

Les macroinvertébrés benthiques de la Loire moyenne (France) et leur évolution depuis 1977

par Michel CHOVET* & Jean-Yves LÉCUREUIL**

* 97 B rue Vieille Levée F- 45100 Orléans, France

** Diren SEMA Centre, B. P. 6407, 5 avenue Buffon F- 45064 Orléans cedex 2, France

Mots-clés : Loire moyenne, Bivalves, Crustacés, Éphéméroptères, Odonates, Plécoptères, Trichoptères, espèces invasives.

Les macroinvertébrés benthiques d'un grand fleuve, la Loire, ont été suivis depuis 1977 pendant trois décennies. Les échantillonnages ont été réalisés de façon systématique sur la Loire moyenne aux différentes saisons entre 1981 et 1998-2000. Cela a permis d'établir une liste des espèces et de mettre en évidence des fluctuations du peuplement. Celui-ci comprend des insectes Plécoptères, Éphéméroptères, Trichoptères, et Odonates typiques des grands cours d'eau européens, souvent en régression ou disparus des autres fleuves français. Le Plécoptère *Isoperla obscura* et l'Éphéméroptère *Oligoneuriella pallida* n'ont plus été récoltés depuis une vingtaine d'années. Dans le même temps, *Xanthoperla apicalis* (Plécoptère) *Dacnogenia coeruleans* et *Serratella mesoleuca* (Éphéméroptères) ont nettement régressé tandis que *Brachycercus europaeus* (Éphéméroptère) et *Brachycentrus subnubilus* (Trichoptère) sont en expansion. Aux espèces allochtones anciennement implantées (Hydrozoaires, Planaires, Oligochètes, Gastéropodes, Bivalves et Crustacés) se sont ajoutés ces dernières années le Bivalve *Corbicula* sp., et par le biais des canaux, des organismes ponto-caspiens (Bryozoaires et Crustacés).

The macrobenthos in the middle part of the Loire catchment (France) and its evolution since 1977.

Keywords: France, middle Loire river, Bivalvia, Crustacea, Insecta, Plecoptera, Ephemeroptera, Odonata, Trichoptera, alien species.

The macrobenthos of the Loire river was surveyed for three decades since 1977. The sampling program was carried out seasonally in the middle Loire catchment between 1981 and 1998-2000. A species list was established and fluctuations of populations were evidenced. Populations mainly belong to insect orders (Plecoptera, Ephemeroptera, Trichoptera, and Odonata) typical of european large rivers, often in regression or disappeared from the other French great rivers. The stonefly *Isoperla obscura* and the mayfly *Oligoneuriella pallida* have not been collected during the last twenty years or so. During this period, *Xanthoperla apicalis* (Plecoptera), *Dacnogenia coeruleans* and *Serratella mesoleuca* (Ephemeroptera) clearly regressed whereas populations of *Brachycercus europaeus* (Ephemeroptera) and *Brachycentrus subnubilus* (Trichoptera) are on the contrary in expansion. Beside the old-established communities of allochthonous species (Hydrozoa, Planaria, Oligochaeta, Gastropoda, Bivalvia and Crustacea), are recorded some recent invasive species: *Corbicula* sp. (Bivalvia), and through canals, ponto-caspian organisms (Bryozoa and Crustacea).

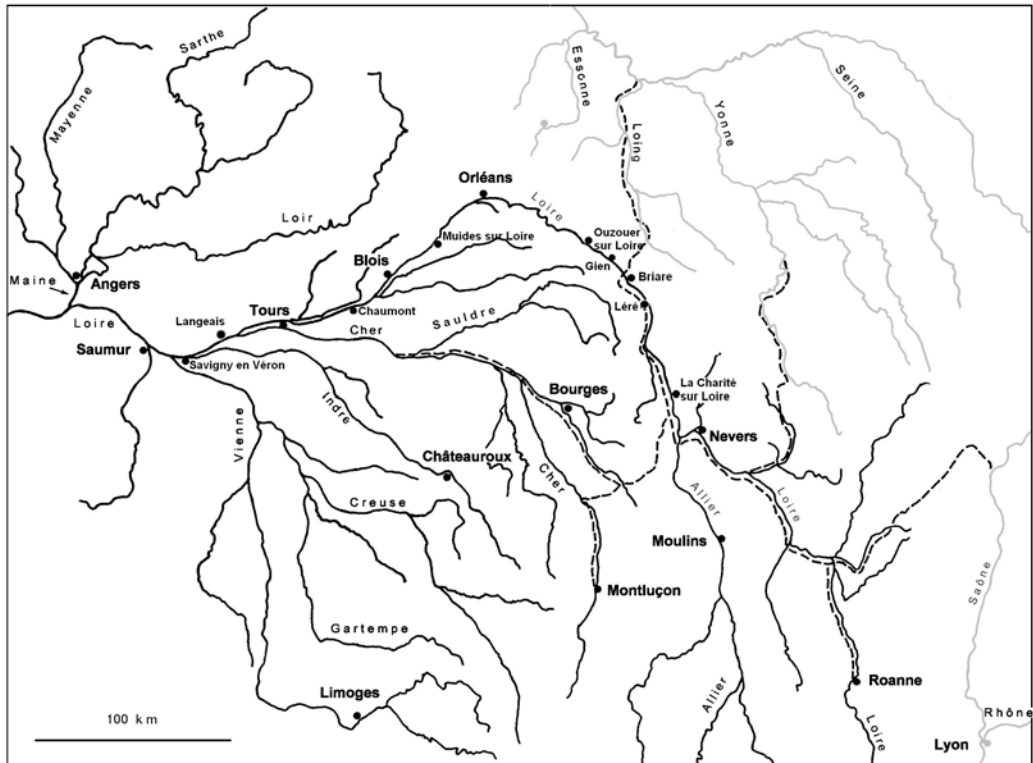


Figure 1. Carte de la Loire moyenne et de ses principaux affluents. Des parties des bassins du Rhône et de la Seine sont figurées. Tracés en tirets : canaux.

Figure 1. Map of the middle Loire catchment. Some rivers of Rhône and Seine catchments are figured. Pecked line = canals.

1. Introduction

Le macrobenthos de la partie moyenne de la Loire, le plus long fleuve de France, a été analysé annuellement et régulièrement du printemps à l'automne au cours de deux décennies (de 1981 à 1998) dans le cadre de suivis écologiques de la qualité de l'eau et des cours d'eau. À partir de 1999 – 2000, seul un échantillonnage allégué et ciblé a pu être maintenu permettant d'observer l'arrivée et la prolifération d'espèces invasives récentes, provenant pour la plupart d'Europe orientale.

2. Caractéristiques du secteur d'étude

Le secteur d'étude présenté ici correspond à la Loire entre les confluences de ses deux principaux affluents, l'Allier et la Vienne (Fig. 1), soit environ 350 km de cours d'eau. Cette partie

centrale est communément appelée Loire moyenne par les géographes comme DION (1934), c'est-à-dire de Roanne (en amont du Bec d'Allier) à la confluence avec la Maine où commence la Loire armoricaine ou Basse Loire. La confluence avec l'Allier se situe à environ 450 km des sources de la Loire, et la confluence avec la Vienne à environ 800 km (Tableau 1). Durant près de 300 km, le fleuve ne reçoit que de petits affluents. Le bassin versant ne s'accroît que d'environ 10 % entre les confluences de l'Allier et du Cher (Tableau 2). Quatre entités administratives sont traversées : d'amont en aval les départements du Cher (la Loire fait limite avec le département de la Nièvre), le Loiret, le Loir & Cher et l'Indre & Loire.

Les caractéristiques du fleuve ont été données précédemment (LÉCUREUIL et al 1984). La Loire est dans ce secteur un grand cours d'eau de plaine avec une vallée jeune, faiblement incisée dans le paysage (BABONAUX 1970). La pente moyenne du secteur amont est de 0,5 m par km et de 0,35 pour le secteur aval. Le régime hydrologique est de type pluvial méditerranéen ; il est très irrégulier, l'intensité des étiages comme celle des crues d'hiver ou de printemps varie d'une année à l'autre (Tableau 3). L'eau s'écoule dans un lit mineur peu profond, de 100 à 300 m de largeur, sur des alluvions instables (cailloutis et sables dominants) défavorables à l'implantation de macrophytes. Les eaux, issues des roches cristallines du Massif Central, restent relativement douces (teneur moyenne en Calcium de 40 mg.L⁻¹) bien qu'elles coulent sur terrain calcaire. Elles sont chargées en phytoplancton dès que les conditions sont favorables (LEITAO & LE PRÉTRE 1998).

En été, le pH atteint ou dépasse 9,5, tandis que la température peut aller jusqu'à 28 °C, et même dépasser 26 °C en moyenne d'août (Tableau 4).

