

Utilisation de la microchimie de l'otolithe pour discriminer les populations de chabots au sein du bassin de la Meuse wallonne.

par

Damien SONNY¹, Guy BOLOGNE², Jean-Clair DUCHESNE², Jean-Claude PHILIPPART¹

Résumé. Une étude récente a révélé la présence de chabots 0+ dans un secteur fortement canalisé de la Meuse dans lequel il n'existe plus de site de ponte naturel adéquat pour cette espèce. Nous avons formulé l'hypothèse que la présence de ces jeunes chabots en Meuse pouvait indiquer une dispersion de populations en provenance d'affluents situés en amont. Pour vérifier cette hypothèse, nous avons utilisé la microchimie de l'otolithe pour comparer les empreintes des éléments en trace de lots de chabots issus de quatre rivières du bassin de la Meuse avec celles de la population de chabots observée en Meuse. Certains éléments détectés par ICPMS révélaient une perturbation anthropique, tels que les rejets métallurgiques d'anciennes industries (Fe, Cr, Mn). Parmi les différents éléments détectés en concentration suffisante, le Sr permettait une discrimination plus sûre entre les différents lots de chabots. Nous avons observé que le lot de la Meuse n'était pas relié avec des populations de deux affluents situés en amont, ni avec les autres rivières considérées. Ces résultats confirment que la microchimie de l'otolithe permet de discriminer des populations de chabots à l'échelle d'une petite partie du bassin de la Meuse. De plus, notre hypothèse de la contribution potentielle d'affluents en amont pour expliquer la présence du chabot dans la Meuse est infirmée. Par conséquent, il est probable que les chabots soient capables d'exploiter des sites de reproduction alternatifs dans la Meuse canalisée.

¹ Université de Liège, Laboratoire de Démographie des Poissons et d'Hydroécologie, Chemin de la Justice 10, 4500 Tihange. D. Sonny@ulg.ac.be

² Université de Liège, Département de Géologie, Bat B20, 4000 Sart Tilman
Manuscrit reçu le 31/10/06, accepté le 8/12/06

Abstract: Use of otolith microchemistry to discriminate bullhead (*Cottus gobio*, L. 1758) populations within the River Meuse basin, Belgium.

A recent study revealed the presence of 0+ bullheads on a deeply modified stretch of the River Meuse, in which suitable spawning grounds for bullheads are absent. We proposed that these 0+ bullheads might reveal dispersion from local upstream tributaries. To assess this hypothesis, we used otolith microchemistry to compare element fingerprints between bullhead samples originating from four rivers of the River Meuse basin with a sample of bullheads of the River Meuse. Some elements detected by ICPMS analysis revealed anthropogenic disturbance, like metallurgic industries outlet (Fe, Cr, Mn). Among other elements, Sr was the most appropriate to discriminate bullhead stocks. We observed that the Meuse sample was not linked with the populations of two upstream tributaries, nor with the two other rivers considered. These results confirm that otolith microchemistry allow bullhead stocks discrimination within a small part of the River Meuse basin. Moreover, our hypothesis of tributaries contribution to explain the presence of bullheads in the River Meuse is inferred, consequently bullheads are probably able to spawn on alternative spawning grounds in the River Meuse itself.

Introduction

Sur son parcours belge, la Meuse, fleuve international, a été profondément modifiée au cours du siècle dernier. Depuis le début 1900, le fleuve a été fragmenté par la construction de grands barrages régulant le niveau de l'eau et le débit naturel du fleuve, et ses berges naturelles ont été progressivement remplacées par des berges verticales en béton (PHILIPPART *et al.* 1988, BILLEN *et al.* 1995, BARAS & LUCAS 2001, KESTEMONT *et al.* 2002). De plus, la naissance d'un grand nombre d'industries le long de la Meuse a directement contribué à une dégradation significative de la qualité de l'eau (PHILIPPART *et al.* 1988). Comme c'est le cas pour beaucoup d'autres grandes rivières européennes, ces modifications anthropiques ont eu pour conséquence un changement de la communauté de poissons, avec une transformation de l'ancienne zone à barbeau en une zone à brème (HUET 1949). Consécutivement, l'abondance naturelle de certaines espèces a été drastiquement réduite, comme pour les cyprins rhéophiles que sont le hotu *Chondrostoma nasus* (KAPPUS *et al.* 1997, MAIER 1997, KAMLER & KECKEIS 2000) et le barbeau *Barbus barbus* (BARAS *et al.* 1994). Certaines autres espèces ont même été réduites jusqu'à l'extinction (WOLTER *et al.* 2000), comme le saumon Atlantique *Salmo salar*, et d'autres espèces migratrices du bassin de la Meuse (PHILIPPART & VRANKEN 1983).

