



Immerger les lycéens dans la recherche en écologie du stress

Retour sur une collaboration innovante entre le lycée Saint Joseph et l'INRAE UMR CARTEL de Thonon-les-Bains

Auteurs : Emilie REALIS-DOYELLE, Chercheuse en écologie, INRAE UMR CARTEL, Thonon-les-Bains
Kassem NASSAR, Enseignant en SVT, Lycée Saint Joseph, Thonon-les-Bains

Résumé : Depuis l'année scolaire 2024-2025, une collaboration inédite unit le lycée Saint Joseph de Thonon-les-Bains et l'unité mixte de recherche INRAE CARTEL.

Des élèves de Terminale spécialité SVT participent activement, chaque mercredi après-midi, à des expérimentations en écologie du stress dans le cadre des "Mercredis de l'OLA" (Observatoire des Lacs Alpins).

Ce projet vise à permettre aux lycéens de s'imprégner de l'univers de la recherche et à encourager ou susciter des vocations scientifiques.

Ces activités s'appuient directement sur des travaux de recherche menés par les équipes de l'INRAE CARTEL et ont déjà donné lieu à des communications¹ dans des congrès internationaux, notamment au MIT, dans le cadre d'un congrès consacré à la pollution issue de la circulation routière.

Ce partenariat repose sur une volonté commune de rendre la science accessible, concrète et inspirante pour les élèves, tout en bénéficiant de leur énergie et de leur curiosité pour avancer sur des questions scientifiques actuelles.

Mots-clés : Pédagogie par la recherche, écologie du stress, partenariat éducation-recherche, immersion scientifique, lycéens, INRAE.

¹ urlr.me/mz7jYp

Introduction

L'écologie du stress est un champ disciplinaire en pleine expansion, essentiel pour comprendre les réponses des organismes et des écosystèmes face aux perturbations environnementales.

Dans un contexte où les enjeux écologiques deviennent centraux, il est crucial de former les jeunes générations aux méthodes et aux questionnements de la recherche scientifique sur ces thèmes. De plus, face à l'éco-anxiété, participer, agir et voir son nom associé et cité dans un article scientifique renforce le sentiment d'efficacité personnelle.

Par ailleurs, depuis 2021, la discipline des Sciences de la Vie est le choix des élèves de Terminale dans la filière générale qui a le plus reculé² pour des études scientifiques. Les SVT souffrent des biais d'idées reçues, comme par exemple « facilement rattrapable dans le supérieur », les élèves privilégiant les Mathématiques et les Sciences Physiques et Chimie, perçue comme « la doublette qui met à l'abri de ne rien avoir du tout »³.

Ce projet pourrait donc servir à démystifier le monde de la recherche et par ricochets d'autres filières qui lui sont liées comme les filières PASS, BCPST et les écoles vétérinaires, où différents acteurs comme les chercheur·ses, doctorant·es ou technicien·nes peuvent distiller des informations claires et motivantes pour encourager les élèves à envisager ces parcours prestigieux en conservant la spécialité SVT.

Dès lors, c'est avec ces objectifs qu'a été initié, dès la rentrée 2024, un partenariat entre le lycée Saint Joseph de Thonon-les-Bains et l'unité mixte de recherche INRAE CARRTEL.

Ce partenariat, engagé depuis deux ans, permet à des élèves de Terminale spécialité SVT de s'initier concrètement à la recherche en écologie, en participant chaque semaine à des expérimentations encadrées par des chercheurs.

Ces activités prennent place dans le cadre des "Mercredis de l'OLA", dispositif pédagogique intégré à l'Observatoire des Lacs Alpains, permettant de relier enseignement, recherche et observation de terrain.

Au-delà de l'aspect pédagogique, ce projet poursuit trois buts principaux :

- faire découvrir concrètement la démarche scientifique,
- initier les élèves aux outils et méthodes de la recherche,
- susciter des vocations dans les sciences de l'environnement.

Une collaboration mutuellement bénéfique.

Le lycée Saint Joseph et l'INRAE CARRTEL ont souhaité créer un pont entre l'enseignement secondaire et la recherche.