Commune	Département	Sources (km)	Commune	Département	Sources (km)
La Charité-sur-Loire	Nièvre	489	Orléans	Loiret	640
La Chapelle-Montlinard	Cher	493	Saint-Hilaire-Saint-Mesmin	Loiret	648
Saint-Satur	Cher	513	Meung-sur-Loire	Loiret	656
Léré	Cher	532	Saint-Laurent-des-Eaux	Loir-et-Cher	670
Sury-près-Léré	Cher	534	Nouan-sur-Loire	Loir-et-Cher	675
Beaulieu-sur-Loire	Cher	541	Muides-sur-Loire	Loir-et-Cher	680
Châtillon-sur-Loire	Loiret	548	Chaumont-sur-Loire	Loir-et-Cher	715
Gien	Loiret	561	Langeais	Indre-et-Loire	782
Dampierre-en-Burly	Loiret	572	Bréhémont	Indre-et-Loire	787
Ouzouer-sur-Loire	Loiret	582	Rigny-Ussé	Indre-et-Loire	795
Guilly	Loiret	596	Chouzé	Indre-et-Loire	805
Châteauneuf-sur-Loire	Loiret	608	Savigny-en-Véron	Indre-et-Loire	815
Sandillon	Loiret	626			

Tableau 1. Les stations d'échantillonnage et leur distance aux sources.

Table 1. The sampling sites and their distance from the springs.

Station limnimétrique	Pk (km)	Aire du bassin (km ²)	Période	Débit moyen de la Loire (m ³ .s ⁻¹)		
				annuel	février	août
Givry - Cours les Barres	465	32 610	1977 - 2007	321,5	554,3	106,3
Gien	564	35 500	1977 - 2007	349,3	595,0	119,6
Orléans	640	36 970	1977 - 2007	354,0	618,1	105,2
Blois	700	38 320	1977 - 2007	369,6	654,0	128,6
Langeais	782	56 480	1985 - 2007	433,0	748,2	142,1

Tableau 2. Caractéristiques hydrologiques du secteur étudié (www.hydro.eaufrance.fr).Table 2. Hydrological features of the study area (www.hydro.eaufrance.fr).

Années :	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
module annuel m ³ .s ⁻¹	355	628	410	427	396	600	403	480	364	301	324
Nj > 961 m ³ .s ⁻¹	38	62	43	28	9	60	33	46	8	15	15
Nj < 66 m ³ .s ⁻¹	87	0	9	10	0	0	11	0	1	35	0
Années :	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
module annuel m ³ .s ⁻¹	349	462	186	192	194	353	263	531	370	359	189
Nj > 961 m ³ .s ⁻¹	1	43	7	4	0	20	9	45	25	17	4
Nj < 66 m ³ .s ⁻¹	0	0	88	75	65	0	18	0	5	4	0
Années :	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	
module annuel m ³ .s ⁻¹	270	350	321	411	276	301	362	292	273	322	
Nj > 961 m ³ .s ⁻¹	10	17	4	26	6	22	22	12	9	5	
Nj < 66 m ³ .s ⁻¹	20	5	0	0	4	97	6	69	59	0	

Tableau 3. Analyse de l'hydraulicité de la Loire à Gien. Nj = nombre de jours dans l'année. Valeurs du débit caractéristiques : fréquence 0,95 (961 m³.s⁻¹) et fréquence 0,1 (66 m³.s⁻¹).Table 3. Analysis of the hydraulicity of the Loire river at Gien. Nj = number of days per year. Characteristic values of discharge: frequency 0.95 (961 m³.s⁻¹) and frequency 0.1 (66 m³.s⁻¹).

Quatre phénomènes particuliers affectent le fleuve : les pertes de la Loire dans le Val d'Orléans, les apports de la nappe phréatique des calcaires de Beauce, l'incision du lit et le soutien d'étiage par le barrage de Villerest.

1/ Sur une trentaine de kilomètres en amont d'Orléans, la Loire coule directement sur le socle karstique, et y perd environ 10 % de son débit, que ce soit en étiage ou lors des hautes

eaux. Celui-ci est restitué en aval d'Orléans sur une dizaine de kilomètres, par plusieurs résurgences dont la plus fameuse est la rivière Loiret (LELONG & LEPILLER 1981).

2/ Plus haute que le lit du fleuve en aval d'Orléans, la nappe des calcaires de Beauce s'écoule dans le fleuve en rive droite. Sa contribution est estimée entre 5 et 10 m³.s⁻¹ ; elle est plus forte et a plus d'impact en étiage sévère (CROUZET & RECEVEUR 1977). Ces écoulements en rives sont perceptibles sur une vingtaine de kilomètres : en été, ces eaux sont plus froides, plus transparentes et plus chargées en calcium. Une population de Chabot (*Cottus gobio*), poisson d'eau froide, s'y maintient sans problème, ainsi que *Polycelis* sp. (Planariidae).

3/ L'incision du lit s'est traduite par une perte de l'ordre du mètre de sédiment environ, entre les années 1945 et 1980, à la suite des extractions massives de granulats entraînant une perte sévère de connectivité entre le fleuve et ses annexes fluviales.

(http://centre.ecologie.gouv.fr/article.php3?id_article=394).

4/ Le barrage de Villerest, situé en amont de Roanne, est entré en fonctionnement en 1984. Sa vocation est l'écrêtage de crues de la Loire et le soutien d'étiage pour assurer le fonctionnement de quatre centrales nucléaires. Il a permis le maintien d'un débit de 60 m³.s⁻¹ à Gien (entre Ouzouer-sur-Loire et Briare sur la carte n°1, le débit moyen du mois le plus sec de l'année calculé sur 73 ans de mesures est de 102 m³.s⁻¹), voire 50 m³.s⁻¹ en cas de sécheresse importante : ainsi, les étiages de 1989 à 1991 puis de 2003 ont-ils été soutenus pendant plusieurs mois à 60 puis 50 m³.s⁻¹ ; en 2003 le débit serait descendu à environ 30 m³.s⁻¹ à Gien comme en août 1976, année de sécheresse (<http://www.hydro.eaufrance.fr>).

Année	Débit (m ³ .s ⁻¹)	Temp. (°C)	Année	Débit (m ³ .s ⁻¹)	Temp. (°C)	Année	Débit (m ³ .s ⁻¹)	Temp. (°C)
1976	32,7		1987	106,4	21,6	1998	68,9	22,6
1977	798,3		1988	93,3	22,4	1999	77,7	23,0
1978	107,5		1989	62,6	22,7	2000	78,6	23,2
1979	96,6		1990	63,7	23,0	2001	95,6	23,0
1980	96,0	22,1	1991	67,1	24,0	2002	84,5	21,8
1981	170,3	21,4	1992	89,9	23,5	2003	54,8	26,0
1982	105,9	21,4	1993	69,0	22,1	2004	152,0	
1983	102,3	22,4	1994	90,1	22,3	2005	59,3	
1984	85,8	21,4	1995	71,3	23,3	2006	74,2	
1985	82,3	20,9	1996	76,5	22,0	2007	238,8	
1986	76,6	21,4	1997	82,1	26,0	2008	110,3	

Tableau 4. Débit et température de l'eau de la Loire à Dampierre-en-Burly en août (MOATAR & GAILHARD 2006).

Table 4. Discharge and water temperature of the Loire river at Dampierre-en-Burly in August (MOATAR & GAILHARD 2006).

3. Méthodes d'étude

La plus grande partie du matériel examiné provient de prélèvements de macro-invertébrés benthiques effectués depuis 1977 entre avril et novembre, dans le cadre de suivis hydro-écologiques des centrales nucléaires d'Électricité De France, ou de la surveillance de la qualité des eaux et des cours d'eau de l'Inventaire National de la Pollution, puis du Réseau National de Bassin (réseaux gérés par les Agences de l'Eau et l'État), suivant le protocole de TUFFERY & VERNEAUX (1967) puis de l'IBGN (AFNOR 1992), pendant la période d'été (juin à septembre). Les principales méthodes de prélèvements utilisés sont le raclage à la main du substrat devant un filet de type Surber d'environ 0,5 m de vide de maille et l'emploi de substrats artificiels (paniers grillagés remplis de galets avec éventuellement des branchettes ou de la corde en sisal). Des dragages en eaux plus profondes ont été effectués en 1998.

Les méthodes d'échantillonnage régulières et quantitatives sur deux décennies sont mises à profit pour tirer les grands traits de l'évolution des effectifs de quelques espèces. Malheureusement, l'irrégularité des échantillonnages en hiver (novembre à mars) ne permet pas d'analyser correctement l'évolution des peuplements sur le long terme des espèces typiquement hivernales, comme certains Plécoptères. Enfin, plus récemment, des collectes qualitatives complémentaires à l'épuisette et la capture d'insectes adultes ont été pratiquées.

4. Macrobenthos de la Loire Moyenne

La liste de tous les taxons du macrobenthos de la Loire moyenne est donnée dans l'annexe n° 1. Seuls seront considérés ici les groupes pour lesquels une identification au niveau spécifique a pu être réalisée. Le macrobenthos de la Loire Moyenne se compose d'un peuplement originel auquel est venu s'ajouter au cours des derniers siècles et des dernières décennies un certain nombre d'espèces « invasives ».

