

Étude écologique et hydrobiologique du réseau hydrographique des Sorgues (département du Vaucluse, France)

par Jean GIUDICELLI, Olivier ARNAUD, Christophe GARRONE & Gwenolé LE GUELLEC

Maison Régionale de l'Eau, Boulevard Grisolle F – 83670 Barjols, France
mrepaca@club-internet.fr

Mots-clés : réseau hydrographique atypique, hydrologie, régime thermique, chimie des eaux, invertébrés, zonation écologique.

Ce travail a pour but de présenter les caractéristiques environnementales et hydrobiologiques du réseau hydrographique des Sorgues (département du Vaucluse). Il est axé principalement sur l'étude des communautés des invertébrés aquatiques, restées inconnues jusqu'à présent. Les conditions générales (topographie, hydrologie, température de l'eau) font de ce réseau un système atypique et exceptionnel. Long de 36 km, il est situé en plaine, entre 150 et 25 m d'altitude, et les cours d'eau qui le constituent ne sont pas disposés selon le type classique, ramifié avec hiérarchisation des affluents. Cet hydrosystème est alimenté par la Fontaine de Vaucluse à très fort débit (module : $24 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; étiage : $5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), contrairement aux autres cours d'eau de la région pouvant aller jusqu'à l'assèchement complet, et il comprend : un chenal de 6 km, large et profond, la "Sorgue amont" ; un réseau de cours d'eau anastomosés dont les bras principaux sont la "Sorgue de Velleron" et la "Sorgue d'Entraigues" (correspondant à un vaste marécage drainé dès l'époque gallo-romaine) ; enfin un chenal terminal unique, la "Sorgue de Bédarrides", qui débouche dans l'Ouvèze, affluent du Rhône. D'autre part, les eaux sont fraîches, et la température varie relativement peu sur tout le cycle annuel.

Neuf stations de mesures et de prélèvements ont été prospectées, en mai et août 2000. L'inventaire hydrobiologique a fourni 112 taxons d'invertébrés dont 107 espèces. Cette faune est remarquable par sa diversité et la présence de 3 espèces endémiques dont l'une, *Rhyacophila vallisclusae*, est considérée comme une relique glaciaire. L'originalité des communautés d'invertébrés benthiques tient surtout à la présence d'un groupe d'espèces sténoèces crénobiontes et/ou rhithrobiontes qui, en Europe, vivent dans des cours d'eau relativement froids, d'altitude bien supérieure.

Les affinités écologiques et les relations entre les 9 stations et les 112 taxons ont été déterminées par une Analyse Factorielle des Correspondances. 4 groupes de stations et leur biocénotype ont été mis en évidence : ils correspondent aux 4 unités morphodynamiques des Sorgues. Le premier groupe réunit les deux stations de la Sorgue amont ; le biocénotype correspondant est constitué d'espèces sténothermes d'eau froide, caractéristiques du secteur initial (crénon + épithron) des réseaux hydrographiques. Le second groupe se compose des deux stations du secteur amont de la Sorgue de Velleron ; son biocénotype est composé d'espèces caractéristiques du rhithron *sensu lato*. Le troisième groupe réunit la station inférieure de la Sorgue de Velleron et les trois stations de la Sorgue d'Entraigues ; son contenu faunistique se compose d'espèces du rhithron et d'espèces ubiquistes : il correspond à un métarhithron + hyporhithron. En aval, la Sorgue de Bédarrides apparaît bien individualisée ; son peuplement est constitué d'espèces potamo-biontes ; ce secteur est un épipotamon.

Ecological and hydrobiological study of the Sorgues hydrographic network (department of Vaucluse, France)

Keywords: atypic hydrographic network, hydroecology (hydrology, water temperature, water chemistry), invertebrate communities, ecological zonation.

This work, mainly focused on the macroinvertebrate communities, is the first almost complete hydrobiological monograph of a special drainage network. The Sorgue hydrographic basin is entirely located in the department of Vaucluse (South-East France). The general conditions (topography, hydrology, water temperature) make it an atypic river system. This lowland hydrographic basin, is only 36 km long, between 150 and 25 m elevation a.s.l. The streams making up this network are not organized in a classical dendritic pattern, with a hierarchy of tributaries. It originates at one of the most important "sources vauclusiennes" in the world, the spring Fontaine de Vaucluse, fed by an exceptional karst system (area = 1,130 km², depth = 1 km). The mean discharge is 24 m³.s⁻¹, the minimum being 5 m³.s⁻¹. Spring water is directly discharged into a large stream channel (6 km long), the "upper Sorgue". At l'Isle-sur-la-Sorgue, the river flow is distributed into a network composed of modest-sized watercourses and of two main streams ("Sorgue de Velleron" and "Sorgue d'Entraigues"). This configuration is a man-made system : as early as the gallo-roman age, man has drained and managed this area which was a vast marshy lowland. The lowland streams combine to form the lowermost reach of the Sorgues system, a large river ("Sorgue de Bédarrides") characterized by sandy and muddy bed, and discharging into the Ouvèze river, a tributary of the Rhône. Hydrological and thermal stabilities are the most notable characteristics of the Sorgues hydrographic system. The different watercourses vary little in discharge all year round, unlike most of the southern European streams which have very low water levels or even dry up in Summer. Moreover, water temperature fluctuates by only a few °C all year round, being low in comparison with those of other lowland streams in South France.

Nine stations have been investigated in May and August 2000: two on the upper Sorgue, three on the Sorgue de Velleron, three on the Sorgue d'Entraigues, and one on the lower Sorgue. The macroinvertebrate community is remarkable for its diversity. 112 taxa including 107 species were collected. Three endemic species have been identified; their area is limited to the upper Sorgue. One of them, *Rhyacophila vallis-clausae*, appears to be a relic remnant of an ice age fauna. Moreover, the Sorgues benthic community includes many cold stenothermous species which are both inhabitants of cold springs and streams at higher altitude.

Ecological affinities and relations between the 9 stations and the 112 taxa have been determined by means of a Correspondence Analysis. Four faunal-stational clusters were defined; they are in accordance with the four morphodynamic units of the Sorgues system. The authors outline a zonation for this river system which corresponds roughly with the well-known zonation of running waters (ILLIES & BOTOSANU 1963). The first cluster comprises the stations of the upper Sorgue; the related faunal group (biocenotype) is centred on stenothermic crenophilous and rhithronic species; this initial sector is identified as the crenon plus the epirhithron. The second group includes the two upper stations of the Sorgue de Velleron ; the biocénotype includes species characteristics of the rhithron *sensu lato*. The third cluster includes the lower station of the Sorgue de Velleron plus the middle and the lower stations of the Entraigues branch. It is defined by a set of ubiquitous eurytopic species; it may be identified as the metarhithron plus hyporhithron. The fourth faunal cluster contains potamophilous species restricted to the lowermost section of the Sorgues basin, identified as the epipotamon.

1. Introduction

La Fontaine de Vaucluse, une des dix sources les plus importantes au monde par son débit (TRUC 1991), alimente un réseau de petits cours d'eau appelés dans le pays, « les Sorgues ». Le

réseau hydrographique des Sorgues se situe dans le département du Vaucluse ; il aboutit au-dessus d'Avignon dans la rivière Ouvèze, affluent de la rive gauche du Rhône.

Le réseau des Sorgues présente une grande richesse historique, écologique et hydrobiologique. Sur ses berges et dans son chenal, vivent une flore et une faune uniques en Provence et en région méditerranéenne. Ces richesses ont justifié l'inscription de la Sorgue dans le réseau européen Natura 2000.

La présente étude a plusieurs objectifs :

- exposer les caractéristiques et les particularités environnementales (hydrologiques, thermiques, hydrochimiques) d'un réseau hydrographique atypique et original ;
- présenter les caractéristiques de la faune aquatique des Sorgues et évaluer sa valeur patrimoniale en développant plus particulièrement la partie relative aux communautés d'invertébrés ;
- rechercher l'organisation spatiale du peuplement dans le réseau, en référence avec le système de zonation écologique des eaux courantes ;
- comparer l'état hydrobiologique actuel du réseau avec l'état dressé en 1972, lors d'une première étude.

Les investigations se sont déroulées dans une série de stations réparties sur les principaux chenaux du réseau, au cours de deux campagnes de mesures et de prélèvements.

2. État des connaissances écologiques et hydrobiologiques sur le réseau des Sorgues

Les données sont rares. La première étude a été réalisée, en 1972, par le Service Régional de l'Aménagement des Eaux (SRAE) ; elle se présente sous forme d'un rapport : "Réseau des Sorgues. Étude physico-chimique et hydrobiologique" (Gachelin & Legrand). Ce document concerne les principaux cours d'eau du réseau (9 stations sur la Sorgue de Velleron, 9 stations sur la Sorgue d'Entraigues). Il apportait le premier diagnostic sur la qualité écologique et hydrobiologique des Sorgues. L'objectif de l'étude était d'identifier les différents rejets polluants et d'évaluer leur impact sur le milieu récepteur.

