



# Rapport d'expertise sur les mortalités de poissons et les efflorescences de cyanobactéries de la Loue

## Étude du fonctionnement de la Loue et de son Bassin Versant

Rapport final

Aurélie Villeneuve ENS UMR Bioemco  
Jean-François Humbert ENS UMR Bioemco  
Romuald Berrebi Onema  
Alain Devaux INRA/ENTPE  
Philippe Gaudin UMR INRA/UPPA  
Françoise Pozet LDA39  
Nicolas Massei UMR CNRS 6143, IRESE A  
Jacques Mudry Université Franche-Comté  
Dominique Trevisan INRA UMR CARRTEL  
Gérard Lacroix ENS UMR Bioemco  
Gudrun Bornette LEHNA-UMR CNRS 5023  
Valérie Verneaux Université Franche-Comté

**9 Mars 2012**

---

## Résumé opérationnel

### Principales conclusions et recommandations

---

Un groupe d'experts composé de onze membres (Président : J.F. Humbert ; Animatrice : A. Villeneuve), a été créé à la demande du Préfet du Doubs et placé sous la responsabilité de l'Onema (R. Berrebi). Ce groupe de travail avait pour objectif d'expliquer les mortalités de poissons observées sur la Loue et le Doubs en 2010 et 2011, et leurs liens éventuels avec le développement simultané de cyanobactéries toxiques au fond de la rivière.

En 2010, ces mortalités ont eu lieu entre Lods et Quingey, de janvier à mai 2010, avec un pic estimé en avril. Elles ont concerné principalement la truite et l'ombre, et dans une moindre mesure, des espèces benthiques comme le chabot. En 2011 ces mortalités ont eu lieu entre Mouthier-Haute-Pierre et Lombard, de février à avril, puis de novembre à décembre.

Le groupe a travaillé pendant un an sur les données qui lui ont été communiquées par diverses sources (notamment l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée et Corse). Il a également échangé avec le groupe de travail local ainsi que la Mise élargie Loue et a participé à un séminaire sur le terrain de deux jours, pour rencontrer une partie des acteurs locaux et mieux appréhender la réalité environnementale de la Loue.

De ces travaux, il est tout d'abord ressorti que l'hypothèse initiale de l'existence d'un lien direct entre les mortalités de poissons et la présence de cyanobactéries toxiques, n'était ni supportée par les publications scientifiques consacrées à cette question, ni par les données disponibles. Fort de ce constat, le groupe d'experts a alors considéré que les deux événements (mortalité de poissons et développements massifs des cyanobactéries) n'avait pas de lien direct entre eux mais qu'en revanche, ils traduisaient un mauvais fonctionnement de la Loue. Les experts se sont donc, dans un second temps, attachés à caractériser l'état de la rivière et de son bassin versant et à rechercher les causes de ces dysfonctionnements.

#### Les principaux résultats sont les suivants :

- Les caractéristiques géologiques du bassin versant de la Loue rendent cette rivière particulièrement vulnérable aux pollutions diverses en raison de la faible épaisseur des sols et de sa nature karstique qui favorisent le transfert rapide des polluants de la surface vers les réseaux d'aquifères puis la rivière.
- La Loue est une rivière qui comporte de très nombreux aménagements (barrages et seuils) dont les impacts peuvent concerner à la fois la qualité physico-chimique (débit, température...) et

biologique (continuité écologique) de la rivière. Si ces aménagements ne sont pas récents, leur effet négatif sur le fonctionnement de la rivière a pu s'amplifier dans les dernières décennies, en lien avec les changements globaux (réchauffement climatique), mais aussi avec des changements plus locaux comme l'évolution de l'occupation des sols par exemple.

- Les données disponibles sur la qualité chimique des eaux ne permettent pas de caractériser, de façon satisfaisante, l'état trophique de la rivière et notamment les flux de phosphore et d'azote. Par ailleurs, les données disponibles sur les polluants toxiques susceptibles d'être présents dans l'écosystème sont incomplètes. Notamment, aucune information n'est disponible concernant, par exemple, les herbicides ou les micropolluants résultant des activités de traitement du bois.

- Trois communautés biologiques majeures (algues, macro-invertébrés benthiques et poissons) présentent un état très dégradé qui se caractérise par une faible diversité et/ou par des abondances limitées en regard de ce que ce milieu devrait accueillir. Par ailleurs, la disparition de certaines espèces de macro-invertébrés (des insectes pour la plupart), sensibles et exigeantes en termes de qualité du milieu, et leur remplacement par des espèces plus tolérantes à l'égard des dégradations, constitue également un indicateur fort de perturbation de la rivière. Selon les différents rapports analysés, cette dégradation des communautés biologiques s'est probablement installée au début des années 80. Elle semble traduire à la fois un excès de nutriments dans l'eau (notamment de phosphore), la présence probable de polluants d'origines diverses, et une dégradation de l'habitat de la rivière.

- Compte tenu des données disponibles, l'hypothèse la plus probable expliquant les mortalités exceptionnelles de poissons observées en 2010 et 2011, est le mauvais état général des populations résultant de la dégradation globale de la qualité de la rivière depuis plusieurs décennies. Dans un tel contexte, les poissons présenteraient une vulnérabilité exacerbée, les rendant plus sensibles aux changements de certains paramètres de leur environnement. Ce phénomène serait également amplifié à l'époque du frai, période critique pour des espèces telles que les truites et les ombres. Les paramètres incriminés n'ont pu être identifiés avec certitude, en raison de la finesse et de la dynamique des processus en jeu et des probables synergies s'exprimant entre eux. Cependant, parmi les paramètres susceptibles d'être directement impliqués, on peut évoquer la température,

l'oxygène et les pathologies piscicoles comme les Saproplègues. Le constat est identique pour les développements importants de cyanobactérie décrits en 2010. On ne dispose d'aucune donnée quantifiée permettant d'en attester le caractère exceptionnel et donc d'en rechercher les causes bien que les données de la littérature laissent à penser que les nutriments, la température, le débit et l'ensoleillement seraient des facteurs clés de leurs développements.

Pour comprendre pourquoi les communautés biologiques de la Loue présentent un état aussi dégradé, le groupe d'experts a recherché quelles ont été **les principales évolutions dans la rivière et son bassin versant au cours des dernières décennies**. De ces analyses, il ressort que :

- Si des modifications tendanciellelles significatives des débits ne peuvent être mises en évidence dans la Loue au cours des 30 dernières années, en revanche certains paramètres parmi ceux disponibles, tels que la température de l'air, la conductivité ou encore les concentrations en nitrates montrent des évolutions significatives. Si elles n'expliquent pas directement les mortalités de poissons ou le développement des cyanobactéries, ces évolutions témoignent certainement d'une modification du fonctionnement du bassin versant, en cours depuis plusieurs décennies, sous l'effet de diverses contraintes anthropiques.
- Le bassin versant a subi des évolutions significatives au niveau de son occupation et des activités qu'il supporte, les plus significatives étant (i) l'augmentation de la population humaine avec par exemple, des conséquences en termes de circulation routière et de pollutions associées, ainsi que de rejets d'eaux usées (ii) l'augmentation des quantités de lait produites et les changements dans certaines pratiques agricoles (production de lisier par exemple) qui ont probablement un impact sur les flux de nitrates dans la rivière.
- Par ailleurs, les experts précisent également que l'impact de certaines pratiques de pêche et de gestion piscicole sur l'état sanitaire des peuplements de poissons est encore méconnu. Cela concerne par exemple la pratique du « no kill » qui est probablement stressante pour les poissons ou le repeuplement de la rivière avec des poissons n'ayant fait l'objet d'aucun contrôle sanitaire et/ou génétique. Ces pratiques peuvent dans certaines conditions, fragiliser les populations piscicoles et favoriser le développement et la dispersion de pathogènes.

Considérant l'ensemble de ces observations, le groupe d'experts a proposé **trois grands types de recommandations** : (i) des recommandations opérationnelles pour tenter de redonner, au plus vite, un meilleur état à la rivière, (ii) des recommandations en terme de suivi pour se donner

les moyens d'évaluer l'évolution de l'état de la rivière et ainsi de préciser le diagnostic et (iii) des recommandations en termes d'études et de programmes de recherche pour mieux comprendre le fonctionnement de la rivière et de son bassin versant.

Concernant **les recommandations opérationnelles**, quatre actions prioritaires ont été proposées.

- La première se rapporte à une meilleure maîtrise des flux de nutriments dans la rivière (et dans son bassin versant), en particulier de phosphore et d'azote, pour limiter la production de biomasse algale et les proliférations de cyanobactéries benthiques. Si l'information et l'éducation sont sans doute importantes, elles ne seront pas suffisantes et c'est pourquoi les experts demandent à ce que soient identifiées au plus vite les principales sources de ces deux éléments (P et N) afin de prendre des mesures adaptées pour les maîtriser.
- La seconde action consiste à redonner de la liberté à la rivière, en effaçant certains seuils et barrages, afin d'accélérer son écoulement et ainsi de limiter le nombre de zones à faible débit qui favorisent le réchauffement des eaux et les proliférations d'algues et de cyanobactéries. Cette mesure permettra également d'améliorer la reproduction de certaines espèces comme la truite et l'ombre en augmentant leurs zones de ponte potentielles et en facilitant leur accessibilité.
- La troisième action concerne les pratiques de gestion de la pêche, y compris la politique de repeuplements. Si l'amélioration du fonctionnement de la rivière doit permettre le maintien de la qualité piscicole, sans avoir recours au repeuplement, il est recommandé, si cette pratique doit être maintenue, que soit engagée une réflexion, permettant de minimiser les risques sanitaires et génétiques qu'elle peut entraîner. Cela pourrait se traduire par un encadrement et un contrôle plus efficaces de l'état sanitaire et de la qualité des souches des poissons déversés.
- La dernière action proposée repose sur la vulnérabilité particulière du bassin versant de la Loue (et également d'une grande partie des cours d'eau du Jura), du fait de son caractère karstique et de la faible épaisseur de son sol. Cette vulnérabilité demande, pour garantir un bon fonctionnement des cours d'eau, un degré d'exigence plus élevé concernant les activités humaines polluantes. Globalement, il s'agit de minimiser le risque environnemental lié à toutes les activités humaines polluantes, qu'elles soient d'ordre agricole, sylvicole, urbaine ou industrielle. Pour chacune des activités à risque, une cartographie des zones du bassin les plus vulnérables devrait être dressée afin de mieux cibler les actions de gestion, à l'image de ce qui est pratiqué par les agriculteurs pour les plans d'épandage. Cette cartographie pourrait être

accompagnée de l'élaboration de guides de bonnes pratiques permettant de minimiser les sources de pollution, notamment sur ces zones vulnérables. Des actions d'information et d'éducation ciblées seraient également indispensables pour informer les professionnels mais également les collectivités et les particuliers, de cette vulnérabilité et des conséquences qu'elle peut avoir pour les rivières. Enfin, le respect des mesures réglementaires et la mise en œuvre d'opérations de contrôle orientées sur les pratiques jugées les plus à risque permettront de finaliser ce travail.

Concernant **les recommandations en termes de suivi**, la première recommandation du groupe d'experts est de créer un Conseil Scientifique qui associera des scientifiques, des acteurs locaux et des représentants de l'Etat pour définir et coordonner l'ensemble des suivis réalisés sur la rivière et son bassin versant. Le groupe d'experts a en effet unanimement constaté, que s'il existe beaucoup de données sur la Loue, leur faible qualité (essentiellement liée à leur hétérogénéité), a considérablement limité leur exploitation et donc la compréhension des phénomènes. Il sera donc de la responsabilité de ce Conseil Scientifique de centraliser les données disponibles et d'en définir les modalités de diffusion. Concernant les suivis, le groupe d'experts recommande :

- De mieux caractériser la qualité physico-chimique de l'eau notamment en complétant les mesures ponctuelles par des mesures en continu de certaines substances. Par ailleurs de nombreux contaminants dont la présence est suspectée du fait des activités humaines en cours sur le bassin, mais encore non documentée, devront faire l'objet d'un suivi spécifique pour déterminer le risque qu'ils constituent pour les communautés biologiques.
- De définir avec la plus grande attention les stratégies d'échantillonnage qui seront mises en place pour le suivi des communautés biologiques. En effet, de la qualité de cet échantillonnage dépendra totalement la qualité des analyses produites et donc la capacité à fournir des réponses aux questions posées.
- De mieux suivre les différentes activités humaines et les pressions qu'elles entraînent, afin de caractériser plus précisément le lien entre ces pratiques et l'état de l'écosystème. Ces données sont en effet essentielles pour mener à bien un diagnostic et pour évaluer le résultat des mesures de gestion prises.

**Les recommandations sur les travaux de recherche** ont comme objectif d'obtenir rapidement des éléments de réponses à des questions prioritaires, relatives au fonctionnement et à l'évolution de la Loue et de son bassin versant. Cinq domaines clés ont été identifiés:

- Mieux connaître les impacts des toxiques sur les poissons. Il s'agit notamment d'évaluer la pression

génotoxique exercée par les toxiques sur les organismes aquatiques;

- Mieux connaître les impacts de la pollution par l'azote sur les organismes aquatiques. Il s'agit de mettre en évidence l'impact de cette pollution sur les macroinvertébrés benthiques (insectes) et sur le fonctionnement global de la chaîne alimentaire par traçage de la signature isotopique de l'azote;
- Mieux connaître l'historique de la dégradation de la Loue et de ses affluents. Pour cela, il est possible de travailler sur les sédiments des lacs du plateau du Jura qui constituent de véritables archives concernant les pollutions organiques (azote, phosphore et carbone). L'étude de ces sédiments permettrait de comprendre la dynamique temporelle de la dégradation des cours d'eau de la région.
- Mieux comprendre le déterminisme des proliférations de cyanobactéries et de leur toxicité. Les conditions environnementales conduisant au développement massif de cyanobactéries toxiques pourront être identifiées sur la base des suivis des biomasses de cyanobactéries mis en place dans la rivière, couplés à des expérimentations spécifiques concernant l'expression des gènes conduisant à la production de toxines.

### **Composition du groupe d'experts**

**Responsable Onema** de l'expertise : R. Berrebi (Onema Vincennes)

**Président**: J.F. Humbert (ENS UMR Bioemco)

**Animatrice scientifique**: A. Villeneuve (ENS UMR Bioemco)

**Experts** : G. Bornette (LEHNA-UMR CNRS 5023 – Université de Lyon 1), A. Devaux (LEHNA-UMR CNRS 5023 USC INRA IGH), P. Gaudin (UMR INRA/UPPA ECOBIOP), G. Lacroix (ENS UMR Bioemco), N. Massei (UMR CNRS 6143, IRESE A Université de Rouen), J. Mudry (Laboratoire Chrono-Environnement – Université Franche-comté), F. Pozet (LDA39, Poligny), D. Trevisan (INRA UMR CARTELE), V. Verneaux (Laboratoire Chrono-Environnement – Université Franche-comté)

# Rapport d'expertise sur les mortalités de poissons et les efflorescences de cyanobactéries de la Loue

## Contexte général de l'expertise et présentation de la structure du rapport

La Loue est une rivière emblématique de la Région Franche-Comté qui a été caractérisée, au sens de la DCE (voir encadré), par un bon état biologique et une bonne qualité chimique de ses eaux. Ce diagnostic établi en 2010 par la DREAL et l'Agence de l'Eau s'est appuyé (i) sur les analyses des peuplements de macroinvertébrés, de macrophytes et de diatomées qui révélaient la présence de peuplements stables et équilibrés, caractéristique d'une bonne qualité physico-chimique de l'eau et d'une grande qualité d'habitat, et (ii) sur les analyses physico-chimiques de l'eau qui ne semblaient pas montrer de signes d'eutrophisation (excès de nutriments) du cours d'eau ou de pollution majeure par des phytosanitaires et/ou des métaux lourds.

Malgré ce bon état établie au sens de la Directive Cadre sur l'Eau, des mortalités de poissons ainsi que des développements importants de cyanobactéries benthiques (c'est-à-dire fixées sur des substrats en fond de rivière) sont signalés de façon récurrente depuis quelques années sur la Loue, et de façon plus aiguë au printemps 2010, sur un tronçon allant de la source jusqu'à la commune de Quingey. Ces mortalités semblent avoir touché aussi bien des Salmonidés (truite commune et ombre commun) que des petites espèces benthiques (chabot et loche franche). Suite à ces phénomènes une étude réalisée en 2010 par le bureau d'étude Aqua-Gestion à la demande de l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse, concluait que la présence massive de cyanobactéries benthiques productrices d'une neurotoxine était très probablement à l'origine des mortalités de poissons observées en 2010 dans la Loue.

Le lien proposé entre les mortalités de poissons et les proliférations de cyanobactéries a suscité une forte réaction et une mobilisation très importante de la population locale et des médias. De nombreux articles ont paru dans la presse régionale et nationale et plusieurs manifestations pour « sauver » la Loue ont été organisées. Une plainte contre X, pour destruction de faune aquatique, atteinte au milieu, pollution et toutes autres infractions qui seront mises en évidence dans cette affaire, a même été déposée par la Commission de Protection des Eaux de Franche-Comté qui s'est constituée partie civile.

Dans ce contexte, le Préfet du Doubs a mandaté l'Onema pour conduire une expertise afin d'identifier les causes des mortalités de poissons et

### Qu'est-ce que la DCE ?

Face à toutes les pressions exercées sur les écosystèmes aquatiques continentaux et à la nécessité d'évaluer leurs impacts, les autorités européennes, ont adopté, en octobre 2000, la Directive Cadre sur l'Eau (DCE). Cette Directive a comme objectif ambitieux d'atteindre le bon état écologique des masses d'eau superficielles et souterraines à l'horizon 2015. Cet état écologique est évalué par rapport à une situation de référence, à partir de trois critères : les paramètres physico-chimiques, la qualité biologique et l'hydromorphologie.

La qualité physico-chimique est évaluée par rapport à la présence de :

- Macro-polluants. Il s'agit de la « pollution classique » : matières en suspension (MES) ou nutriments (nitrates/nitrites, phosphates...)
- Micro-polluants minéraux (métaux lourds tels que mercure, cadmium, plomb...). Ces polluants peuvent être d'origine naturelle et/ou anthropique.
- Micro-polluants organiques d'origine anthropique : biocides, pesticides, médicaments...

La qualité biologique est estimée par rapport à la présence et à l'état de quatre grands groupes biologiques : les poissons, les invertébrés, la flore aquatique et le phytoplancton. Cette estimation est réalisée via des indicateurs spécifiques, standardisés et normalisés. Sur ce plan, la DCE laisse chaque Etat membre libre de choisir ses indicateurs. Actuellement la France dispose de trois indices répondant aux critères de la DCE : l'IBD (Indice Biologique Diatomées), l'IBGN (Indice Biologique Global Normalisé) et l'IPR (Indice Poisson en Rivière), ceux-ci ayant été conçus pour évaluer une population par rapport à une référence. Pour combler les écarts entre les différents indicateurs utilisés par les Etats membres, des harmonisations sont en cours.

L'hydromorphologie consiste à étudier le régime hydrologique, la continuité de la rivière et ses conditions morphologiques (profondeur, largeur, rives...).

des proliférations de cyanobactéries, dans le but de proposer des actions pour empêcher que de tels événements ne se reproduisent dans les prochaines années. Cette expertise centrée sur la Loue devait également intégrer, dans la mesure du possible, le cours d'eau du Haut Doubs, sur lequel des mortalités avaient également été constatées.

Elle devait aussi s'attacher à développer une vision comparative avec des cours d'eau voisins comme le Cusancin ou le Dessoubre, où aucune mortalité de poissons ni aucun développements importants de cyanobactéries n'ont été observés (voir courrier entre la Préfecture et l'Onema).

Pour répondre à cette demande, l'Onema a constitué un Groupe National d'Experts en février 2011, sachant qu'une telle expertise demandait de développer une vision systémique du fonctionnement de la rivière, intégrant à la fois son fonctionnement naturel et les multiples impacts induits par les aménagements et les différentes activités humaines du bassin versant. Pour ce faire, onze scientifiques issus de diverses Universités et Instituts ont été réunis de manière à rassembler l'ensemble des compétences nécessaires à ce travail (hydrologie, hydrogéologie, chimie de l'eau, écotoxicologie, pathologie des poissons, écologie aquatique...). Ce groupe a travaillé sous la présidence de Mr. J.F. Humbert et a bénéficié d'une animation scientifique et technique assurée par Mme A. Villeneuve.

L'expertise, menée durant 1 an (de février 2011 à février 2012) a été conduite sur la base des différents rapports d'études et données disponibles. Il était prévu dès le début de cette expertise, que le groupe d'experts n'engagerait aucune nouvelle étude. En revanche, lorsque la qualité et la quantité des données disponibles le permettaient, de nouvelles analyses ont été conduites afin de les exploiter plus en profondeur.

Cette expertise a également bénéficié d'échanges réguliers avec le groupe d'experts locaux piloté par l'Agence Rhône-Méditerranée et Corse et Mr V. Porteret, ainsi qu'avec la « Mise élargie Loue » réunie sous l'égide du Préfet. Un séminaire de travail, organisé sur le bassin versant de la Loue en juin 2011, avec l'aide de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée et Corse et de la Direction Départementale des Territoires du Doubs a également permis aux experts de mieux appréhender la réalité du terrain et en premier lieu, la complexité du système karstique de la Loue, et de questionner sur leurs pratiques, les différents acteurs présents sur le bassin.

Le rapport issu de tous ces travaux présente de manière synthétique sous forme de questions/réponses les principaux résultats acquis au cours de l'expertise. Ce type de présentation a été choisi à la fois pour sa vertu pédagogique mais également pour donner un juste reflet de la progression de la réflexion du groupe d'experts.

Les premières questions (questions 1-5) s'attachent essentiellement, à décrire et à comprendre les deux événements de mortalité de poissons et du développement de cyanobactéries et à analyser différentes hypothèses « simples » pouvant expliquer la survenue de ces deux événements, sachant qu'une attention particulière a été portée sur le lien entre les pathologies

retrouvées sur les poissons, leur mortalité et la présence de cyanobactéries toxiques.

Suite à cette analyse et pour des raisons qui seront expliquées dans le rapport, le groupe d'experts a rapidement considéré que les mortalités de poissons et le développement massif des cyanobactéries n'avaient probablement aucun lien direct mais qu'ils traduisaient plutôt une dégradation de l'état de santé de la Loue sans doute très ancienne.

En conséquence, les réflexions du groupe se sont axées sur l'identification des facteurs et des processus qui ont pu conduire à des modifications du fonctionnement de cet écosystème et à ces deux événements. Dans ce but, nous avons tenté, de comprendre le fonctionnement global de l'écosystème Loue et de son bassin versant, et d'identifier les principales évolutions qui sont survenues en leur sein, au cours des dernières décennies. Cette analyse, synthétisée dans la question 6, a été conduite sur les différents paramètres physico-chimiques et hydrologiques, ainsi que sur les différentes pressions et activités humaines du bassin versant. Elle a été complétée par une étude de l'évolution des principales communautés d'organismes aquatiques peuplant la Loue (macro-invertébrés benthiques, macrophytes, poissons).

Ce diagnostic a permis au groupe d'experts de proposer des scénarios ayant pu conduire aux mortalités de poissons et au développement massif des cyanobactéries observés en 2010/2011 (question 7).