4. 1. Peuplement originel

4. 1. 1. Gastéropodes et Bivalves

Les Gastéropodes les plus communs de la Loire moyenne sont *Bythinia tentaculata*, *Potamopyrgus antipodarum*, *Theodoxus fluviatilis*, *Viviparus viviparus*, *Ancylus fluviatilis*, *Radix* sp., *Physa fontinalis*, *Physella acuta* et *Gyraulus albus*.

Les Lymnaeidae récoltés par MOUTHON (1997) sont : *Radix peregra* (Müller, 1774), *R. auricularia* (Linnæus, 1758) et *Galba truncatula* (Müller, 1774).

Hormis les Sphaeriidae et l'espèce invasive récente *Corbicula* sp., les Bivalves sont rares, sans doute en raison de l'instabilité des sédiments et des fluctuations des hauteurs d'eau dues au régime hydrologique. MOUTHON (1997) a souligné la faible diversité des Mollusques du fleuve par rapport à ses affluents. *Unio pictorum* et *Anodonta anatina* sont les seuls Unionidae véritablement rencontrés, çà et là ; les rares tests de *Potomida littoralis* (Cuvier, 1798) trouvés dans les alluvions proviennent sans doute des affluents (Cher et Sauldre, Vienne et Creuse, Cisse). Il en est de même des tests du Margaritiferidae *Margaritifera (Pseudunio) auricularia* (Spengler, 1793) mentionnés dans la littérature (COCHET 2001).

Les Sphaeriidae identifiés par MOUTHON (1997) sont : *Pisidium casertanum* (Poli, 1791), *P. henslowianum* (Sheppard, 1823), *P. moitessierianum* Paladilhe, 1866, *P. subtruncatum* Malm, 1855, *P. supinum* Schmidt, 1851, et *Sphaerium corneum* (Linnaeus, 1758).

4. 1. 2. Crustacés

Les Crustacés de la Loire moyenne sont dominés par les Amphipodes Gammaridae comprenant 5 espèces. *Gammarus pulex* occupe l'ensemble géographique.

Echinogammarus berilloni ne remonte pas le fleuve en amont de la confluence de l'Allier, même s'il colonise la partie inférieure de cette dernière. *E. spinulicornis*, endémique de la façade atlantique du Sud-Ouest français, remonte la Loire et ses affluents jusqu'à hauteur de Blois. *Gammarus roeseli*, espèce balkanique, est localisé à l'Est, ne descendant pas au-delà de Blois et remontant la Loire en amont du Bec d'Allier (CHOVET & LÉCUREUIL 1994). *Dikerogammarus villosus*, d'origine danubienne, a envahi le fleuve ces dernières années en repoussant les autres espèces (BOLLACHE et al. 2004).

Deux autres Amphipodes, d'introduction récente, se rencontrent dans la Loire moyenne : *Crangonyx pseudogracilis* (Crangonyctidae) présent en bordure ou dans les annexes sur tout le secteur, ainsi que dans l'Allier et d'autres sous-bassins (Cher, Vienne, Loir); *Corophium curvispinum* (Corophiidae) cantonné à l'heure actuelle au secteur amont sans atteindre Orléans.

Les Aselles sont relativement abondantes dans la mesure où elles exploitent les résidus organiques, notamment dans les zones calmes de bordures et les annexes fluviales.

4. 1. 3. Éphéméroptères

Les Éphéméroptères sont les Insectes les plus typiques du macrobenthos de la Loire. Leur abondance et leur richesse spécifique concernent plus particulièrement deux familles : Baetidae et Caenidae.

Les Baetidae les plus communs sont *Baetis fuscatus*, *Labiobaetis tricolor*, *Baetopus* (*Rapto-baetopus*) *tenellus*, *Procloeon pennulatum* / *P. pulchrum*, *Acentrella* sp., tandis que *Cloeon* gr. *dipterum* fréquente les mouilles et les bras morts.

Le genre *Caenis* est représenté par 4 espèces avec des effectifs considérables : *Caenis luctuosa*, *C. macrura*, *C. pusilla* et *C. pseudorivulorum*, cette dernière fréquentant les grands cours d'eau. Les larves de Brachycercinae (*Brachycercus harrisellus*, *B. europaeus*, *Cercobrachys minutus*) colonisent plutôt les zones de sédimentation active situées de préférence en profondeur.

Serratella ignita est présent de mai à juin ou juillet, sporadique plus tard. C'est l'espèce principale actuelle de la famille des Ephemerellidae. *Serratella mesoleuca*, dominant dans les années 1980 et présent dans les grands affluents (CHOVET et al. 1984), ne subsiste plus qu'en population clairsemée dans le fleuve jusqu'en aval d'Orléans.

Heptagenia sulphurea est l'Heptageniidae le plus commun du fleuve. Ses larves sont présentes toute l'année. *H. flava* est également répandu, mais en densité moindre, occupant des habitats moins lotiques et plutôt moins minéraux (bois immergés). Les larves de *Dacnogenia coeruleans* sont plus printanières qu'estivales. *Electrogena affinis* se rencontre communément de mai à juillet, surtout en bordure (végétation, bois, pierres).

Siphonurus aestivalis, espèce printanière, fréquente en grand nombre, suivant les années, les bordures et annexes du fleuve. *Potamanthus luteus* lui succède et vole en mai et juin. *Ephoron*

virgo, dont les larves sont fouisseuses, est commun dans la Loire et ses grands affluents où il offre des vols nocturnes spectaculaires en août.

Isonychia ignota est une espèce rare redécouverte dans le Sud-Ouest après plus d'un siècle (PAPAZIAN et al 1999, MOUBAYED-BREIL et al 2008). Elle avait été signalée également dans la Loire à Amboise (Indre & Loire, Lelièvre leg.) par ALBARDA (1878). Nous avons retrouvé cette espèce (7 larves en tout) dans les courants du fleuve, parmi les pierres et petits blocs à La Charité-sur-Loire dans le département de la Nièvre en juin 2000 et juin 2001, et dans des substrats artificiels en juin et juillet 2001 dans le département du Loiret, à Ouzouer-sur-Loire. Cette présence est confirmée par la capture de deux nouvelles larves en 2008, à hauteur de la centrale nucléaire de Belleville-sur-Loire (Cher) par MORGILLO & MICHAUT (2009).

4. 1. 4. Odonates

Les Gomphidae sont les Odonates les plus remarquables de la Loire, le secteur du Bec d'Allier à Orléans semblant leur être plus favorable que celui d'Orléans à Tours, sans doute parce que le lit a gardé ses grandes grèves et une forêt alluviale propice à l'alimentation des imagos. Deux espèces fluviatiles sont à signaler : *Ophiogomphus cecilia* trouvé dans la Loire uniquement, ses larves étant récoltées plus abondamment que celles d'*Onychogomphus forcipatus*; et *Gomphus (Stylurus) flavipes* présent également dans les rivières Cher, Vienne (LETT et al. 2001), et Allier. À ces espèces s'ajoutent *G. simillimus* et *G. pulchellus* (GRAND & BAUDOT 2006).

4. 1. 5. Plécoptères

La présence des Plécoptères hivernaux n'a pu être correctement évaluée faute d'échantillonnages corrects comme il a été dit ci-dessus. Il existe très peu d'informations sur la présence passée de ce groupe dans le fleuve et ses affluents de la région (LE DOARÉ & VINÇON 2005). Si la régression des Plécoptères paraît moins flagrante dans la Loire que dans les autres grands cours d'eau (THOMAS et al 2005), il est observé une diminution des populations printanières typiquement fluviatiles depuis une quinzaine d'années, et la disparition d'*Isoperla obscura* depuis le milieu des années 1980.

Xanthoperla apicalis est une petite espèce fluviatile fréquentant la Loire moyenne et l'Allier (départements de l'Allier et du Cher). Elle semble en nette régression dans le fleuve depuis 1990 entre Orléans et la confluence avec la Vienne. *Isogenus nubecula*, espèce fluviatile plus grande, est trouvée dans la Loire uniquement, du confluent de l'Allier jusqu'à l'entrée d'Orléans, de février à avril dans les zones accessibles. *Taeniopteryx nebulosa* et *T. schoenemundi*, colonisent encore actuellement le fleuve dans tous les départements d'octobre à début avril. Des individus de *Leuctra geniculata* sont récoltés régulièrement mais en faible nombre en fin de printemps et en été dans le département du Cher et celui du Loiret

4. 1. 6. Trichoptères

Les Trichoptères potamiques sont nettement dominants, en particulier les filtreurs avec deux espèces d'Hydropsychidae, *Hydropsyche contubernalis* et *H. exocellata*, communes dans les grandes et moyennes rivières du bassin. *H. ornatula* présente une répartition en tache dans la partie amont de la Loire moyenne, et également dans trois affluents : l'Allier, le Cher dans le

département du Loir & Cher, et l'Indre dans le département d'Indre & Loire. *H. bulgaromanorum*, espèce fluviatile potamique, ne devient abondante que dans la Loire angevine et armoricaine c'est-à-dire dans les départements du Maine & Loire et de la Loire-Atlantique (LÉCUREUIL et al. 1983, TACHET et al. 2000). *Cheumatopsyche lepida* se rencontre plutôt dans les secteurs à forte granulométrie.