Ce partenariat repose sur une volonté commune du lycée et de l'INRAE : rendre les sciences plus accessibles, plus concrètes et plus vivantes pour les élèves, tout en profitant de leur regard neuf et de leur motivation pour enrichir les travaux de recherche.

Chaque mercredi après-midi, les élèves sont accueillis sur le site de la station INRAE de Thonon-les-Bains.

Ils participent à des activités variées allant de la collecte de données à leur analyse en laboratoire, en passant par le traitement statistique et l'interprétation des résultats.

² urlr.me/TVFctz

³ Joël Capon, psy-EN et directeur du CIO de Lens (62) in https://urls.fr/FQP_3W

Les thématiques abordées concernent principalement les effets des stress environnementaux sur les organismes, qu'ils soient liés à des facteurs abiotiques (température, pollution) ou biotiques (compétition, interactions entre espèces).

Une immersion dans la démarche scientifique

Les élèves sont progressivement intégrés à des protocoles de recherche issus des travaux de l'unité.

Ils participent à des expériences sur des poissons, des invertébrés ou des plantes, en lien avec des problématiques actuelles en écologie du stress.

Cette immersion leur permet de comprendre concrètement comment se construit une question scientifique, comment se conçoit un protocole expérimental, et comment s'interprètent des résultats.

Résumé des objectifs pédagogiques et scientifiques :

| Objectif | Description | Bénéfices attendus |
|--|---|---|
| Immersion dans la recherche | Découverte des protocoles expérimentaux Analyse de données Sensibilisation aux enjeux écologiques | Résultats significatifs Esprit critique Responsabilité vis-à-vis des mesures |
| Encourager l'orientation vers les sciences du vivant | Offrir une expérience concrète aux élèves passionnés par les sciences du vivant | Motivation accrue pour les études scientifiques |
| Renforcement du lien éducation-recherche | Collaboration entre enseignants et chercheurs | Enrichissement mutuel des pratiques pédagogiques et scientifiques |

Organisation

Les élèves de Terminale spécialité SVT du lycée Saint Joseph participent aux expérimentations chaque mercredi après-midi, de 13h30 à 15h30, sur le site de la station INRAE de Thonon-les-Bains.

Ces séances sont encadrées conjointement par des enseignants de SVT et des chercheurs de l'UMR CARTEL.

Ces manipulations sont directement issues de protocoles développés dans le cadre des recherches des doctorants de l'unité, et sont alignées avec les thématiques présentées lors de congrès internationaux.

Contexte

L'usure des pneumatiques d'un véhicule motorisé terrestre génère environ 0,1 gramme de particules de caoutchouc par kilomètre, soit par exemple plus de 700 kg par kilomètre en une année sur la D1508 longeant le Lac d'Annecy ou sur la D1201 longeant le Lac du Bourget.

Ces microplastiques particuliers, dénommés TWP (Tire Wear Particles), peuvent rejoindre le sédiment des zones littorales lacustres et impacter les organismes aquatiques en raison de leur composition chimique. Les TWP, majoritairement constituées de caoutchouc, contiennent en effet de nombreux additifs dont certains sont solubles dans l'eau et très toxiques.

Depuis 2020, la recherche scientifique a par exemple démontré la libération par ces TWP d'une molécule à effet létal sur certaines espèces de salmonidés : la 6PPDq, produit de transformation de l'additif 6PPD (Figure 1), un anti-vieillessement du caoutchouc.

L'étude-action ZABR n°87 2023 (Plastioble-CARTELE) montre ainsi les effets néfastes de la 6PPDq sur les premiers stades de vie de l'omble chevalier. L'industrie pneumatique travaille actuellement à la recherche d'un autre additif aux propriétés comparables à celles du 6PPD pour la préservation du caoutchouc, mais moins nocif aux espèces piscicoles. Il n'a toutefois pas été clairement démontré que la substitution de cet additif par une molécule moins nocive permettrait de résoudre le problème d'impact toxique des TWP sur les écosystèmes aquatiques. En effet, les TWP se transforment au contact de la chaussée en TRWP (Tire Road Wear Particles) et incorporent d'autres constituants toxiques (métaux et HAP notamment) issus de la circulation véhiculaire, puis sont mélangées aux autres poussières de route (PR).