Il a semblé important au groupe d'experts de proposer des protocoles de suivis et des actions de recherche (questions 8 et 9) pour mieux comprendre le fonctionnement et les évolutions de la Loue mais aussi pour mieux cerner les raisons de la survenue des mortalités et des développements de cyanobactéries. Enfin, le groupe d'experts propose diverses mesures pour tenter d'éviter que de tels événements ne se reproduisent (question 10).

## **1. Quels sont les événements ayant conduit à cette expertise ?**

L'événement ayant déclenché cette expertise est celui d'un épisode de mortalité de poissons sur la Haute Loue en 2010, sur un secteur compris entre Lods à l'amont de la rivière, et Quingey à l'aval. Cet événement a eu lieu de janvier à mai 2010, avec un pic estimé en avril. Les mortalités ont concerné principalement la truite commune (*Salmo trutta*) et l'ombre commun (*Thymallus thymallus*), et dans une moindre mesure, des espèces benthiques comme le chabot (*Cottus* sp.) et la loche franche (*Barbatula barbatula*). Le constat du caractère massif de ces mortalités de poissons, était fondé sur la base d'observations et de collectes de poissons effectuées ponctuellement sur la Loue par les agents de l'Onema et de la

Fédération Départementale de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique du Doubs, mais aussi par des pêcheurs et des riverains. Il a ensuite été relayé par un bilan sanitaire réalisé à la demande du Syndicat mixte de la Loue (Rapport de synthèse « mortalités piscicoles sur la Loue », LDA 39, 2010), sans qu'aucune évaluation chiffrée de mortalité ou de morbidité ne soit cependant établie.

Un autre épisode important de mortalité a également été signalé en 2011. Contrairement à celui de 2010, cet épisode a fait l'objet d'observations régulières et rigoureuses qui ont été effectuées par un agent de l'Onema (SD 25) entre la station amont de Mouthier Haute-Pierre et la station aval de Lombard, de février à avril, puis de novembre à décembre 2011. Ce suivi se poursuit encore actuellement. Pour résumer les premiers résultats acquis, il apparaît que, toutes espèces de poissons confondues (sur un total d'environ 5000 poissons pêchés ou observés), le taux de mortalité global est estimé comme étant proche de 5%, et le taux de morbidité (calculé comme le rapport entre le nombre de poissons malades, c'est à dire de poissons présentant des lésions externes et/ou ayant un comportement anormal, et le nombre total de poissons observés) comme étant proche de 3% (Rapport de synthèse, Onema, 2011). Il faut cependant préciser que ces valeurs de mortalité et de morbidité ne sont pas représentatives de l'ensemble de la rivière ou de l'année d'étude, faute d'un plan d'échantillonnage adapté.

Il est nécessaire de rappeler que de tels épisodes de mortalité sont observés de façon récurrente depuis plusieurs années chez la truite et l'ombre sur le bassin de la Loue (et sur beaucoup d'autres rivières en France et dans le reste du monde (Baudouy et Tuffery, 1973)). Ces épisodes ont eu lieu en hiver et au printemps après la période de frai, car les poissons sont alors plus vulnérables aux agents stressants (biologique, chimique et physique). La particularité de l'évènement de 2010 tient à sa précocité, sa durée (plusieurs mois), et au fait qu'il a concerné de nombreux poissons de plusieurs espèces (Etude de la qualité piscicole sur quatre stations de la Loue, rapport Onema, 2010).

## **2. Les évènements de mortalité de poissons et de développement des cyanobactéries benthiques observés en 2010-2011 ont-ils réellement un caractère exceptionnel ?**

Compte tenu de l'absence de données chiffrées sur les mortalités de poissons dans la Loue, en dehors de celles obtenues par l'Onema en 2011, il n'est pas possible de dégager de tendance concernant l'évolution temporelle de la mortalité de poissons dans cet écosystème et de ce fait de qualifier le caractère de gravité des épisodes de mortalité enregistrés en 2010 et 2011. Il convient de rappeler que le caractère anormal de ces mortalités repose sur des observations non quantifiées et

### **Que sont les cyanobactéries ?**

Les cyanobactéries sont des micro-organismes procaryotes photosynthétiques capables de coloniser tous les types d'écosystèmes, dès lors que de la lumière est disponible. Dans les milieux aquatiques, elles se développent soit dans la colonne d'eau (vie planctonique), soit fixées à un support (vie benthique).

Les cyanobactéries possèdent des caractéristiques physiologiques et écologiques qui leur permettent, quand les conditions leur sont favorables, de proliférer au sein des écosystèmes aquatiques. Dans le cas, de la Loue, et plus généralement des rivières, les problèmes d'efflorescences de cyanobactéries concernent presque toujours des espèces ayant une vie benthique.

Les proliférations de cyanobactéries induisent des dysfonctionnements dans les écosystèmes aquatiques (perte de biodiversité, diminution des concentrations en oxygène dissous en fin de prolifération...) et elles en perturbent les usages, en raison notamment de leur capacité à produire des toxines dangereuses pour la santé humaine et animale. C'est ainsi par exemple qu'en 2003, deux chiens ayant bu de l'eau de la Loue sont morts en raison de la présence d'une cyanobactérie productrice d'une neurotoxine (Gugger et al., 2005) et qu'il en est de même depuis quelques années pour la rivière Tarn (Cadel-Six et al., 2007). Des mesures d'interdiction de baignade ou de production d'eau potable peuvent donc être prononcées lorsque de tels événements surviennent dans des plans d'eau ou des rivières utilisés pour ces usages.

réalisées essentiellement par des riverains, des pêcheurs et des agents de l'Etat. Cette remarque vaut pour les évènements récents, mais également pour ceux, plus anciens, qui ont été décrits dans la presse locale depuis les années 70 (dossier de presse fourni par la Délégation interrégionale n°9 de l'Onema). L'absence quasi-totale de données scientifiques pouvant faire l'objet d'analyses statistiques ne permet donc pas de confirmer, sans ambiguïté, le caractère exceptionnel des mortalités de poissons observées sur la Loue au cours des années récentes. Il en est de même pour les mortalités de poissons jugées anormales en 2010 et 2011 dans un autre hydrosystème franc-comtois, le Doubs dans sa partie franco-suisse à l'aval de Pontarlier, pour lequel nous ne disposons à ce jour d'aucune statistique exploitable (observation GFA, La Chaux de Fonds, mai 2010 ; Surmortalité de truites dans le Doubs frontrière : investigations du FIWI effectuées sur un échantillon de truites du Doubs en janvier 2011, rapport final, Université de Berne).

### Diversité et toxicité des cyanotoxines

Il a été démontré qu'au moins 46 espèces de cyanobactéries, planctoniques et benthiques, ont le potentiel de produire des toxines (Ernst et al., 2005). Ces toxines se caractérisent par une grande variété de structures chimiques (petits peptides, alcaloïdes...) et de mécanismes de toxicité. En fonction de leur mode d'action, les cyanotoxines sont classées en hépatotoxines (microcystines par exemple), neurotoxines (anatoxines par exemple), cytotoxines, ou encore en dermatotoxines. En terme de mortalité, les poissons sont considérés comme plus résistants que les mammifères à la présence de toxine. En effet, les DL50 pour la microcystine (dose de toxine entraînant la mort de 50% des organismes) mesurées sur la carpe et la perche sont respectivement de  $500 \mu\text{g.kg}^{-1}$  et  $1500 \mu\text{g.kg}^{-1}$  de MC-LR\* (Rabergh et al., 1991 ; Ibelings et al., 2005) alors qu'elles varient entre  $50 \mu\text{g.kg}^{-1}$  à  $300 \mu\text{g.kg}^{-1}$  de MC-LR\* pour les mammifères (effets mesurés après injection intrapéritonéale et dépendant de l'espèce testée) (Sivonen et Jones, 1999). La toxicité des neurotoxines sur les mammifères, a été largement étudiée. Ainsi, les DL50 sur souris sont respectivement de  $375 \mu\text{g.kg}^{-1}$  pour l'anatoxine-a,  $250 \mu\text{g.kg}^{-1}$  pour l'homoanatoxine,  $20 \mu\text{g.kg}^{-1}$  pour l'anatoxine-a(S) et  $10 \mu\text{g.kg}^{-1}$  pour la saxitoxine (Kuiper-Goodman, 1999). A titre de comparaison, les DL50 sur souris de la toxine botulique est de  $1,4 \mu\text{g.kg}^{-1}$  et de  $350-1000 \mu\text{g.kg}^{-1}$  pour les venins de serpents de types cobras (selon l'espèce considérée). Les cyanotoxines sont donc des "poisons" relativement puissants et on comprend pourquoi, dans l'environnement, les neurotoxines ont été identifiées comme responsables de la mort de chien (Gugger et al., 2005 ; Wood et al., 2007, 2010), de flamants roses (Krietzniz et al., 2003) et de bétail (Mez et al., 1997). Concernant les effets de ces toxines sur les organismes aquatiques et en particulier sur les poissons, les données existantes concernent exclusivement des travaux en laboratoire. Ces études permettent d'apporter une information importante sur la toxicité potentielle des cyanotoxines, mais elles ne permettent pas d'évaluer les risques réels en milieux naturels en raison des protocoles utilisés concernant par exemple l'administration des toxines (injection), les doses injectées ou la durée d'exposition. Parmi ces études, il a été par exemple montré (Ernst et al., 2006 et 2007) que les microcystines (toxines hépatiques) produites par une cyanobactérie qui prolifère dans les lacs alpins, pouvaient induire un stress physiologique et des modifications de comportement chez le Corégone. Enfin, il faut signaler que pour les neurotoxines, aucune donnée n'est disponible sur leur transfert potentiel via les réseaux trophiques.

D'autres hydrosystèmes franc-comtois comme le Dessoubre et le Cusancin, dont les bassins versants sont géographiquement proches de celui de la Loue et présentent des caractéristiques voisines (géologie et occupation des sols), n'ont pas fait l'objet de tels signalements de mortalité de poissons. Les seules données disponibles se limitent à des observations éparées émanant des agents de l'Onema en charge de la surveillance de ces cours d'eau, à l'exemple d'une mortalité piscicole « significative » recensée sur le Cusancin durant les années 1986-87, sans que l'ampleur ne soit cependant scientifiquement attestée (source Onema, après enquête auprès des agents concernés).

Comme pour les mortalités de poissons, il n'a pas été possible de confirmer le caractère exceptionnel du développement des cyanobactéries dans la Loue en 2010. En effet, en dehors d'une étude débutée cette année-là puis poursuivie en 2011, en réponse aux mortalités de poissons, aucune autre donnée quantitative sur l'importance des biofilms de cyanobactéries dans la Loue n'est disponible. Par ailleurs, la très faible qualité des données récoltées ne nous permet pas de juger réellement de l'importance de la biomasse des cyanobactéries benthiques et de la nature des espèces présentes. Pour cela, il aurait été nécessaire de mettre en œuvre une stratégie d'échantillonnage très rigoureuse, ce qui n'a pas été le cas dans cette étude.

Il faut signaler que des développements importants de biofilms à cyanobactéries ont déjà été observés dans d'autres cours d'eau français (le Tarn) ou étrangers (Nouvelle-Zélande) et que de nombreux auteurs pensent que ces événements vont se multiplier dans l'avenir. Les cyanobactéries semblent en effet favorisées par le réchauffement des eaux et l'augmentation des radiations UV et de la teneur en  $\text{CO}_2$ . De même, une diminution du débit des cours d'eau liée à la baisse des précipitations pourrait également se traduire par une augmentation de la fréquence, de la durée et/ou de l'intensité des blooms de cyanobactéries benthiques ou planctoniques (Wiedner et al., 2007 ; Paerl et Huisman, 2008).

### 3. Quelles étaient les premières hypothèses émises pour expliquer les mortalités de poissons dans la Loue en 2010 ?

En 2010, le bureau d'étude qui était en charge du suivi des cyanobactéries dans la Loue, avait présenté comme hypothèse pour expliquer les mortalités de poissons que ces derniers avaient été intoxiqués par les toxines de cyanobactéries. Par ailleurs, un lien direct entre un excès de nutriments (nitrates et phosphates) dans l'eau et la prolifération de cyanobactéries toxiques était également proposé dans cette même étude mais également par certains acteurs locaux. Enfin, l'augmentation des concentrations en nitrate et en



phosphate (bien que non quantifiée par le réseau de surveillance) avait été reliée aux activités agricoles. Ces trois hypothèses ont motivé la présente expertise et elles ont donc été examinées prioritairement.

La présence de cyanotoxines associées aux proliférations de cyanobactéries pélagiques ou benthiques a été répertoriée partout où des recherches ont été entreprises. Même si le risque sanitaire lié à la présence de ces toxines n'est plus à prouver, il a également été montré que les poissons y sont peu sensibles. C'est ainsi qu'aucun cas de mortalité de poisson directement lié à un empoisonnement par les cyanotoxines n'a été décrit en milieu naturel dans la littérature (voir encadré). Les seuls cas rapportés de mortalité piscicole liés directement aux cyanotoxines concernent des travaux réalisés en laboratoire. Par exemple, Osswald et al. (2007) ont rapporté la mort de juvéniles de carpe après 26-29 h d'exposition à des cellules entières d'*Anabaena* sp. ( $10^7$  cellules.ml<sup>-1</sup> contenant 970 µg d'anatoxine-a g<sup>-1</sup> de poids sec). Ces densités cellulaires et concentrations en toxines sont très élevées et même si elles peuvent parfois s'observer en milieu naturel lors de proliférations de cyanobactéries pélagiques formant des accumulations en surface des plans d'eau, il est extrêmement peu probable que ce soit la cas pour les poissons de la Loue. En effet, dans cette rivière, les seules cyanobactéries observées sont des espèces benthiques qui ne sont *a priori* pas consommées par les truites et les ombres. Sachant que, lors de proliférations de cyanobactéries benthiques, les concentrations en toxines dans l'eau sont toujours inférieures aux seuils de détection, l'exposition de poissons tels que l'ombre ou la truite à ces toxines peut donc être considérée comme très limitée, voire nulle. Une autre hypothèse permettant de relier les cyanobactéries à des épisodes de mortalité de poissons serait celle de l'anoxie nocturne (concentration en oxygène dissous proche de zéro). En effet, de tels phénomènes surviennent dans de nombreux plans d'eau, en fin de prolifération, lorsque la matière organique est dégradée par les bactéries. Aucun élément ne nous permet de dire qu'un tel processus puisse exister dans la Loue et provoquer des mortalités massives de poissons, même si on ne peut pas exclure l'existence de variations importantes dans les concentrations en oxygène, à certaines périodes de l'année et sur certains tronçons de la rivière. **Pour toutes ces raisons, l'hypothèse d'un lien direct entre les cyanobactéries (et leurs toxines) et les mortalités de poissons observées dans la Loue semble donc peu probable et ne constitue pas une piste prioritaire.**

#### 4. Peut-on identifier des causes « aiguës » permettant d'expliquer les mortalités de poissons ?

Lorsque des mortalités de poissons surviennent massivement et subitement dans une rivière, les deux causes qui sont le plus souvent retenues sont soit la présence d'un ou de plusieurs nouveaux agents pathogènes, soit la présence d'un ou de plusieurs polluants suffisamment toxiques pour provoquer la mort des poissons. Nous avons donc examiné ces deux pistes pour la Loue.

L'hypothèse d'une épidémie due à un agent pathogène, soit émergent, soit sélectionné par les conditions de l'environnement se devait d'être examinée en profondeur car certaines pratiques de pêche (« no kill », une pratique consistant à relâcher volontairement des poissons pêchés) ou de gestion de la communauté piscicole (reempoisonnement) sont connues comme pouvant potentiellement favoriser l'introduction et la diffusion de certaines maladies.

Au cours des événements de 2010 et 2011, une première étude a donc concerné la recherche d'agents susceptibles de provoquer les lésions caractéristiques observées sur les poissons moribonds ou morts. En effet, ces derniers présentaient quasi systématiquement des atteintes ulcératives cutanées plus ou moins profondes et préférentiellement localisées sur le dessus de la tête et les flancs (au total, 34 truites fario, six ombres, huit chabots, onze loches et deux lamproies ont été analysés en 2010, et 16 truites fario et onze ombres communs ont été analysés en 2011 (cf encadré sur le bilan des analyses effectuées en 2010 et 2011). Ces mycoses peuvent potentiellement traduire des syndromes différents qui ont tous été examinés.



Figure 1 : Photographies d'une truite mycosée (La Loue 2011)

Dans un premier temps, un examen histologique a permis d'écarter l'hypothèse d'une infection par *Aphanomyces invadans* qui est l'agent responsable de l'Epidemic Ulcerative Syndrom (EUS). Ce genre *Aphanomyces* appartient à l'ordre des Oomycètes (protistes filamenteux qui ressemblent à des champignons), et selon les critères de l'OIE (Office International des Epizooties), il est associé à une maladie, l'EUS, qui est classée comme grave. Cette maladie est encore absente du territoire français mais elle doit faire l'objet d'un contrôle obligatoire dès les premiers éléments de suspicion.

Par ailleurs, l'Ulcerative Dermal Necrosis (UDN) déjà décrite en France et associée à des mortalités de salmonidés en eau douce avec des lésions similaires (dermites ulcéreuses) (Roberts, 1993) à celles observés sur les poissons de la Loue, a également été écartée, en partie sur la base des examens histologiques et en partie sur le fait qu'elle n'a été observée jusqu'à présent que sur des espèces migratrices.

Enfin, le dernier agent étudié appartient au genre *Saprolegnia* qui est, comme *Aphanomyces*, classé dans l'ordre des Oomycètes. Il s'agit plus précisément de l'espèce *Saprolegnia parasitica*, qui est considérée comme un agent opportuniste plutôt que comme un pathogène véritable. Ce champignon ne semble pouvoir se développer qu'à la faveur d'une rupture des défenses naturelles de l'hôte, ou suite à un état physiologique conduisant à un épuisement de ses réserves. Une immunodépression est souvent associée à ce type d'infection. Ce pathogène peut cependant revêtir un caractère pathogène primaire. L'exemple de *S. parasitica* montre que si un tel caractère pathogène primaire est probable, la gravité de l'expression clinique est néanmoins largement amplifiée par la dégradation des conditions de vie des poissons. A ce jour, les éléments de caractérisation du pouvoir pathogène des *S. parasitica* isolées à partir de poissons échantillonnés dans la Loue et le Doubs n'ont pas été finalisés. Cependant, les premiers résultats obtenus par des collègues suisses sur les génomes de plusieurs souches de ce champignon isolées dans les rivières du Jura, montrent que ces souches semblent présenter un caractère monoclonal (même origine génétique). Il pourrait donc y avoir eu, dans la Loue, ainsi que dans d'autres rivières de la région, l'émergence puis la dispersion d'une nouvelle souche ayant un pouvoir pathogène élevé.

A ce jour, l'hypothèse de la survenue d'une épidémie bactérienne, virale, ou encore mycosique, comme étant à elle seule responsable des mortalités de poisson constatées, a été rejetée par le groupe d'experts sur la base des résultats d'analyses pratiquées par le LDA39 (cf encadré).

La seconde hypothèse concernant le rôle éventuel d'un épisode aigu de pollution pour expliquer les mortalités de poisson méritait elle-aussi d'être étudiée. Si l'on considère les épisodes de mortalité constatés en 2010 et 2011, il n'existe pas, dans la limite des informations portées à la connaissance du groupe d'experts, de cas officiellement documenté de pollution aiguë de nature physico-chimique (polluants organiques par exemple ou pic d'anoxie). Cependant, il convient de rester prudent sur cette absence supposée de pollution car la note de la DREAL concernant la qualité physico-chimique de la Loue datée de septembre 2010 est basée sur les seules analyses disponibles à partir du réseau de surveillance DCE (six prélèvements réalisés en février, avril, juin et

### Examens vétérinaires des poissons

L'objectif des analyses réalisées est de rechercher tous les agents pathogènes (bactéries, virus et champignons) susceptibles d'engendrer une altération de l'état de santé des poissons. Pour cela, on réalise un bilan parasitaire exhaustif externe et interne.

En 2010, les examens ont révélé la présence de parasites variés en quantité parfois massive, signant une probable altération des capacités immunitaires des poissons, notamment :

- la présence de vers du genre *Gyrodactylus sp* en quantité massive,
- des acanthocephales, des trématodes, des nématodes soit larvaires enkystés dans les organes (foie, parois digestive) soit adultes et libres dans le tube digestif.
- des cestodes liés au tube digestif
- et également des protozoaires du genre *Trichodina sp*, *Apiosoma sp*, *Chilodonella sp* sur la peau des truites fario.

La virologie n'a permis la mise en évidence d'aucun virus.

La bactériologie a permis l'isolement de bactéries saprophytes de l'environnement aquatique (*Pseudomonas fluorescens*, *Aeromonas hydrophila*, *Shewanella putrefaciens*, *Aeromonas sobria*), sans caractère invasif ou septicémique.

Les lésions cutanées présentant un duvet ou velours blanc d'enchevêtrements de mycéliums ont conduit à l'isolement de *Saprolegnia parasitica*, oomycète dont la confirmation d'identification a été réalisée ultérieurement par PCR en 2011 par l'Université de Neuchâtel, mais d'autres Saprolegniaceae ont également été isolées de ces lésions (Rapport d'analyses LDA 39, 2010).

août 2010, aux stations de Mouthier-Haute-Pierre et de Chamblay). Les conclusions apportées dans cette note étaient les suivantes : « A la station de Mouthier Haute-Pierre : on ne constate pas, sur les campagnes 2010, de pics pour les nutriments ou de matières organiques ; la Loue dans ce secteur reste de très bonne qualité vis-à-vis de ces paramètres et des seuils fixés pour l'état des eaux. L'ensemble des paramètres analysés sur la Loue à Mouthier Haute-Pierre, que ce soit au niveau des macropolluants, des métaux, des pesticides ou des micropolluants organiques ne met pas en évidence de dysfonctionnement flagrant lors des campagnes de 2010 ». Cependant, il faut noter qu'une des limites importantes de cette étude repose sur la faiblesse de l'échantillonnage (un prélèvement tous les deux mois) qui ne permettait pas de prendre en considération les éventuels « pics » de pollution survenant par exemple, après une crue.

Par ailleurs, il n'existe aucun suivi régulier des températures et des teneurs en O<sub>2</sub> dissous dans l'eau sur les stations où des mortalités ont été

constatées. Or, ces deux paramètres peuvent être à l'origine de tels phénomènes. Ainsi, depuis une trentaine d'années, des crises d'anoxie provoquant des mortalités de poisson surviennent régulièrement en été au niveau du bouchon vaseux de l'estuaire de la Loire, suite aux grands aménagements effectués dans le port de Nantes Saint-Nazaire. Ces mortalités ont provoqué un déclin des populations de poissons migrateurs amphihalins (Chaudon, 2005, Groupement d'Interet Public Loire Estuaire).

**En conclusion, il n'a pas été possible d'identifier une cause aiguë de mortalité (pathogène ou pollution chimique) qui puisse être considérée comme responsable des phénomènes observés sur la Loue en 2010 et 2011. Cependant, si l'hypothèse de la présence d'un agent pathogène semble pouvoir être écartée sur la base des analyses réalisées, l'hypothèse d'une pollution accidentelle est plus difficile à éliminer définitivement en raison de la quasi-absence de données.**

## **5. Peut-on identifier des causes permettant d'expliquer les développements importants de biofilms à cyanobactéries en 2010 ?**

Même s'il n'est pas clairement établi que les biofilms à cyanobactéries ont connu un développement exceptionnel en 2010, le groupe d'experts s'est interrogé sur les facteurs et processus qui pourraient conduire à un tel développement.

