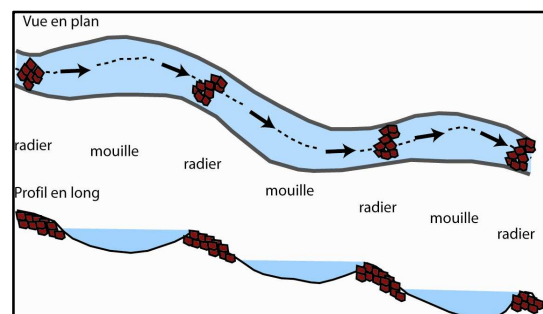


Figure 12: Séquences radiers/mouilles sur un cours d'eau sinueux.

Enfin, outre l'estimation précédemment présentée, la formation de ces radiers et de ces mouilles est à mettre en corrélation avec le tracé en plan de la rivière (Figure 12).

Prenons l'exemple d'un tracé sinueux, de nombreuses recherches et observations sur l'hydro-géomorphologie des cours d'eau tendent à montrer la formation de radiers au point d'inflexion des sinuosités et de mouille dans la courbure de celles-ci.

#### **b) Mode opératoire :**

Dans un premier temps, à l'échelle du tronçon à renaturer, la pente moyenne de projet a été respectée : cette dernière a été définie suivant la cote optimale d'arasement de l'ouvrage OH17.

Ensuite, et comme il a été décrit ci-avant, le tracé en plan du cours d'eau a été utilisé pour évaluer la localisation des différents faciès d'écoulement. Concernant les séquences de radiers/mouilles, l'alternance théorique (soit 5 à 7 fois la largeur du cours d'eau pour deux unités identiques) a également été prise en compte.

Concrètement, ces successions d'unités morphodynamiques (radiers/mouilles, plats courants/lentiques....) se sont traduites par la création de ruptures de pentes localement appropriées, et ce tout en respectant et en rattrapant la pente moyenne de projet.

Des décisions internes au bureau d'étude ont également orientés les choix définitifs.

### III.2.2.4 La définition des profils en travers

#### **a) Approche typologique :**

Sur le plan transversal, malgré les constants réajustements que le cours d'eau se procure pour trouver son « équilibre », des profils en travers « généraux » peuvent être esquissés : les lois issues de la mécanique des fluides permettent notamment de comprendre ses évolutions morphologiques.

Prenons l'exemple d'une sinuosité, la force centrifuge provoque une orientation du domaine de vitesse maximal du côté de la rive concave\* (Amoros et Petts, 1993). Ce phénomène participe dans un premier temps à saper la berge de la rive concave et dans un deuxième temps à transporter ces matériaux sur la rive opposée (rive convexe).

C'est donc l'ensemble de ces processus qui vont contribuer en la forme dissymétrique d'un profil en travers d'une sinuosité : pente douce en rive convexe et pente forte en rive concave (Figure 13).

NB : Une coupe en travers d'un radier sera caractérisée par un profil davantage symétrique.

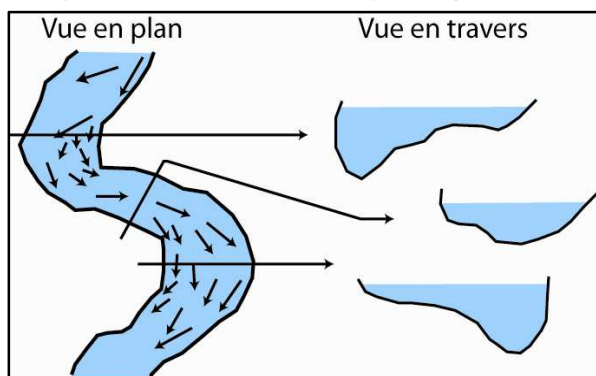


Figure 13: Profils « généraux » rencontrés sur un cours d'eau sinueux.

#### **b) Mode opératoire :**

Les profils « généraux », précédemment évoqués, ont été pris en compte lors de la conception des profils en travers de ce tronçon. Conjointement à cela et dans un premier temps, les choix morphologiques se sont axés sur des critères de fonctionnalités hydromorphologiques et biologiques.

➤ **La capacité d'autoajustement :**

La capacité d'auto-ajustement correspond aux facultés du cours d'eau à pouvoir réactiver de lui-même l'ensemble des processus hydromorphologiques naturels.

Cette capacité est en grande partie dépendante de la puissance du cours d'eau (plus exactement sa puissance spécifique\*). Aussi, plus le cours d'eau présentera une puissance importante et plus celui-ci nécessitera le besoin de la dissiper. Cette dissipation se fera essentiellement par le prélèvement de sédiments puis par leurs dépôts (lorsque cette puissance viendra à manquer). Enfin, ces processus d'érosion et de dépôts seront favorables au renouvellement et à la diversité des habitats, et donc à la biodiversité.

La puissance spécifique du cours d'eau est à son maximum lorsque celui-ci présente un écoulement à plein bord, soit avant son débordement en lit majeur. De plus, selon la littérature, la capacité d'écoulement d'un lit mineur avant débordement correspond généralement à une crue journalière d'occurrence annuelle à biennale (Malavoi, 2006).

Partant de cela, il nous a parut plus simple d'évaluer le gabarit d'écoulement à donner au cours d'eau, soit sa section d'écoulement (section mouillée), sur la base d'une modélisation du débit de fréquence 1 à 2 ans (soit QJ1 à QJ2) celui-ci devant s'écouler sans débordement, soit le **débit de plein bord** (Figure 14).

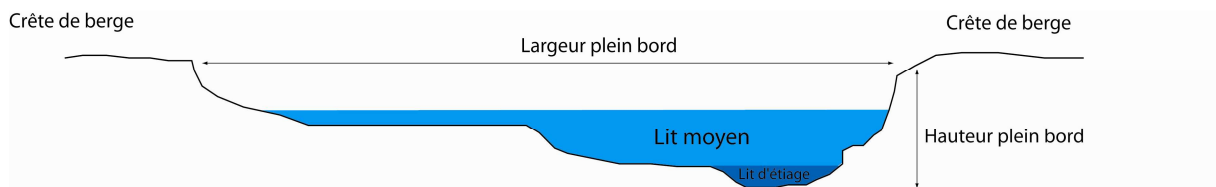


Figure 14: Dénomination de différentes métriques d'un profil en travers du lit mineur.

Pour ce faire, la largeur et la hauteur plein bord ont été définies suivant les caractéristiques morphologiques moyennes de l'Iton au droit de tronçons exempts de toutes influences anthropiques.

➤ **Les hauteurs d'eau minimums biologiques :**

Le cours d'eau doit également présenter une morphométrie adaptée aux différents régimes hydrauliques transitant dans celui-ci. Ceci est d'autant plus justifié en période d'étiage où l'étalement des faibles débits dans une section surdimensionnée (sur-largeur) se traduit par une faible lame d'eau (ainsi qu'une baisse préjudiciable des vitesses d'écoulement).

Ainsi, pour permettre le maintien de « hauteurs d'eau minimums biologiques », vis-à-vis principalement de la faune piscicole, un resserrement adapté de la section d'écoulement via la création d'un lit d'étiage - ou fond de forme – a été visé (Figure 14).

Enfin, une hauteur d'eau minimale de 20 centimètres en période d'étiage a été définie. Celle-ci s'est faite à titre d'expert par le bureau d'étude.

➤ **Le couplage Débit de plein bord / Hauteurs d'eau minimums biologiques :**

La mise en forme et la vérification des principes et des choix précédents se sont fait via l'utilisation du logiciel d'hydraulique **MACRA** (Macaferri River Analysis). Ce dernier permet une représentation en travers de la morphologie du lit mineur (Annexe 3). Son fonctionnement est basé sur l'utilisation de la formule de Manning-Strickler\* adjoint de la rugosité composée. Cette formule a permis, par itération, le calcul de différentes hauteurs d'eau à partir du renseignement des paramètres suivants :

- **Les caractéristiques géométriques du lit** (largeur du talweg, largeur du lit de plein bord, angles des pentes de berges...etc.)

- **Les matériaux constitutifs de chaque sous-section du lit** (qui conditionnent la rugosité),
- **La pente moyenne** du cours d'eau,
- **Les différents débits** que l'on souhaite simuler (étiage, module, crues).

*In fine*, le logiciel nous a renseignés sur les hauteurs d'eau atteintes pour chacun des débits injectés.

Aussi, de multiples tests ont été réalisés en modifiant, ça et là, les paramètres de la section. A l'issue de cela, seulement un « profil type » a été conservé.

Enfin, sur la base de ce « profil type », l'ensemble des profils en travers de ce tronçon a été modelé.

***L'utilisation de ce logiciel présente cependant certaines limites.***

Premièrement, la section des gabarits d'écoulement défini via le logiciel est non négligemment simplifiée. La section « géométrique » obtenue peut donc quelque peu sous ou surestimer la section mouillée et influencer par la même occasion les couples débits/hauteur d'eau.

Deuxièmement, la formule de Manning-Strickler est utilisée pour des écoulements uniformes c'est-à-dire avec une pente de lit constante, une section mouillée constante et une rugosité constante. Or, ceci ne reflète évidemment pas la réalité puisque un cours d'eau naturel présente, à l'échelle du tronçon, des ruptures de pentes, une certaine hétérogénéité granulométrique des berges et du fond du lit, une variation constante de la section d'écoulement...

Quoiqu'il en soit, il faut garder à l'esprit que ce logiciel nous a donné un ordre de grandeur et une base (en termes de section mouillée et de configuration globale des profils) pour la conception de l'ensemble des profils en travers du cours d'eau projeté et ceci préalablement à la modélisation hydraulique.

### **III.3 LA RESTAURATION DU RESTE DU CONTINUUM FLUVIAL :**

Outre les gains hydrauliques, hydromorphologiques et écologiques obtenus suite à l'arasement des ouvrages OH17 et OH20, cette opération va provoquer des modifications majeures sur l'hydromorphologie du cours d'eau mais également sur l'écotone\* avoisinant.

Aussi, afin de prévenir ces impacts, qui pourraient être préjudiciables sur le plan écologique mais aussi social, des aménagements appropriés ont été définis et dimensionnés. Voici la méthodologie qui a été employée.

#### **III.3.1 Sectorisation :**

Pour définir et dimensionner de façon simplifiée les aménagements envisagés, des tronçons homogènes ont été identifiés. Ces tronçons sont homogènes sur plusieurs points de vue :

- **La morphologie du lit mineur :**
  - La géométrie de la section d'écoulement en long et en travers (largeur et hauteur plein bord, présence d'un talweg bien différencié, ...),
  - Les berges (degré de verticalité, hauteur, stabilité),
- **La ripisylve** (présence/absence, diversité, stabilité),
- **Les enjeux sociaux et environnementaux :**
  - La limitation du risque inondation vis-à-vis des habitations,
  - La préservation des cheminements et des ouvrages d'art,
  - Des volontés d'ordre personnel émanant du comité de pilotage (élus locaux).
  - ...etc.
- **Le foncier :**
  - Acquisition ou non, autorisation d'intervenir ou non.

Cette démarche permet de prévenir des impacts de l'arasement, tout en prenant en compte les limites de ce que les enjeux en présence permettent d'accepter.

#### **III.3.2 Acquisition de données :**

Pour faciliter l'évaluation de certains critères telle la morphologie en long et en travers du cours d'eau mais également pour dimensionner de façon précise les aménagements prévus par le scénario de restauration, des relevés topographiques ont été effectués et utilisés en tant que références métriques. Ces relevés, réalisés par un géomètre expert (Figures 15 et 16), sont issus de deux campagnes topographiques (Annexe 4) :

- Une 1<sup>ère</sup> campagne pour l'étude hydraulique de l'état actuel (Juin 2005) ;
- Une 2<sup>ème</sup> campagne pour des relevés topographiques complémentaires (Avril 2008), en partie aval de la zone d'étude.

Ces relevés, précis au centimètre près, se sont portés sur des profils en travers du lit mineur et du lit majeur ainsi que sur des profils en long du cours d'eau. Concernant ces derniers, n'ayant pas de visuel sur le fond du cours d'eau, il a été décidé que le talweg de celui-ci se trouvait au centre du chenal.



Figure 15: Relevés topographiques en date du 28 Avril 2008 (Crédit photos pers.).



Figure 16: Relevés topographiques en date du 28 Avril 2008 (Crédit photos pers.).

Concernant la localisation de ces profils en travers, elle s'est faite, à dire d'expert, en fonction de la variation géométrique de la section et suivant les changements directionnels du tracé en plan du chenal. Ces choix conditionnent également la bonne conception du cours d'eau virtuel (Partie III 4.).

Enfin, ces relevés topographiques ont été effectués aux droits des tronçons homogènes plus ou moins préalablement définis.

Remarque : Le nombre de profils topographiques s'est vu être limité par l'enveloppe financière du projet. Cette somme ne peut excéder les 5% du marché.

### **III.3.3 Modifications du profil en long:**

Le principe général soutenant la proposition d'arasement ou de dérasement d'un seuil vise à redonner au cours d'eau son profil en long naturel.

Aussi, pour pouvoir déterminer le profil en long futur, une analyse fine du profil en long actuel a été réalisée. Cette analyse s'est faite en fonction de différentes approches :

- Les gains de pentes obtenus suite à la suppression des ouvrages,
- Le risque d'érosion régressive\* engendré par l'arasement des ouvrages,
- La présence de hauts fonds et leurs potentielles influences sur la ligne d'eau.

Parallèlement à cela, la valeur de la pente estimée et ces variations locales nous ont donné un ordre d'idée sur la nature et l'intensité des écoulements qui pourraient en résulter et ceci préalablement à la modélisation hydraulique.

### **III.3.4 Modifications transversales :**

Les modifications transversales s'intègrent dans l'objectif de prévenir les impacts de l'arasement des ouvrages et plus particulièrement de l'abaissement de la ligne d'eau. De plus, le choix des aménagements se base sur l'analyse multi-paramètres évoquée précédemment (sectorisation).

Les procédés de restaurations employés se sont basés tantôt sur des techniques dites lourdes en opposition avec les techniques dites douces, c'est-à-dire le génie végétal. Le choix de l'une ou l'autre de ces techniques, parfois même un mixte des deux, s'est faite en fonction de deux principaux critères que sont :

- Les contraintes hydrauliques liées aux forces érosives\* (ou tractrice),
- L'emprise disponible en berge et sur le cours d'eau,

- Les enjeux locaux.

Ces modifications se sont axées sur deux principaux types d'interventions que sont :

- **Une modification adaptée de la section d'écoulement.** De la même façon que pour la recréation du cours d'eau au droit de l'ancien étang, elle doit permettre au cours d'eau d'assurer son auto-ajustement, une diversification des habitats et une hauteur minimum biologique (à l'étiage principalement).

- **Une modification adaptée des berges.** Celle-ci doit permettre leur stabilisation vis-à-vis de la baisse estimée du niveau des eaux et assurer par la même occasion les fonctionnalités écologiques qui leurs sont propres.

Sur le plan hydraulique, afin de vérifier que les aménagements envisagés répondent aux objectifs fixés (sont plus particulièrement concernés le maintien d'un niveau minimum biologique à l'étiage et/ou la limitation du risque inondation), des tests ont été effectués via le logiciel MACRA. Pour ce faire, les profils topographiques du géomètre ont été employés comme référence métrique et ont été modifiés en fonction des aménagements globalement envisagés sur le tronçon considéré. Ces tests ont été réalisés pour différents régimes caractéristiques que sont le régime d'étiage, le régime moyen et des régimes de crue.

### III.4 LA CONCEPTION DU MODELE HYDRAULIQUE :

#### III.4.1 Principe

Pour rappel, la construction du modèle hydraulique doit permettre, dans un premier temps, l'appréciation des gains sur l'hydrodynamique du cours d'eau (hauteurs, vitesses, débits) mais également, l'évaluation des impacts potentiels engendrés par l'arasement des ouvrages transversaux (enjeux écologiques et protection des biens et des personnes). Cette évaluation se fera notamment par une comparaison aux conditions hydrauliques actuelles.

