

# Effets de la pulvérisation foliaire de la jacinthe d'eau (*Pontederia crassipes*) au chlorure de sodium sur la communauté des macro-invertébrés benthiques

H. H. AKODOGBO<sup>1</sup>, C. F. ABIMBOLA<sup>1</sup>, N. C. GUEZO<sup>2</sup>, K. S. ABAHI<sup>3</sup>, E. D. FIOGBE<sup>2</sup>

(Reçu le 04/05/2023; Accepté le 15/08/2023)

## Résumé

La présente étude vise à évaluer les effets indirects de la pulvérisation foliaire de la jacinthe d'eau par le chlorure de sodium sur la communauté des macroinvertébrés benthiques dans un étang. Le dispositif expérimental a été composé de deux milieux distincts: eau sous-jacinthe (ESJ) pulvérisé et eau libre (EL) sans traitement. Les échantillons ont été prélevés avant et un mois après le traitement dans chaque milieu, et les macroinvertébrés ont été identifiés au niveau taxonomique le plus bas possible. Les tests non paramétriques de Wilcoxon ont été réalisés pour comparer au seuil de 5% l'abondance des macroinvertébrés avant et après pulvérisation. Les résultats montrent une diminution de la diversité des macroinvertébrés dans l'eau sous-jacinthe, ainsi qu'une modification de la composition taxonomique avec une augmentation de la densité plus marquée dans l'ESJ après pulvérisation. Malgré ces changements, la richesse taxonomique globale n'a pas présenté de différence significative entre l'eau sous-jacinthe et l'eau libre. En conclusion, cette méthode de lutte a entraîné une augmentation de la densité globale de certains taxons mais une diminution de la diversité des taxons, particulièrement ceux associés à la jacinthe d'eau, ce qui pourrait avoir des implications pour l'équilibre écologique de l'écosystème aquatique.

**Mots clés:** Pulvérisation foliaire, NaCl, *Pontederia crassipes*, Macroinvertébrés benthiques, Étang

## Effects of foliar spraying of water hyacinth (*Pontederia crassipes*) with sodium chloride on the benthic macroinvertebrate community

### Abstract

The present study aims to evaluate the indirect effects of foliar spraying of water hyacinth with sodium chloride on the benthic macroinvertebrate community in a pond at the Wetland Research Laboratory of the University of Abomey-Calavi, Benin. The experimental setup included two distinct environments: water under hyacinth (ESJ) subjected to spraying and untreated open water (EL). Samples were collected before and one month after the treatment in each environment, and macroinvertebrates were identified at the lowest possible taxonomic level. Non-parametric Wilcoxon tests were conducted to compare macroinvertebrate abundance before and after spraying at a significance level of 5%. The results showed a decrease in macroinvertebrate diversity in the sprayed water under hyacinth, as well as a taxonomic composition shift with a more pronounced density increase in ESJ after spraying. Despite these changes, the overall taxonomic richness did not show a significant difference between ESJ and EL. In conclusion, this control method led to an overall increase in density for certain taxa but a decrease in taxonomic diversity, particularly of those associated with water hyacinth, which may have implications for the ecological balance of the aquatic ecosystem.

**Keywords:** Foliar spraying, NaCl, *Pontederia crassipes*, Benthic macroinvertebrates, Pond

## INTRODUCTION

Les écosystèmes aquatiques jouent un rôle essentiel dans le maintien de la biodiversité et dans la préservation de la santé environnementale. Cependant, ces écosystèmes sont de plus en plus menacés par l'invasion de plantes aquatiques envahissantes, dont la jacinthe d'eau (*Pontederia crassipes* Mart., 1823); une espèce végétale originaire d'Amérique du Sud (Robles et Martínez, 2021). La jacinthe d'eau se développe rapidement dans les plans d'eau, formant des tapis denses à la surface, ce qui entraîne une diminution de la lumière et de l'oxygène dissous, une augmentation des solides dissous et perturbe l'équilibre écologique de l'écosystème (Coetzee *et al.*, 2020; Gezie *et al.*, 2018). Elle peut causer des changements dans la composition et la structure de l'écosystème, ainsi que dans la disponibilité des ressources.

