# STAGE DE MASTER 1 EN ECOTOXICOLOGIE

**Héritage toxique ? Effets multigénérationnels des micro-et nanoplastiques et du réchauffement climatique sur le copépode *Eurytemora affinis* en estuaire de Seine.**

***Durée souhaitée*** *: 2 mois maximum, non rémunéré*

***Début du contrat*** *: entre mi-février et début mars 2026 (flexible / à définir conjointement)*

***Encadrants*** *: PU Joëlle Forget-Leray, Doct Céleste Mouth*

***Lieu de déroulement principal du stage*** *: UMR Stress Environnementaux et BIOsurveillance des milieux aquatiques (SEBIO), site Université Le Havre-Normandie (https://umr-sebio.fr/)*

## *Descriptif du sujet et des travaux proposés :*

La pollution plastique suscite une inquiétude croissante en raison de sa persistance dans l'environnement et de ses effets néfastes sur le vivant. La production mondiale de plastique devrait augmenter continuellement, passant de 368 millions de tonnes en 2019 à plus de 33 milliards de tonnes d'ici 2050[1,2]. En raison des faibles taux de recyclage et d'une gestion inadéquate des déchets, on estime que 79 % du plastique produit a finalement été rejeté et s'est accumulé dans les milieux naturels[3]. Dans ces environnements, les déchets plastiques subissent une dégradation continue et se fragmentent en particules plus petites sous l'effet de facteurs de stress environnementaux tels que l'abrasion physique[4,5], l'action biologique[6] , l'exposition aux UV et d'autres processus de vieillissement[7]. Ces particules plastiques de petite taille constituent un nouveau type de polluant, désigné sous le terme de «microplastiques» (taille < 5 mm) et de «nanoplastiques» (taille < 1 µm), et représentent une menace environnementale majeure[8].

Les estuaires, zones de transition dynamiques entre les systèmes dulçaquicoles et marins, sont soumis à de fortes pressions anthropiques et naturelles, notamment l'augmentation des rejets de micro- et nanoplastiques (MNPs). Ces particules réactives, en raison de leur taille, de leur forme et de leur composition, peuvent pénétrer les tissus biologiques et agir comme vecteurs de métaux traces toxiques, de polluants organiques et de bactéries pathogènes, faisant peser des risques importants sur les organismes aquatiques et les écosystèmes[9,10].

Parmi les organismes les plus vulnérables, mais écologiquement essentiels dans les réseaux trophiques estuariens, figurent les copépodes calanoïdes, en particulier *Eurytemora affinis*, maillon trophique clé et espèce dominante du zooplancton dans les estuaires de la Seine (France) [11] et du Saint-Laurent (Canada) [12]. De récentes études phylogénétiques ont montré qu'*E. affinis* constitue un complexe d'espèces cryptiques comprenant au moins six clades[13,14,15,16], les populations de la Seine et du Saint-Laurent appartenant à deux clades génétiquement distincts et suivant des trajectoires évolutives divergentes,

pouvant donc présenter des sensibilités différentes aux stress environnementaux[17,18]. Malgré leur importance écologique et leur utilisation fréquente comme modèle en écotoxicologie, les effets combinés de la contamination par les MNPs et du changement climatique sur les populations sauvages d'*E. affinis* restent mal connus.

Ce stage a pour objectif d'évaluer les effets écotoxicologiques combinés des micro- et nanoparticules plastiques (MNP) les plus représentatives de l'estuaire de la Seine et du changement climatique sur le copépode *E. affinis*. L'approche repose sur une exposition multigénérationnelle, afin d'analyser les effets sur le développement des organismes ainsi que la persistance de ces effets au sein des générations suivantes.

En amont du stage, les types de polymères plastiques les plus abondants et leurs concentrations environnementales dans l'estuaire de la Seine (eau, sédiments et compartiment biologique *E. affinis*) auront été caractérisés par pyrolyse couplée à la chromatographie en phase gazeuse/spectrométrie de masse (Py-GC/MS).

Des organismes *E. affinis* seront ensuite prélevés dans l'estuaire, acclimatés aux conditions de laboratoire puis exposés à six conditions expérimentales : 1) Contrôle, 2) Exposition à un cocktail de MNP reflétant les concentrations environnementales, 3) Exposition à un cocktail de MNP à des concentrations élevées, 4) Réchauffement climatique simulé selon les scénarios de l'Atlantique Nord à l'horizon 2100 (+3,5 °C, GIEC 2023), 5) Multistress « environnemental » : réchauffement climatique + MNP à concentration environnementale, et 6) Multistress « extrême » : réchauffement climatique + MNP à concentration élevée.