Pour ce faire, il va s'en dire qu'il est nécessaire d'avoir des représentations virtuelles de l'état actuel et de l'état projeté :

**L'état actuel** se base sur la modélisation hydraulique 1D\* réalisée lors de la 1<sup>ère</sup> étude (2005) : celui-ci s'étendait de l'ouvrage OH4 à la voie communale N°39 (lieu-dit Séezmoulins), soit 1 km en aval du site d'étude. Cette modélisation avait été créée par DHI sur la base de relevés topographiques (Annexe 4).

**L'état renaturé** se base, quant à lui, sur une modélisation hydraulique 2D\* du site projeté. En effet, il a été jugé que seule une approche de modélisation bidimensionnelle, représentant de manière physique les phénomènes hydrauliques, permettrait d'évaluer précisément la nature des écoulements après la renaturation.

En réalité, l'état renaturé se base plus exactement sur une modélisation couplée 1D/2D. Le modèle initial 1D a été tronqué de la D23 (soit au niveau des ouvrages OH11 et OH13a) jusqu'à l'aval de OH20 et ce, afin d'y inclure la modélisation 2D.

*In fine*, le modèle 2D tiens compte de :

- L'arasement des ouvrages OH17 et OH20,
- La représentation du nouveau lit au droit de l'ancien étang,
- Les ajustements morphologiques des autres tronçons de l'Iton,
- Les modifications physiques des annexes hydrauliques (arasement d'ilots, décaissement du lit majeur,...), prévu par le scénario de renaturation.

#### III.4.2 Mode opératoire

L'état actuel (1D), ayant déjà été défini, le travail de conception du modèle hydraulique s'est essentiellement basé sur la représentation « virtuelle » du secteur faisant l'objet d'une renaturation (2D).

##### III.4.2.1 Une phase d'acquisition de données :

Pour pouvoir concevoir un modèle virtuel se rapprochant le plus possible de la réalité, il est nécessaire de disposer de références spatiales précises.

Ainsi, les relevés topographiques en long et en travers effectués sur le site d'étude ont été employés pour constituer ses références (campagne de Juin 2005 et campagne complémentaire d'Avril 2008).

### III.4.2.2 Une phase de conception et de représentation spatiale :

#### a) **Les supports virtuels et techniques :**

##### ➤ **Le Modèle Numérique de Terrain :**

Pour pouvoir représenter spatialement la topographie du lit de projet, un Modèle Numérique de Terrain (MNT) a été conçu. Un MNT est le support de l'information géographique dans l'espace. Plus précisément, il correspond à une modélisation du terrain sous forme de maillage régulier et rectangulaire, chaque point de ce maillage étant connu en X, Y et Z, soit la latitude, la longitude et l'altimétrie (en mètres NGF).

Pour pouvoir concevoir ce maillage, il ne nous a pas été possible de quadriller de façon homogène le site d'étude. En effet, il serait inconcevable, et ce pour une simple raison financière, de réaliser des relevés topographiques sur une surface de près de 16 ha avec un maillage de 1 mètre de côté (valeur donnée pour exemple).

Cependant, ce maillage peut être extrapolé à partir d'un simple semi de points, chacun d'entre eux étant géoréférencé en X, Y et Z (Figure 17). Ce dernier a été construit essentiellement à partir des relevés topographiques réalisés par le géomètre. Enfin, ce semi de points était plus ou moins lâche en fonction de la variabilité planimétrique du terrain. A titre d'exemple, en opposition à une plaine d'inondation présentant une faible variabilité altimétrique, une géométrie complexe tel le lit d'un cours d'eau nécessitera une densité de points beaucoup plus importante pour pouvoir être correctement modélisé.

Note technique : Le MNT porte de l'information spatiale par interpolation, là où elle n'est pas connue par une mesure. Dans la mesure où l'ensemble du semi de points ne couvre pas de façon homogène la zone d'étude à modéliser, certaines mailles du MNT pourront se voir être « orphelines » (en termes de renseignements altimétriques). Aussi, les nœuds constituant ces mailles vont hériter d'une valeur par interpolation. Enfin, une déformation de la surface de ce maillage pourra s'opérer (Figure 18).

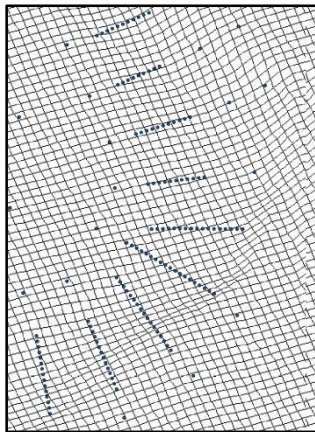


Figure 17: Vue en plan du MNT et du semi de point à l'origine du MNT.

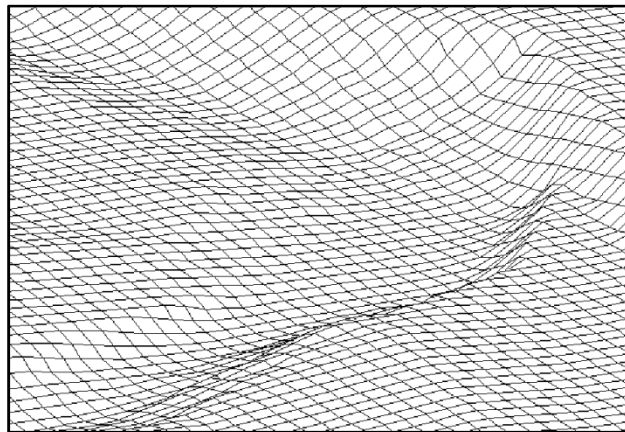


Figure 18: Vue en perspective du MNT.

##### ➤ **Le Système d'Information Géographique :**

Un Système d'Information Géographique (Arc view 9.2) a été employé pour pouvoir matérialiser ce semi de points. Le référentiel employé est celui de la partie Nord de la France soit le Lambert I carto.

La couche cadastrale (numérisée) du site d'étude a été utilisée comme support cartographique. A cette couche a été ajoutée les relevés topographiques du géomètre.

Enfin, dans la mesure où le lit majeur a fait l'objet d'un semi de points beaucoup plus lâche (et ce pour les raisons qui ont été évoquées auparavant), je m'attacherais davantage, voir

même exclusivement, à décrire dans les sous-parties suivantes la façon dont a été conçu le lit mineur de projet.

### b) Une représentation en plan :

A la couche cadastrale, il a été superposé le tracé en plan du lit mineur de projet préalablement défini.

Pour pouvoir matérialiser en 2D ce lit mineur de projet, nous avons superposé perpendiculairement à ce tracé en plan des rangées successives de points (semi de points), sensés représenter les différents profils en travers constitutifs du cours d'eau (Figure 19). Ces points, qui couvrent la largeur plein bord du lit mineur projeté, sont chacun distant d'1 mètre et chacune des rangées (profils en travers) est espacée de 10 mètres. Enfin, pour rappel, chacun de ces points est géoréférencé (x, y).

Remarque : seule l'altimétrie z (m NGF) reste à définir (Figure 20).

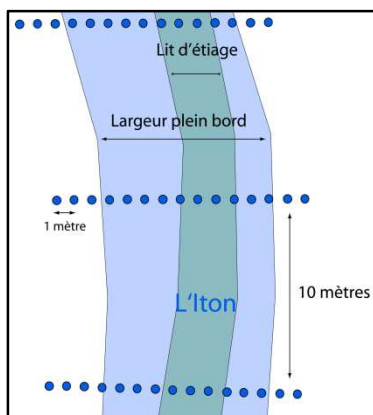


Figure 19: Représentation en plan du tracé du cours d'eau et du semi de points (sous SIG).

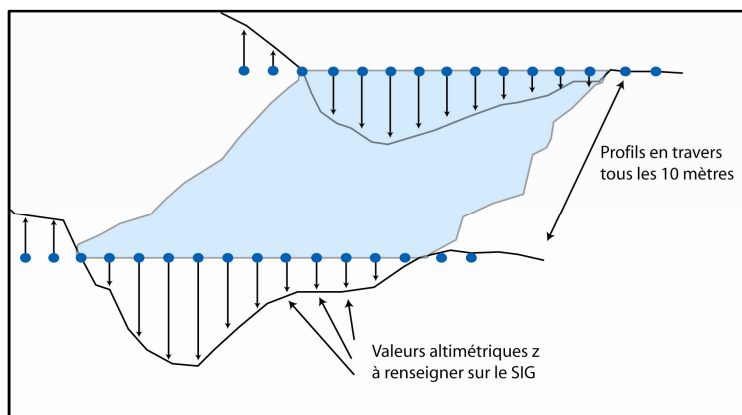


Figure 20: Représentation en travers du cours d'eau et du semi de points.

Enfin, vis-à-vis de la longueur du linéaire à modéliser (1,3 km) et compte tenu du temps qui nous était imparti pour réaliser ce MNT (échéance des réceptions de rapport pour le comité de pilotage), il a été jugé que ce dimensionnement (1 mètre entre chaque point et 10 mètres entre chaque profil) était suffisant pour pouvoir représenter spatialement la topographie du lit mineur de projet.

Remarque : ces choix conditionnent également la bonne interpolation du MNT et donc sa définition.

### c) Une représentation en travers :

Dans un premier temps, afin de renseigner la cote altimétrique de ces points, chacun des profils en travers est représenté graphiquement sous Excel (nuage de point/courbes droites et marqueurs).

#### - Concernant les tronçons faisant l'objet d'une simple restauration (Partie III.3):

Au droit des profils en travers du géomètre, des « profils de références » ont pu être créés. Ceux-ci reprennent les cotes altimétriques du géomètre et auxquelles leurs sont assignées les modifications morphologiques préalablement définies.

Ensuite, dans la mesure où tous les profils en travers du géomètre ne couvraient pas la totalité du linéaire du lit mineur (seulement 11 profils en travers sur 1,3 km de cours d'eau), les « profils de références », créés à partir de ces derniers, ont été utilisés pour interpoler des profils en travers intermédiaires.

Pour exemple, deux profils en travers de « référence » et distants de 60 mètres sont représentés graphiquement sous Excel. Pour pouvoir confectionner le profil se situant à mi-chemin entre ces deux derniers (soit à 30 mètres), il a suffi de tracer à main levée, sur le graphique imprimé, un profil intermédiaire. Les cotes altimétriques des points du profil défini sont enfin reportées et renseignées sur le SIG.

- Concernant le tronçon faisant l'objet d'une recréation totale (Bras de l'ancien étang) :

A la différence des « tronçons partiellement restaurés », seuls les profils en travers situés aux extrémités de ce tronçon ont pu être utilisés : en effet, il s'agit d'un tronçon à recréer totalement. Ainsi, sur la base des profils types définis spécialement pour ce tronçon (Partie III.2.2.4.) et par la méthodologie du « tracé à main levé » des profils intermédiaires ont pu être confectionnés.

**d) Une représentation en long :**

Parallèlement à ce qui a été dit précédemment, le point le plus bas (talweg) de chacun des profils en travers a été calé sur les cotes altimétriques des profils en long. Ceci a permis de suivre plus précisément les éventuels changements locaux de pentes caractéristiques des unités morphodynamiques naturelles du cours d'eau (radiers, mouilles,...) :

- Concernant les tronçons faisant l'objet d'une simple restauration :

Les profils en long du géomètre ont été employés. Cependant, pour des raisons de budget, la totalité de la zone d'étude n'a pu faire l'objet de mesures du profil en long. Aussi, pour les tronçons concernés, étant dans l'impossibilité de connaître l'évolution du fond du lit, une pente régulière a généralement été suivie. Celle-ci a été calculée en fonction des cotes altimétriques connues des points bas situées à chacune des extrémités de ces tronçons.

Parallèlement à ceci, une appréciation à dire d'expert nous a permis d'évaluer de potentielles ruptures de pente. A titre d'exemple, la présence éventuelle d'une mouille à la confluence de deux chenaux s'est traduite par une rupture de pente sur notre profil en long estimatif.

Remarque : Il est vrai que cette appréciation n'a rien de scientifique du fait qu'aucune mesure réelle n'ait été entreprise. Cependant, le choix de prendre en compte, ça et là, des modifications du profil en long permettent tout de même de se rapprocher de la morphologie réelle.

- Concernant le tronçon faisant l'objet d'une recréation totale (Bras de l'ancien étang) :

Le profil en long défini spécialement pour celui-ci a été employé (Partie III.2.2.3.).

**e) Une prévisualisation en 2D :**

Au cours de la conception de ce semi de points, et afin de vérifier qu'aucune erreur de saisie n'eu été faite lors du renseignement des cotes altimétriques sur le SIG, une prévisualisation en 2D a été réalisée via le logiciel « Surfer » (Surfer 8-version démo).

Succinctement, ce logiciel permet de générer un Grid c'est-à-dire l'équivalent d'un MNT (Annexe 5). Dans l'élaboration de ce Grid, la méthode choisie fut celle du plus proche voisin (The Nearest Neighbor Method) : chaque nœud de la maille prenant la valeur du point le plus proche. Bien que ce logiciel propose d'autres techniques d'interpolation, celle-ci est équivalente à celle employée par le logiciel du bureau d'étude DHI (Spécialiste en hydraulique). En effet, ne possédant pas le logiciel d'hydraulique nécessaire aux simulations hydrauliques en 2 dimensions, c'est le bureau d'étude DHI, collaborateur de CE3E, qui a été chargé de le faire.

Enfin, cette prévisualisation en 2D nous a également permis d'établir l'origine de certains dysfonctionnements constatés à l'issue des résultats de la modélisation hydraulique.

Remarque : - Une maille de 1 mètre de côté a été imposée au logiciel Surfer.

### III.4.2.3 Une phase de modélisation hydraulique :

A partir du semi de point finalisé, c'est donc le bureau d'étude DHI qui a été chargé de générer le MNT avant le lancement des différentes simulations hydrauliques. Pour interpréter le plus objectivement possible les résultats de cette simulation, il est important de prendre en considération les différentes variables introduites.

#### **a) Le logiciel de modélisation :**

DHI a ainsi réalisé un modèle couplé 1D/2D via les logiciels MIKE 11 (1D) et MIKE 21 (2D). Comme il a été dit précédemment, MIK21 fait appel à la technique du plus proche voisin.

#### **b) Les conditions aux limites amont :**

Trois régimes caractéristiques de l'Iton ont été employés pour ces simulations : le débit d'étiage, le débit moyen (débit module) et le débit de crue d'occurrence vicennale (soit les plus hautes eaux connues : PHEC).

Pour les débits d'étiage et de module, les conditions amont correspondent à un débit injecté en régime permanent. Un hydrogramme de crue a été employé pour la modélisation du régime de crue.

#### **c) Les conditions aux limites aval :**

Les conditions qui ont été appliquées à l'aval du modèle sont des courbes de tarage (relations hauteur/débit).

#### **d) Le calage du modèle :**

Le calage du modèle consiste à ajuster les paramètres hydrauliques (pertes de charge ponctuelles et distribuées) afin de reproduire les valeurs mesurées sur le terrain et/ou celles des milieux projetés en lit majeur et en lit mineur (exemple : granulométrie moyenne du lit/perte de charge distribué, enrochement de diversification des faciès d'écoulement/perte de charge ponctuelle,...).

Le calage des pertes de charge distribuées est effectué à l'aide du coefficient de rugosité de Manning-Strickler.

Enfin, concernant les blocs d'enrochements (prévu par le scénario initial de renaturation), n'ayant pas les moyens techniques de les représenter virtuellement, ce soin a été laissé de faire à DHI.