À cet effet, un inventaire des invertébrés a été réalisé pour obtenir les valeurs de l'indice de qualité biologique alors utilisé, l'indice biotique (IB), basé sur cette catégorie d'organismes. Les déterminations se situaient au niveau du genre ou de la famille. L'intérêt faunistique du matériel récolté n'a pas été pris en compte et les résultats de ce rapport n'ont pas donné lieu à publication dans une revue scientifique. Par la suite, il n'y a pas eu de prospection pour connaître l'ensemble de la faune des invertébrés des Sorgues.

Plus récemment, des récoltes de Trichoptères dans la partie supérieure du réseau ont révélé la présence d'une dizaine d'espèces, dont une nouvelle pour la science (GIUDICELLI & BOTOSANEANU 1999).

Dans le cadre de l'élaboration du document d'objectif pour le site Natura 2000 des Sorgues, plusieurs campagnes de prélèvements de la faune des invertébrés ont eu lieu en 2000 et en 2001. Ce travail a été confié à la Maison Régionale de l'Eau et les résultats en sont exposés dans le présent article.

En ce qui concerne le peuplement piscicole, on dispose de données assez complètes grâce à des études réalisées (en 1995 et 2006) par Patrick Berrebi et son équipe (Institut des Sciences de

l'Évolution de Montpellier) pour le compte de la Fédération Départementale de Pêche, et par le Conseil Supérieur de la Pêche.

3. Organisation spatiale du réseau

Le système des Sorgues constitue un réseau atypique ; il diffère des autres réseaux du Sud-Est de la France par son organisation spatiale, son régime hydrologique et son régime thermique.

Dans la généralité des cas, un réseau hydrographique est inclus dans un bassin versant. Les eaux se rassemblent en un système d'affluents débouchant les uns dans les autres pour former le cours d'eau principal. Les réseaux s'organisent alors selon un dessin ramifié. Le débit augmente au niveau de chaque confluence. Par rapport à ce schéma classique, le réseau des Sorgues présente plusieurs particularités physiographiques :

- sa source, la Fontaine de Vaucluse, est une des plus importantes exurgences du monde ; elle draine un immense réservoir calcaire (1130 km² sur un kilomètre d'épaisseur : BLAVOUX et al 1992) ;
- l'absence de confluence principale ;
- la longueur du réseau est modeste (36 km) ;
- il coule entièrement dans une vallée de faible altitude ; le dénivelé entre la source et l'embouchure est de 130 m ; la pente moyenne est de 3,47 ‰.

Le premier vers du poème «La Sorgue» de René Char, grand poète contemporain qui a vécu à l'Isle-sur-la-Sorgue, résume l'originalité du réseau : « *Rivière trop tôt partie, d'une traite, sans compagnon* ».

Dans son organisation spatiale (Fig. 1), le réseau se présente ainsi :

1/ Le secteur initial : c'est la « Sorgue amont », exutoire de la Fontaine de Vaucluse, constituée d'un chenal unique large (10-15 m) et profond, long de 6 km environ.

2/ La partie moyenne : à partir de la localité de l'Isle-sur-la-Sorgue, s'est constitué un système de chenaux anastomosés, réseau de plus de 500 km de cours d'eau, résultant des travaux de drainage d'anciens marécages.

Initialement, la plaine de la Sorgue était un vaste marécage où confluaient l'Ouvèze, le Coulon, la Sorgue, la Nesque. Cet ensemble franchissait ensuite le seuil de Vedène pour aller rejoindre le Rhône au Nord de l'emplacement actuel d'Avignon.

Dès l'époque gallo-romaine, les premiers aménagements ont été réalisés pour drainer ces zones marécageuses et répartir une ressource abondante pour les besoins des populations, pour l'agriculture et, plus tard, pour l'industrie. Au siècle dernier, près de 150 établissements exploitaient l'énergie motrice fournie par les Sorgues.

La présence des ouvrages (seuils, déversoirs, vannages) a permis de transformer la rivière en un vaste réseau de cours d'eau. Ainsi, la Sorgue est devenue « *les Sorgues* », réseau hydrographique entièrement d'origine anthropique, comprenant une trentaine de bras. Au lieu dit « Partage des eaux », au niveau de l'Isle-sur-la-Sorgue, la Sorgue amont se divise en deux bras principaux : la Sorgue d'Entraigues, et la Sorgue de Velleron. Ils coulent sur un substrat sédimentaire de sables, graviers, cailloutis ; les éléments les plus fins se situent dans le bras d'Entraigues, les éléments les plus grossiers dans le bras de Velleron. Des bras de moindre importance s'insèrent dans le système.

3/ La Sorgue terminale, ou « Sorgue de Bédarrides », formée par la jonction des deux

bras principaux, est un chenal unique, long de 1,2 km, large et profond avec un écoulement lent, un fond limoneux-vaseux, des eaux troubles. Elle débouche dans le cours inférieur de l'Ouvèze.

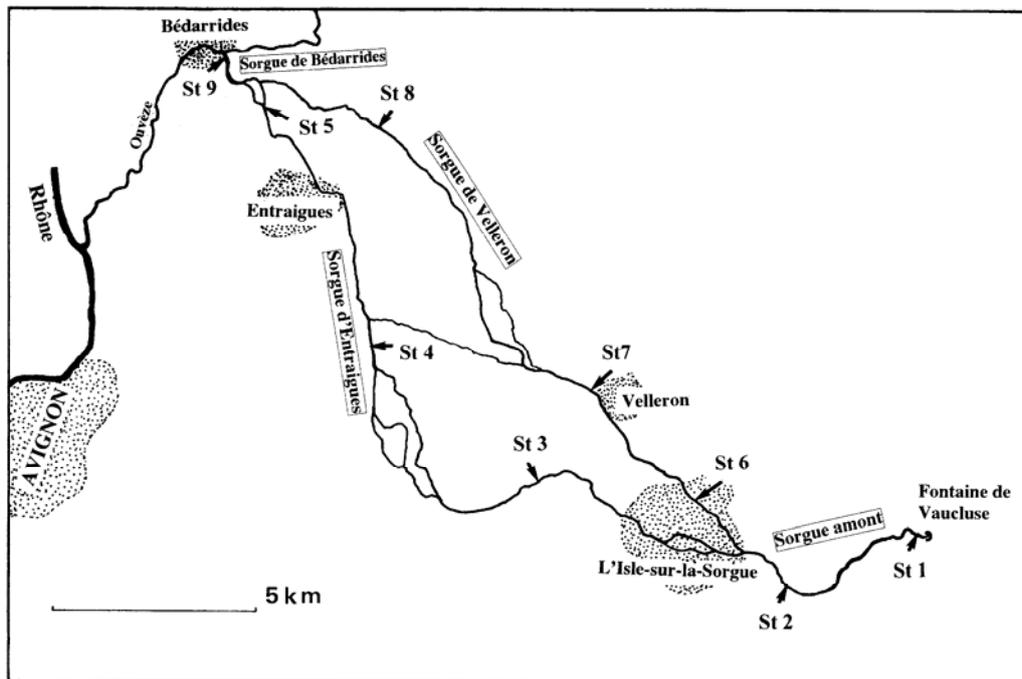


Figure 1. Carte du Bassin des Sorgues, avec l'emplacement des stations.

Figure 1. Map of the Sorgues catchment and sampling sites.

4. Stations d'études

Neuf stations ont été retenues (Fig.1). Elles prennent en compte les quatre parties principales du réseau.

1/ la Sorgue amont

- station 1 : au-dessus de la localité de Fontaine-de-Vaucluse, altitude : 150 m.
- station 2 : entre Mousquety et la pisciculture de la Fédération Départementale de Pêche, au lieu dit « Souspiron », altitude : 57 m.

2/ la Sorgue d'Entraigues

- station 3 : en amont de la commune du Thor, altitude : 52 m.
- station 4 : au niveau de la commune de Saint-Saturnin-lès-Avignon, à l'aval immédiat du pont de la RD 28, altitude : 39 m.
- station 5 : entre Entraigues et Bédarrides, au lieu dit « les Grandes Terres », altitude : 26 m.

3/ la Sorgue de Velleron

- station 6 : sur la commune de l'Isle-sur-la-Sorgue, au niveau du lieu dit « Clos du Cardinal », altitude : 56 m.
- station 7 : sur la commune de Velleron, à l'aval immédiat du pont de la RD1, altitude : 52 m.
- station 8 : sur les communes de Monteux (rive droite) et d'Althen (rive gauche), à l'aval immédiat du pont SNCF, près du lieu dit « la Grangette », altitude : 30 m.

4/ la Sorgue terminale (Sorgue de Bédarrides)

- station 9 : sur la commune de Bédarrides, altitude : 25 m.

N. b. : les stations 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9 ont été prises en compte dans l'étude SRAE de 1972.

5. Campagnes de prélèvements

Deux campagnes de prélèvements et de mesures sur le terrain :

- au printemps (11-17 mai 2000) ;
- en été (18-21 août 2000).

D'autres prélèvements d'invertébrés ont été réalisés en 2001 dans ces stations, au cours de deux campagnes (9-10 juillet, 30-31 août), suite à la demande du Syndicat Mixte du Bassin des Sorgues, en prévision de la mise en place d'un réseau de suivi de la qualité des eaux.

6. Données hydroécologiques

6.1. Régime hydrologique

Le réseau s'inscrit dans les Préalpes du Sud, où la plupart des cours d'eau ont un régime hydrologique très contrasté, avec de faibles débits d'étiage, pouvant aller jusqu'à l'assèchement complet, et des crues dévastatrices.

