



**Agrocampus Ouest**

65 rue de Saint Briec  
CS 84215  
35042 Rennes Cedex  
Tél : 02 23 48 55 00



**ONEMA**

Délégation Interrégionale Massif Central  
RN 89, Marmilhat  
63370 Lempdes  
Tél : 04 73 90 26 26

---

**Mémoire de fin d'études Spécialisation Halieutique d'Agrocampus Ouest**

**Le bassin versant de la Besbre : état écologique  
des milieux aquatiques et morphodynamique du  
cours principal**

**Présenté par :**

ROUY Mathieu

**Soutenu le :**

11 septembre 2008



**Agrocampus Ouest**  
65 rue de Saint Brieuc  
CS 84215  
35042 Rennes Cedex  
Tél : 02 23 48 55 00



**ONEMA**  
Délégation Interrégionale Massif Central  
RN 89, Marmilhat  
63370 Lempdes  
Tél : 04 73 90 26 26

---

**Mémoire de fin d'études Spécialisation Halieutique d'Agrocampus Ouest**


## **Le bassin versant de la Besbre : état écologique des milieux aquatiques et morphodynamique du cours principal**

**Présenté par :** ROUY Mathieu

**Soutenu le :** 11 septembre 2008

**Devant le Jury**

Mme Dominique Ombredane, Agrocampus Ouest  
Mme Catherine Grimaldi, INRA Rennes UMR Sol Agronomie Spatialisation  
M. Olivier Le Pape, Agrocampus Ouest.  
M. Alix Nihouarn, ONEMA Délégation Interrégionale Bretagne – Pays de Loire  
M. William Sremski, ONEMA Délégation Interrégionale Massif Central

	Pôle Halieutique Spécialisation Halieutique, dominante Ressources des Eaux Continentales (REC) Enseignant responsable : Dominique Ombredane	Cadre réservé à la bibliothèque centrale
Auteur(s) : Mathieu ROUY	Organisme d'accueil : ONEMA, DiR Massif Central	
Nb pages : 35      Annexes : 18	Adresse : RN 89, Marmilhat 63370 LEMPDES	
Année de soutenance : 2008	Maîtres de stage : Henri Carmié et William Sremski	
<b>Titre : Le bassin versant de la Besbre : état écologique des milieux aquatiques et morphodynamique du cours principal</b>		
<p><u>Résumé</u> : le bassin versant de la Besbre accueille un patrimoine écologique exceptionnel avec des milieux (tourbières, vallée alluviale,...) et des espèces remarquables (anguille, lamproie marine, chabot, écrevisse à pied blancs, lamproie de planer,...). Néanmoins l'absence de programme de gestion globale et cohérente ne permet pas d'envisager l'avenir sereinement. Notre état des lieux décrit les activités humaines, les perturbations et leurs impacts sur le milieu. D'un point de vue biologique, deux espèces emblématiques, la moule perlière (<i>Margaritifera margaritifera</i>) et la moule de rivière (<i>Unio crassus</i>), ont été mises en évidence. La caractérisation des paramètres mésologiques essentiels et structurants de l'hydrosystème a été réalisée par des investigations de terrain en complément des suivis réseaux menés dans le cadre de la Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE-directive 2000/60/CE). La cartographie des tracés historiques du lit de la Besbre dans sa partie aval a permis de mettre en évidence une mosaïque de secteurs, symptomatique des activités anthropiques passées et actuelles (seuils de moulins, bâtis, enrochements,...). Ainsi les problèmes de continuité écologique, d'uniformisation du lit et de connectivité des annexes hydrauliques dans le val de Besbre ont été identifiés. Au niveau de quatre stations, la description de la morphologie avec le protocole CarHyCE a montré la répartition des sédiments et l'évolution de la structure des berges tout au long du gradient amont-aval. Les résultats mettent notamment en avant la faible diversité d'habitats disponibles pour les biocénoses aquatiques dans le val de Besbre. Ils permettent surtout d'établir un état des lieux (« état 0 ») qui pourra être comparé avec des mesures futures afin de quantifier certaines hypothèses comme l'enfoncement du lit de la Besbre.</p>		
<p><u>Abstract</u> : Besbre basin has an exceptional ecological heritage with natural habitats (peat bogs, alluvial valley) and remarkable species (European eel, sea lamprey, bullhead, white-clawed crayfish, brook lamprey,...). However the absence of global management project does not allow to consider future serenely. Our appraisal describes human activities, disturbances and their impacts on the habitats. Concerning the specific richness, two emblematic species, the freshwater pearl mussel (<i>Margaritifera margaritifera</i>) and the river mussel (<i>Unio crassus</i>), were highlit. The characterization of essential and structural morphologic parameters of the hydrosystem was accomplished by practical investigations as a supplement to monitoring networks led as part of Water Framework Directive (WFD – Directive 2000/60/EC). Cartography of historical bed of Besbre in it downstream part allowed to highlight a mosaic of areas, symptomatic of past and actual human activities (thresholds of mills, "bâtis", rip-raps,...). Problems of ecological continuity, standardization of the bed and disconnection of marginal deadwater in Besbre valley were identified. Morphology description of stations with CarHyCE protocol showed the distribution of sediments and the evolution of the structure of banks throughout the upstream-downstream gradient. Results put forward the weak diversity of available habitats for the aquatic species in Besbre valley in particular. These descriptions allow especially to establish a current appraisal which will be compared with future measures to validate some hypotheses as the giving way of the bed ot Besbre.</p>		
<u>Mots-clés</u> : diagnostic écologique, masses d'eau, DCE, dynamique fluviale, mobilité latérale, érosion, hydrologie, hydromorphologie, projet SYRAH-CE, protocole CarHyCE	<b>Diffusion</b> : Non limitée Limitée (préciser au verso)	

Je soussigné Mathieu ROUY propriétaire des droits de reproduction du résumé du présent document, autorise toutes les sources bibliographiques à signaler et publier ce résumé.

Date :

Signature :

# *Diffusion du mémoire*

à remplir par l'auteur avec le maître de stage.

Aucune confidentialité ne sera prise en compte si la durée n'en est pas précisée.

## **Préciser les limites de la confidentialité <sup>(1)</sup> :**

### Mémoire de fin d'études

Consultable sur place :  oui  non

Reproduction autorisée :  oui  non

Prêt autorisé :  oui  non

Confidentialité absolue :  oui  non  
(ni consultation, ni prêt)

Durée de la confidentialité <sup>(2)</sup> : aucune

### Fiche de résumé du mémoire de fin d'études :

Résumé diffusable :  oui  non

### Version pdf du mémoire de fin d'études :

Version diffusable en ligne :  oui  non

Si oui, l'auteur complète l'autorisation suivante :

*Je soussigné(e) \_\_\_\_\_, propriétaire des droits de reproduction dudit résumé, autorise toutes les sources bibliographiques à le signaler et le publier.*

Date :

Signature :

---

Rennes, le

Le Maître de stage <sup>(3)</sup>,

L'auteur,

L'Enseignant responsable <sup>(3)</sup>,

---

(1) L'administration, les enseignants et les différents services de documentation d'Agrocampus Rennes s'engagent à respecter cette confidentialité.

(2) La durée maximale de confidentialité est fixée à 10 ans.

(3) Signature et cachet de l'organisme.

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont permis de réaliser ce stage de fin d'étude, en particulier :

- M. Pascal Bomassi, délégué interrégional de l'ONEMA, de m'avoir accueilli au sein de la Délégation Interrégionale Massif Central de l'ONEMA.
- M. Henri Carmié et M. William Sremski, mes maîtres de stage, pour la confiance qu'ils m'ont témoigné. Leur encadrement et leurs conseils m'ont permis de toujours aller de l'avant. Ils ont rendu ce stage très formateur pour moi et je les en remercie très sincèrement.
- L'ensemble du personnel de la Délégation Interrégionale Massif Central pour leur accueil et leur soutien.
- L'ensemble du Service Départemental de l'ONEMA de l'Allier pour son aide dans l'obtention de données et pour sa participation aux investigations de terrain.
- M. Gilles Barthélemy du Service Départemental de l'ONEMA de la Creuse pour son aide et sa disponibilité.
- M. Jean-Marc Baudoin, chef de projet Hydromorphologie à la Direction Générale de l'ONEMA, pour son aide et sa disponibilité.
- M. Rodolphe Rideau du Conseil Général de l'Allier pour sa collaboration et sa disponibilité.
- M. François Desmolles de la Fédération de pêche du Puy-de-Dôme pour sa contribution et sa disponibilité.
- M. Dominique Lenne, Mme Elisabeth Court et son équipe, de la DIREN Auvergne, pour leur disponibilité et les données mises à disposition.
- M. Patrick Poyet et son équipe, de la DDAF de l'Allier, pour leur disponibilité et les données mises à disposition.
- Mme Ginette Labussière de la DRAF Auvergne, pour les données mises à disposition.
- M. Marc Sourdot, journaliste halieutique et habitant du bord de Besbre, pour son accueil et son avis éclairé sur le val de Besbre.
- Mme Camille Perrin et M. Roland Laustriat, habitants du bord de Besbre, pour leur accueil et les informations mises à disposition.
- M. Gérald Bacconnier, président du syndicat d'irrigants du val de Besbre, pour les indications apportées.
- M. Pascal Durantel, hydrobiologiste et habitant du bord de Besbre, pour les indications apportées.

En somme, un grand merci à toutes les personnes qui m'ont aidé et soutenu durant ces six mois, que ce soit au bureau, pour les relevés de terrain, la rédaction ou la relecture de ce travail. En particulier merci à Henri et William pour la découverte de la Besbre qu'ils m'ont proposé et pour le temps et l'attention qu'ils m'ont consacré. Merci à Martine et Maryline pour leur gentillesse et leur soutien. Merci à Lucien, Gaël et René, toujours disponibles et de bon conseil. Les moments passés ensemble et les nombreuses activités terrain de l'ONEMA qu'ils m'ont fait découvrir resteront de bons souvenirs. Enfin un immense merci à Lise pour son aide précieuse tant en informatique que sur le terrain, ses avis éclairés, sa patience et sa gentillesse.

# TABLE DES MATIERES

<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>I. Etat écologique des milieux aquatiques du bassin versant de la Besbre.....</b>	<b>2</b>
I.1. Méthodologie adoptée .....	2
I.2. Approche physique du bassin versant de la Besbre .....	2
I.3. Activités humaines sur le bassin et perturbations impactant les milieux aquatiques.....	2
I.4. Caractérisation de l'état des masses d'eau dans le contexte de la DCE.....	5
I.4.1. Paramètres suivis.....	5
I.4.2. Milieux et espèces remarquables du bassin de la Besbre .....	8
<b>II. Hydrologie du bassin versant de la Besbre.....</b>	<b>10</b>
II.1. Méthodologie employée .....	10
II.1.1. Caractérisation générale du bassin versant .....	10
II.1.2. Etude de l'évolution temporelle de la pluviométrie et de l'hydrologie.....	10
II.2. Résultats.....	10
II.2.1. Caractérisation hydrologique du bassin versant.....	10
II.2.2. Evolution temporelle de la pluviométrie et de l'hydrologie .....	12
II.3. Bilan et discussion .....	14
<b>III. Approche de la dynamique de la Besbre dans sa partie aval.....</b>	<b>15</b>
III.1. Introduction : importance de la dynamique fluviale.....	15
III.1.1. Principe de l'équilibre dynamique.....	15
III.1.2. Dynamique fluviale et qualité des écosystèmes .....	15
III.2. Zone d'étude et méthodologie employée .....	16
III.2.1. Zone d'étude.....	16
III.2.2. Matériel et méthodes .....	16
III.3. Résultats et discussion .....	17
III.3.1. Evolution historique du lit de la Besbre .....	17
III.3.2. Recherche d'indicateurs du fonctionnement de la dynamique fluviale de la Besbre.....	18
III.3.3. Propositions pour affiner l'étude .....	19
III.4. Bilan .....	19
<b>IV. Description de la morphologie à l'échelle de la station.....</b>	<b>20</b>
IV.1. Contexte .....	20
IV.2. Matériel et méthodes .....	20
IV.2.1. Caractéristiques et échantillonnage de la station .....	20
IV.2.2. Mesures réalisées au niveau des transects .....	22
IV.2.3. Mesures ponctuelles sur les transects .....	24
IV.2.4. Recueil des données .....	24
IV.3. Résultats : analyse hydromorphologique comparative des stations de la Besbre .....	25
IV.3.1. Forme et homogénéité des stations.....	26
IV.3.2. Substrat minéral et substrat additionnel (abris) sur les stations.....	27

IV.3.3. Granulométrie des radiers et colmatage .....	28
IV.3.4. Ripisylve .....	30
IV.3.5. Sensibilité des berges à l'érosion .....	31
<b>IV.5. Discussion .....</b>	<b>32</b>
IV.5.1. Choix des stations.....	32
IV.5.2. Choix du protocole CarHyCE et apports complémentaires pour le travail sur l'hydromorphologie de la Besbre.....	32
IV.5.3. Intérêt du géoréférencement des données.....	33
IV.5.4. Liens entre l'hydromorphologie et la capacité d'accueil pour les biocénoses aquatiques.....	33
<b>Conclusion.....</b>	<b>34</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>35</b>

# LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : carte géologique simplifiée du bassin versant de la Besbre

Annexe 2 : profil en long de la Besbre avec ses principaux affluents et les principales villes

Annexe 3 : communes, communautés de communes et SMAT (Syndicats Mixtes d'Aménagement Touristique) sur le bassin versant de la Besbre

Annexe 4 : résultats par contextes de l'expertise ROM sur le bassin versant de la Besbre

Annexe 5 : occupation des sols du bassin versant de la Besbre

Annexe 6 : bilan des perturbations présentes sur le bassin de la Besbre en terme d'impacts théoriques sur les milieux aquatiques et sur la biologie

Annexe 7 : principaux ouvrages transversaux présents sur le cours de Besbre

Annexe 8 : synthèse RNROE pour les quatre masses d'eau du bassin de la Besbre

Annexe 9 : milieux naturels remarquables du bassin de la Besbre

Annexe 10 : espèces de l'ichtyofaune inscrites à l'annexe II de la directive Habitats dont la présence est connue sur le bassin de la Besbre (entre 1980 et 2007)

Annexe 11 : calcul des moyennes mobiles symétriques pour l'analyse des séries chronologiques

Annexe 12 : classes de description de la ripisylve et de la granulométrie retenues dans le cadre du protocole CarHyCE

Annexe 13 : prototype proposé pour la mise en place des substrats et positionnement de ces derniers dans le cadre du protocole CarHyCE

Annexe 14 : principe de calcul de la pente de la ligne d'eau sur une station à l'aide d'une mire et d'un niveau

Annexe 15 : clé d'identification des principaux faciès d'écoulement. Modifié d'après Malavoi et Souchon, 2002

Annexe 16 : fiche terrain réalisée pour la collecte des informations associées à un transect

Annexe 17 : photographies aériennes des stations d'étude hydromorphologique

Annexe 18 : photographies des stations d'étude hydromorphologique

# LISTE DES ILLUSTRATIONS

## Figures :

Figure 1 : localisation du bassin versant de la Besbre

Figure 2 : un versant de la Besbre amont mis à nu par une coupe à blanc de résineux

Figure 3 : les extractions de sables et de graviers par les riverains, une pratique typique du val de Besbre

Figure 4 : deux zones potentiellement favorables à la moule perlière sur le Barbenan, déterminées à partir de la carte IGN au 1/25000

Figure 5 : prospection sur les faciès favorables du Barbenan aval à l'aide d'un aquascope

Figure 6 : débits moyens mensuels ( $m^3/s$ ) à St-Pourçain-sur-Besbre ; calculés sur la période 1966-2008

Figure 7 : précipitations sur le bassin de la Besbre entre 1974 et 2004

Figure 8 : module de la Besbre à Saint-Pourçain-sur-Besbre entre 1972 et 2006

Figure 9 : plus faibles écoulements mensuels de la Besbre à Saint-Pourçain-sur-Besbre entre 1972 et 2006

Figure 10 : plus forts écoulements mensuels de la Besbre à Saint-Pourçain-sur-Besbre entre 1972 et 2006

Figure 11 : la balance de Lanne (1955) : recherche d'équilibre dynamique d'une rivière en fonctionnement naturel

Figure 12 : photo aérienne de la Besbre entre Vaumas et St-Pourçain avec une haie en rive gauche illustrant un ancien tracé de la rivière

Figure 13 : les abords de la Besbre à Trézelles dans les années 1920

Figure 14 : traversée du débitmètre sur un plat courant de la Besbre amont (station RHP de La Chabanne) ; acquisition des données en temps réel avec le logiciel StreamPro et archivage des différents passages réalisés

Figure 15 : détermination de la largeur de plein bord ( $l_{pb}$ )

Figure 16 : mesure de la hauteur de berge gauche à la mire et au niveau sur un transect

Figure 17 : présentation du module de saisie de terrain développé sur Edipocket

Figure 18 : boxplots des  $l_{pb}$  et des  $l_m$  pour les quatre stations d'étude de la Besbre

Figure 19 : boxplots des hauteurs de berge

Figure 20 : fractions granulométriques par station, relevées sur les points des transects

Figure 21 : courbes granulométriques d'un radier pour chaque station d'étude

Figure 22 : strates de végétation dominantes sur le talus et le haut de berge des stations

Figure 23 : épaisseur de la ripisylve sur les rives des stations

## Tableaux :

Tableau 1 : notes de l'IPR et classes de qualité pour les stations d'échantillonnage de la Besbre

Tableau 2 : objectifs DCE retenus pour les masses d'eau du bassin versant de la Besbre

Tableau 3 : modules et débits spécifiques calculés au niveau des stations hydro du bassin de la Besbre

Tableau 4 : QMNA 5 calculés au niveau des stations hydro du bassin de la Besbre

Tableau 5 : sources des données utilisées pour l'analyse de la dynamique de la Besbre aval

Tableau 6 : sources des données utilisables pour intégrer les milieux naturels remarquables et les contraintes anthropiques à l'analyse de la dynamique de la Besbre aval

Tableau 7 : grandeurs caractéristiques des stations étudiées sur la Besbre

Tableau 8 : répartition des faciès d'écoulement sur les quatre stations d'étude de la Besbre

Tableau 9 : nombre et types de substrats additionnels (abris) présents sur les points des transects

Tableau 10 : continuité longitudinale de la ripisylve sur les rives des stations

Tableau 11 : nature et cohésion des berges sur les stations de la Besbre

## GLOSSAIRE

ACP : Analyse en Composante Principale  
ADCP : Courantomètre acoustique profileur  
AEP : Approvisionnement en Eau Potable  
BD : Base de Données  
BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières  
CA : Chambre d'Agriculture  
CarHyCE : Protocole de suivi des Caractéristiques Hydromorphologiques des Cours d'Eau  
CG : Conseil Général  
CSPNB : Conseil Scientifique du Patrimoine Naturel et de la Biodiversité  
DCE : Directive Cadre européenne sur l'Eau  
DDAF : Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt  
DDASS : Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales  
DDE : Direction départementale de l'Equipement  
DGI : Direction Générale des Impôts  
DiR : Délégation Interrégionale (de l'ONEMA)  
DIREN : Direction Régionale de l'Environnement  
DRIRE : Direction Régionale de l'Industrie, la Recherche et l'Environnement  
EH : Equivalent Habitant  
ENS : Espace Naturel Sensible  
GPS : Global Positioning System  
IBD : Indice Biologique Diatomique  
IBGN : Indice Biologique Global Normalisé  
IBMR : Indice Biologique Macrophytique Rivière  
IGN : Institut Géographique National  
IPR : Indice Poissons Rivière  
 $K_G$  : Coefficient de compacité de Gravélius  
LRPC : Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées  
MES : Matières En Suspension  
MOOX : Matières Organiques et Oxydables  
NGF : Nivellement Général de la France  
ONEMA : Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques  
QMNA : débit mensuel minimal annuel  
REH : Réseau d'Evaluation des Habitats  
RGA : Recensement Général Agricole  
RHS : River Habitat Survey  
ROM : Réseau d'Observation des Milieux  
SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion des eaux  
SEQ : Système d'Evaluation de la Qualité  
SIEL : Système d'Information des Evolutions du Lit de Loire et de ses principaux affluents  
SIG : Système d'Information Géographique  
SIVOM : Syndicat Intercommunal à Vocations Multiples  
SMAT : Syndicat Mixte d'Aménagement Touristique  
STEP : Station d'Epuration  
SYRAH-CE : Système Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau  
UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature  
ZNIEFF : Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique  
ZSC : Zones Spéciales de Conservation

Annexe II de la directive Habitats : espèces animales et végétales d'intérêt patrimonial dont la conservation nécessite la désignation de zones spéciales de conservation (ZSC)

Annexe V de la directive Habitats : espèces animales et végétales d'intérêt communautaire dont le prélèvement dans la nature et l'exploitation sont susceptibles de faire l'objet de mesures de gestion

## Introduction

Le bassin de la Besbre occupe plus d'un dixième de la surface du département de l'Allier. Il est aujourd'hui l'un des rares bassins versants de la région Auvergne ne faisant pas l'objet d'un projet de gestion globale et cohérente dans un cadre juridique, technique ou institutionnel particulier (Schéma d'Aménagement et de Gestion des eaux, contrat de rivière, contrat restauration-entretien,...).

Les enjeux sont pourtant particulièrement forts sur ce bassin réputé pour la diversité des milieux aquatiques rencontrés tout au long des 100 km que parcourt la Besbre, des sources dans la Montagne Bourbonnaise jusqu'à la confluence avec la Loire à l'aval de Dompierre-sur-Besbre. En effet on observe la présence d'espèces migratrices (anguille, lamproie marine, truite, ombre commun) et d'espèces d'intérêt patrimonial mentionnées dans la Directive européenne « Habitats, Faune, Flore »<sup>1</sup> (chabot, lamproie de planer, écrevisse à pied blancs,...). Mais on note une évolution préoccupante de l'occupation de l'espace rural, avec le développement des plantations de résineux en tête de bassin versant, le drainage des prairies de fond de vallée et leur remplacement par des cultures intensives sur le cours moyen et inférieur, la gestion par écluses d'un complexe hydroélectrique, la présence de seuils perturbant le transit sédimentaire et la migration piscicole...

Ces perturbations sont à l'origine de nombreuses altérations morphologiques du réseau hydrographique comme la modification des régimes hydrauliques et du transport solide, l'ensablement des cours d'eau, l'érosion de berges dans la partie aval du cours de la Besbre,... Ces modifications environnementales ont un impact fort sur les milieux et sur les biocénoses aquatiques qui y vivent (poissons, invertébrés, plantes,...).

Le présent travail tentera donc d'apporter quelques éléments de réponse à ces problématiques de morphologie de la Besbre, dans un contexte où la Directive Cadre européenne sur l'Eau (DCE) vise à atteindre un bon état écologique des masses d'eau pour 2015.

Dans un premier temps un état des lieux de la situation écologique des milieux aquatiques du bassin, corrélé aux pressions anthropiques rencontrées, a été dressé. Ce travail, particulièrement axé sur les biocénoses aquatiques, a été cartographié sous SIG. Il permettra de mieux valoriser les nombreuses données disponibles sur ce bassin, notamment pour l'ONEMA et ses partenaires qui sont en charge de la mise en œuvre de la DCE. Seuls les principaux résultats obtenus sont présentés dans ce mémoire. Les données détaillées sont consultables dans les documents réalisés pour l'ONEMA.

Dans un second temps nous avons essayé d'apporter des réponses aux problématiques d'altération de la morphologie du cours d'eau. Pour cela, une étude sommaire de la dynamique de la rivière Besbre dans sa partie aval, précédée d'une analyse de l'hydrologie du bassin versant, a été réalisée. Ensuite, afin de tenter de passer de la morphodynamique à grande échelle à l'hydromorphologie locale, une description morphologique fine de plusieurs stations a été réalisée. Cela correspond à la description d'un état actuel sur des points précis du cours d'eau. La poursuite des suivis dans les années futures devrait permettre d'apporter des réponses pertinentes en terme de gestion. Cette description de stations présente l'intérêt de s'intégrer dans le projet SYRAH, partenariat lancé au niveau national entre l'ONEMA, les Agences de l'Eau et le CEMAGREF. L'objectif de ce projet étant de passer de la recherche à la mise en place de protocoles simples et intelligibles [Chandesris A. et al., 2007], le travail sur la Besbre a été l'occasion de tester et de discuter les modes opératoires proposés par le tout nouveau protocole terrain de suivi des caractéristiques hydromorphologiques des cours d'eau (CarHyCE).

---

<sup>1</sup> Directive 1992/43/CEE du Conseil Européen du 21 mai 1992 concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvage.

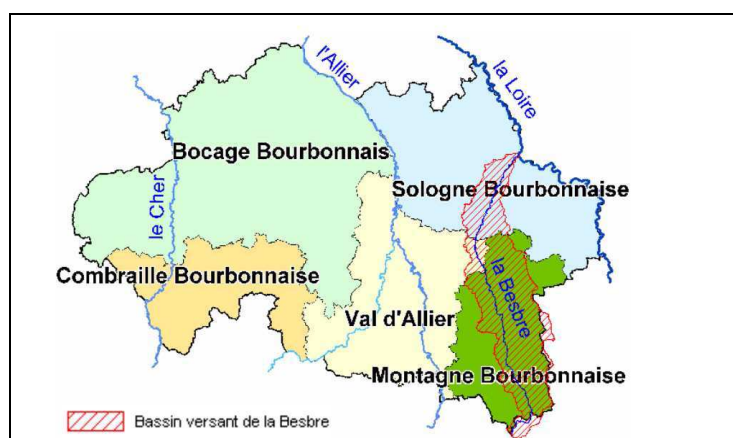
# I. Etat écologique des milieux aquatiques du bassin versant de la Besbre

## I.1. Méthodologie adoptée

Cet état des lieux consiste essentiellement en une synthèse bibliographique des données disponibles sur le territoire du bassin versant de la Besbre. Ces données proviennent de sources variées : administrations, services publics de l'Etat, structures impliquées dans la gestion de l'eau, bureaux d'études, entreprises privées, associations,... Certaines informations ont été complétées par des investigations de terrain ciblées avec l'appui du Service Départemental de l'Allier de l'ONEMA.

## I.2. Approche physique du bassin versant de la Besbre

La Besbre traverse la Montagne Bourbonnaise et la Sologne Bourbonnaise, les deux grandes zones agro-pédo-géologiques rencontrées dans la partie est du département de l'Allier.



*Figure 1 : localisation du bassin versant de la Besbre*

Le bassin versant de la Besbre draine une surface de 766 km<sup>2</sup> pour un périmètre de 271 km. Son indice de compacité de Gravelius ( $K_G$ ) est voisin de 2,8.<sup>2</sup> Il s'agit donc d'un bassin très allongé, ce qui tend à favoriser des hydrogrammes de crue d'assez faible intensité mais de durée relativement importante. [Musy A., 2008] L'altitude maximale du bassin est de 1287 m (Puy de Montoncel), l'altitude minimale est de 210 m à la confluence avec la Loire. D'après la BD Alti, l'altitude moyenne du bassin est de 453 m.

Le bassin de la Besbre s'étend sur trois hydroécotones : Massif Central, Massif Central Nord et Dépressions Sédimentaires. [Wasson *et al.*, 2002] Mais il est souvent scindé en deux grands ensembles géologiques (annexe 1) : le socle granitique de la Montagne Bourbonnaise dans la partie amont et les terrains sédimentaires dans la partie aval (« sables et argiles du bourbonnais » à partir de Lapalisse). [Delfour J. *et al.*, 1989] Avec une densité de drainage de 1,2 km/km<sup>2</sup>, appréhendée avec la BD Carthage, le réseau hydrographique est peu dense. [Musy A., 2008] Un profil en long de la Besbre, remplaçant les principaux affluents et les principales villes, a été réalisé à partir des cartes IGN au 1/25000. (annexe 2)

## I.3. Activités humaines sur le bassin et perturbations impactant les milieux aquatiques

Le bassin de la Besbre a un caractère rural marqué avec une densité de population voisine de 25 hab./km<sup>2</sup>. Les deux communes les plus peuplées du bassin, Dompierre-sur-Besbre et Lapalisse, comptaient toutes deux un peu plus de 3500 habitants lors du recensement de 1999. [Jallet I., 2003] (annexe 3) Les activités humaines susceptibles d'impacter les milieux aquatiques sont présentées en

<sup>2</sup> Gravelius, en 1914, a défini un indice de compacité pour caractériser les bassins versants :

$$K_G = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{\pi} \cdot A} \approx 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \text{où } A : \text{surface du bassin versant [km}^2\text{] et } P : \text{périmètre du bassin [km]}$$

s'appuyant sur les données des expertises ROM (Réseau d'Observation des Milieux) et REH (Réseau d'Evaluation des Habitats), réalisées respectivement en 2002 et 2003 par l'ONEMA. Au niveau des contextes décrits par le ROM (annexe 4), les sources d'altération et leurs impacts sur des espèces piscicoles indicatrices sont analysés. Le REH, quant à lui, s'intéresse aux paramètres du milieu à l'échelle du tronçon (le tronçon est une unité descriptive homogène sur le plan de la morphodynamique). Il prend en compte différents compartiments constitutifs de l'hydrosystème (hydrologie, continuité,...) pour évaluer l'habitat piscicole.

• Occupation des sols : d'envergure nationale, la base de données Corine Land Cover permet d'avoir accès à l'occupation du sol sur le bassin avec une résolution minimale de 25 hectares. [IFEN, 2008] Entre 1990 et 2000, elle ne fait pas apparaître de grande évolution sur le bassin de la Besbre. Néanmoins on note un développement des « zones industrielles ou commerciales » et des « forêts et végétation arbustive en mutation » (annexe 5). Le REH valide ces informations par rapport aux tronçons de cours d'eau : la prairie domine en bord de cours d'eau et en lit majeur excepté pour de rares tronçons amont où les boisements sont majoritaires. Le ROM et le REH pointent aussi les perturbations engendrées par l'augmentation des surfaces drainées sur la Besbre aval et deux de ses affluents : le Charnay et la Têche. Les données du Recensement Général Agricole (RGA) permettent de travailler à une échelle plus fine puisque les statistiques sont réalisées à l'échelle communale. Toutefois ces limites administratives ne se superposent que rarement aux limites de bassin, ce qui laisse toujours une marge d'erreur dans les résultats annoncés pour un bassin versant. L'analyse a donc été réalisée à partir des données de 36 communes du département de l'Allier pour les années 1979, 1988 et 2000. Une augmentation des terres labourables au détriment des surfaces toujours en herbe est perceptible. Les activités d'élevages bovins progressent alors que celles de caprins et d'ovins sont en forte régression. Le déclin de ces activités traditionnelles, menées souvent sur des terrains pauvres, fait craindre un abandon progressif des zones agricoles peu rentables. La disparition de l'agriculture dans ces secteurs fait apparaître des problèmes d'entretien du paysage et des milieux aquatiques en particulier.