Le projet vise donc à étudier l'origine des potentiels effets toxiques sur les organismes aquatiques des poussières de route remobilisées vers les écosystèmes d'eau douce (lacs et rivières) par le ruissellement sur les voies de circulation.

Pour cela nous comparerons les effets toxiques des molécules 6PPD et 6PPDq (seules ou en mélange) aux effets toxiques des TWP et des PR en réalisant différents bio-essais utilisant des gammarès.

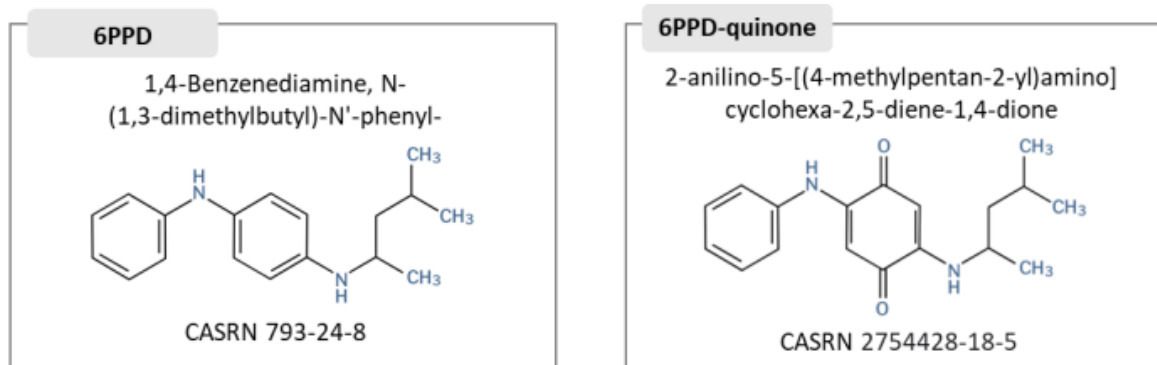


Figure 1 : Formules chimiques développées de la 6PPD et 6PPD-quinone

Protocoles expérimentaux

Les lycéens sont impliqués dans des protocoles variés, allant de la collecte de données sur le terrain à l'analyse en laboratoire, en passant par le traitement statistique et l'interprétation des résultats.

Les thèmes abordés incluent notamment l'impact des stress abiotiques (température, pollution) et biotiques (prédation, compétition) sur les organismes aquatiques et terrestres.

Dans le cadre des Mercredis de l'OLA, les élèves ont participé à des protocoles expérimentaux directement issus des travaux de recherche en écologie du stress menés au laboratoire.

Effets des contaminants routiers sur la reproduction des gammarès

Un premier axe de travail a consisté à étudier les effets de contaminants issus du trafic routier sur la reproduction d'un invertébré aquatique modèle, le gammaré.

Les femelles ont été exposées pendant 21 jours à différents types de contaminants représentatifs des environnements routiers : poussières de chaussée, particules d'usure de pneus, ainsi que des composés issus de la dégradation des pneus.

À l'issue de l'exposition, les élèves ont analysé des photographies de femelles ovigères afin de quantifier les effets sur la reproduction.

Ils ont notamment comptabilisé le nombre d'ovocytes portés par chaque femelle selon les conditions expérimentales, et mesuré leur taille à l'aide d'un logiciel d'analyse d'image Image J (Figure 2).