Pour lutter contre la propagation de la jacinthe d'eau et limiter son impact néfaste sur les écosystèmes aquatiques, diverses mesures ont été mises en place. Les méthodes d'élimination comprennent l'élimination mécanique (coupe), le traitement chimique (herbicide, sel...) ou la lutte biologique (agents de biocontrôle tels que les poissons

et insectes herbivores) (Guézo *et al.*, 2022; Thiemer *et al.*, 2021) des méthodes basées sur le chlorure de sodium NaCl ont été mises au point pour lutter contre la prolifération de cette macrophyte envahissante.

Cette étude évalue l'impact de la technique mise au point sur la qualité physico-chimique de l'eau et présente l'état physico-chimique de l'eau d'un écosystème semi-artificiel (étang). Ces mesures peuvent avoir d'autres incidences sur le fonctionnement de l'écosystème comme la réduction de la biodiversité (Misteli *et al.*, 2023) et la prolifération de moustiques (Thiemer *et al.*, 2021; Gezie *et al.*, 2018). L'une de ces mesures est l'utilisation du chlorure de sodium (NaCl) en pulvérisation foliaire. Cependant, cette pratique peut entraîner une modification de la physico-chimie du milieu, notamment une diminution de l'oxygène dissous dans le milieu et une augmentation de la conductivité de l'eau, de la DCO et de la DBO<sub>5</sub> à la suite de la décomposition des plantes de jacinthe (Guézo *et al.*, 2022). Ceci soulève des interrogations quant à ses effets indirects sur la faune aquatique, notamment sur la communauté des macroinvertébrés benthiques. En effet, les macroinvertébrés jouent un rôle important dans les écosystèmes aquatiques en tant que

<sup>1</sup> Laboratoire de Recherche en Biologie Appliquée, École Polytechnique d'Abomey-Calavi, University d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin

<sup>2</sup> Laboratoire de Recherches sur les Zones Humides, Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin

<sup>3</sup> Laboratoire d'Écologie, Santé et Production Animales, Faculté d'Agronomie, Université de Parakou, Bénin

maillons de la chaîne alimentaire et en participant à des processus écologiques tels que la décomposition des matières organiques (Bonacina *et al.*, 2023). Ainsi, comprendre comment cette méthode, utilisant le NaCl, affecte les macroinvertébrés aide à évaluer l'efficacité de cette mesure de lutte spécifique et à identifier d'éventuels effets indésirables ou non intentionnels sur d'autres composantes de l'écosystème. Cela peut contribuer à développer des approches de gestion plus durables et respectueuses de l'environnement. Des études ont essayé d'évaluer les effets de cette méthode de lutte sur les communautés de macroinvertébrés, mais elles se sont limitées aux familles (Garcia *et al.*, 2021); notre étude abordera les taxons les plus inférieurs possibles. Cela favorisera une meilleure compréhension des écosystèmes et une gestion plus efficace et durable de la biodiversité. Ainsi, cette étude vise à évaluer l'impact de l'utilisation du chlorure de sodium contre le développement de la jacinthe d'eau sur la densité et la diversité des macroinvertébrés benthiques dans un étang.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### Milieu d'étude

Tous les travaux se sont déroulés sur le site du Laboratoire de Recherche sur les Zones Humides (LRZH) situé à l'Université d'Abomey-Calavi au Bénin (Figure 1). L'expérimentation s'est tenue dans un étang d'une surface de 33 m<sup>2</sup> et d'une profondeur 1,5 m. Le choix d'un étang comme milieu d'étude offre un compromis entre la facilité de contrôle expérimental, la reproductibilité des résultats, la facilité d'accès et de suivi, et la possibilité d'observer les interactions trophiques dans un cadre relativement contrôlé. L'étang regorgeait des organismes aquatiques tels que le phytoplancton, le zooplancton, les macroinvertébrés benthiques et quelques espèces de poissons (des familles

cichlidae et cannidae) (Guézo *et al.*, 2022), permettant ainsi de prendre en compte les interactions trophiques et par conséquent leur effet sur la dynamique de l'écosystème dans son ensemble. Un contexte plus complet de l'écosystème est donc pris pour l'étude.

### Dispositif expérimental et application de traitement

Le dispositif expérimental (Figure 2) était constitué de deux milieux: eau sous-jacinthe (ESJ) et eau libre (EL). Le milieu «eau sous jacinthe» a été formé à l'aide de trois cages flottantes (paniers) de 1m de diamètre d'ouverture dans lesquelles ont été ensemencées des plantes de jacinthe d'eau. L'eau libre est dépourvue de plantes de jacinthe et n'a pas subi de pulvérisation. 11,3 litres d'eau de mer ont servi à faire la pulvérisation foliaire des plantes de jacinthe ensemencées en une même journée, par cage, suivant la méthode utilisée par Guézo *et al.* (2022).