• Pollutions diffuses : sur ce bassin où les espaces urbains sont très réduits, les pollutions diffuses sont essentiellement d'origine agricole même si les grandes cultures intensives ou l'élevage hors-sol ne sont que peu représentés. Dans la partie amont, l'exploitation forestière des résineux par des coupes à blanc constitue une source de pollution diffuse non négligeable de par l'érosion des versants qu'elle génère. Il s'agit alors de pollutions mécaniques, les plus fines particules (MES, sables,...) étant transportées par les cours d'eau. Le ROM mentionne cette perturbation pour le contexte apical de la Besbre et le contexte Barbenan (affluent principal de la Besbre). A l'aval, les communes de Trézelles, Chavroches, Cindre et Dompierre-sur-Besbre sont classées en « zones vulnérables pour les nitrates ». Mais, à l'échelle du bassin, le ROM met en avant les pollutions mécaniques par les fines plutôt que les pollutions chimiques (annexe 6). La lutte contre les pollutions diffuses constitue d'ailleurs la première priorité de l'Agence de l'eau Loire-Bretagne pour reconquérir la qualité de l'eau. [Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2008]



*Figure 2 : un versant de la Besbre amont mis à nu par une coupe à blanc de résineux*

• Prélèvements d'eau : d'après le ROM, les contextes amont et aval de la Besbre sont les plus touchés. Au cours des dix dernières années, les surfaces irriguées ont augmenté de 60 % sur le bassin versant. Les volumes prélevés sont variables d'une année à l'autre selon les conditions climatiques. [Chambre d'Agriculture de l'Allier, 2008] Globalement, sur le bassin, l'eau prélevée pour l'Approvisionnement en Eau Potable (AEP) est de bonne qualité. En amont, l'alimentation se

fait quasi exclusivement par des sources alors qu'en aval, les prélèvements ont lieu dans la nappe alluviale de la Besbre. Des problèmes quantitatifs se font ressentir pour les SIVOM (Syndicat Intercommunal à Vocations Multiples) lors des années sèches. [Piriou *et al.*, 2006] Les prélèvements d'eau impactent donc les milieux aquatiques en perturbant le régime des eaux en tête de bassin, en aggravant les étiages (lorsque le niveau de la nappe alluviale est faible, la rivière est directement affectée puisqu'un cône d'aspiration se crée au niveau des points de captage), mais aussi en bloquant la dynamique naturelle de la rivière par des enrochements au droit des points de captage. De plus, la nécessité de trouver une ressource supplémentaire pour sécuriser l'approvisionnement en eau potable fait renaître un projet de création d'une retenue sur le Barbenan.

• Rejets domestiques et industriels : en 2003 le bassin de la Besbre était le bassin le moins équipé du département en assainissement collectif. L'habitat dispersé et le coût rédhibitoire des équipements pour les petites communes expliquent ce constat. [Jallet I., 2003] Les plus grosses entreprises (exemple de Peugeot à Dompierre-sur-Besbre) sont équipées d'usines de traitement de leurs eaux usées. Il est important de mettre en évidence une « rupture chimique » dans la qualité des eaux de la Besbre au niveau de Lapalisse (Moulin Marin). En effet, sur ce secteur la Besbre reçoit des rejets de STEP correspondants à 24 500 EH (8500 EH pour la STEP communale et 16 000 EH pour l'entreprise Forez Porc), soit plus que toutes les autres STEP communales du bassin réunies. [Com. Pers. L. Chignol] Comparativement à d'autres bassins de la région (exemples de la Dore, la Sioule), les rejets ponctuels ne semblent pas être la cause de perturbation majeure de la fonctionnalité des milieux aquatiques sur le bassin de la Besbre.

• Extractions de matériaux solides : il s'agit d'une problématique majeure du val de Besbre. Aux deux carrières encore en exploitation s'ajoutent les extractions réalisées par les riverains. D'après les autorisations administratives délivrées, entre 1992 et 2006, un volume de 10 785 m<sup>3</sup> a été prélevé sur dix communes. Ces chiffres restent des valeurs indicatives puisque le contrôle des volumes extraits n'a pas été réalisé. En effet, il est probable que ces volumes soient sous-estimés car les extractions « sauvages » en bord de Besbre sont encore considérées comme un droit naturel par une majorité de riverains.



*Figure 3 : les extractions de sables et de graviers par les riverains, une pratique typique du val de Besbre [cliché H.Carmié, mars 2004]*

Dans le cas de rivières à « lit instable » comme l'est la Besbre dans sa partie aval, les extractions de granulats et les enrochements de berges contraignent la divagation du cours d'eau. L'équilibre érosion-dépôt de la rivière est alors perturbé. La rivière, qui tend à s'inciser, reste cantonnée dans son lit mineur et des annexes naturelles latérales se retrouvent déconnectées (annexe 6). [Lévet D. *et al.*, 2000] Les parties traitant de la dynamique et de l'hydromorphologie du cours d'eau tenteront de préciser ces phénomènes.

Remarque : les enrochements se retrouvent de façon sporadique dans tout le val de Besbre. Ils ne sont pas imputables à une activité humaine en particulier mais plutôt aux activités humaines dans

leur ensemble. En effet, la protection des ouvrages (ponts, points de captage AEP,...), des habitations, et des parcelles est dans la logique de chaque gestionnaire, décideur politique et riverain.

- Ouvrages sur les cours d'eau : les principaux ouvrages transversaux présents sur le cours de la Besbre sont présentés en annexe 7. On dénombre 27 seuils, dont la hauteur de chute moyenne à l'étiage est de 1,3 m. Ils sont presque tous infranchissables pour la truite commune (*Salmo trutta fario*) bien que la Besbre soit classée à migrateurs pour cette espèce. Certains de ces ouvrages affectent également la montaison de l'anguille (*Anguilla anguilla*) et de la lamproie marine (*Petromyzon marinus*). L'ouvrage le plus aval, le barrage des Persières à Dompierre-sur-Besbre, qui alimente le canal latéral à la Loire, constitue le premier verrou pour la libre circulation piscicole. Un projet de passe à poissons devrait voir le jour dans les mois qui viennent.

- Ancien site minier d'extraction d'uranium de Saint-Priest-Laprugne : il a un impact hydromorphologique sur les parties apicales de la Besbre car il constitue un ouvrage transversal important et la Besbre est entièrement canalisée lors de son passage sur le site. D'autre part, la qualité de l'eau et des sédiments de la Besbre à l'aval du site est altérée par de fortes teneurs en métaux lourds. Aujourd'hui un bassin de décantation est construit mais jusqu'en 1977 la Besbre servait de décanteur pour les activités de la mine. [Jallet I., 2003]

- Complexe hydroélectrique de Châtel-Montagne : ce complexe EDF, dont le barrage mesure 25 m de haut, fonctionne par écluses, avec un tronçon court-circuité de 9 km. [S.A. Gestion de l'Environnement, 2002] Un bassin de compensation, équipé d'une passe à poissons, est également présent. Avec le renouvellement du titre administratif fin 2007, le débit réservé est passé au 1/10 du module (271 L/s). Par ailleurs, afin de limiter l'impact des écluses sur le développement des jeunes stades de truite une diminution du débit turbiné a été prévue les mois de mai et juin (6,5 m<sup>3</sup>/s). Le blocage du transit des sédiments est une problématique forte de ce complexe qui se comble très rapidement. Les opérations de curage entreprises à la fin des années 90, avec dépôt des sédiments sur les berges, ne répondent qu'à une logique industrielle et ne constituent aucunement une solution satisfaisante à la problématique du blocage sédimentaire occasionné par ces grands ouvrages.

- Les étangs : cette problématique est présente sur les sept contextes ROM du bassin. Une carte des plans d'eau de plus de 1000 m<sup>2</sup> répertoriés par la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt (DDAF) de l'Allier nous a été fournie. Il existe une forte densité historique en plans d'eau dans la Sologne Bourbonnaise (communes de Thionne, Vaumas, Saint-Pourçain-sur-Besbre,...). Les bassins du Charnay et du Graveron, en rive gauche de la Besbre, sont particulièrement concernés. En revanche de nombreux plans d'eau situés à l'amont (communes de Servilly, Le Mayet-de-Montagne,...) sont bien plus récents et ne sauraient être considérés comme un patrimoine historique.

#### I.4. Caractérisation de l'état des masses d'eau dans le contexte de la DCE

##### I.4.1. Paramètres suivis

- Qualité physico-chimique : la qualité chimique des eaux et des sédiments a été caractérisée à partir du SEQ-Eau.

Les macropolluants sont mesurés mensuellement mais les synthèses proposées par l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne sont réalisées sur une période triennale. Ceci permet de prendre en compte un nombre plus important de données et de s'affranchir, au moins partiellement, des variations annuelles liées au climat et à l'hydrologie. Nous nous sommes limités à l'analyse de la dernière période disponible, à savoir la triennale 2003-2005. Les points de suivis macropolluants choisis sur le bassin permettent maintenant de couvrir l'ensemble des masses d'eau du bassin. Nous retiendrons que la qualité chimique macropolluants est globalement bonne excepté pour les Matières Organiques et Oxydables (MOOX). Les masses d'eau les plus aval ressortent « passables » pour le paramètre nitrate.

Les micropolluants regroupent essentiellement les pesticides et les métaux lourds Ces micropolluants minéraux sont mesurés dans l'eau et les sédiments en tête de bassin, à l'aval de

l'ancienne mine d'uranium (commune de Laprugne). Pour la période 2003-2005, la qualité des sédiments est « moyenne » alors que celle de l'eau est « médiocre » pour ce paramètre. [Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2007a] Ces résultats sont étonnants car, habituellement, les métaux lourds s'accumulent fortement dans les sédiments. Cette logique se retrouve d'ailleurs plus en aval, dans la retenue de compensation du complexe hydroélectrique de Chatel-Montagne, où les sédiments sont très chargés en métaux lourds (jusqu'à 70 mg Cu /kg MS, 136 mg Pb /kg MS). Néanmoins le bureau d'étude S.A. Gestion de l'Environnement a conclu à un faible risque de toxicité pour la faune vivant dans les retenues et dans la Besbre aval (dans des conditions d'oxydo-réduction normales, censées garantir un très faible relargage de ces micropolluants). Cette affirmation a été appuyée par la présence d'invertébrés benthiques très sensibles aux micropolluants dans les prélèvements, comme *Ephemera danica*. [S.A. Gestion de l'Environnement, 2005] Les pesticides sont quant à eux suivis en clé de bassin, à Dompierre-sur-Besbre. La qualité de l'eau de la Besbre est bonne pour ce paramètre. [Phyt'Eauvergne, 2008]

• Température : il s'agit d'un paramètre structurant essentiel pour les biocénoses aquatiques qui n'a que rarement été pris en compte jusqu'à présent. Ce stage sur le bassin de la Besbre a donc été l'occasion de proposer un plan d'échantillonnage pour la mise en place de sondes thermiques. Des sondes seront mises en place sur les points pressentis (amont-aval du complexe hydroélectrique, d'étangs, principaux affluents,...) si les moyens matériels le permettent. Au minimum, les stations d'inventaire piscicoles (annexe 4) seront suivies. Ces sondes resteront en place au moins une année et devraient permettre d'obtenir des éléments de réponse quant à l'impact de nombreux aménagements (plans d'eau,...) sur la Besbre et ses affluents.

• Qualité biologique : l'Indice Biologique Diatomique (IBD) et l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) des années 2003-2005, ainsi que l'Indice Poissons Rivière (IPR) ont été analysés. En revanche, l'Indice Biologique Macrophytique Rivière (IBMR) n'a pas encore été évalué sur la Besbre. [Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2007a]

- L'IBD est passable sur toutes les stations étudiées, exceptée la plus amont, de qualité excellente.
- Les prélèvements IBGN réalisés sont bons ou très bons avec des groupes indicateurs tels que Chloroperlidae, Perlidae, Perlodidae, Brachycentridae.
- Les peuplements piscicoles de la Besbre sont étudiés dans le cadre du Réseau Hydrobiologique et Piscicole (RHP) sur trois stations (annexe 4). La station de La Chabanne correspond à une zone salmonicole (typologie B0-B4 de Verneaux), celle de Saint-Prix à une zone intermédiaire (typologie B5-B6), et celle de Dompierre à une zone cyprinicole (typologie B7). [Sremski W., 2001] Ces stations couvrent les trois contextes du ROM correspondant au cours de la Besbre. Les espèces indicatrices sont la truite commune pour le contexte amont, la truite et l'ombre commun pour le contexte médian, et les cyprinidés d'eau vive pour le contexte aval. Les résultats des inventaires réalisés depuis 1993 sont synthétisés avec l'IPR :

Station/Année	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
La Chabanne	7,9	-	7,0	12,4	12,0	15,0	16,1	12,9	12,9	13,1	14,4	11,6	5,3	5,4
Saint-Prix	10,0	12,4	7,9	12,9	12,6	12,6	7,1	6,8	10,2	11,9	9,2	16,8	15,8	11,9
Dompierre	12,9	9,1	13,8	7,3	7,2	8,9	9,8	7,6	14,9	10,7	9,8	7,7	11,6	17,0

*Tableau 1 : notes de l'IPR et classes de qualité pour les stations d'échantillonnage de la Besbre*

La qualité est très bonne à La Chabanne depuis 2005 avec l'apparition de la lamproie de planer, du vairon et dans une moindre mesure du goujon. Cette augmentation rapide de la richesse spécifique est étonnante et inexpliquée à ce jour (amélioration de la circulation piscicole à l'aval,...). La présence du vairon peut être due à une augmentation de la température de l'eau qui s'expliquerait par l'élagage de certains arbres de la ripisylve. L'abondance forte de la lamproie de planer montre que les sables fins et la matière organique nécessaires à sa survie sont présents sur la station.

A Saint-Prix, la qualité des peuplements piscicoles est bonne. Néanmoins, après 2003, les cyprinidés d'eau vive (barbeau, spirin) réapparaissent en fortes abondances et les espèces intermédiaires (gardon, perche) témoignent de l'impact des plans d'eau. De plus, l'ombre commun a disparu des derniers inventaires piscicoles alors qu'il était bien présent dans les années 90. Cependant les changements de méthode d'échantillonnage peuvent expliquer en partie ces résultats.

A Dompierre, l'IPR annonce une bonne qualité malgré une dégradation marquée en 2006 avec la disparition d'une espèce sensible, la vandoise, et la réapparition d'espèces d'étangs (perche soleil et rotengle). Plus globalement, la richesse spécifique très importante sur cette station explique les bonnes valeurs de l'IPR. Ainsi certaines années on recense jusqu'à 19 espèces de poissons.

Signalons également que les peuplements ont été suivis en tête de bassin sur les sources du Barbenan jusqu'en 2003. Le peuplement sur cette station était monospécifique avec de fortes abondances de truite commune.

En synthèse **la qualité biologique de la Besbre est donc bonne.**

• Qualité des milieux : l'analyse des compartiments du REH permet d'estimer la qualité des habitats pour les biocénoses aquatiques :

- Le paramètre ligne d'eau est très bon pour tous les tronçons
- Les berges et la ripisylve sont en très bon état à l'amont et en bon état à l'aval de Saint-Prix
- La continuité est très bonne sur les affluents de la Besbre. Elle est mauvaise sur la Besbre au niveau du complexe hydroélectrique et très mauvaise dans tout le val de Besbre
- Le débit est considéré comme mauvais sur toute la partie aval du bassin (aval de Lapalisse)
- Les annexes hydrauliques des tronçons amont sont en bon état. Elles se dégradent après Saint-Prix et leur état est moyen dans tout le val de Besbre.
- Le lit de la Besbre est en mauvais état après Lapalisse. L'état des affluents est moyen dans le val de Besbre.

• Bilan de l'état écologique au niveau des masses d'eau :

Dans le cadre de la Directive Cadre européenne (DCE) sur l'Eau, quatre masses d'eau principales ont été retenues sur le bassin versant de la Besbre.

Nom de la rivière	Code de la masse d'eau	Nom de la masse d'eau	Etat écologique		Etat chimique		Etat global	
			Objectif	Délai	Objectif	Délai	Objectif	Délai
Besbre	GR0208a	La Besbre et ses affluents depuis la source jusqu'à la retenue de Saint-Clément	Bon état	2015	Bon état	2015	Bon état	2015
Besbre	GR0208b	La Besbre depuis la retenue de Saint-Clément jusqu'à la confluence avec le Barbenan	Bon potentiel	2015	Bon état	2015	Bon potentiel	2015
Besbre	GR0209	La Besbre depuis la confluence du Barbenan jusqu'à la confluence avec la Loire	Bon état	2021	Bon état	2015	Bon état	2021
Barbenan	GR0210	Le Barbenan et ses affluents depuis la source jusqu'à sa confluence avec la Besbre	Bon état	2015	Bon état	2015	Bon état	2015

*Tableau 2 : objectifs DCE retenus pour les masses d'eau du bassin versant de la Besbre*  
[Comité de bassin Loire-Bretagne, 2007]

Les résultats présentés dans cette partie ont été utilisés pour caractériser le Risque de Non Respect des Objectifs Environnementaux (RNROE). [Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2007b] **Sur les deux masses d'eau les plus aval (GR0208b et GR0210), l'hydrologie, la continuité, la morphologie du lit mineur et la connectivité des annexes en lit majeur sont les paramètres qui risquent de rendre difficile l'atteinte des objectifs retenus pour 2015.** Les deux autres masses d'eau devraient atteindre le bon état écologique (annexe 8).

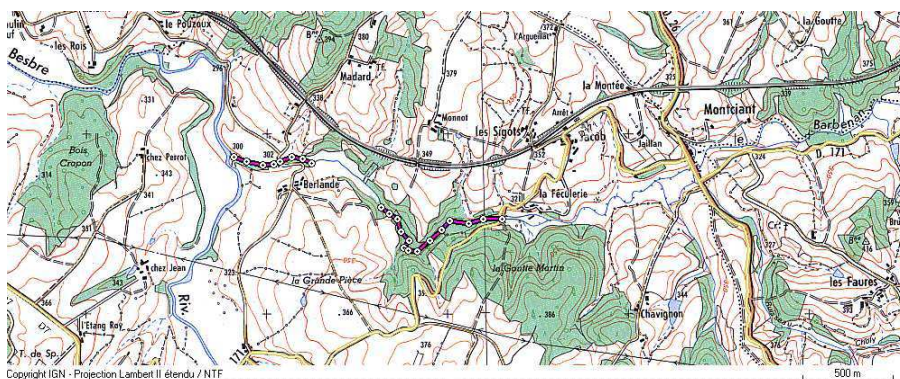
#### I.4.2. Milieux et espèces remarquables du bassin de la Besbre

Plusieurs sites remarquables ont été définis sur le bassin de la Besbre : sites Natura 2000, Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique (ZNIEFF),... (annexe 9).

La bouvière (*Rhodeus amarus*), le chabot (*Cottus gobio*), la lamproie marine (*Petromyzon marinus*), la lamproie de planer (*Lampetra planeri*) et le toxostome (*Chondrostoma toxostoma*) sont les espèces de l'ichtyofaune inscrites à l'annexe II de la Directive Habitat dont la présence est connue sur le bassin de la Besbre (annexe 10). Signalons aussi la présence de l'écrevisse à pieds blancs (*Austroptopotamobius pallipes*) et de la cistude d'Europe (*Emys orbicularis*). En effet, une dizaine d'étangs situés dans la partie aval du bassin abritent cette espèce. Ceci permet de relativiser les impacts négatifs de ces mêmes étangs sur les ruisseaux de première catégorie qu'ils dénaturent.

De plus, avec un sous-sol granitique sur l'amont du bassin, la présence historique du saumon atlantique (*Salmo salar*) sur le bassin et celle, actuelle, de la truite commune et de l'écrevisse à pieds blancs, le bassin de la Besbre présentait toutes les caractéristiques pour abriter la moule perlière (*Margaritifera margaritifera*). Il nous a donc semblé opportun de vérifier la présence de cette espèce. Cette hypothèse était d'ailleurs confortée par la présence de l'espèce sur des bassins voisins de celui de la Besbre. [Vrignaud S., 2005] Cet unionidé est inscrit aux annexes II et V de la Directive Habitat et sur la liste rouge mondiale de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN). Cette « espèce parapluie » constitue un super indicateur biologique, synonyme de grande qualité du milieu. En effet, lors de la reproduction, les gamètes sont libérés dans l'eau et les larves qui en résultent après fécondation (glochidies) parasitent les branchies de saumon ou de truite. La présence d'au moins une de ces deux espèces est donc obligatoire pour que la moule perlière accomplisse son cycle de vie. De plus elle ne peut plus se reproduire lorsque la teneur de l'eau en nitrates dépasse 1 mg/L. [Cochet G., 2004] Du fait de sa longévité, supérieure à 100 ans, des individus adultes peuvent parfois être encore présents malgré une légère altération du milieu. La présence de jeunes individus est donc un bon indicateur pour renseigner la qualité d'un cours d'eau.

•**Méthodologie employée** : la prospection sur la Besbre a été l'occasion de tester une méthode cartographique de détermination des zones potentiellement favorables au maintien de *Margaritifera margaritifera* proposée par M. Gilles Barthélemy dans le cadre d'un projet moule perlière lancé par la Délégation Interrégionale (DiR) Massif Central de l'ONEMA. Jusqu'alors, cette approche a été essentiellement testée sur des rivières du département de la Creuse. Une taille minimale de bassin versant apparaît comme un facteur limitant essentiel puisque les moules perlières sont des filtres, ce qui nécessite une certaine trophie de l'eau pour leur subsistance. En pratique, un rang de Strahler de 3 est souvent une condition nécessaire pour lancer une prospection. Les pentes de cours d'eau excèdent rarement 0,8% et les bassins versants à fort débit spécifique semblent être les plus favorables ( $Q$  spécifique  $> 15$  L/s/km<sup>2</sup>). De plus la présence d'une ripisylve en bon état, gage de stabilité du milieu, est essentielle pour ces animaux peu mobiles. Cette démarche menée sur cartes IGN au 1/25000 (appréhension du rang de Strahler, calcul de la pente du cours d'eau,...) a permis de cibler sept zones potentiellement favorables à la moule perlière sur la Besbre et ses affluents.



**Figure 4** : deux zones potentiellement favorables à la moule perlière sur le Barbenan, déterminées à partir de la carte IGN au 1/25000

Une fois sur le secteur ciblé, les zones toujours en eau et avec une vitesse de courant modérée sont prospectées méthodiquement à l'aide d'un aquascope. Les secteurs stabilisés par des racines, des blocs et des granulométries intermédiaires (graviers, cailloux) sont les plus intéressants puisqu'ils constituent un habitat fixe, peu sensible aux crues par exemple. La présence de pierres noires, recouvertes d'algues unicellulaires de type diatomées, est un bon indice de stabilité du milieu et les zones colmatées sont généralement sans intérêt pour la recherche de la moule perlière. [Com. Pers. G. Barthélemy]



*Figure 5 : prospection sur les faciès favorables du Barbenan aval à l'aide d'un aquascope (cliché personnel)*

**•Résultats :** le travail sur la Besbre a confirmé dans le principe la validité de la méthode proposée hors du contexte creusois. A ce jour, concernant *Margaritifera margaritifera*, les prospections menées ont mis en évidence la présence de quelques adultes (âge estimé à une soixantaine d'années) et d'un jeune sur le Barbenan aval. La présence de cette espèce augmente la valeur écologique de cet affluent qui regroupe déjà de nombreuses espèces de l'annexe II de la Directive Habitat.



*Secteur de présence de la Moule perlière sur le Barbenan aval (cliché L. Jonard)*



*Moule perlière du Barbenan (cliché L. Jonard)*

**•Mesures de protection pour le futur :** suite à ces découvertes, les agents du Service Départemental de l'Allier de l'ONEMA vont continuer les prospections pour mieux caractériser l'aire de répartition de cette espèce. La présence de *Margaritifera margaritifera* sur le Barbenan devrait aboutir à une extension du site Natura 2000 moules perlières déjà présent dans les Monts de la Madeleine. Dans les mois à venir, le Syndicat Mixte des Monts de la Madeleine et le Service Départemental de l'Allier de l'ONEMA vont travailler à la délimitation du secteur à considérer. Quoi qu'il en soit, la présence de la moule perlière et de l'écrevisse à pieds blancs sur le Barbenan constitue un argument de poids à disposition de l'ONEMA pour faire valoir la richesse de ce cours d'eau face à un projet de création de barrage notamment. De plus la richesse écologique de la Besbre ne s'arrête pas aux zones apicales du bassin versant puisque quelques individus d'*Unio crassus* ont été identifiés (un individu vivant et des coquilles vides) dans la Besbre aval au niveau de Dompierre-sur-Besbre lors des relevés hydromorphologiques. Cette náyade présente les mêmes statuts de protection que *Margaritifera margaritifera*, et elle apparaît comme très menacée à l'échelle européenne. [Cochet G., 2004]

**Les problématiques d'hydrologie, de morphologie et d'uniformisation du lit mineur dans le val de Besbre constituant un risque pour l'atteinte du bon état écologique des masses d'eau aval, elles sont explicitées dans la suite de ce mémoire**

## II. Hydrologie du bassin versant de la Besbre

Au cours de nos rencontres avec les habitants du val de Besbre et les usagers de la rivière, les déclarations du type : « il n'y a plus de fortes crues, la Besbre ne déborde plus dans les prés ,... » sont régulièrement ressorties. Nous avons donc voulu vérifier si ces ressentis sont confirmés sur les différentes données pluviométriques et hydrologiques recueillies sur le bassin.

### II.1. Méthodologie employée

#### II.1.1. Caractérisation générale du bassin versant

Six stations hydrologiques, dont les données sont regroupées dans la Banque Hydro, sont en service sur le bassin de la Besbre. Les données historiques permettent d'établir un hydrogramme moyen, réalisé à partir de plus de 40 années de données. Les débits spécifiques et les écoulements à l'étiage ont également été caractérisés avec le QMNA 5.<sup>3</sup> [Banque Hydro, 2008]

#### II.1.2. Etude de l'évolution temporelle de la pluviométrie et de l'hydrologie

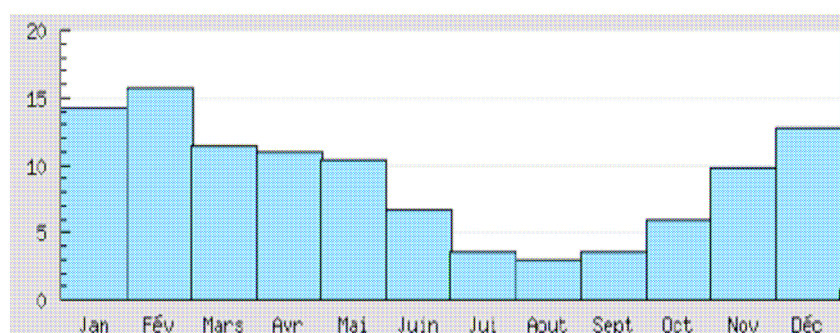
L'évolution temporelle de plusieurs grandeurs hydrologiques caractéristiques (module, plus faibles et plus forts écoulements mensuels) a été étudiée de 1972 à 2006 sur la station hydrologique la plus aval, celle de Saint-Pourçain-sur-Besbre, pour analyser l'écoulement de l'ensemble du bassin. Afin de s'affranchir des oscillations « naturelles » d'une année à l'autre, les séries chronologiques de données ont été désaisonnalisées. Pour cela des moyennes mobiles symétriques ont été calculées (annexe 11). [Palm R., 1992] Ce traitement permet d'améliorer la qualité d'ajustement d'une courbe de tendance (régression linéaire) par rapport aux données initiales.

Cette analyse temporelle a aussi été menée de 1974 à 2004 sur quatre stations pluviométriques choisies afin de représenter au mieux les contrastes géographiques présents sur le bassin. Ainsi ces stations se situent sur les communes du Mayet-de-Montagne (550 m d'altitude), Arfeuilles (450 m), Lapalisse (285 m) et Diou (220 m). L'analyse a été menée à partir des précipitations totales sur une année civile donnée (janvier à décembre). [Com. Pers. D. Lenne]

### II.2. Résultats

#### II.2.1. Caractérisation hydrologique du bassin versant

Le bassin versant de la Besbre se caractérise par un régime pluvial (régime simple) avec des débits maximum de décembre à février et un minimum en été (août).



*Figure 6 : débits moyens mensuels ( $m^3/s$ ) à St-Pourçain-sur-Besbre ; calculés sur la période 1966-2008 [Banque Hydro, 2008]*

<sup>3</sup> QMNA5 : débit moyen mensuel sec qui se produit en moyenne une fois tous les cinq ans, soit le débit ayant une probabilité d'être dépassé quatre années sur cinq. (la loi de Galton est traditionnellement utilisée pour modéliser la distribution des débits en basses eaux).

L'analyse des débits spécifiques est conforme à la position des stations sur le bassin versant : le débit spécifique diminue en même temps que la distance à la source augmente (*tableau 3*).

Station	Code station	Données calculées sur	Superficie bassin versant (km <sup>2</sup> )	Module (m <sup>3</sup> /s)	Q spécifique annuel (L/s/km <sup>2</sup> )
<b>La Besbre</b>					
La Besbre à Châtel-Montagne	K1503010	59 ans	135	2,65	19,6
La Besbre à Saint-Prix	K1533010	50 ans	360	6,09	16,9
La Besbre à Lapalisse	K1533020	15 ans	452	6,47	14,3
La Besbre à Saint-Pourçain-sur-Besbre	K1563020	43 ans	710	8,95	12,6
<b>Les affluents</b>					
Le Barbenan au Breuil	K1524010	41 ans	121	1,88	15,6
Le Sapey à La Chabanne	K1506410	14 ans	21,5	0,51	23,8

*Tableau 3 : modules et débits spécifiques calculés au niveau des stations hydro du bassin de la Besbre*  
[Banque Hydro, 2008]

Sur un historique court (14 ans), le Sapey apparaît comme un affluent à fort débit spécifique. La présence de zones humides et de tourbières à l'amont et les faibles pressions humaines (très peu de prélèvements d'eau) expliquent les débits spécifiques conséquents rencontrés sur cet affluent et sur la Besbre amont. Le rôle des prairies para tourbeuses dans la régulation hydrique des cours d'eau est d'ailleurs actuellement étudié sur la vallée de l'Etui (sources de la Besbre au Puy de Montoncel) par le Syndicat Mixte des Monts de la Madeleine et l'Université J. Monnet de Saint-Etienne. [Porteret J., 2008]

Sur le bassin de la Besbre il n'y a pas de stockage important : le volume de la retenue de Saint-Clément n'étant que de 1,1 millions de m<sup>3</sup>, celle-ci n'a pas vocation à réaliser un soutien d'étiage. Les écoulements en période de basses eaux sont donc à surveiller de très près. Le QMNA 5 est d'autant plus intéressant que les séries de données sont longues. Nous nous sommes donc limités aux quatre stations du bassin ayant des données sur plus de 40 ans (*tableau 4*).

