

Mise en évidence des pressions toxiques exercées sur la rivière la Drouette (78) grâce à l'analyse des déformations affectant le mentum des Chironominae (Diptères, Chironomidae)

Hélène ARAMBOUROU*,
Audrey CHENEVOY

CETE Ile-de-France, Division environnement,
Trappes, France

RÉSUMÉ

En présence de substances toxiques, dans l'eau et les sédiments des cours d'eau, les chironomidae peuvent développer des déformations, visibles au niveau de leur capsule céphalique. L'observation de cet effet sub-létal constitue un indicateur d'un stress toxique exercé sur le milieu aquatique. L'objectif de ce travail est d'évaluer cet indicateur, dans un cours d'eau des Yvelines (78), soumis à différentes pressions toxiques. Pour ce faire, des prélèvements de vase ont été réalisés dans cinq stations situées le long d'un profil amont-aval. Sur ces prélèvements des analyses physico-chimiques (matière organique, éléments traces métalliques et hydrocarbures) ont été effectuées. De plus, la composition taxonomique du peuplement de chironomidae a été déterminée. Ceci a permis de mettre en évidence une variabilité importante du peuplement d'une station à une autre ; variabilité qui pourrait être expliquée par des différences de caractéristiques physiques et chimiques entre les stations. De plus, l'analyse des déformations affectant le mentum des Chironomidae prélevés a révélé des degrés de sensibilité différents entre les sous-familles. Par conséquent, afin de pouvoir comparer les stations entre elles, seule la sous-famille des Chironominae a été prise en compte. Trois stations présentent des pourcentages de déformations supérieurs à 8 % ce qui laisse supposer la présence d'un stress toxique. Toutefois, aucune relation, entre substances toxiques détectées dans les sédiments, et pourcentage de déformations n'a pu être établie.

Identification of toxic pressures affecting the Drouette River (Yvelines, west of Paris) by analyzing deformations acting upon chironomidae mentum (Diptera, Chironomidae)

ABSTRACT

In the presence of toxic substances, in both water and the sediment in watercourses, chironomidae are able to develop visible deformations at the level of their cephalic capsule. Observation of this sub-lethal effect provides an indicator of toxic stress being exerted upon the aquatic environment. The objective of our work program is to evaluate this indicator in a watercourse within France's Yvelines department (west of Paris), through exposure to various toxic pressures. To achieve this objective, silt samples have been extracted from five monitoring stations set up along an upstream-downstream profile. A number of physicochemical analyses (organic matter content, trace metal and hydrocarbon elements) were conducted on these samples. Moreover, the taxonomic composition of the chironomidae population could be determined, a step that allowed highlighting significant variability in population magnitudes from one station to the next; such variability could be explained by differences in physical and chemical characteristics between the stations. An analysis of deformations affecting the sampled Chironomidae mentum has revealed the varying degrees of sensitivity across subfamilies. In order to compare one station to another, just the Chironomidae subfamily was taken into account. Three stations display deformations exceeding 8%, which suggests the presence of toxic stresses. No correlation between the toxic substances detected in sediments and the deformation percentage could however be established.

* AUTEUR À CONTACTER :

Hélène ARAMBOUROU
helene.arambourou@developpement-durable.gouv.fr

INTRODUCTION

La mise en évidence des effets des pressions chimiques d'origine anthropique sur l'écosystème aquatique, est aujourd'hui réalisée grâce aux outils de bio-indication [1]. Ces outils se déclinent à trois échelles différentes correspondant à des niveaux d'intégration différents : la communauté, la population et l'individu. Ainsi, l'analyse des effets au niveau de la communauté des macro-invertébrés benthiques permet d'intégrer le fonctionnement écologique de cet écosystème, c'est-à-dire, de prendre non seulement en compte les interactions entre macro-invertébrés mais également leur relation à leur environnement. C'est aujourd'hui, le niveau d'intégration le plus utilisé, à travers l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) [2]. Toutefois, si cet indice permet d'apprécier la présence ou l'absence d'un taxon, il ne renseigne pas sur les effets sub-létaux de la dégradation du milieu. Ces informations sont pourtant indispensables si l'on souhaite agir en amont et ainsi éviter la disparition d'une espèce.

Raisonner à l'échelle de la population ou de l'individu permet, à contrario, d'obtenir des informations précoces, dès la perception par l'organisme d'un stress. Ainsi, en présence de substances toxiques dans l'environnement, le développement des macro-invertébrés peut être affecté. Ce phénomène se traduit par des effets sub-létaux qui peuvent se manifester par des déviations mineures par rapport à la ligne de symétrie bilatérale [3, 4] ou bien, dans les cas plus sévères, par des déformations [5-7]. Les premières hypothèses concernant le lien entre pollution du milieu naturel et déformations de la capsule céphalique (antenne, mentum, pecten et mandibules) des chironomes (diptères, chironomidae) ont été exposées dans les années 1970 [8]. Ces hypothèses ont par la suite été confirmées grâce à des essais en laboratoire [9-12] et des prélèvements dans le milieu naturel [13-15]. Le chironome présente l'avantage d'être ubiquiste. Il est présent dans des environnements de bonne qualité aussi bien que dans des environnements très dégradés. De plus, son cycle larvaire se déroule au contact du sédiment ce qui permet une évaluation de la qualité de ce compartiment.

Peu de travaux ont été menés sur le lien entre hydrocarbures et déformations. En revanche, les éléments traces métalliques [11, 12, 16, 17], les produits phytosanitaires [18] et les perturbateurs endocriniens [9, 19], présents dans la colonne d'eau et les sédiments, ont été identifiés comme responsables des déformations du mentum. Ainsi, l'analyse de ces instabilités de développement affectant les chironomes prélevés en différentes stations d'un cours d'eau, peut-elle constituer une évaluation *in-situ* de la pression毒ique exercée sur un milieu [13].

