

Les communautés d'Elmidae de quatre rivières en zone d'agriculture intensive dans le Sud-Ouest de la France. Lésions des branchies anales chez *Elmis maugetii* (Latreille, 1798) [Coleoptera]

par Leslie FAGGIANO*, Alain THOMAS** & Sithan LEK*

* Université Paul Sabatier, 118 route de Narbonne, F-31062 Toulouse Cedex 4, France

** 5 rue du Vallon, F-31320 Vieille-Toulouse, France

thomas.alain31@orange.fr

Mots-clés : agriculture intensive, produits phytosanitaires, réduction drastique du débit, communautés, Indice Saprobique, *Elmis maugetii*, branchies anales, lésions des filaments, biomarqueurs, Gers, Haute-Garonne.

Les communautés de Coléoptères Elmidae ont été étudiées pendant deux ans sur une station de référence peu polluée et sur 11 sites, de l'amont vers l'aval de quatre rivières (Sousson-Cédon, Save et Touch) du Sud-Ouest, soumises presque exclusivement à l'impact de l'agriculture intensive. 10 espèces ont été identifiées, comparativement à 9 espèces de Plécoptères. 77,3 % des larves de Plécoptères proviennent des seules stations les plus en amont, contre 23,3 % pour les Elmidae. La richesse spécifique et l'abondance des Elmidae s'accroissent vers l'aval des zones d'agriculture intensive, pourvu que le débit d'étiage estival des rivières -facteur écologique majeur ici- reste assez élevé.

Les branchies anales d'*Elmis maugetii* présentent de nombreuses anomalies (rupture de filaments, caillots, opacification) lorsque les larves proviennent de sites impactés, de façon significative par rapport à la rivière de référence (tests de Kruskal-Wallis et de Mann-Witney). Toutefois, la cause exacte de ces dégradations n'a pas été identifiée. Il s'agit probablement d'actions synergiques, les larves les plus fréquemment atteintes provenant de l'aval de la rivière la plus longue.

Elmidae communities of four small rivers in intensive cultivation area in South-Western France. Abnormalities of anal gills in *Elmis maugetii* (Latreille, 1798) [Coleoptera]

Key words: intensive cultivation, pesticides, drastic drop in discharge, communities, Saprobic Index, *Elmis maugetii*, anal gills, abnormal filaments, biomarkers, Gers, Haute-Garonne.

The Coleoptera Elmidae communities were studied for two years at a reference site under a little pollution and at 11 sites, from upstream to downstream, of four rivers in S-W France: exclusively (Sousson, Cédon) or mostly (Save, Touch) impacted by intensive cultivation. 10 species were identified versus 9 stonefly species. 77,3 % of Plecoptera larvae came from the uppermost sites, in comparison with 23,3 % regarding Elmidae. Species richness and abundance of Elmidae increase downstream of intensive cultivation areas, provided the Summer discharge of rivers -a most crucial ecological factor here- remains fairly high.

Anal gills of *Elmis maugetii* showed numerous abnormalities (ruptured filaments, clots, opaque deposits) when larvae came from impacted sites, significantly (Kruskal-Wallis and Mann-Witney tests) in comparison with the reference river. However, the exact cause of these abnormalities was not identified. Synergic

actions are probably concerned because the most frequently affected larvae came from the downstream part of the longest river.

1. Introduction

L'utilisation des macroinvertébrés pour évaluer la qualité de l'eau a été proposée il y a plus de 50 ans (HYNES 1959). De très nombreux documents traitent de ce sujet et on peut retenir, entre autres, quelques synthèses importantes : HELLAWELL (1986), ROSENBERG & RESH (1993), MOOG et coll. (2002).

La présente publication fait suite à une première partie consacrée à l'ordre des Éphéméroptères (SONG et al. 2013). Toutes deux concernent la répartition d'insectes aquatiques dans une région d'agriculture intensive, impactée par des produits phytosanitaires et des prélèvements d'eau intenses en plein été. Elles ont été précédées par une interprétation d'ensemble, plus large (SONG et al. 2009).

2. Sites d'étude et récolte du matériel

Rappel (voir SONG et al. 2013) : l'étude a porté sur 12 stations réparties sur le cours de quatre rivières des coteaux de Gascogne (Sousson So 1, So 2, So 3-Cédon, Save Sa 1, Sa 2, Sa 3 et Touch T 1, T 2, T 3 et T 4), une zone d'agriculture intensive, ainsi que sur une station peu impactée, servant de référence (la rivière Gèze).

Trois campagnes de récoltes ont été effectuées en 2004 (en mars, mai et juillet) et deux en 2005 (en mars et mai), avec deux types de prélèvements :

- en milieu lotique, par filet surber (surface = 0,2 m² ; vide de maille = 300 µm), soit au total 1 m² prospecté à chaque station ;
- en milieu lentique, exploitation d'un litre de sédiments sur les deux premiers centimètres d'épaisseur des dépôts, soit au total 5 L par station.

Dans le but de relever des valeurs proches des maxima potentiels, quelques paramètres physico-chimiques de base ont fait l'objet, sur le terrain par le second auteur, de mesures estivales (juillet-août) à l'étiage.

3. Les communautés de Coléoptères Elmidae

10 espèces d'Elmidae ont été rencontrées (Tableau 1), dont malheureusement 5 non indexées par le système des saprobies d'O. MOOG (2002), en raison de leur rareté ou de leur absence en Autriche. En conséquence, cet excellent Indice Saprobique ne peut pas en pratique être utilisé dans le cas présent sur la seule famille des Elmidae, considérée isolément.

Quelques espèces peuvent être abondantes, hormis sur le Sousson et l'amont du Touch. Malgré la petitesse de leur taille, en particulier des stades larvaires intermédiaires -capturés grâce au vide de maille de seulement 300 µm- les Elmidae sont en moyenne représentés par un nombre d'individus par espèce plus élevé (558 larves et adultes) que les Éphémères (279 larves).