#### **e) La précision du modèle :**

Le maillage employé pour la représentation du MNT présente une largeur de 2 mètres de côté soit 4 m<sup>2</sup> par maille.

### **III.4.3 Méthodologie de présentation des résultats :**

Les rendus de la modélisation hydraulique par DHI se sont fait essentiellement sous formes cartographiques (Hauteurs d'eau/Vitesses d'écoulements). Afin de simplifier le travail de présentation et d'interprétation des résultats, une combinaison de ces cartes a été effectuée afin d'en faire ressortir des unités morphodynamiques (faciès d'écoulement). Pour ce faire, la typologie de discrimination des faciès d'écoulement employée par J.R. Malavoi et Y. Souchon (2001) a été employée et quelque peu adaptée (Annexe 6).

## IV. RESULTATS ET DISCUSSIONS

### IV.1 LE SCHEMA DE RENATURATION

Cette partie me permet de vous présenter les différentes modifications morphologiques qui ont été choisies au droit du lit mineur et du lit majeur.

#### IV.1.1 *Le lit mineur de projet*

En fonction des aménagements envisagés et des secteurs restaurés, le site a été divisé en 5 principaux tronçons pour lesquels les philosophies et les niveaux d'interventions diffèrent.

Les tronçons définis sont les suivant (Figure 21) :

**Tronçon 1** : Il correspond au Bras amont de l'ancien étang. Il joint OH13a et le Bras de décharge du château (connexion 1).

**Tronçon 2** : Il correspond au Bras de l'ancien étang. Il joint la connexion 1 à OH17.

**Tronçon 3** : Il s'étend des ouvrages OH17 à la passerelle OH18.

**Tronçon 4** : Il joint OH18 et le Bras perché des moulins aval (connexion 2).

**Tronçon 5** : Il joint la connexion 2 à l'ouvrage OH20.

Remarque : De nombreuses élocutions seront faites vis à vis de ces tronçons. C'est pourquoi, au cours de la lecture de ce rapport, vous êtes invité à vous reporter aux annexes 7, 8, 9, et 10 correspondant respectivement aux tronçons 1, 2, 3/4 et 5.

#### IV.1.1.1 Interventions sur le tracé en plan

Les tronçons préalablement évoqués définissent le tracé préférentiel du projet, délaissant ainsi le Bras perché des Moulins aval, considéré actuellement comme le cours principal de l'Iton. Ce choix s'appuie sur deux principaux critères :

- Le caractère historique du château classé impose la conservation de sa pièce d'eau. Il est donc relativement difficile d'intervenir sur le Bras du château. Ainsi, en aval de celui-ci, le Bras de décharge du château ne fera pas non plus l'objet d'interventions.

- Le Bras perché des Moulins aval présente un tracé trop rectiligne (bras artificiel de contournement de l'ancien étang) puisque restreint latéralement en rive droite par la digue de l'ancien étang.

Ce nouveau tracé permet d'augmenter d'une centaine de mètres le linéaire de l'Iton passant d'un tracé rectiligne à un tracé sinueux ( $SI^* = 1,155$ ), plus apte à favoriser la diversité des habitats.

#### Spécificités par tronçon :

##### **- Tronçons 1, 3, 4 et 5 :**

Aucune modification du tracé en plan n'est prévue par le projet sur ces tronçons. Par ailleurs, l'espace de liberté est le plus souvent restreint par la géologie du terrain et/ou les aménagements d'origine anthropique (pour exemple : digue en rive gauche du tronçon 1).

En revanche, une divagation du lit d'étiage pourra se faire au sein du lit mineur, contribuant ainsi à diversifier les écoulements.

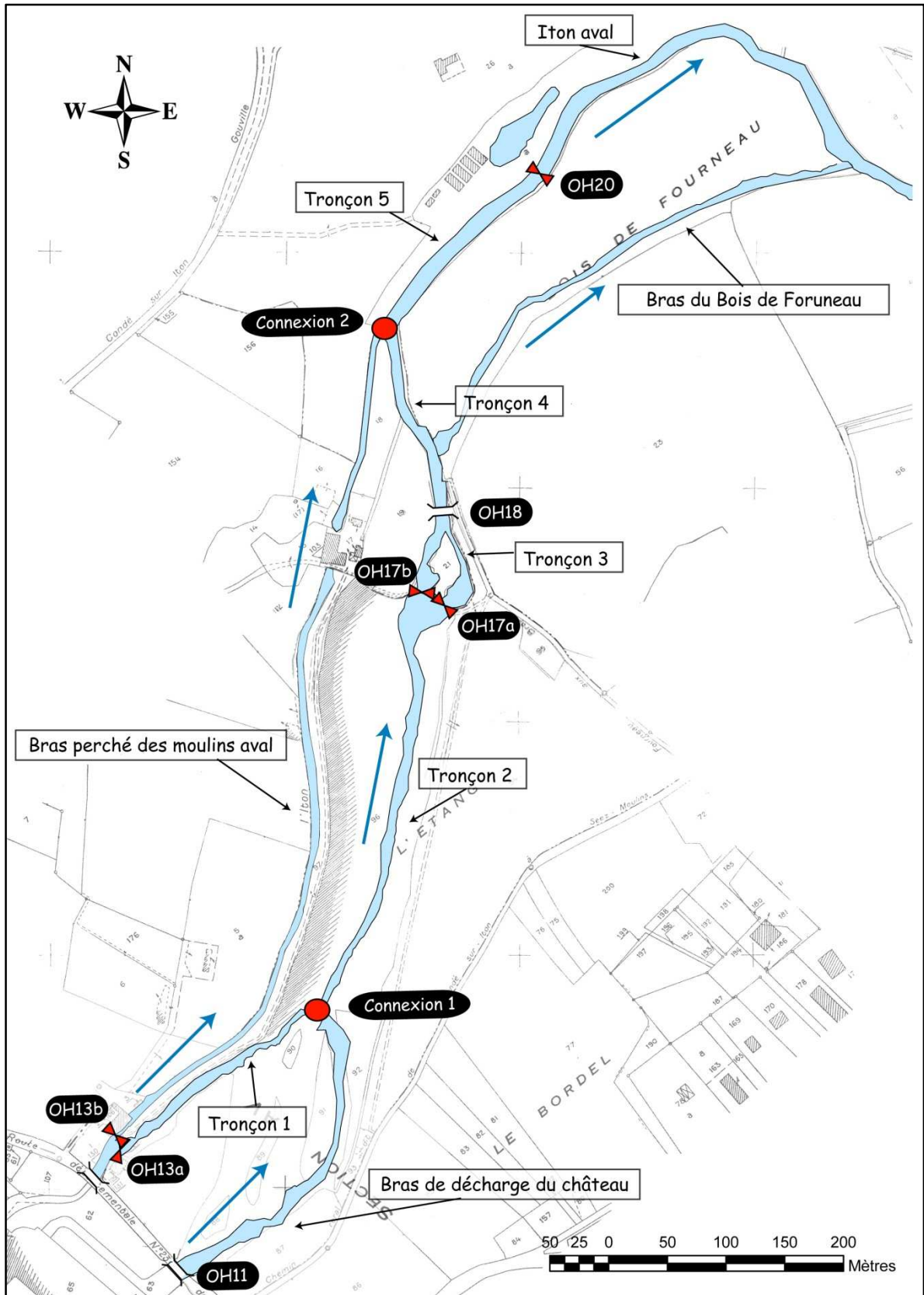


Figure 21: Carte de localisation des tronçons.

## - Tronçons 2 :

A l'issue de l'analyse de la carte de Cassini, l'imprécision et la trop grande échelle de celle-ci n'a pas permis la localisation du tracé originel de l'Iton (Figure 22). Le large espace de liberté (40 à 90 mètres) offert par l'emprise de l'étang ont permis d'imaginer et de définir un tracé que l'on qualifiera de sinueux ( $SI^* = 1,14$ ), augmentant de 70 mètres le linéaire actuel du cours d'eau.

Le cours d'eau de projet présente trois sinuosités principales localisées entre les profils n°30 et 36 et n°46 et 53 (Annexe 8). On notera également la subtile divagation du lit d'étiage au sein du lit mineur et sa localisation préférentielle dans les extrados de sinuosité.

Les sinuosités, ainsi définies, vont permettre d'augmenter le linéaire de contact du cours d'eau avec la nappe phréatique (participant à la recharge de celle-ci), favoriser les débordements en lit majeur et diversifier les faciès d'écoulement par, notamment, les processus d'érosions et de dépôts.

Remarque : La faible pente de ce tronçon réduit les possibilités d'augmenter le nombre et l'amplitude des sinuosités. En effet, plus le linéaire développé est important, plus la pente est faible et moins forte est la puissance du cours d'eau. Ses capacités d'autoajustement (après travaux), favorables à la diversité morphologique et donc écologique, se verraient par conséquent amoindries.

Dans l'objectif de favoriser la sinuosité du cours d'eau, c'est l'ouvrage OH17a, et non l'ouvrage OH17b, qui a été préféré pour l'arasement : la sinuosité en aval de celui-ci sera ainsi conservée. Dans une toute autre mesure, il s'agit également de limiter les trop fortes contraintes hydrauliques (en crue) qui pourraient s'exercer sur la passerelle OH18, située 70 mètres en aval. Le choix d'OH17b pour l'arasement aurait entraîné en conséquence une orientation de l'axe préférentiel des écoulements directement sur ces bajoyers en rive droite, déjà sévèrement endommagés (Figure 23).



Figure 22: Carte de Cassini au droit de la zone d'étude (encadré rouge).



Figure 23: Bajoyers endommagés de la passerelle OH18 (encadré rouge).

### IV.1.1.2 Intervention sur le profil en long

Avec une ligne d'eau actuelle quasi horizontale sur l'ensemble du site, l'arasement des ouvrages OH17a et OH20 (soit 1,90 m de hauteur de chute cumulée) va permettre un gain de pente respectif de l'ordre de 0,28% et de 0,12 % (Figure 24).

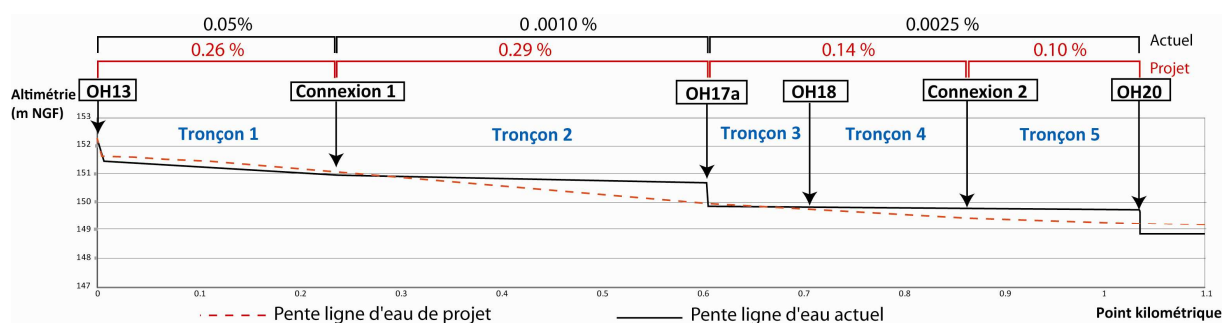


Figure 24: Profil de la ligne d'eau estimée.

Afin de limiter le phénomène d'érosion régressive\*, les ouvrages OH17a et OH20 seront totalement arasés en conservant seulement leur fondation ancrée dans le lit du cours d'eau (Figure 25). De plus, la fosse de dissipation de chacun de ces ouvrages sera comblée. En effet, bien que celles-ci puissent contribuer en la diversification des habitats, il s'agit d'éviter tous risques de rupture des fondations de l'ouvrage : une visite terrain a d'ailleurs mise en évidence un sous-cavement de celles-ci.

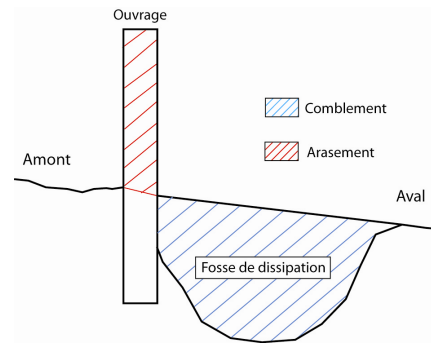


Figure 25: Coupe en travers d'une intervention sur ouvrage.

Ces choix sont particulièrement justifiés concernant l'ouvrage OH17a : l'érosion régressive pourrait être à l'origine d'une incision du lit induisant la déconnexion des annexes hydrauliques et l'abaissement de la nappe phréatique, défavorable entre autre au maintien d'une certaine hydromorphie des sols en lit majeur.

Enfin, ces opérations favoriseront également la franchissabilité piscicole.

#### Spécificités par tronçon :

##### **- Tronçon 1 :**

Il présente une pente moyenne de 0,26 %. Aucun relevé précis de son profil en long n'a été effectué. C'est pourquoi, concernant la création du MNT, les profils en travers ont été calés sur cette pente régulière sans rupture de pente spécifique.

##### **- Tronçon 2 :**

L'arasement de l'ouvrage OH17a, à la cote de 149,5 m NGF, offre une nouvelle pente de 0,29%. Sur celle-ci, trois radiers espacés de 140 mètres sont prévu par le projet : suite à des décisions internes au bureau d'étude, deux radiers originellement placés au commencement des profils n°29 et n°42 ont été supprimés. L'alternance théorique des séquences de radiers/mouilles ne peut donc être présentée. D'autre part, au droit de la connexion 1, une mouille de confluence (M.c.) sera conservée et trois autres mouilles (M.s.) seront formées dans l'extrados de chacune des sinuosités définies. Enfin, des ruptures de pentes variées s'alterneront au droit et entre ces unités morphodynamiques.

Sur un plan technique, les radiers seront constitués de blocs (100-150 mm) placés en travers du lit et totalement immergés (c'est à dire un micro-seuil noyé) afin d'éviter la formation d'une trop longue zone morte vers l'amont.

##### **- Tronçon 3 :**

Ce tronçon présente une faible pente de 0,14 %. De l'amont vers l'aval, son profil en long voit s'alterner une 1<sup>ère</sup> fosse de dissipation longue d'une vingtaine de mètres (ouvrage OH17a), un radier long d'une trentaine de mètres, et une fosse de confluence avec le bras issu de OH17b. Hormis le comblement de la fosse de dissipation de l'ouvrage OH17a (et un resserrement de la section d'écoulement au droit de cette même fosse), aucune autre intervention ne sera faite sur le profil en long de ce tronçon.

##### **- Tronçon 4 :**

Ce tronçon est caractérisé par trois exhaussements du fond (Annexe 9). Ces derniers, associés à une faible pente (0,14%), pourraient avoir un impact non négligeable sur l'écoulement des eaux. Ceci pourra être vérifié par le modèle hydraulique.

Par ailleurs, étant donné que l'on souhaite favoriser les séquences de faciès naturellement présentes, aucune intervention ne sera tentée sur le profil en long de ce tronçon.

### - Tronçon 5 :

Celui-ci présente une faible pente de 0,10%. Sur ces 80 premiers mètres, aucun relevé du profil en long n'a été effectué. Ainsi, de la même façon que pour le tronçon 1, les profils en travers, constituant le semi de point, ont été calés sur cette pente régulière sans rupture de pente spécifique.

Enfin, l'ouvrage OH20 sera arasé et sa fosse de dissipation comblée.

#### IV.1.1.3 Intervention sur les profils en travers

##### a) La section d'écoulement

Pour rappel, la section d'écoulement actuelle nécessite un resserrement (en raison des sur-largeurs du cours d'eau) ou un modelage adapté (Tronçon 2) au regard des débits transitant.