L'objectif de ce travail est d'évaluer si l'observation des déformations du mentum des chironomidae constitue un bon indicateur d'un stress toxique exercé dans le milieu naturel. Pour cela, ces déformations ont été observées dans cinq stations situées le long d'un profil amont-aval d'un cours d'eau des Yvelines (78) : la Drouette. Au préalable, la variabilité taxonomique entre les stations a été étudiée. De plus, les différences de sensibilité aux déformations entre les sous-familles mises en évidence, ont été analysées. Les concentrations en éléments traces métalliques (ETM), ainsi qu'en hydrocarbures dans les sédiments de chaque station ont été déterminées, ceci afin de tenter d'établir un lien entre présence de toxiques et pourcentage de déformations observé. Dans l'une des stations étudiées, les produits phytosanitaires ont également été recherchés.

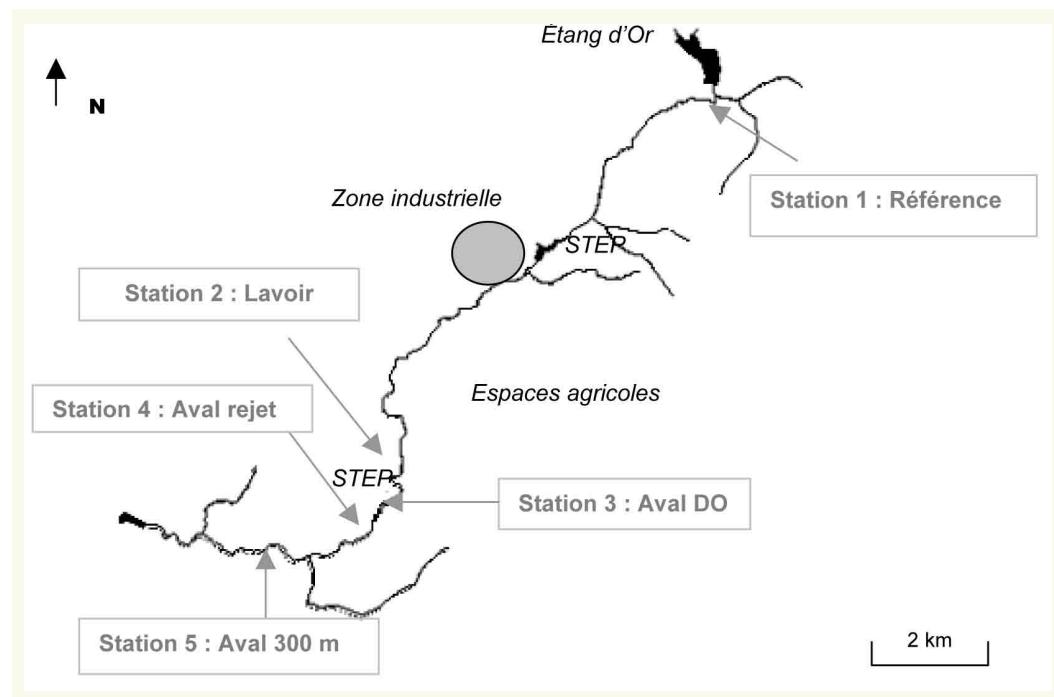
MATÉRIELS ET MÉTHODES

■ Description du site

Cinq prélèvements ont été effectués sur la rivière la Drouette (78) au cours du mois de juin de l'année 2009.

La station 1 (**figure 1**) se situe au niveau de la source. Elle constitue la référence, c'est-à-dire que l'on considère cette station comme non soumise à une pression toxique. La station 2 se trouve au niveau du seuil du laveoir de la commune d'Orcemont. L'occupation du sol en amont de ce laveoir

figure 1
Localisation des stations échantillonnées.



est caractérisée par de grandes zones d'agriculture intensive. La station 3 se trouve à l'aval du Déversoir d'Orage (DO) de la station d'épuration d'Orcemont, qui reçoit les effluents unitaires de la commune. La station 4, 30 mètres en aval de la station 3, se situe à l'aval du rejet de la station d'épuration. Cette station est, par conséquent, non seulement soumise au rejet du déversoir d'orage mais également à celui de la station d'épuration. Enfin, la station 5 est située 300 mètres plus bas et permet, par conséquent, une évaluation de la capacité de résilience du milieu.

■ Échantillonnage

Seules les zones vaseuses ont été échantillonnées. Par conséquent, les prélèvements ne se veulent en aucun cas représentatifs de la station. L'objectif est de prélever dans un même substrat, avec une vitesse de courant équivalente, et de comparer les stations entre elles sur ce substrat. Cent chironomes ont été prélevés par station de façon à avoir un échantillon représentatif [16, 18]. Ces prélèvements ont été réalisés à l'aide d'une benne à sédiment de type Van Veen et, lorsque ce n'était pas possible, à la pelle. Ils ont été tamisés à 500 µm sur le terrain, ceci afin de ne récupérer que le 4^e stade larvaire, dernier stade avant le stade nymphal. Puis, un litre de sédiments a été récolté pour chaque station, afin de compléter le tri en laboratoire pour obtenir un nombre d'individus suffisant.