Le système des Sorgues a un régime plus régulier, exceptionnel dans le contexte régional ; il bénéficie d'un débit important toute l'année.

À la source (Fontaine-de-Vaucluse), les valeurs caractéristiques de débit sont les suivantes : module : $24 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; débit d'étiage : $5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; crue décennale : $87 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Les mesures réalisées par la DIREN PACA (Direction Régionale de l'Environnement de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur) en août 1998 donnent les valeurs suivantes :

- $5,75 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ sur la Sorgue amont à Fontaine-de-Vaucluse,
- entre 1 et $5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ sur le bras d'Entraigues,
- entre 0,5 et $1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ sur le bras de Velleron,
- $3,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ sur la Sorgue terminale.

Dans la partie du réseau qui comprend la Sorgue amont et la Sorgue de Velleron, l'habitat aquatique est constitué de deux types de substrats qui sont disposés comme les éléments d'une mosaïque :

- 1/ les substrats érodés (constitués de blocs, cailloux, galets) ;
- 2/ les substrats déposés (graviers, sables, limons) ; ils permettent l'enracinement de végétaux aquatiques.

Dans la Sorgue d'Entraigues, les substrats déposés occupent la majeure partie du lit ; ils sont à l'origine d'un grand développement des herbiers.

Dans la Sorgue terminale, la profondeur et la turbidité de l'eau empêchent l'installation des herbiers.

6.2. Régime thermique

L'originalité écologique majeure des Sorgues réside dans les conditions thermiques (Fig. 2). L'origine karstique des eaux et l'importance de la masse d'eau véhiculée interviennent pour maintenir des valeurs de température relativement basses :

- Sorgue amont : entre 12 et 12,5 °C en mai ; entre 13 et 15 °C en août ;
- bras d'Entraigues et de Velleron : entre 13 et 15,5 °C en mai ; entre 15 et 22,5 °C en août ;
- Sorgue terminale : 16,4 °C en mai ; 22,3 °C en août.

L'écart thermique entre l'émergence des eaux (station 1) et les stations supérieures des deux bras (stations 3 et 6) est faible (inférieur à 1,3 °C) ; il augmente régulièrement vers l'aval, surtout en été (Fig. 2).

Le régime thermique des Sorgues apparaît exceptionnel dans le contexte hydrologique et climatique régional.

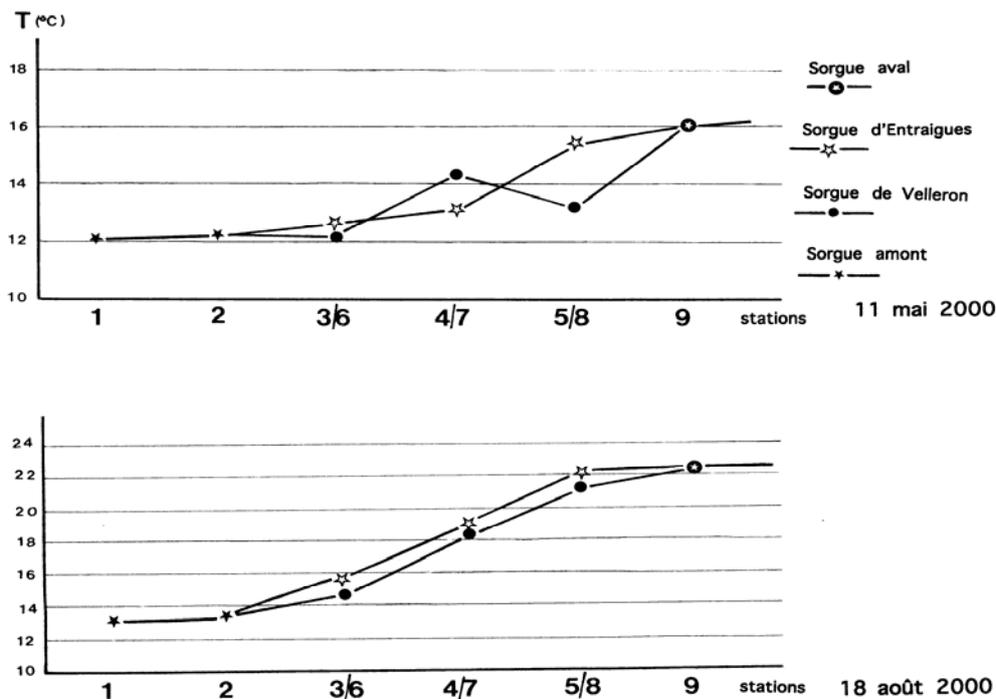


Figure 2. Évolution longitudinale de la température de l'eau (valeurs maximales).

Figure 2. Upstream-downstream evolution of the water temperature (maximal values).

6.3. Qualité chimique des eaux.

Oxygène dissous

Sur l'ensemble du réseau, les teneurs en oxygène dissous sont proches ou dépassent le niveau de saturation (entre 95 % et 120 %).

Les eaux sont bien oxygénées du fait de l'action conjointe de 3 facteurs : le brassage des eaux, les basses valeurs de la température et l'activité photosynthétique des herbiers de macrophytes aquatiques, très abondants dans ce réseau.

L'étude du SRAE de 1972 mentionnait des déficits sévères en oxygène dissous sur la Sorgue de Velleron, en aval du rejet de l'usine Rousselot (entre 30 % et 65 % de la saturation au niveau de la Foulquette et du pont du Thor). Ces déficits avaient pour origine une forte pollution par des rejets matière organique (cette usine était spécialisée dans la production de gélatine).

Les résultats actuels montrent que la situation est devenue normale dans ce secteur.

pH

Il varie entre 7,6 et 8,2 sur l'ensemble du linéaire, valeurs normales pour des cours d'eau en région calcaire.

Conductivité

Les eaux des Sorgues sont très minéralisées. La conductivité électrique est comprise entre 360 et 600 μS . Les valeurs les plus élevées (supérieures à 500 μS) ont été mesurées dans la Sorgue de Velleron et à la station 9.

Sels de calcium

Les eaux sont riches en bicarbonates de calcium (bicarbonates : 250 à 270 mg.l^{-1} ; calcium : 90 à 200 mg.l^{-1}). La richesse des eaux en sels de calcium induit une productivité biologique élevée. Elle favorise et explique le fort développement de certains groupes (algues et végétaux aquatiques, mollusques, crustacés).

Composés de l'azote et du phosphore

Les résultats des analyses réalisées ces dernières années par la DIREN indiquent des teneurs normales en sels d'azote et de phosphore :

- nitrates : de 2,5 à 5 mg.l^{-1} ; nitrites et sels ammoniacaux absents ;
- orthophosphates : < 0,01 mg.l^{-1}

L'étude de 1972 révélait un niveau critique de pollution dans la Sorgue de Velleron du fait des rejets domestiques et industriels :

- nitrates : 6 à 12 mg.l^{-1} ; sels ammoniacaux : 0,5 à 3,2 mg.l^{-1}
- orthophosphates : 0,5 à 1,7 mg.l^{-1} .

7. Les biocénoses aquatiques

Le régime thermique des Sorgues, exceptionnel dans le contexte régional, détermine un peuplement propre à cet hydrosystème dont on ne trouve pas d'équivalent dans les cours d'eau de plaine du Sud de la France.

Au plan hydrobiologique, le réseau est remarquable par :

- la richesse du peuplement ichtyologique avec une qualité salmonicole exceptionnelle ;
- la diversité de la faune d'invertébrés ;
- la présence d'espèces endémiques et d'espèces rares ;
- un important cortège d'espèces sténothermes qui ont pour habitat normal les cours d'eau de montagne.

7.1. Le peuplement piscicole

Le réseau des Sorgues, bien qu'étant un système de plaine, est classé en première catégorie piscicole du fait de la dominance des salmonidés (truite *fario* et ombre commun) sur les trois quarts de son linéaire. Cette situation est unique en région méditerranéenne. Elle est liée aux caractéristiques du milieu aquatique : eau fraîche toute l'année, bien oxygénée et de bonne qualité.

Des études sur la population de truite *fario* de la Sorgue (BERREBI 1995 ; BERREBI & LASSERRE 2006) ont permis d'identifier, par des marqueurs enzymatiques, une souche méditerranéenne autochtone.

La Sorgue est d'autre part le seul cours d'eau du Sud de la France qui héberge une population autochtone d'ombre commun (*Thymallus thymallus*).

L'inventaire piscicole compte 19 espèces.

Le Plan Départemental pour la Protection du Milieu Aquatique et la Gestion des Ressources Piscicoles des Sorgues découpe le réseau en 3 secteurs, chacun doté d'un peuplement caractéristique :

- la **Sorgue amont**, de la source au Partage des Eaux : truite *fario*, chabot, vairon, blageon, ombre commun, épinoche ;

- la **Sorgue médiane**, du Partage des eaux (au niveau de l'Isle-sur-la-Sorgue) à la route départementale RD 942 (au niveau d'Entraigues) : truite *fario*, blageon, chevesne, barbeau, loche franche, spirilin, anguille, épinoche, hotu, toxostome, lamproie de Planer, bouvière ;

- la **Sorgue aval**, davantage cyprinicole : goujon, chevesne, ablette, carpe commune, gardon.