Les autres espèces de Trichoptères appartiennent essentiellement à *Ecnomus* (*E. tenellus* et *E. deceptor*, deux espèces potamiques), *Psychomyia pusilla* et *Cyrnus trimaculatus*. Les Leptoceridae les plus abondants sont, dans l'ordre, *Setodes punctatus*, espèce de grands cours d'eau (DÉCAMPS 1967, COPPA & TACHET 2005) aussi présente dans l'Allier, le Cher et son affluent la Sauldre, l'Indre, la Vienne et son affluent la Creuse, *Ceraclea dissimilis*, *Athripsodes cinereus* et *Oecetis lacustris*.

4. 2. Espèces invasives

Les canaux (Canal du Centre, Canal du Nivernais, Canal de Briare) relie directement par le chemin aquatique, la Loire aux autres bassins hydrographiques français (Rhin via la Saône, Seine) et européens (Rhin et Danube en particulier). Les travaux récents de mise aux normes pour grands gabarits sur le canal Main-Danube sont à l'origine d'une nouvelle vague de migrants ponto-caspiens (DEVIN et al. 2001, BIJ DE VAATE et al. 2002). À partir des canaux et de la Loire, les espèces invasives colonisent les affluents (LÉCUREUIL & CHOVET 2003). Celles-ci appartiennent pour la plupart aux Crustacés et aux Mollusques.

4. 2. 1. Anciennes espèces invasives présentes dans la Loire moyenne

L'Hydrozoaire Clavidae *Cordylophora caspia* est relativement rare.

La Planaire *Dugesia tigrina* est commune en été sous les cailloux.

L'Oligochète *Branchiura sowerbyi* se rencontre occasionnellement dans les zones envasées.

Parmi les Mollusques, l'Hydrobiidae néo-zélandais *Potamopyrgus antipodarum* est largement disséminé dans le bassin, de même que le Planorbidae *Menetus dilatatus* mais en moindre densité. MOUTHON (1997) et BRANCOTTE & VINCENT (2002a) ont trouvé l'Hydrobiidae danubien *Lithoglyphus naticoides* (Pfeiffer, 1828). La population du Bivalve *Dreissena polymorpha* est fortement limitée, malgré le réensemencement permanent depuis les canaux, par l'instabilité des débits et la mobilité des fonds du fleuve.

L'écrevisse américaine *Orconectes limosus* est commune. La crevette méditerranéenne *Atyaephyra desmaresti* fréquente tous les grands affluents de la Loire, avec de fortes populations en Basse Loire. L'Isopode asiatique *Asellus aquaticus* est implanté en France depuis plus d'un siècle et se rencontre partout. L'Amphipode américain *Crangonyx pseudogracilis* a été retrouvé dans la Loire dès 1983 ; il se rencontre également en bordure de l'Allier, et ça et là dans de grandes et petites rivières ou dans des lacs de gravières de toute la région Centre. Le gammare balkanique *Gammarus roeseli* est arrivé dans le fleuve par les canaux entre 1940 et 1978.

4. 2. 2. Espèces invasives récentes

Le Bryozoaire ponto-caspien *Pectinatella magnifica* est apparu pour la première fois dans le vieux canal à Nevers en 1997, dans le canal latéral à la Loire à Roanne en 1998 (BOUCHARDY 2002), puis dans la Loire en amont d'Orléans dès 1999.

Le Bivalve *Corbicula* sp., d'abord installé dans l'estuaire en 1990 (GRUET 1992), est remonté jusque dans le bas cours de la Vienne en 1998 tandis qu'une autre population, issue sans doute des canaux descendant le fleuve pour atteindre Digoin en 1997 (MOUTHON 2000) puis gagner l'ensemble de la zone traitée ici en 2000 (BRANCOTTE & VINCENT 2002b).

L'Amphipode ponto-caspien *Corophium curvispinum* est arrivé en 1994 dans la Moselle française via le Rhin, les canaux polonais et russes (BACHMANN et al. 1995). Le premier spécimen a été récolté en 1998 dans la Loire moyenne, à hauteur de Léré dans le département du Cher. *C. curvispinum* est actuellement (en 2008) présent sur environ 100 km en aval du Bec d'Allier sans montrer de densités très élevées jusqu'à ce jour, et curieusement sans s'être installé en aval de Briare.

En juin 2001, le Gammaridae prédateur *Dikerogammarus villosus* est découvert dans la Loire à Ouzouer-sur-Loire (Loiret), il y devient dominant l'année suivante. Dans sa progression vers l'aval, il atteint les environs de Blois en 2002, puis l'aval de Tours en 2003 (BOLLACHE et al. 2004). Ce crustacé thermophile a repoussé les autres Gammaridés du fleuve, son absence encore à l'heure actuelle près du débouché des divers affluents (la Vienne par exemple, à 1 km du confluent) montre que cet envahisseur remonte difficilement les cours d'eau.

Le Mysidae *Hemimysis anomala* a été observé dès 2002 dans le canal de Briare à hauteur de Monteresson (département du Loiret, versant de la Seine) en compagnie de *Crangonyx pseudo-gracilis*, *Atyaephyra desmaresti* et *Dikerogammarus villosus* (LÉCUREUIL & CHOVET 2003). Les premiers essais ont pu être observés dans la Loire elle-même à Orléans en 2007.

5. Fluctuations du peuplement originel

Le régime de la Loire est très irrégulier et même si l'été reste la période d'étiage, l'intensité de cet étiage comme celle des crues d'hiver ou de printemps varie largement d'une année à l'autre (Tableau 3), entraînant de ce fait des variations interannuelles des peuplements macrobenthiques pour lesquelles il est cependant difficile de déterminer les facteurs les plus pertinents. Toutefois, le suivi écologique régulier de 4 sites répartis sur les 4 départements que traverse la Loire moyenne, et ce pendant deux décennies, permet de constater quelques disparitions ou régressions d'espèces fluviatiles, spécifiques de la Loire, ou de ses plus grands affluents (Allier, Cher, Vienne et Creuse) (Tableau 5, pp. 118-119).

Chez les Amphipodes, *Echinogammarus berilloni* en général dominant a fortement régressé au cours de la décennie 1990 – 2000 tant en amont d'Orléans qu'en amont de la confluence avec la Vienne. Sur le premier secteur, cette espèce atlantique se trouve en limite orientale de son aire d'expansion. Ces fluctuations d'effectifs peuvent être dues soit aux variations des conditions écologiques, soit au dynamisme propre du crustacé. Ajoutons qu'en 1970, PINKSTER & STOCK (1971) notaient, au cours de leur prospection, l'absence totale de gammares dans la basse Loire alors qu'une décennie plus tard CHOVET & LÉCUREUIL (1994) y inventoriaient trois espèces, avec *E. spinulicornis* dominant. Mais depuis l'arrivée du danubien *Dikerogammarus villosus*, les gammares de la Loire moyenne déjà présents ont été refoulés dans des zones refuges (affluents, résurgences du fond du lit, ou profondeurs du fleuve).

Chez les insectes :

- *Isoperla obscura* et *Oligoneuriella pallida*, inféodés au fleuve, n'ont plus été capturés depuis la fin des années 1980;

- *Rhithrogena beskidensis* et *Oligoneuriella rhenana*, non spécifiques au fleuve, sont devenus très rares, tandis que *Serratella mesoleuca*, abondant dans la Loire, présent dans l'Allier, le Cher et la Vienne jusqu'en 1989, ne subsiste qu'à l'état relictuel dans le fleuve jusqu'à Orléans;

- *Xanthoperla apicalis* (présent également dans l'Allier), *Acentrella* cf. *sinaica*, (présent dans l'Allier, la Vienne) et *Dacnogenia coeruleans* ont quasiment disparu du fleuve entre Orléans et la confluence de la Vienne, comme *Serratella mesoleuca*;

- *Hydropsyche bulgaromanorum*, Hydropsychidae dominant dans la Basse Loire, a nettement régressé en Touraine, limite de son expansion en amont.

À l'inverse, deux espèces précédemment très rares, y compris pour d'autres cours d'eau de la région, connaissent une expansion depuis 1996-1998 : *Brachycercus europaeus* (connue auparavant de la Loire tourangelle avec deux larves seulement) et *Brachycentrus subnubilus*.

6. Conclusion

Compte tenu d'une forte variabilité des peuplements et d'une hydrologie présentant de fortes variations interannuelles, il n'est pas possible d'évaluer respectivement l'impact de l'incision du lit, du soutien d'étiage par le barrage de Villerest, des pertes de la Loire dans le Val d'Orléans et des apports de la nappe phréatique des calcaires de Beauce sur les peuplements pendant ces 3 décennies.