Station	Données calculées sur	Superficie bassin versant (km <sup>2</sup> )	QMNA5 (m <sup>3</sup> /s)	Intervalle de confiance à 95 %
<b>La Besbre</b>				
La Besbre à Châtel-Montagne	59 ans	135	0,25	[0,21 ; 0,29]
La Besbre à Saint-Prix	50 ans	360	0,42	[0,33 ; 0,52]
La Besbre à Saint-Pourçain-sur-Besbre	43 ans	710	0,97	[0,80 ; 1,10]
<b>Les affluents</b>				
Le Barbenan au Breuil	41 ans	121	0,11	[0,08 ; 0,15]

*Tableau 4 : QMNA 5 calculés au niveau des stations hydro du bassin de la Besbre*  
[Banque Hydro, 2008]

La faiblesse des débits est surtout problématique dans la partie aval du bassin, sur le secteur allant du barrage des Persières (commune de Dompierre-sur-Besbre) jusqu'à la confluence avec la Loire. En effet les agents de l'ONEMA constatent fréquemment que le débit réservé n'est pas respecté à l'aval de cet ouvrage où une grande partie de la Besbre est dérivée pour alimenter le canal latéral à la Loire.

## II.2.2. Evolution temporelle de la pluviométrie et de l'hydrologie

### • Evolution temporelle des précipitations sur le bassin versant de la Besbre

Les résultats obtenus pour les quatre stations pluviométriques sont présentés ci-dessous.

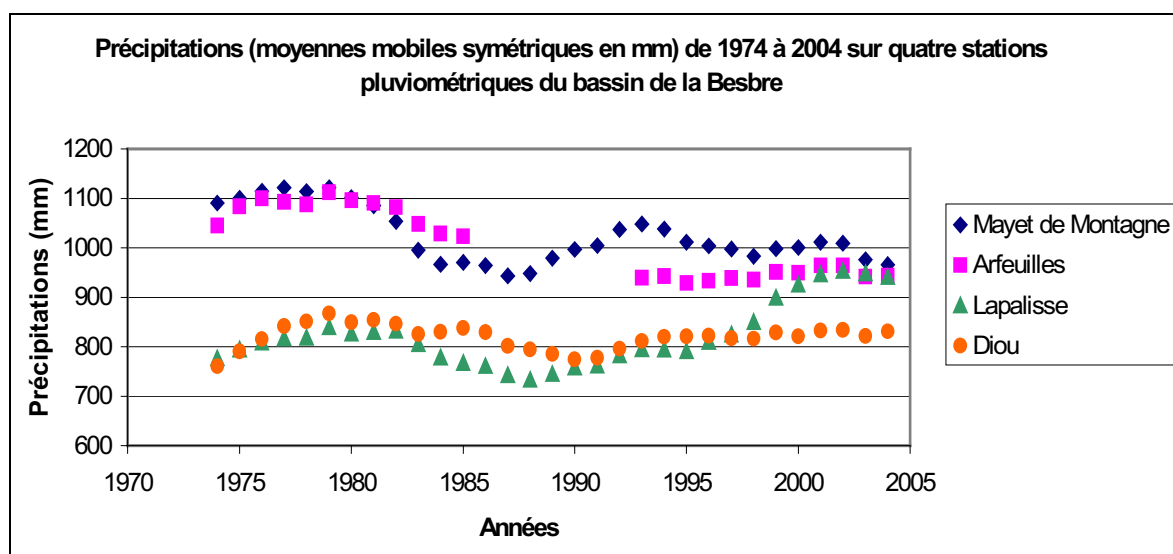


Figure 7 : précipitations sur le bassin de la Besbre entre 1974 et 2004

Les stations amont du bassin (le Mayet-de-Montagne et Arfeuilles), bien que d'altitudes modérées, tendent à montrer une diminution des précipitations dans la Montagne Bourbonnaise à partir des années 80. Néanmoins, avec une méthode d'ajustement linéaire, cette baisse n'est significative que sur la station d'Arfeuilles ( $R^2 = 0,83$ ). A Lapalisse et à Diou, les régressions linéaires ne permettent pas de dégager d'augmentation statistiquement significative des précipitations. Malgré les difficultés d'extrapolation dues à des mesures localisées, à l'échelle du bassin de la Besbre, les précipitations annuelles ne semblent pas avoir beaucoup évoluées depuis le début des années 1970.

### • Evolution temporelle des débits en réponse sur le bassin de la Besbre

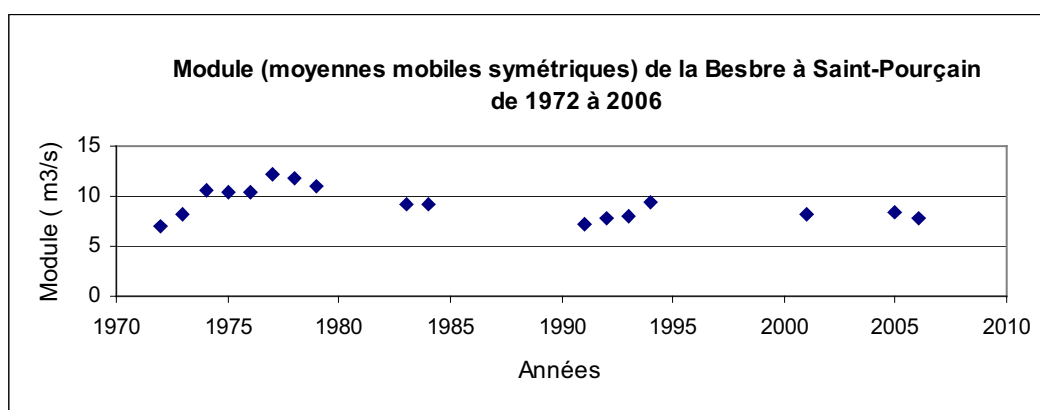
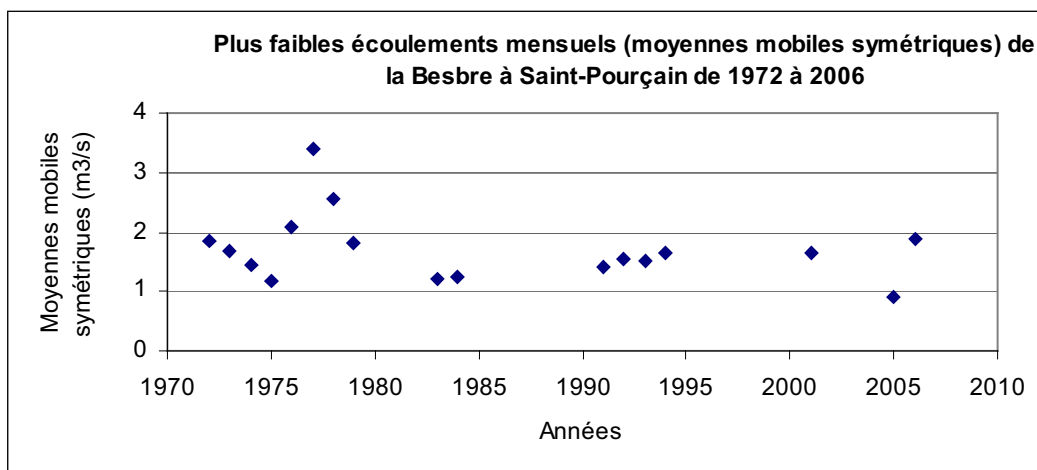


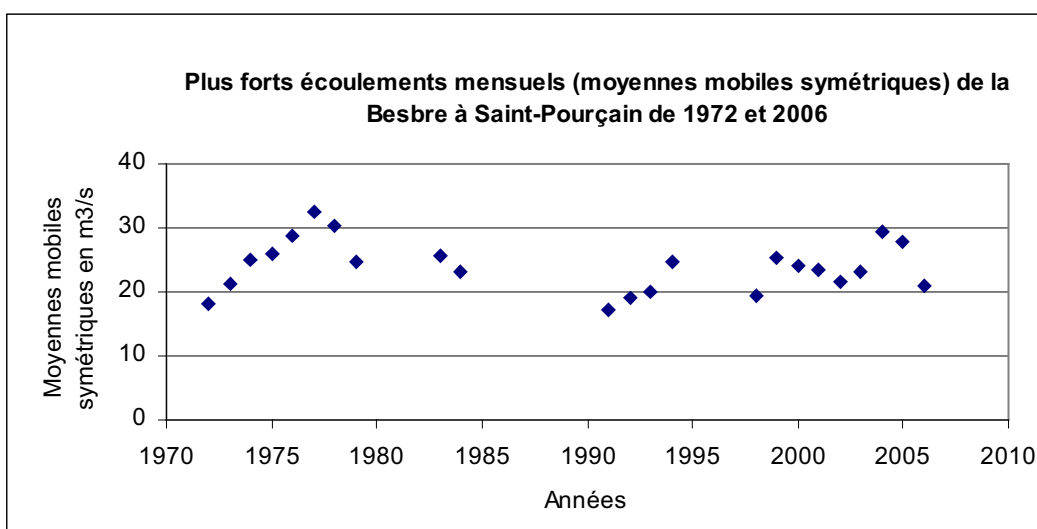
Figure 8 : module de la Besbre à Saint-Pourçain-sur-Besbre entre 1972 et 2006

Malgré une impression visuelle de décroissance du module (dérive hydrologique), l'ajustement d'un modèle linéaire ne permet pas de confirmer ce constat ( $R^2$  faible). Surtout, un certain nombre de données sont absentes pour des périodes à forts étiages (exemple de l'année 2003). Ceci tend à accréditer la thèse d'une réduction des écoulements annuels moyens au cours des dernières décennies.



*Figure 9 : plus faibles écoulements mensuels de la Besbre à Saint-Pourçain-sur-Besbre entre 1972 et 2006*

Les plus faibles écoulements mensuels sont assez stables depuis les années 90. La variabilité observée dans les années 70 peut s'expliquer par un plus grand nombre de données exploitées. Les données disponibles ne permettent pas d'aller plus loin qu'une valeur moyenne mensuelle ce qui constitue une limite importante à ces observations. En effet, le débit est une grandeur qui peut varier rapidement, à l'échelle hebdomadaire voire journalière). Les moyennes sur un mois civil peuvent donc masquer par exemple des journées à très faible débit. Dans le cadre de cette étude un degré de précision journalier aurait été idéal puisque, même si les communautés animales et végétales présentes dans les cours d'eau sont adaptées aux conditions d'étiage, les modifications du fonctionnement hydrologique des rivières sont des facteurs qui accentuent gravement les impacts des étiages sur les biocénoses aquatiques. [Souchon Y. *et al.*, 1996]



*Figure 10 : plus forts écoulements mensuels de la Besbre à Saint-Pourçain-sur-Besbre entre 1972 et 2006*

Sur la période étudiée, les plus forts écoulements mensuels n'ont pas changé de gamme de valeur (entre 18 et 30 m<sup>3</sup>/s). Les écoulements mensuels importants du milieu des années 2000 (30 m<sup>3</sup>/s) vont même à l'encontre du ressenti des usagers et habitants du val de Besbre. Le fait de travailler à l'échelle du mois peut lisser certaines variations mais les épisodes de forts écoulements (crues) sont encore clairement présents aujourd'hui. D'ailleurs le débit maximum instantané mesuré à Saint-Pourçain-sur-Besbre (station en service depuis 1966) a été observé en mai 2001 avec un débit de 114 m<sup>3</sup>/s. [Banque Hydro, 2008] Depuis, un pic à 120 m<sup>3</sup>/s a été noté en juillet 2008 (crue cinquantennale – donnée en cours de validation).

Cette approche permet de voir que les débits liquides du passé sont proches de ceux d'aujourd'hui en terme de moyenne annuelle et de débits mensuels minimum et maximum. Néanmoins elle ne donne pas d'indications sur les périodes d'écoulement dans l'année et leur type (pic d'écoulement ou au contraire écoulement tamponné). La notion sous-jacente de temps de transfert nécessiterait une étude beaucoup plus complète de l'hydrologie du bassin versant et des données plus fines (données pluviométriques et de débits journalières voire horaires).

### II.3. Bilan et discussion

Depuis le début des années 70, les précipitations et les débits de la Besbre s'avèrent assez stables. En revanche, au sein d'une année donnée, ces débits peuvent être très variables. Cette variabilité annuelle s'explique d'une part par les conditions météorologiques et d'autre part par la présence du complexe hydroélectrique de Chatel-Montagne dont l'impact des éclusées se fait ressentir à certaines périodes de l'année à plus de 40 km à l'aval.

D'une manière générale, à l'exutoire du bassin versant, les épisodes d'étiage ou de crues observés ces dernières années semblent assez similaires à ceux du passé. L'hydrologie du bassin versant de la Besbre n'aurait donc pas fondamentalement changé au cours des dernières décennies. Cependant de forts doutes subsistent sur la répartition des écoulements au cours de l'année. En effet, la régression des zones humides en tête de bassin, l'assèchement de sources dans le val de Besbre, et l'augmentation des surfaces drainées modifient considérablement les capacités de rétention des sols et donc la vitesse de concentration des eaux dans le réseau hydrographique. [Com. Pers. P. Durantel] Les pics de crue intenses mais très brefs les plus récents vont dans le sens de ce constat. Celui de juillet 2008 a eu lieu à la suite d'un épisode orageux et illustre une décrue rapide de 120 m<sup>3</sup>/s à 20 m<sup>3</sup>/s en une cinquantaine d'heures.

D'un point de vue quantitatif, les volumes écoulés semblent stables depuis plusieurs années. Néanmoins, l'analyse du REH confirme la mauvaise connexion des annexes hydrauliques du val de Besbre ainsi que l'absence de débordements dans la plaine alluviale. Ces deux phénomènes peuvent être amplifiés en partie par les temps de transit très courts, mais le facteur explicatif est probablement d'ordre mésologique. Le travail sur le travail sur la morphodynamique de la rivière dans le val de Besbre permettra vraisemblablement d'apporter des explications complémentaires.

### III. Approche de la dynamique de la Besbre dans sa partie aval

#### III.1. Introduction : importance de la dynamique fluviale

##### III.1.1. Principe de l'équilibre dynamique

La pente d'un cours d'eau lui confère une certaine énergie, qui est dissipée par l'érosion et le transport de sédiments. La rivière tend donc à établir une combinaison dynamiquement stable entre le débit liquide ( $Q$ ) et le débit solide ( $Q_s$ ). Ces deux débits sont les variables de contrôle majeures déterminant le fonctionnement et la morphologie des rivières. La figure ci-dessous explique ce fonctionnement naturel des rivières.

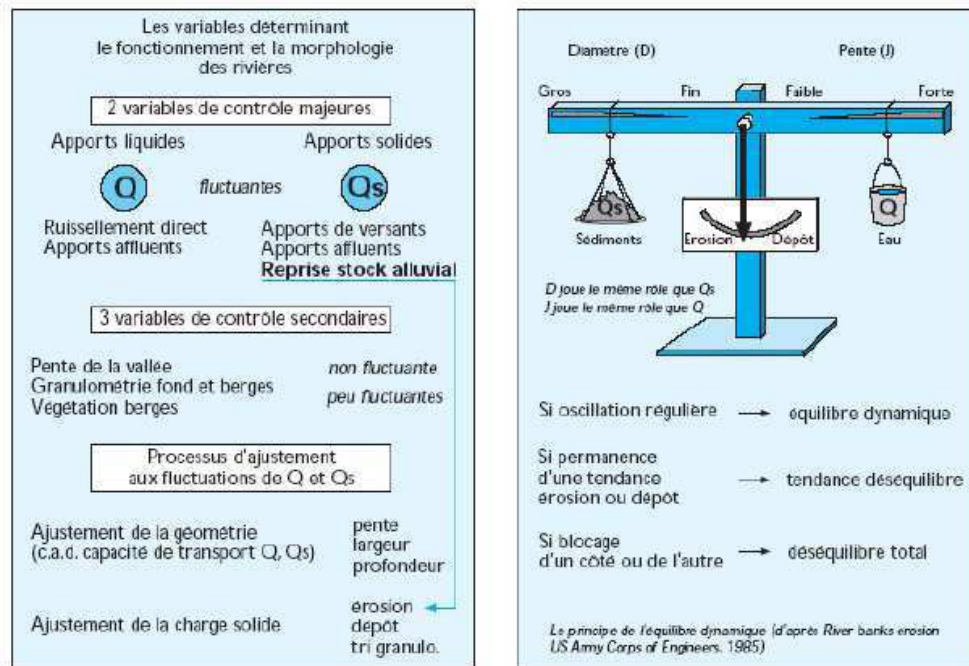


Figure 11 : la balance de Lanne (1955) : recherche d'équilibre dynamique d'une rivière en fonctionnement naturel [Malavoi J.-R. et al., 1998]

Les phénomènes d'érosion, de dépôt de sédiments, d'exhaussement ou d'enfoncement du lit sont donc naturels et témoignent de la dynamique du cours d'eau. Le fonctionnement naturel correspond donc à une oscillation des caractéristiques du lit autour de conditions moyennes. [Gurnell A. and Petts G., 1995] A contrario, l'apparition d'une tendance constante dans l'évolution des caractéristiques du cours d'eau, comme l'enfoncement perpétuel du lit, est révélatrice d'un déséquilibre dans le fonctionnement du cours d'eau, voire d'un dysfonctionnement du système. [Asconit Consultants et Hydratec, 2006]

A l'échelle du tronçon ou du segment de rivière, la modification de la morphologie du lit constitue la réponse à l'évolution des variables de contrôle. Les réponses sont multiples et varient en fonction des cas, elles peuvent toucher la largeur du lit, la profondeur moyenne, l'espacement des formes de dissipation d'énergie (radiers, mouilles,...), la sinuosité, le diamètre médian du sédiment,... [Wasson et al., 1998] Le substrat sédimentaire reste une variable à part dans la mesure où ses caractéristiques granulométriques sont fonction de la géologie du bassin versant et de l'histoire climato-géologique récente (quaternaire et holocène).

##### III.1.2. Dynamique fluviale et qualité des écosystèmes

La dynamique de la rivière assure tout au long du gradient amont-aval la pérennité d'une multitude de milieux naturels et d'habitats variés (végétation rivulaire, annexes hydrauliques,...). Il est toutefois délicat de relier directement la dynamique fluviale à la capacité d'accueil pour les

biocénoses aquatiques car les échelles de travail sont sensiblement différentes. Il faudrait pour cela coupler des modèles morphodynamiques à l'échelle du tronçon avec des modèles d'habitat à l'échelle locale. Pour Wasson *et al.*, en 1998, la piste la plus prometteuse était de considérer une échelle commune : le faciès morphodynamique. Quoiqu'il en soit ces thématiques sont encore l'objet de recherches importantes. [Navratil O., 2005]

La dynamique de la rivière joue également un rôle majeur dans la préservation des caractéristiques qualitatives et quantitatives propres à la nappe alluviale de la Besbre. Ceci est d'autant plus important que la nappe représente la principale ressource en eau potable pour deux des trois SIVOM du bassin [Piriou *et al.*, 2006]

### III.2. Zone d'étude et méthodologie employée

#### III.2.1. Zone d'étude

Les travaux sur la dynamique fluviale sont généralement réalisés à l'échelle du tronçon, dont la longueur est de l'ordre de 1000 fois la largeur du lit mouillé à débit de plein bord. [Wasson *et al.*, 1998] Compte tenu des caractéristiques géographiques et géologiques mises en évidence dans l'état des lieux, la Besbre aval a été considérée comme un tronçon morphodynamique homogène. Schématiquement il s'agit de la zone débutant entre Lapalisse et Trézelles, et allant jusqu'à la confluence avec la Loire. En effet, c'est entre ces deux communes que le profil en long de la Besbre fait apparaître une rupture de pente et surtout un changement de substrat géologique (passage du granite aux roches sédimentaires). De plus l'analyse des cartes IGN au 1/25000 et les échanges avec les habitants du bord de Besbre montrent que les premiers méandres de la Besbre débutent au niveau de Trézelles, avec une mobilité latérale marquée à partir de la confluence avec la Têche. [Com. Pers. F. Desmolles] Le travail cartographique a donc été mené des écluses de Trézelles jusqu'au barrage des Persières sur la commune de Dompierre-sur-Besbre. Le secteur plus aval, jusqu'à la confluence avec la Loire n'a pas été pris en compte pour deux raisons : d'une part il est sous l'influence de la Loire (alluvions modernes et enveloppe de crue très développées) et d'autre part, dans ce tronçon court-circuité par le canal latéral à la Loire, la Besbre a un débit liquide (et donc un débit solide) très différent du débit amont.

#### III.2.2. Matériel et méthodes






Les ressources cartographiques disponibles constituent une limite importante à ce travail. En effet, dans la littérature scientifique et dans les cas des rivières déjà étudiées, les cartes géologiques du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) mais aussi un certain nombre de supports réalisés par l'Institut Géographique National (IGN) sont utilisés. Cependant, concernant le bassin de la Besbre, les cartes géologiques au 1/50 000 de Le Donjon (numéro 622) et Lapalisse (numéro 647) ne sont pas disponibles. [BRGM, 2008] De plus la DiR Massif Central de l'ONEMA ne dispose pas encore de certains supports comme la BD Alti de l'IGN, qui est citée comme la référence française pour l'analyse des valeurs de pentes, avec un pas d'échantillonnage de 50 mètres. [Pella H. *et al.*, non daté] Le Système d'Information des Evolutions du Lit de Loire et de ses principaux affluents (SIEL) propose une multitude de données et de produits mais la Besbre ne fait pas partie des affluents pris en compte. [DIREN de bassin Loire-Bretagne, 2008]

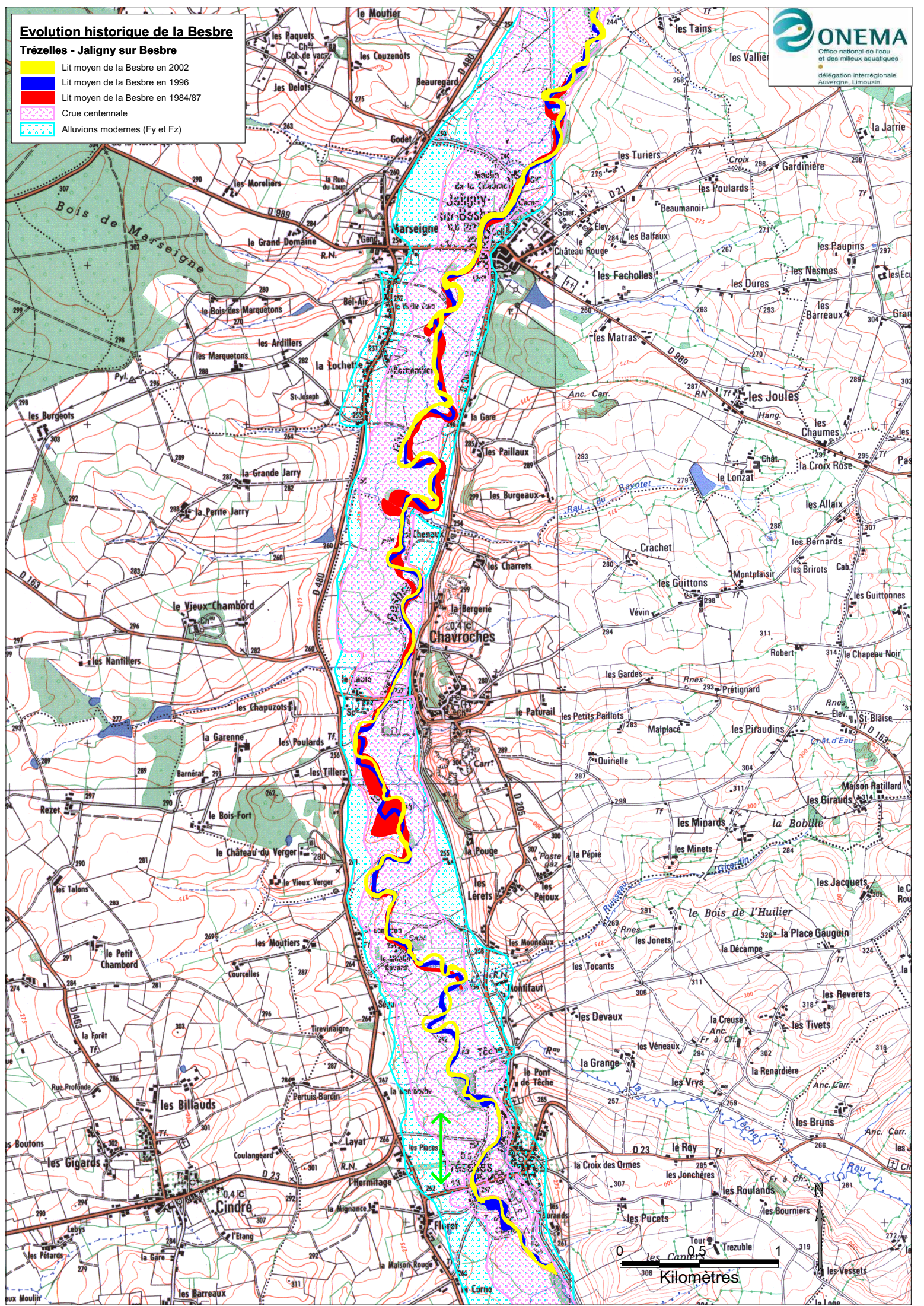
Le *tableau 5* ci-dessous synthétise les données utilisées pour le travail cartographique sur l'évolution historique du lit de la Besbre dans le val de Besbre.

<b>Mobilité de la Besbre</b>	
Tracé des lits de la Besbre à différentes époques	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Photographies aériennes de la BD Ortho de l'IGN (2002)</li> <li>- Cartes IGN au 1/25 000 (1996)</li> <li>- Plans cadastraux par communes réalisés par la DGI (entre 1984 et 1987)</li> </ul>

# Evolution historique de la Besbre

## Trézelles - Jaligny sur Besbre






-  Lit moyen de la Besbre en 2002
-  Lit moyen de la Besbre en 1996
-  Lit moyen de la Besbre en 1984/87
-  Crue centennale
-  Alluvions modernes (Fy et Fz)

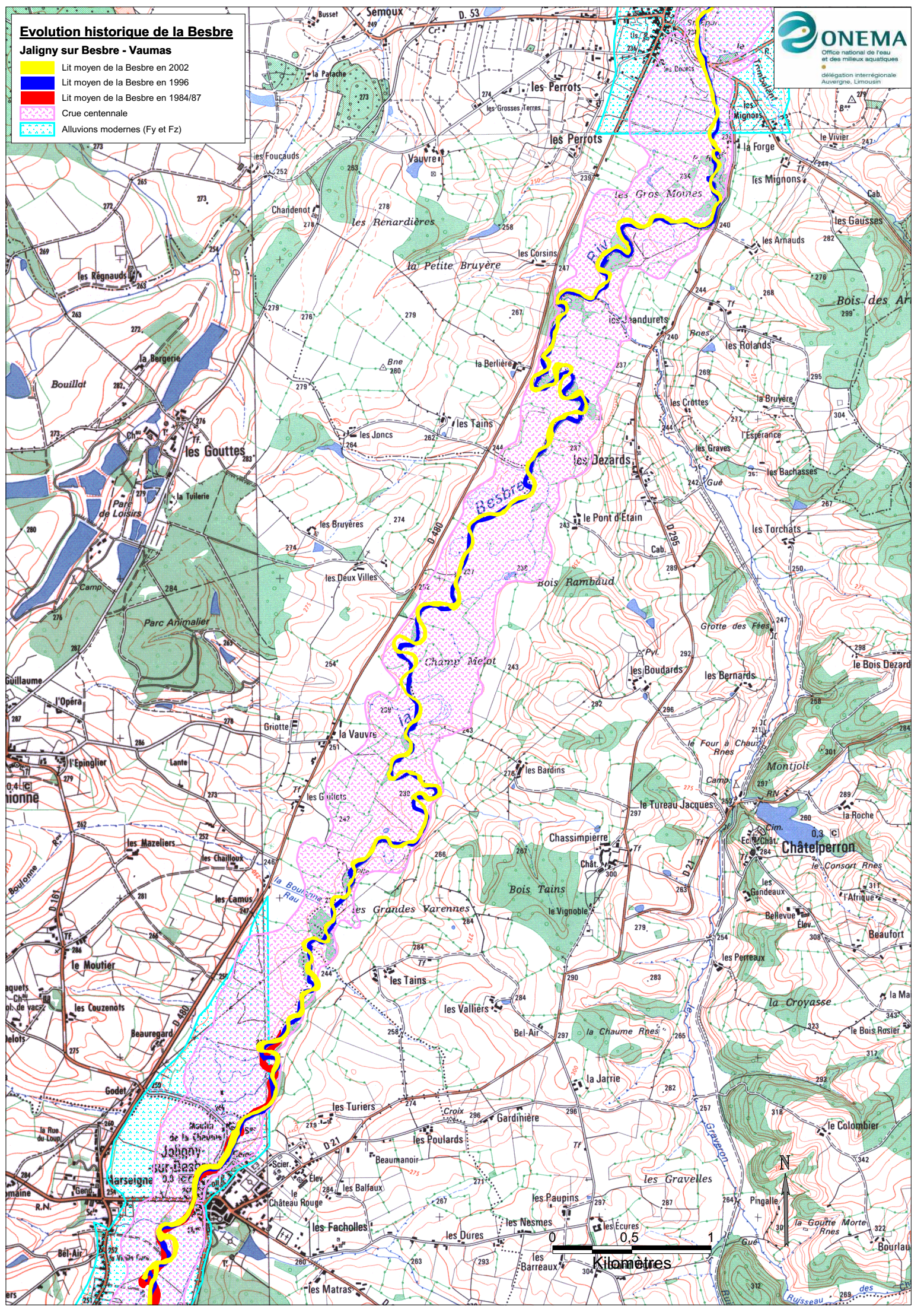


0 0.5 1  
Kilomètres

# Evolution historique de la Besbre






## Jaligny sur Besbre - Vaumas

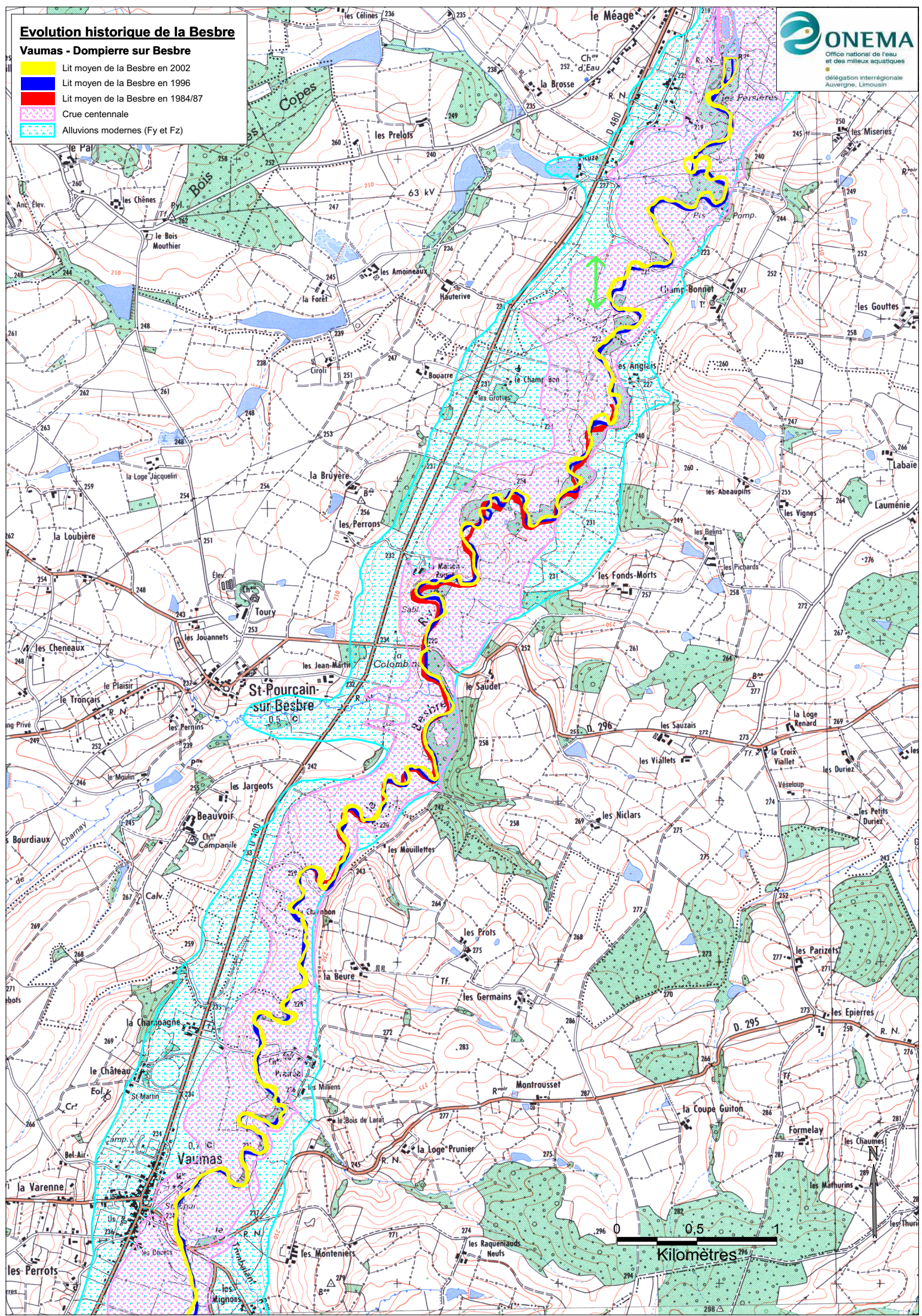
-  Lit moyen de la Besbre en 2002
-  Lit moyen de la Besbre en 1996
-  Lit moyen de la Besbre en 1984/87
-  Crue centennale
-  Alluvions modernes (Fy et Fz)



# Evolution historique de la Besbre

## Vaumas - Dompierre sur Besbre

-  Lit moyen de la Besbre en 2002
-  Lit moyen de la Besbre en 1996
-  Lit moyen de la Besbre en 1984/87
-  Crue centennale
-  Alluvions modernes (Fy et Fz)



Tracé des alluvions modernes	- Cartes géologiques du BRGM n° 599 et 621
Zones inondables	- DIREN Auvergne (exploitation des données DDE par le LRPC)

*Tableau 5 : sources des données utilisées pour l'analyse de la dynamique de la Besbre aval*

Le travail réalisé sous SIG a consisté à délimiter des enveloppes correspondant au lit moyen de la Besbre sur les différents supports disponibles (cadastres, cartes IGN et photos aériennes de la BD Ortho). Ces enveloppes ont ensuite été représentées sur le fond de carte IGN. Elles permettent de visualiser le lit moyen de la Besbre sur trois périodes : 1984-87, 1996 et 2002. Il n'a pas été possible d'obtenir des documents cartographiques plus anciens. Pour les raisons invoquées auparavant, les alluvions modernes n'ont pas pu être représentées pour tout le val de Besbre. De plus, les plans cadastraux n'ont pu être calés convenablement que sur trois communes : Chavroches, Jaligny-sur-Besbre et Saint-Pourçain-sur-Besbre (calage d'images raster avec le logiciel MapInfo v.7). Le tracé historique 1984/87 n'est donc représenté que sur ces trois communes.