Espèces	Stations	Bassin versants												F. O. (%)	S. I. (Moog 2002)	
		Touch			Save			Sousson			Cédon	Gèze	Total			
	T 1	T 2	T 3	T 4	Sa 1	Sa 2	Sa 3	So 1	So 2	So 3	Cédon	Gèze	Total			
A) COLEOPTERES ELMIDAE																
<i>Dupophilus brevis</i>	0	0	0	0	38	13	0	0	0	0	0	165 [7]	216 [7]	25,0	-	
<i>Elmis maugetti</i>	2	41	22	207 [1]	106 [1]	90	27	190	31	6	205	141 [2]	1068 [4]	100	1,5	
<i>Esolus paratellepipedus</i>	11	16	166 [2]	403 [9]	439 [75]	604 [11]	256 [2]	30	14 [2]	25	59 [1]	37 [6]	2060 [108]	100	1,6	
<i>Limnius opacus</i>	0	0	0	0	0	112	0	1	0	0	0	0	113	16,7	1,6	
<i>L. muelleri</i>	1	13 [1]	9	63 [6]	15 [2]	48	18	1	0	4	243 [9]	15 [1]	430 [19]	91,7	-	
<i>Macronychus quadrinberculatus</i>	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	14	8,3	2,0	
<i>Oulimnius troglodytes</i>	0	4	8 [1]	11 [1]	6	112	18	23	64 [7]	5	323 [4]	16 [2]	590 [15]	91,7	-	
<i>Potamophilus acuminatus</i>	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	16	8,3	-	
<i>Riolus capreus</i>	0	0	91 [1]	2	1	0	18	0	0	0	0	0	112 [1]	33,3	1,9	
<i>Stenelmis canaliculata</i>	1	0	149	210 [4]	0	100 [1]	27	1	22 [2]	1	294	1	806 [7]	83,3	-	
Effectif total / m² (Surber)	15	74	445	896	605	1079	394	246	131	41	1124	375	5425			
Effectif total / 5 L de sédiments	0	1	4	21	78	12	2	0	11	0	14	18	161			
Richesse spécifique	4	4	6	6	6	7	8	6	4	5	5	6	586			
B) PLECOPTERES																
<i>Brachyptera risi</i>	186	1	1	0	61	3	0	0	0	0	0	99	351	50,0	1,4	
<i>Amphinemura standfussi</i>	26	4	2	0	0	1	0	1	0	0	3	31	68	58,3	0,9	
<i>Nemoura cinerea</i>	10	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	12	26	33,3	2,3	
<i>Protonemura intricata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69	69	8,3	0,9	
<i>Capnia bifrons</i>	230 [1]	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	13 [2]	247	41,7	1,3	
<i>L. geniculata</i>	3	0	0	0	170 [6]	104	6	1	0	0	0	4	288	50,0	2,0	
<i>Leuctra fusca</i>	0	0	0	0	68 [2]	96	0	0	0	1	1	0	166	33,3	2,0	
<i>Isoperla gr. grammatica</i>	30 [11]	4 [1]	0	0	3	0	0	0	0	0	0	6	43	33,3	1,6	
<i>Perla burmeisteriana</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	8,3	1,5	
Effectif total / m² (Surber)	485	13	4	1	303	204	6	4	0	1	4	234	1259			
Effectif total / 5 L de sédiments	12	1	0	0	8	0	0	0	0	2	0	2	25			
Richesse spécifique	6	5	3	1	5	4	1	3	0	1	2	7	1284			

Tableau 1. Les communautés de Coléoptères Elmidae (A) comparativement aux Plécoptères (B) aux 12 stations prospectées 5 fois. Entre crochets [] les individus récoltés dans les sédiments. F. O. : fréquence d'occurrence. S. I. : indice saprobie. Richesse spécifique de ces communautés.

Table 1. The Elmidae communities (A) and the stonefly communities comparatively (B) at 12 stations prospected five times. Between brackets [] the individuals collected in sediments. F. O. : frequency of occurrence. S. I. : saprobic index. Species richness of these communities.

Si cette famille de Coléoptères se maintient difficilement dans le Sousson, très exposé à l'épandage de produits phytosanitaires (COLIN 2000, COLIN et al. 2000), elle présente, tout comme les Éphémères (MI-YOUNG et al. 2013), un accroissement de la richesse spécifique vers l'aval des deux bassins versants les plus longs, ceux du Touch et de la Save, avec 4, 4, 6 et 6 espèces respectivement à T 1, T 2, T 3 et T 4, ainsi que 6, 7 et 8 espèces à Sa 1, Sa 2 et Sa 3, sans doute pour les mêmes raisons :

- une amélioration de la stabilité du fond, de plus forte granulométrie vers l'aval ;
- et une vitesse de courant en hausse, induite par un débit très supérieur en aval, à T 4 par rapport à T 3, ainsi qu'à Sa 3 comparativement à Sa 2 (présence de retenues pour le soutien du débit à l'étiage).

4. Comparaison avec les communautés de Plécoptères

9 espèces constituent les communautés de Plécoptères -l'ordre reconnu comme le plus polluosensible parmi les insectes aquatiques- qui évoluent ici très différemment des Éphémères et des Coléoptères Elmidae.

Une fois de plus, les populations de Plécoptères subissent une régression spectaculaire, rapide et irrémédiable vers l'aval : sur la totalité du matériel récolté dans le Sousson, la Save et le Touch, 77,3 % des larves de Plécoptères proviennent des seules stations amont, So 1, Sa 1 et T 1, à opposer à 30,9 % chez les Éphémères et seulement 23,3 % chez les Coléoptères Elmidae.

Sur chacun de ces cours d'eau, une seule espèce de Plécoptères a été trouvée en aval, très peu abondante ou même rare : *Capnia bifrons* à T 4, *Leuctra fusca* à Sa 3, *L. geniculata* à So 3. Rappelons que *L. fusca* et *L. geniculata*, relativement robustes, sont parmi les toutes dernières espèces à avoir disparu de la Garonne en amont de Toulouse (THOMAS et al. 2006). Enfin, il apparaît que cet ordre d'insectes est très vulnérable à l'impact des produits phytosanitaires puisqu'il est virtuellement absent des bassins du Sousson et du Cédon, alors que cette catégorie de ruisseaux du piémont prépyrénéen abritait au moins une vingtaine d'espèces dans les années 50 et 60 (BERTHÉLEMY 1966).