Ainsi, sur la base de la morphométrie naturelle de l'Iton et de nos objectifs de diversification écologique, la création d'un lit moyen de 7 à 8 mètres de large et d'un lit d'étiage de 1 à 2 mètres à la base (4 à 5 mètres en partie supérieure) devrait permettre le maintien d'une ligne d'eau (au droit du talweg) comprise entre 20 et 24 centimètres à l'étiage et entre 43 et 54 centimètres au module (Tableau 3 et annexe 11).

**Tableau 3: Simulation des lignes d'eau en l'état actuel (en considérant OH17a et OH20 arasés) et après resserrement de la section, d'après MACRA.**

	Régime d'étiage (0,3 m <sup>3</sup> /s)			Régime moyen (1,0 m <sup>3</sup> /s)		
	Actuel (m)	Projet (m)	Variation (m)	Actuel (m)	Projet (m)	Variation (m)
<b>Tronçon 1</b>	0.16	0.20	(+) 0.04	0.28	0.43	(+) 0.15
<b>Tronçon 2</b>	0.10	0.24	(+) 0.14	0.20	0.50	(+) 0.30
<b>Tronçon 4</b>	0.18	0.24	(+) 0.06	0.35	0.54	(+) 0.19
<b>Tronçon 5</b>	0.13	0.24	(+) 0.11	0.25	0.53	(+) 0.28

Remarque : Ne présentant pas de modifications de son profil en travers, le tronçon 3 n'a pas fait l'objet de simulation des lignes d'eau.

Ces valeurs de hauteurs d'eau pourront cependant évoluer en fonction des différents faciès d'écoulement tel les radiers ou les mouilles.

Enfin, ces resserrements assureront la conservation des paramètres hauteurs et vitesses d'écoulement favorables à la faune piscicole d'un contexte salmonicole.

Le modèle hydraulique devra cependant vérifier du respect de ces critères. La nature des vitesses d'écoulement pourra notamment être appréciée.

Sur un plan technique, le resserrement de la section d'écoulement se fera par la pose de banquettes hautes de 50 centimètres environ et suffisamment large (adaptation en fonction de la section locale) pour permettre les resserrements définis ci-avant. Celles-ci seront constituées de galets (40/70 mm de diamètre) et graviers (10/31,5 mm de diamètre). Les granulométries plus fines seront naturellement apportées par le cours d'eau.

Outre le resserrement de la section d'écoulement, l'alternance (rive gauche/rive droite) de ces banquettes permettra dans les zones les plus rectilignes d'assurer une divagation du cours d'eau (notamment à l'étiage) favorable à la diversité des vitesses d'écoulements. Sur un plan transversal, la variabilité topographique de ces banquettes assurera également une diversité des couples hauteurs/vitesses et donc des habitats. Enfin, en fonction des régimes hydrauliques et donc des variations de la lame d'eau, ces banquettes seront colonisées tour

à tour par des plantes aquatiques (renoncules à fleur flottantes, callitriche, ...) semi-aquatique (carex, joncs,...) ou terrestres, propices à la biodiversité.

Spécificités par tronçon :

**- Tronçon 1 :**

Pour une crue d'occurrence vicennale (22 m<sup>3</sup>/s), la modélisation hydraulique de l'état actuel (2005) met en évidence une alimentation de ce tronçon pour un débit de 7,5 m<sup>3</sup>/s. Par ailleurs, les modifications projetées du profil en travers permettent l'écoulement sans débordement de ce même débit (Annexe 11), limitant ainsi le risque d'inondation des habitations localisées en amont de ce tronçon.

Enfin, on peut remarquer que la crue de 7,5 m<sup>3</sup>/s n'atteint pas le haut du tunage bois en rive gauche (aménagement envisagé et présenté dans la partie IV1.1.3.c). Les berges et par conséquent le cheminement sont à priori protégés de tout risque de dégradation par submersion et érosion.

La modélisation hydraulique devra vérifier ces hypothèses pour l'état projeté.

**- Tronçon 2 :**

Initialement, un débit équivalent au QJ1 (soit 7,5 m<sup>3</sup>/s) avait été prescrit pour dimensionner le cours d'eau et permettre son débordement pour une occurrence annuelle. En définitif, un débit de 4,5 m<sup>3</sup>/s a été choisi pour assurer plus fréquemment son débordement. Ce sous dimensionnement permettra un auto-ajustement plus aisé pour le cours d'eau.

*In fine*, le lit mineur de projet présente une largeur plein bord de près de 9 mètres et une hauteur plein bord de l'ordre de 0,80 mètre à 1,0 mètre (Annexe 8). Ces dernières valeurs pourront évoluer sensiblement en fonction que l'on se situe au droit d'un radier (exemple : profil symétrique n°22) ou d'une mouille de sinuosité (exemple : profil dissymétrique n°33).

**- Tronçons 4 et 5 :**

Le logiciel MACRA indique que la crue vicennale est contenue dans le lit mineur. Cependant, même en cas de débordement imprévu, l'éloignement important des habitations repousse tout risque d'inondation dommageable.

La modélisation hydraulique permettra tout de même de vérifier cette hypothèse.

**b) La granulométrie du lit :**

La granulométrie du lit constitue l'une des deux variables de contrôle de l'équilibre dynamique des cours d'eau (Annexe 2). De plus, c'est sa distribution spatiale qui crée en grande partie la diversité des faciès d'écoulement et des milieux alluviaux en rive. Enfin, elle constitue le support de vie et de reproduction de très nombreuses biocénoses aquatiques et rivulaires (macroinvertébrés, poissons, végétaux,...).

Spécificités par tronçon :

**- Tronçons 1, 3, 4 et 5 :**

Sur l'ensemble de ces tronçons, une couche de limons épaisse de quelques centimètres recouvre un substrat benthique présentant une granulométrie plus ou moins diversifiée. Aussi, la nouvelle dynamique du cours d'eau (après l'arasement des ouvrages OH17a et OH20) jouera un effet chasse sur ces sédiments limoneux et laissera réapparaître la granulométrie sous-jacente.

Remarque : En amont immédiat des ouvrages OH17a et OH20, un curage sera effectué avant l'arasement définitif de ceux-ci. En effet, une quantité excessive de limons s'est accumulée en pied d'ouvrage : leur curage est donc un préalable pour éviter un colmatage de l'Iton aval.

## - Tronçon 2 :

Le projet prévoit la confection d'un nouveau matelas alluvial. Ce choix peut être justifié de différentes manières :

- Le substrat actuel, exclusivement limoneux, ne permet pas, par son caractère très peu biogène, de répondre à l'exigence de biodiversité.

- Les apports solides provenant de l'amont sont essentiellement de nature limono-sableuse. De plus, la présence de seuils de Moulins, quelques kilomètres en amont du site d'étude, participent au piégeage des sédiments les plus grossiers. Par conséquent, un lit présentant une granulométrie hétérogène ne pourra se constituer naturellement, du moins pas à court terme.

Ainsi, la distribution spatiale de ce matelas granulométrique (pendant la phase de travaux), puis le trie granulométrique naturel du cours d'eau, contribueront à diversifier le milieu à l'échelle du microhabitat allant de paire avec la diversification des écoulements à l'échelle des séquences d'unités morphodynamiques.

Sur un plan technique, ce matelas alluvial sera constitué de gravelles (10/31,5 mm de diamètre) et de graves (40/70 mm de diamètre) sur une épaisseur de 50 centimètres environ.

D'autre part, lors de la création de ce nouveau tronçon, il faudra s'assurer que l'épaisseur de graves et gravelles rajoutée soit compatible avec la capacité d'écoulement préalablement définie (hauteur plein bord de 0,80 m environ). En effet, les profils en travers définis pour ce tronçon (Annexe 8) ne prennent pas en compte cette épaisseur de matériaux. En conséquence, un surcreusement adapté, lors de la phase travaux, devra être nécessaire.

Conjointement à cela, il conviendra de vérifier que le fond du lit mineur est en contact direct avec la roche mère ou un point dur. En effet, il n'est pas concevable de poser un matelas alluvial sur un support limoneux sous peine de voir s'enfoncer et disparaître celui-ci. Ainsi, au droit du futur tracé - profil n°46 (Annexe 8) - un forage à la tarière a permis de mettre en évidence un fond dur sous une épaisseur de 2,0 mètres de limons. De plus, le talweg du lit de projet, à la cote de 149,82 m NGF, nécessite un déblaiement d'une hauteur de 1,60 mètre de limons. Par conséquent, les 40 centimètres permettant d'atteindre ce fond dur seront occupés par le lit de graves et gravelles.

Enfin, pour vérifier de cette compatibilité sur l'ensemble du site, d'autres forages seront nécessaires.

### ● Les blocs de diversification des écoulements:

Des blocs de roche, d'une granulométrie plus importante mais adapté au gabarit du cours d'eau seront également installés dans un objectif de diversification des écoulements (Figure 26).

Sur un plan technique, des blocs d'une taille comprise entre 25 et 500 kg pourront être disposés isolément ou en groupe (en triangle) à une distance respectable des berges (pour éviter tout risque d'érosion dommageable) et espacés d'une dizaine de mètres chacun. (Annexe 11 bis).

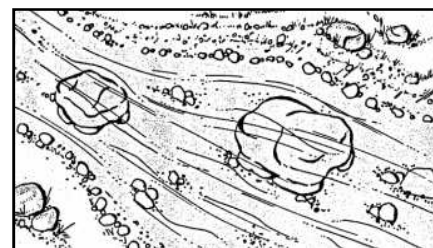


Figure 26: Exemple schématique de blocs de roche.

## -Tronçon 1 :

Bien qu'aucun relevé du profil en long n'ait été réalisé sur ce tronçon, celui-ci semble présenter un profil régulier sans rupture de pente spécifique. Ainsi, outre la légère divagation du lit moyen par le jeu des banquettes alternées, la mise en place de ces blocs accentuera la diversité des écoulements.

### - Tronçons 2, 4 et 5 :

En fonction de la nature des milieux dénoyés, cette technique pourra être réalisée au cas par cas. Ces aménagements pourront également compenser en partie la perte d'abris induite par le dénoisement des systèmes racinaires en berge (Figure 28), et ceci en attente du développement d'une nouvelle végétation rivulaire.

#### c) Les berges et la végétation rivulaire

Suite à l'arasement des ouvrages OH17a et OH20, l'abaissement induit de la ligne d'eau va laisser des berges à nues et pour la plupart abruptes (Figures 27 et 28). Cette situation va tendre à fragiliser la ripisylve sus-jacente entraînant son basculement sur le cours d'eau.

De plus, pour retrouver une morphologie de berge naturelle et les fonctionnalités écologiques qui lui sont propres, les berges du cours d'eau feront l'objet d'un terrassement par retalutage\* et/ou apport de matériaux en avant des crêtes de berge. Les berges ainsi formées présenteront une pente de l'ordre de 2L/1H\* au maximum.



Figure 27: Ripisylve en berge –Tronçon 5- (Crédit photo CE3E).



Figure 28: Ripisylve dénoyée sur la Blaise suite à l'arasement d'un ouvrage (Crédit photo CE3E).

Cette condition est un préalable nécessaire pour permettre le bon développement et/ou le maintien d'une végétation diversifiée et stratifiée, notamment vis-à-vis de leur affinité pour l'eau (pour exemple : saule en pied de berge et frêne en crête de berge).

Enfin, dans le contexte de l'étude, le terrassement des berges permettra une meilleure intégration paysagère.

Sur un plan technique, le talutage s'accompagnera de la pose d'un géotextile\* biodégradable sous lequel sera implantée une couche de terre végétale (30 cm en moyenne) ensemencée d'un mélange de graminées (Figure 29). Des boutures de saules, frênes ou aulnes pourront également être plantées au travers du géotextile. Ce dernier jouera, entre autre, un effet protecteur contre le ruissellement et l'érosion éolienne jusqu'à ce que la végétation se développe et prenne le relais. Enfin, ce géotextile sera ancré au sol via des agrafes métalliques de 30 centimètres de longueur à raison de 3/m<sup>2</sup>.



Figure 29: Berge talutée et recouverte d'un géotextile sur le Trou à l'âne- 28 -(Crédit photo pers.).

Spécificités par tronçon :

**- Tronçon 1 :**

Ce tronçon présente un cas de figure particulier. Premièrement, il est prévu en rive gauche la réfection du cheminement en stabilisé (propriété communale). Deuxièmement, la section d'écoulement, déjà diminuée par la pose d'une banquette de graves, doit être maintenue afin de limiter le risque inondation. Ainsi, de par la faible emprise disponible, les enjeux en présence ont conduit à la pose d'un tunage bois accompagné d'une pente de berge en 2/1 : ce tunage limitera ainsi l'érosion du talus. Ce type d'aménagement est très peu biogène\* pour le cours d'eau mais les enjeux sociaux ont ici plus d'intérêt que ceux écologiques.

En rive droite, le foncier non-acquis réduit les possibilités d'interventions. Cependant, les berges sont relativement stables et présentent une ripisylve diversifiée. De plus, en situation légèrement perché, l'abaissement de la ligne d'eau devrait se faire peu ressentir sur ce bras. Ceci pourra être confirmé par la modélisation hydraulique.

**- Tronçon 2 :**

De manière générale (hormis dans l'extrados\* des sinuosités, berge semi-verticale), le modelage du nouveau cours d'eau prévoit de faibles pentes de berges (4/1 en moyenne) pour permettre une bonne reprise et une bonne tenue de la végétation. Cette dernière sera constituée d'un mélange de graminées, mais également de boutures d'hélophytes (joncs et carex) conformément au projet. Ce couvert végétatif et son système racinaire fixeront les bancs limoneux contre le ruissellement et donc l'érosion des particules fines à l'origine du colmatage du cours d'eau. En effet, bien que la recherche d'un équilibre transversal par le cours d'eau (processus d'érosion et de dépôts) soit tolérée, il s'agit d'éviter ici une perte excessive de limons.

D'autre part, les graminées seront semées hydrauliquement. Cette technique permet la projection d'une substance gélatineuse favorable à la cohésion de la semence avec le sol. Par conséquent, aucun géotextile ne sera employé.

Enfin, de petits cordons rivulaires (saules essentiellement) seront conservés et/ou replantés afin d'offrir, entre autre, une alternance de zone d'ombre et de lumière sur le cours d'eau. Par ailleurs, les saules actuellement présent en lit majeur seront employés pour la confection des boutures.

**- Tronçon 3 :**

Aucune modification des berges et/ou de la ripisylve n'est prévue sur ce tronçon. A bonne distance de l'ouvrage OH20 et faiblement influencé par les variations de la ligne d'eau, les berges et la ripisylve actuelles présentent un bon potentiel écologique. Le modèle hydraulique devrait vérifier de la faible variation de la ligne d'eau.

**- Tronçon 4 :**

Avec une pente de 1/1 en rive gauche et en rive droite, les berges seront refaçonnées en 4/1 en moyenne par un retalutage et un apport de matériaux en rive droite et un apport de matériaux en avant des aulnes en rive gauche.

En l'état actuel, la ripisylve est très peu dense et est d'ailleurs absente en rive droite : strate herbacée essentiellement (Figure 30). Ce milieu ouvert est donc favorable au développement de végétaux héliophiles. Ainsi, le projet prévoit la mise en place de banquettes d'hélophytes (bouture d'iris, de myosotis des marais, de joncs, de carex, ...) favorables à la biodiversité et à l'épuration des eaux. Ces banquettes seront constituées d'un mélange de gravelles 20-50 mm et de terre végétale sur une épaisseur de 0,3 mètre environ. En



Figure 30: Tronçon 4 (vue vers l'amont).

protection de la banquette, des boudins de géotextile plantés d'hélophytes seront rajoutés à la limite terre/eau (Figures 31 et 32).



Figure 31: Exemple de banquettes et de boudins d'hélophytes sur le Trou à l'Ane (Crédit photo pers.).



Figure 32: Exemple de boudins d'hélophytes végétalisés sur la Roguenette -28- (Crédit photo CE3E).

