



HAL
open science

Suivi cinétique de la dynamique de colonisation des peuplements de diatomées épilithiques soumises à un gradient de pollutions métalliques sur un site naturel pollué (Riou Mort, Aveyron)

Maria Luisa Vivas Nogues

► To cite this version:

Maria Luisa Vivas Nogues. Suivi cinétique de la dynamique de colonisation des peuplements de diatomées épilithiques soumises à un gradient de pollutions métalliques sur un site naturel pollué (Riou Mort, Aveyron). Sciences de l'environnement. 2005. hal-04353340

HAL Id: hal-04353340

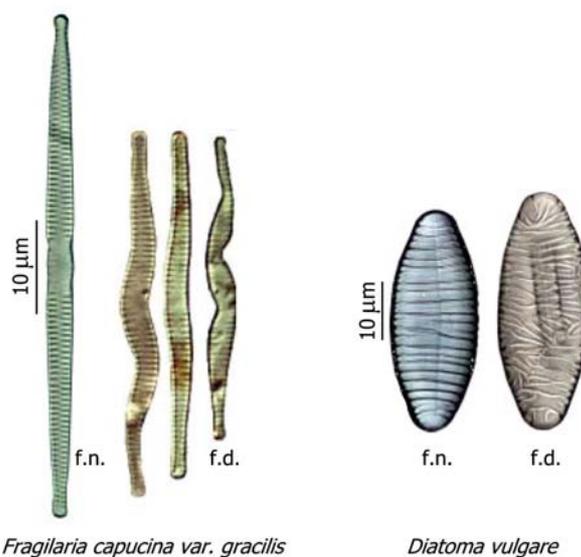
<https://hal.inrae.fr/hal-04353340>

Submitted on 19 Dec 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Suivi cinétique de la dynamique de colonisation des peuplements de diatomées épilithiques soumises à un gradient de pollutions métalliques sur un site naturel pollué (Riou Mort, Aveyron)



Maria Luisa VIVAS NOGUES

Département Gestion des Milieux Aquatiques

Unité de Recherche Qualité des Eaux

50, avenue de Verdun

33612 CESTAS Cedex

- Tel. (33) 5 57 89 08 00

- Fax (33) 5 57 89 08 01

Janv. 2005

RESUME

Les communautés de diatomées épilithiques ont été étudiées sur la rivière Lot, dans un petit affluent pollué à cause des rejets industriels de cadmium et de zinc qui proviennent du site industriel de «Vieille Montagne» (Viviez, Aveyron). Les stations de prélèvement présentent des caractéristiques de pollution différentes pour avoir un gradient de pollution métallique. Lors des quatre campagnes de prélèvements l'accumulation métallique dans les biofilms a été décrite et analysée; les communautés diatomiques ont été caractérisées et finalement ont été observés les effets toxiques de la pollution métallique sur les communautés diatomiques qui se manifestent par une sélection d'espèces tolérantes aux métaux, ainsi que par la déformation de certaines espèces.

Maîtres de stage

Michel COSTE (Directeur de recherches)

Soizic MORIN (Doctorante)

Département Gestion de Milieux Aquatiques

Unité de Recherche Qualité des Eaux 50, avenue de Verdun

33 612 CESTAS Cedex

Tél : 0557890800-Fax : 0557890801

Je tiens à remercier Monsieur **François Delmas**, responsable de l'Unité de Recherche Qualité des Eaux du Cemagref de Bordeaux, pour m'avoir confié ce projet bien que mon niveau de français ne soit pas très bon.

J'aimerais remercier **Soizic Morin**, pour son soutien et son aide pendant la réalisation de mon stage parce sans elle ce n'était pas possible de faire. En plus pour son aide sur le terrain et pour sa bonne humeur.

Je remercie également Monsieur **Michel Coste**, pour m'avoir aidée toujours quand j'avais quelque question sur les diatomées et pour sa bonne humeur aussi.

Un grand merci à **Cathy Ferrière** pour m'aider à améliorer mon français et pour son sourire tous les matins.

Merci enfin à toute l'Unité de Recherche du Cemagref pour son accueil durant ces quatre mois de stage.

J'ai une pensée particulière pour mes parents, mon frère et Gerardo pour leur soutien pendant ces quatre mois loin d'eux et pour mes amis du Village1 aussi, pour tout les soirées qu'on a passées ensemble après avoir travaillé.

moSOMMAIRE

TABLE DES MATIERES

I. INTRODUCTION.....	1
1.1. Caractéristiques des diatomées épilithiques.....	1
1.2. Effets de la pollution métallique sur les communautés diatomiques.....	1
1.3. Le « site-atelier » sur la rivière Lot.....	2
1.4. Objectifs spécifiques du stage.....	2
II. MATERIEL ET METHODES.....	2
2.1. Points de prélèvement.....	2
2.2. Matériel.....	3
2.3. Protocole de traitement des échantillons.....	3
2.4. Analyse des données.....	3
III. RESULTATS ET DISCUSSION.....	4
3.1. Caractérisation globale des biofilms.....	4
3.1.1. Composition du biofilm.....	4
3.1.2. Estimation de la production primaire.....	4
3.1.3. Accumulation métallique dans les biofilms.....	5
3.2. Physico-chimie.....	5
3.3. Caractérisation des communautés diatomiques.....	6
3.3.1. Dynamique globale de colonisation par les diatomées.....	6
3.3.2. Structure des communautés.....	6
3.3.3. Effets toxiques sur la structure des communautés.....	7
IV. CONCLUSIONS.....	14
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	15
ANNEXES.....	19

INDEX DES ILLUSTRATIONS

Figure 1: Départements scientifiques du Cemagref.....	Hors pagination
Figure 2: Localisation des stations de l'étude.....	2
Figure 3: Cage et substrats artificiels.....	3
Figure 4: Planning de prélèvements.....	3
Figure 5: Composition du biofilm (fraction organique vs. fraction minérale) F : Firmi, D : Decazeville et P : Pont Cassé.....	4
Figure 6: Total chlorophylle <i>a</i> + phaeopigments . F : Firmi, D : Decazeville, P : Pont Cassé	4
Figure 7: Concentration de cadmium dans le biofilm au Pont Cassé, Decazeville et Firmi.....	5
Figure 8: Teneurs en nitrite et nitrate dans les stations Firmi (F), Decaceville (D) et Pont Cassé (P).....	6
Figure 9: Abondances relatives des espèces majoritaires des communautés de diatomées aux trois stations.....	7
Figure10: ACP des abondances relatives des communautés de diatomées aux trois stations.....	7
Figure11: Valeurs moyennes et écart-types des indices diatomiques IBD et IPS.....	8
Figure12: Valeurs moyennes et écart-types de l'indice biovolume moyen.....	8
Figure 13. Représentation graphique des quantités relatives d'espèces de grande taille et de petite taille.....	9
Figure14: Abondance relative des espèces EOMI (<i>Eolimna minima</i> (Grunow) Lange-Bertalot) et CMEN (<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kutzing) dans les stations de prélèvements (Pont Cassé, Decaceville (intermarché) et Firmi).....	10
Figure15: Abondance des formes anormales. Pont Cassé, Decazeville (intermarché) et Firmi.....	14

ORGANIGRAMME

Le Cemagref est un institut de recherche à taille humaine regroupant 900 personnes, dont 450 ingénieurs et chercheurs. Il accueille en moyenne 200 doctorants, 23 post-doctorants et 250 stagiaires de longue durée.

Président du Conseil d'administration : Jean-François Carrez

Directeur général : Patrick Lavarde

Directeur scientifique : Claudine Schmidt-Lainé	Service des relations européennes et internationales Alain Vidal
Directeur scientifique adjoint : Pierrick Givone	Conseiller Paul Caseau
	Mission de l'informatique scientifique Gilles Bonnet
	Chargé de mission Luc-André Leclerc
Direction du développement et de l'innovation	
Directeur du développement et de l'innovation Joël Chové	Délégué à la valorisation économique Jean-Bernard Montalescot
	Délégué aux risques naturels Gérard Brugnot
	Délégué à l'appui aux services publics Patrick Landrot
Secrétariat général	
Secrétaire général Pierre-Yves Saint	Service des ressources humaines Sandrine Andréani
	Service financier Daniel Cordier
	Service juridique Pascal Odot
	Service imprimerie Martine Scheidecker
	Agent comptable Christine Proust
Délégation aux systèmes d'information et à la communication	
Directeur délégué Nicolas de Menthière	Service des systèmes d'information Jean Chapuzet
	Service de l'information scientifique et technique Odile Hologne
	Service communication Gisèle Parfait
Délégation à l'évaluation et à la qualité	
Directeur délégué à l'évaluation et à la qualité René Urien	Responsable pour la qualité Marc Mounin

PRINCIPALES ACTIVITES DU CEMAGREF

La recherche au Cemagref s'organise autour de quatre grandes orientations thématiques (fig.1). Elles correspondent à des enjeux actuels et futurs bien identifiés par la communauté scientifique internationale et répondent à des besoins des milieux professionnels et des pouvoirs publics.

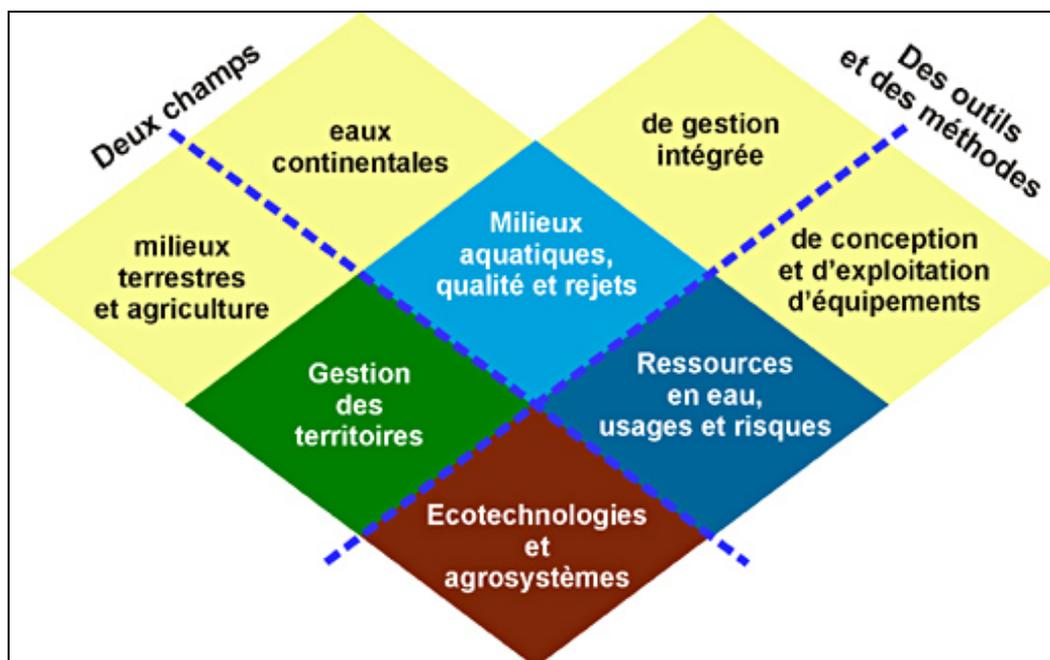


Figure 1. Départements scientifiques du Cemagref

1. Milieux aquatiques, qualité et rejets

On peut différencier deux axes thématiques :

1. Technologies et procédés de l'eau et des déchets- TED
2. Qualité des systèmes écologiques aquatiques – QSA

Les thèmes de recherche dans ce domaine proposent des outils et des méthodes opérationnels pour améliorer la gestion des milieux aquatiques. Ils sont centrés sur le fonctionnement des hydrosystèmes avec pour objectifs de connaître, prévoir et maîtriser l'influence des phénomènes naturels et des actions humaines sur les transferts d'eau et de matières dans les bassins versants et les réseaux hydrographiques, ainsi que sur la dynamique des écosystèmes fluviaux.

2. Ressources en eau, usages et risques

Les axes thématiques sont :

1. Gestion de l'eau et des services publics associés – GES
2. Risques liés à l'eau- RIE

Les thèmes de recherche de ce domaine répondent aux enjeux d'une meilleure gestion de la ressource en eau, à ceux d'une gestion efficace des déchets et de prévention des risques naturels. Ils prennent en compte l'exigence permanente de qualité et de sécurité des ouvrages, des équipements hydrauliques et des réseaux. Les unités de recherche fournissent aux responsables techniques, aux acteurs publics ou privés des outils de gestion leur permettant d'améliorer, d'entretenir ou de renouveler et de gérer leurs équipements.

3. Gestion des territoires

Les axes thématiques sont :

1. Systèmes écologiques terrestres – ECOSYT
2. Agriculture multifonctionnelle et nouvelles ruralités – RURAMEN

La recherche dans ce domaine vise qu' à produire et à valider les connaissances pour une gestion intégrée des espaces à dominante rurale en prenant plus particulièrement en compte les biens publics environnementaux. Les unités de recherche fournissent aux gestionnaires d'espaces naturels et aux acteurs du développement et de l'aménagement du territoire, une expertise, des outils et des méthodes d'aide à la décision, ainsi qu'un appui à la conception et à la mise en œuvre de politiques publiques.

4. Écotecnologies et agrosystèmes

Les axes thématiques sont :

1. Technologies pour des systèmes agricoles durables – TESAD
2. Technologies et procédés physiques pour la sûreté des aliments - TEPSA

Les thèmes de recherche de ce domaine ont pour objectifs la compréhension des procédés technologiques utilisés en agriculture et en agro-alimentaire et l'élaboration de méthodes et d'outils permettant d'agir sur ces procédés. A partir de ces résultats thématiques, les unités développent des innovations technologiques, fournissent des outils d'aide à la décision, réalisent des essais et des actions de normalisation.

I. INTRODUCTION

1.1. Caractéristiques des diatomées épilithiques

Les Diatomées (ou Bacillariophycées) sont un groupe d'algues brunes unicellulaires, qui constituent le principal groupe constitutif de la biomasse algale dans les biofilms lotiques. Les Diatomées épilithiques font partie de l'épilithon (développement algal sur le substrat immergé). Les algues épilithiques colonisent les différents types de substrats formant le lit de la rivière en fonction des conditions de « microhabitat » (de composition minéralogique, de dureté et de rugosité) (MACAN (1974) et WHITTON (1975)). L'abondance relative des diatomées peut représenter jusqu'à 70% de l'épilithon, elles sont donc très représentatives.

1.2. Effets de la pollution métallique sur les communautés diatomiques

La structure des communautés diatomiques peut être affectée par des niveaux élevés de toxiques et particulièrement par les métaux (IVORRA 2000 ; GOLD 2002) qui représentent une source commune de contamination aquatique. La toxicité au niveau cellulaire peut se traduire par des modifications biochimiques et une diminution de la croissance. L'inhibition de la croissance constitue *a priori* un bon indicateur d'impact des toxiques (OKAMOTO, ASANO et al. 1996 ; TORRES, CID et al. 2000 ; GUANZON , NAKAHARA et al. 1994). Finalement se produit une diminution de la taille de certains des taxons rencontrés dans les échantillons prélevés sur sites pollués par rapport à la référence « propre » (STEVENSON 1991; CATTANEO, ASIOLI et al. 1998 ; PERREIN-ETTAJANI, AMIARD et al. 1999).

La présence de polluants dans le milieu semblerait avoir un effet dépréciatif sur la reproduction (au niveau des stratégies de reproduction (PERES, FLORIN et al. 1996) notamment), ainsi que sur les densités de communautés diatomiques (PERES, FLORIN et al. 1996 ; CATTANEO, ASIOLI et al. 1998 ; SABATER 2000 ; WUNSAM, CATTANEO et al. 2002).

Les algues présentent des mécanismes constitutifs (c'est-à-dire présents dans la plupart des phénotypes) et adaptatifs (existant seulement dans les phénotypes tolérants) leur permettant de faire face à des concentrations élevées en métaux (MEHARG 1994). Le principal objectif de ces mécanismes est de limiter les perturbations de l'homéostasie de la cellule consécutives à une exposition aux métaux. En fait des études ont mis en évidence des effets favorisant sur la taille très probablement imputables à une tolérance de l'espèce par rapport à ce toxique (MORIN, DELMAS, et al 2004). Les facteurs physico-chimiques du milieu, comme la température de l'eau, les concentrations en nutriments, le pH, la dureté, etc., influencent de façon importante la toxicité des métaux vis-à-vis des micro-algues (GENTER 1996, WANG and DEI 2001).

1.3. Le « site-atelier » sur la rivière Lot

L'étude est menée sur la rivière Lot, dans le département de l'Aveyron (SO, France). Dans cette zone, des rejets industriels de cadmium (Cd) et de zinc (Zn) dans un petit affluent du Lot (le Riou-Mort) sont à l'origine d'une pollution importante de la rivière, qui se propage dans la Garonne jusqu'à l'embouchure de l'estuaire de la Gironde, située à plus de 450 km de la zone de rejets.

Le site industriel de « Vieille Montagne », situé de part et d'autre du Riou-Viou, un petit affluent du Riou-Mort lui-même connecté au Lot, est l'origine de la pollution polymétallique de cette rivière (fig.1). Installée depuis 1987, cette usine a produit du zinc pendant plus d'un siècle jusqu'à 1987, mais la percolation à travers les « crassiers » et la contamination de la nappe souterraine se poursuivent, et conduisent à des rejets relativement importants dans le Riou-Mort.

1.4. Objectifs spécifiques du stage

Cette étude a pour objectifs principaux de :

- Décrire et analyser de l'accumulation métallique dans les biofilms.
- Caractériser les communautés diatomiques : structure et dynamique de colonisation.
- Analyser les effets toxiques de la pollution métallique sur les communautés diatomiques.

II. MATERIEL ET METHODES

2.1. Points de prélèvement

Les stations de prélèvement sont localisées sur le Riou-Mort : « RM Firmi », « RM Decazeville » et « RM Pont Cassé » (fig.2). Chaque station présente des caractéristiques de pollution des eaux différentes. « RM Firmi » est la station de référence peu anthropisée ; la station « RM Decazeville » est caractérisée par un fort niveau de pollution organique et « RM Pont Cassé » présente des fortes teneurs en cadmium dissous ($[Cd] = 3-55 \mu g/L$) (AUDRY, BLANC et al 2003).

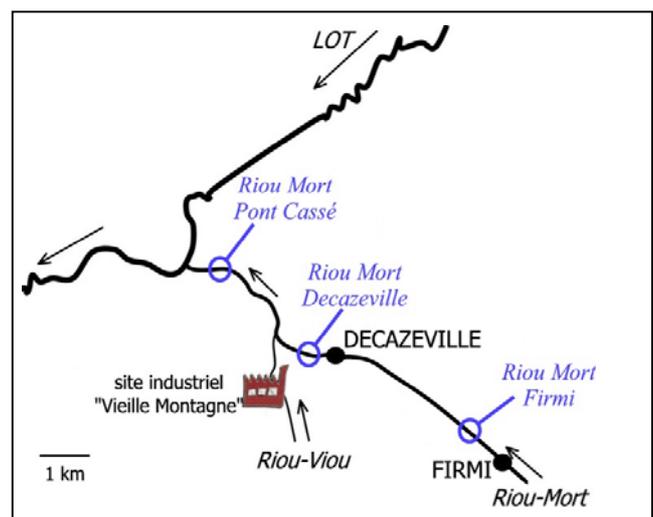


Figure 2. Localisation des stations de l'étude.

2.2. Matériel

Des lames de verre placées dans des cages équipées de flotteurs (fig.3) sont immergées durant 4 à 20 jours pour permettre le développement algal sur les substrats.



Figure 3. Cage et substrats artificiels.

Pour les prélèvements de terrain (réalisés en Juillet 2004), deux lames ont été prélevées à chaque station lors de chaque campagne d'échantillonnage.

Dans la figure 4 on peut voir le calendrier de la planification des prélèvements.

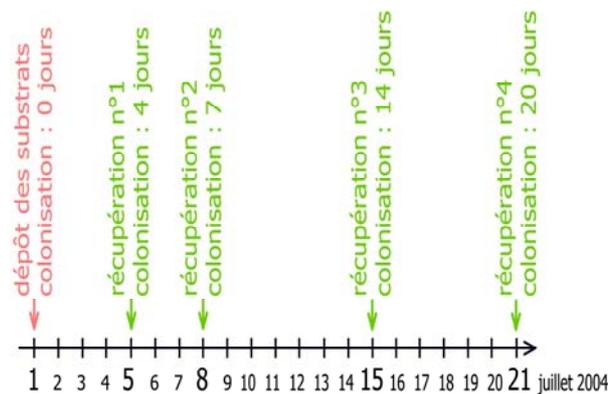


Figure 4. Planning de prélèvements.

2.3. Protocole de traitement des échantillons

Les lames sont raclées soigneusement, le biofilm mis en suspension dans de l'eau minérale est ajusté à un volume de 200 mL. A partir de ce volume de « solution-mère », des aliquotes sont prélevés et dévolus à différentes analyses: caractérisation du biofilm (fraction organique et minérale, mesure des teneurs en cadmium mesures de chlorophylle), description des communautés diatomiques (identification taxonomique) (ANNEXE A, fig.1).

Aux différentes dates de prélèvement, une estimation de la physico-chimie a été réalisée sur le terrain (température, pH, oxygène dissous, conductivité) et des échantillons d'eau ont été ramenés pour une analyse en laboratoire de la qualité de l'eau de chaque station. Les différents paramètres étudiés sont les suivants : les nutriments - N (NO_3 , NO_2 , NH_4) ; P (total, H_3PO_4) ; Si - et la physico-chimie – pH ; conductivité ; oxydabilité au permanganate- (ANNEXE A, fig. 2).

2.4. Analyse des données

Les données physicochimiques ainsi que les données d'abondance relative des espèces sont représentés graphiquement grâce à MSeExcel. La structure des communautés diatomiques est expliquée à l'aide de l'Analyse de Composantes Principales (ACP), que l'on a faite avec le logiciel PC-ORD (version 4). L'ACP est une méthode d'analyse multivariée très utilisée en écologie et dans cette étude elle permet d'identifier les réponses des populations de Diatomées a la pollution métallique.

Pour avoir une évaluation du niveau de pollution des cours d'eau échantillonnés ainsi que les modifications des communautés épilithiques, sont calculés les indices courants par le logiciel OMNIDIA (LECOINTE, COSTE et al. 1993): Indice Biologique Diatomées (IBD) (AFNOR, 2000); Indice de Polluo-sensibilité Spécifique (IPS) (Cemagref, 1982-90); Indice de Diversité de Shannon (DIV) (SHANNON and WEAVER 1948) (ANNEXE D) et biovolume moyen (VOL).

III. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Caractérisation globale des biofilms

3.1.1. Composition du biofilm

Dans les trois stations s'observe une évolution croissante du biofilm dans le temps. La fraction organique la plus importante est mesurée à Decazeville. Avec l'augmentation de pollution au cadmium (fig.7) on constate une perte de poids sec dans la station RM Pont Cassé (fig.5).

Les résultats sont en accord avec les études précédentes qui ont mis en évidence que la toxicité des métaux endommage les cellules et implique souvent une hausse de la mortalité (TORRES, CID et al. 1998).

3.1.2. Estimation de la production primaire

On observe une évolution croissante de l'activité photosynthétique dans les trois stations (fig.6).

Aux premiers temps le total de chlorophylle (chlorophylle *a* et phaeopigments) est plus faible en station polluée en comparaison avec les autres stations mais les résultats du dernier jour d'échantillonnage montrent une augmentation

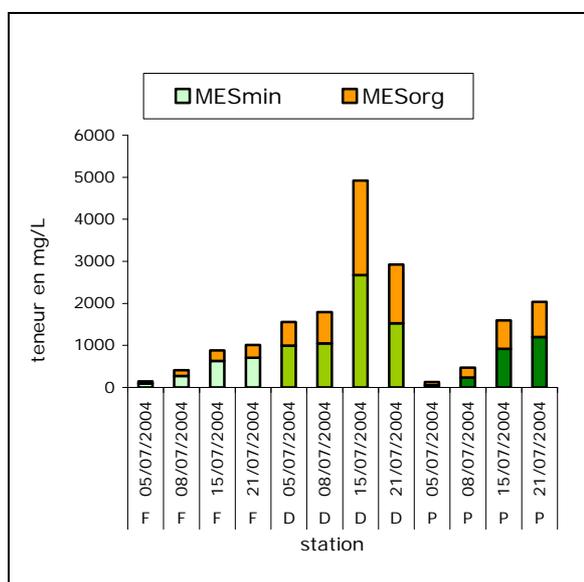


Figure 5. Composition du biofilm (fraction organique vs. fraction minérale)
F : Firmi, D : Decazeville et P : Pont Cassé

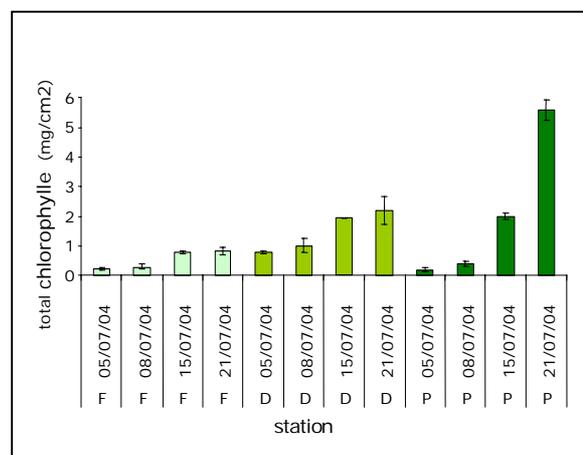


Figure 6. Total chlorophylle *a* + phaeopigments
F : Firmi, D : Decazeville, P : Pont Cassé

importante dans cette station à cette date. La chlorophylle *a* est un indicateur de biomasse donc c'est à Pont Cassé qu'est l'augmentation la plus importante de biomasse algale.