Le peuplement d'Insectes comprend beaucoup d'espèces monovoltines, ou polyvoltines, notamment pour les Éphéméroptères, Plécoptères et Trichoptères (IVOL 1993, BACCHI 2000). Ce sont en général des organismes printaniers ou estivaux, comme il est constaté en général dans la partie potamique des grands cours d'eau. Les habitats lotiques montrent un peuplement appauvri de novembre à février ou mars, phénomène amplifié sans doute par la mobilité des sédiments et l'importance des fluctuations des surfaces de lit mouillées liées à l'hydrologie.

Le macrobenthos de la Loire moyenne présente une grande similitude avec celui des autres grands cours d'eau européens, en particulier pour ses Insectes fluviatiles : Rhône (USSEGLIO-POLATERA 1997, USSEGLIO-POLATERA & BOURNAUD 1989) et Saône (TACHET et al. 1988), Garonne (THOMAS 1996, THOMAS et al. 2005), Rhin (CIPR 2002), Danube (KRNO 1990, SOMMERHÄUSER et al. 2003) et deux de ses grands affluents Raba (KOVÁCS & AMBRUS 2001) et Tisza (KOVÁCS et al. 2001, KOVÁCS et al. 2002), San, affluent de la Vistule (SOWA 1975a, 1975b), et Neris (RUGINIS 2006) en Lituanie.

La Loire héberge une faune riche, avec des espèces relictuelles de grandes rivières d'Europe occidentale, dont un certain nombre est classé ou proposé dans les listes rouges de France. À ce titre, il convient de citer :

- les Plécoptères *Isogenus nubecula*, *Xanthoperla apicalis* et *Isoperla obscura*, ce dernier non retrouvé depuis vingt ans;

- les Éphéméroptères (propositions pour la France par MASSELOT & BRULIN 2000) *Isonychia ignota*, *Dacnogenia coeruleans*, *Serratella mesoleuca*, *Baetopus tenellus* et *Cercobrachys minutus* ; *Oligoneuriella pallida* est considéré disparu;

- les Odonates bénéficiant d'une protection nationale et inscrits dans la Directive Habitats de 1997 (Directive 92/43/CEE modifiée 97/62/CE) *Ophiogomphus cecilia* (annexes 2 et 4) et *Gomphus (Stylurus) flavipes* (annexe 4).

Aucune espèce aquatique endémique à la Loire n'est connue à ce jour. Le Crustacé *Echinogammarus spinulicornis* est l'invertébré dont la répartition régionale est la plus restreinte puisqu'il ne fréquente, outre le bassin occidental de la Loire, que quelques petits bassins de la façade atlantique situés au sud de l'estuaire de la Loire : Charente et Vendée (PINKSTER & STOCK 1971, CHOVET & LÉCUREUIL 1994). D'autre part, la Loire héberge des populations d'espèces d'Éphéméroptères fluviales géographiquement isolées à l'heure actuelle de l'Europe centrale et orientale ou de la Péninsule Ibérique : *Baetopus wartensis*, *Labiobaetis tricolor*, *Brachycercus europaeus*, *Cercobrachys minutus*, *Oligoneuriella pallida*, *Serratella mesoleuca* (ces deux dernières présentes ou probablement présentes dans le bassin du Rhin il y a près d'un siècle selon HAYBACH & MALZACHER 2002, et A. Haybach comm. pers.). À ces espèces particulières s'ajoutent le Trichoptère ibérique *Pseudoneureclipsis lusitanicus* présent dans la Vienne (TACHET et al. 2001) et *Paduniella vandeli* (un adulte capturé dans la Vienne -COPPA et al. 2008).

La zone la plus intéressante de la Loire moyenne se situe de la confluence avec l'Allier jusqu'à Orléans. La zone aval est corsetée par les digues ou « levées », offrant moins de liberté à l'écoulement et moins de diversité paysagère, de plus les eaux sont plus sévèrement impactées par les rejets de diverses agglomérations comme Gien, Orléans et Blois, et peu renouvelées par des apports conséquents d'affluents.

Remerciements

Les auteurs remercient sincèrement Henri Tachet de l'Université de Lyon pour ses commentaires et suggestions qui ont permis d'améliorer la présentation de ce travail. Nos remerciements vont également à Michel Brulin, coordinateur de l'Inventaire national des Éphéméroptères de France INVEMR, Jacques Le Doaré coordinateur de l'Inventaire national des Plécoptères de France et Gennaro Coppa coordinateur de l'Inventaire national des Trichoptères de France pour l'aide et les conseils prodigués à l'identification des insectes; ainsi qu'à Simon Devin, de l'Université de Metz pour toutes les informations concernant les Crustacés invasifs.

Travaux cités

- AFNOR (ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION). 1992. Détermination de l'indice biologique global normalisé (IBGN). Norme NFT 90-350, 7 pp + annexes.
- ALBARDA, H. 1878. Descriptions of three new European Ephemerae. *Entomologist's Monthly Magazine*, **15**: 128-130.
- BABONAUX, Y. 1970. *Le lit de la Loire, étude d'hydrodynamique fluviale*. Bibliothèque nationale, Paris, 252 pp.
- BACCHI, M. 2000. *Structure et dynamique des peuplements macrobenthiques en Loire. Impact des facteurs hydrologiques et sédimentaires*. Thèse de Doctorat. Université de Tours, 253 pp.
- BACHMANN, V., E. CEGIELKA, P. WAGNER, P. USSEGLIO-POLATERA & J.-C. MORETEAU. 1995. Installation de l'Amphipode *Corophium curvispinum* et de la palourde asiatique *Corbicula* sp. dans la partie française de la Moselle. *Hydroécologie appliquée*, **7** (1-2) : 185-190.
- BIJ DE VAATE A., K. JAZDZEWSKI, H.A.M. KETELAARS, S. GOLLASCH & G. VAN DER VELDE. 2002. Geographical patterns in range extension of Ponto-Caspian macroinvertebrate species in Europe. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **59**: 1159-1174.

- BOLLACHE, L., S. DEVIN, R. WATTIER, M. CHOVET, J.-N. BEISEL, J.-C. MORETEAU & T. RIGAUD. 2004. Rapid range extension of the Ponto-Caspian amphipod *Dikerogammarus villosus* in France: potential consequences. *Archiv für Hydrobiologie*, **160** (1): 57-66.
- BOUCHARDY, C. 2002. (sous la direction de). *La Loire – vallées et vals du grand fleuve sauvage*. La Bibliothèque du Naturaliste. Delachaux et Niestlé. 188 pp.
- BRANCOTTE, V. & T. VINCENT. 2002a. Présence de *Lithoglyphus naticoides* (Pfeiffer, 1828) (Gastropoda, Hydrobiidae) dans la Loire, à Saint-Pryvé (Loiret, France). *Recherches Naturalistes en Région Centre*, **11** : 49-51.
- BRANCOTTE, V. & T. VINCENT. 2002b. L'invasion du réseau hydrographique français par les mollusques *Corbicula* spp. Modalité de colonisation et rôle prépondérant des canaux de navigation. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, **365/366** : 325-337.
- CHOVET, M., J. FONTAINE & J.-Y. LÉCUREUIL. 1984. Le genre *Ephemerella* Walsh dans le bassin de la Loire : présence de deux espèces, nouvelles pour la France : *E. notata* Eaton et *E. mesoleuca* (Brauer) (Éphéméroptères, Ephemerellidae). Pp 117-126 in *Proceedings of the IVth International Conference on Ephemeroptera*, V. Landa et al. (eds), Ceske Budejovice.
- CHOVET, M. & J.-Y. LÉCUREUIL. 1994. Répartition des Gammaridae épigés (Crustacés, Amphipodes) dans la Loire et les rivières de la Région Centre (France). *Annales de Limnologie*, **30** : 11-23.
- COCHET, G. 2001. Redécouverte d'une population vivante de la Grande Mulette, *Margaritifera auricularia*, sur la Vienne et la Creuse. *Recherches Naturalistes en Région Centre*, **10** : 3-16.
- CIPR (COMMISSION INTERNATIONALE POUR LA PROTECTION DU RHIN). 2002. Le macrozoobenthos du Rhin 2000. Rapport n° 128-f : 49 pp.
- COPPA, G., M. CHOVET & J.-Y. LÉCUREUIL. 2007 (2008). Nouvelles captures de *Paduniella vandeli* Décamps, 1965 dans les bassins du Rhône et de la Loire (Trichoptera, Psychomyiidae). *Ephemera*, **9** (1) : 65-66.
- COPPA, G. & H. TACHET. 2005 (2007). Redescription de la larve de *Setodes viridis* (Fourcroy, 1785) et considérations sur les larves de *Setodes* européens (Trichoptera, Leptoceridae). *Ephemera*, **7** (2) : 63-84.
- CROUZET, P. & R. RECEVEUR. 1977. Alimentation de la Loire moyenne par la nappe des calcaires de Beauce. Relation avec la qualité des eaux. *L'eau en Loire-Bretagne*, **4** : 8-13.
- DÉCAMPS, H. 1967. Introduction à l'étude écologique des Trichoptères des Pyrénées. *Annales de Limnologie*, **3** (1) : 101-176.
- DEVIN, S., J.-N. BEISEL, V. BACHMANN & J.C. MORETEAU. 2001. *Dikerogammarus villosus* (Amphipoda : Gammaridae): another invasive species newly established in the Moselle river and French hydrosystems. *Annales de Limnologie*, **37** (1): 21-27.
- DION, R. 1934. *Le Val de Loire. Étude de Géographie régionale*. Laffite reprints, Marseille 1978. 752 pp.
- GRAND, D. & J.-P. BOUDOT. 2006. *Les Libellules de France, Belgique et Luxembourg*. Biotope, Mèze, (Collection Parthénope), 480 pp.
- GRUET, Y. 1992. Un nouveau mollusque bivalve pour notre région : *Corbicula* sp. (Heterodonta Sphaeriacea). *Bulletin de la Société des Sciences Naturelles de l'Ouest de la France*, **45** : 109-116.
- HAYBACH, A. & P. MALZACHER. 2002. Verzeichnis der Eintagsfliegen Deutschlands (Insecta: Ephemeroptera). *Entomologische Zeitschrift*, **112** (2): 34-45.
- IVOL, J.-M. 1993. *Biodiversité et continuum fluvial : l'exemple des macroinvertébrés de la Loire*. Diplôme d'Études Approfondies – Analyses et Modélisation des Systèmes Biologiques. 24 pp + annexes.
- IVOL, J.-M., B. GUINAND, P. RICHOUX & H. TACHET. 1997. Longitudinal changes in Trichoptera and Coleoptera assemblages and environmental conditions in the Loire River (France). *Archiv für Hydrobiologie*, **138**: 525-557.
- KOVÁCS, T. & A. AMBRUS. 2001. Ephemeroptera, Odonata and Plecoptera larvae from the rivers of Rába and Lapincs (Hungary). *Folia Historico Naturalia Musei Matraensis*, **25**: 145-162.
- KOVÁCS, T., A. AMBRUS & P. JUHÁSZ. 2002. Ephemeroptera, Odonata and Plecoptera larvae from the River Tisza in the year of cyanid pollution (2000). *Folia Historico-Naturalia Musei Matraensis*, **26**: 169-178.
- KOVÁCS, T., P. JUHÁSZ & I. TURCSÁNYI. 2001. Ephemeroptera, Odonata and Plecoptera larvae from the River Tisza (1997-1999). *Folia Historico Naturalia Musei Matraensis*, **25**: 135-143.

