



Suivi hydrobiologique du Luzou, année 2014

COMMUNAUTES DE DIATOMEES BENTHIQUES

SEPTEMBRE 2014
SOIZIC MORIN,
JACKY VEDRENNE,
JULIE NEURY-ORMANNI,
JULIETTE ROSEBERY
Irstea Bordeaux
50 avenue de Verdun
33 612 Cestas Gazinet

Pour mieux
affirmer
ses missions,
le Cemagref
devient Irstea



SOMMAIRE

1-Contexte	1
2-Méthodologie	1
2.1. Stations suivies et dates de campagne	1
2.2. Analyses physico-chimiques	2
2.3. Analyses biologiques	2
Analyses de la biomasse périphytique	2
Analyses fluorimétriques	3
Analyses floristiques	3
Analyses de la micro-meiofaune	3
3-Résultats des analyses floristiques	4
3.1. Analyse taxonomique	4
3.2. Analyses quantitatives	6
Biomasse globale	6
Biomasse algale	7
Densités cellulaires de diatomées	8
4-Résultats des analyses physico-chimiques	9
5-Conclusions	9
Références bibliographiques	10
Annexe 1 : Inventaires floristiques	11
Annexe 2 : Liste floristique	13
Annexe 2 : Données physico-chimiques brutes	16

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Représentation de la distribution des échantillons basée sur la structure des communautés de diatomées d'après la méthode d'ordination de Bray-Curtis.	5
Figure 2 : Représentation de la contribution relative des espèces principales à l'ordination de Bray-Curtis.	5
Figure 3 : Poids secs (PS) et fraction organique (MSSC) des biofilms, après 15 et 30 jours de colonisation.	6
Figure 4 : Quantité de chlorophylle a dans les biofilms, après 15 et 30 jours de colonisation (à gauche), et répartition des groupes algaux au temps final (algues brunes, vertes et bleues) (à droite).	7
Figure 5 : Rendement photosynthétique efficace à T30.	7
Figure 3 : Densités cellulaires après 15 et 30 jours de colonisation.	8
Figure 7 : Micro-méiofaune du Luzou, nombre d'individus / cm ² à T15 (gauche) et T30 (droite).	8
Figure 8 : Micro-méiofaune brouteuse du Luzou, nombre d'individus/cm ² à T15 (gauche) et T30 (droite).	9

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Valeurs d'IBD2007, de richesse et diversité des 9 lames étudiées	4
---	---

SUIVI HYROBIOLOGIQUE DU LUZOU, ANNEE 2014

Communautés de diatomées benthiques

1-Contexte

La masse d'eau « Luzou » a été identifiée lors de l'état des lieux 2004 actualisé 2006, comme risquant de ne pas atteindre le Bon Etat en 2015. Toutefois, le décalage entre les pressions identifiées sur ce secteur et la réponse du compartiment biologique (diatomées notamment), a conduit l'Agence à solliciter l'Irstea de Bordeaux pour mener une étude (sur la période 2009-2010) visant à préciser les réponses des différents compartiments biologiques au regard des pressions qui s'exercent sur cette masse d'eau.

Cette étude avait conclu que l'impact chimique des rejets du complexe MLPC sur les différents types de communautés végétales et animales du Luzou était très net et délétère : rupture brutale de la diversité biologique et de la biomasse de la faune piscicole et des macro-invertébrés benthiques ; apparition de taxons et de formes biologiques résistants à la pollution (formes tératogènes chez les diatomées, Chironomides, Chevaines, *Sphaerotilus*, ...). Ces résultats ont depuis été valorisés par une publication scientifique (Lainé et al. 2014).

Suite à ce constat, l'Agence de l'Eau a sollicité l'Irstea de Bordeaux afin de réaliser un suivi annuel des flores diatomiques et de la physico-chimie de l'eau sur la période 2012-2014. Les résultats des campagnes 2012 et 2013 ont confirmé les précédents, avec un taux très significatif de tératogénicité.

Ce document présente les résultats de la campagne 2014, à laquelle nous avons intégré l'étude exploratoire de la micro-méiofaune du biofilm.

MLPC à ce jour n'a pas encore mis en place de système poussé d'épuration de ces effluents avant rejet.

2-Méthodologie

2.1. Stations suivies et dates de campagne

Trois ont été étudiées de la même façon qu'en 2012 et 2013 :

- station 1 : amont usine chimique
- station 2 : aval usine chimique
- station 3 : aval éloigné usine chimique

Les campagnes de suivi du Luzou de 2014 ont été réalisées les 2 (T0, pose des substrats artificiels), 16 (T15, collecte sur substrats artificiels) et 30 juin (T30, collecte sur substrats artificiels et naturels).

2.2. Analyses physico-chimiques

Elles ont été réalisées par le Laboratoire Départemental des Landes à partir d'échantillons d'eau prélevés à T30 (simultanément à la collecte des diatomées sur galets).

Les mêmes paramètres qu'en 2012 et 2013 ont été analysés, sauf le 1,2,4,5 Tétrachlorobenzène (erreur de flaconnage du laboratoire), à savoir : paramètres classiques, métaux, Benzène, Toluène, 3-Chlorotoluène, Aniline, Disulfure de carbone, 2-Nitrotoluène et Nitrobenzène (Annexe 3).

2.3. Analyses biologiques

● Echantillonnage sur substrat artificiel (cages contenant chacune 6 lames de verre) : étude des caractéristiques qualitatives et quantitatives des communautés. Cet échantillonnage s'est effectué 15 jours (T15) puis 30 jours (T30) après mise en place des cages, et les analyses portent à chaque date sur 3 réplicats :

-caractéristiques qualitatives (composition taxonomique, autoécologie et indices) sur réplicats poolés à T15 et à T30

-caractéristiques quantitatives (densité cellulaire, poids sec, matière sèche sans cendre, chlorophylle a, classes algales, inventaire de la micro-méiofaune associée) sur les 3 réplicats à T15 et à T30

-caractéristiques fonctionnelles (activité photosynthétique efficace) sur les 3 réplicats à T30

● Echantillonnage sur substrat naturel : étude de la composition qualitative des communautés diatomiques (composition taxonomique, calcul d'indices et caractéristiques autoécologiques). Cet échantillonnage est simultané au prélèvement sur substrat artificiel à T30.

Analyses de la biomasse périphytique

A partir des échantillons de biofilm, une quantification de la biomasse globale (poids sec, matière sèche sans cendre) et algale (quantité de chlorophylle a) a été réalisée.

Brièvement, ces analyses sont réalisées d'après les normes :

-NF EN 872 pour la biomasse totale : chaque échantillon est filtré sur filtre en fibres de verre. Après séchage du filtre à 105°C et pesée du résidu retenu sur le filtre (PS), les échantillons sont passés 1 heure au four à 500°C pour calculer la matière sèche sans cendre (MSSC). La biomasse est ensuite calculée suivant les équations :

$$PS(mg/cm^2) = \frac{m_{étuve} - m_{filtre}}{S} \quad \text{et} \quad MSSC(mg/cm^2) = PS \times \left(1 - \frac{m_{four} - m_{filtre}}{m_{étuve} - m_{filtre}} \right)$$

Avec : m_{filtre} : masse initiale du filtre vierge (mg) ;

$m_{étuve}$: masse du filtre après filtration de l'échantillon et passage à l'étuve (mg) ;

m_{four} : masse du filtre après passage au four (mg) ;

S : surface correspondante de support gratté (cm²).