Cependant, depuis les années 1990, en raison d'efforts de gestion, nous assistons au retour de certaines espèces sensibles de poissons dans les grandes rivières européennes, comme le révèle une biodiversité de poissons grandissante dans les programmes de suivi des populations (FREYHOF 1997) et

les contrôles d'échelles à poissons (PHILIPPART *et al.* 2002). Depuis 2001 dans la Meuse, nous utilisons les prises d'eau de refroidissement de la Centrale Nucléaire de Tihange (CNT) comme un outil permanent d'échantillonnage des profils de migration des poissons vers l'aval ainsi que de la biodiversité ichtyologique de la Meuse (SONNY 2006). Ce contrôle a révélé une abondance relativement élevée de quelques cyprinidés rhéophiles tels que le chevesne *Leuciscus cephalus* et le hotu. La plus grande partie de ces individus était composée de 0+, ce qui peut suggérer un potentiel rôle important de la dispersion des 0+ dans la rivière comme phénomène de recolonisation à partir d'affluents situés à l'amont. Au cours de l'été 2002, l'espèce la plus abondante recensée sur les filtres de la CNT était le chabot *Cottus gobio*, principalement sous la forme de 0+ (SONNY 2006). Dans ce secteur de la Meuse, le faible taux d'oxygène dissout dans l'eau et l'important colmatage du substrat réduisent les possibilités de reproduction du chabot quasiment à néant. En conséquence, une dispersion en provenance de sites de ponte ou de nurseries situés dans des affluents amont apparaît comme une hypothèse plausible pour expliquer l'origine de ces 0+ interceptés dans la Meuse à Tihange. Étudier la contribution potentielle de ces affluents pour expliquer l'abondance du chabot dans la Meuse pourrait suggérer un patron de dispersion similaire pour d'autres espèces comme le hotu. Par ailleurs, la compréhension de mécanismes de recolonisation est cruciale dans la perspective de l'établissement de programmes appropriés de restauration et de conservation.

L'analyse des concentrations des éléments en trace dans les otolithes est considérée comme une technique efficace pour discriminer des stocks de poissons d'une même espèce, par l'influence des caractéristiques physiques et chimiques de l'eau dans laquelle le poisson séjourne durant ses périodes de résidences ou ses routes migratoires (LECOMTE-FINIGER 1999, THRESHER 1999, CAMPANA *et al.* 2001). Des juvéniles de sole *Solea solea* issus de deux grands estuaires de la côte atlantique française ont pu être discriminés par la composition de leurs otolithes (DE PONTUAL *et al.* 2000). En eau douce, la concentration de certains éléments présents dans les otolithes de l'alse américaine *Alosa spadissima* était différente en fonction des rivières d'origine (THORROLD *et al.* 1998). Les mêmes auteurs concluent qu'il serait possible d'utiliser la composition des éléments en trace dans la portion juvénile de l'otolithe de l'alse américaine pour déterminer, chez l'adulte, sa rivière d'origine.

Comme les chabots 0+ échantillonnés sur les filtres de la CNT pourraient potentiellement provenir d'affluents de la Meuse situés en amont, le premier objectif de cette étude est de comparer les empreintes microchimiques des otolithes de 5 populations de chabots issues de rivières différentes pour vérifier l'efficacité de la composition des otolithes comme marqueur naturel de leur rivière d'origine. Par ailleurs, comme deux des rivières étudiées sont localisées en amont de la prise d'eau de la CNT, nous espérons ainsi pouvoir déterminer l'origine probable des chabots 0+ interceptés durant leur dispersion dans la Meuse à Tihange.

MATERIELS ET METHODES

Un premier échantillon de chabot a été prélevé sur les grilles verticales de la station de pompage de Tihange 2 (SONNY 2006). Les autres échantillons de chabots ont été capturés par pêche électrique dans quatre rivières appartenant au bassin de la Meuse (**Figure 1**).