### III.3. Résultats et discussion

#### III.3.1. Evolution historique du lit de la Besbre

Les résultats cartographiques avec les alluvions modernes, l'enveloppe de crue centennale et les tracés historiques sont présentés ci-contre <sup>4</sup>.

La précision des relevés des données utilisées (cadastres communaux et cartes IGN au 1/25000) est à considérer avec précaution. En effet, les tracés de cours d'eau sur les cartes IGN au 1/25000 sont réalisés par photo-interprétation et prennent généralement en compte la ripisylve. Pour plus de précisions, l'idéal aurait été de travailler uniquement sur des photos aériennes de différentes périodes. [Mendoça S., 1999] De plus cette méthodologie a souvent été utilisée sur de grandes rivières (Allier, Loire,...) avec une espace de mobilité important. Sur une rivière plus modeste comme la Besbre, l'échelle au 1/25000 peut manquer de précision pour le travail et constitue en tout cas un minimum, une échelle de 1/10000 serait sans doute plus pertinente. [Malavoi J.-R. *et al.*, 1998]

Le manque de précision de la méthode utilisée ne permet pas forcément de tirer des conclusions en un point donné. Néanmoins cette approche permet de différencier très clairement les zones à forte mobilité latérale de celles à faible mobilité. Elle montre surtout que la Besbre est une rivière qui divague, avec un couche d'alluvions modernes assez large au regard de la largeur de la rivière. Il aurait été intéressant de connaître le tracé historique de la Besbre dans les années 50. En effet, l'analyse des flèches d'érosion (comparaison du tracé des années 50 avec le tracé actuel), rapportée à la largeur du cours d'eau et calculée sur plusieurs points du tronçon morphodynamique, peut permettre de valider la nécessité d'un espace de mobilité pour la rivière.

Le fonctionnement morphodynamique de la Besbre aval est assez proche de celui rencontré sur la rivière Loire dans le secteur de Diou et Bourbon-Lancy (départements de l'Allier et de la Saône-et-Loire). [Com. Pers. J.-R. Malavoi] La taille bien moindre de la Besbre a en revanche permis la mise en place de structures stabilisatrices du profil en long et en large : présence ponctuelle d'une ripisylve et surtout de seuils. Ces ouvrages transversaux datent souvent du XIX<sup>ème</sup> siècle et sont considérés par les riverains comme un patrimoine essentiel à la régulation de la Besbre. Ils ont façonné la rivière depuis plusieurs siècles et leur présence historique rend très difficile la définition de la morphologie naturelle de la Besbre. Cette problématique se retrouve d'ailleurs sur de nombreux cours d'eau où les définitions de rivière naturelle et de bon état écologique sont l'objet de nombreux débats. [CSPNB, 2008]

<sup>4</sup> De plus, les emplacements des deux stations de description hydromorphologique du val de Besbre (voir partie 4) ont été matérialisés par des flèches vertes sur ces cartes.

### III.3.2. Recherche d'indicateurs du fonctionnement de la dynamique fluviale de la Besbre

Au regard des photos aériennes du val de Besbre, la disposition et la forme de certaines haies confirment que la divagation de la Besbre est un phénomène qui a toujours existé. Même si ces indices n'ont pas pu être datés précisément, ils apportent clairement une preuve de la mobilité de la Besbre sur une échelle de temps bien plus grande que celle mise en évidence avec les cartes historiques précédentes.



*Figure 12 : photo aérienne de la Besbre entre Vaumas et St-Pourçain avec une haie en rive gauche illustrant un ancien tracé de la rivière*

La Besbre a été profilée pour la première fois entre 1926 et 1931 par l'IGN, dans le cadre du Nivellement Général de la France (NGF). La quasi totalité des ouvrages structurants était alors déjà présents. Certains seuils peu entretenus ont aujourd'hui disparu : c'est le cas du moulin Bavard sur la commune de Chavroches, emporté par une crue dans les années 70. Suite à cette reprise d'énergie, la Besbre a restabilisé son lit en érodant vers l'amont le substrat de nouveau mobilisable (érosion régressive). [Com. Pers. F. Desmolles] Nous avons essayé de caractériser l'enfoncement du lit en comparant les dénivelés historiques (différence entre les repères NGF et la hauteur d'eau) avec ceux relevés au cours de l'été 2008. Un écart d'une cinquantaine de centimètres a été noté au pont de Champ-Bonnet à Dompierre-sur-Besbre. Il est insuffisant pour conclure à un enfoncement du lit puisque nous ne connaissons pas les débits sur la période 1926-1931. Néanmoins certains affleurements de marnes et d'argiles vertes ou beiges au pied de grandes berges d'érosion à Dompierre-sur-Besbre tendent à prouver que la rivière s'est incisée. En effet ces terrains anciens datent du Miocène (ère Tertiaire) [Delfour J. *et al.*, 1989] alors que la Besbre circule habituellement dans des formations alluviales récentes datant du Quaternaire.

Nos recherches nous ont également permis de mettre en image la réalité des « bâtis » de la Besbre. Ces ouvrages, constitués de pieux et de branchages tressés, ont été construits le long des berges afin de les stabiliser et de limiter l'érosion latérale. Ces bâtis, nombreux à l'époque, ont aujourd'hui disparu laissant les berges sans protection face à leur érosion naturelle. Les données historiques montrent aussi que les extractions de sables ont toujours été une pratique traditionnelle du val de Besbre.



*Figure 13 : les abords de la Besbre à Trézelles dans les années 1920 [d'après Oteman W., 2006]*

### III.3.3. Propositions pour affiner l'étude

Si, dans le cadre d'un document de planification, il s'avérait pertinent de préciser cette réflexion sur la dynamique de la Besbre, notre approche devrait être complétée par une délimitation des espaces de mobilité du cours d'eau. Trois espaces de mobilité emboîtés peuvent être distingués :

- **l'espace de mobilité maximal (EMAX).** Cette enveloppe correspond aux fonds de vallée constitués de matériaux érodables, soit sensiblement l'espace balayé à l'échelle des derniers milliers d'années. Cet espace n'est pas entièrement mobilisable par le cours d'eau à notre échelle de temps, mais il se rapproche du concept d'espace de mobilité idéal. Sur la Besbre nous avons déjà délimité cet espace à partir des alluvions modernes. Les terrasses plus anciennes (code Fx sur la carte géologique), bien présentes sur certains secteurs du val de Besbre (commune de Trézelles), n'ont pas été prises en compte car il n'y a pas de très fort besoin en charge solide. [Malavoi J.-R. *et al.*, 1998]
- **l'espace de mobilité fonctionnelle (EFONC)** est basé sur des critères essentiellement géomorphologiques et sédimentologiques. Les infrastructures humaines majeures (zones habitées, routes importantes, ponts,...) situées au sein de cet espace pourront bien évidemment être protégées. Cette étape, longue à mettre en œuvre est indispensable pour des objectifs de restauration quand de graves dysfonctionnements ont été mis en évidence (fort déficit en débit solide, incision du lit, abaissement de la nappe,...). Elle nécessite notamment le calcul de la capacité de transport solide, et une approche prévisionnelle des zones érodables à 50 ans.
- **l'espace minimal (EMIN)** correspond à la surface et à l'amplitude indispensables pour ne pas accentuer les dysfonctionnements hydrologiques, sédimentologiques ou écologiques observés. Une approche socio-économique en concertation avec les collectivités locales et les riverains est alors indispensable. [Malavoi J.-R. *et al.*, 1998] [Couvert B. *et al.*, 1999]

Ainsi, en cas d'étude plus précise dans le futur, les contraintes anthropiques et les milieux naturels remarquables devront être pris en compte. Les sources envisageables pour l'obtention des données ont été répertoriées dans le tableau ci-dessous.

<b>Zones écologiques</b>	
ZNIEFF, Zones Natura 2000, Espaces Naturels Sensibles (ENS)	- DIREN Auvergne, CG03
<b>Contraintes anthropiques</b>	
Captages AEP et prises d'irrigation	- DDASS 03 et CA 03
Carrières	- DRIRE Auvergne
Enrochements et protections de berges	- DDE 03
Ouvrages hydrauliques, barrages et seuils	- Base ONEMA (en cours de construction)
Occupation des sols	- Corine Land Cover 2000

*Tableau 6 : sources des données utilisables pour intégrer les milieux naturels remarquables et les contraintes anthropiques à l'analyse de la dynamique de la Besbre aval*

### III.4. Bilan

Cette étude du fonctionnement morphodynamique de la Besbre aval montre que la divagation de cette rivière est un phénomène ancien et naturel. Depuis plusieurs siècles, les activités humaines (construction de seuils et de bâtis, extractions de granulats,...) ont modifié en profondeur la dynamique de la rivière, donnant l'impression d'un nouvel équilibre que les habitants du val de Besbre ont tendance à considérer comme naturel car ils ont toujours connu la rivière ainsi. Une berge d'érosion et des débordements de la rivière sont alors souvent considérés par les riverains comme des dysfonctionnements et des contraintes auxquels il faut remédier en enrochant les berges et en extrayant les atterrissements. L'incision du lit pourrait expliquer certains constats comme la déconnexion de plusieurs annexes hydrauliques mais elle reste à quantifier.

## IV. Description de la morphologie à l'échelle de la station

### IV.1. Contexte

L'hydromorphologie apparaît aujourd'hui comme une composante essentielle du fonctionnement des hydrosystèmes puisque la qualité de l'habitat physique est un des facteurs majeurs d'explication de l'état des biocénoses aquatiques. Cependant les réponses de ces biocénoses aux variables physiques du milieu sont encore assez méconnues et les possibilités de restauration en terme de morphologie à grande échelle sont pour l'instant très limitées, avec des coûts rédhibitoires [Comité de bassin Loire-Bretagne, 2007] et sans garantie absolue de résultats sur l'amélioration de l'état écologique des masses d'eau.

Le Système Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des cours d'eau (SYRAH-CE) doit permettre d'identifier les zones à risque d'altération hydromorphologique. Il propose une analyse par hiérarchie emboîtée. L'analyse à l'échelle du territoire national s'intéresse aux flux solides (cartes d'érosion des sols, blocages du transit sédimentaire, gravières,...), aux flux liquides (imperméabilisation des sols, stockage, prélèvements d'eau aux bas débits,...) et à la morphologie (suppression de ripisylve, rectification, recalibrage,...). Ce travail réalisé sous SIG doit aboutir à une sectorisation par tronçon géomorphologique. [Chandesris A. *et al.*, 2007] Toutefois l'acquisition de certains paramètres et l'évaluation des impacts au niveau des écosystèmes nécessitent une analyse complémentaire plus fine des caractéristiques du cours d'eau, directement sur le terrain. Cet aspect est l'objet du Protocole de suivi des Caractéristiques Hydromorphologiques des cours d'eau (CarHyCE) qui va proposer dès 2009 un protocole national standardisé de recueil de données hydromorphologiques à l'échelle de la station. A terme ces investigations de terrain doivent permettre d'accroître la connaissance des processus hydromorphologiques et de leur lien avec les biocénoses. Ainsi les stations choisies sont sur des zones de prélèvements biologiques récents ou qui seront réalisés dans un futur proche. En effet il conviendra de s'assurer qu'aucun bouleversement majeur (crue morphogène, travaux,...) n'ait lieu entre les prélèvements biologiques et la description de l'hydromorphologie. [Com. Pers. J.-M. Baudoin]

Le travail sur la Besbre a été l'occasion de tester la première version de ce protocole. Néanmoins, pour répondre au mieux aux problématiques de la Besbre, nous avons souhaité aller plus loin que le protocole pour certaines mesures, comme les hauteurs de berge, et associer les relevés à une géolocalisation (voir IV.2.)

### IV.2. Matériel et méthodes

Afin de pouvoir observer les différentes composantes hydromorphologiques du cours d'eau, le protocole doit être appliqué seulement en période de basses eaux voire de moyennes eaux. La station choisie doit être représentative du tronçon considéré. Pour cette raison et pour disposer de données d'inventaires biologiques, les trois stations du Réseau Hydrobiologique et Piscicole (RHP) situées sur le bassin de la Besbre ont été décrites. Cependant, le travail cartographique réalisé dans le III. a montré que le val de Besbre présente des secteurs où la Besbre est très peu mobile et d'autres où elle divague fortement (cas de la station RHP de Dompierre-sur-Besbre). Pour appréhender cette diversité, il a donc été nécessaire de choisir une station supplémentaire dans le val de Besbre, sur une zone où la mobilité de la rivière est faible. Suite à l'analyse des tracés historiques, une station a été positionnée sur la commune de Trézelles. L'emplacement des deux stations retenues dans le val de Besbre est matérialisé par des flèches vertes sur les cartes de tracé historique de la partie III.

#### IV.2.1. Caractéristiques et échantillonnage de la station

• Longueur et largeur de la station : afin d'englober au moins trois successions de faciès radier-mouille, la longueur de la station (L) est fixée à 20 fois la largeur moyenne de plein bord ( $l_{ev-pb}$ ). [Navratil O., 2005] Cette largeur moyenne est estimée rapidement à l'aide de 3 mesures de largeur, espacées chacune de deux fois la première largeur mesurée au niveau du premier radier aval.

- **Débit instantané** : une mesure du débit au niveau de la station a été systématiquement réalisée à l'aide d'un débitmètre de marque Teledyne RD Instruments, modèle StreamPro ADCP (Courantomètre acoustique profileur). Ce matériel permet d'obtenir des débits plus rapidement qu'avec des courantomètres classiques, ce qui est d'autant plus intéressant que la taille du cours d'eau augmente. En effet, il suffit de faire circuler l'appareil transversalement à la rivière sur une section adéquate (écoulement laminaire, absence de végétation aquatique,...) pour obtenir le débit instantané. [Teledyne RD Instruments, 2006] Les ondes sonores sont émises puis reçues par l'ADCP. Selon le temps de trajet entre l'émission et la réception, des informations concernant notamment la profondeur, la direction et la vitesse du courant sont obtenues. [Ifremer, 2008] Au moins quatre traversées sont nécessaires pour valider les mesures.



Mean Discharge	Mean Velocity	Mean Distance	Mean Area
12.453	0.480	16.21	26.4

Use	Delta Q	Total Q	Area
<input checked="" type="checkbox"/> 004	0.33%	12.494	26.1
<input checked="" type="checkbox"/> 003	-0.30%	12.415	26.8
<input checked="" type="checkbox"/> 002	-1.83%	12.225	26.1
<input checked="" type="checkbox"/> 001	1.80%	12.677	26.8

*Figure 14 : traversée du débitmètre sur un plat courant de la Besbre amont (station RHP de La Chabanne) (cliché personnel) ; acquisition des données en temps réel avec le logiciel StreamPro et archivage des différents passages réalisés [Teledyne RD Instruments, 2006]*

Les acquisitions de l'appareil sont transférées en temps réel sur un pocketPC. Le logiciel StreamPro décline automatiquement les mesures extrêmes ou douteuses. Pour un maximum de précision il est donc nécessaire de faire un nombre important de passages. Néanmoins, en cas de forte turbidité de l'eau, avec une grosse charge en matières organiques ou de fond sableux colmaté par des matières organiques, la réflexion des ondes émises est faible et il est alors nécessaire de revenir aux outils de mesure plus classiques comme le courantomètre.

- **Continuité longitudinale et latérale** : la continuité longitudinale au niveau de la station est évaluée en identifiant et géoréférençant les éventuels ouvrages transversaux. Le cas échéant la hauteur de chute est mesurée et la franchissabilité de l'ouvrage est estimée. La continuité latérale est aussi évaluée à grande échelle puisque les digues ou autres ouvrages similaires en lit majeur sont géoréférencés.

- **Continuité de la ripisylve** : pour chaque rive, la continuité longitudinale de la ripisylve est évaluée au niveau de la station à partir d'une classification en six entités, inspirée du River Habitat Survey (RHS). [Environment Agency, 1997] (annexe 12)

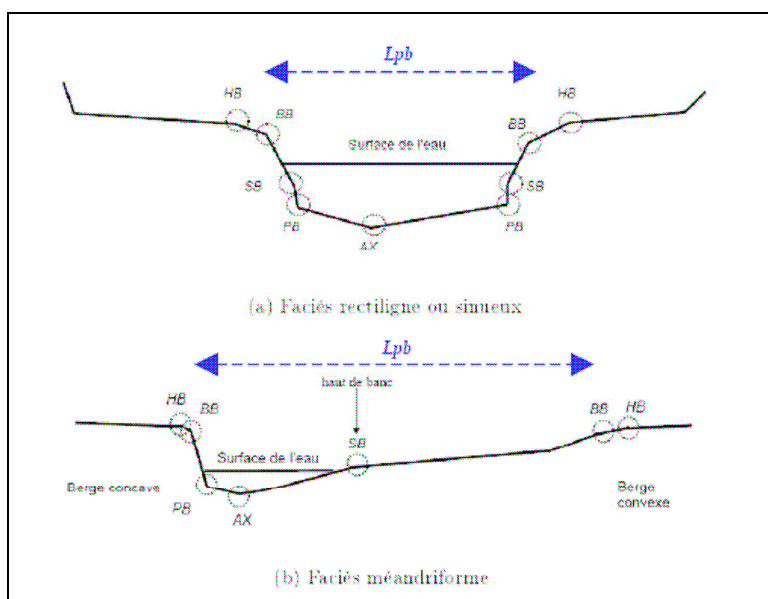
- **Mesures sur des transects** : vingt transects sont répartis régulièrement sur la station (tous les L/20 m) à partir du premier radier aval. Cette répartition assure un échantillonnage systématique (voir IV.2.3.) qui permettra une comparaison inter stations. Elle permet également de décrire tous les types de faciès présents sur la station.

• Colmatage du lit : il est évalué au niveau d'un radier. Comme l'appréciation visuelle est délicate, des substrats artificiels en bois clair (pin ou sapin) sont incubés dans le radier durant un mois. En cas de colmatage, le substrat est désoxygéné. Les bâtonnets de bois changent alors de coloration et noircissent du fait d'une activité microbienne intense et d'un dépôt de sels de manganèse. Cette méthode permet donc une mesure intégrative et fonctionnelle des conditions d'oxygénation du milieu sur une période d'un mois. [Marmonier *et al.*, 2002] Dans le cadre du protocole CarHyCE, nous placerons neuf substrats sur un radier, répartis en trois triplicats. Ce nombre important de bâtonnets est nécessaire en cas de pertes et permet de bien intégrer la variabilité spatiale du colmatage des sédiments. Le protocole proposait d'utiliser une barre à mine et un tube en PVC, bloqué par une pince étau, pour mettre en place ces substrats. Mais le travail dans des milieux granitiques à forte granulométrie nous a obligé à adapter le matériel de pose. Un travail de conception et de réalisation en atelier nous a permis de créer un prototype fonctionnel : un tube métallique muni de poignets a remplacé le (trop) fragile tube en plastique et une bague métallique a été soudée sur la barre de fer pour bloquer le tube lors de l'enfoncement. Elle remplace avantageusement la pince étau initialement proposée (annexe 13). Une grande partie des détails techniques de ce prototype a été retenue par les différents utilisateurs de l'ONEMA pour équiper leur futur matériel de pose.

Une fois la mise en place terminée, des repères en berge sont positionnés et un pointage GPS au niveau des substrats artificiels est réalisé pour faciliter leur récupération un mois plus tard.

#### IV.2.2. Mesures réalisées au niveau des transects

• Largeur de plein bord ( $l_{pb}$ ) : elle est mesurée au niveau de chaque transect à l'aide d'un décamètre ou d'un télémètre selon la distance considérée. La largeur mouillée ( $l_m$ ) est également mesurée.



*Figure 15 : détermination de la largeur de plein bord ( $l_{pb}$ ) et positionnement des points de mesure. Les niveaux bord de berge (BB) et haut de berge (HB) caractérisent la fin de l'écoulement dans le lit mineur et le début de l'expansion dans la plaine d'inondation. La largeur de plein bord ( $l_{pb}$ ) est mesurée entre les niveaux BB de chaque berge. [Navratil O., 2005 adapté]*

• Pente de la ligne d'eau et hauteur de berge : la pente globale de la station est mesurée entre les transects amont et aval à l'aide d'un niveau et d'une mire (annexe 14). Afin de caler un modèle hydraulique, le protocole prévoit une mesure de hauteur de berge (dénivelé entre la surface de l'eau et le bord de berge) au niveau des transects amont et aval de la station. Mais, compte tenu des problématiques étudiées sur la Besbre (érosion, ensablement, incision éventuelle du lit,...), il nous a semblé opportun de mesurer ces hauteurs de berge sur tous les transects afin de ne pas oublier

l'hétérogénéité de ce descripteur physique de la station. Ces dénivelés sont mesurés à la mire et au niveau ou au clisimètre selon les conditions de terrain.



*Figure 16 : mesure de la hauteur de berge gauche à la mire et au niveau sur un transect (station RHP de Dompierre-sur-Besbre) (cliché personnel)*

• Faciès : la typologie globale du faciès d'écoulement de chaque transect est déterminée à partir de la typologie de Malavoi et Souchon simplifiée. [Malavoi et Souchon, 2002] Elle permet de distinguer trois grandes classes : radier/rapide (RR), plat (PI), mouille (Mo) (annexe 15).

• Bancs de dépôt : leur présence éventuelle sur chaque transect, ainsi que leur caractère végétalisé ou non, est signalé.

• Berges : sur chaque transect les berges des deux rives sont décrites en prenant en compte la nature des matériaux constitutifs de la berge (matériaux naturels, technique végétale, enrochements, matériaux artificiels) et leur structure (matériaux cohésifs ou non). La présence de berges d'érosion est également signalée.

• Ripisylve : elle est décrite pour chaque rive des vingt transects en observant une bande d'environ cinq mètres de large face à la berge. La végétation du talus de la rive est décrite séparément de celle du haut de rive. (annexe 12)

La stratification de la ripisylve est décrite en 3 classes :

- strate arborée : végétaux de hauteur supérieure ou égale à 7 m
- strate arbustive (arbustes et buissons) : végétaux de hauteur comprise entre 2 et 6 m
- strate herbacée : végétaux de hauteur inférieure à 2 m

Pour une bonne précision, nous avons choisi de décrire cette stratification en 3 groupes (dominant, accessoire 1, accessoire 2). (annexe 16)

Le type de végétation est également précisé :

- végétation autochtone
- végétation exogène (renouée du Japon, berce du Caucase,...)
- végétation plantée (peupleraie, sapinière,...)

Enfin l'épaisseur de la ripisylve (talus et haut de rive) est évaluée rapidement :

- aucune ripisylve
- épaisseur inférieure à 5 m
- épaisseur comprise entre 5 et 10 m
- épaisseur comprise entre 10 et 25 m
- épaisseur supérieure à 25 m

### IV.2.3. Mesures ponctuelles sur les transects

Tous les  $l_{ev-pb}/6$  mètres,  $n$  points de mesure sont répartis sur chaque transect, à partir du bord de berge droit. La  $l_{ev-pb}$  étant une valeur moyenne pour la station,  $n$  varie selon les transects puisque ceux-ci n'ont pas tous la même  $l_{pb}$ . Ainsi  $n$  peut descendre à 4 sur certains radiers et monter à plus de 10 sur certains plats. Sur un faciès méandrique (*figure 15*) ou en cas de présence d'atterrissements, certains points de mesures peuvent se retrouver hors d'eau lors de la visite de terrain. On caractérise également deux points supplémentaires au niveau de chaque berge (PBd et PBg). Ils correspondent à la limite entre la zone en eau et la zone découverte.

Sur chaque point de mesure, la profondeur, le substrat minéral (granulométrie) et la présence éventuelle de substrat additionnel (non minéral) sont renseignées.

• **Profondeur** : elle est mesurée en centimètres à l'aide d'une pige. Les stations choisies doivent permettre un passage des opérateurs à pied dans l'eau sur l'ensemble des transects pour des raisons évidentes d'efficacité et de sécurité.

• **Substrat minéral - granulométrie** : il est décrit en douze classes selon la classification de Wentworth retenue dans la codification « Sandre ». (annexe 12) L'usage d'un gabarit granulométrique adapté est préférable. Si le substrat rencontré correspond à la roche mère, la nature de celle-ci est précisée. Quand la profondeur était trop importante ou quand des obstacles empêchaient d'atteindre le substrat, la granulométrie n'a pas été renseignée. En outre, cent points de mesure de granulométrie supplémentaires (hors transects) sont réalisés aléatoirement sur un radier (ou deux si la rivière est peu large). Le substrat est alors mesuré au pied à coulisse afin de garantir une bonne précision de mesure.

• **Substrat additionnel** : pour chaque point de mesure (Pn, PBd et PBg), la présence éventuelle de substrat non minéral est précisée selon six classes :

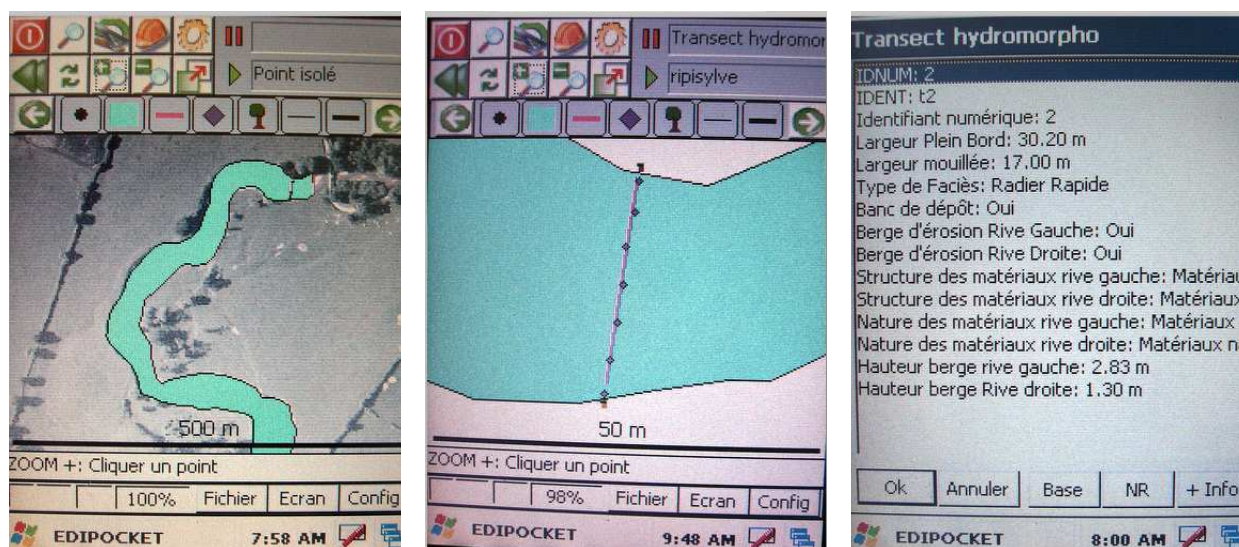
- sous-berge
- chevelu racinaire
- végétation surplombante
- débris ligneux grossiers/embâcle
- végétation aquatique
- pool détritique

Ces entités ne sont prises en compte que si leur surface dépasse 0,02 m<sup>2</sup>. Leur exondation fait également partie des informations recueillies. Lors des relevés sur la Besbre nous avons également noté la profondeur des sous berges et le type de végétation aquatique. Ce dernier paramètre peut notamment expliquer une grande partie de l'abondance des salmonidés dans un secteur de cours d'eau. [Baran P. *et al.*, 1993] Dans le cas où des abris évidents sont présents sur la station mais non pris en compte par l'échantillonnage systématique, la présence « d'habitats marginaux » sur la station est signalée.