Dans la directive Natura 2000, cinq espèces (chabot, blageon, toxostome, bouvière, lamproie de Planer) sont d'intérêt communautaire.

7.2. Le peuplement d'invertébrés

7.2.1. Méthodes de prélèvements

Trois types de prélèvements ont été réalisés :

- quantitatifs : les invertébrés ont été récoltés avec un filet Surber, à vide de maille de 250 μm , pour une surface échantillonnée de 0,1 m^2 . Chaque prélèvement correspond à un habitat défini par son couple substrat-vitesse. Selon l'hétérogénéité du substrat, trois à cinq habitats ont été identifiés et échantillonnés par station.

- semi-quantitatifs : dans la plupart des stations, chaque série de prélèvements quantitatifs a été complétée par un dragage du substrat sur une longueur de 5 m et une largeur de 0,33 m ; ces prélèvements apportent des informations complémentaires sur la richesse faunistique et sur la

structure des peuplements.

- qualitatifs : au filet entomologique et au piège lumineux (chasses de nuit), pour la capture des insectes adultes.

7.2.2. Données globales

L'inventaire faunistique et les effectifs de chaque taxon (espèce, genre, famille, ordre) figurent dans l'Annexe 1.1 à 1.4 (les valeurs de densité correspondent à une surface de substrat de 1 m²).

Les peuplements sont marqués par une forte densité et une richesse taxonomique élevées, supérieures à celles relevées dans les autres cours d'eau de la région à altitude comparable.

	Stations	1	2	3	4	5	6	7	8	9
mai	densité	4090	15490	9183	5370	7153	8274	11824	7537	8499
	richesse	35	32	28	23	21	30	43	29	32
août	densité	3897	15843	7966	17188	8306	10608	10320	9430	2219
	richesse	36	35	37	36	40	44	49	36	35

Figure 3. Densité/m² et richesse taxonomique dans les 9 stations aux 2 campagnes de prélèvements.

Figure 3. Density/m² and taxonomic richness at the 9 stations in May and August.

L'inventaire compte 112 taxons d'invertébrés dont 107 espèces (6 Triclades, 7 Hirudinées, 16 Gastéropodes, 2 Bivalves, 3 Amphipodes, 2 Isopodes, 4 Odonates, 12 Éphéméroptères, 3 Plécoptères, 29 Trichoptères, 11 Coléoptères, 1 Hétéroptère, 11 Diptères). Les Oligochètes, Hydracariens et Chironomidae n'ont pas été déterminés.

Certains groupes faunistiques occupent une position dominante dans la structure du peuplement du fait de leur forte densité et/ou de leur richesse taxonomique. Des particularités liées à la chimie des eaux ou à leur qualité expliquent ces situations de dominance.

1/ La forte minéralisation, en particulier les concentrations élevées en bicarbonates et en calcium, favorise la prolifération de certains groupes d'invertébrés tels que :

- les Gammarus qui constituent entre 37 et 43% de l'effectif total dans la station 1, entre 78 et 83% à la station 2, et qui se maintiennent avec de fortes densités dans toutes les autres stations de l'aval.

- les Gastéropodes et les Coléoptères Elmidae bien représentés, en espèces et en effectifs (entre 500 et 1800 individus/m²).

2/ L'enrichissement des eaux en matière organique (à l'aval de l'Isle-sur-la-Sorgue) est à l'origine du développement de certains taxons considérés comme saprophytes :

- les Diptères Chironomidae, présents dans toutes les stations, augmentent fortement en densité aux stations 6 et 7 (entre 700 et 5350 individus/m²).

- les Diptères Simuliidae et les Trichoptères du genre *Hydropsyche*, peu présents dans le cours supérieur, réalisent des populations importantes dans les stations 4, 5, 6, 7 et 9.

7.2.3. Valeur patrimoniale du peuplement

La plupart des groupes taxonomiques récoltés au cours des deux campagnes ont été déterminés au niveau de l'espèce, avec l'aide d'Alain Thomas (Université Paul Sabatier, Toulouse) pour les Éphéméroptères, Lazare Botosaneanu (Zoölogisch Museum, Amsterdam) pour les Trichoptères et Dirk Platvoet (idem) pour les Crustacés Amphipodes.

L'originalité et la valeur de la faune d'invertébrés des Sorgues tiennent à la présence d'espèces remarquables et exceptionnelles dans le contexte bioclimatique et hydrobiologique régional.

Des espèces endémiques

Deux endémiques ont déjà été décrites sur du matériel provenant du cours supérieur.

1/ *Bythinella sorgica* Coutagne, 1881 (Gasteropoda, Bythinellidae)

Ce petit gastéropode est connu uniquement de « la Fontaine-de-Vaucluse, la Sorgue et de sources du village des Angles, près d'Avignon » (GERMAIN 1931). Il est abondant dans les stations 1 et 2 où il atteint une densité de l'ordre de 850 ind/m² dans son habitat d'élection (les herbiers de macrophytes aquatiques à *Apium nodiflorum*). Il devient rare en aval, plus rare dans la Sorgue d'Entraigues que dans la Sorgue de Velleron.

2/ *Rhyacophila vallisclusae* Giudicelli & Botosaneanu, 1999 (Trichoptera, Rhyacophilidae)

Ce trichoptère a une distribution très étroite dans le réseau, limitée au cours supérieur (stations 1, 2, 6). Espèce nouvelle pour la science et endémique de la Sorgue, elle est remarquable par la brachyptérie accentuée de tous les individus adultes qui, incapables de voler, courent rapidement à la surface de l'eau. Brachyptérie et locomotion sur l'eau représentent un cas unique chez *Rhyacophila*, genre à distribution holarctique qui compte plus de 700 espèces. Chez les Trichoptères, la brachyptérie est connue seulement dans quelques genres. Elle est interprétée comme une adaptation au froid, car elle se manifeste uniquement chez des espèces de haute montagne et chez des espèces vivant à haute latitude.

Les caractéristiques thermiques du cours supérieur de la Sorgue (température des eaux comprises entre 12 et 15°C), exceptionnelles dans le contexte climatique régional, sont compatibles avec la présence d'une espèce qui, comme en témoigne sa brachyptérie, est adaptée à la vie dans un milieu caractérisé par des eaux à température basse et constante.

La haute Sorgue fonctionne comme un milieu refuge pour une espèce qui probablement a eu une répartition géographique plus large pendant les périodes froides du quaternaire. *R. vallisclusae* aurait acquis son caractère brachyptère pendant les glaciations quaternaires et l'a conservé dans l'habitat refuge que représente le cours supérieur de la Sorgue. Cette nouvelle espèce correspond bien à la définition d'une relique glaciaire.

En aval de la station 6, on observe la disparition totale de *R. vallisclusae* et son remplacement par une espèce congénère : *R. dorsalis*.

3/ le genre *Gammarus* (Crustacea Amphipoda)

Trois espèces sont représentées dans le matériel récolté qui a été examiné par D. Platvoet :

- *G. wautieri*, espèce connue de l'Europe moyenne (France, Alpes, Allemagne de l'Ouest), est présente dans toutes les stations, sauf la station 1.
- *G. stupendus*, espèce décrite par PINKSTER en 1983, connue uniquement du Sud-Est de la France (départements du Var et des Bouches-du-Rhône), est une endémique à la Provence ; elle

n'a été trouvée qu'à la station 2 où elle coexiste avec *G. wautieri*.

- une espèce, distincte de la précédente et provisoirement identifiée comme « *cf. balcanicus* » (*G. balcanicus* n'est pas connue de France), vit uniquement à la station 1. Selon D. Platvoet, ce serait une espèce nouvelle pour la science.

Une espèce rare

- *Emmericia patula* (Brumati, 1838) (Gasteropoda : Emmericiidae)

Ce gastéropode, présent dans toutes les stations, est plus abondant dans le cours moyen (stations 4, 7, 8).

L'espèce habite exclusivement les cours d'eau issus de grandes exurgences karstiques (sources vauclusiennes). Elle a une répartition géographique restreinte et discontinue :

- des cours d'eau karstiques de la chaîne Dinarique : Venétie, Frioul, Istrie (GIUSTI & PEZZOLI 1980) ;

- une source du Sud de l'Allemagne (BOETERS & HEUSS 1985) ;

- deux rivières karstiques du Sud de la France : la Siagne, la Sorgue, seules stations de l'espèce pour la France (MOUTHON 1986).

Des espèces remarquables dans le contexte altitudinal du réseau

Elles se trouvent, dans le réseau des Sorgues, dans des limites altitudinales bien inférieures à celles qu'elles occupent dans d'autres cours d'eau d'Europe et dans ceux de la région. Leur présence dans le réseau des Sorgues s'explique par l'originalité du régime thermique des eaux.

Les espèces suivantes entrent dans cette catégorie :

- *Polycelis felina* (Planaire).

Elle est caractéristique des sources et des torrents de montagne : elle remonte jusqu'à 2000 m dans les Alpes et a même été trouvée à 2490 m les Pyrénées (THOMAS 1981). Dans le réseau des Sorgues, elle se cantonne dans quelques stations de l'amont : elle est constante et abondante dans le cours supérieur (stations 1, 2), et devient plus rare dans les stations amont des deux Sorgues (stations 3 et 6).