### Échantillonnage de la communauté de macroinvertébrés

La méthode d'échantillonnage «avant et après traitement» a été utilisée. Un échantillonnage a été fait avant pulvérisation puis un mois après la pulvérisation dans chaque milieu. A l'aide d'un filet troubleau de 500 µm de vide de maille, la surface du fond d'étang a été raclée en suivant le diamètre des paniers. Trois prélèvements ont été faits au niveau de chaque milieu (ESJ et EL) permettant d'avoir 6 échantillons à chaque échantillonnage.

Les échantillons recueillis ont été conservés dans des bouteilles puis fixés au laboratoire avec du formol 10%. Au laboratoire, les échantillons ont été rincés, triés à la loupe binoculaire (Abahi *et al.*, 2018) avant d'être identifiés au niveau taxonomique le plus bas possible grâce aux guides de Durand et Lévêque (1980) et Moisan (2010) et aux articles suivants: Kotzian et do Amaral (2013), Doannio

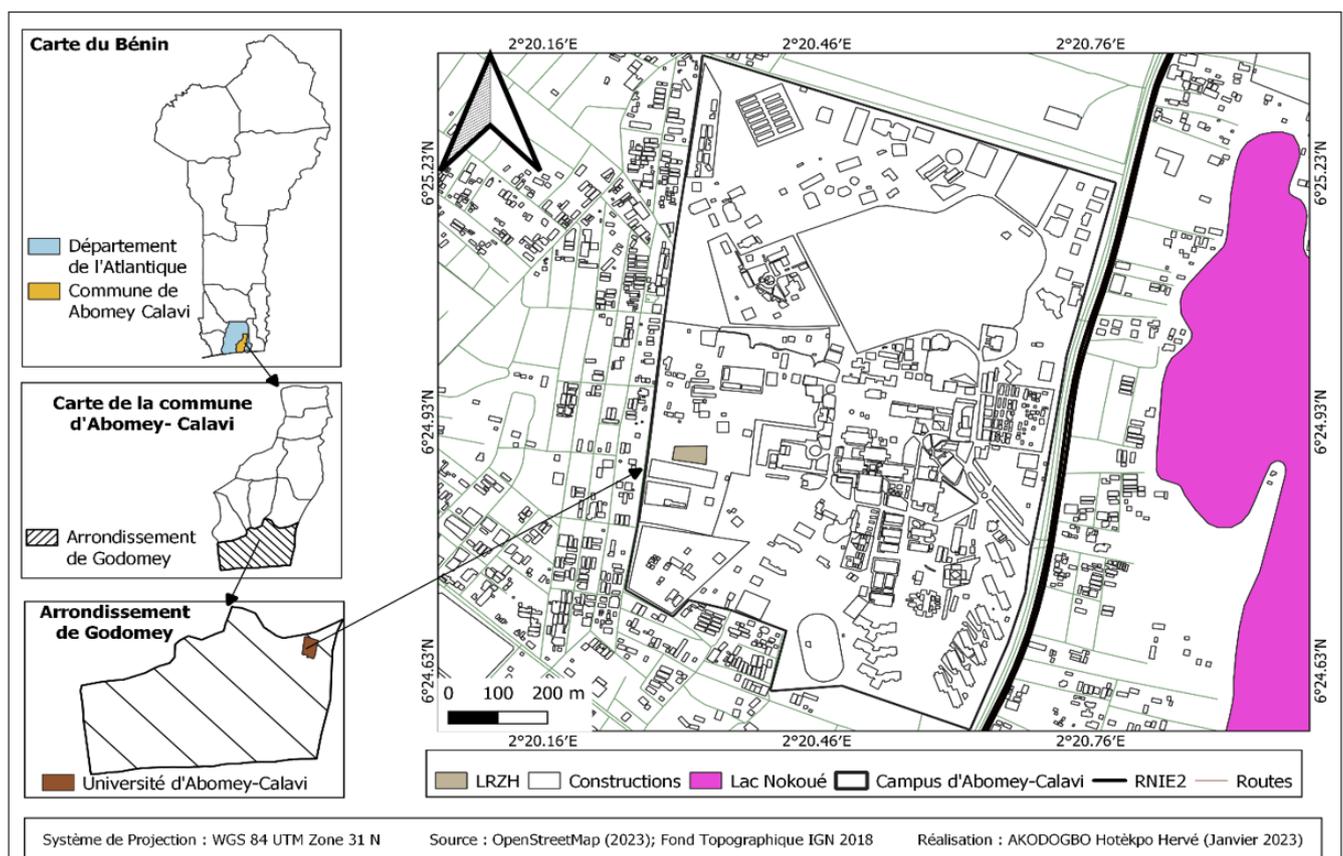


Figure 1: Localisation du Laboratoire de Recherche sur les Zones Humides sur le campus d'Abomey-Calavi

et al. (2011). La base de données globale sur les noms scientifiques Catalogue of Life (COL, 2023) a été utilisée pour la vérification et la mise à jour des noms et des classifications des taxons.

**Analyses statistiques**

Les indices de diversité de Shannon-Wiener (H), d'Équitabilité de Pielou (J) et la richesse taxonomique (S) ont été calculés avec le package Vegan version 2.6-4 (Oksanen et al. 2022), à l'aide du logiciel R version 4.3.0, pour évaluer la biodiversité des macroinvertébrés dans les différents milieux avant et après la pulvérisation de la jacinthe d'eau. L'indice de diversité de Shannon-Wiener (H) a permis d'évaluer l'étendue de la diversité des espèces du milieu. Un indice élevé de Shannon-Wiener indique une grande diversité d'espèces et une répartition