



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

## Rapport des tranches 1 et 2 A Volet Capacités biogènes de la Loue, du Doubs amont et du Lison



octobre 2015

*Ce volet fait état des résultats obtenus de juillet 2012 à septembre 2015 en matière de capacités biogènes ainsi que de structures et dynamique des peuplements d'organismes aquatiques.*

*Les investigations de terrain ont été dirigées et réalisées par le laboratoire Chrono-environnement, avec l'aide et le soutien logistique :*

- *de la Fédération de Pêche du Doubs pour les pêches électriques (contact et coordination Christian Rossignon) ;*
- *du Bureau d'étude BI-Eau pour le phytobentos (contact, coordination, détermination et comptages : Maria Leitao).*

## Sommaire

<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>4</b>
<b>1. ETAT DES POTENTIELS PISCICOLES</b> .....	<b>6</b>
<b>1.1. Structure et évolution des peuplements</b> .....	<b>6</b>
Etat des peuplements de la Loue à l'amont d'Ornans .....	6
Etat des peuplements de la Loue moyenne .....	11
Potentiel piscicole des principaux affluents .....	13
Peuplements ichtyologiques du Doubs à l'amont de ses pertes .....	15
<b>1.2. Structure et évolution des populations salmonicoles</b> .....	<b>17</b>
Evolution spatiotemporelle des biomasses salmonicoles .....	17
Comparaison aux références régionales .....	21
<b>1.3. Bibliographie sur les potentiels piscicoles</b> .....	<b>23</b>
<b>2. BENTHOS ET ENTOMOLOGIE</b> .....	<b>24</b>
<b>2.1. Analyse simplifiée des biocénoses de la Loue et du Lison</b> .....	<b>24</b>
IBGN-RCS déterminés en juillet 2012 .....	24
Evolution des IBGN sur la Loue entre 2012 et 2014 .....	25
<b>2.2. Analyse au genre et prise en compte des abondances</b> .....	<b>26</b>
<b>2.3. Analyse à l'espèce de la structure des peuplements EPT</b> .....	<b>27</b>
<b>2.4. Analyse des capacités biogènes des affluents</b> .....	<b>28</b>
<b>2.5. Analyse des capacités biogènes du Doubs avant ses pertes</b> .....	<b>29</b>
<b>2.6. Bibliographie sur le benthos et l'entomologie aquatique</b> .....	<b>31</b>
<b>3. PRODUCTIONS ET BIOMASSES VEGETALES</b> .....	<b>33</b>
<b>3.1. Phytobenthos</b> .....	<b>33</b>
<i>Introduction et méthodologie</i> .....	33
Résultats de la campagne du 23 août 2012 (d'amont en aval) .....	36
Résultats de la campagne du 3 octobre 2013 (d'amont en aval) .....	40
Résultats de la campagne du 14 mars 2014 (d'amont en aval) .....	44
Résultats de la campagne du 16 juin 2014 (d'amont en aval).....	48
Synthèse .....	52
Discussion et conclusions.....	58
<b>Bibliographie sur le phytobenthos</b> .....	<b>61</b>
<b>3.2. Algues filamenteuses</b> .....	<b>62</b>
Stratégie et protocole de prélèvement.....	62
Variations des biomasses stationnelles au printemps 2014 .....	62
Biomasses stationnelles en automne 2014 .....	65
<b>Bibliographie sur les algues filamenteuses</b> .....	<b>66</b>
<b>4. SYNTHÈSE DES PRINCIPAUX RESULTATS</b> .....	<b>67</b>

## INTRODUCTION

Pour évaluer l'état des capacités biogènes du réseau hydrographique de la Loue entre 2012 et 2014, les principaux étages de l'édifice biologique ont été étudiés simultanément. Cette approche a été appliquée sur un système de stations jalonnant les trois principaux cours d'eau - Doubs, Loue et Lison - de façon à prendre en compte leur structure longitudinale tout en encadrant les principales zones où des perturbations sont suspectées ou avérées.

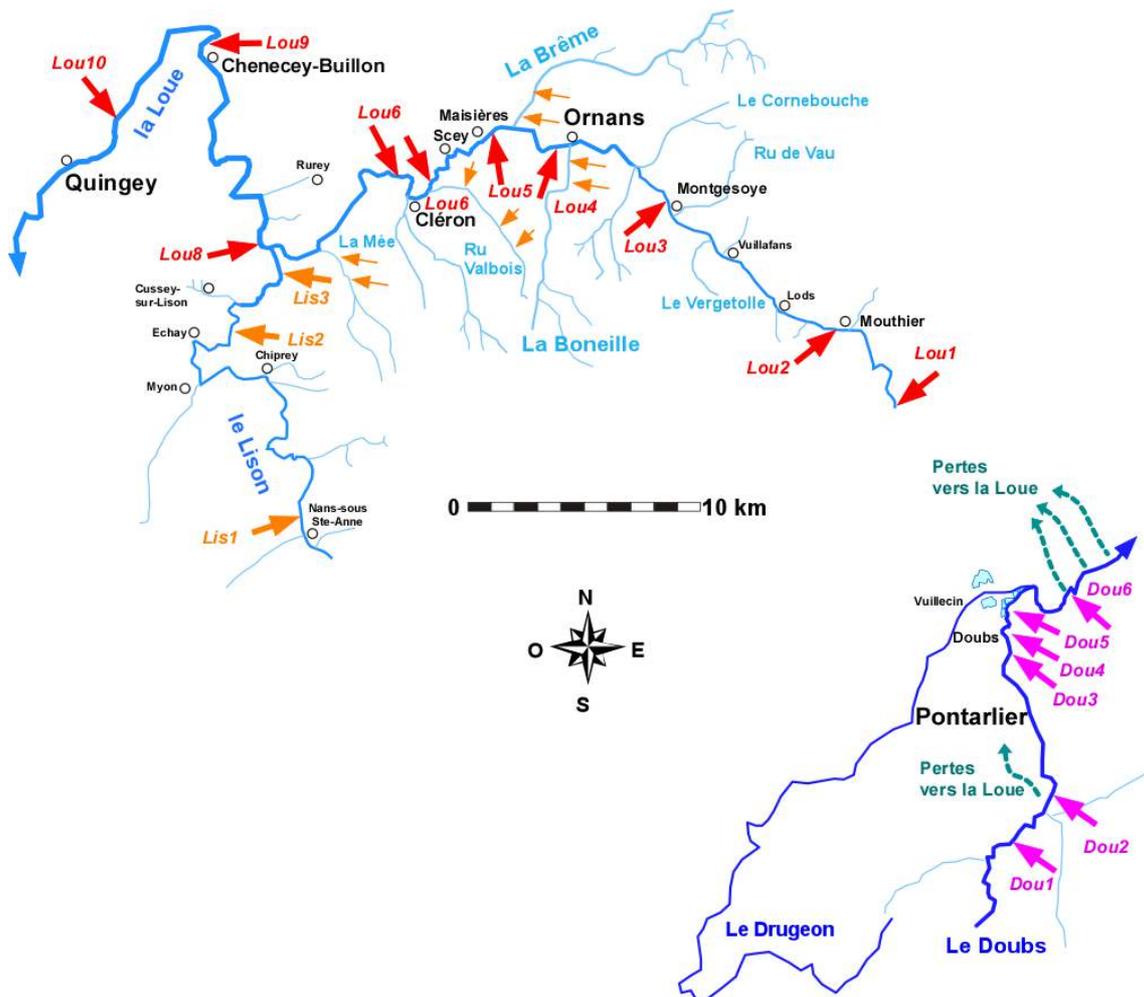
Ce système de stations comprend (Fig. 1) :

- 10 stations sur la Loue, encadrant le secteur des résurgences amont, l'agglomération d'Ornans, le village de Cléron, et le début des cultures céréalières intensives ;
- 3 stations jalonnant le cours du Lison ;
- 6 stations jalonnant le Doubs dans le secteur où son débit est grevé de pertes qui alimentent la source de la Loue ;
- 2 à 3 stations sur plusieurs affluents afin de distinguer les qualités respectives des zones apicales et basales.

Sur tout ou partie de ces stations, des analyses quantitatives ont été réalisées pour caractériser les structures et la dynamique des organismes aquatiques dont l'évolution sur la Loue pose question :

- des peuplements de poissons, en s'attachant particulièrement aux populations salmonicoles qui ont soufferts de mortalité intempestive juste avant et pendant le début de l'étude ;
- des peuplements benthiques avec un niveau de précision des déterminations à l'espèce pour les Ephémères, Plécoptères et Trichoptères dont la richesse et l'abondance s'érodent depuis plusieurs décennies ;
- des algues filamenteuses et du phytobenthos qui montrent depuis plus longtemps encore des phases de prolifération induisant un colmatage des substrats pierreux.

-



**Figure 1. Localisation des stations jalonnant la Loue et ses affluents principaux**

- Les stations Lou1 à Lou3 ciblent l'état de pollution de la source ainsi que l'efficacité des mécanismes d'autoépuration de la partie apicale de la rivière.
- Les stations Lou4 à Lou5 encadrent les rejets et les exurgences du secteur d'Ornans ; deux stations supplémentaires (Orn 2 et Orn3, non figurées ici) encadrent de façon plus serrée la STEP d'Ornans dont le rejet a été régulièrement analysé.
- Les stations Lou6 et Lou8 encadrent les rejets et les exurgences du secteur de Cléron
- Les stations Lou7 à Lou10 jalonnent le début des cultures céréalières en zone alluviale
- Plusieurs stations d'étude ponctuelles ont été aussi implantées sur le Lison (Lis1 et Lis2), ainsi que sur les affluents secondaires de la Haute-Loue : Bonneille, Brême, Valbois, Mée
- 6 stations dans le Doubs encadrent l'agglomération et la STEP de Pontarlier ; elles sont toutes localisées en amont proche des pertes qui alimentent la source de la Loue.

## 1. ETAT DES POTENTIELS PISCICOLES

Des inventaires piscicoles par pêches électriques exhaustives à plusieurs passages ont été réalisés en 2012 et 2013, dans la Loue et ses affluents ainsi que dans le Doubs à l'amont des pertes. Sur la Loue, durant ces 2 années, 8 stations allant de la source à la confluence avec le Lison (Lou 1 à Lou 8 incluses) ont été échantillonnées

Les résultats de ces pêches confirment l'érosion des potentiels piscicoles de la Loue et du Lison (Tab. 1, 2 et 3). Le potentiel salmonicole des affluents s'avère important dans la partie médiane, mais appauvri dans les parties apicale et basale.

### 1.1. Structure et évolution des peuplements

#### *Etat des peuplements de la Loue à l'amont d'Ornans*

Sur la partie amont de Loue, la structure des peuplements de poissons reste équilibrée. Toutefois, des déficits nets sont observés pour la plupart des espèces électives de la zone à truite supérieure (Fig. 2 à 4).

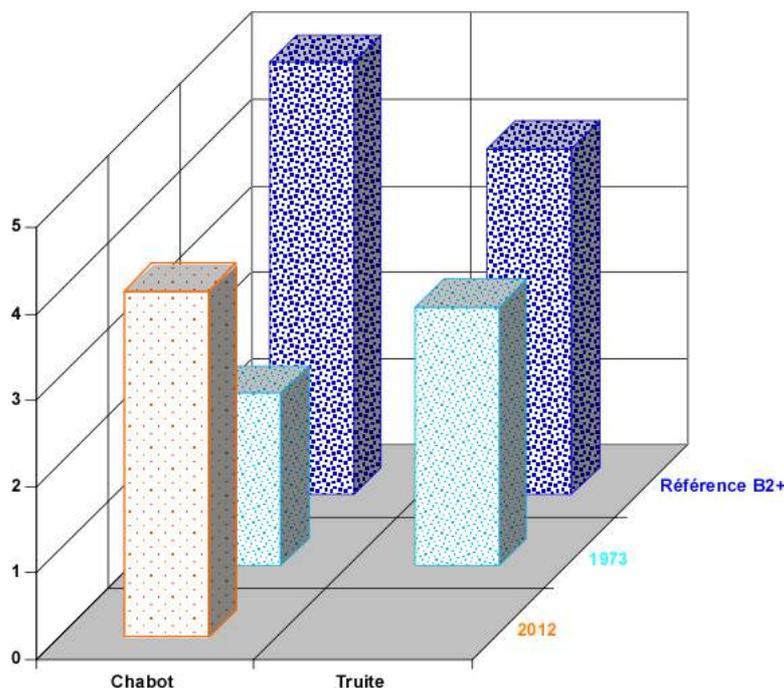


Figure 2. Structure du peuplement piscicole à la source de la Loue en 1973 et 2012

Sur certains secteurs comme Mouthier, les densités moyennes de truites et de chabot témoignent toutefois d'un potentiel résiduel non nul. La surabondance d'ombres confirme en revanche le vieillissement typologique, déjà signalé par les études antérieures (DEGIORGI et CHAMPIGNEULLE 2000, ONEMA 2010). Ces indices d'altérations étaient déjà observés dans les années 1970 mais se sont accentués à partir des années 1990.

	Effectif (nb)			Eff.	Densités brutes		Densités estimées	
	P1	P2	P3		num (nb/10a)	pond. (kg/ha)	num (nb/10a)	pond. (kg/ha)
<b>Source de la Loue 22 juillet 2012</b>								
Chabot	61	49	26	0,45	227,8	18,73	313,2	25,7
<b>Mouthier 22 juillet 2012</b>								
Ombre	43	12	5	0,72	14,0	56,2	14,2	57,2
Chabot	416	463	292	0,36	272,6	10,6	688,9	26,7
Truite	293	123	53	0,62	109,2	185,5	117,8	200,1
<b>Montgesoye 23 juillet 2012</b>								
Chabot	580	358	267	0,48	158,6	9,4	225,7	13,4
Truite	549	283	115	0,58	124,7	69,6	139,1	77,6
Ombre	54	41	56	0,36	19,9	31,5	81,9	129,6
Vairon	336	196	74	0,55	79,8	1,0	90,6	1,1
Lamproie de P.	2	8	0	0,20	1,3	0,1	1,4	0,1
Loche	13	5	4	0,59	2,9	0,1	3,2	0,1
<b>Homelon 24 juillet 2012</b>								
Chabot	138	150	137	0,32	191,8	10,6	1127,3	62,3
Truite	29	15	6	0,58	22,6	31,2	24,4	33,7
Ombre	1	1	0	0,50	0,9	0,5	0,9	0,5
Vairon	82	52	34	0,49	75,8	1,1	100,2	1,4
Loche	6	3	2	0,55	5,0	0,2	5,0	0,2
<b>Notre Dame 24 juillet 2012</b>								
Chabot	100	56	60	0,46	68,7	3,5	113,5	5,9
Truite	39	19	12	0,56	22,3	45,9	25,4	52,5
Ombre	20	12	16	0,42	15,3	12,6	27,7	22,9
Vairon	55	35	33	0,45	39,1	0,5	63,3	0,8
Lamproie de P.	1	1	0	0,50	0,6	0,0	0,6	0,0
Loche	15	11	12	0,39	12,1	0,4	21,0	0,7
<b>Scey en Varey / Valbois (amont Cléron) 25 juillet 2012</b>								
Chabot	157	157	113	0,37	64,7	3,6	156,7	8,6
Truite	89	42	27	0,56	23,9	26,7	27,9	31,0
Ombre	1	8	2	0,09	1,7	2,7	2,6	4,2
Vairon	75	218	172	0,16	70,4	1,0	1514,4	22,0
Lamproie de P.	0	3	4		1,1	0,0	2,1	0,1
Loche	201	130	95	0,47	64,5	2,0	93,0	2,8
Blageon	2	7	14	0,09	3,5	0,2	16,5	0,7
Chevesne	0	0	1		0,2	0,6	0,2	0,6

**Tableau 1. Résultats des pêches électriques effectuées sur la Loue en juillet 2012 (tranche) ; P1, P2 et P3 indiquent les passages successifs**

	Effectif (nb)			Eff.	Densités brutes		Densités estimées	
	P1	P2	P3		num (nb/10a)	pond. (kg/ha)	num (nb/10a)	pond. (kg/ha)
<b>Cléron Ile en Gon (aval Cléron) 25 juillet 2013</b>								
Chabot	96	70	90	0,38	33,8	2,3	132,5	8,9
Truite	141	39	35	0,66	28,4	63,2	30,9	68,8
Ombre	19	24	6	0,39	6,5	23,9	8,3	30,7
Vairon	65	13	81	0,41	21,0	0,7	155,0	5,2
Lamproie de P.	1	1	0	0,50	0,3	0,0	0,3	0,0
Loche	36	30	38	0,35	13,7	0,6	48,8	2,2
Blageon	0	0	1		0,1	0,0	0,1	0,0
<b>Lizine La Piquette (amont confluence Lison) 26 juillet 2013</b>								
Chabot	263	107	100	0,56	43,4	3,1	53,4	3,8
Truite	111	39	18	0,66	15,5	52,8	16,3	55,6
Ombre	13	11	10	0,38	3,1	9,9	5,2	16,3
Vairon	325	153	79	0,58	51,4	1,6	58,0	1,8
Lamproie de P.	2	8	0	0,20	0,9	0,0	1,0	0,0
Loche	515	309	233	0,49	97,5	3,5	136,8	4,8
Blageon	24	14	3	0,59	3,8	1,2	4,0	1,3
Chevesne	6	2	0	0,75	0,7	6,5	0,7	6,5
Vandoise	10	2	4	0,63	1,5	2,2	1,6	2,3
<b>Doubs à Doubs (amont STEP Pontarlier) 3 octobre 2013</b>								
Truite	35	14	10	0,59	36,0	19,0	40,3	21,3
Vairon	5277	2523	1304	0,58	5558,0	73,1	6294,3	82,7
Loche	208	70	55	0,62	203,3	10,6	225,9	11,8
Chevesne	251	75	18	0,73	210,0	314,8	214,3	321,2
Goujon	18	6	1	0,72	15,3	4,1	15,3	4,1
Vandoise	18	4	4	0,69	15,9	16,3	16,5	16,9
Brochet	4	1	0	0,80	3,1	6,5	3,1	6,5
Perche	22	9	1	0,69	19,5	7,3	19,5	7,3
Gardon	7	2	1	0,70	6,1	0,4	6,1	0,4
Ecrevisse am.	7	9	2	0,39	11,0	1,0	12,8	1,2
<b>Doubs à Doubs (aval STEP Pontarlier) 3 octobre 2013</b>								
Truite	72	39	13	0,58	58,9	43,3	64,1	47,1
Vairon	5062	3526	2041	0,48	5047,0	73,7	6856,6	100,1
Loche	614	405	192	0,51	575,0	26,6	710,4	32,8
Chevesne	118	62	31	0,56	100,2	254,5	114,9	291,9
Goujon	16	12	1	0,55	13,8	3,9	14,2	4,0
Perche	11	10	5	0,42	12,3	13,4	15,7	17,0
TAN	1	2	0	0,33	1,4	1,7	1,4	1,7
Ecrevisse am.	2	9	2	0,15	6,2	0,9	9,0	1,3

**Tableau 2. Résultats des pêches électriques effectuées sur la Loue en juillet 2013 et sur le Doubs en octobre 2013 (tranche 2a) ; P1, P2 et P3 indiquent les passages successifs**

	Effectif (nb)			Eff.	Densités brutes		Densités estimées	
	P1	P2	P3		num (nb/10a)	pond. (kg/ha)	num (nb/10a)	pond. (kg/ha)
<b>Lison amont (Nans sous Ste Anne) 29 août 2013</b>								
Chabot	230	198	146	0,40	360,8	22,4	714,6	44,3
Truite	69	18	1	0,78	55,3	64,3	55,3	64,3
Ombre	11	0	0	1,00	6,9	21,6	6,9	21,6
<b>Lison aval (Lizine) juillet 2012</b>								
Chabot	428	238	186	0,50	267,4	13,6	362,8	18,4
Truite	62	39	15	0,53	36,4	40,7	41,7	46,7
Ombre	8	7	9	0,33	7,5	8,9	14,8	17,5
Vairon	1429	843	622	0,49	908,3	12,2	1249,2	16,8
Lamproie de P.	30	14	8	0,58	16,3	0,8	18,2	0,9
Loche	1094	386	214	0,65	531,7	14,3	572,8	15,4
Blageon	50	39	15	0,48	32,6	5,4	39,9	6,6
Vandoise	1	0	0	1,00	0,3	0,2	0,3	0,2
<b>Brême Gouille aux Chèvre (8,6 km de la source) 10 juillet 2013</b>								
Chabot	91	40	38	0,54	180,7	7,9	229,9	10,1
Truite	131	55	44	0,57	246,0	100,0	290,9	118,3
Vairon	194	55	24	0,71	292,0	4,9	301,6	5,1
Loche	71	29	18	0,60	126,2	6,1	140,1	6,8
Ombre	0	3	1		4,3	7,4	4,3	7,4
<b>Brême aval (11,3 km de la source, proche confluence) 10 juillet 2013</b>								
Chabot	11	7	-	0,61	18,3	1,2	22,4	1,4
Truite	30	13	-	0,70	43,8	8,5	51,0	9,8
Vairon	146	49	-	0,75	198,8	2,9	222,2	3,2
Loche	109	49	-	0,69	161,1	3,9	197,8	4,8
<b>Bonneille Vinchaud (8,8 km de la source) 9 juillet 2013</b>								
Chabot	181	89	66	0,54	798,1	54,9	985,7	67,8
Truite	137	52	16	0,67	486,9	175,3	508,3	183,0
Vairon	21	12	3	0,58	85,5	2,4	90,3	2,6
Loche	48	68	6	0,39	289,8	16,1	351,5	19,5
Pierds blancs	0	0	1		2,4	0,0	2,4	0,0
<b>Bonneille Stade (9,8 km de la source, proche confluence) 9 juillet 2013</b>								
Chabot	9	2	1	0,75	32,3	2,4	32,3	2,4
Truite	294	46	16	0,83	957,0	71,3	962,4	71,7
Loche	3	1	1	0,60	13,4	0,6	13,4	0,6
Pierds blancs	0	1	0		2,7	0,0	2,7	0,0

**Tableau 3. Résultats des pêches électriques effectuées sur les principaux affluents de la Loue en juillet 2012 et 2013 (tranche 2a) ; P1, P2 et P3 indiquent les passages successifs**

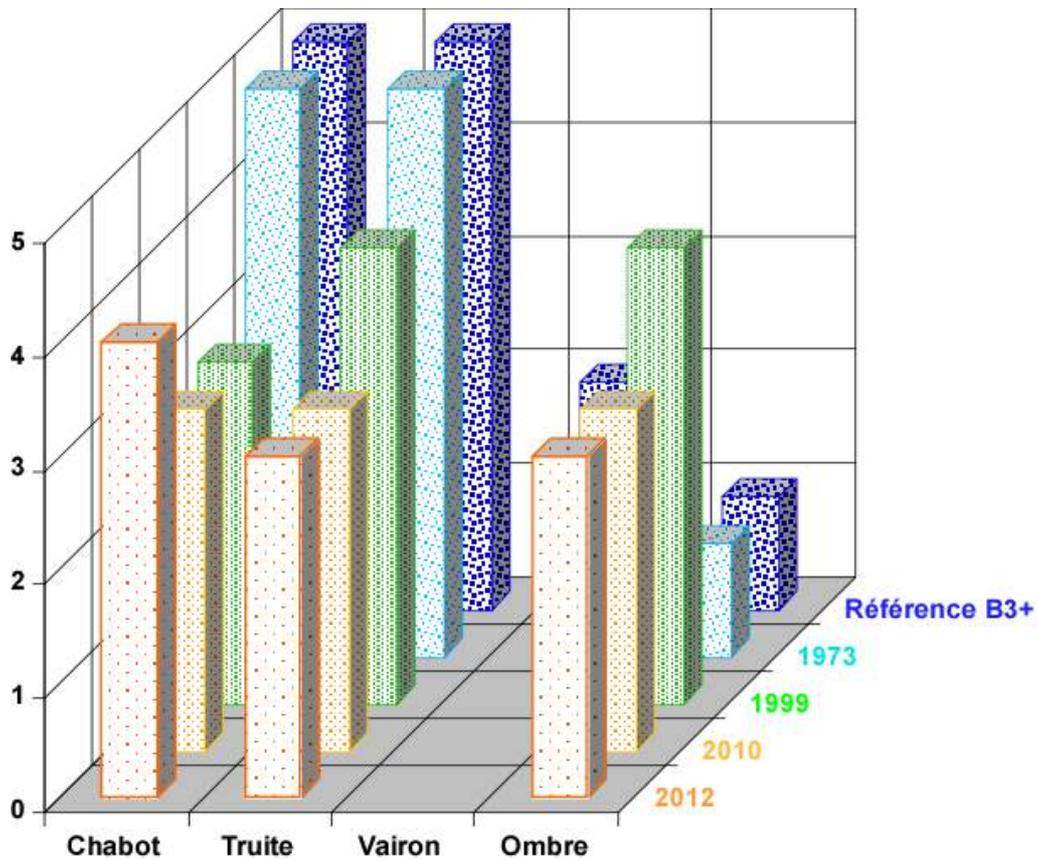


Figure 3. Structure du peuplement piscicole échantillonné à Mouthier entre 1973 et 2012

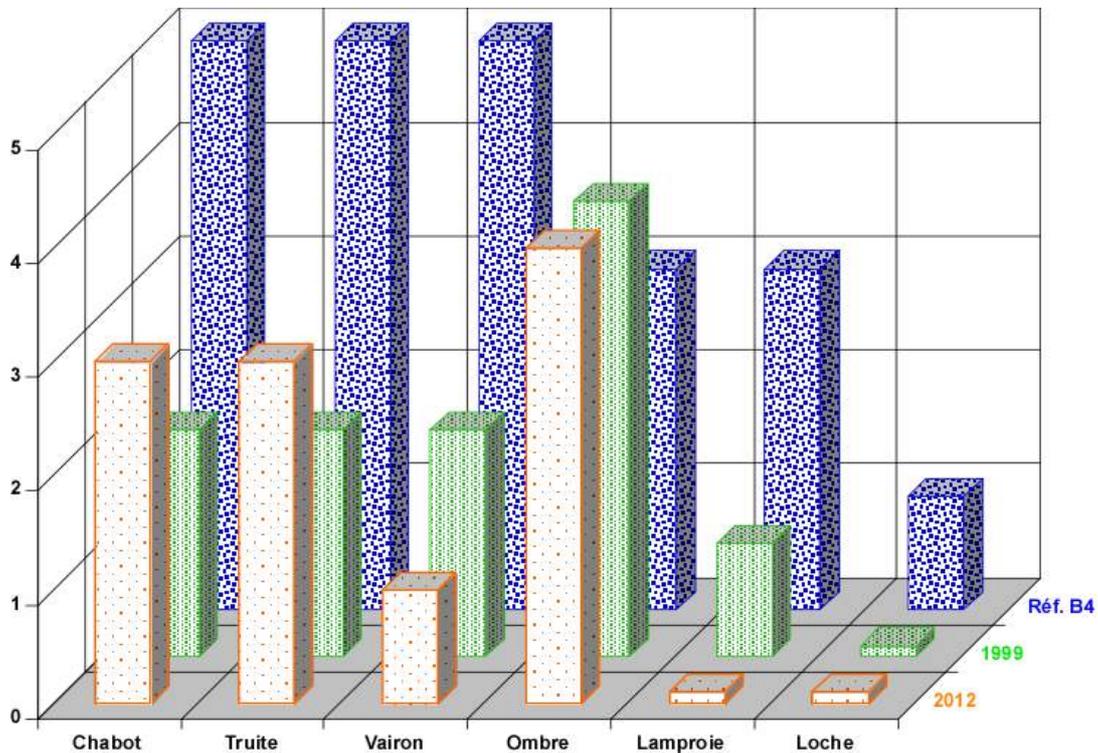


Figure 4. Structure du peuplement piscicole échantillonné à Montgesoye entre 1973 et 2012

Etat des peuplements de la Loue moyenne

A l'aval d'Ornans, l'appauvrissement des peuplements de poisson est plus accentué (Fig. 5 à 9). Les abondances de toutes les espèces du type écologique correspondant à la zone à truite moyenne sont très fortement déficitaires. La comparaison avec les mesures antérieures montre en outre une dégradation plus marquée des potentiels piscicoles depuis 1999.