Les richesses spécifiques (Tableau 1) sont : de 6, 5, 3 et 1 respectivement aux stations T 1, T 2, T 3 et T 4 ; de 5, 4 et 1 à Sa 1, Sa 2 et Sa 3 ; enfin de 3, 0 et 1 à So 1, So 2 et So 3. Elles sont bien trop faibles pour permettre l'utilisation de l'Indice Saprobique sur ce seul ordre d'insectes considéré isolément, contrairement aux 26 espèces d'Ephéméroptères (SONG et al. 2013).

5. Application de l'Indice Saprobique (MOOG 2002) à l'ensemble des trois communautés d'Éphémères, Plécoptères et Coléoptères Elmidae

La matrice totale concernée (E P CEI) compte 45 espèces. L'évolution amont-aval de la richesse spécifique et du S.I. moyen est différente sur les trois rivières Sousson, Save et Touch.

Sur le Sousson, pour les trois ordres, la richesse spécifique, déjà faible ou très faible à So 1, régresse sensiblement vers l'aval alors que la valeur moyenne du S. I. (Éphémères + Plécoptères + Elmidae) demeure pratiquement constante : 1,86 à So 1 et à So 2, 1,89 à So 3, et enfin 1,87 sur la station du Cédon toute proche et de faciès voisin.

Sur la Save, l'évolution traduit une eutrophisation classique du cours d'eau avec une tolérance accrue des espèces au déficit d'oxygénation vers l'aval : 1,82 à Sa 1, 1,88 à Sa 2 et 1,96 à Sa 3. Cette dernière valeur, relativement élevée pour un milieu lotique, est due à la présence d'espèces rhéophiles répandues dans l'épipotamon : *Potamanthus luteus* (2,2), *Ephoron virgo* (2,3), *Baetis fuscatus* (2,2), *Ecdyonurus dispar* (2,1), *E. insignis* (2,2), enfin *Macronychus quadrituberculatus* (2,0). L'établissement de cette communauté n'est rendu possible que grâce à la très forte augmentation du débit d'étiage estival entre Sa 2 et Sa 3 (SONG et al. 2013, tabl. 2).

Sur la plus grande partie du Touch, les stations T 1 à T 3, affectées en juillet-août par une baisse drastique du débit, naturelle en forêt (T 1) ou artificielle (T 2 et T 3 pour l'irrigation forcée des champs de maïs en plein étiage), présentent une valeur de S. I. moyen pratiquement constante (respectivement 1,80 à T 1, 1,82 à T 2 et 1,79 à T 3). Au contraire, le retour du caractère relativement torrentiel du cours en aval, grâce au soutien du débit par deux retenues, permet l'établissement d'une communauté (hyporhithron-épipotamon) d'insectes diversifiée, à S. I. plus élevé (1,92 à T 4), à l'exclusion quasi-totale des Plécoptères, trop fragiles pour survivre dans une zone aussi anthropisée.

Remarque :

La comparaison des S. I. moyens pour les trois ordres ne va pas dans le sens de la réputation populaire de « grande fragilité » en général des Éphémères : 1,5 pour les Plécoptères ($\sigma = 0,46$), 1,7 pour les Coléoptères Elmidae ($\sigma = 0,19$) et 2,0 pour les Éphémères ($\sigma = 0,27$).

6. Les branchies d'Elmidae marqueurs d'influences humaines

6.1. Introduction

Les anomalies morphologiques sont de plus en plus utilisées en biomonitoring et lors des tests de toxicité pour évaluer l'impact des polluants sur l'environnement (JOHNSON et al. 1993). Si la cause exacte des déformations de structures rigides (capsules céphaliques, segments des pattes) reste souvent mal établie (JOHNSON et al. op. cit.), les anomalies relevées sur les branchies trachéennes et sur les papilles anales des Hydropsychidae résultent d'une atteinte aux fonctions respiratoire et/ou osmorégulatrice (CAMARGO 1991, VUORI 1994, VUORI & KUKKONEN 1996).

La paroi de ces organes est ipso facto très mince pour permettre les échanges transcuticulaires de gaz et d'ions avec le milieu ambiant. En raison de leur fragilité, ces organes sont donc a priori particulièrement vulnérables vis-à-vis de nombreux polluants (SIMPSON 1980).

L'un de nous (A. T.) a déjà eu, à de multiples reprises, l'occasion d'observer des détériorations de filaments branchiaux dans certains cours d'eau pollués du Sud-Ouest, spécialement dans le bassin moyen de la Garonne, impacté en particulier par l'industrie papetière. Les organismes concernés étaient essentiellement des larves d'Hydropsychidae, parfois d'Heptageniidae.

Plusieurs études ont déjà concerné des branchies trachéennes et des papilles anales de larves de Trichoptères Hydropsychidae (SIMPSON op. cit., CAMARGO 1991, VUORI 1994 & 1995, VUORI & PARKKO 1996, VUORI & KUKKONEN 2002) mais, à notre connaissance, aucune publiée jusqu'à ce jour n'a eu pour sujet d'expérience les Coléoptères Elmidae.

Toutes les espèces d'Elmidae connues (HINTON 1939) possèdent trois touffes de branchies anales rétractiles dans une chambre cloacale terminale, fermée par un opercule mobile corres-

pendant au 9^e sternite (Photo 1). Les huit premiers segments abdominaux possèdent une paire de stigmates. Tout ce système est interconnecté.

La protection des branchies anales dans une chambre rigide, fermée à la demande par un opercule est une particularité adaptative intéressante, permettant à l'animal de soustraire ces structures fragiles à l'impact purement physique de l'abrasion par les particules sédimentaires, en particulier lors des crues. Ouverture et fermeture actives de l'opercule favorisent aussi le brassage de l'eau et son renouvellement autour des branchies.