- KRNO, I. 1990. Investigations of mayflies (Ephemeroptera) and stoneflies (Plecoptera) of the Danube in the region of the Gabčíkovo Barrage. *Acta Facultatis Rerum Naturalium Universitatis Comenianae - Zoologia*, **33**: 19-30.
- LÉCUREUIL, J.-Y., M. CHOVET, M. BOURNAUD & H. TACHET. 1983. Description, répartition et cycle biologique de la larve d'*Hydropsyche bulgaromanorum* Malicky 1977 (Trichoptera, Hydropsychidae) dans la basse Loire. *Annales de Limnologie*, **19** (1) : 17-24.
- LÉCUREUIL, J.-Y., J. FONTAINE & M. CHOVET. 1984. Nouvelles données sur l'écologie de *Raptobaetopus tenellus* (Albarda), un Baetidae présent en grand nombre dans le bassin de la Loire (France). Pp 253-261 in *Proceedings of the IVth International Conference on Ephemeroptera*, V. Landa et al. (eds), Ceske Budejovice.
- LÉCUREUIL, J.-Y. & M. CHOVET. 2003. Connexion entre les bassins hydrographiques européens et dissémination des espèces aquatiques : le cas de la Loire moyenne. *Symbioses*, nouvelle série, **9** : 25-31.
- LE DOARÉ, J. & G. VINÇON. 2005 (2006). Les Plécoptères de France : inventaire des espèces signalées par départements (Plecoptera). *Ephemera*, **7** (1) : 11-43.
- LEITAO, M. & A. LE PRÊTRE. 1998. The phytoplankton of the River Loire, France: a typological approach. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, **26**: 1050-1056.
- LELONG, F. & M. LEPILLER. 1981. *Le système aquifère karstique du Val d'Orléans. Esquisse de fonctionnement hydrodynamique*. Actes du 26 Congrès de Limnologie, Orléans, 1-4 juin 1981.
- LETT, J.-M., R. CLOUPEAU, J.-L. PRATZ & E. MALE-MALHERBE. 2001. Liste commentée des Odonates de la région Centre (Départements du Cher, de l'Eure-et-Loir, de l'Indre, de l'Indre-et-Loire, du Loir-et-Cher et du Loiret). *Martina*, **17** (4) : 123-168.
- MASSELOT, G. & M. BRULIN. 2000. Les Éphémères d'intérêt patrimonial pour la France. 1. Première liste : espèces éteintes et espèces en situation critique (Ephemeroptera). *Ephemera*, **2** (1) : 59-65.
- MOATAR, F. & J. GAILHARD. 2006. Water temperature behaviour in the River Loire since 1976 and 1881. *C. R. Geoscience*, **338**: 319-328.
- MORGILLO, A. & E. MICHAUT. 2009. Nouvelle présence d'*Isonychia ignota* (Walker, 1853) dans le bassin de la Loire (Ephemeroptera, Isonychiidae). *Ephemera*, **10** (1) : 42.
- MOUBAYED-BREIL, J., B. TEYSSENDIER DE LA SERVE, J.-F. YVELIN & A. THOMAS. 2007 (2008). *Isonychia ignota* (Walker, 1853) : présence confirmée dans le bassin versant du Tarn, avec quelques données sur son écologie (Ephemeroptera, Isonychiidae). *Ephemera*, **9** (2) : 79-89.
- MOUTHON, J. 1997. Les mollusques dulcicoles du bassin de la Loire, premier inventaire et caractéristiques des peuplements du fleuve. *Vertigo*, **5** : 3-12.
- MOUTHON, J. 2000. Répartition du genre *Corbicula* Megerle von Mühlfeld (Bivalvia, Corbiculidae) en France à l'aube du XXI^e siècle. *Hydroécologie Appliquée*, **12** (1-2) : 135-146.
- PAPAZIAN, M., G. MASSELOT & M. BRULIN. 1999. Redécouverte d'*Isonychia ignota* (Walker, 1853) pour la France (Ephemeroptera, Isonychiidae). *Ephemera*, **1** (1) : 35-39.
- PINKSTER, S. & STOCK J.H. 1971. Sur deux *Echinogammarus* limniques nouveaux du bassin d'Aquitaine. *Bijdragen tot de Dierkunde*, **41** : 37-51.
- RUGINIS, T. 2006. The checklist of mayflies (Insecta, Ephemeroptera) of Lithuania. *Acta Zoologica Lituanica*, 2006, **16** (1): 67-76.
- SOMMERHÄUSER, M., S. ROBERT & S. BIRK. 2003. *Proposal of the reference communities of macroinvertebrates of the Danube River*. Pp 53-58 in UNDP/GEF Danube Regional Project: Activity 1.1.6. Typology of surface waters and definition of reference conditions for the Danube River.
- SOWA, R. 1975a. Ecology and biogeography of mayflies of running waters in the polish part of the Carpathians. 1: Distribution and quantitative analysis. *Acta Hydrobiologica*, **17** (3): 223-297.
- SOWA, R. 1975b. Ecology and biogeography of mayflies of running waters in the polish part of the Carpathians. 2: Life cycles. *Acta Hydrobiologica*, **17** (4): 319-353.
- TACHET, H., O. GASCHIGNARD-FOSSATI, B. CELLOT & A. BERLY. 1988. Le macrobenthos de la Saône. *Annales de Limnologie*, **24** (1) : 83-100.
- TACHET H., J.-C. MORSE & A. BERLY, 2001. The larva and the pupa of *Pseudoneureclipsis lusitanicus*

- Malicky, 1980 (Trichoptera, Hydropsychoidea): description, ecological data and taxonomical considerations. *Aquatic Insects*, **23** : 93-106.
- TACHET, H., P. RICHOUX, M. BOURNAUD & P. USSEGlio-POLATERA. 2000. Invertébrés d'eau douce. Systématique, biologie, écologie. CNRS Éditions. 588 pp.
- THOMAS, A. 1996. Éphéméroptères du Sud-Ouest de la France. V. Premier inventaire des espèces recensées depuis 1870 (Insecta, Ephemeroptera). *Annales de Limnologie*, **32** (1) : 19-26.
- THOMAS, A., O. BONNEFOUS, M. KHATORI & T. SOUBAYA. 2005 (2006). Évolution des communautés de Plécoptères dans la Garonne à Toulouse depuis 1930 : l'agonie des insectes bioindicateurs les plus sensibles (Plecoptera). *Ephemera*, **7** (2) : 45-57.
- TUFFERY, G. & J. VERNEAUX.. 1967. Méthode de détermination de la qualité biologique des eaux courantes. Travaux de la Division Qualité Eaux Pêche et Pisciculture, C.T.G.R.E.F., 23 pp.
- USSEGlio-POLATERA, P. 1997. Long-term changes in the Ephemeroptera of the River Rhone at Lyon, France, assessed using a fuzzy coding approach. Pp. 227-234 in *Ephemeroptera & Plecoptera. Biology-Ecology-Systematics*, Landolt P. & Sartori M. (eds). Mauron + Tinguely & Lachat, SA. Fribourg.
- USSEGlio-POLATERA, P. & M. BOURNAUD. 1989. Trichoptera and Ephemeroptera as indicators of environmental changes of the Rhône river at Lyon over the last twenty-five years. *Regulated Rivers: Research & Management*, **4**: 249-262.