équilibrable entre elles. L'indice d'Équitabilité de Pielou (J) a permis de mesurer l'équitabilité (ou équirépartition) des espèces du peuplement par rapport à une répartition théorique égale pour l'ensemble des espèces (Odountan et Abou, 2016). Un indice égal à 1 indique une répartition équilibrable, tandis qu'un indice proche de 0 suggère une distribution inégale. La richesse taxonomique (S) mesure simplement le nombre total de taxons présents dans chaque milieu. Le test de Wilcoxon à échantillons appariés a été fait pour comparer l'abondance des macroinvertébrés avant et après pulvérisation dans chaque milieu (ESJ et EL). Le test de Wilcoxon à échantillons indépendants a été effectué pour comparer l'abondance des macroinvertébrés avant pulvérisation dans les deux milieux (ESJ et EL), puis après pulvérisation. Les tests statistiques ont été réalisés au seuil de 5%, avec le logiciel R version 4.3.0 (2023-04-21 ucrt).

**RÉSULTATS**

**Influence du traitement sur la diversité des macroinvertébrés benthiques**

**Richesse taxonomique**

Le peuplement de macroinvertébrés relevés au cours de l'expérimentation appartient aux familles: Thiaridae, Libellulidae, Lymnaeidae, Coenagrionidae, Chironomidae, Naididae et Belostomatidae; en plus des Hydracariens (sous-ordre des Prostigmata) qui n'ont pas été identifiés jusqu'au niveau de la famille.

Avant pulvérisation, la richesse taxonomique était plus élevée en ESJ qu'en EL; en effet, un total de 8 taxons puis de 6 taxons ont été identifiés respectivement au niveau de

l'eau sous-jacinthe et de l'eau libre. Après pulvérisation, nous avons constaté qu'elle a diminué au niveau de l'eau sous-jacinthe (5 taxons) et l'eau libre (5 taxons) (Figure 3).

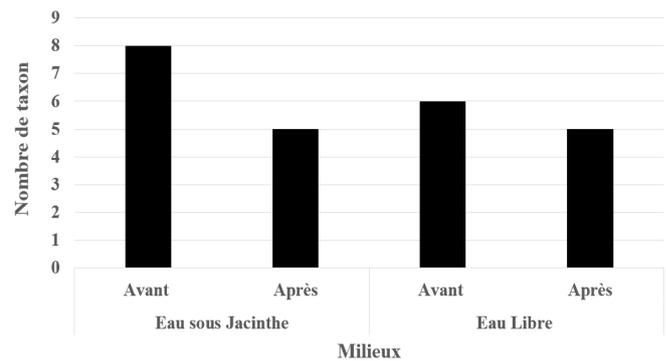


Figure 3: Richesse taxonomique dans les différents milieux avant et après traitement