Des plants enracinés de saules et de frênes (environ 1,20 mètre de haut) seront également plantés en haut de berge (1 plant tous les 15 mètres). Une fois développés, ils ne devraient pas gêner, par un excès d'ombre, la croissance des hélophytes. Enfin, ils pourront faire l'objet d'un entretien en têtard.

#### **-Tronçon 5 :**

La volonté de maintenir un alignement d'aulnes en rive gauche (propriété de M. Lefebvre) comme en rive droite (volonté des élus) impose non pas un talutage mais un apport de matériaux en avant de la ripisylve. Les berges verticales (1/1) seront donc remplacées par une berge présentant une pente en 3/1 à 5/1.

Enfin, les aulnes trop inclinés sur le cours d'eau seront recepés et les sujets les plus adaptés seront conservés. Les puits de lumière, ainsi formés, seront favorables à la diversité des écosystèmes aquatiques et terrestres.

#### **● Les protections de berges par enrochements :**

En raison de forts enjeux de protection, il est prévu la mise en place d'enrochements en berge (Annexe 11 bis).

#### **-Tronçon 1 :**

La mise en place d'une passerelle impose une protection renforcée de ses bajoyers contre le risque d'érosion et de sapement. Ainsi, des enrochements en berge, sur un linéaire d'une dizaine de mètres en amont et en aval de l'ouvrage, viendront protéger ces fondations.

#### **- Tronçons 2 et 3 :**

Les bajoyers de l'ouvrage OH17a seront conservés. Des protections de berges par enrochements sont donc prévues sur le même principe que pour la passerelle du tronçon 1.

Enfin, les bajoyers de la passerelle OH18, actuellement endommagés (Figure 23), seront retravaillés.

## **IV.1.2 Le lit majeur de projet**

### **IV.1.2.1 Les annexes hydrauliques**

La création d'une dépression topographique (délaissée) est prévue en rive gauche du tronçon 2. Celle-ci part de la connexion 1, longe le talus du cheminement avant de s'élargir et de s'approfondir (1 mètre au plus profond) dans l'angle de l'emprise de l'ancien étang (Annexe 8 et 11 bis). Hormis l'activation de celle-ci par un débordement du cours d'eau (crue inférieur au QJ1 soit  $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ), les échanges interstitiels avec la nappe phréatique devraient permettre le maintien d'une humidité suffisante pour le développement d'espèces hygrophytes, typiques des zones humides (joncs, carex, typha,...). Enfin, les bancs limoneux, actuellement colonisés par les saules, seront décaissés à hauteur des crêtes de berges du cours d'eau de projet et sur une surface de  $11250 \text{ m}^2$ .

En amont du site d'étude, un décaissement d'environ 30 cm des chenaux secondaires est projeté afin de maintenir, là encore, une certaine hydromorphie des sols. L'ouverture du milieu par la suppression des îlots (actuellement colonisés par les aulnes) et l'essartage de la végétation pionnière assurera le bon développement de la végétation hygrophyte définie ci-avant.

### **IV.1.2.2 Les cheminements**

En adéquation avec la politique de gestion des ENS, le site doit être aménagé pour être ouvert au public. Ceci passe en partie par la réfection des cheminements notamment vis-à-vis des personnes à mobilité réduite (PMR).

Le linéaire concerné joint l'ouvrage OH11 à la passerelle de projet et l'ouvrage OH13 à la passerelle OH18 (Annexe 11 bis et 12).

Sur un plan technique, ces cheminements, déjà en partie existant, feront premièrement l'objet d'un régalaage\* des sols par apports de matériaux gravelot-terreux. Puis, une couche stabilisatrice de sables et de graviers percolés viendra enrober la surface du cheminement. La largeur de circulation a été fixée à 2 mètres, espace suffisant pour permettre le croisement de deux personnes en fauteuils roulants. Leurs cotes altimétriques ont été établies au minimum 10 cm au dessus de la cote maximale des plus hautes eaux connues soit la crue vicennale (d'après la modélisation hydraulique de l'état actuel).

Enfin, un talus (pente de 2/1 à 3/1) viendra conforter les parcours. Les techniques employées restent identiques à celles des interventions sur berges. Seuls les 60 premiers mètres de cheminements en aval de l'ouvrage OH11 présenteront une protection par enrochements afin de limiter le risque d'érosion et donc de déstabilisation en période de crue.

Enfin, la modélisation hydraulique devrait permettre de vérifier la non-submersion de ces aménagements.

## IV.2 LA MODELISATION HYDRAULIQUE

Pour rappel, l'ensemble des modifications morphologiques évoquées précédemment (Partie IV1.) a été inclus à la construction du MNT, qui lui-même a fait l'objet d'une modélisation hydraulique.

### IV.2.1 *L'architecture du modèle :*

#### IV.2.1.1 Le semi de points

Le semi de points définitif comprend plus de 2500 points renseignés dont 144 profils en travers du lit mineur (Annexe 13). Pour rappel, la zone concernée s'étend de la D23 à l'aval de la peupleraie, et prend en compte le Bras du bois de Fourneau. L'Iton amont, le Bras du château et le Bras perché des Moulins (amont et aval), ne faisant pas l'objet d'interventions spécifiques, restent modélisés en 1D (Annexe 14).

#### IV.2.1.2 Les ouvrages

Dans le cadre de la modélisation pour l'état renaturé, les ouvrages OH4, OH10 et OH13 a et b sont considérés fonctionnels et/ou non-encombrés. Conformément à la création du MNT, les ouvrages OH17a et OH20 sont considérés arasés.

#### IV.2.1.3 La rugosité

Concernant le secteur faisant l'objet d'une modélisation en 2D, les valeurs de rugosité suivantes ont été retenues (Annexe 15) :

- Coefficient de Strickler en lit mineur : 30 (graviers, galets),
- Coefficient de Strickler en lit majeur : 20 (graminées),
- Coefficient de Strickler pour les zones enrochées : 15 (protections de berges, bajoyers et diversifications des écoulements).

Ces valeurs sont caractéristiques des milieux récréés et envisagés après travaux.

### IV.2.2 *La 1<sup>ère</sup> modélisation hydraulique :*

Dans la mesure où les résultats de la 1<sup>ère</sup> simulation hydraulique n'ont pas été convaincants, une 2<sup>ème</sup> simulation a été faite. Voici cependant un résumé des anomalies constatées durant cette 1<sup>ère</sup> simulation et les raisons qui ont poussées à effectuer une seconde tentative (Une description et une interprétation détaillée de cette 1<sup>ère</sup> simulation peut être lu en annexe 16).

Les commentaires suivants se basent sur des cartographies de vitesses et de hauteurs d'eau qui ont été éditées pour les régimes d'étiage et moyen (Annexes 17 et 18) :

- Des débordements et une alimentation des chenaux secondaires (en amont du site d'étude) et de la délaissée (en rive gauche du tronçon 2) peuvent être observés (A1, A2 et A3). Ces débordements, qui ne sont absolument pas souhaités pour les régimes d'étiage et moyen, résultent d'une sous-estimation des hauteurs de crêtes de berges (en cause : un manque de relevés topographiques).

- Quelques points de constriction de la section d'écoulement (A4) engendrent des écoulements plats à profonds lenticules sur un long linéaire du cours d'eau (effet « retenue »). Ces constriction, qui ne sont pas prévus par le projet et/ou ne sont pas présents en l'état actuel, peuvent être affectés à des artefacts\* du modèle, à une mauvaise interpolation du semi de point (MNT non-conforme) ou à une mauvaise représentation virtuelle des enrochements prévus par le scénario de renaturation (diversification des écoulements, protections de berges, bajoyers).

- La maille de 2 mètres, qui définit la précision du MNT, est trop importante : celle-ci lisse et simplifie non négligemment les détails que l'on souhaiterait y voir apparaître. Il en

résulte donc une mauvaise appréciation de la diversité longitudinale et latérale des écoulements.

En résumé, l'ensemble de ces anomalies ont engendrés une modélisation hydraulique qui n'est absolument pas représentative des écoulements potentiellement observables.

### IV.2.3 La 2<sup>ème</sup> modélisation hydraulique :

#### IV.2.3.1 Les modifications apportées au modèle :

Suite aux résultats non satisfaisant de la 1<sup>ère</sup> simulation, les modifications suivantes ont été apportées au modèle :

- Passage d'une maille de 2 mètres à une maille d'1 mètre de côté (à la demande de CE3E).
- Rehaussement local des berges en place des débordements constatés.
- Suppression des enrochements de diversification des écoulements et écartement des bajoyers de la passerelle de projet pour ne pas générer un effet « retenue ».

Une extension du MNT à la partie aval de la zone d'étude a également été faite (Lors de la 1<sup>ère</sup> modélisation, le MNT s'arrêtait à l'ouvrage OH20). Celle-ci comprend le lit mineur, la plaine d'inondation (en place de l'actuelle peupleraie) et le Bras du bois de Fourneau.

#### IV.2.3.2 Le régime d'étiage :

##### a) La répartition des débits

Lors de la modélisation de l'état actuel (2005), un débit d'étiage de 0.14 m<sup>3</sup>/s avait été retenu en guise de condition limite amont du modèle. Semblant trop sévère, celui-ci est remplacé par un débit de 0.30 m<sup>3</sup>/s (Tableau 4).

La répartition des débits dans les différents biefs est la suivante :

Tableau 4: Répartition des débits à l'étiage (m<sup>3</sup>/s).

Bief	Débit simulé en l'état actuel	Débit simulé après renaturation
Iton amont OH4	0.14	0.30
Bras du château / Bras de décharge	0.01	0.01
Bras perché des moulins amont OH13	0.13	0.29
Bras perché des moulins aval OH13	0.05	0.00
Tronçon 1	0.08	0.29
Tronçons 2, 3 et 4.	0.09	0.30
Tronçon 5	0.14	0.30

**En l'état actuel**, la répartition incontrôlée des débits favorise le Bras perché des moulins amont pour près de 93% du débit de l'Iton. Le débit est ensuite réparti à 61 % (0,08 m<sup>3</sup>/s) dans le tronçon 1 et à 39% (0,05 m<sup>3</sup>/s) dans le Bras perché des moulins aval. Les tronçons 2, 3 et 4 présentent un débit de 0,09 m<sup>3</sup>/s (soit 64% du débit de l'Iton).

**Après la renaturation**, la répartition contrôlée des débits favorise, à hauteur de 97%, le Bras perché des moulins amont, puis le tronçon 1 et enfin les tronçons 2, 3 et 4 pour 100% du débit de l'Iton.

Remarque : Le débit dirigé sur le Bras du bois de Fourneau n'a pas été prit en compte.

## **b) Les couples hauteurs/vitesses d'eau**

Les résultats suivants font référence aux cartes présentes en annexe 19.

### **Tronçon 1 :**

Ce tronçon est globalement dominé par des faciès de plat lentique avec des vitesses ne dépassant pas les 0,2 m/s.

➤ On peut noter la présence d'un radier, localisé entre la passerelle de projet et la connexion n°1, avec des vitesses atteignant les 1,0 m/s (A2).

### **Le Bras de décharge du château :**

Il est dominé par un faciès profond lentique.

### **Tronçon 2 :**

Des faciès de radiers (ou plats courants) et de profonds lenticques s'alternent de façon équidistante.

➤ On peut remarquer des zones d'accélération ponctuelles (0,7 à 1,0 m/s et au delà) caractérisées par un resserrement de la section d'écoulement et/ou un exhaussement du fond (A3, A4).

### **Tronçon 3 :**

Différents faciès d'écoulement s'alternent (plat lentique/radier/profond lentique).

➤ On peut noter que l'extrémité aval de ce radier est marqué par une forte accélération des écoulements puisque supérieur à 1,0 m/s (A5).

### **Tronçon 4 :**

Ce tronçon est dominé par des faciès profonds lenticques intercalés de quelques exhaussements du fond où les vitesses y sont légèrement supérieures (0,3 à 0,5 m/s).

➤ On note la présence, au droit de la connexion 2 (A6), d'un faciès plus profond (0,6 à 0,9 m) et très lentique (<0,1 m/s).

### **Tronçon 5 :**

En partie aval de ce tronçon, un faciès de plat lentique se poursuit en léger plat courant.

### **Iton aval OH20 :**

Hormis la présence d'un radier (A7), ce linéaire du cours d'eau est caractérisé par une dominance de faciès profonds lenticques.

## **c) Interprétation**

La répartition projetée des débits au droits des ouvrages OH4 et OH13 (a et b) permet la concentration des écoulements dans un chenal unique de OH13a à OH20. Ceci permettra de garantir pour la faune piscicole un « débit minimum biologique ». De plus, les capacités d'auto-ajustement du cours d'eau seront améliorées, favorisant ainsi un fonctionnement équilibré du cours d'eau (processus d'érosion et de dépôts,...).

Concernant les modifications apportées au modèle (affinement du maillage, correction du MNT), elles permettent d'apprécier plus précisément les faciès d'écoulements susceptibles d'être présents.

Ainsi, ce sont une vingtaine de faciès d'écoulement qui s'alternent sur les 1,3 km de cours d'eau (Plat lentique/radier et/ou plat courant/profond lentique).

Concernant le tronçon 1, la dominance « plat lentique » traduit la pente progressive de 0,26 % introduite dans le MNT à défaut de n'avoir aucun profil en long sur ce secteur. Cependant, la disposition d'enrochements dans le lit mineur (prévu par le projet) et la subtile divagation du lit d'étiage devraient permettre dans la réalité une diversification des écoulements. La zone spécifique A2 (matérialisé par un radier) n'est pas présente en l'état actuel et n'a pas été prévu par le projet. L'analyse du semi de point n'a rien révélé de particulier : ceci peut donc être attribué à une mauvaise interpolation du MNT (DHI, Comm. Pers.).

Au droit du tronçon 2, l'alternance de radiers (et/ou plat courants) et de profonds lenticques peut aisément être corrélé aux ruptures de pentes et aux faciès virtuellement créés et souhaités pour celui-ci. Ainsi, les zones spécifiques A3 et A4 caractérisent respectivement les têtes de radiers R2 et R3 (Annexe 8).

Concernant le tronçon 3, les faciès observés (plat lentique/radiers/mouilles) sont caractéristiques de la morphologie actuelle du cours d'eau avec un ralentissement des écoulements dans la courbure de la sinuosité suivi d'une accélération des champs de vitesses, conséquence du resserrement de la section d'écoulement d'origine géologique. Enfin, le faciès profond lentique en amont de OH18 est caractéristique de la mouille de confluence (Bief issu de OH17b). D'autre part, la zone spécifique A5 ( $V > 1,0$  m/s) peut être associée à une mauvaise interpolation du MNT : la modélisation des enrochements de protection de berge en rive droite influence négativement le modelage du MNT en resserrant abusivement la section d'écoulement.

Le caractère lentique du tronçon 4 peut s'expliquer par l'association d'une faible pente (0,15 %) et de trois principaux exhaussements du fond (radiers sur la carte/ E1, E2 et E3 en annexe 9) qui banalisent les écoulements sur une centaine de mètres.

Concernant le tronçon 5, le premier faciès (plat lentique) traduit la pente progressive de 0,06 % qui a été introduite dans le MNT à défaut de ne pas avoir un profil en long de ce linéaire.

Enfin, la dominance par les faciès profonds lenticques de l'aval de la zone d'étude ne traduit en rien la diversité des écoulements actuellement présente (Annexe 1). Ce résultat s'explique par le manque évident de relevés topographiques de ce secteur ainsi que par la faible définition de ce linéaire avec un profil en travers tous les 20 mètres (Annexe 13). Ceci explique également les anomalies constatées : A7, A8, A9.