3.1.3. Accumulation métallique dans les biofilms

En comparaison avec la station de référence (Firmi), qui ne présente pas de pollution au cadmium, on peut observer une concentration de cadmium importante à Pont Cassé . Le maximum de pollution au cadmium est mesuré le deuxième jour d'échantillonnage. Dans la station Decazeville la teneur en cadmium est insignifiante (fig. 7).

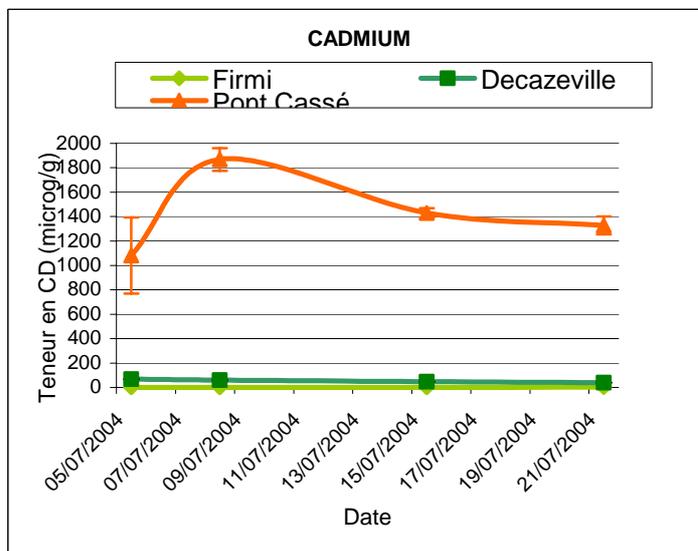


Figure 7. Concentration de cadmium dans le biofilm au Pont Cassé, Decazeville et Firmi.

3.2. Physico-chimie

A partir des données physico-chimiques qui proviennent du laboratoire d'analyses des eaux du Cemagref, les teneurs maximales de nitrite, nitrate, azote minéral soluble, orthophosphate et phosphore total eau brute sont observées dans le Pont Cassé (ANNEXE C fig. 3, fig. 4, fig. 6, fig. 9) donc c'est la station où les ressources nutritives sont les plus abondantes pour le développement des diatomées. La conductivité électrique est très élevée le premier jour d'échantillonnage à Decazeville et aussi au Pont Cassé (ANNEXE C, fig. 7) donc dans ces jours la présence de concentrations en substances dans l'eau (sels, métaux...) est importante. L'azote ammoniacal et l'indice permanganate sont plus importants à Decazeville (ANNEXE C, fig. 4, fig. 8) Dans les trois stations la teneur en silice est similaire, et en quantité suffisante pour la multiplication végétative des diatomées qui peuvent former leur squelette siliceux (frustule). Toutefois des études précédentes ont mis en évidence une inhibition de l'absorption d'acide silicique par le zinc et le fer (DE LA ROCHA, HUTCHINS et al. 2000). Le pH n'est pas significativement différent dans les trois stations et les valeurs de l'alcalinité sont normales pour une région calcaire. En plus, des études précédentes ont mis en évidence que les taxons du Riou-Mort possèdent un caractère plutôt alcaliphile voire alcalibionte (BRUNEL, 2000).

3.3. Caractérisation des communautés diatomiques

3.3.1. Dynamique globale de colonisation par les diatomées

Les résultats qui sont représentés dans la figure 8 révèlent que la plupart des communautés de diatomées épilithiques qui ont colonisé les lames dans les trois stations sont **N-hétérotrophes facultatives**, mais l'abondance la plus importante est à Pont Cassé. Les diatomées N-hétérotrophes facultatives nécessitent au cours de leur croissance des apports plus ou moins intermittents d'azote organique (VAN DAM, 1994) et dans les mesures physico-chimiques on peut observer que les teneurs maximales d'azote minéral soluble sont à Pont Cassé (ANNEXE C, fig. 4). Donc la teneur en azote, qui est plus abondante à Pont Cassé, est déterminante pour son développement. Les diatomées **N-autotrophes tolérantes** peuvent coloniser les lames mais leur présence dans les trois stations est moins importante que les N-hétérotrophes facultatifs ; toutefois la présence moins importante est à Pont Cassé. Les abondances de N-hétérotrophes obligatoires et de N-autotrophes sensibles ne sont pas significantes.

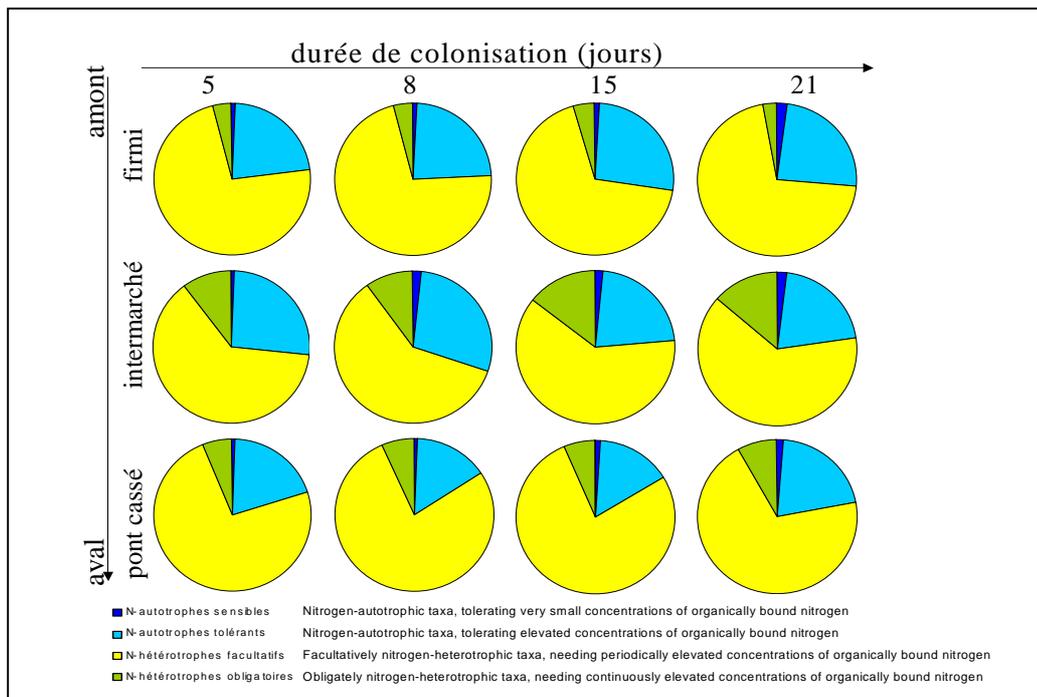


Figure 8. Dynamique globale de colonisation par les diatomées épilithiques

3.3.2. Structure des communautés

A partir des données d'abondance relative acquises par M. Coste, dans les trois stations d'échantillonnage on peut observer les mêmes espèces dominantes mais avec différentes abondances relatives (fig. 9). Dans les stations Firmi et Decazeville l'espèce majoritaire est *Cyclotella meneghiniana* (CMEN), mais à Pont Cassé on observe une diminution très importante de cette espèce. Dans cette station on constate une abondance très élevée de *Eolimna minima* (EOMI) qui par contre est insignifiante à Decazeville et Firmi.

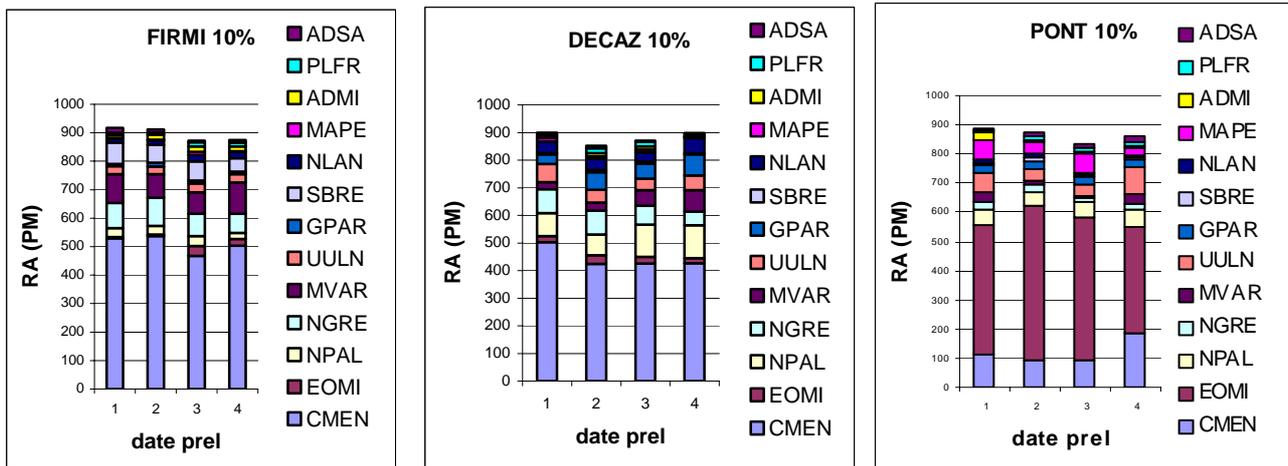


Figure 9. Abondances relatives des espèces majoritaires des communautés de diatomées aux trois stations.

(**ADSA** = *Achnantheidium saprophila* (Kobayasi et Mayama) Round & Bukhtiyarova; **PLFR** = *Planothidium frequentissimum* (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot; **ADMI** = *Achnantheidium minutissimum* (Kütz.) Czarnecki; **MAPE** = *Mayamaea atomus* var. *permitis* (Hustedt) Lange-Bertalot; **NLAN** = *Navicula lanceolata* (Agardh) Ehrenberg; **SBRE** = *Surirella brebissonii* Krammer & Lange-Bertalot var. *brebissonii*; **GPAR** = *Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing var. *parvulum* f. *parvulum*; **UULN** = *Ulnaria ulna* (Nitzsch.) Compère; **MVAR** = *Melosira varians* Agardh; **NGRE** = *Navicula gregaria* Donkin; **NPAL** = *Nitzschia palea* (Kützing) W. Smith; **EOMI** = *Eolimna minima* (Grunow) Lange-Bertalot; **CMEN** = *Cyclotella meneghiniana* (Kützing)

L'abondance relative des espèces de diatomées épilithiques suit une évolution différente pendant les jours d'échantillonnage, dans chaque station de prélèvement (ANNEXE D)

Pour mettre en évidence la différence entre les populations diatomiques observées dans les trois stations, on a fait une Analyse de Composantes Principales (ACP) sur les données des abondances relatives des espèces de diatomées épilithiques identifiés dans chaque station.

Trois groupes se distinguent nettement et correspondent avec chaque station, donc on peut constater une similarité entre les communautés diatomiques de chaque station. Ensuite le développement des espèces est dépendant de la nature physique du milieu aquatique.

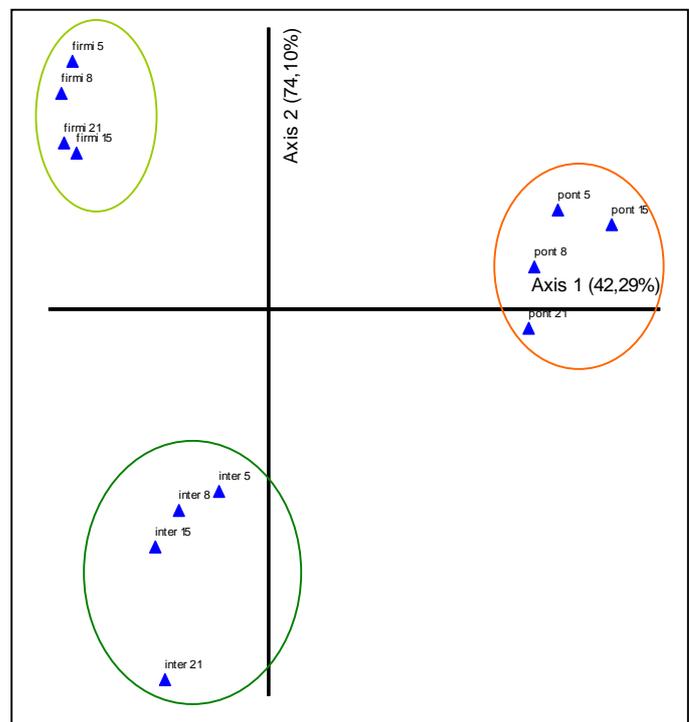


Figure 10. ACP des abondances relatives des diatomées épilithiques relevés aux trois stations.

3.3.3. Effets toxiques sur la structure des communautés

A partir des indices courants calculés par le logiciel OMNIDIA (LECOINTE, COSTE et al. 1993): Indice Biologique Diatomées (IBD) (AFNOR, 2000); Indice de Polluo-sensibilité Spécifique (IPS) (Cemagref, 1982-90); Indice de Diversité de Shannon (DIV) (SHANNON &

WEAVER 1948) et biovolume moyen (VOL) on peut évaluer le niveau de pollution des stations de prélèvements ainsi que les effets sur des communautés épilithiques.

Les valeurs de l'indice de diversité de Shannon sont similaires dans les trois stations (ANNEXE D) donc dans cette étude les résultats de cet indice ne permettent pas de mettre en évidence une diminution du nombre d'espèces liée à la pollution. Les indices IBD, IPS ont été représentés graphiquement dans la figure 11.

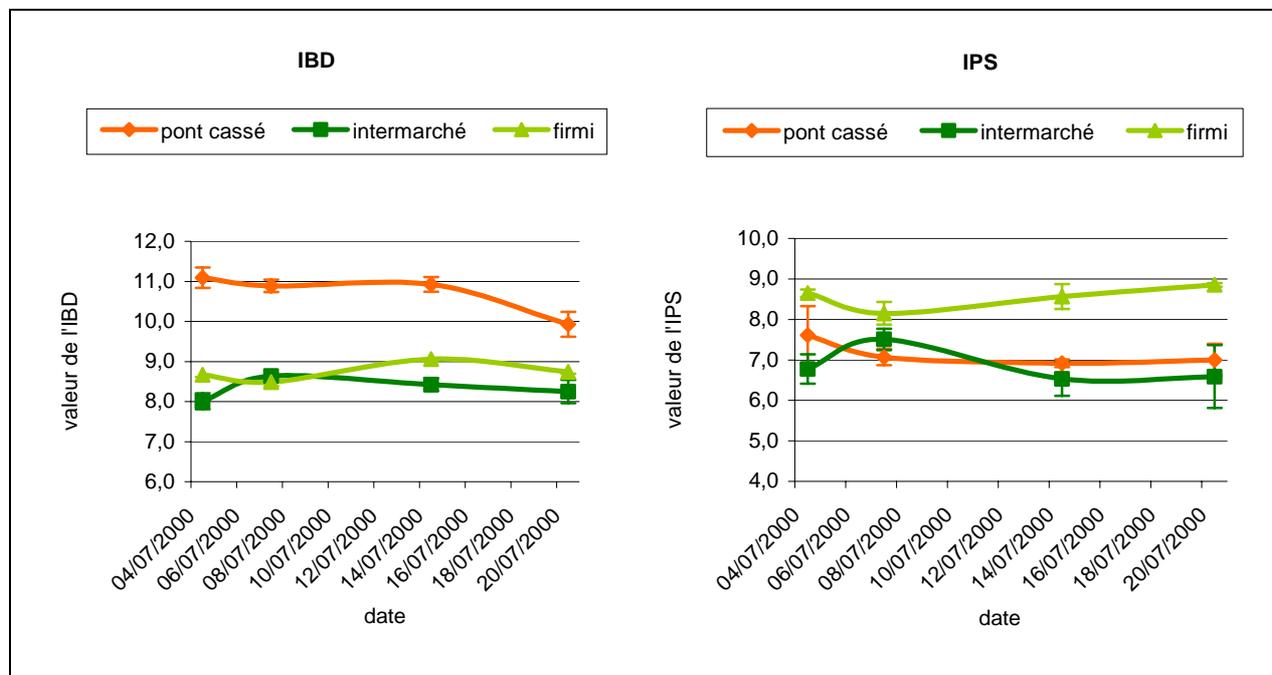


Figure 11. Valeurs moyennes et écart-types des indices diatomiques IBD et IPS

L'IBD est peu sensible à la pollution métallique mais par contre c'est sensible à la pollution organique. En effet au Pont Cassé on observe des valeurs d'IBD significativement supérieures à celles de la station de référence, Firmi et de la station faiblement polluée, Decazeville, où les valeurs d'IBD se révèlent plus proches de celles de Firmi. Les valeurs d'IPS diminuent avec la présence de polluants métalliques. On constate qu'ils sont plus faibles à Decazeville et à Pont Cassé qu'à Firmi.

Les valeurs de biovolume moyen (fig. 12) diminuent avec la présence de polluants métalliques. Des valeurs élevées traduisent généralement un bon niveau de qualité des eaux. Il a été démontré que la taille cellulaire, et plus précisément la surface exposée au milieu extérieur, est un paramètre majeur pour le prélèvement par la cellule des métaux dans le milieu (KHOSHMANESH, LAWSON et al. 1996 ; KHOSHMANESH, LAWSON et al ; 1997) .

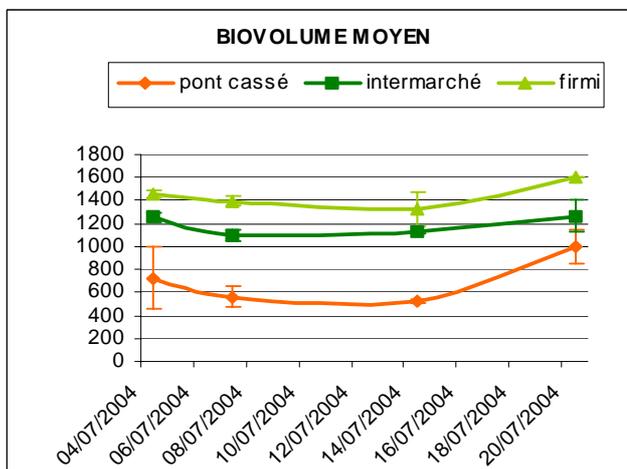


Figure 12. Valeurs moyennes et écart-types de l'indice biovolume moyen

Les résultats représentés dans la figure 12 mettent en évidence des tendances de diminution de taille liées à la pollution car en comparaison avec la station de référence, Firmi, les biovolumes les plus faibles sont rencontrés à Pont Cassé et sont faiblement inférieurs à Decazeville. En fait, les analyses de S. Morin sur le biovolume total des petites et grandes espèces ainsi que sur les données des abondances relatives des petites et grandes espèces, montrent clairement que les espèces de petites tailles sont mieux représentées dans la station contaminée que dans la station de référence non polluée. On peut observer que le volume colonisé par les petites espèces (biovolume < 100µ : SFAP, ADAT, APED, ADSU, NJOU, ADSA, MAPE, NVDS, ADMI, EOMI, EOMT, ADMM, FGRA, FGRT, PLAU, ADLA, NCTO) dans la station polluée est cinq fois plus important que dans les stations sans métaux. En revanche les grandes espèces (biovolume > 500µ : GOLI, CBAC, NCPL, RABB, NDIS, NCOT, AUSU, PPRO, CDUB, NTRV, NLAN, CMEN, SANG, NLIN, FVUL, CHAL, PPVS, SBRE, CPLI, DVUL, MVAR, CPLA, UULN, UULT, CRCU) dominant en conditions non polluées par les métaux (ANNEXE F). Quantitativement les petites espèces sont dominantes dans la station contaminée par les métaux. Par contre les grandes espèces dominant en conditions non polluées et sont moins représentées en conditions de stress métallique (fig. 13). En plus on peut constater que le biovolume occupé par les grandes espèces reflète les deux niveaux de pollution : organique et métallique.

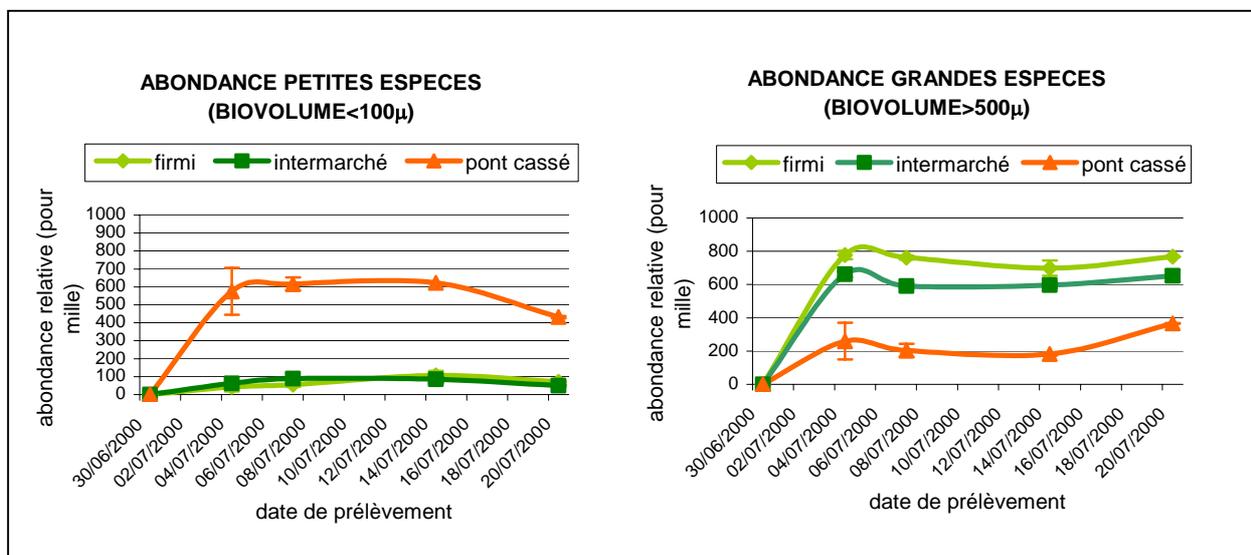


Figure 13. Représentation graphique des quantités relatives d'espèces de grande taille et de petite taille.

L'évolution des abondances relatives de chaque espèce, lors des quatre dates d'échantillonnage, met en évidence que la pollution métallique est déterminante pour la capacité de colonisation des diatomées épilithiques. Chaque espèce présente une sensibilité différente aux métaux. L'espèce qui semble la plus sensible à la pollution métallique est *Cyclotella meneghiniana* (**CMEN**) (fig. 14), car son abondance est très inférieure dans le Pont Cassé en comparaison de Decazeville et Firmi, pendant les jours d'échantillonnage. Il y a d'autres espèces qui présentent une sensibilité aux métaux : *Achnantheidium minutissimum* (**ADMI**), *Gomphonema parvulum* var.

parvulum f. parvulum (GPAR), *Melosira varians* (MVAR), *Navicula gregaria* (NGRE), *Navicula lanceolata* (NLAN), *Nitzschia palea* (NPAL), et *Surirella brebissonii* var. *brebissonii* (SBRE) (ANNEXE D). Les effets toxiques sont antagonistes pour l'espèce *Eolimna minima* (EOMI) qui est bien adaptée à la pollution métallique et son développement n'est pas défavorisé en présence de polluants métalliques (fig. 14). En comparaison avec les autres espèces, EOMI est la plus résistante aux métaux (ANNEXE D). Des études précédentes ont décrit cette espèce comme fortement résistante aux métaux et pourtant comme un bon indicateur de pollution métallique (PERES et al. 1997 ; GOLD 1998 et 2002 ; FEUTET-MAZEL et al 2003). On observe d'autres espèces tolérantes aux métaux : *Achnanthydium saprophila* (ADSA), *Mayamaea atomus* var. *permitis* (MAPE) et *Ulnaria ulna* (UULN). Ce sont des petites espèces excepté UULN. L'espèce *Planothidium frequentissimum* (PLFR) semble indifférente à la pollution métallique.

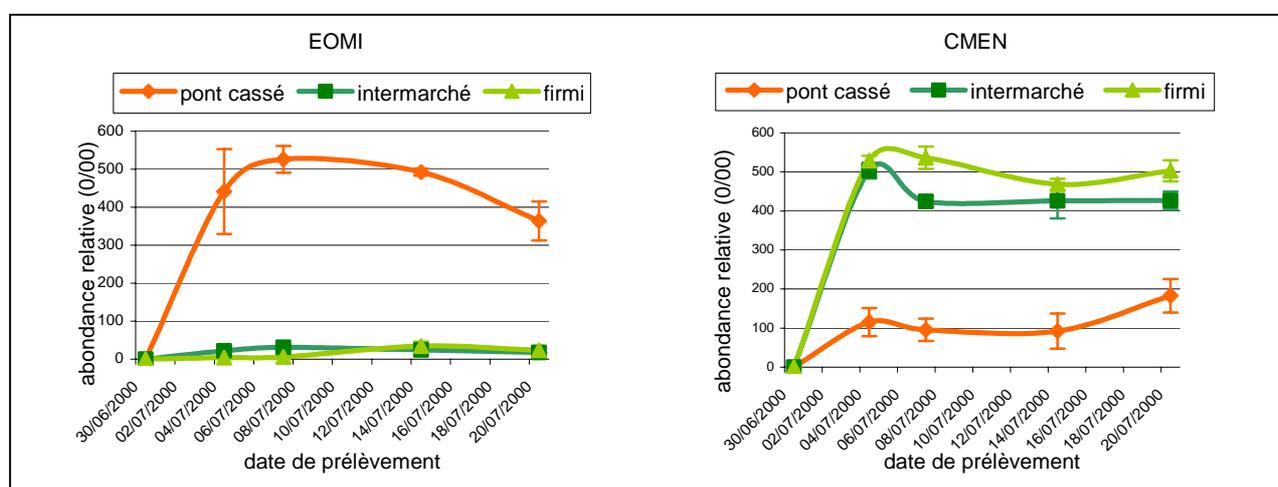


Figure 14. Abondance relative des espèces EOMI (*Eolimna minima* (Grunow) Lange-Bertalot) et CMEN (*Cyclotellaeneginiana* Kutzing) dans les stations de prélèvements (Pont Cassé, Decaceville (intermarché) et Firmi)

Le calcul de l'abondance relative, métrique très utilisée en bio-indication diatomique, permet de mettre en évidence la réponse relative de chaque espèce des communautés diatomiques à la pollution métallique. Cependant, ce descripteur ne permet pas d'intégrer la dynamique de la biomasse dans les courbes d'évolution temporelle de chaque espèce.