Différence importante par rapport aux observations de VUORI & KUKKONEN (2002) : si les filaments branchiaux d'Elmidae (ici *E. maugetii*) sont fortement assombris localement comme sur les individus d'Hydropsychidae étudiés par ces auteurs, ils sont aussi, souvent, **rompus** et oblitérés près de la déchirure par une masse interne sombre à aspect de caillot (voir les 3 flèches sur la photo 2). De tels « caillots » peuvent être observés aussi sur des filaments non rompus : ils sont alors le plus souvent localisés, accumulés vers l'apex de ces tubules.

Dans le cas présent, plusieurs espèces d'Elmidae étaient a priori susceptibles de constituer, par leur abondance et leur fréquence d'occurrence, un matériel bioindicateur, dans le sens de la recherche d'organismes « sentinelles ».



Photo 1. Vue ventrale de l'extrémité de l'abdomen d'une larve au dernier stade de *Limnius*, montrant l'opercule mobile (9^{ème} sternite) et les trois touffes de branchies anales rétractiles en extension.

Photo 1. Ventral view of the tip of abdomen of a *Limnius* last-instar larva, showing its movable operculum (9th sternum) and the three tufts of anal retractile gills (spreading).

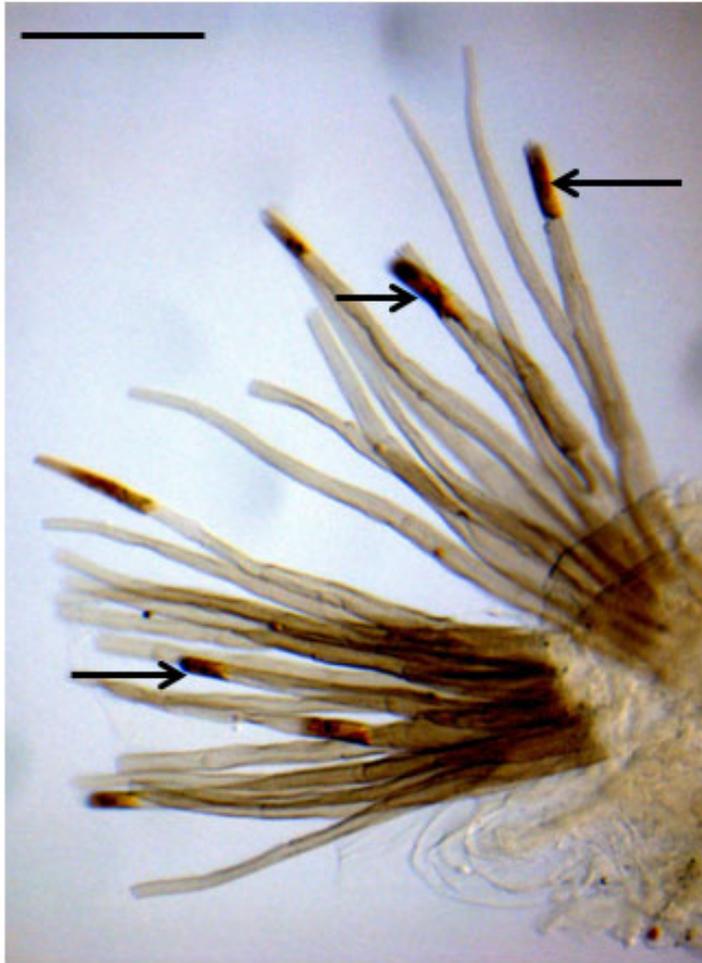


Photo 2. Deux touffes de branchies anales d'*Elmis maugetii* présentant par endroits une opacification interne et des dépôts oblitérant la lumière des filaments, en particulier à l'apex de ceux, plus courts, ayant subi une rupture (3 flèches). Échelle = 100 μ m.

Photo 2. Two tufts of anal gills of *Elmis maugetii* showing in places internal accumulations of opaque deposits occluding the filaments aperture, in particular at apex of the ruptured and shortened ones (3 arrows). Bar = 100 μ m.

6.2. Choix de l'espèce la plus favorable

La station sur le Cédon abrite, malgré un certain impact phytosanitaire (révélé par exemple par des eaux périodiquement de couleur jaune plus ou moins intense), une importante communauté d'Elmidae (Tableau 1 : 1124 individus, soit le maximum récolté à une seule station)

répartie en 5 genres. Un tel effectif a permis de mener une première phase comparative du potentiel apporté par les branchies des différents genres (tous monospécifiques ici), afin d'opérer le choix du matériel le plus pertinent pour la suite de l'étude.

10 montages préliminaires de branchies de larves au dernier stade de chaque taxon ont donc été effectués, en mettant l'accent : d'abord sur une facilité opératoire compatible avec la réalisation de plus d'une centaine de montages ; et ensuite sur la possibilité d'opposer ces derniers sur la présence ou l'absence d'anomalies (lésions, ruptures ou tout au moins opacification/obstruction de filaments branchiaux) selon les stations (de référence ou impactées). Les résultats comparatifs suivants ont été obtenus :

- *Elmis maugetii* : de nombreux filaments branchiaux apparaissent lésés, en particulier nombre d'entre eux sont rompus avant l'apex et secondairement oblitérés par une sorte de « caillot » opaque ;

- *Esolus parallelepipedus* : en raison de ses dimensions nettement inférieures [la larve au dernier stade d'*Elmis maugetii* ne mesure pourtant que 4 mm de longueur...], cette espèce, pose de difficiles problèmes pratiques lors du montage des branchies ;

- *Limnius perrisi* : la rupture de filaments est beaucoup moins fréquente que chez *Elmis maugetii* malgré la présence favorable de larves en fin de dernier stade (proches de la nymphose, très sclérifiées et pigmentées), ayant subi de facto une longue exposition aux polluants potentiels ;

- *Oulimnius troglodytes* : cette espèce se prête mal à une telle manipulation en raison de branchies beaucoup plus petites que chez *E. maugetii* et dotées d'un nombre de filaments réduit ;

- *Stenelmis canaliculata* : les montages n'ont pratiquement pas mis en évidence de filaments présentant des lésions ou même seulement des traces d'opacification.