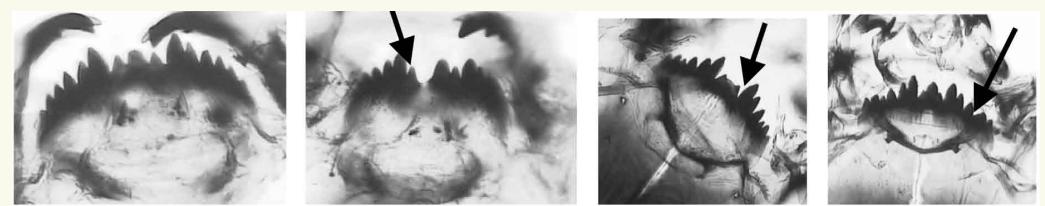
■ Analyse taxonomique et analyse des déformations

Sept sous-familles de chironomes, divisées en 121 genres, ont été mises en évidence en France [20] : les Chironominae (deux tribus : les chironomini et les tanytarsini), les Diamesinae, les Orthocladiinae, les Podonominae, les Prodiamesinae, les Tanypodinae et les Buchonomyiinae. Les déterminations à la sous-famille et au genre sont réalisées en laboratoire sous loupe binoculaire grâce à des clés de détermination [20-25]. L'analyse des genres doit toutefois faire l'objet d'une validation par un expert.

Les larves, classées par sous-famille, sont mises à tremper successivement dans quatre bains. Le premier, d'une durée de 24 heures, est un bain d'hydroxyde de potassium (KOH) à 10 %. Il permet l'élimination des tissus musculaires tout en conservant les parties sclérosées de l'exosquelette. Les organismes sont ensuite rincés pendant 10 minutes dans un bain d'eau déminéralisée. Ce rinçage est suivi d'un bain de 10 minutes d'acide acétique glacial. Enfin, avant montage, les organismes sont

figure 2

Photographie sous microscope du mentum ($\times 100$ - $\times 400$), sous-famille Chironominae, tribu Chironomini, genre Chironomus. Les flèches noires indiquent les déformations : a : mentum normal, b : Khön gap, c : fusion, d : absence.



a | b | c | d

placés dans un dernier bain d'éthanol à 70 %. Les larves sont ensuite décapitées et montées entre lame et lamelle dans un solvant transparent (Eukitt®). Les lames sont observées sous microscope (Nikon E600) avec un grossissement de 100 et de 400. Ce microscope est relié à une caméra (Sony SCC-DC18p).

Trois types de déformations du mentum ont été prises en compte (figure 2) : une fusion de dents, une dent absente et un Khön gap ; le type de déformation ajout de dent n'ayant pas été relevé dans ce travail.

■ Analyses physico-chimiques

Les ETM (plomb, cadmium, nickel, zinc, chrome) ont été analysés par spectrométrie d'absorption atomique four après minéralisation à l'eau régale. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et les hydrocarbures totaux (Hct) ont été analysés par chromatographie en phase liquide à haute performance et par chromatographie en phase gazeuse, respectivement. Quinze HAP ont été dosés : la naphtalène, l'acénaphthène, le fluorène, le phénanthrène, l'anthracène, le fluoranthène, le pyrène, le benzo(a)anthracène, le chrysène, le benzo(b)fluoranthène, le, benzo(k)fluoranthène, le benzo(a)pyrène, le dibenzo(a,h)anthracène, le benzo(ghi)pérylène et le indéno(1,2,3-c-d)pyrène. Le taux de matière organique (MO) a été analysé par perte au feu. Enfin, 86 produits phytosanitaires (glyphosate, AMPA, isoproturon, diuron, atrazine, endosulfan, lindane, simazine...) ont été analysés au niveau de la station 2 (seuil du laveur), qui constitue une zone d'accumulation des sédiments, par chromatographie en phase liquide à haute performance et par chromatographie gazeuse couplée à un spectromètre de masse. Toutes les analyses, à l'exception des analyses de produits phytosanitaires qui ont été sous-traitées au laboratoire SGS, ont été réalisées au CETE d'Île-de-France.

RESULTATS ET DISCUSSION

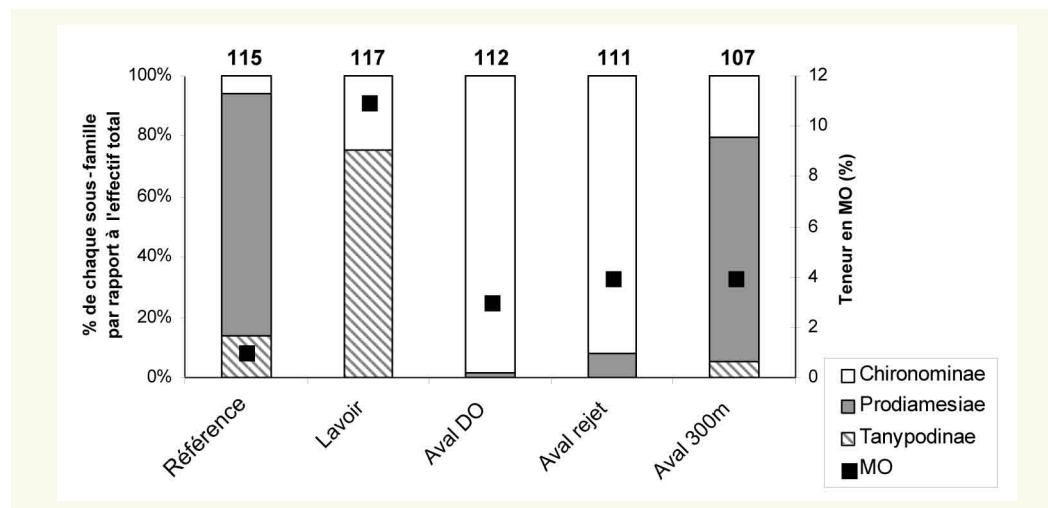
■ Variation de l'assemblage entre les stations étudiées

Une centaine de chironomes par station ont été analysés. La variété taxonomique est plus importante au niveau des stations Référence et Aval 300 m (figure 3) où trois sous-familles ont été mises en évidence : les Chironominae, les Prodiamesinae et les Tanypodinae. De plus, les assemblages de ces deux stations sont comparables. Au niveau du laveur, la sous-famille des Prodiamesinae a disparu alors qu'elle est présente au niveau des stations Aval DO et Aval rejet. La sous-famille des Tanypodinae est, en revanche, absente au niveau de ces rejets.