En complément de cette information, il nous a semblé intéressant de tenter d'apporter une information plus quantifiée permettant de mieux approcher l'évolution de la biomasse de chaque espèce sur les substrats artificiels et dans le temps. Cette information est de nature à enrichir notre connaissance écologique sur la sensibilité/résistance intrinsèque de chaque espèce aux métaux., ainsi que sur des aspects de stratégie de colonisation et de compétitivité inter-spécifique.

Pour cela, il a été imaginé d'utiliser l'information apportée par deux descripteurs globaux faciles à obtenir (analyses de laboratoire globales, assez simples et peu coûteuses) permettant de rendre compte plus ou moins parfaitement de la quantité de biomasse de biofilms en place à chaque date sur les substrats artificiels :

- 1) la quantité de Chlorophylle par unité de surface (Chlorophylle a + phéopigments) susceptible de représenter l'importance de la colonisation algale dans les biofilms qui les ont colonisé.
- 2) La quantité de matière sèche organique par unité de surface (Perte au feu des matières sèches totales de biofilm par unité de surface, représentant uniquement la part organique des biofilms), susceptible de rendre compte quantitativement de la production biologique mise en place sur ces substrats.

Ces deux descripteurs globaux présentent un intérêt indéniable approche de la production primaire algale dans un cas, de la production primaire totale dans l'autre, sur les substrats artificiels implantés dans nos stations expérimentales, analyses peu coûteuses à produire). Bien que leur représentativité puisse être prise en défaut dans les situations particulières précitées, ils ont donc été utilisés pour calculer les deux indices précités par espèce. Ils ont ainsi permis de donner une autre image de la dynamique spécifique dans les communautés de diatomées, aidant à caractériser le statut écologique des principales espèces rencontrées sur ce dispositif

En combinant chacun de ces deux descripteurs globaux avec les données d'abondance relative de chaque espèce principalement représentée dans les biofilms des 3 stations du dispositif d'étude, il a été proposé les 2 indices suivants, permettant de mieux approcher les biomasses par espèce :

Indice chlorophylle = (Abondance relative de la espèce à une date pour une station) * (total chlorophylle *a* à cette date et à cette station)

Indice biofilm = (Abondance relative de la espèce à une date pour une station)*(MSorg à cette date et à cette station)

Nota : Un autre descripteur global n'exigeant pas une grosse technicité ni de compétences en taxinomie, certainement plus fiable dans ses réponses mais plus consommateur en temps (comptages assez longs...) sera mis en œuvre dans le même sens dans les phases ultérieures de travail, à savoir la **densité totale de diatomées par unité de surface**.

Pour l'analyse on a repris les graphiques d'abondances relatives avec les valeurs des indices pour voir si nos précédents résultats se retrouvent ou non dans les estimations « absolues » de biomasse (ANNEXE F) .

On peut constater quelques différences de tolérance et de sensibilité des diatomées aux métaux. Parmi les espèces considérées tolérantes, les résultats des indices sont en accord avec les abondances relatives. Cependant la sensibilité de UULN est discutée dans la bibliographie : des

études montrent cette espèce comme tolérante (BLANCK et al 2003) mais par contre il y a d'autres études qui la décrivent comme sensible aux métaux (MONTEIRO et al 1995 ; SHEHATA et al 1999). Les résultats de cette étude mettent en évidence que UULN semble relativement tolérante aux métaux car aux derniers jours de prélèvements elle s'adapte à la pollution métallique et on peut observer une importante augmentation de cette espèce à Pont Cassé.

Les résultats des indices pour les espèces *a priori* sensibles, n'indiquent pas la même sensibilité aux métaux avec l'exception de NLAN qui semble effectivement sensible à des fortes teneurs métalliques mais tolérante à la pollution organique.

La sensibilité de ADMI est discutable. Dans la bibliographie, la plupart des études la décrivent comme une espèce résistante (GENTER et al 2000 ; IVORRA 2000 ; GOLD 2000 ; IVORRA et al 2002 ; FEURTET MAZEL et al 2003 ; GOLD et al 2003 ; NUNES et al 2003 ; CATTANEO et al 2004 ; NAKANISHI et al 2004) mais d'autres études la décrivent comme sensible (SABATER 2000 ; BLANCK et al 2003 ; WHITTON et al 2003). Dans les résultats de l'indice chlorophylle on observe une augmentation de cette espèce les derniers jours d'échantillonnage, mais ceci n'implique pas la résistance de cette espèce aux métaux : si on compare les valeurs avec celles de EOMI on peut constater qu'elles ne sont pas aussi élevées. En plus, cette espèce est petite et pionnière donc sa capacité de colonisation au début peut provoquer la confusion des résultats.

La nette sensibilité qu'on observe dans les données d'abondance relative de CMEN et dans les résultats de l'indice biofilm contrastent avec les résultats de l'indice chlorophylle. Cet indice met en évidence une augmentation très étonnante les derniers jours de prélèvements, même supérieure aux résultats de l'espèce la plus résistante, EOMI. En plus c'est une petite espèce qui peut résister mieux à la pollution métallique. Ces résultats contrastent aussi avec la bibliographie où d'autres espèces de *Cyclotella* sont décrites comme sensibles (*C. bodanica* , pour RUGGIU et al. 1998; *C. comensis*, pour VAN DAM 1990 ; *C. comta* pour SHEHATA et al 1999 et *C. stelligna* pour RUGGIU et al 1998 et GOLD 2002).

GPAR est décrite comme sensible dans une seule étude (IVORRA et al 2002), par contre la plupart des études considèrent cette espèce comme tolérante aux métaux (MONTEIRO et al 1995 ; ADMIRAAL et al 1999 ; SHEHATA et al 1999 ; GOLD 2002 ; IVORRA et al 2002 ; FEURTET MAZEL et al 2003 ; GOLD et al 2003 ; WHITTON et al 2003). L'indice chlorophylle montre une augmentation qui correspond aux dernières dates d'échantillonnage. Ce n'est pas trop élevé, mais on peut dire que ces résultats révèlent une certaine tolérance de cette espèce aux métaux. En accord avec des études précédentes on observe que GPAR est une espèce qui contribue à l'augmentation du biofilm à Decazeville, parce que c'est une espèce saprophyte et considérée comme N-hétérotrophe facultative (CHOLNOKY 1968 ; VAN DAM et al 1994).

MVAR est décrite comme une espèce plutôt sensible aux pollutions métalliques (MEDLEY et al 1998 ; IVORRA et al 1999 , 2000 , 2002 ; FEURTET-MAZEL et al 2003 ; GOLD et al 2003). Dans nos résultats, on peut constater cette sensibilité à partir des abondances relatives mais il y a une certaine augmentation de l'indice chlorophylle les dernières dates d'échantillonnage à Pont Cassé. Quantitativement ce n'est pas trop élevé mais on peut considérer une tolérance de cette espèce aux métaux. Les valeurs de l'indice biofilm sont très élevés à Decazeville, donc elle est tolérante à la pollution organique.

NGRE semble sensible dans cette étude. L'abondance relative et l'indice biofilm montrent cette sensibilité mais à partir de l'indice chlorophylle, on peut dire qu'elle est relativement tolérante, en accord avec la littérature où il est décrit une tolérance aux métaux du genre *Navicula* (*N. lanceolata* pour CUNNINGHAM et al 2003 ; *N. pupula* pour BLANCK et al 2003 ; *N. pygmaea* pour PERES et al 2003 et *N. seminulum* pour IVORRA et al 1999). Toutefois quantitativement les valeurs de l'indice chlorophylle ne sont pas très élevés donc on ne peut pas constater cette tolérance. L'indice biofilm est plus important à Decazeville, on en conclut une tolérance à la pollution organique.

La sensibilité de NLAN se retrouve dans les deux indices et on constate aussi sa tolérance à la pollution organique. On peut penser que sa sensibilité aux métaux est à cause de sa grande taille : la surface exposée aux polluants est importante (KHOSHMANESH et al 1997).

A partir des résultats d'abondance relative on observe que NPAL est sensible aux métaux mais tolérante à la pollution organique. Cependant, dans la bibliographie elle est considérée comme tolérante aux métaux (MEDLEY et al 1998 ; ADMIRAAL et al 1999 ; GOLD et al 2003 ; WHITTON et al 2003). Avec l'indice biofilm on observe la même sensibilité, mais par contre l'indice chlorophylle met en évidence une tolérance de NPAL en accord avec des études précédentes.

PLFR se montre indifférente à la pollution métallique. On observe une augmentation de l'indice chlorophylle qui semble indiquer une tolérance, cependant n'est pas quantitativement suffisant pour considérer cette espèce tolérante.

Finalement on a considéré SBRE comme sensible à partir des résultats des abondances relatives mais les études précédentes montrent une tolérance du genre *Surirella* aux métaux (*S. angusta* pour TAKAMURA et al 1989 , GOLD 2002 et FEURTET-MAZEL et al 2003 ; *S. ovata* pour TAKAMURA et al 1989). L'indice chlorophylle montre une certaine tolérance mais quantitativement ce n'est pas très important, donc on considère SBRE comme sensible.

L'observation de frustules anormaux (c'est-à-dire dont la forme est inhabituelle ou dont les ornements sont déformées) est rapportée de façon significativement plus fréquente dans des sites pollués par les métaux (DICKMAN 1998 ; TORRES et al. 2000 ; GOLD 2002 ; MORIN 2004). Au Pont Cassé il y a une augmentation linéaire de formes anormales au fin et à mesure de la colonisation (fig. 15), c'est une manifestation de l'existence de pollution métallique.

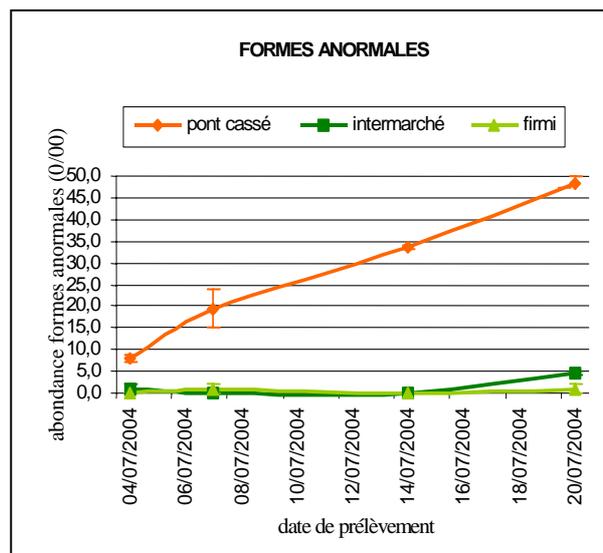


Figure 15. Abondance des formes anormales. Pont Cassé, Decazeville (intermarché) et Firmi.

IV. CONCLUSIONS

Une importante perte de poids sec est constatée avec l'augmentation de pollution au cadmium dans l'étude de l'accumulation métallique au niveau des biofilms. Ces résultats mettent en évidence des résultats obtenus lors d'études précédentes. La toxicité des métaux endommage les cellules et implique souvent une hausse de la mortalité (TORRES, CID et al. 1998).

Les résultats exposés mettent en évidence que la structure et la dynamique de colonisation des communautés des diatomées épilithiques sont dépendantes de la nature physique du milieu aquatique ainsi que la présence de pollution métallique.

Des différences qualitatives sont observées entre les espèces qui colonisent chaque station. La présence d'azote dans le milieu est déterminante pour leur développement car les espèces N-hétérotrophes facultatives présentent une importante capacité de colonisation, même soumises à la pollution métallique.

La structure des communautés diatomiques est affectée par l'augmentation de la teneur en cadmium dans le milieu aquatique. Cette étude mis en évidence que les diatomées épilithiques de petites tailles sont mieux représentées dans les milieux qui présentent une pollution métallique en comparaison avec les milieux non pollués. Les petites espèces sont plus tolérantes aux conditions de pollution donc elles remplacent les moins tolérantes, qui sont pour la plupart des grandes

espèces. Mais on peut constater quelques exceptions. On constate une nette sensibilité de *Navicula lanceolata* qui est une grande espèce, cependant l'espèce *Cyclotella meneghiniana* est une petite espèce et elle est très affectée par la pollution métallique, donc cette espèce ne présente pas des mécanismes adaptatifs pour faire face à des concentrations élevées en métaux. Par contre la petite espèce *Eolima minima* est la plus résistante à la pollution métallique et son développement est favorisé dans la station polluée, par le cadmium. Ces résultats sont en accord avec des études précédentes (PERES et al. 1997 ; GOLD 1998 et 2002 ; FEURET, MAZEL et al 2003). Donc on confirme que cette espèce est un bon indicateur de pollution métallique. Autres trois espèces se montrent tolérantes aux métaux : deux petites qui sont *Achnanthydium saprophila*, *Mayamaea atomus var. permitis*, mais aussi une grande, *Ulnaria ulna*. En plus on observe une espèce qui se montre indifférente à la pollution métallique : *Planothidium frequentissimum* .

Enfin, on a mis en évidence une augmentation très étonnante des formes anormales avec l'augmentation de cadmium. Ces résultats sont en accord avec la bibliographie (DICKMAN 1998 ; TORRES , et al. 2000 ; GOLD 2002 ; MORIN 2004).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADMIRAAL, W., H. BLANCK, et al. (1999). "Short-term toxicity of zinc to microbenthic algae and bacteria in a metal polluted stream." Water Research **33**(9): 1989-1996.
- ADMIRAAL, W., N. IVORRA, et al. (1999). Distribution of diatom species in a metal polluted Belgian-Dutch river : an experimental analysis. Use of algae for monitoring rivers III. J. PRYGIEL, B. A. WHITTON and J. BUKOWSKA. Douai: 240-244.
- AFNOR (2000). "Qualité de l'Eau. Détermination de l'indice biologique diatomées (IBD) - Norme NF T90-354 -." 63 pages.
- AN DAM, H., & A. MERTENS. (1990). "A comparison of recent epilithic diatom assemblages from the industrially acidified and copper polluted lake Orta (Northern Italy) with old literature data." Diatom Research **5**(1): 1-13.
- AUDRY, S., G. BLANC, et al. (2004). "Cadmium transport in the Lot-Garonne River system (France) - temporal variability and a model for flux estimation." Science of the Total Environment **319**(1-3): 197-213.
- BLANCK, H., W. ADMIRAAL, et al. (2003). "Variability in zinc tolerance, measured as incorporation of radio-labeled carbon dioxide and thymidine, in periphyton communities sampled from 15 European river stretches." Archives of Environmental Contamination and Toxicology **44**(1): 17-29.
- BRUNEL, A. (2000). Evaluation de la qualité des eaux de 39 stations du bassin Adour-Garonne à l'aide des communautés de diatomées benthiques., DESS Qualité et traitement des eaux - Cemagref QE Bordeaux et Univ. Franche Comté: 33 p. + annexes.
- CATTANEO, A., A. ASIOLI, et al. (1998). "Organisms' response in a chronically polluted lake supports hypothesized link between stress and size." Limnology and Oceanography **43**(8): 1938-1943.
- CATTANEO, A., Y. COUILLARD, et al. (2004). "Diatom taxonomic and morphological changes as indicators of metal pollution and recovery in Lac Dufault (Québec, Canada)." Journal of Paleolimnology **32**: 163-175.
- CUNNINGHAM, L., J. S. STARK, et al. (2003). "Effects of metal and petroleum hydrocarbon contamination on benthic diatom communities near Casey Station, Antarctica: An experimental approach." Journal of Phycology **39**(3): 490-503.
- DE LA ROCHA, C. L., D. A. HUTCHINS, et al. (2000). "Effects of iron and zinc deficiency on elemental composition and silica production by diatoms." Marine Ecology-Progress Series **195**: 71-79.
- DICKMAN, M. D. (1998). "Benthic marine diatom deformities associated with contaminated sediments in Hong Kong." Environment International **24**(7): 749-759.
- FEURTET-MAZEL, A., C. GOLD, et al. (2003). "Study of periphytic diatoms communities exposed to metallic contamination through complementary field and laboratory experiments." Journal De Physique Iv **107**: 467-470.
- GENTER, R. B. (1996). Ecotoxicology of inorganic chemical stress to algae. Algal Ecology Freshwater benthic ecosystems. R. J. STEVENSON, M. L. BOTHWELL and R. L. LOWE, Academic Press Inc. **14**: 403-468.

- GENTER, R. B. and R. M. LEHMAN (2000). "Metal toxicity inferred from algal population density, heterotrophic substrate use, and fatty acid profile in a small stream." Environmental Toxicology and Chemistry **19**(4): 869-878.
- GOLD, C. (1998). Etude expérimentale des effets d'un contaminant métallique - le cadmium - sur les communautés de diatomées périphytiques, au sein de microcosmes plurispécifiques d'eau douce, Univ. Bordeaux I LEESA: 23 p + annexes.
- GOLD, C. (2002). Etude des effets de la pollution métallique(Cd/Zn) sur la structure des communautés de diatomées périphytiques des cours d'eau. Approches expérimentales *in situ* et en laboratoire, Univ. Bordeaux I Ecole Doct. Sciences du vivant, Géosciences et Sciences de l'Environnement: 175 p + annexes.
- GOLD, C., A. FEURTET-MAZEL, et al. (2002). "Field transfer of periphytic diatom communities to assess short-term structural effects of metals (Cd,Zn) in rivers." Water Research **36**(14): 3654-3664.
- GOLD, C., A. FEURTET-MAZEL, et al. (2003). "Effects of cadmium stress on periphytic diatom communities in indoor artificial streams." Freshwater Biology **48**: 316-328.
- GOLD, C., A. FEURTET-MAZEL, et al. (2003). "Impacts of Cd and Zn on the development of periphytic diatom communities in artificial streams located along a river pollution gradient." Arch. Environ. Contam. Toxicol. **44**: 189-197.
- GUANZON, N. G., H. NAKAHARA, et al. (1994). "Inhibitory Effects of Heavy-Metals on Growth and Photosynthesis of 3 Fresh-Water Microalgae." Fisheries Science **60**(4): 379-384.
- IVORRA, N., J. HETTELAAAR, et al. (1999). "Translocation of microbenthic algal assemblages used for in situ analysis of metal pollution in Rivers." Arch. Environ. Contam. Toxicol. **37**: 19-28.
- IVORRA, N., J. HETTELAAAR, et al. (2002). "Responses of biofilms to combined nutrient and metal exposure." Environmental Toxicology and Chemistry **21**(3): 626-632.
- IVORRA, N. (2000). Metal induced succession in benthic diatom consortia, University of Amsterdam, Faculty of Science, Department of Aquatic Ecology and Ecotoxicology: 157p.
- IVORRA, N., S. BREMER, et al. (2000). "Differences in the sensitivity of benthic microalgae to Zn and Cd regarding biofilm development and exposure history." Environmental Toxicology and Chemistry **19**(5): 1332-1339.
- IVORRA, N., C. BARRANGUET, et al. (2002). "Metal-induced tolerance in the freshwater microbenthic diatom *Gomphonema parvulum*." Environmental Pollution **116**(1): 147-157
- KHOSHMANESH, A., F. LAWSON, et al. (1996). "Cadmium uptake by unicellular green microalgae." Chemical Engineering Journal **62**(1): 81-88.
- KHOSHMANESH, A., F. LAWSON, et al. (1997). "Cell surface area as a major parameter in the uptake of cadmium by unicellular green microalgae." Chemical Engineering Journal **65**(1): 13-19.
- LECOINTE, C., M. COSTE, et al. (1993). "Omnidia - Software for Taxonomy, Calculation of Diatom Indexes and Inventories Management." Hydrobiologia **269**: 509-513.
- MACAN, T. T. (1974) Running water. Internationale Vereinigung Fur Theoretische Und Angewandte Limnologie **20**: 301-321.
- MEDLEY, C. N. and W. H. CLEMENTS (1998). "Responses of diatom communities to heavy metals in streams: The influence of longitudinal variation." Ecological Applications **8**(3): 631-644.
- MEHARG, A. A. (1994). "Integrated Tolerance Mechanisms - Constitutive and Adaptive Plant-Responses to Elevated Metal Concentrations in the Environment." Plant Cell and Environment **17**(9): 989-993.

- MONTEIRO, M. T., R. OLIVEIRA, et al. (1995). "Metal Stress on the Plankton Communities of Sado River (Portugal)." Water Research **29**(2): 695-701.
- MORIN, S., M. COSTE, et al. (2004). Diatom biomonitoring of heavy metal pollution using biometrics and abnormal forms : a case study in the Lot river basin (France). Miedzyzdroje, Poland, 18th International Diatom Symposium.
- MORIN, S., F. DELMAS, et al. (2004). Impact de différents produits toxiques sur les communautés de diatomées épilithiques des rivières-pilotes de Lacq. Rapport final - tranche 2003, UR Qualité des eaux, Cemagref: 67p.
- NUNES, M. L., E. F. DA SILVA, et al. (2003). "Assessment of water quality in the Caima and Mau River basins (Portugal) using geochemical and biological indices." Water Air and Soil Pollution **149**(1-4): 227-250.
- NAKANISHI, Y., M. SUMITA, et al. (2004). "Heavy-metal pollution and its state in algae in Kakehashi River and Godani River at the foot of Ogoya mine, ishikawa prefecture." Analytical Sciences **20**(1): 73-78.
- OKAMOTO, O. K., C. S. ASANO, et al. (1996). "Effects of Cadmium on growth and superoxide dismutase activity of the marine microalga *Tetraselmis gracilis* (Prasinophyceae)." Journal of Phycology **32**(1): 74-79.
- PERES, F., D. FLORIN, et al. (1996). "Effects of the phenylurea herbicide isoproturon on periphytic diatom communities in freshwater indoor microcosm." Environmental Pollution **94**(2): 141-152.
- PERES, F., M. COSTE, et al. (1995). "Effets des métaux lourds (Cd, Hg) sur les communautés de diatomées périphtiques développées sur substrats artificiels en microcosmes." Vie et Milieu (Life and Environment) **45**(3/4): 210-230.
- PERES, F., M. COSTE, et al. (1997). "Effects of methylmercury and inorganic mercury on periphytic diatom communities in freshwater indoor microcosms." Journal of Applied Phycology **9**(3): 215-227.
- PERREIN-ETTAJANI, H., J. C. AMIARD, et al. (1999). "Effets des métaux (Ag, Cd, Cu) sur la composition biochimique et compartimentation de ces métaux chez deux microalgues *Skeletonoma costatum* et *Tetraselmis suecica*." Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences **56**(10): 1757-1765.
- RUGGIU, D., A. LUGLIE, et al. (1998). "Paleoecological evidence for diatom response to metal pollution in Lake Orta (N. Italy)." Journal of Paleolimnology **20**(4): 333-345.
- SABATER, S. (2000). "Diatom communities as indicators of environmental stress in the Guadamar River, S-W. Spain, following a major mine tailings spill." Journal of Applied Phycology **12**(2): 113-124.
- SHEHATA, S. A., M. R. LASHEEN, et al. (1999). "Toxic effect of certain metals mixture on some physiological and morphological characteristics of freshwater algae." Water Air and Soil Pollution **110**(1-2): 119-135.
- STEVENSON, R. J., C.G. PETERSON, D.B. KIRSCHTEL, C.C. KING, & N.C. TUCHMAN (1991). "Density-dependent growth, ecological strategies and effects of nutrients and shading on benthic diatom succession in streams." Journal of Phycology **27**: 59-69.
- TAKAMURA, N., F. KASAI, et al. (1989). "Effects of Cu, Cd and Zn on photosynthesis of freshwater benthic algae." Journal of Applied Phycology **1**: 39

- TORRES, E., A. CID, et al. (1998). "Removal of cadmium ions by the marine diatom *Phaeodactylum tricornutum* bohlin accumulation and long-term kinetics of uptake." Bioresource Technology **63**(3): 213-220.
- TORRES, E., A. CID, et al. (2000). "Effect of cadmium on growth, ATP content, carbon fixation and ultrastructure in the marine diatom *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin." Water Air and Soil Pollution **117**(1-4): 1-14.
- VAN DAM, H., A. MERTENS, et al. (1994). "A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands." Netherlands Journal of Aquatic Ecology **28**(1): 117-133.
- WANG, W.-X. and R. C. H. DEI (2001). "Metal uptake in a coastal diatom influenced by major nutrients (N, P, and Si)." Water Research **35**(1): 315-321.
- WHITTON, B. A. (1975). River Ecology, Univ. California Press. Berkeley.
- WHITTON, B. A. (2003). Use of plants for monitoring heavy metals in freshwaters. Modern Trends in Applied Aquatic Ecology. R. S. Ambasht and N. K. Ambasht. New-York, Kluwer Academic / Plenum Publishers: pp. 43-63.
- WUNSAM, S., A. CATTANEO, et al. (2002). "Comparing diatom species, genera and size in biomonitoring: a case study from streams in the Laurentians (Quebec, Canada)." Freshwater Biology **47**(2): 325-340.