Ces facteurs et processus qui favorisent la création d'une biomasse importante en cyanobactéries benthiques dans les rivières sont encore peu connus. Cependant, les premiers éléments disponibles ainsi que les connaissances accumulées sur les cyanobactéries pélagiques laissent penser que ces processus de proliférations benthiques dépendent probablement de la disponibilité en nutriments, en particulier en phosphore, et des conditions physiques du milieu (température de l'eau, turbidité, éclaircissement et turbulence).

Les analyses des concentrations en orthophosphates ( $PO_4$ ) dans la Loue se situent toujours sous la limite de quantification, ce qui, par une lecture rapide, pourrait être interprété comme une quasi-absence de cet élément. Or, cette limite est très élevée (100  $\mu g/L$ ), sachant que des concentrations entre 30 et 100  $\mu g/L$  peuvent suffire à assurer la production d'une biomasse importante. Par ailleurs, ce résultat doit être considéré avec précaution sachant qu'il dépend de la biomasse organique des producteurs primaires présents dans la rivière et que celle-ci n'a pas été estimée dans la Loue. En effet, en présence de fortes biomasses, cet élément est utilisé par les organismes dès qu'il est biodisponible et il n'est donc jamais détecté, sous sa forme libre dans l'eau de la rivière. Enfin, il

est connu que le phosphore circule dans les rivières essentiellement pendant les événements de crues et aussi que des réserves de cet élément peuvent s'accumuler dans les sédiments. Pour la Loue, aucune donnée n'est disponible sur ces deux points. De plus, des apports locaux en phosphore (par exemple par une arrivée d'eau usée d'une habitation ou d'un groupe d'habitations ne bénéficiant pas d'un traitement collectif des eaux usées permettant d'éliminer cet élément) peuvent suffire au développement de tapis de cyanobactéries sur des zones plus ou moins étendues. Il serait donc nécessaire de réaliser une cartographie des zones de développement des cyanobactéries benthiques et d'étudier les sources de phosphore potentielles expliquant les biomasses importantes générées en ces lieux.

Concernant les conditions physiques de la Loue, l'année 2010 a présenté des températures de l'air au dessus des moyennes saisonnières (notamment pour les températures maximales) au mois d'avril et une luminosité importante. Le niveau d'étiage était relativement bas cette année (bien que des niveaux plus faibles aient déjà été enregistrés précédemment et notamment en 2009) et aucune crue n'a été enregistrée sur la Loue à partir de la mi-mars. Toutes ces conditions ont donc pu favoriser le développement des cyanobactéries.

## **6. Quelles ont été les principales évolutions de la rivière et de son bassin versant depuis les années 1970 ?**

S'il s'est révélé impossible de démontrer, en raison d'un manque de données, que les événements de 2010 et 2011 ont revêtu un caractère exceptionnel, il n'est absolument pas remis en question par le groupe d'experts

(i) que l'état des peuplements piscicoles de la Loue est très altéré, ce qui peut conduire à des mortalités exceptionnelles à certaines périodes, (ii) et que les cyanobactéries forment des biomasses importantes dans certaines parties de la rivière. Il nous a donc semblé important de considérer, dans la suite de nos travaux, quelles ont été les principales évolutions de la Loue et de son bassin versant au cours des dernières décennies.

### **6.1. Caractéristiques géologiques de la Loue et de son bassin versant**

Au sein du massif jurassien, la Loue est le seul cours d'eau qui draine transversalement les structures géologiques, de la Haute-Chaine aux plateaux externes et à la Bresse.

La source de la Loue est la troisième source française, avec un débit moyen de 10  $m^3/s$ . La source de son principal affluent, le Lison, est la quatrième, avec un débit moyen de 8,5  $m^3/s$ .

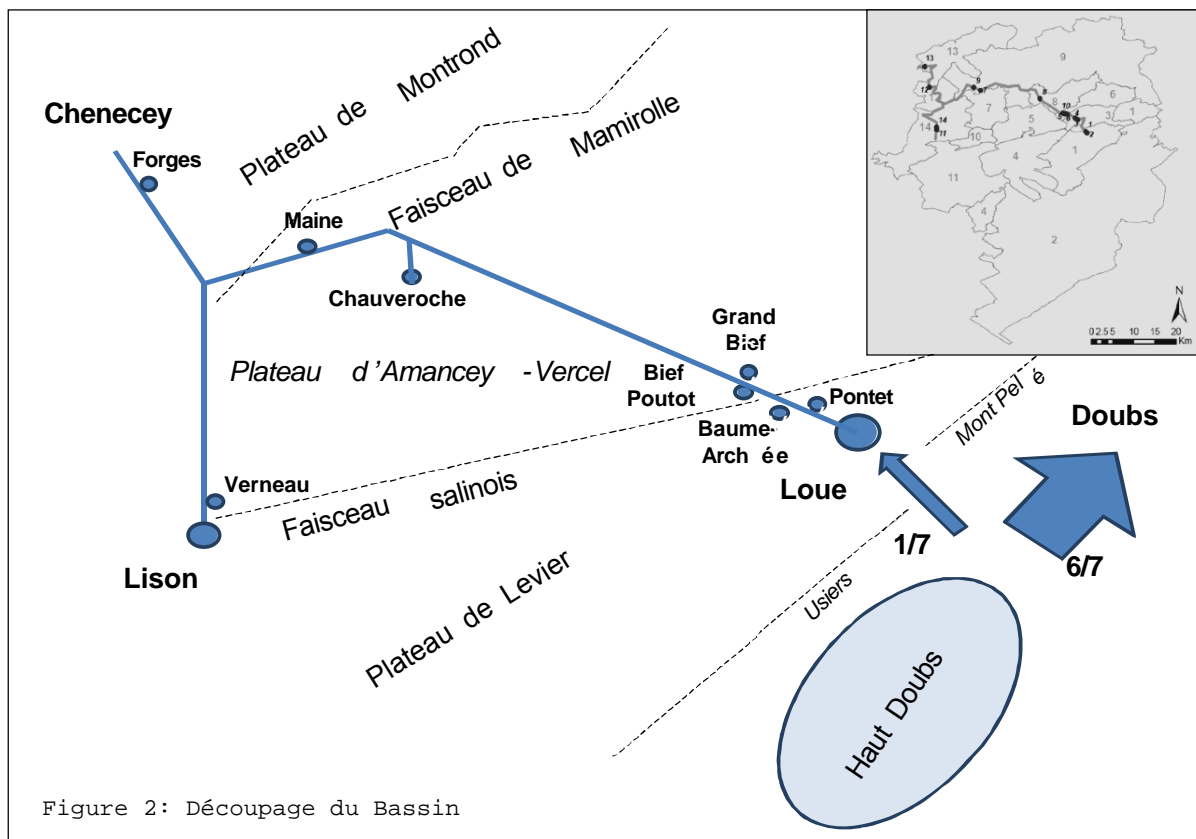


Figure 2: Découpage du Bassin

### Le Karst

Le karst est un paysage caractéristique des massifs calcaires, dans lequel la dissolution a élargi les fissures d'origine tectonique. Le milieu est donc très hétérogène, avec coexistence de zones très ouvertes, très perméables (drains) et de zones peu perméables (blocs). Les eaux souterraines rencontrées et exploitées dans ce milieu peuvent être vulnérables aux activités humaines (pollution), principalement pour les raisons suivantes :

- l'infiltration de cours d'eau de surface peut être concentrée et brutale (infiltration ponctuelle et massive de la pollution),
- les sols et terrains de couverture peuvent être absents ou très peu épais (absence de rétention des polluants),
- les vitesses de transfert de l'eau, qui peuvent atteindre jusqu'à plusieurs kilomètres par jour, ne permettent pas la mort biologique des microorganismes pathogènes, et l'ouverture des drains ne permet pas leur filtration.

Le « bassin versant » de la Loue à Chenecey-Buillon est connu grâce aux résultats des nombreux traçages d'essais effectués (encadré et Figure 2). Il a pour particularité d'être à géométrie variable en fonction de la saison, car il comprend à la fois la totalité d'un bassin propre, alimenté d'une part par l'infiltration diffuse sur les plateaux et plis jurassiens, de l'autre par des pertes totales de cours d'eau (réapparaissant à la source du Lison), et une partie variable du bassin du Haut-Doubs à Pontarlier. Ces pertes sont totales en basses eaux et partielles en moyennes et hautes eaux.

La problématique des charges anthropiques passe donc par une spatialisation par sous-bassin, avec une contribution partielle (15%) de la haute vallée du Doubs, qui inclut la principale agglomération du bassin : Pontarlier.

Afin de spatialiser les principales contraintes anthropiques (rejets d'assainissement, épandages de sous-produits de l'élevage) et de leur évolution temporelle, le bassin a été découpé en 15 sous-bassins sur la base des résultats des traçages d'essais et du compartimentage géologique (par les failles, les cœurs anticlinaux imperméables, les points hauts structuraux).

### 6.2. Hydrologie/climat/température de l'eau

Les conditions hydrologiques sont contraintes en permanence par des variations, naturelles ou d'origines anthropiques, pouvant conduire à des changements significatifs des régimes des rivières et plus généralement de toute masse d'eau. Les changements d'origines anthropiques correspondent au changement dans l'occupation des sols (imperméabilisation de surface, déboisement/déforestation, développement des terrains agricoles), à l'usage des eaux de surface ou souterraines (prélèvements pour l'eau potable et pour l'irrigation) et aux divers aménagements associés à ces derniers, et enfin à la gestion du risque hydrologique ou même aux activités récréatives (barrages, retenues, bassins tampons et écrêteurs de crues, moulins...). A ces sources potentielles de changement des régimes hydrologiques, s'ajoutent les changements naturels environnementaux, liés notamment aux oscillations climatiques. Ces oscillations affectent naturellement le climat global (i.e. à l'échelle planétaire). Mais dans

la problématique actuelle du réchauffement climatique, un point particulièrement important concerne l'identification de l'impact de changements et d'oscillations climatiques de large échelle, sur les phénomènes climatiques et hydrologiques observés à des échelles plus limitées (régionales voire locales). En effet, le climat global est connu pour varier suivant diverses échelles de temps : annuelles, interannuelles ou pluridécennales. Les variations hydrologiques peuvent enregistrer ces fluctuations qui, dans certains cas, expriment une part non négligeable de la variabilité hydrologique totale. Par exemple, il a pu être démontré récemment que le débit de la Seine était affecté par une variabilité interannuelle également caractéristique des fluctuations du climat de l'Atlantique Nord (Massei et al., 2010). Ces fluctuations se retrouvent également dans les variations du niveau des nappes. C'est ainsi que dans l'aquifère de la Craie de Haute-Normandie, certains piézomètres affichent des variations de charge hydraulique expliquées à plus de 90% par les fluctuations interannuelles (Slimani et al., 2009). Il est bien sûr démontré que les précipitations sur le bassin versant de la Seine portent également la marque de ces oscillations climatiques interannuelles (Massei et al., 2010).

Il apparaît donc capital de définir dans quelle mesure les rivières franc-comtoises, dont la Loue, peuvent être affectées par des variations hydrologiques interannuelles associées à des hauts ou bas niveaux exceptionnels, en lien avec les fluctuations climatiques. L'objectif est donc ici de caractériser les variations hydrologiques sur le long terme (plusieurs dizaines d'années) sur les différentes rivières à partir de séries de données de débits moyens journaliers, de manière à : (i) replacer les observations faites sur le court terme (les dernières années) dans un cadre plus large et de (ii) vérifier certaines hypothèses fortes sur l'évolution du régime hydrologique (e.g.: « les débits sont de plus en plus faibles, notamment au printemps »).

Les rivières ayant fait l'objet de l'analyse sont le Doubs à Goumois de 1956 à 2011, la Loue à Chenecey de 1955 à 2011, la Loue à Vuillafans de 1954 à 2011, le Dessoubre à Saint Hippolyte de 1958 à 2011, le Cusancin à Baume-les-Dames de 1969 à 2011. Les données utilisées sont des données journalières de débit (débit moyen journalier) fournies par la DREAL Franche-Comté.

Le protocole utilisé pour chaque rivière a consisté à (i) redéfinir le régime hydrologique (modules mensuels interannuels) à partir de la période d'observation disponible de manière à clairement identifier les périodes crue/étiage pour chaque rivière; (ii) analyser les tendances dans les débits des rivières à partir des données journalières, mais également pour les données agrégées par mois de l'année, pour les périodes de hautes-eaux (HE) et d'étiage (BE) sur toute la période; (iii) analyser les variations du signal hydrologique par l'étude du contenu spectral des séries temporelles

hydrologiques, de façon à caractériser les changements de la variabilité hydrologique dans le temps, et de détecter l'expression possible de phénomènes climatiques de large échelle.

Enfin, une analyse de l'évolution de la température journalière de l'air (température moyenne journalière à Besançon) a été réalisée afin de fixer le cadre régional de l'évolution climatique dans les dernières décennies. L'étude de la température de l'eau des rivières n'a pas pu être entreprise en raison du peu de données disponibles et de leur mauvaise qualité (fréquence d'échantillonnage trop variable pour être utilisé dans une telle analyse). Toutefois, sur le moyen/long terme (échelles annuelles et supérieures), les variations de la température de l'eau suivent généralement des tendances similaires à celles de l'air.

### Traitement mathématique des données de débits

Pour l'analyse des tendances des séries de débit aux pas journalier, mensuel, annuel par et par saison et par crue/étiage, des tests de régression linéaire et des tests de corrélation de rangs de type Mann-Kendall ont été employés. Pour l'étude des tendances mensuelles ou saisonnières, les données journalières ont été agrégées par mois ou par saison : des séries au pas annuel pour chaque mois ou pour chaque saison ont donc été produites, et testées statistiquement pour détecter d'éventuelles tendances dans l'évolution des débits pour l'intégralité de la période d'observation. Ici, les hautes et basses eaux correspondent respectivement aux mois de Décembre à Mars (DJFM) et Juillet à Septembre (JAS). L'objectif recherché est de définir si certains mois de l'année ou certaines saisons sont plus particulièrement affectés par des évolutions généralisées des débits. L'analyse des variations des signaux hydrologiques a été réalisée par des méthodologies issues du traitement numérique du signal (ici, transformée en ondelettes continue) dans le but de déterminer les modalités de l'évolution des débits au cours du temps. Il s'agit ainsi de détecter l'expression de variations non nécessairement périodiques, ou bien d'oscillations dont l'amplitude est susceptible de changer fortement au cours du temps. Nous recherchons dans ce cas des liens possibles entre les variations hydrologiques et les grandes oscillations du climat dans l'Europe de l'Ouest, en prenant comme témoin de ces dernières l'indice NAO (Oscillation Nord-Atlantique). Cet indice décrit un phénomène atmosphérique d'oscillation Nord-Sud entre deux masses d'air dont les centres d'action sont localisés près de l'Islande et au-dessus de la zone atlantique sub-tropicale, des Açores à la péninsule ibérique (Hurrell, 2003). Il varie de +5 à -5 selon la différence des anomalies de pression entre l'anticyclone des Açores et la dépression d'Islande. Aux phases positives de l'indice NAO sont associées des conditions hydrologiques plus humides que la normale dans le Nord de l'Europe, et plus sèches au Sud (et inversement lorsque l'indice est négatif). D'après Hurrell (1995), entre 1899 et 1994, la NAO explique plus de 36% de la variabilité du champ de pression durant les mois d'hiver (décembre à mars) pour la région 20°N-80°N et 90°W-40°W.

**D'une manière générale, et contrairement à l'idée véhiculée d'après la perception locale, les débits ne semblent pas connaître de diminution importante sur le long terme.** Peu de tendances statistiquement significatives ont pu être détectées, que ce soit pour la Loue ou pour les autres rivières étudiées, pour les débits journaliers, mois par mois ou aux échelles saisonnières, sur toute la période d'étude. On relève ainsi une diminution faiblement

significative pour certains mois d'été pour le Doubs, le Cusancin, la Loue à Chenecey, la Loue à Vuillafans. Une augmentation des débits en hautes eaux et une diminution en étiage sont parfois constatées, mais elles ne sont jamais statistiquement significatives.

Plus spécifiquement pour la Loue à Vuillafans, une analyse de l'évolution du nombre de jours de faible débit ne montre aucune tendance particulière. En revanche, certaines périodes semblent être associées à des étiages plus prononcés : ainsi, depuis les années 1990, le nombre de jours de débit inférieur à  $4.07 \text{ m}^3/\text{s}$  est relativement élevé par rapport à la moyenne sur 1954-2011 (18,4 jours par an en moyenne sur ces dernières décennies) ; en 1997, 1998, 2003 et 2009, le nombre de jours de débit inférieur à  $4.07 \text{ m}^3/\text{s}$  a respectivement été de 23, 55, 87 et 99 jours. Toutefois, ce même phénomène a pu également être observé par le passé avant les années 90 où le nombre de jours de faible débit a ainsi atteint 139, 115, 67 et 59 jours, respectivement en 1962, 1964, 1971 et 1972 (figure 3). L'occurrence de périodes de débit relativement faible souligne ainsi l'intérêt de considérer l'existence de fluctuations sur le long terme dans les variations hydrologiques, plutôt que d'envisager seulement un aspect tendanciel dans l'évolution hydrologique des rivières de la zone d'étude.

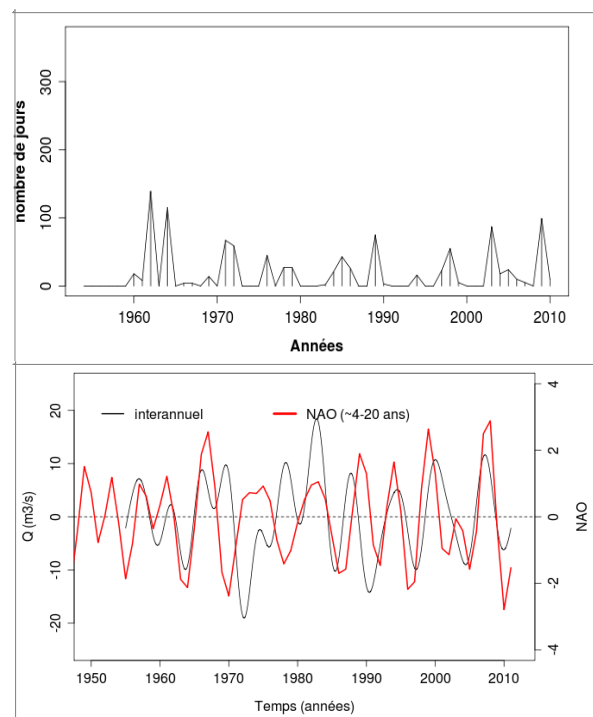


Figure 3. En haut : graphique représentant le nombre de jours de débit inférieur à  $4.07 \text{ m}^3/\text{s}$  (débit moyen en étiage sur la période étudiée) ; en bas : évolution des débits et des oscillations de l'indice NAO de 1950 à 2010.

Grâce au recours à des techniques d'analyse du signal hydrologique, des oscillations de long terme (interannuelles et supérieures) ont pu être mises en évidence. Ces fluctuations affectent de la même manière toutes les rivières, et sont représentatives de l'évolution des cumuls annuels de débit. Une

comparaison avec les variations de l'indice climatique NAO (North Atlantic Oscillation) montre que ces mêmes oscillations y sont détectées, comme dans les signaux hydrologiques, ce qui tend à démontrer l'impact assez net des variations climatiques de large échelle sur les variations du débit moyen annuel des rivières (figure 3bas). Quantitativement, les fluctuations hydrologiques interannuelles forcées par les oscillations à large échelle du climat provoquent des variations des débits moyens de +/-10 à 20 m<sup>3</sup>/s. Dans la mesure où ces fluctuations apparaissent sur des échelles interannuelles, une observation réalisée sur quelques années successives seulement, peut, si elle n'est pas remise en perspective de l'évolution à long terme, être interprétée tantôt comme une augmentation, tantôt comme une diminution des débits moyens, selon que ces années d'observation se situent au sein de la phase croissante ou décroissante de cette oscillation de long terme. Par exemple, en 2008, un maximum interannuel de cette oscillation « hydroclimatique » a été atteint et depuis cette date, les débits (particulièrement ceux d'été) tendent à diminuer. Il semblerait d'ailleurs que l'observation d'un nombre important de jours de faible débit, comme exposé précédemment, concorde avec ces fluctuations (le nombre de jours à faibles débits semble en effet plus important pendant les périodes de bas niveaux hydroclimatiques/NAO négative).

Notons enfin que sur la base d'une chronique des températures journalières moyennes de l'air à Besançon de 1931 à 2005, il apparaît sans ambiguïté que les températures augmentent depuis 1931 de manière fortement significative, ce qui traduit un réchauffement notable de la température de l'air sur les dernières décennies et donc probablement de la température de l'eau (Moatar et Gailhard, 2006 ; Benyahya et al., 2008).

### 6.3. Qualité chimique des eaux et qualité physique du cours d'eau

Les chroniques de données physico-chimiques permettent de mettre en évidence des évolutions dans le fonctionnement des hydrosystèmes, qui peuvent être liées à des phénomènes climatiques et/ou à l'évolution des pratiques d'aménagement et d'utilisation des bassins versants par exemple. La comparaison des bassins contigus de la Loue, du Dessoubre et du Cusancin, pourrait révéler des similitudes de fonctionnement naturel et anthropique de tout l'hydrosystème.

Les données sont issues du site de l'agence de l'eau RMC et de la station de potabilisation de Chenecey. Sur la Loue deux stations ont été retenues : Chenecey-Buillon car elle correspond à la chronique la plus complète (1971-2006) et Mouthier-Haute-Pierre située sur le bassin amont de la Loue où les mortalités de poisson ont été rapportées (1982-2011). Pour compléter, nous avons également travaillé sur les données de la station

avale de Saint-Hippolyte pour le Dessoubre (1986-2011) et sur celle de Baume-les-Dames à l'aval sur le Cusancin (1975-2011). Si les périodes d'observation sont longues, les séries de données sont biaisées par une fréquence de prélèvements très hétérogène. De plus, si certains descripteurs sont relevés fréquemment (par exemple la conductivité à Chenecey : 465 valeurs), d'autres, y compris des éléments majeurs, ont été mesurés de manière trop sporadique (exemple, calcium à Chenecey : 40 analyses en 35 ans), ne facilitant pas la construction d'une vision globale de la composition et de la qualité de l'eau.

