

# Étude de l'état de santé des rivières karstiques en relation avec les pressions anthropiques sur leurs bassins versants.



## Rapport de la tranche 2B

### VOLET

## Suivi de la nature et de la dynamique des proliférations végétales

*Caractérisation des communautés de macrophytes.  
Mesures du recouvrement et des biomasses algales  
Analyse de la dynamique spatiotemporelle des colmatages*

---

François Degiorgi, Johan Benoit, Audrey Bollard, Pierre-Marie Badot

14 novembre 2016

## Sommaire

INTRODUCTION .....	3
METHODOLOGIE D'ETUDE DES PROLIFERATIONS VEGETALES .....	6
<i>Rappel des investigations menées lors de la tranche 1 (2014)</i> .....	6
<i>Méthode et maille de mesure du volet végétation de la tranche 2</i> .....	7
STRUCTURE DES COMMUNAUTES DE MACROPHYTES AQUATIQUES .....	8
<i>Composition des communautés macrophytiques de la Loue</i> .....	8
<i>Richesses taxonomiques macrophytiques</i> .....	11
<i>Recouvrement macrophytique</i> .....	12
<i>Niveau trophique et coefficient de sténoécie</i> .....	13
<i>Etat actuel des communautés macrophytiques</i> .....	14
<i>Evolution temporelle des communautés macrophytiques</i> .....	15
NATURE, IMPORTANCE ET DYNAMIQUE DES COLMATAGES ALGAUX .....	17
<i>Structure des peuplements algaux</i> .....	17
<i>Evolution spatiotemporelle des recouvrements algaux</i> .....	19
<i>Evolution spatiotemporelle des biomasses algales</i> .....	20
<i>Evolution « historique » des colmatages algaux</i> .....	21
<b>CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>24</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>26</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>29</b>

## SUIVI DE LA NATURE ET DE LA DYNAMIQUE DES PROLIFÉRATIONS VÉGÉTALES

### Introduction

Depuis plusieurs dizaines d'années, un faisceau de signes, mesures et observations montrent que les rivières de Franche-Comté subissent une érosion lente mais continue de leurs fonctions biologiques :

- des proliférations algales récurrentes ;
- des phénomènes de colmatages des fonds par des fines ou des feutrages organiques de plus en plus intenses ;
- des eaux en période de crue présentant fréquemment une teinte "chocolat" lorsque le débit dépasse le module ;
- une raréfaction voire une disparition d'espèces réputées sensibles (grands plécoptères, écrevisses pieds blancs, éphémères, trichoptères...) ;
- des captures de salmonidés par les pêcheurs montrant une nette tendance à la baisse ;
- une remontée des espèces médianes ou basales (comme l'ombre ou de nombreuses espèces d'insectes aquatiques) vers les secteurs apicaux ;
- ...

Cette évolution négative semble s'être affirmée, sinon accélérée, depuis peu. Des mortalités massives de salmonidés sont survenues en 2010 et 2011, notamment au moment de leur période de reproduction.

De tels processus d'altération ont également été observés sur d'autres cours d'eau calcaires franc-comtois. Dans le cas de la Loue, ces phénomènes ont été d'autant plus spectaculaires que cette rivière était parmi les moins perturbées et présentait des stocks de salmonidés encore très importants jusqu'en 2008. La Loue et ses affluents constituent un observatoire représentatif pour rechercher les origines de l'appauvrissement général des ressources écologiques des rivières karstiques.

Depuis juillet 2012, le laboratoire Chronoenvironnement (UMR 6249, CNRS/UFC/UBFC) a entrepris avec le soutien financier de l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, puis du conseil régional de Bourgogne - Franche-Comté et du conseil départemental du Doubs, un programme de recherches centré sur ce réseau hydrographique pour atteindre les objectifs suivants :

1. caractériser de manière approfondie l'état de santé actuel de la Loue et ses tendances évolutives avec des méthodes complémentaires des mesures de

- routine employées dans les suivis de qualité réalisés dans le cadre de la directive cadre sur l'eau ;
2. appréhender les mécanismes de perturbations des fonctions biologiques du cours d'eau par l'analyse conjointe des compartiments fluviaux et des principaux étages de l'édifice biologique ;
  3. identifier les contaminants présents dans les différents compartiments de l'écosystème et leurs voies de transferts, hiérarchiser leurs impacts possibles, examiner leurs sources potentielles à l'échelle du bassin versant ;
  4. explorer les relations existant entre l'évolution des activités socio-économiques du bassin versant de la Loue d'une part et la qualité des eaux et les capacités d'autoépuration de la rivière d'autre part,.

La première tranche (tranche 1), déployée entre juillet 2012 et fin 2014, s'est essentiellement attachée aux deux premiers objectifs. Elle a permis d'établir un diagnostic détaillé de l'état de la rivière et de sérier les hypothèses et scénarii visant à rendre compte des dégradations observées dans la rivière.

La deuxième tranche (tranche 2A) a été menée de juillet 2012 à septembre 2015. Les investigations en matière de contaminants ont été conduites dans différentes matrices environnementales (eaux, effluents de STEP, MES, sédiments, biote) et ont permis l'identification de multiples contaminants : pesticides chlorés, pyréthrinoides, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ou bien encore résidus médicamenteux. Nous avons également établi que ces contaminations sont éminemment variables (i) en ce qui concerne leur nature chimique, (ii) leur occurrence temporelle et (iii) leur localisation spatiale, sans qu'il soit à ce stade possible d'identifier des *patterns* réguliers.

Au cours de la troisième tranche (tranche 2B), nous avons donc entrepris de caractériser quantitativement la dangerosité des principaux contaminants organiques persistants en relation avec les altérations des capacités biogènes de la Loue. Or ces altérations se traduisent régulièrement par des phénomènes de proliférations végétales dont la variabilité spatiotemporelle rend nécessaire l'étude pluriannuelle.

En effet, les colmatages algaux et les proliférations d'hydrophytes constituent une expression récurrente et spectaculaire des dysfonctionnements dont souffre la Loue (Figures 1 et 2). Ces phénomènes provoquent à leur tour des déséquilibres dans le métabolisme de l'oxygène et du carbone dans l'eau ainsi qu'un colmatage des habitats aquatiques. Par conséquent, les proliférations végétales ont été étudiées, pendant deux années successives, dans plusieurs stations jalonnant la rivière.



Figure 1. Colmatage algal à l'aval de Cléron, septembre 2014, photo Etienne Chanez

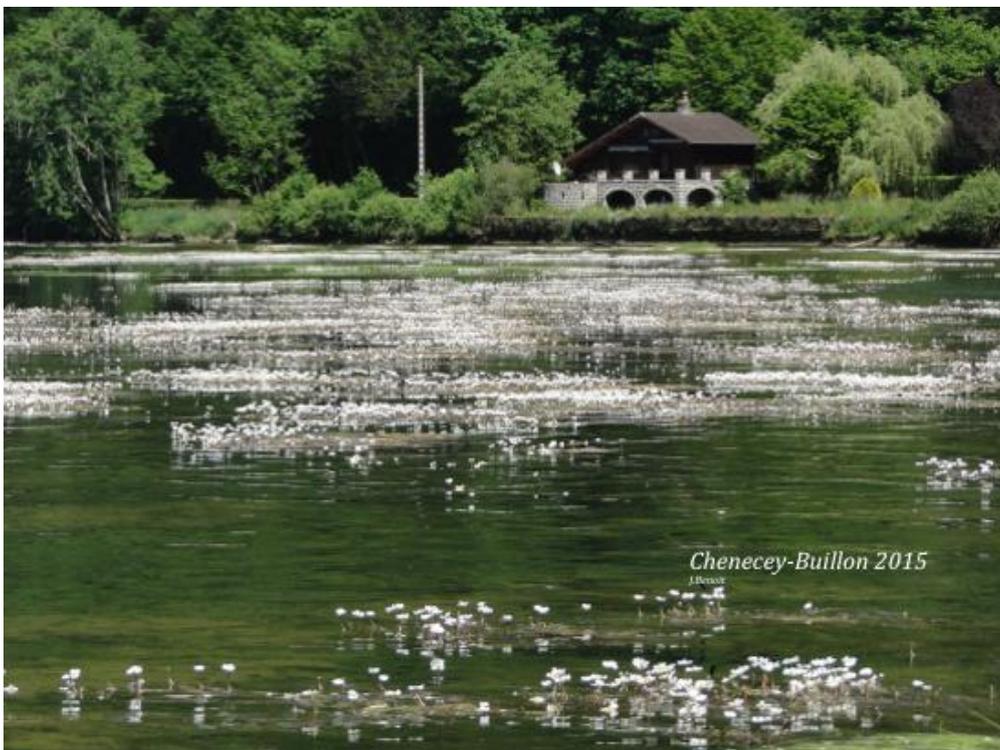


Figure 2. Densification des renoncules à l'aval de Chenecey, juillet 2015, photo J. Benoit

## Méthodologie d'étude des proliférations végétales

### Rappel des investigations menées lors de la tranche 1 (2014)

En 2014, la structure et la dynamique des producteurs végétaux ont été étudiées pour trois groupes écologiques d'espèces aquatiques :

- l'abondance, la structure et les tendances dynamiques du phytophenthos, analysé dans 4 stations, à 4 reprises, sous la direction de Maria Leitao qui s'est chargée des comptages et de la détermination ;
- la composition et la bioindication des peuplements macrophytiques ont été aussi étudiés sur ces 4 stations ;
- les biomasses des algues filamenteuses benthiques ont été mesurées sur 7 stations comprenant les 4 stations d'étude du phytophenthos et des macrophytes.

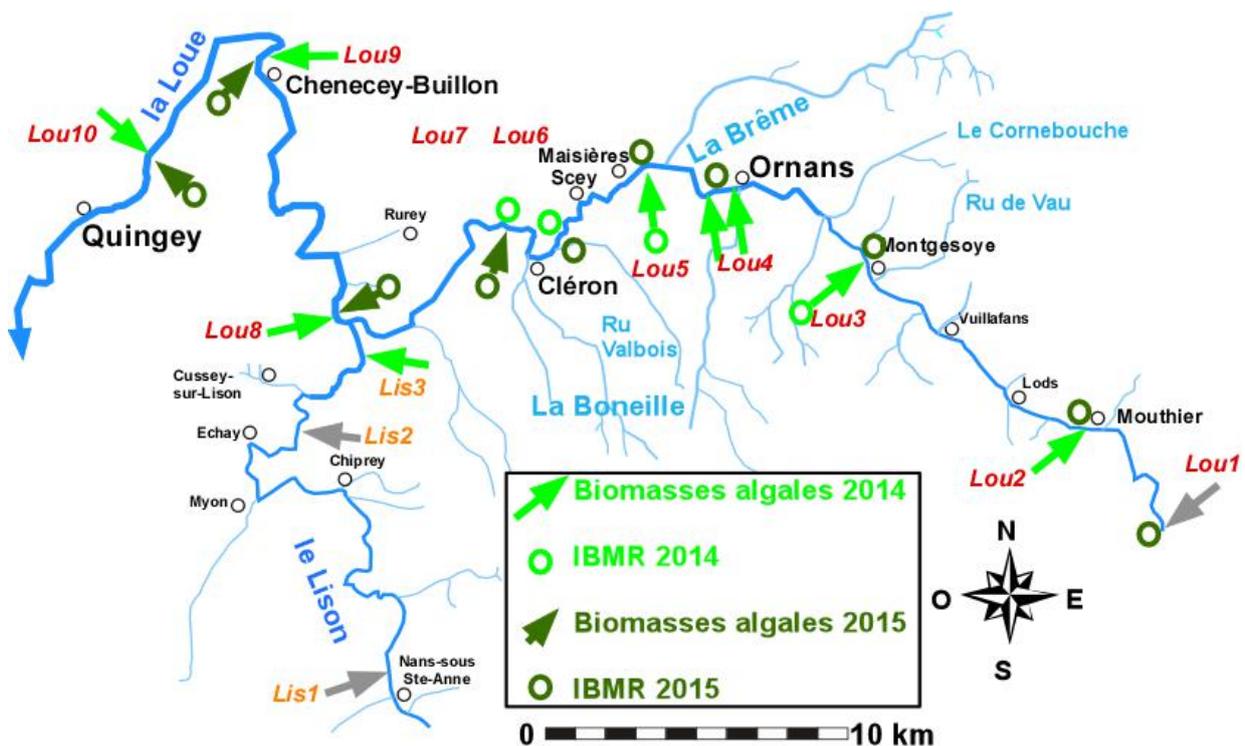


Figure 3. Localisation des stations d'étude de la production végétale dans la Loue et dans partie aval du Lison en 2014, tranche 1 et en 2015, tranche 2b.

En 2014, les IBMR ont été effectués sur 4 stations du 16 au 18 juin 2004. Parallèlement, 4 campagnes d'étude du colmatage des fonds par les algues filamenteuses ont été mises en œuvre entre avril et septembre 2014. Les pourcentages de recouvrement, les biomasses stationnelles et les teneurs en azote, phosphore et carbone des colonies filamenteuses ont été déterminées sur 7 stations de la Loue et 1 station du Lison à l'occasion de 4 campagne (Figure 3).

## Méthode et maille de mesure du volet végétation de la tranche 2

L'analyse des structures et de la dynamique du phytobenthos a montré que ce compartiment était soumis à d'intenses variations intersaisonnières dont le déterminisme est dominé par des conditions locales d'éclairement et d'hydrodynamique qui rendent difficile son interprétation en termes fonctionnels. Par conséquent, il a été décidé de ne pas renouveler son analyse, mais de se focaliser lors de la tranche 2 B, à l'étude des communautés de macrophytes aquatiques et des algues benthiques filamenteuses.

### Etude des communautés de macrophytes aquatiques : IBMR

Les macrophytes aquatiques ont été étudiés sur les 10 stations du présent programme atelier, en appliquant le protocole d'échantillonnage et d'observation de l'Indice Biologique Macrophytes en Rivière, IBMR, NF T90-395, 2003. Ces IBMR ont été réalisés du 4 au 9 juin 2015 dans des conditions hydrologiques proches du tiers du module, soit environ  $6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  à Vuillafans et  $17 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  à Chenecey.

### Mesure du colmatage par les algues filamenteuses

Les algues filamenteuses benthiques ont été étudiées dans 4 stations jalonnant la Loue, de Cléron à Cessey. Ces sites ont été le lieu de surmortalités piscicoles (ONEMA, 2012). De fortes proliférations algales y ont déjà été enregistrées par le passé (Vergon, 1990 ; Teleos, 2002).

Les biomasses algales et leur dynamique y ont été mesurées à 3 occasions, à l'aide du protocole standard de mesures des colmatages algaux mis au point par Guimard et Mazzarino (2003) et finalisé par Degiorgi *et al.* (2006). Ce protocole consiste à utiliser le recouvrement surfacique comme stratificateur, puis à mesurer la biomasse fraîche et sèche d'algues filamenteuses sur au moins 3 placettes de chaque classe de recouvrement surfacique. On en déduit une biomasse stratifiée, associé à un intervalle de confiance.

Les peuplements algaux ont été étudiés durant trois campagnes, C1, C2 et C3 :

- C1 s'est déroulée du 22 au 24 avril, alors que les débits avoisinaient  $10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  à Vuillafans et  $22 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  à Chenecey, soit environ la moitié du module.
- C2 a eu lieu du 6 au 8 juillet, alors que les débits avoisinaient  $5,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  à Vuillafans et  $13 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  à Chenecey, soit environ le quart du module.
- C3 a été menée du 5 au 6 août alors que les débits avoisinaient  $4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  à Vuillafans et  $9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  à Chenecey, soit environ le 5<sup>ème</sup> du module ; ces débits sont proches des Qmna5, ou étiage accentué, qui valent, respectivement, 4,2 et  $6,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  pour chacune des deux stations hydrométriques.

## Structure des communautés de macrophytes aquatiques

### Composition des communautés macrophytiques de la Loue

De l'amont à l'aval, les spermaphytes, végétaux des fonds déposés remplacent progressivement les bryophytes, végétaux des fonds érodés. A *contrario*, les formes algales sont majoritairement ubiquistes. Ainsi, de la source à Cessey, 3 types de communautés macrophytiques dominent successivement :

- la source, est occupée par une communauté de bryophytes crénophiles, aquatiques à amphibies, basophiles et rhéophiles ;
- de Mouthier à la Piquette, les fonds sont dominés par les communautés de bryophytes d'eaux vives, aquatiques à amphibies, basophiles et rhéophiles.
- de Chenecey à Cessey, on observe une communauté de spermaphytes d'eaux vives, aquatiques à amphibies, basophiles et rhéophiles.