ANNEXES

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A : Liste taxonomique des diatomées épilithiques observées dans la rivière Lot et abréviations correspondantes	23
ANNEXE B : Protocole de traitement des échantillons.....	27
ANNEXE C : Mesures physico-chimiques réalisées sur les stations Firmi (F), Decazeville (D) et Pont Cassé (P) lors des quatre campagnes de prélèvement.....	28
ANNEXE D : Abondances relatives des espèces majoritaires des communautés diatomiques sur les stations Firmi(F), Decazeville (intermarché) et Pont Cassé, lors des quatre campagnes de prélèvements.....	30
ANNEXE E : Indice de Diversité de Shannon-Weaver.....	34
ANNEXE F : Quantification de l'importance des espèces de petite et grande taille en volume occupé.....	35
ANNEXE G : Comparaison des abondances relatives des espèces majoritaires des communautés diatomiques de l'hydrosystème Riou-Mort avec deux indicateurs de sensibilité : indice chlorophylle et indice biofilm.....	36

LISTE DES FIGURES DES ANNEXES

Figure 1. Protocoles de terrain (1).....	27
Figure 2. Protocoles de terrain (2).....	27
Figure 3. Teneur en nitrite et nitrate dans les trois stations de l'étude.....	28
Figure 4. Teneur en azote minéral soluble et azote ammoniacal dans les trois stations de l'étude.....	28
Figure 5. Teneur en azote organique et silice dans les trois stations de l'étude.....	28
Figure 6. Teneur en orthophosphate et phosphore total eau brute dans les trois stations de l'étude.....	29
Figure 7. Valeur de pH et conductivité électrique dans les trois stations de l'étude.....	29
Figure 8. Valeur de l'indice permanganate dans les trois stations de l'étude.....	29
Figure 9. Abondance relative de l'espèce <i>Achnanthydium saprophila</i> (Kobayasi et Mayama) Round & Bukhtiyarova (ADSA).....	30
Figure 10. Abondance relative de l'espèce <i>Planothydium frequentissimum</i> (Lange-Bertalot)Lange-Bertalot (PLFR).....	30
Figure 11. Abondance relative de l'espèce <i>Achnanthydium minutissimum</i> (Kütz.) Czarnecki (ADMI).....	30
Figure 12. Abondance relative de l'espèce <i>Mayamaea atomus var.permitis</i> (Hustedt) Lange-Bertalot (MAPE).....	31
Figure 13. Abondance relative de l'espèce <i>Navicula lanceolata</i> (Agardh) Ehrenberg (NLAN).....	31
Figure 14. Abondance relative de l'espèce <i>Surirella brebissonii</i> Krammer & Lange-Bertalot var.brebissonii (SBRE).....	31
Figure 15. Abondance relative de l'espèce <i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing var. parvulum f. parvulum (GPAR).....	31
Figure 16. Abondance relative de l'espèce <i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch.) Compère (UULN).....	32
Figure 17. Abondance relative de l'espèce <i>Melosira varians</i> Agardh (MVAR).....	32
Figure 18. Abondance relative de l'espèce <i>Navicula gregaria</i> Donkin (NGRE).....	32
Figure 19. Abondance relative de l'espèce <i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W.Smith (NPAL).....	32
Figure 20. Abondance relative de l'espèce <i>Eolimna minima</i> (Grunow) Lange-Bertalot (EOMI).....	33
Figure 21. Abondance relative de l'espèce <i>Cyclotella meneghiniana</i> (Kützing)(CMEN).....	33
Figure 22. Valeurs moyennes et écart-types de l'Indice de Diversité de Shannon (DIV) aux trois stations : Firmi, Decazeville (intermarché) et Pont Cassé.....	34

Figure 23. Biovolume total des petites espèces et son contribution au biovolume total, dans les stations de prélèvements Firmi, Decazeville et Pont Cassé.....	35
Figure 24. Biovolume total des grandes espèces et son contribution au biovolume total, dans les stations de prélèvements Firmi, Decazeville et Pont Cassé.....	35
Figure 25. Teneurs en chlorophylle par unité de surface (total chlorophylle <i>a</i> + phaeopigments) et matière sèche organique par unité de surface, dans les stations de prélèvements (Pont Cassé, Decaceville et Firmi).....	36
Figure 26. Abondance relative, indice chlorophylle et indice biofim de <i>Achnantheidium saprophila</i> (Kobayasi et Mayama) Round & Bukhtiyarova (ADSA).....	39
Figure 27. Abondance relative, indice chlorophylle et indice biofim de <i>Eolimna minima</i> (Grunow) Lange-Bertalot (EOMI).....	40
Figure 28. Abondance relative, indice chlorophylle et indice biofim de <i>Mayamaea atomus</i> var. <i>permitis</i> (Hustedt) Lange-Bertalot (MAPE).....	41
Figure 29. Abondance relative, indice chlorophylle et indice biofim <i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch.) Compère (UULN).....	42
Figure 30. Abondance relative, indice chlorophylle et indice biofim <i>Achnantheidium minutissimum</i> (Kütz.) Czarnecki (ADMI).....	43
Figure 31. Abondance relative, indice chlorophylle et indice biofim <i>Cyclotella meneghiniana</i> (Kutzing) (CMEN).....	44
Figure 32. Abondance relative, indice chlorophylle et indice biofim <i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing var. <i>parvulum</i> f. <i>parvulum</i> (GPAR).....	45
Figure 33. Abondance relative, indice chlorophylle et indice biofim <i>Melosira varians</i> Agardh (MVAR).....	46
Figure 34. Abondance relative, indice chlorophylle et indice biofim <i>Navicula gregaria</i> Donkin (NGRE).....	47
Figure 35. Abondance relative, indice chlorophylle et indice biofim <i>Navicula lanceolata</i> (Agardh) Ehrenberg (NLAN).....	48
Figure 36. Abondance relative, indice chlorophylle et indice biofim <i>Nitzschia palea</i> (Kutzing)W.Smith (NPAL).....	49
Figure 37. Abondance relative, indice chlorophylle et indice biofim <i>Surirella brebissonii</i> Krammer & Lange-Bertalot var. <i>brebissonii</i> (SBRE).....	50
Figure 38. Abondance relative, indice chlorophylle et indice biofim <i>Planothidium frequentissimum</i> (Lange-Bertalot)Lange-Bertalot (PLFR).....	51

ANNEXE A : Liste taxonomique des diatomées épilithiques observées dans la rivière Lot et abréviations correspondantes

Abrev.	Liste taxinomique
ACUR	<i>Achnanthes curtissima</i> Carter
ADAT	<i>Achnanthidium atomus</i> (Hustedt) Monnier, Lange-Bertalot & Ector
ADBI	<i>Achnanthidium biasolettianum</i> (Grunow in Cl. & Grun.) Lange-Bertalot
ADEU	<i>Achnanthidium eutrophilum</i> (Lange-Bertalot)Lange-Bertalot
ADLA	<i>Achnanthidium latecephalum</i> Kobayasi
ADMI	<i>Achnanthidium minutissimum</i> (Kütz.) Czarnecki
ADSA	<i>Achnanthidium saprophila</i> (Kobayasi et Mayama) Round & Bukhtiyarova
ADSU	<i>Achnanthidium subatomus</i> (Hustedt) Lange-Bertalot
ADMS	<i>Adlafia minuscula</i> (Grunow) Lange-Bertalot
ADMM	<i>Adlafia minuscula</i> var. <i>muralis</i> (Grunow) Lange-Bertalot
ACOP	<i>Amphora copulata</i> (Kutz) Schoeman & Archibald
AMMO	<i>Amphora montana</i> Krasske
ANOR	<i>Amphora normanii</i> Rabenhorst
APED	<i>Amphora pediculus</i> (Kutzing) Grunow
AFOR	<i>Asterionella formosa</i> Hassall
AAMB	<i>Aulacoseira ambigua</i> (Grun.) Simonsen
AUSU	<i>Aulacoseira subarctica</i> (O.Muller) Haworth
CBAC	<i>Caloneis bacillum</i> (Grunow) Cleve
CPED	<i>Cocconeis pediculus</i> Ehrenberg
CPLA	<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg var. <i>placentula</i>
CPPL	<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg var. <i>pseudolineata</i> Geitler
CPLE	<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg var. <i>euglypta</i> (Ehr.)Grunow
CPLI	<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg var. <i>lineata</i> (Ehr.)Van Heurck
CRAC	<i>Craticula accomoda</i> (Hustedt) Mann
CAMB	<i>Craticula ambigua</i> (Ehrenberg) Mann
CRCU	<i>Craticula cuspidata</i> (Kutzing) Mann
CHAL	<i>Craticula halophila</i> (Grunow ex Van Heurck) Mann
CMLF	<i>Craticula molestiformis</i> (Hustedt) Lange-Bertalot
CCTL	<i>Cyclostephanos costatilimbus</i> (Kobayasi & Kob.) Stoermer Hakansson & Theri
CDUB	<i>Cyclostephanos dubius</i> (Fricke) Round
CINV	<i>Cyclostephanos invisitatus</i> (Hohn & Hellerman)Theriot Stoermer & Hakansson
CMEN	<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kutzing
CCIS	<i>Cymbella cistula</i> (Ehrenberg)Kirchner
CTUM	<i>Cymbella tumida</i> (Brebisson)Van Heurck
DCOT	<i>Diadesmis contenta</i> (Grunow ex V. Heurck) Mann
DCBI	<i>Diadesmis contenta</i> Grun.var. <i>biceps</i> (Grun. in V.H.) Hamilton
DPER	<i>Diadesmis perpusilla</i> (Grunow) D.G. Mann in Round & al.
DMON	<i>Diatoma moniliformis</i> Kutzing
DVUL	<i>Diatoma vulgaris</i> Bory 1824
DPST	<i>Discostella pseudostelligera</i> (Hustedt) Houk et Klee
DWOL	<i>Discostella woltereckii</i> Hustedt
ENMI	<i>Encyonema minutum</i> (Hilse in Rabh.) D.G. Mann
ENNG	<i>Encyonema neogracile</i> Krammer
EPRO	<i>Encyonema prostratum</i> (Berkeley) Kützing

Abrev.	Liste taxinomique
ESLE	<i>Encyonema silesiacum</i> (Bleisch in Rabh.) D.G. Mann
ESVE	<i>Encyonema silesiacum</i> (Bleisch in Rabh.) D.G. Mann var. <i>ventriformis</i> Kramm
EOCO	<i>Eolimna comperei</i> Ector. Coste et Iserentant
EOMI	<i>Eolimna minima</i> (Grunow) Lange-Bertalot
ESBM	<i>Eolimna subminuscula</i> (Manguin) Moser Lange-Bertalot & Metzeltin
FLEN	<i>Fallacia lenzi</i> (Hustedt) Van de Vijver & al. nov. comb.
FPYG	<i>Fallacia pygmaea</i> (Kützing) Stickle & Mann ssp. <i>pygmaea</i> Lange-Bertalot
FSBH	<i>Fallacia subhamulata</i> (Grunow in V. Heurck) D.G. Mann
FSAP	<i>Fistulifera saprophila</i> (Lange-Bertalot & Bonik) Lange-Bertalot
FBID	<i>Fragilaria bidens</i> Heiberg
FCCP	<i>Fragilaria capucina</i> Desmazieres var. <i>capitellata</i> (Grunow) Lange-Bertalot
FCAP	<i>Fragilaria capucina</i> Desmazieres var. <i>capucina</i>
FCVA	<i>Fragilaria capucina</i> Desmazieres var. <i>vaucheriae</i> (Kützing)Lange-Bertalot
FGRA	<i>Fragilaria gracilis</i> Østrup
FPLA	<i>Fragilaria pinnata</i> Ehrenberg var. <i>lancettula</i> (Schumann) Hustedt
FUAC	<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch.)Lange-Bertalot var. <i>acus</i> (Kütz.)Lange-Bertalot
FVUL	<i>Frustulia vulgaris</i> (Thwaites) De Toni
GDEC	<i>Geissleria decussis</i> (Østrup) Lange-Bertalot & Metzeltin
GGRA	<i>Gomphonema gracile</i> Ehrenberg
GMIC	<i>Gomphonema micropus</i> Kützing var. <i>micropus</i>
GMIN	<i>Gomphonema minutum</i> (Ag.)Agardh f. <i>minutum</i>
GOLI	<i>Gomphonema olivaceum</i> (Hornemann) Brébisson var. <i>olivaceum</i>
GOOL	<i>Gomphonema olivaceum</i> var. <i>olivaceoides</i> (Hustedt) Lange-Bertalot
GPAR	<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing var. <i>parvulum</i> f. <i>parvulum</i>
GPUM	<i>Gomphonema pumilum</i> (Grunow) Reichardt & Lange-Bertalot
GYAC	<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kützing)Rabenhorst
HABU	<i>Hantzschia abundans</i> Lange-Bertalot
HAMP	<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehr.) Grunow in Cleve et Grunow 1880
HCAP	<i>Hippodonta capitata</i> (Ehr.)Lange-Bert. Metzeltin & Witkowski
LGOE	<i>Luticola goeppertiana</i> (Bleisch in Rabenhorst) D.G. Mann
LVEN	<i>Luticola ventricosa</i> (Kützing) D.G. Mann
MAAT	<i>Mayamaea atomus</i> (Kützing) Lange-Bertalot
MAPE	<i>Mayamaea atomus</i> var. <i>permitis</i> (Hustedt) Lange-Bertalot
MVAR	<i>Melosira varians</i> Agardh
MCCO	<i>Meridion circulare</i> (Greville) Agardh var. <i>constrictum</i> (Ralfs) Van Heurck
MCIR	<i>Meridion circulare</i> (Greville) C.A. Agardh var. <i>circulare</i>
NANT	<i>Navicula antonii</i> Lange-Bertalot
NCPR	<i>Navicula capitatoradiata</i> Germain
NCIN	<i>Navicula cincta</i> (Ehr.) Ralfs in Pritchard
NCRY	<i>Navicula cryptocephala</i> Kützing
NCTE	<i>Navicula cryptotenella</i> Lange-Bertalot
NCTO	<i>Navicula cryptotenelloides</i> Lange-Bertalot
NGRE	<i>Navicula gregaria</i> Donkin
NJOU	<i>Navicula joubaudii</i> Germain
NLAN	<i>Navicula lanceolata</i> (Agardh) Ehrenberg
NRCH	<i>Navicula reichardtiana</i> Lange-Bertalot var. <i>reichardtiana</i>
NSHR	<i>Navicula schroeteri</i> Meister var. <i>schroeteri</i>

Abrev.	Liste taxinomique
NTEN	Navicula tenelloides Hustedt
NTPT	Navicula tripunctata (O.F.Müller) Bory
NTRV	Navicula trivialis Lange-Bertalot var. trivialis
NVDA	Navicula vandamii Schoeman & Archibald var. vandamii
NVEN	Navicula veneta Kutzing
NVDS	Navicula(dicta) seminulum (Grunow) Lange Bertalot
NEDU	Neidium dubium(Ehrenberg)Cleve
NACI	Nitzschia acicularis(Kutzing) W.M.Smith
NACD	Nitzschia acidoclinata Lange-Bertalot
NAGW	Nitzschia agnewii Cholnoky
NAMP	Nitzschia amphibia Grunow f.amphibia
NIAR	Nitzschia archibaldii Lange-Bertalot
NBRG	Nitzschia bergii Cleve-Euler
NCPL	Nitzschia capitellata Hustedt in A.Schmidt & al.
NCOM	Nitzschia communis Rabenhorst
NCOT	Nitzschia constricta (Kutzing) Ralfs
NDIS	Nitzschia dissipata(Kutzing)Grunow var.dissipata
NFON	Nitzschia fonticola Grunow in Cleve et Möller
NIFR	Nitzschia frustulum(Kutzing)Grunow var.frustulum
NIGR	Nitzschia gracilis Hantzsch
NHAN	Nitzschia hantzschiana Rabenhorst
NHEU	Nitzschia heufleriana Grunow
NINC	Nitzschia inconspicua Grunow
NINT	Nitzschia intermedia Hantzsch ex Cleve & Grunow
NLIN	Nitzschia linearis(Agardh) W.M.Smith var.linearis
NLSU	Nitzschia linearis(Agardh) W.M.Smith var.subtilis(Grunow) Hustedt
NZLT	Nitzschia linearis(Agardh) W.M.Smith var.tenuis (W.Smith) Grunow
NPAL	Nitzschia palea (Kutzing) W.Smith
NPAE	Nitzschia paleacea (Grunow) Grunow in van Heurck
NIPU	Nitzschia pusilla(Kutzing)Grunow
NREC	Nitzschia recta Hantzsch in Rabenhorst
NSIO	Nitzschia sigmoidea (Nitzsch)W. Smith
NSOC	Nitzschia sociabilis Hustedt
NSUA	Nitzschia subacicularis Hustedt in A.Schmidt et al.
NZSU	Nitzschia supralitorea Lange-Bertalot
NTRO	Nitzschia tropica Hustedt
PPRO	Parlibellus protracta (Grunow) Witkowski Lange-Bertalot & Metzeltin
PBOR	Pinnularia borealis Ehrenberg var. borealis
PGLO	Pinnularia globiceps Gregory var. globiceps
PPVS	Pinnularia parvulissima Krammer
PVIF	Pinnularia viridiformis Krammer var. viridiformis morphotype 1
PELG	Placoneis elginensis (Greg) Cox
PLFR	Planothidium frequentissimum(Lange-Bertalot)Lange-Bertalot
PTLA	Planothidium lanceolatum(Brebisson ex Kützing) Lange-Bertalot
PLAU	Psammothidium laenburgianum (Hustedt) Bukht. et Round
RSIN	Reimeria sinuata (Gregory) Kociolek & Stoermer
RUNI	Reimeria uniseriata Sala Guerrero & Ferrario

RABB	Rhoicosphenia abbreviata (C.Agardh) Lange-Bertalot
SPUP	Sellaphora pupula (Kutzing) Mereschkowksy
STAN	Stauroneis anceps Ehrenberg
SSMI	Stauroneis smithii Grunow
STHE	Stauroneis thermicola (Petersen) Lund
SCBI	Staurosira construens (Ehr.) var. binodis (Ehr.) Hamilton
SRPI	Staurosira pinnata Ehrenberg
SSVE	Staurosira venter (Ehr.) Cleve & Moeller
SANG	Surirella angusta Kutzing
SBRE	Surirella brebissonii Krammer & Lange-Bertalot var.brebissonii
STER	Surirella terricola Lange-Bertalot & Alles
TPSN	Thalassiosira pseudonana Hasle et Heimdal
UULN	Ulnaria ulna (Nitzsch.) Compère

FORMES ANORMALES

ADMT	Achnantheidium minutissimum (Kütz.) Czarnecki fo.teratogene
ADSG	Achnantheidium saprophila (Kob.& Mayama) Round & Bukhtiyarova f.teratogen
APAB	Amphora pediculus (Kutzing) Grunow abnormal form
CPAB	Cocconeis pediculus Ehrenberg fo.teratogene
CMTG	Cyclotella meneghiniana Kutzing fo. teratogene
ENMT	Encyonema minutum (Hilse in Rabh.) D.G. Mann fo. teratogene
EOMT	Eolimna minima(Grunow) Lange-Bertalot fo.teratogene
FCCT	Fragilaria capucina Desm.v.capitellata (Grunow) Lange-Bertalot abnormal
FCAT	Fragilaria capucina Desmazieres fo.teratogene
FGRT	Fragilaria gracilis Ostrup fo. teratogene
FUAT	Fragilaria ulna var.acus(Kütz.)Lange-Bertalot fo. teratogene
GOTG	Gomphonema olivaceum (Hornemann) Brébisson fo.teratogene
GPAT	Gomphonema parvulum Kutzing fo. teratogene
MAPT	Mayamaea atomus var. permitis (Hustedt) Lange-Bertalot fo. teratogene
NPTR	Nitzschia palea (Kutzing) W.Smith fo. teratogene
NPTG	Nitzschia paleacea (Grunow) Grunow f. teratogene
PLFT	Planothidium frequentissimum(Lange-Bertalot)Lange-Bertalot abnormal form
PTLT	Planothidium lanceolatum(Breb. ex Kütz.) Lange-Bertalot fo. teratogene
SSET	Sellaphora seminulum (Grunow) D.G. Mann fo.teratogene
SANT	Surirella angusta Kutzing fo.teratogene
UULT	Ulnaria ulna (Nitzsch.) Compère fo. anormale

ANNEXE B: Protocole de traitement des échantillons

Des lames de verre placées dans des cages équipées de flotteurs sont raclées soigneusement après le développement algal pendant les jours de colonisation . Le biofilm mis en suspension dans l'eau minérale est ajusté à un volume de 200 mL. Ensuite des aliquotes sont prélevés pour les différentes analyses (fig. 1)

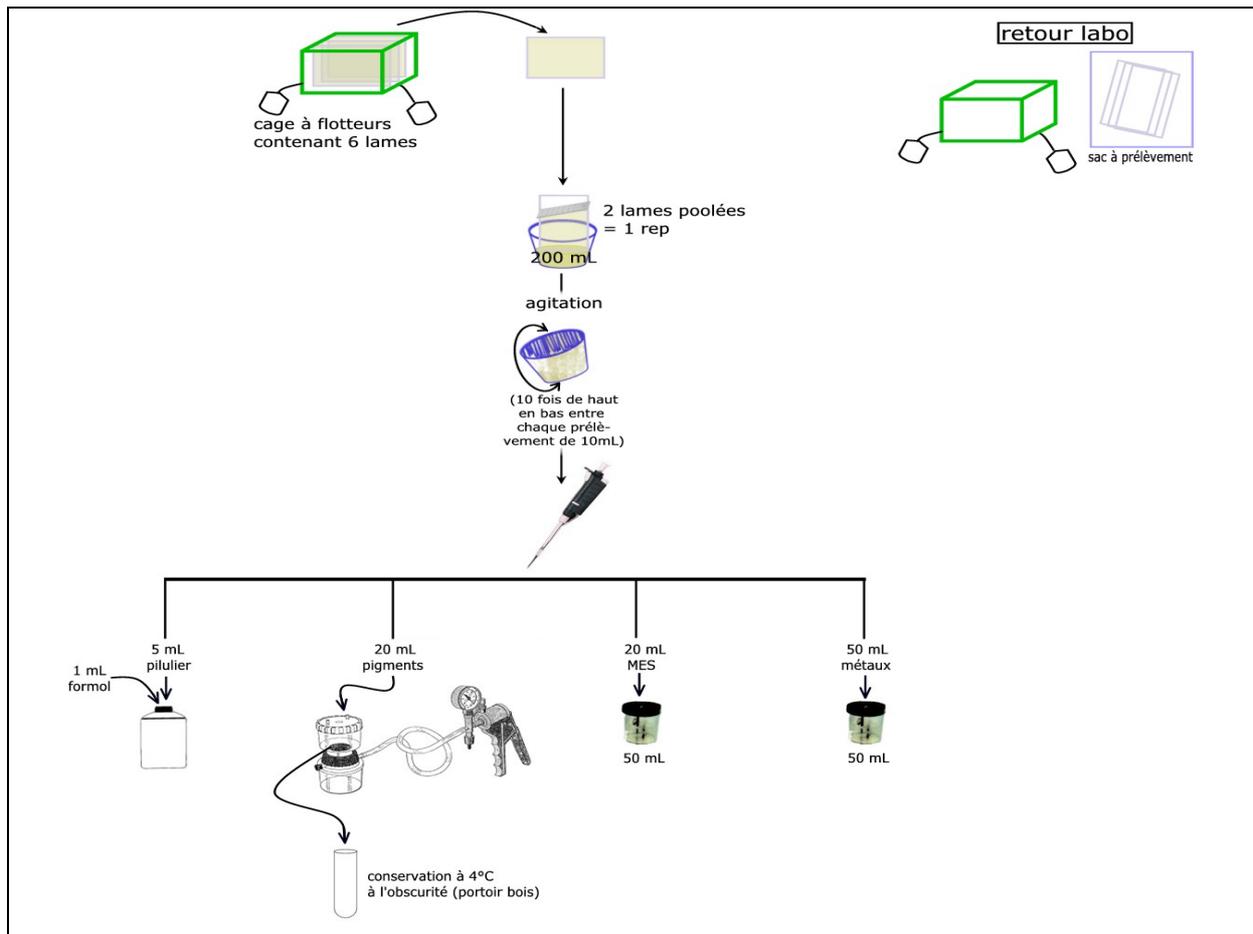


Figure 1. Protocoles de terrain (1)

A chaque date de prélèvement une estimation de la physico-chimie a été réalisée sur le terrain (température, pH, O₂ dissous, conductivité) et des échantillons d'eau ont été ramenés pour une analyse en laboratoire de la qualité de l'eau.

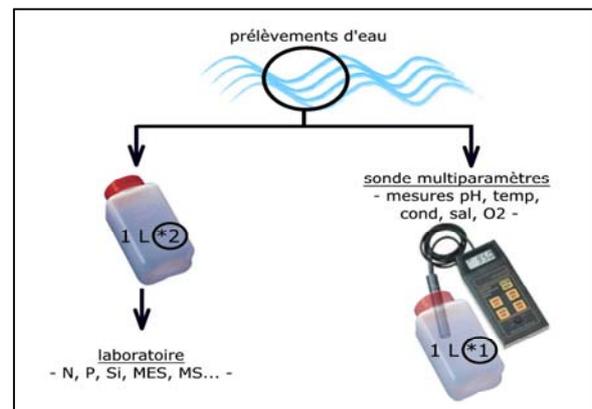


Figure 2. Protocoles de terrain (2)

ANNEXE C : Mesures physico-chimiques réalisées sur les stations Firmi (F), Decazeville (D) et Pont Cassé (P) lors des quatre campagnes de prélèvement.