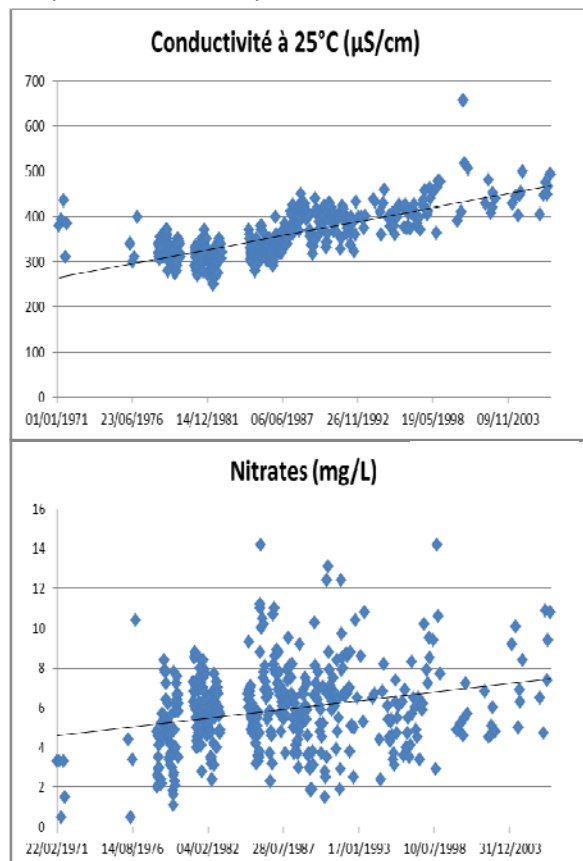


Figure 4. Evolution de la conductivité (µS/cm) et des teneurs en nitrate (mg/L) à Chenecey-Buillon de 1971 à 2006

L'analyse des chimiogrammes (figure 4) a toutefois permis de mettre en évidence des grandes tendances communes à toutes les stations échantillonnées. Ainsi, sur la chronique, on observe (i) une augmentation graduelle des nitrates (de l'ordre de 0,07 mg/L/an à Chenecey), (ii) une diminution de l'amplitude des variations (les maxima sont plus faibles) pour le phosphore, l'ammonium, et la chlorophylle, (iii) une diminution des teneurs en sulfates (iv) et enfin une augmentation significative de la conductivité électrique (de l'ordre de 5,7 µS/cm/an à Chenecey). Plus précisément, l'augmentation annuelle de conductivité est du même ordre de grandeur sur les quatre stations (4 à 5,8 uS/cm/an). En revanche, les nitrates augmentent moins sur la Loue que sur les autres rivières. Il est à noter que toutes ces tendances sont statistiquement significatives. Pour les autres

descripteurs mesurés dans le cadre des réseaux de suivis, aucune tendance n'a pu être observée.

Afin d'expliquer l'augmentation de conductivité, chaque élément majeur a été corrélé avec ce paramètre, ce qui a révélé l'existence d'une relation positive entre les variations du calcium et celles de la conductivité. En milieu karstique, une telle augmentation de conductivité n'est interprétable, en l'absence d'une augmentation massive par un polluant inorganique identifiable, que par une augmentation des éléments majoritaires de la minéralisation : calcium et bicarbonates. Une augmentation de minéralisation calco-carbonique requiert un changement dans le fonctionnement du processus de karstification, c'est-à-dire une augmentation des pressions partielles de CO<sub>2</sub> responsables de la dissolution.

Les processus fournissant le CO<sub>2</sub> nécessaire à la dissolution peuvent être pour mémoire, (i) les venues profondes de CO<sub>2</sub> (inconnues dans le massif jurassien) et l'atmosphère extérieure, (ii) l'activité biologique du sol (respiration, décomposition de la matière organique), (iii) la minéralisation des acides humiques au cours de l'infiltration, (iv) ou la minéralisation de la matière organique anthropique (assainissement, épandages agricoles). Il faut donc rechercher les causes de l'augmentation de minéralisation dans la modification de l'un des trois derniers processus. Les deux premiers ont trait à l'occupation des sols et en particulier aux modifications de pratiques culturales (retournement de prairies ?). Le dernier peut à la fois être lié aux rejets urbains (assainissement autonome mal réalisé, rejets de STEP ou déversoirs d'orage ?) et aux épandages agricoles (cheptel, augmentation des doses d'engrais organiques épandues ?). Il faut toutefois préciser que bien que significatif d'un changement dans le fonctionnement de l'écosystème de la Loue, l'augmentation de la conductivité ne peut pas être directement responsable des deux phénomènes étudiés initialement (mortalité des poissons, proliférations de cyanobactéries).

L'ensemble des activités humaines (industrielles, urbaines et agricoles) sur le bassin de la Loue ainsi que sur celui du bassin du Doubs (apport possible à la Loue via les pertes du Doubs) sont également à l'origine de la production de nombreux contaminants susceptibles d'atteindre la rivière par apport direct, par ruissellement ou encore par transport éolien. Dresser une cartographie exacte à la fois dans le temps et dans l'espace, de la contamination de la Loue est un pari impossible, compte tenu du nombre très élevé de molécules chimiques qui peuvent l'atteindre et de la fréquence des analyses disponibles.

Cependant, une étude bibliographique récente (Vacelet, 2008) permet de résumer, sur la période 2000-2008, les analyses chimiques réalisées respectivement par les conseils généraux du Doubs et du Jura, l'Agence de l'Eau RMC et le Groupe

régional pour l'étude de la pollution par les phytosanitaires des eaux et des sols (GREPPES), sur l'eau, les sédiments et les bryophytes de la Loue. Ces analyses ont permis de détecter pas moins de 123 molécules différentes dans ces trois matrices. Si l'on interprète les teneurs maximales mesurées selon le SEQ-Eau (V2, 2003), on constate que les concentrations maximales en micropolluants organiques (autres que les pesticides) sont qualifiées de bonnes à moyennes, l'exception étant un hydrocarbure aromatique polycyclique (HAP), le benzo-a-pyrène. La situation des pesticides est plus complexe car les classes de qualité peuvent varier de très bonnes à médicocres. Les données sur les métaux révèlent, quant à elles, globalement une qualité bonne à moyenne, sauf pour le chrome pour lequel on obtient un indice de qualité médiocre sur les bryophytes.

Il est également important de rappeler que la Loue est une rivière qui comporte de nombreux ouvrages qui conduisent à un ralentissement de l'écoulement et à une augmentation du nombre de zones lenticules (zones d'écoulement peu rapide). Ces ouvrages sont anciens et ne peuvent être directement désignés comme responsables des mortalités observées. Ils peuvent cependant contribuer à l'amplification d'un certain nombre de pressions anthropiques comme l'accumulation des contaminants dans les zones lenticules et dans leurs sédiments, et l'amplitude des variations de température et de teneur en O<sub>2</sub> dissous.

**Au bilan l'écosystème Loue présente selon nous, une qualité chimique de son eau que l'on peut qualifier de moyenne. Ce résultat contraste avec ceux issus de l'application de la Directive Cadre sur l'Eau, tout d'abord en raison de la prise en compte de molécules telles que les insecticides pyréthrinoïdes de synthèse et les fongicides triazolés, qui sont utilisés abondamment dans l'industrie du bois et ne font l'objet d'aucune analyse de routine. Ces molécules ont pourtant été clairement identifiées dans les sédiments à l'aval de scieries dans le département du Doubs où elles présentent une toxicité avérée pour les organismes aquatiques (Adam, 2008). Par ailleurs, comme nous l'avons signalé dans notre analyse sur les concentrations en nutriments, l'interprétation de ces données sans tenir compte de la biomasse des producteurs primaires, peut conduire à considérablement sous estimer les flux de nutriments circulant dans la rivière. En effet, une eau peu chargée en phosphore et azote peut résulter soit d'un état véritablement oligotrophe, soit d'une consommation de ces nutriments par la biomasse présente. Dans le cas de la Loue, si l'on prend en compte les biomasses des algues et des cyanobactéries présentes, les faibles concentrations en phosphore ne sont pas la signature d'un bon niveau de trophie, comme cela avait été interprété jusqu'à présent.**



#### 6.4 Evolution de la pression anthropique

Pour essayer de comprendre les évolutions observées dans la composition et la qualité chimique de l'eau de la Loue, il est nécessaire d'étudier les pressions exercées sur le bassin versant et sur la rivière en termes de population, d'agriculture, d'activités industrielles et récréatives.

##### 6.4.1. Evolution globale du bassin versant : l'agriculture

Dans le bassin versant de la Loue en 2011, l'agriculture concerne 603 exploitations agricoles représentant 539 992 ha de surface agricole utile (SAU) et 44 115 unités gros bétail (UGB) (Chambre d'Agriculture du Doubs, 2011). Ceci correspond au total à quelques 3 750 000 unités d'azote, soit 70 unités d'azote/ha de SAU produites (50% restituées au pâturage et 50 % maîtrisées). Il s'agit d'une valeur moyenne dans la mesure où une partie de la surface n'est pas épandable (protection des captages, bords des cours d'eau et dolines, etc) et que tous les îlots agricoles n'ont pas la même vocation. A cette charge organique, il convient d'ajouter la fertilisation minérale (engrais azotés), les lisiers de porcheries et les boues de stations d'épuration (pour les îlots agricoles concernés par les plans d'épandage). La livraison d'engrais azotés dans le Doubs est passée de 18 uN/ha de SAU dans les 1970 à environ 50 uN/ha de SAU au début des années 2000. Depuis 2000, les teneurs livrées ont tendance à diminuer mais elles restent deux fois plus importantes que dans les années 1970. Dans le même temps, les quantités d'engrais phosphorés livrés ont été divisées par six. Si le nombre d'UGB à l'échelle du bassin versant n'a pas connu de modifications significatives durant la dernière décennie, la productivité (en litres lait/an/vache laitière) a, quant à elle, sensiblement augmenté. Ainsi, d'après l'Institut de l'Elevage, les vaches du troupeau national de race Montbéliarde produisaient en 2006 6451 kg de lait/an/vache soit près de 1400 kg de plus que 20 ans auparavant, pour une durée de lactation très voisine. Cette augmentation de la productivité se répercute sur la charge produite par un UGB. En ce qui concerne la charge azotée, 1 UGB produisait 70 uN/an dans les années 1980 contre 85 uN/an actuellement (Chambre d'Agriculture du Doubs, 2011). Ce gain de productivité s'est traduit par une augmentation de la fertilisation (azote minéral notamment) pour la production des fourrages, passant de 18 uN/ha SAU en 1973 à 32 uN/ha SAU en 2009 dans le département du Doubs (Chambre d'Agriculture du Doubs, 2011) (figure 5). Toutes ces données chiffrées concernent uniquement le bassin versant de la Loue. Elles n'intègrent pas les données agricoles pour le Haut-Doubs qui concernent pourtant en partie la Loue, en raison des pertes de la rivière Doubs en aval de Pontarlier.

Une autre évolution significative dans le bassin versant se rapporte aux systèmes d'exploitation. Les systèmes exclusivement en fumier représentent

actuellement 77% des exploitations et 69 % des UGB sur le bassin versant de la Loue contre 23% des exploitations et 31 % des UGB (y compris les ateliers porcins) pour les systèmes à lisier ou mixtes (lisier-fumier). Les exploitations classiques de type fumier ont évolué ces deux dernières décennies vers des systèmes mixtes ou tout lisier pour deux raisons principales :

- moins de travail et de pénibilité pour les exploitants en mixte ou tout lisier,
- moindre dépendance vis-à-vis des importations de paille en système mixte ou tout lisier, sachant que la production du fromage Comté a abouti à une monoculture d'herbe (90 % de la SAU du bassin de la Loue sont occupés par des prairies) qui a conduit à un déficit de production locale de paille.

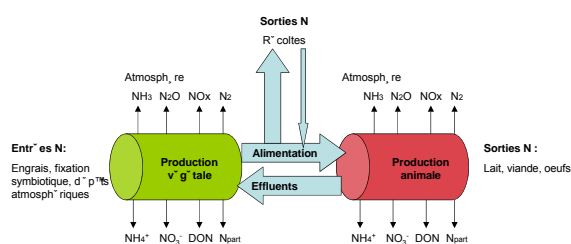


Figure 5. Circulation de l'azote dans le système de production agricole

##### 6.4.2. Evolution globale du bassin versant : l'industrie du bois

Une autre activité d'importance en Franche-Comté concerne la filière bois qui occupe une place traditionnellement importante dans l'économie régionale avec 1600 entreprises et 8000 emplois. Environ la moitié des scieries de résineux ont une activité de traitement de préservation du bois, ce qui représente 200 000 m<sup>3</sup> de bois traités par an répartis dans 68 scieries (ADIB, 2002). Sur le bassin versant de la Loue, on note la présence de 22 établissements mettant en œuvre des produits de préservation du bois relevant de la rubrique 2415 de la nomenclature des installations classées. Aucun de ces établissements ne doit rejeter d'effluent industriel directement dans la Loue. Ces installations sont soumises en vertu de l'article 65 de l'arrêté du 2 février 1998, à une surveillance de la qualité des eaux souterraines au droit du site d'exploitation. Cependant des difficultés liées à la nature karstique du sous-sol, dans la mise en œuvre de cet article, ont été rencontrées (Mise du Doubs, 2010). Les 55 solutions de traitement du bois recommandées par le Centre Technique du Bois et de l'Ameublement contiennent un panel de 13 matières actives différentes (CTBA, 2004). Parmi les molécules les plus utilisées dans le bassin versant de la Loue pour le traitement du bois, il faut citer trois substances dont l'emploi s'est généralisé durant les dernières décennies et dont la toxicité potentielle vis-à-vis de la faune aquatique est bien établie dans la littérature scientifique (Adam, 2008). Il s'agit de la cyperméthrine (insecticide pyréthriné), du

propiconazole et du tébuconazole (fongicides triazolés) pour lesquels une contamination récurrente de la rivière franc-comtoise « Drésine » et en particulier de la phase sédimentaire a été mise en évidence jusqu'à deux kilomètres à l'aval de scieries (Adam, 2008). Cette étude montre que les communautés aquatiques sont susceptibles d'être exposées de façon chronique aux produits de préservation du bois, y compris les organismes vivant plusieurs kilomètres en aval de l'aire de traitement. Si le cadre juridique et la réglementation française concernant les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement, dont relèvent les scieries, soumettent ces dernières au régime de l'autorisation préfectorale d'exploitation qui fixe les prescriptions techniques appliquées aux sites, l'aspersion des grumes sur leurs aires de stockage, notamment en forêt, est moins encadrée réglementairement. L'absence d'installations spécifiquement prévues à cet usage, ainsi que l'aspect facultatif, occasionnel et temporaire de ce type de traitement, font qu'il est à la fois très difficile d'obtenir des données relatives à ce type de traitement et par là même de le réglementer efficacement (Adam, 2008).

Il faut signaler également l'utilisation massive de Deltaméthrine sous forme de traitement insecticide par aspersion sur la peau des bovins et des ovins pour lutter contre les moustiques vecteurs de l'agent de la fièvre catarrhale ovine qui a sévi sur tout le territoire français à partir de l'été 2006 et dont la lutte obligatoire par ce produit a été instaurée dès 2007. Les conséquences en terme d'élimination de ce produit n'ont pas été recherchées mais il est à craindre que des résidus non métabolisés se soient retrouvés dans l'environnement des exploitations suite à des erreurs inévitables dans la gestion de ces produits.

#### **6.4.3 Evolution globale du bassin versant : l'urbanisme**

Une autre évolution d'un impact anthropique possible sur l'écosystème Loue concerne le trafic routier. Les statistiques de comptage de véhicules (source : DDT 25, 2011) indiquent une nette évolution du trafic automobile sur les routes situées sur le bassin versant de la Loue et en particulier l'axe D67 pour lequel il est relevé une augmentation du trafic comprise entre 24 et 94 % sur la période 1993/94-2000 en fonction de la portion de route considérée. Une des conséquences prévisibles de cette augmentation de trafic est l'apport croissant dans la rivière, par ruissellement et transport éolien, de nombreux composés. On peut citer par exemple les hydrocarbures imbrûlés, les éléments traces métalliques, et les produits organiques issus de l'abrasion des pneumatiques et de la chaussée qu'il n'est malheureusement pas possible de quantifier avec exactitude. Il est par ailleurs nécessaire d'évoquer l'apport complémentaire à la rivière par ruissellement, des sels de déneigement des surfaces routières, bien qu'il soit à nouveau difficile

de se faire une idée précise des quantités utilisées sur le linéaire concerné par cette expertise.

Une autre indication de l'augmentation d'un impact humain possible sur l'hydrosystème Loue concerne l'augmentation du volume d'effluents urbains générés sur le bassin versant de la Loue voisin de + 30% (exprimé en DBO<sub>5</sub>) sur la période 1999-2008. Compte tenu du dysfonctionnement ou du sous-dimensionnement de certaines stations d'épuration implantées sur le bassin versant de la Loue, ceci représente une source supplémentaire de contaminants susceptibles d'atteindre la rivière.

Un élément important à prendre en compte concerne également l'origine de l'eau alimentant la Loue, eu égard à la structure géomorphologique particulière que représente le karst. A ce titre, la contribution des pertes du Doubs à l'alimentation de la rivière, bien que comprise entre 20 et 30 % au maximum du débit total, doit être objectivement considérée en gardant à l'esprit que la densité démographique (et les pressions anthropiques qui en découlent) sur le bassin du Doubs, notamment en amont des pertes du Doubs, est importante (ville de Pontarlier). A titre d'exemple, un nombre important de déversoirs d'orage installés sur la commune de Pontarlier sont susceptibles d'apporter des volumes significatifs d'eaux contaminées (Sandoz, 2009). Une étude récente a ainsi mis en évidence que lors de ces événements, les charges polluantes déversées sont bien supérieures à ce qui transite normalement dans la rivière. L'étude a ainsi montré que le total des charges déversées durant un épisode pluvieux de 4h pouvait représenter quatre fois plus en terme de Matières En Suspension (MES) et deux fois plus en terme de DBO<sub>5</sub> que ce qui transite habituellement dans le Doubs à l'aval de l'agglomération de Pontarlier en 24h. Ceci représente un apport potentiel à la Loue via les pertes du Doubs situées à ce niveau, qu'il convient de prendre en compte dans le contexte de cette expertise.

D'autre part, la structure géomorphologique du bassin de la Loue rend cet écosystème particulièrement vulnérable à des sources de contamination liées au dépôt de déchets de nature diverses dans les anfractuosités du karst. On peut citer par exemple le gouffre du creux de Rénale qui a servi de décharge officielle aux communes de Bians-les-Usiers et de Goux-les-Usiers depuis environ 1955. Bien que ce site ait fait l'objet de travaux récents de réhabilitation visant à reprofiler la pente du cône de déjection, les déchets maintenant recouverts d'une couche de terre remblayée peuvent être une source d'émission de composés toxiques, susceptibles de contaminer de manière chronique une des sources de la Loue (CPEPESC, 2007). Un autre exemple emblématique est celui du gouffre de Jardel ayant fait l'objet d'un dépôt important d'obus par l'autorité militaire en 1923. Bien que des analyses récentes (Rapport Sous-Préfecture de Pontarlier, 2011) ne montrent pas de contamination d'une des sources de la Loue par des

éléments chimiques présents dans ce type de munitions (notamment l'acide picrique et le dinitronaphtalène), il est nécessaire de prendre en compte le risque lié à une possible évolution de la contamination (détérioration progressive de l'enveloppe des obus) et à son caractère potentiellement chronique, et au fait que la dilution importante d'une émission de ces composés toxiques rend leur détection difficile dans la colonne d'eau (concentrations inférieures au seuil de détection analytique).

#### 6.4.4. Pressions due aux activités récréatives

Concernant la pression halieutique sur la Loue, la confrontation des estimations de prélèvements de salmonidés à partir des carnets de pêche et des biomasses en place, signait, à la fin des années 90, une forte exploitation des populations de truites et d'ombres par la pêche (Etude piscicole de la haute et moyenne Loue, Départements du Doubs et du Jura, CSP Délégation Régionale de Lyon, 1999). Tester l'hypothèse du lien possible entre le déclin piscicole observé, notamment pour ces populations, et une pression halieutique non supportable par l'écosystème Loue est cependant difficilement envisageable. Il est en effet généralement très difficile et peu fiable d'exploiter *a posteriori* les carnets de pêche pour estimer de façon satisfaisante les prélèvements et leur évolution temporelle. On ne dispose pas non plus d'informations sur les pratiques de gestion piscicole. Les repeuplements peuvent être à l'origine de l'introduction de maladies ou de souches inadaptées, sachant qu'il est souvent difficile de connaître les provenances et les origines géographiques des poissons et de disposer des certificats sanitaires pour la totalité des repeuplements effectués. De plus, les repeuplements peuvent conduire à des déséquilibres dans les populations, en particulier lorsqu'il s'agit de déversements inappropriés (de jeunes stades ou de poissons de maille).

Concernant l'impact potentiel des sites d'élevage piscicole, là encore, de nombreuses inconnues subsistent quant à leur niveau de maîtrise sanitaire, car seules les maladies virales réglementées font l'objet d'un suivi par l'Etat. Il faut rappeler cependant qu'aucune maladie réputée contagieuse (NHI ou SHV) n'a été déclarée en Franche-Comté. La seule pisciculture située à la source de la Loue n'a pas de suivi en virologie. A titre indicatif, les épisodes de NHI en élevage piscicole identifiés sur le Cusancin en 2004, sur le Dessoubre en 2006, et enfin sur le Doubs en 2007 (à une dizaine de kilomètres en amont de la confluence avec le Dessoubre), n'ont provoqué aucune mortalité de truites observable dans le milieu naturel (source LDA39). De plus, il est assez rare que ces maladies virales soient à l'origine d'épidémies catastrophiques en milieu ouvert, en raison des faibles densités de populations de poissons. Quant aux bactéries éventuellement

véhiculées par les rejets de ces sites, elles sont probablement nombreuses, mais il n'existe aucune donnée chiffrée sur ce point. Néanmoins, tout comme pour les virus, la dilution très forte dans les rivières rend le risque de contamination très limité.

#### 6.5. Spatialisation des pressions

En raison de la géologie particulière du bassin versant, les pressions et leurs évolutions ne sont pas identiques en tout point. Il était donc nécessaire d'identifier les indicateurs de pressions disponibles, de choisir les plus pertinents et de spatialiser les pressions sur le bassin versant. Deux indicateurs ont été retenus pour étudier plus précisément l'évolution des pressions de pollution liées aux rejets domestiques et celles liées à la production fromagère. On a ainsi cherché à évaluer les pressions de pollution en estimant les rejets de DBO5 (Demande Biologique en Oxygène à 5 jours) (Kg/jour) liés à l'assainissement des communes et au traitement des eaux de fromagerie.

Les valeurs de DBO5\_habitant et de DBO5\_fromageries ont été calculées sur une base communale puis sommées pour chacun des 15 bassins hydrologiques de la Loue. Les données mobilisées pour ces calculs ont été rassemblées auprès de diverses sources et concernent :

- la délimitation des bassins karstiques (cf paragraphe 6.1) ;
- la délimitation des territoires communaux (<http://export.openstreetmap.fr/contoursadministratifs/export-communes/>);
- les tableaux des recensements des populations en 1999 et 2008 (<http://www.insee.fr/fr/bases-de-donnees/>);
- les données relatives à l'assainissement des communes, rendant compte des taux de raccordement et des rendements des dispositifs d'épuration (fichiers et renseignements fournis par Mr Pierre Loïc Gitenait, Agence de l'Eau RMC) ;
- les données relatives aux références laitières communales dans le département du Doubs (fichiers et renseignements fournis par Mr Didier Tourenne, Chambre d'agriculture du Doubs). Les données de 2008 disponibles à l'Agence de l'eau sont relatives au taux de raccordement communal des populations, aux rendements d'épuration, ainsi qu'à leur évolution au cours des dernières décennies. Les données demeurent assez partielles, ne concernant qu'un nombre limité de stations d'épuration, avec peu de points de suivi. Ces contraintes nous ont amenés à retenir un certain nombre d'hypothèses et à considérer notamment des valeurs moyennes pour différents coefficients (t, rc, ri et rL).

En 2008, le taux de raccordement moyen est ainsi estimé égal à 97% ; le rendement d'épuration des dispositifs individuels et collectifs est fixé à 70%. Selon l'état des lieux effectué par la MISE (2010), l'investissement collectif pour l'assainissement des eaux usées a été conséquent durant les dix dernières années, avec en moyenne une

progression de près de 40% du taux de raccordement. En 1999, le taux de raccordement a en conséquence été estimé à 70%.