### IV.2.4. Recueil des données

Ce protocole et la saisie des données qui en découlent sont en phase de lancement. Ce stage a été l'occasion de réaliser une fiche terrain pour décrire chaque station (annexe 16) mais aussi de mettre en place un système de saisie des données directement sur GPS (Global Positioning System). D'une part, ce travail permet de réduire la lourdeur des relevés papier et d'éliminer la saisie informatique qui s'en suit. D'autre part, il offre un géoréférencement de la station et des transects très intéressant dans le cadre du suivi de la Besbre. Quand cela était techniquement possible (couvert végétal pas trop dense), les mesures de terrain ont donc été directement géoréférencés à l'aide d'un GPS de précision métrique (modèle MobileMapper CX de MAGELLAN). Un module de saisie de terrain a été créé pour les besoins du protocole CarHyCE, à partir des interfaces Editop et Edipocket. [SIRAP, 2008] Ainsi toutes les données relevées (données ponctuelles, linéaires, surfaciques,...)

sont directement renseignées dans le GPS et peuvent être récupérées de manière informatisée sous forme de base de données couplée à des couches SIG.



Géoréférencement de la station hydromorphologique

Création des transects et des points associés

Saisie des données pour un transect

Figure 17 : présentation du module de saisie de terrain développé sur EdipoCKET (clichés personnels)

Ce travail novateur, tout comme le prototype réalisé pour la mise en place des substrats, a été présenté à la Direction Générale et aux DiR de l'ONEMA à l'occasion de la réunion de présentation et de validation du protocole qui a eu lieu à Clermont-Ferrand en juillet 2008.

#### IV.3. Résultats : analyse hydromorphologique comparative des stations de la Besbre

Les grandeurs caractéristiques de chaque station sont présentées dans le *tableau 7* ci-après. Leur positionnement géographique sur photo aérienne et un reportage photo sont disponibles en annexe 17 et 18. Les descriptions ponctuelles et par transect réalisées permettent une description hydromorphologique assez fine de chaque station (« état 0 »). Ces données brutes (géoréférencées) ont été archivées dans une base de données. Elles pourront être comparées avec des mesures reproduites dans les années futures sur les mêmes stations. En effet, le projet national prévoit de réaliser le protocole CarHyCE tous les six ans sur chaque station. [Com. Pers. J.-M. Baudoin] Pour les quatre stations d'étude de la Besbre, certains paramètres, comme la continuité longitudinale et latérale, n'ont pas été présentés dans les résultats car ils ne sont pas discriminants, aucune ne présentant de digue ou d'ouvrage transversal.

Station (commune)	Distance à la source	Date des relevés	Débit mesuré	Largeur de plein bord moyenne des transects	Largeur mouillée moyenne	Longueur effective de la station	Pente de la ligne d'eau
La Chabanne	14 km	18/06/08	2,4 m <sup>3</sup> /s	8,6 m	7,3 m	171 m	4,67 ‰
Saint-Prix	39 km	29/07/08	1,6 m <sup>3</sup> /s	18,4 m	15,1 m	362 m	3,56 ‰
Trézelles	62 km	17/07/08	2,9 m <sup>3</sup> /s	20,5 m	19 m	399 m	1,75 ‰
Dompierre	80 km	27/06/08	4,7 m <sup>3</sup> /s	29,3 m	20,3 m	572 m	1,29 ‰

Tableau 7 : grandeurs caractéristiques des stations étudiées sur la Besbre

Il convient de noter dès à présent la forte variabilité des conditions hydrologiques rencontrées : la station de La Chabanne a été étudiée en période de moyennes voire hautes eaux alors que celle de Dompierre a été étudiée en période de moyennes eaux et celles de Trézelles et de Saint-Prix l'ont été en période d'assez basses eaux. Ce facteur influence forcément certains paramètres comme la profondeur et la largeur mouillée.

### IV.3.1. Forme et homogénéité des stations

La construction de boxplots pour la largeur de plein bord et la largeur mouillée permet de visualiser l'hétérogénéité des stations.

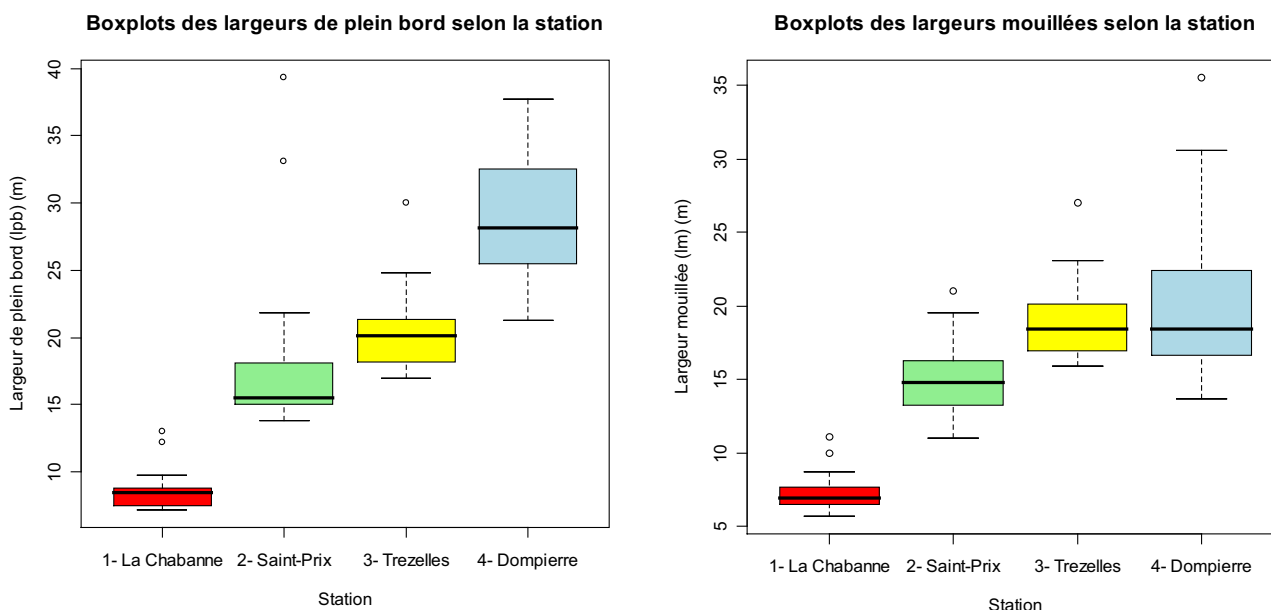


Figure 18 : boxplots des lpb et des lm pour les quatre stations d'étude de la Besbre

Le gradient amont-aval se retrouve logiquement pour la lpb et la lm. Pour chacune des deux variables, des points atypiques sont présents sur chaque station. Dans tous les cas il s'agit de valeurs anormalement élevées qui, sur le terrain, correspondent à des atterrissements (voire des îlots non végétalisés) ayant pour effet d'élargir la rivière.

Les écarts interquartiles permettent de visualiser la dispersion des données : la station de La Chabanne est très homogène alors que celle de Dompierre-sur-Besbre présente une forte hétérogénéité de lpb et de lm.

Pour les lm, la médiane est très proche de la moyenne sur les quatre stations : la distribution est symétrique autour de la moyenne.

A Saint-Prix, la médiane des lpb est inférieure à la moyenne, la distribution est donc plus allongée vers les grandes valeurs. Les élargissements de la lpb sur cette station sont donc rares mais très marqués, information que nous avons pu visualiser sur le terrain. Pour les trois autres stations, la distribution des lpb est symétrique autour de la moyenne.

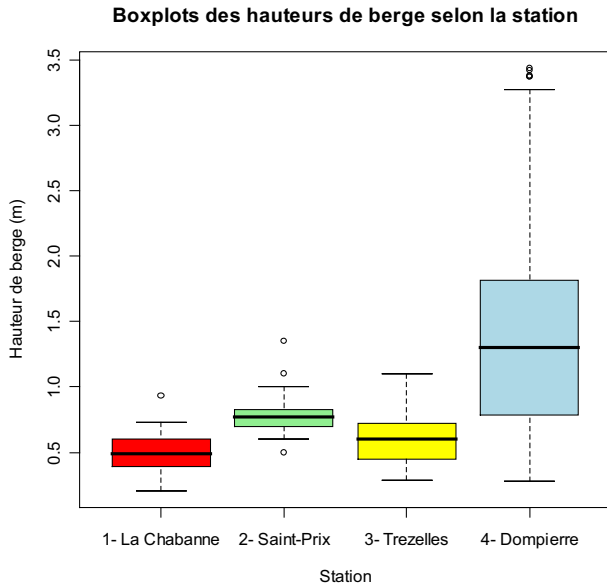
Alors que les lm moyennes sont proches sur Trézelles et Dompierre, les lpb moyennes sont assez différentes (tableau 7). Ceci témoigne d'un fonctionnement hydromorphologique de la rivière différent entre ces deux secteurs du val de Besbre. La pente de la ligne d'eau sur ces stations est assez similaire et ne suffit pas à expliquer cette situation. Même si nous n'avons pas travaillé dans des conditions de débit strictement identiques, ce paramètre n'est pas non plus fondamentalement différent entre les deux stations.

La diversité des faciès d'écoulement, présentée dans le tableau 8 ci-dessous, est aussi essentielle pour expliquer la richesse de la rivière au niveau d'une station.

Station		La Chabanne	Saint-Prix	Trézelles	Dompierre-sur-Besbre
Faciès	Radier Rapide (RR)	35 %	35 %	20 %	35 %
	Plat (Pl)	55 %	40 %	30 %	50 %
	Mouille (Mo)	10 %	25 %	50 %	15 %
Profondeur moyenne de la section en eau		37 cm	42 cm	66 cm	45 cm

Tableau 8 : répartition des faciès d'écoulement sur les quatre stations d'étude de la Besbre

Les quatre stations englobent l’alternance RR-Pl-Mo. Les mouilles sont relativement rares sur la Besbre excepté pour la station de Trézelles qui se démarque avec des profondeurs moyennes conséquentes. La profondeur moyenne de la section mouillée de La Chabanne est surestimée car cette station a été étudiée par fort débit. Pour les deux stations du val de Besbre, les proportions de RR sont correctes mais sur le terrain ces faciès n’ont rien à voir avec des RR des stations amont, notamment à cause de pentes et de granulométries bien plus faibles (annexe 18).

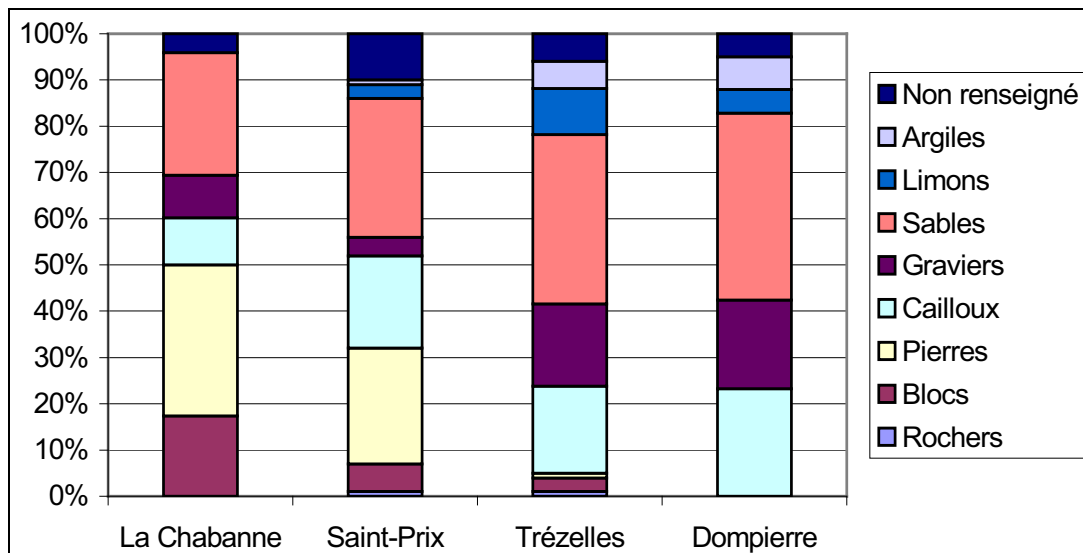


La hauteur de berge permet de bien visualiser l’hétérogénéité des stations d’étude. Saint-Prix est une station très homogène pour cette variable. La dispersion des données est aussi restreinte pour la Chabanne et Trézelles. En revanche, à Dompierre, la hauteur de berge est un paramètre extrêmement variable. Cette différence nette entre Trézelles et Dompierre s’ajoute aux observations précédentes quant aux  $l_m$  et  $l_{pb}$ . Les variables hydromorphologiques présentées par la suite permettront peut-être de comprendre l’origine de ces écarts.

*Figure 19 : boxplots des hauteurs de berge*

#### IV.3.2. Substrat minéral et substrat additionnel (abris) sur les stations

• **Substrat minéral** : la *figure 20* ci-dessous présente les différentes fractions granulométriques sur les stations d’étude. Pour une meilleure lisibilité les pierres, les cailloux, les graviers et les sables ont été regroupés en une classe à chaque fois.



*Figure 20 : fractions granulométriques par station, relevées sur les points des transects*

Le gradient amont-aval est bien présent avec la dominance des substrats grossiers à l’amont et leur remplacement progressif par des granulométries plus fines au fur et à mesure que la distance à la source augmente. Les blocs et pierres sont d’ailleurs faiblement représentés après Saint-Prix. En effet, les rares blocs et rochers relevés à Trézelles correspondent à des matériaux artificiels utilisés pour enrocher les berges et non à une répartition granulométrique naturelle sous contrôle du

transport solide du cours d'eau. Les sables constituent la fraction granulométrique dominante dans le val de Besbre. Mais les proportions de sables sont aussi assez importantes sur les deux stations amont, ce qui était moins prévisible compte tenu des pentes de ligne d'eau conséquentes sur ces secteurs. Les limons et les argiles sont présents dans des proportions non négligeables dans le val de Besbre. La plus grosse proportion de granulométries inférieures à 2 mm (sables+limons+argiles) se retrouve sur la station de Trézelles ce qui s'explique par la présence de nombreuses mouilles, qui sont des zones naturelles de dépôt.

• **Substrat additionnel** : la proportion de points des transects présentant des substrats additionnels est présentée dans le *tableau 9* ci-dessous.

Station / Substrat additionnel (abris)	La Chabanne	Saint-Prix	Trézelles	Dompierre
Sous berge (SB)	7 %	3 %	3 %	0 %
Chevelu racinaire (CR)	11 %	10 %	6 %	0 %
Végétation surplombante (VS)	0 %	7 %	4 %	0 %
Débris ligneux grossiers-embacle (DE)	1 %	4 %	7 %	2 %
Végétation aquatique (VA)	8 %	3 %	0 %	0 %
Pool détritique (PD)	1 %	1 %	3 %	1 %
<b>Total</b>	<b>28 %</b>	<b>28 %</b>	<b>23 %</b>	<b>3 %</b>

*Tableau 9 : nombre et types de substrats additionnels (abris) présents sur les points des transects*

- la station de La Chabanne a une bonne proportion d'abris puisque plus d'un quart des points d'échantillonnage présentent un substrat additionnel. Toutefois, la végétation aquatique est essentiellement composée de bryophytes dont la valeur d'abris, pour un poisson comme la truite par exemple, reste modérée. [Baran P., 1999] Les sous-berges présentes ont une profondeur moyenne de 23 cm, à corréliser avec la largeur mouillée moyenne de la station (7,3 m). Enfin il conviendrait de vérifier qu'une majorité des sous berges et du chevelu racinaire est bien en eau en période de basses eaux, puisque la station a été décrite en période de fortes eaux.
- la station de Saint-Prix est aussi bien pourvue en abris grâce à la végétation surplombante et au chevelu racinaire. La ripisylve est donc le premier facteur explicatif de la présence de substrats additionnels sur cette station.
- la station de Trézelles présente une proportion de substrats additionnels intéressante, essentiellement grâce au chevelu racinaire de la ripisylve bien implantée et aux embâcles présents dans les mouilles. Il n'y a aucune végétation aquatique et les rares sous berges sont peu profondes (ne dépassant pas une trentaine de centimètres) comparativement aux 19 m de largeur mouillée moyenne de la station.
- la station de Dompierre se distingue par une absence quasi totale de substrats additionnels. Ce constat s'ajoute à des substrats minéraux très fins et très homogènes, peu biogènes, qui sont aussi retrouvés sur Trézelles.

La présence d'habitats marginaux a été notée pour toutes les stations avec en particulier de la végétation surplombante sur Trézelles et des embâcles en eau sur Dompierre et Trézelles. Cette description est logique car les débris ligneux constituent souvent la principale structure de couvert pour les espèces piscicoles dans les rivières importantes. [Allouche S. et Gaudin P., 2001]

#### IV.3.3. Granulométrie des radiers et colmatage

• **Granulométrie** : les mesures granulométriques réalisées sur les radiers ont été converties en douze classes selon la classification de Wentworth. Le radier correspond à la zone de plus forte énergie rencontrée sur la station. Il regroupe donc une partie des éléments les plus grossiers retrouvés sur la station et donne une idée de la fraction granulométrique maximale mobilisable par le cours d'eau en cas de crue d'intensité moyenne au niveau de la station considérée. La *figure 21* ci-après présente les courbes granulométriques d'un radier pour chaque station.

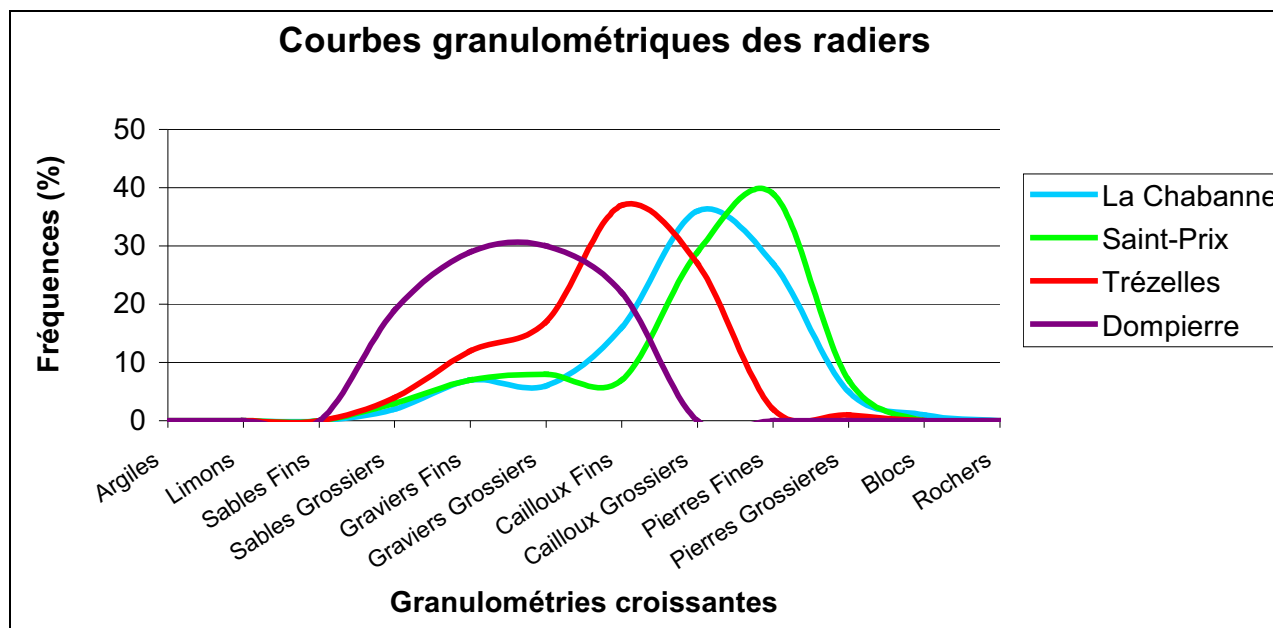


Figure 21 : courbes granulométriques d'un radier pour chaque station d'étude

Entre Saint-Prix et Dompierre, la logique amont-aval entrevue avec la granulométrie générale des stations est confirmée au niveau des radiers : le radier de Dompierre présente les granulométries les plus fines avec une dominance de graviers, celui de Trézelles a une grande proportion de cailloux et à Saint-Prix la granulométrie est dominée par les pierres.

La courbe granulométrique de La Chabanne présente plus de graviers et de cailloux mais moins de pierres que celle de Saint-Prix. Le gradient amont-aval entre les radiers de ces deux stations n'est pas respecté. Cette situation pourrait s'expliquer par la présence du complexe hydroélectrique de Chatel-Montagne entre ces deux stations. D'une part l'impact des éclusées est très ressenti à Saint-Prix et elles pourraient être à l'origine du « décapage » des radiers, à savoir la mise en mouvement des sables, graviers et cailloux fins, les pierres étant quant à elles des éléments trop lourds, rarement mis en mouvement. D'autre part, les retenues de ce complexe sont fortement ensablées et bloquent le transport des fines vers l'aval. Ce blocage du transit sédimentaire serait alors responsable d'un « décalage artificiel » vers la droite des courbes granulométriques des stations aval, puisque les proportions des granulométries fines s'en trouveraient diminuées.

Les graviers grossiers et les cailloux fins sont assez peu représentés sur les radiers de La Chabanne (21% des points d'échantillonnage) et Saint-Prix (15% des points). La rareté de ces granulométries est d'autant plus préjudiciable qu'elles correspondent aux *preferendum* de reproduction pour la truite commune, même si ces diamètres moyens dépendent de la taille de la femelle. [Ombredane D. *et al.*, 2001]

• Colmatage : les résultats obtenus après trois à quatre semaines d'incubation sur les différents stations sont présentés ci-dessous :




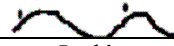




- La Chabanne : seuls deux triplicats de trois bâtonnets ont pu être mis en place compte tenu de la roche mère granitique très proche. Malgré quelques tâches noires ponctuelles sur les 10 cm les plus profonds de certains bâtonnets, aucun d'entre eux ne présente une coloration noire synonyme de colmatage.
- Saint-Prix : les neuf bâtonnets ont été mis en place mais deux d'entre eux ont été raccourcis car les pierres grossières du radier et la roche mère proche ne permettaient pas d'atteindre la profondeur de 30 cm nécessaire. Les trois substrats en queue de radier présentent un noircissement marqué sur les 20 cm les plus profonds. Ainsi seule la couche superficielle des sédiments (entre 5 et 10 cm) est oxygénée. Le milieu de radier est moins colmaté avec seulement quelques tâches noires sur les parties les plus profondes des bâtonnets. En tête de radier, deux des bâtonnets présentent un noircissement ponctuel, le troisième présentant un étonnant noircissement intégral.

- Trézelles : sur les sept substrats artificiels retrouvés, un seul présentait des tâches noires (en queue de radier). Ceci signifierait donc que le radier étudié sur cette station n'est pas colmaté.
- Dompierre : quatre jours après la mise en place des substrats, la Besbre a connu une crue cinquantennale. Même si l'aspect général de la station n'a pas été fondamentalement bouleversé, les fonds ont été remodelés avec de nouveaux dépôts et atterrissements. Nous n'avons retrouvé que trois bâtonnets : deux en queue de radier et un en milieu de radier. Tous trois présentaient un noircissement important sur plus de 25 cm de longueur : la quasi totalité du substrat de la partie aval du radier est donc colmatée. Il est regrettable de n'avoir aucune valeur pour l'amont du radier car visuellement le colmatage par le sable semble moins fort sur la tête de radier.

Pour les deux stations amont, les résultats des substrats artificiels sont concordants avec les courbes granulométriques des radiers puisque ceux-ci sont dominés par les cailloux et les pierres (faible colmatage). Toutefois, les résultats étonnants obtenus à Trézelles incitent à une certaine retenue quant à l'interprétation de ces données.

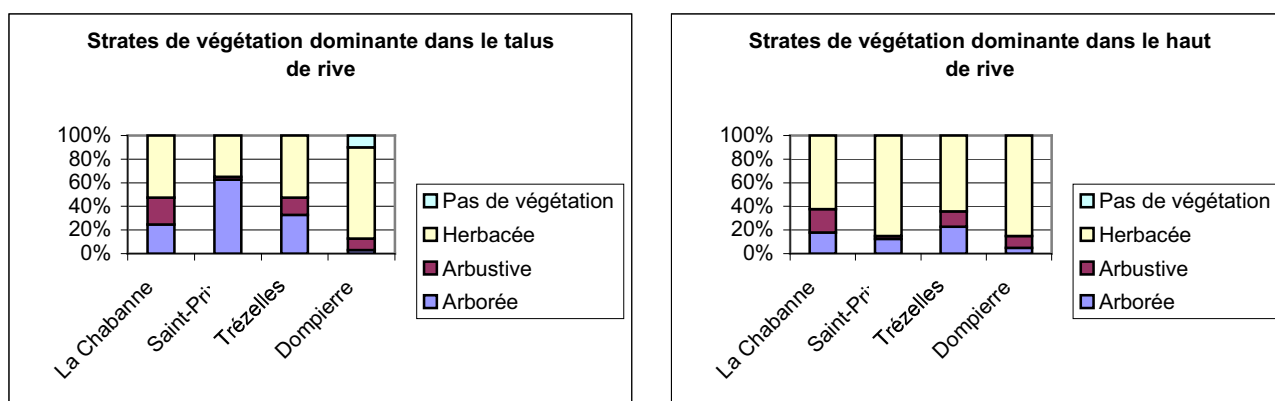
#### IV.3.4. Ripisylve

La continuité longitudinale de la ripisylve offre une vision globale des stations. Elle se montre discriminante pour la station de Dompierre où la Besbre divague dans des prés, avec une ripisylve quasi inexistante (*tableau 10*).

Station	La Chabanne	Saint-Prix	Trézelles	Dompierre
Continuité longitudinale de la ripisylve rive droite	Semi continue 	Semi continue 	Semi continue 	Isolée 
Continuité longitudinale de la ripisylve rive gauche	Continue 	Continue 	Semi continue 	Isolée 

*Tableau 10 : continuité longitudinale de la ripisylve sur les rives des stations*

La *figure 22* ci-dessous présente les strates de végétation dominante :



*Figure 22 : strates de végétation dominantes sur le talus et le haut de berge des stations*

Pour chaque station, les strates dominantes de végétation du talus et du haut de rive sont assez similaires, exceptée celle de Saint-Prix qui a un talus bien boisé, alors que le haut de rive est constitué d'une importante strate herbacée. Cette analyse de la stratification fait surtout ressortir la station de Dompierre où la strate herbacée est ultra dominante en talus comme en haut de rive. Il est intéressant de noter que les strates de végétation en haut de rive sont très similaires entre Saint-Prix et Dompierre : la rivière coule au milieu des prés. Les différences entre ces deux stations quant à la stabilité du lit ne s'expliquent pas par les substrats géologiques différents mais plus par la solide strate arborée du talus de rive de Saint-Prix.

La figure 23 ci-après présente l'épaisseur de la ripisylve pour chaque station :

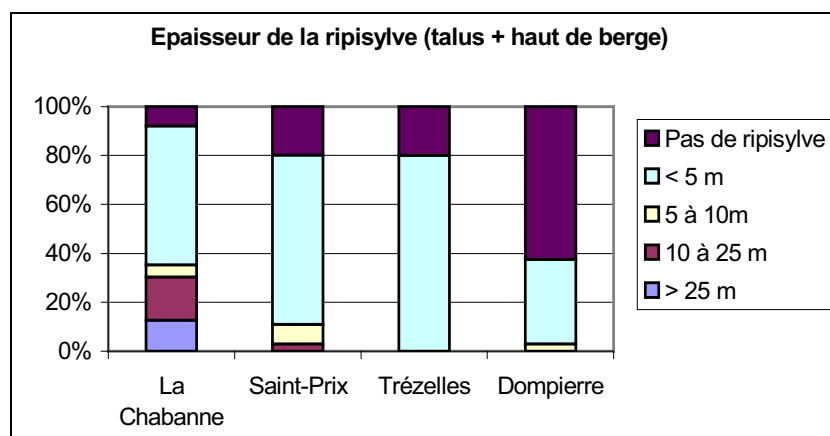


Figure 23 : épaisseur de la ripisylve sur les rives des stations

L'épaisseur de la ripisylve regroupe à la fois le talus et le haut de berge. Pour les extrémités des transects où le talus et le haut de berge présentent tous deux la seule strate herbacée, l'épaisseur de la ripisylve est considérée comme nulle. Cette variable permet d'aller plus loin que la continuité longitudinale de la ripisylve et montre un gradient amont-aval intéressant. La forêt (épaisseur de ripisylve supérieure à 10 m) est bien présente à La Chabanne, elle est très réduite à Saint-Prix et la ripisylve n'excède pas 5 m de large dans le val de Besbre.

A l'inverse de l'épaisseur de la ripisylve, le type de végétation, que ce soit en talus ou en haut de rive, ne s'est pas avéré très pertinente pour comprendre les différences hydromorphologiques entre stations. En effet dans la très grande majorité des cas, la végétation est naturelle (à 100% à La Chabanne et Saint-Prix) et la végétation plantée (peupleraies et jardins) ou exogène (renouée du Japon) n'est présente que dans de faibles proportions à Trézelles.

#### IV.3.5. Sensibilité des berges à l'érosion

Le tableau 11 ci-dessous récapitule les données relevées sur les berges des stations.

Station / Nature et structure des berges	La Chabanne	Saint-Prix	Trézelles	Dompierre
Berges naturelles (ni enrochement, ni matériaux artificiels, ni techniques végétales)	98 %	100 %	70 %	100 %
Berges en matériaux non cohésifs	5 %	25 %	25 %	100 %
Berges d'érosion	15 %	20 %	10 %	75 %

Tableau 11 : nature et cohésion des berges sur les stations de la Besbre

Les berges de la Besbre au niveau de la Chabanne ne sont que peu touchées par l'érosion. Les granulométries assez grossières et surtout la présence d'une ripisylve stabilisatrice expliquent ces résultats. A Saint-Prix, la strate arborée est bien présente mais peu épaisse, ce qui peut expliquer une certaine sensibilité à l'érosion puisque dès qu'un arbre tombe dans l'eau, la berge se retrouve sans protection. Malgré une proportion de berges en matériaux non cohésifs assez importante, la station de Trézelles n'est que peu affectée par l'érosion. La ripisylve mais surtout les enrochements, qui représentent 30% des points de transects étudiés, jouent un rôle important sur cette station où les riverains ont contenu la Besbre pour qu'elle n'atteigne pas leurs habitations toutes proches. A l'inverse, la station de Dompierre, non enrochée, est très touchée par l'érosion de berges. La rivière y évolue pourtant dans des terrains géologiques similaires à ceux de Trézelles, ces deux stations présentent d'ailleurs des fractions granulométriques proches.

Même si, dans les terrains sédimentaires du val de Besbre, les berges non cohésives et l'érosion de celles-ci sont des données naturelles, nous remarquons que la présence d'une ripisylve bien ancrée, voire d'enrochements permet clairement de limiter les impacts de l'érosion latérale sur les terrains riverains.