Les effets à long terme seront étudiés sur plusieurs traits fonctionnels d'*E. affinis*, tels que la survie, la croissance et la reproduction. Des femelles ovigères (porteuses de sacs d'œufs) seront placées dans des pondoirs équipés d'une maille de 200 µm. À l'éclosion, les larves (nauplii) traverseront la maille et se déposeront au fond du bécher. Les femelles non ovigères seront alors retirées et les nauplii répartis dans des béchers correspondant à leur condition expérimentale, marquant le début de la première génération. À l'issue d'un cycle complet de développement, une partie des individus sera sacrifiée pour quantifier différents paramètres (nombre de sacs ovigères, nombre de nauplii, sex-ratio, etc.), tandis que l'autre partie servira à initier la génération suivante, jusqu'à atteindre trois générations successives (**Figure 1**).

## *Formalités de candidature :*

*Les candidat(e)s intéressé(e)s devront envoyer une lettre détaillée décrivant leurs motivations et leurs compétences et un CV (avec les coordonnés d'un ou deux référents). Des compétences théoriques et pratiques en écotoxicologie seraient particulièrement appréciées ainsi qu'une aisance pour le travail en laboratoire et les observations à la loupe binoculaire.*

***Contacts** : joelle.leray@univ-lehavre.fr et celeste.mouth@univ-lehavre.fr*

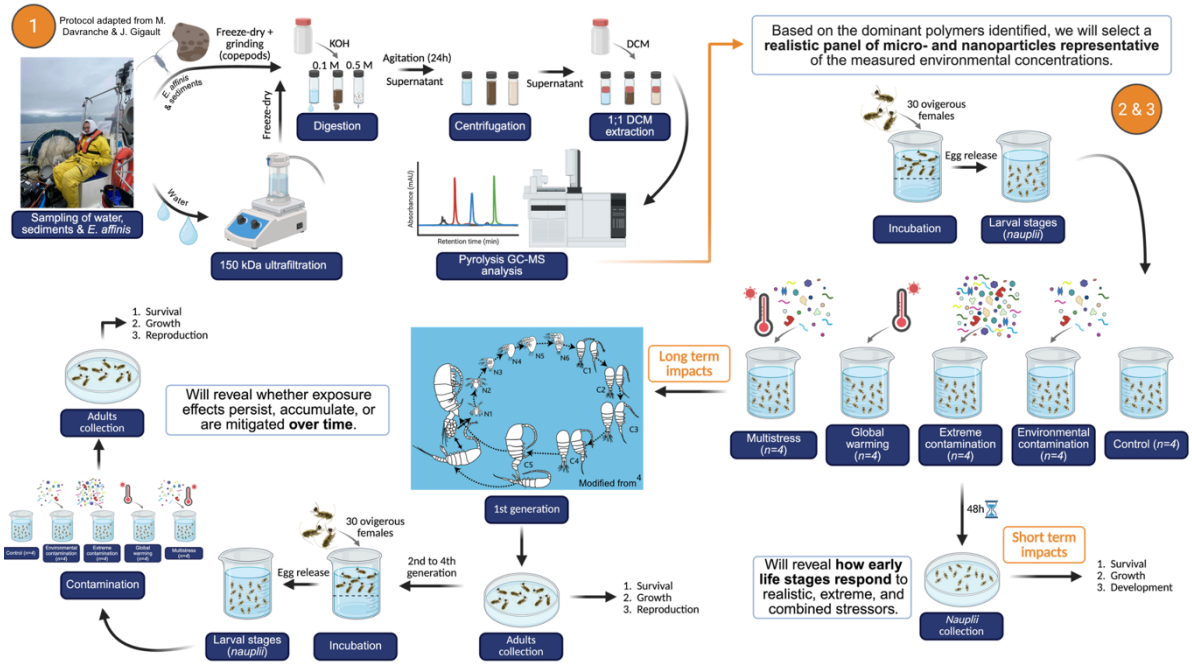


***Figure 1**. Protocole expérimental illustré. Le/la candidat/e retenu/e se chargera de la partie 2 & 3 « Long term impacts ».*

## *Références bibliographiques :*


***[1]** Wan, L., Cheng, H., Liu, Y., Shen, Y., Liu, G., & Su, X. (2023). Global meta-analysis reveals differential effects of microplastics on soil ecosystem. The Science of the Total Environment, 867, 161403. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161403*

***[2]** Worm, B., Lotze, H. K., Jubinville, I., Wilcox, C., & Jambeck, J. (2017). Plastic as a Persistent Marine Pollutant. Annual Review of Environment and Resources, 42(1), 1–26. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102016-060700*

***[3]** Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. Science Advances, 3(7), e1700782. https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782*