A l'échelle du bassin, la population humaine augmente de plus de 10,5%. Les références laitières évoluent de même, de 9,2%. Les valeurs de pression DBO5\_habitant et DBO5\_fromageries comparées entre 1999 et 2008 pour la population et 1995 et 2008 pour les fromageries sont récapitulées dans le tableau 1. De ce tableau, il apparaît que les populations pèsent dix fois plus que les ateliers de fromagerie. Les valeurs sont assez semblables entre 1995/1999 et 2008, ce qui s'explique par le fait que les gains liés à l'amélioration des taux de raccordement sont compensés par l'augmentation de la densité de population.

#### Méthodes de calculs DB05\_hab et DB05\_fro

$DBO5\_habitants = n * t * DH * rc + n * (1 - t) * D * ri$ ,  
avec :

**n** : nombre d'habitants ;

**DH** : charge en Demande Biologique en Oxygène 5j des eaux usées domestiques (0.06 Kg/jour/habitant) ;

**t** : taux de raccordement aux dispositifs d'épuration collectifs ;

**rc** : rendement d'épuration des dispositifs d'épuration collectifs ;

**ri** : rendement d'épuration des dispositif d'épuration individuels.

$DBO5\_fromageries = RL * DL * rL$ ,

avec:

**RL** : référence laitière communale journalière ;

**DL** : Charge en Demande Biologique en Oxygène-5j des effluents de fromagerie (0.002 g/litre de lait/jour ; valeur correspondante à des eaux blanches, le petit lait étant supposé valorisé par l'industrie ou redistribué dans les élevages de porcs) ;

**rL** : Rendement du dispositif d'épuration des eaux des effluents de fromagerie.

Pour les fromageries, les ateliers sont considérés totalement raccordés à un dispositif de traitement ( $t=1$ ).

Dans l'espace, ces pressions ne sont pas distribuées de façon homogène, avec des "points noirs" dès l'amont de la rivière, au niveau de la source de la Loue et en position médiane, vers Chenecey -Buillon (Figure 6).

Tableau 1. Pressions de pollution ponctuelles liées aux populations et aux ateliers de fromagerie

BV n°	DBO_ha b (Kg/j)		DBO_fro (Kg/j)	
	1999	2008	1995	2008
1	93	100	22	25
2	848	789	5	6
3	18	16	6	6
4	89	86	21	25
5	30	32	16	17
6	28	32	8	9
7	29	26	6	7
8	41	43	10	11
9	371	370	50	54
10	8	8	5	7
11	57	59	17	18
12	6	6	2	2
13	179	173	8	8
14	106	89	9	9
<b>Total</b>	<b>1904</b>	<b>1829</b>	<b>186</b>	<b>203</b>

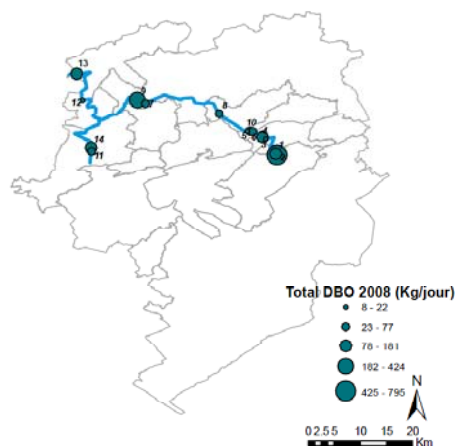


Figure 6 : Pressions de pollution ponctuelle liée aux populations et ateliers de fromagerie

Ce travail est une première observation de la répartition des pressions s'exerçant sur le bassin versant mais cet exercice doit être complété par une étude sur des indicateurs des pressions agricoles (tonnage en engrais, zones d'épandage...), de l'industrie du bois (tonnage en pesticides...), afin de spatialiser l'ensemble des pressions exercées sur le bassin versant et ainsi d'identifier des zones d'action prioritaires.

Un travail de ce type a été entrepris dans le cadre d'un rapport d'étude d'étudiants de l'université de Franche-comté, dans le cadre du master de géologie appliquée, mais à ce jour les résultats ne sont pas officiellement rapportés (Bouillier et al., 2012).

## 6.6. Populations biologiques

### 6.6.1 Evolution des peuplements de macroinvertébrés benthiques

Les peuplements de faune vivant sur les fonds des cours d'eau (macroinvertébrés benthiques) ont été analysés sur certaines stations de la Loue mais également du Doubs, du Dessoubre et du Cusancin (Encadré Démarche analytique)

#### *Evolution à long terme des peuplements de Trichoptères, Ephéméroptères et Plécoptères*

Les analyses réalisées sur la Loue concernant les communautés de trois groupes faunistiques comprenant les taxons parmi les plus sensibles aux perturbations (Trichoptères, Ephéméroptères et Plécoptères) indiquent une réduction significative de la richesse globale en nombre de genres (excepté à Ornans), mais aussi en abondance entre les années 1970 et les années 2007-2010 (Verneaux, 1973, Verneaux et al., 2004).

Tableau 2. Evolution à long terme des métriques caractérisant les peuplements de Trichoptères, Ephéméroptères et Plecoptères. Groupe 1 : stations non concernées par les mortalités piscicoles. Groupe 2 : stations concernées par les mortalités piscicoles. \*\* : stations de référence dans les années 70s. \* : stations perturbées dans les années 70s. (La signification des différentes métriques est détaillée dans l'encadré ci-dessous.)

	Evolution typologique	Richesse générique	Abondance	Stérécité
<b>Groupe 1</b>				
Mouthiers**	+2,9	- 36 %	- 48 %	-1,1
Chissey**	+1,9	- 20 %	- 48 %	-1,2
Parcey**	+1,8	- 21 %	- 32 %	-0,7
Arçon*	+2,5	+108 %	+161 %	-1,0
St Hippolyte**	+1,8	- 37 %	- 47 %	-0,2
Baume les Dames**	+2,0	- 5 %	- 32 %	-0,8
<b>Groupe 2</b>				
Ornans*	+1,2	+ 12 %	-4 %	0,2
Montlebon*	+1,9	+ 22 %	+15 %	0,0
Goumois**	+1,6	- 25 %	- 31 %	-0,8
<b>Test de Mann-Whitney</b>				
Différence entre gr1 et 2	P=0,11 ns	P=0,7 ns	P=0,15 ns	P=0,12 ns
Différence entre stations* et **	P=0,77 ns	P=0,02 s	P=0,026 s	P=0,24 ns

Cette altération est déjà visible à Mouthiers, en amont des zones sur lesquelles des mortalités de poissons ont été observées.

L'évolution générale des communautés d'invertébrés n'est pas spécifique à la Loue mais tend à se généraliser (Verneaux et al., 2004). On observe ainsi, depuis la période de référence des années 1970, un glissement typologique (remplacement des organismes typiques des zones amont par des organismes normalement inféodés aux zones aval) des communautés de nombreuses rivières de Franche-Comté, concernées ou non par des mortalités de poissons, comme le Doubs, le Dessoubre et le Cusancin. Ce glissement typologique apparaît pour toutes les stations. Les données à disposition ne nous ont pas permis de mettre en évidence de différences significatives de l'évolution à long terme des peuplements entre les stations marquées ou non par des épisodes de

### Démarche analytique pour l'expertise sur les macroinvertébrés

Les données utilisées pour cette expertise sont les relevés de macroinvertébrés obtenus dans le cadre du Réseau de Contrôle et de Surveillance des milieux aquatiques (RCS) par application de la norme expérimentale d'échantillonnage AFNOR (XP T90-333). Les stations concernées et les dates des relevés faunistiques sont :

- la Loue à Mouthiers Hte Pierre (08/2008, 06/2009, 08/2010), Chissey (10/2007, 07/2008, 08/2009, 07/2010), Parcey (10/2007, 07/2008, 06/2009, 07/2010), auxquelles la station d'Ornans a été ajoutée (données laboratoire Chrono-environnement, suivi IBGN mai 2007-2010) ;
- le Doubs à Arçon (07/2008, 06/2009, 09/2010), Montlebon (09/2008, 05/2009, 09/2010) et Goumois (06/2008, 06/2009, 09/2010) ;
- le Cusancin à Baume les Dames (09/2007, 06/2008, 07/2009, 09/2010 ;)
- le Dessoubre à St Hippolyte (09/2007, 06/2008, 07/2009, 08/2010) ;

Les peuplements de macroinvertébrés analysés concernent donc 9 stations que l'on peut répartir en deux groupes selon l'intensité des mortalités piscicoles observées en 2010 et 2011 :

- Groupe 1 : stations d'Ornans, Montlebon et Goumois, dans lesquelles des mortalités ont été relevées.

- Groupe 2 : stations de Mouthiers, Chissey, Parcey, Arçon, Baume les Dames et St Hippolyte, pour lesquelles nous ne possédons pas d'informations sur d'éventuelles mortalités.

Les données disponibles ont été traitées afin d'établir une évolution à long terme (comparaison avec les données des années 1970s) et une évolution récente.

Afin d'homogénéiser le jeu de données, les listes faunistiques des années 70s, établies au niveau spécifique, ont été agrégées au niveau générique. D'autre part, les données des années 2008 à 2010 ont été regroupées afin de limiter l'effet d'un effort d'échantillonnage supérieur dans les années 70s. Les effectifs totaux de chaque genre ont été exprimés en classe d'abondance (0 à 5) selon les limites de classes utilisées dans les années 70s.

Les caractéristiques des communautés de macroinvertébrés présentant une variabilité saisonnière assez importante (cycles de développement, émergences d'insectes) seules ont été analysées les stations pour lesquelles des données issues du même mois étaient disponibles. Les périodes d'échantillonnages étant alors différentes selon les stations, seule une comparaison d'évolution temporelle entre 2 années a été réalisée. Cette approche a concerné les stations de Mouthiers (08/2008-2010), Ornans (05/2009-2010), Parcey (07/2008-2010), Montlebon (09/2008-2010), Baume les Dames (09/2007-2010) et St Hippolyte (09/2007-2010).

mortalité piscicole.

Ce glissement typologique reflète une dégradation progressive de la qualité des rivières de l'aval vers l'amont. Pour les stations considérées dans les années 70s comme très peu affectées par l'anthropisation (indices biotiques  $I_b \geq 9/10$ , stations \*\* du tableau 2), ce glissement typologique s'accompagne d'un appauvrissement en richesse (nombre d'espèces) et en abondance des communautés de Trichoptères, d'Ephéméroptères et de Plécoptères et d'une diminution des exigences écologiques (espèces acceptant de vivre dans de moins bonnes conditions) des genres constitutifs des peuplements.

Pour les stations présentant déjà dans les années 70 une perturbation de leurs peuplements (stations\* du tableau 2) qui se caractérisait par l'absence des genres apicaux les plus exigeants (Arçon, Montlebon indice biotiques  $3 \leq I_b < 5$ , Ornans  $5 \leq I_b < 7$ ), le glissement typologique s'accompagne d'un enrichissement des communautés par des taxons provenant des secteurs avals et sur certaines stations de proliférations de genres euryèces (espèces à large amplitude écologique et parfois invasives) (Arçon, +168% d'abondance et évolution de la sténoécie de -1). Ce remplacement d'espèces exigeantes par des espèces plus tolérantes suggère l'existence d'une importante dégradation de la qualité des eaux jusqu'à l'amont des rivières concernées.

#### *Evolution récente des communautés globales de macroinvertébrés*

Les données les plus récentes, bien que très peu nombreuses, suggèrent que cette dégradation se poursuit avec une réduction marquée des effectifs des organismes les plus exigeants sur la plupart des stations échantillonnées. Si certaines stations étudiées se caractérisent par une augmentation massive de l'abondance des organismes les plus tolérants, d'autres stations se distinguent par une diminution touchant également ces organismes considérés comme assez robustes aux perturbations environnementales (Tableau 3).

Sur quatre des six stations étudiées (Mouthiers, Baume les Dames, St Hippolyte et Ornans), l'année 2010 est marquée par une diminution importante des effectifs totaux des peuplements par rapport à l'année antérieure considérée. Ces mêmes stations présentent en 2010 une nette régression (voire une quasi disparition à Mouthiers et Ornans) des effectifs des taxons les plus sténoèces (espèces à faible amplitude écologique) (GI 9-8-7). Ces diminutions ne s'accompagnent pas de proliférations de taxons euryèces mais au contraire également d'un moindre développement des taxons les plus résistants aux pollutions classiques organiques ( $GI \leq 3$ ).

Tableau 3. Evolution à court terme des caractéristiques des peuplements de macroinvertébrés. Les descripteurs (exprimés en %) sont calculés de la manière suivante :  $((\text{valeur}_{2010} - \text{valeur}_{200x}) / \text{valeur}_{200x}) * 100$

A : Différence d'effectifs en %, B : Différence de richesse taxonomique en %, C : Différence des effectifs en % des taxons les plus sténoèces selon l'IBGN (GI 9-8-7), D : Différence d'effectifs en % des taxons moins sténoèces (GI 6-5-4), E : Différence d'effectifs en % des taxons euryèces (GI 3-2-1)

	A(%)	B(%)	C(%)	D(%)	E(%)
<b>Groupe 1</b>					
Mouthiers (2008-2010)	-45	+15	-92	-33	-23
Parcey (2008-2010)	+25	+4	+358	+140	+20
Baume les D (2008-2010)	-28	-19	-66	-71	-21
St Hippolyte (2007-2010)	-39	-6	-74	+125	-42
<b>Groupe 2</b>					
Ornans (2009-2010)	-72	-17	-91	-76	-83
Montlebon (2008-2010)	+454	-4	absent	-21	+243

Sur la station de Montlebon l'augmentation considérable des effectifs totaux par rapport aux relevés de 2008 résulte de la prolifération (+243%) des taxons euryèces et saprophiles comme les Simuliidae (+1400 %) et les Asellidae (+338%). Ces taxons présentent une forte affinité pour les milieux riches en matières organiques.

A Parcey, l'augmentation des effectifs des peuplements en 2010 est marquée par une nette augmentation du nombre des individus sténoèces (GI 9-8-7). Cette augmentation globale intègre en fait un développement important des Leuctridae (qui sont les Plécoptères parmi les moins sensibles du groupe taxonomique) et une perte des taxons indicateurs du GI 8. Les développements plus importants d'une faune moins sténoèce sont dus à la prolifération (+1700% !) d'un taxon consommateur d'algues filamenteuses (Hydroptilidae).

Il semble que l'année 2010 ait été marquée, pour toutes les stations étudiées, par une augmentation des contraintes sur les peuplements de macroinvertébrés conduisant à une diminution des effectifs des taxons ayant les plus fortes exigences écologiques. Cette diminution s'est accompagnée d'une prolifération de taxons euryèces et saprophiles sur certains sites comme Montlebon et Parcey, laissant suspecter une augmentation des charges en matières organiques et/ou en nutriments induisant alors des développements importants d'algues filamenteuses.

Sur les stations d'Ornans, Mouthiers, Baume les Dames et St Hippolyte, la diminution des effectifs des taxons les plus robustes (euryèces) suggère l'existence d'une pollution additionnelle par des micropolluants toxiques ou d'une toxicité induite par certaines formes réduites de l'azote minéral (ammonium).

### Métriques sur l'évolution des communautés de macro-invertébrés entre les années 70s et les années 2008-2010

Quatre métriques ont été utilisées pour caractériser l'évolution des peuplements de Trichoptères, Ephéméroptères et Plecoptères, qui forment les groupes faunistiques regroupant les taxons les plus sensibles aux perturbations entre les années 70s et les années 2007-2010.

Une métrique permet de mesurer l'évolution des caractéristiques typologiques des genres présentant des variations importantes entre les deux périodes considérées. Elle utilise la notion de préférendum typologique « tp » ( Verneaux et al., 2003). La valeur de tp est faible pour les taxons présentant une affinité forte pour les secteurs amonts et augmente progressivement avec l'augmentation de l'affinité des taxons pour les secteurs plus en aval des rivières.

(1) Evolution typologique =  $tp_{moy \text{ genres apparus}} - tp_{moy \text{ genres disparus}}$

Les deux métriques suivantes permettent d'évaluer l'évolution de la biodiversité des peuplements de Trichoptères, Ephéméroptères et Plécoptères (TEP)

(2) Evolution de la richesse générique =  $((\text{nombre de genres}_{2008-2010} - \text{nombre de genres}_{70s}) / \text{nombre de genres}_{70s}) \times 100$

(3) Evolution de l'abondance =  $((\text{somme classes abondances}_{2008-2010} - \text{somme classes d'abondances}_{70s}) / \text{somme classes d'abondances}_{70s}) \times 100$

Une dernière métrique permet de mesurer l'évolution de la sensibilité relative « rs » des genres apparus et disparus entre les deux périodes. La valeur de rs est élevée lorsque les organismes ont des exigences écologiques strictes et une forte sensibilité aux stress environnementaux (organismes sténoèces). Elle diminue lorsque les organismes deviennent plus tolérants aux facteurs de l'environnement (organismes euryèces).

(4) Evolution de la sténocécie des peuplements =  $rs_{moy \text{ genres apparus}} - rs_{moy \text{ genres disparus}}$

L'ensemble de ces résultats suggère donc que de fortes contraintes s'exercent sur les communautés de macroinvertébrés benthiques en termes de qualité du milieu. Les évolutions à long et court termes des peuplements de macroinvertébrés sur les stations de la Loue et d'autres cours d'eau présentant des caractéristiques proches, montrent un phénomène généralisé de dégradation chronique conduisant à un déclin des peuplements de consommateurs macrobenthiques. Cette pollution chronique, déjà signalée à de nombreuses reprises (ISTE 1994, Verneaux et al., 2004) est probablement associée à une charge excessive en

nutriments (azote et phosphore) induisant des proliférations algales. Les conséquences de telles proliférations sur les macroinvertébrés peuvent impliquer plusieurs processus :

- une diminution des ressources alimentaires assimilables pour certains macroinvertébrés
- un colmatage des substrats dont l'hospitabilité pour les macroinvertébrés est ainsi diminuée
- des variations nyctémérales importantes de l'oxygénation à l'interface eau-substrats
- un apport important de matière organique en décomposition en fin de période de développement algal
- une consommation importante d'oxygène au niveau des substrats lors de la dégradation de la matière organique excédentaire
- une libération d'ammonium (ionisé et non ionisé) dans les eaux interstitielles des substrats dont les effets de toxicité chronique sur la faune benthique ne sont que partiellement connus (Kater et al., 2006 ; Alonso et Camargo, 2009)

Par ailleurs, un apport excédentaire direct de matières organiques provenant des bassins versants n'est pas exclu.

Aucun lien n'a pu être établi entre les zones de mortalités de poissons et les caractéristiques de leurs peuplements de macroinvertébrés, mais il faut noter que les données disponibles offraient peu de chance de pouvoir mettre en évidence un tel lien. Dans ce contexte de pollutions diffuses et chroniques, où les édifices trophiques et les résistances individuelles sont fragilisés, toute dégradation, même minime, de l'environnement est susceptible de constituer un épisode aigu de contrainte majeure sur ces populations.

### 6.6.2 Evolution des peuplements algaux et macrophytiques

Les macrophytes aquatiques sont de bons indicateurs (i) de la disponibilité en nutriments (carbone, azote, phosphore) et (ii) de la thermie des eaux. Les données concernant les végétaux vasculaires et les peuplements de macro-algues sont disponibles sur trois périodes : 1989 (Vergon, 1990), 1998 (Decourcières, 1998) et en 2010-2011. Les méthodes d'analyse des peuplements sont différentes d'une étude à l'autre. Parfois réalisés de manière fine (analyse de biomasse en 1989), elles sont souvent semi-quantitatives (abondance visuelle en 1998 et 2007-2011). Lorsque les prélèvements algaux n'ont été réalisés qu'à une seule date, une forte incertitude persiste vis à vis de la chronicité des patrons observés car l'hydraulicité du cours d'eau et sa thermie (liée aux conditions météorologiques) peuvent fortement influencer le développement saisonnier de ces peuplements. On peut cependant tirer de ces rapports les éléments suivants.

En 1989, le rapport ne fait pas état de peuplement vasculaire, probablement en raison d'un choix de l'expérimentateur. Les algues essentiellement *Vaucheria* et *Cladophora*, sont

abondantes. En termes de distribution spatiale des peuplements, Vergon (1990) note la faible colonisation du secteur de Parcey. Dans ce secteur, ce phénomène est attribué à la forte mobilité du granulat et à la température froide des résurgences qui alimentent la Loue. Au contraire, les sites d'Ornans, Cléron, Chenecey et la confluence de la Furieuse apparaissent particulièrement colonisés par ces algues filamenteuses. Les biomasses mesurées varient entre 100 et 3900 g/m<sup>2</sup> de biomasse essorée, ce qui est considéré par Vergon (1990) comme important. Ce même auteur conclue qu'une prolifération algale survient lorsque sont conjuguées une profondeur inférieure à 1m, un substrat grossier et stable, et des apports de nutriments (via des effluents identifiés). Il souligne l'effet positif du réchauffement estival sur ces proliférations d'algues, et note qu'elles se développent à partir de la troisième semaine de juillet. Cette période correspond à des débits d'étiage, c'est à dire à un moment où se sont conjuguent de faibles apports phréatiques froids et des températures de l'air élevées. Sur le secteur amont d'Ornans, Vergon (1990) estime que les biomasses atteignent 2000 g/m<sup>2</sup>.

En 1998, le recouvrement algal est également important et Decourcières (1998) souligne les effets bénéfiques de la profondeur et des arrivées d'eaux phréatiques froides vis à vis de la limitation des proliférations. Les colonies de *Vaucheria* et de *Cladophora* dominent, comme en 1989, le peuplement algal. Les biomasses observées peuvent être très importantes puisqu'elles s'échelonnent entre 400 g/m<sup>2</sup> et 5000 g/m<sup>2</sup> environ. Sur le secteur amont d'Ornans, les biomasses atteignent même 5000 g/m<sup>2</sup>. Les facteurs favorisant sont les mêmes que ceux identifiés par Vergon. Dans ce rapport, il n'est pas fait état de peuplements vasculaires, qui n'ont probablement pas été échantillonnés.

En 2007-2011, les relevés ont été réalisés en utilisant l'indice Macrophyte, sans quantification de biomasse, mais avec un échantillonnage des végétaux vasculaires. Sur la Loue, les relevés réalisés sur Parcey et Mouthier sont conformes aux relevés effectués antérieurement, et ils font références systématiquement à la dominance des algues filamenteuses (*Vaucheria* et *Cladophora*) sur les macrophytes vasculaires, quelle que soient les dates d'échantillonnage. Les nuances inter-annuelles dans le diagnostic sont probablement non significatives. Les macrophytes présentes (*Ranunculus fluitans*, *Veronica anagallis-aquatica*, *Myriophyllum spicatum*) sont associées à des eaux courantes eutrophes. A titre d'exemple, ce sont les peuplements observés dans le lit mineur du Rhône à la hauteur de Lyon. **La loue est donc très fortement eutrophisée, en regard de son contexte montagnard et karstique, qui laisserait espérer des eaux de meilleure qualité trophique.** De fait, un site de la Loue (Chatillon) présente des espèces végétales typiques de rivières mésotrophes

alcalines (*Ranunculus penicillatus* var. *calcareus*, *Potamogeton perfoliatus*, *Berula erecta*, *Fontinalis antepyretica*) même si leur abondance est modeste, et si la présence de *Ranunculus fluitans*, *Myriophyllum spicatum*, et des algues filamenteuses *Vaucheria* et *Cladophora* soulignent, dans le même temps, la présence d'apports eutrophisants dans ce secteur.