#### ➤ La source de la Loue

Les fonds de la source abritent majoritairement des bryophytes crénophiles, aquatiques à amphibies, basophiles et oxyphiles, saxicoles et rhéophiles (Figure 4). Les bryophytes dominantes, *Cinclidotus aquaticus*, *Cinclidotus fontinaloides* et *Cinclidotus danubicus*, sont caractéristiques d'associations rhéophiles de l'alliance du *Cinclidotion fontinaloidis* (Bailly *et al.*, 2004).



Figure 4. Association végétale des fonds de la Loue à sa source, juin 2015, photo J. Benoit

Le secteur de la source abrite aussi d'autres bryophytes qui appartiennent à cette association et dont l'amplitude écologique est plus large : *Rhynchostegium riparioides*, *Fontinalis antipyretica* ou encore *Brachytecium rivulare*. Dans ce groupe, les algues filamenteuses des genres *Vaucheria* et *Cladophora*, réputés euryèces, étaient elles aussi bien représentées au moment de l'échantillonnage.

Parallèlement, les bryophytes sub-dominantes, *Cratoneuron filicinum* et *Palustriella commutata*, sont caractéristiques d'associations non rhéophiles, de parois humides, de l'alliance du *Cratoneurion commutati* (Bonnard et Michon, 1981). Ce groupe est représenté ici par des espèces à large amplitude écologique : *Chiloscyphus polyanthos*, *Conocephalum conicum*, *Marchantia polymorpha*, ou *Pellia endiviifolia*.

Enfin, des algues psychrophiles, *Batrachospermum* et *Hildenbrandia rivularis*, s'installent localement dans les veines d'eau les plus courantes. En revanche, les spermaphytes aquatiques euryèces, *Phalaris arundinacea*, *Nasturtium officinale*, *Petasites hybridus* et *Mentha longifolia*, poussent surtout dans les bordures.

#### ➤ De Mouthier à la Piquette

De Mouthier à la Piquette, en début de saison estivale, les communautés de macrophytes se composent majoritairement de bryophytes d'eaux vives, aquatiques à amphibies, basophiles et rhéophiles (Figure 5). Les bryophytes dominantes, *Cinclidotus fontinaloides*, *C. aquaticus* et *C. danubicus*, font partie d'associations rhéophiles de l'alliance du *Cinclidotion fontinaloidis*, (Bailly *et al.*, 2004).



**Figure 5. Végétations des fonds de la Loue à Cléron , juin 2015, photo J. Benoit**

Ces associations sont aussi représentées, dans les stations considérées par des bryophytes à large amplitude écologique, *Rhynchostegium riparioides*, *Fontinalis antipyretica*, *Brachytecium rivulare* ainsi que par des algues filamenteuses affectionnant les eaux fraîches, *Diatoma*, *Melosira*, *Tetraspora*, ou plus euryèces, *Vaucheria* et *Cladophora*. Les genres d'algues d'eau froide prédominent en amont, notamment à Mouthier, tandis que les algues à plus large spectre écologique prédominent en aval, notamment à Cléron et à la Piquette.

D'amont en aval, les bryophytes d'associations non rhéophiles du *Cratoneurion commutati* se raréfient. Des spermaphytes d'eaux vives, *Phalaris arundinacea*, *Ranunculus penicillatus* ou encore *Callitriche platycarpa*, s'installent dans les courants modérés.

L'espèce dominante, *Ranunculus penicillatus* est caractéristique d'associations rhéophiles de l'alliance du *Ranunculion fluitantis* (Bonnard et Michon, 1981). D'autres spermaphytes d'eaux vives et eutrophes, *Groenlandia densa*, *Veronica anagallis aquatica*, *Sium erectum* ou encore *Myriophyllum spicatum*, poussent localement sur les stations de Montgesoye, de Cléron et de la Piquette.

➤ Chenecey Buillon et Cessey

A Chenecey et à Cessey, les fonds sont majoritairement recouverts de spermaphytes d'eaux vives, aquatiques à amphibies, basophiles et rhéophiles (Figure 6). L'espèce dominante, *Ranunculus penicillatus* est caractéristique d'associations rhéophiles de l'alliance du *Ranunculion fluitantis* (Bonnard et Michon, 1981).



Figure 6. Densification de renoncules à Cessey , juin 2015, photo J. Benoit

Les spermaphytes sub-dominants, *Phalaris arundinacea*, *Myriophyllum spicatum* et *Potamogeton perfoliatus*, sont caractéristiques d'associations rhéophiles à lénitiques de l'alliance du *Potamogetonion* (Bonnard et Michon, 1981). Dans ces associations, se trouvent des spermaphytes d'eaux vives et eutrophes : *Sium erectum* ou encore *Groenlandia densa* ; ainsi que des algues d'eaux fraîches à thermophiles : *Ulothrix*, et *Spirogyra*, ou encore *Rhizoclonium*.

Les bryophytes dominantes, *Cinclidotus fontinaloides*, *Cinclidotus aquaticus* et *Cinclidotus danubicus*, sont caractéristiques d'associations rhéophiles. Dans ces associations, se rencontrent des bryophytes à large amplitude écologique : *Rhynchostegium riparioides*, *Fontinalis antipyretica* ou encore *Amblystegium riparium* ; des algues d'eaux fraîches : *Diatoma*, *Melosira*, ou encore *Tetraspora* ; ainsi que des algues à large amplitude écologique : *Vaucheria* et *Cladophora*.

Au sein de ces deux stations, des spermaphytes d'eaux lentes et eutrophes, *Scirpus lacustris*, *Elodea canadensis*, *Ranunculus circinatus* ou encore *Sparganium erectum*, s'installent dans les faciès lénitiques, sur graviers, sables et limons. Quelques cyanobactéries d'eaux lenticules et méso-eutrophes appartenant aux genres *Phormidium* et *Nostoc* se développent sur blocs et galets bien ensoleillés.

### Richesse taxonomique macrophytique

D'une manière générale, la richesse taxonomique aux limites de l'IBMR passe de 19 taxons à la source à 30 taxons à Cessey. Cependant, cette évolution spatiale est la résultante de 2 tendances inverses qui se conjuguent de façon irrégulière. En effet, si la richesse bryophytique diminue, de 11 taxons à la source à 8 taxons à Cessey, les richesses spermaphytiques et algales passent, respectivement, de 2 et 6 unités taxonomiques à la source à 12 et 11 à Cessey.

De façon plus détaillée, la richesse taxonomique des macrophytes évolue par palier (Figure 7) :

1. De la source, LOU01, à Montgesoye, LOU03, la richesse taxonomique approche la vingtaine de taxons, 18 à 19 taxons. Les bryophytes sont nettement dominantes, 9 à 11 taxons, les algues sont sub-dominantes, 5 à 7 taxons et les spermaphytes sont rares, 2 à 5 taxons.
2. D'Ornans, LOU04, à Scy en Varais, LOU06, la richesse taxonomique ne dépasse pas quinze taxons, 13 à 15 taxons. Les bryophytes sont nettement dominantes, 7 à 8 taxons, les algues sont sub-dominantes, 3 à 5 taxons et les spermaphytes sont rares, 1 à 3 taxons.
3. De Cléron, LOU07, à Cessey, LOU10, la richesse taxonomique atteint et dépasse la vingtaine, 20 à 30 taxons. Les spermaphytes et algues sont co-dominants ; 5 à 12 spermaphytes et 8 à 11 algues. Les bryophytes deviennent minoritaires, 7 à 8 taxons.

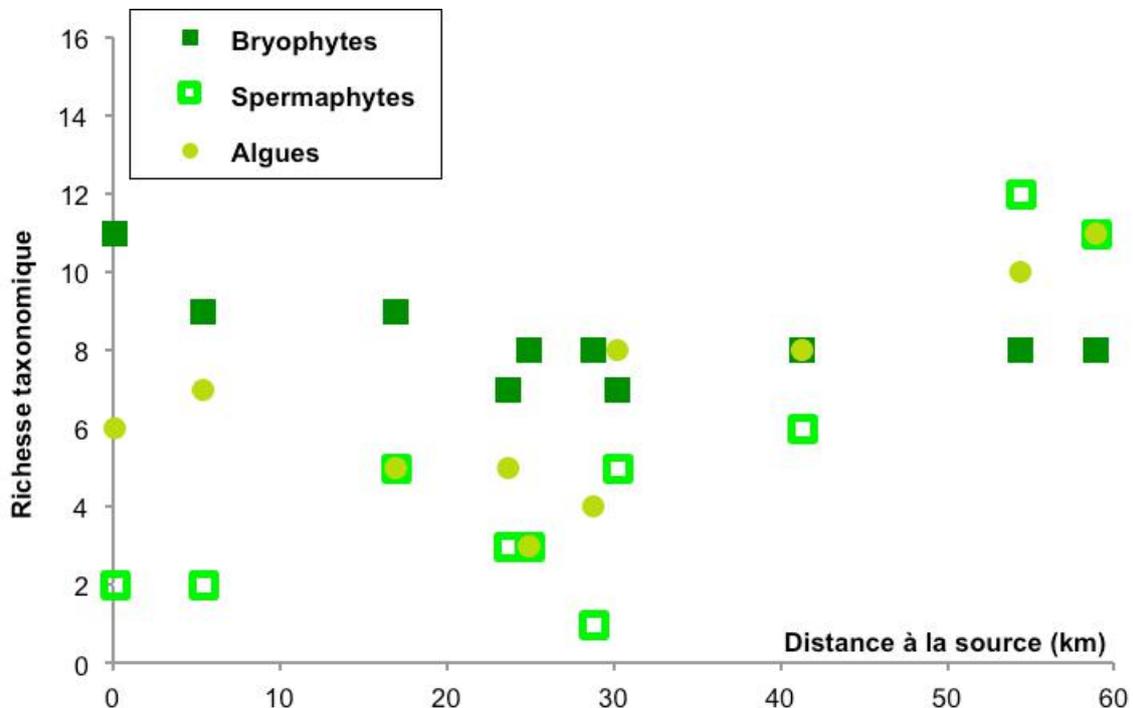


Figure 7. Evolution longitudinale de la richesse taxonomique des macrophytes observés dans la Loue en juin 2015

### Recouvrement macrophytique

Globalement, le recouvrement macrophytique diminue d'amont en aval en passant de 65 % à la source à 41 % à Cessey (Figure 8). La représentativité des bryophytes diminue de 62 % à la source à 16 % à Cessey. A *contrario*, le recouvrement spermaphytique augmente de 0,2% à la source à 24 % à Cessey. Le recouvrement algal au moment de l'échantillonnage évolue de façon plus complexe en croissant de 3,2 % à la source à 50 % à Mouthier pour redescendre en fluctuant de 8 à 30% puis jusqu'à 3,7 % à Cessey.

D'amont en aval, on rencontre les situations suivantes :

1. A la source, LOU01, les bryophytes dominant, 62 %, les algues et les spermaphytes sont sporadiques ; 3,2 % d'algues et 0,2 % de spermaphytes.
2. A Mouthier, LOU02, les algues dominant, 53 %, les bryophytes sont sub-dominantes, 41 % et les spermaphytes sont sporadiques, 0,2 %.
3. De Montgesoye, LOU03 à Scey en Varais, LOU06, les bryophytes dominant, 25 à 30 %, les algues sont sub-dominantes, 8 à 14 % et les spermaphytes sont sporadiques, moins de 1 %.

4. De Cléron, LOU07 à la Piquette, LOU08, les bryophytes et les algues dominant ; 30 % de bryophytes, 26 à 30 % d'algues. Les spermaphytes croissent, 1 à 9 %.
5. De Chenecey, LOU09 à Cessey, LOU10, les spermaphytes dominant, 21 à 24 %, les bryophytes sont sub-dominantes, 16 % et les algues minoritaires, 4 %.

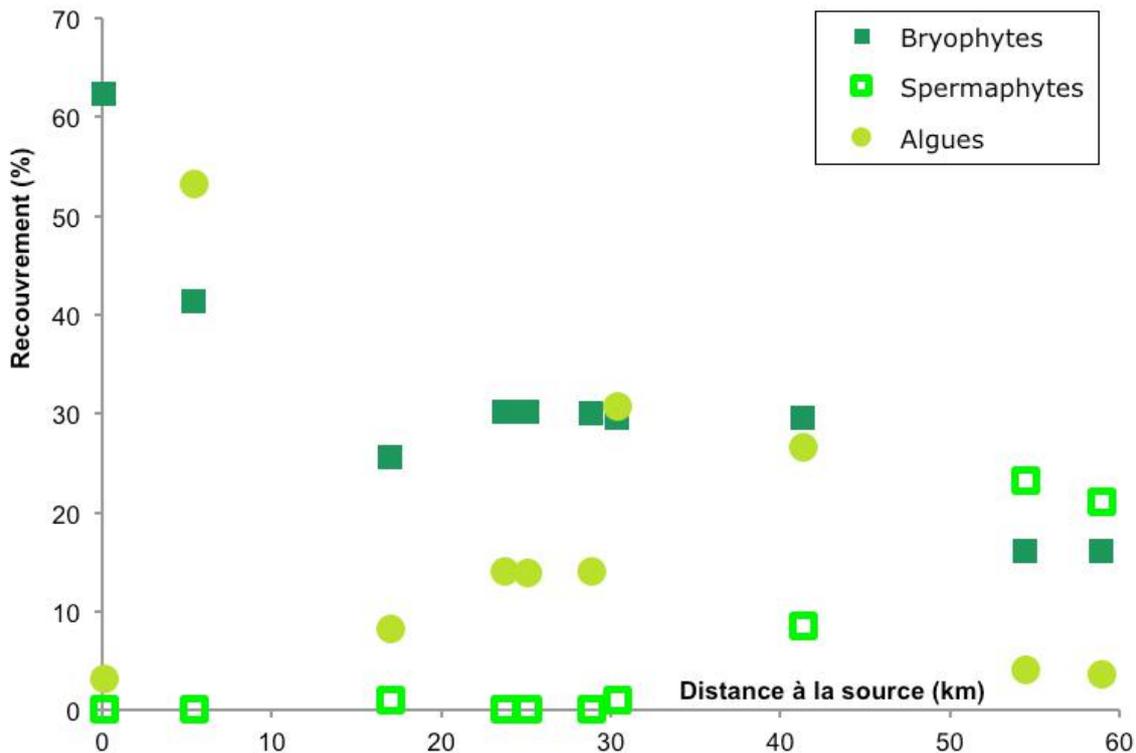


Figure 8. Evolution longitudinale des recouvrements macrophytiques observés dans la Loue en juin 2015

Niveau trophique et coefficient de sténoécie

Globalement, la note IBMR et la cote spécifique, niveau trophique diminuent d'amont en aval, en passant de 13,0/20 à la source à 10,5/20 à Cessey (fig. 9). Parallèlement, la cote spécifique est de 12,0 à la source et de 10,4 à Cessey.

D'amont en aval, on assiste globalement à une augmentation de la charge trophique.

- A la source, LOU01, la note IBMR indique une eau oligo-mésotrophe, 13,0. La cote spécifique dénote un potentiel trophique encore plus fort, 11,9.
- De Mouthier, LOU02, à Montgesoye, LOU03, les notes IBMR indiquent une eau mésotrophe, 11,73 à 11,52. Les cotes spécifiques confirment cette indication.
- D'Ornans, LOU04, à Cessey, LOU10, les notes IBMR indiquent une eau méso-eutrophe, 11,15 à 10,40. Les cotes spécifiques affirment cette indication.

Le coefficient de sténoécie varie d'amont en aval en marquant une inflexion :

- De la source, LOU01, à Cléron, LOU07, la sténoécie diminue, 1,74 à 1,50 ; les taxons d'eaux fraîches et oligotrophes disparaissent au profit de taxons euryèces.
- De Cléron, LOU07, à Cessey, LOU10, la sténoécie augmente, 1,50 à 1,62 ; les taxons d'eaux thermophiles et méso-eutrophes deviennent dominants.