-NF T90-117 pour les pigments photosynthétiques : les pigments sont extraits à l'acétone (90%), puis l'extrait acétonique est dosé spectrophotométriquement, avant et après acidification, à deux longueurs d'onde (665 et 750 nm) pour mesurer la quantité de chlorophylle a les concentrations en chlorophylle a (C_a) et en phéopigments (P_a) d'après les équations de Lorenzen :

$$C_a(\mu g/cm^2) = 26,7 \times ((A_0 665 - A_0 750) - (A_a 665 - A_a 750)) \times \frac{v}{L \times S}$$

$$\text{et } P_a(\mu g/cm^2) = 26,7 \times (1,7 \times (A_a 665 - A_a 750) - (A_0 665 - A_0 750)) \times \frac{v}{L \times S}$$

Avec : A_{0665} , A_{0750} : absorbances de l'extrait à 665 nm et 750 nm avant acidification ;
 A_{a665} , A_{a750} : absorbances de l'extrait à 665 nm et 750 nm après acidification ;
 v : volume d'extrait acétonique (mL) ;
 L : trajet optique de la cuve utilisée (cm) ;
 S : surface correspondante de support gratté (cm²).

Analyses fluorimétriques : fluorescence chlorophyllienne en lumière modulée

Les organismes photosynthétiques sont capables de convertir l'énergie lumineuse en énergie chimique. La lumière absorbée par l'appareil photosynthétique n'est pas totalement transformée en énergie chimique, elle peut être dissipée sous forme de chaleur ou bien réémise sous forme de fluorescence. La mesure de la fluorescence chlorophyllienne dans des conditions de lumière standardisée (lumière modulée) permet de calculer, indirectement, l'activité photosynthétique des communautés périphtiques.

Les mesures de fluorescence en lumière modulée ont été réalisées à l'aide d'un fluorimètre Phyto-PAM (Heinz Walz GmbH, Germany), sur les échantillons prélevés à T30, dans leurs conditions d'exposition lumineuse : mesure du rendement quantique efficace (noté Φ_{PSII}).

Le fluorimètre Phyto-PAM permet également de déterminer, à partir des longueurs d'onde de réémission de la fluorescence, les proportions des différentes classes algales présentes dans le biofilm.

Analyses floristiques

Les prélèvements ont été réalisés selon les recommandations des normes françaises et européennes privilégiant les substrats durs (épilithon) (AFNOR 2007) et/ou en leur absence les expressions de macrophytes aquatiques. Préparation et comptages ont été réalisés à l'Irstea de Bordeaux selon la norme précitée (attaque H₂O₂ à chaud et montage dans du Naphrax ©, Brunel Microscopes Ltd, Angleterre) ; observation sur photo-microscope Leitz DMRB à contraste Nomarski et sous objectif 100 à immersion. Les numérations ont porté sur 400 individus et plus. Les photos ont été réalisées par capture d'image à l'aide d'une caméra tricc Dampisha.

L'analyse floristique a été réalisée à partir des flores européennes classiques (Krammer et Lange-Bertalot 1986 - 1991) et de divers ouvrages récents parus dans les séries « Diatoms of Europe » et « Iconographia Diatomologica ». Des informations complémentaires ont pu être obtenues à partir de nombreuses publications sur les flores algales européennes.

L'interprétation des résultats d'inventaires a fait appel à la floristique, la biodiversité des communautés, ainsi qu'à leur capacité de bio-indication illustrée à partir des caractéristiques autoécologiques extraites des compilations de la littérature scientifique (van Dam et al. 1994). La qualité biologique a été évaluée à l'aide du logiciel Omnidia 5.3 (Lecointe et al. 1993) permettant le calcul de l'IBD2007 (AFNOR 2007).

Analyses de la micro-méiofaune

Une numération a été effectuée sur chaque réplicat des échantillons de biofilms, Ce dénombrement a été réalisé, à l'état frais, à l'aide d'une cellule de comptage de type Burker et d'un microscope LEICA DMLS équipé du contraste de phase et sous objectifs 40.

3-Résultats des analyses floristiques

3.1. Analyse taxonomique

Neuf échantillons (dont le label est présenté dans le Tableau 1) ont fait l'objet d'une analyse taxonomique. Pour chacune des 3 stations ont donc été réalisées et analysées :

- une lame mixant les triplicats sur lame de verre à T15
- une lame mixant les triplicats sur lame de verre à T30
- une lame sur substrat naturel (galets)

La base floristique totale comprend 121 taxons (voir Annexe 1 pour les comptages et l'Annexe 2 pour la liste floristique et les codes associés aux espèces). Le Tableau 1 présente les résultats issus du calcul de l'IBD2007.

Tableau 2 : Valeurs d'IBD2007, de richesse et diversité des 9 lames étudiées

lame	support	site	durée d'exposition*	IBD2007	Richesse	Diversité
sn30A	naturel	amont	-	18.6	39	3.88
sn30AVP	naturel	aval proche	-	20.0	51	3.22
sn30AVL	naturel	aval lointain	-	16.0	19	2.28
lv15A	artificiel	amont	15 jours	20.0	48	4.54
lv15AVP	artificiel	aval proche	15 jours	20.0	39	3.89
lv15AVL	artificiel	aval lointain	15 jours	20.0	45	3.82
lv30A	artificiel	amont	30 jours	20.0	52	4.57
lv30AVP	artificiel	aval proche	30 jours	20.0	47	3.60
lv30AVL	artificiel	aval lointain	30 jours	20.0	51	4.21

** concerne uniquement les échantillons collectés sur substrats artificiels*

Une ordination de Bray-Curtis (McCune and Beals 1993) a été réalisée (Figure 4).