De manière générale, en dépit des nombreuses anomalies induites par une mauvaise interpolation du MNT et/ou un manque d'informations topographiques, une bonne diversité des écoulements est observée autant sur un plan longitudinal (faciès d'écoulement) que transversal (bord du cours d'eau, banquettes immergées, talweg). Il semble cependant que le linéaire de cours d'eau compris entre OH18 et OH20 (considéré arasé) soit soumis à des écoulements homogènes à tendance lentique : une modification de la section d'écoulement ou la mise en place de déflecteurs\* localement appropriés pourront s'avérer nécessaires. Enfin, concernant les hauteurs d'eau au droit du talweg, la limite minimum biologique, fixée à 20 centimètres, est globalement respectée.

Remarque : Il semble que le logiciel MACRA n'est pas sous-évalué les hauteurs d'eau puisque globalement, ces valeurs sont supérieures à 20 cm au droit du talweg.

### IV.2.3.3 Le régime moyen

#### a) La répartition des débits

Un débit moyen de 1,0 m<sup>3</sup>/s a été employé (Tableau 5).

La répartition des débits dans les différents biefs est la suivante :

**Tableau 5: Répartition des débits en régime moyen (m<sup>3</sup>/s).**

Bief	Débit simulé en l'état actuel	Débit simulé après renaturation
Iton amont OH4	1.00	1.00
Bras du château / Bras de décharge	0.17	0.05
Bras perché des moulins amont OH13	0.83	0.95
Bras perché des moulins aval OH13	0.36	0.06
Tronçon 1	0.47	0.89
Tronçons 2, 3 et 4.	0.64	0.94
Tronçon 5	1.00	1.00

**En l'état actuel**, la répartition incontrôlée des débits favorise le bras perché des moulins amont pour près de 83% du débit de l'Iton. Le débit est ensuite réparti à 57 % (0,47 m<sup>3</sup>/s) dans le tronçon 1 et à 43% (0,36 m<sup>3</sup>/s) dans le Bras perché des moulins aval. Les tronçons 2, 3 et 4 présentent un débit de 0,64 m<sup>3</sup>/s (soit 64% du débit de l'Iton amont).

**Après la renaturation**, la répartition contrôlée des débits favorise, à hauteur de 95%, le Bras perché des moulins amont, puis le tronçon 1 (0,89 m<sup>3</sup>/s) et enfin les tronçons 2, 3 et 4 pour près de 94% du débit de l'Iton amont.

#### b) Les couples hauteurs/vitesses d'eau

Les résultats suivants font référence aux cartes présentes en annexe 20.

La distribution des faciès d'écoulement reste relativement identique au régime d'étiage. Aussi, les paramètres hauteurs et vitesses d'écoulement présentent une augmentation moyenne de 0,2 (m et m/s).

➤ On peut noter que les zones spécifiques mises en évidence à l'étiage se réitèrent au module (A1, A3, A4, A5, A7).

➤ On remarque plus particulièrement la réapparition d'une anomalie (A4) caractérisé par de faibles hauteurs d'eau (0,1 à 0,2 m) et de fortes vitesses (1,1 à 1,3 m/s). Ce point dur, mis en évidence lors de la 1<sup>ère</sup> simulation, avait été assigné à une mauvaise modélisation des enrochements de protection de berge, créant a priori un resserrement de la section d'écoulement. Cette anomalie génère des écoulements lenticulaires sur près de 300 mètres vers l'amont.

➤ Enfin, on constate de légers débordements qui s'opèrent au droit du tronçon 1 (A0), de la connexion 1 (A2) et du Bras de décharge du château.

#### c) Interprétation:

L'interprétation des résultats faite à l'étiage s'applique également au régime moyen. Les variations de hauteurs et de vitesses mises en évidence résultent simplement de la différence débitométrique appliquée entre ces deux régimes.

Les débordements constatés (A0, A2, Bras de décharge du château) permettent une fois de plus de remettre en cause le manque de relevés topographiques in situ. Ainsi, suite à la 1<sup>ère</sup>

modélisation, les hauteurs de berges n'ont pas suffisamment été rehaussées. Cependant, et contrairement à la 1<sup>ère</sup> modélisation, il semble que ceci est peu d'influence sur les écoulements au sein du lit mineur (couples hauteurs/vitesses).

Concernant l'anomalie A4, il s'avère en définitif que le problème de modélisation des enrochements se soit vu combiné à une mauvaise interpolation du MNT concernant deux profils en travers successifs du semi de point (Annexe 21). Cette anomalie d'interpolation n'a pas été détectée sous Surfer mais est bien présente sous Mike 21. La technique d'interpolation employée étant identique (« Le plus proche voisin »), une différence d'interpolation entre les deux logiciels peut être mise en cause.

Il est à noter que cette anomalie n'est pas présente à l'étiage. En effet, le module a été préalablement modélisé. Puis, suite à cette observation récurrente, la « bosse » présente virtuellement sur le MNT a été lissée par DHI.

Enfin, la diversité des écoulements sur un plan longitudinal et transversal contribueront en la diversification des habitats favorable à la flore et à la faune aquatique (Exemple : zone de repos, zone de grossissement et zone de reproduction pour les populations piscicoles).

#### IV.2.3.4 Le régime de crue :

Les résultats suivants font référence au régime de crue édité lors de la 1<sup>ère</sup> simulation. En effet, en raison de problèmes techniques, le régime de crue n'a pu faire l'objet d'une deuxième simulation intégrant l'ensemble des modifications apportées au MNT. Cependant, ceci ne devrait pas engendrer de différences significatives sur les résultats (DHI, Comm. Pers.). Ceci est d'autant plus justifié qu'il ne s'agit plus d'évaluer la nature des faciès d'écoulement (puisque effacés par la lame d'eau) mais l'étendue (horizontale et verticale) et la puissance des inondations.

##### a) La répartition des débits

La répartition des débits dans les différents biefs est la suivante :

Tableau 6: Répartition des débits en crue (m<sup>3</sup>/s).

Bief	Débit simulé en l'état actuel	Débit simulé après renaturation
Iton amont OH4	22.0	22.0
Bras du château / Bras de décharge	11.6	11.4
Bras perché des moulins amont OH13	10.4	10.6
Bras perché des moulins aval OH13	2.0	3.0
Tronçon 1	7.5	7.6
Tronçons 2, 3 et 4.	19.0	19.0
Tronçon 5	22.0	22.0

Que ce soit avant ou après la réfection des ouvrages OH4, OH10 et OH13 (a et b), la répartition des débits est relativement similaire. Aussi, les débits sont majoritairement répartis vers le tronçon 1 (7,6 m<sup>3</sup>/s) et le Bras de décharge du château (11,4 m<sup>3</sup>/s).

##### b) Les couples hauteurs/vitesses d'eau

Les résultats suivants font référence aux cartes présentes en annexe 22. Ils correspondent aux champs de vitesses et hauteurs d'eau maximales atteints au pic de la crue.

L'ensemble du lit mineur et du lit majeur est recouvert par les eaux.

- On peut remarquer la présence de 4 zones de survitesses (de l'ordre de 2,0 à 3,0 m/s - DHI, Comm. Pers.) qui sont localisées :
- Au droit de la passerelle de projet (SV1),
  - Au droit de l'actuel ouvrage OH17a (SV2),
  - En amont et en aval de l'actuelle passerelle OH18 (SV3),
  - Sur les 100 derniers mètres de la modélisation 2D (SV4).

### c) Interprétation:

La répartition des débits, entre le tronçon 1 et le Bras de décharge du château, réduit les contraintes hydrauliques pouvant s'exercer sur ce premier. Ceci est justifié par le risque « inondation » menaçant les habitations localisées en amont du site. D'autre part, les berges seront moins soumises aux contraintes érosives : protection du cheminement et de la passerelle de projet. Enfin, les biocénoses aquatiques ne s'en porteront que mieux : les enrochements ponctuels pourront éventuellement tenir lieu d'abris hydrauliques.

Les 3 premières zones de survitesses sont essentiellement dues à la constriction de la section d'écoulement :

- Le resserrement induit par les bajoyers de la passerelle de projet (SV1),
- Le resserrement géologique et structurel en place de l'actuel OH17a (SV2),
- Le resserrement géologique et structurel en place de la passerelle OH18 (SV3),

La dernière zone de survitesses (SV4) est induite par la combinaison de deux paramètres :

- Une mauvaise définition du semi de points et donc du MNT (A1) en rive droite provoque un resserrement de la section,
- Le flux qui déborde en rive gauche au droit de la connexion 2 rejoint le lit mineur en extrémité aval du modèle : le débit y transitant est donc plus important.

Sur un plan virtuel, il est probable que la mauvaise définition des enrochements (bajoyers et/ou protection des berges) en place de ces zones (SV1, SV2 et SV3) soit en partie responsable de ces survitesses. Cependant, dans la réalité, la constriction de la section d'écoulement (induite par la géologie du terrain et/ou les structures anthropiques) suppose une accélération évidente des vitesses d'écoulement induisant des forces d'arrachement\* accrues. La pose d'enrochements de protection de berges au droit de ces zones à enjeu est donc justifiée.

Le modèle indique également que les débordements de la rivière sont contenus dans le lit majeur et que l'ensemble des cheminements stabilisés sont hors d'eau. Par conséquent, les habitations, localisées en amont du site d'étude à une cote altimétrique plus élevée que le cheminement, sont également non-soumises au risque d'inondation (du moins pour une crue d'occurrence vicennale et une répartition contrôlée des écoulements).

Enfin, les opérations de décaissement des bancs limoneux, d'arasement des ilots et de défrichage en lit majeur permettront d'étendre la zone d'expansion des crues. Par ailleurs, les zones présentant des vitesses d'écoulement amoindris, tel que la zone des chenaux secondaires ou encore le bief en aval d'OH17b, offriront des zones d'abris hydrauliques pour les populations piscicoles.

## IV.2.4 Les contraintes hydrauliques :

### IV.2.4.1 Les forces de traction\* :

Les régimes d'étiage et moyen ont fait l'objet de calculs de forces de traction (calculées à partir du logiciel MIKE 21). Celles-ci visaient principalement à visualiser les zones où le risque d'érosion du lit et des berges pouvait être dommageable.

Aussi, à la vue de ces résultats (Annexe 23), les contraintes maximales sont observées au droit du tronçon 1 et du tronçon 2 avec respectivement  $118 \text{ N/m}^2$  et  $136 \text{ N/m}^2$  pour le régime d'étiage et  $132 \text{ N/m}^2$  et  $160 \text{ N/m}^2$  pour le régime moyen. Pour avoir un ordre d'idée, de simples tressages de saules (technique de génie végétal - Annexe 24) peuvent être employés en protection.

Cependant, dans la mesure où ces zones ne sont pas soumises à des enjeux spécifiques, des protections n'ont pas lieu d'être. De plus, ces forces de traction sont observées au droit des anomalies déjà constatées (mauvaise interpolation du MNT) : ces valeurs sont donc faussées et surévaluent, à priori, les forces hydrauliques qui seront réellement présentes. Enfin, les débits injectés dans le modèle ( $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$  à l'étiage et  $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$  au module) correspondent à des régimes hydrauliques relativement faibles (au regard du gabarit du cours d'eau) et donc mécaniquement peu contraignants vis à vis de la « structure » des berges.

#### IV.2.4.2 Les variations altimétriques de la ligne d'eau :

Une estimation de la variation altimétrique de la ligne d'eau en différents points du cours d'eau a été faite (Annexe 25).

Sans surprise, cette baisse se fait le plus ressentir à proximité des ouvrages arasés. En revanche, il est intéressant de noter que sur le tronçon 1, la lame d'eau tend à être plus importante après les travaux de restauration. En effet, à bonne distance de l'ouvrage OH17a et en situation légèrement perchée, l'impact de l'arasement des ouvrages est beaucoup moindre que sur le reste du linéaire de la zone d'étude. De plus, la nouvelle répartition des débits et le resserrement du lit favorisent le relèvement de la ligne d'eau.

A contrario, la faible pente du tronçon 5 (0,10 %) et la suppression de plus de 0,90 mètre de hauteur de chute (ouvrage OH20) produit une réduction de seulement 0,46 mètre au droit du profil P15 (à l'étiage). La baisse de la lame d'eau semble quelque peu sous-estimée : cette dernière peut être attribuée aux imprécisions du modèle 2D (défauts d'interpolation du modèle).

##### - Le Bras du Bois de Fourneau :

Le modèle indique physiquement que le Bras du bois de Fourneau (Figure 33) n'est pas alimenté à l'étiage comme au module (encarts C1 et C2 aux annexes 19 et 20,). Cependant, au vue de la précision du modèle (maillage de 1 mètre), il est facile d'imaginer que le MNT ait mal interpolé l'entrée de ce chenal constitué par une buse de 0,80 mètre de large (Annexe 21). D'ailleurs, une analyse comparative entre l'altitude de la base de la buse et l'altitude de la ligne d'eau à l'étiage a indiqué l'alimentation de ce bras. Par conséquent, pour permettre une concentration des écoulements dans un unique chenal à l'étiage comme au module, l'obstruction de la buse ou sa suppression (puis comblement) seront préconisées.



Figure 33: Extrémité aval de la buse.

### **IV.3 IMPACTS DU PROJET ET MESURES ACCOMPAGNATRICES**

#### ***IV.3.1 Impacts paysagers et humains***

Les travaux de restauration vont provoquer un bouleversement paysagé qui, irrémédiablement, va se répercuter sur un plan humain. Les pêcheurs locaux sont les premiers touchés par la suppression de l'étang où ils avaient l'habitude d'y attraper quotidiennement carpes et gardons (population piscicole d'eau calme).

Un travail pédagogique, déjà débuté lors des réunions du comité de pilotage, doit être poursuivi afin de persuader les personnes concernées des gains écologiques et économiques d'un tel projet.

Au regard de l'étude, la modélisation hydraulique 2D constitue un très bon outil didactique puisqu'elle permet d'imaginer, bien que virtuellement, la nature des écoulements engendrés par les opérations de restaurations.

D'autre part, l'association environnementaliste locale travaille actuellement sur un projet de sentier d'interprétation mettant en avant les potentialités écologiques, paysagères et patrimoniales du site. Un dépliant de communication, intitulé « Les temps changent, l'étang change... », a déjà été mis en maquette.

#### ***IV.3.2 Impacts économiques***

Si le cours d'eau à caractère salmonicole est à la hauteur des attentes, celui-ci devrait attirer une toute autre catégorie de touristes et/ou de pêcheurs désireux de taquiner la truite ou l'ombre (population piscicole d'eau vive). Cette nouvelle attractivité sera bénéfique pour le camping et les quelques commerces communaux. La vente de carte de pêche pourrait également se voir améliorée.

#### ***IV.3.3 Impacts environnementaux***

L'ensemble des opérations d'aménagement (talutage, décaissement, régaling, ...) en lit mineur et en lit majeur vont nécessiter le transport d'une plus ou moins grande quantité de matériaux. Aussi, afin de gérer au mieux les allées et venues sur le site et de préserver au maximum l'environnement, une organisation stricte et une programmation optimisée des postes de travaux devra être menée.

Dans cet objectif, les volumes de déblais et de remblais ont été estimés en fonction de leur nature et de leur localisation sur site. Ainsi, les matériaux issus de déblaiements seront affectés aux opérations de remblaiement de même nature et géographiquement proche, dans la mesure du possible (Annexe 26).

Aussi, à l'issue de ces calculs de cubature, il s'avère que les matériaux issus de l'arasement des trois îlots cadastrés (matériaux gravelot-terreux) et ceux issus du décaissement du futur cours d'eau et des bancs de sédimentations de l'ancien étang (matériaux limoneux) seront la source principale des opérations de remblaiements (8472 m<sup>3</sup> de matériaux limoneux et 3465 m<sup>3</sup> de matériaux gravelot-terreux).

Quant aux matériaux qui ne sont pas présents in situ, notamment ceux employés dans la confection des banquettes et du matelas alluvial (tronçon 2), ceux-ci devraient être acheminés depuis la carrière la plus proche afin de limiter les coûts financiers et les impacts polluants du transport.