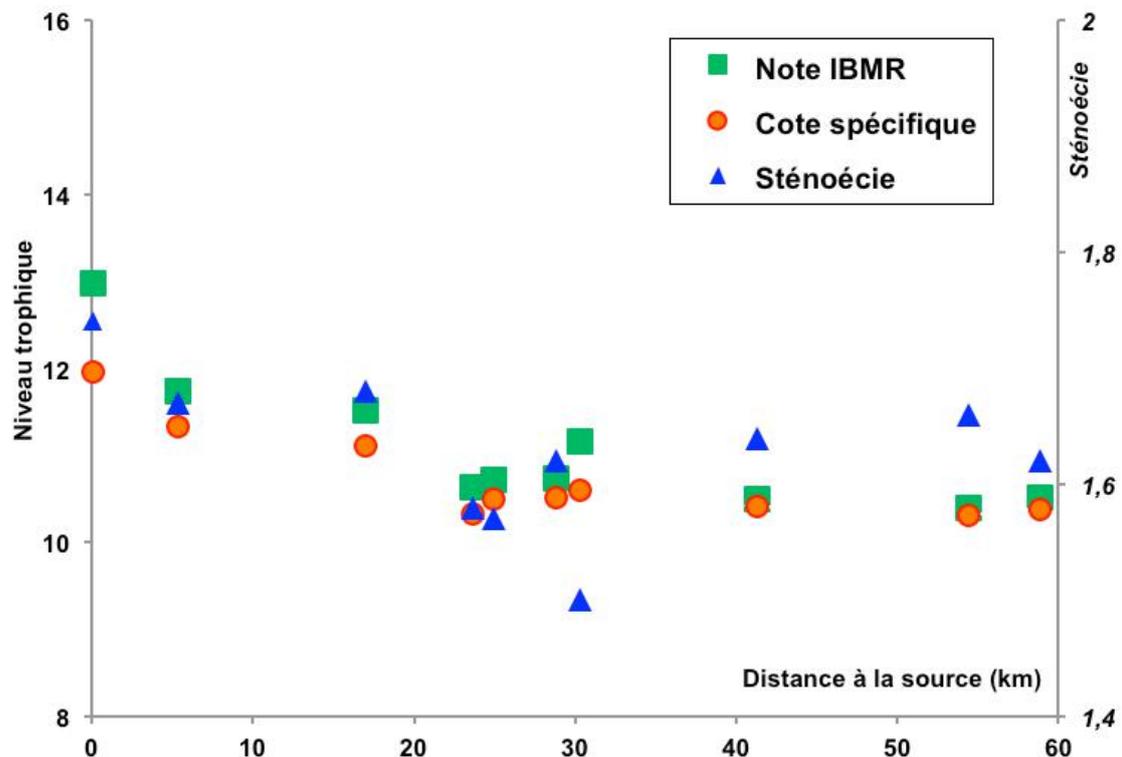


Figure 9. Evolution longitudinale des niveaux trophiques et des degrés de sténoécie des peuplements macrophytiques observés dans la Loue en juin 2015

### Etat actuel des communautés macrophytiques

La structure des communautés macrophytiques de la Haute Loue est typique des cours d'eau calcaires de piémont (Montegut, 1973 ; Barbe, 1984). A la source, se développe une communauté de bryophytes caractéristiques d'associations incrustantes, du *Cratoneurion commutati* (Bonnard et Michon, 1981) et d'associations rhéophiles du *Cinclidotion fontinaloidis* (Bailly *et al.*, 2004).

De Mouthier à la Piquette, il existe une communauté de bryophytes rhéophiles typiques du *Cinclidotion fontinaloidis*. Au delà, existe une communauté de spermaphytes caractéristiques d'associations rhéophiles du *Ranunculion fluitantis*, et d'associations plus lénitiques du *Potamogetonion* (Bonnard et Michon, 1981) ; les bryophytes caractéristiques du *Cinclidotion fontinaloidis* restent présentes.

Dès la source, les fonds sont peuplés d'algues euryèces, épilithiques ou épiphytiques ; les plus communes étant les genres *Vaucheria* et *Cladophora* (Laplace-Treytore *et al.*, 2014).

Les notes IBMR traduisent une richesse nutritive notoire dès la source, et qui s'accroît à partir de Mouthier. Les indices trophiques sont indicateurs d'eaux oligo-mésotrophes à la source, d'eaux mésotrophes de Mouthier à Montgesoye et d'eaux méso-eutrophes d'Ornans à Cessey (Haury *et al.*, 2006).

### Evolution temporelle des communautés macrophytiques

Les premiers travaux sur la flore aquatique de la Loue datent des années 20 et sont synthétisés dans la thèse d'Imchenetzky (1926). Il relève des associations de bryophytes de la source à Mouthier ainsi qu'une alternance d'associations de bryophytes et spermaphytes au delà. Qualitativement, les associations décrites par Imchenetzky sont donc proches de celles décrites durant la présente étude en 2015.

Verneaux (1973) établit des phytocénoses types composées de bryophytes et de spermaphytes pour chaque biocénotype. Les listes taxonomiques décrites par Verneaux sont également similaires à celles établies en 2015. Dans les années 80, Bonnard et Michon (1981) font état d'associations de bryophytes et spermaphytes similaires à celles de 2015.

Stations	D0 (km)	2007	2008	2009	2010	2011	2011	2013	2014	juin-15	juil-15
Source	0,1									13,0	
Mouthier	5,4		13,1	12,8	12,3	11,7	10,3	12,4		11,7	12,9
Montgesoye	17,0								9,4	11,5	
Ornans (aval)	23,7					10,9				10,6	
Notre Dame	25,0								10,3	10,7	
Amont Cléron	28,8								10,6	10,7	
Aval Cléron	30,3								10,3	11,2	
La Piquette	41,3	11,1	11,3	10,4		10,2				10,5	
Chenecey	54,4									10,4	
Cessey	58,9									10,5	

**Tableau 1. Evolution spatiotemporelle des Indices IBMR mesurés dans la haute et moyenne Loue depuis 2007 (D0 = distance à la source)**

Une étude diachronique décrit la structure des peuplements macrophytiques de Mouthier et de la Piquette, de 2007 à 2010, à l'aide de la méthode IBMR 2015 (Rodriguez et Courty, 2010). Les associations végétales ainsi caractérisées sont proches de celles de 2015 : elles sont indicatrices d'eaux courantes « méso-eutrophes ». Les notes IBMR de 2007 à 2010 sont légèrement supérieures à celles de la présente étude (Tableau. 1).

La gamme des indices IBMR obtenus sur la Loue depuis 2007 varie peu et pointe une qualité moyenne à médiocre. Cette approche indique un enrichissement des eaux, favorable aux algues, très compétitives, mais défavorable aux autres formes végétales.

***Toutefois, l'indice IBMR très synthétique, ne permet par toujours de distinguer la charge, le niveau et le statut trophiques. En outre, si cette méthode prend en compte le recouvrement surfacique des formations macrophytiques en étiage estival, elle ne permet pas de quantifier l'importance des proliférations algales advenant au printemps et en automne. Pour caractériser ces phénomènes colmatants souvent versatiles, une approche quantitative et plurisaisonnière est nécessaire.***

## ***Nature, importance et dynamique des colmatages algaux***

### *Structure des peuplements algaux*

La physionomie des peuplements algaux, richesse taxonomique, recouvrement et biomasse, évoluent par station selon le débit et la saisonnalité, annexe. Les résultats obtenus durant les trois campagnes sont donc contrastés (Figure 10).

Durant la première campagne, le genre dominant, *Vaucheria*, taxon réputé euryèce préférant les eaux fraîches et eutrophes, représente 80 à 90 % des peuplements des stations. Le genre sub-dominant, *Cladophora*, taxon euryèce ayant un optimum dans des eaux chaudes et eutrophes, représente 5 à 10 % des peuplements des stations.

Des hétérokontophytes d'eaux fraîches, dont les genres *Diatoma* et *Melosira*, ainsi que des chlorophytes, dont les genres *Ulothrix*, *Spirogyra* et *Tetraspora*, sont représentés sporadiquement. Le genre *Rhizoclonium*, affectionnant les eaux chaudes et eutrophes, se développe à Chenecey et à Cessey, 3 %.

Durant la deuxième campagne, le genre *Vaucheria* régresse au profit du genre *Rhizoclonium* sur presque toutes les stations sauf Cléron.

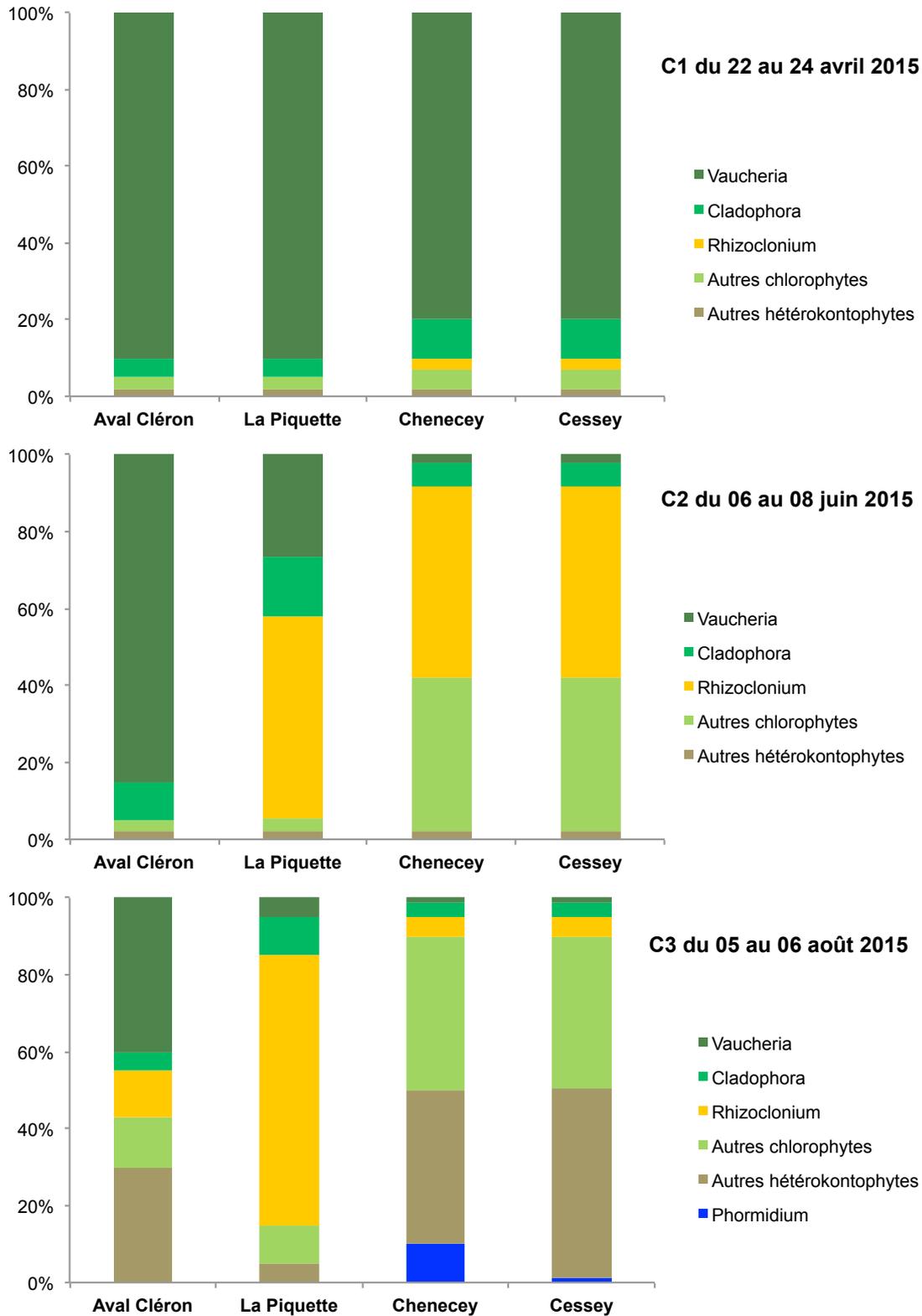
A Cléron le genre *Vaucheria* reste dominant et avoisine 85 % ; le genre *Cladophora* atteint 10 %. Des hétérokontophytes d'eaux fraîches, dont les genres *Diatoma* et *Melosira*, ainsi que des chlorophytes, dont les genres *Ulothrix*, *Spirogyra* et *Tetraspora* complètent le peuplement.

Sur les autres stations, le genre *Rhizoclonium* avoisine 50 % ; le genre *Vaucheria* régresse, 25 % à Piquette, 2 % à Chenecey Buillon et à Cessey ; le genre *Cladophora* atteint 15 % à Piquette mais se raréfie à Chenecey Buillon et à Cessey, 6 %. D'autres chlorophytes, dont les genres *Ulothrix* et *Spirogyra*, prospèrent ; 40 % à Chenecey Buillon et à Cessey. Des hétérokontophytes d'eaux fraîches, dont les genres *Diatoma* et *Melosira*, subsistent localement.

Durant la troisième campagne, le genre *Vaucheria* reste dominant à Cléron et le genre *Rhizoclonium* reste dominant à Piquette. A *contrario*, des chlorophytes et hétérokontophytes co-dominent à Chenecey et à Cessey.

A Cléron, le genre *Vaucheria* avoisine 40 %. Des hétérokontophytes d'eaux fraîches, dont les genres *Diatoma* et *Melosira* prospèrent, 30 %. Des chlorophytes, dont les genres *Rhizoclonium*, *Ulothrix* et *Spirogyra* se développent dans les secteurs lénitiques.

A la Piquette, le genre *Rhizoclonium* est dominant, 70 %. D'autres chlorophytes, dont les genres *Cladophora*, *Ulothrix* et *Spirogyra* complètent le peuplement.



**Figure 10. Variations spatiotemporelles de la composition des communautés d'algues filamenteuses échantillonnées sur la Loue d'avril à août 2015**

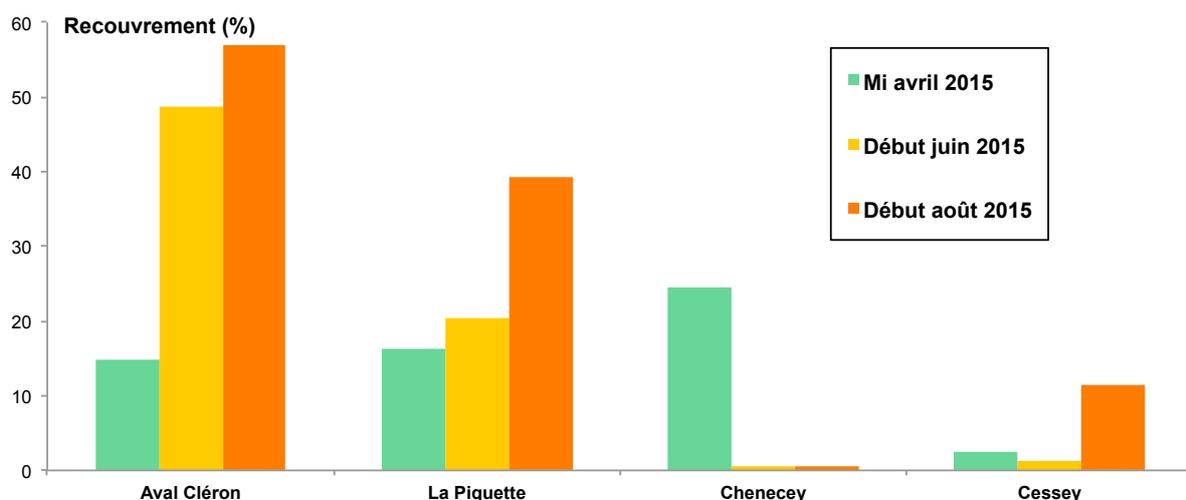
A Chenecey et à Cessey, dominent des associations d'hétérokontophytes, dont les genres *Diatoma*, *Encyonema* et *Gomphonema*, ainsi que des chlorophytes, dont les genres *Ulothrix* et *Spirogyra*. La station de Chenecey est émaillée de tâches de cyanobactéries du genre *Phormidium*.