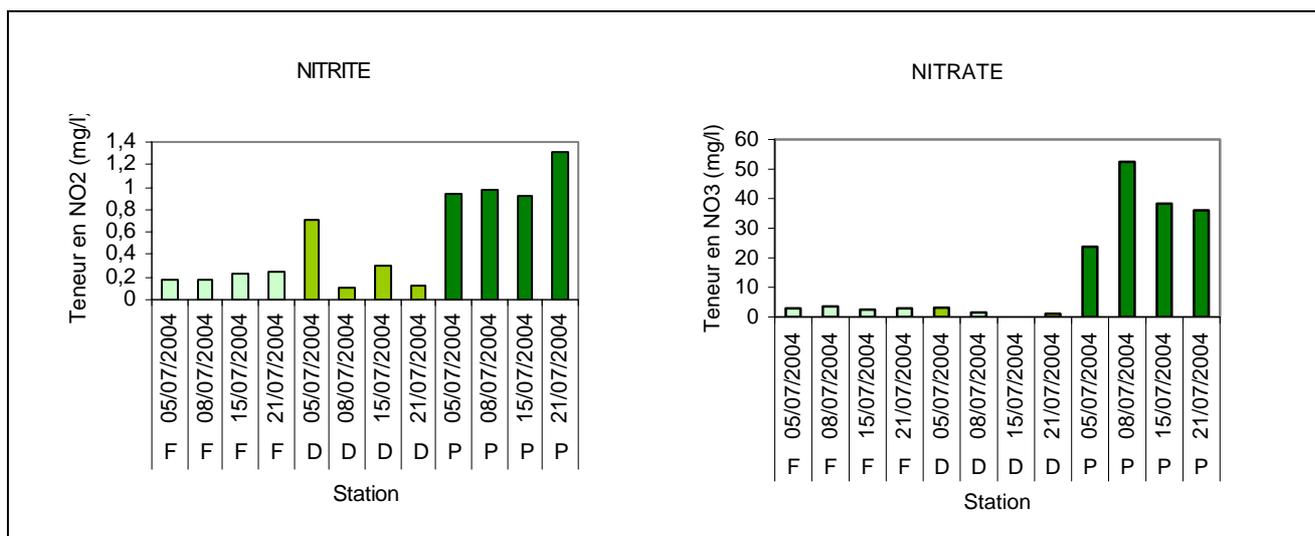


Figure 3. Teneur en nitrite et nitrate dans les trois stations de l'étude.

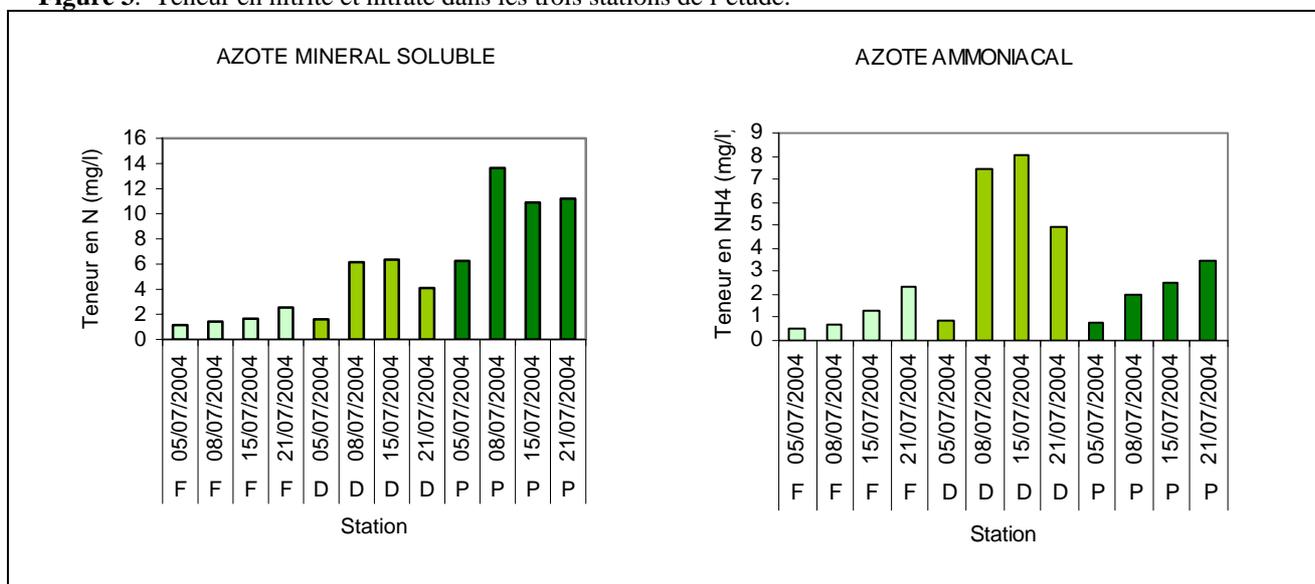


Figure 4. Teneur en azote minéral soluble et azote ammoniacal dans les trois stations de l'étude.

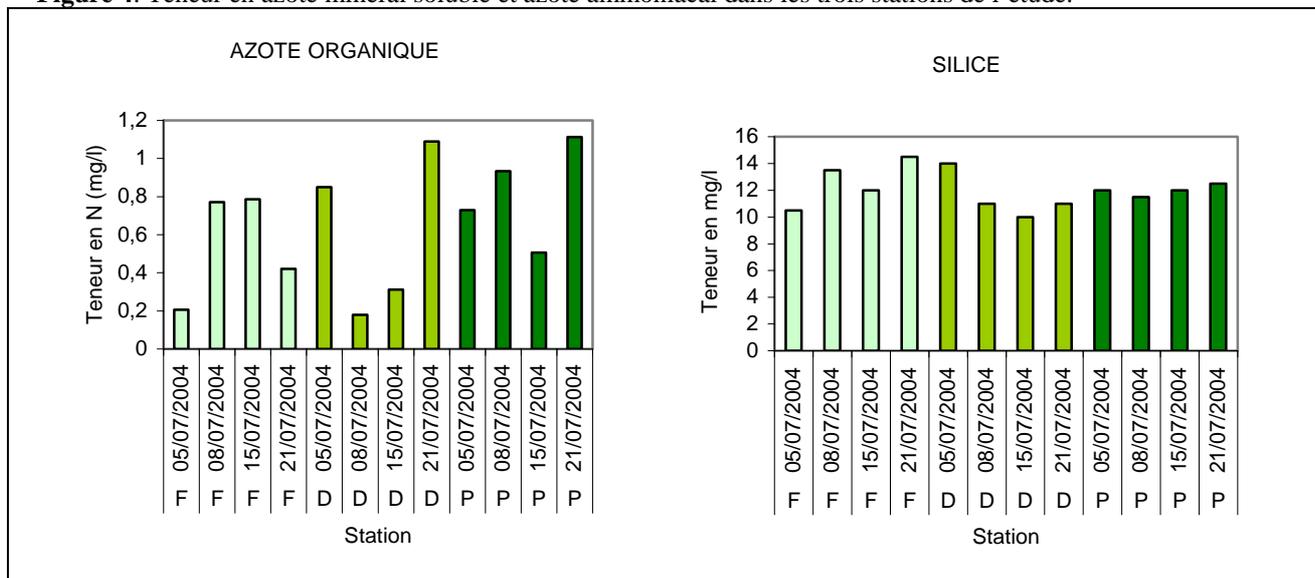


Figure 5. Teneur en azote organique et silice dans les trois stations de l'étude.

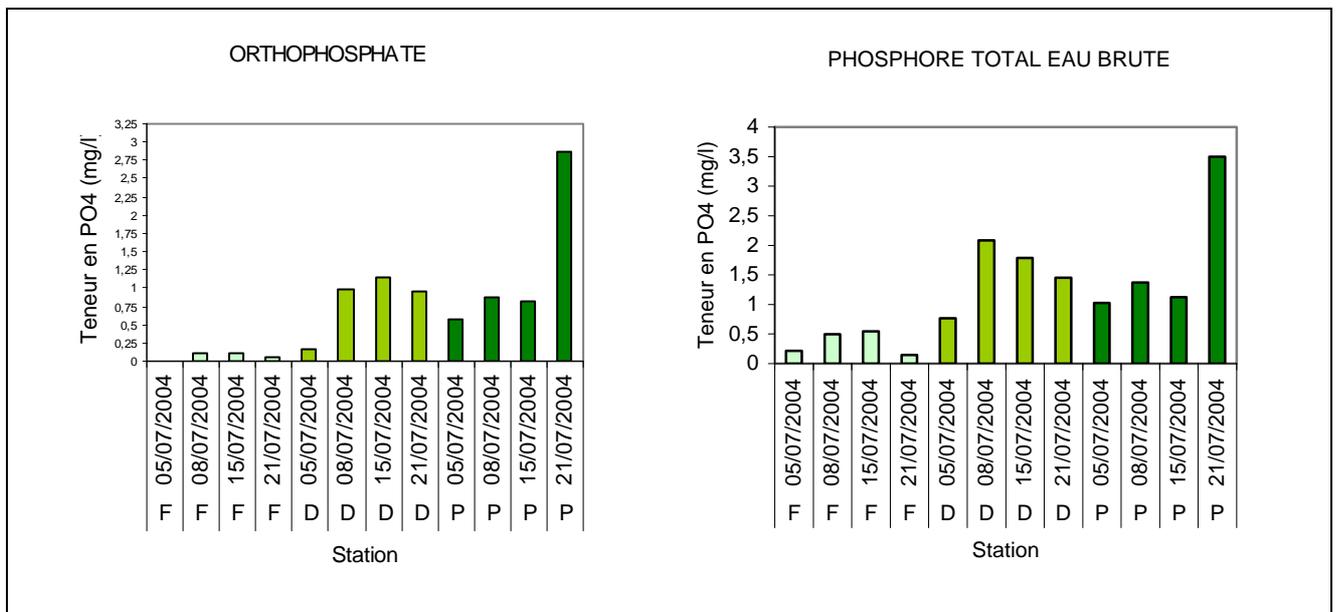


Figure 6. Teneur en orthophosphate et phosphore total eau brute dans les trois stations de l'étude

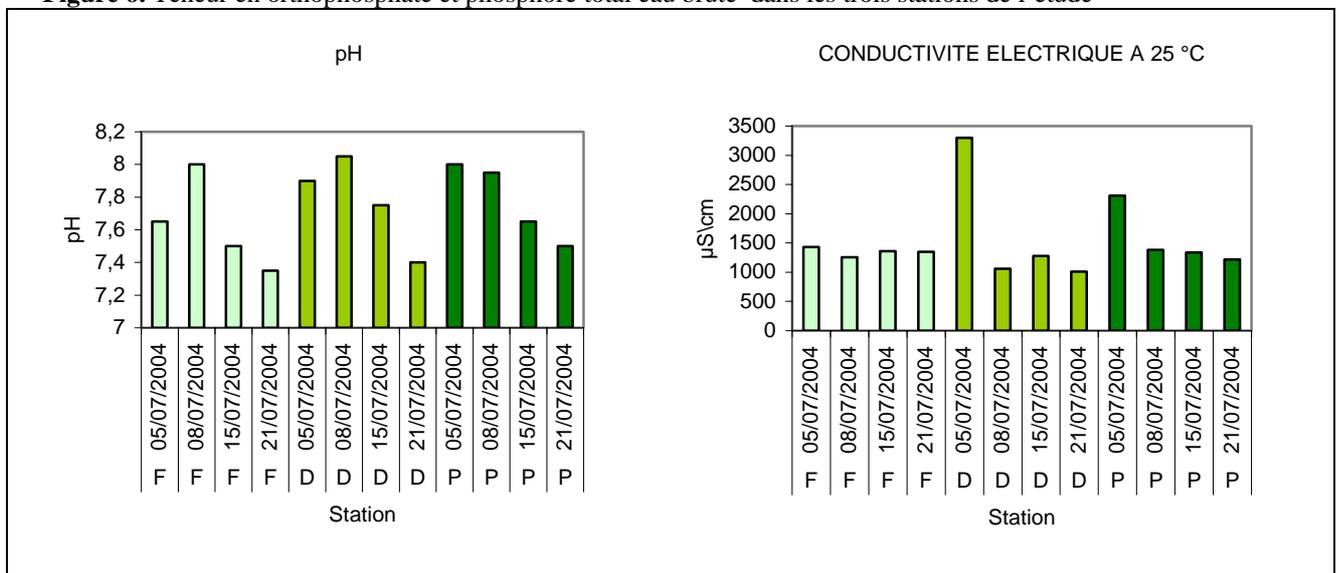


Figure 7. Valeur de pH et conductivité électrique dans les trois stations de l'étude.

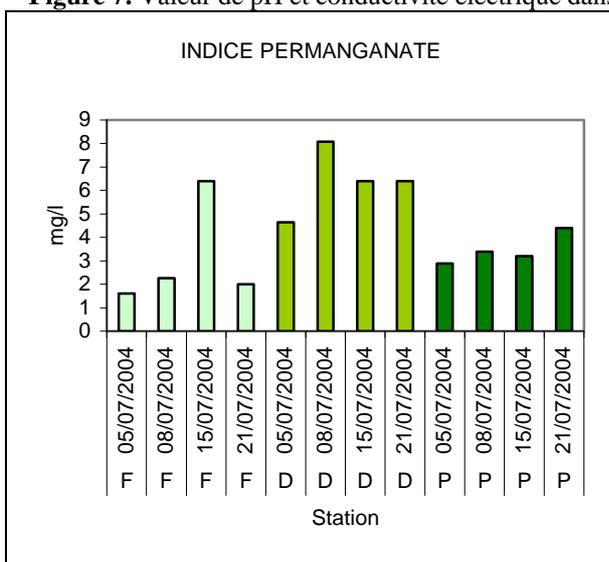


Figure 8. Valeur de l'indice permanganate dans les trois stations de l'étude

ANNEXE D: Abondances relatives des espèces majoritaires des communautés diatomiques sur les stations Firmi(F), Decazeville (intermarché) et Pont Cassé, lors des quatre campagnes de prélèvements.

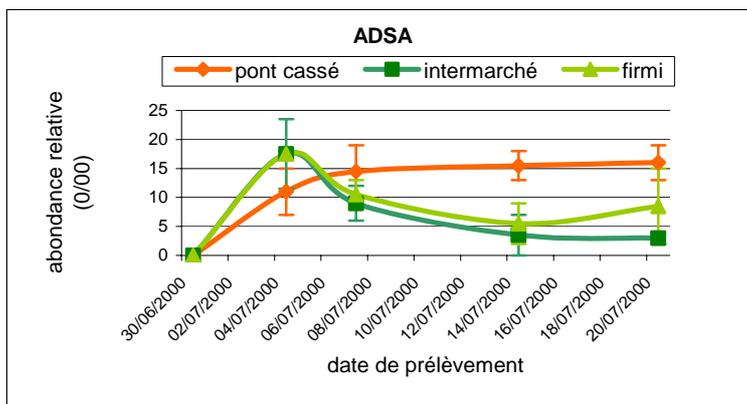


Figure 9. Abondance relative de l'espèce *Achnanthydium saphyphila* (Kobayasi et Mayama) Round & Bukhtiyarova (ADSA)

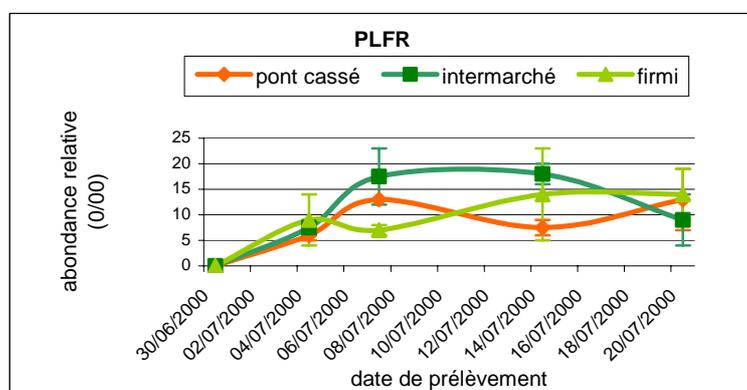


Figure 10. Abondance relative de l'espèce *Planothidium frequentissimum* (Lange-Bertalot)Lange-Bertalot (PLFR)

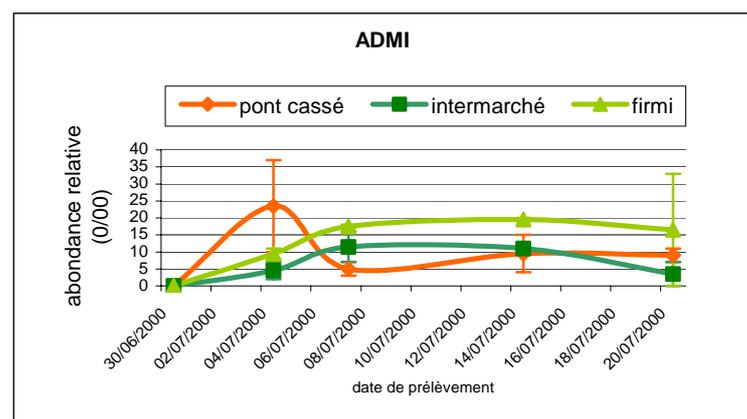


Figure 11. Abondance relative de l'espèce *Achnanthydium minutissimum* (Kütz.) Czarnecki (ADMI)

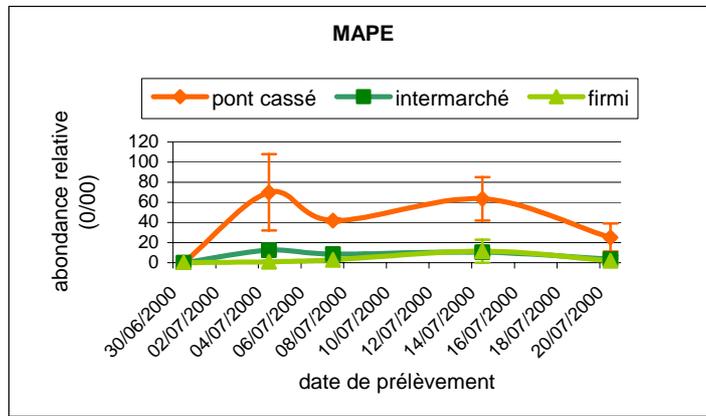


Figure 12. Abondance relative de l'espèce *Mayamaea atomus* var. *permitis* (Hustedt) Lange-Bertalot (MAPE)

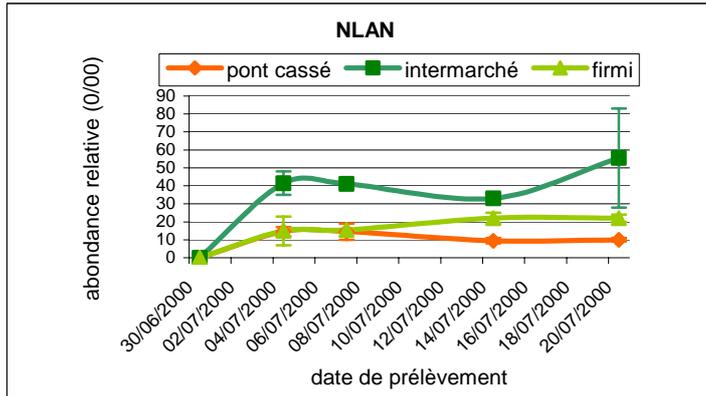


Figure 13. Abondance relative de l'espèce *Navicula lanceolata* (Agardh) Ehrenberg (NLAN)

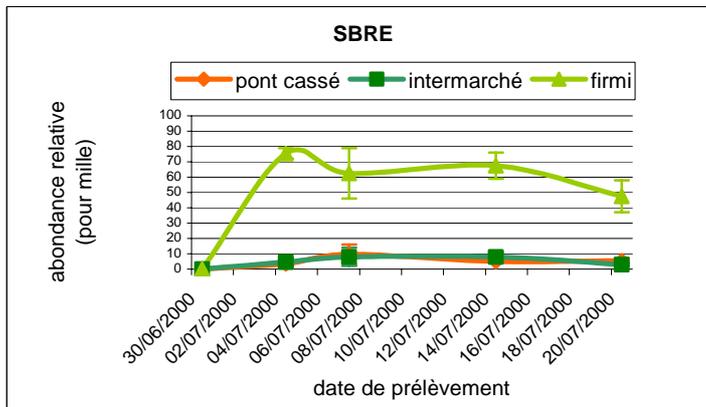


Figure 14. Abondance relative de l'espèce *Surirella brebissonii* Krammer & Lange-Bertalot var. *brebissonii* (SBRE)

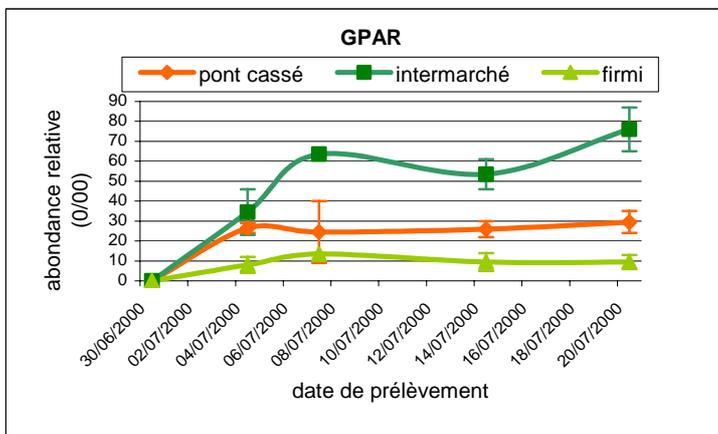


Figure 15. Abondance relative de l'espèce *Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing var. *parvulum* f. *parvulum* (GPAR)

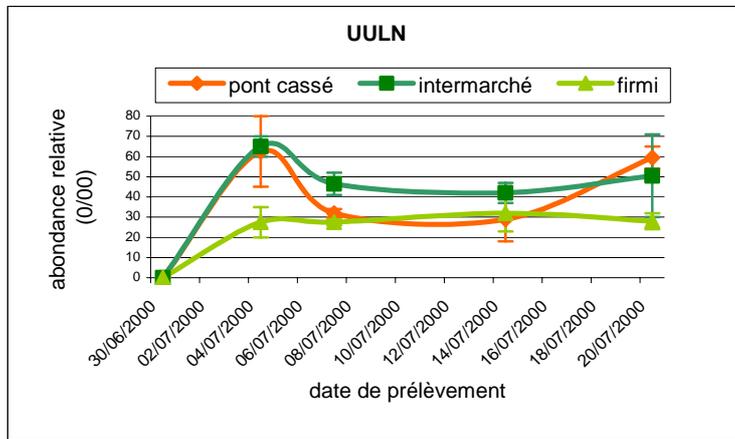


Figure 16. Abondance relative de l'espèce *Ulnaria ulna* (Nitzsch.) Compère (UULN)

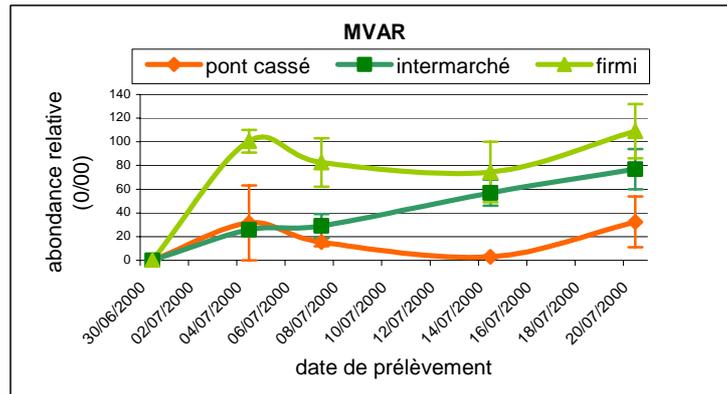


Figure 17. Abondance relative de l'espèce *Melosira varians* Agardh (MVAR)

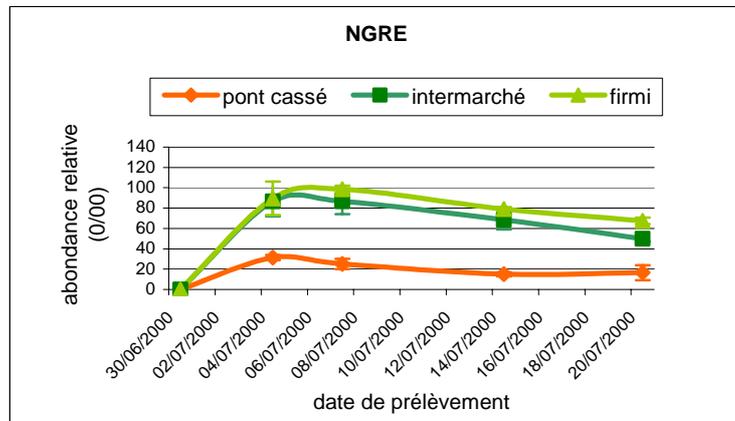


Figure 18. Abondance relative de l'espèce *Navicula gregaria* Donkin (NGRE)

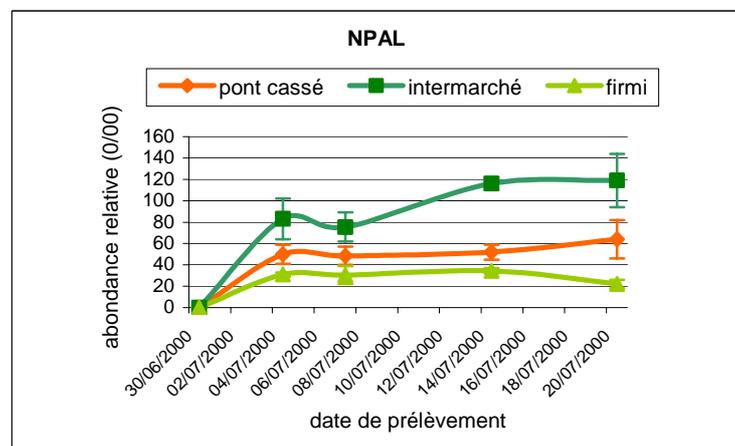


Figure 19. Abondance relative de l'espèce *Nitzschia palea* (Kutzing) W.Smith (NPAL)

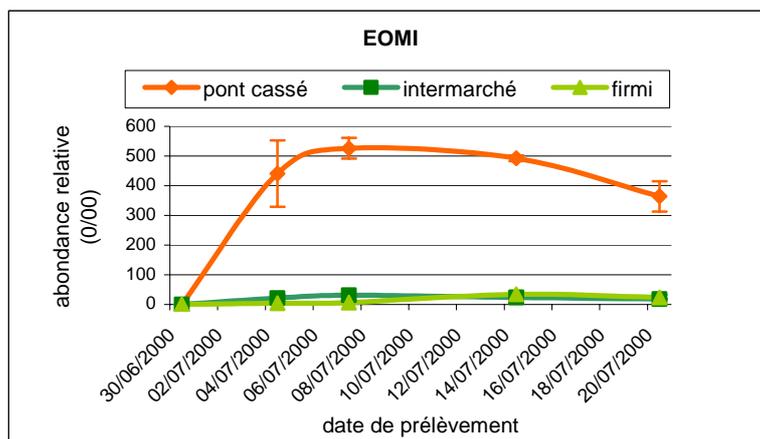


Figure 20. Abondance relative de l'espèce *Eolimna minima*(Grunow) Lange-Bertalot (EOMI)

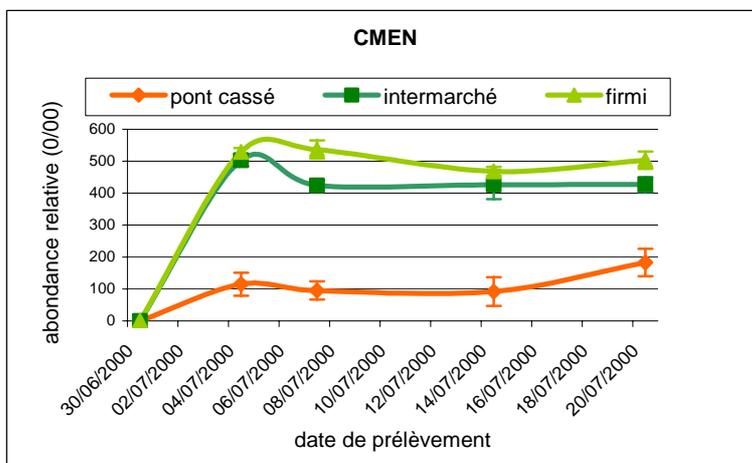


Figure 21. Abondance relative de l'espèce *Cyclotella meneghiniana* (Kutzing) (CMEN)

ANNEXE E : Indice de Diversité de Shannon-Weaver

Les valeurs de l'indice de diversité de Shannon-Weaver (H') (SHANNON & WEAVER 1948) permettent évaluer la diversité spécifique. Il a été calculé avec la formule suivante :

$$H' = - \sum (p_i \cdot \log_2 p_i)$$

p_i : abondance relative de l'espèce i et $\log_2 p_i = \log p_i / \ln 2$

Cet indice est révélateur de niveaux de pollution élevés. La diminution du nombre d'espèces présentes est corrélée au niveau de pollution.