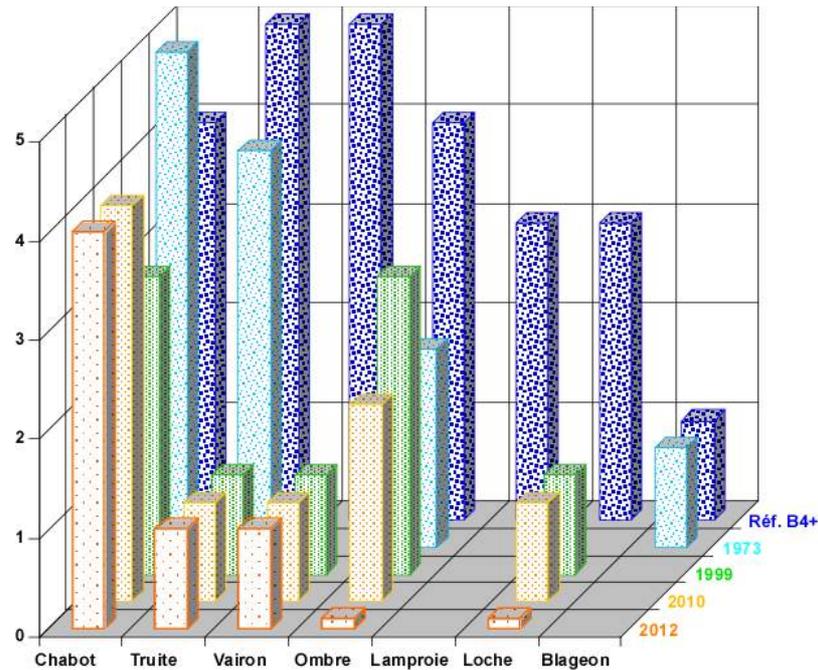


Figure 5. Structure du peuplement piscicole échantillonné à l'Homelon entre 1973 et 2012

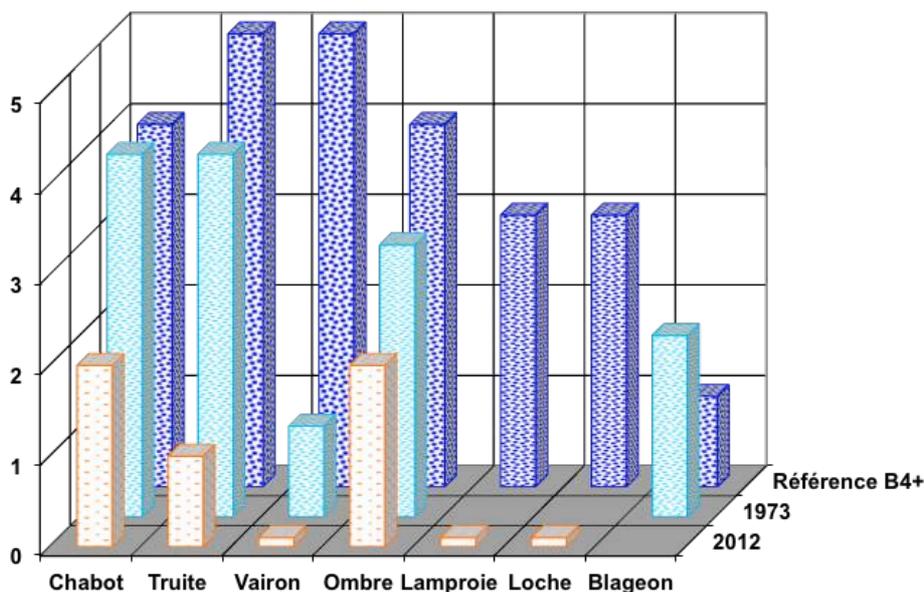


Figure 6. Structure du peuplement piscicole échantillonné à Maizière Notre Dame en 1973 et 2012

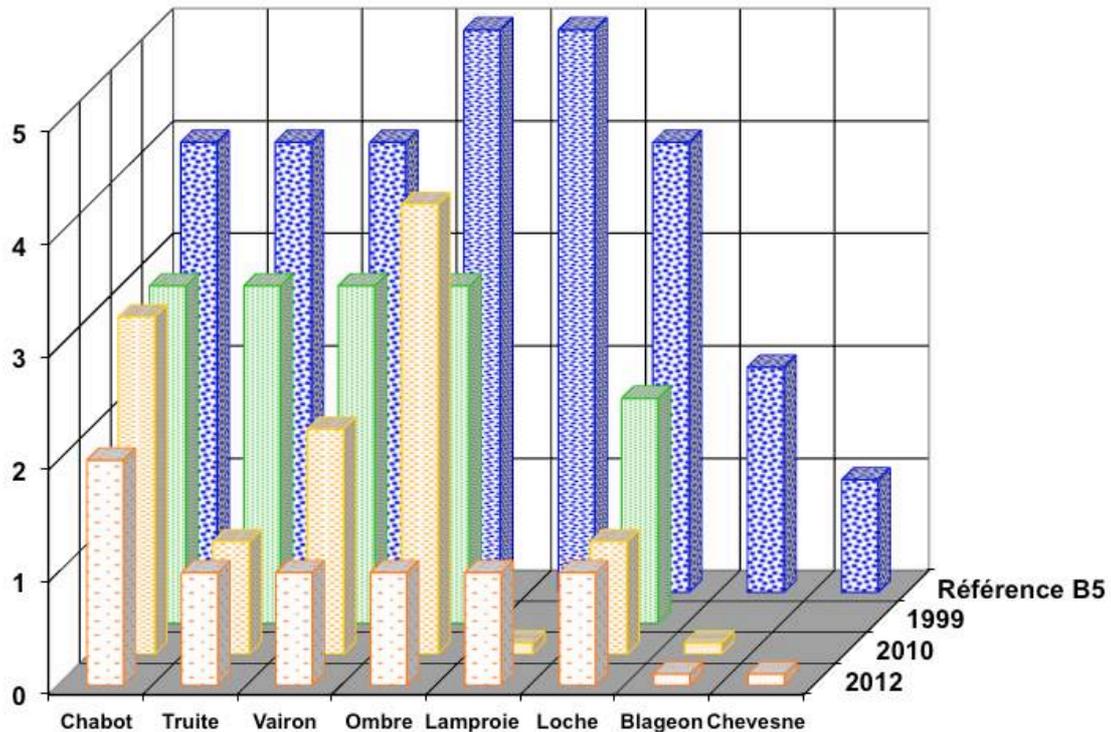


Figure 7. Structure du peuplement piscicole échantillonné à l'amont de Cléron entre 1999 et 2012

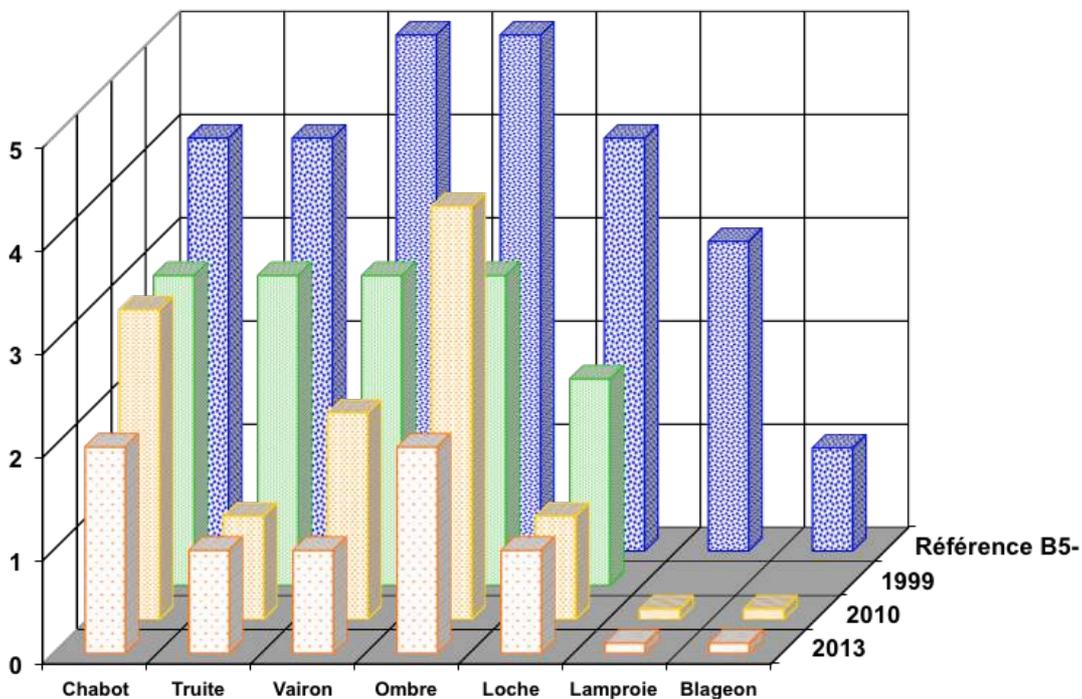


Figure 8. Structure du peuplement piscicole échantillonné à l'aval de Cléron entre 1999 et 2013

Sur ce secteur, l'appauvrissement des potentiels piscicoles semble s'être encore accentué entre 2009/2010 et 2012/2013. La réduction des abondances affecte toutes les espèces. Elle est particulièrement spectaculaire à la Piquette (Fig. 9)

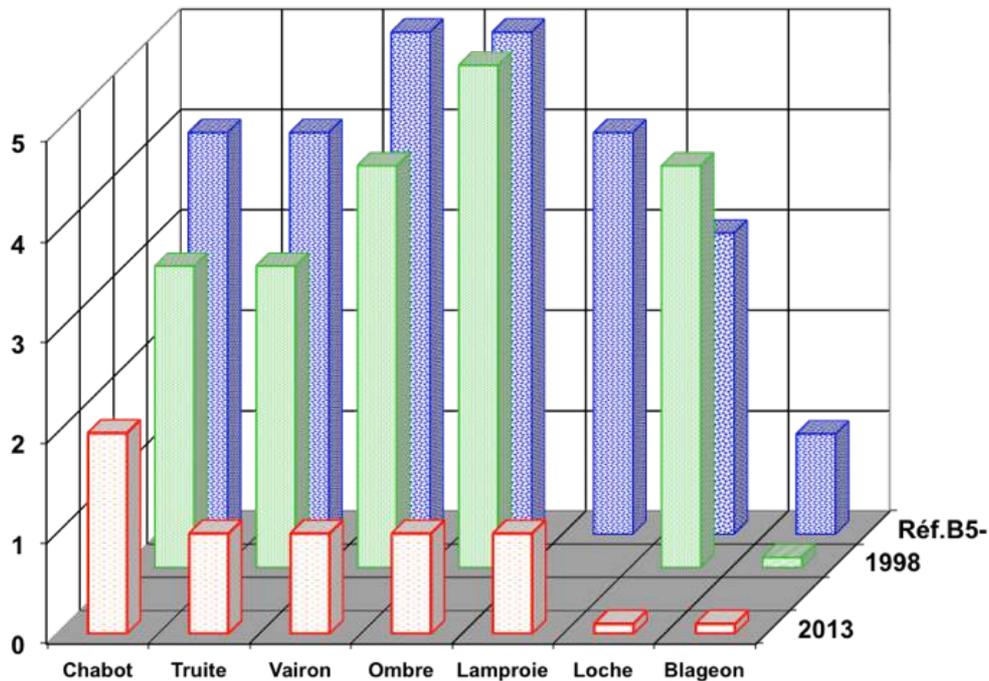


Figure 9. Structure du peuplement piscicole échantillonné à la Piquette entre 1999 et 2013

### Potentiel piscicole des principaux affluents

Les potentiels piscicoles du Lison suivent le même schéma d'altération. En effet, les peuplements apicaux montrent des déficits modérés, alors que les peuplements aval sont fortement dégradés (Fig. 10 et 11).

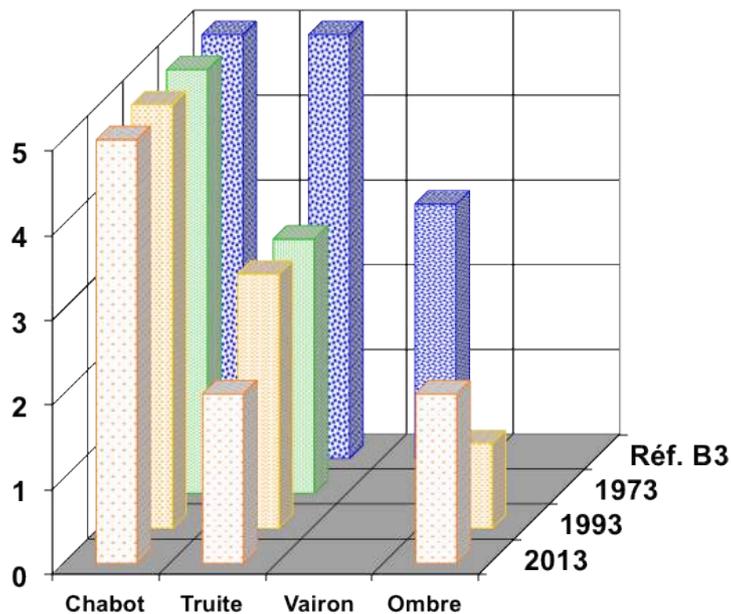


Figure 10. Structure du peuplement piscicole du Lison amont (Nans) entre 1973 et 2012

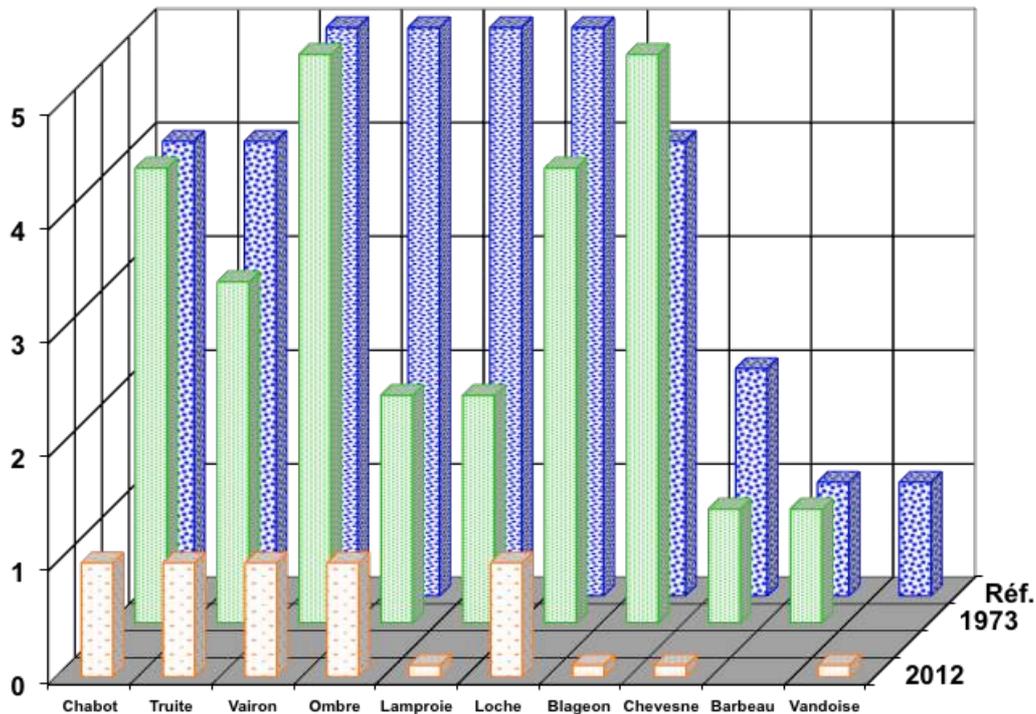


Figure 11. Structure du peuplement piscicole du Lison aval (Lizine) entre 1973 et 2012

Dans le cas des affluents plus modestes comme la Brème ou la Bonneille, les secteurs apicaux et basaux sont altérés, alors que les secteurs médians abritent de grandes densités de truitelles (Fig. 12).

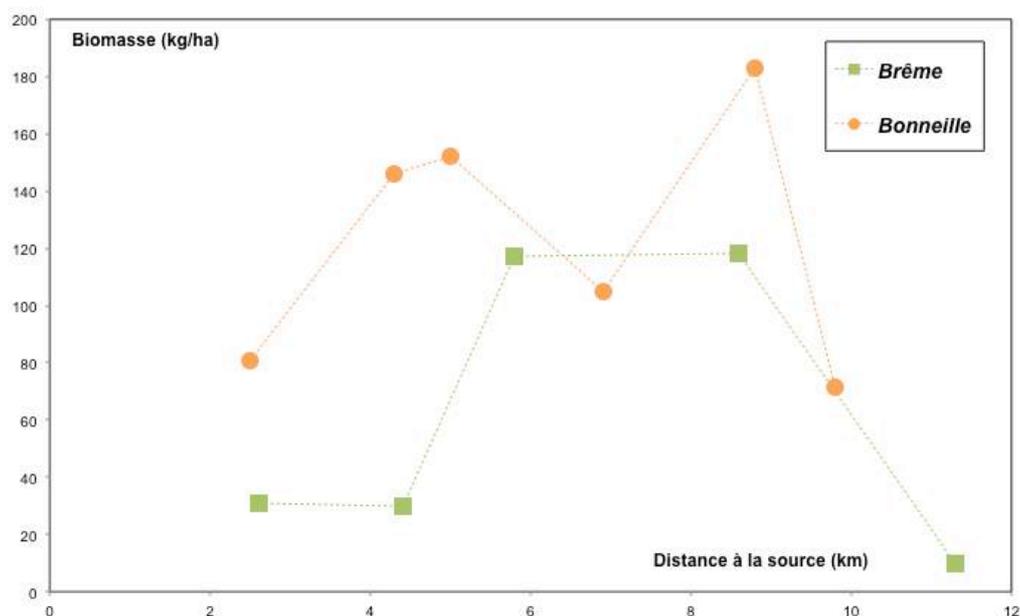
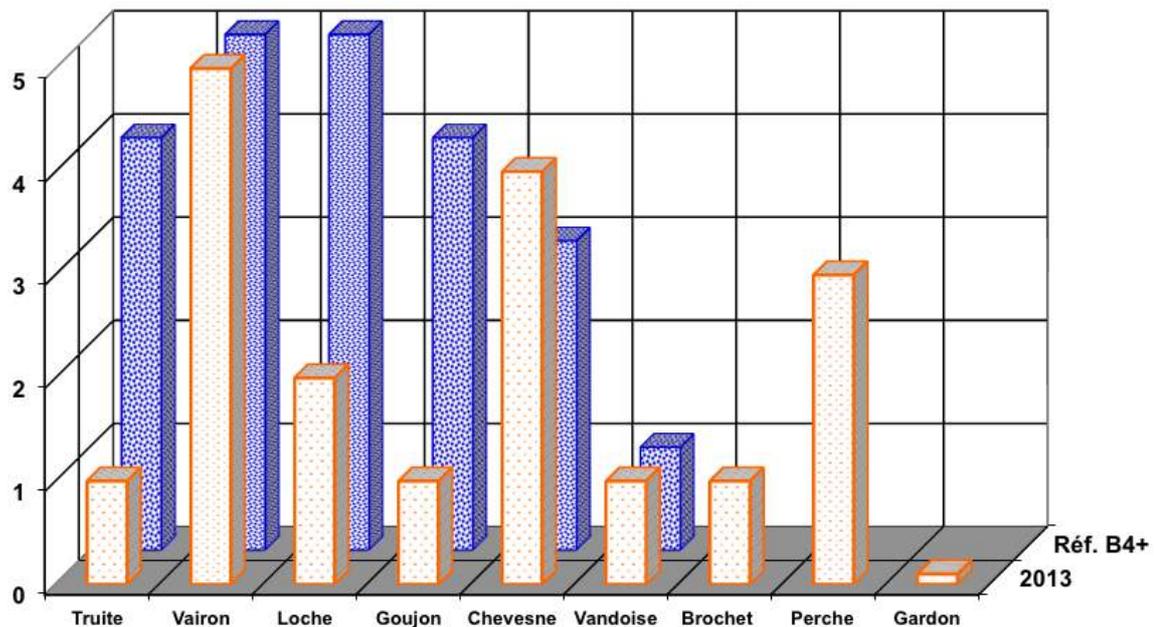


Figure 12. Variations spatiales de la biomasse salmonicole (essentiellement des truitelles) le long de deux des affluents principaux de la Loue dans le secteur d'Ornans

Cette tendance reflète une altération sensible des capacités biologiques au niveau des sources, qui s'estompe de l'amont vers l'aval grâce l'autoépuration mais qui se manifeste à nouveau dans les zones de confluence.

### Peuplements ichtyologiques du Doubs à l'amont de ses pertes

En octobre 2013, des pêches électriques à trois passages ont également été effectuées dans le Doubs à l'amont et à l'aval immédiats de la STEP de Pontarlier. Le peuplement piscicole observé à l'amont du rejet est déstructuré et appauvri, sans doute sous l'effet par de nombreux rejets non collectés et des trop plein des collecteurs non traités en période d'orage (Fig. 13).



**Figure 13. Structure du peuplement piscicole du Doubs à l'amont de la STEP de Pontarlier**

Dans ce contexte, l'impact de la STEP apparaît faible, sauf en ce qui concerne la vandoise (Fig. 14). On observe même une augmentation des densités numériques et pondérales de truites. Cette meilleure capacité salmonicole pourrait être liée à des exurgences de fond rafraîchissant le Doubs à l'aval de la STEP.

Même si ce facteur local pourrait atténuer l'impact des rejets, ces pêches montrent que la qualité des peuplements piscicoles à l'aval de Pontarlier et de sa STEP a bénéficié d'une nette amélioration depuis les années 1970. En effet, les pêches réalisées à la fin des années 1960, quelques centaines de mètres plus en aval à Arçon, ont révélé une zone dépeuplée de tout poisson à l'aval des rejets de la station d'épuration de Pontarlier (VERNEAUX, 1973).

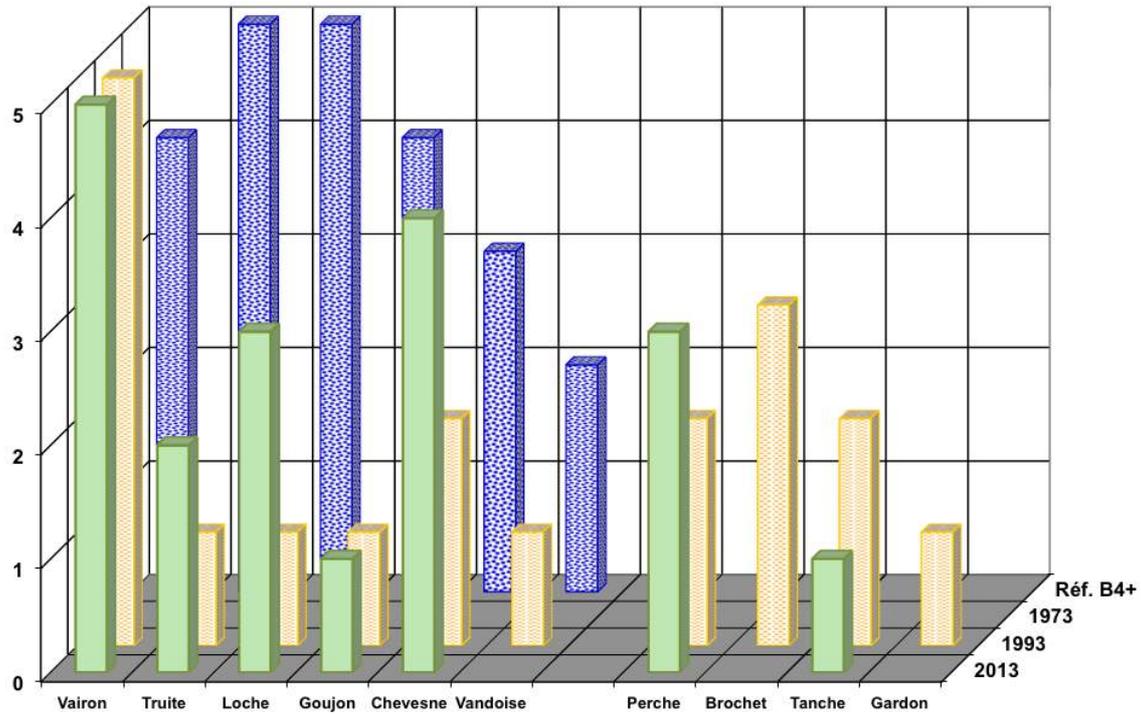


Figure 14. Structure du peuplement piscicole du Doubs à l'aval de la STEP de Pontarlier

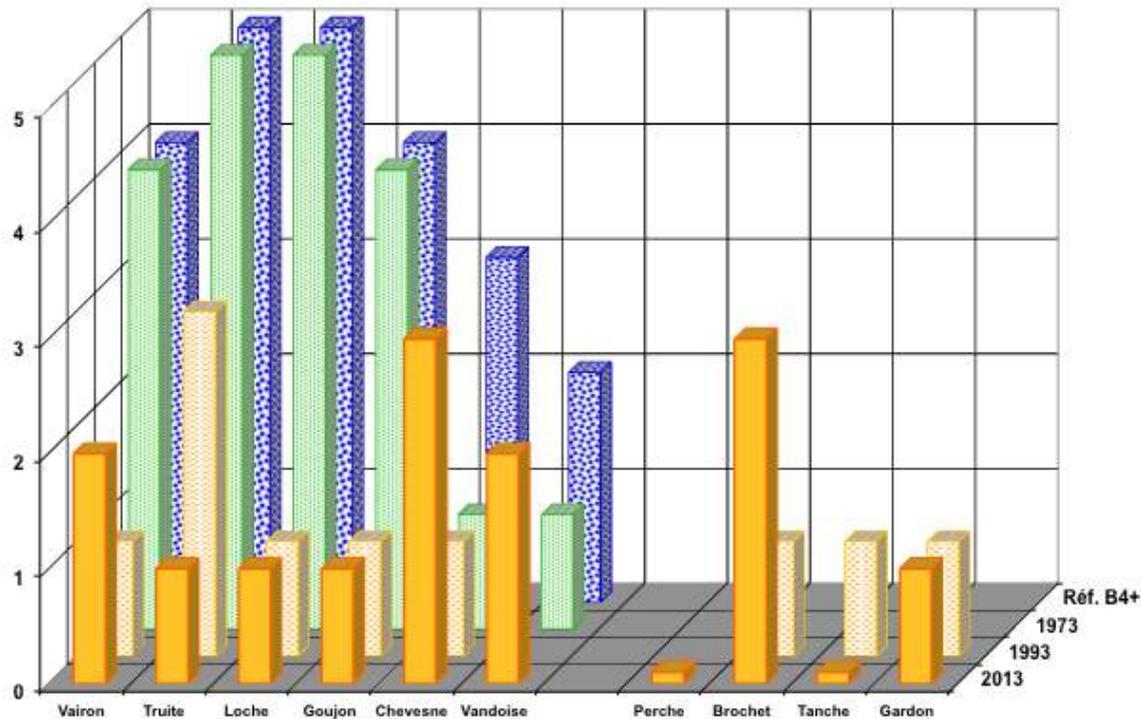


Figure 15. Structure du peuplement piscicole du Doubs à la Cluse et Mijoux

Les efforts de collecte et d'épuration se sont donc traduits par une nette amélioration sur cette partie du Doubs. Cette amélioration, déjà visible en 1993, semble s'être poursuivie ces dernières années (Fig. 14).

En revanche, les potentiels piscicoles du Doubs en amont de l'agglomération ont nettement diminué (Fig. 15). Dans le secteur de la Cluse et Mijoux, les fortes abondances qui étaient observées dans les années 1970 sont maintenant nettement réduites. Cette régression était déjà perceptible en 1993.

## 1.2. Structure et évolution des populations salmonicoles

### Evolution spatio-temporelle des biomasses salmonicoles

Les biomasses cumulées des salmonidés constituent un indicateur synthétique de l'état de santé des rivières à truite et à ombre. En effet, ces espèces centrales pour ce type de cours d'eau occupent les étages apicaux de l'édifice biologique.

A l'aval proche d'Ornans, l'altération des potentiels salmonicoles était sensible dès la fin des années 1990 puisque les biomasses de truites et d'ombres étaient déjà très inférieures à la référence régionale. Toutefois, en 1998, à quelques kilomètres plus en aval, de fortes biomasses de truites et d'ombres étaient encore enregistrées sur la Piquette (Fig. 16).

Entre 1998 et 2013, les potentiels en truite et ombre de ce secteur emblématique et jusque-là référentiel, se sont effondrés en dépit d'une gestion halieutique de type *no kill*. Les déficits de biomasse de truite et d'ombre affectent désormais toute la partie médiane de la Haute-Loue.

Dans les rivières karstiques à la fois larges et fraîches, on observe souvent deux sous-populations de salmonidés ou en tous cas deux stratégies de fraies pour les ombres et les truites : une partie des géniteurs remonte dans les affluents qui font alors office de nurseries tandis que l'autre partie fraie dans le cours d'eau principal.

La coexistence des deux modalités de reproduction contribue à assurer aux rivières karstiques des capacités piscicoles particulièrement fortes. Cette optimisation de l'espace fluvial est pratiquée par les 2 espèces sur la quasi-totalité du linéaire étudié de la Loue et du Lison, avec des déclinaisons et des variations interannuelles, en fonction des configurations habitationnelles et des conditions hydrologiques.

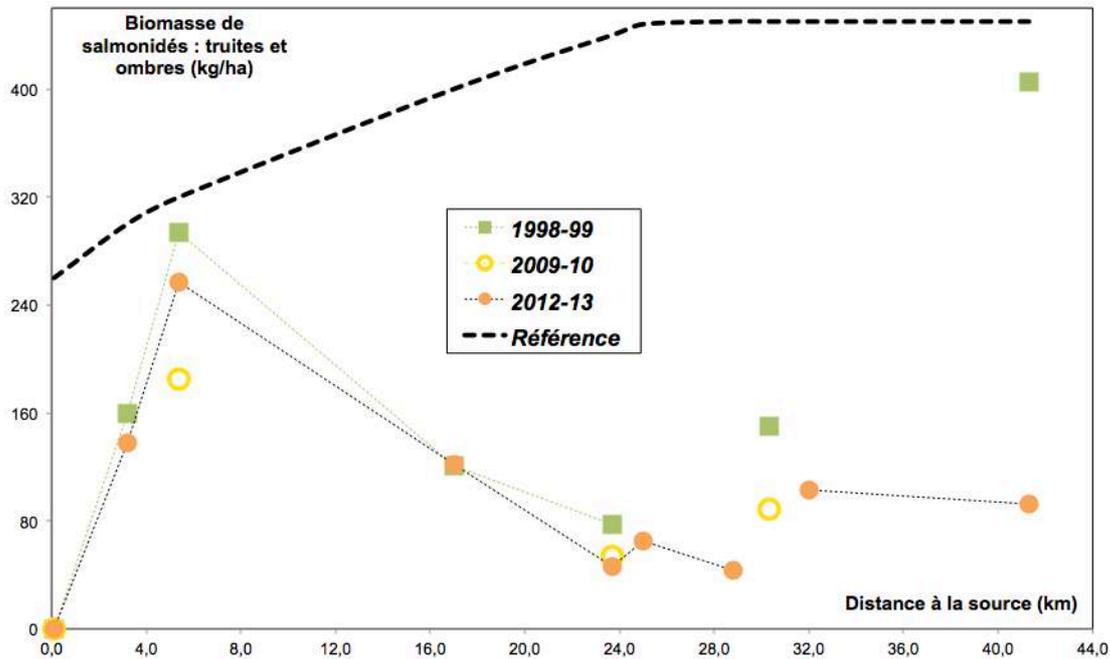


Figure 16. Variations de la biomasse salmonicole le long de la Loue entre 1998 et 2013

Dans le cas de la truite, les densités d'alevins de l'année varient d'un site et d'une année à l'autre sans que l'on puisse en tirer de tendance. Toutefois, les densités de juvéniles mesurées en 2010 sont nettement inférieures à celles qui avaient été enregistrées en 1999 dans les trois stations où cette chronique a pu être réalisée (Fig. 17). Cette baisse s'est accentuée de 2010 à 2012, en particulier sur les 2 stations situées à l'aval d'Ornans.