## IV.5. Discussion

### IV.5.1. Choix des stations

Le choix des trois stations de la Besbre ayant fait l'objet d'inventaires piscicoles depuis de nombreuses années est apparu assez évident puisque ces dernières ont été choisies par les services de l'ONEMA (expertise) pour leur bonne représentativité hydromorphologique du tronçon de rivière considéré. [Sremski W., 2001] De plus elles présentent des avantages pratiques indéniables comme un accès relativement aisé et un passage à pied possible sur une grande partie de la surface de la station. Les résultats des stations de Saint-Prix et Dompierre ont d'ailleurs été retenus par la DiR Massif Central pour renseigner la base nationale de données hydromorphologiques. Le choix de la seconde station du val de Besbre (Trézelles) était indispensable pour mieux décrire la Besbre aval et ses problématiques liées à l'érosion et au transport solide. A l'inverse de la station de Dompierre, une mobilité latérale plus faible et la présence d'éléments stabilisateurs (ripisylve naturelle et enrochements) ont donc été recherchées. A ce titre, la caractérisation à grande échelle de la mobilité historique de la Besbre réalisée dans la partie III. a été précieuse pour restreindre le nombre de secteurs potentiels. Parmi les secteurs de la Besbre aval conciliant à la fois faible mobilité latérale, présence d'une ripisylve préservée (non touchée notamment par le contrat de rivière des années 80, qui a supprimé de nombreuses embâcles et une partie de la végétation rivulaire), et passage à pied sur la station possible (les secteurs où la Besbre divague peu sont souvent des faciès de type mouille où la profondeur dépasse 1,5 m), le secteur aval du pont de Trézelles est apparu comme l'un des seuls envisageables. [Com. Pers. F. Desmolles et P. Dubsay]

### IV.5.2. Choix du protocole CarHyCE et apports complémentaires pour le travail sur l'hydromorphologie de la Besbre

Dans l'ensemble, les variables mesurées dans le cadre du protocole CarHyCE sont celles traditionnellement citées dans la littérature traitant de l'hydromorphologie et de l'habitat des cours d'eau. [Fitzpatrick F.A. *et al.*, 1998] [Bain M.B. and Stevenson N.J., 1999] Si la quantité et la qualité des informations récoltées est assez satisfaisante, nos investigations de terrain ont cependant montré que les stations du val de Besbre se situaient en limite d'acceptabilité pour la méthodologie CarHyCE (profondeurs et débits parfois trop importants).

Le choix d'une longueur de station de vingt fois la  $l_{ev-pb}$  garantit une succession de faciès différents [Navratil O., 2005] mais il arrive qu'un type de faciès soit très peu marqué sur certains tronçons de cours d'eau. Ainsi il est très délicat de parler de véritables radiers dans le val de Besbre. De plus la définition de la largeur de plein bord est sujette à controverse, notamment lorsque les rivières sont contraintes (cas de la station de Trézelles). Dans ce cas il semble plus pertinent de se baser sur la végétation rivulaire plutôt qu'au sommet de certaines « berges » car la  $l_{pb}$  peut alors prendre des proportions très éloignées de la réalité. Dans tous les cas une bonne connaissance de la rivière depuis plusieurs années est essentielle pour éviter des erreurs sur l'estimation de la  $l_{pb}$ .

Dans une optique de suivi dans le temps et de calage de modèles hydrauliques, les investigations menées sur la Besbre nous laissent penser qu'il serait intéressant de généraliser les mesures de hauteurs de berge à tous les transects. Ceci est d'autant plus important sur des rivières très mobiles et/ou des rivières où une incision du lit est suspectée mais difficile à quantifier.

L'analyse de la granulométrie pose problème au niveau du prélèvement dès que la profondeur des transects est conséquente. Mais le biais est surtout important lorsque l'opérateur remonte un échantillon de granulats très diversifié puisqu'il faut alors faire un choix. Une solution est de sortir de l'eau uniquement un seul élément mais dans ce cas les granulométries les plus fines sont presque systématiquement oubliées au profit des éléments plus grossiers.

L'intégration du colmatage des radiers à l'aide des bâtonnets apporte des informations complémentaires de l'analyse granulométrique. Néanmoins leur mise en place est très difficile sur les radiers à blocs ou pierres (La Chabanne, Saint-Prix). De plus, il est très délicat de les retrouver sur les rivières larges et/ou à fond mobile. Le sapin semble plus intéressant que le pin car il est plus clair, la limite de coloration foncée est donc mieux repérable. En effet, la lecture a été difficile sur

certaines substrats artificiels ne présentant pas un noircissement très marqué. Selon Marmonier *et al.*, ce noircissement est très peu évident sur les rivières acides car l'activité microbienne est plus faible. Ceci pourrait expliquer l'absence de noircissement des bâtonnets sur les terrains granitiques de la station de La Chabanne. Dans ces situations, il est alors préconisé de réaliser des mesures complémentaires comme une mesure de la teneur en oxygène dissous de l'eau interstitielle. Quoi qu'il en soit, l'absence de colmatage à Trézelles comparativement à Saint-Prix et Dompierre est douteuse et ne correspond pas à l'appréciation visuelle que nous avons sur les radiers de ces stations.

Enfin, certaines variables comme la végétation (aquatique et rivulaire) ou l'occupation des sols sont détaillées plus finement dans certains protocoles [Environment Agency, 1997] mais il a été nécessaire de trouver un compromis entre la quantité d'informations recueillies, la formation des opérateurs et le temps à passer sur le terrain. En effet, à terme, ce protocole devra être réalisé en routine sur un grand nombre de stations présentant des prélèvements biologiques dans le cadre des suivis réseaux de la DCE. De plus il convient de rappeler que le protocole CarHyCE est en phase de test et qu'il a vocation à apporter les informations que le SIG du projet SYRAH ne pourra pas fournir. Ainsi les altérations hydromorphologiques à plus large échelle, comme l'étagement des cours d'eau par des seuils successifs, seront décrites au niveau du tronçon par le projet SYRAH et non par le protocole terrain. De même, des paramètres comme l'occupation des sols en bord de cours d'eau, la continuité et l'épaisseur de la ripisylve seront appréhendées par SIG (photo-interprétation) pour un certain nombre de rivières. Dans ces cas-là les relevés terrain auront surtout vocation à vérifier les méthodes SIG employées et l'actualisation des données informatiques utilisées. [Com. Pers. J.-M. Baudoin] Le SIG permettra aussi de vérifier que la station choisie est bien représentative du tronçon hydromorphologique. Les résultats du projet SYRAH, qui devraient être disponibles à la fin de l'année 2009, permettront de compléter le travail réalisé à ce jour à l'échelle de la station pour avoir une vision complète de l'hydromorphologie de la Besbre. [Com. Pers. J.-N. Gautier]

#### IV.5.3. Intérêt du géoréférencement des données

Les relevés hydromorphologiques géoréférencés peuvent permettre d'établir un plan de station et des profils transversaux au niveau des transects. Cette description sera surtout intéressante pour comparer les descriptions de l'année 2008 avec des relevés futurs. Ce travail sur l'évolution temporelle des phénomènes permettra d'apporter des réponses pertinentes en terme de gestion et d'aménagements éventuels à réaliser sur la Besbre aval. A titre d'exemple, la comparaison des points géoréférencés avec les photos aériennes de 2002 nous a permis d'estimer les taux d'érosion latérale à 50 cm par an en moyenne sur la station de Dompierre (durant la période 2002-2008).

#### IV.5.4. Liens entre l'hydromorphologie et la capacité d'accueil pour les biocénoses aquatiques

La surface du bassin versant, la distance à la source, la température et la dureté de l'eau, la pente du cours d'eau sont parmi les grands paramètres qui expliquent la morphologie naturelle des cours d'eau et la répartition des biocénoses aquatiques. C'est d'ailleurs sur ces facteurs que sont basées les zonations biologiques des cours d'eau proposées par Huet (1946), Illiès et Botosanéanu (1963), et Verneaux (1977). [Sremski W., 2001] A l'échelle du tronçon, la pente du cours d'eau et l'agencement des faciès semblent être les facteurs hydromorphologiques prépondérants pour expliquer l'équilibre des populations piscicoles. [Walters D.M. *et al.*, 2003] [Wasson J.-G. *et al.*, 1998] La description que nous avons réalisé à l'échelle stationnelle intègre ces paramètres mais elle offre aussi une précision plus fine en renseignant les hauteurs d'eau, l'hétérogénéité du substrat,...

Une analyse du dernier inventaire piscicole sur chaque station de la Besbre, couplée aux mesures hydromorphologiques réalisées en 2008, permettrait de lier une variable biologique (biomasse, richesse spécifique, IPR...) aux variables hydromorphologiques explicatives sus-citées. Cette méthodologie s'apparente à une analyse multivariée de type Analyse en Composante Principale (ACP) puisque les variables sont hétérogènes (exprimées dans des unités différentes). Cependant nous ne disposons que de quatre individus statistiques puisque nous avons travaillé sur

quatre stations. De plus les méthodologies d'inventaires piscicoles sont différentes entre les stations ce qui imposerait des corrections importantes et qui ne sont pas l'objet de la problématique de ce stage sur la Besbre. La liaison biocénoses aquatiques-hydromorphologie est donc statistiquement peu pertinente à l'échelle d'une seule rivière, à moins de disposer d'un très grand nombre de descriptions de stations et d'inventaires biologiques. A titre de comparaison, certaines publications scientifiques ou ouvrages travaillent à partir d'une trentaine de stations minimum. [Walters D.M. *et al.*, 2003] [Bain M.B. and Stevenson N.J., 1999] Dans les années à venir, le traitement statistique d'un grand jeu de données obtenues dans le cadre du projet SYRAH devrait permettre de cibler les facteurs hydromorphologiques les plus pénalisants pour les biocénoses aquatiques. [Chandesris A. *et al.*, 2007] Dans cette optique, des modélisations couplant les techniques de régressions multiples et d'ACP, permettent de faire des analyses en plusieurs dimensions tout en limitant les phénomènes de redondance entre variables. [Com. Pers. J.-M. Baudoin] Néanmoins, pour améliorer la pertinence des résultats, il faudrait travailler toutes choses égales par ailleurs et être certain de ne juger les peuplements aquatiques que par rapport à des altérations hydromorphologiques. Or, aujourd'hui, rares sont les sites où l'on peut juger de l'impact des altérations morphologiques tout en étant assuré qu'il n'y a pas d'autre altération (chimique, thermique,...).

Même si une analyse statistique complète n'a pas pu être menée par manque de données, ce travail a mis en évidence le « paradoxe » suivant pour la Besbre aval : alors que l'on tend à qualifier la station de Dompierre de « sauvage » et que celle de Trézelles est considérée sous contraintes anthropiques, cette dernière est pourtant apparue largement plus biogène car plus diversifiée (plus de substrats additionnels). Ceci serait vérifiable en réalisant un inventaire piscicole à Trézelles. Ce travail montre qu'il est parfois difficile de définir un état écologique et de préconiser des programmes de restauration morphologique avec un résultat garanti sur les biocénoses aquatiques.

## Conclusion

Cette étude a permis de mettre en avant les enjeux présents sur le bassin de la Besbre avec en particulier la nécessité de préserver une grande richesse écologique alors que des menaces pèsent sur les milieux aquatiques (évolution préoccupante de l'occupation des sols : érosion suite aux coupes à blanc, développement des cultures intensives et de l'irrigation,...). Le suivi morphologique à grande échelle, avec les cartes des évolutions historiques du lit de la Besbre, a montré que cette rivière divague sur de nombreux secteurs, mais qu'elle est aussi parfois contrainte (traversées de villes, seuils,...). Ces aménagements, tout comme les enrochements et la construction historique de bâtis ont modifié la dynamique de la Besbre depuis plusieurs siècles, offrant ainsi une vision erronée du caractère « naturel » de la rivière. La description de l'hydromorphologie au niveau de stations a montré le gradient amont-aval naturel globalement présent sur la Besbre (granulométrie, ripisylve,...) malgré la mise en évidence de fortes perturbations (impacts des éclusées sur le transit sédimentaire). Des mesures futures permettront de quantifier certaines hypothèses comme l'enfoncement du lit et les excès de granulométries fines. Même si diverses perturbations actuelles et passées ont été mises en évidence, la situation de la Besbre n'apparaît pas irréversible. En l'état actuel des connaissances, sur cette rivière, la meilleure gestion consiste probablement à laisser faire la nature avec la préservation de l'espace de liberté du cours d'eau. Ponctuellement, l'entretien des berges dans les zones sensibles du val de Besbre (protection d'habitations) doit favoriser les techniques végétales plutôt que des dépôts inefficaces et peu esthétiques de tout-venant. De plus, lorsqu'ils ne perturbent pas trop l'écoulement des eaux et des sédiments, les embâcles doivent être laissés en place car ils constituent la meilleure façon de réduire l'uniformisation du lit en l'absence de sous-berges et de ripisylve. Enfin, dans l'esprit du grenelle de l'environnement, un travail est à mener pour améliorer la transparence des seuils. Au travers de cette étude et des documents ONEMA plus complets, les gestionnaires disposeront d'un document synthétique sur lequel ils pourront s'appuyer pour définir le programme de mesure DCE, qui pourrait nécessiter la mise en œuvre de Contrats Restauration Entretien ou d'un Contrat de rivière.

## Bibliographie

### Références bibliographiques et électroniques

Agence de l'eau Loire-Bretagne (2007a). **La qualité des rivières dans votre département 2003-2005, département de l'Allier**. [CD Rom] Agence de l'eau Loire-Bretagne, Orléans.

Agence de l'eau Loire-Bretagne (2007b). **RNROE – version du 27/11/2007**. [Base de données électronique] Agence de l'eau Loire-Bretagne, Orléans.

Agence de l'eau Loire-Bretagne (2008). **La lutte contre les pollutions diffuses agricoles et non agricoles**. L'eau en Loire-Bretagne, n° 76. 55 p.

Allouche S., Gaudin P. (2001). **Relations entre les structures pourvoyeuses de couvert et les assemblages piscicoles**. Synthèse bibliographique, rapport intermédiaire. Université C Bernard Lyon I. 27 p. + annexes.

Asconit Consultants, Hydratec. (2007). **Complément et mise à jour des connaissances sur la dynamique fluviale de l'Allier entre Vieille Brioude et le Bec d'Allier, diagnostic**. SAGE Allier aval – Etablissement Public Loire. 42 p. + figures.

Bain M.B., Stevenson N.J. (1999). **Aquatic habitat assessment : common methods**. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland. 216 p.

Banque Hydro (pages consultées le 20 mars 2008). **Hydro : les principaux services proposés**. <http://www.hydro.eaufrance.fr/>

Baran P., Delacoste M., Lascaux J.-M., Belaud A. (1993). **Relation entre les caractéristiques de l'habitat et les populations de truites communes (Salmo trutta) de la vallée de Nest d'Aure**. *Bull. Fr. Pêche et Pisc.*, **336**, pp. 321-340.

Baran P. (1999). **Etude de l'habitat de la truite commune dans quatre cours d'eau à haute valeur patrimoniale de la Loire**. INP ENSAT, Toulouse. 70 p. + annexes.

BRGM (page consultée le 17 avril 2008). **Le portail des sciences de la Terre, informations et produits**. <http://www.brgm.fr/inc/bloc/thematique/carto.jsp>

Chambre d'Agriculture de l'Allier (2008). **Irrigation Allier 2008. Demande de renouvellement de l'autorisation temporaire de prélèvement aux fins d'irrigation pour 2008**. Chambre d'Agriculture de l'Allier, Moulins.

Chandesris A., Mengin N., Malavoi J.-R., Souchon Y., Wasson J.-G., Pella H. (2007). **Appui scientifique à la mise en œuvre de la Directive Cadre Européenne sur l'Eau. Système Relationnel d'Audit de l'Hydromorphologie des Cours d'Eau. Principes et Méthodes**. Version provisoire 3.1. Cemagref, Lyon. 64 p. + annexes.

Comité de bassin Loire-Bretagne (2007). **Dossier général de séance. Projet de SDAGE et de programmes de mesures**. Agence de l'eau Loire-Bretagne, Orléans. 284 p.

Couvert B., Lefort P., Peiry J.-L., Belleudy P. (1999). **La gestion des rivières. Transport Solide et atterrissements. Guide méthodologique**. Les études des agences de l'eau n°65. 92 p.

CSPNB (2008). **L'arbre, la rivière et l'homme**. Conseil Scientifique du Patrimoine Naturel et de la Biodiversité. Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durables. 63 p.

Delfour J., Feys R., Carrat H., Clozier L. avec la collaboration de Mercier-Batard F., Cornet J. (1989). **Notice explicative, Carte géol. France (1/50000), feuille Dompierre-sur-Besbre (599)**. Orléans : Bureau de recherches géologiques et minières, 116 p. Carte géologique Delfour J., Carrat H., Clozier L., Feys R., Fleury R. (1988).

DIREN de bassin Loire-Bretagne (page consultée le 28 avril 2008). **Les données du SIEL**. [http://www2.centre.ecologie.gouv.fr/SIEL/html/Desc\\_donnees.htm](http://www2.centre.ecologie.gouv.fr/SIEL/html/Desc_donnees.htm)

Environment Agency. (1997). **River Habitat Survey, Guidance Manual**. Environment Agency, Bristol. 37 p.

Fitzpatrick F.A., Waite I.R., Arconte P.J.D., Meador M.R., Maupin M.A., Gurtz M.E. (1998). **Revised Methods for Characterizing Stream Habitat in the National Water Quality Assessment Program**. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 98-4052. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 77 p.

Gurnell A., Petts G. (1995). **Changing River Channels**. Editions John Wiley & Sons, Chichester, England. 442 p.

IFEN (page consultée le 31 mars 2008). **Les bases de données d'occupation du sol**. <http://www.ifen.fr/bases-de-donnees/occupation-du-sol/methode.html>

Ifremer. (page consultée le 16 juin 2008). **L'ACDP**. <http://www.ifremer.fr/move/adcp.htm>

Jallet I. (2003). **Etude de la gestion de la ressource en eau sur le bassin versant de la Besbre. Proposition d'un programme d'action**. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur ENGEES, Strasbourg. Conseil Général de l'Allier, Moulins. 84 p.

Levet D., Laurans Y., Sarraza M., Dubien I. (2000). **Effets de l'extraction des granulas alluvionnaires sur les milieux aquatiques. Bilan et alternatives**. Les études des agences de l'eau n°71. 41 p.

Malavoi J.-R., Bravard J.-P., Piégay H., Ramez P. (1998). **Détermination de l'espace de liberté des cours d'eau**. Guide Technique n°2, SDAGE Rhône Méditerranée Corse, Lyon. 40 p.

Malavoi J.-R., Souchon R. (2002). **Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observables en rivière : clé de détermination qualitative et mesures physiques**. *Bull. Fr. Pêche Pisc.*, 365-366, pp. 357-372.

Malavoi J.-R. (2003). **Stratégie d'intervention de l'agence de l'eau sur les seuils en rivière**. Agence de l'eau Loire-Bretagne, Orléans. 134 p.

Marmonier P., Delettre Y., Lefebvre S., Guyon J., Leclère H., Helard E. (2002). **Mise au point d'une méthode simple d'estimation du colmatage des sédiments des cours d'eau**. Rapport final. Université de Rennes 1, CNRS, Conseil Supérieur de la Pêche. 47 p.

Mendoça S. (1999). **GIS and spatio-temporal modelling for the study of alluvial soil and vegetation evolution**. Thèse de doctorat. Ecole polytechnique de Lausanne. 141 p.

Musy A. (page consultée le 10 mars 2008). **Cours d'hydrologie générale**. <http://hydam.epfl.ch/e-drologie/titre.shtml>

Navratil O. (2005). **Débits de pleins bords et géométrie hydraulique : une description de la morphologie des cours d'eau pour relier le bassin versant et les habitats aquatiques**. Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'Institut National Polytechnique de Grenoble. Grenoble. 244 p. + annexes.

Ombredane D., Baglinière J.-L., Berrebi P. (2001). **La truite commune**. In : Atlas des poissons d'eau douce de France. Keith P. et Allardi J. (coord.). Collection *Patrimoines Naturels*, 47, Paris. pp. 244-249.

- Oteman W. (2006). **Trézelles en cartes postales anciennes**. Textes de Wil Oteman. Editions Musée de Bert, Bert. 166 p.
- Palm R. (1992). **Comment interpréter les résultats d'une série chronologique**. ITCF Céréaliers de France, avec la participation de l'ANDA. 80 p.
- Pella H., Wasson J.-G., Souchon Y. (non daté). **Caractérisation des vallées alluviales**. Rapport final. Cemagref, Lyon et Ifen, Paris. 56 p.
- Phyt'Eauvergne (page consultée le 27 février 2008). **Pesticides dans l'eau en Auvergne, décembre 1997 - juin 2006. Synthèse des résultats du réseau de surveillance de la qualité des eaux vis-à-vis des pesticides**. [http://www.phyteauvergne.ecologie.gouv.fr/article.php3?id\\_article=52](http://www.phyteauvergne.ecologie.gouv.fr/article.php3?id_article=52)
- Piriou J.-C., Grau S., Guenegou S., Hue A. (2006). **Etude de sécurisation de l'alimentation en eau potable du sud-est du département de l'Allier et des collectivités limitrophes du département de la Loire** (rapport provisoire n°2 : phase 2). Etude réalisée par BCEOM Société Française d'Ingénierie, et Finance Consult. Commanditée par le Syndicat Mixte des Eaux de l'Allier, Yzeure. 101 p. + annexes.
- Porteret J. (page consultée le 14 mai 2008). **Thèse en préparation, Jérôme Porteret, doctorant au Crenam**. <http://www.univ-st-etienne.fr/crenam/chercheur/porteret/cv.htm>
- S.A. Gestion de l'Environnement (2002). **Aménagement hydroélectrique sur la Besbre. Demande de renouvellement de concession. Etude d'impact**. Etude réalisée par S.A. Gestion de l'Environnement, Annecy-le-Vieux. Commanditée par EDF CIH Service Environnement, Le Bourget du Lac. 89 p. + annexes
- S.A. Gestion de l'Environnement (2005). **Aménagement hydroélectrique sur la Besbre. Etude des sédiments du bassin de compensation**. Etude réalisée par S.A. Gestion de l'Environnement, Annecy-le-Vieux. Commanditée par EDF CIH Servie Environnement, Le Bourget du Lac. 9 p.
- SIRAP. (page consultée le 12 juin 2008). Edipocket, le SIG mobile selon SIRAP. <http://www.sirap.fr/edipocket.htm>
- Souchon Y., Philippe M., Maridet L., Cohen P., Wasson J.-G. (1996). **Rôle et impact des étiages dans les cours d'eau : les sécheresses menacent-elles les communautés végétales et animales des cours d'eau ?** Rapport final, Cemagref – Direction de l'Eau du Ministère de l'Environnement. 89 p.
- Sremski W. (2001). **Réseau Hydrobiologique et Piscicole, région Auvergne. Synthèse 2000**. CSP Délégation Auvergne-Limousin, Lempdes. 43 p. + annexes.
- Steinbach P. (2005). **Contexte migratoire du bassin de la Loire, expertise de l'axe Loire-Allier et des conditions de migration du saumon**. 46 p. + annexes
- Teledyne RD Instruments. (2006). **StreamPro ADCP Manual**. RD Instruments, San Diego, Californie. 110 p.
- Walters D.M., Leigh D.S., Freeman M.C., Freeman B.J., Pringle C.M.(2003). **Geomorphology and fish assemblages in a Piedmont river basin, USA**. *Freshwater Biology*, **48**, pp. 1950-1970.
- Wasson J.-G., Malavoi J.-R., Maridet L., Souchon Y., Paulin L. (1998). **Impacts écologiques de la chenalisation des rivières**. Cemagref éditions, 1<sup>ère</sup> édition. Collection *Etudes* du Cemagref, série *Gestion des milieux aquatiques* n°14, Paris. 158 p.
- Wasson J.-G., Chandesris A., Pella H., Blanc L. (2002). **Définition des Hydroécorégions françaises métropolitaines. Approche régionale de la typologie des eaux courantes et éléments pour la définition des peuplements de référence d'invertébrés**. Ministère de l'aménagement du Territoire et de l'Environnement, Cemagref Lyon BEA/LHQ. 190 p.

## Communications personnelles :

**Barthélemy Gilles** ; Agent technique de l'ONEMA

Service Départemental de la Creuse (Tél : 05.55.61.90.55)

Maison de la Pêche

60 avenue Louis Laroche

23012 GUERET Cedex

[sd23@onema.fr](mailto:sd23@onema.fr)

**Baudoin Jean-Marc** ; chef de projet « Hydromorphologie »

Direction Générale de l'ONEMA (Tél : 01.45.14.07.39)

16, avenue Louison Bobet

94132 Fontenay sous bois Cedex

[jean-marc.baudoin@onema.fr](mailto:jean-marc.baudoin@onema.fr)

**Bouchard Julien** ; Ingénieur Connaissance ONEMA

Délégation Interrégionale Bourgogne Franche-Comté (Tél : 03.80.60.98.25)

22 bd Jean Veillet

21000 DIJON

[julien.bouchard@onema.fr](mailto:julien.bouchard@onema.fr)

**Chignol Lionel** ; Responsable Assainissement à la DDAF 03

Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt de l'Allier (Tél : 04.70.48.35.30)

Rue Aristide Briand - BP 112

03403 YZEURE Cedex

[lionel.chignol@agriculture.gouv.fr](mailto:lionel.chignol@agriculture.gouv.fr)

**Desmolles François** ; Chargé de mission et habitant du bord de Besbre

Fédération de Pêche du Puy-de-Dôme (Tél : 04.73.92.56.29)

Site de Marmilhat Sud

63370 LEMPDES

**Dubsay Patrick** ; Agent technique de l'ONEMA

Service Départemental de l'Allier (Tél : 04.70.45.68.82)

6, Faubourg du Paluet

03500 SAINT-POURÇAIN-SUR-SIOULE

[sd03@onema.fr](mailto:sd03@onema.fr)

**Durantel Pascal** ; Hydrobiologiste, Journaliste Halieutique et habitant du bord de Besbre

Le Bourg

63350 CREVANT LAVEINE

Tél : 04.73.68.70.12

**Gautier Jean-Noël** ; Expert hydromorphologue

Agence de l'Eau Loire-Bretagne, direction études et prospectives/SEG (Tél : 02.38.51.73.73)

BP 6339

45063 ORLEANS Cedex 02

[jean-noel.gautier@eau-loire-bretagne.fr](mailto:jean-noel.gautier@eau-loire-bretagne.fr)

**Lenne Dominique** ; Responsable de l'unité hydrométrie/hydrologie

Direction Régionale de l'Environnement Auvergne (Tél : 04.73.17.37.37)

65, boulevard François Mitterrand – BP 163

63004 CLERMONT-FERRAND Cedex 01

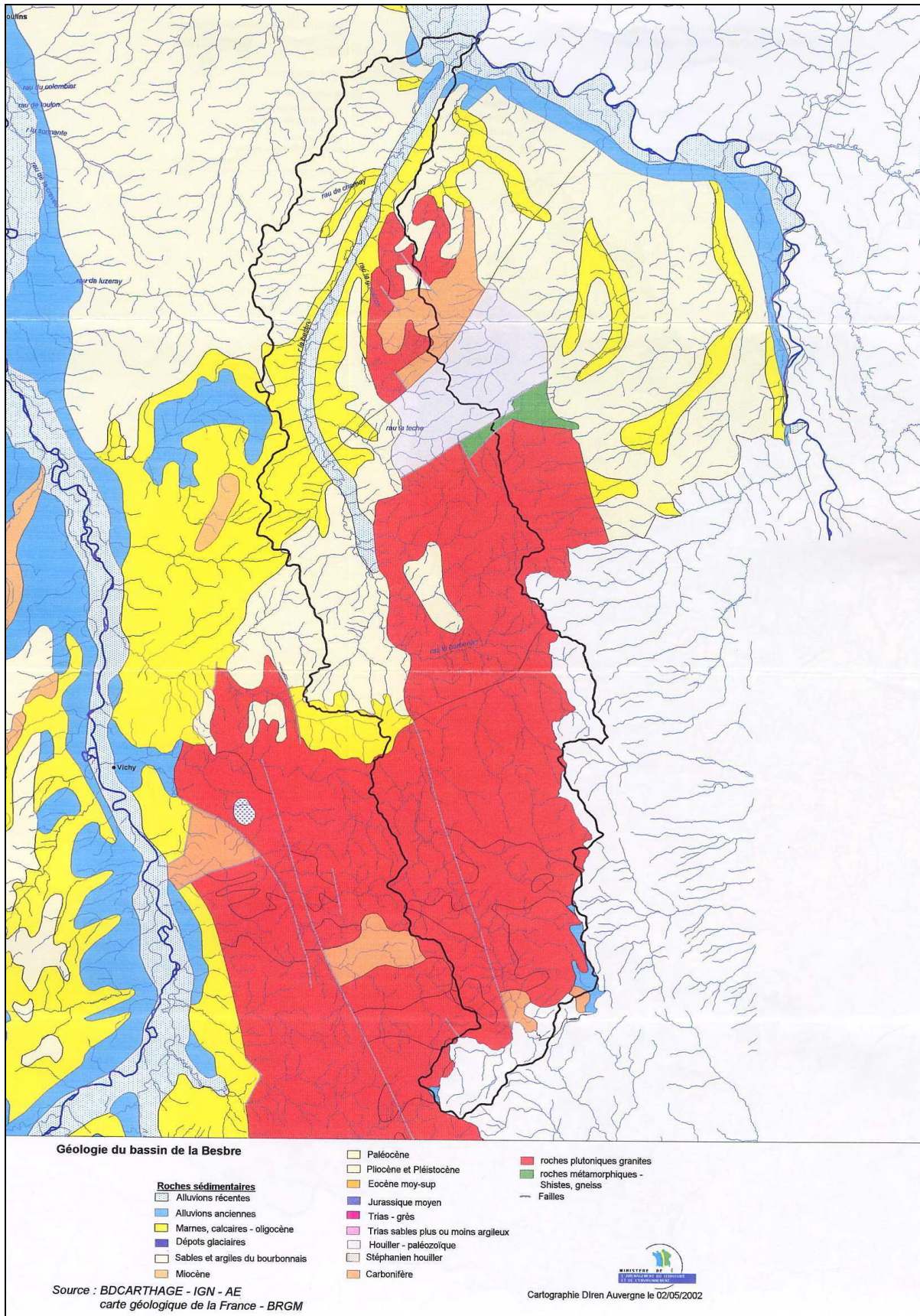
[dominique.lenne@auvergne.ecologie.gouv.fr](mailto:dominique.lenne@auvergne.ecologie.gouv.fr)

**Malavoi Jean-René** ; Ingénieur Conseil géomorphologue  
207 rue de l'Eglise  
01600 PARCIEUX  
[jr.malavoi@wanadoo.fr](mailto:jr.malavoi@wanadoo.fr)

**Ombredane Dominique** ; Professeur à Agrocampus Rennes  
Laboratoire d'écologie et Sciences Phytosanitaires  
65, rue de Saint-Brieuc - CS 84215  
35042 RENNES Cedex  
[Dominique.Ombredane@agrocampus-rennes.fr](mailto:Dominique.Ombredane@agrocampus-rennes.fr)