Evolution spatiotemporelle des recouvrements algaux

En avril 2015, le recouvrement algal stationnel n'excède pas 25 % ; ± 15 % à Cléron et à Piquette, ± 25 % à Chenecey Buillon et ± 2,5 % à Cessey. Sur l'ensemble des stations, les plus forts recouvrements algaux, constitués majoritairement des genres *Vaucheria* et *Cladophora*, atteignent 50 à 60 %.

En juin 2015, le recouvrement algal stationnel avoisine 50 % à Cléron et 20 % à Piquette, mais n'excède pas 2 % à Chenecey Buillon et à Cessey ; ± 0,5 % à Chenecey Buillon et ± 1,5 % à Cessey. A Cléron, les plus forts recouvrements algaux, constitués majoritairement des genres *Vaucheria* et *Cladophora*, atteignent 90 à 100 %. Des tels recouvrements sont atteints à Cessey pour les genres *Rhizoclonium* et *Spirogyra*.

En août 2015, le recouvrement algal stationnel dépasse 50 % à Cléron et avoisine 40 % à Piquette. Le recouvrement reste inférieur à 1 % à Chenecey Buillon mais dépasse 10 % à Cessey. A Cléron, les placettes d'algues les plus denses sont constituées de diatomées des genres *Vaucheria*, *Diatoma* ou encore *Melosira*. A la Piquette le genre *Rhizoclonium* s'étend sur les plus larges placettes, alors que les fonds de Cessey sont surtout dominés par des tâches de diatomées.



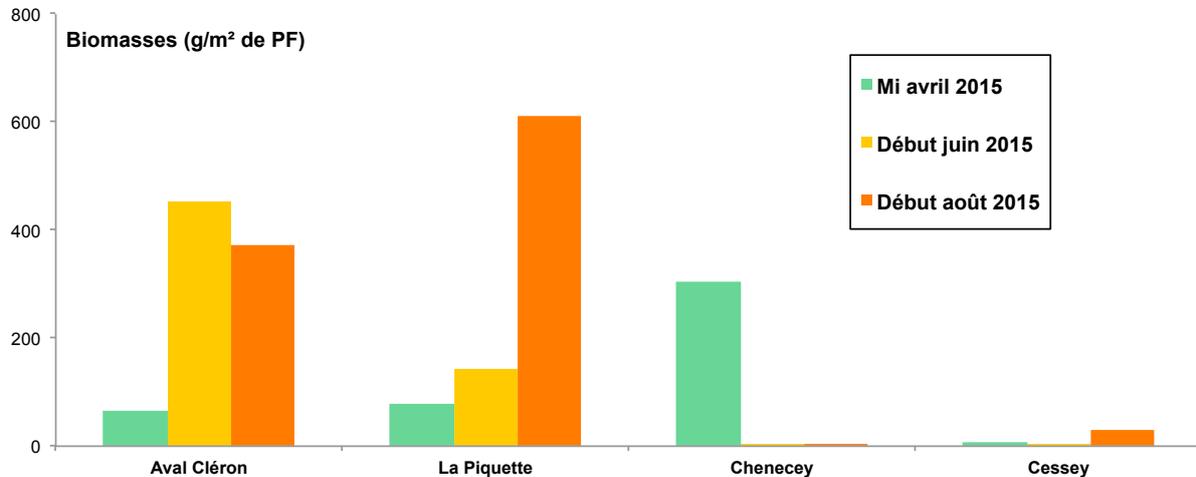
**Figure 11. Variations spatiotemporelles du taux de recouvrement des colonies d'algues filamenteuses échantillonnées sur la Loue d'avril à août 2015**

### Evolution spatiotemporelle des biomasses algales

En avril 2015, la biomasse algale stationnelle est inférieure à 100 g m<sup>-2</sup> de MF à Cléron et à Piquette, elle est supérieure à 300 g m<sup>-2</sup> de MF à Chenecey. Elle est inférieure à 10 g m<sup>-2</sup> de MF à Cessey. Les plus fortes biomasses par placette ne dépassent pas 1000 g m<sup>-2</sup> de MF, sauf sur la station de Chenecey où elles atteignent environ 2000 g m<sup>-2</sup> de MF.

En juin 2015, la biomasse algale stationnelle avoisine 450 g m<sup>-2</sup> de MF à Cléron et 150 g m<sup>-2</sup> de MF à Piquette. La biomasse algale est inférieure à 5 g.m<sup>-2</sup> de MF à Chenecey Buillon et à Cessey. Les plus fortes biomasses par placette atteignent 2250 g m<sup>-2</sup> de MF à Cléron. En revanche, les biomasses par placette ne dépassant pas 800 g m<sup>2</sup> de MF à la Piquette.

En août 2015, la biomasse algale stationnelle passe en dessous des 300 g m<sup>-2</sup> de MF à Cléron et s'accroît à plus de 600 g.m<sup>-2</sup> de MF à Piquette. La biomasse reste bien inférieure à 5 g m<sup>2</sup> de MF à Chenecey Buillon et s'élève à 30 g m<sup>-2</sup> de MF à Cessey. Les plus fortes biomasses ponctuelles, allant de 1500 à 1800 g m<sup>-2</sup> de MF, sont atteintes à Cléron et à la Piquette.



**Figure 12. Variations spatiotemporelles des biomasses d'algues filamenteuses échantillonnées sur la Loue d'avril à août 2015**

Dans l'ensemble, les biomasses stationnelles d'algues filamenteuses mesurées en 2015 sont moyennes dans le cas de la Loue médiane (aval Cléron, la Piquette). Elles sont faibles dans la partie aval de la Moyenne Loue (Chenecey et Cessey), sauf durant la campagne d'avril à Chenecey.

### Evolution historique des colmatages algaux

La comparaison des valeurs obtenues avec le même protocole (Degiorgi *et al.*, 2006) montre que les taux de recouvrement et les biomasses fraîches maximaux mesurés en 2014 étaient nettement moins élevés à la Piquette et à Chenecey (tab.2). Ce contraste pourrait surtout être lié à la variation du régime hydrologique.

Stations	D0 (km)	2015	2014	2011	2008	2006
<i>Taux de recouvrement (%)</i>						
LOU02 Mouthier	5,4			80		
LOU03 Montgesoye	17,0		21			
Lou4' Ornans am. Step	22,8		22		41	58
LOU04 Ornans (aval)	23,7		34	82	47	60
LOU05 Notre Dame	25,0		31			
LOU07 Aval Cléron	30,3	57				
LOU08 La Piquette	41,3	39	21			
Lou8' Rurey	45,0			90		
LOU09 Chenecey	54,4	24	20			
LOU10 Cessey	58,9	11	30			
<i>Biomasse fraîche stationnelle (maximale intersaisonnière) g m<sup>-2</sup></i>						
LOU02 Mouthier	5,4			3079		
LOU03 Montgesoye	17,0		21			
Lou4' Ornans am. Step	22,8		92		805	1180
LOU04 Ornans (aval)	23,7		397	1465	780	840
LOU05 Notre Dame	25,0		288			
LOU07 Aval Cléron	30,3	453				
LOU08 La Piquette	41,3	610	19			
Lou8' Rurey	45,0			1473		
LOU09 Chenecey	54,4	305	27			
LOU10 Cessey	58,9	30	20			

**Tableau 2. Valeurs maximales intersaisonnières des taux de recouvrement et des biomasses fraîches stationnelles d'algue filamenteuse mesurés à différentes occasions sur les fonds de la Loue à l'aide du protocole standard (Degiorgi *et al.*, 2006)**

Sources : 2015 et 2014 = présent programme      2011 = Eaux Continentales (2012)  
2008 = Vacelet (2008)      2006 = Frossard (2006)

En effet, si l'année 2015 a été chaude et sèche dès la fin du mois de mai, l'année 2014 a été fortement arrosée. Toutefois, sur la station de la Piquette, la vitesse d'accroissement des biomasses entre 2 campagnes successives jalonnant une période de stabilité des débits, de l'ordre d'un gramme de masse fraîche par mètre carré et par jour, n'est pas significativement différente entre ces 2 années.

Cette convergence illustre à quel point l'expression des colmatages algaux dépend du régime hydrologique. Les pics de biomasses sont observés à l'issue d'une période stable, par accroissement et accumulation lente. L'importance des apports de nutriment par lessivage et le taux d'ensoleillement détermine alors la vitesse et l'intensité de ces accroissements (Frossard *et al.*, 2014).

Sous cet angle de vue, l'année 2011 apparaît comme très favorable à l'accroissement et l'accumulation de biomasse. En effet, son régime hydrologique a été marqué par une succession de crues modérées mais lessivantes, séparées par des périodes d'étiage moyen, sous des ciels clairs et lumineux.

Enfin, la comparaison des données obtenues ces 10 dernières années avec les valeurs historiques (Verneaux et Vergon, 1974 ; Vergon, 1990) semble indiquer une baisse nette des pics de biomasse algale observés dans la Loue (Tableau 3). Néanmoins la significativité statistique de cette tendance n'est pas avérée.

Stations	D0 (km)	2015	2014	2008	2006	1998	1989	1972
Source	0,1							4000
Mouthier	5,4						1900	5200
Montgesoye	17		2340			904	0	
Ornans am. Step	22,8		3160	3766	3260	677	2300	200
Ornans (aval)	23,7		3500	2312	3400	5030	2600	
Notre Dame	25		4880			3795	100	600
Amont Cléron	28,8						100	300
Aval Cléron	30,3	3738						
La Piquette	41,3	2460	1540			960	1900	3500
Rurey	45					607		
Chenecey	54,4	2260	2580				8500	30000
Cessey	58,9		2360				1800	30800

**Tableau 3. Valeurs maximales de la biomasse fraîche stationnelle d'algues filamenteuses mesurée sur une placette à différentes occasions sur les fonds de la Loue ; avant 2006, une seule valeur était mesurée, en choisissant empiriquement la zone de colmatage maximal**

Sources : 2015 et 2014 = présent programme      2008 = Vacelet (2008)  
 2006 = Frossard (2006)      1998 = Décourcière et Martin (1998)  
 1989 = Vergon (1990)      1972 = Verneaux et Vergon (1974)

En effet, avant 2006, les mesures de biomasse algale étaient cantonnées à une seule placette par station, choisie « à l'œil » dans le secteur où les colmatages étaient les plus denses et les plus épais. Cette vision ponctuelle ne fournit donc pas une image représentative de l'importance du colmatage sur l'ensemble de la station. Par conséquent, ces données sont difficilement comparables avec celles qui sont obtenues par la mise en œuvre d'une approche quantitative standardisée.

Avec précaution, on peut tout de même essayer de comparer ces valeurs ponctuelles entre elles et avec les valeurs maximales par placette observées à l'aide du protocole standard mis en œuvre depuis 2006. Cette approche montre que, mise à part les valeurs extrêmes mesurées à Chenecey et à Cessey en 1972, les valeurs maximales ponctuelles, comprises entre 1500 et 5000 g m<sup>-2</sup> restent du même ordre aux différentes époques.

Parallèlement, la localisation des accroissements maximaux de la biomasse d'algues filamenteuses varie d'une année et d'une campagne à l'autre (Tableaux 2 et 3, cf. aussi l'amont et l'aval d'Ornans dans les études de Vacelet (2008) et de Frossard (2006). Ainsi en 1972, si la partie aval de la moyenne Loue abritait des biomasses maximales impressionnantes, les mesures montraient que l'amont immédiat et l'aval lointain d'Ornans n'étaient pas ou peu colmatés par les algues filamenteuses.

## **Conclusions et perspectives**

L'analyse de la structure et de la dynamique des proliférations végétales dans la Loue montre que cette rivière subit un dérèglement trophique depuis plusieurs années. La structure des peuplements de macrophytes aquatiques reflète l'influence d'une surcharge trophique bénéficiant surtout aux espèces tolérantes. Lorsque l'hydroclimat est favorable, c'est à dire en période de débit stabilisé entrecoupé de petites crues lessivantes, les fonds de la Loue se couvrent d'algue filamenteuses.

Si l'étiage perdure, le taux de recouvrement algal dépasse fréquemment 50 % et peut atteindre couramment 100 %. L'épaisseur et la densité de ces colmatages varient en revanche fortement d'un site à l'autre, et même sur un même site d'une saison et d'une année à l'autre.

Par rapport aux données anciennes (années 1970 et 1980), les valeurs maximales ponctuelles des biomasses fraîches mesurées en 2015 dans la partie aval du domaine d'étude ont très nettement diminué. Cette réduction des pics localisés de l'accroissement des algues filamenteuses peut être liée à la réduction drastique des teneurs en phosphate dans l'eau.

En revanche les valeurs de biomasses maximales ponctuelles restent du même ordre ou ont fortement augmenté dans les parties apicales et médianes de la Loue, selon les sites considérés et leur distance à la source ainsi que dans le secteur d'Ornans. La réduction des concentrations en phosphore soluble ne suffit donc pas à juguler les colmatages algaux sur l'intégralité du cours de la haute et moyenne Loue.

Parallèlement, en 2015 les biomasses stationnelles d'algues filamenteuses ont été moyennes sur la partie médiane de la Loue, mais faibles sur la partie aval du domaine d'étude, en particulier au cœur de la période d'étiage. Ces tendances peuvent être expliquées par plusieurs scénarii, peut être concomitants :

1. des nutriments en excès (en particulier azotés) parviennent dans la partie amont et médiane de la Loue, mais, en l'absence de petites crues lessivantes, la rivière réalise une autoépuration des nutriments, effective à l'aval de sa confluence avec le Lison.
2. Les excès azotés sont sensiblement équivalents sur l'intégralité du linéaire considéré, mais les consommateurs macrophytophages (mollusques, grandes éphémères, coléoptères, crustacés...) sont moins denses ou / et moins efficaces dans la partie amont, sous l'influence probable de contamination par des substances exerçant sur eux des effets inhibiteurs ou toxiques.
3. La partie aval, dont le lit majeur est occupé par des cultures céréalières, est aussi contaminée par des herbicides.

En résumé, un même niveau de surcharge nutritive peut conduire à des colmatages d'intensités différentes, dans un même site et pour la même séquence hydroclimatiques. Pour interpréter la variation spatio-temporelle des biomasses algales, il est donc nécessaire d'étudier concomitamment la nature et la structure des biocénoses de consommateurs.

Parallèlement, l'élucidation des causes de la persistance des colmatages algaux en dépit de la réduction des excès de phosphore, nécessite de poursuivre l'étude des contaminations chimiques de l'écosystème, ainsi que la recherche de leurs impacts sur les organismes macrophytophages.

Enfin, pour pouvoir relier les perturbations qui seront mises en évidence avec la nature et les rythmes des activités anthropiques se déroulant sur le bassin versant, les mesures de la dynamique de production et d'accumulation des biomasses algales devraient idéalement être effectuées tous les ans suivant la maille spatio-temporelle suivante :

1. Mesures sur 7 stations jalonnant la haute et moyenne Loue :  
Mouthier, Montgesoye, Homelon, Maizières, Aval Cléron, la Piquette, Chenecey.
2. Réalisation de 4 campagnes en période de débit stabilisé depuis au moins 15 jours, en appliquant le protocole standard :
  - début de printemps (typiquement mi avril à fin avril),
  - fin de printemps (typiquement début juin),
  - milieu d'été (typiquement fin août),
  - début d'automne (typiquement fin septembre à début octobre).