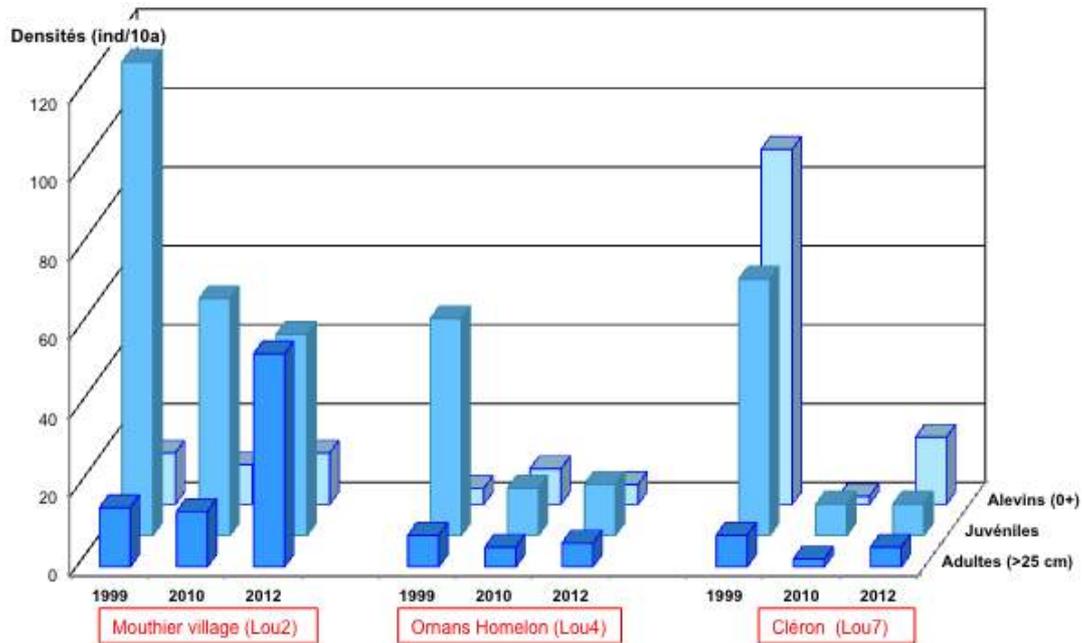


Figure 17. Evolution temporelle de la structure des populations de truites dans 3 stations jalonnant la Loue

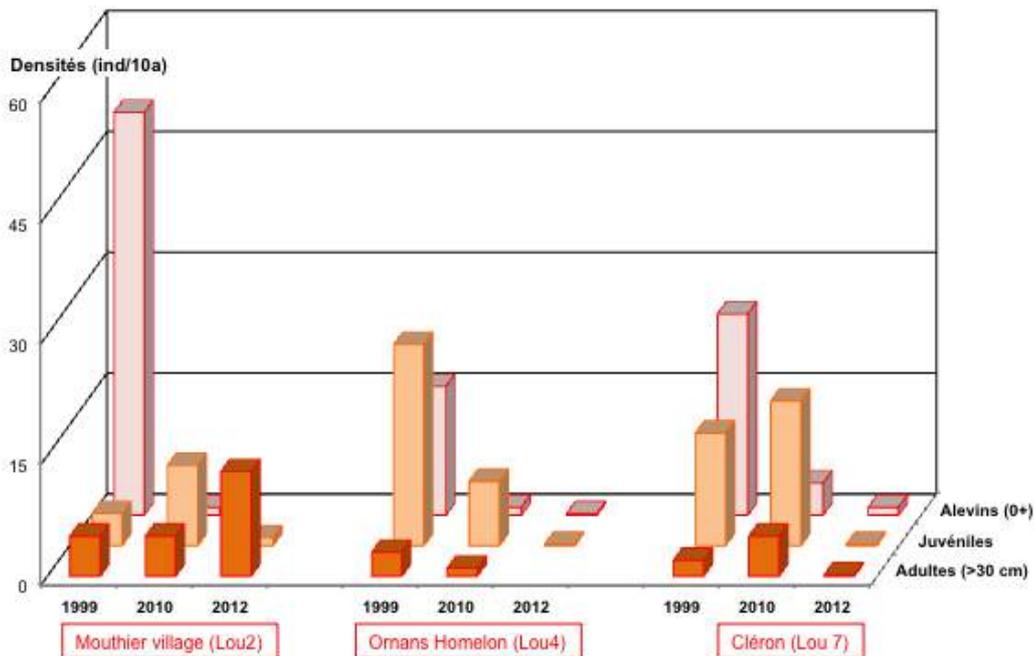


Figure 18. Evolution temporelle de la structure des populations d'ombre sur 3 stations jalonnant la Loue.

Dans ce contexte, les frayères et les nurseries des affluents devraient pallier au recrutement des populations de truites et d'ombres de la Loue et constituer un important réservoir de résilience piscicole.

La Brème et le Lison, qui constituent les deux principaux affluents de la Loue, abritent des frayères à ombre. Cependant, leurs potentiels thymallicoles sont eux aussi fortement réduits et ces cours d'eau ne semblent pas pouvoir soutenir les populations d'ombre de la Loue.

*A contrario*, plusieurs affluents abritent de fortes densités de truitelles, même si leur partie aval apparaît moins propice au développement de cette espèce (Fig. 19). Par conséquent, l'absence de soutien des populations de truite de la Loue par les affluents peut être interprétée par deux phénomènes éventuellement concomitants :

- soit la circulation des poissons est entravée, par des obstacles physiques (seuil) ou des barrières d'ordre physico-chimique (température, contaminants...) ;
- soit les truitelles qui dévalent ne trouvent pas dans la Loue les conditions nutritionnelles propices à leur développement voire à leur survie.

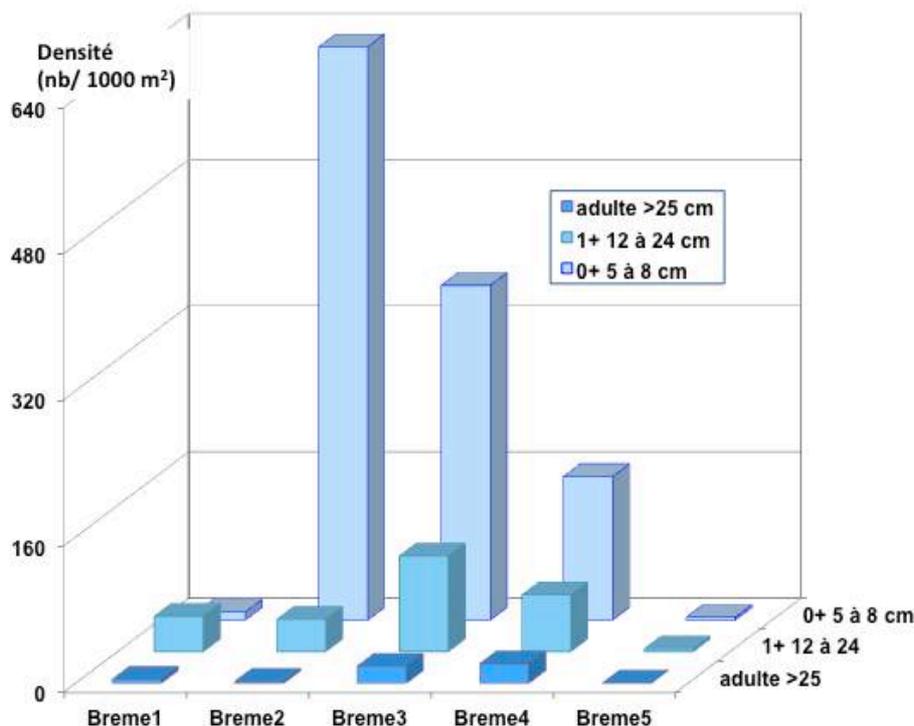
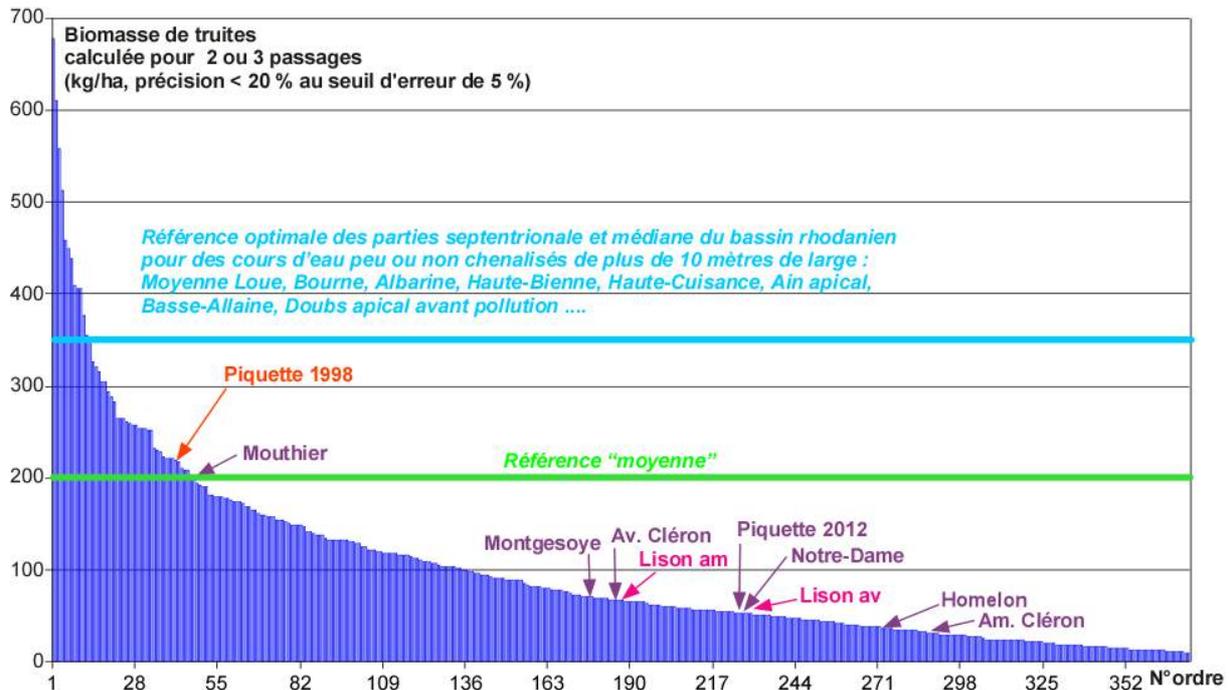


Figure 19. Evolution longitudinale de la structure des populations de truite sur 5 stations jalonnant la Brème

### Comparaison aux références régionales

Le bilan des pêches montre que les potentiels salmonicoles sont appauvris dans la quasi-totalité des secteurs étudiés par rapport aux observations de la fin des années 1960 (VERNEAUX 1973). Sur la station de la Piquette, une chute drastique des biomasses salmonicoles a été observée plus récemment (DEGIORGI et RAYMOND 2000).



**Figure 20. Comparaison des biomasses de truites mesurées dans différentes stations de la Loue en 2012-2013 par rapport à celles observées dans 360 cours d'eau à truite de la partie septentrionale du bassin rhodanien (d'après DEGIORGI et al. 2008)**

Si l'on compare les biomasses de truites aux meilleures situations salmonicoles observées dans la partie septentrionale du bassin rhodanien, la Loue médiane ne fait plus partie des meilleures rivières salmonicoles (Fig. 20). Seule la partie la plus apicale abrite encore des populations sub-référentielles mais dont la structure révèle un déficit de juvéniles.

Ce diagnostic est encore plus sévère si l'on compare les biomasses d'ombres capturées sur la Loue aux données antérieures et aux références régionales (Fig. 21).

En outre, les potentiels thymallicoles relictuels de la Loue se trouvent dans la partie apicale, qui ne se rattache pourtant pas à la zone élective de cette espèce. La Loue amont semble donc jouer le rôle de refuge pour l'ombre, dont les populations même les plus apicales montrent également des signes de déséquilibre.

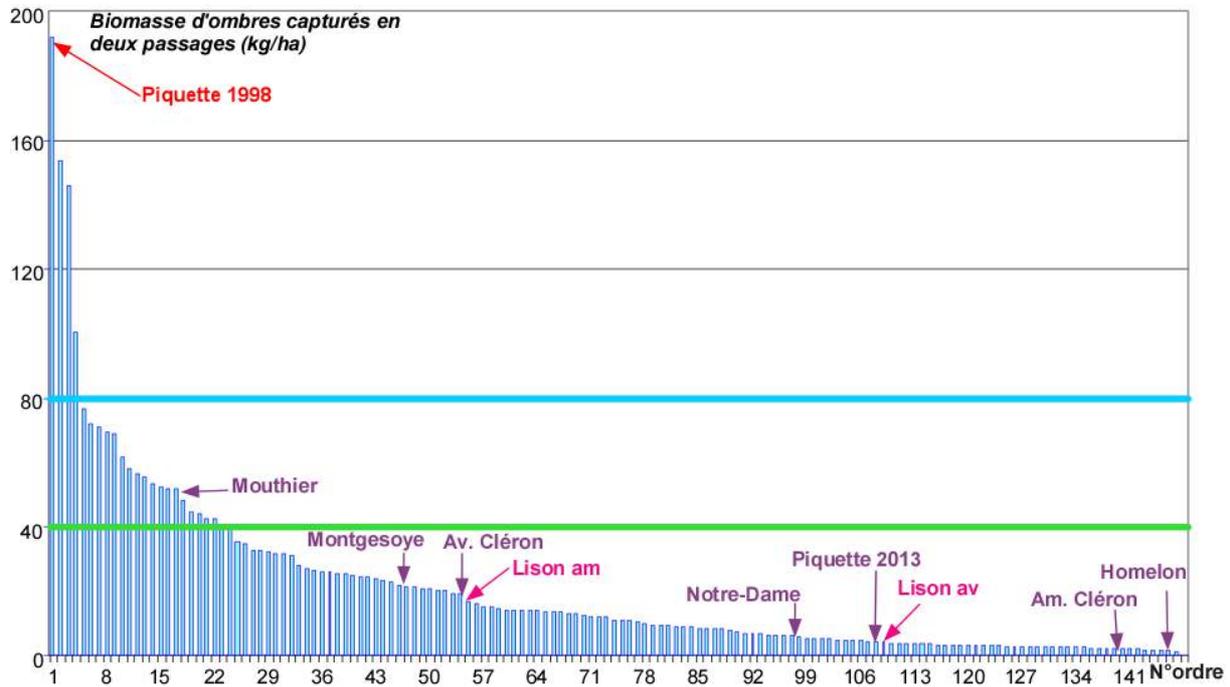


Figure 21. Comparaison des biomasses d'ombres mesurées dans différentes stations de la Loue en 2012-2013 par rapport à celles observées à la fin des années 1990 dans 148 cours d'eau à ombre de la partie septentrionale du bassin rhodanien (d'après DEGIORGI *et al.* 2008)

### 1.3. Bibliographie sur les potentiels piscicoles

- CHAMPIGNEULLE A, DEGIORGI F, RAYMOND JC, CACHERA S, 2002. Dynamique temporelle de la contribution du repeuplement en stades précoces de truite (*Salmo trutta* L.) dans la population en place et dans la pêche sur le Doubs franco-suisse. Bull. Fr. Pêche Piscic., 365-366 : 471-485.
- DEGIORGI F, CHAMPIGNEULLE A, 2000. Diagnose piscicole et mesure de l'efficacité des alevinages en truite sur le Doubs Franco-Helvétique. Ed. Conseil supérieur de la pêche et Institut National de la recherche Agronomique de Thonon-les-Bains, 119 p.
- DEGIORGI F, RAYMOND JC, 2000. Guide technique : Utilisation de l'ichtyofaune pour la détermination de la qualité globale des écosystèmes d'eau courante. Conseil Supérieur de la Pêche Délégation Régionale de Lyon. 197p.
- LIÈVRE A, DEGIORGI F, VERGON JP, ELOY AE, CONSUEGEGRA D, PÉRIAT G, 2002. Etude des causes de diminution des populations de poissons dans les cours d'eau jurassiens. Teillprojekt 01/01 de Fischnetz – Réseau suisse « poisson en diminution ». Fédération cantonale 157p. + annexes.
- MALLET JP, LAMOUREUX N, SAGNES P, PERSAT H, 2000. Habitat references of European grayling in a medium size stream, the Ain river, France. Journal of Fish Biology, 56: 1312-1322.
- PERSAT H, 1988. De la biologie des populations de l'Ombre commun *Thymallus thymallus* L. 1758 à la dynamique des communautés dans un hydrosystème fluvial aménagé, le Haut- Rhône français. Éléments pour un changement d'échelles. Thèse d'État, Univ. Lyon 1, 223 p.
- SCARSBROOK MR, TOWNSEND CR 1993. Stream community structure in relation to spatial and temporal variation: a habitat templet study of two contrasting New Zealand streams. Freshwater Biology 29 (3): 395–410.
- SEDELL JR, REEVES GH, HAUER FR, STANFORD JA, HAWKINS CP, 1990. Role of refugia in recovery from disturbances: modern fragmented and disconnected river systems. Environmental Management 14(5): 711-724.
- VERNEAUX J. 1973. Cours d'eaux de Franche-Comté. Recherches écologiques sur le réseau hydrographique du Doubs- Essai de biotypologie. Thèse Doct. d'Etat, Univ. Besançon, 260 p.
- VERNEAUX J, 1981. Le poisson et la qualité des cours d'eau. *Ann. Univ. Fr. Comté Biol An 4 (2)*, 33-41.
- VERNEAUX J, 1984. Méthodes biologiques et problèmes de la détermination des qualités des eaux courantes. *Bull. Ecol.*, 15 (1), 47-55.
- VERNEAUX J, SCHMITT A, VERNEAUX V, 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, SCHMITT A, VERNEAUX V, PROUTEAU C, 2004. Accessing Biological Orders of river sites and biological structures of watercourses using ecological traits of aquatic insects. *Hydrobiologia* 519 : 39-47.
- VERNEAUX J, SCHMITT A, VERNEAUX V, PROUTEAU ., 2005. Typological traits of 90 genera of aquatic insects (Trichoptera, Ephemeroptera, Plecoptera). *Rapp. int Univ Fr.-Comté*, 2p.
- WELCH EB, JACOBY JM, HORNER RR, SEELEY MR 1988. Nuisance biomass levels of periphytic algae in streams, *Hydrobiologia*, 157: 161-168.

## 2. BENTHOS ET ENTOMOLOGIE

Les benthos de la Loue, du Lison mais aussi du Doubs et de plusieurs affluents de la Loue ont été étudiés suivant deux méthodes coordonnées : l'IBGN-RCS et le MAG20. Les prélèvements ont été effectués à plusieurs reprises, à chaque fois sur des séries de stations jalonnant le cours d'eau étudié. Cette approche permet d'évaluer les capacités biogènes avec plusieurs niveaux de précision et de sensibilité.

### 2.1. Analyse simplifiée des biocénoses de la Loue et du Lison

#### IBGN-RCS déterminés en juillet 2012

La campagne de prélèvement des MAG20 de juillet 2012 a permis de calculer l'IBGN-RCS sur les 10 stations jalonnant la Loue, ainsi que sur l'amont et l'aval du Lison. Cette campagne a permis d'évaluer les capacités biogènes des deux cours d'eau quelques mois après les derniers grands épisodes de mortalité piscicole constatés au printemps 2012. Les indices obtenus sont compris entre 15 et 17, sauf à la source de la Loue où la note n'atteint que 11 sur 20 (Fig. 22).

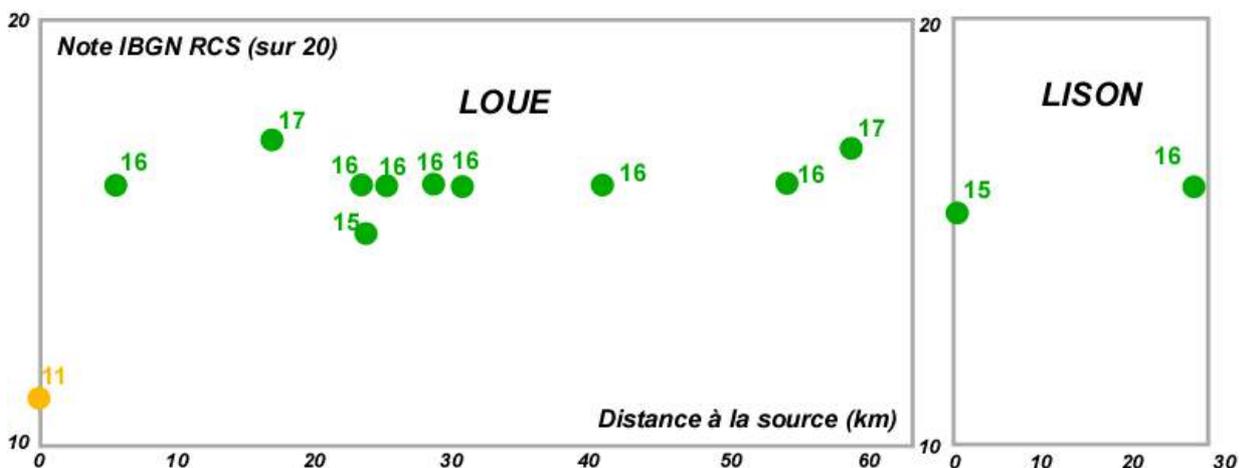


Figure 22. Variations de la note IBGN-RCS le long de la Loue et du Lison en juillet 2012

Les valeurs observées sur toutes les autres stations ne sont pas référentielles puisque l'IBGN devrait atteindre 20/20 sur des cours d'eau comme la Loue ou le Lison. Elles n'indiquent toutefois que des altérations modérées des capacités biogènes, contrastant avec l'appauvrissement des peuplements piscicoles ainsi qu'avec les phases de prolifération des algues filamenteuses advenant régulièrement dans les deux rivières.

### Evolution des IBGN sur la Loue entre 2012 et 2014

En juillet 2013, une nouvelle campagne de 12 MAG20 a été réalisée. Les notes IBGN-RCS qui en résultent sont du même ordre qu'en 2012, mais avec quelques variations mineures (Fig. 23). Ainsi les indices déterminés pour la Source de la Loue et pour les Iles-en-Gon augmentent respectivement de 4 et 3 points tandis que les notes obtenues à l'amont et à l'aval d'Ornans (Montgesoye et Homelon) chutent chacune de 2 points.

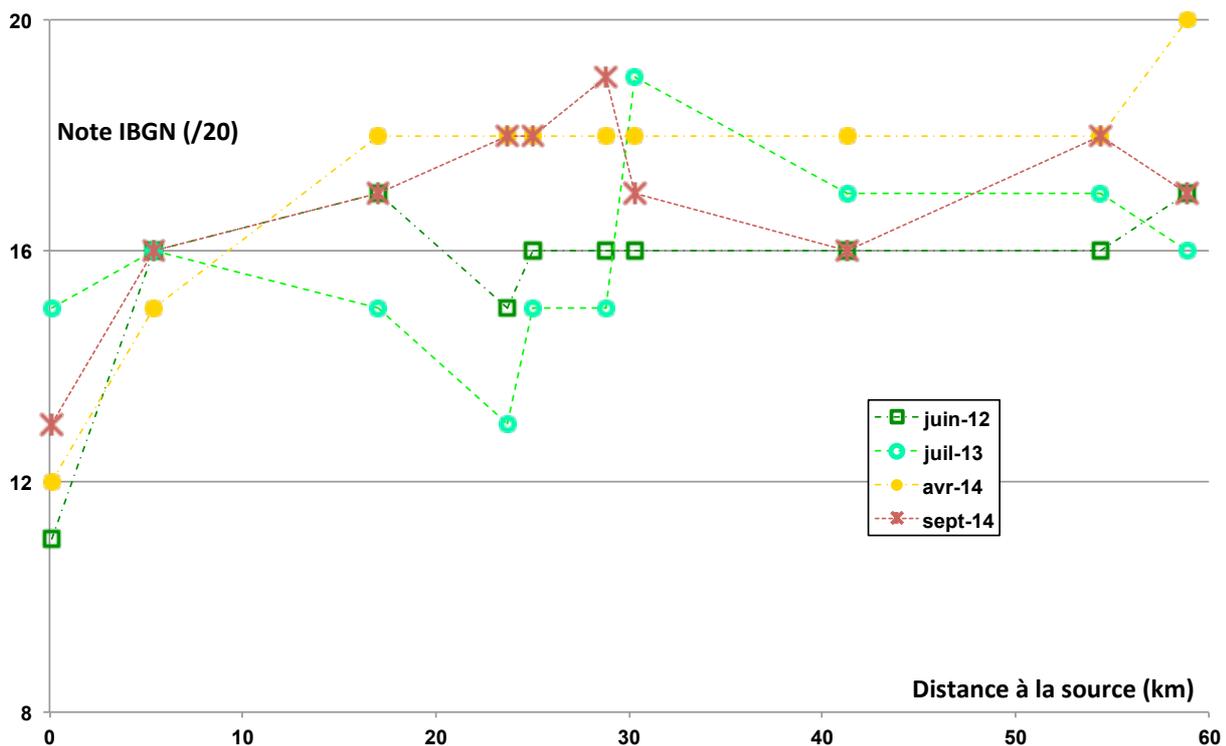


Figure 23. Variations de l'IBGN-RCS le long de la Loue au cours de 4 campagnes de prélèvement échelonnées entre juillet 2012 et septembre 2014

Parallèlement, les IBGN-RCS déterminés en 2013 sur le Lison apical et basal augmentent respectivement de 1 et 2 points pour atteindre 16 et 18/20.

En 2014, deux campagnes de prélèvements MAG20 ont été réalisées : une au milieu du printemps (avril 2014) et une en fin d'été (septembre 2014). Ces deux campagnes ont permis de calculer deux nouvelles séries d'indices. Comme les mesures précédentes, elles reflètent un potentiel biogène encore existant, mais aussi des altérations dont le sens et la répartition varient dans le temps.

Cependant, un test non paramétrique apparié de Friedman indique que les différences entre les 4 campagnes prises deux à deux ne sont pas statistiquement significatives au seuil de 5 % d'erreur. Le petit nombre de notes maximales (un 20/20 et deux 19/20 sur 40 IBGN), confirment que les capacités biogènes de la Loue n'atteignent pas leur potentiel optimal.

## 2.2. Analyse au genre et prise en compte des abondances

Ce constat est confirmé et précisé par les variations d'abondance cumulées des genres de trois ordres étudiés Epheméroptères, Plécoptères et Trichoptères, mesurées à plusieurs époques sur des successions de stations jalonnant la Loue (Fig. 24). Cette approche montre que l'altération des capacités d'autoépuration de la Loue a été progressive depuis les années 1970 mais qu'elle semble s'être accentuée depuis 1994. En outre, les résultats du protocole MAG20 effectué en juillet 2013 montre que le déficit de capacité biogène observé à l'aide de cette approche en juin 2012 perdure, en dépit de la succession de deux étés plutôt frais et arrosés. En effet, si le score d'abondance des trois ordres (EPT) varie de quelques points pour la plupart des stations, ces évolutions restent limitées et fluctuent dans l'espace.

Les scores obtenus en avril 2014 sont légèrement mais significativement supérieurs (test ANOVA sur série normales appariées,  $p < 0,001$ ). Toutefois, la date précoce des prélèvements réalisés pour cette campagne correspond à une période fraîche beaucoup plus favorable que la saison estivale des autres prélèvements. Les premiers éléments de calculs du score de septembre (en cours de détermination) montrent un infléchissement des scores qui se rapprochent de ceux de 2013.

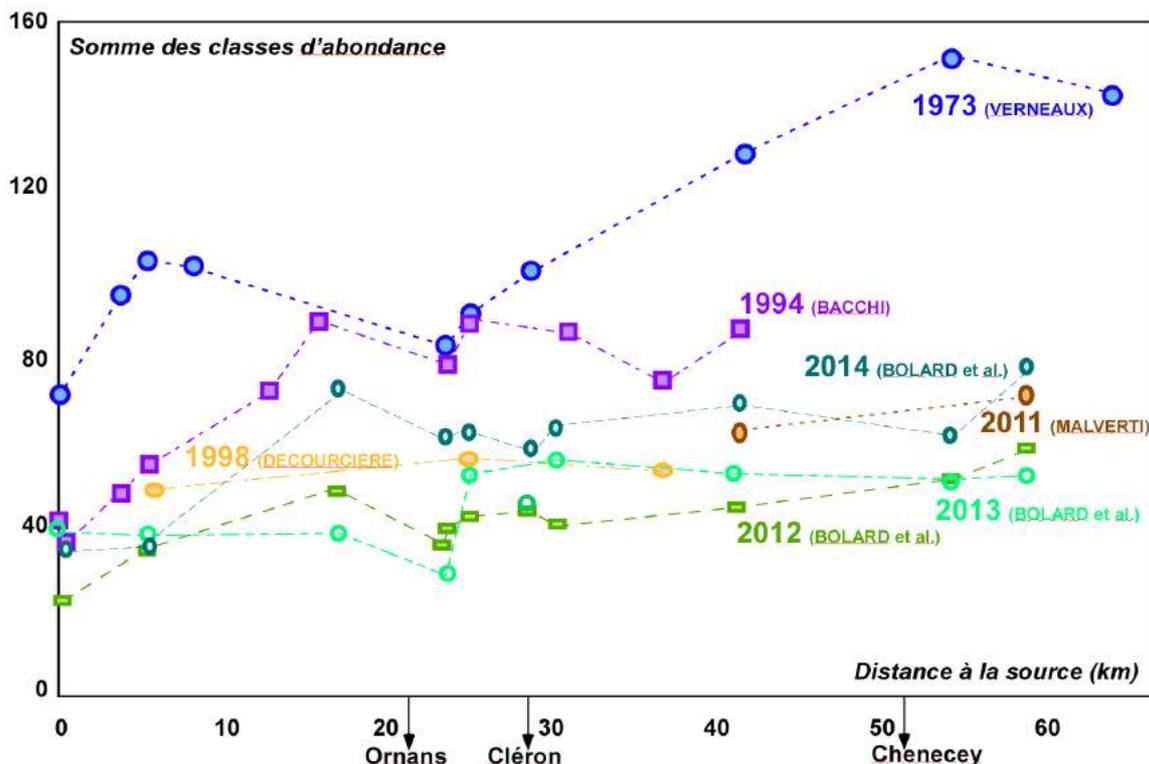


Figure 24. Evolution des abondances cumulées des genres d'éphéméroptères, plécoptères et trichoptères le long de la Loue de 1973 à 2014 (chasse d'imagos, prélèvements benthiques, MAG20).

En définitive, même si une amélioration semble s'amorcer en avril 2014, la biodiversité de 3 groupes de bio-indicateurs réputés sensibles reste médiocre pour

l'ensemble des sites échantillonnés durant chacune des deux campagnes de mesures estivales (étés 2012 et 2013). Le même phénomène est également observé pour les deux stations suivies dans le Lison.