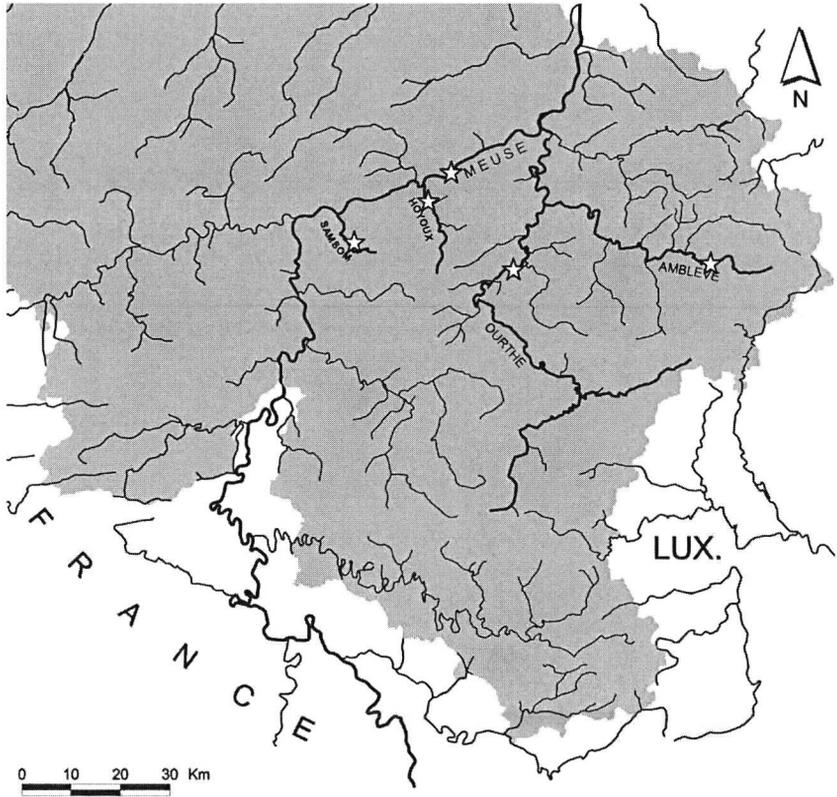


Fig. 1 : Localisation (étoiles blanches) des sites de prélèvements des chabots dans le bassin de la Meuse en Wallonie, Belgique.

Location of the sampling sites (white stars) of bullheads within the River Meuse basin, Wallonia, Belgium.

Le Hoyoux et le Samson sont deux affluents directs de la Meuse, situés en amont de la prise d'eau de la CNT. L'Amblève et l'Aisne sont deux affluents de l'Ourthe, elle-même affluent de la Meuse en aval de la CNT. Sur chaque site d'échantillonnage, 30 chabots ont été prélevés puis euthanasiés en accord avec les agents locaux du Service de la Pêche de la Région Wallonne. Les poissons ont alors été conservés au congélateur avant d'être disséqués. Les

deux Sagittae de chaque chabot ont été prélevées et nettoyées de leur membrane tissulaire en utilisant des pinces fines en céramique préalablement décontaminées à l'acide nitrique. Les otolithes ont été rincés avec de l'eau distillée Milli-Q, séchés, pesés (± 0.00001 g) et stockés à sec dans des tubes de 5 ml en polystyrène avant l'analyse.

Une première analyse ICPMS a été réalisée sur les paires d'otolithes de l'échantillon de la Meuse afin de comparer la composition des éléments entre les otolithes gauche et droit. Pour les autres échantillons, nous avons mélangé les deux otolithes d'un même poisson de manière à augmenter la masse analysée, à l'exception du lot du Hoyoux, pour lequel à la fois des paires et des otolithes seuls ont été analysés (**Tableau I**).

	Gauche	Droit	Wilcoxon P
N_a	13	13	
L	57.8 \pm 2.8	57.8 \pm 2.8	
P_o (mg)	1.39 \pm 0.14	1.46 \pm 0.14	
Mg	52.7 \pm 8.76 26.3 0	48.5 \pm 8.7 25.4 8	0.6002
Cr	12.7 \pm 1.5 25.4 100	13.8 \pm 1.9 24.7 92	0.8613
Mn	5.6 \pm 0.9 4.8 23	6.1 \pm 1.1 4.6 31	0.7268
Fe	767 \pm 34.6 434 0	788 \pm 57.8 437 0	N < 13
Cu	8.9 \pm 1.7 12.3 69	9.2 \pm 1.7 12.0 62	0.6002
Zn	42.1 \pm 10.5 34.1 31	38.9 \pm 10.0 33.8 23	0.8068
Sr	256 \pm 19.3 0.9 0	258 \pm 18.0 0.9 0	0.8753
Ba	8.7 \pm 3.4 4.7 15	4.8 \pm 0.4 4.6 31	0.1842

Tableau I : Nombre d'échantillons analysés (N_a), longueur moyenne des chabots (L, mm \pm SE) et poids moyen des otolithes gauche et droit analysés (P_o, mg \pm SE) en Meuse. Pour chaque élément : concentrations moyennes (PPM \pm SE), limite moyenne de détection (PPM) et pourcentage d'analyses sous la limite de détection. La colonne de droite indique le P de la comparaison Wilcoxon.