La suite de ce travail a donc été poursuivie sur des larves d'*Elmis maugetii*. Chez cette espèce, les deux touffes de branchies anales latérales comptent (à Gèze) en général 14 filaments chacune et la touffe médiane, plus étroite, moins développée, seulement une dizaine. Le nombre de filaments pourrait être moins stable et un peu plus élevé (jusqu'à 15 et même 16) en milieu pollué.

Ce type d'étude se heurte d'emblée à un paradoxe. En effet, à des branchies saines, apparaissant intactes, faciles à isoler en nombre, il est nécessaire d'opposer l'effectif le plus élevé possible de larves à branchies présentant des lésions... alors même que les populations impactées régressent avec l'accroissement des charges polluantes. D'où la difficulté de disposer de suffisamment d'individus en stations fortement impactées pour répondre aux règles des tests statistiques (effectif souhaitable de trente montages par site).

Quatre sites ont été retenus d'Ouest en Est : Gèze (référence), So 1, Cédon et T 4 (Tableau 1). N'ont malheureusement pas pu être considérés les deux sites les plus pollués par les phytosanitaires (So 2 et So 3), car ils n'ont fourni à eux deux que 37 individus, adultes y compris.

Un premier examen rapide des étalements de filaments branchiaux a semblé montrer une dégradation prédominante à la dernière station : T 4.

Les montages ont été effectués au baume du Canada, après un quart d'heure de déshydratation à la créosote de hêtre. Optiques utilisées : caméra numérique Leica DFC 320 au grossissement de 160 et logiciel IM500 ; microscope à contraste de phase dans les cas de superposition de filaments.

6.3. Résultats

a) Tout d'abord, le test non paramétrique de comparaisons multiples de Kruskal-Wallis, utilisé pour comparer le nombre de filaments branchiaux endommagés observés à chacune de ces stations, indique une différence significative entre les quatre sites ($p\text{-value} = 7.28710^{-10}$).

b) Ensuite, le test de Mann-Whitney a permis une comparaison des stations deux à deux pour établir un classement de l'étendue de la dégradation des branchies. Il indique que le nombre de filaments branchiaux endommagés à la station T 4 est significativement supérieur à celui observé sur le Cédon, et aussi, sans surprise, que celui relevé à So 1 est significativement supérieur à celui relatif à Gèze, station de référence. Un gradient d'impact croissant sur les branchies d'*E. maugetii* peut être formulé (Figure 1) : Gèze, So 1, Cédon et T 4.

En conséquence, l'illustration comparative des structures est basée sur les matériels prélevés sur la Gèze (Planche 1) et sur le Touch T 4 (Planche 2)¹.

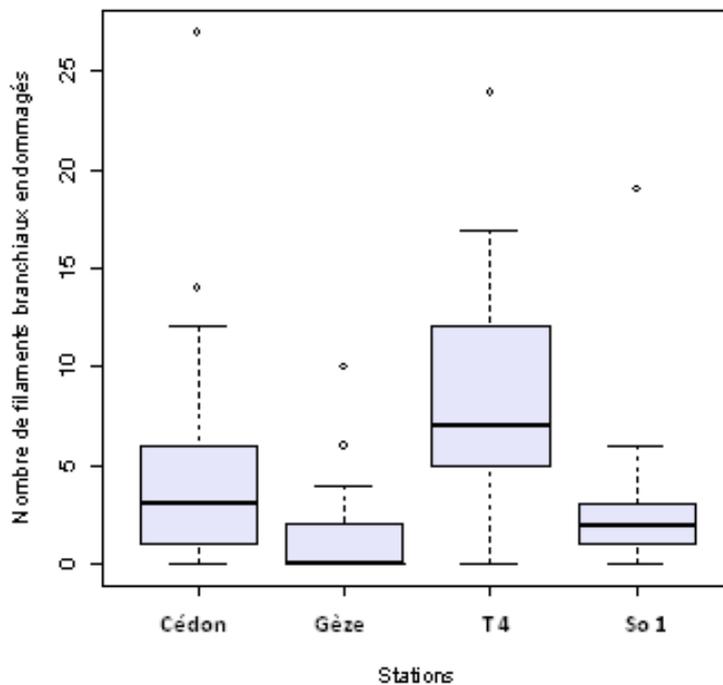


Figure 1. Distribution du nombre de filaments branchiaux présentant des lésions, en fonction des stations (les cercles vides représentent des valeurs extrêmes, >1,5 fois l'écart-type).

Figure 1. Distribution of the number of gill filaments showing lesions, in function of sites (circles correspond to extremes values, >1,5 X standard deviation).

¹ En raison du grossissement, une ou deux touffes de filaments branchiaux seulement sur les trois apparaissent sur les photos.