Enfin, une attention particulière sera nécessaire pour limiter la prolifération de plantes xénophytes indésirables, apportés par les engins de chantiers (chenilles, godets) et/ou la fourniture de matériaux d'apport extérieur au site (grave/gravelle).

#### **IV.3.4 Impacts écologiques :**

Préalablement à l'arasement des ouvrages OH17a et OH20, des pêches électriques devront être menées (Fédération de pêche, ONEMA) afin de sauvegarder les populations piscicoles actuellement en place. Ce type de mesure est d'ailleurs obligatoire lorsqu'un déversement de matériaux est effectué dans le lit d'un cours d'eau. Enfin, ces pêches devront respecter les périodes de reproduction de la faune piscicole : une intervention en Septembre/Octobre semble tout à fait appropriée (Remarque : La reproduction des cyprinidés s'effectue aux alentours des mois de Juin et Juillet).

De plus, la dérivation temporaire du cours d'eau via le Bras perché des moulins (après une réfection au préalable des ouvrages OH4, et OH13 a et b) permettra un travail au sec et limitera ainsi la mise en suspension des sédiments fins lors de la phase de travaux (notamment au droit de l'ancien étang). Des filtres à paille pourront cependant être employés pour limiter le relarguage d'éventuels sédiments sur l'aval du cours d'eau.

#### **IV.3.5 Enjeux connexes au projet :**

##### **IV.3.5.1 La station d'épuration de Condé-sur-Iton :**

En raison d'un dépassement de la capacité nominale de la station d'épuration, la commune prévoit sa reconstruction. La qualité des effluents rejetés devrait donc s'en retrouver améliorée.

Cependant, la répartition projetée des débits au droit du Bras perché des Moulins (bief faisant l'objet du rejet des eaux de la STEP) est règlementairement incompatible en régime d'étiage avec le rejet d'effluents en cours d'eau (débit minimal autorisé de 50 l/s).

Aussi, dans la mesure où ce bief n'a plus de vocation économique, le bureau d'étude propose alors une abrogation des droits et règlements d'eau de celui-ci afin de le déclasser en exutoire de la station d'épuration. Ces rejets pourront également favoriser, en sortie de station, d'un traitement tertiaire dans un « fossé » plantés d'hélophytes (typha, iris, ...) : ceci nécessitera au préalable une ouverture du milieu par la suppression des aulnes situés en rive gauche, les arbres remarquables en rive droite étant conservés : Marronnier, Orme (Annexe 1). Cette solution est actuellement à l'étude.

Concernant l'amélioration de la qualité des eaux, mais dans une moindre mesure, l'implantation d'hélophytes (Iris, carex, joncs...), prévu en bordure de l'Iton (tronçons 2 et 4 principalement), y contribuera, notamment vis à vis des matières phosphorées. De même, la nouvelle dynamique du cours d'eau aura un effet auto-épurateur très important : augmentation de l'oxygène dissous, limitation des phénomènes d'eutrophisation,... Parallèlement à ceci, le développement de biofilms bactérien (à la surface du substrat benthique) et les nouveaux végétaux aquatiques participeront à l'épuration des eaux.

##### **IV.3.5.2 L'ouvrage OH20 et sa pièce d'eau :**

Monsieur Lefebvre, propriétaire de l'ouvrage OH20 et de la pièce d'eau localisée en rive gauche, a émis son accord quant à l'arasement de cet ouvrage sous condition qu'une solution soit trouvée pour maintenir une circulation d'eau continue dans son étang (Figure 34).

L'étude de la cote altimétrique de la ligne d'eau (après travaux) indique l'alimentation de cet étang. Cependant, au vu des imprécisions du modèle, la déconnexion de cette prise d'eau en période d'étiage n'est pas à exclure. Ceci est d'ailleurs confirmé par l'existence même de cet ouvrage, anciennement



Figure 34: Etang en rive gauche de l'ouvrage OH20.

employé pour une activité d'élevage de myocastors dans cette pièce d'eau.

En compensation de cela, le déplacement de la prise d'eau plus en amont semble techniquement difficile. D'autres solutions sont actuellement à l'étude.

### ***IV.3.6 Le suivi pendant et après travaux***

#### ***IV.3.6.1 La phase de travaux :***

Pour le bon déroulement des travaux, le maître d'œuvre devra suivre les directives et plans d'aménagements du bureau d'étude. Bien que la modélisation hydraulique nous ait permis de caler les aménagements<sup>©</sup>, du moins sur un plan papier, la réalisation pratique de ceux-ci devra se faire au vu des conditions *in situ*. De plus, le dénoisement du site et la nouvelle dynamique fluviale peut laisser apparaître une toute autre réalité et diversité topographique dont le modèle ne permet pas de mettre en évidence à l'échelle du microhabitat. C'est pourquoi, une adaptation des plans d'aménagement pourra être faite et des dispositifs compensatoires pourront être apportés au cas par cas (déflecteurs, blocs d'enrochement,...).

© : L'implantation des techniques végétales nécessite une attention particulière au niveau d'eau et aux variations de celui-ci afin d'assurer la bonne reprise de la végétation.

#### ***IV.3.6.2 La phase post-travaux :***

Dans un premier temps, et comme souvent à l'issue de travaux faisant appel au génie végétal, le cahier des charges impose l'entretien et le suivi des aménagements, sur une ou plusieurs années, afin de pérenniser leurs fonctionnalités écologiques et paysagères.

Ceci passe en partie par l'arrosage des géotextiles enherbés, des boutures de joncs, carex, ... pour favoriser une bonne reprise de la végétation. Un remplacement des hélrophytes morts est également assuré par les fournisseurs : à ce sujet, compte tenu du contexte d'hydromorphie des sols, le risque de non-reprise de la végétation est faible.

Une sensibilisation et une formation des employés municipaux à l'entretien du site devront également être faites. Ceci comprend :

- Un entretien régulier et sélectif de la végétation rivulaire afin de favoriser une certaine diversité en termes de strates, d'âges et d'espèces. Une élimination des plantes envahissantes sont également à préconiser.

- Le maintien d'un milieu ouvert en lit majeur (emprise de l'ancien étang et zone des chenaux secondaires) en limitant le développement des strates arborées.

- L'élimination des strates arbustives et arborées susceptibles de se développer sur les banquettes de graves. Ceci concerne essentiellement voir exclusivement le tronçon 1 où la section d'écoulement doit être maintenue en l'état en raison du risque d'inondation des habitations et de l'érosion des structures en berge.

Dans un deuxième temps, pour évaluer la bonne réappropriation du site par les biocénoses aquatiques et terrestres mais également vis-à-vis du fonctionnement hydromorphologique du cours d'eau, des suivis physiques, physico-chimiques et biologiques pourront être réalisés.

A titre d'exemple, des inventaires hydrobiologiques (IPR\*, IBGN\*, ...) permettront de vérifier l'état des biocénoses et leur évolution (Le passage d'une population cyprino-ésocicole à une population cyprino-salmonicole pourra être observée).

Enfin, un suivi de la qualité des sédiments contenu dans le lit majeur de l'ancien étang serait également nécessaire, notamment concernant leur teneur en micropolluant (cuivre et plomb) actuellement en excès. A ce sujet, le développement d'hélrophytes permettra, par leurs pouvoirs fixateurs une réduction de ces teneurs.

## CONCLUSION

Cette phase de l'étude de renaturation comporte deux grands volets étroitement liés :

- La création et/ou le réajustement morphologique du cours d'eau (au droit de l'ancien étang et sur le reste du site) permettant la reconquête des fonctionnalités hydrauliques, hydromorphologiques et hydroécologiques de la zone d'étude,

- La conception d'un modèle hydraulique permettant d'évaluer l'impact, sur les débits, vitesses et hauteurs d'eau, de l'arasement des ouvrages et des modifications morphologiques envisagées,

Concernant ce premier volet, l'arasement des ouvrages hydrauliques, opération phare de ce projet, est un préalable nécessaire pour permettre une restauration optimale du site (décloisonnement hydraulique, sédimentaire et biologique). De plus, la recréation totale d'un cours d'eau sinueux au droit de l'ancien étang (permet par le large espace de liberté) et les réajustements morphologiques du reste du continuum fluvial (resserrement de la section d'écoulement, terrassement des berges, nouvelle granulométrie du lit,...) permettront au cours d'eau de retrouver ses fonctionnalités naturelles. Ces dernières seront également favorisées par la concentration des écoulements dans un unique chenal.

Par ailleurs, l'utilisation de techniques faisant appel au génie végétale ou au génie civil s'intègrent à la politique de gestion des ENS qui se veut favoriser la biodiversité tout en permettant l'accès au grand public et le respect des différents enjeux propres au site (enjeux sociaux, intégration du rejet de la nouvelle station d'épuration, ...).

Concernant les résultats de la modélisation hydraulique, ils ont mis en évidence les difficultés, au vue des conditions de réalisation (manque de données topographiques et mauvaise interpolation du MNT), de pouvoir modéliser virtuellement la topographie d'un cours d'eau. Néanmoins, l'optimisation du modèle lors de la seconde simulation a permis une évaluation plus aisée de la nature potentielle des écoulements sur le site d'étude. Il en ressort globalement une certaine diversité des faciès d'écoulements mais qui semble s'atténuer en partie aval (linéaire compris entre OH18 et OH20) avec une dominance par les faciès d'écoulements lents.

Cependant, le modèle ne se substituant pas à la réalité, ce n'est que lors de l'arasement des ouvrages qu'il sera possible d'évaluer précisément la nature des milieux dénoyés et la diversité réelle des écoulements à l'échelle du faciès d'écoulement mais aussi à l'échelle du microhabitat, chose que ne permet pas le modèle. En fonction de cela, une adaptation des aménagements projetés et/ou des aménagements compensatoires (types déflecteurs) pourront être apportés.

D'autre part, afin d'atteindre le bon état écologique des eaux d'ici à 2015 (enjeu de la DCE) l'amélioration physique du site par la qualité des habitats retrouvée devra se combiner à l'amélioration de la qualité des eaux, actuellement en qualité passable. Ceci est d'autant plus justifié qu'un cours d'eau à caractère salmonicole est visé par le projet. Cependant, cet objectif ne pourra être atteint sans une gestion améliorée des pratiques agricoles en tête de ce bassin versant.

Enfin, la réussite de ce projet dépendra du suivi qu'il en sera fait durant et après les travaux de restauration mais également des solutions qui seront adoptées vis-à-vis d'enjeu tel que le rejet de la station d'épuration ou encore le maintien de la pièce d'eau de Monsieur Lefebvre.

## GLOSSAIRE

**Artefact** : C'est un effet artificiel et indésirable dont l'apparition, liée à la méthode utilisée lors d'une expérience, provoque une erreur d'analyse.

**Biocénose** : Elle est constituée par la totalité des organismes vivants qui occupent un écosystème donné. Ce terme remplace souvent celui de peuplement ou de communauté.

**Biogène** : Qui est favorable à la biologie des écosystèmes.

**Débit module** : C'est le débit moyen interannuel, calculé sur l'année hydrologique — période de 12 mois qui débute après le mois habituel des plus basses eaux (septembre pour la plupart des régions françaises et la Haute-Normandie). Il correspond au débit moyen de la rivière et donne donc une information sur la ressource globale disponible.

**Débit de plein bord** : Il correspond au plein remplissage du lit mineur. C'est le débit qui façonne le lit d'une rivière et préside à la formation et à la dynamique des faciès d'écoulement. Il est considéré comme le débit morphogène.

**Défl ecteurs** : En pierre ou en bois, il permet une réorientation et une diversification du courant lorsque celui-ci est implanté dans le cours d'eau.

**Ecotone** : Zone de transition entre deux communautés biologiques et donc entre deux milieux.

**Erosion régressive** : Elle désigne une érosion qui se propage vers l'amont. Suite à l'arasement d'un ouvrage, la rivière va tendre à retrouver son profil d'équilibre qui va se traduire physiquement par une érosion.

**Extrados** : Ce terme désigne la partie concave d'une sinuosité (ou d'un méandre) soit l'extérieur de la sinuosité.

**Faciès d'écoulement** : Appelé également unité morphodynamique, les faciès d'écoulement sont des portions de cours d'eau présentant une certaine uniformité structurelle et fonctionnelle sur le plan des vitesses, des hauteurs d'eau, de la granulométrie du substrat.

**Filtre à paille** : C'est un filtre à particules fines.

**Force tractrice** : Appelée également force de frottement par unité de surface (ou encore force d'arrachement), elle correspond à la force exercée par l'eau sur les parois du chenal. Lorsque celle-ci atteint une valeur critique, les matériaux constitutifs des parois sont arrachés et déplacés. Cette force s'exprime en  $N/m^2$ . Elle est principalement dépendante de la vitesse des écoulements, de la rugosité (et de la nature) des matériaux du lit, de la pente du cours d'eau mais également de la pente des berges.

**Fosse de dissipation** : Dépression qui se forme à l'aplomb d'une chute d'eau suite à l'arrachement du substrat par l'énergie de l'eau.

**IBGN** : Indice Biologique Global Normalisé.

**IPR** : Indice Poisson Rivière.

**Manning Strickler** : Expression obtenue à partir de la formule de Chézy, donnant la vitesse (V) d'un liquide dans un canal ou une canalisation à écoulements libre en fonction de ses caractéristiques : - rayon hydraulique, - coefficient de rugosité (K) et pente (i), soit :

$$V=K \cdot R^{(2/3)} \cdot i^{(1/2)}$$

**Modèle 1D (monodimensionnelle) :** On néglige les écoulements transversaux au cours d'eau pour ne considérer qu'un écoulement filaire, dans l'axe de la rivière. La plupart des modèles hydrauliques utilisent cette approche. La géométrie de la rivière est décrite par une succession de profils en travers qui déterminent le pas d'espace du modèle. La surface de l'eau est considérée comme horizontale sur un profil en travers et la vitesse d'écoulement est calculée en moyenne sur la section. Ces modèles ne peuvent pas donner une information fiable sur les vitesses d'écoulement en lit majeur et ils ont du mal à prendre en compte les pertes de charge dues aux échanges entre le lit mineur et le lit majeur. Par contre, les modèles 1D sont assez simples à caler car le seul paramètre du modèle est la rugosité moyenne de la section.

**Modèle 2D (bidimensionnelle) :** On prend en compte les écoulements latéraux, ce qui est fréquent dès que l'on est en présence d'un lit majeur assez large. Il faut distinguer les modèles filaires à casiers des modèles 2D. Les modèles filaires à casier associent une modélisation 1D de l'écoulement en lit mineur à un écoulement de casier en casier en lit majeur. Ces modèles sont fréquemment utilisés pour représenter les grandes inondations de plaine dont la dynamique est bien représentée par un système de casiers interconnectés. Les modèles 2D maillés sont plus rarement utilisés car ils font appel à une puissance de calcul importante. Les modèles 2D à casier ou maillé sont assez difficiles à caler car ils sont très sensibles.

**Puissance spécifique :** Elle peut être accaparée à l'énergie du cours d'eau. Elle est calculée comme suit :  $\varphi = \gamma QJ/L$  (en watts/m<sup>2</sup>).

où  $\gamma$  est le poids volumique de l'eau (9810 N/m<sup>3</sup>), Q le débit (m<sup>3</sup>/s), J la pente de la ligne d'énergie en m/m, L la largeur du lit pour le débit utilisé (m).

**QMNA5 :** C'est le débit mensuel minimal de retour 5 ans, c'est-à-dire le débit mensuel minimal ayant une probabilité d'être dépassé 4 années sur 5. Il est obtenu par ajustement de tous les QMNA sur la période considérée.