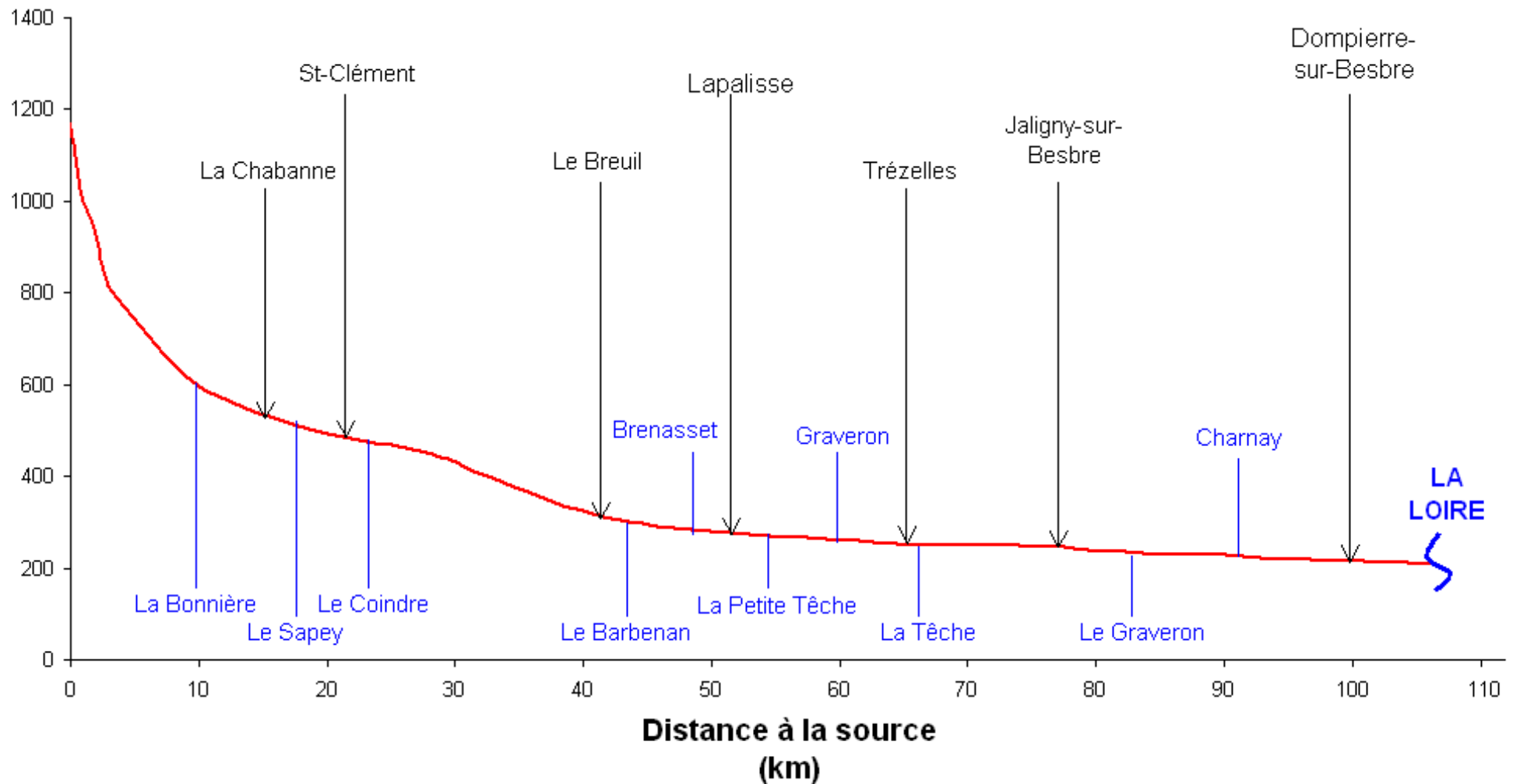
# Annexes

## Annexe 1 : carte géologique simplifiée du bassin versant de la Besbre [Jallet I., 2003]



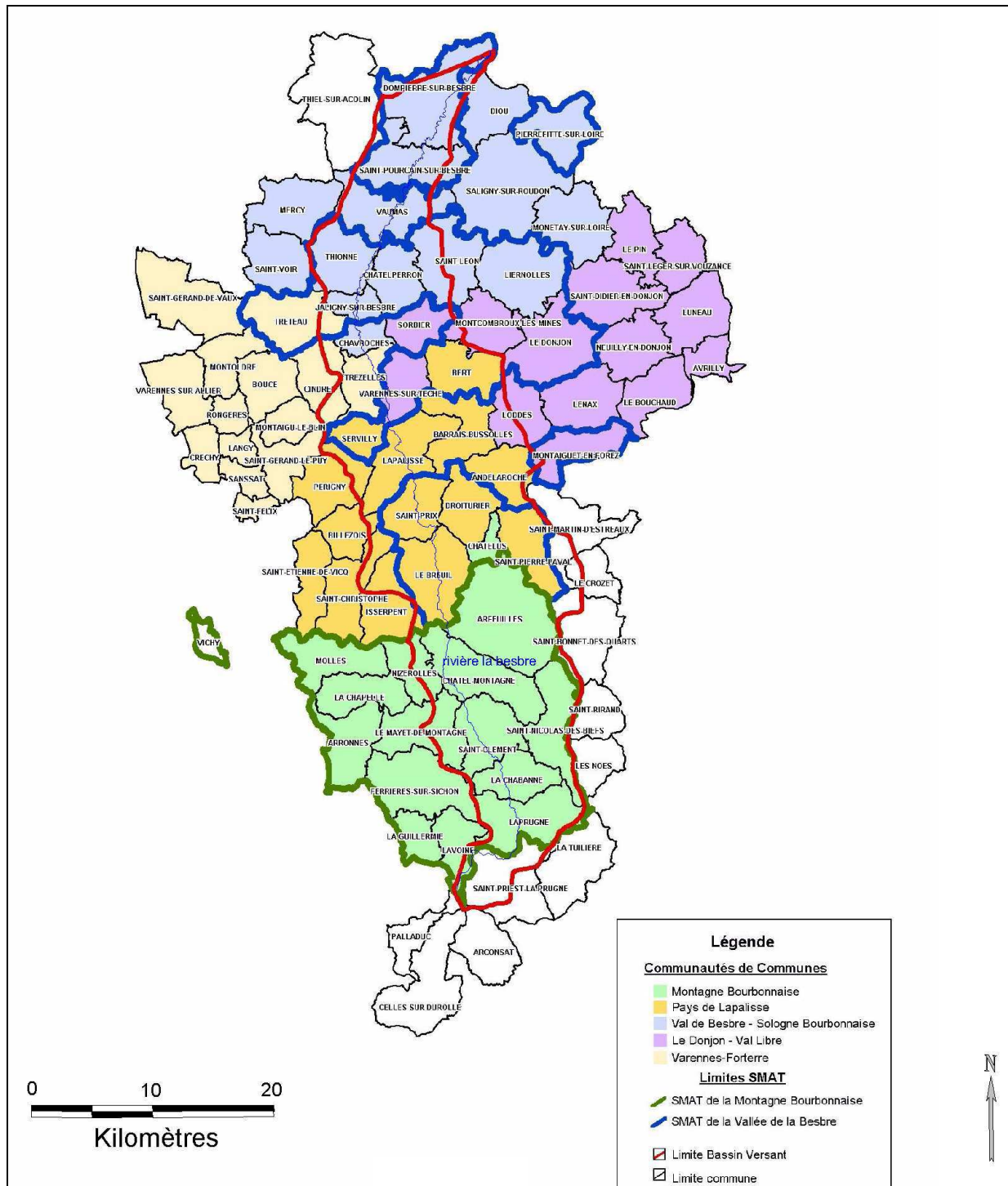
# Profil en long de la Besbre

Altitude (m)

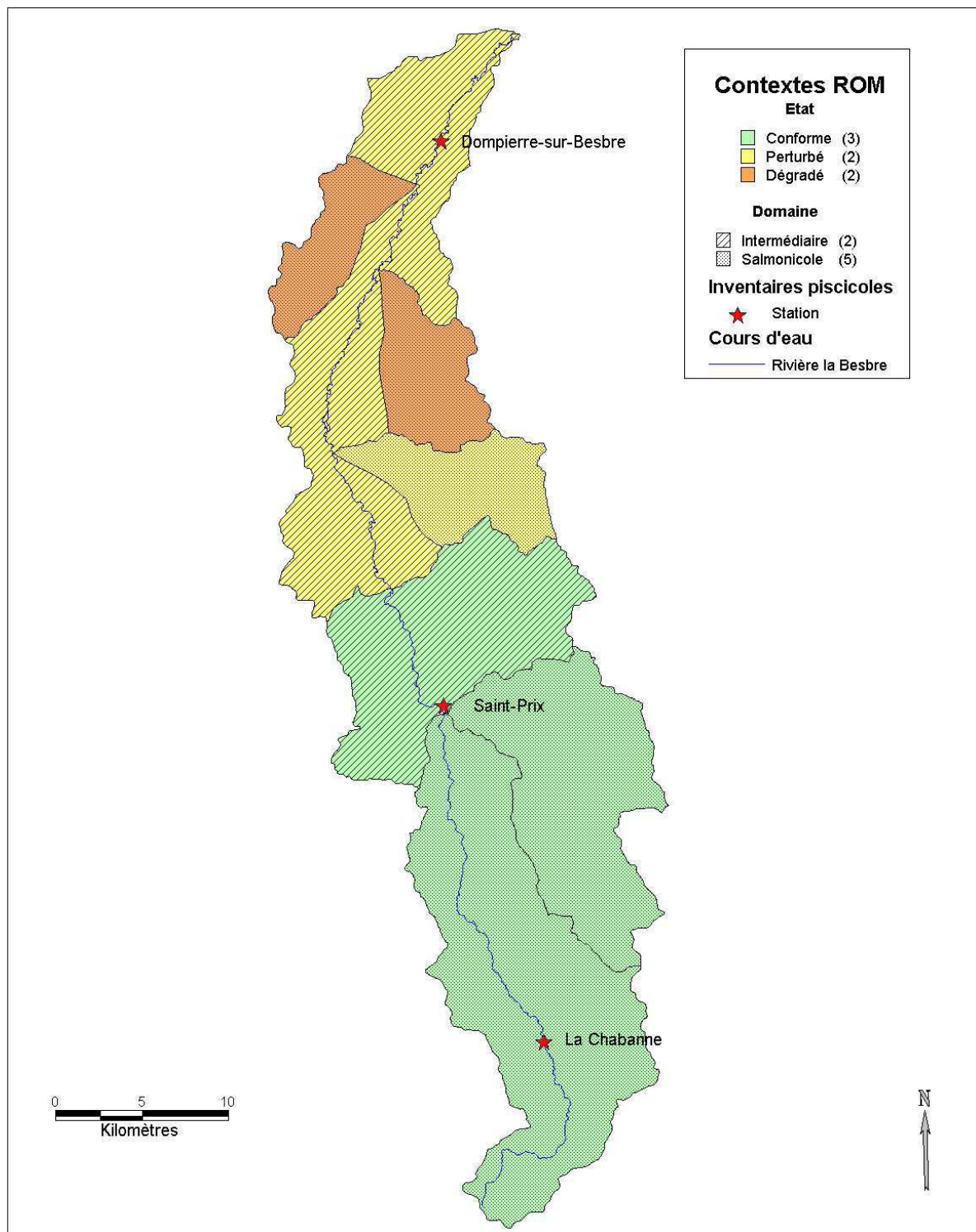


Annexe 2 : profil en long de la Besbre avec ses principaux affluents et les principales villes (réalisé à partir des scans 25 du logiciel Photoexplorer)

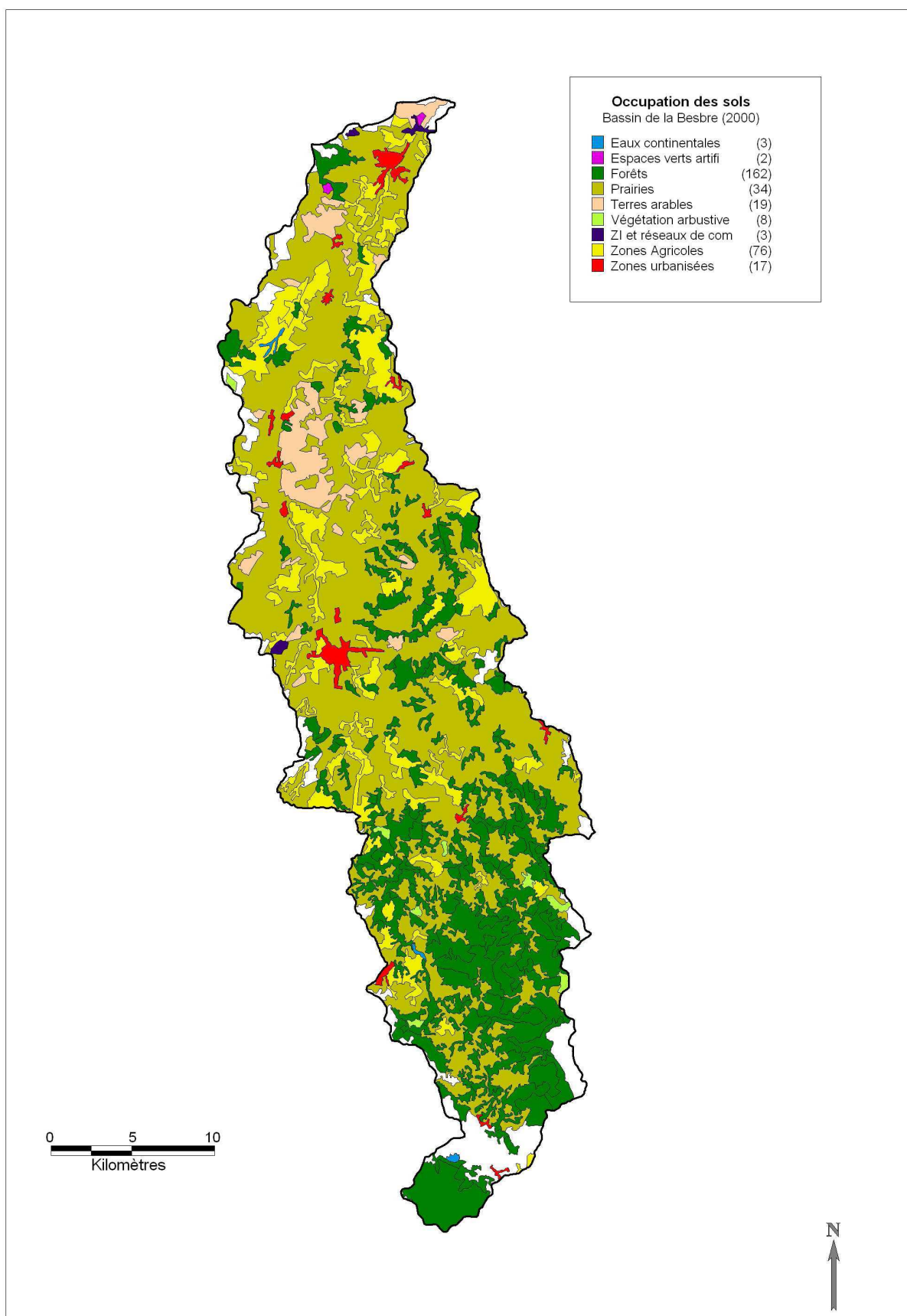
**Annexe 3 :** communes, communautés de communes et SMAT (Syndicats Mixtes d'Aménagement Touristique) sur le bassin versant de la Besbre. [Jallet I., 2003 modifié]



Annexe 4 : résultats par contextes de l'expertise ROM sur le bassin versant de la Besbre



Annexe 5 : occupation des sols du bassin versant de la Besbre (source : Corine Land Cover 2000)



Annexe 6 : bilan des perturbations présentes sur le bassin de la Besbre en terme d'impacts théoriques sur les milieux aquatiques et sur la biologie

•Pollutions diffuses et occupation des sols : les amendements organiques ou minéraux, et l'utilisation de produits phytosanitaires constituent les principaux risques de pollutions chimiques. La mise en place de bandes enherbées et les efforts de communication et de prévention réalisés par les Chambres d'Agriculture permettent d'améliorer la situation depuis quelques années. Le développement de cultures nécessitant de nombreux traitements phytosanitaires (maïs, colza,...) peut être un problème important pour la qualité des eaux de surface et souterraines. Les cultures laissant un sol nu l'hiver (maïs) augmentent fortement la sensibilité des sols à l'érosion et au lessivage (transfert des éléments tels les nitrates vers le réseau hydrographique et les eaux souterraines). L'érosion impacte les milieux aquatiques dans la mesure où la présence de fines en grandes quantités tend à colmater le substrat, avec des impacts biologiques drastiques : altération des épithéliums branchiaux des organismes aquatiques, diminution de la microfaune benthique, dégradation des zones de reproduction des poissons avec des risques d'asphyxie des œufs. Les poissons d'eau vive comme les salmonidés sont les plus vulnérables à ce type de pollutions mécaniques. [Com. Pers. D. Ombredane] De plus les terrains cultivés représentent souvent de fortes valeurs foncières et les propriétaires ont donc beaucoup de mal à accepter que la Besbre inonde voire érode leurs parcelles. Les nombreux enrochements sauvages réalisés dans le val de Besbre sont de parfaites illustrations de cette problématique.

•Extractions de matériaux solides : concernant les extractions en lit mineur, les principaux impacts relevés par le ROM sont le transport de fines, l'enfoncement du lit, la réduction de la granulométrie moyenne, le colmatage du substrat, la déstabilisation et l'érosion des berges, et la déconnexion des annexes. Les extractions en lit majeur sont surtout synonymes de réduction/altération des annexes connectées et des zones humides inondables.

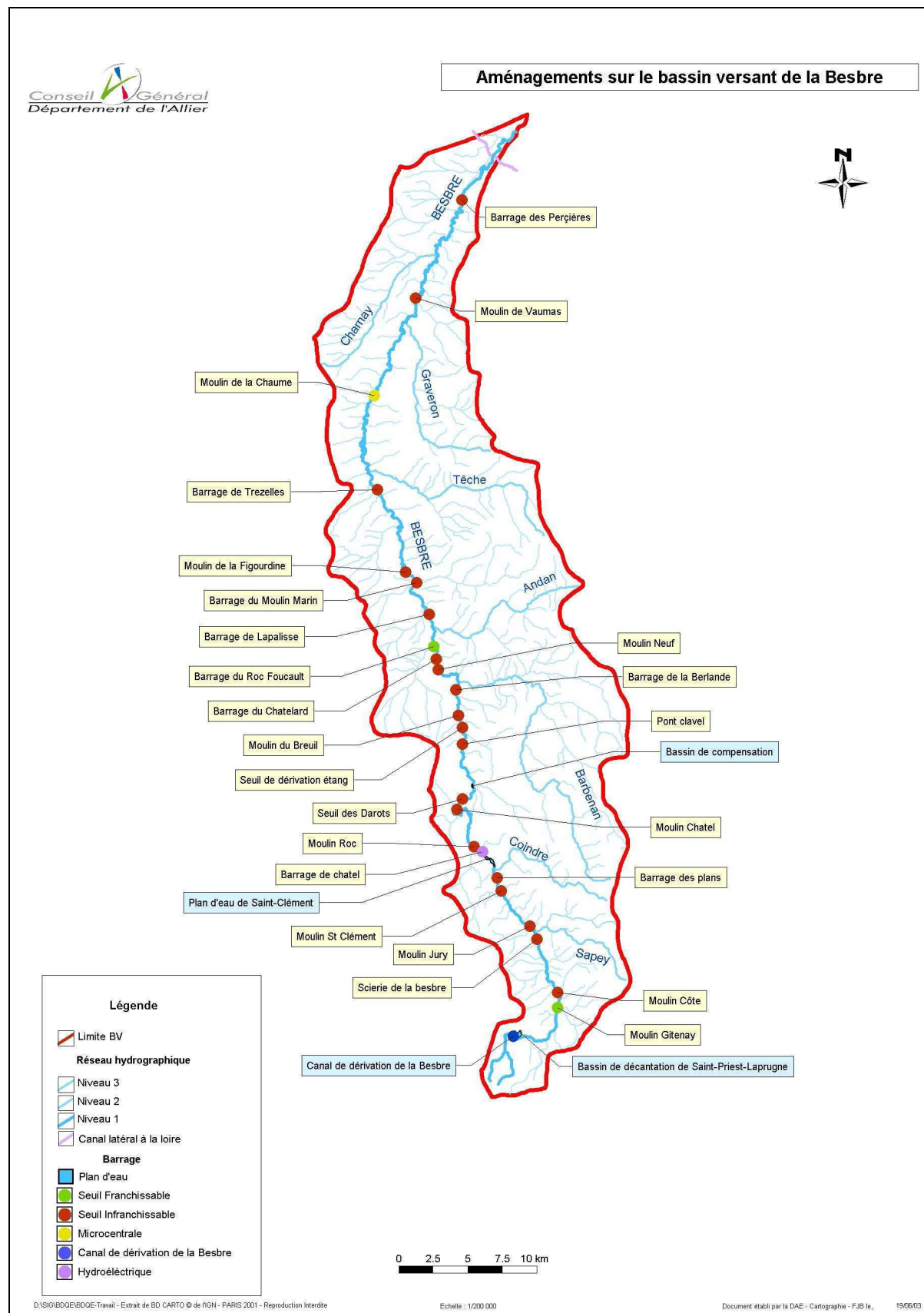
•Rejets domestiques et industriels : d'après la typologie ROM, les rejets domestiques mal traités sont souvent responsables de concentrations importantes en azote et phosphore, ce dernier étant l'élément limitant des blooms planctoniques à l'origine du phénomène d'eutrophisation. Les forts taux de matières en suspension (MES) à l'aval des rejets sont aussi problématiques et ces pollutions « mécaniques » sont une préoccupation majeure pour la fonctionnalité des milieux.

•Ouvrages sur les cours d'eau :

-seuils et barrages : ils entraînent une réduction localisée du débit. La gestion par éclusées d'un complexe hydroélectrique implique des variations brusques de débit qui réduisent la capacité d'accueil du cours d'eau pour les biocénoses aquatiques.

-les étangs et plans d'eau : le ROM dégage les impacts suivants : modifications de la thermie de l'eau, eutrophisation, diminution de la teneur en oxygène, élévation de la ligne d'eau (ralentissement et homogénéisation des écoulements), augmentation de l'évaporation (accentuation de l'étiage). A titre d'exemple, sur le bassin Loire-Bretagne, une surface de retenue de 10 000 m<sup>2</sup> engendre une évaporation moyenne de 0,4 L/s. [Malavoi J.-R., 2003] Les digues d'étangs constituent un obstacle à la montaison ou la dévalaison. Lors des vidanges de plans d'eau il y a une diminution de la transparence de l'eau, un transport de fines (risques de colmatage du substrat à l'aval), et des risques de toxicité (alcalinisation, nitrites,...). L'impact des étangs est d'autant plus critique sur les têtes de bassins où les peuplements aquatiques (en particulier piscicoles) se retrouvent perturbés voire dégradés. On retrouve alors souvent le gardon (*Rutilus rutilus*), la perche soleil (*Lepomis gibbosus*), le brochet (*Esox lucius*) à la place des espèces naturellement présentes que sont le chabot (*Cottus gobio*), la truite commune (*Salmo trutta fario*), le vairon (*Phoxinus phoxinus*),...

Annexe 7 : principaux ouvrages transversaux présents sur le cours de Besbre [Jallet I., 2003]



*Annexe 7 bis : franchissabilité des ouvrages à l'aval du barrage de Saint-Clément pour l'anguille et la truite commune ; expertise d'après la méthodologie ONEMA de P. Steinbach, 2005.*

Nom de l'ouvrage	X	Y	Chute à l'étiage (m)	Franchissabilité pour la montaison	
				Anguille	Truite
Les Persières	703059	2168622	1,9	3	4
Min De Vaumas	699645	2161547	1,4	2-	4
Jaligny	696716	2154539	2,4	4+	5
Trézelles	696926	2147711	2,2	3	4
Min de la Figourdine	698959	2141772	1,8	3	4
Min Marin	699787	2140986	2	4+	4
Lapalisse (brèche récente)	700683	2138712	1,2	0	2
Roc Foucaud	700934	2136621	1,2	2	3
Chatelard	701172	2135485	1,2	2+	3
Min Neuf (brèche récente)	701322	2134755	2,2	1	1
Pouzoux	702190	2134360	1,5	2	4
« Chez Jean »	702595	2133285	1	2	3
Min du Breuil	702773	2131433	1,6	2	4
Seuil de dérivation du Breuil	702742	2131357	0,5	1-	2
Min Clavel	703070	2129396	1,6	3	4
Retenue de compensation du complexe EDF	703832	2126464	3,5	3	4
Darots	702972	2125470	1,4	2+	3
Min de Chatel	702684	2124500	0,6	2	2
Moutet	702569	2124499	1,2	2+	2
Gouyon	702664	2124258	0,4	0+	1
Min du Roc	703905	2121882	1,1	1+	2
Barrage EDF de St-Clément	704462	2121575	25	5	5

Classe	Qualification	Critères de base	Equivalence avec dispositif de franchissement
<b>0</b>	Absence d'obstacle	Ouvrage ruiné, effacé ou sans impact	
<b>1</b>	Obstacle franchissable sans difficulté apparente	La libre circulation du poisson est assurée à tout niveau de débit dans des conditions de température permettant la migration	Dispositif de franchissement efficace
<b>2</b>	Obstacle franchissable mais avec risque de retard	L'ouvrage a un impact en situation hydraulique limitante ou en conditions thermiques défavorables	Dispositif de franchissement relativement efficace, mais insuffisant pour éviter les retards migratoires
<b>3</b>	Obstacle difficilement franchissable	L'impact de l'ouvrage est important dans des conditions moyennes (module et températures favorables)	Dispositif de franchissement insuffisant
<b>4</b>	Obstacle très difficilement franchissable	L'impact de l'ouvrage est tel que le passage du poisson n'est possible qu'en situation exceptionnelle (hydraulicité supérieure à 2 ou 3, par rapport à la valeur du module inter-annuel)	Dispositif de franchissement très insuffisant
<b>5</b>	Obstacle infranchissable	L'ouvrage est étanche pour la circulation du poisson, y compris en période de crue	

Grille d'évaluation des obstacles à la montaison en 6 classes de franchissabilité [Steinbach P., 2005]

Annexe 8 : synthèse RNROE pour les quatre masses d'eau du bassin de la Besbre

**RNROE** Evaluation de la probabilité de Respect des Objectifs Environnementaux par masse d'eau

Code ME: FRGR0208a Cours d'eau: BESBRE

Localisation: LA BESBRE ET SES AFFLUENTS DEPUIS LA SOURCE JUSQU'A LA RETENUE DE SAINT-CLEMENT

Mise à Jour le 27/11/2007

Description masse d'eau	Données Milieu			Hydomorphologie	Perturbations physico-chimiques	
	Risque NROE 2015 - Simulation				Risque NROE 2015 - Synthèse	
Qualité actuelle	2003		2006	2015		
	Qualité mesurée	Qualité retenue	Perturbation	Qualité mesurée	Risque retenu	Causes du risque et du doute
<b>Etat écologique</b>						
Biologie						
Macropolluants					Respect des objectifs	---
Nitrates					Respect des objectifs	---
Surplus Agricole					Respect des objectifs	---
<b>Etat chimique</b>	---	---	---	NR		
Pesticides	---	---	---	---	Respect des objectifs	---
Typologie Cultures	---	---	---	---	Respect des objectifs	---
Micropol. hors PEST	---	---	---	---	Respect des objectifs	---
PERTOX	---	---	---	---	Respect des objectifs	---
<b>Hydro-morphologie</b>						
Hydrologie					Respect des objectifs	---
Morphologie					Respect des objectifs	---

Légende

CT OK  
CTT ME regroupée avec TPCEok respect hydro et morpho  
08/11/07 voir pb de rejets de mines à l'amont à traiter en 2008

A propos...

**RNROE** Evaluation de la probabilité de Respect des Objectifs Environnementaux par masse d'eau

Code ME: FRGR0208b Cours d'eau: BESBRE

Localisation: LA BESBRE DEPUIS LA RETENUE DE SAINT-CLEMENT JUSQU'A LA CONFLUENCE AVEC LE BARBENAN

Mise à Jour le 27/11/2007

Description masse d'eau	Données Milieu			Hydomorphologie	Perturbations physico-chimiques	
	Risque NROE 2015 - Simulation				Risque NROE 2015 - Synthèse	
Qualité actuelle	2003		2006	2015		
	Qualité mesurée	Qualité retenue	Perturbation	Qualité mesurée	Risque retenu	Causes du risque et du doute
<b>Etat écologique</b>	---	---	---			
Biologie	---	---	---			
Macropolluants					Respect des objectifs	---
Nitrates					Respect des objectifs	---
Surplus Agricole					Respect des objectifs	---
<b>Etat chimique</b>	---	---	---	---		
Pesticides	---	---	---	---	Respect des objectifs	---
Typologie Cultures	---	---	---	---	Respect des objectifs	---
Micropol. hors PEST	---	---	---	---	Respect des objectifs	---
PERTOX	---	---	---	---	Respect des objectifs	---
<b>Hydro-morphologie</b>						
Hydrologie					Délai/actions supplémentaires	Hydrologie;
Morphologie					Doute	Continuité;

Légende

ct :retenue edf avec tronçon court circuité hydro en jaune. Désignation en MEFM  
CTT renouvellement de concession en cours augmentation du débit réservé est prévu , la désignation en MEFM ne se justifierait pas dans ce contexte à voir pour l'instant risque pour hydro (voir éclusées à l'aval de l'ouvrage) 7/11/07 suppression MEFM mis en doute pour morphologie

A propos...