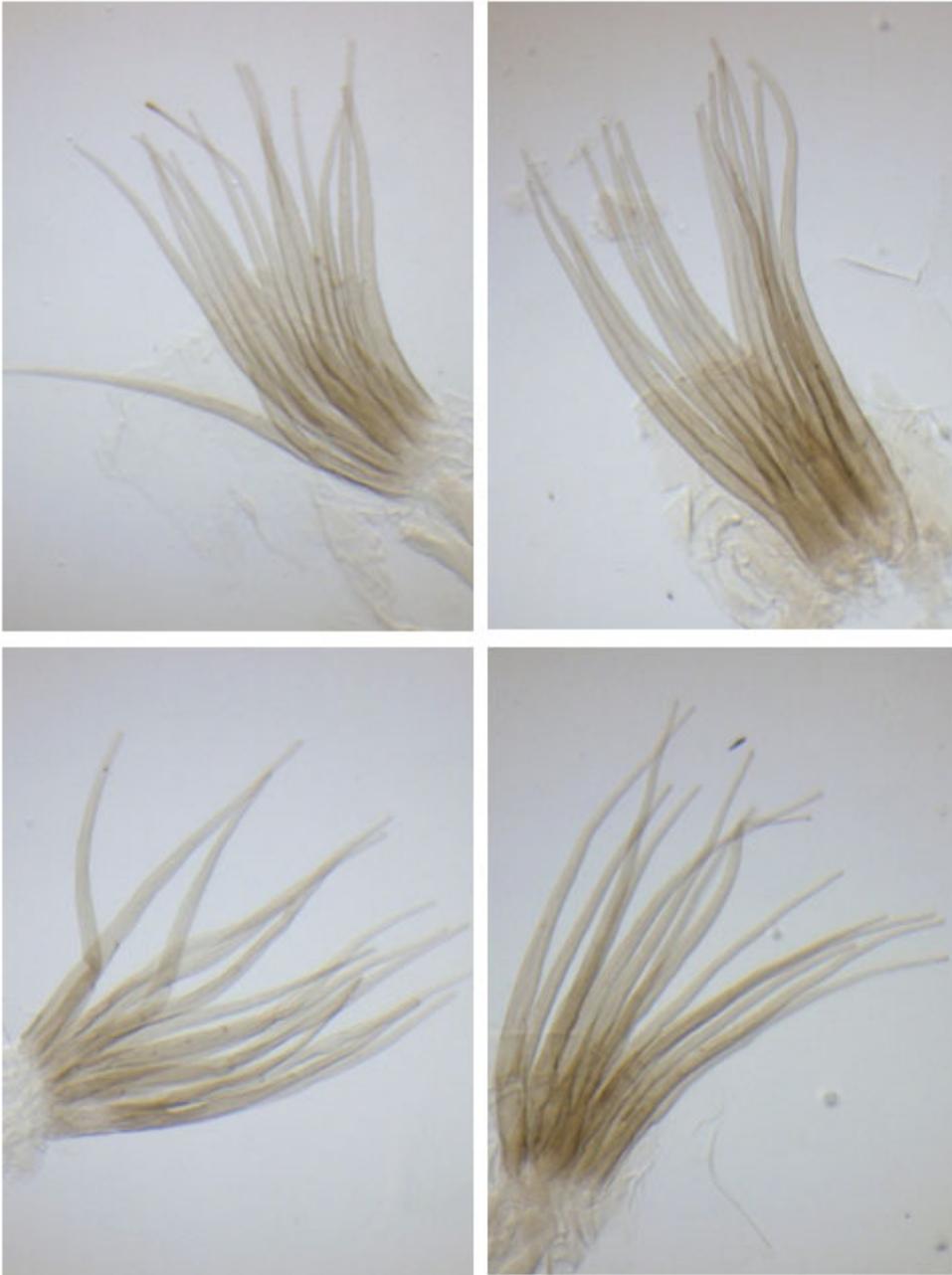


Planche 1. Exemples de branchies anales d'*Elmis maugetii* (une touffe de filaments par photo) dépourvues de lésions. Station de référence Gèze.

Plate 1. Examples of anal gills of larvae of *Elmis maugetii* (one tuft of filaments per photo) devoid of abnormalities. Reference site Gèze.