Sur le plan méthodologique, la comparaison des données récentes avec les données de VERNEAUX (1973) est justifiée par deux arguments :

- les abondances étaient alors attribuées aux espèces à partir de la mesure des densités des larves appartenant aux genres correspondant, échantillonnés au surber suivant la même approche que pour les indices biologiques benthiques ;
- dans nos propres mesures, 98 % des genres non anecdotiques (c'est-à-dire associés à des cotes d'abondance maximales au moins égale à 1) inventoriés lors des chasses d'adulte sont capturés par la mise en œuvre du MAG20.

### 2.3. Analyse à l'espèce de la structure des peuplements EPT

De façon convergente, l'inventaire des espèces d'Ephémères, Plécoptères et Trichoptères, effectué entre mai 2012 et mai 2013 révèle sur certains secteurs un déficit qualitatif atteignant 50 % des potentiels mesurés en 1973 (Fig. 25). La source de la Loue apparaît particulièrement appauvrie. Cette altération des capacités biogènes de la partie apicale de la Loue, déjà sensible dans les années 1970, s'est donc aggravée.

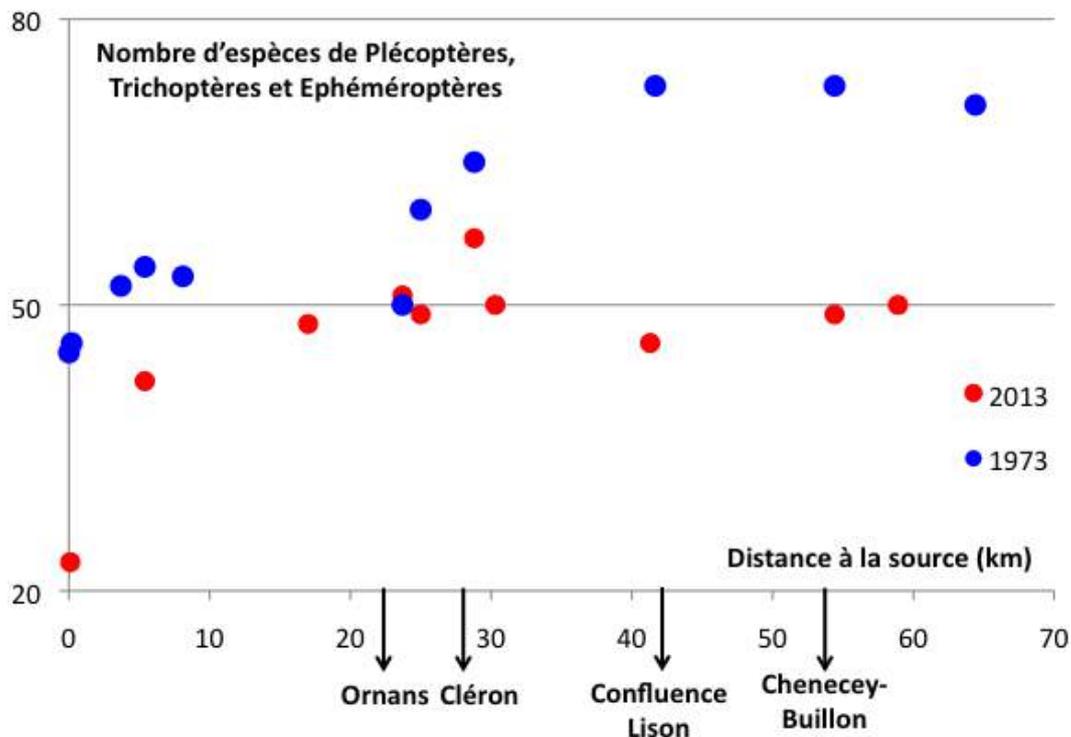


Figure 25. Comparaison du nombre d'espèces d'Ephémères, Plécoptères, Trichoptères capturées le long de la Loue en 1973 et en 2013.

Sur les premiers kilomètres de son linéaire, les capacités d'autoépuration de la Haute-Loue sont encore tangibles en 2012/2013. En effet, la variété et l'abondance des espèces réputées les plus polluo-sensibles, quoique ravalées à des niveaux plus bas, se reconstituent suivant un motif semblable à celui qui était observé au début des années 1970, du moins jusqu'à Ornans.

En revanche, la réduction de richesse spécifique mesurée au niveau de cette localité était déjà significative dans les années 1970. Actuellement, elle n'est plus compensée par l'autoépuration de la Loue à l'aval de ce secteur alors qu'elle l'était antérieurement.

## 2.4. Analyse des capacités biogènes des affluents

Les MAG20 et IBGN-RCS réalisés sur les principaux affluents de la Loue confirment l'état d'altération des portions apicales du réseau hydrographique (Tab. 4 et 5). En particulier, les petits affluents de la Brème et les parties apicales de la Bonneille semblent altérés par des perturbations de la qualité de l'eau.

Cours d'eau		Défois	Champagn.	Breuillets	Plaisir Font.
<i>Position hydrographique</i>		<i>apical</i>	<i>apical</i>	<i>apical</i>	<i>médian</i>
12 placettes	Abondance (nb/m <sup>2</sup> )	783	2244	2244	2862
	Variété (nb de taxons)	16	13	13	19
8 placettes	Groupe Indicateur	<i>Limnephilidae (3)</i>	<i>Baetidae (2)</i>	<i>Baetidae (2)</i>	<i>Leuctridae (7)</i>
	Variété taxonom.	11	11	11	13
	<b>IBGN</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>11</b>
	<i>Robustesse</i>	5	5	5	10

Cours d'eau		Brème amont	Brème moyenne	Brème aval
<i>Position hydrographique</i>		<i>médian</i>	<i>médian</i>	<i>basal</i>
20 placettes	Abondance (nb/m <sup>2</sup> )	593	4146	676
	Variété (nb de taxons)	23	31	26
8 placettes	Groupe Indicateur	<i>Leuctridae (7)</i>	<i>Perlidae (9)</i>	<i>Leuctridae (7)</i>
	Variété taxonom.	18	21	20
	<b>IBGN</b>	<b>12</b>	<b>15</b>	<b>12</b>
	<i>Robustesse</i>	12	13	12

Tableau 4. Descripteurs des peuplements benthiques échantillonnés en juillet 2013 sur 7 stations de la Brème et de ses affluents

Les parties basales de ces sous-affluents et les parties médianes des deux cours d'eau considérés semblent bénéficier d'une certaine autoépuration. En revanche, cette amélioration est vraisemblablement grevée sur les parties aval, en particulier mais non exclusivement, par des altérations de la qualité physique.

<b>Cours d'eau</b>		Boneille am.	Boneille moy	Boneille av.	Bonnecrau
<i>Position hydrographique</i>		<i>apical</i>	<i>médian</i>	<i>basal</i>	<i>médian</i>
20 placettes	Abondance (nb/m <sup>2</sup> )	2953	684	2128	
	Variété (nb de taxons)	19	24	31	
12 placettes	Abondance (nb/m <sup>2</sup> )				301
	Variété (nb de taxons)				16
8 placettes	Groupe Indicateur	<i>Baetidae (2)</i>	<i>Leuctridae (7)</i>	<i>Leuctridae (7)</i>	<i>Leuctridae (7)</i>
	Variété taxonom.	13	14	18	15 (5)
	<b>IBGN</b>	<b>6</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>11</b>
	<i>Robustesse</i>	6	11	12	10

**Tableau 5. Descripteurs des peuplements benthiques échantillonnés en juillet 2013 sur 4 stations de la Boneille et de ses affluents**

## 2.5. Analyse des capacités biogènes du Doubs avant ses pertes

L'étude des peuplements benthiques effectuée en 2013 sur le Doubs à l'amont et à l'aval de l'agglomération pontissalienne montre que cette portion du cours d'eau souffre elle aussi d'un déficit de ses capacités biogènes (Tab. 6). A l'amont de Pontarlier, les groupes indicateurs variant de 7/9 à 4/9 révèlent une nette altération de la qualité de l'eau.

L'évolution des indices entre l'aval de Pontarlier et Arçon montre que, au moment des prélèvements, l'impact du déversoir d'orage de Doubs sur les capacités biogènes de la rivière est plus important que celui du rejet de la STEP.

Juste avant les pertes qui alimentent la majeure partie des débits de la source résurgente de la Loue, le Doubs a récupéré une partie de sa qualité biologique. Cependant, le niveau de polluo-sensibilité du groupe indicateur du peuplement benthique échantillonné n'est que de 5/9.

Cours d'eau Stations		Doubs amont Pontarlier		Affluents secteur Pontarlier	
		Oye et Palet	Pnt Rosiers	Morte av.	Drugeon av
12 placettes	Abondance (nb/m <sup>2</sup> )	4088	5770	15133	16122
	Variété (nb de taxons)	48	49	32	44
8 placettes	Groupe Indicateur	<i>Leuctridae</i> (7)	<i>Leptoceridae</i> (4)	<i>Leuctridae</i> (7)	<i>Lepidomastidae</i> (6)
	Variété taxonom.	31	35	22	33
	<b>IBGN</b>	<b>15</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>15</b>
	<i>Robustesse</i>	14	12	12	13

Cours d'eau Stations		Doubs aval Pontarlier			
		Av. Pontarlier Am. DO Doubs	Av. DO Doubs Am. STEP	Av. STEP Am. Drugeon	Av. Drugeon Arçon
12 placettes	Abondance (nb/m <sup>2</sup> )	9567	5183	10462	6120
	Variété (nb de taxons)	51	40	50	46
8 placettes	Groupe Indicateur	<i>Heptageniidae</i> (5)	<i>Heptageniidae</i> (5)	<i>Hydroptilidae</i> (5)	<i>Hydroptilidae</i> (5)
	Variété taxonom.	34	24	32	36
	<b>IBGN</b>	<b>14</b>	<b>11</b>	<b>13</b>	<b>14</b>
	<i>Robustesse</i>	13	10	12	13

**Tableau 6. Descripteurs des peuplements benthiques échantillonnés en octobre 2013 sur 6 stations du Doubs dans la traversée de l'agglomération pontissalienne (DO = déversoir d'orage de Doubs)**

A la fin des années 1980, alors que le collecteur périphérique du lac Saint-Point était fonctionnel depuis une dizaine d'années, la qualité du Doubs à l'aval du lac Saint Point et à l'amont de Pontarlier atteignait un niveau référentiel. Les Indices Biologiques Globaux qui étaient déterminés étaient régulièrement compris entre 19 et 20/20 (Tab. 7).

Descripteurs	Doubs à la Cluse et Mijoux		Doubs à Arçon	
	Oct-86	juil-87	juil-87	sept-87
Groupe Indicateur (GI)	9	8	8	4
Variétés Taxonomiques (VT)	43	41	30	20
Indice Biologique Global (IBG) /20	<b>20</b>	<b>19</b>	<b>16</b>	<b>9</b>

**Tableau 7. Descripteurs des peuplements benthiques échantillonnés entre octobre 1986 et septembre 1987 dans le Doubs à l'amont et à l'aval de Pontarlier (données Agence de l'Eau et Université de Franche-Comté).**

Rappel : l'IBG est la version originelle de l'IBGN, associée à une grille de notation un peu plus exigeante que celle de la version normalisée AFNOR en 1992 et que celle de l'IBGN-RCS utilisé actuellement

Au vu de la valeur des indices IBG mesurés en début d'été en 1987, les portions du Doubs à l'aval de la STEP bénéficiaient à cette époque d'un potentiel biogène globalement plus élevé. Cependant, la chute régulière des indices en fin d'été montre que cette partie du Doubs subissait des phases de pollutions organiques importantes, dont l'effet se faisait sentir plus particulièrement durant les étiages estivaux.

## 2.6. Bibliographie sur le benthos et l'entomologie aquatique

- ADAM O, BADOT PM, DEGIORGI F, CRINI G, 2009. Mixture toxicity assessment of wood preservative pesticides in the freshwater amphipod *Gammarus pulex* (L.). *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 72, 441–449.
- AGENCE DE L'EAU, 2004. Indice biologique global normalisé (IBGN), Guide technique (2ème édition).
- ASHAUER R, BOXALL A, BROWN C, 2006. Uptake and Elimination of Chlorpyrifos and Pentachlorophenol into the Freshwater Amphipod *Gammarus pulex*. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 51, 542–548.
- BACCHI M, 1994. Recherches sur la macrofaune benthique de la Haute Loue. Évolution des peuplements depuis 1973. Mémoire de DESS « Eaux continentales » de l'Univ. de Franche-Comté, Besançon, 85p.
- BRITAIN, JE, EIKELAND TJ, 1988. Invertebrate drift—a review. *Hydrobiologia* 166, 77–93.
- COLD A, FORBES V, 2004. Consequences of a short pulse of pesticide exposure for survival and reproduction of *Gammarus pulex*. *Aquat. Toxicol.* 67, 287–299
- DECAMPS A, POUPENEY A, 2013. Caractérisation de l'état de santé de la Loue dans le secteur d'Ornans et recherche des causes d'altération. Mémoire de 2<sup>e</sup> année de Master QuEST, Université de Franche-Comté, 62 p.
- DECOURCIERE H, DEGIORGI F, 2000. Protocole d'analyse semi-quantitative des communautés benthiques : le MAG20. Note technique. Teleos et Université de Franche Comté, 4 pages. <http://www.teleos.info/images/MAG20.pdf>
- DECOURCIERE H, MARTIN B, 1998. Situation typologique et qualité écologique actuelles de l'hydrosystème Haute-Loue, Mémoire de DESS « Eaux continentales », Université de Franche-Comté, Besançon : 92 p.
- FRONTIER S, 1983. Stratégies d'échantillonnage en écologie. Les presses de l'université laval – québec. Ed. Masson : 492 p.
- GEE J, 1988. Population dynamics and morphometric of *Gammarus pulex* L.: evidence of seasonal food limitation in a freshwater detritivore. *Freshw. Biol.* 19, 333–343.
- GERHARDT A, 1995. Monitoring behavioural responses to metals in *Gammarus pulex* (L.) (Crustacea) with impedance conversion. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2, 15–23.
- GOEDMAKERS A, PINKSTER S, 1981. Population dynamics of three gammarid species (Crustacea : Amphipoda) in a french chalk stream. *Migr. Bijdr Dierk* 51, 145–180.
- 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.
- OBRDLIK P, 1972. A population of *Rivulogammarus fossarum* Koch (Amphipoda) in a small fishless stream. *Hydrobiologia* 40, 279–295.
- OLMI M, 1976. *Coleoptera Dryopidae, Elminthidae*, Calderini. ed, Fauna d'italia. Bologna, Italia.

- RASMUSSEN JJ, WIBERG-LARSEN P, KRISTENSEN EA, CEDERGREEN N, FRIBERG N, 2013. Pyrethroid effects on freshwater invertebrates: A meta-analysis of pulse exposures. *Environmental Pollution*, 182: 479-485.
- REDING JP, 2012. Guide pratique d'identification des plécoptères du Jura Franco-Suisse. Partie 1 : Larves au genre et à l'espèce, 124 p.
- REYNOLDSON TB, LOGAN C, PASCOE T, THOMPSON SP, 2003. CABIN (Réseau Canadien de Biosurveillance Aquatique). Manuel de terrain et de laboratoire de Biosurveillance d'Invertébrés. Inst. Natl. Rech. Sur Eaux Environ. Can. 49 p.
- SCARSBROOK MR, TOWNSEND CR, 1993. Stream community structure in relation to spatial and temporal variation: a habitat templet study of two contrasting New Zealand streams. *Freshwater. Biol.* 29, 395–410.
- TACHET H, RICHOUX P, BOURNAUD M, USSEGLIO-POLATERA P, 2010. Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie, écologie. CNRS éditions. ed. CNRS., 415 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*, 260 p.
- VERNEAUX J, 1976. Biotypologie de l'écosystème "eau courante". Les groupements socio-écologiques. *C. R. Acad Sc, Paris Série, B*, 293 : 1791–1793.
- VERNEAUX J, 1982. Expression biologique qualitative et pratique, de l'aptitude des cours d'eau au développement de la faune benthique. Un coefficient d'aptitude biogène : le Cb2. *Trav Cent Hydrobiol Univ Besançon* 20.
- VERNEAUX J, REZZOUK M, 1974. Les structures d'un grand cours d'eau à Salmonidés : La Loue. Essai typologique et problèmes des relations entre espèces et milieu. *Ann Limnol* 10 : 131-162.
- WARIINGER Y, WOLFRAM G, 2000. Atlas des larves de thricoptères. Larves d'Autriche et de ses pays limitrophes. *Facultas-Universitätsverlag*.
- WOODCOCK TS, HURYN AD, 2007. The response of macroinvertebrate production to a pollution gradient in a headwater stream. *Freshwater. Biol.* 52, 177–196.

### **3. PRODUCTION ET BIOMASSE VÉGÉTALES**

#### **3. 1. Phytobenthos**

*Ces travaux ont été réalisés en collaboration avec Maria LEITAO du bureau d'études Bi-Eau.*

##### Introduction et méthodologie

##### *Problématique et objectifs de l'étude du phytobenthos*

Le protocole de prélèvement et d'étude du biofilm autotrophe ou phytobenthos a été établi à l'occasion d'une campagne préliminaire qui s'est déroulée en août 2012. La méthodologie a été inspirée par un travail d'A. CAZAUBON & S. DANDELLOT sur la Durance, pour EDF (2007). L'objectif de l'étude consiste à :

- définir la composition qualitative et quantitative des populations algales colonisant les substrats pierreux (litières et macrophytes sont donc exclus) ;
- faire le lien entre ce type production végétale et les conditions physico-chimiques du milieu.

Le travail a d'abord consisté dans l'élaboration d'un protocole de terrain, réalisable de façon répétée dans les différentes stations et à diverses époques. Les échantillons prélevés par le laboratoire de Chrono-environnement ont été fixés *in situ*, puis envoyés à Bi-Eau pour analyses.

Une première expertise de terrain a eu lieu sur un tronçon plus vaste de la Loue, en juillet 2011 (compte rendu de Bi-Eau d'août 2011) : cette reconnaissance du milieu avait permis de sérier diverses problématiques et de cerner le mode d'intervention de sorte à retirer le maximum d'informations sur le rôle de ce biofilm (ou épilithon) dans la qualité de ce cours d'eau exceptionnel.

##### *Protocole d'échantillonnage*

L'échantillonnage du phytobenthos a été effectué sur 4 stations parmi les 10 sélectionnées pour cette étude. Il s'agit de :

- Lou3 : à l'amont d'Ornans (2,7 km), sur la commune de Montgesoye ;
- Lou5 : 2 km en aval d'Ornans, au lieu-dit Notre Dame ;
- Lou6 : à l'amont proche (0,5 km) de Cléron ;
- Lou7 : à l'aval de Cléron (0,8 km environ).

Dans chaque station, 3 quadrats ou placettes ont été échantillonnés sur des transects disposés dans deux faciès : un lotique ou radier et un lentique ou plat. Sur chacun des deux transects, les quadrats sont numérotés de la rive gauche, à la rive

droite (Fig. 26). Au sein de chaque point, défini grossièrement autour d'1 m<sup>2</sup>, 5 « gros » galets (de surface > 25 cm<sup>2</sup>) ont été prélevés au hasard. Les plantes aquatiques macroscopiques, ou macrophytes (*Renoncles*, *Bryophytes*, *Vaucheria*, *Cladophora*...), étudiées par ailleurs, ont été écartées.

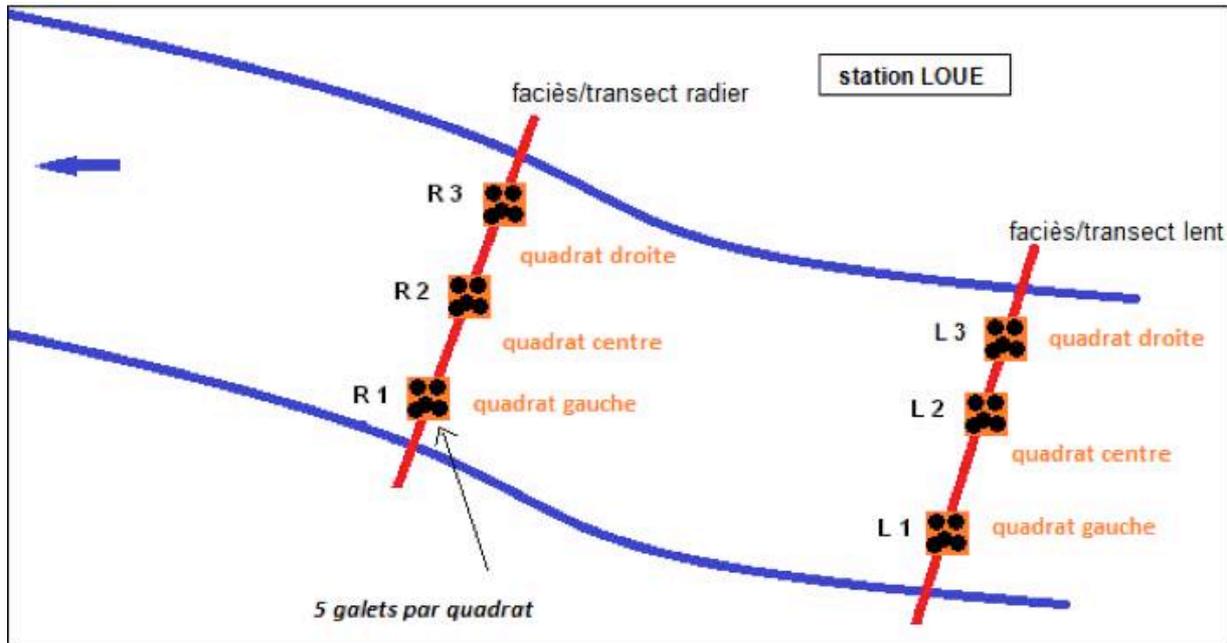


Figure 26. Principe d'échantillonnage sur 3 quadrats dans chaque faciès, rapide (R) ou lent (L)

La surface de grattage standardisée était alors délimitée sur la face supérieure du caillou à l'aide d'un gabarit constitué d'un carré souple de 25 cm<sup>2</sup> (Fig. 27). Avec un scalpel puis une brosse à dents, le biofilm y était gratté. Les prélèvements effectués sur ces 5 galets étaient alors rassemblés dans un seul et même flacon contenant donc le biofilm gratté sur 125 cm<sup>2</sup> (25 cm<sup>2</sup> x 5 galets).

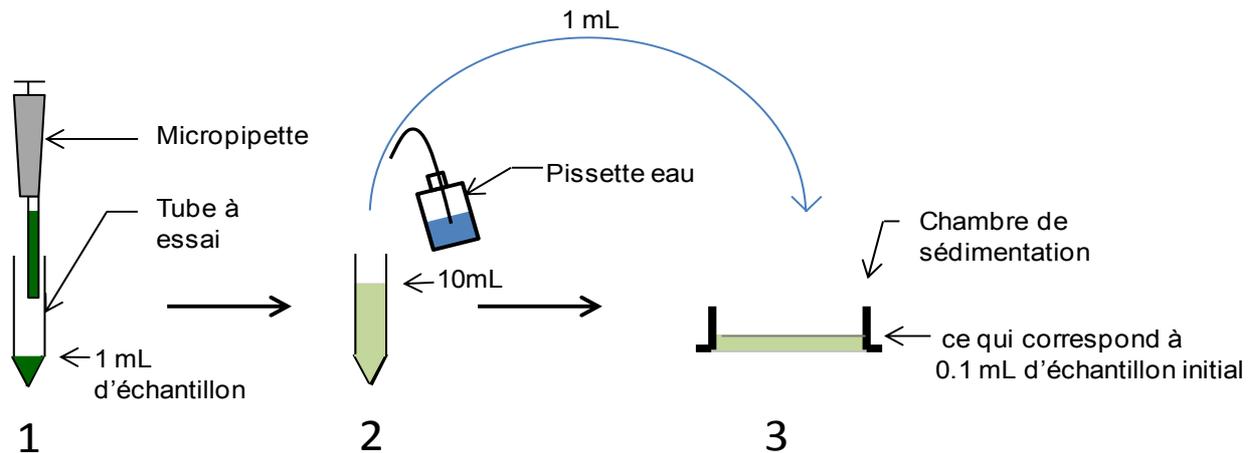


Fig. 27 : Délimitation de la portion de biofilm gratté sur une surface standard de 125 cm<sup>2</sup>

Les échantillons ont été fixés sur place. A la fin de chaque campagne, l'ensemble (24 flacons) était expédié à Bi-Eau.

### Préparation, détermination et dénombrement

À leur arrivée, les échantillons, dont les volumes étaient hétérogènes, ont tous été ramenés à un volume identique, à savoir 250 mL. Après quelques essais préliminaires, nous avons constaté que les concentrations finales en algues étaient trop élevées pour pouvoir dénombrer les taxons. Nous avons donc réalisé une dilution au 1/10<sup>ème</sup> (sauf exception) après homogénéisation (Fig. 28).



**Figure 28. Dilution des échantillons de la Loue menant à la sédimentation en chambre de dénombrement**

Deux stratégies de quantification des abondances des différents taxons rencontrés ont alors été mises en œuvre. D'une part, leur densité cellulaire (ou concentration exprimée en nombre de cellules par cm<sup>2</sup>) a été déterminée à l'aide de la méthode de comptage des cellules par sédimentation au microscope inversé (UTERMÖHL, 1958). D'autre part, leur biomasse a été évaluée à l'aide de la méthode des biovolumes (LOHMANN, 1908 ; SMAYDA, 1978).

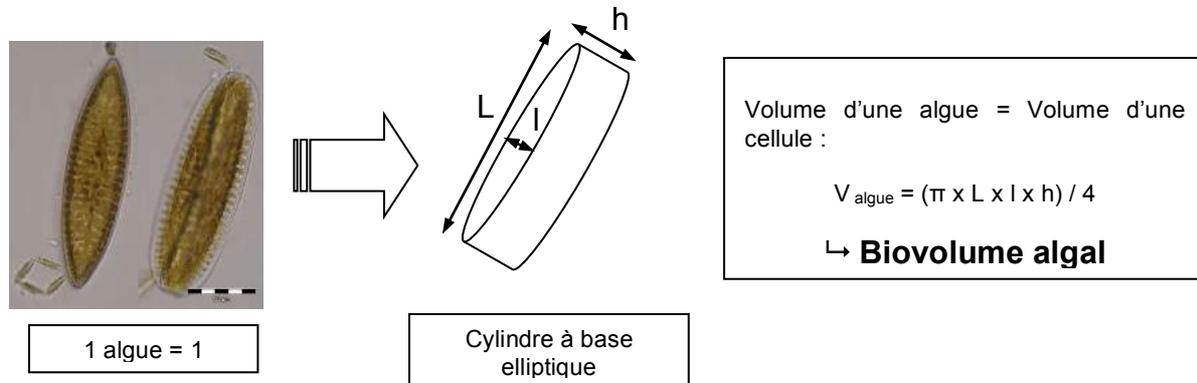
Pour la seconde approche, chaque taxon est associé à une forme géométrique simple, ce qui permet d'évaluer son biovolume. On en déduit sa biomasse en admettant que la densité des algues est équivalente à celle de l'eau.

Cette méthode, couramment utilisée pour le phytoplancton, a été transposée ici à l'étude du phytobenthos.

Les formes géométriques utilisées sont relativement simples, et nous mesurons pour chaque taxon, les dimensions linéaires de base (longueur, largeur, épaisseur, diamètre, etc.) qui permettent le calcul du volume correspondant (Fig. 29).

En raison de la densité des diatomées dans les échantillons de la Loue, nous avons été amenés à utiliser une technique visant à détruire toute la matière organique de sorte à ne garder que les frustules (squelettes externes en silice). Pour cela, nous avons appliqué au biofilm les traitements préconisés dans la norme NF T 90-354 (2009), au cours desquels les diatomées sont traitées au peroxyde d'hydrogène

(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Ce travail est suivi de plusieurs cycles de rinçage alternant avec des phases de décantation.



**Figure 29** Méthode de conversion d'une algue en un biovolume équivalent : exemple pour une diatomée pennée (photos de face et de profil)

Ensuite, une goutte de la préparation est montée entre lame et lamelle dans du Naphrax® (résine à indice de réfraction élevé de 1,7). Ces lames, observées en parallèle au microscopique droit (objectif x100 à l'immersion et en contraste de phase), contribuent à l'établissement des listes floristiques qu'elles complètent.

Les deux stratégies de comptage ont été mises en oeuvre sur tous les échantillons. Les résultats exprimés en nombre de cellules/cm<sup>2</sup> ("concentration" ou densité cellulaire) et en µg/cm<sup>2</sup> (biomasse) ont été considérés par transect (groupe de 3 échantillons) et par station (6 échantillons).

Quatre campagnes de prélèvement, échelonnées de 2012 à 2014 ont été effectuées en considérant les 4 stations et les 2 faciès utilisés. Les variations observées au niveau de la station et du faciès sont explorées pour la densité cellulaire, la biomasse, la richesse et l'indice de diversité.

### Résultats de la campagne du 23 août 2012 (d'amont en aval)

#### *Station LOU3 : Montgesoye*

Dans le faciès lentique, le point L1 se détache, car il affiche des effectifs supérieurs à 10 millions de cellule par cm<sup>2</sup> (Fig. 30) : il s'agit pour l'essentiel d'*Homoeothrix* (probablement *H. janthina* en majorité), une Cyanobactérie poussant en petites touffes formées de très fins filaments fortement cloisonnés. La biomasse ne montre pas de grandes différences entre les trois points de ce transect.

Dans le faciès lotique le point R1 présente une très forte biomasse (maximum de cette campagne, soit 657 µg/cm<sup>2</sup>). Ce point se distingue aussi par une forte diversité du peuplement (plus de 30 taxa, contre 9 seulement dans le point central, R2) et notamment par de très nombreuses Diatomophycées,

Ce groupe taxonomique est aussi majoritaire en termes de biomasse, car comportant des espèces de grande taille (*Diatoma vulgaris*, *Melosira varians*, *Navicula antonii*, *N. tripunctata*, *Ulnaria ulna* var. *angustissima*...). Ce point comporte aussi quelques fragments de macro-algues, telles *Ulothrix* (Ulothricophycée) ou encore *Tribonema* (Xanthophycée). Hormis la composition du quadrat 1 du radier, la station, dans son ensemble, est relativement pauvre en algues.