Dans la figure 9 on observe que les valeurs sont similaires dans les trois stations donc dans cette étude les résultats de l'indice de diversité de Shannon ne permettent pas de mettre en évidence des tendances de diminution liées à la pollution.

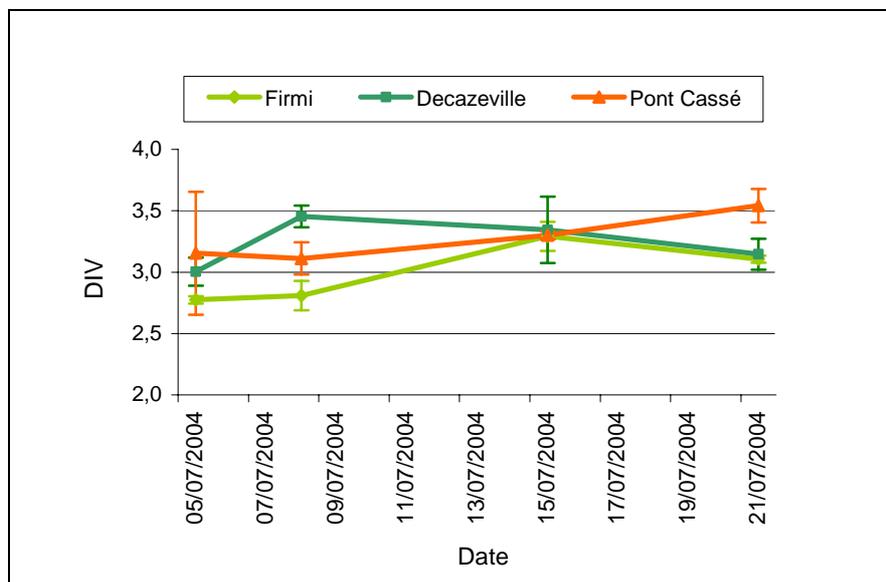


Figure 22. Valeurs moyennes et écart-types de l'Indice de Diversité de Shannon (DIV) aux trois stations : Firmi, Decazeville et Pont Cassé

ANNEXE F : Quantification de l'importance des espèces de petite et grande taille en volume occupé.

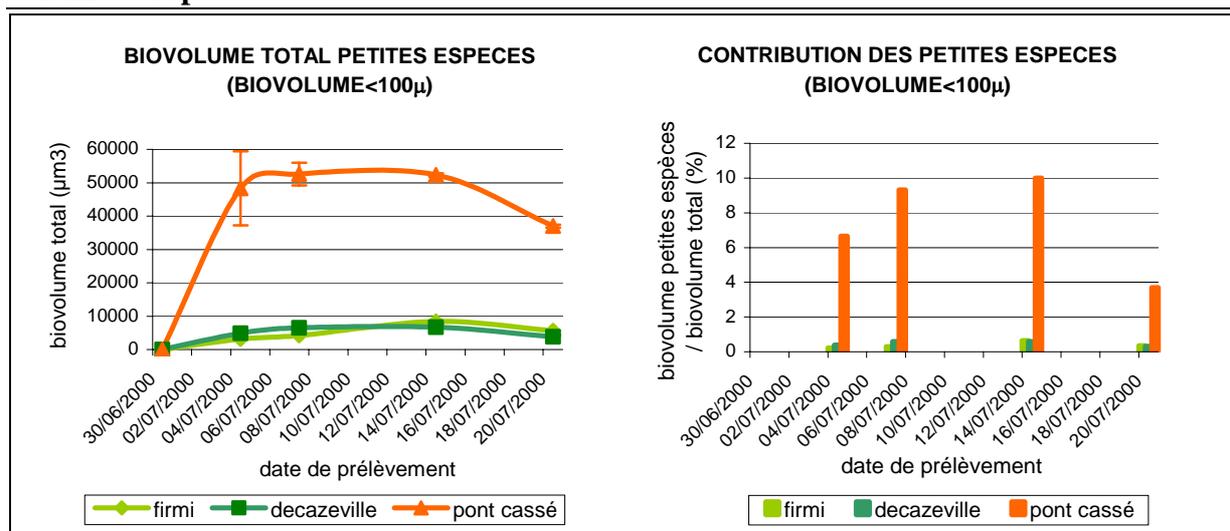


Figure 23. Biovolume total des petites espèces et leur contribution au biovolume total, dans les stations de prélèvements Firmi, Decazeville et Pont Cassé.

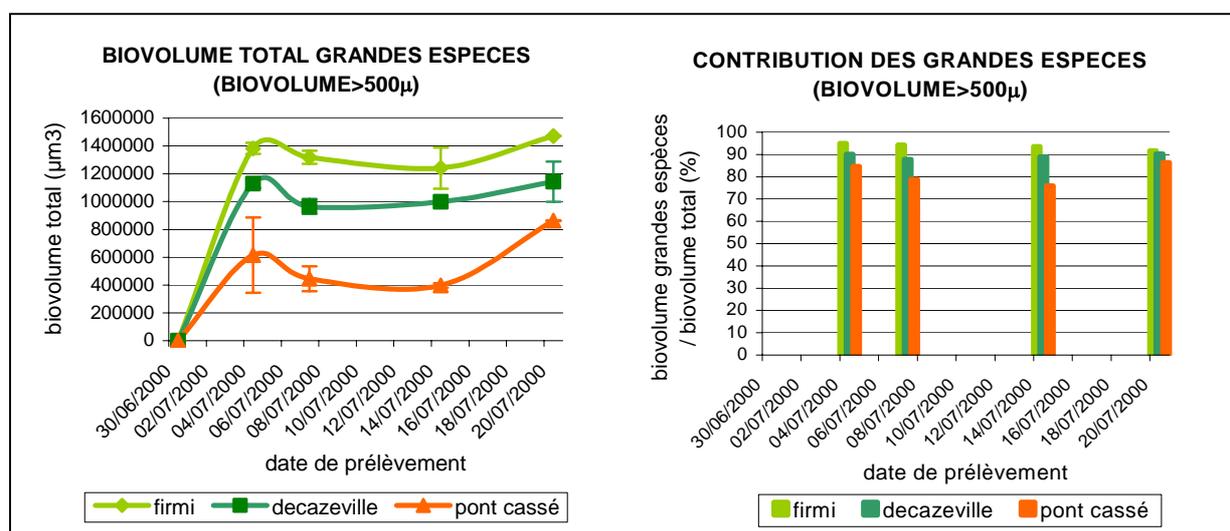


Figure 24. Biovolume total des grandes espèces et leur contribution au biovolume total, dans les stations de prélèvements Firmi, Decazeville et Pont Cassé.

Exploitation des graphiques :

Les résultats des graphique du biovolume total montrent que, en terme de « volume colonisé », les espèces de petites tailles sont mieux représentées dans la station contaminée que dans les stations sans pollution métallique (cinq fois plus mieux représentées dans la station contaminée par les métaux que dans les stations sans métaux). Au Pont, les petites espèces représentent jusqu'à 10 % du biovolume total, alors qu'elles ont un poids très faible à Firmi et Decazeville. Toutefois, en comparaison avec les grandes espèces, on constate que les petites espèces occupent un volume bien plus faible que les espèces de grande taille. Le biovolume occupé par les grandes espèces représente presque la totalité du biovolume diatomique et en plus on observe qu'elle reflète les deux niveaux de pollution : organique et métallique.

ANNEXE G: Comparaison des abondances relatives de espèces majoritaires des communautés diatomiques avec deux indicateurs de sensibilité : Indice Chlorophylle et Indice Biofilm.

Le calcul de l'abondance relative ne permet pas d'intégrer la dynamique de la biomasse dans les courbes d'évolution temporelle de chaque espèce. Il nous a semblé intéressant de tenter d'apporter une information plus quantifiée permettant de mieux approcher la tendance d'évolution absolue des effectifs de chaque espèce par unité de surface sur les substrats artificiels et dans le temps.

Dans ce but, nous avons utilisé l'information apportée par deux descripteurs globaux relativement simples à obtenir (simple analyse chimique des biofilms ayant colonisé les substrats artificiels) permettant de rendre compte plus ou moins parfaitement de la dynamique de mise en place de la biomasse de biofilms à chaque date (fig 25) :

- 1) La quantité de Chlorophylle par unité de surface (Chlorophylle a + phéopigments) susceptible de représenter l'importance de la colonisation algale dans les biofilms.
- 2) La quantité de matière sèche organique par unité de surface (perte au feu des matières sèches totales de biofilm par unité de surface, représentant uniquement la part organique des biofilms), susceptible de rendre compte quantitativement de la biomasse mise en place sur ces substrats par unité de temps (essentiellement producteurs primaires autotrophes + hétérotrophes).

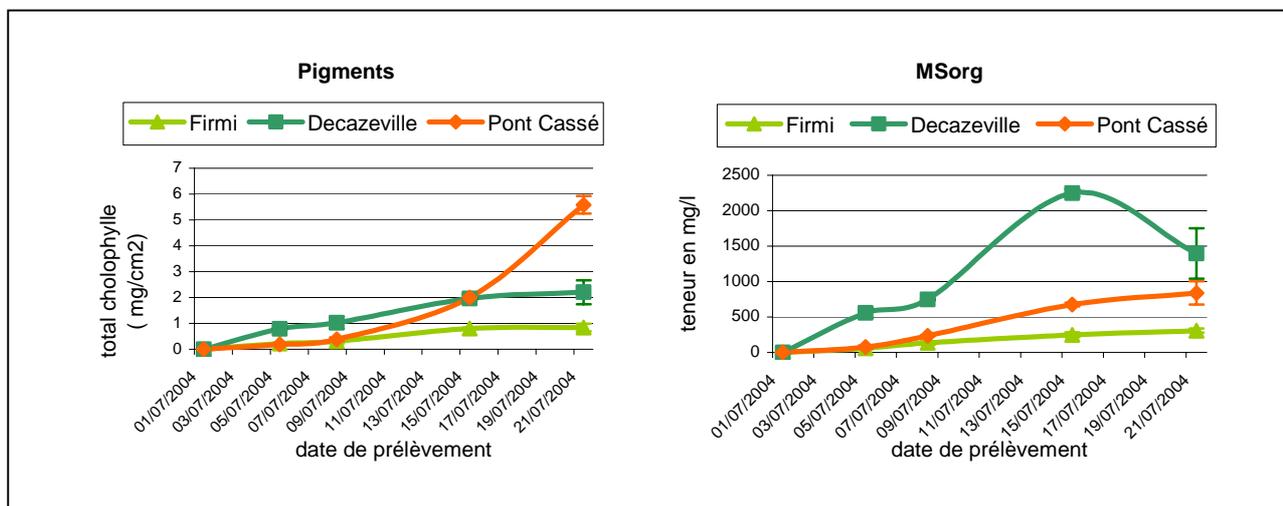


Figure 25. Teneurs en chlorophylle par unité de surface (total chlorophylle a + phéopigments) et matière sèche organique par unité de surface, dans les stations de prélèvements (Firmi, Decazeville et Pont Cassé)

Remarque : On verra ci-dessous, dans la discussion de ces 2 graphiques, que chacun de ces deux descripteurs quantitatifs globaux a révélé dans certaines situations des limites de représentativité par rapport au rôle qu'on leur assignait a priori, notamment en relation avec des événements hydrologiques.

En combinant chacun de ces deux descripteurs globaux avec les données d'abondance relative de chaque espèce principalement représentée dans les biofilms des trois stations du dispositif d'étude, il a été proposé les deux indices suivants, permettant de mieux approcher l'évolution des effectifs de chaque espèce dans le temps :

Indice Chlorophylle = (Abondance relative de l'espèce à une date et une station) * (total chlorophylle *a* à cette date et à cette station)

Indice Biofilm =(Abondance relative de l'espèce à une date et une station)*(MSorg à cette date et à cette station)

Analyse et discussion des résultats de ces descripteurs globaux (fig. 25) et de leur intérêt :

Le graphique représentant l'évolution de la Chlorophylle par Unité de surface permet d'établir des trajectoires globalement cohérentes, sur Firmi et Decazeville, pour représenter l'évolution de biomasse algale dans le temps en fonction de ce que l'on connaît de l'ambiance générale des stations.

En effet, la production algale est la moins importante à Firmi, station amont où les nutriments sont les plus limitants, de façon cohérente pendant toute la durée de colonisation. La station Decazeville, fortement enrichie et impactée par des pollutions organiques de l'agglomération de Decazeville, permet une colonisation nettement plus rapide et, au terme de l'expérimentation, deux fois plus importante qu'à Firmi.

Ce qui interroge un peu plus vis-à-vis de ce critère est la trajectoire de la biomasse algale sur la station aval de Pont Cassé (station modérément enrichie en matière organique, la plus enrichie en nutriments minéraux N et P et fortement polluée en métaux) où, après un démarrage très lent et faible de la colonisation apparaissant logique vu l'exposition aux métaux, les deux derniers points semblent révéler une augmentation exponentielle de la présence algale. Une explication de cette évolution très contrastée entre le début et la fin de la période peut tenir à la sélection progressive d'**espèces tolérantes ou même résistantes aux métaux** (dont fait partie EOMI, très présente). Une fois cette sélection établie, le biofilm devient à même, malgré la présence de métaux, de tirer mieux parti de l'enrichissement de la station (nutriments, matière organique). Cependant, la manifestation d'une production plus importante qu'à Decazeville selon ce critère, non corroborée par le critère matière sèche organique, interroge sur la qualité de sa représentativité vis-à-vis de la biomasse algale réellement présente.

Une autre origine d'explication pourrait être que le biofilm à cette station à faciès courant et éclairé est mince et sous dominante de petites espèces, ce qui lui permet de continuer à accéder à un **éclairage satisfaisant sur toute son épaisseur** jusqu'à la fin de l'expérimentation, facteur contribuant à une concentration plus importante du biofilm en Chlorophylle (fonction photosynthétique plus active dans toute l'épaisseur du biofilm).

Quelle que soit la part d'explication apportée par l'une ou l'autre de ces hypothèses, on atteint donc sur une telle station une limite de la représentativité de ce critère « quantité de Chlorophylle » par rapport à la quantité de biomasse algale en place (non linéarité inter-station et même intrastation, selon des dates, de cette relation).

Le deuxième graphique illustre l'évolution de la matière sèche organique par unité de surface, qui est censée représenter l'accroissement de biomasse de tous les producteurs primaires autotrophes et hétérotrophes du biofilm. Les résultats obtenus sur les stations de Firmi et de Pont Cassé ont une bonne cohérence tant entre stations qu'en évolution temporelle. Par contre, cette fois, c'est sur la station de Decazeville que des problèmes de représentativité se posent. En effet, si le classement relatif des trois courbes est en bonne correspondance avec ce que l'on peut pressentir des vitesses d'accrétion du biofilm en relation avec l'ambiance de ces stations *in situ* (gradient trophique respecté, courbe de la station impactée par les métaux intermédiaire entre la référence amont et la station à la fois la plus enrichie en matière organique et non exposée aux pollutions métalliques), l'examen plus approfondi de la courbe correspondant à la station Decazeville révèle certaines anomalies. Deux indices forts laissent à penser que dans cette station, l'augmentation de la matière sèche organique par unité de surface ne rend pas compte uniquement de la production primaire dans les biofilms, mais aussi d'une sédimentation et d'une incorporation de matière organique détritique (pollutions organiques), ce qui fait perdre une partie de sa représentativité à ce descripteur dans une telle situation sous flux de pollution organique :

- les courbes de quantité de Chlorophylle et de dosage de matière organique par unité de surface ne sont pas en cohérence (quantité de Chlorophylle pas assez importante), suggérant une dilution de la matière organique produite par les biofilms avec des apports permanents de matière organique détritique, ainsi qu'une difficulté du biofilm à assurer un niveau correct de photosynthèse sous cette sédimentation permanente gênant son bon éclairage,
- la diminution de la quantité de matière sèche organique en place entre l'avant-dernière et la dernière date ne peut pas être due à un début de sénescence du biofilm (21 jours représentent un délai trop court depuis l'implantation des substrats artificiels). Cette

courbe révèle de façon claire qu'un événement hydrodynamique modéré (puisque non ressenti par les biofilms sur les deux autres stations) a provoqué l'abrasion facile et rapide d'une grande quantité de matière organique non incorporée dans la structure du biofilm, signant son origine détritique. Les données hydrométriques non encore disponibles permettront de confirmer ce point ultérieurement.

Espèces présentant une résistance ou une tolérance aux métaux

Achnanthydium saprophila (Kobayasi et Mayama) Round & Bukhtiyarova (ADSA)

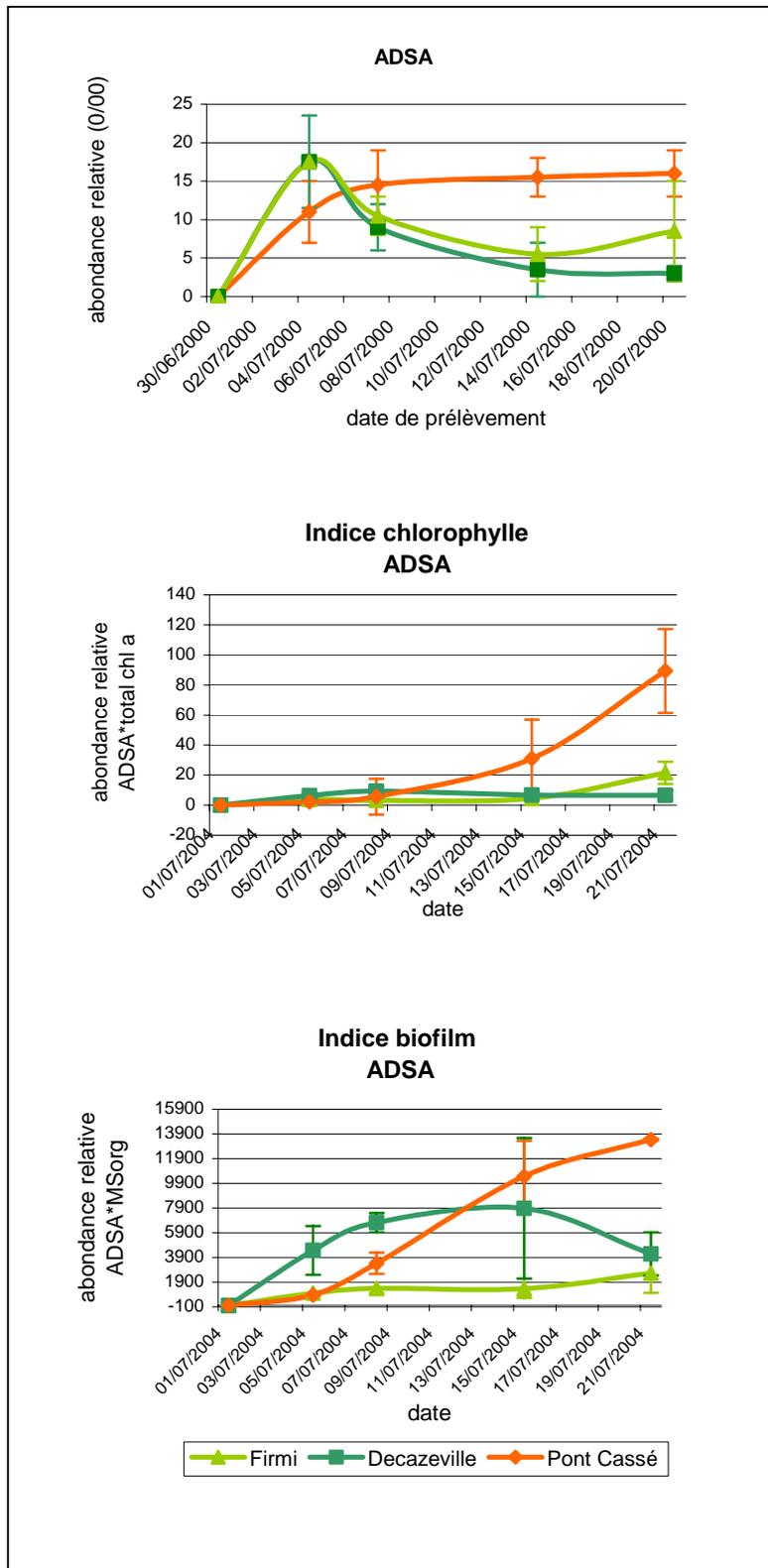


Figure 26. Abondance relative, indice chlorophylle et indice biofilm de *Achnanthydium saprophila* (Kobayasi et Mayama) Round & Bukhtiyarova

Exploitation des graphiques :

Les résultats des graphiques montrent que ADSA est une espèce :

- plutôt pionnière,
- tolérante aux métaux,
- présentant une certaine tolérance à la pollution organique

L'augmentation de l'abondance relative de cette espèce à Pont Cassé se retrouve dans les estimations « absolues » de biomasse.

L'évolution de l'indice chlorophylle est parallèle à l'évolution de la chlorophylle totale, cette espèce a un certain avantage compétitif et augmente ses effectifs dans la station polluée par les métaux.

Enfin, on peut constater avec l'indice biofilm que le développement de cette espèce est plus important à Decazeville aux premières dates de prélèvements (tolérance aux pollutions organiques). Les derniers jours, on observe une contribution en accroissement de ADSA à la formation du biofilm à Pont Cassé, signant le caractère tolérant de l'espèce aux pollutions métalliques.