#### Qualité des étangs agros Piscicoles du Jura

Une étude récente concernant la biodiversité des lacs du Jura dans le secteur des sources de l'Ain et du Doubs (Bailly et al. 2007) fait état, dans le secteur, de lacs colonisés par des tapis de *Chara*, et présentant des faciès de tourbières alcalines (*Menyanthes trifoliata*).

Les auteurs soulignent cependant la tendance à la dégradation de ces lacs, liée à la diminution des pratiques agricoles extensives (fauches) au profit de pratiques intensives, plus locales, mais plus eutrophisantes, entraînant à la fois l'embroussaillage des zones tourbeuses et l'eutrophisation des peuplements aquatiques. Sur le lac de Clairvaux, les auteurs note la forte régression de *Menyanthes* et des tapis de *Chara* entre 1905 et 2007, même si la composition du peuplement reste inchangée. La régression très forte, voire la disparition, des *Chara* est également observée sur le Lac de Vernois, et celui du Fioget. Si l'on s'intéresse plus particulièrement aux lacs de Malpas et Saint Point, situés sur le haut cours du Doubs, Le lac de Malpas est un lac tourbeux qui a vu ses peuplements aquatiques très diversifiés et abondants en 1905, quasiment éradiqués en 2006. Magnin, en 1905, évoque une transparence de 3,8 alors que les eaux brunes sont parfaitement opaques en 2006. Sur le Lac de Saint Point, on note également la forte progression de l'eutrophisation, avec comme espèce typique *Potamogeton pectinatus*, et *Elodea nuttallii*, entre 1988 et 2006, au détriment en particulier des petits potamots à feuilles étroites. En résumé, l'altération des lacs du plateau est en cours, et repose (i) sur une eutrophisation nette des peuplements, avec la régression des peuplements de *Chara*, peu tolérants à la pollution phosphorée (Krause 1981), et (ii) la progression des espèces polluo-tolérantes, entraînant la disparition ou la forte régression des espèces de petite taille, peu compétitives, comme par exemple les petits potamots. Deux phénomènes agissent probablement en synergie dans la dégradation de ces lacs, d'après les auteurs : (i) l'augmentation des rejets eutrophisants, et (ii) l'augmentation de la pression des captages, diminuant les apports souterrains, alcalins et de bonne qualité.

En ce qui concerne le Doubs, les symptômes de forte eutrophisation sont également marqués : dominance de *Vaucheria* et *Cladophora* dans tous



les relevés, parfois accompagnés de *Myriophyllum spicatum* et *Potamogeton Pectinatus* espèces très polluo-tolérantes. Ces deux espèces, à titre d'exemple, sont les espèces dominantes du bas cours du Rhône, en aval de Lyon, associées également à *Vaucheria* et *Cladophora* sur le fleuve. Le Doubs est donc également très eutrophe dans les différents secteurs échantillonnés (Araon, Arçon, Goumois). Une nouvelle fois, l'amélioration affichée par le rédacteur du rapport de la DREAL ne peut pas être considérée comme significative, au vu des abondances constamment fortes observées, et au vu des fluctuations interannuelles et saisonnières qui peuvent être importantes chez les algues, en fonction de la température et du débit. On note sur le Doubs la présence sporadique de *Groenlandia densa*, *Ranunculus trichophyllus*, espèces associées à des eaux alcalines fraîches, dont la présence indique l'existence d'alimentations karstiques, mais dont la croissance est probablement fortement limitée par les algues filamenteuses. La présence de ces espèces nous informe sur les potentialités de cette rivière en l'absence de rejets fortement eutrophisants.

Le Dessoubre, et le Cusancin sont dans la même situation de forte eutrophisation, avec la dominance en continu des algues filamenteuses *Vaucheria* et *Cladophora*, et encore une fois, la présence sporadique de végétaux vasculaires témoins d'apports phréatiques méso-eutrophes (*Callitriche sp.*, *Venonica anagallis-aquatica*, *Nasturtium officinale*).

**En résumé, les peuplements végétaux rencontrés sur la plupart des cours d'eau échantillonnés démontrent l'existence d'une charge eutrophisante élevée à très élevée, inattendue sur ces cours d'eau de montagne qui sont alimentés par des apports karstiques et situés dans un contexte prairial. Cette eutrophisation est probablement assez ancienne, même si les données disponibles suggèrent une aggravation du phénomène entre 1989 et 1998 (biomasses algales en nette progression).**

Le conservatoire botanique de Franche Comté a également réalisé une prospection botanique des cours d'eau du Doubs et de la Loue en 2006, prospection au cours de laquelle il a effectué le recensement des espèces aquatiques du lit mineur des deux cours d'eau. Les espèces dominantes citées dans cette étude sont pour la plupart des espèces de milieux plutôt eutrophes (*Vallisneria spiralis*, *Spirodela polhyriza*, *Lemna gibba*, *Potamogeton nodosus*) même si des espèces moins polluo-tolérantes, fréquemment associées à des sols tourbeux (*Hottonia palustris*) ou à des sites alimentés par des eaux souterraines (*Hippuris vulgaris*, *Groenlandia densa*, *Potamogeton natans*) sont également rencontrées.

**En guise de conclusion, les informations relatives aux peuplements végétaux dans la**

**Loue et les écosystèmes aquatiques environnants sont congruentes, et permettent de conclure à une situation très eutrophisée des cours d'eau du plateau. Les communautés végétales ressemblent plutôt à celles de grands cours d'eau eutrophes et chauds de plaine qu'à celles de rivières alimentées par des résurgences karstiques alcalines.**

### 6.6.3 Evolutions des populations Les poissons

Si très peu de données relatives à des statistiques de mortalité sont disponibles sur le bassin de la Loue, un nombre significatif d'études permet de décrire l'évolution temporelle de la qualité de la rivière Loue en terme de capacité d'accueil et donc de niveau d'abondance des populations, qu'il s'agisse de poissons mais également d'invertébrés. Le recoupement des différentes sources d'information permet ainsi de mettre en évidence une dégradation univoque de l'état des populations aquatiques de l'écosystème Loue depuis le début des années 70.

Ainsi, les rapports réalisés durant la dernière décennie par le CSP puis l'Onema (*Etude piscicole de la basse vallée de la Loue, CSP Délégation Régionale de Lyon, 1998 ; Etude piscicole de la haute et moyenne Loue, Départements du Doubs et du Jura, CSP Délégation Régionale de Lyon, 1999 ; Etude de la qualité piscicole sur quatre stations de la Loue, Onema, 2010*) concluent à un déclin des peuplements piscicoles qui s'est aggravé de manière progressive depuis les premières analyses dans les années 70, indiquant explicitement le caractère chronique du phénomène observé (Verneaux, 1973, 1976). De manière synthétique, on assiste à la fois au plan quantitatif à une diminution drastique des stocks en place qui se situent pour certains taxons très en dessous des capacités de production du milieu, et au plan qualitatif à un déplacement taxonomique aval-amont de certaines espèces ne trouvant probablement plus, dans les zones aval, les conditions environnementales respectant leurs exigences biologiques. Ce déclin piscicole concerne les différents taxons endémiques de la Loue et il importe de souligner ici que ce phénomène est particulièrement marqué sur le linéaire Mouthier Haute-Pierre (amont) – Quingey (aval) sur lequel les mortalités de poissons en 2010 et 2011 ont été recensées. A titre d'illustration, une espèce emblématique telle que la truite commune a fortement régressé sur les différentes stations d'étude inscrites dans ce linéaire. Récemment, un faible succès de reproduction a été constaté pour cette espèce, avec des densités d'alevins de l'année bien en deçà de ce que pourrait produire ce type de milieu. Ce phénomène peut être mis en lien avec la dégradation de l'état général de la rivière. En effet, l'eutrophisation favorise le colmatage du substrat dans les zones de reproduction des salmonidés et nuit fortement à la croissance et à la survie des larves (phase de vie sous graviers) et des alevins

après leur émergence en eau libre (Bolliet et al., 2005 ; Dumas et al., 2007 ; Massa, 2000).

Concernant le déclin des populations piscicoles, il convient de rappeler que ce phénomène a également été décrit dans le Cusancin et le Dessoubre, autres hydrosystèmes franc-comtois déjà évoqués dans ce document. Ainsi, un rapport récent (*Etude de l'état des peuplements piscicoles du réseau hydrographique du Dessoubre – Définition d'un état initial, Bureau d'étude Téléos et FDDAAPMA 25, 2009*) conclut sans ambiguïté à l'existence d'un glissement typologique sur le Dessoubre, qui se traduit sur les peuplements piscicoles davantage par un déplacement quantitatif des espèces historiques vers l'amont que par l'apparition de nouveaux taxons à affinités potamiques (qui se rapportent à la zone inférieure des cours d'eau). Ce rapport insiste sur le fait que la majorité des linéaires prospectés présentent de profondes altérations, notamment en termes de production piscicole, avec des déficits régulièrement supérieurs à 50% de l'optimum envisageable, même si les espèces historiques sont en encore présentes sur tout ou partie du réseau. Un constat similaire a été fait sur le Cusancin et en particulier sur ses principaux affluents (*Paris, 2010*) notamment une forte dégradation des communautés piscicoles et macrobenthiques par rapport au potentiel de ces rivières.

**Au bilan, il apparaît que la Loue et les hydrosystèmes proches présentent un déclin marqué des peuplements de poissons et d'invertébrés qu'ils hébergent, notamment dans les zones où des mortalités de poissons ont été observées. Ces résultats sur les communautés biotiques sont globalement en accord avec ceux observés sur la qualité chimique de l'eau et ils traduisent un état général dégradé de ces rivières.**

**7. En partant de ces changements, est-il possible de construire un ou plusieurs scénarios (hypothèses) expliquant la dégradation de l'écosystème et de son BV ?**

Le bilan de l'évolution des pressions naturelles ou anthropiques s'exerçant à l'échelle du bassin versant est résumé dans le tableau 4.

Le bilan des réponses observées au niveau de la rivière est résumé dans le tableau 5. La dégradation progressive de la Loue au cours des dernières décennies s'est manifestée historiquement depuis les années 70 par (i) des mortalités d'organismes aquatiques (poissons et invertébrés benthiques), (ii) des glissements taxonomiques de ces deux groupes voire la disparition totale de certaines espèces exigeantes (exemple des perlidés) contemporains d'une détérioration de la qualité du milieu au sens physique et chimique, (iii) un développement anormal des organismes chlorophylliens benthiques et de la colonne d'eau, (iv) un réchauffement de la colonne d'eau, et (v) une augmentation de la



pression anthropique sur cet écosystème d'origine urbaine, agricole et industrielle potentiellement accentuée par la contribution des pertes du Doubs au régime de la Loue.

Tableau 4. Résumé de l'évolution des pressions anthropique à l'échelle du bassin versant (+ : augmentation ; - : diminution ; = : stabilité ; ? : réponse inconnue).

Catégorie	Réponse
<b>Changements climatiques</b>	
- température	+
<b>Exploitations agricoles</b>	
- Apports en azote	+
- Apports en phosphore	-
- Autres molécules (pesticides)	+
<b>Urbanisme</b>	
- Densité urbaine	+
- Eaux usées raccordées aux STEPS	+
- Rejets des STEPS en P	-
- Rejets d'autres molécules	+
<b>Industries</b>	
- Bilan des rejets de fromageries	? (=)
- Pesticides liés à l'industrie du bois	?
<b>Trafic routier</b>	
- Intensité du trafic	+
- HAP	?
- Autres molécules	?
<b>Barrages</b>	?
<b>Repeuplements en poissons</b>	
- Maladies	?
- Etats sanitaire des poissons	?

Face à ces pressions multifactorielles qui se sont accumulées dans le temps et qui peuvent dans le pire des cas agir en synergie, cet écosystème apparaît dégradé (moins résistant et résilient) dans son fonctionnement. Il ne peut donc plus tamponner une augmentation, même minime, des atteintes physiques et chimiques.

Tableau 5. Résumé de l'évolution des indicateurs de qualité physico-chimique et biologique à l'échelle de la rivière (+ : augmentation ; - : diminution ; = : stabilité ; ? : réponse inconnue).

Catégorie	Réponse
<b>Périodes de bas débit</b>	<b>+ ( ? )</b>
<b>Température de l'eau</b>	<b>+</b>
<b>Teneur en nitrates de l'eau</b>	<b>+</b>
<b>Teneur en phosphore</b>	
- de l'eau libre	<b>+</b>
- du sédiment	<b>?</b>
- des compartiments biologiques	<b>?</b>
<b>Teneur en autres éléments</b>	<b>?</b>
<b>Conductivité</b>	<b>+</b>
<b>Molécules toxiques</b>	
- HAP dans l'eau	<b>=</b>
- HAP dans le sédiment	<b>+</b>
- Pesticides recherchés	<b>=</b>
- Autres molécules	<b>?</b>
<b>Diatomées (IBD)</b>	
<b>Cyanobactéries</b>	
- Biomasse	<b>+</b>
- Espèces toxiques	<b>?</b>
<b>Algues /macrophytes</b>	
<b>Macroinvertébrés</b>	
- Abondance	<b>-</b>
- Diversité	<b>-</b>
<b>Poissons</b>	
- Densité	<b>-</b>
- Diversité	<b>=</b>
- Parasitisme	<b>?</b>
- Mortalité	<b>?</b>

## 8. Quel suivis doivent être mis en place sur la Loue pour les prochaines années et comment ces suivis doivent-il être organisés ?

Le travail réalisé au cours de cette expertise a permis de montrer que si il existe parfois, pour certains éléments du dossier, beaucoup de données sur la Loue, la qualité globale de ces données ne permet pas de bien comprendre quelles ont été les principales évolutions de la rivière aux cours des dernières décennies. Ce constat unanime des experts sur la pauvre qualité des données disponibles repose essentiellement sur le fait qu'il y a une très grande hétérogénéité dans le choix, les lieux et la fréquence de suivi des nombreux paramètres et sur les difficultés d'accès à ces données. Une réflexion doit donc être engagée pour redéfinir les finalités et les modalités d'un protocole de suivi de la rivière Loue. Sur le modèle de ce qui existe pour d'autres écosystèmes naturels à forte valeur patrimoniale faisant l'objet d'un suivi régulier (grands lacs alpins par exemple), le groupe d'experts propose que la définition puis la mise en oeuvre de ce suivi soient réalisées dans le cadre d'un Conseil Scientifique (CS) qui pourrait être placé sous la responsabilité du Syndicat Mixte gestionnaire de la rivière. Un tel conseil comprendra des scientifiques représentant les diverses

disciplines concernées par un tel suivi, mais aussi des acteurs locaux de la gestion et de la surveillance de la Loue et des représentants de l'Etat. S'il appartiendra au conseil scientifique de définir précisément le protocole de suivi et ses modalités d'application, le groupe d'experts formule cependant les recommandations suivantes :

**(I) Mieux caractériser la qualité physico-chimique de l'eau** et pour ce faire, les suivis devront associer à la fois des mesures en continu de quelques paramètres et des mesures discrètes. C'est ainsi que l'oxygène dissous (qui est un bon indicateur du fonctionnement de la rivière) et la température (qui a une influence considérable sur ce fonctionnement) peuvent subir des variations à diverses échelles temporelles qui demandent un suivi en continu. Pour les nutriments, des mesures discrètes sont généralement suffisantes mais le groupe d'experts recommande de bien caractériser les événements de crues qui sont peu documentés actuellement alors qu'ils peuvent contribuer, de façon majeure, aux flux de nutriments et de polluants. Concernant ces derniers et plus particulièrement concernant les micropolluants, il a été noté que les informations disponibles sur leurs concentrations dans l'eau, les sédiments ou les poissons sont absentes alors qu'il existe des doutes sur leur impact éventuel sur les communautés biotiques. La multiplicité des pressions chimiques sur le bassin versant de la Loue à laquelle s'ajoutent celles apportées par les pertes du Doubs, exige de cibler les analyses chimiques sur des contaminants considérés comme prioritaires au sens des volumes utilisés et de leur toxicité intrinsèque vis-à-vis de la faune aquatique. Le groupe d'experts préconise ainsi de mettre en place un réseau de surveillance "micro-polluants" de la qualité chimique sur le linéaire de la rivière Loue entre la station Mouthier à l'amont et Quingey à l'aval sur une période minimale de cinq ans et en s'appuyant sur les informations fournies par les secteurs d'activité concernés. Cette démarche s'adresse en priorité aux éléments chimiques suivants (en complément des analyses réalisées régulièrement sur l'eau par différents opérateurs (Agence de l'Eau, Conseil général du Doubs et GREPPES) :

- Produits de traitement du bois ou à usage agricole à rechercher dans la phase sédimentaire : insecticides pyréthrinoïdes de synthèse (alphaméthrine, cyperméthrine, deltaméthrine), fongicide /bactéricide carbamate (3-iodo-2-propynylbutylcarbamate, IPBC), fongicides triazolés (propiconazole et tébuconazole)
- Autres pesticides à rechercher dans la phase sédimentaire : herbicides glyphosate et AMPA (un de ses métabolites principaux), isoproturon et diuron

**(II) Mieux connaître la diversité, les effectifs et/ou les biomasses, et l'état de santé des peuplements biologiques.**

Pour compléter et/ou préciser les données actuelles et permettre une interprétation de ces données en termes d'évolution temporelle et spatiale, il faut réfléchir à la mise en place de protocoles d'échantillonnage précis et répondant bien aux objectifs fixés. Ainsi, concernant les peuplements de macroinvertébrés, macrophytes et diatomées ainsi que les indices issus de l'étude ces communautés (IBGN, IBMR et IBD), les échantillonnages devront être réalisés de façon plus fréquente dans l'année (un prélèvement par saison) et surtout aux mêmes périodes d'une année sur l'autre. En effet, les experts ont rencontré une grande difficulté d'interprétation des listes faunistiques des macroinvertébrés car elles ont été établies, pour une même station, à différentes périodes selon les années. Or, pour juger de l'amplitude d'une évolution sur le long terme, il est nécessaire de pouvoir restituer l'amplitude de cette évolution dans le cadre d'une variabilité interannuelle. Les suivis temporels devront donc être réalisés dans des conditions hydrologiques et thermiques les plus similaires possibles et en tenant compte de la saisonnalité des cycles de développement des organismes. Par ailleurs, une nouvelle étude approfondie des peuplements de Trichoptères, Ephéméroptères et Plécoptères avec des échantillonnages similaires à ceux effectués dans les années 70s et une identification des espèces, apparaît très pertinente pour les experts.

Concernant les macrophytes, une nouvelle étude réalisée selon le protocole utilisé par Vergon en 1990 devra être menée. Cette étude permettra de faire une évaluation de la biomasse des macrophytes aux différentes saisons. Elle devra s'accompagner d'une cartographie précise de la végétation vasculaire (relevés systématiques sur des transects de 2 m distribués tout le long du cours d'eau), en prenant bien en compte les arrivées d'eau, de manière à disposer d'un patron longitudinal des communautés végétales pour identifier clairement les ruptures fonctionnelles le long du cours d'eau.

Les experts ont également souligné les apparentes contradictions entre l'interprétation des données chimiques (par exemple les concentrations en nutriments) et des données biologiques plus intégratives (macrophytes et algues, macroinvertébrés, peuplements piscicoles). Ces observations mettent l'accent sur la nécessité (i) de redonner aux métriques biologiques une valeur informative prépondérante sur l'état de santé global des systèmes (alors que c'est la démarche inverse qui semble primer actuellement avec une minimisation, voire un détournement, des interprétations des indices biologiques en fonction des résultats des analyses chimiques) et (ii) de développer d'autres approches plus intégratives (voir propositions de recherche).

Une préconisation du groupe d'experts concerne également la nécessité de mettre en place des observations rigoureuses à la fois de la mortalité et de la morbidité des espèces piscicoles sur la Loue, une fois encore en s'appuyant sur un protocole d'échantillonnage précis, à l'instar de celui mis en place en 2011 par l'Onema. La fréquence de ces observations doit être au minimum mensuelle entre mai et octobre, et bimensuelle de novembre à avril. Le choix des stations à investiguer devra se faire en étroite collaboration avec les agents de l'Onema qui sont en charge de ce secteur. Ces informations permettront (i) de quantifier les mortalités recensées à une période donnée, et (ii) de décrire une évolution possible du phénomène afin d'apporter des éléments de décision quant à la gestion environnementale du bassin versant de la Loue. Il faudra aussi profiter de ces échantillonnages pour étudier certains biomarqueurs permettant de caractériser l'état de santé des poissons, mais également pour mesurer des variables intégratives concernant la pression parasitaire, la croissance et l'indice de conditions des poissons. Un bilan plus complet annuel incluant des examens bactériologiques et histologiques du foie et des gonades, hématologiques avec une formule leucocytaire, permettrait de compléter l'évaluation de la pression génotoxique globale. Un suivi de la qualité des frayères peut également être envisagé. Un protocole standardisé a été mis en place dans le cadre de l'ORE Petits Fleuves Côtiers. Il consiste en l'utilisation de capsules d'incubation des œufs introduites à l'intérieur des graviers des frayères (Dumas & Marty, 2006) et son utilisation est en train de se généraliser en France (contacts en cours en Suisse).

Enfin, une réflexion, déjà engagée par les acteurs locaux (agence de l'eau RMC) et par l'Onema concerne l'échantillonnage des cyanobactéries benthiques et l'évaluation des risques toxiques liés à leur développement. Le suivi réalisé en 2010 et 2011, n'a pas permis d'exploiter les données disponibles en raison d'une mauvaise "stratégie" d'échantillonnage et de traitement des échantillons. Il faudra donc élaborer un protocole d'échantillonnage solide de ces microorganismes, qui puisse prendre en compte l'hétérogénéité spatiale et temporelle de ces communautés en terme de diversité mais également de biomasse. Par ailleurs, un suivi des toxines permettra également d'évaluer les risques sanitaires potentiels associés à ces biofilms.

**(III) Organiser et coordonner les suivis et les études réalisés sur La Loue et son BV.** La finalité des suivis préconisés ci-dessus est de fournir des données scientifiques de qualité, pour mieux comprendre le fonctionnement et l'évolution de cette rivière et pour fournir une aide à la décision pour sa gestion. Outre la qualité des données, il est également nécessaire d'engager une réflexion sur leur disponibilité et leur accessibilité. En effet, une

des grandes difficultés du groupe d'experts a été de disposer des nombreuses données existantes car elles sont actuellement dispersées auprès des nombreux acteurs impliqués dans le suivi de la Loue et de son bassin versant. La création d'une base de données devrait permettre de résoudre ce problème en assurant un contrôle de la qualité des données mais également leur centralisation. Ce projet pourrait être mené sur la base de ce qui est proposé dans le cadre des ORE (Observatoire de Recherche de l'Environnement) ou des zones ateliers en se basant, par exemple, sur ce qui a été développé dans le cadre de l'ORE PFC (Petits Fleuves Côtiers) ou de la zone atelier Bassin du Rhône (ZABR). En effet, les objectifs des OREs ou des zones ateliers, qui convergent avec ceux exprimés pour la surveillance de la Loue, sont (i) d'une part, l'acquisition des données de natures diverses (physiques, chimiques, biologiques) sur le long terme, pour le suivi des processus environnementaux et écologiques et (ii) d'autre part, la mise en place d'expérimentations, également sur le long terme, qui complètent et valorisent les tâches de la simple observation de l'environnement (cf. question 9 dans les propositions d'axes de recherche).