Cette différence d'assemblage peut être expliquée, d'une part, par les caractéristiques physiques des stations : les vitesses d'écoulement sont beaucoup plus faibles au niveau de la station Laveur, qui constitue une zone d'accumulation des sédiments alors que la station Aval DO est assujettie à des variations brutales de débit. D'autre part, ces stations ne sont pas soumises aux mêmes types de pollutions : la station Laveur retient les sédiments provenant du ruissellement sur les zones urbaines et agricoles tandis que la station Aval DO reçoit des surverses unitaire de temps de pluie et la station Aval rejet reçoit des surverses unitaires ainsi que des rejets traités d'eaux usées.

figure 3

Répartition des sous-familles par station, effectifs prélevés et teneur en matière organique (MO).

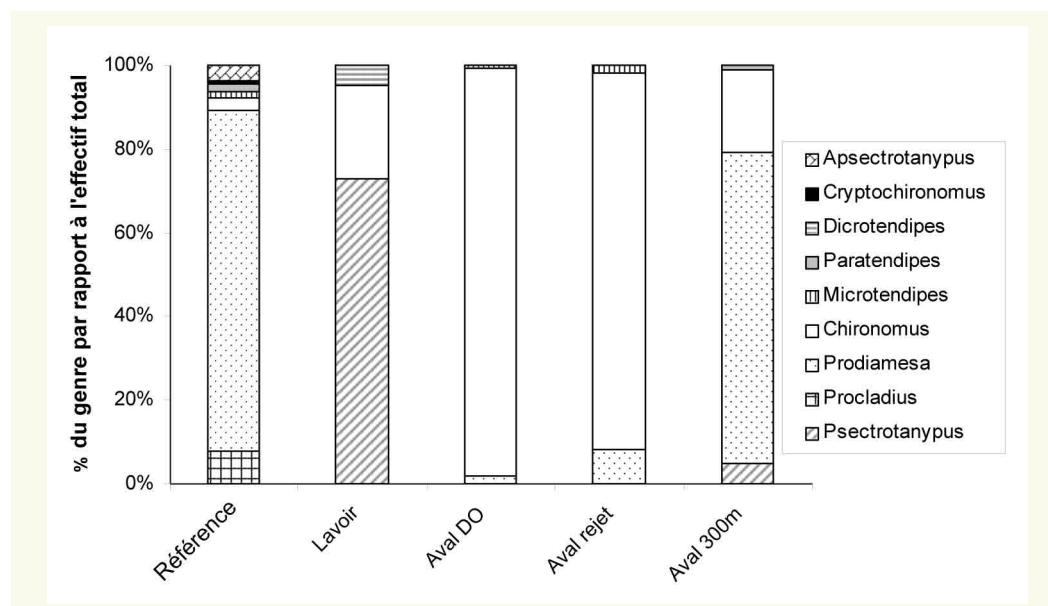


La forte teneur en matière organique (11 % de la matière sèche) au niveau de la station Lavoir (figure 3) est liée à l'accumulation de débris organiques au niveau du seuil. Ceci pourrait, en partie, expliquer la différence d'assemblage [26]. Les stations Aval DO et Aval rejet sont caractérisées par la sous-famille des Chironominae présente dans des milieux relativement riches en matière organique [27]. La sous-famille des Tanypodinae disparaît sur ces mêmes stations, phénomène qui pourrait être lié à une augmentation de la quantité de nutriments et/ou à une diminution de la quantité d'oxygène dissous [27]. La prédominance de la sous-famille des Chironominae et la faible abondance de la sous-famille des Tanypodinae en aval de rejets de stations d'épuration ont également été observées dans la littérature [28]. La sous-famille des Chironominae, au contraire de la sous-famille des Tanypodinae, serait davantage adaptée à la matière organique que l'on trouve dans les eaux usées, qu'à la matière organique issue de l'accumulation de litière. Aucune hypothèse concernant la disparition de la sous-famille des Prodiamesinae, considérée comme peu sensible à de faibles concentrations en oxygène dissous [29], ne peut, en l'état des connaissances, être avancée.

L'analyse des genres (figure 4) montre également une variété taxonomique plus importante au niveau du point de référence avec sept genres mis en évidence, deux appartenant à la sous-famille des Tanypodinae (*Procladius* et *Apsectrotanypus*), un appartenant à la sous-famille des Prodiamesinae (*Prodiamesa*) et quatre appartenant à la sous-famille des Chironominae (*Chironomus*, *Microtendipes*,

figure 4

Répartition des genres par station (en pourcentage de l'effectif total).



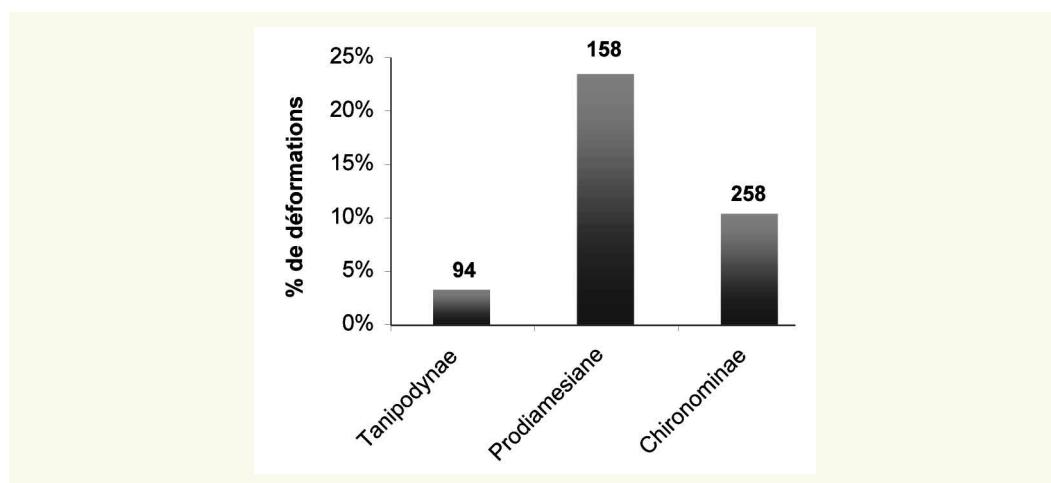
Paratendipes, *Cryptochironomus*). Toutefois, le genre *Apsectrotanyphus* n'est représenté que par quatre individus, le genre *Chironomus* par trois, les genres *Microtendipes* et *Paratendipes* par deux et le genre *Cryptochironomus* par un individu.