Number of sampled analysed (N_a), mean bullhead lengths (FL, mm \pm SE) and mean weight of left and right otolith analysed (mg \pm SE) in the River Meuse. For each element, mean concentration (PPM \pm SE), mean limit of detection and percentage of sampled below the limit of detection are presented in respect with main elements. The right column reveals the P of the Wilcoxon comparison.

Après dissolution dans 5 ml d'acide nitrique 4% (HNO₃ 69% VWR pour usage électronique), les échantillons ont été analysés par ICPMS (Inducted Coupled Plasma Mass Spectrometry) sur un appareil « VG Elemental Plasma Quad PQ2 ». Les conditions opératoires sont reprises dans VANDER AUWERA *et al.* (1998). Des solutions standard Aldrich (pour absorption atomique) ont été utilisées pour la calibration. ¹¹⁵In + ¹⁸⁷Re + ²⁰⁹Bi ont été ajoutés à chaque échantillon et utilisés comme standard interne pour la correction de la dérive. Les isotopes choisis pour la détermination de chaque élément sont ²⁶Mg, ⁵²Cr, ⁵⁵Mn, ⁵⁷Fe, ⁶⁵Cu, ⁶⁶Zn, ⁸⁶Sr et ¹³⁵Ba. La limite de détection (LDD), qui varie pour chaque élément, est donnée dans le **Tableau I**.

Nous avons utilisé une ANOVA pour comparer les concentrations des éléments entre les différentes rivières d'origine. Pour la comparaison droite-gauche, comme le nombre de chabots était faible, nous avons utilisé le test non paramétrique de Wilcoxon. Enfin, la distribution spatiale de chaque échantillon analysé a été étudiée par une ACP avec les principaux éléments détectés.

RESULTATS & DISCUSSION

La première étape de notre analyse avait pour but de comparer les concentrations des éléments entre les otolithes droit et gauche de l'échantillon de la Meuse (**Tableau I**). Les sept éléments comparés n'ont montré aucune différence significative entre les teneurs dans les deux otolithes. Ces premiers résultats nous ont permis de mélanger les deux otolithes d'un même poisson pour les autres échantillons lorsque la masse des otolithes était faible.

Les éléments en trace principalement détectés par l'analyse ICPMS dans les otolithes des chabots ont montré des concentrations différentes en fonction de leurs différentes rivières d'origine (**Figure 2, Tableau II**).

Le Fe, le Cr et le Mn étaient en forte concentration dans le Hoyoux comparativement aux autres rivières. En excluant le Hoyoux, la concentration en Cr n'était pas significativement différente entre les autres rivières. La concentration en Mn était plus importante dans l'Ourthe que dans le Samson (ANOVA, $F = 14.908$, Fisher PLSD $P = 0.0021$) alors qu'il n'y avait pas de différence significative entre les autres rivières. La concentration en Fe était plus importante dans l'Ourthe que dans les autres rivières ($P_s < 0.05$), et plus importante dans le Samson que dans la Meuse et l'Amblève ($P_s < 0.001$), alors qu'aucune différence entre l'Amblève et la Meuse n'a été observée pour cet élément ($P = 0.2873$). Le Hoyoux avait, par le passé, une activité industrielle métallurgique intense dans ce secteur de la rivière (HOUBRECHTS & PETIT 2004), peu d'industries étant toujours en activité de nos jours. La forte concentration

de ces trois éléments pourrait être liée à des rejets polluants de ces anciennes industries. Comme des industries métallurgiques existaient aussi dans le Samson et l'Ourthe (HOUBRECHTS & PETIT 2004), les concentrations de ces trois éléments peuvent être reliées à la proximité des sites d'échantillonnages avec d'anciennes industries.