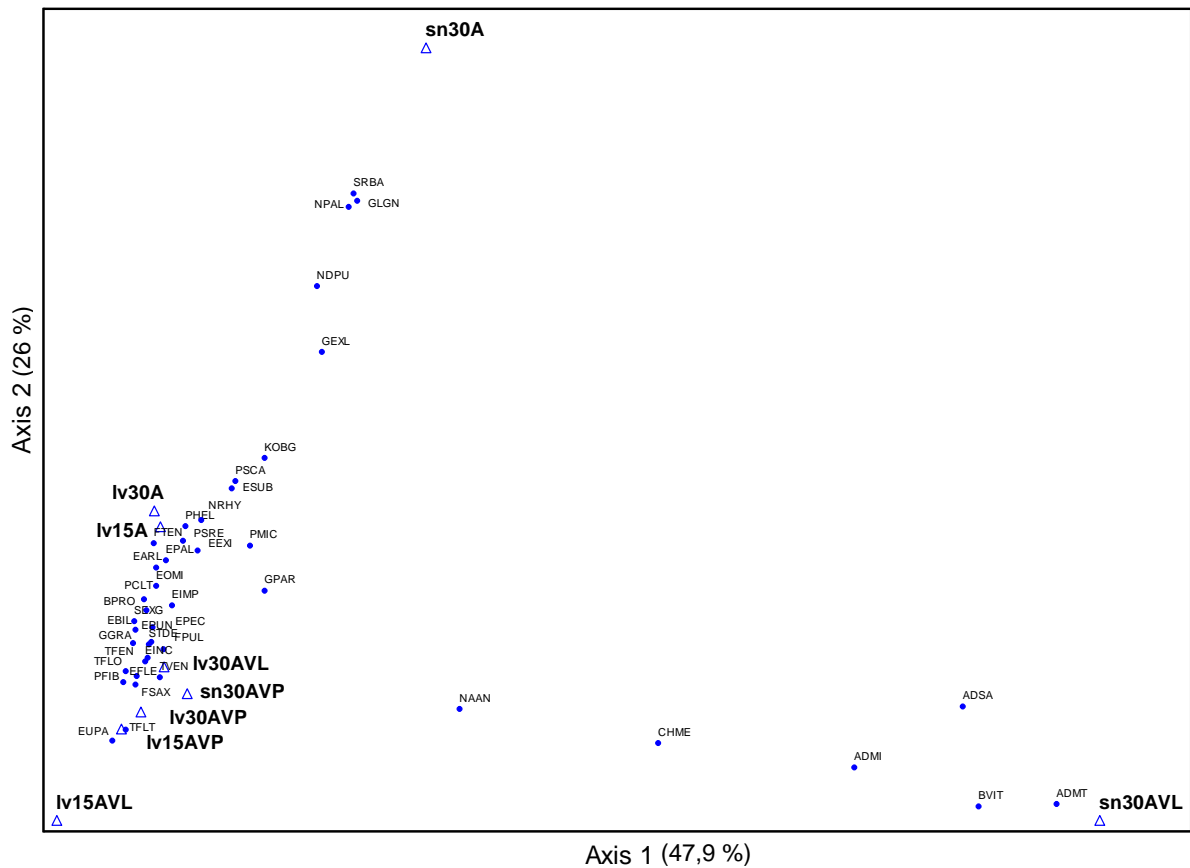


Figure 4 : Représentation de la distribution des échantillons basée sur la structure des communautés de diatomées d'après la méthode d'ordination de Bray-Curtis. Les codes des échantillons sont explicités dans le Tableau 2. Les codes des espèces atteignant une abondance cumulée >2.5% sont indiqués.

La Figure 2 ci-dessous représente de façon relative le niveau de contribution des espèces principales à l'ordination de Bray-Curtis, vis-à-vis de l'axe 1 :

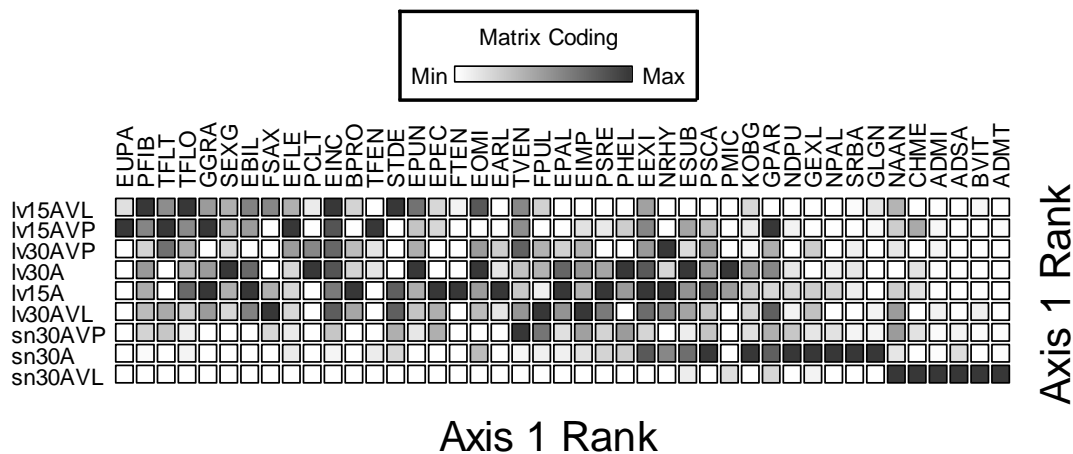


Figure 2 : Représentation de la contribution relative des espèces principales à l'ordination de Bray-Curtis.

A l'image des campagnes précédentes, nous sommes en présence d'une flore typique des cours d'eau landais dans laquelle les taxons acidobiontes à neutrophiles sont fréquents : genres *Eunotia*, *Brachysira*, ainsi que les taxons *Karayevia oblongella*, *Tabellaria ventricosa/flocculosa*, *Peronia fibula*.

L'ordination marque une claire séparation entre les échantillons issus des lames de verre et issus de substrats naturels. On remarque surtout une distinction entre échantillons prélevés à l'amont et échantillons prélevés à l'aval, tous substrats confondus.

Le taux de tératogénéité est très inquiétant sur substrat naturel à l'aval lointain (sn30AVL) : 13% d'*Achnanthydium minutissimum* forme tératogène (ADMT). Ce taux record n'avait encore jamais été retrouvé en France, même dans les endroits les plus chargés en micropolluants, ou lors de nos travaux expérimentaux (Duong et al. 2010, Morin et al. 2008 : valeur maximale de 3%). Un tel taux marque indubitablement une très forte pression toxique (Dickman 1998, McFarland et al. 1997, Morin et al. 2012, Pérès 1999), et **nous conduit à alarmer l'Agence de l'Eau et les services de l'Etat sur la situation écologique du Luzou**. Cet échantillon est également dominé à 56% par l'espèce *Achnanthydium minutissimum* (ADMI) dans sa forme normale, taxon pionnier recolonisant les biofilms après une forte atteinte du milieu, notamment toxique. La richesse et la diversité à cette station sont par conséquent très réduites. ADMI est retrouvé massivement à l'aval à chaque campagne depuis 2009, et conduit à maintenir paradoxalement de bonnes notes d'IBD2007 malgré la situation (taxon assez sensible à la charge organique donc bien noté par l'indice).

Toujours sur la même station (substrat naturel à l'aval lointain), *Achnanthydium saprophyllum* (ADSA, abondance 8%), marque également une eutrophisation du milieu.

Enfin, on note sur toutes les stations aval (sauf sn30AVL) une concentration non négligeable (>1%) de l'espèce *Tabellaria flocculosa* sous sa forme tératogène (TFLT).

3.2. Analyses quantitatives

Biomasse globale

La quantification de la biomasse des biofilms indique une réduction amont/aval usine marquée pour la biomasse totale (poids sec), alors que ces tendances n'apparaissent pas sur la fraction organique des biofilms (Figure 3). Les variations de poids secs peuvent s'expliquer pour partie par une accumulation de particules minérales en suspension sur les biofilms variable selon les sites. La confrontation de ces derniers résultats avec la quantité de chlorophylle a pourrait traduire le phénomène d'hétérotrophisation des communautés périphytiques en aval de l'usine, suggéré par Lainé et al. (2014).