(ADSA)

Eolimna minima(Grunow) Lange-Bertalot (EOMI)

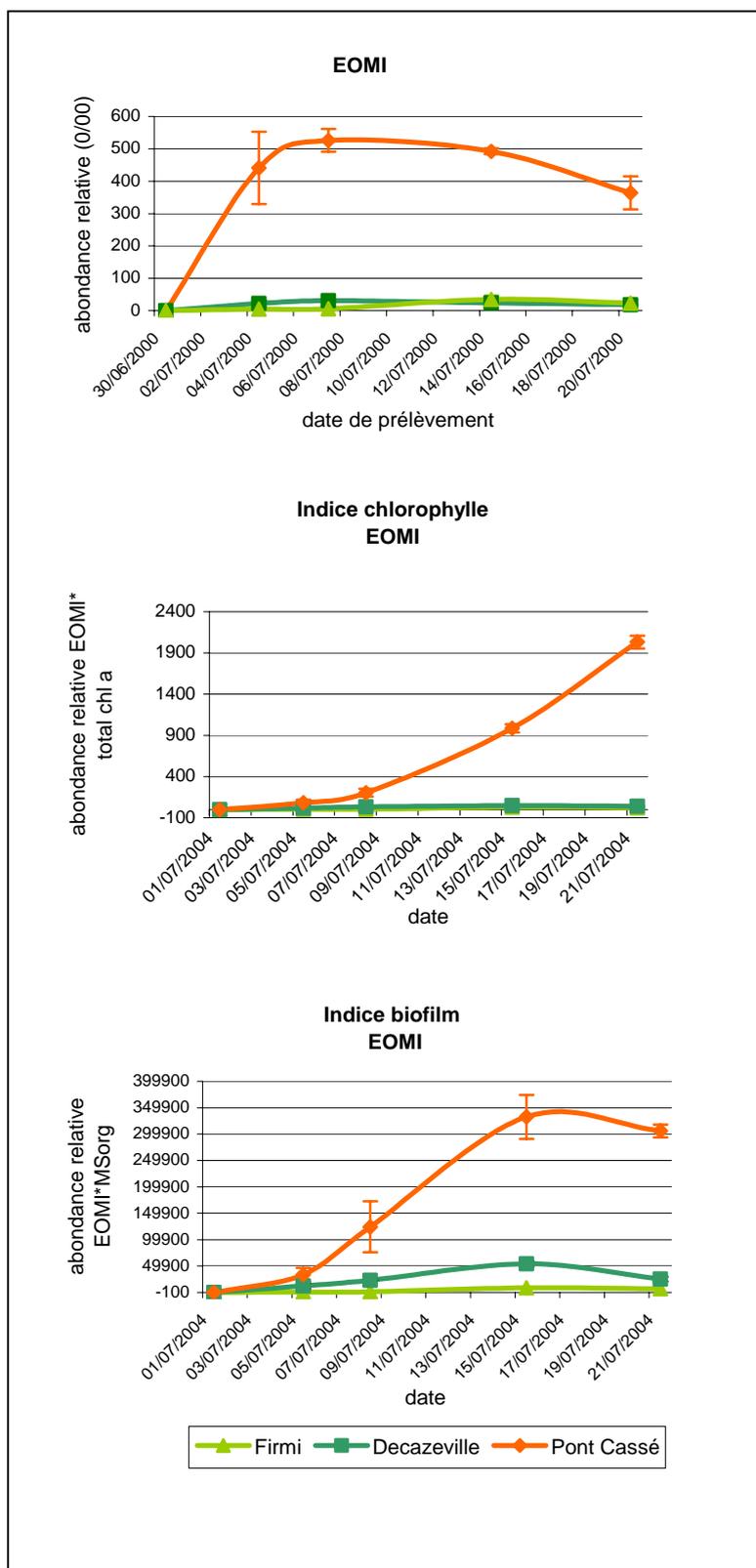


Figure 27. Abondance relative, indice chlorophylle et indice biofilm de *Eolimna minima*(Grunow) Lange-Bertalot (EOMI)

Exploitation des graphiques :

A partir des résultats des graphiques se confirment les résultats des études précédentes qui décrivent cette espèce comme résistante aux métaux et ensuite c'est un bon indicateur de pollution métallique (PERES et al. 1997 ; GOLD 1998 et 2002 ; FEURTET-MAZEL et al 2003).

Cette espèce est manifestement résistante aux métaux rencontrés sur la station Pont Cassé (Cd, Zn).

Les résultats des deux indices, convergents avec les données des abondances relatives, en sont la démonstration.

Il y a une importante contribution de cette espèce au total de chlorophylle produite à cette station de Pont Cassé, ainsi qu'à la production de biofilm.

Mayamaea atomus var. permitis (Hustedt) Lange-Bertalot (MAPE)

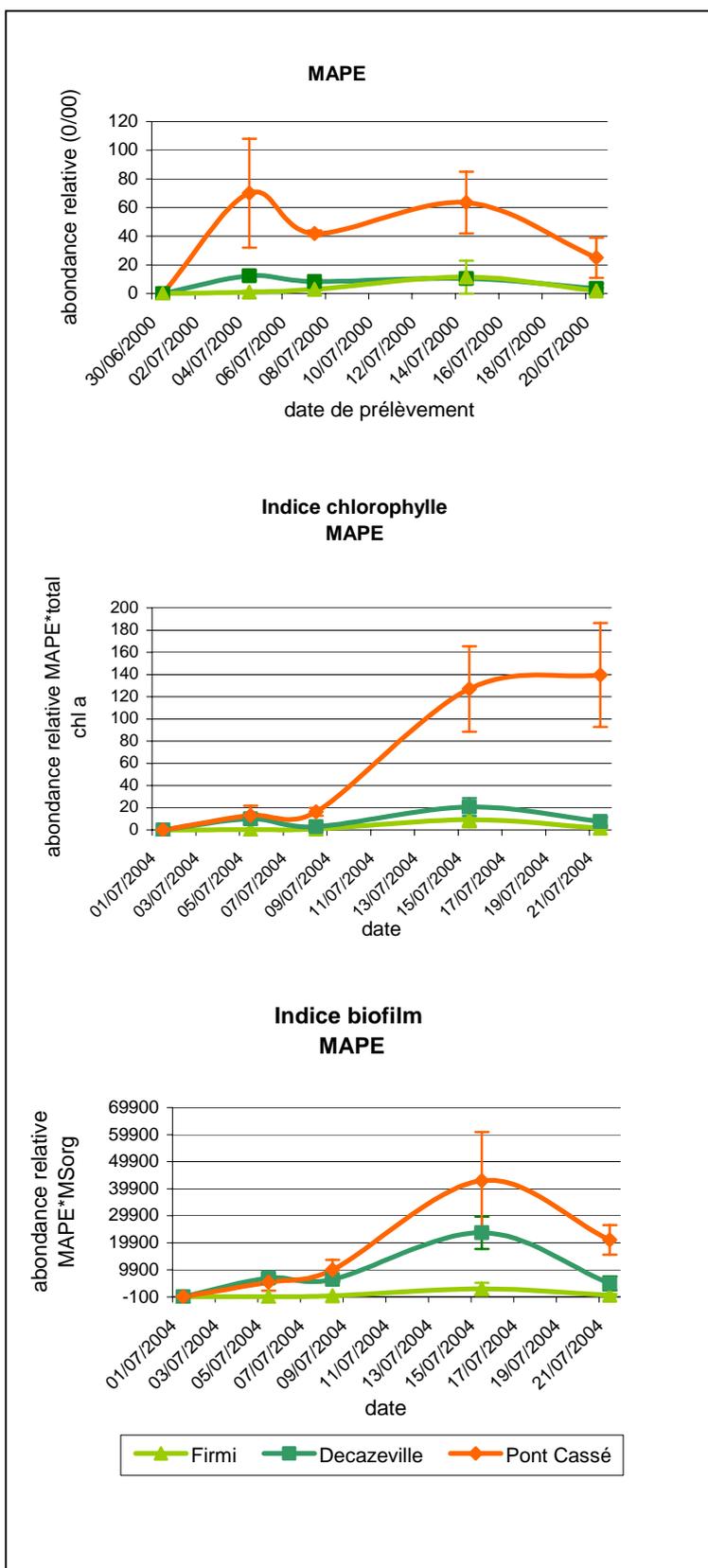


Figure 28. Abondance relative, indice chlorophylle et indice biofilm de *Mayamaea atomus var. permitis* (Hustedt) Lange-Bertalot (MAPE)

Exploitation des graphiques :

Les trois graphiques montrent une forte tolérance de MAPE aux métaux, ainsi qu'une certaine tolérance à la pollution organique.

Les résultats des abondances relatives sont en accord avec les résultats des deux indices proposés.

Pour les abondances relatives et pour l'indice chlorophylle, on observe que les valeurs atteintes ne sont pas très élevées, mais on peut constater une différence très importante entre la station Pont Cassé et les autres stations non soumises à la pollution métallique.

Les résultats de l'indice biofilm confirment la plus grande importance de cette espèce à Pont Cassé. Cet indice permet aussi de noter sa capacité à coloniser des milieux qui présentent des pollutions organiques (station de Decazeville), démontrant un certain degré de saprophilie.

***Ulnaria ulna* (Nitzsch.) Compère (UULN)**

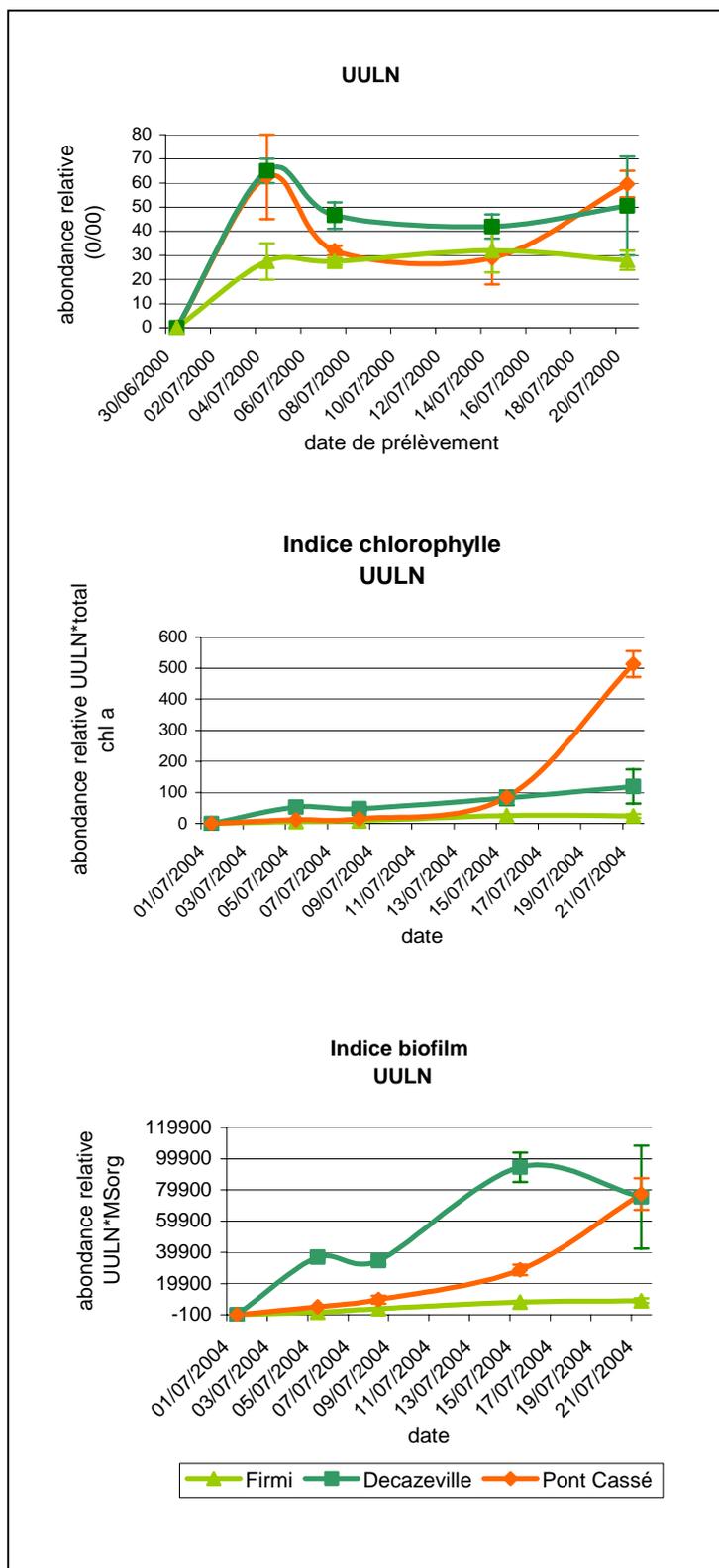


Figure 29. Abondance relative, indice chlorophylle et indice biofilm *Ulnaria ulna* (Nitzsch.) Compère (UULN)

Exploitation des graphiques :

Les résultats des abondances relatives montrent une résistance à la pollution métallique ainsi qu'à la pollution organique.

Cette espèce est donc ubiquiste et assez indifférente aux conditions chimiques de l'eau. Ces résultats se confirment tant dans le graphique de l'indice chlorophylle que dans le graphique de l'indice biofilm. L'indice chlorophylle montre nettement la tolérance de UULN aux métaux et à partir de l'indice biofilm on observe une importante contribution de cette espèce à la formation du biofilm à Decazeville et à Pont Cassé (tolérance à la pollution organique, seule ou en mélange avec la pollution métallique).

Espèces présentant une sensibilité aux métaux

Achnanthydium minutissimum (Kütz.) Czarnecki

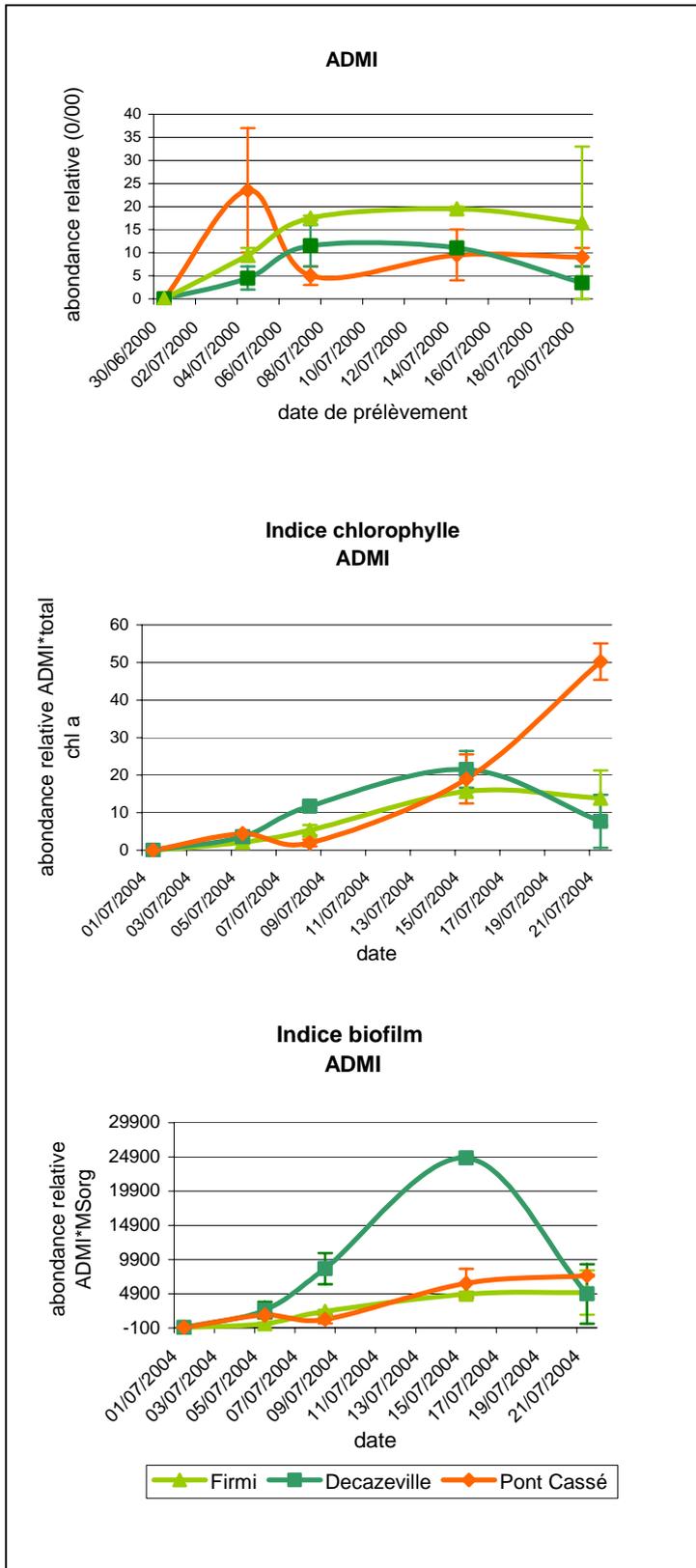


Figure 30. Abondance relative, indice chlorophylle et indice biofilm *Achnanthydium minutissimum* (Kütz.) Czarnecki (ADMI)

Exploitation des graphiques :

Dans le graphique des abondances relatives, on observe que ADMI peut coloniser rapidement la station avec les pollutions métalliques (espèce petite et pionnière, caractéristiques lui conférant un avantage compétitif momentané).

Mais on observe ensuite qu'elle est sensible à la pollution métallique et organique (plus fortes abondances relatives à Firmi).

Les résultats de l'indice chlorophylle montrent une augmentation de cette espèce les derniers jours d'échantillonnage à Pont Cassé mais, outre le fait que la valeur atteinte sur le dernier point a pu être mise en doute sur le plan de sa représentativité de la biomasse présente, sur le plan quantitatif, ces résultats ne sont pas suffisants pour affirmer une tolérance (faibles valeurs d'abondance relative et d'indice chlorophylle).

Avec l'indice biofilm, on peut voir aussi une augmentation de ADMI à Pont Cassé, lors des dernières dates d'échantillonnage, mais seulement de façon modérée.

***Cyclotella meneghiniana* (Kutzing) (CMEN)**

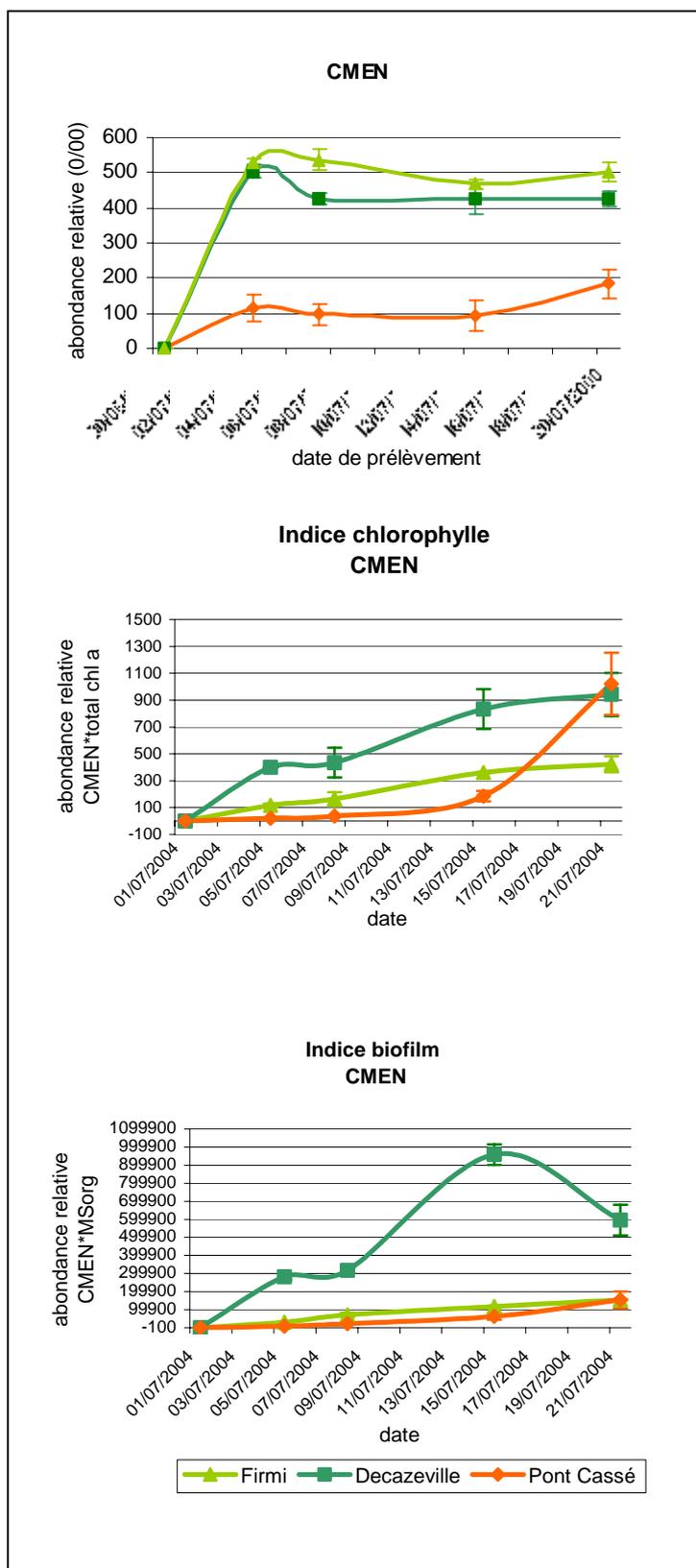


Figure 31. Abondance relative, indice chlorophylle et indice biofilm *Cyclotella meneghiniana* (Kutzing) (CMEN)

Exploitation des graphiques :

On observe une nette sensibilité aux métaux de CMEN aux pollutions métalliques dans le graphique des abondances relatives.

Par contre, elle est tolérante aux pollutions organiques (abondances relatives, Indice Chlorophylle et Indice biofilm).

Le graphique de l'indice chlorophylle semblerait montrer une tolérance aux métaux en dernière date (station de Pont Cassé), mais on a vu en première partie d'Annexe G que la valeur de chlorophylle sur cette station et à cette date n'était pas correctement représentative de la quantité d'algues présentes (valeur exagérée).

***Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing var. *parvulum* f. *parvulum* (GPAR)**

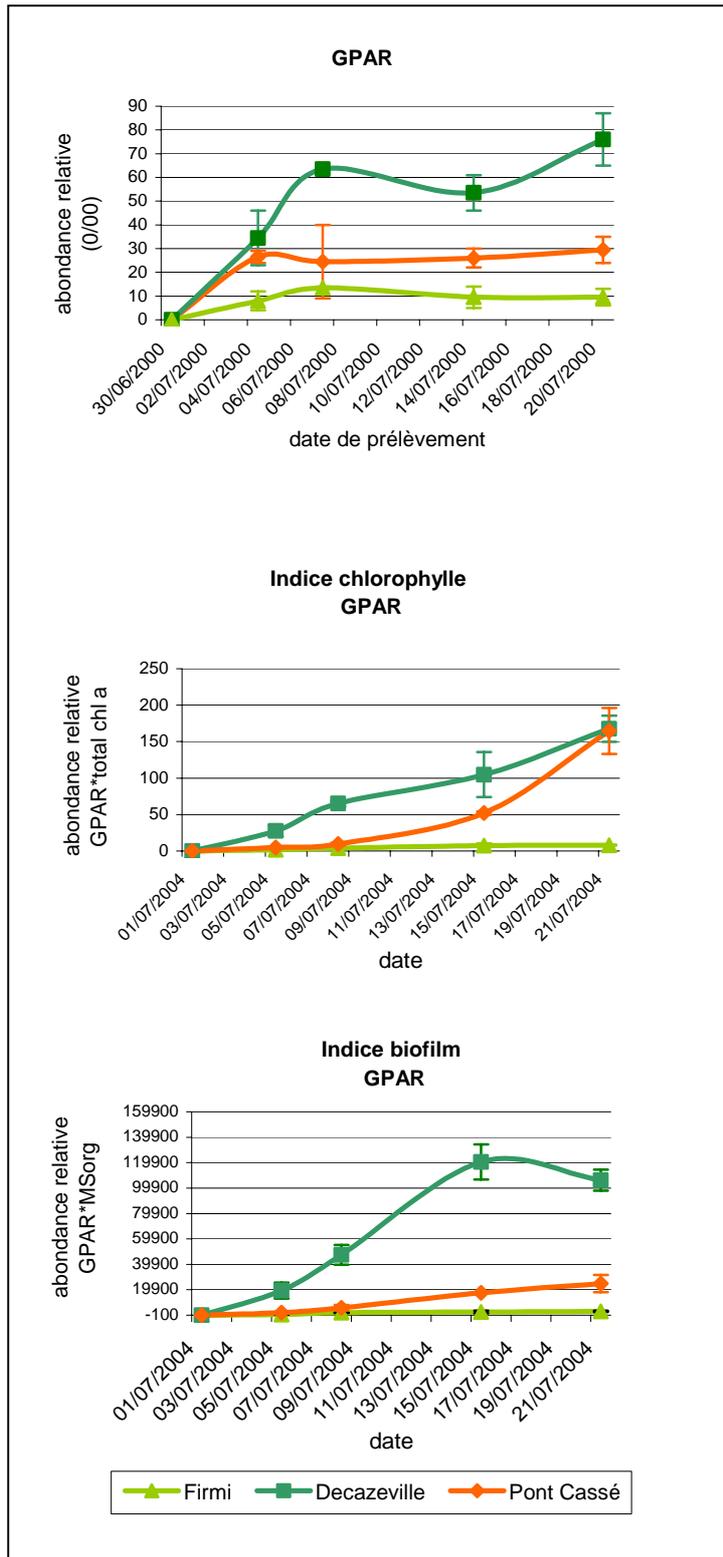


Figure 32. Abondance relative, indice chlorophylle et indice biofilm *Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing var. *parvulum* f. *parvulum* (GPAR)

Exploitation des graphiques :

Dans le graphique des abondances relatives, on peut constater la tolérance de GPAR à la pollution organique (espèce nettement saprophile), mais par contre une sensibilité aux métaux. On observe les mêmes résultats avec les indices chlorophylle et biofilm.