**Indices de diversité**

Les valeurs des indices de diversité (Shannon et Pielou) après pulvérisation sont inférieures à celles avant pulvérisation dans chaque milieu. Ces différents indices ont nettement diminué après la pulvérisation. L'indice de Shannon (H) passe d'une valeur de 0,57 à 0,24 en eau sous-jacinthe et de 0,59 à 0,35 en eau libre après pulvérisation. L'indice d'Équitabilité de Pielou (J) diminue d'une valeur de 0,27 à 0,15 en eau sous-jacinthe et une valeur de 0,33 à 0,02 en eau libre. Bien que l'indice de Shannon soit inférieur à 3 bits, témoignant ainsi d'une faible diversité dans tous les milieux tout au long de l'expérimentation, la valeur la plus faible a été obtenue en eau sous jacinthe après pulvérisation (Figure 4).

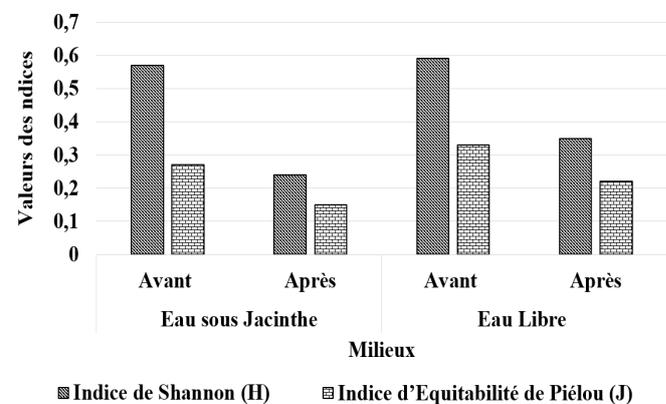


Figure 4: Indices de diversité des taxons dans les différents milieux avant et après traitement

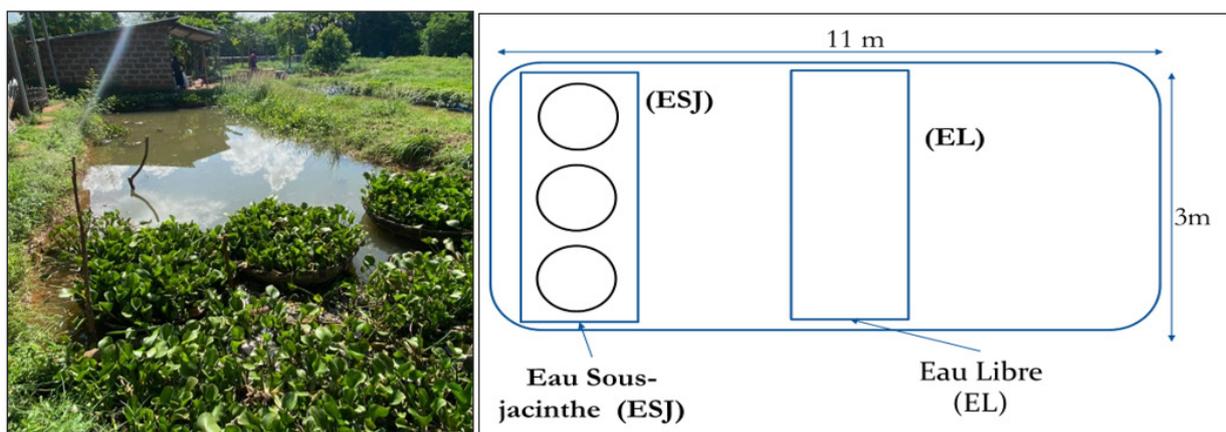


Figure 2: Dispositif expérimental

Légende: Les cercles en noirs représentent les paniers contenant les plants de jacinthes d'eau

La même tendance est observée pour l'indice d'Équité de Pielou qui traduit une inégale répartition des taxons dans les milieux durant l'expérimentation mais cette inégale répartition est beaucoup plus remarquable en eau sous-jacinthe après pulvérisation.

### Influence du traitement sur la densité des macroinvertébrés benthiques

#### Densité globale

La figure 5 nous montre que la densité moyenne globale a augmenté nettement dans chaque milieu après la pulvérisation; elle varie de 133,7 à 465,7 individus en eau sous-jacinthe et de 38,7 à 88,0 individus en eau libre. Mais cette différence observée n'est pas statistiquement significative au seuil de 5% dans chaque milieu. La densité moyenne est plus élevée en ESJ qu'en EL, avant et après pulvérisation. Mais la différence n'est significative au seuil de 5%.