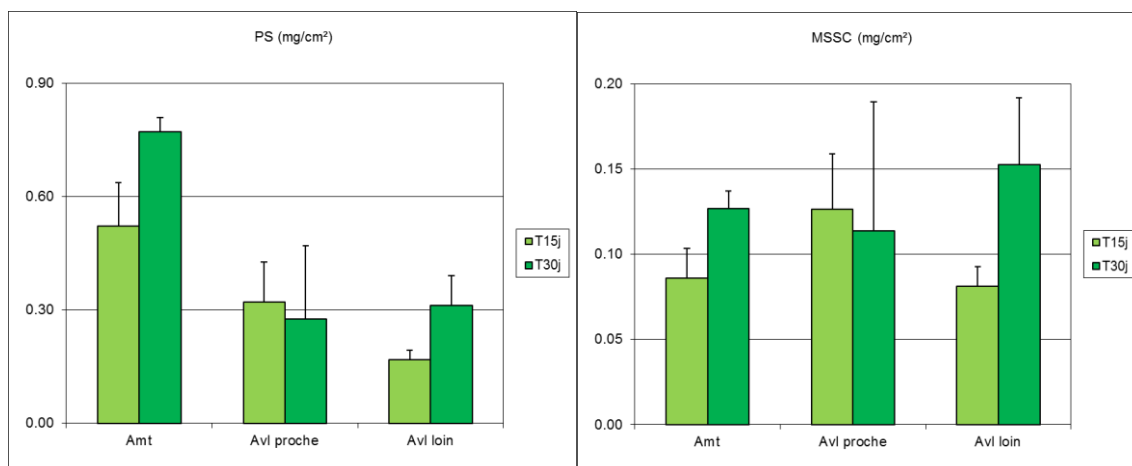


Figure 3 : Poids secs (PS) et fraction organique (MSSC) des biofilms, après 15 et 30 jours de colonisation.

Biomasse algale

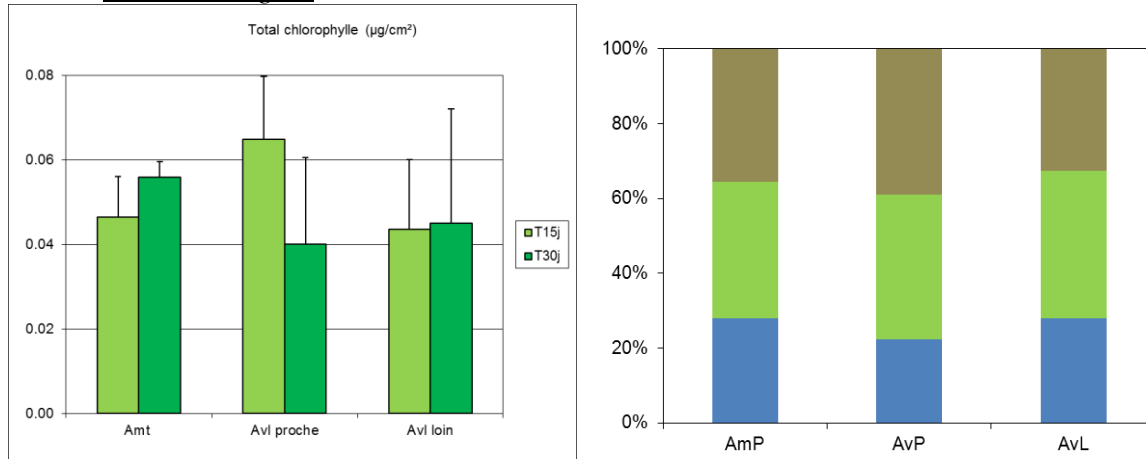


Figure 4 : Quantité de chlorophylle a dans les biofilms, après 15 et 30 jours de colonisation (à gauche), et répartition des groupes algaux au temps final (algues brunes, vertes et bleues) (à droite).

La Figure 4 montre l'impact du MLPC sur la production chlorophyllienne en aval immédiat de l'usine, avec une diminution marquée de la quantité de chlorophylle entre T15 et T30.

La biomasse algale est composée en majorité d'algues vertes (~40%), et d'algues brunes (diatomées, ~40%). Notons la proportion d'algues bleues non négligeables, qui n'était pas reportée l'année précédente.

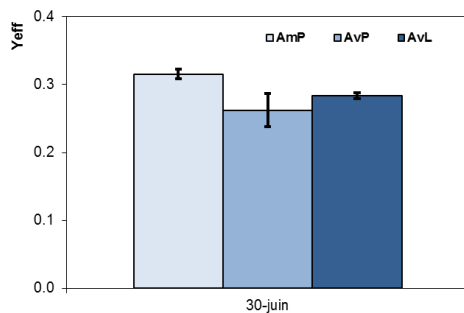


Figure 5 : Rendement photosynthétique efficace à T30.

Les mesures de rendement photosynthétique maximal (Figure 5) indiquent un impact sur l'état physiologique des communautés, avec une baisse importante d'activité photosynthétique en aval proche, et un effet moindre à l'aval lointain (récupération ou adaptation physiologique).

Densités cellulaires de diatomées

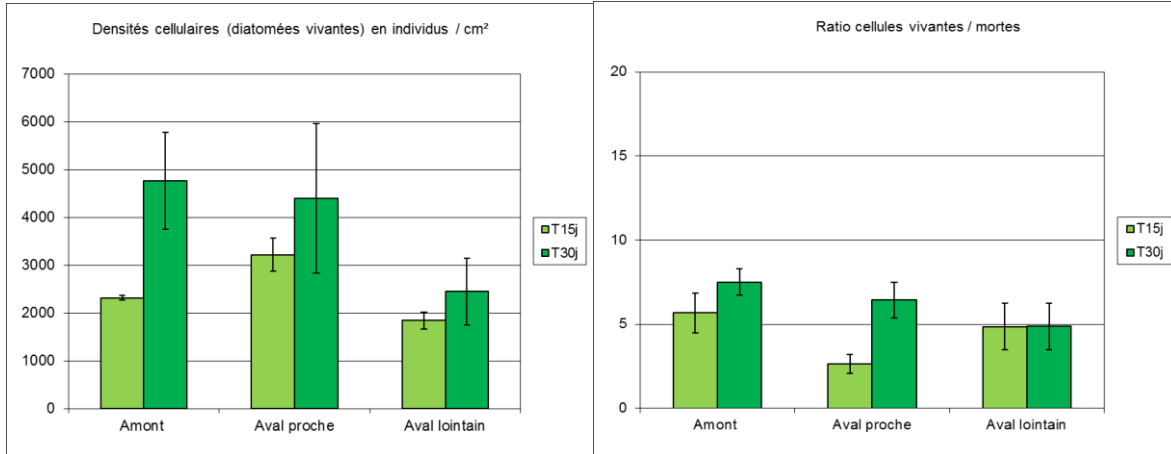


Figure 6 : Densités cellulaires après 15 et 30 jours de colonisation.