- *Alainites muticus* (Éphéméroptère).

Selon l'inventaire des Éphémères de France, l'espèce a été récoltée entre 6 et 2390 m (BRULIN 2007), avec des fréquences d'occurrence relatives de : 46,5 % dans les petites et moyennes rivières et le cours moyen des torrents, 46 % dans les ruisseaux et le cours amont des torrents, 7 % dans les grandes rivières de piémont. Elle est peu abondante dans la Sorgue, présente seulement dans le cours supérieur (stations 1 et 2).

- *Ecdyonurus venosus* et *Rhithrogena cf. semicolorata* (Éphéméroptères).

Ces deux espèces rhéophiles sont cantonnées dans la Sorgue amont (stations 1, 2) et le cours supérieur de la Sorgue de Velleron (stations 6 et 7). L'inventaire des Éphémères de France mentionne la présence d'*E. venosus* entre 5 et 1100 m d'altitude (BRULIN 2007). Dans les Pyrénées, elle vit avec une espèce du groupe *semicolorata* dans les torrents et les rivières de piémont (THOMAS 1968), n'excédant pas 19-20 °C.

- *Agapetus fuscipes* (Trichoptère).

Cette espèce, qui a une vaste répartition en Europe occidentale, vit dans les sources, dans les ruisseaux et rivières de montagne, jusqu'à 1500 m d'altitude. Dans le Sud-Est de la France, elle a

été récoltée uniquement dans les sources karstiques. Dans la Sorgue, elle se cantonne dans le secteur initial, avec des populations importantes dans les stations 1 et 2.

- *Tinodes dives* (Trichoptère).

Son aire de répartition couvre d'Europe moyenne et méditerranéenne. L'espèce vit dans les sources et les ruisseaux ombragés de l'épirhithron ; dans les Pyrénées sa distribution altitudinale est comprise entre 100 et 1800 m (DÉCAMPS 1968). Dans les Sorgues, elle vit dans le secteur initial (st 1, 2) et le secteur amont de la Sorgue de Velleron (st 6, 7).

- *Silo nigricornis* (Trichoptère).

L'espèce a une vaste répartition européenne. En Europe moyenne, elle caractérise la zone amont des rivières (épirhithron). Dans les Pyrénées, elle colonise les ruisseaux et les petites rivières de moyenne altitude et remonte jusqu'à 1000 m (DAMPS 1968). En Provence, elle peuple uniquement les sources et leurs émissaires (GIUDICELLI et al 1980). Dans les Sorgues, son habitat est bien plus étendu : le cours supérieur (st 1, 2) et la majeure partie des Sorgues de Velleron et d'Entraigues (st 6, 7, 8, 3, 4).

- *Elmis aenea*, *Limnius volkmari* (Coléoptères Elmidae).

Ces coléoptères vivent dans les eaux courantes riches en oxygène. Dans les Pyrénées, le piémont et la plaine de la Garonne, la première espèce a été récoltée entre 140 et 2340 m d'altitude, la seconde entre 140 et 1400 m (THOMAS & BERTHÉLEMY 1991). En Provence, elles se cantonnent dans les sources et les cours supérieurs (GIUDICELLI et al 1980). Dans le réseau des Sorgues, elles se trouvent dans le cours supérieur (st 1, 2) et dans le secteur amont des deux Sorgues (st 6, 7, 3, 4).

7.2.4. Zonation écologique

En 1963, ILLIES & BOTOSANEANU ont proposé un schéma de zonation écologique des eaux courantes basé, d'une part sur l'importance du débit et sur la structure du réseau hydrographique et, d'autre part sur la nature du peuplement d'invertébrés. Dans leur schéma, devenu classique et largement utilisé en Europe, ils distinguent 6 zones qui se succèdent d'amont en aval : crénon (= zone des sources) ; épirhithron, métarhithron, hyporhithron (= ruisseaux et rivières) ; épipotamon, métapotamon (= fleuve).

Chaque zone possède un peuplement caractéristique d'invertébrés et de poissons. Les limites entre les zones sont déterminées par la présence des confluences principales.

Par rapport à ce schéma, le réseau des Sorgues présente trois particularités physiographiques importantes :

- il coule entièrement dans une vallée de basse altitude ;
- la source présente un débit très important ;
- il n'y a pas de confluences principales.

En conséquence, ici, le facteur hydraulique, au sens habituel du terme, n'est pas le facteur essentiel ; dans ce réseau, la zonation écologique est induite par le facteur thermique.

Pour rechercher les affinités spécifiques entre les taxons d'invertébrés et les affinités coenotiques entre les stations de prélèvements, nous avons utilisé une méthode d'analyse multivariée : l'analyse factorielle des correspondances ou AFC (BENZÉCRI et coll. 1973).

La matrice des données est un tableau à double entrée : 9 colonnes correspondant aux stations et 107 lignes aux espèces.

Les résultats de l'analyse sont exposés :

- sur le graphique (Fig. 4A) qui représente la projection des stations sur le plan factoriel F1 X F2, construit avec les deux premiers axes ;
- sur le dendrogramme de la classification hiérarchique des stations (Fig. 4B).

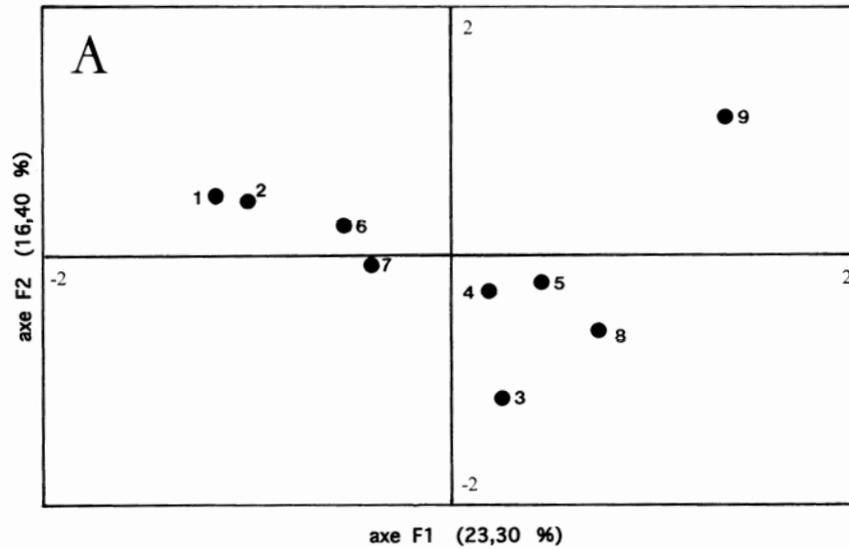


Figure 4A. Diagramme d'affinités entre les stations (projection sur le plan des axes 1-2 de l'AFC).

Figure 4A. Affinities between sites, projected on plane 1-2 of the Factorial Analysis.

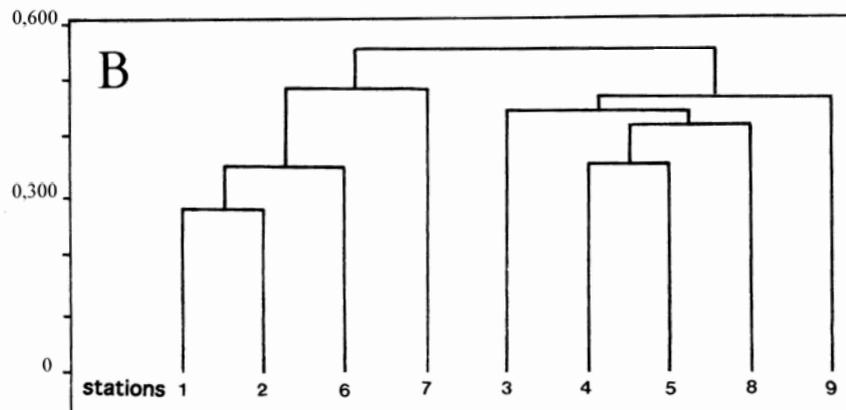


Figure 4B. Classification hiérarchique des stations.

Figure 4B. Hierarchical cluster analysis of the sites.

Malgré la faible amplitude altitudinale totale, la projection des points stations sur l'axe 1 suit l'ordre amont-aval. Graphique et classification hiérarchique dégagent 4 unités biocénotiques (groupes d'espèces) et 4 groupes de stations qui correspondent aux 4 unités morphodynamiques précédemment décrites.

1/ Les stations de la Sorgue amont (st 1 et 2) sont bien isolées au plan faunistique ; le biocénotype ou groupement d'espèces correspondant se compose de : *Polycelis felina*, *Batracobdella verrucata*, *Gammarus balcanicus*, *Alainites muticus*, *Ecdyonurus venosus*, *Leuctra fusca*, *Dinocras cephalotes*, *Rhyacophila vallisclausae*, *Agapetus fuscipes*, *Tinodes dives*, *T. maclachlani*, *Allogamus auricollis*, *Simulium ornatum*.

Cet ensemble réunit des espèces caractéristiques du secteur initial (crénon + épirhithron) des réseaux hydrographiques du Sud-Est de la France.