L'indice chlorophylle montre une augmentation à Pont Cassé aux dernières dates de prélèvements.

Ce résultat peut être imputable à 2 causes :

- La station de Pont Cassé, bien que plus diluée en matière organique que Decazeville, subit aussi un enrichissement trophique et est la plus pourvue en nutriments inorganiques (N, P).
- Mauvaise représentativité déjà signalée de la quantité de chlorophylle à Pont Cassé à la dernière date.

Melosira varians Agardh (MVAR)

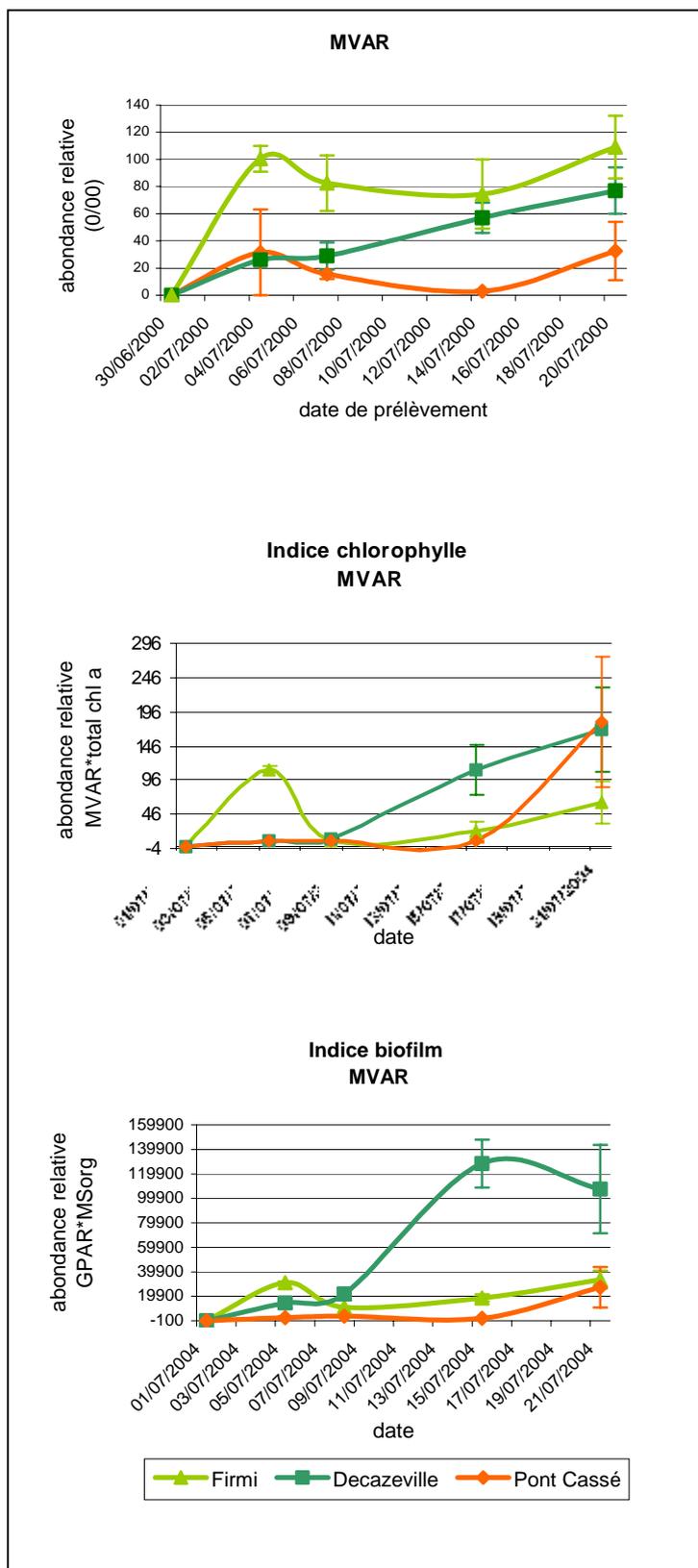


Figure 33. Abondance relative, indice chlorophylle et indice biofilm *Melosira varians* Agardh (MVAR)

Exploitation des graphiques :

De façon convergente, les résultats des abondances relatives et des 2 indices proposés illustrent une sensibilité de MVAR aux métaux (la dernière valeur obtenue à Pont Cassé avec l'Indice Chlorophylle étant entachée d'une mauvaise représentativité).

De même, ces trois indicateurs révèlent une certaine indifférence, voire une tolérance aux pollutions organiques (tendance saprophile devenant plus visible en deuxième partie du suivi).

Navicula gregaria Donkin (NGRE)

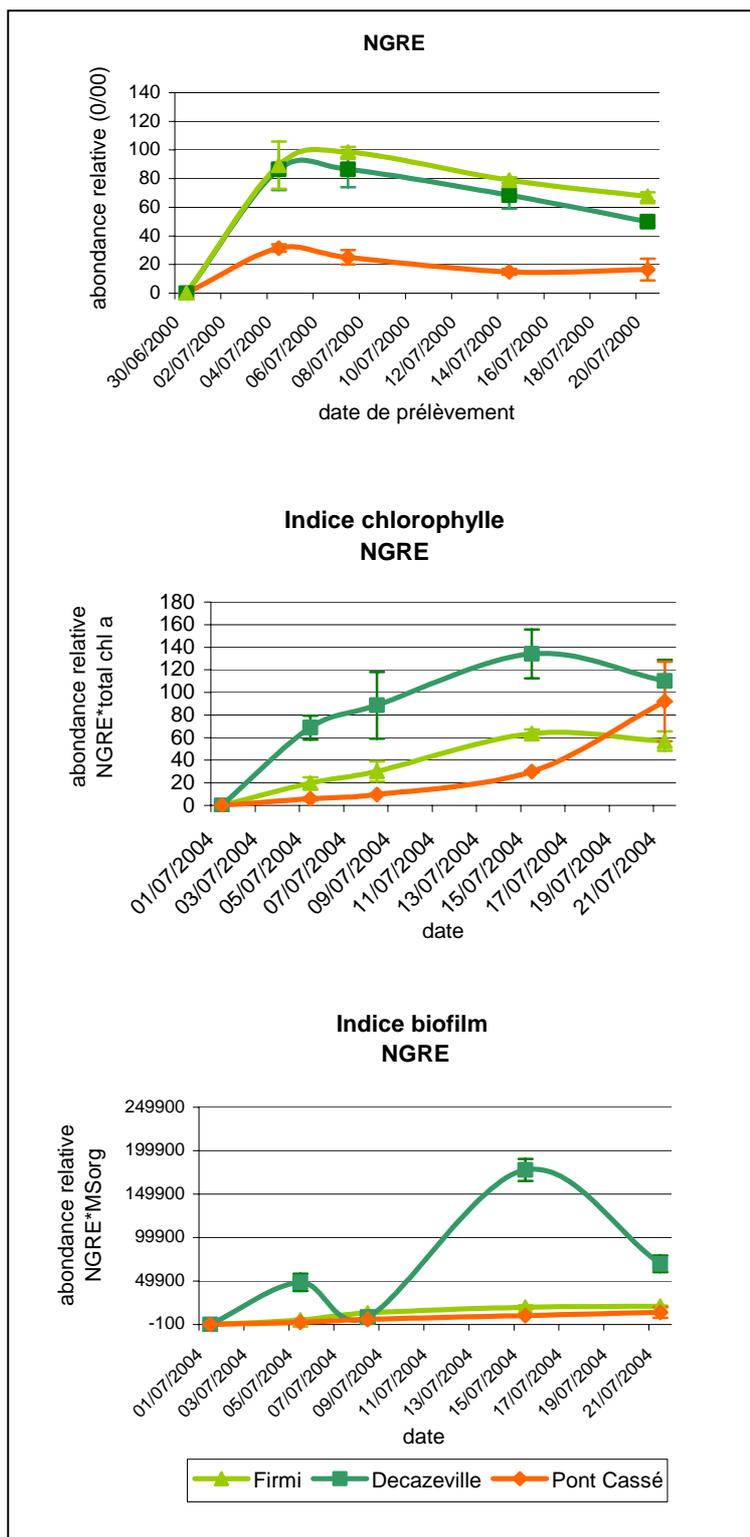


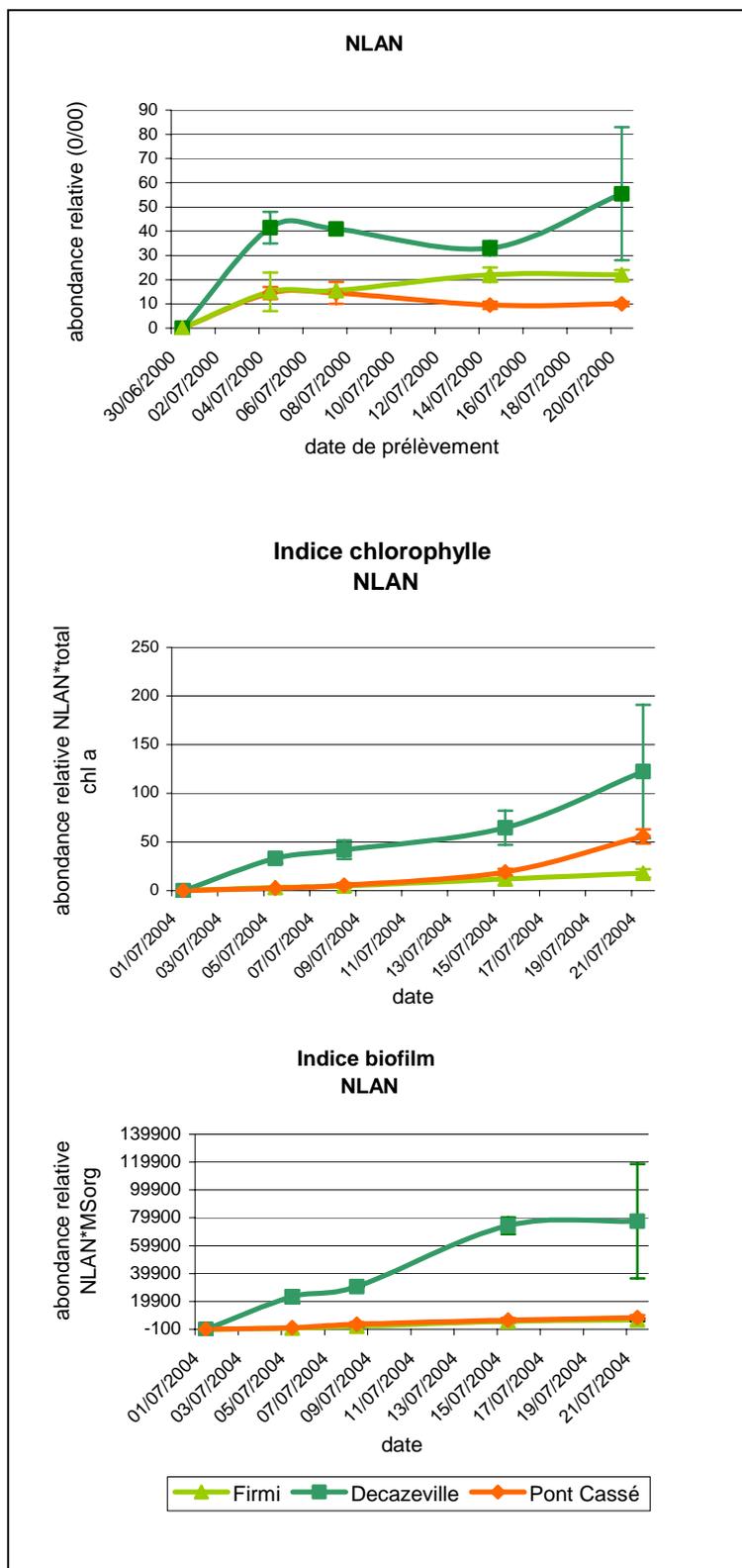
Figure 34. Abondance relative, indice chlorophylle et indice biofilm *Navicula gregaria* Donkin (NGRE)

Exploitation des graphiques :

NGRE se révèle sensible aux métaux à partir des trois types de représentation (la dernière valeur obtenue à Pont Cassé avec l'Indice Chlorophylle étant entachée d'une mauvaise représentativité).

D'autre part, les trois indicateurs montrent de façon convergente une certaine indifférence de cette espèce à la qualité trophique des eaux (mêmes abondances relatives à Decazeville qu'à Firmi, dynamique de population accrue en station avec pollution organique), montrant un caractère saprophyte et hétérotrophe facultatif.

***Navicula lanceolata* (Agardh) Ehrenberg (NLAN)**

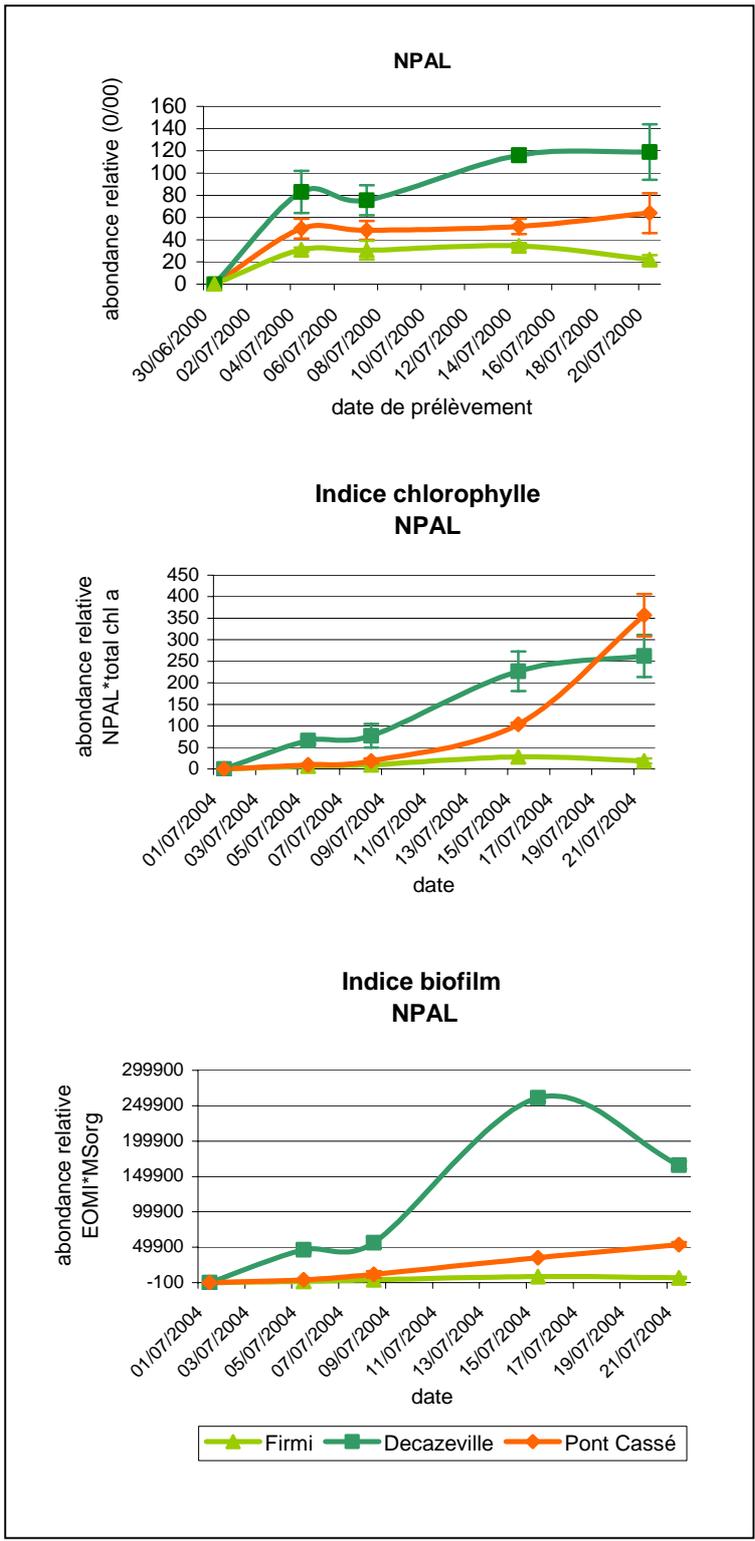


Exploitation des graphiques :

A partir des résultats des abondances relatives ainsi qu'à l'aide des deux indices proposés, on constate une nette sensibilité de NLAN aux métaux . Par contre cette espèce est nettement saprophyte (tolérante aux pollutions organiques).

Figure 35. Abondance relative, indice chlorophylle et indice biofilm *Navicula lanceolata* (Agardh) Ehrenberg (NLAN)

***Nitzschia palea* (Kutzing)W.Smith (NPAL)**



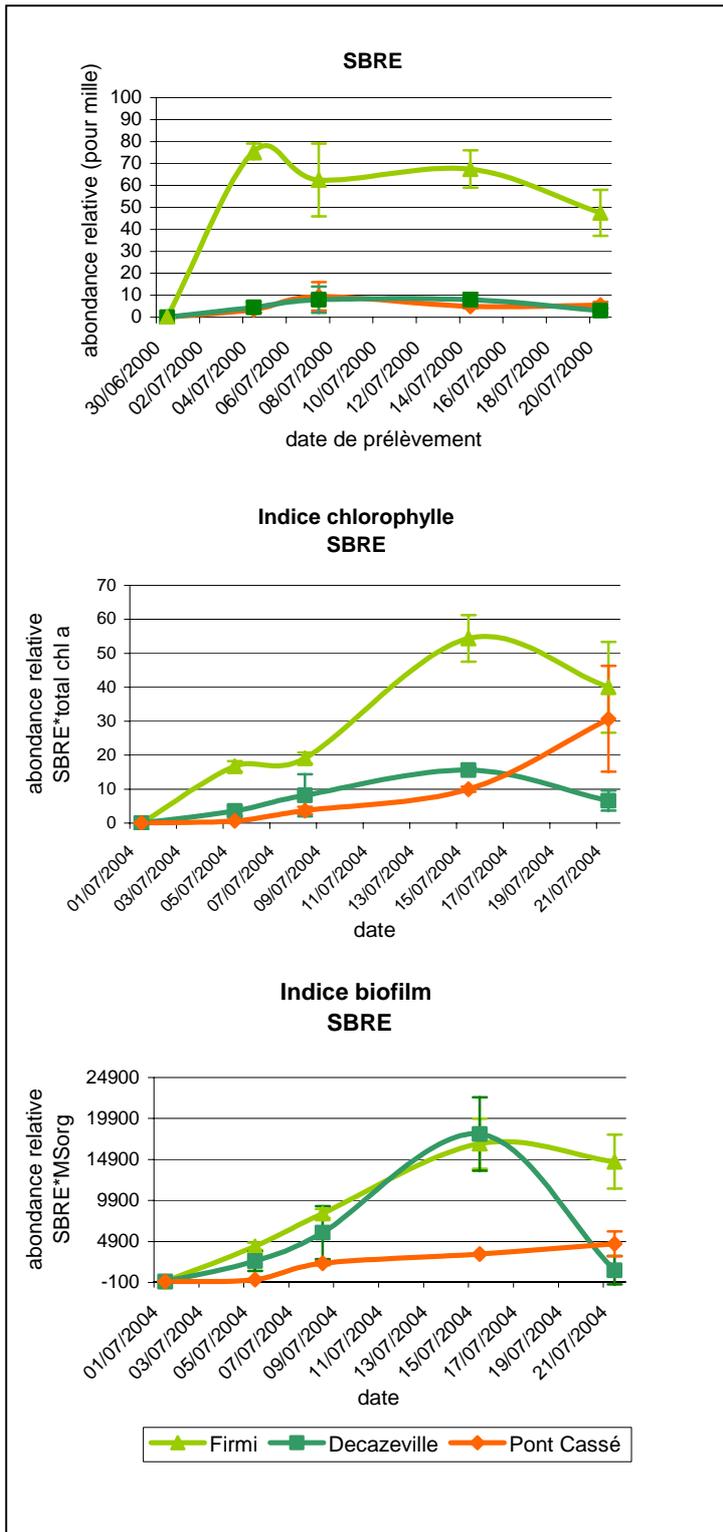
Exploitation des graphiques :

Les résultats des abondances relatives révèlent :

- une certaine sensibilité de NPAL aux pollutions métalliques (dernière valeur d'indice chlorophylle à Pont Cassé entachée d'un défaut de représentativité)
- sa tolérance à la pollution organique (espèce nettement saprophyte).

Figure 36. Abondance relative, indice chlorophylle et indice biofilm *Nitzschia palea* (Kutzing)W.Smith (NPAL)

***Surirella brebissonii* Krammer & Lange-Bertalot var. brebissonii**



Exploitation des graphiques :

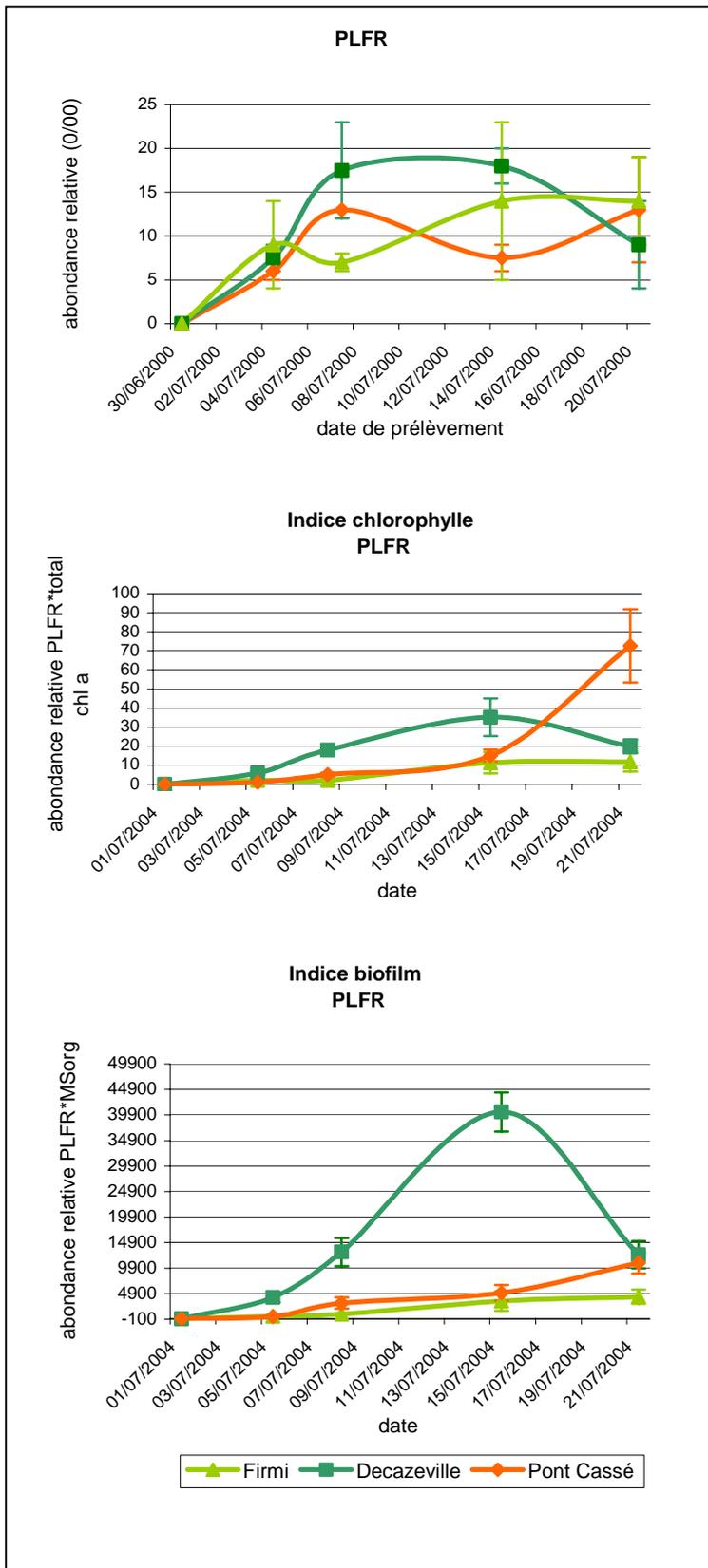
Les résultats des abondances relatives, ainsi que l'indice chlorophylle, montrent une nette sensibilité de SBRE à la pollution métallique et aux pollutions organiques (valeurs de l'indice biofilm de la station de Decazeville amplifiées par une sédimentation permanente de matière organique détritique).

Bien que la station amont de Firmi subisse déjà certaines atteintes anthropiques qui lui confèrent un statut de référence seulement relative, cette espèce qui y atteint ses valeurs maximales est représentative d'une bonne qualité d'eau.

Figure 37. Abondance relative, indice chlorophylle et indice biofilm *Surirella brebissonii* Krammer & Lange-Bertalot var. brebissonii (SBRE)

Espèce manifestant une certaine indifférence aux métaux

***Planothidium frequentissimum*(Lange-Bertalot)Lange-Bertalot (PLFR)**



Exploitation des graphiques :

Cette espèce étant peu représentée en effectifs, les résultats sont à prendre avec une certaine prudence.

En comparaison avec la référence Firmi, elle semble relativement indifférente aux métaux à partir des résultats des abondances relatives et des deux indices proposés (dernière valeur d'indice chlorophylle à Pont Cassé entachée d'un défaut de représentativité

Les résultats des trois indicateurs présentés montrent une certaine indifférence (abondances relatives), voire une tolérance de PLFR à la pollution organique (caractère saprophyte facultatif).

Figure 38. Abondance relative, indice chlorophylle et indice biofilm *Planothidium frequentissimum*(Lange-Bertalot)Lange-Bertalot (PLFR)