Les tendances longitudinales de biomasses diatomiques collectées sur substrats artificiels (densités de cellules/cm², Figure 6) concordent avec les observations réalisées lors des campagnes précédentes (notamment août 2010 et juillet 2013) : une réduction forte de la quantité de diatomées s'observe à l'aval lointain, alors qu'elle est comparable entre l'amont et l'aval immédiat.

On mesure également une croissance de la quantité de cellules moindre à l'aval immédiat et l'aval lointain entre T15 et T30 par rapport à l'amont s'expliquant peut-être par la présence plus importante de brouteurs en aval lointain (Figure 8).

La mortalité cellulaire (Figure 6), quant à elle, indique un impact avéré à l'aval proche à T15 (ratio cellules vivantes/mortes à T15 deux fois inférieur aux autres sites), avec néanmoins une récupération du nombre de cellules vivantes à T30 peut être en lien avec la cinétique de croissance, ou avec une pression de broutage réduite (diminution de la densité de brouteurs, Figure 8).

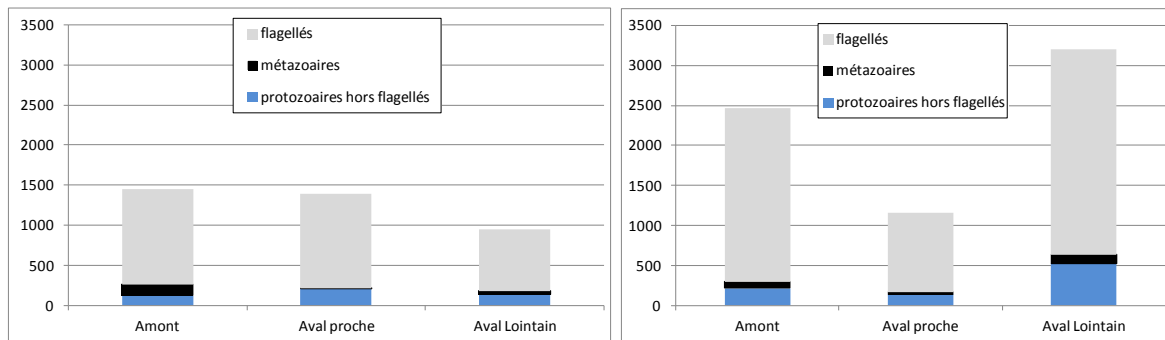


Figure 7 : Micro-méiofaune du Luzou, nombre d'individus / cm² à T15 (gauche) et T30 (droite).

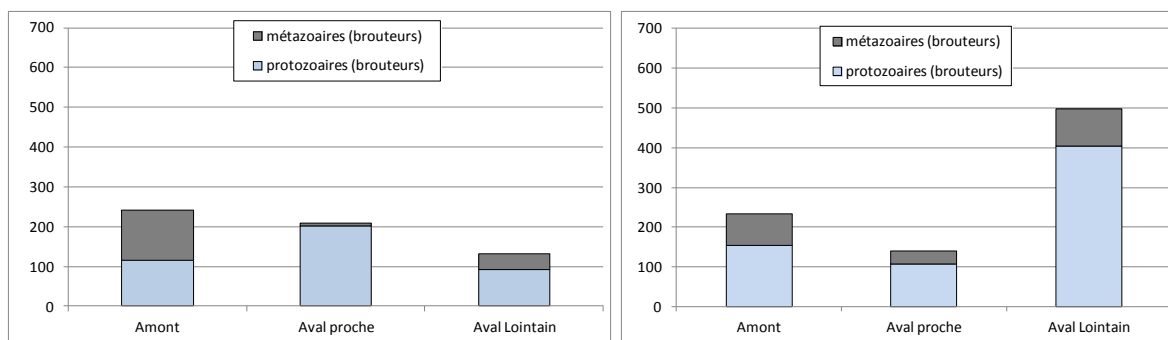


Figure 8 : Micro-méiofaune brouteuse du Luzou, nombre d'individus/cm² à T15 (gauche) et T30 (droite).

En termes qualitatifs (diminution des métazoaires, et de la micro-méiofaune non flagellée en général), comme quantitatifs, l'aval immédiat de l'usine est impacté. Une récupération des métazoaires en aval lointain suggère une dissipation des effets, ou un processus de récupération (Figure 7).

4-Résultats des analyses physico-chimiques

Les données brutes sont reportées en Annexe 3. Le 1,2,4,5 Tétrachlorobenzène n'a pas pu être analysé suite à une erreur de flaconnage de laboratoire d'analyses prestataire.

Encore cette année, les analyses physicochimiques ne permettent pas d'expliquer le fort taux de tératogénicité retrouvé à l'aval : l'existence de plusieurs ateliers de production au sein de MLPC implique une haute variabilité saisonnière des rejets, et rend ainsi difficile le ciblage des molécules à analyser. De plus, le mode de rejet s'effectuant par pulses, la concentration ponctuelle dans l'eau de ces polluants n'est pas forcément représentative de la pression réellement subie par les communautés aquatiques en place.

On note malgré tout à l'aval une concentration en fer dissous supérieure à celle reportée lors des 2 campagnes précédentes, mais la toxicité vis-à-vis des écosystèmes aquatiques de ce métal étant faible (voir rapport de la campagne 2009-2010), cela n'explique pas la pression toxique subie par les communautés échantillonnées. Enfin, on note une augmentation à l'aval de la charge organique (demande biologique en oxygène, carbone organique dissous), de l'azote (ammonium, azote Kjeldahl), mais dans des proportions compatibles avec le bon état écologique.

5- Conclusions

Les conclusions sont identiques à celles émises lors des études de 2009-2010, 2012 et 2013 :

- présence d'une forte tératogénicité à l'aval, avec cette année **un taux très alarmant du taxon ADMT (13%)**. Ce taux est accompagné d'une très forte dominance d'*Achnanthydium minutissimum*, taxon pionnier marquant une importante altération du biofilm. Enfin une forte proportion à l'aval sur galet d'un taxon inféodé aux milieux eutrophes (*Achnanthydium saprophilum*), montre qu'un problème d'eutrophisation du milieu persiste.

- les résultats quantitatifs permettent de mettre en évidence un impact lié à l'usine sur la biomasse périphytique globale, la mortalité diatomique et l'activité photosynthétique des

biofilms. La micro-méiofaune associée aux biofilms est également impactée en termes quantitatifs et qualitatifs.

-les analyses physicochimiques comme à chaque campagne ne reflètent pas une situation particulièrement dégradée.

Nous pensons qu'il est urgent de rétablir l'équilibre de l'écosystème aquatique du Luzou, et recommandons au Directeur du site de mettre rapidement en œuvre un système d'épuration de ses effluents toxiques.