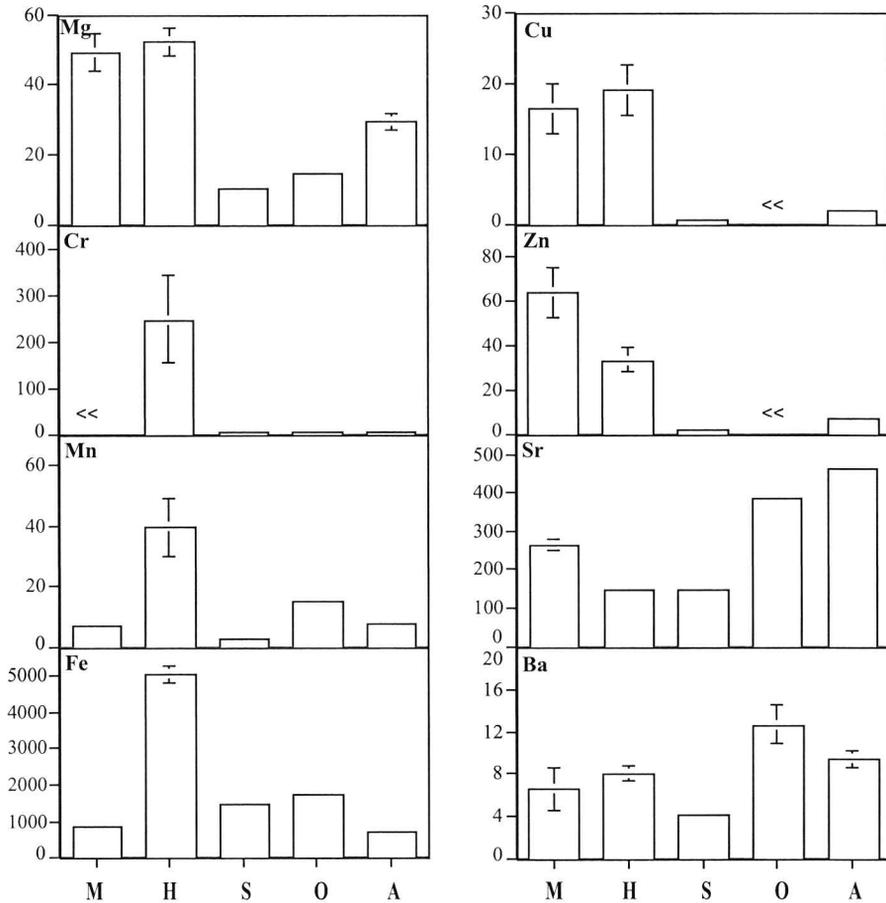


Fig. 2 : Concentrations moyennes (PPM \pm SE) des éléments en trace dans les otolithes de chabots issus de 5 rivières différentes : M = Meuse, H = Hoyoux, S = Samson, O = Ourthe, A = Amblève.

Mean concentrations (PPM \pm SE) of trace element analyse in bullhead otoliths originating from 5 different rivers : M = Meuse; H = Hoyoux, S = Samson, O = Ourthe, A = Amblève.

Les fortes concentrations en Mg (**Figure 2**) observées dans les lots de la Meuse et du Hoyoux n'ont pas montré de différence significative (ANOVA $F = 20.742$, $P = 0.6206$), et étaient plus importantes que dans les autres rivières ($P < 0.001$). Aucune différence significative n'a été observée entre les concentrations de Mg des lots de l'Ourthe et du Samson ($P = 0.3853$), alors que les concentrations dans le lot de l'Ambève étaient plus hautes que dans l'Ourthe et le Samson ($P < 0.01$). Les différences observées par le Mg entre les lots des différentes rivières paraissent intéressantes pour discriminer les stocks de chabots. Cet élément tend à associer les stocks de la Meuse et du Hoyoux.