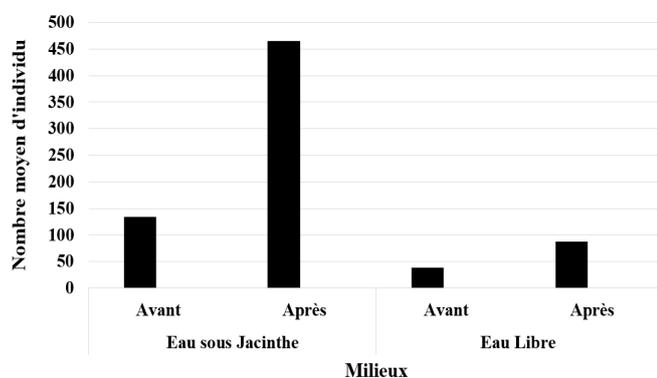


Figure 5: Densité des espèces dans les différents milieux avant et après traitement

#### Abondance relative des taxons

Le tableau 1 présente les abondances relatives des taxons recensés avant et après le traitement. Le taxon le plus abondant avant et après pulvérisation est *Melanoides* spp, représentant au moins 80% de l'abondance totale dans tous les milieux. Il connaît une augmentation de son abondance après pulvérisation. Le deuxième taxon le plus abondant avant pulvérisation était *Chironomus plumosus* (10,7%), mais il a connu une forte diminution de son abondance après pulvérisation en eau sous-jacinthe. Les hydracariens n'ont été retrouvés qu'en eau sous-jacinthe avant pulvérisation avec une faible abondance.

## DISCUSSION

Le peuplement de macroinvertébrés relevé au cours de l'expérimentation appartient aux familles: Thiaridae, Libellulidae, Lymnaeidae, Coenagrionidae, Chironomidae, Naididae et Belostomatidae; en plus des Hydracariens (sous-ordre des Prostigmata). Les Coenagrionidae, Belostomatidae et Chironomidae ont également été reportés comme familles inventoriées par Rhodes et Martinez (2021) dans un milieu infesté par la jacinthe d'eau. Après la pulvérisation, la richesse taxonomique et les indices de diversité (Shannon et Pielou) ont diminué dans les deux milieux. La diminution était plus prononcée dans l'eau sous-jacinthe, pour les trois paramètres de mesure de la diversité, témoignant ainsi d'une plus faible diversité et d'une forte inégale répartition des taxons dans l'eau sous-jacinthe après pulvérisation. Ceci peut être attribué à l'effet du traitement au chlorure de sodium. En effet, l'élimination des plants de jacinthe d'eau entraîne une pollution organique (Guézo *et al.*, 2022), ce qui favoriserait la dominance des taxa polluo-tolérants au détriment des taxa polluo-sensibles d'où leur inégale répartition. Ces observations corroborent avec celles de Misteli *et al.* (2023), qui ont remarqué que l'enlèvement des macrophytes dans les écosystèmes aquatiques peut affecter négativement la diversité globale du milieu. La faible diminution de la richesse taxonomique et l'augmentation de la densité en eau libre non pulvérisé, observées, peuvent être dues à des facteurs liés à la dynamique temporelle naturelle de la communauté de macroinvertébrés. Cependant, la richesse spécifique était plus élevée en ESJ qu'en EL avant pulvérisation. Ceci peut s'expliquer par le fait que la jacinthe d'eau sert de biotope pour certaines espèces qui y sont associés. En effet les hydracariens, par exemple n'ont été échantillonnés que dans l'eau sous jacinthe et, avant pulvérisation. Des taxons d'hydracariens sont connus pour vivre associés aux plants de jacinthe d'eau (Ermilov, 2021). Quant à la densité moyenne plus élevée dans l'eau sous-jacinthe que dans l'eau libre, tant avant qu'après la pulvérisation, elle peut s'expliquer par le fait que l'eau sous-jacinthe offre un habitat plus favorable aux macroinvertébrés que l'eau libre. La présence de la jacinthe d'eau peut fournir des surfaces d'attache (Thiemer *et al.*, 2021), des abris et des sources de nourriture supplémentaires pour les macroinvertébrés, même après la pulvérisation pour les taxons polluo-tolérants, ce qui favorise leur présence et leur

Tableau 1: Abondances relatives (%) des taxons recensés avant et après le traitement