Références bibliographiques

- AFNOR**, Norme NF T90-354 Décembre 2007. Qualité de l'eau - Détermination de l'Indice Biologique Diatomées (IBD).
- Biondini ME, Bonham CD, Redente EF**. 1985. Secondary successional patterns in a sagebrush (*Artemisia tridentata*) community as they relate to soil disturbance and soil biological activity. *Vegetatio* 60: 25-36.
- Dickman MD**. 1998. Benthic marine diatom deformities associated with contaminated sediments in Hong Kong. *Environment International* 24: 749-759.
- Dufrêne M, Legendre P**. 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs* 67: 345-366.
- Duong TT, Morin S, Coste M, Herlory O, Feurtet-Mazel A, Boudou A**. 2010. Experimental toxicity and bioaccumulation of cadmium in freshwater periphytic diatoms in relation with biofilm maturity. *Science of the Total Environment* 408: 552-562.
- Goodall DW**. 1973. Numerical classification. In Whittaker RH, Junk DW, eds. *Handbook of Vegetation Science*. The Hague, 577-615.
- Kruskal JB**. 1964. Nonmetric multidimensional scaling: a numerical method. *Psychometrika* 29: 115-129.
- Lainé M, Morin S, Tison-Rosebery J**. 2014. A multicompartiment approach - diatoms, macrophytes, benthic macroinvertebrates and fish - to assess the impact of toxic industrial releases on a small French river. *PLoS ONE* 9: e102358.
- Lecoite C, Coste M, Prygiel J**. 1993. Omnidia - Software for taxonomy, calculation of diatom indices and inventories management. *Hydrobiologia* 269/270: 509-513.
- McFarland BH, Hill BH, Willingham WT**. 1997. Abnormal *Fragilaria* spp. (Bacillariophyceae) in streams impacted by mine drainage. *Journal of Freshwater Ecology* 12: 141-149.
- Morin S, Cordonier A, Lavoie I, Arini A, Blanco S, Duong TT, Tornés E, Bonet B, Corcoll N, Faggiano L, Laviale M, Pérès F, Becares E, Coste M, Feurtet-Mazel A, Fortin C, Guasch H, Sabater S**. 2012. Consistency in diatom response to metal-contaminated environments. In Guasch H, Ginebreda A, Geislinger A, eds. *Handbook of Environmental Chemistry*, vol. 19 Springer, Heidelberg, 117-146.
- Morin S, Duong TT, Herlory O, Feurtet-Mazel A, Coste M**. 2008. Cadmium toxicity and bioaccumulation in freshwater biofilms. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 54: 173-186.
- Pérès F**. 1999. Mise en évidence des effets toxiques des métaux lourds sur les diatomées par l'étude des formes tératogènes. Rapport d'étude, Agence de l'Eau Artois Picardie.
- Rosebery J, Morin S**. 2011. L'indice biologique diatomées et la bio-indication des pollutions toxiques. *Adour Garonne* 114: 14.
- 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: 117-133.

Annexe 1 : Inventaires floristiques.

	ADEG	ADEU	ADMI	ADMT	ADSA	APED	BPRO	BSER	BVIT	CBNA	CCRU	CHME	CHSM	CINV	CMEN	CPLA
lv15A	0	2	5	0	0	0	9	1	0	0	0	1	1	1	0	0
lv15AVL	0	1	6	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	1	0
lv15AVP	0	0	13	1	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
lv30A	0	1	8	0	0	2	2	3	0	0	1	1	0	0	1	0
lv30AVL	1	2	21	0	0	0	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0
lv30AVP	0	0	17	0	0	1	3	1	0	0	0	0	0	0	1	1
sn30A	0	0	8	1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sn30AVL	0	0	246	58	35	0	0	0	49	0	0	7	0	0	0	0
sn30AVP	0	0	10	1	2	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0

	DCOT	EARC	EARL	EBIL	EBOT	EEXI	EFAO	EFLE	EIMP	EINC	ELAP	EMUC	ENNG	ENPE	EOMI	EPAL
lv15A	0	0	8	8	0	57	0	2	8	15	1	0	0	0	3	13
lv15AVL	1	2	0	5	0	29	0	4	0	22	5	2	0	2	5	0
lv15AVP	0	7	0	4	0	36	0	10	3	19	0	0	0	0	0	0
lv30A	0	0	1	6	0	48	0	2	11	19	1	0	0	0	6	10
lv30AVL	0	0	1	5	0	43	1	2	21	18	1	0	2	0	2	7
lv30AVP	0	0	2	0	2	31	0	5	8	17	0	0	2	0	3	3
sn30A	0	0	0	0	0	48	0	1	3	2	0	0	1	0	2	1
sn30AVL	0	0	0	0	0	4	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
sn30AVP	0	0	0	0	0	15	0	1	10	7	0	1	0	0	0	2

	EPEC	EPUN	ERHO	ESLE	ESUB	EUPA	FACD	FCVA	FEXG	FGRA	FPUL	FRUM	FSAX	FTEN	FVUL	GACU
lv15A	5	8	0	0	6	0	0	0	0	0	1	0	2	16	0	0
lv15AVL	1	13	0	0	0	2	0	3	0	0	3	0	3	1	0	0
lv15AVP	1	6	0	0	5	13	3	0	0	0	0	2	0	0	0	0
lv30A	0	18	2	0	11	0	0	0	0	0	5	0	0	0	2	0
lv30AVL	2	6	0	0	5	0	0	2	0	1	13	0	5	0	0	0
lv30AVP	0	8	2	0	2	0	0	1	0	2	5	1	0	0	0	0
sn30A	0	1	0	0	8	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
sn30AVL	0	1	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
sn30AVP	2	3	0	1	1	0	4	0	3	4	9	3	1	0	0	3

	GEXL	GGRA	GLGN	GPAP	GPEL	HAMP	KCLE	KOBG	NAAM	NACD	NBIS	NCRY	NDIS	NDPU	NDSS	NALP
lv15A	4	4	0	5	0	0	0	22	2	0	1	2	0	6	0	0
lv15AVL	0	2	7	4	0	0	0	18	3	0	0	0	0	0	0	0
lv15AVP	0	4	2	9	0	0	0	13	2	0	0	1	0	2	0	0
lv30A	0	2	0	7	1	2	0	35	0	0	0	0	0	4	0	3
lv30AVL	5	2	3	8	0	0	0	19	4	0	0	2	2	2	0	0
lv30AVP	4	0	0	6	0	0	1	9	1	0	0	0	0	0	0	0
sn30A	16	0	54	8	0	0	0	63	1	1	0	0	0	32	1	0
sn30AVL	1	0	0	5	0	0	0	7	8	0	0	1	0	0	0	0
sn30AVP	2	0	3	6	0	0	0	16	4	0	0	1	0	9	0	0

	NFON	NIAR	NLIN	NNOT	NPAL	NREC	NRHY	NVEN	NVIP	PBIO	PCLT	PDAU	PFIB	PGIB	PHEL	PLFR
lv15A	1	0	0	0	3	0	5	0	0	4	0	0	17	0	2	0
lv15AVL	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	41	1	0	0
lv15AVP	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	1	0
lv30A	0	0	0	1	1	3	1	0	0	0	10	3	21	0	4	0
lv30AVL	0	3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1	14	0	0	0
lv30AVP	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	6	1	9	0	0	0
sn30A	0	1	0	0	14	1	3	0	0	0	0	0	1	0	1	0
sn30AVL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sn30AVP	0	0	0	0	2	3	0	1	1	0	0	0	9	0	2	4