Seuls trois genres ont été observés aux stations Lavoir, Aval DO et Aval rejet. La station laver est caractérisée par le genre *Psectrotanyphus* présent dans les milieux riches en nutriments [30]. Les stations aval DO et aval rejet montrent une prédominance du genre *Chironomus*. Quatre genres ont été observés au niveau de la station aval 300m : *Psectrotanyphus*, *Prodiamesa*, *Chironomus* et *Paratendipes*, les genres *Psectrotanyphus* et *Paratendipes* n'étant représentés que par cinq et un individu(s) respectivement.

■ Analyses des différences de sensibilité entre taxons

La sensibilité aux déformations varie largement d'une sous-famille à une autre [31]. Les *Prodiamesinae* constituent la sous-famille la plus touchée par les déformations avec 23 % d'individus déformés sur l'ensemble des stations (figure 5). Les *Tanypodinae* sont les moins touchés, comme cela a pu être observé antérieurement [31] ; ils présentent un taux de déformations de 3 % lorsque l'on considère l'ensemble des stations. Le taux de déformation de la sous-famille des *Chironominae* est de 10 %.

figure 5
Pourcentage de déformations, toutes stations confondues, et effectifs correspondants.



Compte tenu du fait que l'assemblage des taxons varie entre les stations, raisonner en termes de déformations sur la famille dans sa totalité conduirait à une erreur d'interprétation. De plus, seule la sous-famille des *Chironominae* est présente dans toutes les stations étudiées. Par conséquent, les pourcentages de déformations seront déterminés sur cette sous-famille. Des variations de sensibilité existeraient également entre genres [31]. Toutefois, en raison des faibles effectifs prélevés, une analyse des déformations à ce niveau taxonomique s'avère peu représentative.

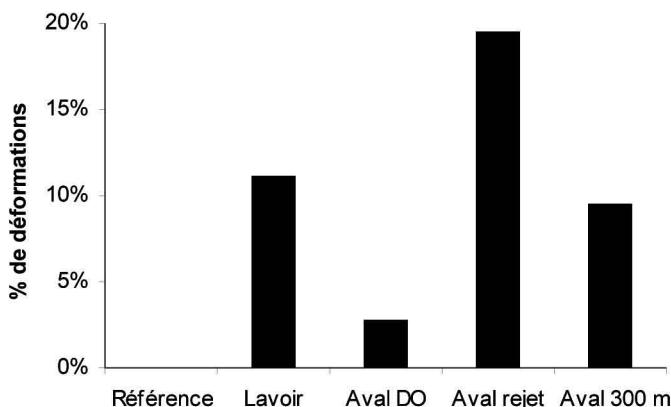
■ Analyse des déformations affectant les chironomes prélevés

La taille de la population nécessaire pour obtenir des résultats représentatifs varie largement dans la littérature. Certains considèrent que cinq individus sont suffisants [31]. D'autres, soulignent la nécessité d'avoir trente individus au minimum [17]. Toutefois, la majorité des auteurs s'accordent sur un effectif de cent individus [16, 18]. Nous avons choisi, dans ce travail, de présenter les résultats sur des effectifs d'au minimum cinq individus [31].

Dans la littérature, le pourcentage de déformations dans une station non contaminée a été estimée inférieur à 4 % [15-17]. Dans ce travail, aucune déformation n'a été relevée sur la station de Référence (figure 6). Sur les stations Lavoir, aval DO, Aval rejet et Aval 300 m, les taux de déformations sont respectivement de 11 %, 3 %, 20 % et 10 %. Il peut être considéré qu'une station est soumise à un impact défavorable à partir d'un taux de déformations supérieur à 8 % [2]. Ainsi, peut-on penser que les stations Lavoir, Aval rejet et Aval 300 m sont soumises à un stress toxique.

figure 6

Pourcentage de déformations dans les stations étudiées. Les nombres en italiques indiquent les effectifs de la sous-famille des Chironominae sur lesquels ont été déterminés les pourcentages de déformations.



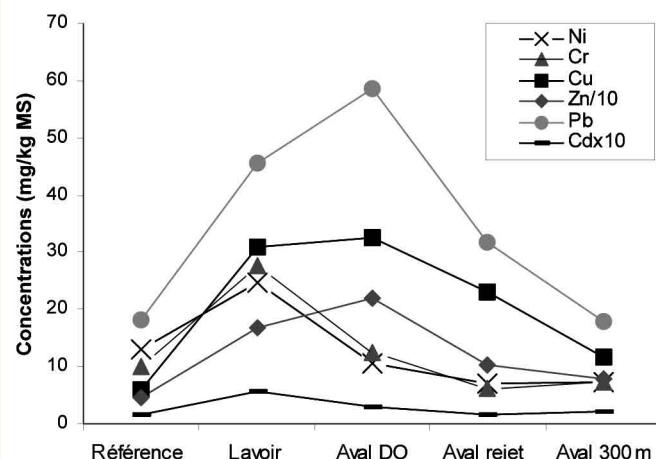
■ Analyse des éléments traces métalliques (ETM) présents dans les sédiments