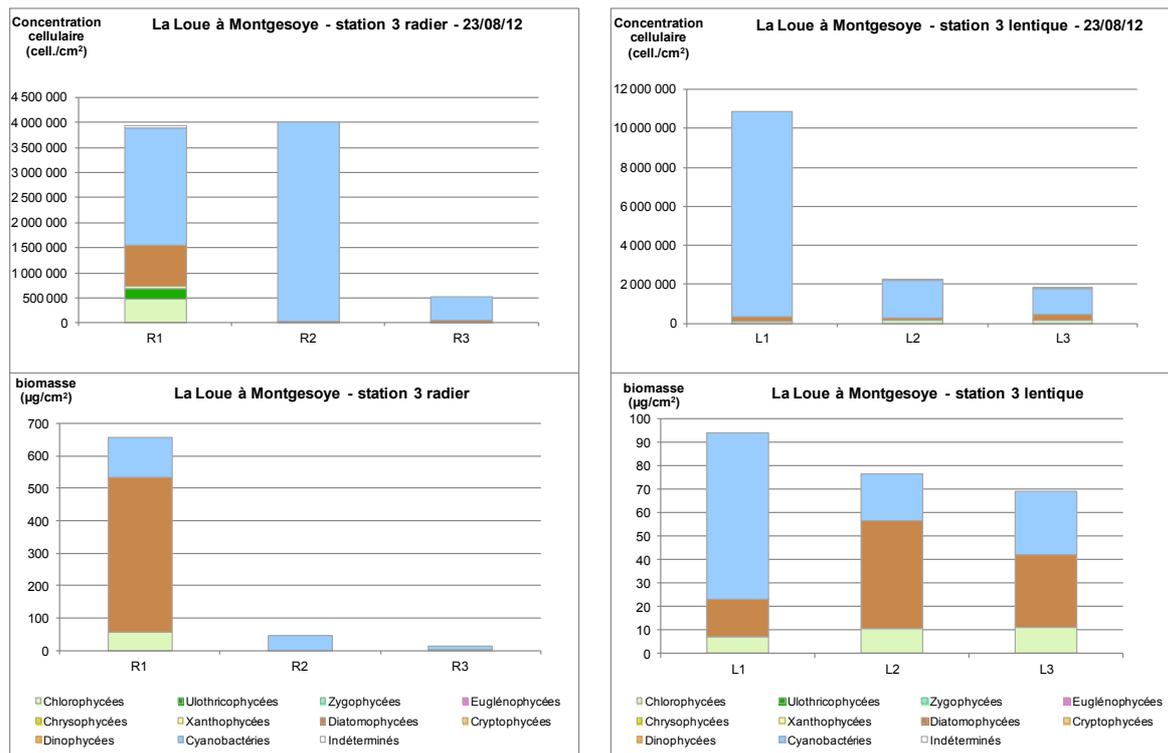


Figure 30 Concentration cellulaire et biomasse à Montgesoye, en radier (à gauche) et en faciès lentique (à droite) en août 2012

### Station LOU5 : Notre Dame

Dans cette station, le faciès radier présente une biomasse environ 1,5 fois supérieure à celle du faciès lentique. Dans ce dernier, la biomasse et la densité augmentent de la rive gauche vers la droite, grâce surtout aux Cyanobactéries : *Homoeothrix* pour la densité cellulaire et *Phormidium* pour la biomasse.

Ce faciès lentique montre une richesse taxonomique relativement constante dans les trois points, avec la présence de *Denticula tenuis* ou encore *d'Achnantheidium pyrenaicum*, qui tracent une eau de bonne qualité. La cellule centrale (L2) comporte un peu plus d'individus à habitat strictement planctonique, bien qu'ils ne soient jamais dominants.

Dans le radier, c'est aussi le centre (R2) qui est le plus riche tant en cellules qu'en biomasse. C'est d'ailleurs ce point 2 (Fig. 31) qui montre le maximum de densité (plus de 16 millions de cell./cm<sup>2</sup>).

Malgré *Achnantheidium minutissimum* qui est présent à plus de 413 000 cell./cm<sup>2</sup>, ce sont surtout des tapis de *Homoeothrix* (12 millions cell./cm<sup>2</sup>) et de *Phormidium* (presque 3 millions cell./cm<sup>2</sup>) qui contribuent le plus fortement à ce score.

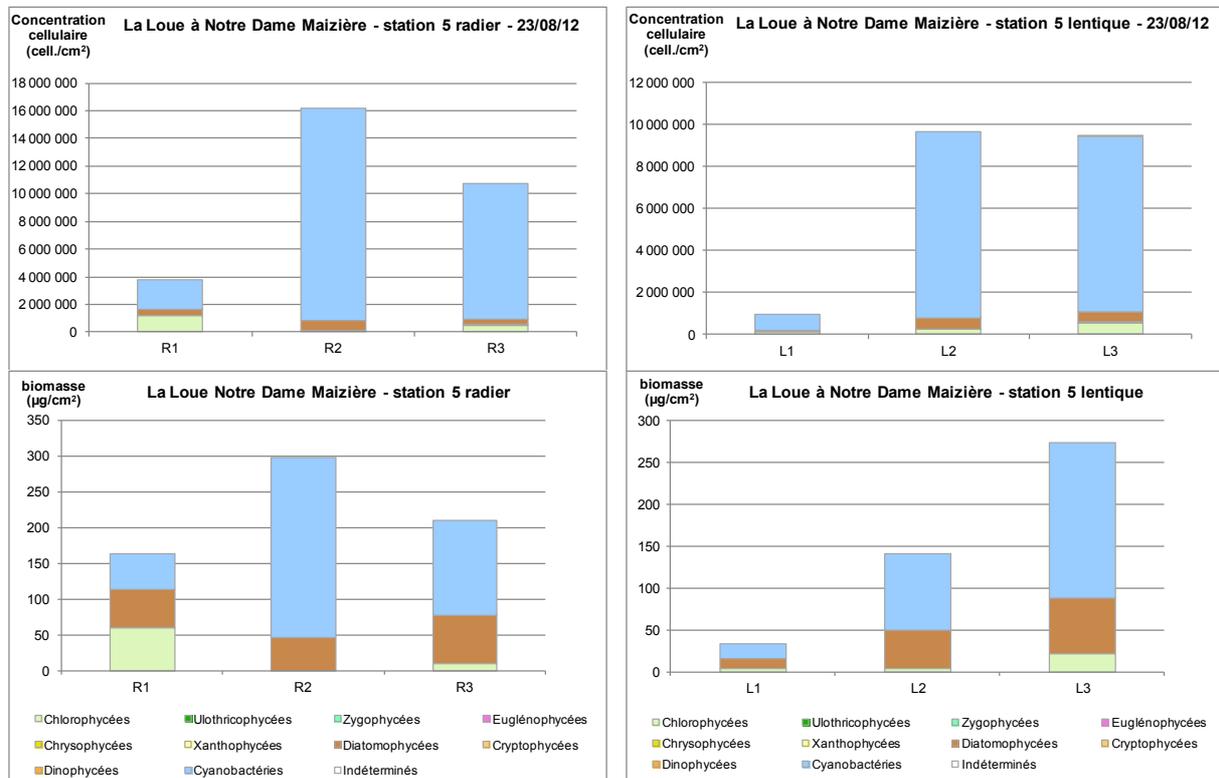
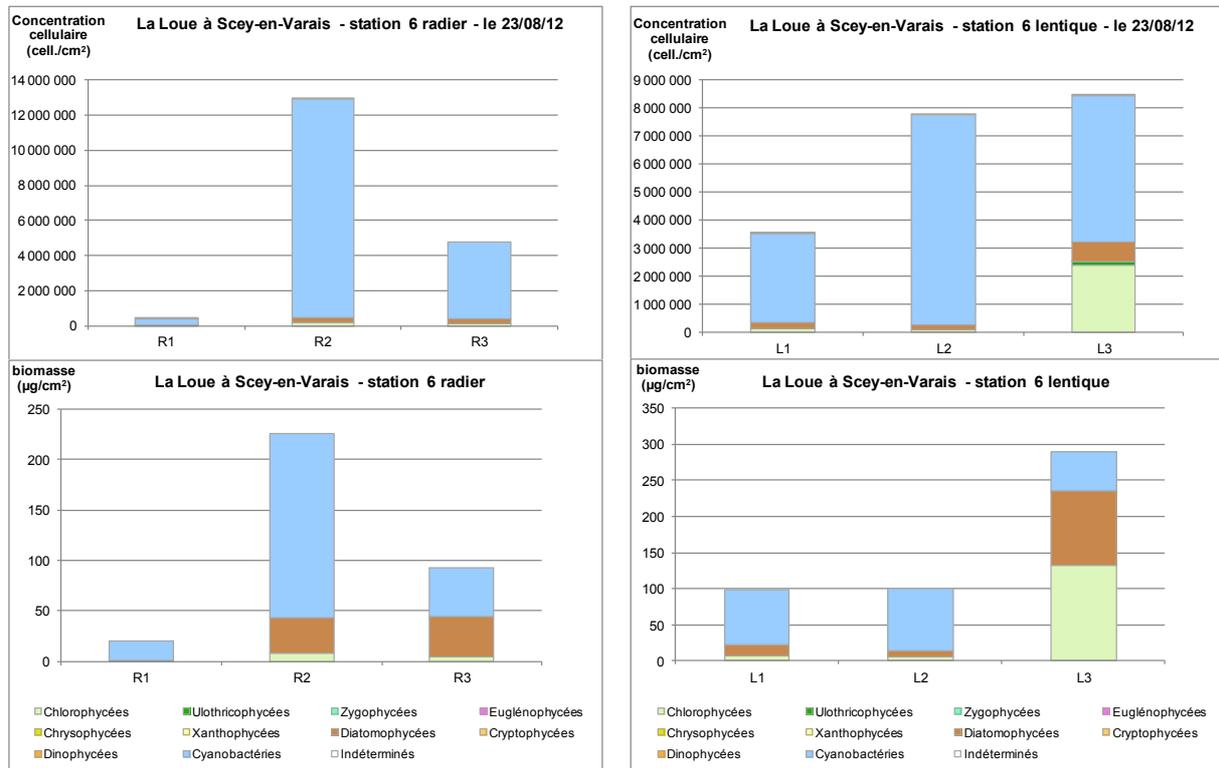


Figure 31 Concentration cellulaire et biomasse à Notre Dame en radier (à gauche) et en facies lentique (à droite) en août 2012

### Station LOU6 : Scey-en-Varais

Contrairement aux précédentes stations, la moyenne de biomasse du radier est plus faible que dans le secteur lentique.

Une certaine hétérogénéité est observée dans le faciès lentique (Fig. 32) : le point 3 (rive droite) est le plus productif en biomasse et nettement plus varié (34 taxa) que les deux autres. C'est surtout la biomasse représentée par les algues vertes (Chlorophycées) qui fait la particularité de ce point, qui traduit notamment un peuplement plus planctonique, avec des genres tels *Coelastrum*, *Monoraphidium*, *Pediastrum*, *Tetraedron*, sans compter la présence isolée de filamenteuses comme *Spirogyra* (photo-Zygothycée) ou *Ulothrix* (Ulothricophycée).



**Figure 32** Concentration cellulaire et biomasse à Scey-en-Varais en radier (à gauche) et en facies lentique (à droite) en août 2012

Le radier est, quant à lui, très hétérogène selon l'endroit prospecté : bien que les Cyanobactéries restent la composante dominante (*Phormidium* et *Homoeothrix*) quel que soit le mode de représentation, c'est au milieu (point 2) que les concentrations et la biomasse sont les plus élevées.

En plus de ces fines Cyanobactéries, ce radier est aussi colonisé par *Navicula tripunctata*, espèce cosmopolite, sensible à la matière organique mais assez tolérante à l'eutrophisation. Enfin, dans ce transect, le point 1 est particulièrement pauvre en algues peut-être en raison de l'ombrage ou de la vitesse trop élevée.

#### Station LOU7 : Les Iles en Gon

Comme dans la station précédente, ici aussi le radier présente une biomasse plus faible que dans le faciès lentique (Fig. 33). Toutefois, les deux faciès montrent un gradient de densité, de biomasse et de richesse taxonomique croissant de la rive gauche à la rive droite.

La station Iles en Gon est marquée par la présence d'algues rouges (Rhodophycées), dont le nombre de cellules est relativement faible dans les échantillons. Il s'agit vraisemblablement de fragments de *Batrachospermum* à morphologie filamenteuse complexe d'après la morphologie des quelques cellules formant les rameaux. Cette algue a déjà été observée dans la partie aval de la Loue.

Néanmoins, en raison de la grande taille des cellules (surtout comparée à des diatomées comme *Achnanthydium minutissimum*, *Amphora pediculus*, *Encyonema minutum*, *Nitzschia fonticola*), l'incidence de ces algues sur la biomasse totale est importante, et de ce point de vue elles deviennent largement majoritaires. Il n'y a que dans un point du radier en rive droite (R3) que cette classe est presque absente.

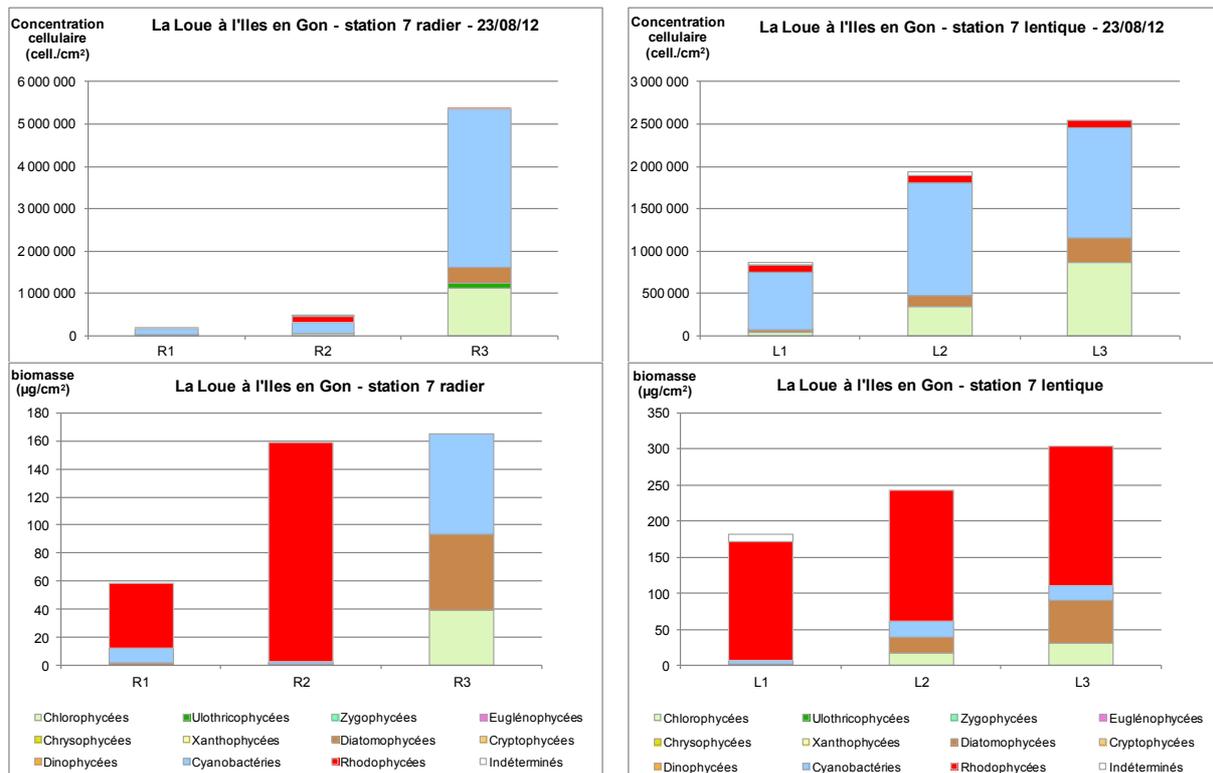


Figure 33 Concentration cellulaire et biomasse à Iles en Gon en radier (à gauche) en lentique (à droite) en août 2012

Les Rhodophycées observées dans la Loue (*Audouinella*, *Batrachospermum*, *Hildenbrandia*) témoignent sans aucun doute d'eaux lotiques de bonne qualité, et il est remarquable que leur présence soit nettement marquée dans le secteur le plus aval du tronçon étudié.

### Résultats de la campagne du 3 octobre 2013 (d'amont en aval)

#### Station LOU3 : Montgesoye

Le faciès radier est très contrasté. Le point central (R2) est de loin (Fig. 34) le plus colonisé. *Homoeothrix* (Cyanobactérie) y présente plus de 3 millions de cellules/cm<sup>2</sup>, tandis que ce sont les diatomées (une vingtaine de taxa) qui participent à la très forte biomasse (485 µg/cm<sup>2</sup>) : parmi elles, figurent de nombreuses *Navicula tripunctata*.

Le faciès lentique reproduit, pour la biomasse, ce même schéma (biofilm plus important au milieu), car ici aussi les diatomées de grande taille (dont de très

nombreuses en vue connective) pèsent dans l'échantillon, mais nettement moins que dans le radier. Quelques fragments d'algues vertes (Chlorophycées), prélevés en rive gauche, correspondent à des concentrations cellulaires très faibles (Fig. 34).

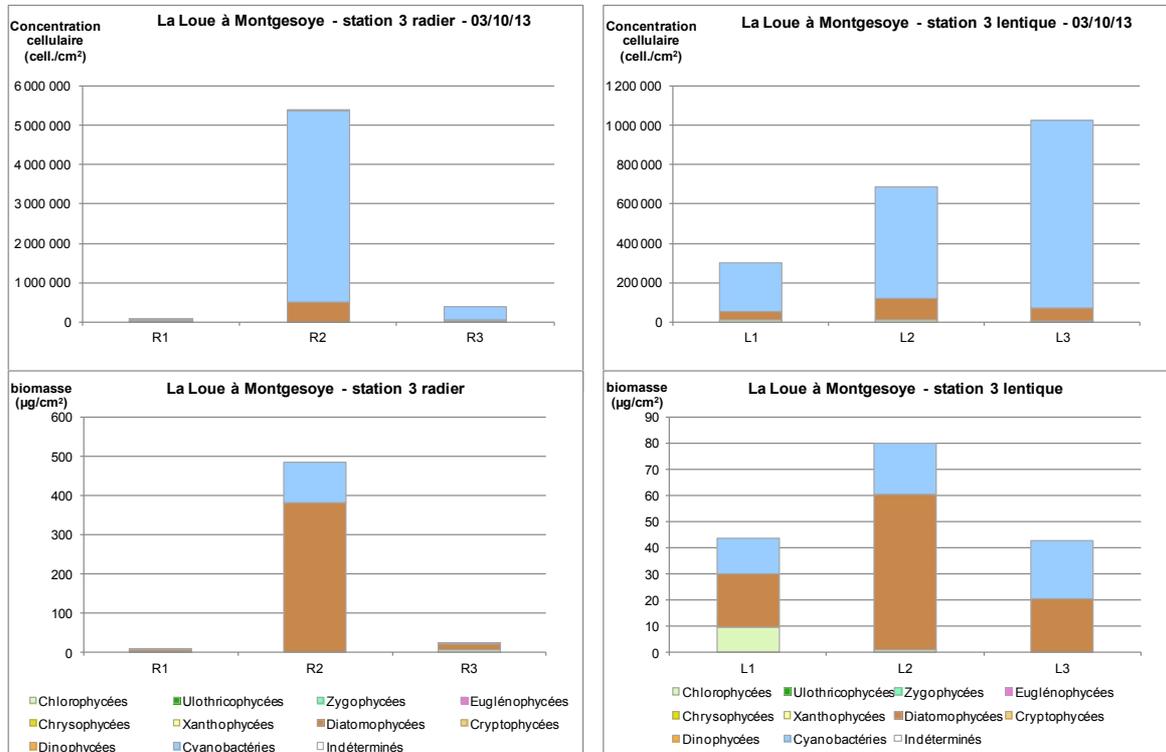


Figure 34. Concentration cellulaire et biomasse pour Montgesoye, tant en radier (à gauche), qu'en lentique (à droite) en octobre 2013

Dans cette station, il existe un gradient croissant rive gauche - rive droite, lié essentiellement à la présence de genres de Cyanobactéries plus diversifiés au centre et en marge droite. Ainsi L2 et L3 contiennent notamment *Aphanothece*, *Chroococcus*, *Hyella*, *Pseudanabaena* qui ne sont pas trouvées dans L1.

### Station LOU5 : Notre Dame

En octobre 2013, c'est cette station qui est la plus colonisée au niveau cellulaire avec, dans l'axe transversal lentique, de grandes différences et avec une colonisation nettement plus forte au centre (plus de 7 millions de cell./cm<sup>2</sup> en L2 - Fig. 35) : ceci est une conséquence partielle du développement de la Cyanobactérie *Homoeothrix janthina*, dont la prépondérance limite l'indice de diversité à 1,31 bits/ind.

Le radier est moins contrasté, le quadrat central (R2) montrant une plus forte densité, mais une richesse et une diversité modestes. Les valeurs observées sont faibles, traduisant une colonisation restreinte à cette période. Les algues vertes sont abondantes, mais les fragments ne sont pas identifiables. En R3, le cortège diatomique est particulièrement fourni. Les populations sont dominées par *Amphora*

*pediculus* et *Achnantheidium pyrenaicum*. Ces diatomées de petite taille, à multiplication rapide, signalent des milieux méso à eutrophes.

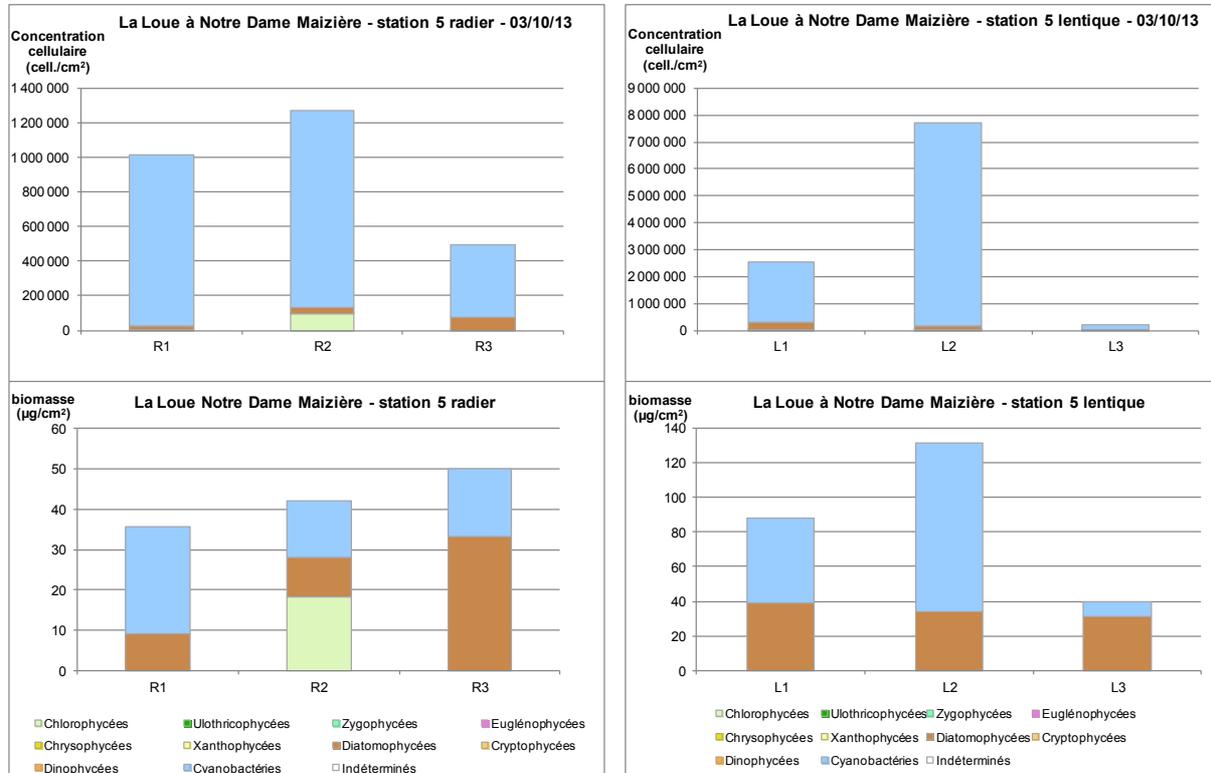


Fig. 35. Concentration cellulaire et biomasse à Notre Dame, en radier (à gauche) et en facies lentique (à droite) en octobre 2013

### Station LOU6 : Scey-en-Varais

Le biofilm augmente progressivement depuis la rive gauche vers la droite. Cette station est caractérisée par l'association de la très petite diatomée *Achnantheidium pyrenaicum* avec de très fins filaments tapissants des Cyanobactéries *Phormidium* et *Homoeothrix janthina*. Dans le radier, cette dernière espèce contribue à une forte densité cellulaire, même si la biomasse est surtout marquée (en R3 et L3 - Fig. 36) par les diatomées.

La présence au point R3 d'*Euglena* (Euglénophycée non identifiée à l'espèce) est à noter, car elle est rare dans la Loue, non seulement parce que c'est une algue flagellée, non adaptée au courant, mais aussi parce qu'*Euglena* indique des apports en matière organique. Or, ceci n'a pas été observé dans les autres stations.

Les densités, les biomasses, les richesses et les diversités floristiques des deux facies étudiés sont similaires.

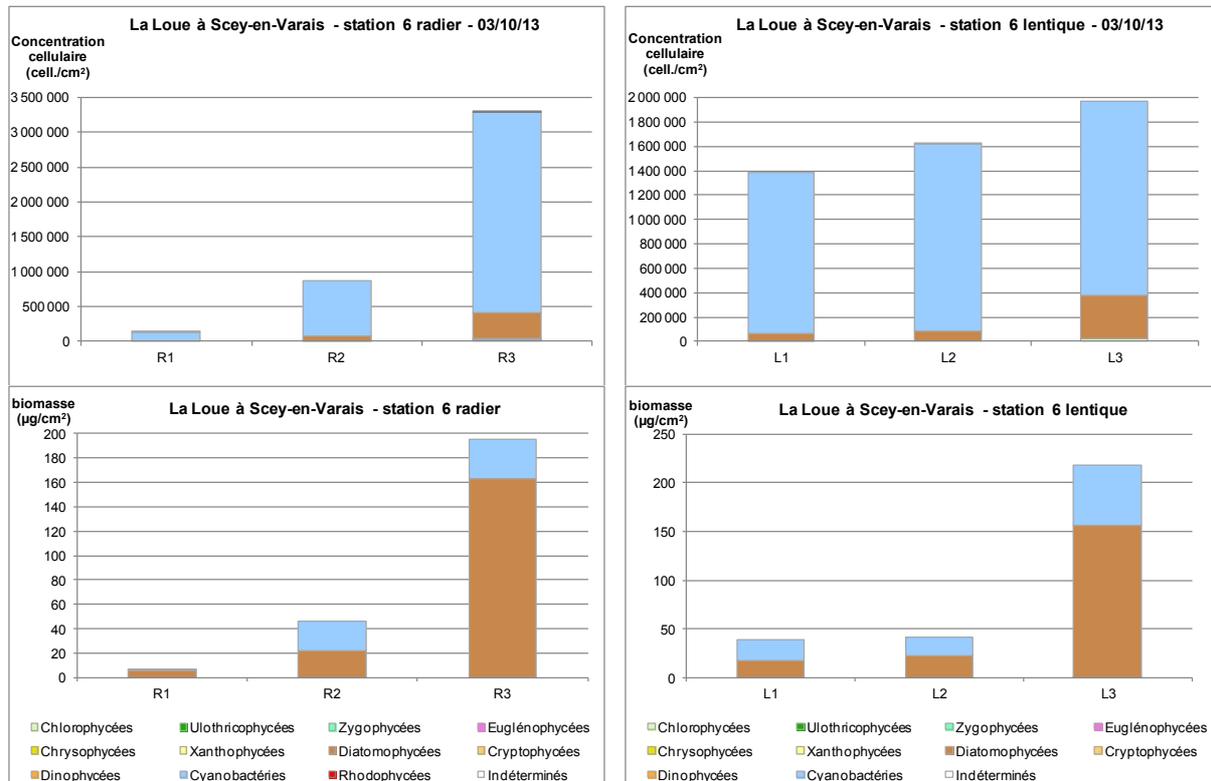


Figure 36. Concentration cellulaire et biomasse à Scey-en-Varais, en radier (à gauche) et en faciès lentique (à droite) en octobre 2013

### Station LOU7 : Les Iles en Gon

Il existe un très fort contraste entre radier (pauvre quantitativement et qualitativement, malgré quelques Rhodophycées en R2 - Fig. 37) et faciès lentique (particulièrement varié en L3).

Dans le radier, la concentration cellulaire (à peine plus de 100 000 cellules/cm<sup>2</sup>) et la biomasse (< 6 µg/cm<sup>2</sup>) présentent les plus faibles moyennes observées dans cette étude. La biomasse est marquée par des fragments d'algues rouges de dimension non négligeable.

Un contraste de richesse et de diversité est observé dans le faciès lentique, où l'indice de diversité de Shannon et la richesse sont maximaux en rive droite (L3). En effet, parmi les 49 taxa identifiés, il y a au moins 5 espèces de *Scenedesmus* (*Sc. apiculatus*, *Sc. dimorphus*, *Sc. lefevrii*...) et des Zygothricophycées telles *Closterium* : cette configuration suggère la proximité de supports macrophytiques, peut-être assez circonscrits. À noter également la présence de Cyanobactéries telles *Merismopedia glauca* ou encore de longs filaments de la diatomée *Melosira varians*, ainsi que d'autres diatomées unicellulaires de taille conséquente telles *Gyrosigma attenuatum*, *G. sciotoense* ou *Cymatopleura solea*.

La campagne d'octobre 2013 est donc caractérisée par des densités et biomasses faibles, un radier presque nu : ceci est à mettre en relation avec les conditions hydrologiques impropres au développement du phytobenthos.