## Bibliographie

- Allogho Ondo F., Rota T., 2014. *Causes et conséquences du colmatage des fonds de la rivière Loue, Haute et Moyenne par les algues filamenteuses. Impact écotoxicologique des sédiments de la Haute Loue*. Mémoire de Master 2 QUEST., 81p + annexes.
- Badot P.M. Degiorgi F. 2014. Étude de l'état de santé des rivières karstiques en relation avec les pressions anthropiques sur leurs bassins versants : atelier Loue/Lison 2012-2013. 58p + annexes
- Bailly G., Vadam J.C., Vergon J.P. 2004. Guide pratique d'identification des bryophytes aquatiques. ISBN : 2-11-095214-8. 156p.
- Bonnard R., Michon A., 1981. Les groupements de macrophytes aquatiques de la Loue. *Annals Limnology*. Pp 105-120.
- Brechet O., 1990. Incidence des proliférations algales sur l'habitabilité des substrats d'eau courante, *Rapp. DESS Univ. Fr. Comt.*, 58 p.
- Contrat de rivière Loue, 2013. Etude bilan, évaluation et perspectives du contrat de rivière Loue. 87p.
- Correll D. L., 1999. Phosphorus: A Rate Limiting Nutrient in Surface Waters. *Poultry Sci*. 78: 674-682.
- Dawson F.H., 1976. The annual production of the aquatic macrophyte *Ranunculus penicillatus* var. *calcareus*. C.D.K. Cook. *Aquat. Bot.*: 51-73.
- Dawson F.H., Kern-Hansen U., 1979. The effect of natural and artificial shade on the macrophytes of lowland streams and the use of shade as a management technique. *Int. Rev. Gesamten Hydrobiologie*: 437-455.
- Dawson F.H., Castellano E., Ladle M., 1978. Concept of species succession in relation to river vegetation and management. *Limnology*: 1429-1434.
- De Lange H. J., Sperber V., Peeters E. T., 2006. Avoidance of polycyclic aromatic hydrocarbon-contaminated sediments by the freshwater invertebrates *Gammarus pulex* and *Asellus aquaticus*. *Environ Toxicol Chem*, 25(2): 452-7.
- Decamps A., Poupenev A., 2013. Caractérisation de l'état de santé de la Loue dans le secteur d'Ornans et recherche des causes d'altération. Mémoire de Master 2 QUEST. 77p + annexes.
- Decouciere H., Martin B., 1998. Situation typologique et qualité écologique actuelles de l'hydrosystème Haute-Loue, Mémoire de DESS « Eaux continentales », 41p + annexes..
- Degiorgi F, Vergon J. P., Periat G., 2006. Protocole standard de mesures des colmatages algaux. Note technique. *LBE de l'UFC, DIREN FC., Teleos-Suisse*. 4p. <http://teleos.info/images/ProtocAlgV2.pdf>
- DIREN FC, 1997. Qualité des eaux superficielles. Bassin de la Loue. Direction Régionale de l'Environnement de la Franche-Comté 94p.
- Dodds W. K., 2003. The role of periphyton in phosphorus retention in shallow freshwater aquatic system, *Journal of Phycology*, Vol. 39, Issue 5, 840p.
- Dreyfuss M., 1967. Observations faites en 1966 vers le confluent de la Loue et du Doubs. *Bull. Soc. Hist. Nat. Doubs*, 69, 1: 19-20.
- Flynn N.J., Snook D.L., Wade A.J., Jarvie H.P., 2002. Macrophyte and periphyton dynamics in a UK Cretaceous chalk stream: the River Kennet, a tributary of the Thames. *The Science of the Total Environment*: 143-157.
- Frontier, 1983. Stratégies d'échantillonnage en écologie. Les presses de l'université laval - québec. Ed. Masson. 492 p.
- Frossard V., 2006. Etude des proliférations algales sur la Loue. *SMIX Loue*, Mémoire de 2<sup>e</sup> année de Master QTEBV, *Université de Franche-Comté*, 60 p. + annexes.

- Frossard V., Versanne-Janodet S., Aleya L., 2014. Factors supporting harmful macroalgal blooms in flowing waters: a 2-year study in the Lower Ain River. *Harmful Algae* 33: 19- 28.
- Grasmück N., 1994. La végétation aquatique des cours d'eau de Lorraine : typologie floristique et écologique. Contribution à l'étude de l'autoécologie des espèces de la flore aquatique lorraine. Thèse de doctorat. Science vie. Université de Metz. 219 p.
- Guimard N., Mazzarino S., 2003. Proliférations des algues macroscopiques et des végétaux aquatiques en Franche Comté en 2003. Mémoire de 2<sup>e</sup> année de Master QTEBV, *Univ. Fr.-Comté*, 43 p. + annexes.
- Ham S.F., Wright J.F., Berrie A.D., 1981. Growth and recession of aquatic macrophytes on an unshaded section of the River Lambourn, England, from 1971 to 1976. *Freshwater Biology*. Pp 381-390.
- Haslam S.M., 1978. River plants. Cambridge Univ. Press. 396p.
- Haury J., Baglinière J.L., 1996. Les macrophytes, facteurs structurant de l'habitat piscicole en rivières à salmonidés. Etude de micro-répartition sur un secteur végétalisé du Scorff, Bretagne-Sud. *Cybiurn*, 20, 3 suppl.: 107-122.
- Haury J., Peltre M.C., Muller S., Thiébaud G., Trémolières M., Demars B., Barbe J., Dutartre A., Daniel H., Bernez I., Guerlesquin M., Lambert E., 2000. Les macrophytes aquatiques bio-indicateurs des systèmes lotiques. Intérêts et limites des indices macrophytiques. Synthèse bibliographique des principales approches européennes pour le diagnostic biologique des cours d'eau. ENSA EQHC Rennes - CREUM-Phytoécol. Univ. Metz - AE Artois-Picardie. 101 p. + annexes.
- Haury J., Peltre M.C., Trémolières M., Barbe J., Thiébaud G., Bernez I., Daniel H., Chatenet P., Haan-Archipof G., Muller S., Dutartre A., Laplace-Treytore C., Cazaubon A., Lambert-Servien E., 2006. A new method to assess water trophy and organic pollution – the Macrophyte Biological Index for Rivers, IBMR: its application to different types of river and pollution. *Hydrobiologia*, 570: 153-158.
- Imchenetzky A., 1926. Les associations végétales de la partie supérieure de la vallée de la Loue. Thèse Fac. Sciences Besançon. 120p.
- Johnson M., Shivkumar S., Berlowitz-Tarrant L., 1996. Structure and properties of filamentous green algae. *Materials Science and Engineering*, 38: 103-108.
- Juget J., Rostan J.C., 1973. Influence des herbiers à *Trapa natans* sur la dynamique d'un étang en période estivale. *Limnology*: 11-24.
- Laplace-Treytore C., Peltre M.C., Lambert E., Rodriguez S., Vergon J.P., Chauvin C., 2014. Guide pratique de détermination des algues macroscopiques d'eau douce et de quelques organismes hétérotrophes. Les éditions d'Irstea Bordeaux. Cestas. 204 p.
- Li Y., Cao W., Su C., Hong H., 2011. Nutrient sources and composition of recent algal blooms and eutrophication in the northern Jiulong River, Southeast China. *Mar Poll. Bull.*, 63: 249-254.
- Madsen T.V., Brix H., 1997. Growth, photosynthesis and acclimation by two submerged macrophytes in relation to temperature. *Oecologia*, 110: 320-327.
- Malverti, L., 2010. Étude des colmatages minéraux et algaux des fonds de la Loue, 25: conséquences sur les compartiments biologiques, Master 2 Qualité des Eaux, des sols et Traitement Option Système Aquatique des Bassins Versants
- Montegut J., 1973. *Le milieu aquatique – Tome 1 Milieu aquatique et flore*. Association de coordination technique et agricole. ISBN : 2-85794-061-0. 59p.
- Moore J.W., 1975. The role of algae in the diet of *Asellus aquaticus* L. and *Gammarus pulex* L. *The Journal of Animal Ecology*: 719-730.
- ONEMA, 2010. Etude des peuplements de poissons sur quatre stations de la Loue. 39p.

- ONEMA, 2012. 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. 32p + annexes.
- Peltre M.C., Dutartre A., Barbe J., Haury J., Muller S., Ollivier M., 2002. Les proliférations végétales aquatiques en France : caractères biologiques et écologiques des principales espèces et milieux propices – II Impact sur les écosystèmes et intérêt pour le contrôle des proliférations *Bull. Fr. Pêche Piscic.*: 259-280.
- Riis T., Biggs B.J.F., 2003. Hydrologic and hydraulic control of macrophyte establishment and performance in streams. *Limnology Oceanography*: 88–97.
- Robach F., Thiébaud G., Trémolières M., Muller S., 1996. A reference system for continental running waters : plant communities as bioindicators of increasing eutrophication in alkaline and acidic water in north-east France. *Hydrobiologia*, 340: 67-76.
- Rodriguez S., Courty C., 2010. Note sur la qualité hydrobiologique, macro-invertébrés, macrophytes et diatomées de la Loue - stations de Mouthier Haute Pierre et de la Piquette – année 2010. DREAL Franche-Comté. 22 p. + annexes.
- Rodriguez S., Vergon J. P., 1996. Guide pratique de détermination générique des algues macroscopiques d'eau douce. *DIREN Franche-Comté*, 109 p.
- Sandgren C. D., Engevoild P. M., Neerhof S., Ehlinger T. J., 2004. *Nuisance of Cladophora in Urban Streams: habitats, seasonality, morphology, production, nutrient composition, heavy metals, foodweb bottleneck*. Dep. Biol. Sc, Univ Wisconsin-Milwaukee: 17p.
- Sculthorpe C.D., 1967. *The biology of aquatic vascular plants*. London Edward Arnold Ltd. 610p.
- Symoëns J.J., Hooper S.S., Compere P., 1982. *Studies on aquatic vascular plants*. Bruxelles. 424p.
- Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau, 2003. Grilles d'évaluation SEQ-Eau, Version 2. MEDD, Agences de l'eau.
- Tachet H., Richoux P., Bournaud M., Usseglio-Polatera P., 2010. *Invertébrés d'eau douce, systématique, biologie, écologie*. CNRS Editions, Paris. ISBN : 978-2-271-06945-0. 601p.
- Teleos, 2002. Étude des potentiels écologiques aquatiques des sites Natura 2000 de la Loue et du Lison. Rapport édité pour la DIREN Franche-Comté, 90 p.
- Vacelet E., 2008. *Etude du développement algal et des micropolluants de la Loue*. Mémoire de Master 2eme année QuEST, option PTD., Université de Franche-Comté, 51 p.
- Vergon J.P., 1990. *Proliférations algales dans la Loue - Eté 1989*. SRAE Franche-Comté et Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse. 36 p.
- Vergon J.P., Masson J.P., 1972. Analyses physico-chimiques en relation avec le développement des algues filamenteuses : Bassin du Doubs, étiage 1972. Service Régional d'Aménagement des eaux de Franche-Comté. 21 p.
- Verneaux J., 1973. Cours d'eau de Franche-Comté. Recherches écologiques sur le réseau hydrographique du Doubs - Essai de biotypologie. *Thèse de doctorat, Univ. Besançon*, p. 260.
- Verneaux J., Vergon J.P., 1974. A propos d'un processus « d'autoépuration » des cours d'eau par les algues filamenteuses. Société hydrotechnique de France, Annales des XIIIèmes journées de l'Hydraulique de la Soc. Hydrotechnique de France, (Paris, 1974), 7p.
- Whitton B.A., 1970. Review paper : biology of *Cladophora* in freshwaters. *Wat. Res.*, 4: 457-476.
- Wong S. L., CLARK B., 1976. *Field determination of the critical nutrient concentrations for Cladophora in streams and their importance in waste load management*. Queen's Printer for Ontario, 37 p.
- Xiufeng Z., Xueying M., 2013. Periphyton response to nitrogen and phosphorus enrichment in a eutrophic shallow aquatic ecosystem. *Chin J. of Oceanol. and Limnol.*, 31(1): 59-64.

## Annexes

Annexe 1 : Protocole de suivi des macrophytes.....	51
Annexe 2 : Protocole de suivi du développement algal.....	52
Annexe 3.1 : Listes taxonomiques macrophytiques.....	56
Annexe 3.2 : Classes de recouvrements des macrophytes IBMR.....	66
Annexe 4.1 : Physionomie des peuplements algaux.....	67
Annexe 4.2 : Cartographies des recouvrements algaux.....	69

## Annexe 1 : Protocole de suivi des macrophytes

Le site de prélèvement doit recouvrir un minimum de 100 m<sup>2</sup> et inclure l'ensemble des faciès présents dans le tronçon (faciès lotique et ou lentique). L'inventaire floristique consiste en une prospection globale du chenal et des berges. Toutes les plantes macroscopiques présentes dans la surface en eau sont prises en compte : spermaphytes, ptéridophytes, bryophytes et algues. Un matériel de prélèvement est utilisé si nécessaire ; *i.e.* : bathyscope, grappin. Le niveau de détermination requis est l'espèce pour les spermaphytes, les ptéridophytes et les bryophytes ; le genre pour les algues. Pour chaque taxon, le pourcentage de recouvrement est estimé par faciès.

### - Modalités temporelles

De préférence, l'effort d'échantillonnage doit être répété à deux reprises en lien aux pics de diversité et biomasses maximales.

- en début de croissance végétative (avril à mai) ;
- lors d'un étiage estival (juin à août).

Dans le cas où l'effort d'échantillonnage doit être réduit à une seule campagne, privilégier la campagne estivale, lorsque la biomasse est maximale.

### - Modalités de prélèvement

1° Prospecter à pied ou en canoë l'ensemble des faciès de la station, d'aval en amont.

2° Pour chaque faciès, on note les espèces ou genres algaux, leur pourcentage de recouvrement, ainsi que les caractéristiques habitationnels. Les taxons non identifiés sont déterminés en laboratoire à l'aide d'une loupe binoculaire ou d'un microscope.

### - Calcul de l'indice IBMR

L'indice IBMR définie est obtenu à partir d'une liste floristique de 208 taxons.

$$IBMR = (\sum_i C_{Si} * K_i * E_i) / (n * \sum_i i K_i * E_i)$$

*i* : taxon contributif.

*C<sub>Si</sub>* : la cote spécifique, allant de 0 (espèce eutrophe) à 20 (espèce oligotrophe).

*K<sub>i</sub>* : la classe d'abondance, allant de 1 (peu abondant) à 5 (très abondant).

*E<sub>i</sub>* : le coefficient de sténoécie, allant de 1 (euryèce) à 3 (sténoèce).

*n* : nombre de taxons contributifs.

## Annexe 2 : Protocole de suivi du développement algal

### 1. Mesure des recouvrements

Les plages de recouvrement sont délimitées à 0,5 m près à l'aide de décamètre ou de topofil, en utilisant une grille d'aide à l'estimation des recouvrements. Les classes de recouvrement utilisées ont un pas de 10 %, sauf les 2 premières classes qui s'étendent respectivement de 1 à 5 % et de 6 à 10 %.

Les données de terrain sont retranscrites à l'aide d'un logiciel de cartographie pour calculer la surface de chacune des plages de recouvrement. Deux descripteurs synthétiques du taux de colmatage stationnel sont ainsi calculés :

- Le *Taux de Colmatage Global* (TCG) : somme des surfaces relatives aux plages affectées par une intensité de recouvrement supérieure à 5 %.
- Le *Taux de Colmatage Efficace* (TCE) : somme des surfaces relatives des différentes plages de recouvrement pondérées par leur intensité de colmatage.

### 2. Mesure des Biomasses

Les classes de recouvrement surfaciques sont utilisées comme strates statistiques. Pour tenir compte de la variation probable de l'épaisseur, de l'état physiologique et de la densité des colonies algales au sein d'une même plage de recouvrement, un minimum de 3 prélèvements est effectué au sein de chaque classe. Des placettes sont sélectionnées le long de 4 transects balayant des situations contrastées.

#### - Modalités temporelles

De préférence, l'effort d'échantillonnage doit être répété à trois reprises en lien aux pics potentiels des développements algaux :

- milieu de printemps (avril à mai) ;
- milieu d'été (juillet à août) ;
- début d'automne (fin septembre à fin octobre).

Deux campagnes saisonnières suffisent généralement à caractériser l'intensité des proliférations pour une année donnée. Dans les cas où l'effort d'échantillonnage doit être réduit à une seule campagne, privilégier la campagne printanière à condition de rencontrer une période d'étiage de plusieurs semaines.

*A contrario*, la répétition de 5 à 8 campagnes au cours d'une même année permet d'approcher la production et la productivité algale d'une station.

### - Modalités de prélèvement

1° Définir 4 transects sur la station :

- 1 transect sur la zone de colmatage la plus faible ;
- 2 transects sur les zones de colmatages moyens ;
- 1 transect sur les zones de colmatages maximaux.

2° Sur chaque transect, de 3 à 6 prélèvements sont effectués à l'aide d'un filet Sürber (1/20 m<sup>2</sup>). Les prélèvements sont placés à chaque changement d'épaisseur.