Les quantités de plomb (Pb), de cuivre (Cu) et de zinc (Zn) augmentent à mesure que l'on s'éloigne de la station de Référence (figure 7) et atteignent leurs maxima (59 mg/kg matière sèche (MS), 33 mg/kg MS et 220 mg/kg MS respectivement) au niveau de la station Aval DO. Ces quantités diminuent au niveau de la station Aval rejet pour atteindre, au niveau de la station Aval 300 m, des valeurs proches de celles relevées dans la station de référence. Les quantités de chrome (Cr), de nickel (Ni) et de cadmium (Cd) sont maximales au niveau du lavoir, elles atteignent 28 mg/kg MS, 25 mg/kg MS et 0,6 mg/kg MS respectivement.

Les concentrations en métaux traces relevées au niveau des stations Référence et Aval 300 m, correspondent au bruit de fond métallique des sédiments naturels du bassin de la Seine (tableau 1) [32], excepté pour le zinc au niveau de la station Aval 300 m. En revanche, les concentrations en zinc, plomb et cuivre sont supérieures à celles du bruit de fond pour les stations Lavoir, Aval DO et Aval rejet. Les concentrations en nickel et cadmium mises en évidence au niveau de la station lavoir dépassent également les valeurs du bruit de fond.

figure 7

Concentrations en ETM dans les sédiments (mg/kg de matière sèche).

**tableau 1**

Niveaux moyens du bruit de fond métallique dans les sédiments naturels du bassin de la Seine (mg/kg) [32].

Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
0,22	40	15	16	20	60

Les fortes concentrations en ETM observées au niveau du laveoir sont à mettre en relation avec les pratiques agricoles sur le bassin versant ainsi qu'avec le ruissellement sur les surfaces imperméabilisées. En effet, le cadmium, le zinc ou bien encore le cuivre entrent dans la composition de certains intrants agricoles. De plus, le chrome, le plomb, le zinc et le nickel sont des contaminants caractéristiques du ruissellement provenant des surfaces urbaines et routières [33-35]. Les concentrations élevées, mises en évidence au niveau du déversoir d'orage, seraient ainsi liées aux rejets d'eaux pluviales chargées en ETM.

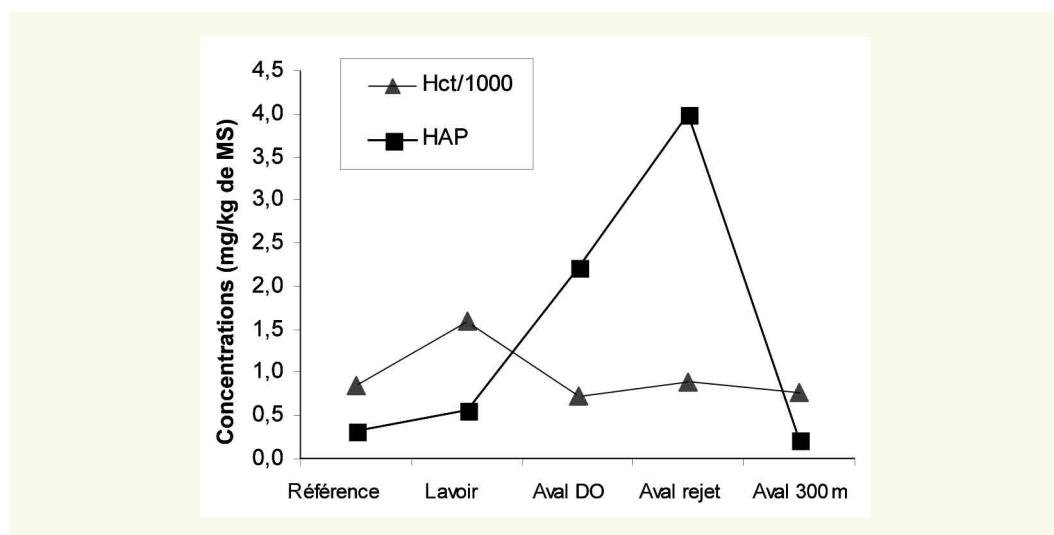
Le pourcentage de déformations observé au niveau de la station Aval rejet ne correspond pas aux concentrations maximales en ETM relevées. Toutefois, on observe un taux relativement élevé de déformations au niveau de la station Laveoir, dans laquelle on observe également des concentrations en ETM supérieures au bruit de fond.

■ Analyse des hydrocarbures présents dans les sédiments

Les concentrations en HAP augmentent à mesure que l'on s'éloigne du point de référence (figure 8) pour atteindre un maximum au niveau de la station Aval rejet ($\Sigma 14\text{HAP} = 3,9 \text{ mg/kg}$). Au niveau de la station Aval 300 m, les concentrations relevées correspondent à celles observées au niveau du point de référence ($\Sigma 14\text{HAP} = 0,2 \text{ mg/kg}$) et sont faibles en comparaison à celles observées dans les sédiments de la Seine [36, 37]. Le pourcentage le plus élevé de déformations est observé sur la station Aval rejet dans laquelle on relève des concentrations importantes en HAP. Toutefois, des valeurs non négligeables de déformations sont observées aux stations Laveoir et Aval 300 m, pour lesquelles on ne constate pas de concentrations élevées en HAP.

Au niveau de la station Laveoir, la concentration en Hct mise en évidence est relativement élevée. En effet, elle atteint 1596 mg/kg sur matériau brut non séché, alors qu'elle varie autour de 800 mg/kg dans les autres stations.

figure 8
Concentrations en hydrocarbures totaux et en HAP ($\Sigma 15$) dans les sédiments (mg/kg de matière sèche).