	Meuse	Hoyoux	Samson	Ambève	Ourthe
N_a	35	17	29	19	29
L	57.8 ± 2.8	33.0 ± 0.6	65.8 ± 1.1	70.4 ± 1.5	61.3 ± 1.5
P_o (mg)		0.78 ± 0.03	4.16 ± 0.21	3.57 ± 0.34	3.31 ± 0.28
Mg	49.7 ± 4.7 25.7 3	52.1 ± 3.8 33.6 0	10.5 ± 0.8 6.1 0	29.3 ± 2.4 13.3 5	14.7 ± 0.9 8.8 14
P	/	/	154.8 ± 28.4 52 0	515.0 ± 53.8 206 11	2292 ± 315.8 871 7
Cr	22.4 ± 8.4 26.8 94	249.3 ± 94.7 25.6 53	11.1 ± 0.5 7.5 0	8.4 ± 0.9 5.02 5	8.5 ± 0.8 5.8 24
Mn	6.8 ± 0.9 4.9 29	39.7 ± 9.7 8.5 0	2.9 ± 0.2 1.6 0	8.2 ± 0.8 2.96 0	15.3 ± 1.4 3.3 0
Fe	861 ± 44.4 506 0	5048 ± 227 757 0	1474 ± 91.0 147 0	712.1 ± 42.0 114 0	1756 ± 53.9 204 0
Cu	13.7 ± 2.3 13.5 51	19.1 ± 3.5 6.6 0	0.7 ± 0.1 0.7 35	2.0 ± 0.6 1.31 42	< 5.4 100
Zn	55.4 ± 8.3 43.3 20	33.7 ± 5.4 21.4 24	2.1 ± 0.2 1.6 24	7.5 ± 2.5 3.21 26	< 3.6 100
Sr	262 ± 11.6 1.0 0	149.4 ± 3.3 2.0 0	149.8 ± 3.4 0.5 0	463.1 ± 7.7 0.12 0	387.5 ± 6.2 0.406 0
Ba	6.0 ± 1.3 5.2 40	8.0 ± 0.7 8.0 35	4.2 ± 0.3 2.9 14	9.4 ± 0.8 7.43 32	12.7 ± 1.8 6.1 28

Tableau II : Nombre d'échantillons analysés (N_a), longueur moyenne des chabots (L, mm ± SE) et poids moyen des otolithes analysés (P_o, mg ± SE) en relation avec leur rivière d'origine. Pour chaque rivière, les concentrations moyennes (PPM ± SE), la limite moyenne de détection (PPM) et le pourcentage d'analyses sous la limite de détection sont présentés pour les principaux éléments détectés. / = pas d'analyse réalisée, < = concentration trop faible.

Number of sampled analysed (N_a), mean bullhead lengths (FL, mm ± SE) and mean otolith weight analysed (mg ± SE) in respect with their river of origin. For each river, mean concentration (PPM ± SE), mean limit of detection and percentage of sampled below the limit of detection are presented in respect with main elements. / = no analysis conducted, < = to low concentration.

Cependant, si les chabots capturés en Meuse à la CNT provenaient effectivement du Hoyoux, une concentration plus importante en Fe que celle du lot de la Meuse aurait dû être observée. Il est plus probable que la concentration naturelle en Mg dans le Hoyoux est proche de celle de la Meuse.

Les concentrations en Cu et Zn ont révélé les mêmes tendances (**Figure 2**): de faibles concentrations dans l'Ambève, l'Ourthe et le Samson et des valeurs plus hautes dans le Hoyoux et la Meuse. Pour ces deux éléments, la proportion de valeurs analysées sous la LDD est trop importante pour les utiliser comme marqueurs naturels des rivières, ce qui explique que nous n'ayons pas réalisé de comparaison statistique pour ces éléments (**Tableau II**).

Le Ba (**Tableau II**) était globalement proche ou sous la LDD pour l'ensemble des rivières. Par conséquent, aucune analyse ni conclusion ne peuvent être tirées à partir de cet élément.

Le Sr était l'élément dont les concentrations dans les otolithes étaient les plus stables (**Tableau II**). La concentration du Sr dans le lot de la Meuse était plus importante que dans ceux du Hoyoux et du Samson (ANOVA $F = 297.893$, $P < 0.0001$), aucune différence n'étant observée entre ces deux dernières rivières ($P = 0.9735$). La concentration en Sr du lot de l'Ambève était la plus importante ($P < 0.0001$ pour toutes les comparaisons) suivie par celle de l'Ourthe qui montre les mêmes différences significatives avec les trois autres rivières. Le Sr paraît être l'élément le plus adéquat pour permettre des comparaisons fiables entre les lots des rivières. Sur la base du Sr, les stocks de chabots peuvent être divisés en trois groupes (**Figure 2**) : Ourthe et Ambève avec des fortes concentrations, le Hoyoux et le Samson avec de faibles concentrations, et la Meuse avec des concentrations intermédiaires. Cette analyse du Sr révèle que les chabots capturés en Meuse à la CNT ne semblent pas originaires du Hoyoux et ni du Samson.

En dernière analyse, nous avons utilisé les concentrations des éléments les plus stables (Fe, Mn et Sr) des lots de chaque rivière dans une ACP (**Figure 3**).

L'analyse explique 90.6% de la distribution des échantillons le long des deux axes du graphique. Cette répartition des individus révèle une distinction claire entre les groupes provenant de chaque rivière, suggérant que la population de chabot de la Meuse n'est pas liée avec celles d'affluents situés en amont.