2/ Les stations du secteur amont de la Sorgue de Velleron (st 6 et 7) constituent le deuxième groupe ; le biocénotype correspondant est constitué de : *Helobdella stagnalis*, *Dina lineata*, *Lymnaea peregra*, *Ancylus fluviatilis*, *Valvata piscinalis*, *Gammarus stupendus*, *Baetis lutheri*, *Ephemera danica*, *Polycentropus flavomaculatus*, *Hydropsyche siltalai*, *Lepidostoma hirtum*, *Silo nigricornis*, *Odontocerum albicorne*, *Elmis aenea*, *Limnius volkmari*, *Riolus subviolaceus*, *Simulium lineatum*.

Ce sont toutes des espèces du rhithron *sensu lato*.

3/ Les trois stations de la Sorgue d'Entraigues (st 3, 4, 5) et la station aval de la Sorgue de Velleron (st 8) forment un groupe en position intermédiaire. Les caractéristiques abiotiques de ces stations sont de type rhithronique pour la température, et aussi de type potamique pour le courant (modéré ou lent) et le substrat (sableux et limoneux). Le groupement faunistique qui s'y rattache est composite, constitué :

- d'espèces du rhithron moyen et inférieur (méta-hyporhithron) : *Elmis aenea*, *Silo nigricornis*, *Sericostoma galeatum* ;

- d'espèces potamiques : *Leuctra geniculata*, *Lype phaeopa*, *L. reducta*, *Ceraclea dissimilis*, *Athripsodes bilineatus*, *Goera pilosa*, *Simulium lineatum*, *Atrichops crassipes*.

- d'une majorité d'espèces eurytopes : *Theodoxus fluviatilis*, *Ancylus fluviatilis*, *Serratella ignita*, *Baetis rhodani*, *Rhyacophila dorsalis*, *Hydroptila sparsa*, *Tinodes waeneri*, *Psychomyia pusilla*, *Simulium intermedium*.

4/ La station 9, isolée sur le plan des axes 1-2 ainsi que sur le dendrogramme, est originale par son contenu faunistique constitué d'espèces du potamon : *Dugesia lugubris*, *D. tigrina*, *Sphaerium* sp., *Boyeria irene*, *Helichus substriatus*, *Stenelmis canaliculata*, *Oulimnius rivularis*, *Hydropsyche exocellata*, *Cyrnus trimaculatus*, *Simulium erythrocephalum*.

7.2.5. Le peuplement d'invertébrés des différentes Sorgues

1/ La Sorgue amont

Elle correspond à la zone du rhithron des Sorgues. Les espèces d'invertébrés de ce secteur (stations 1 et 2) sont des sténothermes d'eau froide ou colonisent tout au plus des petites rivières de piémont n'excédant pas une température de l'ordre de 19 à 20°C.

C'est le peuplement qui présente la plus grande originalité faunistique de l'hydrosystème, car il héberge un lot d'espèces qui n'ont pas été récoltées -ou qui sont rares- dans les autres parties du réseau : *Polycelis felina*, *Bithynella sorgica*, *Gammarus* sp (cf *balcanicus*), *G. stupendus*,

Alainites muticus, *Ecdyonurus venosus*, *Rhithrogena cf semicolorata*, *Dinocras cephalotes*, *Rhyacophila vallisclausae*, *Agapetus fuscipes*, *Silo nigricornis*.

Une des particularités de la partie supérieure des Sorgues est la présence très discrète des Plécoptères. Seulement deux espèces (*Leuctra fusca* et *Dinocras cephalotes*) sont présentes, avec de faibles effectifs. Cette situation est fort différente de celle du cours supérieur de rivières du Sud-Est de la France issues de grandes sources vauclusiennes. Ainsi, dans la Siagne (Alpes-Maritimes), dont le cours supérieur présente des caractéristiques thermiques et hydrochimiques similaires à celles de la haute Sorgue, se trouvent 5 espèces de Plécoptères, représentées par des populations beaucoup plus importantes en effectifs. Cela dit, l'ordre des Plécoptères compte un grand nombre d'espèces volant exclusivement en fin d'hiver ou au début du printemps, période non recouverte par les campagnes de prélèvement de la présente étude.

Le peuplement de la station 1 (située à l'aval immédiat du rejet de la station d'épuration du village de Fontaine-de-Vaucluse) ne montre pas d'impact significatif des rejets. On remarque uniquement un fort développement des populations des Gastéropodes des genres *Bithynella* et *Theodoxus*. Ces organismes se nourrissent des algues unicellulaires fixées sur les cailloux du lit ; il est probable que les rejets de la station d'épuration, en accroissant la production algale, induisent la prolifération de ces Gastéropodes.

À la station 2, le peuplement atteint les effectifs les plus élevés du réseau (> 15000 ind/m², soit 4 à 5 fois plus qu'à la station 1) ; cela est dû à une forte densité des populations de *Gammarus*.

La diversité taxonomique de la Sorgue amont est moyenne (50 taxons). Ceci explique que la note de qualité biologique du milieu (IBGN) n'atteint pas des valeurs maximales (15/20 pour les deux stations).

2/ La Sorgue de Velleron

Elle héberge les communautés d'invertébrés les plus diversifiées du réseau des Sorgues :

- richesse taxonomique à l'échelle du secteur : 64 taxons en mai, 66 taxons en août ;
- richesse taxonomique à l'échelle de la station : 29 à 43 taxons en mai, 36 à 49 taxons en août.

La haute qualité du peuplement relève de deux causes :

- a) la faune réunit la plupart des espèces du rhithron présentes dans les stations amont et aussi des espèces eurytopes qui constituent l'élément dominant du cours moyen et inférieur ;
- b) l'habitat aquatique est très diversifié - résultat de multiples combinaisons du couple substrat/vitesse du courant, de l'alternance des radiers des mouilles, de l'importance et de la variété des herbiers (algues filamenteuses, mousses, phanérogames).

En aval de l'Isle-sur-la-Sorgue, le peuplement des stations 6 et 7 indique une certaine eutrophisation de la rivière, comme en témoigne la prolifération des invertébrés saprophiles (Diptères Simuliidae et Chironomidae, Trichoptères du genre *Hydropsyche*).

La qualité biologique du milieu s'exprime aussi à travers l'IBGN. Les valeurs de cet indice, obtenues à la station 7 (19/20 en juillet 2001 et en août 2001), sont les plus élevées pour l'ensemble du réseau des Sorgues. En aval de la confluence de la Nesque, la qualité biologique de la rivière reste excellente (15/20 en juillet, 17/20 en août). A notre connaissance, on n'a jamais relevé de notes IBGN aussi hautes pour un cours d'eau de plaine dans le Sud de la France.

3/ La Sorgue d'Entraigues

Le traitement des données biologiques a montré l'originalité de cette Sorgue au plan biocénétique (intermédiaire entre un rhithron et un potamon). La richesse taxonomique est moyenne, parce que l'habitat aquatique est assez homogène, caractérisé par la forte dominance des substrats meubles et des champs de vitesses faibles ou modérées :

- richesse à l'échelle de la station : 21 à 28 taxons en mai, 36 à 40 taxons en août ;
- richesse à l'échelle du secteur : 45 taxons en mai, 56 taxons en août.

Ici les Gastéropodes, les Gammare et les Oligochètes dominent en effectifs. Les notes IBGN sont plus basses : 11/20 et 13/20 en juillet, 14/20 et 15/20 en août.

4/ La Sorgue de Bédarrides

Elle représente un véritable potamon, tant par ses caractéristiques morphodynamiques et thermiques (chenal large et profond, courant lent, température de l'eau excédant 20 °C en été) que par son peuplement d'invertébrés qui révèle plusieurs espèces caractéristiques de cette zone.

Il faut noter dans ce secteur un important développement des populations d'Oligochètes et de Chironominae (Diptères Chironomidae), signe d'une eutrophisation du milieu.

7. Évolution temporelle de l'état hydrobiologique du réseau des Sorgues

La comparaison des résultats de la présente étude avec ceux de l'étude SRAE de 1972 est riche d'enseignements.

L'étude de 1972 comportait deux volets : la physico-chimie et l'hydrobiologie. Elle a pris en compte les 3 sections principales du réseau.

1/ La Sorgue amont

La station étudiée en 1972 correspond à notre station 2. La faune était riche et variée : « l'ensemble indique un milieu naturel sain et de bonne qualité » (rapport 1972). La comparaison de l'inventaire faunistique figurant dans le rapport de 1972, avec l'inventaire réalisé en 2000 à la station 2, montre que ce secteur de la haute Sorgue n'a subi de changement notable ni dans son peuplement ni dans sa qualité biologique.

2/ La Sorgue de Velleron

Les stations de l'étude de 1972 correspondent à nos stations 6, 7 et 8. Une source majeure de pollution se situait entre les stations 6 et 7, au niveau de l'arrivée de l'effluent de l'usine de gélatine Rousselot. La station 6, non perturbée, avait un peuplement similaire à celui observé en mai et août 2000.

La situation était fort différente au niveau de la station 7 en 1972 : « Le bras de Velleron est victime d'une forte pollution. Cette pollution est très intense et très grave sur 5 km et la rivière, malgré son débit et sa faculté autoépuratrice, ne parvient à reprendre le dessus que 10-12 km plus loin. La pollution revêt un caractère essentiellement organique et cause un sérieux préjudice biologique. L'arrivée de l'effluent fait disparaître presque tous les invertébrés ; seules les larves rouges de chironomes cohabitent avec les vers. Dans le courant, le canal est complètement tapisé par des colonies bactériennes de *Sphaerotilus*, ce qui donne l'illusion d'une eau blanchâtre ».

