

RÉPONSE ÉVOLUTIVE DE POPULATIONS DE NÉMATODES (*CAENORHABDITIS ELEGANS*) EXPOSÉS À DES RAYONNEMENTS IONISANTS

Thèse de Loïc **QUEVAREC**¹

Analysée par Jacques **BERTHELIN**² et Jean Charles **MUNCH**³

Directrice de thèse : Christelle **ADAM-GUILLERMIN**, IRSN

Co-directeur de thèse : Jean-Marc **BONZOM**, IRSN

Le manuscrit de thèse de Loïc Quevarec est présenté en 179 pages, dont 134 pages sans les annexes. Ces 134 pages sont structurées en cinq parties : la première, introductive, présente les objectifs et l'état des connaissances, les quatre parties suivantes (chapitres 1 à 4) présentent chacune les résultats d'une expérience. Elles sont rédigées en anglais, sous forme d'articles, acceptés pour publication, ou soumis, ou en préparation.

Les travaux de recherche présentés dans cette thèse de doctorat visent à déterminer l'effet d'un rayonnement ionisant (gamma) d'un élément radioactif artificiel (caesium) sur un organisme (nématode) de la microfaune de milieux naturels pris comme organisme témoin. La thématique relève du domaine de la radioprotection et plus particulièrement de la radioécologie et de la radio toxicologie. L'approche et les démarches qui sont orientées sur l'étude des effets du rayonnement ionisant sur l'évolution multigénérationnelle des populations sont originales. L'étude expérimentale est conduite en laboratoire, en conditions contrôlées, dans des dispositifs simples de culture (e.g. boîtes de Pétri de 3 et 6 cm de diamètre ou plaques de culture), pour observer l'effet du rayonnement apporté par le caesium (Cs 137) sur l'évolution d'une population de nématodes, *Caenorhabditis elegans*, organisme choisi comme référence. Ces expériences sont de longues durées pour observer les effets transgénérationnels de l'irradiation. L'irradiation est assurée par un Mini Irradiateur pour Radioécologie (MIRE) de l'IRSN. A noter que les nématodes sont des vers ronds présents dans les milieux naturels, et en particulier les sols, parasites de plantes ou d'invertébrés, ou vivent sous forme libre. Ils sont phytophages, bactérivores, fongivores, carnivores, omnivores et sont considérés comme des indicateurs de la diversité fonctionnelle des sols.

Dans ces travaux, trois types de traitement sont appliqués aux populations de nématodes : pendant plusieurs générations (e.g. 17 à 20) pour déterminer les effets multigénérationnels : pas d'irradiation (populations témoins) ; deux niveaux d'irradiation, 1,4 et 50 mGy.h⁻¹ (Gy = Gray = 1j / Kg). Des niveaux d'irradiation absorbée très élevés ont été observés sur des constituants des milieux au voisinage du site de Tchernobyl dans les mois qui ont suivi l'accident et pouvant atteindre 110 mGy.h⁻¹. A noter, (1) que c'est là un accident très particulier

¹ Thèse réalisée pour obtenir le grade de docteur de l'Université d'Aix-Marseille, Discipline Sciences de l'environnement, Spécialité Environnement et Santé, Ecole doctorale ED 251 - Sciences de l'environnement - Laboratoire de recherche sur les effets des radionucléides sur les écosystèmes (LECO), présentée et soutenue à Aix-Marseille Université le 28 octobre 2022.

² Membre de l'Académie d'agriculture de France, Section 5 « Interactions milieux-êtres vivants ».

³ Membre de l'Académie d'agriculture de France, Section 5 « Interactions milieux-êtres vivants ».

et (2) que le niveau d'irradiation reçu dans les sols, pour des microorganismes, des vers de terre, des isopodes, sur le site a été estimé 25 ans après l'accident entre 0,3 et 150 $\mu\text{Gy h}^{-1}$, donc beaucoup moins que ceux utilisés dans ces travaux.

Dans une dernière expérience, les nématodes sont aussi exposés à un prédateur, la bactérie pathogène *Serratia marcescens*, environ dix générations après la fin de l'irradiation des populations. Cette expérience avait pour but d'estimer la présence d'un coût évolutif de l'adaptation à l'irradiation sur le système immunitaire du nématode, en fait sa résistance à un agresseur.

Les résultats présentés dans quatre chapitres correspondent à des publications, acceptées, soumises ou en préparation. Chaque chapitre présente et souligne les résultats d'une expérience.

Il faut souligner les résultats majeurs :

- Les irradiations à 50 mGy.h^{-1} ont bien sûr des effets plus importants qu'à 1,4 mGy.h^{-1} sur : la diminution globale de la croissance des populations ; la reproduction (fécondité à l'échelle individuelle et à celle des populations) ; la survie des embryons et la valeur sélective de ces populations relative aux populations témoins (fitness), mais une augmentation de la fréquence des mâles.
- Les irradiations à 1,4 mGy.h^{-1} n'entraînent pas de différence significative de la fécondité individuelle, ni de la survie des embryons par rapport aux populations témoins (non irradiées), mais une diminution de la fécondité à l'échelle des populations et de la valeur sélective de ces mêmes populations (fitness). Une augmentation de la croissance des populations et de la fréquence des mâles est aussi observée.
- Aux faibles irradiations il faut souligner une adaptation et amélioration de la survie et une vie plus lente des populations.
- Les résultats montrent des coûts adaptatifs, qui se traduisent par une diminution de la survie des embryons et par des éclosions tardives. De plus, un coût adaptatif est observé sur le système immunitaire de *C. elegans* exposé à une bactérie pathogène, *Serratia marcescens*, qui se traduit par une diminution de la survie.

Ce travail expérimental de laboratoire de l'étude de l'effet des rayonnements ionisants sur l'évolution et l'adaptation de populations de nématodes cibles, *a avant tout un caractère toxicologique plus que éco-toxicologique*, par exemple en raison de doses d'irradiation élevées éloignées des conditions écologiques et d'une méthodologie précise, mais réductrice, qui ne peut prendre en compte des interactions avec des paramètres déterminants du milieu.

Le manuscrit est très bien organisé, avec une présentation générale de l'état de l'art et des objectifs en français, suivis de quatre chapitres de résultats en anglais qui correspondent à des publications, dont au moins une est publiée, une soumise et les autres en préparation. Une partie discussion, conclusion, perspectives reprend bien les résultats et les questionnements. Le manuscrit se termine avec des appendices qui apportent des illustrations et résultats complémentaires et une liste de références abondantes.

Ce travail de recherche est de très bonne qualité et très bien présenté avec dans les conclusions de bons schémas récapitulatifs. Les résultats conduisent à des publications soit déjà acceptées, soit soumises, soit en préparation. Il pose aussi le problème de la pertinence des conditions expérimentales (choix des doses d'exposition, relations avec les conditions de milieux) qui auraient pu donner lieu à un développement plus large et plus approfondi. C'est un excellent travail de laboratoire qui apparaît bien exploité et valorisé et dont l'analyse présente toutes les qualités pour figurer sur le site de l'Académie d'agriculture de France.