***[4]** Hartmann, N. B., Hüffer, T., Thompson, R. C., Hassellöv, M., Verschoor, A., Daugaard, A. E., Rist, S., Karlsson, T., Brennholt, N., Cole, M., Herrling, M. P., Hess, M. C., Ivleva, N. P., Lusher, A. L., & Wagner, M. (2019). Are We Speaking the Same Language? Recommendations for a Definition and Categorization Framework for Plastic Debris. Environmental Science & Technology, 53(3), 1039–1047. https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05297*

***[5]** Luo, H., Liu, C., He, D., Xu, J., Sun, J., Li, J., & Pan, X. (2021). Environmental behaviors of microplastics in aquatic systems: A systematic review on degradation, adsorption, toxicity and biofilm under aging conditions. Journal of Hazardous Materials, 423(Pt A), 126915. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126915*

***[6]** Zhao, S., Liu, R., Lv, S., Zhang, B., Wang, J., & Shao, Z. (2024). Polystyrene-degrading bacteria in the gut microbiome of marine benthic polychaetes support enhanced digestion of plastic fragments. Communications Earth & Environment, 5(1). https://doi.org/10.1038/s43247-024-01318-6*

***[7]*** *Rubin, A. E., Sarkar, A. K., & Zucker, I. (2021). Questioning the suitability of available microplastics models for risk assessment – A critical review. The Science of the Total Environment, 788, 147670. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147670*

***[8]*** *Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W. G., McGonigle, D., & Russell, A. E. (2004). Lost at sea: Where is all the plastic? Science, 304(5672), 838. https://doi.org/10.1126/science.1094559*

***[9]*** *Foulon, V., Roux, F. L., Lambert, C., Huvet, A., Soudant, P., & Paul-Pont, I. (2016). Colonization of Polystyrene Microparticles by Vibrio crassostreae: Light and Electron Microscopic Investigation. Environmental Science & Technology, 50(20), 10988–10996. https://doi.org/10.1021/acs.est.6b02720*

***[10]*** *Yu, F., Yang, C., Zhu, Z., Bai, X., & Ma, J. (2019). Adsorption behavior of organic pollutants and metals on micro/nanoplastics in the aquatic environment. The Science of the Total Environment, 694, 133643. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133643*

***[11]*** *Mouny, P., & Dauvin, J. (2002). Environmental control of mesozooplankton community structure in the Seine estuary (English Channel). Oceanologica Acta, 25(1), 13–22. https://doi.org/10.1016/s0399-1784(01)01177-x*

***[12]*** *Favier, J., & Winkler, G. (2014). Coexistence, distribution patterns and habitat utilization of the sibling species complex Eurytemora affinis in the St Lawrence estuarine transition zone. Journal of Plankton Research, 36(5), 1247–1261. https://doi.org/10.1093/plankt/fbu063*

***[13]*** *Lee, C. E. (2000). Global phylogeography of a cryptic copepod species complex and reproductive isolation between genetically proximate "populations". Evolution, 54(6), 2014–2027. https://doi.org/10.1111/j.0014-3820.2000.tb01245.x*

***[14]*** *Alekseev, V. R., & Souissi, A. (2011). A new species within the Eurytemora affinis complex (Copepoda: Calanoida) from the Atlantic Coast of USA, with observations on eight morphologically different European populations. Zootaxa, 2767(1). https://doi.org/10.11646/zootaxa.2767.1.4*

***[15]*** *Sukhikh, N., & Alekseev, V. (2013). Eurytemora caspica sp. nov. from the Caspian Sea – one more new species within the E. affinis complex (Copepoda: Calanoida: Temoridae). Proceedings of the Zoological Institute RAS, 317(1), 85–100. https://doi.org/10.31610/trudyzin/2013.317.1.85*

***[16]*** *Du, Z., Wirtz, J., Jenstead, A., Opgenorth, T., Puls, A., Meyer, C., & Lee, C. E. (2024). Genome architecture evolution in an invasive Copepod species complex. SSRN Electronic Journal. https://doi.org/10.2139/ssrn.4745492*

***[17]*** *Engström-Öst, J., Barrett, N., Brutemark, A., Vehmaa, A., Dwyer, A., Almén, A. K., & De Stasio, B. T. (2017). Feeding, survival, and reproduction of two populations of Eurytemora (Copepoda) exposed to local toxic cyanobacteria. Journal of Great Lakes Research, 43(6), 1091-1100. https://doi.org/10.1016/J.JGLR.2017.09.009*

***[18]*** *Peignot, Q., Winkler, G., Roy, E., Giusti, N., & Forget-Leray, J. (2024). First evidence of lithium toxicity in the cryptic species complex of the estuarine copepod Eurytemora affinis. Ecotoxicology and Environmental Safety, 283, 116813. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116813*