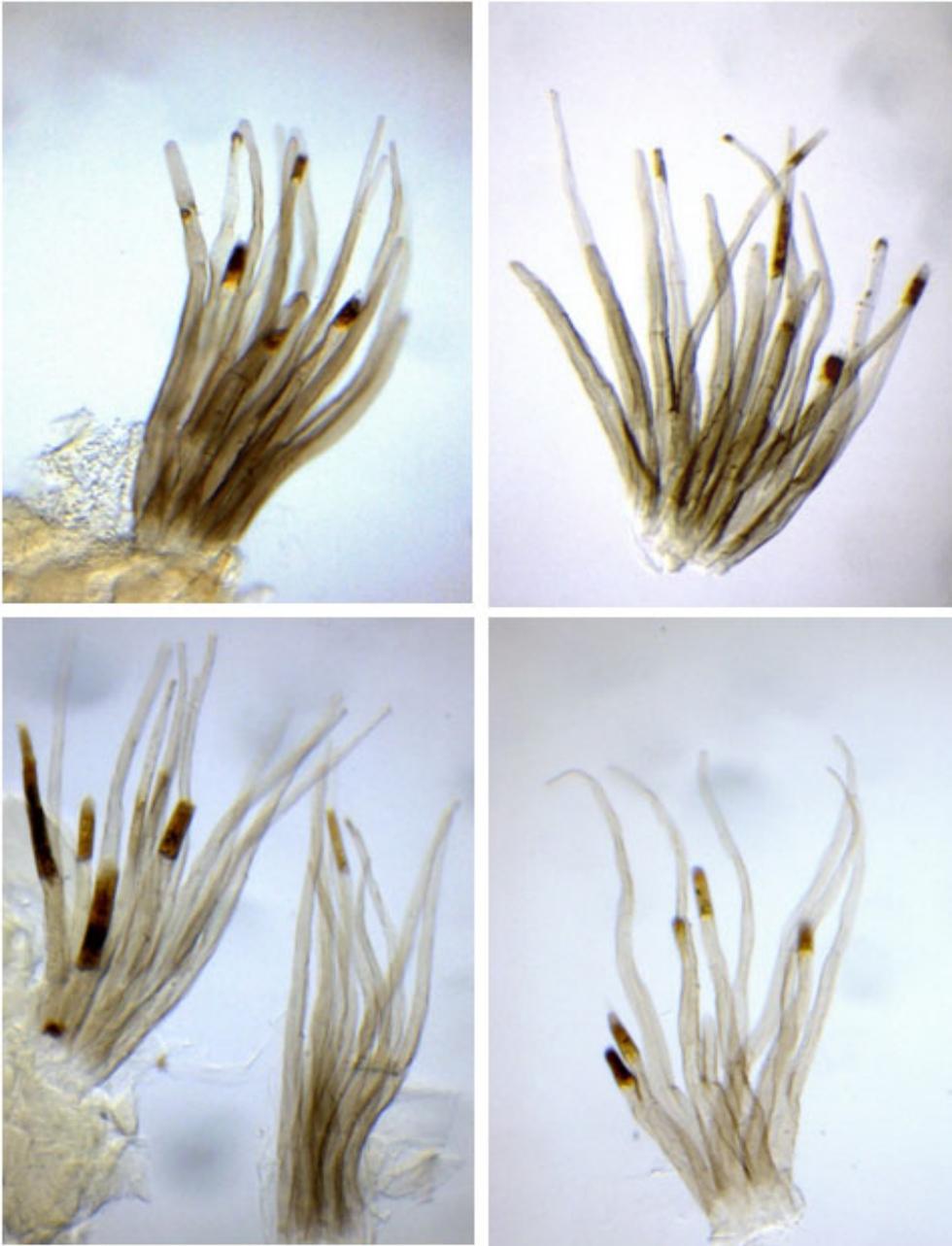


Planche 2. Exemples de branchies anales de larves d'*Elmis maugetii* (une ou deux touffes de filaments par photo) présentant des lésions. Station polluée T 4.

Plate 2. Examples of anal gills of larvae of *Elmis maugetii* (one or two tufts of filaments per photo) showing abnormalities. Polluted site T 4.

Remarque :

À la station Gèze, *Elmis maugetii* cohabite avec *Dupophilus brevis*, de morphologie et de taille très voisines ; cette espèce, plus rhéophile et aussi plus fragile, est absente du Touch, du Sousson et du Cédon. Pour cette raison, l'abondance maximale d'*E. maugetii* (Tableau 1) n'est pas observée -comme on aurait pu le présumer- à Gèze, station de référence de loin la plus favorable par ses paramètres chimiques, qui abrite simultanément deux populations très voisines et concurrentes.

Stations	Altitude (m)	Distance à la source ¹	Température eau maxi °C	Conductivité maxi µS/cm	Recalibrage du lit	Pesticides	Captage pour alimentation
Gèze	372	# 1 km	16	110	NON	# NON (pâturages)	OUI
So 1	248	1,5 km	19	420	OUI	OUI (cultures intensives)	NON
Cédon	160	13 km	20,5	340	OUI	OUI (cultures intensives)	NON
T 4	182	42 km	22	255	OUI	OUI (cultures)	NON

Tableau 2. Différences écologiques élémentaires discriminantes entre la station de référence (Gèze) et les stations soumises à une agriculture intensive, mais abritant une population d'*Elmis maugetii* suffisante pour cette étude. ¹: distance mesurée en ligne droite.

Table 2. Elementary ecological differences opposing the reference site (Gèze) to the stations impacted by intensive cultivation, but however hosting an *Elmis maugetii* population sufficient for this study.
¹: distance = straight line.

6. 4. Discussion

a) Respiration transcuticulaire et/ou osmorégulation

Il nous apparaît plausible que les nombreuses ruptures de filaments branchiaux observées soient dues à des surpressions internes en milieu liquide (régulation osmotique) plutôt que gazeux (respiration). Pourtant, aucune mention de structures anales excrétrices de type « papilles » -comme chez les Trichoptères ou les Diptères- n'est faite au sujet des larves de Coléoptères aquatiques d'Amérique du Nord dans le récent travail de WHITE & ROUGHLY (2008) : tout au plus, le terme de « fingerlike anal gills » est-il utilisé sur une figure (20.315, p. 633), relative à une espèce de Ptilodactylidae (une famille qui cohabite souvent avec les Elmidae), montrant de courtes structures digitées, boudinées, loin de l'aspect des filaments branchiaux classiques, diverticules du système trachéen aérifère. BERTRAND (1972) n'a pas mentionné non plus de papilles anales. Malgré la difficulté opératoire inhérente aux très faibles dimensions des branchies anales d'Elmidae, et malheureusement en dépit du désintérêt actuel pour ce type de recherches anatomiques et physiologiques, il serait intéressant de vérifier s'il s'agit bien de ramifications postérieures exclusivement trachéennes (HINTON 1939) et non de digitations pouvant contenir de l'hémolymphe et assurer aussi l'osmorégulation. La simple comparaison des planches 1 et 2 (réalisées sous des conditions de montage, de fixation et de déshydratation absolument identiques) montre une dilatation et une fragilisation des structures microtubulaires difficilement attribuables a priori à la seule fonction « respiratoire », à l'exclusion de toute osmorégulation.

b) Recherche de la cause des lésions observées

Nous n'avons pas pu établir quelle est la cause précise de la dégradation des branchies anales d'*E. maugetii* dans cette zone d'agriculture intensive. Il s'agit probablement de l'interaction très complexe de plusieurs facteurs chimiques à résultante synergique, situation aggravée surtout sur longue durée par des paramètres physiques, dont le très faible débit estival -par suite de l'irrigation à outrance- est sans doute le plus grave car il entraîne une importante concentration en substances dissoutes.

Tout au plus, le Tableau 2 résume-t-il les principales différences écologiques élémentaires relevées entre les quatre stations concernées par l'étude des branchies. En particulier :

- La petite rivière Gèze est beaucoup moins soumise aux influences humaines que les autres et s'en distingue par les caractéristiques élémentaires suivantes : pas de recalibrage du lit ; traversée de prairies d'élevage et non de terres soumises à l'agriculture intensive (maïs irrigué en particulier), ce qui évidemment réduit considérablement l'utilisation d'intrants ; en conséquence, la qualité de l'eau a autorisé le captage d'une grande partie du module pour soutenir le débit estival du Gers et assurer la consommation en eau potable de la ville d'Auch.

- Cependant, les produits phytosanitaires ne peuvent être considérés comme seuls en cause, car le gradient de dégradation des branchies serait dans ce cas : Gèze, T 4, Cédon et So 1. La station T 4, où le plus grand nombre de branchies lésées est observé, proche de l'agglomération toulousaine, n'est pas la plus exposée aux produits phytosanitaires, comparativement au bassin du Sousson-Cédon. En effet, la distance à la source est de loin la plus élevée, ce qui induit une bien plus grande diversité des actions humaines et de leurs rejets, agricoles certes mais aussi domestiques (gros villages plus nombreux, stations d'épurations etc.) et dans une certaine mesure semi-industriels (ateliers, chantiers divers). La longueur du Touch, de la source à T 4, entraîne aussi un réchauffement notable de l'eau en été.