Les effets de cette pollution ont complètement disparu actuellement. À la suite d'un meilleur

traitement des rejets, suivi d'un arrêt complet du fonctionnement de l'usine, la rivière a retrouvé son état naturel et un niveau de qualité optimum. Les eaux sont transparentes, le peuplement d'invertébrés à la station 7 est l'un des plus riches du réseau des Sorgues. La qualité biologique du milieu est devenue excellente (IBGN = 19/20).

3/ La Sorgue d'Entraigues

Les situations hydrochimique et hydrobiologique étaient meilleures que dans le bras de Velleron, comme le mentionnait le rapport de 1972 : « Les rejets, moins graves, sont bien tolérés par le cours d'eau qui les absorbe facilement. Le niveau de qualité reste constamment bon ou correct car l'enrichissement du milieu est modeste et progressif. L'influence des rejets reste plus subtile à mettre en évidence ».

D'après la présente étude, le peuplement de la Sorgue d'Entraigues révèle un bon niveau de qualité biologique.

8. Synthèse des résultats et conclusion

Plusieurs constats d'ordre écologique et hydrobiologique font apparaître le grand intérêt patrimonial de la faune d'invertébrés des Sorgues.

Un intérêt qui réside dans :

- la présence d'un endémisme propre à ce réseau, par conservation d'une espèce relique de la période glaciaire (*Rhyacophila vallisclusae*), qui a pu se maintenir du fait de conditions hydrothermiques exceptionnelles ;

- la présence de plusieurs espèces qui vivent dans les autres réseaux d'Europe et du Sud de la France dans des zones de montagne ou de piémont, à des altitudes bien supérieures à celles qu'elles occupent dans le réseau des Sorgues.

- l'existence d'une zonation écologique où sont représentées deux zones du rhithron, le potamon et une importante zone de transition rhithron-potamon. La réalisation de ces zones écologiques nécessite dans les réseaux hydrographiques "typiques" un linéaire de cours d'eau et un espace altitudinal bien supérieurs à ceux des Sorgues.

- une forte capacité d'autoépuration, comme en témoigne l'évolution du peuplement de la Sorgue de Velleron, passé d'un état quasi abiotique en 1972, à un niveau de haute qualité biologique en 2000, qui traduit le retour à un état initial dont on trouve la référence dans la Sorgue amont.

La présente étude met en évidence l'importance de la Sorgue amont, en tant que réservoir d'une faune originelle de grande qualité. Probablement, la Sorgue amont a-t-elle permis la reconstitution du peuplement de la Sorgue de Velleron (apports d'organismes par dérivation).

Travaux cités

BENZÉCRI, J.P. et coll. 1973. L'analyse des données. Vol. 2 : L'analyse des correspondances. 619 pp. Dunod, Paris.

BERREBI, P. 1995. Étude génétique des truites *fario* de la Sorgue. Rapport final, février 1995. Rapport de contrat Fédération des AAPPMA (Association Agréée pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique) du Vaucluse : 8 pp + annexes.

BERREBI, P. & B. LASSERRE. 2006. Évaluation de la dynamique des peuplements de truite *fario* de la Sor-

- gue - Suivi génétique des truites *fario* des Sorgues - Reconquête de la souche méditerranéenne de la truite *fario* sur le réseau des Sorgues - *Rapport final, avril 2006. Université de Montpellier 2* : 11 pp.
- BLAVOUX, B., J. MUDRY & J.-M. PUIG. 1992. Bilan, fonctionnement et protection du système karstique de la Fontaine de Vaucluse (S-E de la France). *Geodinamica Acta*, **5** (3) : 153-172.
- BOETERS, H.D. & K. HEUSS, 1985. *Emmericia patula* (Brumati) rezent in Süddeutschland (Prosobranchia, Emmericiidae). *Heldia*, **1** : 105-106.
- BRULIN, M. 2007. Inventaire des Éphémères de France : bilan après dix années d'existence (chorologie, éléments de phénologie et de systématique). Diplôme Universitaire de Recherche, Université Paul Sabatier, Toulouse III, 220 pp.
- DÉCAMPS, H. 1967. Écologie des Trichoptères de la vallée d'Aure (Hautes-Pyrénées). *Annales de Limnologie*, **3** (3) : 399-577.
- GERMAIN, L. 1931. Mollusques terrestres et fluviatiles. *Faune de France*, vol. **22**. Librairie de la Faculté des Sciences, Paris, 897 pp.
- GIUDICELLI, J. & L. BOTOSANEANU. 1999. The remarkable case of a water striding, mainly brachypterous new species of *Rhyacophila* Pictet (Trichoptera) from the river Sorgue (Southern France). *Annales de la Société entomologique de France* (N.S.), **35** (3-4) : 265-273.
- GIUDICELLI, J., A. DIA & P. LÉGIER. 1980. Étude hydrobiologique d'une rivière de région méditerranéenne, l'Argens (Var, France). Habitats, hydrochimie, distribution de la faune benthique. *Bijdragen tot de Dierkunde*, **50** (2) : 303-341.
- GIUSTI, F. & E. PEZZOLI. 1980. Gasteropodi, 2 (Gasteropoda, Prosobranchia, Hydrobioidea, Pyrguloidea). *Guide per il riconoscimento delle specie animali delle acque interne italiane* : 1-66, Consiglio Nazionale delle Ricerche.
- ILLIES, J. & L. BOTOSANEANU. 1963. Problèmes et méthodes de la classification et de la zonation écologique des eaux courantes considérées surtout du point de vue faunistique. *Mitteilungen der internationalen Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*, **12** : 1-57.
- MOUTHON, J. 1986. *Emmericia patula* (Gasteropoda, Emmericiidae) et *Menetus dilatatus* (Gasteropoda, Planorbiidae), deux espèces nouvelles pour la faune de France. *Basteria*, **50** : 181-188.
- PINKSTER, S. 1983. The value of morphological characters in the taxonomy of *Gammarus*. *Beaufortia*, **33** (2) : 15-28.
- THOMAS, A. 1968. Sur la taxonomie de quelques espèces d'*Ecdyonurus* du Sud-Ouest de la France (Ephemeroptera). *Annales de Limnologie*, **4** (1) : 51-71.
- THOMAS, A. 1981. Travaux sur la taxonomie, la biologie et l'écologie d'insectes torrenticoles du Sud-Ouest de la France (Éphéméroptères et Diptères : Dixidae, Cecidomyiidae, Rhagionidae et Athericidae), avec quelques exemples de perturbations par l'homme. Thèse de Doctorat d'État, Université Paul Sabatier, n° 988, 330 pp.
- THOMAS, A. & C. BERTHÉLEMY. 1991. Préférences et limites écologiques des Elmidae (Coleoptera) dans le Sud-Ouest de la France. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse*, **127** : 39-42.
- TRUC, G. 1991. L'eau en Vaucluse. *Conseil Général de Vaucluse*.

Effectifs/m ² en mai et en août 2000		SORGUE AMONT		SORGUE DE VELLERON			SORGUE D'ENTRAIGUES			
		St 1	St 2	St 6	St 7	St 8	St 3	St 4	St 5	St 9
TRICLADES										
Dendrocoelidae	<i>Dendrocoelum lacteum</i>	14 8	15 36	0 28	0 10	4 25	4 12	0 0	8 42	0 0
Dugesidae	<i>Dugesia gonoccephala</i>	10 0	95 28	0 40	0 12	4 40	10 46	38 400	12 170	0 45
	<i>Dugesia lugubris</i>	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 25
	<i>Dugesia tigrina</i>	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	40 28
Planariidae	<i>Polycelis felina</i>	45 76	84 90	12 42	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	<i>Polycelis nigra</i>	0 0	0 0	0 0	0 25	0 0	0 0	0 12	0 16	0 0
OLIGOCÉTÉS										
ACHÉTÉS										
Glossiphoniidae	<i>Glossiphonia complanata</i>	10 38	0 5	20 28	0 4	0 10	14 94	10 18	0 10	0 15
	<i>Batracobdella paludosa</i>	0 0	0 0	0 0	4 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	<i>Batracobdella verrucata</i>	4 0	0 0	14 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	<i>Helobdella stagnalis</i>	0 0	0 0	5 4	0 0	0 0	0 0	0 8	0 0	4 0
Piscicolidae	<i>Piscicola geometra</i>	0 12	0 0	0 10	45 35	16 20	10 0	0 0	5 0	4 0
Erpobdellidae	<i>Erpobdella octoculata</i>	0 10	5 20	0 35	24 0	0 32	72 114	0 24	10 0	8 0
	<i>Dina lineata</i>	24 0	64 0	0 0	20 0	0 0	0 0	0 0	4 0	0 0
MOLLUSQUES										
Neritidae	<i>Theodoxus fluviatilis</i>	12 504	16 0	10 12	14 24	242 1050	1240 205	0 2110	18 480	34 12
Bithyniidae	<i>Bithynia tentaculata</i>	0 0	0 0	0 0	0 80	0 0	0 0	0 0	0 0	0 4
Hydrobiidae	<i>Potamopyrgus jenkinsi</i>	0 0	0 0	260 26	120 730	130 3350	45 0	52 116	0 25	25 34
	<i>Islamia</i> sp	0 0	0 0	0 0	8 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Valvatidae	<i>Valvata piscinalis</i>	0 0	0 0	0 16	0 24	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Bithynellidae	<i>Bithynella sorgica</i>	54 115	36 74	12 0	10 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	<i>Belgrandia</i> sp	0 0	0 0	0 0	0 0	35 0	60 46	0 104	0 45	0 96
Ancylidae	<i>Ancylus fluviatilis</i>	20 50	15 18	26 0	85 220	8 65	20 4	54 96	0 20	130 18
Planorbidae	<i>Anisus vortex</i>	0 0	0 0	12 0	10 18	0 0	8 15	0 0	0 0	0 0
	<i>Gyraulus crista</i>	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	10 0	0 0	0 0	0 0
	<i>Gyraulus laevis</i>	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	12 0	0 0	0 0	0 0
	<i>Hippeutis complanatus</i>	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 20	0 0	0 0	0 0
Lymnaeidae	<i>Lymnaea peregra</i>	10 0	0 0	0 4	72 205	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	<i>Lymnaea truncatula</i>	0 0	0 0	0 0	32 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	<i>Physa fontinalis</i>	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 24	0 0	0 0	0 0
Emmericidae	<i>Emmericia patula</i>	14 12	20 80	0 24	106 126	0 12	3300 1986	60 175	10 64	30 124
Sphaeriidae	<i>Pisidium</i> sp	0 0	0 0	5 0	24 75	0 0	12 26	0 0	0 0	20 10
	<i>Sphaerium</i> sp	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	18 0