3° Pour chaque prélèvement, on note les genres algaux prélevés et voisins, la classe de recouvrement d'appartenance, le substrat, la vitesse et la profondeur.

4° Séparer les algues des impuretés avec des pinces brucelles jusqu'au moment où il devient impossible à l'oeil nu d'éliminer les éléments non algaux.

5° Essorer la biomasse algale à l'aide d'uneessoreuse et à la main jusqu'à ce qu'il n'y ait plus d'eau expulsée. Peser l'échantillon essoré pour obtenir le poids frais (PF).

6° Mettre les échantillons à l'étuve pour obtenir le poids sec (PS).

Il a été démontré que cette approche stratifiée est aussi précise et fiable qu'un échantillonnage aléatoire de 60 placettes. L'effort à fournir pour une variabilité instrumentale généralement inférieure à 10 % est donc de 2,5 à 5 fois moindre par rapport à un échantillonnage aléatoire.

### - Calcul de la biomasse stationnelle moyenne

La biomasse stationnelle moyenne (PF) est estimée par la biomasse des différentes plages de recouvrements. On définit les variables suivantes :

1. Poids des plages :  $W_i = S_i / S$
2. Biomasse par plage (kg ou g/m<sup>2</sup>) :  $B_i = R_i \times ((\sum P_i/n_i) \times 20)$
3. Biomasse stationnelle moyenne (kg ou g/m<sup>2</sup>) :  $B_{sm} = \sum (W_i * B_i)$

$S_i$  = Surface de la plage i.

$S$  = Surface de la station.

$W_i$  = Poids de la plage i.

$R_i$  = valeur médiane de la classe de recouvrement de la plage i (en %).

$n_i$  = nombre de prélèvement appartenant à la strate i (1/20e de m<sup>2</sup>).

$P_i$  = Biomasse d'un prélèvement appartenant à la strate i.

$B_i$  = Biomasse de la plage i.

$B_{sm}$  = Biomasse stationnelle moyenne (en kg ou g/m<sup>2</sup>).

### Annexe 3.1 : Listes taxonomiques macrophytiques

**Code Station : LOU01**  
**Lieu : Source de la Loue**  
**Date : 09/06/15**

Descripteurs synthétiques	Valeurs
IBMR	12,97
Taxons (total)	27
Taxons IBMR	19
cotes spécifiques	11,95 ± 3,81
coef. sténoécie	1,74 ± 0,65
Algues (%)	3,2
Bryophytes (%)	62,3
Spermaphytes (%)	0,2
Station (%)	65,7

Taxons	Groupe	Code IBMR	Lotique (%)	Station (%)
<i>Cinclidotus aquaticus</i>	Bry	CINAQU	25,00	25
<i>Cinclidotus fontinaloides</i>	Bry	CINFON	15,00	15
<i>Cinclidotus danubicus</i>	Bry	CINDAN	7,50	7,5
<i>Rhynchostegium riparioides</i>	Bry	RHYRIP	2,50	2,5
<i>Fontinalis antipyretica</i>	Bry	FONANT	2,50	2,5
<i>Brachytecium rivulare</i>	Bry	BRARIV	2,50	2,5
<i>Cratoneuron filicinum</i>	Bry	CRAFIL	2,50	2,5
<i>Palustriella commutata</i>	Bry	CRACOM	2,50	2,50
<i>Vaucheria sp.</i>	Alg	VAUSPX	2,50	2,5
<i>Fissidens crassipes</i>	Bry	FISCRA	0,50	0,5
<i>Amblystegium riparium</i>	Bry	AMBRIP	0,50	0,5
<i>Pellia endiviifolia</i>	Bry	PELEND	0,50	0,5
<i>Chiloscyphus polyanthos</i>	Bry	CHIPOL	0,50	0,5
<i>Cladophora sp.</i>	Alg	CLASPX	0,50	0,5
<i>Phalaris arundinacea</i>	Spe	PHAARU	0,05	0,05
<i>Mentha longifolia</i>	Spe	MENLON	0,05	0,05
<i>Petasites hybridus</i>	Spe	PETHYB	0,05	0,05
<i>Nasturtium officinale</i>	Spe	NASOFF	0,05	0,05
<i>Marchantia polymorpha</i>	Bry	MARPOL	0,05	0,05
<i>Conocephalum conicum</i>	Bry	CONCON	0,05	0,05
<i>Mnium marginatum</i>	Bry	MNIMAR	0,05	0,05
<i>Didymodon spadiceus</i>	Bry	DIDSPA	0,05	0,05
<i>Plagomnium affine</i>	Bry	PLAAFF	0,05	0,05
<i>Batrachospermum sp.</i>	Alg	BATSPX	0,05	0,05
<i>Phormidium sp.</i>	Alg	PHOSPX	0,05	0,05
<i>Spirogyra sp.</i>	Alg	SPISPX	0,05	0,05
<i>Hildenbrandia rivularis</i>	Alg	HILSPX	0,05	0,05

**Code station : LOU02**  
**Lieu : Mouthier Haute Pierre**  
**Date : 09/06/15**

Descripteurs synthétiques	Valeurs
<b>IBMR</b>	11,73
<b>Taxons (total)</b>	21
<b>Taxons IBMR</b>	18
<b>cotes spécifiques</b>	11,33 ± 3,58
<b>coef. sténocécie</b>	1,67 ± 0,69
<b>Algues (%)</b>	53,2
<b>Bryophytes (%)</b>	41,3
<b>Spermaphytes (%)</b>	0,2
<b>Station (%)</b>	94,6

Taxons	Groupe	Code IBMR	Lotique (%)	Lentique (%)	Station (%)
<i>Diatoma sp.</i>	Alg	DIASPX	25,00	25,00	25
<i>Melosira sp.</i>	Alg	MELSPX	25,00	25,00	25
<i>Cinclidotus aquaticus</i>	Bry	CINAQU	15,00	7,50	14,25
<i>Cinclidotus fontinaloides</i>	Bry	CINFON	15,00	7,50	14,25
<i>Cinclidotus danubicus</i>	Bry	CINDAN	7,50	2,50	7
<i>Vaucheria sp.</i>	Alg	VAUSPX	2,50	2,50	2,5
<i>Rhynchostegium riparioides</i>	Bry	RHYRIP	2,50	2,50	2,5
<i>Fontinalis antipyretica</i>	Bry	FONANT	2,50	2,50	2,5
<i>Amblystegium riparium</i>	Bry	AMBRIP	0,50	0,50	0,5
<i>Cladophora sp.</i>	Alg	CLASPX	0,50	0,50	0,5
<i>Phalaris arundinacea</i>	Spe	PHAARU	0,05	0,05	0,05
<i>Petasites hybridus</i>	Spe	PETHYB	0,05	0,05	0,05
<i>Nasturtium officinale</i>	Spe	NASOFF	0,05	0,05	0,05
<i>Brachytecium rivulare</i>	Bry	BRARIV	0,05	0,05	0,05
<i>Cratoneuron filicinum</i>	Bry	CRAFIL	0,05	0,05	0,05
<i>Fissidens crassipes</i>	Bry	FISCRA	0,05	0,05	0,05
<i>Pellia endiviifolia</i>	Bry	PELEND	0,05	0,05	0,05
<i>Conocephalum conicum</i>	Bry	CONCON	0,05	0,05	0,05
<i>Tetraspora sp.</i>	Alg	TETSPX	0,05	0,05	0,05
<i>Chaetophora sp.</i>	Alg	CHESPX	0,05	0,05	0,05
<i>Hildenbrandia rivularis</i>	Alg	HILSPX	0,05	0,05	0,05

Code station : LOU03  
Lieu : Montgesoye  
Date : 09/06/15

Descripteurs synthétiques	Valeurs
<b>IBMR</b>	11,52
<b>Taxons (total)</b>	22
<b>Taxons IBMR</b>	19
<b>cotes spécifiques</b>	11,11 ± 3,40
<b>coef. sténocécie</b>	1,68 ± 0,67
<b>Algues (%)</b>	8,3
<b>Bryophytes (%)</b>	25,6
<b>Spermaphytes (%)</b>	1,1
<b>Station (%)</b>	35,0

Taxons	Groupe	Code IBMR	Lotique (%)	Lentique (%)	Station (%)
<i>Cinclidotus fontinaloides</i>	Bry	CINFON	15,00	7,50	12
<i>Vaucheria sp.</i>	Alg	VAUSPX	7,50	7,50	7,5
<i>Cinclidotus aquaticus</i>	Bry	CINAQU	7,50	2,50	5,5
<i>Cinclidotus danubicus</i>	Bry	CINDAN	2,50	2,50	2,5
<i>Rhynchostegium riparioides</i>	Bry	RHYRIP	2,50	2,50	2,5
<i>Fontinalis antipyretica</i>	Bry	FONANT	2,50	2,50	2,5
<i>Ranunculus penicillatus</i>	Spe	RANCAL	0,50	0,50	0,5
<i>Phalaris arundinacea</i>	Spe	PHAARU	0,50	0,50	0,5
<i>Amblystegium riparium</i>	Bry	AMBRIP	0,50	0,50	0,5
<i>Cladophora sp.</i>	Alg	CLASPX	0,50	0,50	0,5
<i>Melosira sp.</i>	Alg	MELSPX	0,00	0,50	0,2
<i>Brachytecium rivulare</i>	Bry	BRARIV	0,05	0,00	0,03
<i>Cratoneuron filicinum</i>	Bry	CRAFIL	0,05	0,00	0,03
<i>Fissidens crassipes</i>	Bry	FISCRA	0,05	0,00	0,03
<i>Tetraspora sp.</i>	Alg	TETSPX	0,05	0,00	0,03
<i>Chaetophora sp.</i>	Alg	CHESPX	0,05	0,00	0,03
<i>Petasites hybridus</i>	Spe	PETHYB	0,00	0,05	0,02
<i>Mentha longifolia</i>	Spe	MENLON	0,00	0,05	0,02
<i>Pellia endiviifolia</i>	Bry	PELEND	0,00	0,05	0,02
<i>Callitriche platycarpa</i>	Spe	CALPLA	0,00	0,05	0,02
<i>Veronica anagallis aquatica</i>	Spe	VERANA	0,00	0,05	0,02
<i>Groenlandia densa</i>	Spe	GRODEN	0,00	0,05	0,02

Code station : LOU04  
Lieu : Ornans (Homelon)  
Date : 08/06/15

Descripteurs synthétiques	Valeurs
IBMR	10,63
Taxons (total)	16
Taxons IBMR	15
cotes spécifiques	10,33 ± 3,15
coef. sténocéie	1,53 ± 0,64
Algues (%)	14,1
Bryophytes (%)	30,1
Spermaphytes (%)	0,1
Stations %)	44,3

Taxons	Groupe	Code IBMR	Lotique (%)	Lentique (%)	Station (%)
<i>Cinclidotus fontinaloides</i>	Bry	CINFON	15,00	7,50	13,5
<i>Vaucheria sp.</i>	Alg	VAUSPX	15,00	7,50	13,5
<i>Cinclidotus aquaticus</i>	Bry	CINAQU	7,50	2,50	6,5
<i>Cinclidotus danubicus</i>	Bry	CINDAN	2,50	2,50	2,5
<i>Rhynchostegium riparioides</i>	Bry	RHYRIP	2,50	2,50	2,5
<i>Fontinalis antipyretica</i>	Bry	FONANT	2,50	2,50	2,5
<i>Amblystegium riparium</i>	Bry	AMBRIP	2,50	2,50	2,5
<i>Cladophora sp.</i>	Alg	CLASPX	0,50	0,50	0,5
<i>Fissidens crassipes</i>	Bry	FISCRA	0,05	0,00	0,04
<i>Ranunculus penicillatus</i>	Spe	RANCAL	0,05	0,00	0,04
<i>Tetraspora sp.</i>	Alg	TETSPX	0,05	0,00	0,04
<i>Chaetophora sp.</i>	Alg	CHESPX	0,05	0,00	0,04
<i>Phalaris arundinacea</i>	Spe	PHAARU	0,00	0,05	0,01
<i>Callitriche platycarpa</i>	Spe	CALPLA	0,00	0,05	0,01
<i>Pellia endiviifolia</i>	Bry	PELEND	0,00	0,05	0,01
<i>Nostoc sp.</i>	Alg	NOSSPX	0,00	0,05	0,01

Code station : LOU05  
Lieu : Maisière Notre Dame  
Date : 08/06/15

Descripteurs synthétiques	Valeurs
IBMR	10,71
Taxons (total)	16
Taxons IBMR	14
cotes spécifiques	10,50 ± 3,39
coef. sténocéie	1,57 ± 0,65
Algues (%)	14,0
Bryophytes (%)	30,1
Spermaphytes (%)	0,1
Station (%)	44,2

Taxons	Groupe	Code IBMR	Lotique (%)	Lentique (%)	Station (%)
<i>Cinclidotus fontinaloides</i>	Bry	CINFON	15,00	7,50	13,50
<i>Vaucheria sp.</i>	Alg	VAUSPX	15,00	7,50	13,50
<i>Cinclidotus aquaticus</i>	Bry	CINAQU	7,50	2,50	6,50
<i>Cinclidotus danubicus</i>	Bry	CINDAN	2,50	2,50	2,50
<i>Rhynchostegium riparioides</i>	Bry	RHYRIP	2,50	2,50	2,50
<i>Fontinalis antipyretica</i>	Bry	FONANT	2,50	2,50	2,50
<i>Amblystegium riparium</i>	Bry	AMBRIP	2,50	2,50	2,50
<i>Cladophora sp.</i>	Alg	CLASPX	0,50	0,50	0,50
<i>Phalaris arundinacea</i>	Spe	PHAARU	0,00	0,50	0,10
<i>Fissidens crassipes</i>	Bry	FISCRA	0,05	0,00	0,04
<i>Brachytecium rivulare</i>	Bry	BRARIV	0,05	0,00	0,04
<i>Chaetophora sp.</i>	Alg	CHESPX	0,05	0,00	0,04
<i>Petasites hybridus</i>	Spe	PETHYB	0,00	0,05	0,01
<i>Nasturtium officinale</i>	Spe	NASOFF	0,00	0,05	0,01
<i>Callitriche platycarpa</i>	Spe	CALPLA	0,00	0,05	0,01
<i>Pellia endiviifolia</i>	Bry	PELEND	0,00	0,05	0,01

**Code station : LOU06**  
**Lieu : Scey en Varais**  
**Date : 08/06/15**

Descripteurs synthétiques	valeurs
IBMR	10,74
Taxons (total)	15
Taxons IBMR	13
cotes spécifiques	10,62 ± 3,55
coef. sténoécie	1,62 ± 0,65
Algues (%)	14,1
Bryophytes (%)	30,1
Spermaphytes (%)	0,1
Station (%)	44,3

Taxons	Groupe	Code IBMR	Lotique (%)	Lentique (%)	Station (%)
<i>Cinclidotus fontinaloides</i>	Bry	CINFON	15,00	7,50	13,50
<i>Vaucheria sp.</i>	Alg	VAUSPX	15,00	7,50	13,50
<i>Cinclidotus aquaticus</i>	Bry	CINAQU	7,50	2,50	6,50
<i>Cinclidotus danubicus</i>	Bry	CINDAN	2,50	2,50	2,50
<i>Rhynchostegium riparioides</i>	Bry	RHYRIP	2,50	2,50	2,50
<i>Fontinalis antipyretica</i>	Bry	FONANT	2,50	2,50	2,50
<i>Amblystegium riparium</i>	Bry	AMBRIP	2,50	2,50	2,50
<i>Cladophora sp.</i>	Alg	CLASPX	0,50	0,50	0,50
<i>Phalaris arundinacea</i>	Spe	PHAARU	0,00	0,50	0,10
<i>Fissidens crassipes</i>	Bry	FISCRA	0,05	0,00	0,04
<i>Brachytecium rivulare</i>	Bry	BRARIV	0,05	0,00	0,04
<i>Tetraspora sp.</i>	Alg	TETSPX	0,05	0,00	0,04
<i>Chaetophora sp.</i>	Alg	CHESPX	0,05	0,00	0,04
<i>Petasites hybridus</i>	Spe	PETHYB	0,00	0,05	0,01
<i>Pellia endiviifolia</i>	Bry	PELEND	0,00	0,05	0,01