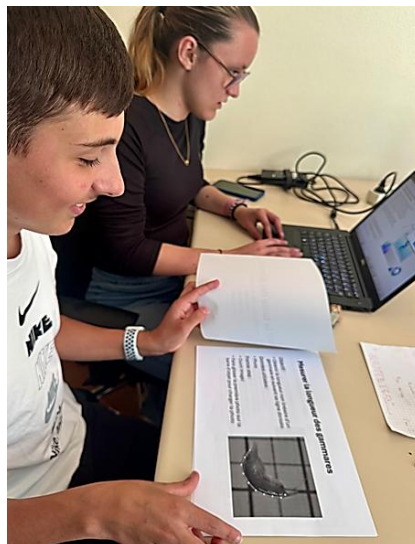
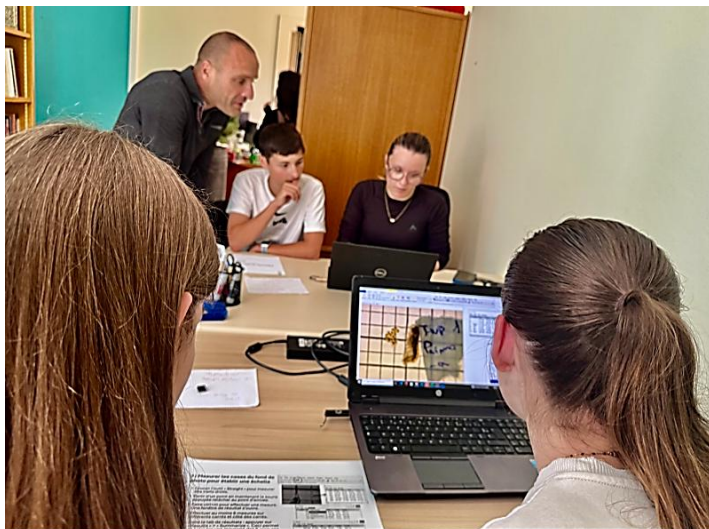


Figure 2 : Comptage d'ovocytes de gammare avec Image J

Ce travail a permis de mettre en évidence des variations à la fois du nombre d'ovocytes et de leur développement en fonction du type de contamination.

Les élèves ont ainsi pu relier directement l'exposition à des polluants environnementaux à des effets biologiques mesurables sur la reproduction, tout en s'initiant à l'analyse quantitative d'images scientifiques.

Réponses enzymatiques au stress oxydatif

Sur les mêmes organismes, les élèves ont également participé à l'étude des réponses physiologiques au stress induit par les contaminants.

Ils ont réalisé des dosages enzymatiques permettant de quantifier l'activité de marqueurs du stress oxydatif, notamment la catalase et la glutathion S-transférase (GST).

Ces analyses ont été effectuées par spectrophotométrie, en mesurant l'absorbance de réactions enzymatiques spécifiques (Figure 3).

Les élèves ont ainsi contribué à la préparation des échantillons, à la réalisation des mesures et à l'exploitation des données.

L'ensemble de ces résultats a permis de mettre en évidence une activation des systèmes antioxydant chez les organismes exposés, traduisant une réponse physiologique au stress chimique.



Figure 3 : dosages enzymatiques et mesure d'absorbance par spectrophotométrie

Apports pédagogiques et scientifiques

Ces deux approches complémentaires — reproductive et enzymatique — ont permis aux élèves de comprendre comment un même stress environnemental peut être étudié à plusieurs niveaux d'organisation biologique.

Sur le plan pédagogique, ces manipulations leur ont offert une immersion complète dans la démarche expérimentale : observation, quantification, analyse d'image, traitement de données et interprétation biologique.

Ils ont également acquis une première expérience de techniques couramment utilisées en écotoxicologie (microscopie, analyse d'image, spectrophotométrie).

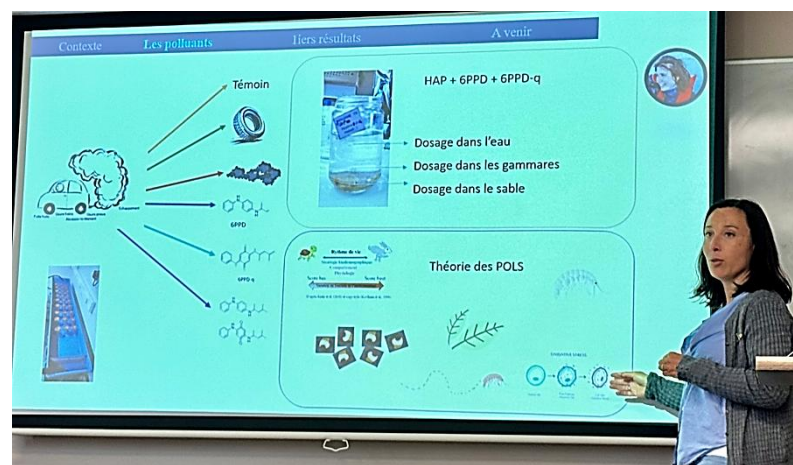
Sur le plan scientifique, ces travaux ont contribué à enrichir les jeux de données existants sur les effets des particules issues du trafic routier, en particulier sur des organismes sentinelles des milieux aquatiques.