### **9. Quelles sont les principales actions de recherche qui semblent nécessaires pour améliorer les connaissances sur le fonctionnement de la rivière ?**

Outre la mise en place d'un suivi sur le long terme de nombreux descripteurs de la qualité de l'écosystème Loue, le groupe d'experts préconise également la réalisation de travaux de recherche ponctuels qui permettraient de répondre à un certain nombre d'interrogations soulevées au cours de l'expertise. Plusieurs domaines de recherche clés ont été identifiés.

**(I) Mieux connaître les expositions et les impacts des polluants sur les poissons.** Afin de mieux connaître les niveaux d'exposition des poissons et des autres communautés biologiques (macroinvertébrés) aux polluants présents dans la Loue ou sur d'autres écosystèmes proches, il est proposé d'évaluer la pression génotoxique globale de contaminants présents dans cet écosystème sur les populations de poissons, par des techniques complémentaires de mise en évidence de dommages primaires à l'ADN (test des comètes en conditions alcalines) et de mutations chromosomiques (test des micronoyaux) sur le tissu sanguin. Les mesures devront être réalisées lors de deux à trois campagnes annuelles afin de prendre en compte un possible différentiel de contamination dans le temps lié à l'évolution des activités humaines sur le bassin versant et/ou à la mise en place de mesures de gestion définies à l'issue de cette expertise. En effet, un certain nombre de biomarqueurs généralistes permettent d'évaluer le

niveau d'exposition des organismes aquatiques à des stress d'origine chimique. Parmi ceux-ci, la mesure de l'intégrité de l'ADN cellulaire à la fois au niveau somatique et germinale peut renseigner sur les risques encourus au niveau individuel et populationnel comme cela a été démontré en particulier chez les poissons et les macroinvertébrés benthiques (Devaux et al., 1998 ; Jha, 2004 et 2008 ; Bony et al., 2008 ; Devaux et al., 2011 ; Lacaze et al., 2011).

**(II) Mieux connaître le fonctionnement des communautés biologiques de la Loue et les impacts des pressions anthropiques.** Il est apparu que le compartiment des macroinvertébrés avait subi de profondes modifications au cours des dernières décennies. Afin de mieux comprendre les origines et les impacts de ces modifications, il est tout d'abord proposé de réaliser un suivi de la signature isotopique de l'azote minéral ( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  noté  $\delta^{15}\text{N}$ ) dans la Loue. Un tel suivi permettra d'étudier la répartition spatiale et la périodicité des apports respectifs en intrants potentiels (engrais azotés appauvris en  $^{15}\text{N}$ , lisiers, fumiers enrichis en  $^{15}\text{N}$  ; Mayer et al., 2002 ; Cole et al., 2004). Il sera également nécessaire de déterminer la signature isotopique en azote des organismes consommateurs, ce descripteur étant considéré comme un bon indicateur d'un excès d'azote d'origine anthropique (Anderson and Cabana, 2006). En plus de son caractère indicateur d'une pollution azotée, l'analyse  $\delta^{15}\text{N}$  au sein des communautés de macroinvertébrés benthiques permet d'étudier les modifications induites par différents types de pollutions sur la structure des réseaux trophiques. A partir de la signature  $\delta^{15}\text{N}$  des producteurs primaires (ou d'organismes strictement phytophages), il est possible de déterminer la position trophique de tout autre consommateur sachant qu'à chaque niveau trophique supplémentaire il y a un enrichissement en azote lourd. Ainsi, il a été montré que la pente de la régression « taille des macroinvertébrés/ $\delta^{15}\text{N}$  » augmentait sous l'effet d'une pollution azotée par allongement de la chaîne trophique (Anderson and Cabana, 2009). Le phénomène d'allongement des chaînes trophiques pourrait en partie intervenir dans la toxicité de différents polluants pour la faune piscicole puisqu'il favorise les phénomènes de bioaccumulation. De plus, les apports suspectés d'azote excessifs dans la Loue sont susceptibles d'induire dans les eaux interstitielles des substrats fins (des graviers aux sédiments), l'apparition d'ammonium (ionisé ou non selon les conditions de pH) pouvant induire une toxicité chronique (Alonso et al., 2009, Kater et al., 2006). L'existence d'un tel processus dans la Loue pourrait être recherchée par analyse conjointe des communautés de macroinvertébrés dans les zones de sédimentation et l'analyse des formes azotées et de leur concentration dans les eaux interstitielles. Des tests

de toxicité *in situ* pourraient également être envisagés sur différents organismes (chironomides, amphipodes).

Plus globalement, il paraît indispensable aux experts de mieux connaître les impacts des pressions anthropiques sur l'organisation générale des communautés d'organismes vivant dans la rivière (équilibres entre les différentes catégories de producteurs primaires, modifications potentielles des interactions de compétition ou de consommation entre les organismes, modifications du degré du parasitisme, etc.), et les conséquences de ces modifications sur les processus fonctionnels s'opérant à l'échelle de la Loue (cycle des nutriments, flux de matière, etc).

### **(III) Mieux connaître l'historique de la dégradation de la Loue et de ses affluents, et identifier les phases clés dans cette dégradation.**

Pour cela, il serait nécessaire de réaliser des études sur les archives sédimentaires des lacs du plateau (ceux dont les sédiments n'ont pas été remaniés, et si possible un lac préservé, et un lac plus altéré). Les carottages de sédiments permettraient de décrire la dynamique temporelle de plusieurs paramètres potentiellement impliqués dans les altérations observées, comme le phosphore qui est essentiellement d'origine anthropique, mais aussi le carbone et l'azote. En parallèle, les altérations de biodiversité pourraient être mesurées via l'analyse de la densité d'oogones de Charophytes, mais également par une analyse des macro-restes de végétaux et du pollen. Ces différents éléments devront être replacés dans le temps grâce à des outils de type isotopique, à l'exemple du Césium 137 ou le plomb 210, qui permettent de replacer des dates clef récentes et donc de dater les différentes strates de la carotte.

### **(IV) Mieux connaître le déterminisme des proliférations de cyanobactéries et de leur toxicité.**

Outre les suivis qui permettront de mieux évaluer l'abondance de ces microorganismes et les risques toxiques potentiels associés, il semble en effet nécessaire de mieux comprendre le déterminisme des proliférations de ces cyanobactéries benthiques mais aussi de la production de toxines, si l'on veut être capable, dans un second temps, de prendre des mesures pour limiter ces phénomènes. L'identification des principaux facteurs et processus intervenant dans le déterminisme de ces phénomènes pourra se faire sur la base d'un couplage entre les suivis réalisés et des études complémentaires sur la diversité génétique des espèces qui prolifèrent et sur leur potentiel toxique en terme de présence/absence des gènes impliqués dans la synthèse des toxines, à l'exemple de travaux semblables qui ont été réalisés pour les cyanobactéries pélagiques. Par ailleurs, des approches expérimentales pourraient également permettre de mieux comprendre la dynamique de production des toxines, sous diverses contraintes

environnementales. Enfin, sachant que l'impact des toxines produites par les cyanobactéries benthiques, sur les poissons est encore mal connu, des études complémentaires devront également être réalisées sur cette question, en tenant compte des différences de comportement et donc d'exposition à ces toxines, existant entre les espèces de poissons présentes dans la Loue.

### **10. En l'état actuel des connaissances, quelles préconisations opérationnelles peuvent être proposées ?**

Suite à l'analyse de l'état physico-chimique et des peuplements biologiques de la Loue, les experts proposent quatre recommandations opérationnelles :

#### **(I) Mise en place de mesures pour limiter les apports en nutriments (en particulier en phosphore et azote) dans la rivière.**

En effet, plusieurs indicateurs biologiques ont permis de montrer que la Loue est dans un état eutrophe, ce qui explique les proliférations d'algues et de cyanobactéries, mais également les atteintes aux peuplements des macroinvertébrés benthiques et probablement aussi, aux peuplements des poissons. La limitation des nutriments peut reposer tout d'abord sur des missions d'information et d'éducation (voir proposition 3) mais cela ne sera sans doute pas suffisant. Pour espérer véritablement diminuer les concentrations en phosphore et azote, il sera nécessaire, dans un premier temps, d'identifier les sources principales de ces éléments, puis dans un second temps de prendre les mesures pour les limiter. Parmi les hypothèses qui peuvent être avancées, il est probable que l'assainissement collectif et individuel joue un rôle non négligeable dans les flux de phosphore. Malgré l'interdiction récente de l'utilisation des phosphates dans les lessives textiles, ceux-ci continuent toujours d'être présents dans les lessives vaisselles, ce qui représente potentiellement des quantités importantes. Sachant que la déphosphatation des eaux usées n'est pas une pratique répandue et que même dans les stations où ce processus est appliqué, il existe des périodes où il est inefficace (crues par exemple), des quantités importantes de phosphore peuvent continuer à parvenir dans les eaux de la Loue. Par ailleurs, comme des visites réalisées sur les bords de la rivière l'ont montré, il semble que des apports très localisés en provenance d'habitations individuelles par exemple, existent et permettent localement le développement de biomasses importantes. Le recensement de tels apports pourrait permettre d'améliorer l'état de la rivière. Enfin, même si la vente d'engrais phosphorés a diminué lors de ces dernières années, il est très probable qu'un apport agricole existe toujours et qu'il conviendrait de le quantifier pour pouvoir proposer des solutions permettant de le limiter. En

ce qui concerne l'azote, il est connu que cet élément est essentiellement d'origine agricole, même si les populations humaines contribuent également à sa production. Les augmentations constatées dans la Loue ne sont pas à ce jour clairement expliquées, faute d'études consacrées à cette question. Cependant, il apparaît probable aux yeux des experts que l'augmentation de la production de lait, qui génère plus de déchets azotés, couplée à l'épandage sur prairies de ces déchets, notamment sous la forme de lisiers, jouent probablement un rôle dans l'augmentation constatée de cet élément dans la Loue. De plus, à l'inverse des engrais phosphorés, la quantité d'engrais azotés livrés a augmenté dans le département du Doubs. Il est donc nécessaire de mieux connaître l'origine de l'azote et de prendre les mesures pour en limiter ses apports à la rivière, en continuant, par exemple, de poursuivre les efforts entrepris sur les pratiques d'épandage, mais aussi en évaluant les conséquences de changements de pratiques agricoles, telle que l'augmentation des systèmes lisiers. Les experts s'interrogent également sur les effets de la levée des quotas laitiers, qui pourraient se traduire par une augmentation de la production laitière et donc par des contraintes sur l'environnement encore plus forte.

**(II) Redonner de la liberté à la rivière en faisant disparaître certains des ouvrages qui fragmentent et ralentissent actuellement son écoulement.** Sachant que la Loue comporte une cinquantaine de seuils et de barrages dont dix sont infranchissables, leurs impacts conjugués peuvent s'avérer majeurs sur le fonctionnement du cours d'eau. Ces impacts sont en effet bien souvent cumulatifs, et ils peuvent concerner aussi bien la qualité physico-chimique que la qualité biologique de la rivière.

Les barrages et seuils jouent tout d'abord un rôle sur la température des eaux en favorisant leur réchauffement. Ils modifient également, de manière sensible, les conditions d'habitat en augmentant les zones d'eaux calmes et profondes au détriment des zones d'eaux courantes. D'une manière générale, ce type d'aménagement induit des transformations profondes des communautés aquatiques en favorisant la croissance des macrophytes et des algues et le remplacement des espèces exigeantes de poissons (ombre et truite par exemple) et de macro-invertébrés par des espèces plus tolérantes (glissement typologique). Ces nouvelles conditions d'habitat peuvent participer également aux développements massifs de cyanobactéries. Concernant les poissons, le déclin de certaines espèces, comme la truite et l'ombre, peut être d'autant plus marqué que les barrages et seuils, en empêchant l'accessibilité des poissons aux zones de frayère au sein du cours d'eau, limitent leur reproduction.

Les barrages et seuils impactent également de manière importante le flux des sédiments en entraînant des dépôts de sédiments fins sur le fond du lit mineur. Ces dépôts fins qui provoquent le colmatage des substrats, participent au déclin des organismes sensibles (macro-invertébrés et poissons), par la dégradation de la capacité d'accueil de la rivière, et notamment les zones de frai pour les poissons comme la truite et l'ombre. Ces sédiments fins, favorisent également le stockage des nutriments et des polluants et participent de cette manière au maintien de leur teneur dans la rivière par des phénomènes de relargage.

Il est à noter que ces impacts sont d'autant plus dommageables que la plupart se retrouvent amplifiés par le contexte actuel de changement climatique (réchauffement des eaux).

L'effacement de certains barrages sur la Loue permettrait donc d'améliorer la qualité globale de la rivière en jouant à la fois sur de nombreux paramètres physico-chimiques comme, la température et les nutriments, la qualité de l'habitat et sur des paramètres biologiques tels que la continuité écologique de l'habitat ou la limitation du développement des producteurs primaires.

**(III) Evaluer les impacts des pratiques de repeuplements de poissons et plus généralement de gestion de la pêche, sur l'état des populations de poissons.** D'une manière générale, la qualité sanitaire et l'origine des souches des poissons déversés lors des opérations de repeuplements jouent un rôle essentiel dans leur capacité à supporter les conditions imposées par le milieu naturel. Compte tenu de la richesse piscicole attendue dans la Loue, il est nécessaire d'exiger une qualité sanitaire et une origine génétique optimale avant tout autre critère de choix des poissons de repeuplement, notamment économique.

Un certain nombre d'exigences existent déjà dans la réglementation, concernant l'état sanitaire des individus et la qualité des piscicultures (code de l'environnement à sa section 4 - Contrôle des repeuplements, article R432-14 et la Directive 2006 /88/CE du 24 octobre 2006), mais ceux-ci ne sont pas toujours respectés et ne prennent pas en compte l'ensemble des risques sanitaires. Le plus sûr serait de prétendre à une garantie sanitaire assurée par un organisme du type Groupement de défense sanitaire aquacole (GDSA) comme cela se fait déjà dans certains bassins, sachant que ce Groupement pourrait par exemple établir une liste de maladies à contrôler sur la base d'examens réguliers. Une autre garantie existe concernant les bonnes pratiques de repeuplement sous la forme du club de la Charte des salmonidés de repeuplements (CCSR), qui se fonde sur le respect de l'origine génétique des souches. Plus globalement, les experts voudraient insister sur le fait qu'il est toujours préférable d'agir sur la qualité du milieu afin

de permettre le développement optimal des populations plutôt que de pratiquer le repeuplement.

Concernant la pratique du No-Kill (les poissons capturés sont relâchés), sur laquelle aucune information n'est disponible, les experts indiquent qu'il serait intéressant d'évaluer ses conséquences sur l'état de santé des poissons, sachant que potentiellement, une telle pratique peut favoriser la transmission de pathologies entre individus et une dégradation de leur état sanitaire. La littérature scientifique rapporte actuellement peu d'informations sur cette question. Une première étape consisterait tout d'abord à quantifier l'ampleur de cette pratique au regard de la population en place, sachant que son impact est certainement proportionnel à son intensité.

**(IV) Mettre en œuvre des missions d'information, d'éducation et de respect de la Loi pour continuer à améliorer et/ou pour modifier certaines pratiques ayant cours dans le bassin versant de la rivière.** Cette recommandation repose tout d'abord sur le constat que le karst et la fine épaisseur du sol rendent ce bassin versant particulièrement vulnérable aux activités humaines polluantes. Outre les recommandations déjà formulées sur les pratiques agricoles, sur l'assainissement, et sur la gestion des populations piscicoles, ces missions d'information, d'éducation et de respect de la Loi pourraient concerner plus particulièrement :

- les pratiques de traitement du bois, que ce soit sur les grumes en forêt ou dans les scieries, sachant que les produits utilisés sont très nocifs pour les organismes aquatiques et qu'il existe une réglementation qui se doit d'être respectée
- les pratiques d'utilisation de pesticides (herbicides notamment) par les particuliers, les collectivités locales et les agriculteurs car ces produits peuvent être des sources de pollution non négligeables pour les cours d'eau notamment dans un contexte karstique présentant une faible épaisseur de sol.

Globalement, les experts recommandent de mieux adapter l'ensemble des pratiques (agricoles, sylvicoles, urbaines et industrielles) à la vulnérabilité du bassin versant aux transferts des différents polluants. Cette adaptation pourrait passer dans un premier temps par une cartographie globale de la vulnérabilité des sols en fonction des différentes pratiques pour ensuite les limiter et les encadrer sur les zones les plus sensibles, à l'image de ce qui est fait pour les épandages.



**Remerciements à :**

Mrs Bouchard, Compagnat, Gindre, Mouget,  
Poichet, Poulet et Prochazka de l'Onema  
Mr Creutin du Syndicat Mixte de la Loue  
Mr Tourenne de la Chambre d'Agriculture du Doubs  
Mr Tournier du Conseil Général du Doubs  
Mr Rossignon de la Fédération Départementale de  
Pêche et de Protection du Milieu aquatique du  
Doubs  
Mr Porteret de l'Agence de l'Eau RM&C  
Mme Genin de la DREAL

**Liste et affiliation des experts**

Gudrun Bornette  
LEHNA-UMR CNRS 5023  
"Laboratoire d'écologie des hydrosystèmes naturels  
et anthropisés"  
Université C. Bernard Lyon 1  
Bâtiment Forel, 2ème étage, 43, Boulevard du 11  
novembre 1918  
69622 Villeurbanne Cedex  
Tel : 0472431294  
Courriel : [gudrun.bornette@univ-lyon1.fr](mailto:gudrun.bornette@univ-lyon1.fr)

Alain Devaux  
LEHNA-UMR CNRS 5023  
USC INRA IGH  
Ecole Nationale des Travaux Publics de l'État  
Rue Maurice Audin  
F- 69518 Vaulx-en-Velin Cedex  
FRANCE  
Tél : +33 (0)4 72 04 71 78  
Courriel : [devaux@entpe.fr](mailto:devaux@entpe.fr)

Philippe Gaudin  
UMR INRA/UPPA  
ECOBIOP , Ecologie Comportementale et Biologie  
des Populations de Poissons  
Quartier Ibarron  
64310 St Pée-sur-Nivelle France  
Tél : +33 (0)5 59 51 59 70  
Courriel : [gaudin@st-pee.inra.fr](mailto:gaudin@st-pee.inra.fr)

Jean-François Humbert  
UMR Bioemco, Site de l'ENS  
46 rue d'Ulm  
75005 Paris  
Courriel : [humbert@biologie.ens.fr](mailto:humbert@biologie.ens.fr)

Gérard Lacroix  
UMR Bioemco, Site de l'ENS  
46 rue d'Ulm  
75005 Paris  
Tel : 0144323852  
Courriel : [lacroix@biologie.ens.fr](mailto:lacroix@biologie.ens.fr)

Nicolas Massei  
UMR CNRS 6143, IRESE A  
Université de Rouen  
76 821 Mont Saint Aignan cedex  
Tel : +33 (0)2 32 76 94 43  
Courriel : [nicolas.massei@univ-rouen.fr](mailto:nicolas.massei@univ-rouen.fr)

Jacques Mudry  
Laboratoire Chrono-Environnement  
16 route de Gray  
25030 Besançon cedex  
Tel : 0381666432  
Courriel : [jacques.mudry@univ-fcomte.fr](mailto:jacques.mudry@univ-fcomte.fr)

Françoise Pozet  
Laboratoire Départemental d'Analyses du Jura  
(LDA39)  
59 rue du Vieil Hôpital - BP 40135  
39802 Poligny Cedex 2  
Tél : +33 (0)3 84 73 73 40  
Courriel : [fpozet@cq39.fr](mailto:fpozet@cq39.fr)

Dominique Trevisan  
INRA UMR CARTEL  
75 avenue de Corzent  
74200 Thonon-les-Bains  
Tel : 0450267830  
Courriel : [trevisan@thonon.inra.fr](mailto:trevisan@thonon.inra.fr)

Valérie Verneaux  
Laboratoire Chrono-Environnement  
16 route de Gray  
25030 Besançon cedex  
Tel : 0381665771  
Courriel : [valerie.verneaux@univ-fcomte.fr](mailto:valerie.verneaux@univ-fcomte.fr)

## Bibliographie

- Adam O., 2008. Impact des produits de traitement du bois sur les amphipodes *Gammarus pulex* (L.) et *Gammarus fossarum* (K.): approches chimique, hydro-écologique et écotoxicologique. Thèse de Doctorat de l'Université de Franche-Comté, spécialité Sciences de la vie, 238 p.
- ADIB (Association des industries du bois en Franche-Comté), 2002. Traitement chimique de préservation du bois dans les scieries de résineux de Franche-Comté - Etat des Lieux, 30 p.
- Alonso A. and Camargo J.A., 2009.- Long-Term Effects of Ammonia on the Behavioral Activity of the aquatic Snail *Potamopyrgus antipodarum* (Hydrobiidae, Mollusca). *Arch Environ Contam Toxicol*, 56, 796–802.
- Bailly G., Ferrez Y., Guyonneau J. et Schaefer O., 2007. Étude et cartographie de la flore et de la végétation de dix lacs du massif jurassien. Petit et Grand lacs de Clairvaux (Jura), lac du Vernois (Jura), lac du Fioget (Jura), lac de Malpas (Doubs), lac de Remoray (Doubs), lac de Saint-Point (Doubs), lacs de Bellefontaine et des Mortes (Jura et Doubs) et lac des Rousses (Jura).
- Baudouy A.M. et Tuffery G., 1973. Connaissance actuelle sur un syndrome mycosique affectant les populations piscicoles des rivières à salmonidés de France. *Bulletin Français de Pêche et Pisciculture*, 249, 127-142.
- Benyahya B., St-Hilaire A., Ouarda T.B.M.J., Bobée B. and Dumas J., 2008. Comparison of non-parametric and parametric water temperature models on the Nivelle River, France. *Hydrological Sciences*, 53, 640-655.
- Bolliet V., Bardonnet A., Jarry M., Vignes J.C. and Gaudin P., 2005. Does embeddedness affect growth performance in juvenile salmonids? An experimental study in brown trout, *Salmo trutta* L. *Ecology of Freshwater Fish.*, 14, 289-295.
- Bony S., Gillet C., Bouchez A., Margoum C., and Devaux A., 2008. Genotoxicity pressure of vineyard pesticides in fish: field and mesocosm surveys. *Aquatic Toxicology*, 89, 197-203.
- Bouchard J., 2010. Etude de la qualité piscicole sur quatre stations de la Loue, Rapport Onema, 54 p.
- Bouillier N., Dore L., Devillez M., Gentelet B., Millier C. and Uugulu S., 2012. Détermination et quantification des aléas sur le Bassin Versant de la Loue, Rapport de projet Hydrogéologique, Master de Géologie Appliquée, Université de Franche-Comté.
- Cadel-Six S., Peyraud-Thomas C., Brient L., de Marsac N.T., Rippka R. and Mejean A., 2007. Different genotypes of anatoxin-producing cyanobacteria coexist in the Tarn River, France. *Applied Environmental Microbiology* 73, 7605-7614.
- Chambre d'Agriculture du Doubs, 2011. Bassin versant de la Loue. Rapport relatif à la faisabilité d'une opération collective de maîtrise des pollutions agricoles, 10p.
- Chaudon, 2005, Groupement d'Interet Public Loire Estuaire
- Compagnat P., 2011. Surveillance des mortalités sur des cours d'eau de Franche-Comté en 2011. Tableau de synthèse Onema.
- CPEPESC, 2007. Le gouffre poubelle du creux de Rénale. <http://www.cpepesc.org>.
- CSP, 1998. Etude piscicole de la basse vallée de la Loue. Rapport CSP Lyon n°6/98., 65 p.
- CTBA (Centre technique du bois et de l'ameublement), 2000. Le traitement des bois dans la construction. Edition Eyrolles, 152 p.
- Decourcière H., 1998. Situation typologique et qualité écologique actuelle de l'hydrosystème Haute-Loue. Rapp. DESS, Univ f Comté, I.S.T.E.
- Devaux A., Fiat L., Gillet C. and Bony S., 2011. Reproduction impairment following paternal genotoxin exposure 1 in brown trout (*Salmo trutta*) and Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *Aquatic Toxicology*, 101, 405-411.
- Devaux A., Flammarion P., Bernardon V., Garric J. and Monod G., 1998. Monitoring of the chemical pollution of the river Rhône through measurement of DNA damage and cytochrome P4501A induction in chub (*Leuciscus cephalus*). *Marine Environmental Research*, 46, 257-262.
- Dumas J. and Marty S., 2006. A new method to evaluate egg-to-fry survival in salmonids, trials with Atlantic salmon. *Journal of Fish Biology*, 68, 284-304.
- Dumas J., Bassenave J.G., Jarry M., Barriere L. and Glise S., 2007. Effects of fish farm effluents on egg-to-fry development and survival of brown trout in artificial redds. *Journal of Fish Biology*, 70,1734-1758.
- DREAL Franche-Comté, 2010. Note sur la qualité physico-chimique de la Loue dans le secteur d'Ornans (actualisée octobre en 2010). 8 p.
- DREAL Franche-Comté, 2010. Note sur la qualité hydrobiologique (macro-invertébrés, macrophytes et diatomées) de la Loue – station de Mouthier-Haute-Pierre et de la Piquette (année 2010). 22 p.
- Ernst B., Dietz L., Hoeger S.J. and Dietrich D.R., 2005. Recovery of MC-LR in fish liver tissue. *Environmental Toxicology* 20, 449-458.
- Ernst B., Hoeger S.J, O'Brien E. and Dietrich D.R., 2006. Oral toxicity of the microcystin- containing cyanobacterium *Planktothrix rubescens* in European whitefish (*Coregonus lavaretus*). *Aquatic Toxicology* 79, 31-40.