Code station : LOU07  
Lieu : Cléron (aval)  
Date : 05/06/15

Descripteurs synthétiques	Valeurs
IBMR	11,15
Taxons (total)	21
Taxons IBMR	20
cotes spécifiques	10,60 ± 2,85
coef. sténoécie	1,50 ± 0,61
Algues (%)	30,7
Bryophytes (%)	29,6
Spermaphytes (%)	1,1
Station (%)	61,4

Taxons	Groupe	Code IBMR	Lotique (%)	Lentique (%)	Station (%)
<i>Vaucheria sp.</i>	Alg	VAUSPX	25,00	25,00	25,00
<i>Cinclidotus fontinaloides</i>	Bry	CINFON	15,00	15,00	15,00
<i>Cinclidotus aquaticus</i>	Bry	CINAQU	7,50	2,50	6,50
<i>Cinclidotus danubicus</i>	Bry	CINDAN	2,50	2,50	2,50
<i>Rhynchostegium riparioides</i>	Bry	RHYRIP	2,50	2,50	2,50
<i>Fontinalis antipyretica</i>	Bry	FONANT	2,50	2,50	2,50
<i>Diatoma sp.</i>	Alg	DIASPX	2,50	2,50	2,50
<i>Melosira sp.</i>	Alg	MELSPX	2,50	2,50	2,50
<i>Sium erectum</i>	Spe	BERERE	0,50	0,50	0,50
<i>Ranunculus penicillatus</i>	Spe	RANCAL	0,50	0,50	0,50
<i>Amblystegium riparium</i>	Bry	AMBRIP	0,50	0,50	0,50
<i>Cladophora sp.</i>	Alg	CLASPX	0,50	0,50	0,50
<i>Spirogyra sp.</i>	Alg	SPISPX	0,00	0,50	0,10
<i>Phalaris arundinacea</i>	Spe	PHAARU	0,05	0,05	0,05
<i>Tetraspora sp.</i>	Alg	TETSPX	0,05	0,05	0,05
<i>Chaetophora sp.</i>	Alg	CHESPX	0,05	0,05	0,05
<i>Fissidens crassipes</i>	Bry	FISCRA	0,05	0,00	0,04
<i>Callitriche platycarpa</i>	Spe	CALPLA	0,05	0,00	0,04
<i>Nasturtium officinale</i>	Spe	NASOFF	0,05	0,00	0,04
<i>Pellia endiviifolia</i>	Bry	PELEND	0,05	0,00	0,04
<i>Nostoc sp.</i>	Alg	NOSSPX	0,05	0,00	0,04

Code station : LOU08  
Lieu : Piquette  
Date : 05/06/15

Descripteurs synthétiques	Valeurs
IBMR	10,50
Taxons (total)	22
Taxons IBMR	22
cotes spécifiques	10,41 ± 3,26
coef. sténocécie	1,64 ± 0,58
Algues (%)	26,6
Bryophytes (%)	29,6
Spermaphytes (%)	8,6
Station (%)	64,8

Taxons	Groupe	Code IBMR	Lotique (%)	Lentique (%)	Station (%)
<i>Vaucheria sp.</i>	Alg	VAUSPX	25,00	7,50	21,50
<i>Cinclidotus fontinaloides</i>	Bry	CINFON	15,00	15,00	15,00
<i>Ranunculus penicillatus</i>	Spe	RANCAL	7,50	7,50	7,50
<i>Cinclidotus aquaticus</i>	Bry	CINAQU	7,50	2,50	6,50
<i>Rhizoclonium sp.</i>	Alg	RHISPX	2,50	7,50	3,50
<i>Cinclidotus danubicus</i>	Bry	CINDAN	2,50	2,50	2,50
<i>Rhynchostegium riparioides</i>	Bry	RHYRIP	2,50	2,50	2,50
<i>Fontinalis antipyretica</i>	Bry	FONANT	2,50	2,50	2,50
<i>Phalaris arundinacea</i>	Spe	PHAARU	0,50	0,50	0,50
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Spe	MYRSPI	0,50	0,50	0,50
<i>Amblystegium riparium</i>	Bry	AMBRIP	0,50	0,50	0,50
<i>Cladophora sp.</i>	Alg	CLASPX	0,50	0,50	0,50
<i>Diatoma sp.</i>	Alg	DIASPX	0,50	0,50	0,50
<i>Melosira sp.</i>	Alg	MELSPX	0,50	0,50	0,50
<i>Fissidens crassipes</i>	Bry	FISCRA	0,05	0,00	0,04
<i>Brachytecium rivulare</i>	Bry	BRARIV	0,05	0,00	0,04
<i>Sium erectum</i>	Spe	BERERE	0,05	0,00	0,04
<i>Veronica anagallis aquatica</i>	Spe	VERANA	0,05	0,00	0,04
<i>Callitriche platycarpa</i>	Spe	CALPLA	0,05	0,00	0,04
<i>Tetraspora sp.</i>	Alg	TETSPX	0,05	0,00	0,04
<i>Chaetophora sp.</i>	Alg	CHESPX	0,05	0,00	0,04
<i>Nostoc sp.</i>	Alg	NOSSPX	0,05	0,00	0,04

Code station : LOU09  
Lieu : Chenecey Buillon  
Date : 04/06/15

Descripteurs synthétiques	Valeurs
IBMR	10,40
Taxons (total)	31
Taxons IBMR	30
cotes spécifiques	10,30 ± 2,87
coef. sténocécie	1,63 ± 0,56
Algues (%)	4,1
Bryophytes (%)	16,1
Spermaphytes (%)	23,2
Station (%)	43,4

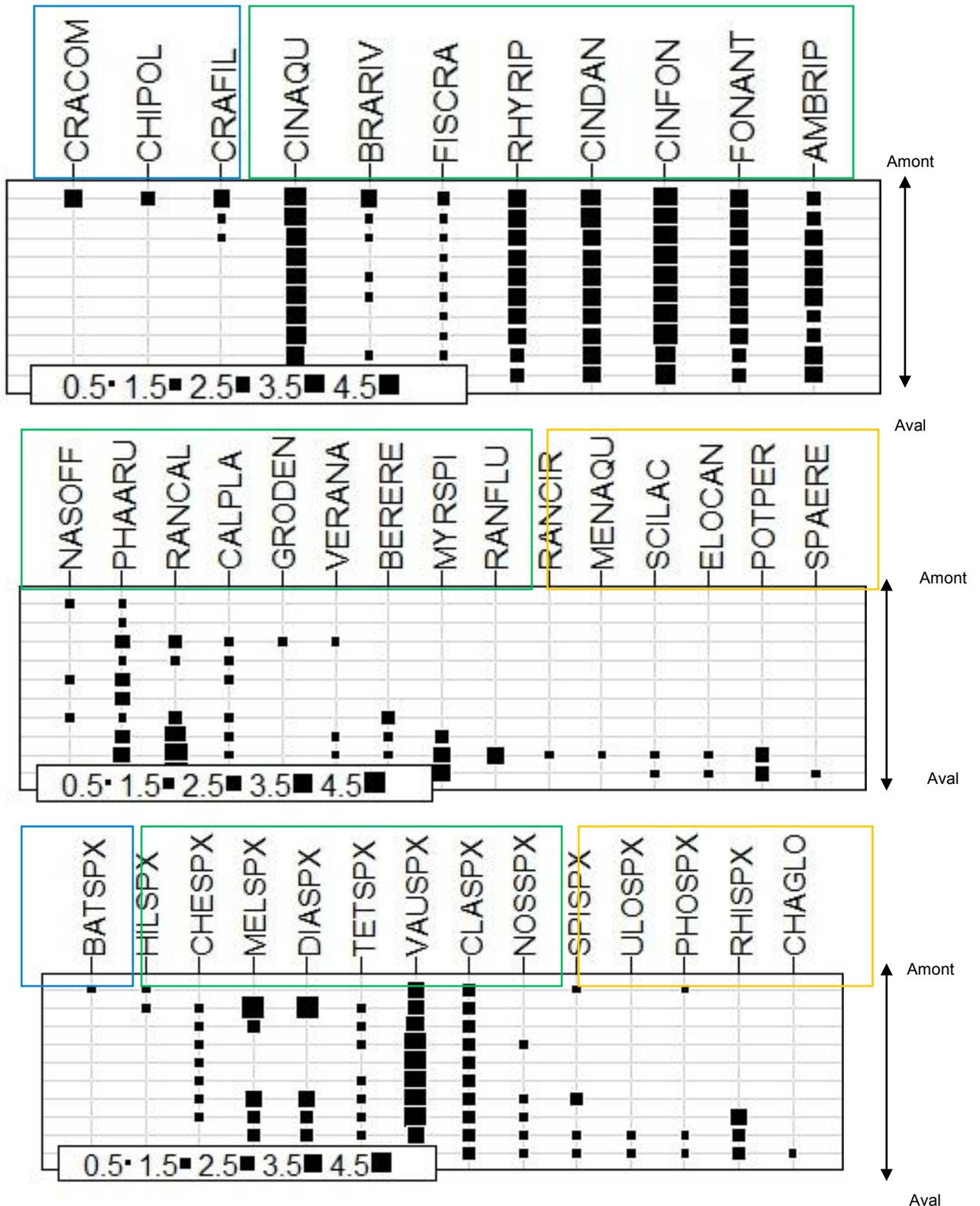
Taxons	Groupe	Code IBMR	Lotique (%)	Lentique (%)	Station (%)
<i>Ranunculus penicillatus</i>	Spe	RANCAL	15,00	15,00	15,00
<i>Cinclidotus fontinaloides</i>	Bry	CINFON	7,50	7,50	7,50
<i>Cinclidotus aquaticus</i>	Bry	CINAQU	2,50	2,50	2,50
<i>Cinclidotus danubicus</i>	Bry	CINDAN	2,50	2,50	2,50
<i>Ranunculus fluitans</i>	Spe	RANFLU	2,50	2,50	2,50
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Spe	MYRSPI	2,50	2,50	2,50
<i>Phalaris arundinacea</i>	Spe	PHAARU	2,50	2,50	2,50
<i>Vaucheria sp.</i>	Alg	VAUSPX	2,50	2,50	2,50
<i>Amblystegium riparium</i>	Bry	AMBRIP	2,50	2,50	2,50
<i>Potamogeton perfoliatus</i>	Spe	POTPER	0,50	0,50	0,50
<i>Rhynchostegium riparioides</i>	Bry	RHYRIP	0,50	0,50	0,50
<i>Fontinalis antipyretica</i>	Bry	FONANT	0,50	0,50	0,50
<i>Cladophora sp.</i>	Alg	CLASPX	0,50	0,50	0,50
<i>Rhizoclonium sp.</i>	Alg	RHISPX	0,50	0,50	0,50
<i>Diatoma sp.</i>	Alg	DIASPX	0,00	0,50	0,25
<i>Melosira sp.</i>	Alg	MELSPX	0,00	0,50	0,25
<i>Sium erectum</i>	Spe	BERERE	0,05	0,00	0,03
<i>Scirpus lacustris</i>	Spe	SCILAC	0,05	0,00	0,03
<i>Fissidens crassipes</i>	Bry	FISCRA	0,05	0,00	0,03
<i>Brachytecium rivulare</i>	Bry	BRARIV	0,05	0,00	0,03
<i>Elodea canadensis</i>	Spe	ELOCAN	0,00	0,05	0,03
<i>Callitriche Platycarpa</i>	Spe	CALPLA	0,00	0,05	0,03
<i>Ranunculus circinatus</i>	Spe	RANCIR	0,00	0,05	0,03
<i>Mentha aquatica</i>	Spe	MENQU	0,00	0,05	0,03
<i>Veronica anagallis aquatica</i>	Spe	VERANA	0,00	0,05	0,03
<i>Ulothrix sp.</i>	Alg	ULOSPX	0,00	0,05	0,03
<i>Spirogyra sp.</i>	Alg	SPISPX	0,00	0,05	0,03
<i>Tetraspora sp.</i>	Alg	TETSPX	0,00	0,05	0,03
<i>Pellia endiviifolia</i>	Bry	PELEND	0,00	0,05	0,03
<i>Phormidium sp.</i>	Alg	PHOSPX	0,00	0,05	0,03
<i>Nostoc sp.</i>	Alg	NOSSPX	0,00	0,05	0,03

Code station : LOU10  
Lieu : Cessey  
Date : 04/06/15

Descripteurs synthétiques	Valeurs
IBMR	10,51
Taxons (total)	30
Taxons IBMR	30
cotes spécifiques	10,37 ± 2,99
coef. sténoécie	1,60 ± 0,56
Algues (%)	3,7
Bryophytes (%)	16,1
Spermaphytes (%)	21,2
Station (%)	41,0

Taxons	Groupe	Code IBMR	Lotique (%)	Lentique (%)	Station (%)
<i>Ranunculus penicillatus</i>	Spe	RANCAL	15,00	15,00	15,00
<i>Cinclidotus fontinaloides</i>	Bry	CINFON	7,50	7,50	7,50
<i>Cinclidotus aquaticus</i>	Bry	CINAQU	2,50	2,50	2,50
<i>Cinclidotus danubicus</i>	Bry	CINDAN	2,50	2,50	2,50
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Spe	MYRSPI	2,50	2,50	2,50
<i>Phalaris arundinacea</i>	Spe	PHAARU	2,50	2,50	2,50
<i>Vaucheria sp.</i>	Alg	VAUSPX	2,50	2,50	2,50
<i>Amblystegium riparium</i>	Bry	AMBRIP	2,50	2,50	2,50
<i>Potamogeton perfoliatus</i>	Spe	POTPER	0,50	0,50	0,50
<i>Sium erectum</i>	Spe	BERERE	0,50	0,50	0,50
<i>Rhynchostegium riparioides</i>	Bry	RHYRIP	0,50	0,50	0,50
<i>Fontinalis antipyretica</i>	Bry	FONANT	0,50	0,50	0,50
<i>Cladophora sp.</i>	Alg	CLASPX	0,50	0,50	0,50
<i>Rhizoclonium sp.</i>	Alg	RHISPX	0,50	0,50	0,50
<i>Scirpus lacustris</i>	Spe	SCILAC	0,05	0,00	0,03
<i>Fissidens crassipes</i>	Bry	FISCRA	0,05	0,00	0,03
<i>Brachytecium rivulare</i>	Bry	BRARIV	0,05	0,00	0,03
<i>Tetraspora sp.</i>	Alg	TETSPX	0,05	0,00	0,03
<i>Diatoma sp.</i>	Alg	DIASPX	0,00	0,05	0,03
<i>Melosira sp.</i>	Alg	MELSPX	0,00	0,05	0,03
<i>Ulothrix sp.</i>	Alg	ULOSPX	0,00	0,05	0,03
<i>Spirogyra sp.</i>	Alg	SPISPX	0,00	0,05	0,03
<i>Elodea canadensis</i>	Spe	ELOCAN	0,00	0,05	0,03
<i>Groenlandia densa</i>	Spe	GRODEN	0,00	0,05	0,03
<i>Callitriche Platycarpa</i>	Spe	CALPLA	0,00	0,05	0,03
<i>Chara globularis</i>	Alg	CHAGLO	0,00	0,05	0,03
<i>Sparganium erectum</i>	Spe	SPAERE	0,00	0,05	0,03
<i>Veronica anagallis aquatica</i>	Spe	VERANA	0,00	0,05	0,03
<i>Phormidium sp.</i>	Alg	PHOSPX	0,00	0,05	0,03
<i>Nostoc sp.</i>	Alg	NOSSPX	0,00	0,05	0,03