	PMIC	PMIO	PMRG	PPRI	PSAT	PSCA	PSIL	PSRE	PTEL	PTLA	RSIN	SANG	SEXG	SLCO	SPUP	SRBA
lv15A	3	0	0	0	0	25	0	9	0	0	0	0	2	0	0	5
lv15AVL	0	0	2	2	0	2	0	0	0	0	0	3	2	0	1	1
lv15AVP	0	0	1	2	0	12	0	1	0	1	0	0	2	0	0	0
lv30A	6	2	0	0	2	18	0	4	0	3	0	0	5	0	1	7
lv30AVL	0	2	1	0	0	11	0	6	1	0	1	1	1	0	0	0
lv30AVP	0	0	1	0	1	17	0	0	4	1	0	1	1	0	1	4
sn30A	0	0	1	0	0	33	1	2	0	0	0	0	0	1	0	55
sn30AVL	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
sn30AVP	0	0	1	0	0	11	3	2	0	0	0	0	0	0	0	3

	SSVE	STAN	STCU	STDE	STKR	STLE	TFEN	TFLO	TFLT	TVEN	UULN
lv15A	1	0	1	4	1	0	0	27	0	71	0
lv15AVL	0	0	0	5	0	0	0	36	4	139	1
lv15AVP	0	0	0	0	0	0	31	21	7	133	0
lv30A	0	1	0	0	1	0	4	13	0	77	0
lv30AVL	0	0	0	4	0	0	0	9	3	125	0
lv30AVP	4	0	0	0	0	0	4	15	5	181	0
sn30A	0	0	0	1	0	0	3	2	0	21	0
sn30AVL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0
sn30AVP	0	1	0	2	0	2	0	3	2	226	0

Annexe 2 : Liste floristique.

CODE	DENOMINATION
ADEG	<i>Achnanthydium exiguum</i> (Grunow) Czarnecki
ADEU	<i>Achnanthydium eutrophilum</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot
ADMI	<i>Achnanthydium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki
ADMT	<i>Achnanthydium minutissimum</i> (Kütz.) Czarnecki f. anormale
ADSA	<i>Achnanthydium saprophilum</i> (Kobayasi et Mayama) Round & Bukhtiyarova
APED	<i>Amphora pediculus</i> (Kützing) Grunow
BPRO	<i>Brachysira procera</i> Lange-Bertalot & Moser
BSER	<i>Brachysira serians</i> (Breb.) Round et Mann var. serians
BVIT	<i>Brachysira vitrea</i> (Grunow) Ross in Hartley
CBNA	<i>Cymbopleura naviculiformis</i> (Auerswald) Krammer var. naviculiformis
CCRU	<i>Capartogramma crucicula</i> (Grun.ex Cl.) Ross
CHME	<i>Chamaepinnularia mediocris</i> (Krasske) Lange-Bertalot in Lange-Bertalot & Metzeltin
CHSM	<i>Chamaepinnularia soehrensensis</i> var. muscicola (Peters.) Lange-Bertalot & Krammer
CINV	<i>Cyclostephanos invisitatus</i> (Hohn & Hellerman) Theriot Stoermer & Hakansson
CMEN	<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing
CPLA	<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg var. placentula
DCOT	<i>Diadesmis contenta</i> (Grunow ex V. Heurck) Mann
EARC	<i>Eunotia arcus</i> Ehrenberg var. arcus s.str.
EARL	<i>Eunotia arculus</i> Lange-Bertalot & Nörpel in Lange-Bertalot
EBIL	<i>Eunotia bilunaris</i> (Ehr.) Mills var. bilunaris
EBOT	<i>Eunotia botuliformis</i> Wild, Nörpel-Schempp & Lange-Bertalot
EEXI	<i>Eunotia exigua</i> (Brebisson ex Kützing) Rabenhorst
EFAO	<i>Eunotia fallacoides</i> Lange-Bertalot & Cantonati
EFLE	<i>Eunotia flexuosa</i> (Brebisson) Kützing
EIMP	<i>Eunotia implicata</i> Nörpel-Schempp Alles & Lange-Bertalot in Alles & al.
EINC	<i>Eunotia incisa</i> Gregory var. incisa
ELAP	<i>Eunotia lapponica</i> Grunow ex A. Cleve
EMUC	<i>Eunotia mucophila</i> (Lange-Bert. & Nörpel Schempp) Lange-Bertalot
ENNG	<i>Encyonema neogracile</i> Krammer
ENPE	<i>Encyonema perpusillum</i> (A. Cleve) D.G. Mann
EOMI	<i>Eolimna minima</i> (Grunow) Lange-Bertalot
EPAL	<i>Entomoneis paludosa</i> (W. Smith) Reimer var. paludosa
EPEC	<i>Eunotia pectinalis</i> (Kützing) Rabenhorst var. pectinalis
EPUN	<i>Eunotia pectinalis</i> (Kütz.) Rabenhorst var. undulata (Ralfs) Rabenhorst
ERHO	<i>Eunotia rhomboidea</i> Hustedt
ESLE	<i>Encyonema silesiacum</i> (Bleisch in Rabh.) D.G. Mann
ESUB	<i>Eunotia subarcuatoides</i> Alles Nörpel & Lange-Bertalot in Alles et al.
EUPA	<i>Eunotia paludosa</i> Grunow
FACD	<i>Fragilaria acidoclinata</i> Lange-Bertalot & Hofmann
FCVA	<i>Fragilaria capucina</i> Desmazieres var. vaucheriae (Kützing) Lange-Bertalot
FEXG	<i>Fragilaria exiguiiformis</i> Lange-Bertalot
FGRA	<i>Fragilaria gracilis</i> Østrup
FPUL	<i>Fragilaria pulchella</i> (Ralfs ex Kütz.) Lange-Bertalot (Ctenophora)
FRUM	<i>Fragilaria rumpens</i> (Kütz.) G.W.F. Carlson