Familles	Genre/espèce	Eau sous-jacinthe		Eau libre	
		Avant	Après	Avant	Après
Thiaridae	<i>Melanoides</i> spp.	84,8	95,3	86,2	92,8
Lymnaeidae	<i>Racesina luteola</i>	3,24	2,08	2,59	2,27
Libellulidae	<i>Cratilla metallica</i>	0,25	0,64	0,00	0,76
Coenagrionidae	<i>Pericnemis triangularis</i>	0,25	0,00	0,86	0,00
Chironomidae	<i>Chironomus plumosus</i>	10,7	0,07	3,45	2,65
Naididae	<i>Tubifex tubifex</i>	0,25	1,86	6,03	1,52
Belostomatidae	<i>Diplonychus</i> sp.	0,25	0,00	0,86	0,00
Sous-ordre des Prostigmata (Hydracariens)		0,25	0,00	0,00	0,00

abondance. Avant et après la pulvérisation, le taxon le plus abondant était *Melanoides* spp, qui représentait au moins 80% de l'abondance totale dans tous les milieux. En effet, *Melanoides* spp est un genre de mollusque d'eau douce, connu pour sa capacité à s'adapter à une large gamme de conditions environnementales (Patang *et al.*, 2018). Après la pulvérisation, son abondance a augmenté, tandis que *Chironomus plumosus* a connu une forte diminution de son abondance dans l'eau sous-jacinthe. Cet effet d'augmentation de l'abondance d'un taxon et de diminution d'un autre après la disparition des plantes a été rapporté par des études en milieu naturel lentique (Misteli *et al.*, 2023). La diminution de l'abondance de *Chironomus plumosus* après pulvérisation peut s'expliquer par le fait que les Chironomidae sont des taxons qui utilisent les macrophytes comme substrat (Thiemer *et al.*, 2021). Les taxons de la famille des Chironomidae sont souvent présents dans les peuplements de *P. crassipes* (Robles et Martínez, 2021). Ainsi l'élimination des plants de jacinthe d'eau, revient à une destruction d'un habitat optimal ou privilégié de ces taxons. Mais l'élimination des jacinthes d'eau entraîne une intensification de la pollution organique dans le milieu (Guézo *et al.*, 2022); ce qui aurait favorisé l'augmentation de *Melanoides* spp après pulvérisation.

## CONCLUSION

La présente étude contribue à la compréhension des effets de la pulvérisation foliaire de la jacinthe d'eau au chlorure de sodium sur la communauté des macroinvertébrés benthiques dans un étang. Cette pulvérisation a eu des effets indirects sur la communauté des macroinvertébrés. Elle a entraîné une diminution de la diversité des espèces de macroinvertébrés dans l'eau sous-jacinthe, ainsi que des changements dans la composition taxonomique des populations. Malgré ces changements, la richesse taxonomique globale n'a pas présenté de différence significative entre l'eau sous-jacinthe (ESJ) et l'eau libre (EL). L'eau sous-jacinthe a été impactée par la pulvérisation, avec une nette diminution de la diversité des macroinvertébrés associée à la disparition des espèces étroitement liées à la présence de la jacinthe d'eau. Les résultats de cette étude soulignent l'importance de considérer les effets indirects des traitements de lutte contre les espèces envahissantes sur les écosystèmes aquatiques. Ils ont mis en évidence l'importance de protéger la biodiversité et l'équilibre des écosystèmes aquatiques tout en cherchant à contrôler la propagation de la jacinthe d'eau. Des recherches supplémentaires seront nécessaires pour mieux comprendre les mécanismes sous-jacents à ces changements et pour évaluer leurs impacts à long terme sur la biodiversité et le fonctionnement de l'étang.