**Annexe 3.2 : Classes de recouvrements des macrophytes IBMR**



**Taxons crénophiles (bleu) - Taxons rhéophiles (vert) - Taxons lénitophiles (jaune)**

0,5 : < 0,1 % ; 1,5 : 0,1 - 1 % ; 2,5 : 1 - 5 % ; 3,5 : 5 - 25 % ; 4,5 : > 25 %

### Annexe 4.1 : Descripteurs des peuplements algaux

Stations		Strates (%)	Taxons	PF (g.m <sup>2</sup> )	PS (g.m <sup>2</sup> )
LOU07	C1	1 - 5	VAUSPX CLASPX	93,33	10,93
		5 - 10	VAUSPX CLASPX	330,00	34,87
		20 - 30	VAUSPX CLASPX	776,67	185,13
		40 - 50	VAUSPX CLASPX	336,67	34,60
		40 - 50	VAUSPX CLASPX	736,67	118,87
	C2	5 - 10	VAUSPX CLASPX	1 186,67	189,07
		10 - 20	VAUSPX CLASPX	463,33	96,60
		50 - 60	VAUSPX CLASPX	1 056,67	156,67
		70 - 80	VAUSPX CLASPX	1 040,00	177,27
		90 - 100	VAUSPX CLASPX	2 256,67	526,20
	C3	40 - 50	VAUSPX CLASPX TETSPX	506,67	105,40
		40 - 50	VAUSPX CLASPX	1 526,67	195,87
		40 - 50	VAUSPX TETSPX	820,00	98,73
		90 - 100	DIATSPX MELSPX VAUSPX	313,33	63,67
		90 - 100	RHISPX MELSPX	180,00	47,07
LOU08	C1	1 - 5	VAUSPX CLASPX	406,67	20,73
		10 - 20	VAUSPX CLASPX	363,33	58,80
		20 - 30	VAUSPX CLASPX	530,00	68,13
		20 - 30	VAUSPX CLASPX	500,00	81,40

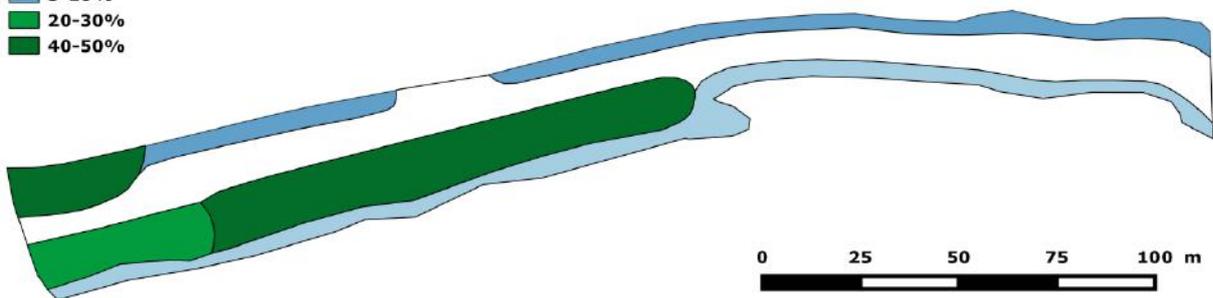
	<b>C2</b>	10 - 20	VAUSPX RHISPX CLASPX TETSPX	756,67	159,47
		30 - 40	RHISPX VAUSPX CLASPX	683,33	103,80
		30 - 40	RHISPX VAUSPX	813,33	187,47
	<b>C3</b>	1 - 5	RHISPX	893,33	206,27
		10 - 20	RHISPX CLASPX TETSPX	313,33	68,00
		40 - 50	RHISPX	1 680,00	399,73
		90 - 100	RHISPX VAUSPX CLASPX	1 766,67	458,73
<b>LOU09</b>	<b>C1</b>	5 - 10	VAUSPX CLASPX	493,33	52,40
		20 - 30	VAUSPX CLASPX	1 283,33	201,67
		30 - 40	VAUSPX CLASPX	1250,00	207,93
		40 - 50	VAUSPX CLASPX	1 913,33	498,27
		40 - 50	VAUSPX CLASPX	1 103,33	271,93
	<b>C2</b>	< 1	/	< 1	< 1
	<b>C3</b>	< 1	/	< 1	< 1
<b>LOU10</b>	<b>C1</b>	1 - 5	VAUSPX CLASPX	240,00	44,93
		1 - 5	VAUSPX CLASPX	123,33	21,53
		5 - 10	VAUSPX CLASPX	223,33	52,73
		10 - 20	VAUSPX CLASPX	310,00	78,87
		50 - 60	VAUSPX CLASPX	573,33	158,87
	<b>C2</b>	40 -50	RHISPX	1 096,67	287,33
		80 - 90	SPISPX	170,00	16,27
	<b>C3</b>	40 - 50	DIASPX SPISPX ULOSPX	260	36,07

## Annexe 4.2 : Cartographies des recouvrements algaux

Code station : LOU07  
Surface :  $\approx 0,80$  ha

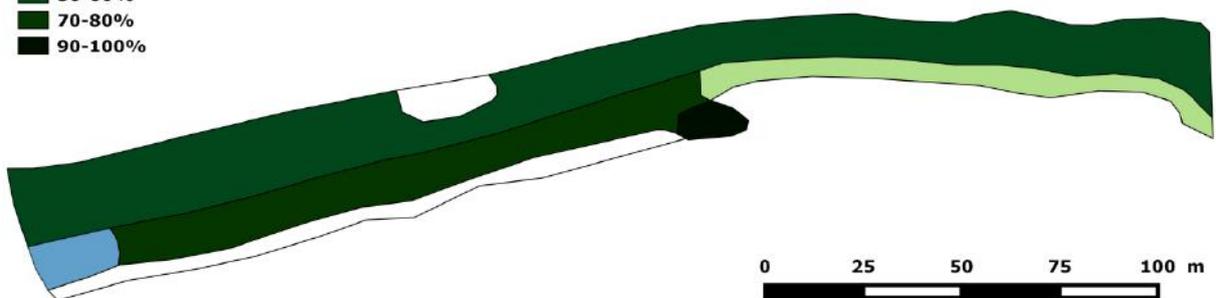
LOU07 - 23/04/2015

- 0-1%
- 1-5%
- 5-10%
- 20-30%
- 40-50%



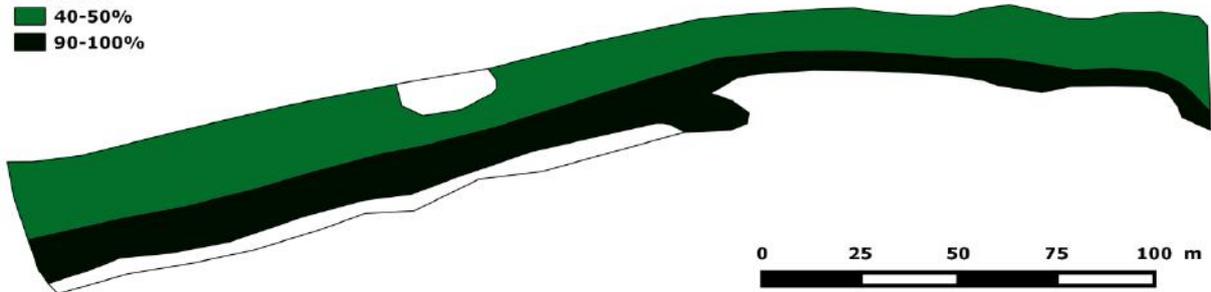
LOU07 - 06/07/2015

- 0-1%
- 5-10%
- 10-20%
- 50-60%
- 70-80%
- 90-100%



LOU07 - 05/08/2015

- 0-1%
- 40-50%
- 90-100%



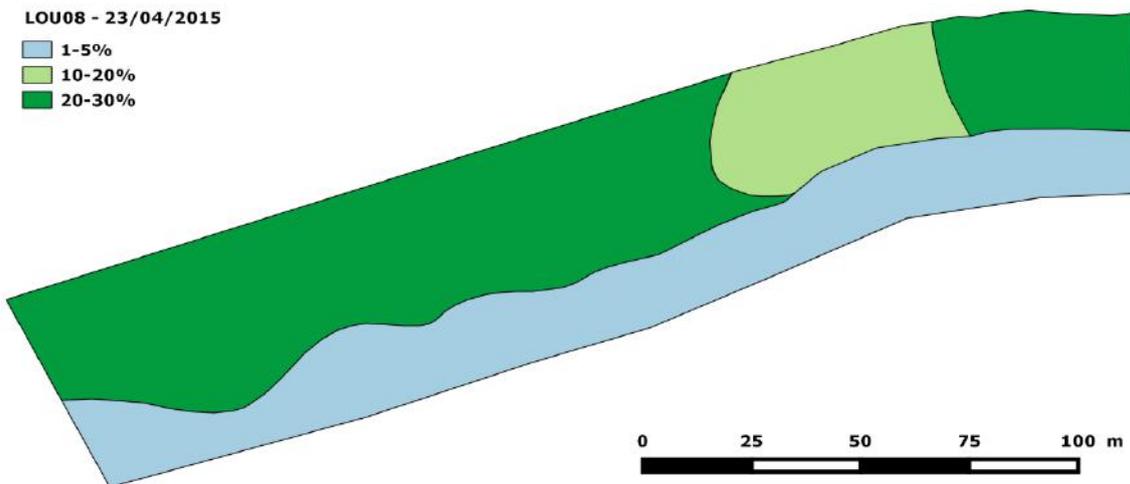
Aval ←

→ Amont

Code station : LOU08  
Surface : ≈ 1,25 ha

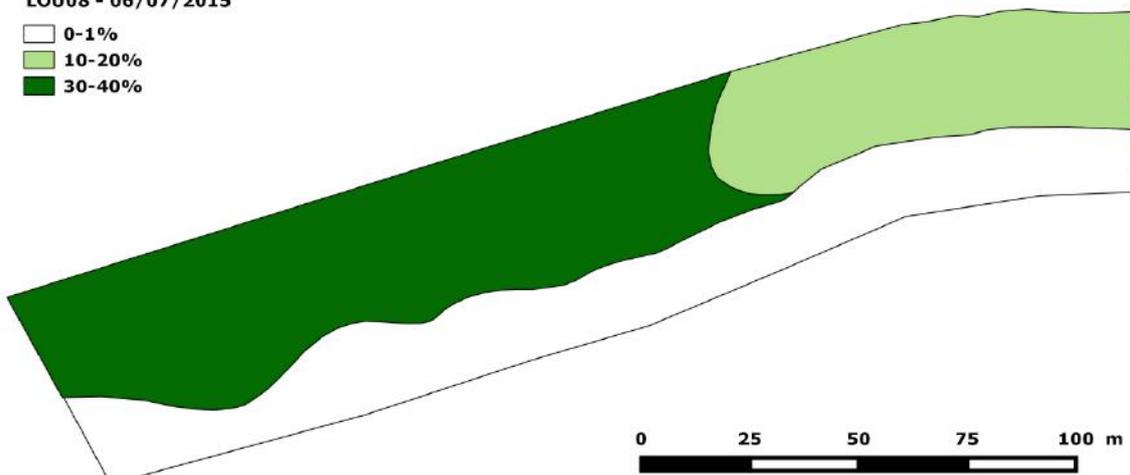
LOU08 - 23/04/2015

- 1-5%
- 10-20%
- 20-30%



LOU08 - 06/07/2015

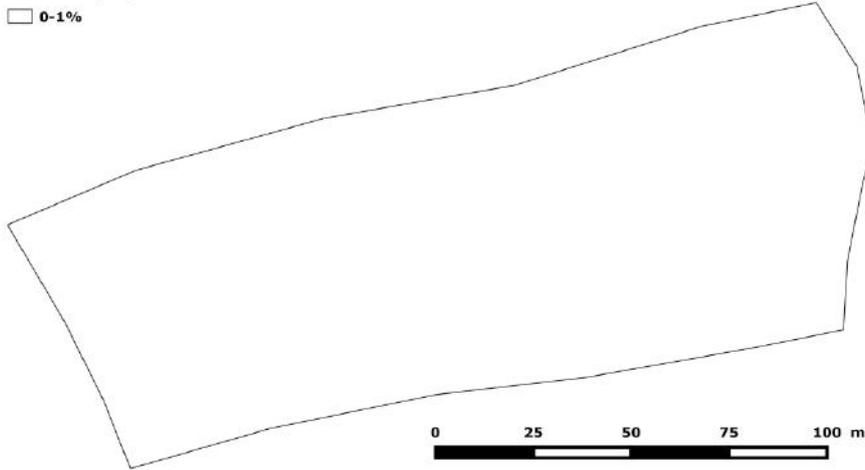
- 0-1%
- 10-20%
- 30-40%





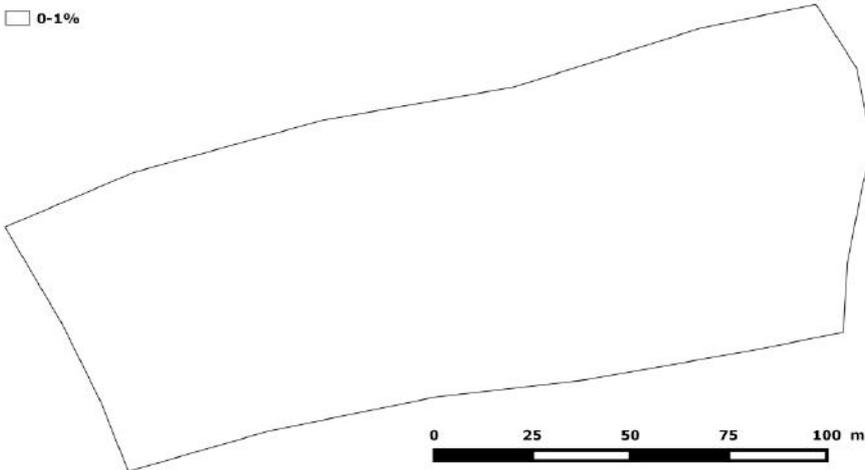
LOU09 - 07/07/2015

0-1%



LOU09 - 05/08/2015

0-1%



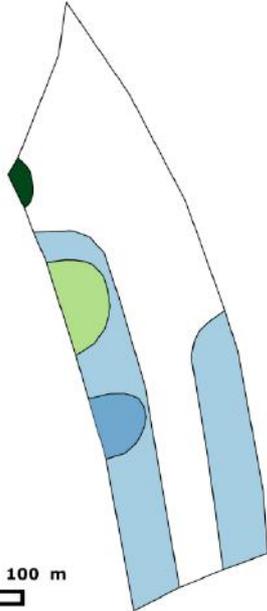
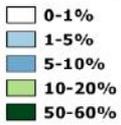
Amont



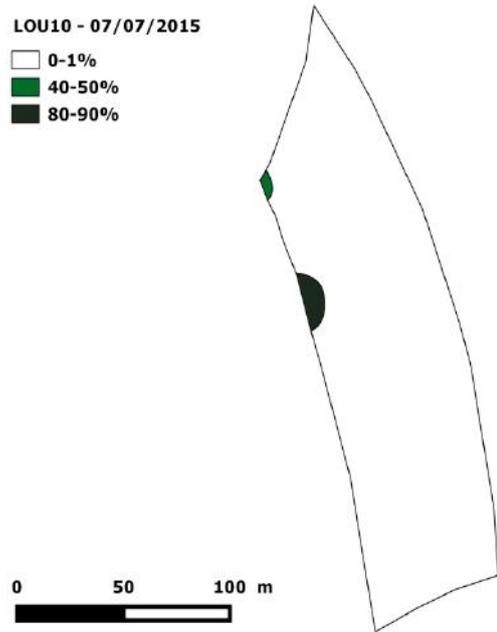
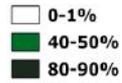
Aval

Code station : LOU10  
Surface :  $\approx 1,50$  ha

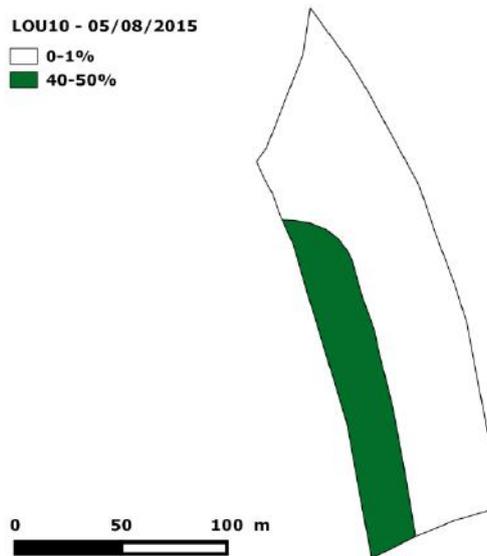
LOU10 - 22/04/2015



LOU10 - 07/07/2015



LOU10 - 05/08/2015



Amont



Aval