■ Analyse des produits phytosanitaires présents dans les sédiments du laveoir

Dans les sédiments du laveoir, seul le tributylphosphate contenu dans les herbicides et les fongicides a été détecté. Sa concentration s'élève à 0,14 mg/kg. Toutefois, d'autres substances pourraient ne pas être détectées en raison de leur forte affinité pour la phase aqueuse. Il s'avère, par conséquent, indispensable de doser également la colonne d'eau et/ou l'eau interstitielle.

CONCLUSION

L'objectif de ce travail était d'évaluer la réponse de l'indicateur déformations du mentum du chironome aux différentes pressions chimiques exercées sur une petite rivière péri-urbaine. Premièrement, les résultats ont mis en évidence la nécessité d'évaluer les taux de déformations au niveau de la sous-famille et non pas sur la famille dans sa totalité en raison d'un degré de sensibilité variable entre les sous-familles. Deuxièmement, les pourcentages de déformations relativement élevés observés dans les stations Lavoir, Aval DO et Aval rejet, laissent supposer l'existence de pressions chimiques. Toutefois, il est impossible d'établir des relations de causalité entre présence d'un toxique et pourcentages de déformations. Afin d'établir ces relations, il s'avère indispensable de procéder à des tests en laboratoire en conditions contrôlées. Ces tests pourraient être menés sur les HAP car il existe actuellement peu de données concernant la relation entre ces substances et les déformations du mentum affectant le chironome.

Seuls les ETM et les hydrocarbures ont été dosés. Or, les déformations du mentum pourraient être liées à d'autres toxiques tels que ceux appartenant à la famille des perturbateurs endocriniens. De plus, seuls les contaminants de la matrice solide ont été mesurés. Il serait également intéressant de rechercher les contaminants biodisponibles présents dans l'eau interstitielle. Ceci pourrait être réalisé grâce aux techniques d'échantillonneurs passifs [38]. Enfin, des tests de translocation, consistant à placer au niveau de différentes stations des cages contenant des chironomes élevés en laboratoire, pourraient être envisagés [39]. Cette technique permettrait non seulement de s'affranchir du faible effectif de chironomes d'une même sous-famille mais également de travailler au niveau taxonomique de l'espèce et ce sans étape de détermination.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1 VINDIMIAN E., La surveillance biologique des impacts toxiques dans l'environnement, *Cellular and Molecular Biology*, vol. **47**, 2001, pp. 67-79.
- 2 AFNOR, Détermination de l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN). 1992. 9 pages.
- 3 HARDERSEN S., FRAMPTON C.M., Effects of short term pollution on the level of fluctuating asymmetry - a case study using damselflie, *Entomologia experimentalis et applicata*, vol. **92**, n° 1, 1998, pp. 1-7.
- 4 HOOG I.D., EADIE J.M., WILLIAMS D.-D., TURNER D., Evaluating Fluctuating asymmetry in a stream-dwelling insect as an indicator of low-level thermal stress: a large-scale field experiment, *Journal of applied ecology*, vol. **38**, n° 6, 2001, pp. 1326-1339.
- 5 BIRD G.A., Use of chironomid deformities to assess environmental degradation in the Yamaska River, Quebec, *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. **30**, 1994, pp. 163-175.
- 6 VERMEULEN A.C., DALL P.C., LINDEGAARD C., OLLEVIER F., GODDEERIS B., Improving the methodology of chironomid deformation analysis for sediment toxicity assessment: a case study in three Danish lowland streams, *Arch. Hidrobiol.*, vol. **144**, n° 1, 1998, pp. 103-125.
- 7 MILBRINK G., Characteristic deformities in tubificid oligochaetes inhabiting polluted bays of Lake Vänern, Southern Sweden, *Hydrobiologia*, vol. **106**, n° 2, 1983, pp. 169-184.
- 8 HAMILTON A.R., SÆTHER O.A., The occurrence of characteristic deformities in the chironomid larvae of several Canadian lakes, *Can. Ent.*, vol. **103**, 1971, pp. 363-368.
- 9 MEREGALLI G., OLLEVIER F., Exposure of Chironomus Riparius larvae to 17 alpha-ethynylestradiol: effects on survival and mouthpart deformities, *The Science of the Total Environment*, vol. **269**, n° 1-3, 2001, pp. 157-161.
- 10 WATTS M.W., PASCOE D., CARROLL K., Chronic exposure to 17 alpha-ethynylestradiol and bisphenol A-effects on development and reproduction in the freshwater invertebrate Chironomus riparius (Diptera : Chironomidae), *Aquatic Toxicology*, vol. **55**, n° 2, 2001, pp. 113-124.
- 11 MARTINEZ E.A., MOORE B.C., SCHAUMLOFFEL J., DASGUPTA N., Morphological abnormalities in Chironomus tentans exposed to cadmium and copper spiked sediments, *Ecotoxicology and environment safety*, vol. **55**, n° 2, 2003, pp. 204-212.
- 12 VERMEULEN A.C., LIBERLOO G., DUMONT P., OLLEVIER F., GODDEERIS B., Exposure of Chironomus Riparius larvae to lead, mercury and beta-sitosterol: effects on mouthpart deformation and moulting, *Chemosphere*, vol. **41**, n° 10, 2000, pp. 1581-1591.
- 13 NAZAROVA L., WOLFGANG R., KAHLHEBER A., WERDING B., Some observations of buccal deformities in chironomid larvae from ciénaga grande de santa Marta, Colombia, *Caldasia*, vol. **26**, n° 1, 2004, pp. 275-290.
- 14 SHCHERBINA G.K., ZELENTOV N.I., Chironomids Fauna (Diptera, Chironomidae) in Some Waterbodies and Watercourses of Mongolia, *Inland Water Biology*, vol. **1**, n° 1, 2008, pp. 19-24.