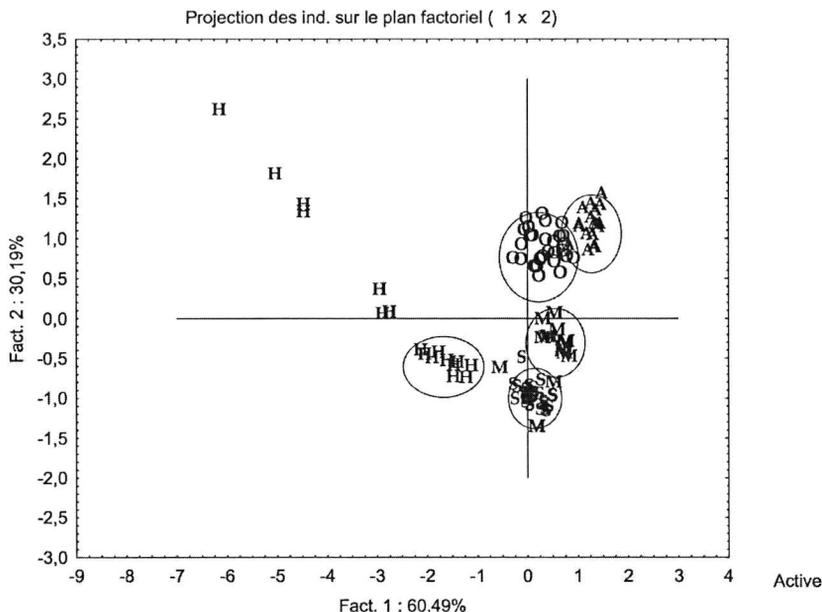


Fig. 3 : Répartition spatiale par ACP de l'ensembles des échantillons (n = 129) issus des 5 rivières étudiées sur la base des concentrations en Fe, Mn et Sr.
Spatial distribution of all the samples (n = 129) from the 5 rivers as revealed by an PCA based on Fe, Mn and Sr concentrations.

CONCLUSIONS

La microchimie des otolithes a révélé que certains éléments peuvent être utilisés comme des marqueurs anthropogéniques (Fe, Cr, Mn) ou naturels (Sr, Mg) pour discriminer les stocks de poissons issus de rivières différentes au sein du bassin de la Meuse en Wallonie. Selon nos résultats, l'hypothèse de base d'une origine potentielle des affluents en amont pour les chabots de la Meuse doit être rejetée. Notre étude suggère un probable succès de reproduction du chabot dans la Meuse elle-même, même en absence de sites de pontes de qualité, ce qui reflète une certaine plasticité du chabot dans le choix de ses sites de ponte. Cette nouvelle hypothèse est corroborée par des observations de pontes de hotu sur les parois en béton d'une échelle à poissons de la Meuse (PONCIN *et al.* 1990), suggérant que les espèces rhéophiles lithophiles peuvent utiliser des sites de pontes alternatifs dans les rivières altérées.

REMERCIEMENTS

Les auteurs souhaitent remercier le Service de la Pêche pour leur autorisation de prélever des chabots et leur participation aux pêches électriques. Nous remercions également le Dr. M. LABONNE et toute l'équipe du Laboratoire de Sclérochronologie des Animaux Aquatiques (LASAA) de l'IRD de Brest pour l'apprentissage des techniques de dissection. Enfin nous remercions M. LOUVET et le Laboratoire d'Écologie Animale et d'Écotoxicologie de l'Université de Liège pour la mise à disposition de leurs installations pour les dissections. Damien Sonny était boursier FRIA durant le courant de cette étude.