## RÉFÉRENCES

- Abahi K.S., Gnohossou P., Akodogbo H.H., Orou Piami Z., Adje D., Tchaou C., Okoya J. (2018). Structure et diversité des macroinvertébrés benthiques de la partie supérieure du fleuve Ouémé au Bénin. *Afrique Science: Revue internationale des sciences et technologie*, 14: 259–270.
- Bonacina L., Fasano F., Mezzanotte V., Fornaroli R. (2023). Effects of water temperature on freshwater macroinvertebrates: a systematic review. *Biological Reviews*, 98: 191–221.
- Coetzee J.A., Langa S.D.F., Motitsoe S.N., Hill M.P. (2020). Biological control of water lettuce, *Pistia stratiotes* L., facilitates macroinvertebrate biodiversity recovery: a mesocosm study. *Hydrobiologia*, 847: 3917–3929.
- COL (2023). The Catalogue of Life consulté en ligne sur <https://www.catalogueoflife.org/> le 30/07/2023.
- Doannio J.M.C., Konan K.L., Dosso F.N., Koné A.B., Konan Y.L., Sankaré Y., Ekaza E., Coulibaly N.D., Odéhour K.P., Dosso M., Sess E.D., Marsollier L., Aubry J. (2011). *Micronecta* sp (Corixidae) et *Diplonychus* sp (Belostomatidae), deux hémiptères aquatiques hôtes et/ou vecteurs potentiels de *Mycobacterium ulcerans* agent pathogène de l'ulcère de Buruli en Côte d'Ivoire. *Médecine tropicale*, 71: 53–57.
- Durand J.-R., Lévêque C. (1980). Flore et faune aquatiques de l'Afrique Sahelo-Soudanienne (Tome II), Editions de l'ORS-TOM. ed. Paris, France. 482 p.
- Ermilov S.G. (2021). Taxonomic notes on Malaconothridae (Acari, Oribatida) associated with water hyacinth in Egypt. *Zootaxa*, 4949: 589–590.
- Garcia J., Reyes A.D., David L., Simondac-Peria A. (2021). Diversity of benthic macroinvertebrates in Quiaoit and Baroro River Watersheds, Ilocos Region, Philippines. *Ecosystems and Development Journal*, 11: 32–47.
- Gezie A., Assefa W.W., Getnet B., Anteneh W., Dejen E., Mereta, S.T. (2018). Potential impacts of water hyacinth invasion and management on water quality and human health in Lake Tana watershed, Northwest Ethiopia. *Biological Invasions*, 20: 2517–2534.
- Guézo N.C., Fiogbé E.D., Bokossa H.K.J., Ouattara A., Assogba V.A., Kouamelan P.E. (2022). Impact de l'utilisation du chlorure de sodium utilisé en pulvérisation pour lutter contre le développement de la jacinthe d'eau *Eichhornia crassipes* sur la qualité physico-chimique d'un écosystème semi-artificiel. *Vertigo*.
- Kotzian C.B., do Amaral A.M.B. (2013). Diversity and distribution of mollusks along the Contas River in a tropical semi-arid region (Caatinga), Northeastern Brazil. *Biota Neotropica*, 13: 299–314.
- Misteli B., Pannard A., Aasland E., Harpenslager S.F., Motitsoe S., Thiemer K., Llopis S., Coetzee J., Hilt S., Köhler J., Schneider S.C., Piscart C., Thiébaud G. (2023). Short-term effects of macrophyte removal on aquatic biodiversity in rivers and lakes. *Journal of Environmental Management*, 325: 1–42.
- Moisan J. (2010). Guide d'identification des principaux macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, 2010: surveillance volontaire des cours d'eau peu profonds. Développement durable, environnement et parcs Québec, Canada, 82p.
- Odountan H., Abou Y. (2016). Structure and Composition of Macroinvertebrates during Flood Period of the Nokoue Lake, Benin. *Open Journal of Ecology*, 6: 62–73.
- Oksanen J., Simpson G., Blanchet F., Kindt R., Legendre P., Minchin P., O'Hara R., Solymos P., Stevens M., Szoecs E., Wagner H., Barbour M., Bedward M., Bolker B., Borcard D., Carvalho G., Chirico M., De Caceres M., Durand S., Evangelista H., FitzJohn R., Friendly M., Furneaux B., Hannigan G., Hill M., Lahti L., McGlenn D., Ouellette M., Ribeiro Cunha E., Smith T., Stier A., Ter Braak C., Weedon J. (2022). *Vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.6-4.
- Patang F., Soegianto A., Hariyanto S. (2018). Benthic Macroinvertebrates Diversity as Bioindicator of Water Quality of Some Rivers in East Kalimantan, Indonesia. *International Journal of Ecology*, 1-12.
- Robles W., Martínez E.L. (2021). A case study of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) control in Puerto Rico using glyphosate and hand removal. *Invasive Plant Science and Management*, 14: 196–203.
- Thiemer K., Schneider S.C., Demars B.O.L. (2021). Mechanical removal of macrophytes in freshwater ecosystems: Implications for ecosystem structure and function. *Science of The Total Environment*, 782: 1–17.