Familles Espèces	Secteur	ANNÉES												
		1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	
Perlodidae <i>Isoperla</i> sp.	amont		+	1	2	2	1	0	1	0	1	0		
	aval	+	-	0	2	1	0	0	0	0	0	0		
Chloroperlidae <i>Xanthoperla apicalis</i>	amont		+	2	2	2	2	1	1	2	2	1		
	aval	+	-	2	3	1	1	0	1	0	0	0		
Leuctridae <i>Leuctra geniculata</i>	amont		-	0	0	0	1	0	1	0	1	0		
	aval		-	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Heptageniidae <i>Rhithrogena beskidensis</i>	amont		+	3	1	1	2	1	1	0	0	0		
	aval		-	2	0	2	0	0	0	0	0	0		
Heptageniidae <i>Dacnogenia coeruleans</i>	amont			2	2	3	2	2	3	3	3	3		
	aval			2	2	3	1	2	2	1	1	2		
Heptageniidae <i>Electrogena affinis</i>	amont			2	2	3	2	3	3	3	3	3		
	aval			2	0	2	0	3	2	2	2	1		
Ephemerellidae <i>Serratella mesoleuca</i>	amont			2	3	4	2	3	3	3	3	3		
	aval	+			3	3	2	3	2	1	2	0		
Oligoneuriidae <i>Oligoneuriella</i> sp.	amont		+	+	2	1	2	0	1	1	1	1		
	aval	+	+	+	1	1	2	1	1	1	1	0		
Caenidae <i>Brachycercus europaeus</i>	amont				0	0	0	0	0	0	0	0		
	aval				1	0	0	0	0	0	0	1		
Baetidae <i>Acentrella sinaica</i>	amont				2	0	3	2	2	2	3	2		
	aval				0	1	3	0	2	2	1	0		
Brachycentridae <i>Brachycentrus</i> sp.	amont				0	0	0	0	0	0	1	1		
	aval				0	0	1	0	0	0	0	0		
Hydropsychidae <i>Hydropsyche bulgaromanorum</i>	Indre & Loire				3	3	4	3	3	3	3	4		
Gammaridae <i>Echinogammarus berrilloni</i> (en % des Gammaridae)	Loiret				98	100	91	92	87		72	81	62	
	Indre & Loire				61	63	90	82			67	56	13	
INVASIFS														
Corbiculidae <i>Corbicula</i> sp.	amont													
Corophidae <i>Corophium curvispinum</i>	amont													
Gammaridae <i>Dikerogammarus villosus</i>	amont													
Mysidacés <i>Hemimysis anomala</i>	amont													
	aval													

Tableau n° 5 (pp. 118-119). Évolution chronologique des effectifs de quelques espèces de la Loire moyenne : secteurs amont = départements du Cher et du Loiret; secteurs aval = départements du Loir & Cher et de l'Indre & Loire. Échantillonnages quantitatifs durant les années 1981 à 1998, jusqu'à 2000 pour le secteur aval : 0 = absent ; +- = présent ; Échelle d'abondance : 0 (absent), 1 (1 à 4 individus), 2 (5 à 49), 3 (50 à 500), 4 (>500)

ANNÉES																	Espèces (rappel)	
1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006		2007
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								<i>Isoperla</i> sp.
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								<i>Xanthoperla apicalis</i>
0	1	0	0	1	1	0	1	1	+	+	+	+		+	+	+	+	<i>Leuctra geniculata</i>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								<i>Rhithrogena beskidensis</i>
0	1	0	1	1	1	1	0	1								+		<i>Dacnogenia coeruleans</i>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								<i>Electrogena affinis</i>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								<i>Serratella mesoleuca</i>
2	2	2	0	2	2	2	1	3		+	+	+		+	+	+		<i>Oligoneuriella</i> sp.
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								<i>Brachycercus europaeus</i>
3	2	2	3	3	3	3	2	3	+	+	+	+			+	+		<i>Acentrella sinaica</i>
1	1	1	0	2	2	0	0	0	1	0	1							<i>Brachycentrus</i> sp.
1	2	2	0	2	1	1	0	2			+	+		+	+			<i>Hydropsyche bulgaromanorum</i>
0	1	1	0	0	0	1	0	0			+						+	<i>Echinogammarus berrilloni</i>
0	0	0	0	0	0	1	0	2	+	+	+	+		+	+	+	+	(en % Gammaridae)
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1								INVASIFS
1	2	2	0	0	2	2	2	3	+	+	+		+	+	+	+	+	<i>Corbicula</i> sp.
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							+	<i>Corophium curvispinum</i>
0	0	0	0	1	0	2	1	2		+	+	+	+	+	+	+	+	<i>Dikerogammarus villosus</i>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								<i>Hemimysis anomala</i>
0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0								
86	22	5	5	9							32	13	0	0				
14	5	0			0	0	0	0	0			43	0	1				

Table 5 (pp. 118-119). Chronological evolution of the populations of some major species in study sector of the middle Loire river: upstream = departments of “Cher” and “Loiret”; downstream= departments of “Loir & Cher” and “Indre & Loire”. Numbers of specimens for each sampling since 1981 to 1998, and to 2000 for downstream sites: 0 = absent; + = present; Scale abundance value: 0 (absent), 1 (1 to 4 specimens), 2 (5 to 49), 3 (50 to 500), 4 (>500).

Annexe 1 : Liste des macroinvertébrés présents dans la Loire moyenne.

* : espèce rencontrée accidentellement (moins de 5 individus).

** : espèce non retrouvée depuis 20 ans.

Annex 1. Macroinvertebrates recorded in the Loire river (intermediate sector).

*: species collected by chance (less than 5 individuals).

**: species not found again for the last 20 years.

PORIFERA	<i>Bithynia tentaculata</i> (Linnæus, 1758)
Spongillidae	Hydrobiidae
	<i>Potamopyrgus antipodarum</i> (Gray, 1843)
HYDROZOA	Lymnaeidae
Clavidae	<i>Galba</i> sp.
<i>Cordylophora caspia</i> (Pallas, 1771)	<i>Lymnaea</i> sp.
Hydriidae	<i>Radix</i> sp.
<i>Hydra</i> sp.	Neritidae
	<i>Theodoxus fluviatilis</i> (Linnæus, 1758)
TURBELLARIA	Physidae
Dendrocoelidae	<i>Physa fontinalis</i> (Linnæus, 1758)
<i>Dendrocoelum</i> sp.	<i>Physella acuta</i> (Draparnaud, 1805)
Dugesiiidae	Planorbidae
<i>Dugesia tigrina</i> (Girard, 1850)	<i>Anisus</i> sp.
<i>Dugesia</i> sp.	<i>Gyraulus albus</i> (Müller, 1774)
	<i>Menetus dilatatus</i> (Gould, 1841)
BRYOZOA	<i>Planorbis</i> sp.
Paludicellidae	Valvatidae
<i>Paludicella articulata</i> (Ehrenberg, 1831)	<i>Valvata piscinalis</i> (Müller, 1774)
Fredericellidae	Viviparidae
<i>Fredericella sultana</i> (Blumenbach, 1779)	<i>Viviparus viviparus</i> (Linnæus, 1758)
Plumatellidae	
<i>Plumatella</i> sp.	BIVALVIA
Cristatellidae	Corbiculidae
<i>Cristatella mucedo</i> Cuvier, 1798	<i>Corbicula</i> sp.
Pectinatellidae	Dreissenidae
<i>Pectinatella magnifica</i> Leydi, 1851	<i>Dreissena polymorpha</i> (Pallas, 1771)
	Sphaeriidae
OLIGOCHAETA	<i>Pisidium</i> sp.
Naïdidae	<i>Sphaerium</i> sp.
<i>Stylaria</i> sp.	Unionidae
<i>Gen.</i> sp.	<i>Anodonta anatina</i> Linnæus, 1758.
Tubificidae	<i>Unio pictorum</i> Linnæus, 1758
<i>Branchiura sowerbyi</i> Beddard, 1892	
<i>Gen.</i> sp.	MAXILLOPODA
	Argulidae
HIRUDINEA	<i>Argulus</i> sp.
Erpobdellidae	
<i>Erpobdella</i> sp.	MALACOSTRACA
Glossiphoniidae	Asellidae
<i>Glossiphonia</i> sp.	<i>Asellus aquaticus</i> (Linnæus, 1758)
<i>Helobdella</i> sp.	Crangonyctidae
<i>Hemiclepsis</i> sp.	<i>Crangonyx pseudogracilis</i> Bousfield, 1958
Piscicolidae	Corophiidae
<i>Piscicola geometra</i> (Linnæus, 1758)	<i>Corophium curvispinum</i> Sars, 1895
	Gammaridae
GASTROPODA	<i>Dikerogammarus villosus</i> (Sowinski, 1894)
Ancylidae	<i>Echinogammarus berrilloni</i> Catta, 1878
<i>Ancylus fluviatilis</i> (Müller, 1774)	<i>Echinogammarus spinulicornis</i> Pinkster & Stock,
Bithyniidae	1971