BIBLIOGRAPHIE

- BARAS, E.; LAMBERT, H. & PHILIPPART, J.C. 1994. A comprehensive assessment of the failure of *Barbus barbus* (L.) through a fish pass in the canalised River Meuse (Belgium). *Aquatic Living Resources* 7:181-189.
- BARAS, E.; & LUCAS, M.C. (2001). Impacts of man's modifications of river hydrology on the migration of freshwater fishes: a mechanistic perspective. *Ecohydrology & Hydrobiology* 1(3): 291-304.
- BILLEN, G.; DÉCAMP, H.; GARNIER, J.; BOËT, P.; MEYBECK, M. & SERVAIS, P. 1995. Atlantic river systems of Europe. In: *Ecosystems of the world*, Cushing, C.E.; Cumins, K.W. & Minshall (eds), Elsevier: 389-418.
- CAMPANA, S.E.; CHOUINARD, G.A.; HANSON, J.M.; FRÉCHET, A. & BRATTEY, J. (2000). Otolith elemental fingerprints as biological tracers of fish stocks. *Fisheries Research* 46: 343-357.
- DE PONTUAL, H.; LAGARDÈRE, F.; TROADEC, H.; BATEL, A.; DÉSAUNAY, Y. & KOUTSIKOPOULOS, C. (2000). Otoliths imprinting of sole (*Solea solea*) from the Bay of Biscay: a tool to discriminate from nursery origins? *Oceanologica Acta* 23(4): 497-513.
- FREYHOF, J. (1997). Remarks on the status of *Chondrostoma nasus* in the River Rhine. *Folia Zoologica* 46 (Suppl. 1): 61-66.
- HUET, M. (1949). Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles dans les eaux courantes. *Schweiz. Z. Hydrol.* 11: 332-351.
- KAMLER, E. & KECKEIS, H. (2000). Reproduction and early life history of *Chondrostoma nasus*: implications for recruitment (a review). *Polskie Archiwum Hydrobiologii* 47(1): 73-85.
- KAPPUS, B.M.; JANSEN, W.; BÖHMER, J. & RAHMANN, H. (1997). Historical and present distribution and recent habitat use of nase, *Chondrostoma nasus*, in the lower Jagst River (Baden-Württemberg, Germany). *Folia Zoologica* 46 (Suppl. 1): 51-60.
- KESTEMONT, P.; GOFFAUX, D.; BREINE, J.; BELPAIRE, C.; DE VOCHT, A.; PHILIPPART, J.C.; BARAS, E.; ROSET, N.; DE LEEUW, J. & GÉRARD, P. 2002. Fishes of the River Meuse: biodiversity, habitat influences and ecological indicators. Proceedings of the First International Scientific Symposium on the River Meuse, November 27-28, Maastricht, Netherlands. Commission Internationale de la Meuse (Ed.), Liège: 84-90.
- LECOMTE-FINIGER, R. (1999). L'otolithe: la "boîte noire" des Téléostéens. *Année Biol.* 38: 107-122.

- MAIER, K.-J. (1997). On the nase, *Chondrostoma nasus* spawning area situation in Switzerland. *Folia Zoologica* **46** (Suppl. 1): 79-88.
- PHILIPPART, J.C. & VRANKEN, M. 1983. Atlas des poissons de Wallonie. *Cahiers d'Éthologie Appliquée* **3**: 395pp.
- PHILIPPART, J.-C.; GILLET, A. & MICHA, J.-C. (1988). Fish and their environment in large European river ecosystems. The River Meuse. *Sciences de l'eau* **7**: 115-154.
- PHILIPPART, J.C.; RIMBAUD, G.; OVIDIO, M. & GILLET, A. (2002). Biodiversity of fish in the Belgian River Meuse, as revealed by the monitoring of fishpasses at the Vise Lixhe Dam. Workshop on Migration and Free Circulation of Fish in Flanders, Brussels, 14th June 2002.
- PONCIN P., PHILIPPART J.C., MÉLARD C. et GILLET A. (1990). Note sur une expérience de reproduction artificielle et d'alevinage du Hotu (*Chondrostomas nasus*). Perspectives pour le repeuplement des rivières. *Cahiers d'Ethologie appliquée*, **10** ; 161-168.
- SONNY, D. (2006). Étude des profils de dévalaison des poissons dans la Meuse moyenne belge. Thèse de Doctorat, Université de Liège, 299pp.
- THRESHER, R.E. (1999). Elemental composition of otoliths as a stock delineator in fishes. *Fisheries Research* **43**: 165-204.
- THORROLD, S.R. JONES, C.M.; CAMPANA, S.E.; MCLAREN, J.W. & LAM, J.W.H. (1998). Trace element signatures in otoliths record natal river of juvenile American shad (*Alosa spadissima*). *Limnology and Oceanography* **43**(8): 1826-1835.
- VANDER AUWERA, J., BOLOGNE G., ROELANDTS, I., DUCHESNE J.C. (1998). Inductively coupled plasma-mass spectrometric (ICP-MS) analysis of silicate rocks and minerals. *Geologica Belgica* **1**: 49-53.
- WOLTER, C.; MINOW, J.; VICINSKAS, A. & GROSCH, U.A. (2000). Long-term effects of human influence on fish community structure and fisheries in Berlin waters: an urban water system. *Fisheries Management and Ecology* **7**: 97-104.