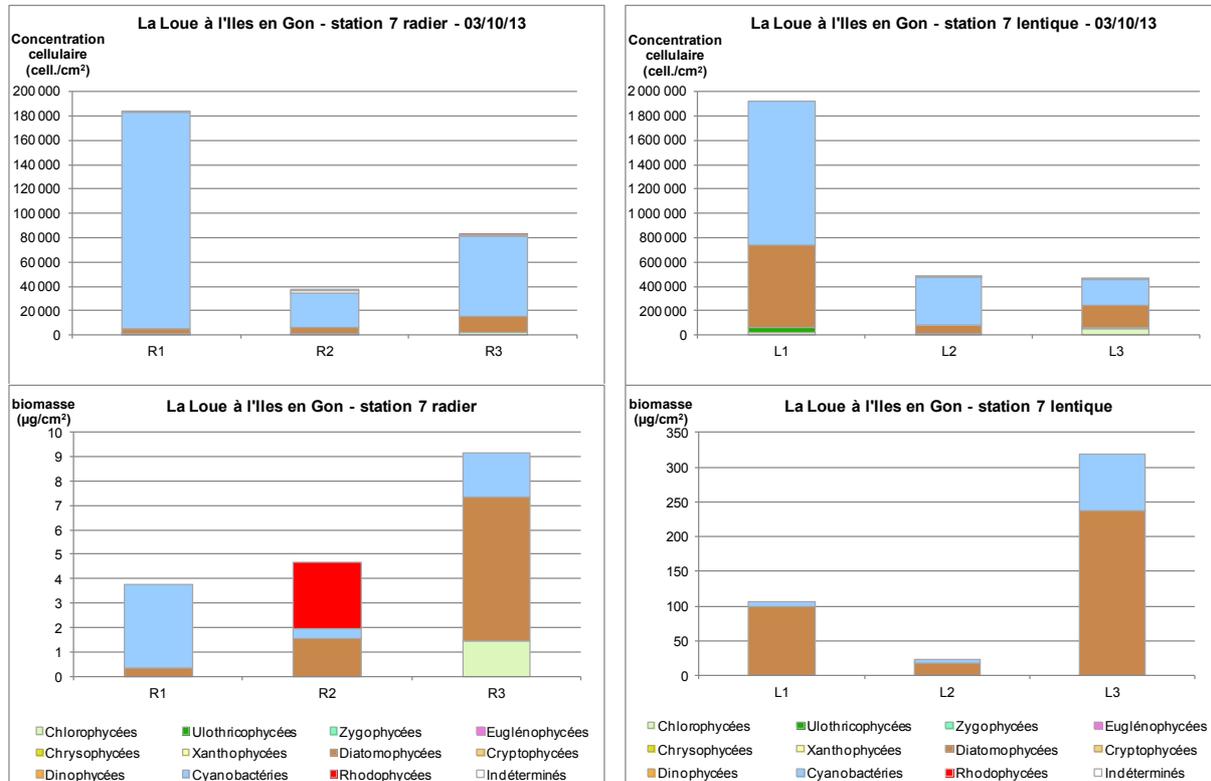


Fig. 37. Concentration cellulaire et biomasse à Iles en Gon, en radier (à gauche) et en faciès lentique (à droite) en octobre 2013

En définitive, par rapport à la campagne réalisée en août de l'année précédente, les densités cellulaires et les biomasses mesurées en octobre 2013 sont nettement plus faibles, malgré parfois de fortes richesses dans les cortèges, indiquant une certaine maturité du biofilm.

### Résultats de la campagne du 14 mars 2014 (d'amont en aval)

#### Station LOU3 : Montgesoye

En mars 2014, les trois échantillons prélevés dans le radier présentent des densités et des biomasses assez proches. Quelques fragments d'algues vertes ramifiées (non identifiables) pèsent un peu sur la biomasse totale (Fig. 38). Hormis la présence relativement rare de la Cyanobactérie *Cyanosarcina chroococcoides* (R2), il existe parmi les Diatomophycées une grande richesse du genre *Diatoma* (*D. tenuis*, *D. mesodon*, *D. moniliformis* et *D. vulgare*). La station est surtout caractérisée par la présence (en R3) de la centrique *Campylodiscus hibernicus*, qui trace en général des eaux eutrophes moyennement riches en électrolytes.

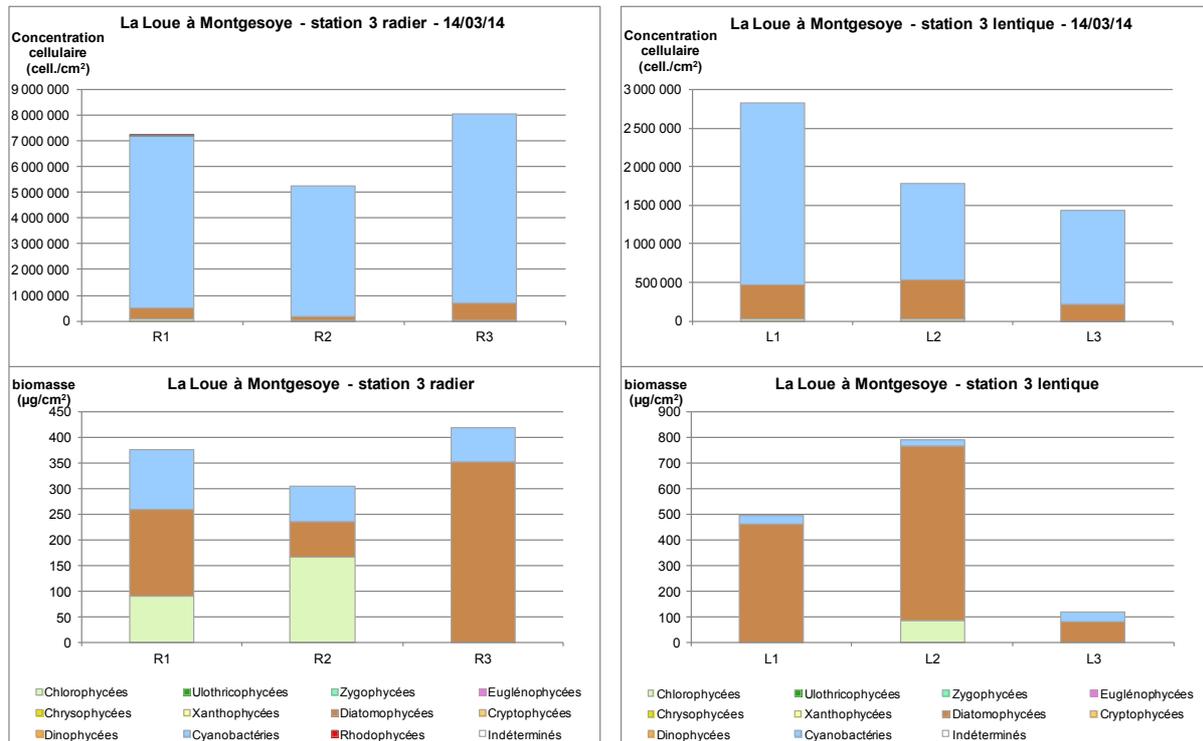


Fig. 38. Concentration cellulaire et biomasse à Montgesoye, en radier (à gauche) et en facies lentique (à droite) en mars 2014

En écoulement lentique, les communautés sont diversifiées, avec des indices de Shannon toujours supérieurs à 3,73 bits/ind., et une richesse de 35 taxa en L2. Dans ce dernier quadrat, la plus forte présence de *Navicula tripunctata* et de *Diatoma vulgare*, Diatomophycées de taille conséquente, montre un biofilm très productif au centre (789  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  - deuxième valeur la plus forte de la campagne).

### Station LOU5 : Notre Dame

Les points au centre des transects sont, à Notre Dame, plus concentrés en cellules, avec notamment le genre *Gomphonema* représenté par plusieurs espèces, dont la plus abondante est *G. elegantissimum* (plutôt radier) accompagnée de *G. olivaceum* et de *G. minutum* (plutôt lentique).

Ces développements se font sur un dense lit de fins filaments de *Homoeothrix janthina*, qui expliquent les densités cellulaires maximales au centre du cours d'eau (R2 et L2).

Quelques algues vertes, se disposant comme des colonies de cellules jointives sans forme définie, comme arrachées à des substrats, subsistent parfois, mais elles ne sont pas suffisamment abondantes pour influencer significativement sur la biomasse (Fig. 39).

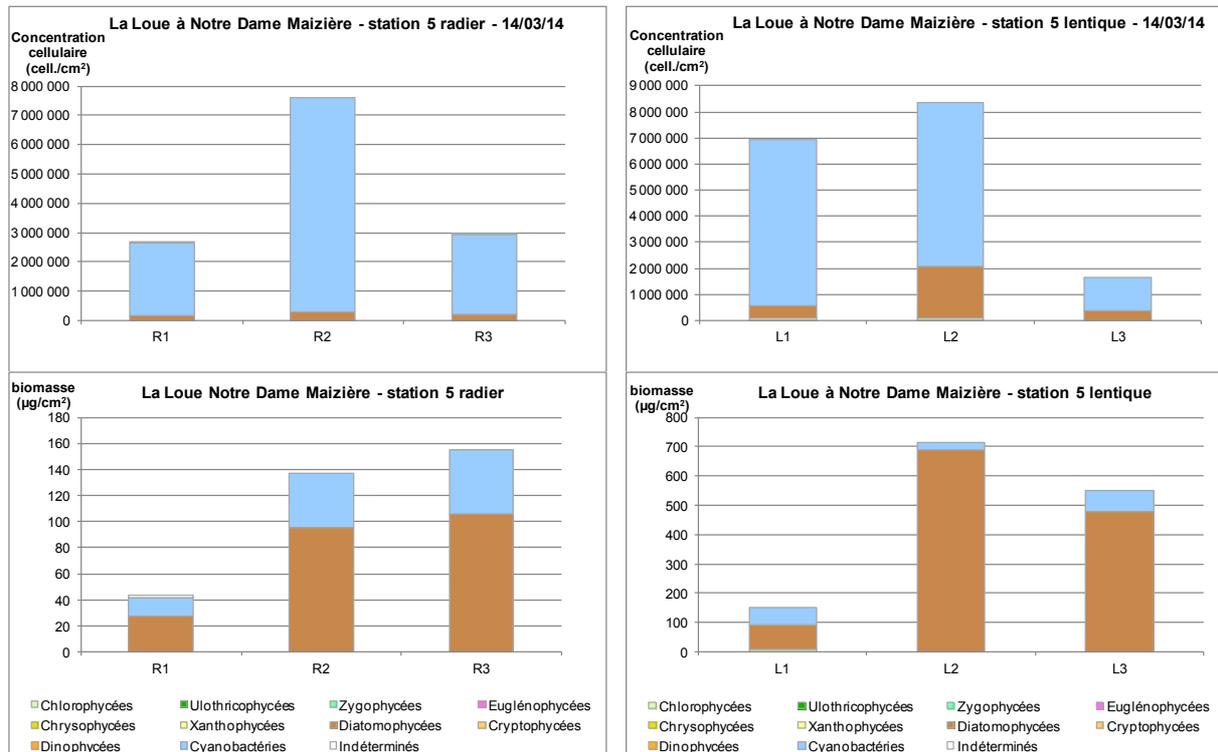


Fig. 39. Concentration cellulaire et biomasse à Notre Dame, en radier (à gauche) et en faciès lentique (à droite) en mars 2014

### Station LOU6 : Scey-en-Varais

Cette station présente en mars 2014, la concentration cellulaire maximale (R2) observée dans ce travail ( $16\,528\,178\text{ cell./cm}^2$ ), ce qui se traduit aussi par une biomasse très élevée ( $617\text{ }\mu\text{g/cm}^2$ ). Comme à Notre Dame, ce sont encore les Cyanobactéries (*Homoeothrix*) qui montrent la plus grande concentration cellulaire et les diatomées dont *Gomphonema elegantissimum* qui constituent la plus forte contribution à la biomasse (presque  $500\text{ }\mu\text{g/cm}^2$  dans le radier).

Une autre diatomée compte ici énormément, surtout dans le faciès lentique ( $> 1$  million de  $\text{cell./cm}^2$  - L3), il s'agit d'*Achnantheidium pyrenaicum*, de très petite taille ( $L = 10\text{ }\mu\text{m}$  ;  $l = 4\text{ }\mu\text{m}$  ;  $e = 2\text{ }\mu\text{m}$ ) et classique des eaux calcaires de bonne qualité en terme de nutriments et de matière organique.

Que ce soit en faciès radier ou lentique (Fig. 40), le chenal central de la rivière (L2 et R2) est celui qui présente les plus fortes valeurs.

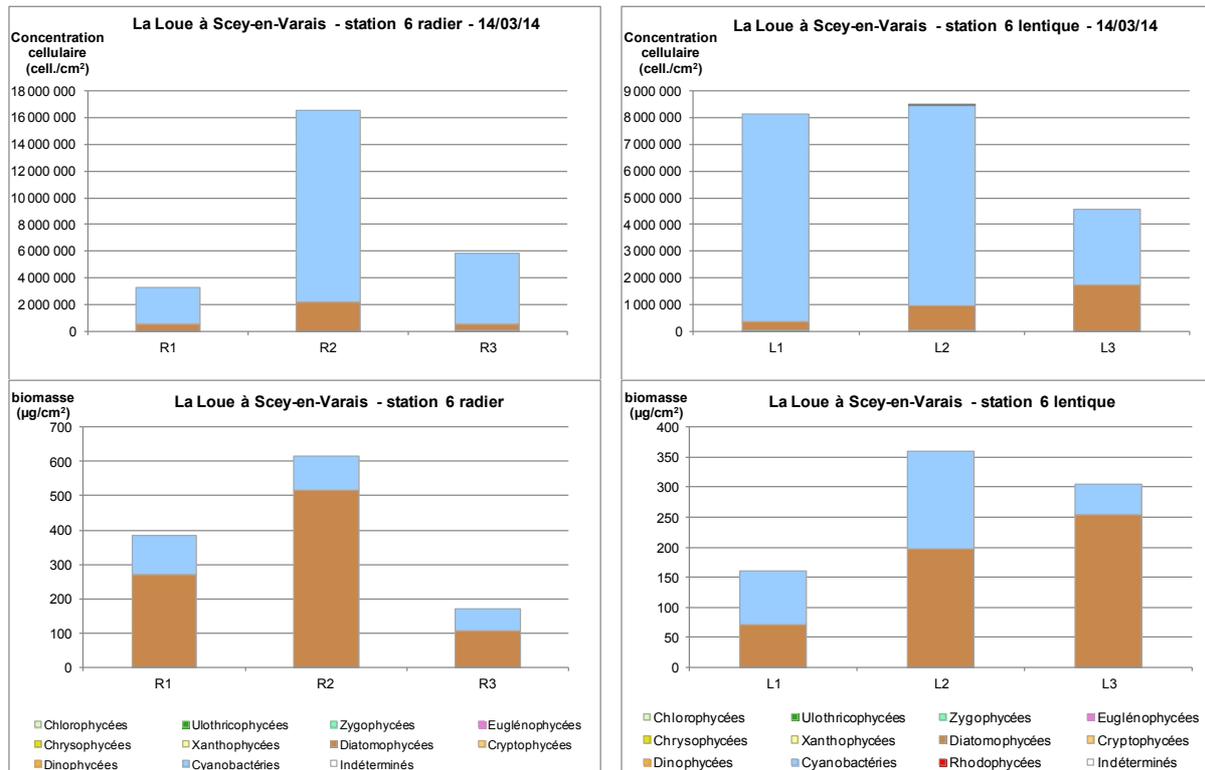


Figure 40. Concentration cellulaire et biomasse à Scey-en-Varais en radier (à gauche) et en faciès lentique (à droite) en mars 2014

### Station LOU7 : Les Iles en Gon

La station Iles en Gon montre une flore originale liée à la présence accentuée d'algues rouges, plutôt rares en amont. C'est particulièrement le cas lors de cette prospection post-hivernale (Fig. 41), où le secteur radier est fortement dominé par *Audouinella* et par *Batrachospermum*. La biomasse mesurée en R2 atteint la plus forte valeur mesurée lors de cette étude : 896 µg/cm<sup>2</sup>.

L'abondance des Rhodophycées s'explique sans doute par leur affinité pour les eaux assez froides. En effet, cette station est le siège de résurgence à fort débit qui rafraîchissent la Loue en été (cf. volet qualité physique). En revanche, ce radier est de tous les transects de l'étude celui qui affiche la plus faible richesse taxonomique moyenne (21 taxa).

Le contraste est d'autant plus criant que le faciès lentique avait montré, lors de la campagne précédente (03/10/13), des maxima de richesse et d'indice de diversité. Cette fois-ci, le phytobenthos y est, comme dans les stations amont, fortement dominé par les Cyanobactéries (*Homoeothrix*, *Pleurocapsa*) en terme de concentration cellulaire et par les Diatomophycées (*Gomphonema*, *Achnantheidium*) pour la biomasse.

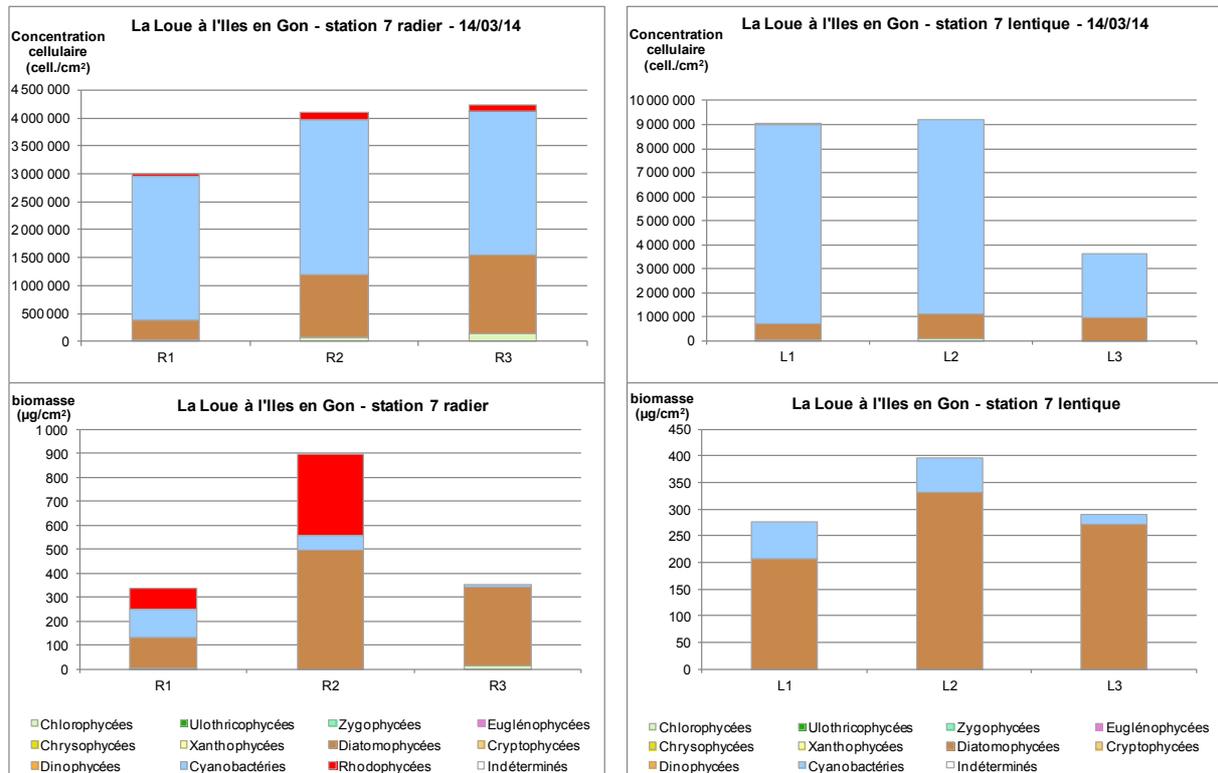


Figure 41. Concentration cellulaire et biomasse à l'Îles-en-Gon, en radier (à gauche) et en faciès lentique (à droite), en mars 2014

Résultats de la campagne du 16 juin 2014 (d'amont en aval)

Station LOU3 : Montgesoye

Le maximum de concentration cellulaire (R2 = 15 146 794 cell./cm<sup>2</sup> - Fig. 42) dans la station de Montgesoye est observée dans cette campagne. C'est également en faciès radier qu'est constatée la plus forte biomasse (708 µg/cm<sup>2</sup> - R2), qui dans ce cas, est due essentiellement aux diatomées, dans l'ordre *Nitzschia fonticola*, *Gomphonema olivaceum* et *Achnantheidium pyrenaicum* (également beaucoup de pennées en vue connective, non réparties). Le centre du lit présente les valeurs les plus fortes.

Les algues vertes sont assez peu représentées, malgré la présence d'amas coloniaux qui n'ont pas été déterminés, leur présence n'étant pas assez fréquente pour contribuer à la biomasse.

Ce sont les cyanobactéries qui contribuent à la densité cellulaire (*Homoeothrix*, mais aussi *Chamaesiphon incrustans*, *Phormidium tergestinum*) alors que la biomasse est marquée par des Diatomophycées en abondance telles *Navicula tripunctata* et diverses *Gomphonema*.

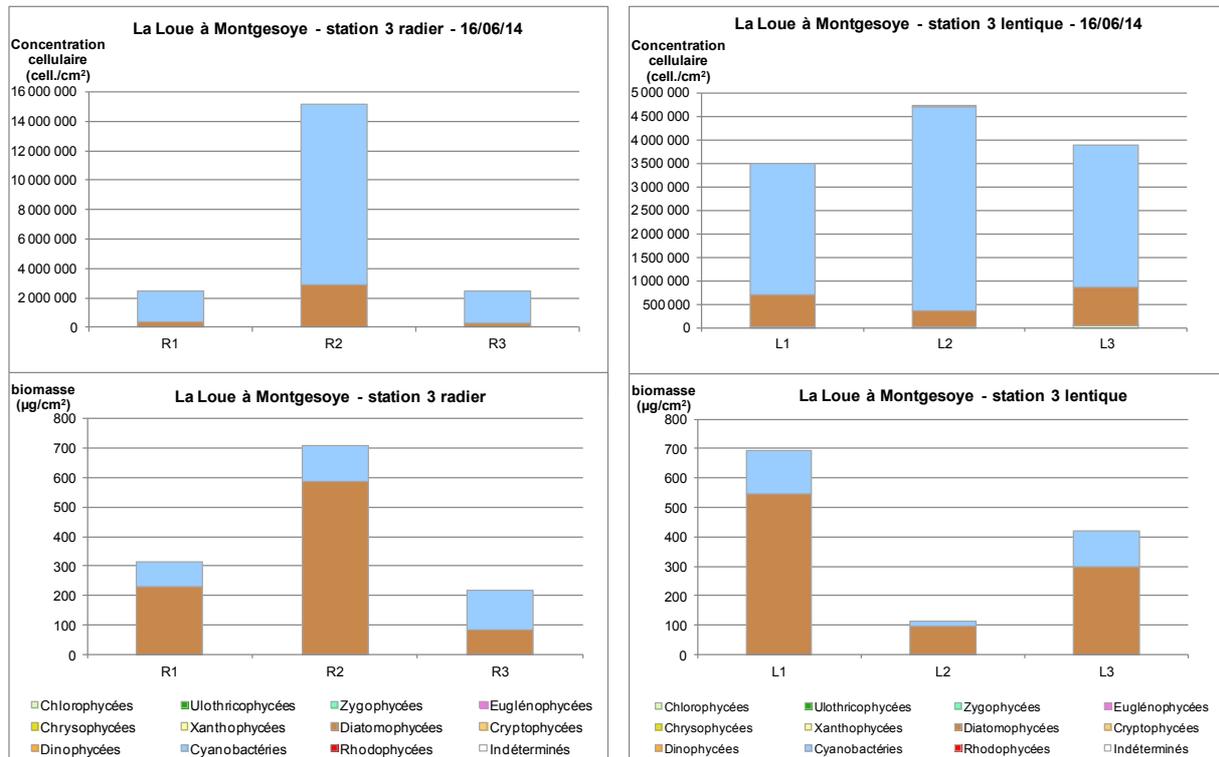


Figure 42. Concentration cellulaire et biomasse pour Montgesoye, en radier (à gauche) et en facies lentique (à droite) en juin 2014

Ainsi, à la mi-juin 2014, cette station est très bien tapissée par le biofilm, qu'il s'agisse de densité, de biomasse ou de richesse taxinomique, surtout dans le secteur radier.

### Station LOU 5 : Notre Dame

Cette station, particulièrement colonisée par les Cyanobactéries, souvent largement dominantes en nombre, est aussi celle dont la richesse n'a jamais dépassé 26 taxa simultanément dans le radier, ce qui est encore le cas à deux reprises à cette date (16/06, R1 et R3). Cette station se distingue par la présence de lambeaux de l'Ulothricophycée *Ulvella* qui participe au total cellulaire (Fig. 43).

La biomasse est davantage impactée par les Diatomophycées, (un peu moins dans les placettes R1 et L3). Il s'agit de mélanges équilibrés d'espèces, mais *Navicula tripunctata*, par sa taille et sa fréquence, arrive presque toujours en tête de cortège du point de vue de la biomasse produite.

Des Cyanobactéries moins fréquentes interviennent aussi dans la biomasse, tels les genres *Phormidium* et *Hyella*.

Cette station, qui ne se distingue pas particulièrement par ses concentrations cellulaires, montre quelques algues qui colonisent le site et qui ne sont pas aussi fréquentes ailleurs.

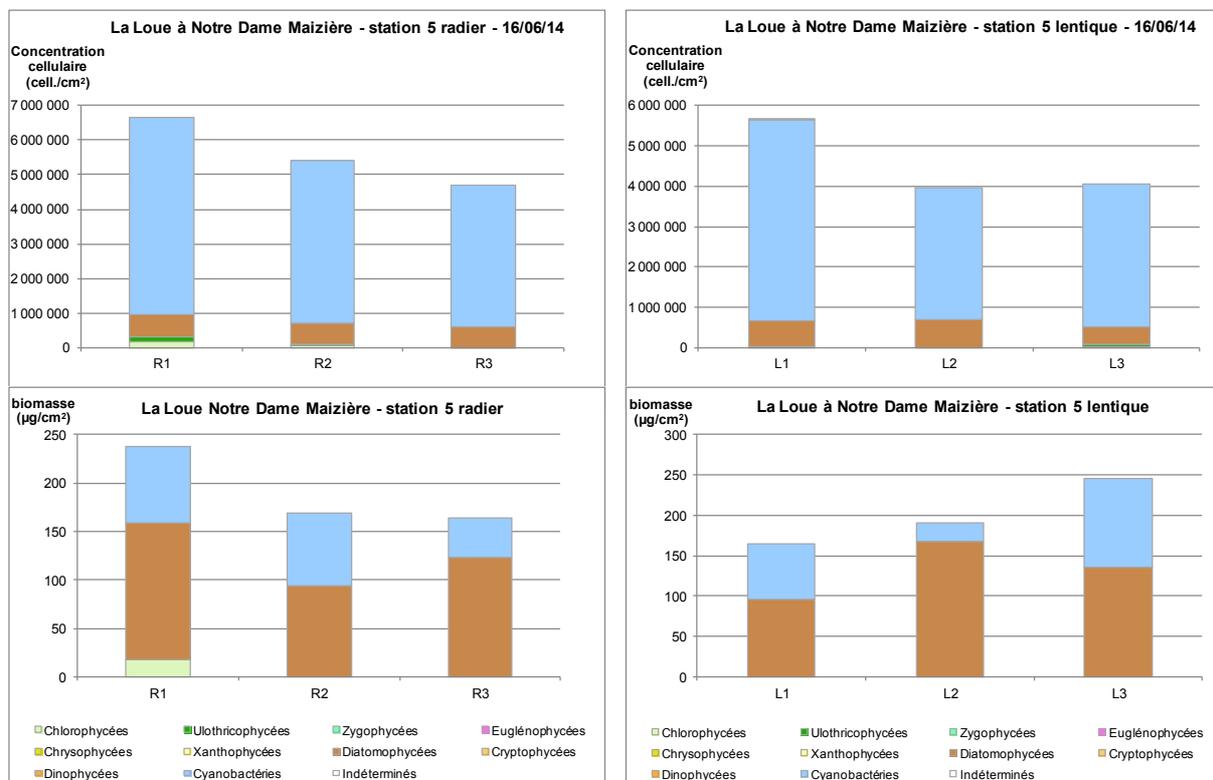


Fig. 43. Concentration cellulaire et biomasse à Notre Dame, en radier (à gauche) et en faciès lentique (à droite) en juin 2014

### Station LOU6 : Scey-en-Varais

Les deux stations LOU5 et LOU6 présentent des caractéristiques communes (Fig. 43 et 44). Le faciès lentique est toujours dominé par les Cyanobactéries, et en particulier par *Phormidium tergestinum* qui rend compte de la biomasse ; c'est aussi le cas de la diatomée *Amphora ovalis*, qui est très dense dans cette station (moins nombreuse qu'*Amphora pediculus*, mais nettement plus volumineuse). En rive droite (L3), des filaments de *Bangia* (Rhodophycée) sont présents alors qu'ils sont plutôt rares dans ce contexte et qu'ils tracent des eaux bien oxygénées.

Dans la partie radier, les différences entre les stations sont peu marquées (Fig. 44), avec un poids particulier d'une algue verte *Ulvella* (R1) dans la biomasse (station 5, 16/06/14) qui se présente sous forme de petits lambeaux décrochés du substrat. *Achnanthydium pyrenaicum* est toujours très représenté (de l'ordre de 450 000 cell./cm<sup>2</sup>), et influe sur la biomasse malgré ses faibles dimensions. D'autres diatomées forment le cortège de fond, comme *Gomphonema pumilum* var. *rigidum* et *Navicula tripunctata*, mais le tout est mélangé avec des filaments d'*Homoeothrix* et de *Phormidium*.

Cette station présente à la fois la plus forte concentration cellulaire moyenne de toute l'étude et le minimum le plus élevé : son faciès lentique est fortement colonisé en

tout point, avec des diversités présentant les mêmes ordres de grandeur que les stations immédiatement à l'amont et à l'aval.