- 15** WIEDERHOLM T., Incidence of deformed chironomid larvae (Diptera: Chironomidae) in Swedish lakes., *Hydrobiologia*, vol. 109, n° 3, **1984**, pp. 243-249.
- 16** DICKMAN M., RYGIEL G., Chironomid deformity frequencies, mortality, and diversity in heavy-metal contaminated sediments of canadian riverine wetland, *Environmental International*, vol. 22, n° 6, **1996**, pp. 693-703.
- 17** JANSSENS DE BISTHOVEN L., POSTMA J.F., PARREN P., TIMMERMANS K.R., OLLEVIER F., Relation between heavy metals in aquatic sediments and in Chironomus larvae of Belgian lowland rivers and their morphological deformities, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, vol. 55, n° 3, **1998**, pp. 688-703.
- 18** VERMEULEN A.C., Elaborating Chironomid deformities as bioindicators of toxic sediment stress: the potential application of mixture toxicity concepts, *Ann. Zool. Fennici*, vol. 32, n° 3, **1995**, pp. 265-285.
- 19** WATTS M.W., PASCOE D., CARROLL K., Exposure to 17-ethynodiol and bisphenol A effects on larval moulting and mouthpart structure of Chironomus Riparius, *Ecotoxicology and environment safety*, vol. 54, n° 2, **2003**, pp. 207-215.
- 20** VERGON J.-P., BOURGEOIS C., Diptères Chironomides (Larves aquatiques). Caractères généraux - Sous-familles et tribus, *Bulletin mensuel de la Société Linnéenne de Lyon*, **1993**, Association française de limnologie, 132 pages.
- 21** TACHET H., BOURNAUD M., RICHOUX P., *Introduction à l'étude des macroinvertébrés des eaux douces*, **2002**, Association française de limnologie, 153 pages.
- 22** EPLER J.H., *Identification manual for the larval chironomidae (diptera) of North and South Carolina*, US EPA, **2001**, 43 pages.
- 23** GOETGHEBUER M., Diptères (Nématocères) Chironomidae Chironomariae, Faune de France, **1928**, 174 pages.
- 24** GOETGHEBUER M., Diptères (Nématocères) Chironomidae Tanhypodinae, Faune de France, **1927**, 83 pages.
- 25** TACHET H., RICHOUX P., BOURNAUD M., USSEGLIO-POLATERA P., *Invertébrés d'eau douce. Systématique, biologie, écologie*, CNRS Editions, **2000**, 588 pages.
- 26** ENTREKIN S., WALLACE J., EGGERT S., The response of Chironomidae (Diptera) to a long-term exclusion of terrestrial organic matter, *Hydrobiologia*, vol. 575, n° 1, **2007**, pp. 401-413.
- 27** MARQUES M.M.G.S.M., BARBOSA F.A.R., CALLISTO M., Distribution and abundance of chironomidae (diptera, insecta) in an impacted watershed in south-east Brazil, *Rev. Brasil. Biol.*, vol. 59, n° 4, **1999**, pp. 553-561.
- 28** BAZZANTI M., BAMBACIGNO F., Chironomids as water quality indicators in the river Mignone (Central Italy), *Hydrobiological bulletin*, vol. 21, n° 2, **1987**, pp. 213-222.
- 29** GRZYBKOWSKA M., Development and habitat selection of chironomid communities, *River Research and Applications*, vol. 6, n° 4, **2006**, pp. 257-264.
- 30** WIEDERHOLM T.E., *Chironomidae of the Holarctic region. Keys and diagnoses. Part 1. Larvae.*, **1983**, 457 pages.
- 31** MACDONALD E.E., TAYLOR B.R., Incidence of mentum deformities in midge larvae (Diptera: Chironomidae) from Northern Nova Scotia, Canada, *Hydrobiologia*, vol. 563, **2006**, pp. 277-287.
- 32** THEVENOT D.R., LESTEL L., TUSSEAU-VUILLEMEN M.-H., GONZALEZ J.-L., MEYBECK M., *Les métaux dans le bassin de la Seine*, Rapport Piren-Seine, **2009**, 58 pages.
- 33** LAMPREA K., RUBAN V., Micro pollutants in atmospheric deposition, roof runoff and storm water runoff of a suburban Catchment in Nantes, France, *11th International Conference on Urban Drainage*, Edinburgh, Scotland, UK, **2008**.
- 34** GROMAIRE M.-C., GARNAUD S., GONZALZA A., CHEBBO G., Characterisation of urban runoff pollution in Paris, *Water Science and Technology*, vol. 39, n° 2, **1999**, pp. 1-8.
- 35** GNECCO I., BERRETA C., LANZA L.-G., LA-BARBERA P., Stormwater pollution in the urban environment of Genoa, Italy, *Atmospheric Research*, vol. 77, n° 1-4, **2005**, pp. 60-73.
- 36** OLLIVON D., GARBAN B., CHESTERIKOFF A., Analysis of the distribution of some polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments and suspended matter in the river Seine (France), *Water, Air, & Soil Pollution*, vol. 81, n° 1-2, **1995**.
- 37** CHEVREUIL M., ET AL., *La micropollution organique dans le bassin de la Seine*, Rapport Piren-Seine, **2009**, 66 pages.
- 38** ZHANG H., DAVISON W., In situ speciation measurements. Using DGT to determine inorganically and organically complexed metals, *Pure Appl. Chem.*, vol. 73, n° 1, **2001**, pp. 9-15.
- 39** MEREGALLI G., VERMEULEN A.C., OLLEVIER F., The use of chironomid deformation in an in-situ test for sediment toxicity, *Ecotoxicology and environment safety*, vol. 47, n° 3, **2000**, pp. 231-238.