Il serait intéressant de poursuivre cette étude à titre comparatif sur d'autres cours d'eau du bassin de la Garonne soumis à des impacts industriels et à ceux de grandes agglomérations.

Remerciements

Nous avons plaisir à remercier Michel Brulin pour ses interventions sur ce travail. Le programme ECOBAG (Environnement, Écologie et Économie du Bassin Adour-Garonne) a soutenu financièrement l'étude IMAQUE.

Travaux cités

- BERTHÉLEMY, C. 1966. Recherches écologiques et biogéographiques sur les Plécoptères et Coléoptères d'eau courante (*Hydraena* et *Elminthidae*) des Pyrénées. *Annales de Limnologie*, **2** (2) : 227-458.
- BERTRAND, H. 1972. *Larves et nymphes des Coléoptères aquatiques du globe*. F. Paillart, Abbeville, 804 pp.
- CAMARGO, J. A. 1991. Toxic effects of residual chlorine on larvae of *Hydropsyche pellucidula* (Trichoptera, Hydropsychidae): a proposal of biological indicator. *Bulletin of environmental Contamination and Toxicology*, **47** : 261-265.
- COLIN, F. 2000. *Approche spatiale de la pollution chronique des eaux de surface par les produits phytosanitaires. Cas de l'atrazine dans le bassin versant du Sousson (Gers, France)*. Thèse de Doctorat de l'ENGREF ; spécialité : Sciences de l'eau ; Montpellier, 255 pp.
- COLIN, F., C. PUECH & G. DE MARSILY. 2000. Relations between triazine flux, catchment topography and distance between maize fields and the drainage network. *Journal of Hydrology*, **236**: 139-152.

- HELLAWELL, J. M. 1986. *Biological indicators of freshwater pollution and environmental management*. Elsevier Applied Sciences, London and New York, 2nd edition, 1989, 546 pp.
- HINTON, H. R. 1939. An inquiry into the natural classification of the Dryopoidea, based partly on a study of their internal anatomy (Col.). *Transactions of the Royal entomological Society of London*, **89** (7): 133-184 + 1 pl.
- HYNES, H. B. N. 1959. The use of macroinvertebrates as indicators of river pollution. *Proceedings of the Linnean Society of London*, **2**: 165-169.
- JOHNSON, R. K., T. WIEDERHOLM & D. M. ROSENBERG. 1993. Freshwater biomonitoring using individual organisms, populations and species assemblages of benthic macroinvertebrates. Pp 40-158 in Rosenberg, D.M. & V.H. Resh (eds): *Freshwater Biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. Chapman & Hall, New York & London.
- MOOG, O. (ed.) 2002. *Fauna Aquatica Austriaca – A comprehensive species inventory of Austrian aquatic organisms with ecological notes*. 2nd edition: Ephemeroptera; Plecoptera; Coleoptera. Wasserwirtschaftskataster, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Vienna.
- ROSENBERG, D. M. & V. H. RESH. 1993. *Freshwater Biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. Chapman & Hall, New York & London. 488 pp.
- SIMPSON, K. W. 1980. Abnormalities in the tracheal gills of aquatic insects collected from streams receiving chlorinated or crude oil wastes. *Freshwater Biology*, **10** : 581-583.
- SONG, M.-Y., F. LEPRIEUR, A. THOMAS, S. LEK-ANG, T.-S. CHON & S. LEK. 2009. Impact of agricultural land use on aquatic assemblages in the Garonne river catchment (SW France). *Aquatic Ecology*, **43**: 999-1009.
- SONG, M.-Y., A. THOMAS & L. FAGGIANO. 2013. Les communautés d'Éphémères de quatre petites rivières en zone d'agriculture intensive dans le Sud-Ouest de la France (Ephemeroptera). *Ephemera*, **14** (1) : 39-53.
- THOMAS, A., O. BONNEFOUS, M. KHATORI & T. SOUBAYA. 2006. Évolution des communautés de Plécoptères dans la Garonne à Toulouse depuis 1930 : l'agonie des insectes bioindicateurs les plus sensibles. *Ephemera*, **7** (1) : 45-57.
- VUORI, K. M. 1994. Rapid behavioural and morphological responses of hydropsychid larvae (Trichoptera, Hydropsychidae) to sublethal cadmium exposure. *Environmental Pollution*, **84**: 291-299.
- VUORI, K. M. 1995. Species and population specific responses of translocated hydropsychid larvae (Trichoptera, Hydropsychidae) to runoff from acid sulfate soils in the river Kyrönjoki, Western Finland. *Freshwater Biology*, **33**: 305-318.
- VUORI, K. M. & J. V. K. KUKKONEN. 1996. Metal concentrations in *Hydropsyche pellucidula* larvae (Trichoptera, Hydropsychidae) in relation to the anal papillae abnormalities and age of exocuticle. *Water Research*, **30** (10): 2265-2272.
- VUORI, K. M. & J. V. K. KUKKONEN. 2002. Hydropsychid (Trichoptera, Hydropsychidae) gill abnormalities as morphological biomarkers of stream pollution. *Freshwater Biology*, **47**: 1297-1306.
- VUORI, K. M. & M. PARKKO. 1996. Assessing pollution of the river Kymijoki via hydropsychid caddisflies: population age structure, microdistribution and gill abnormalities in the *Hydropsyche pellucidula* and *Cheumatopsyche lepida* larvae. *Archiv für Hydrobiologie*, **136**: 171-190.
- WHITE, D. S. & R. E. ROUGHLY. 2008. Chapter 20 Aquatic Coleoptera. Pp 571-671 in Merritt, R. W., K. W. Cummins & M. B. Berg (eds): *An introduction to the aquatic insects of North America*. Kendall Hunt Publ., Dubuque.