Effectifs/m ² en mai et en août 2000		SORGUE AMONT		SORGUE DE VELLERON			SORGUE D'ENTRAIGUES			
		St 1	St 2	St 6	St 7	St 8	St 3	St 4	St 5	St 9
CRUSTACÉS										
Amphipoda	<i>Gammarus cf balcanicus</i>	2010 1220	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	<i>Gammarus wautieri</i>	0 0	12175 13200	445 1184	1610 2914	4130 1320	1615 410	1390 4640	6300 4925	2560 40
	<i>Gammarus stuepundus</i>	0 0	'+++ ++'	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Isopoda	<i>Asellus aquaticus</i>	0 0	0 8	0 4	0 0	0 0	602 285	0 20	0 0	0 120
	<i>Proasellus meridianus</i>	0 20	0 15	0 0	0 0	0 0	10 30	42 0	40 0	0 0
HYDRACARIENS										
INSECTES										
ÉPHÉMÉROPTÈRES										
Baetidae	<i>Baetis lutheri</i>	0 15	0 0	0 0	0 0	0 0	0 10	0 0	0 0	0 0
	<i>Baetis rhodani</i>	125 325	615 180	370 85	190 45	110 0	32 36	605 2480	38 310	0 0
	<i>Baetis buceratus</i>	0 0	0 0	0 0	20 0	25 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	<i>Baetis fuscatus</i>	0 0	0 0	0 0	0 0	20 0	0 0	24 35	0 215	10 35
	<i>Alainites muticus</i>	12 0	24 28	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	<i>Centroptilum luteolum</i>	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 20	0 0	0 0	0 0
Heptageniidae	<i>Ecdyonurus venosus</i>	5 18	20 34	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	<i>Rhithrogena cf semicolorata</i>	12 178	210 15	0 10	10 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Caenidae	<i>Caenis luctuosa</i>	0 0	0 0	0 0	14 10	72 35	0 15	0 0	0 0	12 0
	<i>Caenis pusilla</i>	0 0	0 0	0 0	0 0	0 20	0 0	0 0	0 0	0 0
Ephemerellidae	<i>Serratella ignita</i>	124 12	130 72	820 96	330 20	138 20	0 12	35 0	115 40	76 0
Ephemeridae	<i>Ephemerella danica</i>	0 0	45 46	20 115	24 105	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
ODONATES										
Calopterygidae	<i>Calopteryx</i> sp	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	5 0	16 0
Gomphidae	<i>Onychogomphus</i> sp	0 0	0 0	0 0	0 0	10 0	0 8	0 0	0 12	12 0
	<i>Ophiogomphus</i> sp	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 12
Aeschnidae	<i>Boyeria irene</i>	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 8
PLÉCOPTÈRES										
Leuctridae	<i>Leuctra fusca</i>	15 24	0 20	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	<i>Leuctra geniculata</i>	0 0	0 0	0 0	0 0	8 8	0 0	0 0	0 0	0 0
Perlidae	<i>Dinocras cephalotes</i>	10 10	12 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
HÉTÉROPTÈRES										
Aphelocheiridae	<i>Aphelocheirus aestivalis</i>	0 0	0 0	0 0	0 0	14 36	0 0	0 0	0 38	0 15

Effectifs/m ² en mai et en août 2000	SORGUE AMONT		SORGUE DE VELLERON			SORGUE D'ENTRAIGUES			
	St 1	St 2	St 6	St 7	St 8	St 3	St 4	St 5	St 9
TRICHOPTÈRES									
Rhyacophilidae	0 0	0 0	0 0	64 40	6 15	0 24	0 0	0 38	0 0
	80 32	65 54	32 75	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Glossosomatidae	132 46	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Hydropsychidae	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 25	25 42
	5 0	8 0	0 18	326 20	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 146	0 34	20 20
	0 0	0 0	0 4	42 86	0 0	0 0	0 405	0 38	30 0
Philopotamidae	0 0	0 0	0 0	10 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Hydroptilidae	0 4	0 10	0 110	176 152	0 0	145 34	0 14	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 64	0 0	24 0	0 20	26 48
Polycentropodidae	2 10	5 0	0 60	24 16	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 4	0 0	0 0	0 0	36 0
Psychomyiidae	25 18	10 0	14 0	5 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 6	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 12	0 18	0 20	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 26	0 12	0 24	0 38	0 0
	0 0	0 0	0 0	6 4	0 4	15 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 28	0 0	0 0	20 0
Odontoceridae	30 24	255 50	90 56	128 8	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Lepidostomatidae	8 0	0 0	0 0	0 14	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Limnephilidae	20 16	0 0	25 8	0 5	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	10 8	0 0	0 18	0 0
	0 0	0 0	5 0	0 18	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Sericostomatidae	5 0	10 0	12 30	45 26	0 0	24 0	0 0	0 0	0 0
Goeridae	36 20	28 45	24 28	0 0	0 0	0 0	20 30	0 25	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0	12 38	0 0	0 0	0 0	0 0
Leptoceridae	0 0	0 0	0 0	0 0	42 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	24 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 4	0 18	0 0	0 0	0 20	0 0	0 14

Effectifs/m ² en mai et en août 2000	SORGUE AMONT		SORGUE DE VELLERON			SORGUE D'ENTRAIGUES			
	St 1	St 2	St 6	St 7	St 8	St 3	St 4	St 5	St 9
DIPTÈRES									
Chironomidae	650 50	40 530	2150 3710	3920 584	775 470	0 195	2060 142	34 150	350 115
	48 15	0 62	0 408	30 30	0 52	0 15	8 130	0 70	76 42
	0 0	0 70	0 1232	45 105	220 840	160 610	12 125	0 20	2345 130
Simuliidae	0 86	65 52	2170 95	3040 1610	26 15	8 0	320 2505	140 45	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 28	0 0
	0 105	30 34	165 15	0 24	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 16	0 0	0 0	0 285	10 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 75
Tipulidae	0 0	0 0	0 0	4 0	0 0	0 0	0 0	5 0	5 0
Limoniidae	0 0	0 16	0 42	73 8	0 0	0 25	0 30	0 25	0 0
	0 0	0 0	0 8	0 0	0 4	0 0	0 4	0 12	0 0
Athericidae	0 0	0 0	0 10	0 10	60 56	0 0	16 0	90 48	104 120
Empididae	12 0	0 0	0 24	80 8	8 0	0 0	4 24	0 48	0 0
Anthomyiidae	0 0	0 0	0 0	0 4	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
COLÉOPTÈRES									
Halplidae	0 0	0 0	0 36	0 20	0 0	0 0	0 0	0 0	0 65
Elmidae	115 86	430 160	58 206	70 495	0 90	0 30	82 562	140 32	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 145	0 24
	74 512	90 126	230 178	216 346	0 28	24 24	0 40	0 25	0 0
	0 0	0 0	0 0	18 12	20 85	0 96	64 550	0 310	52 38
	140 26	72 48	75 150	264 640	590 870	8 0	30 165	14 220	38 14
	0 125	5 120	8 184	205 294	0 10	0 4	0 24	0 15	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 26	0 0	0 0	0 0	0 0
	0 0	0 0	0 0	0 0	4 0	0 0	0 0	0 0	0 16
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	8 26
Dryopidae	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	10 24

Annexe 1.1 à 1.4. Matériel récolté.

Pour chaque colonne : à gauche les effectifs du mois de mai, à droite ceux du mois d'août.

Annex 1.1 to 1.4. Sampled material. Columns : numbers in May on the left, numbers in August on the right.