- Ernst B., Hoeger S.J, O'Brien E. and Dietrich D.R., 2007. Physiological stress and pathology in European whitefish (*Coregonus lavaretus*) induced by subchronic exposure to environmentally relevant densities of *Planktothrix rubescens*. *Aquatic Toxicology* 82, 15-26.
- Fédération départementale de pêche et de protection des milieux aquatiques du Doubs, 2011. Etude de l'état des peuplements piscicoles du réseau hydrographique du Dessoubre – Définition d'un état initial (2009). Rapport Bureau d'Etude TELEOS et FDAAPPM 25, 103 p.
- Gugger M., Lenoir S., Berger C., Ledreux A., Druart J.C., Humbert J.F., Guette C. and Bernard C., 2005. First report in a river in France of the benthic cyanobacterium *Phormidium favosum* producing anatoxin-a associated with dog neurotoxicosis. *Toxicon* 45, 919-928.
- Higgins S. N., Hecky R. E. and Guildford S. J., 2006. Environmental controls of *Cladophora* growth dynamics in eastern Lake Erie: Application of the *Cladophora* growth model (CGM). *Journal of Great Lakes Research* 32, 629-644.
- Hurrell J.W., Kushnir Y., Ottersen G. and Visbeck M., 2003 - The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact. *Geophysical Monograph* 134, pp. 1-35.
- Hurrell, J. W. 1995 - Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation. *Science*, 269, 676-679.
- Ibelings B. W., Bruning K., de Jonge J., Wolfstein K., Dionisio Pires L. M., Postma J. and Burger, T., 2005. Distribution of microcystins in a lake Foodweb: No evidence for biomagnification. *Microbial Ecology* 49, 487-500.
- Institut des Sciences et Techniques de l'Environnement (ISTE) 1994. Systèmes aquatiques des hauts bassins du Doubs, de la Loue et du Lison. Qualité biologique globale du haut-Doubs, de la haute Loue et du Lison. Rapport d'étude Laboratoire Hydrobiologie-Hydroécologie, Conseil régional de Franche-Comté, 30pp.
- Jha, A., 2004. Genotoxicological studies in aquatic organisms: an overview. *Mutation Research*, 552, 1-17.
- Jha, A., 2008. Ecotoxicological application and significance of the comet assay. *Mutagenesis*, 23, 207-221.
- Kater B.J., Dubbeldam M. and Postma J.F., 2006.- Ammonium Toxicity at High pH in a Marine Bioassay Using *Corophium volutator*. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 51, 347-351.
- Krause, W. 1981. Characeen als Bioindikatoren für den Gewässerzustand. *Limnologica*, 13, 399-418.
- Krienitz L., Ballot, A., Kotut K., Wiegand C., Pütz S., Metcalf J. S., Codd G. A. and Pflugmacher S., 2003. Contribution of hot spring cyanobacteria to the mysterious deaths of Lesser Flamingos at Lake Bogoria, Kenya. *FEMS Microbiology Ecology* 43, 141-148.
- Kuiper-Goodman T., Falconner I. and Fitzgerald J., 1999. Human health aspects, p. 113-153. In I. Chorus and J. Bartram (ed.), *Toxic cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management*. E. and F. N. Spon, London, United Kingdom.
- Lacaze E., Geffard O., Goyet D., Bony S. and Devaux A., 2011. Linking genotoxic responses in *Gammarus fossarum* germ cells with reproduction impairment, using the Comet assay. *Environmental Research*, 111, 626-634.
- Lucassen E.C.H.E.T., Bobbink R., Smolders A.J.P., Van der Ven P.J.M., Lamers L.P.M. and Roelofs J.G.M., 2002. Interactive effects of low pH and high ammonium levels responsible for the decline of *Cirsium dissectum* (L.) Hill. *Plant Ecology*, 165, 45-52.
- Massa F., 2000. Sédiments, physico-chimie du compartiment interstitiel et développement embryolaire de la truite commune (*Salmo trutta*) : Etude en milieu naturel anthropisé et en conditions contrôlées. Thèse de Doctorat, Institut National Agronomique, Paris Grignon, 178 p.
- Massei N., Laignel B., Deloffre J., Mesquita J., Motelay A., Lafite R. and Durand A., 2010. Long-term hydrological changes of the Seine river flow (France) and their relation to the North-Atlantic Oscillation over the period 1950-2008. *Int.J.Climatol.* (special issue), 30: 2146-2154, DOI: 10.1002/joc.2022.
- Mez K., Beattie K.A., Codd G.A., Hanselmann K., Hauser B., Naegeli H. and Preisig H.R., 1997. Identification of a microcystin in benthic cyanobacteria linked to cattle deaths on alpine pastures in Switzerland. *European Journal of Phycology* 32, 111-117.
- Moatar F. and Gailhard J., 2006. Water temperature behaviour on the River Loire since 1976 and 1881. *C. R. Geoscience*, 338, 319-328.
- Osswald J., Rellan S., Carvalho A. P., Gago A. and Vasconcelos V., 2007. Acute effects of an anatoxin-a producing cyanobacterium on juvenile fish-*Cyprinus carpio* L. *Toxicon* 49, 693-698.
- Paerl H.W. and Huisman J., 2008. Blooms like it hot. *Science* 320, 57-58.
- Paris J., 2010. Diagnose écologique des affluents du Cusancin (25) - Rapport final. Mémoire de Master II « Qualité des eaux, des sols et traitements et des bassins versants, option systèmes aquatiques et bassins versants », Université de Franche-Comté, 64 p. + annexes.

- Pezeshki, S. R. 2001. Wetland plant responses to soil flooding. *Environmental and Experimental Botany* 46:299-312.
- Pozet, F., 2010. Mortalités piscicoles sur la Loue , rapport de synthèse LDA 39, 28 p.
- Rabergh C. M. I., Bylund G., and Ericksson J. E., 1991. Histopathological effects of MC-LR, a cyclic peptide toxin from the cyanobacterium (blue-green alga) *Microcystis aeruginosa* on common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Aquat. Toxicol.* 20, 131-146.
- Rapport Du conservatoire Botanique de Franche Comté, 141 pages
- Robach F., Thiébaud G., Trémolières M. and Muller S., 1996. A reference system for continental running waters: plant communities as bioindicators of increasing eutrophication in alkaline and acidic waters in north-east France. *Hydrobiologia*, 340, 67-76.
- Roberts R.J., 1993. Ulcerative dermal necrosis (UDN) in wild salmonids. *Fish. Res.*, 17, 3-14.
- Roche P. et Porteret V., 1999. Etude piscicole de la haute et moyenne Loue - Départements du Doubs et du Jura. Rapport du Conseil Supérieur de la Pêche, 62 p.
- Sandoz M., 2009. Fonctionnement et impacts des déversoirs d'orage sur le milieu naturel. Mémoire de Master II « Qualité et traitement des eaux et des bassins versants, option procédés de traitement et de dépollution », Université de Franche-Comté, 65 p. + annexes.
- Schmidt-Posthaus H., 2011. Surmortalité de truites dans le Doubs frontière : investigations du FIWI effectuées sur un échantillon de truites du Doubs en janvier 2011, Rapport final, Université de Berne, 10 p.
- Simons J., Ohm M., Daalder R., Boers P. and Rip W., 1994. Restoration of Botshol (The Netherlands) by reduction of external nutrient load – recovery of a characean community, dominated by characnives. *Hydrobiologia*, 275, 243-253.
- Sivonen K. and Jones G., 1999. Cyanobacterial toxins, p. 41-111. In I. Chorus and J. Bartram (ed.), *Toxic Cyanobacteria in water: a guide to their public health consequences, monitoring and management*. E and FN Spon, London, United Kingdom.
- Slimani S., Massei N., Mesquita J., Valdes D., Fournier M., Laignel B. and Dupont J.P., 2009. Combined climatic and geological forcings on the spatio-temporal variability of piezometric levels in the chalk aquifer of Upper Normandy (France) at pluridecennial scale. *Hydrogeology Journal*, DOI 10.1007/s10040-009-0488-1
- Sous-Préfecture de Pontarlier, 2011. Conférence de presse sur les investigations menées sur le gouffre de Jardel. Document CPEPESC, <http://www.cpepesc.org>.
- Vacelet E., 2008. Etude du développement algal et des micropolluants de la Loue. Mémoire de Master II « Qualité et traitement des eaux et des bassins versants, option procédés de traitement et de dépollution », Université de Franche-Comté, 53 p. + annexes.
- van Katwijk M.M., Vergeer L.H.T., Schmitz G.H.W. and Roelofs J.G.M., 1997. Ammonium toxicity in eelgrass *Zostera marina*. *marine ecology progress series*, 157, 159-173.
- Vergon J.P., 1990. Proliférations algales Loue – Eté 1989. SRAE Franche – Comté et Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, 36p
- Verneaux J., 1973. Cours d'eau de Franche-Comté (Massif du Jura). Recherches sur le réseau hydrographique du Doubs. Essai de biotypologie. Thèse de Doctorat de l'Université de Franche-Comté, 257 p.
- Verneaux J., 1976. Fondements biologiques et écologiques de l'étude de la qualité des eaux continentales. Principales méthodes. In : *La pollution des eaux continentales*, Pesson P., Gauthiers-Villard éd., Paris, 229-285.
- Verneaux J., Schmitt A., Verneaux V. and Prouteau C., 2003.- Benthic insects and fish of the Doubs River system: typological traits and the development of a species continuum in a theoretically extrapolated watercourse. *Hydrobiologia*, 490, 63-74.
- Verneaux J., Verneaux V., Schmitt A. and Prouteau C., 2004.- Assessing Biological Orders of river sites and biological structures of watercourses using ecological traits of aquatic insects. *Hydrobiologia*, 519, 39-47.
- Wiedner C., Rucker J., Bruggemann R., Nixdorf B., 2007. Climate change affects timing and size of populations of an invasive cyanobacterium in temperate regions. *Oecologia* 152:473-484
- Wood S. A., Selwood A. I., Rueckert A., Holland P. T., Milne J. R., Smith K. F., Smits B., Watts L. F. and Cary C. S., 2007. First report of homoanatoxin-a and associated dog neurotoxicosis in New Zealand. *Toxicon* 50, 292-301.

PRÉFECTURE DU DOUBS

Besançon, le 21 SEP. 2010

**Le Préfet**

Monsieur le Directeur Général,

Je tiens à vous remercier pour la réactivité dont votre établissement public a fait preuve pour la réalisation de l'inventaire piscicole de la Haute-vallée de la Loue ce mois de juillet. Cette opération a été menée avec un grand professionnalisme et permettra de disposer de bases objectivées sur la situation piscicole de la Loue et l'épisode de mortalité de ce printemps. J'ai bien noté que le travail d'exploitation des données recueillies s'avère plus complexe que prévu, et je partage votre souci d'un rapport final de qualité.

Aussi, n'est-ce que fin octobre que je réunirai l'ensemble des acteurs autour de la question de la Loue. La présentation de ce rapport sera un élément important de cette réunion.

Par ailleurs, vous avez manifesté, dès les premiers échanges avec mes services, votre intérêt pour conduire, à partir du cas de la Loue, une expertise nationale sur ce phénomène de mortalité piscicole, qui tendrait à se développer, en particulier sur des milieux aquatiques réputés pour leur qualité. Le phénomène observé sur la Loue - dégradation de l'état sanitaire des poissons, efflorescence de cyanobactéries, et mortalités piscicoles - a ainsi été relevé cette saison sur d'autres rivières de la région (Doubs Franco-Suisse ; Ain), qu'il convient donc d'inclure dans le périmètre de réflexion.

Je vous confirme l'importance que j'attache à cette expertise, dont l'enjeu sera de définir des leviers d'actions pertinents, ciblés et concrets, afin de prévenir les prochaines années ce type d'épisode. En termes de calendrier, il serait nécessaire que nous puissions définir une stratégie de suivi – préventive - dès février, et que nous disposions d'un premier niveau de préconisations d'actions ciblées en mars.

Cette recherche de mesures adaptées au contexte devra s'appuyer sur une analyse comparative entre les cours d'eau ayant subi des mortalités, et d'autres, voisins, se trouvant dans les mêmes conditions générales, mais sur lesquels aucune mortalité anormale n'a été constatée.

J'appelle également votre attention sur l'existence d'une expertise locale de grande qualité, qu'il est indispensable d'associer aux travaux.

Enfin, les services de l'Etat et l'Agence de l'eau mettront à votre disposition l'ensemble des données et informations disponibles.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Directeur Général, l'expression de ma considération distinguée.



Nacer MEDDAH

**Monsieur le Directeur Général  
de l'Office National de l'Eau  
et des Milieux Aquatiques**

**"Le Nadar" Hall C  
5, square Félix Nadar  
94300 VINCENNES**

Vincennes, le 11 octobre 2010

Monsieur le Préfet du Doubs  
8 bis rue Charles Nodier  
25035 Besançon Cedex

**Objet :** mortalité piscicole sur la Haute-Loue  
**Vos réf :** courrier du 21/9/2010

Monsieur le Préfet,

Par courrier du 21 septembre, vous confirmez l'importance que vous attachez à la mise en œuvre d'une expertise sur les mortalités de poissons ayant eu lieu au cours du premier semestre 2010 sur la Haute-Loue.

Les analyses préliminaires des informations disponibles que mes services ont conduites en relation avec la Directrice Départementale des Territoires confirment l'intérêt de mettre en œuvre une telle expertise, notamment pour tenter de comprendre les déterminants des inflorescences de cyanobactéries, phénomènes dont la fréquence pourrait augmenter avec les changements climatiques globaux.

L'expertise pourrait être constituée des 5 volets suivants :

**1- Comprendre l'événement.** Ce volet qui constitue le cœur de l'expertise sera conduit sur la base de l'interprétation des données et des connaissances disponibles sur le secteur impacté de la Loue et des secteurs témoins. La compréhension d'un tel événement nécessite d'obtenir une vision systémique du dysfonctionnement du secteur impacté afin de comprendre l'ensemble des processus en jeu (des activités sur le bassin versant à la croissance des cyanobactéries sur les sédiments). La mise en évidence des facteurs précis à l'origine des mortalités sera cependant délicate en raison du manque de données toxicologiques relatives aux poissons morts (aucune analyse de recherche de toxicité notamment) et du caractère multifactoriel que présente ce type d'événement habituellement (stress, état sanitaire dégradé, mycose, cyanotoxines...). En conséquence, il est probable que l'expertise s'exercera davantage sur la compréhension des processus conduisant aux efflorescences des cyanobactéries, phénomène qui constitue certainement un des facteurs clefs des mortalités de poissons.

**2- Dresser le bilan des retours d'expériences sur la prévention des efflorescences de cyanobactéries** benthiques (impliquant ou non, une mortalité de poissons) à l'échelle internationale. Peu de cas sont disponibles en France et la bibliographie provient en grande partie d'Australie, de Nouvelle-Zélande, du Canada et des pays du nord de l'Europe. Ce bilan constituera une base de réflexion solide pour le troisième volet.

**3- Proposer des préconisations opérationnelles visant à éviter le développement d'efflorescences de cyanobactéries** dans les prochaines années. Ce troisième volet correspond à l'aboutissement des deux premiers. Il nécessitera certainement l'audition d'acteurs locaux, sans aborder les modalités de mise en œuvre qui demeurent hors du champ de l'expertise. Les délais associés à l'expertise ne permettront pas d'élaborer des modèles « pression-impact » qui dans l'idéal permettraient de tester différents scénarii pour en garantir l'efficacité. Ce type de développement pourra être mis en œuvre localement à la suite de l'expertise, s'il s'avérait nécessaire et possible.

**4- Élaborer une stratégie et des protocoles associés de recueil de données** permettant d'améliorer le suivi et la compréhension de tels événements afin de progresser dans leur gestion. Cette stratégie pourra être mise en œuvre par vos services au cas où des événements similaires se reproduiraient les années suivantes.

**5- Proposer les éléments nécessaires à la mise en place d'un « système d'alerte »** permettant de déclencher le suivi et des opérations de gestion spécifiques de manière préventive en lien avec le quatrième et le troisième volet.

Pour conduire cette expertise, un groupe national d'experts constitué d'une douzaine de scientifiques est en cours de constitution par l'ONEMA. Ce groupe d'experts qui regroupera les compétences nécessaires à la construction d'une vision systémique (pathologie des poissons, flux de nutriments, pollution diffuse, écologie des cyanobactéries, etc..) sera mis en place au cours du mois de novembre. Après contact avec l'Université de Franche-Comté, ce groupe d'experts intégrera un scientifique travaillant localement sur le bassin de la Loue.

Afin de permettre le bon déroulement des travaux, il nous semble nécessaire, en complément du groupe d'experts, qu'un comité de suivi local soit mis en place. Ce comité pourrait avoir comme rôles, de suivre l'avancée des travaux, d'organiser le lien avec les acteurs locaux, notamment pour mettre à disposition et organiser les informations et les données disponibles, commanditer des analyses et travaux complémentaires nécessaires, ainsi qu'organiser les échanges avec les experts locaux. Ce mode de fonctionnement garantira, comme vous l'avez souligné, une bonne association aux travaux de l'expertise locale, en complément de son intégration dans le groupe national d'experts.

En parallèle du groupe d'experts, une équipe projet a également été constituée au sein de l'ONEMA afin d'alimenter techniquement le travail du groupe (synthèses bibliographiques et analyse de données notamment) et ainsi réduire au maximum les délais des réalisations. Une organisation du travail spécifique sera également mise en place afin de répondre au calendrier que vous proposez :

- Dans la mesure du possible, les différents volets de l'expertise seront conduits en parallèle en donnant dans un premier temps une priorité aux volets 4 et 5.



- Un séminaire de travail sera organisé, avec le comité de suivi, en février 2011 afin de pouvoir livrer un premier niveau de préconisations en mars. Ce séminaire sera basé sur les premières réflexions concernant le volet 1 et le bilan des retours d'expérience (volet 2).

Il est cependant certain qu'une analyse approfondie de certaines questions nécessitera davantage de temps. Au final, il faut prévoir que le groupe d'experts rendra ses conclusions au cours de l'été 2011. Une réunion de restitution pourra être organisée à la fin du processus, selon les modalités qui seront à définir en lien avec le comité de suivi.

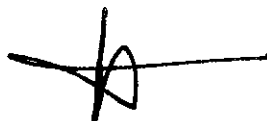
Enfin, j'attire votre attention sur le fait que la pertinence de l'expertise est fortement dépendante de la qualité et du type de données et d'informations mises à disposition du groupe d'experts. Une note présentant le périmètre des informations utiles (caractérisation des activités humaines sur le bassin, des pressions, des impacts et de l'état des milieux) a été transmise par mes services à la DDT, afin qu'elle puisse organiser leur recueil et leur mise à disposition. Les données et informations disponibles correspondent en effet généralement au facteur le plus limitant d'une expertise de ce type.

La qualité des informations disponibles sur les différents secteurs ou cours d'eau, impactés et non impactés, va guider la méthodologie d'analyse et définir la capacité de conduire des analyses comparées entre secteurs. La stratégie que vous proposez pourra alors être mise en œuvre.

Je vous remercie de me confirmer votre accord sur ces propositions ou de m'indiquer les inflexions que vous souhaiteriez y voir apporter dans la mesure de leur faisabilité.

Je vous prie de croire, Monsieur le Préfet, à l'assurance de ma considération la plus distinguée.

Le Directeur Général



Patrick Lavarde

**Copie à :**

Madame la Directrice Départementale des Territoires du Doubs  
Madame la Directrice de l'Eau et de la Biodiversité-MEEDDM



PRÉFET DU DOUBS

Besançon, le

*Le Préfet*

Monsieur le Directeur Général,

Vous m'avez fait parvenir vos propositions concernant l'expertise que vous allez conduire sur la compréhension du phénomène de mortalité piscicole survenu sur la Loue et d'autres rivières comtoises cette année 2010 et les moyens de prévenir ce type de phénomène.

Je vous en remercie. Ces propositions répondent bien à mon attente opérationnelle et reçoivent mon accord.

Je souhaite cependant attirer votre attention sur deux points :

- l'importance que j'attache à une analyse comparative englobant les autres cours d'eau de Franche-Comté ayant subi un épisode de mortalité piscicole en 2010 (Ain et Doubs Franco-suisse) et un cours d'eau (Dessoubre) placé dans les mêmes conditions, mais n'ayant pas subi de mortalités anormales.
- la question du calendrier : je suis soucieux de disposer de préconisations opérationnelles dès le printemps prochain. Cependant, compte-tenu de la période déjà avancée à laquelle nous nous trouvons, le calendrier initial mérite d'être un peu assoupli afin de préserver la qualité de la démarche scientifique que vous allez conduire, qualité à laquelle j'attache une grande importance. Je vous propose donc de décaler sur la fin mars le séminaire de travail prévu initialement en février. Ce séminaire pourra ainsi déboucher sur un premier niveau de préconisations en avril.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Directeur Général, l'expression de ma considération très distinguée.

Nacer MEDDAH,

Monsieur le Directeur Général  
de l'Office National de l'Eau  
et des Milieux Aquatiques  
« Le Nadar » Hall C  
5, Square Félix Nadar  
94300 VINCENNES