**Agence de l'eau Loire - Bretagne**

## Evaluation de la probabilité de Respect des Objectifs Environnementaux par masse d'eau

**Code ME** : FRGR0209    **Cours d'eau** : BESBRE

**Localisation** : LA BESBRE DEPUIS LA CONFLUENCE DU BARBENAN JUSQU'A SA CONFLUENCE AVEC LA LOIRE

**Type ME**  
 ME naturelle  
 MEFM  
 MEA

**Mise à Jour le 27/11/2007**

Description masse d'eau	Données Milieu			Hydomorphologie		Perturbations physico-chimiques	
	Risque NROE 2015 - Simulation			Risque NROE 2015 - Synthèse		Risque NROE 2015 - Synthèse	
Qualité actuelle							
	2003			2006	2015		
	Qualité mesurée	Qualité retenue	Perturbation	Qualité mesurée	Risque retenu	Causes du risque et du doute	
<b>Etat écologique</b>							
Bilogie							
Macropolluants					Respect des objectifs	---	
Nitrates					Respect des objectifs	---	
Surplus Agricole			Très Faible				
<b>Etat chimique</b>	NR			R			
Pesticides					Doute	Apport Pest. ;	
Typologie Cultures							
Micropol. hors PEST					Respect des objectifs	---	
PERTOX			Très Faible				
<b>Hydro-morphologie</b>							
Hydrologie					Délai/actions supplémentaires	Hydrologie;	
Morphologie					Délai/actions supplémentaires	Lit mineur; An.Lit majeur; Continuité;	
					Délai/actions supplémentaires	Hydrologie; Lit mineur; An.Lit majeur; Continuité;	

**Légende**

CT auvergne pesticides en doute et hydro en jaune  
 CTT passes a poissons à prévoir (seulement deux ouvrages équipés sur les 18 (deux masses d'eau concernées )extractions et débit réservé en cours de définition pour alimentation canal du centre risque pour morpho et hydro, doute pour pesticides?(pas noté en réunion )

**Manipulation de la base**  
 Sélectionner  
 Trier  
 Edition de remarques

**Exploitation de la base**  
 Fiches RNR0E  
 Statistiques MECE  
 Statistiques MEPE

[A propos...](#)

**Agence de l'eau Loire - Bretagne**

## Evaluation de la probabilité de Respect des Objectifs Environnementaux par masse d'eau

**Code ME** : FRGR0210    **Cours d'eau** : BARBENAN

**Localisation** : LE BARBENAN ET SES AFFLUENTS DEPUIS LA SOURCE JUSQU'A SA CONFLUENCE AVEC LA BESBRE

**Type ME**  
 ME naturelle  
 MEFM  
 MEA

**Mise à Jour le 27/11/2007**

Description masse d'eau	Données Milieu			Hydomorphologie		Perturbations physico-chimiques	
	Risque NROE 2015 - Simulation			Risque NROE 2015 - Synthèse		Risque NROE 2015 - Synthèse	
Qualité actuelle							
	2003			2006	2015		
	Qualité mesurée	Qualité retenue	Perturbation	Qualité mesurée	Risque retenu	Causes du risque et du doute	
<b>Etat écologique</b>							
Bilogie							
Macropolluants					Respect des objectifs	---	
Nitrates					Respect des objectifs	---	
Surplus Agricole			Très Faible				
<b>Etat chimique</b>	---			---			
Pesticides					Respect des objectifs	---	
Typologie Cultures			Très Faible				
Micropol. hors PEST					Respect des objectifs	---	
PERTOX			Très Faible				
<b>Hydro-morphologie</b>							
Hydrologie					Respect des objectifs	---	
Morphologie					Respect des objectifs	---	
					Respect des objectifs	---	

**Légende**

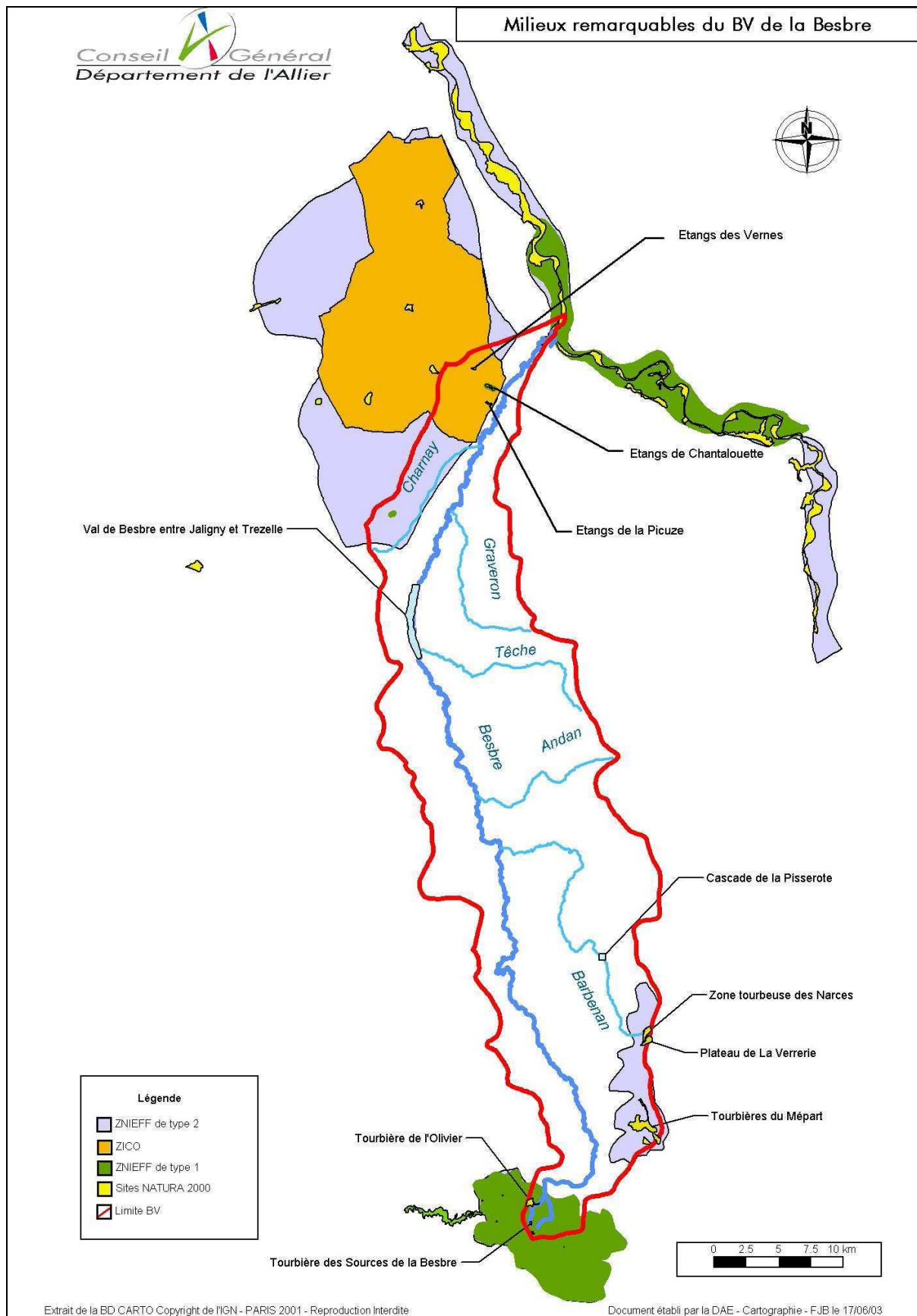
CT OK si non réalisation du barrage AEP  
 CTT ME regroupée avec TPCE ok. si non réalisation de retenue sur la rivière.(étude de besoins en cours)

**Manipulation de la base**  
 Sélectionner  
 Trier  
 Edition de remarques

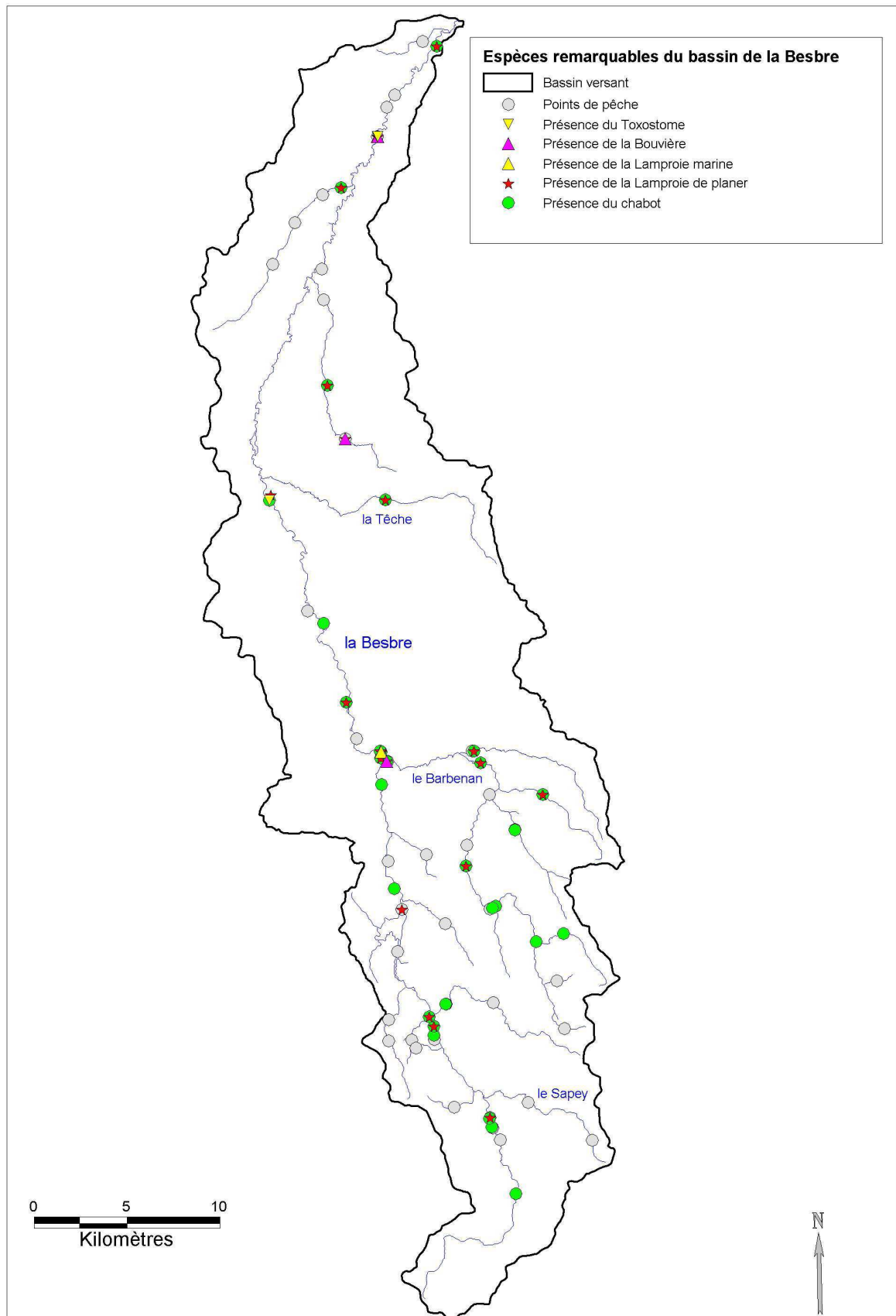
**Exploitation de la base**  
 Fiches RNR0E  
 Statistiques MECE  
 Statistiques MEPE

[A propos...](#)

Annexe 9 : milieux naturels remarquables du bassin de la Besbre [Jallet I., 2003]



Annexe 10 : espèces de l'ichtyofaune inscrites à l'annexe II de la directive Habitats dont la présence est connue sur le bassin de la Besbre (entre 1980 et 2007)



Annexe 11 : calcul des moyennes mobiles symétriques pour l'analyse des séries chronologiques  
[Palm R., 1992]

Considérons, par, exemple la moyenne mobile des précipitations (P) relative à l'année 1980. Cette moyenne mobile est obtenue de la façon suivante :

$$P_{1980} = (1/6)*(P_{1977}/2+P_{1978}+P_{1979}+P_{1980}+P_{1981}+P_{1982}+P_{1983}/2)$$

Le calcul est réitéré pour chaque année et on obtient ainsi une série chronologique qui est plus courte que la série initiale. En effet, la procédure de calcul présentée ci-dessus ne permet pas de déterminer les moyennes mobiles relatives aux trois premières et aux trois dernières années. Ainsi, pour les précipitations, les graphiques proposés s'échelonnent de 1974 à 2004.

Ce calcul des moyennes mobiles symétriques pour l'analyse des séries chronologiques présente un inconvénient important lorsqu'il y a des données manquantes dans la série. Ce problème s'est notamment retrouvé pour les débits. Afin de garder un minimum de points, la moyenne mobile a alors été calculée avec seulement l'année précédente et l'année suivante, soit  $Q_{1980} = (1/2)*(Q_{1979}/2+Q_{1980}+Q_{1981}/2)$ . Le lissage des fluctuations est alors moins bon mais la méthode reste quand même très avantageuse comparativement à une simple succession de données temporelles brutes.

Dans tous les cas la nouvelle série obtenue permet de visualiser la tendance générale. Celle-ci peut-être estimée par l'ajustement d'une fonction mathématique, à l'aide des techniques de régression. Cette opération peut devenir délicate en cas de tendance non linéaire. De plus, vu les absences de données dans plusieurs séries et vu que nous ne souhaitons pas faire d'extrapolations, cette partie de l'analyse n'a pas été réalisée.

Annexe 12 : classes de description de la ripisylve et de la granulométrie retenues dans le cadre du protocole CarHyCE (source : version provisoire du protocole CarHyCE)

Absence	
Isolée	
Espacée- régulière	
Bosquets éparses	
Semi-continue	
Continue	

*Classes de description de la continuité longitudinale de la ripisylve à l'échelle de la station*

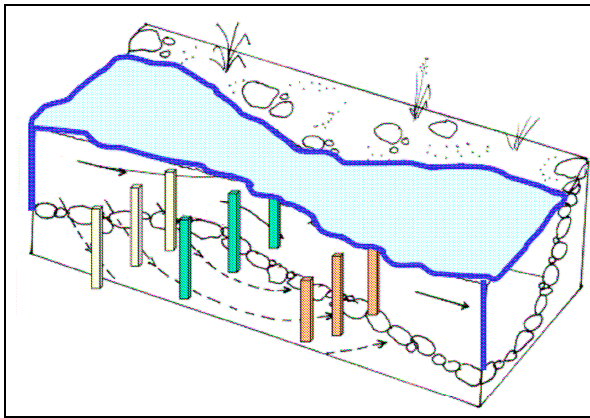
*Distinction de la ripisylve entre le talus de rive et le haut de rive sur chaque rive de chaque transect*

Nom de la classe granulométrique	Classes de taille (diamètre en mm perpendiculaire au plus grand axe)	Code utilisé
Rochers	> 1024	R
Blocs	256-1024	B
Pierres Grossières	128-256	PG
Pierres Fines	64-128	PF
Cailloux Grossiers	32-64	CG
Cailloux Fins	16-32	CF
Graviers Grossiers	8-16	GG
Graviers Fins	2-8	GF
Sables Grossiers	0,5-2	SG
Sables Fins	0,0625-0,5	SF
Limons	0,0039-0,0625	L
Argiles	< 0,0039	A

*Echelle granulométrique de Wentworth (1922) modifiée [Malavoi et Souchon, 2002]*

Conformément à la codification Sandre, ces mesures granulométriques sont réalisées perpendiculairement au plus grand axe de l'objet. C'est donc la plus grande largeur du substrat qui est mesurée et non sa longueur.

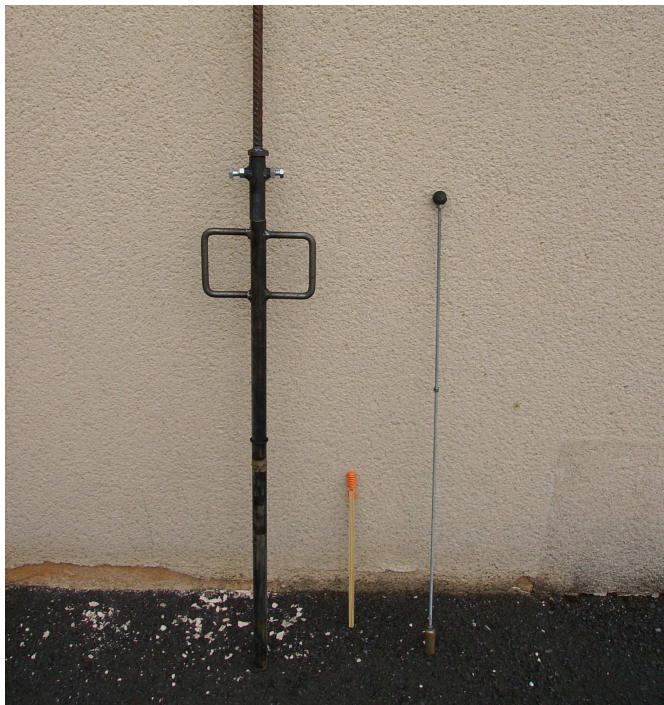
Annexe 13 : prototype proposé pour la mise en place des substrats et positionnement de ces derniers dans le cadre du protocole CarHyCE



Répartition des 9 substrats  
(8 mm\*8 mm\*300 mm) sur un radier  
(source : version provisoire du protocole CarHyCE)



Mise en place d'un substrat en milieu de radier  
(station de Trézelles) (cliché personnel)

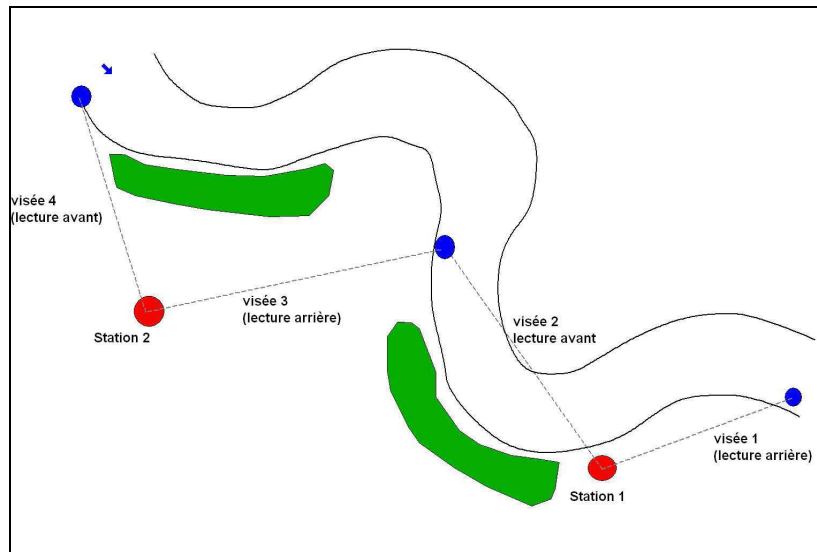


Prototype proposé pour la mise en place des substrats  
(cliché personnel)

A gauche : fer à béton (diamètre = 16 mm, longueur = 125 cm) ; inséré dans le tube muni de poignées (diamètre intérieur du tube = 21 mm, diamètre extérieur = 27 mm et longueur = 90 cm). La bague soudée sur le fer à béton permet de tenir le tube sans avoir recours à une pince étau. Un joint caoutchouc est enfilé sur le tube, il suffit de le placer 30 cm au dessus de la ligne d'eau avant d'enfoncer. Dès que celui-ci atteint l'eau, la profondeur convient.

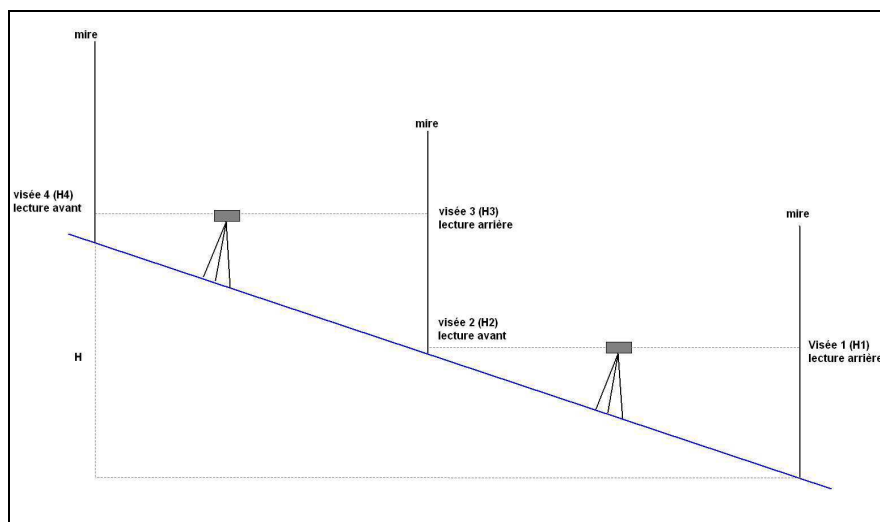
Au centre : bâtonnet avec le fil électrique spiralé. Avant de relever le tube, la tige filetée (à droite), dont l'extrémité colle au plus près du diamètre intérieur du tube, est insérée. Elle permet de vérifier que le bâtonnet est bien descendu jusqu'à la longueur voulue. De plus elle évite toute remontée intempestive de ce bâtonnet lorsque le tube est sorti du substrat.

Annexe 14 : principe de calcul de la pente de la ligne d'eau sur une station à l'aide d'une mire et d'un niveau [d'après le travail de J. Bouchard]



Dans l'exemple ci-dessus, la configuration du cours d'eau ainsi que la présence d'une ripisylve imposent de faire deux mises en station pour le niveau.

Le niveau permet d'évaluer des différences par rapport à l'horizontale. Les lectures qui se font à l'inverse du sens de cheminement (visée 1 et visée 3) sont appelées « lecture arrière », celle qui se font dans le sens de cheminement sont appelées « lecture avant ».

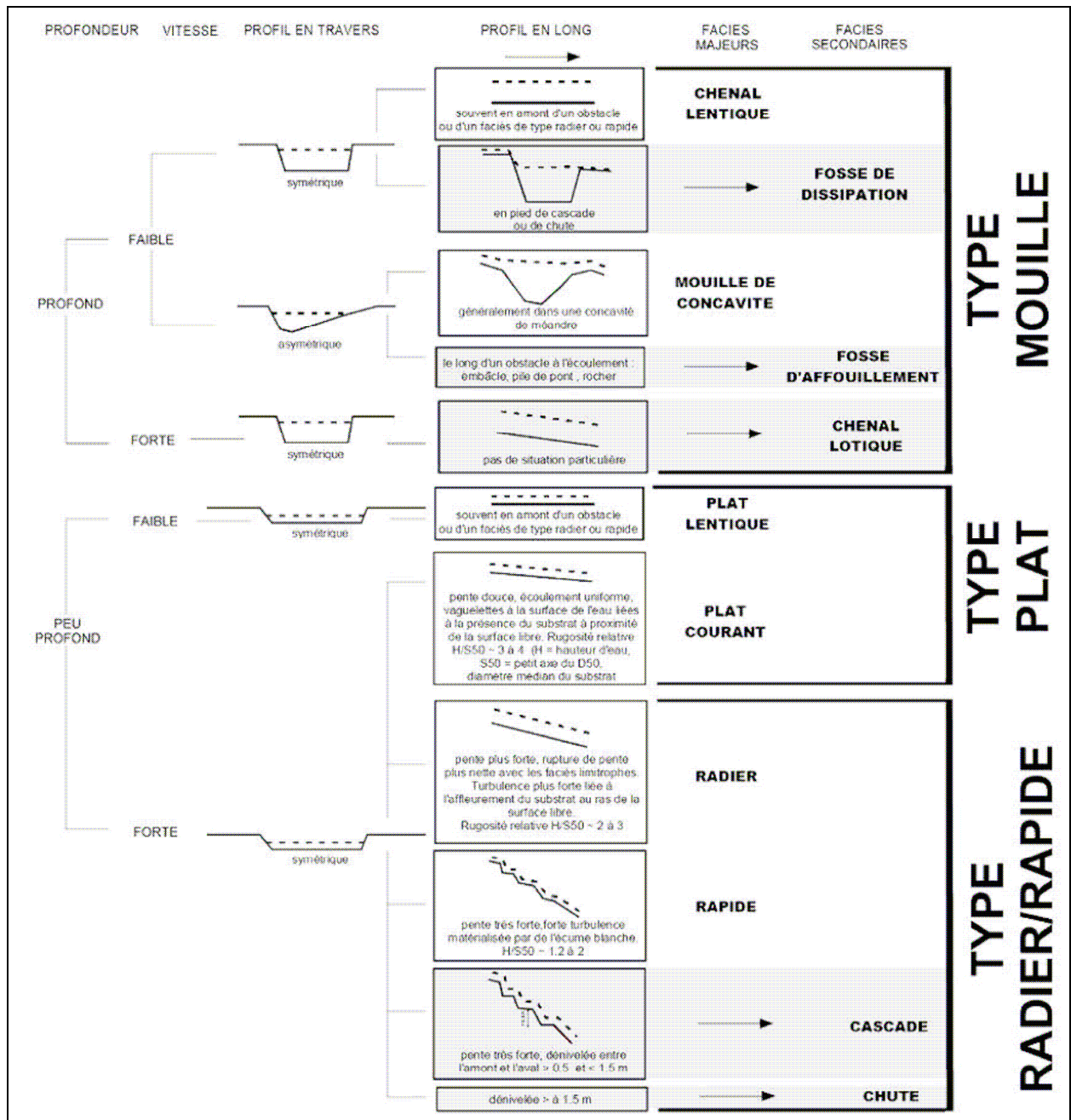


La différence d'altitude entre le point aval et le point amont ( $\Delta H$ ), est obtenue par la somme des lectures arrière à laquelle on soustrait les lectures avant.

Afin d'obtenir la pente de la ligne d'eau et non celle du fond, sur le terrain, la mire est positionnée en surface de l'eau (en berge ou au centre du chenal si les écoulements le permettent). A contrario, si la mire repose sur le fond, il suffit de soustraire la lame d'eau à chaque lecture.

Ainsi, dans l'exemple ci-dessus la différence d'altitude est égale à :  $\Delta H = (H1 + H3) - (H2 + H4)$ . La pente de la ligne d'eau est alors obtenue en rapportant ce  $\Delta H$  à la longueur de la station (mesurée au toposil ou au télémètre).

Annexe 15 : clé d'identification des principaux faciès d'écoulement. Modifié d'après Malavoi et Souchon, 2002. Les variables « profondeur » et « vitesses » sont qualifiées par rapport aux caractéristiques moyennes de la station.



Annexe 16 : fiche terrain réalisée pour la collecte des informations associées à un transect

FICHE TRANSECT		Station n°		Transect n°			
Largeur plein bord (l <sub>pb</sub> )	m		Hauteur berge rive D	m			
Largeur mouillée (l <sub>m</sub> )	m		Hauteur berge rive G	m			
Faciès	RR	PL	Mo				
Banc de dépôt	Oui	Non					
Points du transect	Profondeur	Granulo	Substrat add (abris)	Abris en eau		Abris en eau Qmoy	
Point berge D				oui	non	oui	non
1				oui	non	oui	non
2				oui	non	oui	non
3				oui	non	oui	non
4				oui	non	oui	non
5				oui	non	oui	non
6				oui	non	oui	non
7				oui	non	oui	non
8				oui	non	oui	non
9				oui	non	oui	non
10				oui	non	oui	non
Point berge G				oui	non	oui	non

**RIVE DROITE DU TRANSECT**

Nature matériaux rive D	MN	TV	ER	MA
Structure matériaux rive D	MC	MNC		
Berge d'érosion rive D	Oui	Non		

**Ripisylve rive D :**

Stratification **talus** rive D

dominante	Arborée (Ar)	Arbustive (Ab)	Herbacée (He)	Rien (Ri)
accessoire 1	Arborée (Ar)	Arbustive (Ab)	Herbacée (He)	Rien (Ri)
accessoire 2	Arborée (Ar)	Arbustive (Ab)	Herbacée (He)	Rien (Ri)

Stratification **haut** de rive D

dominante	Arborée (Ar)	Arbustive (Ab)	Herbacée (He)	Rien (Ri)
accessoire 1	Arborée (Ar)	Arbustive (Ab)	Herbacée (He)	Rien (Ri)
accessoire 2	Arborée (Ar)	Arbustive (Ab)	Herbacée (He)	Rien (Ri)
Type végétation <b>talus</b> rive D	Naturelle (Na)	Exogène (Ex)	Plantée (PI)	Rien (Ri)
Type végétation <b>haut</b> de rive D	Naturelle (Na)	Exogène (Ex)	Plantée (PI)	Rien (Ri)
Epaisseur ripisylve rive D	Rideau	5 à 25 m	>25 m	Rien (Ri)

**RIVE GAUCHE DU TRANSECT**

Nature matériaux rive G	MN	TV	ER	MA
Structure matériaux rive G	MC	MNC		
Berge d'érosion rive G	Oui	Non		

**Ripisylve rive G :**

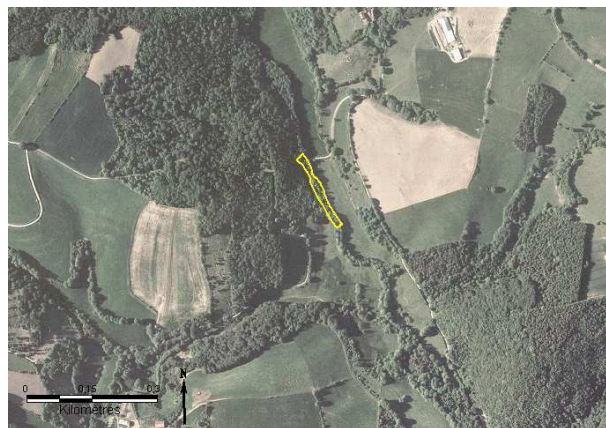
Stratification **talus** rive G

dominante	Arborée (Ar)	Arbustive (Ab)	Herbacée (He)	Rien (Ri)
accessoire 1	Arborée (Ar)	Arbustive (Ab)	Herbacée (He)	Rien (Ri)
accessoire 2	Arborée (Ar)	Arbustive (Ab)	Herbacée (He)	Rien (Ri)

Stratification **haut** de rive G

dominante	Arborée (Ar)	Arbustive (Ab)	Herbacée (He)	Rien (Ri)
accessoire 1	Arborée (Ar)	Arbustive (Ab)	Herbacée (He)	Rien (Ri)
accessoire 2	Arborée (Ar)	Arbustive (Ab)	Herbacée (He)	Rien (Ri)
Type végétation <b>talus</b> rive G	Naturelle (Na)	Exogène (Ex)	Plantée (PI)	Rien (Ri)
Type végétation <b>haut</b> de rive G	Naturelle (Na)	Exogène (Ex)	Plantée (PI)	Rien (Ri)
Epaisseur ripisylve rive G	Rideau	5 à 25 m	>25 m	Rien (Ri)

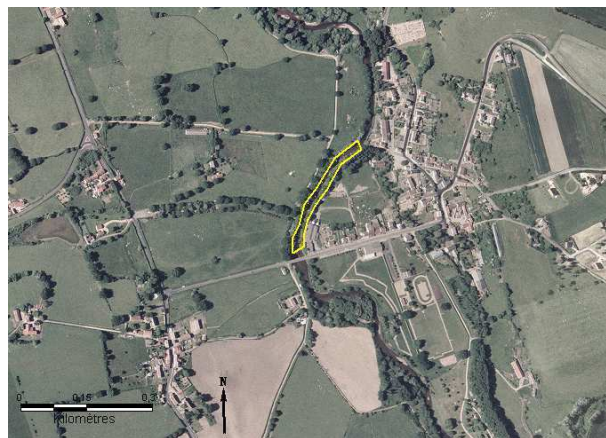
Annexe 17 : photographies aériennes des stations d'étude hydromorphologique (BD Ortho, 2002)



Station de la Chabanne



Station de Saint-Prix



Station de Trézelles



Station de Dompierre-sur-Besbre

Annexe 18 : photographies des stations d'étude hydromorphologique (clichés personnels)

**1 – La Chabanne**



Vue de l'extrémité aval de la station (radier-rapide)



Vue de l'extrémité amont de la station (radier-rapide)



Mise en place des bâtonnets dans des conditions difficiles : fort débit et substrat dur

**2 – Saint-Prix**



Vue de l'extrémité aval de la station (plat puis radier-rapide au second plan)



Vue de l'extrémité amont de la station (radier-rapide puis mouille au second plan)

### **3 – Trézelles**



Vue de l'extrémité aval de la station (moquette)



Vue de l'extrémité amont de la station (radier-rapide)

### **4 – Dompierre-sur-Besbre**



Vue de l'extrémité aval de la station  
(plat, queue de radier)



Vue de l'extrémité amont de la station (plat)



Illustration du phénomène d'érosion de berge



Accumulation d'embâcles