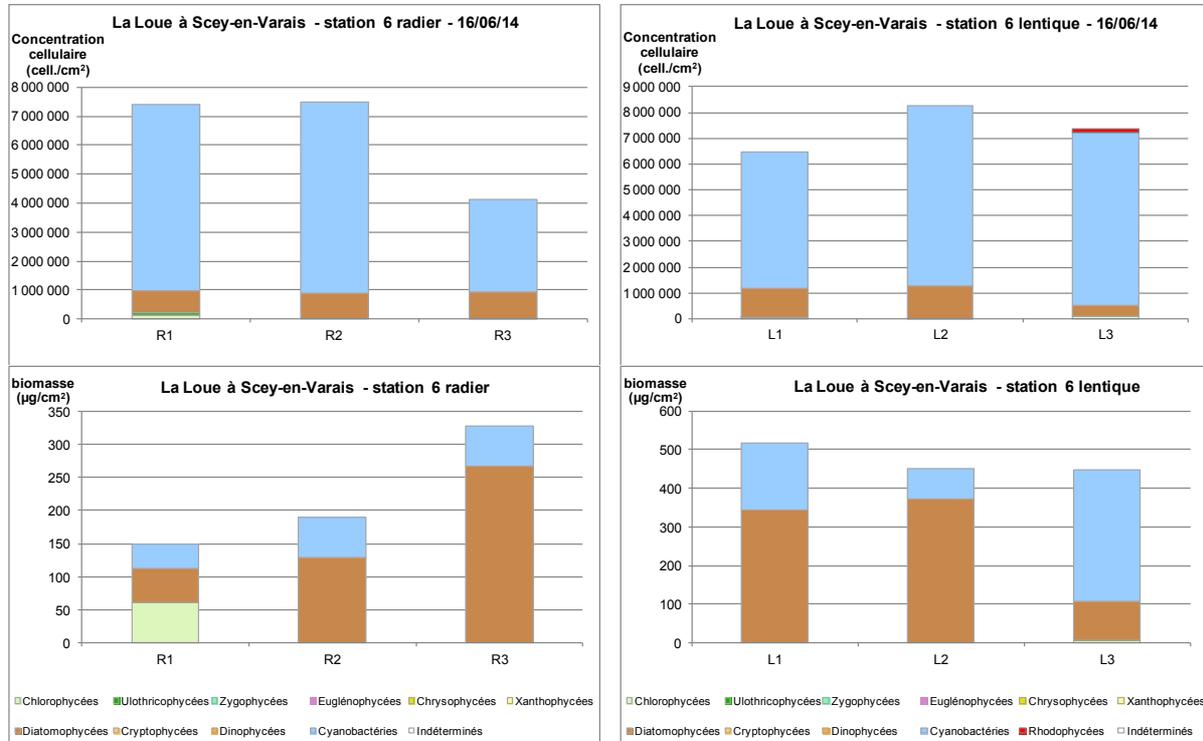


Figure 44. Concentration cellulaire et biomasse à Scy-en-Varais, en radier (à gauche) et en faciès lentique (à droite), en juin 2014

### Station LOU7 : Les Iles en Gon

Dans cette station, l'indice de diversité de Shannon fluctue beaucoup d'une campagne et d'un transect à l'autre, reflétant des compositions de la microflore contrastées et variables : il passe de 1,40 bits/ind. (en L2 le 14/03/14) à 4,70 bits/ind. (en L3 le 03/10/13). En juin 2014, la situation est intermédiaire, avec une richesse un peu plus forte que la moyenne (entre 20 et 32 taxa selon les placettes).

Pour la campagne considérée, la zone centrale de cette station est nettement moins colonisée (en densité et en biomasse) en faciès radier (R2), alors que c'est l'inverse en faciès lentique où L2 est le point le plus concentré (Fig. 45). En ce qui concerne la densité cellulaire, les Cyanobactéries dominent largement (toujours >50%), mais on note également la présence des diatomées, très variées, des Chlorophycées et des Rhodophycées (Fig. 45) même si ces organismes sont souvent dans des états morphologiques difficilement identifiables (morcelés).

La présence de genres planctoniques ou méroplanctoniques (*Kirchneriella*, *Scenedesmus* - Chlorophycées ou *Aphanocapsa* - Cyanobactérie) pourrait indiquer l'influence d'écoulements calmes, avec un compartiment macrophytique assez actif.

La station Iles en Gon est contrastée ; le faciès lotique y montre la moyenne minimale de la richesse taxonomique, alors que le secteur lentique affiche les valeurs maximales de la richesse et de la diversité enregistrées au cours de toute l'étude.

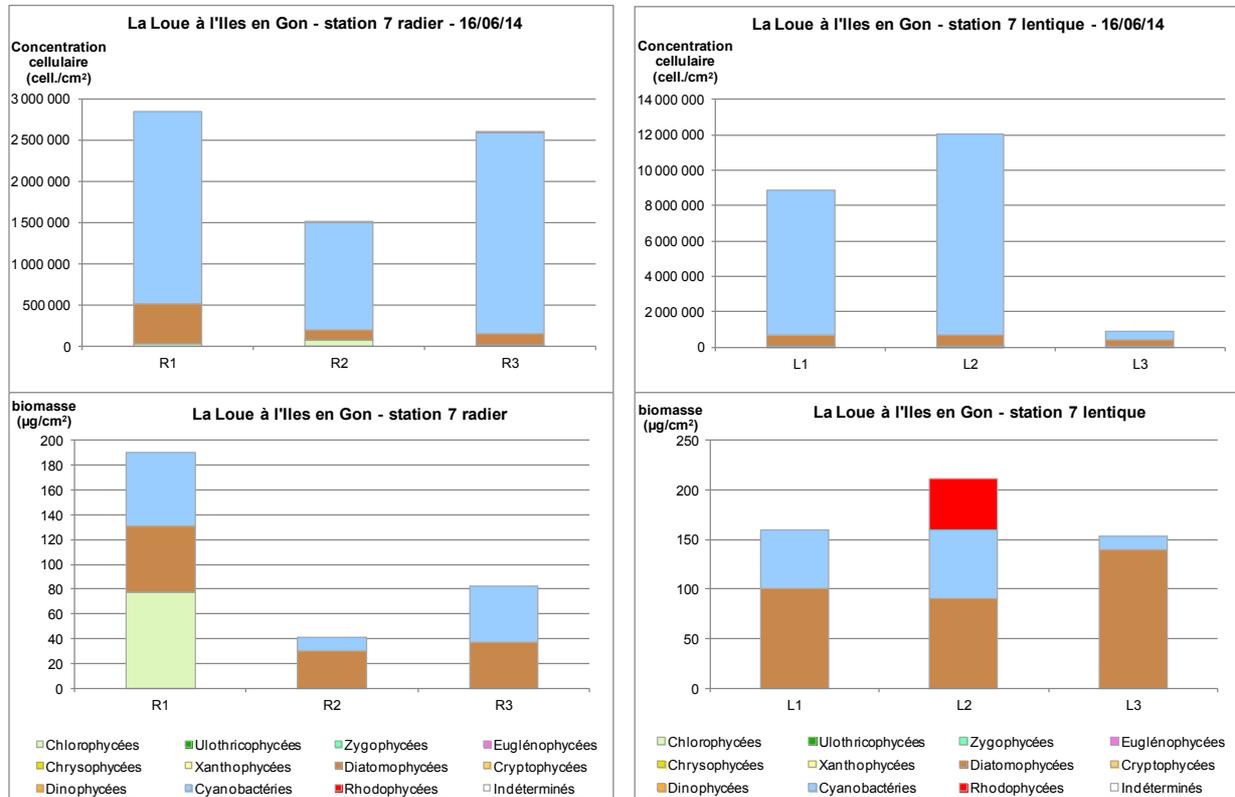


Figure 45. Concentration cellulaire et biomasse à l'Iles-en-Gon, en radier (à gauche) et en faciès lentique (à droite) en juin 2014

## Synthèse

### Comparaison du phytobenthos des 2 faciès

La comparaison des 2 faciès permet de mettre en évidence des différences de densité et de biomasse entre les différentes stations (Fig. 46) :

- la station LOU3 (Montgesoye) est la plus riche en phytobenthos : elle présente de fortes valeurs de biomasse et parfois de densité cellulaire ;
- la station LOU7 (Iles-en-Gon) est la plus pauvre, surtout en variété et en diversité ;
- les stations médianes, LOU5 et LOU6 (Notre Dame et Scey-en-Varais) ont des profils similaires et intermédiaires.

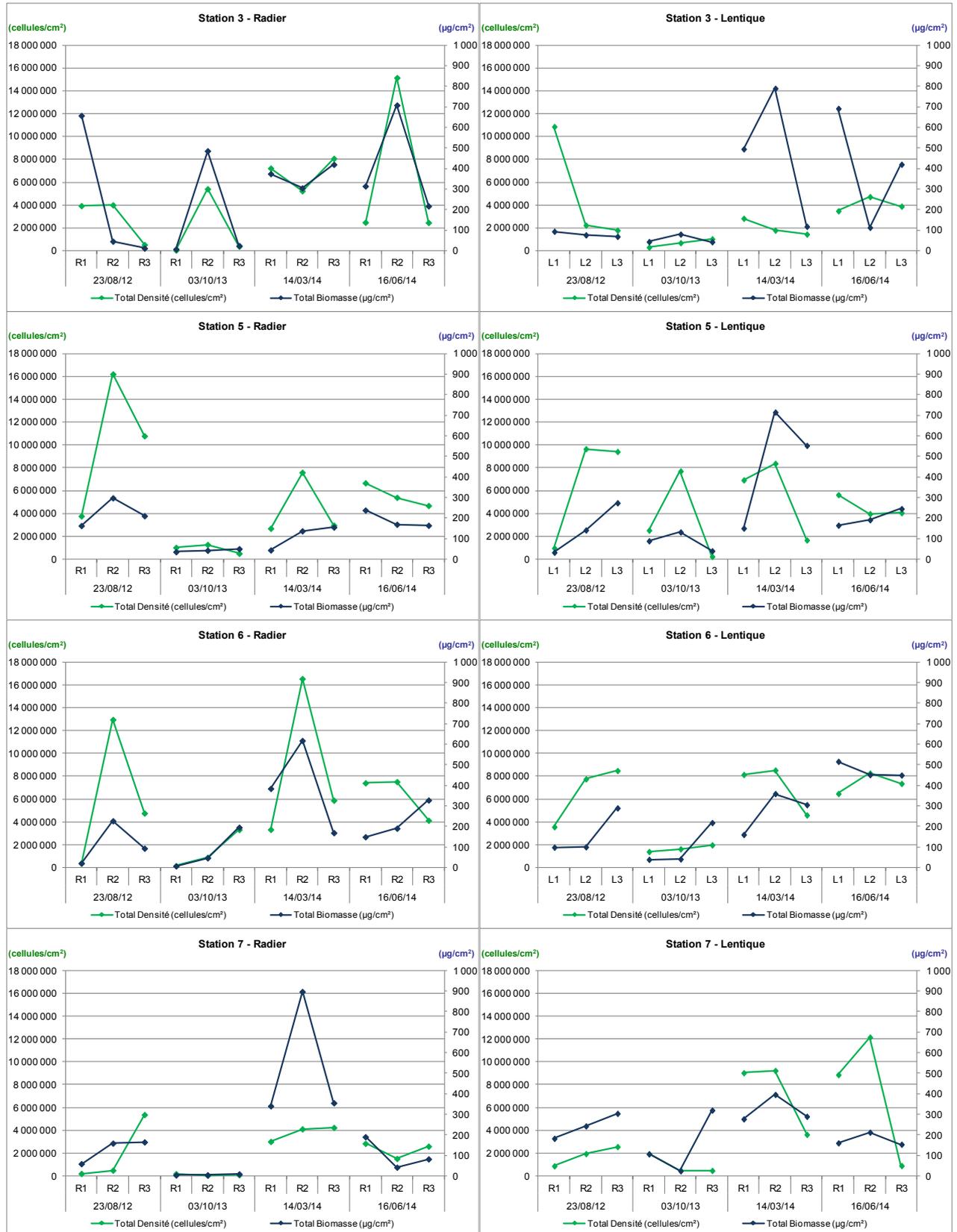
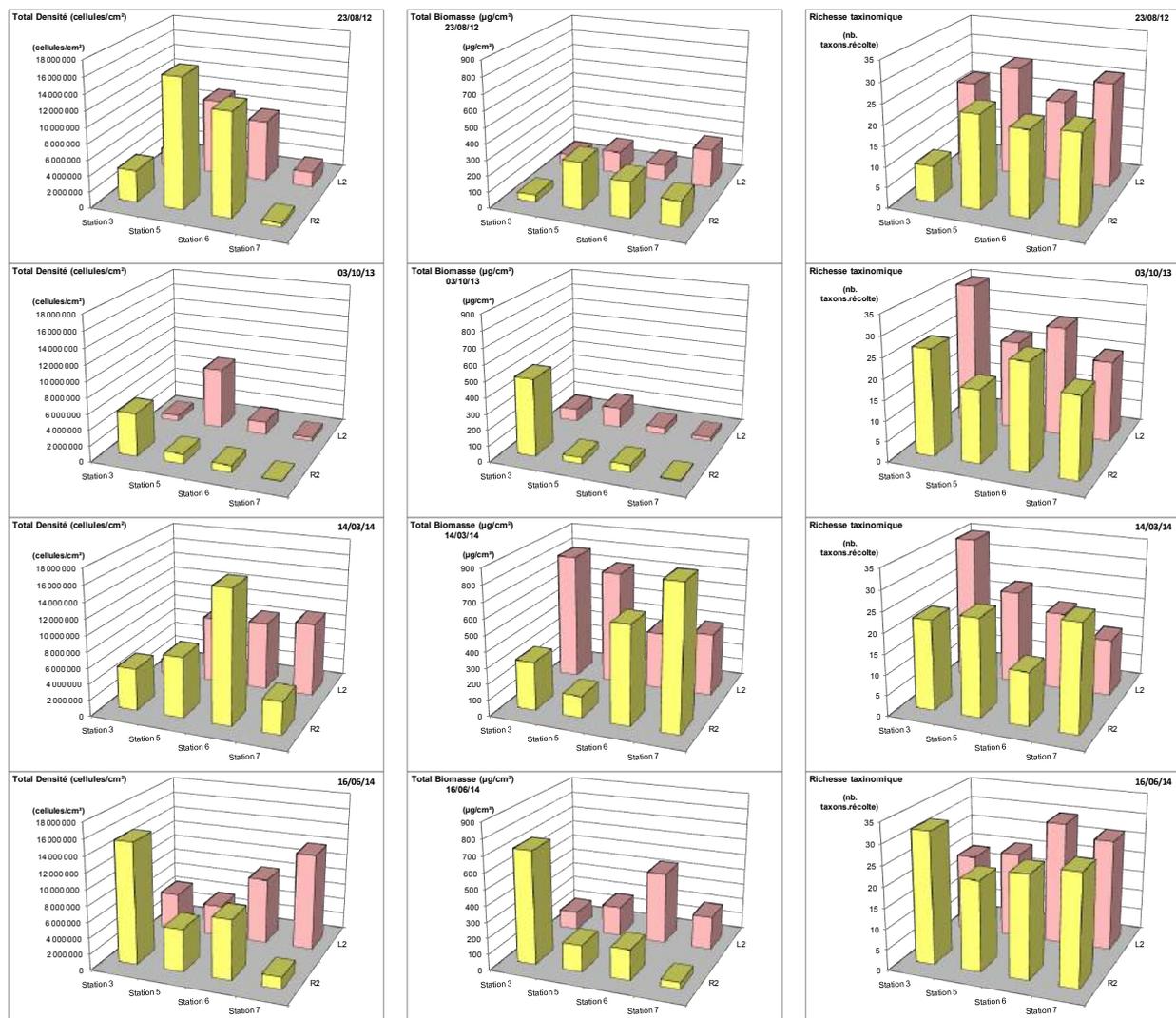


Figure 46. Variations spatio-temporelles de la densité cellulaire et de la biomasse

La variabilité intra-transect est très forte, mais, en général la zone centrale de la station (L2 ou R2) s'avère la plus productive, en biomasse et en densité. Cette tendance est plus nette dans les radiers que dans les plats. Enfin, sauf pour quelques échantillons, les prélèvements de la campagne d'octobre 2013 sont nettement moins denses que ceux des 3 autres campagnes.

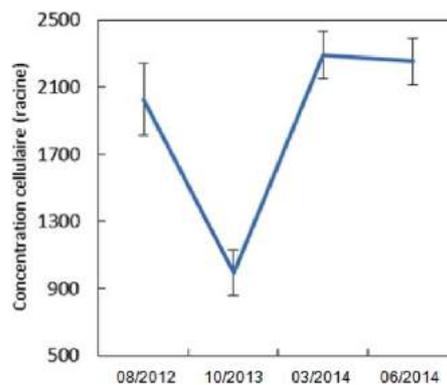
Sur chaque transect, les variations transversales sont importantes : la composition et la densité du phytobenthos varient le long de la largeur du cours d'eau. En outre, même si l'on ne considère que la partie centrale de chaque transect, les variabilités longitudinales sont considérables et leur sens varie dans le temps. Aucun motif commun aux différentes campagnes ne peut être repéré (Fig. 47).



**Figure 47. Densité cellulaire, biomasse et richesse du phytobenthos dans les points centraux des faciès lentique et radier (L2 et R2) de 4 stations de la Loue, au cours de 4 campagnes échelonnées de 2012 à 2014.**

De toutes les stations, la première (Montgesoye) apparaît plus riche que les autres, ce qui n'est pas habituel pour un secteur amont.

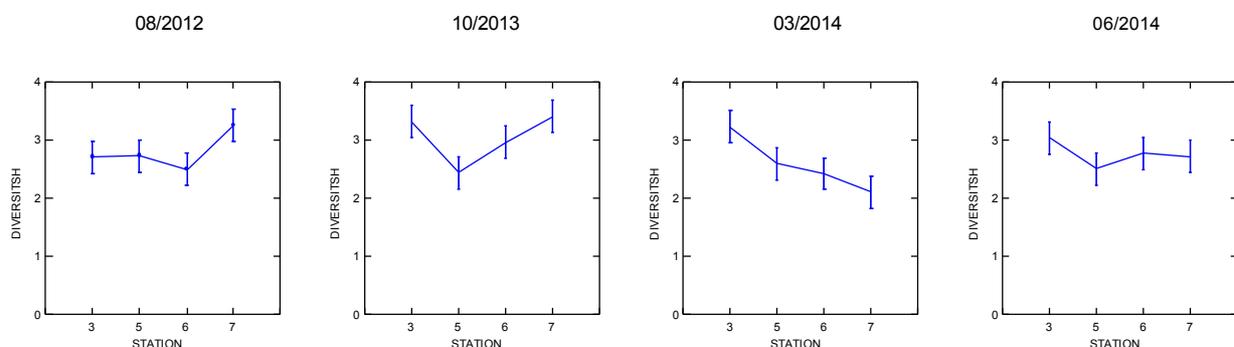
Il n'y a pas de différence de densité cellulaire et de biomasse moyennes entre stations sauf en ce qui concerne la 2<sup>ème</sup> campagne (octobre 2013) qui se distingue en présentant une concentration cellulaire et une biomasse significativement plus faibles (Fig. 48).



**Fig. 48. Variations de la concentration cellulaire moyenne en fonction du temps tous faciès confondus et toutes stations confondues**

Toutes stations et toutes dates confondues, la richesse taxinomique est significativement plus élevée dans le faciès lentique par rapport au radier. Ceci peut correspondre à une différence de morphologie du centre du cours d'eau, plutôt en cuvette dans les faciès lentiques (L2 est alors souvent le plus profond), et plutôt en dôme dans le cas des radiers (R2 est souvent le moins profond). Cependant, sur le plan statistique, seul le paramètre richesse taxinomique, s'avère significativement différent (plus forte d'environ 2 taxa en moyenne) en faciès lentique qu'en radier.

L'indice de diversité de Shannon ne présente aucune différence significative entre les 4 campagnes ou entre les différentes stations (Fig. 49).



**Fig. 49. Variations de l'indice de diversité de Shannon en fonction de la station et des dates des campagnes**

### Les espèces présentes

Au cours des 4 campagnes, 204 taxa ont été identifiés, ce qui indique un milieu très riche en diversité algale. Parmi les organismes constituant ce biofilm, la plupart sont réellement benthiques, d'autres le sont de façon plus aléatoire, soit transitoirement au cours de leur cycle de développement, soit piégés à l'occasion par des courants plus faibles.

Ces taxons se répartissent dans 11 classes (Fig. 50). Les Diatomophycées représentent à elles seules 52% des taxons identifiés.

Pour les 3 principales classes (Diatomophycées, Chlorophycées, Cyanobactéries), la richesse taxonomique dépasse trente taxons. En revanche, les Chrysophycées (*Dinobryon divergens*), Xanthophycées (*Tribonema*), Cryptophycées (*Cryptomonas*) et Dinophycées (Péridinien) ne sont représentées chacune que par un seul taxon.

#### La Loue (4 st. confondues)

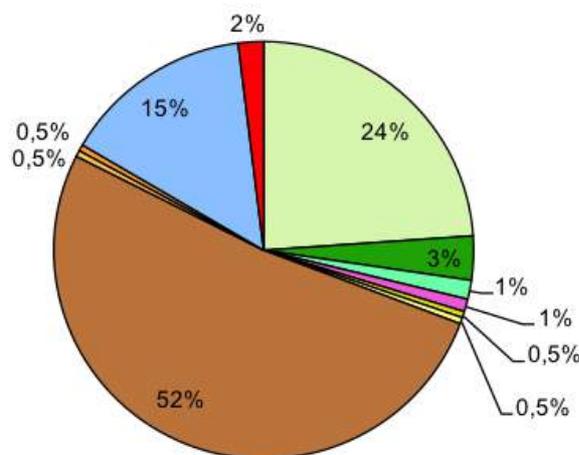
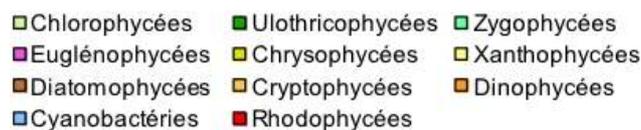


Figure 50. Répartition par classe des 204 taxa identifiés sur la Loue au cours des 4 campagnes, dans le tronçon compris entre Montgesoye et Iles en Gon entre 2012 et 2014

L'examen des espèces prédominantes révèle plusieurs tendances (Tab. 8) :

- une espèce de diatomée est observée dans toutes les stations, lors des 4 campagnes : *Achnanthydium pyrenaicum* (Hustedt) H. Kobayasi, caractéristique de milieux calcaires de bonne qualité, sensible à la matière organique bien que tolérant un niveau moyen en nutriments ;
- une Cyanobactérie est aussi présente dans toutes les stations : *Homoeothrix* - le plus souvent *H. janthina* (Bornet et Flahault) Starmach, - est typiquement épiphytique et recouvre les substrats par touffes, dont les filaments restent assez parallèlement disposés. *Homoeothrix* affectionne des eaux rapides et de bonne qualité (Kormarék, comm. pers) ;

- une autre Cyanobactérie est également présente dans les 4 stations au cours des 4 campagnes : il s'agit du genre *Phormidium*, avec différentes espèces telles *Ph. granulatum*, *Ph. taylori*, *Ph. tergestinum* ; parfois mélangées, souvent en masse, il est difficile de les séparer lors des comptages ;
- d'autres espèces sont présentes sur tout le tronçon étudié durant une seule campagne : *Gomphonema elegantissimum* colonise toutes les stations en mars 2014, période pendant laquelle les températures froides conviennent à son écologie (VAN DAM et al., 1994) ; *Scenedesmus* groupe *Acutodesmus* (Chlorophycée) est présent dans les 4 stations en août 2012 ;
- enfin, parmi les taxons identifiés, il y a aussi ceux qui ne sont présents que de manière ponctuelle, même si les effectifs ont été assez importants pour être placés parmi les 3 premiers rangs : c'est par exemple le cas des Cyanobactéries *Chamaesiphon*, *Cyanosarcina chroococcoides*, *Gloeocapopsis*.

La Loue - principaux taxa		Station				Campagne			
Taxon	Classe	3	5	6	7	août-12	oct-13	mars-14	juin-14
<i>Achnantheidium</i>	Diatomophycées	x			x	x	x	x	
<i>Achnantheidium minutissimum</i>	Diatomophycées		x	x		x			
<i>Achnantheidium pyrenaicum</i>	Diatomophycées	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Amphora pediculus</i>	Diatomophycées				x				x
<i>Aphanocapsa</i>	Cyanobactéries		x		x		x	x	
<i>Aphanothece</i>	Cyanobactéries	x			x	x	x		
<i>Chamaesiphon</i>	Cyanobactéries			x				x	
<i>Chroococcopsis fluviatilis</i>	Cyanobactéries				x			x	x
colonies vertes indéterminées	Chlorophycées		x	x	x	x	x		x
<i>Cyanosarcina chroococcoides</i>	Cyanobactéries	x						x	
<i>Gloeocapopsis</i>	Cyanobactéries				x		x		
<i>Gomphonema elegantissimum</i>	Diatomophycées	x	x	x	x			x	
<i>Gomphonema olivaceum</i>	Diatomophycées		x					x	
<i>Gomphonema spp.</i>	Diatomophycées	x			x		x		x
<i>Homoeothrix</i> (dont <i>H. janthina</i> )	Cyanobactéries	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Hyella</i>	Cyanobactéries	x		x	x	x	x		x
<i>Melosira varians</i>	Diatomophycées				x		x		
<i>Navicula cryptotenella</i>	Diatomophycées	x	x			x	x		
<i>Navicula reichardtiana</i>	Diatomophycées			x		x			
<i>Navicula tripunctata</i>	Diatomophycées	x	x	x			x	x	x
pennées (vues connectives)	Diatomophycées		x					x	
<i>Phormidium</i> ( <i>Ph. tergestinum</i> , <i>Ph. granulatum</i> , <i>Ph. taylori</i> , ...)	Cyanobactéries	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Pleurocapsa</i>	Cyanobactéries			x	x			x	
<i>Pseudanabaena</i>	Cyanobactéries	x					x		
Rhodophycées indéterminées	Rhodophycées				x	x			
<i>Scenedesmus</i> gr. <i>Acutodesmus</i>	Chlorophycées	x	x	x	x	x			
<i>Xenococcus minimus</i>	Cyanobactéries		x	x			x		

**Tableau 8. Liste des taxons présentant les 3 densités cellulaires les plus importantes dans au moins un des prélèvements**

L'écologie des Diatomophycées a été en partie décrite par VAN DAM et al. (1994) et par LECOINTE et al. (1993). Ce n'est pas le cas pour les Cyanobactéries benthiques : celles identifiées ici sont connues pour caractériser des cours d'eau rapides, plutôt de bonne qualité, mais sans autre précision.

Le genre *Phormidium* est potentiellement toxique. Toutefois, les espèces présentes dans la Loue ne semblent pas être considérées comme toxiques, mais il est possible que d'autres espèces que nous n'avons pas identifiées soient présentes dans d'autres sites et à d'autres périodes.

D'autres genres de Cyanobactéries tels *Chroococcopsis*, *Hyella*, *Xenococcus* ont des écologies moins connues. Leur occurrence est en général plus sporadique, et il n'est pas possible de les relier à des caractéristiques particulières.

### Discussion et conclusion

La présente étude montre l'importante hétérogénéité du phytobenthos dans les 4 stations qui jalonne la Loue entre l'amont d'Ornans (Montgesoye) et l'aval de Cléron (Les Iles en Gon).

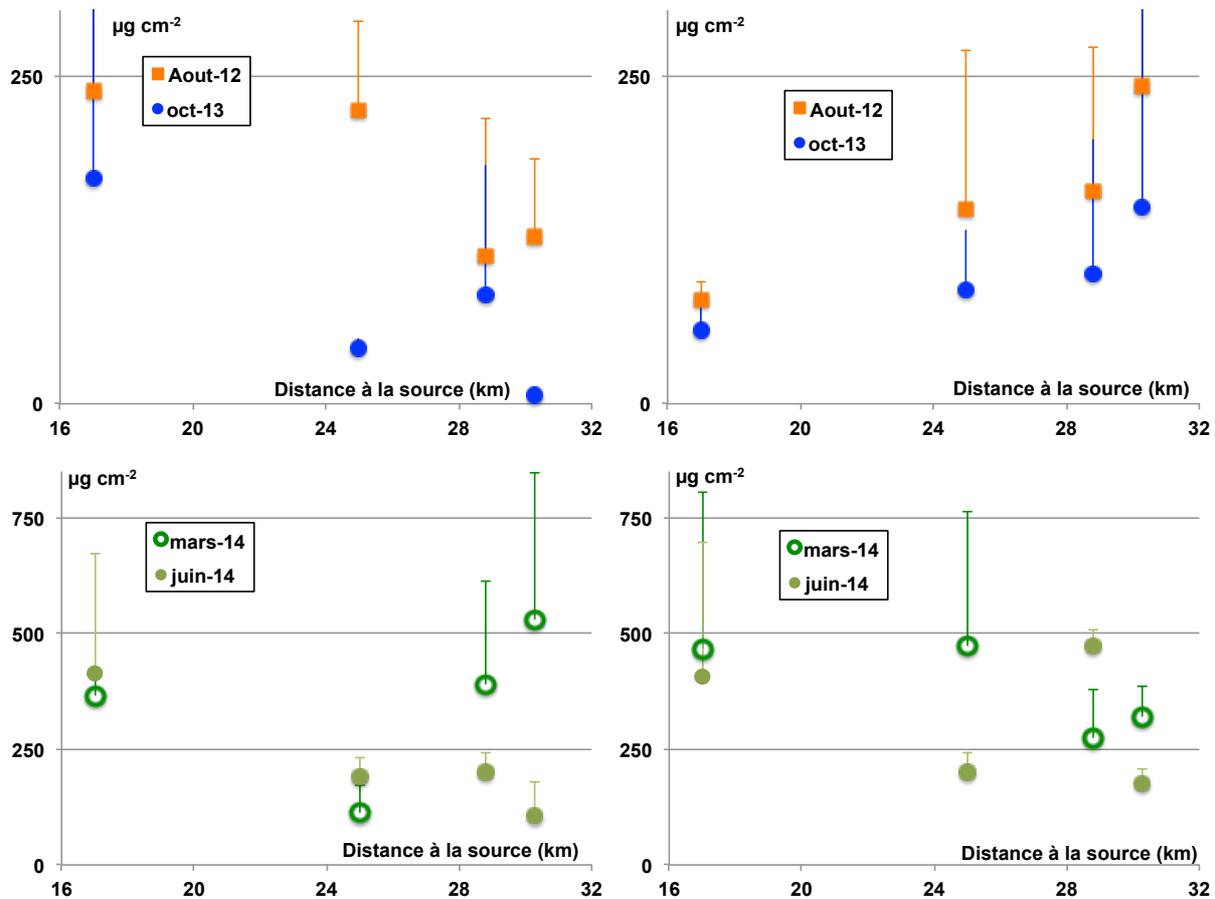
Il existe une forte variabilité :

- spatiale, puisque, la densité, la biomasse et la diversité montrent des variations importantes et non prédictibles d'une station à l'autre, d'un transect à l'autre mais aussi au sein d'un même transect ;
- temporelle, puisque la densité et la biomasse mesurées dans un même site varient fortement d'une campagne à l'autre.