Valorisation des résultats

Dès la session 2025, les données collectées avec l'aide des lycéens ont permis d'avancer sur des questions clés en écologie du stress.

Leur travail a été présenté lors d'une communication au Massachusetts Institute of Technology (MIT) à Boston lors d'un congrès consacré aux pollutions issues du trafic routier.

Cette reconnaissance souligne la qualité du travail réalisé et l'intérêt scientifique de cette collaboration entre chercheurs et lycéens.



Résultats et perspectives

Bénéfices pour les élèves

Témoignage :

« Avant ce projet, je ne savais pas vraiment ce qu'était la recherche en écologie. Maintenant, je comprends mieux comment on pose une hypothèse, comment on conçoit une expérience, et surtout, à quel point c'est important de bien analyser les données. Ce qui m'a le plus marquée, c'est de voir que nos résultats pouvaient avoir un impact réel, pouvant aboutir à des prises de décisions environnementales locales voir nationales. Et puis, présenter notre travail devant des chercheurs, c'était à la fois stressant et super motivant ! » — **L. Z. - Terminale SVT, élève, Lycée Saint Joseph**

Bénéfices pour la recherche

Les chercheurs de l'INRAE CARRETEL ont pu compter sur l'implication et l'enthousiasme des élèves pour avancer plus rapidement sur certains protocoles. Cette collaboration a également permis de tester de nouvelles approches pédagogiques pour la diffusion des savoirs scientifiques.

Témoignage :

« Travailler avec des lycéens est une expérience très enrichissante. Leur regard neuf et leurs questions nous poussent parfois à reconsidérer nos propres approches. Leur implication dans la collecte et l'analyse des données a permis d'avancer plus vite sur certains protocoles. Et surtout, c'est une belle façon de transmettre notre passion pour la recherche et de sensibiliser les jeunes aux enjeux écologiques actuels. » — **Dr Emilie REALIS-DOYELLE, Chercheuse en écologie du stress, INRAE CARRETEL**

Perspectives

Fort de ce succès, le partenariat entre le lycée Saint Joseph et l'INRAE CARRETEL sera poursuivi et élargi à d'autres classes et thèmes de recherche.

Une publication scientifique co-signée par les élèves et les chercheurs est également envisagée pour valoriser leur travail.

Par ailleurs, des certifications de participation seront décernées aux élèves afin de valoriser le travail accompli sur Parcousup.

Témoignage :

« Des travaux et activités pratiques « de classe », nous passons à un projet de recherche concret, avec enjeux de résultats. Les élèves prennent conscience progressivement de la rigueur pour les mesures et la collecte de données, car elles sont cruciales pour tous les acteurs du projet. Ils ont réalisé par ailleurs que pour un projet de recherche, il fallait rédiger et soumettre des demandes de financement !..» — **K. Nassar, Professeur de SVT, Lycée Saint Joseph**

Remerciements : Nous tenons à remercier chaleureusement les élèves du lycée Saint Joseph pour leur enthousiasme et leur implication sans faille.

Un remerciement particulier à l'équipe de l'INRAE CARRETEL pour son accueil et son encadrement de qualité.

Références :

Emilie Réalis-Doyelle : urlr.me/r4e3Sj

[Behavioral Impact of Road Dust and Tire Wear Particle on Gammarids and Potential Functional Consequences](#)

Z Arrigoni, E Naffrechoux, E Réalis-Doyelle