- Gammarus pulex pulex* (Linnaeus, 1758)
Gammarus roeseli Gervais, 1835
- Mysidae
Hemimysis anomala Sars, 1907
- Atyidae
Atyaephyra desmaresti Millet, 1831
- Cambaridae
Orconectes limosus (Rafinesque, 1817)
- EPHEMEROPTERA
- Potamanthidae
Potamanthus luteus (Linnaeus, 1767)
- Polymitarcyidae
Ephoron virgo (Olivier, 1791)
- Caenidae
Brachycercus europaeus Kluge, 1991
Brachycercus harrisellus (Curtis, 1834)
Caenis horaria (Linnaeus, 1758) *
Caenis luctuosa (Burmeister, 1839)
Caenis macrura Stephens, 1836
Caenis pseudorivulorum Keffermüller, 1960
Caenis pusilla Navás, 1913
Caenis robusta Eaton, 1884 *
Cercobrachys minutus (Tshernova, 1952)
- Ephemerellidae
Ephemerella notata Eaton, 1887
Serratella ignita (Poda, 1761)
Serratella mesoleuca (Brauer, 1857)
- Baetidae
Acentrella cf. *sinaica* Bogoescu, 1931
Baetis buceratus Eaton, 1870
Baetis fuscatus (Linnaeus, 1761)
Baetis lutheri Müller-Liebenau, 1967 *
Baetis rhodani (Pictet, 1845)
Baetis vernus Curtis, 1834
Baetopus tenellus (Albarda 1878)
Baetopus wartensis Keffermüller 1960
Centroptilum luteolum (Müller, 1776)
Labiobaetis atrebatinus (Eaton, 1870)
Labiobaetis tricolor (Tshernova, 1928)
Procloeon bifidum (Bengtsson, 1912)
Procloeon pennulatum (Eaton, 1870)
Procloeon pulchrum (Eaton, 1885)
Cloeon dipterum (Linnaeus, 1761)
Cloeon simile Eaton, 1870
- Siphonuridae
Siphonurus aestivalis (Eaton, 1903)
- Oligoneuriidae
Oligoneuriella pallida (Hagen, 1855) **
Oligoneuriella rhenana (Imhoff, 1852)
- Isonychiidae
Isonychia ignota (Walker, 1853)
- Heptageniidae
Dacnogenia coeruleans (Rostock, 1878)
Ecdyonurus insignis (Eaton, 1870)
Electrogena affinis (Landa, 1970)
Heptagenia flava Rostock, 1878
Heptagenia longicauda (Stephens, 1836) *
- Heptagenia sulphurea* (Müller, 1776)
Kageronia fuscogrisea (Retzius, 1783)
Rhithrogena beskidensis (Alba Tercedor & Sowa, 1987)
- Leptophlebiidae
Choroterpes picteti (Eaton, 1871) *
Habrophlebia fusca (Curtis, 1834) *
Habrophlebia lauta Eaton, 1884 *
Leptophlebia marginata (Linnaeus, 1758) *
- Ephemeridae
Ephemera danica Müller, 1764 *
Ephemera lineata Eaton, 1870 *
- PLECOPTERA
- Perlodidae
Isogenus nubeculum (Newman, 1833)
Isoperla obscura (Zettersfeldt, 1840) **
- Chloroperlidae
Xanthoperla apicalis apicalis (Newman, 1836)
- Taeniopterygidae
Taeniopteryx nebulosa (Linnaeus, 1758)
Taeniopteryx schoenemundi (Mertens, 1923)
- Leuctridae
Leuctra geniculata Stephens, 1836
- Nemouridae
Nemoura sp.
- ODONATA
- Calopterygidae
Agrion splendens (Harris, 1776)
- Coenagrionidae
Erythromma sp.
Ischnura elegans (Van der Linden, 1820)
- Lestidae
Chalcolestes viridis (Van der Linden, 1825)
- Platycnemididae
Platycnemis pennipes (Pallas, 1771)
- Aeschnidae
Aeschna sp.
Anax sp.
- Gomphidae
Gomphus flavipes (Charpentier, 1825)
Gomphus vulgatissimus (Linnaeus, 1758)
Onychogomphus forcipatus (Linnaeus, 1758)
Ophiogomphus cecilia (Geoffroy in Fourcroy, 1785)
- Libellulidae
Orthetrum sp.
Sympetrum sp. *
- HEMIPTERA (HETEROPTERA)
- Aphelocheiridae
Aphelocheirus aestivalis (Fabricius, 1794)
- Corixidae
 Corixinae
 Micronectinae
- Gerridae
Gerris sp.

- Hydrometridae
Hydrometra sp.
- Naucoridae
Naucoris sp.
- Nepidae
Nepa cinerea Linnaeus, 1758
- Notonectidae
Notonecta sp.
- Veliidae
Gen. sp.
- MEGALOPTERA
- Sialidae
Sialis sp.
- NEUROPTERA
- Sisyridae
Sisyra sp.
- COLEOPTERA
- Dryopidae
Dryops sp.
Pomatinus sp.
- Dytiscidae
Agabus sp.
Coelambus sp.
Hydaticus sp.
Laccophilus sp.
Platambus sp.
Scarodytes sp.
Stictotarsus sp.
Yola sp.
- Elmidae
Elmis sp.
Esolus sp.
Limnius sp.
Macronychus quadrituberculatus Müller, 1806
Normandia sp.
Oulimnius sp.
Potamophilus acuminatus (Fabricius, 1792)
Riolus sp.
Stenelmis sp.
- Gyrinidae
Gyrinus sp.
Orectochilus sp.
- Haliplidae
Brychius sp. *
Haliplus sp.
- Helophoridae
Helophorus sp.
- Hydraenidae
Hydraena sp.
Limnebius sp.
- Hydrochidae
Hydrochus sp.
- Hydrophilidae
Anacaena sp.
Helochaers sp.
- Hydrophilus* sp.
Laccobius sp.
- Hygrobiidae
Hygrobia sp.
- TRICHOPTERA
- Hydropsychidae
Cheumatopsyche lepida (Pictet, 1834)
Hydropsyche angustipennis (Curtis, 1834)
Hydropsyche bulgaromanorum Malicky, 1977
Hydropsyche contubernalis McLachlan, 1865
Hydropsyche exocellata Dufour, 1841
Hydropsyche ornatula McLachlan, 1878
Hydropsyche gr. *pellucidula*
- Ecnomidae
Ecnomus deceptor McLachlan, 1884
Ecnomus tenellus (Rambur, 1842)
- Polycentropodidae
Cyrnus trimaculatus (Curtis, 1834)
Holocentropus sp. *
Neureclipsis bimaculata (Linnaeus, 1758)
Polycentropus sp.
- Psychomyiidae
Lype phaeopa (Stephens, 1836) *
Psychomyia pusilla (Fabricius, 1781)
Tinodes waeneri (Linnaeus, 1758) *
- Brachycentridae
Brachycentrus subnubilus Curtis, 1834
- Goeridae
Goera pilosa (Fabricius, 1775)
- Hydroptilidae
Agraylea sexmaculata Curtis, 1834
Hydroptila angulata Mosely, 1922
Hydroptila simulans Mosely, 1920
Hydroptila sparsa Curtis, 1834
Orthotrichia angustella McLachlan, 1865
Oxyethira flavicornis (Pictet, 1834)
- Leptoceridae
Athripsodes cinereus (Curtis, 1834)
Ceraclea dissimilis (Stephens, 1836)
Leptocerus sp. *
Mystacides azurea (Linnaeus, 1761)
Oecetis lacustris (Pictet, 1834)
Oecetis tripunctata (Fabricius, 1793)
Setodes punctatus (Fabricius, 1793)
- Limnephilidae
Gen. sp.
- DIPTERA
- Anthomyiidae
Athericidae
Ceratopogonidae
Chironomidae
Culicidae *
Dolichopodidae
Empididae
Ephydriidae
- Limoniidae
Hexatoma sp.
Psychodidae
Simuliidae
Stratiomyidae
Scatophagidae
Sciomyzidae
Tabanidae
Tipulidae