L'étude fait également apparaître les faits suivants :

- une plus grande richesse taxonomique est observée dans les radiers par rapport aux faciès lenticules, quelles que soient la station et la période considérée ;
- un moindre développement du phytobenthos en octobre 2013 ;
- la station amont, Montgesoye, est très diversifiée ; le peuplement y est assez tolérant aux nutriments et il est donc vraisemblable que la partie amont de la rivière soit sujette à une eutrophisation.
- la station aval, Les Iles en Gon, montre, au contraire, une moindre richesse taxonomique, mais les taxons présents dans ce tronçon sont typiques d'eaux de bonne qualité.

Les biomasses maximales sont observées durant les deux campagnes printanières, pour chacun des deux faciès (Fig. 51).



**Figure 51** Variations spatio-temporelles de la biomasse sur les radiers (à gauche) et les plats (à droite) durant août 2012 et octobre 2013 (en haut) ainsi que durant le début et la fin du printemps 2014 (en bas) ; les barres de couleur correspondent à l'écart type calculé pour chaque triplet de prélèvement rattaché à un faciès.

*A contrario*, les biomasses mesurées en en été 2012 et en automne 2013 sont plus faibles.

Dans l'ensemble des stations, les cortèges phytobenthiques sont essentiellement dominés par les diatomées signant des eaux calcaires (*Achnantheidium pyrenaicum*, *Gomphonema elegantissimum* - HOFMANN et al., 2013), avec des morphologies adaptées à de forts courants (*Gomphonema* spp.), se multipliant rapidement (stratégie r - *Amphora pediculus*).

Les fines Cyanobactéries dominantes (*Homoeothrix*) ont un caractère tapissant. Leur adhérence au substratum est un atout indéniable pour résister au courant. La présence de gaines gélatineuses apparaît comme un avantage puisqu'elles pourraient augmenter substantiellement la surface d'absorption des nutriments, lorsqu'ils sont déficitaires dans le milieu (REYNOLDS 1984).

Une grande partie de ces cyanobactéries jouent un rôle prépondérant dans la formation du tuf, dont la nature, la texture et la dynamique détermine une partie des capacités biogènes. La nature et la cinétique de ce phénomène mériteraient d'être mieux étudiées et surtout quantifiées.

Diatomées et cyanobactéries occupent le tout premier étage de la colonisation, avant que le bioderme ne se complexifie (Chlorophycées, Xanthophycées, Rhodophycées), si les cycles hydrologiques lui en laissent le temps. Le rôle des consommateurs dans cette complexification demanderait aussi à être caractérisé pour pouvoir être pris en compte.

En termes de bioindication, la présence et la dominance de taxons réputés polluo-sensibles ou au contraire polluo-résistants varient beaucoup en fonction des stations et des campagnes. Dans l'ensemble, on note la fréquence d'algues indiquant surtout l'absence ou la faible prévalence de pollution organique ou d'excès de phosphore dans des eaux fraîches et oxygénées.

Enfin, il n'a pas été observé de Cyanobactéries potentiellement toxigènes. Le genre *Phormidium* (CHORUS & BARTRAM 1999, COUTÉ & BERNARD 2001 ; [www.cyanosite](http://www.cyanosite)) est cependant susceptible de produire des toxines dans certaines conditions. Cependant, dans les échantillons prélevés, leur présence n'est pas avérée et ne peut rendre compte d'accidents massifs pour la faune.

## Bibliographie sur le phytobenthos

- AFNOR, 2006. NF EN 15204, Qualité de l'eau – Norme guide pour le dénombrement du phytoplancton par microscopie inversée (méthode Utermöhl). Décembre 2006, 39 p.
- AFNOR, 2007. Norme NF T 90354, Qualité de l'eau - Guide pour l'identification et le dénombrement des échantillons de diatomées benthiques de rivières et leur interprétation. 11 p.
- CAZAUBON A, DANDELOT S, 2007. Etude de la végétation aquatique de la Durance : expérimentations des débits réservés de Sainte Tulle, rapport pour EDF. 66 pp + annexes.
- CHORUS I, BARTRAM J, 1999. Toxic Cyanobacteria in Water - A guide to their public health consequences, monitoring and management, E & FN SPON, London, 416 p.
- COUTÉ, A., BERNARD C, 2001. Les Cyanobactéries toxiques, pp. 21-37 in: Frémy & Lassus, Ifremer-AFSSA
- GEITLER L, 1932. *Cyanophyceae von Europa*. Kryptogamen-Flora Vol. Koeltz Scientific Books, Koenigstein ; 1196 p.
- HOFMANN G, WERUM M, LANGE-BERTALOT H, 2013. Diatomeen im Süßwasser - Benthos von Mitteleuropa. Koeltz Scientific Books. 908 p.
- KÓMÁREK J, ANAGNOSTIDIS K, 1999. *Cyanoprokaryota. 1. Teil : Chroococcales*. Süßwasserflora von Mitteleuropa Vol. n°19. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart ; 548 p.
- KÓMÁREK J, ANAGNOSTIDIS K, 2005. *Cyanoprokaryota. 2. Teil : Oscillatoriales*. Süßwasserflora von Mitteleuropa n°19/2. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart ; 759 p.
- KRAMMER, K, LANGE-BERTALOT H, 1986. Süßwasserflora von Mitteleuropa 2/1. Bacillariophyceae 1. Teil : Naviculaceae. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 876 p.
- KRAMMER, K, LANGE-BERTALOT H, 1988. Süßwasserflora von Mitteleuropa 2/2. Bacillariophyceae 2. Teil : Epithemiaceae, Bacillariaceae, Surirellaceae. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 596 p.
- KRAMMER, K, LANGE-BERTALOT H, 1991b. Süßwasserflora von Mitteleuropa 2/4. Bacillariophyceae 4. Teil : Achnantheaceae und kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 437 p.
- LECOINTE A, COSTE M, PRYGIEL J, 1993. OMNIDIA, software for taxonomy, calculation of diatom indices and inventories management. Hydrobiologia 269/270 : 509-513.
- LOHMANN H, 1908. Untersuchungen zur Feststellung des vollständigen Gehaltes des Meeres an Plankton. Wiss. Meeresunters. Kiel, N.F. 10: 129-370.
- REYNOLDS CS, 1984. The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge studies in Ecology Vol. Cambridge University Press, Cambridge ; 384 p.
- SMAYDA TJ, 1978a. From phytoplankters to biomass, in : A. Sournia ed. Phytoplankton manual. UNESCO, Paris ; 273-278.
- SMAYDA TJ, 1978b. Interpreting the observations : From phytoplankters to biomass, in : A. Sournia ed. Phytoplankton manual. Monographs on oceanographic methodology. Vol. n°6. UNESCO, Paris ; 237-282.
- VAN DAM H, MERTENS A, SINKELDAM J, 1994 : A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. Netherlands Journal of aquatic ecology, 28 (1) ; 117-133.
- UTERMÖHL, H. (1958) Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitt. int. Ver. theor. angew. Limnol. 9) ; 1-38.

<http://www.amazon.com/Experimental-Design-Data-Analysis-Biologists/dp/0521009766>

<http://www.cyanosite.bio.perdue.edu>

[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/resourcesquality/toxcyanchap3.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/toxcyanchap3.pdf)

### 3. 2. Algues filamenteuses

#### Stratégie et protocole de prélèvement

Entre avril et septembre 2014, les périodes d'étiage advenues au printemps et en automne nous ont permis de quantifier le colmatage des fonds par les algues filamenteuses. Les pourcentages de recouvrement, les biomasses stationnelles et les teneurs en azote, phosphore et carbone des colonies filamenteuses ont été déterminés sur 7 stations de la Loue et 1 station du Lison à l'occasion de 4 campagnes (Fig. 52).

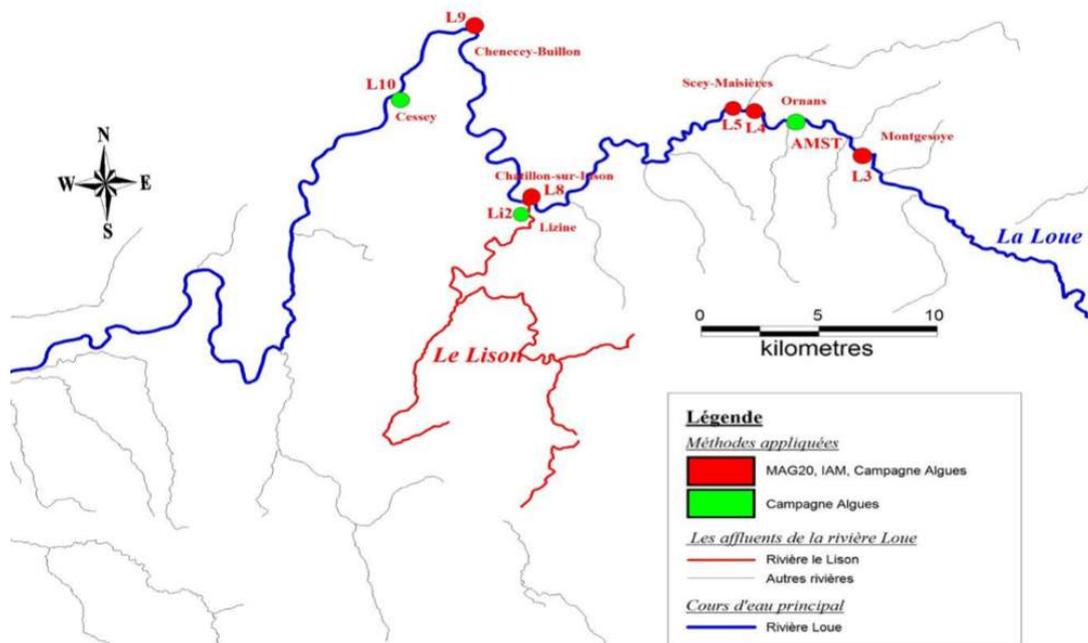


Figure 52. Localisation des 8 stations sur lesquelles les colmatages algaux ont été étudiés en 2014 sur la Loue et la partie aval du Lison

Ces mesures ont été effectuées en appliquant le protocole standard mis au point par GUIMARD et MAZZARINO (2003) puis 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.

#### Variations des biomasses stationnelles au printemps 2014

Au printemps, les colonies filamenteuses benthiques étaient constituées majoritairement de *Vaucheria* sur la partie amont de la Loue (Fig. 53) et d'un mélange de *Vaucheria* et de *Cladophora* sur la partie moyenne et sur le Lison aval. Suivant les stations et les campagnes considérées, le taux de colmatage surfacique varie entre 10 et 50 % (Fig. 54 et 55).

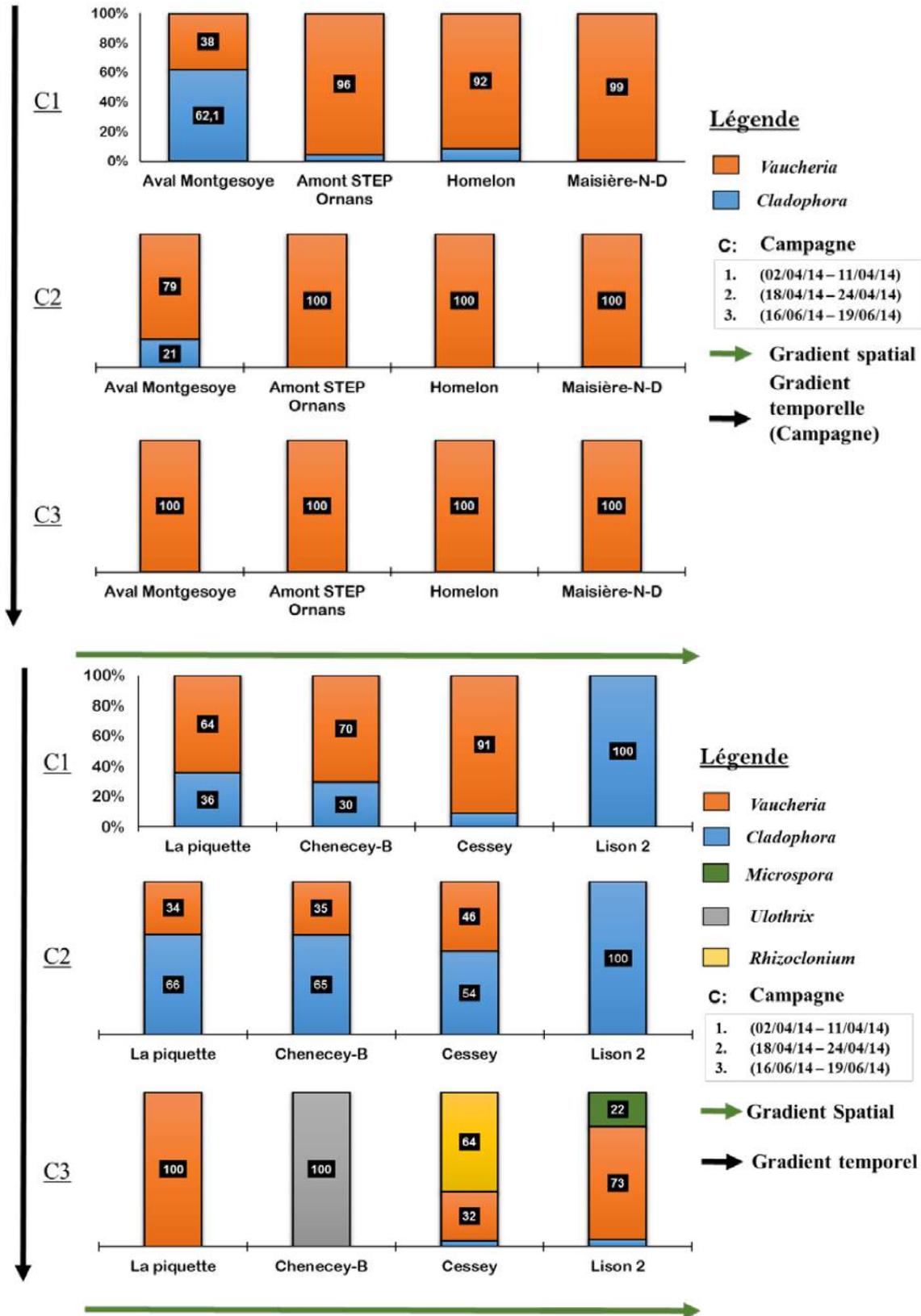


Figure 53. Variations de la composition des communautés d'algues filamenteuses dans la Loue et le Lison au cours du printemps 2014

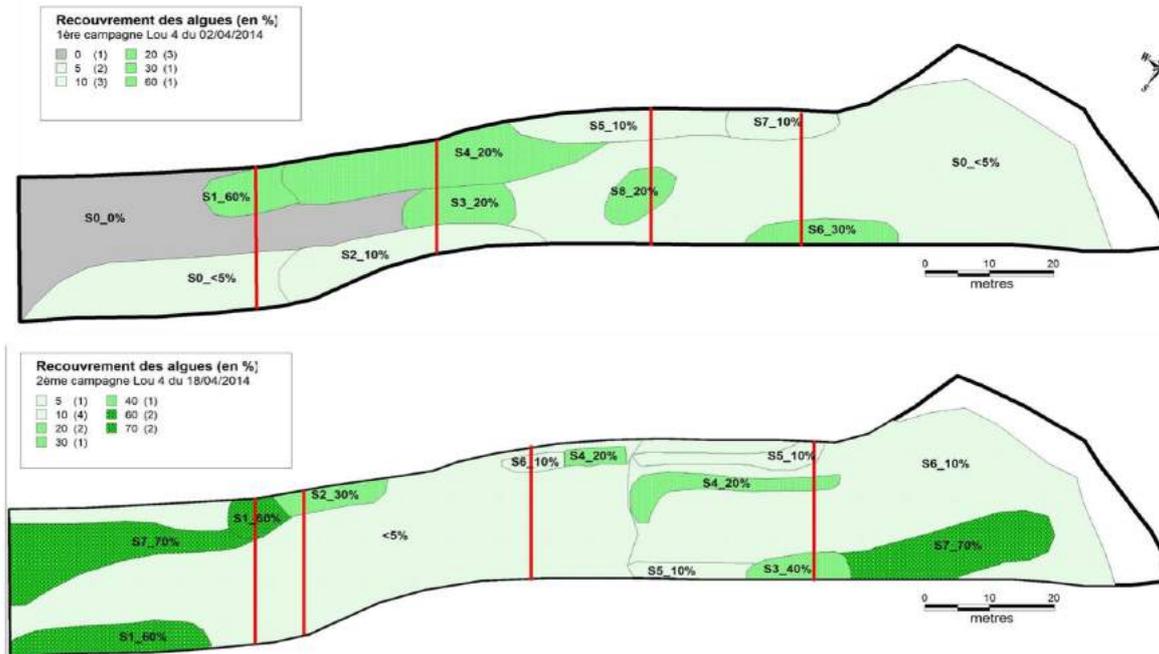


Figure 54. Variations du recouvrement surfacique du colmatage par les algues filamenteuses benthiques : exemple de la station de l'Homelon (LOU4) durant les deux premières campagnes

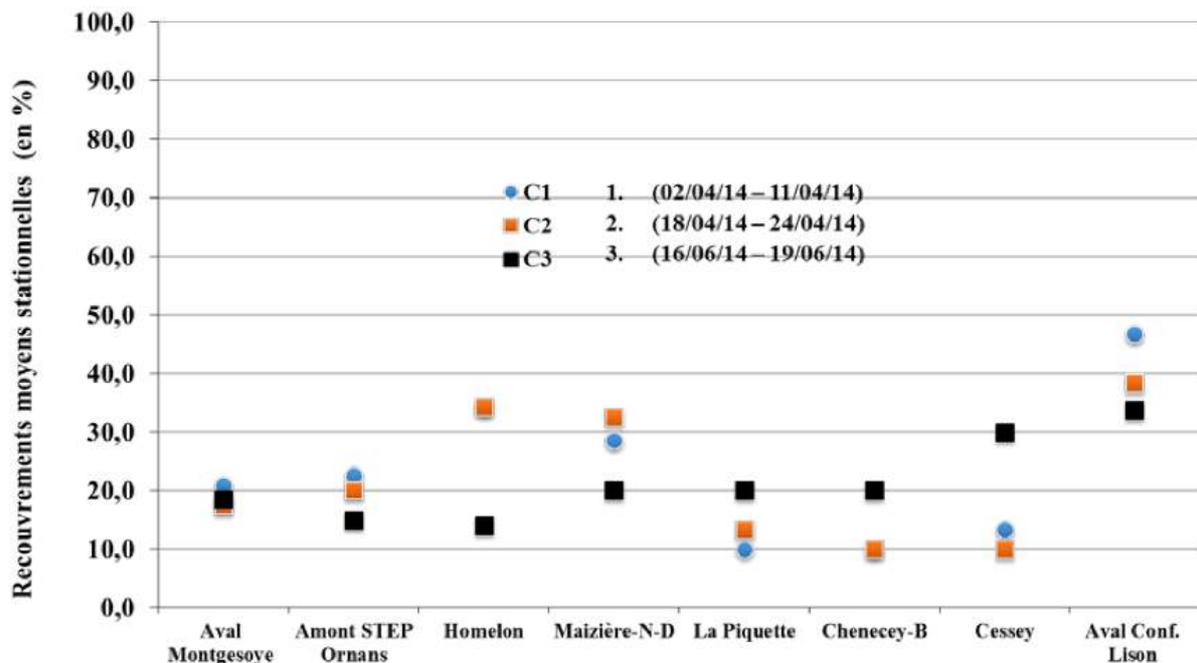


Figure 55. Variations du recouvrement surfacique du colmatage par les algues filamenteuses benthiques sur les 8 stations de mesures au cours des trois campagnes printanières

Durant les campagnes printanières, les biomasses stationnelles mesurées sur la Loue varient entre quelques  $g\ m^{-2}$  et  $50\ g\ m^{-2}$  pour la plupart des stations de la Loue,

sauf à l'aval immédiat et proche d'Ornans (Fig. 56). Dans ces deux stations (Homelon et Notre Dame) les biomasses algales ont respectivement été voisines de 400 g m<sup>2</sup> et 300 g m<sup>2</sup> durant la campagne d'avril.

A la même époque, la biomasse stationnelle a dépassé 750 g m<sup>2</sup> sur la station du Lison aval, soit plus de 7 t ha<sup>-1</sup>. Cette densité est supérieure à celles qui sont mesurées au cours des marées vertes observées sur les littoraux pollués, mais les surfaces concernées dans la Loue ne sont pas du même ordre.

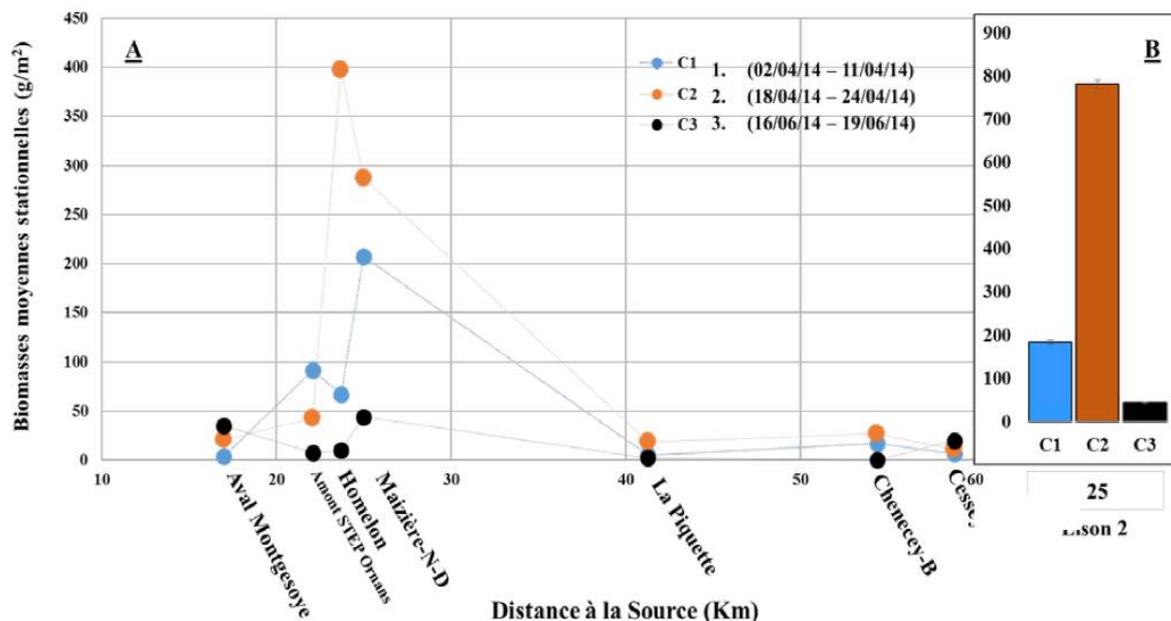


Figure 56. Variations de la biomasse stationnelle d'algues filamenteuses benthiques sur les 8 stations au cours des 3 campagnes printanières

### Biomasses stationnelles en automne 2014

Durant la campagne automnale (29 et 30/09/2014), les taux de recouvrement totaux mesurés sur 4 de ces huit stations ne dépassaient pas 15 %. En revanche, l'épaisseur des colonies (et en particulier des coussinets de *Vaucheria*) était telle que les biomasses stationnelles étaient comprises entre 400 et 1 200 g m<sup>2</sup>.

Entre ces 2 campagnes, durant l'été 2014, la pluviosité élevée a vraisemblablement enrayé la progression du colmatage algal. Il est ainsi possible que ces mesures sous-estiment les colmatages qui seraient observés durant une année normale c'est-à-dire comportant un vrai étiage estival.

## Bibliographie sur les algues filamenteuses

- BRECHET O, 1990. Incidence des proliférations algales sur l'habitabilité des substrats d'eau courante, *Rapp. DESS Univ. Fr. Comt.*, 58 p.
- CORRELL DL, 1999. Phosphorus: A Rate Limiting Nutrient in Surface Waters. *Poultry Science* 78: 674–682.
- DE LANGE HJ, SPERBER V, PEETERS ET, 2006. Avoidance of polycyclic aromatic hydrocarbon-contaminated sediments by the freshwater invertebrates *Gammarus pulex* and *Asellus aquaticus*. *Environ Toxicol Chem*, 25(2): 452-7.
- DEGIORGI F, VERGON JP, PERIAT G, 2006. Protocole standard de mesures des colmatages algaux. Note technique. *LBE de l'UFC, DIREN FC., Teleos-Suisse*. 4 p. <http://teleos.info/images/ProtocAlgV2.pdf>
- DECAMPS A, POUPENEY A, 2013. Caractérisation de l'état de santé de la Loue dans le secteur d'Ornans et recherche des causes d'altération. *Mém. Master QUEST, Université de Franche-Comté*.
- DECOURCIERE H, MARTIN B, 1998. Situation typologique et qualité écologique actuelles de l'hydrosystème Haute-Loue, *Mém. DESS Eaux continentales*.
- DODDS WK, 2003. The role of periphyton in phosphorus retention in shallow freshwater aquatic system, *Journal of Phycology*, Vol. 39, Issue 5, 840 p.
- FRONTIER S, 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, Mém. Master QUEST, Université de Franche-Comté*. 60 p.
- 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.
- GUIMARD N, MAZZARINO S, 2003. Proliférations des algues macroscopiques et des végétaux aquatiques en Franche Comté en 2003. *Mém. DESS Univ. Fr.-Comté*, 43 p.
- MALVERTI L, 2010. Étude des colmatages minéraux et algaux des fonds de la Loue (25): conséquences sur les compartiments biologiques, *Mém. Master QUEST, Université de Franche-Comté*.
- RODRIGUEZ S, VERGON JP, 1996. Guide pratique de détermination générique des algues macroscopiques d'eau douce. *DIREN Franche-Comté*, 109 p.
- SANDGREN CD, ENGEVOLD PM, NEERHOF S, EHLINGER TJ, 2004. *Nuisance of Cladophora in Urban Streams: habitats, seasonality, morphology, production, nutrient composition, heavy metals, foodweb bottleneck*. Dep. Biol. Sc, *Univ Wisconsin-Milwaukee*: 17 p.
- VACELET E, 2008. Etude du développement algal et des micropolluants de la Loue. *Mém. Master QUEST Université de Franche-Comté*, 51 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*, pp. 1-260.
- VERNEAUX J, NISBET E, 1978. Composantes chimiques des eaux courantes - Discussion et proposition de classes en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques. *Ann Limnol*, vol 6(2) : 161-190.
- VERNEAUX J, REZZOUK M, 1974. Les structures d'un grand cours d'eau à Salmonidés : La Loue. Essai typologique et problèmes des relations entre espèces et milieu. *Ann Limnol* 10 : 131-162.
- WONG SL, 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. Oceanol. and Limnol.*, 31(1): 59-64.

#### **4. SYNTHÈSE DES PRINCIPAUX RESULTATS.**

**En ce qui concerne le potentiel piscicole**, la Loue présente un vieillissement typologique à l'amont d'Ornans marqué par une surabondance d'ombres alors que subsiste dans cette partie de la rivière un potentiel résiduel non nul en truite et chabot. A l'aval de cette commune, l'appauvrissement piscicole est plus accentué. Le potentiel piscicole des affluents montre des déficits modérés pour les peuplements apicaux, mais qui s'accroissent fortement dans les parties proches des confluences. La Loue médiane ne fait plus partie des meilleures régions salmonicoles, seule la partie apicale de la rivière demeure sub-référentielle. Par comparaison avec les années 70, le Doubs à l'aval de Pontarlier montre une amélioration sensible alors que la situation s'est dégradée à l'amont de l'agglomération.

**En ce qui concerne le benthos**, les investigations menées de 2012 à 2014 (IBGN-RCS et MAG20) montrent des altérations modérées mais significatives des capacités biogènes de la Loue et du Lison. Les variations d'abondance cumulée des Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères indiquent que les capacités d'auto-épuration de la Loue sont altérées par rapport à ce qui était observé dans les années 70 et que ces altérations ont été progressives. De 2011 à 2014, la dégradation apparaît stabilisée mais à des niveaux médiocres. Les informations collectées sur les affluents confirment l'état d'altération des parties apicales du réseau hydrographique.

**En ce qui concerne le phytobenthos**, 204 taxa ont été identifiés, ce qui indique un milieu très riche en diversité algale. La présente étude montre l'importante hétérogénéité du phytobenthos. Il existe une forte variabilité (i) spatiale, puisque, la densité, la biomasse et la diversité montrent des variations importantes et non prédictibles d'une station à l'autre, d'un transect à l'autre mais aussi au sein d'un même transect ; (ii) temporelle, puisque la densité et la biomasse mesurées dans un même site varient fortement d'une campagne à l'autre. Une espèce de diatomée, *Achnanthis pyrenaicum* (Hustedt) H. Kobayasi, caractéristique de milieux calcaires de bonne qualité, sensible à la matière organique bien que tolérant un niveau moyen en nutriments est présente dans toutes les stations. Une cyanobactérie est aussi présente dans toutes les stations, *Homoeothrix* qui affectionne des eaux rapides et de bonne qualité. Même si l'écologie des Cyanobactéries benthiques est encore mal connue, celles identifiées ici caractérisent des cours d'eau rapides, plutôt de bonne qualité.

L'étude fait également apparaître (iii) une plus grande richesse taxonomique dans les radiers par rapport aux faciès lentiques, quelles que soient la station et la période considérée ; (iv) un moindre développement du phytobenthos en octobre 2013 ; (v) une station amont, Montgesoye, très diversifiée avec un peuplement assez tolérant aux nutriments ce qui indique que la partie amont de la rivière est vraisemblablement sujette à une eutrophisation ; (vi) une station aval, Les Iles en Gon, qui montre, au contraire, une moindre richesse taxonomique, mais des taxons typiques d'eaux de bonne qualité ; (vii) des biomasses maximales durant les deux campagnes printanières.

**En ce qui concerne les algues filamenteuses**, le taux de colmatage surfacique varie entre 10 et 50 % pour la campagne du printemps 2014 et ne dépasse pas 15%

à l'automne. Il est possible que les conditions hydrologiques liées à une pluviosité estivale élevée aient inhibé la croissance algale.

**En conclusion,** les investigations conduites depuis juillet 2012 montrent que l'altération des capacités biogènes de la rivière est profonde, durable et qu'elle affecte l'ensemble des compartiments biocénotiques étudiés : producteurs, macro-invertébrés et poissons.