**Régalage :** Action d'aplanir la surface d'un terrain à niveau ou suivant une pente donnée.

**Remous solide :** Il fait référence aux matériaux sédimentés suite à la mise en place d'un barrage.

**Retalutage :** Action consistant à retailler la crête d'un talus afin d'en diminuer la pente.

**SI :** Il caractérise la sinuosité du cours d'eau. Il correspond au rapport de la longueur développée du lit sur la longueur en ligne droite entre les deux mêmes points de mesure, en suivant l'axe de la vallée. Trois valeurs seuils sont admises :

SI < 1.05, le cours d'eau est rectiligne,

1.05 < SI < 1.25, sinueux,

1.25 < SI < 1.5, très sinueux,

SI > 1.5, méandrique.

**2/1 (ou 2L/1H) :** Terme technique faisant référence à la pente d'un talus (berge). Dans ce cas de figure, nous avons 2 unité horizontale pour 1 unité verticale soit un angle de 26° environ.

## Bibliographie

### Livres

AMOROS C. et PETTS G.E. 1993. *Hydrosystèmes fluviaux*, MASSON 1993. 300 pp.

DEGOUTTE G. 2006. *Diagnostic, aménagement et gestion des rivières : hydraulique et morphologie fluviales appliquées*, Lavoisier éd. 93p.

LACHAT B. 1994. *Guide de protection des berges de cours d'eau en techniques végétales*, Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement DIREN Rhône-Alpes, réédition 1999. 143 pp.

LENORMAND M. 1999. *Les petits aménagements piscicoles/Guide technique*, Conseil Supérieur de la Pêche et Agence de l'eau Adour Garonne, édition 2002. 82 pp.

MALAVOI J.R. et SOUCHON Y. 1996. *Dynamique fluviale et dynamique écologique*, La Houille blanche. 11 p.

MALAVOI J.R. 1998. *Détermination de l'espace de liberté des cours d'eau* (Guide technique n°2), SDAGE Rhône Méditerranée Corse. 39 p.

MALAVOI J.R. et SOUCHON Y. 2002. *Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observables en rivière : clé de détermination qualitative et mesures physiques*. Bulletin Français de la Pêche et de l'Aquaculture, 16 p.

MALAVOI J.R. Juin 2006. *Retour d'expérience de restauration d'opération de cours d'eau et de leurs annexes, menées sur le bassin RMC*. BIOTEC. 129 p.

MALAVOI J.R. 2007. *Manuel de restauration hydromorphologique des cours d'eau*, Agence de l'eau Seine Normandie. 160p.

### Contributions à un ouvrage collectif

EDITH L. 2002. *La naissance d'une vallée : Démantèlement du barrage de Kernansquillec et réhabilitation du site*. Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable. 24p.

BACCHI M. et BERTON J.P. 2002. *Restauration et entretien du lit de la Loire et de ses affluents*. Plan Loire Grandeur Nature, DIREN Centre. 69p.

### Articles de périodique

DELEUZE J.M. mai 2004. *Gestion des cours d'eau et des berges*, Article scientifique, La GEODE.

### Rapports d'étude

ANDRIAMAHEFA H. 2007. Techniques de reméandrage. Power Point. 115 diapositives.

CE3E. Juin 2004. Etat des lieux et le diagnostic hydromorphologique sur le site ENS de Condé-sur-Iton. 53p.

CE3E. Avril 2005. Etude hydraulique 1D sur le site ENS de Condé-sur-Iton. 48p.

## Liste des figures

FIGURE 1: LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DE LA COMMUNE DE CONDE SUR ITON (A GAUCHE) ET DE LA ZONE D'ETUDE SUR UN EXTRAIT DE LA CARTE IGN N°1914E BRETEUIL (A DROITE). .....	5
FIGURE 2: LOCALISATION DES BIEFS ET OUVRAGES DE LA ZONE D'ETUDE. ....	6
FIGURE 3: VUE AERIENNE AVANT LA MISE A L'EAU BASSE DE L'ETANG. ....	7
FIGURE 4: OUVRAGE HYDRAULIQUE OH 13. ....	8
FIGURE 5: « BRAS DE L'ANCIEN ETANG » DEPUIS OH17A. ....	9
FIGURE 6: VUE AMONT DES VANNAGES OH17 (A ET B). ....	9
FIGURE 7: VUE AMONT D'OH17A EMBACLE. ....	9
FIGURE 8: « BRAS AVAL DE L'ANCIEN ETANG ». ....	9
FIGURE 9: L'OUVRAGE OH20. ....	9
FIGURE 10: CHENAUX SECONDAIRES DE DEBORDEMENT. ....	10
FIGURE 11: CAROTTAGE A LA TARRIERE SUR LES BANCS LIMONEUX (CREDIT PHOTO CE3E). ....	16
FIGURE 12: SEQUENCES RADIERS/MOUILLES SUR UN COURS D'EAU SINUEUX. ....	17
FIGURE 13: PROFILS « GENERAUX » RENCONTRES SUR UN COURS D'EAU SINUEUX. ....	18
FIGURE 14: DENOMINATION DE DIFFERENTES METRIQUES D'UN PROFIL EN TRAVERS DU LIT MINEUR. ....	19
FIGURE 15: RELEVES TOPOGRAPHIQUES EN DATE DU 28 AVRIL 2008 (CREDIT PHOTOS PERS.). ....	22
FIGURE 16: RELEVES TOPOGRAPHIQUES EN DATE DU 28 AVRIL 2008 (CREDIT PHOTOS PERS.). ....	22
FIGURE 17: VUE EN PLAN DU MNT ET DU SEMI DE POINT A L'ORIGINE DU MNT. ....	25
FIGURE 18: VUE EN PERSPECTIVE DU MNT. ....	25
FIGURE 19: REPRESENTATION EN PLAN DU TRACE DU COURS D'EAU ET DU SEMI DE POINTS (SOUS SIG). ....	26
FIGURE 20: REPRESENTATION EN TRAVERS DU COURS D'EAU ET DU SEMI DE POINTS. ....	26
FIGURE 21: CARTE DE LOCALISATION DES TRONÇONS. ....	30
FIGURE 24: PROFIL DE LA LIGNE D'EAU ESTIMEE. ....	31
FIGURE 22: CARTE DE CASSINI AU DROIT DE LA ZONE D'ETUDE (ENCADRE ROUGE). ....	31
FIGURE 23: BAJOYERS ENDOMMAGES DE LA PASSERELLE OH18 (ENCADRE ROUGE). ....	31
FIGURE 25: COUPE EN TRAVERS D'UNE INTERVENTION SUR OUVRAGE. ....	32
FIGURE 26: EXEMPLE SCHEMATIQUE DE BLOCS DE ROCHE. ....	35
FIGURE 27: RIPISYLVE EN BERGE –TRONÇON 5- (CREDIT PHOTO CE3E). ....	36
FIGURE 28: RIPISYLVE DENOYEE SUR LA BLAISE SUITE A L'ARASEMENT D'UN OUVRAGE (CREDIT PHOTO CE3E). ....	36
FIGURE 29: BERGE TALUTEE ET RECOUVERTE D'UN GEOTEXTILE SUR LE TROU A L'ANE- 28 - (CREDIT PHOTO PERS.). ....	36
FIGURE 30: TRONÇON 4 (VUE VERS L'AMONT). ....	37
FIGURE 31: EXEMPLE DE BANQUETTES ET DE BOUDINS D'HELOPHYTES SUR LE TROU A L'ANE (CREDIT PHOTO PERS.). ....	38
FIGURE 32: EXEMPLE DE BOUDINS D'HELOPHYTES VEGETALISES SUR LA ROGUENETTE -28- (CREDIT PHOTO CE3E). ....	38
FIGURE 33: EXTREMITE AVAL DE LA BUSE. ....	47
FIGURE 34: ETANG EN RIVE GAUCHE DE L'OUVRAGE OH20. ....	49

## Liste des tableaux

TABLEAU 1: DEBITS MOYENS MENSUELS DE L'ITON SUR L'ANNEE HYDROLOGIQUE DE 2005 A MANTHELON.....	7
TABLEAU 2: CHRONOGRAMME DE L'ETUDE.....	14
TABLEAU 3: SIMULATION DES LIGNES D'EAU EN L'ETAT ACTUEL (EN CONSIDERANT OH17A ET OH20 ARASES) ET APRES RESSERREMENT DE LA SECTION, D'APRES MACRA. ....	33
TABLEAU 4: REPARTITION DES DEBITS A L'ETIAGE ( $m^3/s$ ).....	41
TABLEAU 5: REPARTITION DES DEBITS EN REGIME MOYEN ( $m^3/s$ ).....	44
TABLEAU 6: REPARTITION DES DEBITS EN CRUE ( $m^3/s$ ).....	45

## Table des matières

<b>SOMMAIRE</b> .....	<b>1</b>
<b>RESUME</b> .....	<b>2</b>
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>3</b>
<b>ORGANISME D'ACCUEIL</b> .....	<b>4</b>
<b>I. PRESENTATION GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE</b> .....	<b>5</b>
<i>I.1 Localisation géographique et zonage</i> .....	5
<i>I.2 Historique et activités</i> .....	7
<i>I.3 Hydrologie</i> .....	7
<i>I.4 Hydromorphologie</i> .....	8
I.4.1 Le lit mineur : .....	8
I.4.1.1 En amont de la départemental 23 .....	8
I.4.1.2 Au droit et en périphérie de l'ancien étang .....	8
I.4.1.3 En aval de l'ancien Etang .....	9
I.4.2 Le lit majeur .....	10
I.4.2.1 Géologie .....	10
I.4.2.2 Végétation et occupation du sol .....	10
<i>I.5 Qualité des eaux et des sédiments</i> .....	10
I.5.1 La physico-chimie des eaux: .....	10
I.5.2 Les sédiments de la zone de l'ancien étang : .....	10
<i>I.6 Qualité environnementale et écologique du site :</i> .....	11
I.6.1 La faune piscicole : .....	11
I.6.2 La flore : .....	11
<i>I.7 Les problématiques du site</i> .....	11
I.7.1 Les seuils et vannages - des ouvrages transversaux : .....	11
I.7.1.1 La rupture des flux liquides, solides et biologiques : .....	11
I.7.1.2 Un effet « retenue » : .....	12
I.7.1.3 Une multiplication des chenaux : .....	12
I.7.2 Les annexes hydrauliques : .....	12
I.7.2.1 Limitation de la biodiversité : .....	12
I.7.2.2 Limitation des échanges lit mineur/lit majeur : .....	12
I.7.2.3 Limitation des possibilités de divagation de la rivière : .....	12
I.7.3 L'accessibilité du site : .....	12
<b>II. LE PROJET DE RENATURATION</b> .....	<b>13</b>
<i>II.1 La renaturation - Approche conceptuelle :</i> .....	13
<i>II.2 Chronique des études antérieures du site :</i> .....	13
<i>II.3 Phasage et contenu de l'étude</i> .....	13
<i>II.4 Objectifs et hypothèses d'actions en vue de la renaturation</i> .....	14
<i>II.5 Rappel de mes objectifs</i> .....	15
<b>III. MATERIELS ET METHODES:</b> .....	<b>16</b>
<i>III.1 Exploitation des données existantes et réunions d'orientations</i> .....	16
<i>III.2 La renaturation du bras de l'ancien étang :</i> .....	16
III.2.1 L'étude technique préliminaire .....	16
III.2.2 La morphométrie du lit .....	16
III.2.2.1 L'état de référence .....	16
III.2.2.2 La définition du tracé en plan .....	17
a) Approche typologique : .....	17
b) Mode opératoire : .....	17
III.2.2.3 La définition du profil en long .....	17

a)	Approche typologique : .....	17
b)	Mode opératoire : .....	18
III.2.2.4	La définition des profils en travers .....	18
a)	Approche typologique : .....	18
b)	Mode opératoire : .....	18
III.3	<i>La restauration du reste du continuum fluvial</i> : .....	21
III.3.1	Sectorisation : .....	21
III.3.2	Acquisition de données : .....	21
III.3.3	Modifications du profil en long: .....	22
III.3.4	Modifications transversales : .....	22
III.4	<i>La conception du modèle hydraulique</i> : .....	24
III.4.1	Principe.....	24
III.4.2	Mode opératoire.....	24
III.4.2.1	Une phase d'acquisition de données : .....	24
III.4.2.2	Une phase de conception et de représentation spatiale : .....	25
a)	Les supports virtuels et techniques : .....	25
b)	Une représentation en plan :.....	26
c)	Une représentation en travers : .....	26
d)	Une représentation en long :.....	27
e)	Une prévisualisation en 2D :.....	27
III.4.2.3	Une phase de modélisation hydraulique : .....	28
a)	Le logiciel de modélisation : .....	28
b)	Les conditions aux limites amont : .....	28
c)	Les conditions aux limites aval : .....	28
d)	Le calage du modèle : .....	28
e)	La précision du modèle :.....	28
III.4.3	Méthodologie de présentation des résultats : .....	28
IV.	RESULTATS ET DISCUSSIONS : .....	29
IV.1	<i>Le schéma de renaturation</i> .....	29
IV.1.1	Le lit mineur de projet.....	29
IV.1.1.1	Interventions sur le tracé en plan.....	29
IV.1.1.2	Intervention sur le profil en long.....	31
IV.1.1.3	Intervention sur les profils en travers.....	33
a)	La section d'écoulement.....	33
b)	La granulométrie du lit : .....	34
c)	Les berges et la végétation rivulaire.....	36
IV.1.2	Le lit majeur de projet.....	39
IV.1.2.1	Les annexes hydrauliques.....	39
IV.1.2.2	Les cheminements.....	39
IV.2	<i>La modélisation hydraulique</i> .....	40
IV.2.1	L'architecture du modèle : .....	40
IV.2.1.1	Le semi de points.....	40
IV.2.1.2	Les ouvrages.....	40
IV.2.1.3	La rugosité.....	40
IV.2.2	La 1 <sup>ère</sup> modélisation hydraulique :.....	40
IV.2.3	La 2 <sup>ème</sup> modélisation hydraulique :.....	41
IV.2.3.1	Les modifications apportées au modèle : .....	41
IV.2.3.2	Le régime d'étiage : .....	41
a)	La répartition des débits.....	41
b)	Les couples hauteurs/vitesses d'eau.....	42
c)	Interprétation.....	42
IV.2.3.3	Le régime moyen.....	44
a)	La répartition des débits.....	44
b)	Les couples hauteurs/vitesses d'eau.....	44
c)	Interprétation:.....	44

IV.2.3.4	Le régime de crue : .....	45
a)	La répartition des débits.....	45
b)	Les couples hauteurs/vitesses d'eau .....	45
c)	Interprétation:.....	46
IV.2.4	Les contraintes hydrauliques :.....	46
IV.2.4.1	Les forces de traction :.....	46
IV.2.4.2	Les variations altimétriques de la ligne d'eau :.....	47
<i>IV.3</i>	<i>Impacts du projet et mesures accompagnatrices.....</i>	<i>48</i>
IV.3.1	Impacts paysagers et humains .....	48
IV.3.2	Impacts économiques .....	48
IV.3.3	Impacts environnementaux .....	48
IV.3.4	Impacts écologiques :.....	49
IV.3.5	Enjeux connexes au projet : .....	49
IV.3.5.1	La station d'épuration de Condé-sur-Iton :.....	49
IV.3.5.2	L'ouvrage OH20 et sa pièce d'eau : .....	49
IV.3.6	Le suivi pendant et après travaux.....	50
IV.3.6.1	La phase de travaux : .....	50
IV.3.6.2	La phase post-travaux :.....	50
<b>CONCLUSION .....</b>		<b>51</b>
<b>GLOSSAIRE .....</b>		<b>52</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>		<b>54</b>
<b>LISTE DES FIGURES .....</b>		<b>55</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX .....</b>		<b>56</b>
<b>TABLE DES MATIERES .....</b>		<b>57</b>