FSAX	<i>Frustulia saxonica</i> Rabenhorst
FTEN	<i>Fragilaria tenera</i> (W.Smith) Lange-Bertalot
FVUL	<i>Frustulia vulgaris</i> (Thwaites) De Toni
GACU	<i>Gomphonema acuminatum</i> Ehrenberg var. <i>acuminatum</i>
GEXL	<i>Gomphonema exilissimum</i> (Grun.) Lange-Bertalot & Reichardt
GGRA	<i>Gomphonema gracile</i> Ehrenberg
GLGN	<i>Gomphonema lagenula</i> Kützing
GPAP	<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing var. <i>parvulum</i> f. <i>parvulum</i>
GPEL	<i>Gomphonema pumilum</i> var. <i>elegans</i> Reichardt & Lange-Bertalot
HAMP	<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehr.) Grunow in Cleve et Grunow 1880
KCLE	<i>Karayevia clevei</i> (Grunow) Bukhtiyarova var. <i>clevei</i>
KOBG	<i>Karayevia oblongella</i> (Oestrup) M. Aboal
NAAN	<i>Navicula angusta</i> Grunow
NACD	<i>Nitzschia acidoclinata</i> Lange-Bertalot
NBIS	<i>Neidium bisulcatum</i> (Lagerstedt) Cleve var. <i>bisulcatum</i>
NCRY	<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing
NDIS	<i>Nitzschia dissipata</i> (Kützing) Grunow ssp. <i>dissipata</i>
NDPU	<i>Nitzschia disputata</i> Carter
NDSS	<i>Neidium densestriatum</i> (Ostrup) Krammer
NALP	<i>Neidium alpinum</i> Hustedt
NFON	<i>Nitzschia fonticola</i> Grunow in Van Heurck
NIAR	<i>Nitzschia archibaldii</i> Lange-Bertalot
NLIN	<i>Nitzschia linearis</i> (Agardh) W.M.Smith var. <i>linearis</i>
NNOT	<i>Navicula notha</i> Wallace
NPAL	<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W.Smith var. <i>palea</i>
NREC	<i>Nitzschia recta</i> Hantzsch in Rabenhorst
NRHY	<i>Navicula rhychocephala</i> Kützing
NVEN	<i>Navicula veneta</i> Kützing
NVIP	<i>Navicula vilaplani</i> (Lange-Bert. & Sabater) Lange-Bertalot & Sabater in Rumrich & al.
PBIO	<i>Psammothidium bioretii</i> (Germain) Bukhtiyarova et Round
PCLT	<i>Placoneis clementis</i> (Grun.) Cox
PDAU	<i>Planothidium dau</i> (Foged) Lange-Bertalot
PFIB	<i>Peronia fibula</i> (Breb. ex Kütz.) Ross
PGIB	<i>Pinnularia gibba</i> Ehrenberg
PHEL	<i>Psammothidium helveticum</i> (Hustedt) Bukhtiyarova et Round
PLFR	<i>Planothidium frequentissimum</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot
PMIC	<i>Pinnularia microstauron</i> (Ehr.) Cleve var. <i>microstauron</i>
PMIO	<i>Planothidium miotum</i> (Carter) Lange-Bertalot
PMRG	<i>Psammothidium marginulatum</i> (Grun) Bukhtiyarova & Round
PPRI	<i>Pinnularia perirrorata</i> Krammer
PSAT	<i>Psammothidium subatomoides</i> (Hustedt) Bukhtiyarova et Round
PSCA	<i>Pinnularia subcapitata</i> Gregory var. <i>subcapitata</i>
PSIL	<i>Pinnularia silvatica</i> Petersen
PSRE	<i>Psammothidium rechtensis</i> (Leclercq) Lange-Bertalot
PTEL	<i>Planothidium ellipticum</i> (Cl.) Round & Bukhtiyarova
PTLA	<i>Planothidium lanceolatum</i> (Brebisson ex Kützing) Lange-Bertalot
RSIN	<i>Reimeria sinuata</i> (Gregory) Kociolek & Stoermer

SANG	<i>Surirella angusta</i> Kützing
SEXG	<i>Stauroforma exiguiformis</i> (Lange-Bertalot) Flower Jones et Round
SLCO	<i>Surirella linearis</i> W.M.Smith var. <i>constricta</i> Grunow
SPUP	<i>Sellaphora pupula</i> (Kützing) Mereschkowksy
SRBA	<i>Surirella roba</i> Leclercq
SSVE	<i>Staurosira venter</i> (Ehr.) Cleve & Moeller
STAN	<i>Stauroneis anceps</i> Ehrenberg
STCU	<i>Stenopterobia curvula</i> (W.Smith) Krammer in Lange-Bertalot & Krammer
STDE	<i>Stenopterobia delicatissima</i> (Lewis) Van Heurck
STKR	<i>Stauroneis kriegeri</i> Patrick
STLE	<i>Stauroneis legumen</i> (Ehrenberg) Kützing
TFEN	<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngbye) Kützing
TFLO	<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kützing
TFLT	<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth)Kützing f. <i>anormale</i>
TVEN	<i>Tabellaria ventricosa</i> Kützing
UULN	<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch.) Compère

Annexe 3 : Données physicochimiques brutes.

	Unité	Amont	2014	
			Aval direct	Aval lointain
pH (terrain)		7,2	6,74	6,7
Oxygène dissous (terrain)	mg/l	8,9	8,9	8,4
Saturation en Oxygène (terrain)	%	90	88,4	84,2
Conductivité (terrain)	µs/cm	110	142	145
Température (terrain)	°C	14,8	15,6	15,9
Turbidité	NFU	2,3	3,3	3,9
TAC	°f	1,1	1,2	1,5
Nitrates	mg/l NO3	3,2	2,9	4,1
DCO	mg/l O2	23	22	<20
DBO5	mg/l O2	1,8	3,4	2,7
COD	mg/l C (filtre 0,45 µ)	3,9	4,3	4
MES	mg/l	4,1	3,1	5,3
Ammonium	mg/l NH4	0,082	0,85	0,72
Nitrites	mg/l NO2	0,024	0,019	<0,01
Azote Kjeldahl	mg/l N	<0,5	1,3	0,82
Orthophosphates	mg/l P	0,025	0,029	0,021
Phosphore total	mg/l P	0,02	0,02	0,015
Cyanures libres	µg/l CN	<10	<10	<10
Cyanures totaux	µg/l CN	<10	<10	<10
Aluminium nf*	µg/l Al	300	280	280
Fer nf	µg/l Fe	420	440	500
Arsenic nf	µg/l As	<1	<1	<1
Cadmium nf	µg/l Cd	<0,025	<0,025	<0,025
Chrome nf	µg/l Cr	<1	<1	<1
Cuivre nf	mg/l Cu	<0,001	0,0012	<0,001
Manganèse nf	µg/l Mn	15	17	21
Mercuré nf	µg/l Hg	<0,015	<0,015	<0,015
Nickel nf	µg/l Ni	<1	<1	<1
Plomb nf	µg/l Pb	<1	<1	<1
Zinc nf	mg/l Zn	0,039	0,032	0,025
Aluminium d*	µg/l Al	140	150	150
Chrome d	µg/l Cr	<1	<1	<1
Manganèse d	µg/l Mn	14	16	19
Nickel d	µg/l Ni	<1	<1	<1
Cuivre d	mg/l Cu	<0,001	<0,001	<0,001
Zinc d	mg/l Zn	0,0059	0,0098	0,025
Arsenic d	µg/l As	<1	<1	<1
Cadmium d	µg/l Cd	<0,025	<0,025	<0,025
Plomb d	µg/l Pb	<1	<1	<1
Fer d	µg/l Fe	170	240	200
Mercuré d	µg/l Hg	<0,015	<0,015	<0,015
1,2,4,5 Tétrachlorobenzène	µg/l	NA	NA	NA
Benzène	µg/l	<0,1	<0,1	<0,1
Toluène	µg/l	<0,1	<0,1	<0,1
3-Chlorotoluène	µg/l	<0,02	<0,02	<0,02
Aniline	mg/l	<5	<5	<5
Disulfure de carbone	µg/l	<5	<5	<5
2-Nitrotoluène	µg/l	<1	<1	<1
Nitrobenzène	µg/l	<2	<2	<2

*nf=non filtré ; d=dissous (filtration 0,45 µm)