

Les interactions entre les substances toxiques et les autres facteurs stressants doivent être prises en compte dans l'évaluation des risques écotoxicologiques

Période : septembre 2011 à décembre 2011

Pierre-Marie BADOT

Université de Franche-Comté, CNRS – UMR 6249 Chrono-environnement – Besançon

Mots clés : Écotoxicologie, Évaluation des risques, Exposition combinée, Interaction, Stresseur, Toxicité

Au sein des systèmes écologiques, les organismes vivants sont très rarement placés dans des conditions optimales. Au contraire, les organismes vivants sont presque constamment exposés à de très nombreux facteurs stressants. Ces stresseurs⁽¹⁾ sont des agents d'intensité variable dont l'effet est de réduire de manière significative les performances des organismes qui se trouvent alors dans un état de contrainte⁽²⁾. De très nombreux facteurs peuvent agir comme des stresseurs : rayonnements, température, disponibilité ou non de substances chimiques essentielles, présence de substances toxiques, forces mécaniques, etc.

En règle générale, les substances chimiques toxiques n'agissent pas seules sur les organismes et elles peuvent interférer avec différents stresseurs. De nombreux travaux font état de l'existence d'interactions entre substances toxiques et différents facteurs environnementaux naturels. Ces études montrent que les effets des polluants sur les organismes peuvent différer de manière très significative en fonction des conditions externes.

Des recherches sont actuellement entreprises dans le but de déterminer dans quelle mesure il importe de prendre en compte ces interactions entre contaminants et facteurs environnementaux naturels dans l'évaluation des risques liés aux substances chimiques.

Le rayonnement ultraviolet est-il un stresseur synergique en cas d'exposition combinée ? L'exemple de l'exposition de *Daphnia magna* aux UV et au carbendazim

Ribeiro F, Ferreira NC, Ferreira A, Soares AM, Loureiro S. Is ultraviolet radiation a synergistic stressor in combined exposures? The case study of *Daphnia magna* exposure to UV and carbendazim. *Aquatic Toxicol.* 2011; 102: 114-122.

Résumé

Les conditions environnementales changent en permanence en raison d'événements naturels difficilement prévisibles et des activités anthropiques. Les organismes vivants sont donc fréquemment exposés à des conditions stressantes.

L'étude vise à évaluer les effets du carbendazim et du rayonnement ultraviolet, agissant seuls ou de manière combinée sur différentes caractéristiques biologiques de populations de daphnies. L'exposition au rayonnement UV est en augmentation en raison de la déplétion de la couche d'ozone stratosphérique notamment sous l'effet des chlorofluorocarbones. Le carbendazim (méthyl-2 benzimidazole carbamate) est un fongicide largement utilisé en agriculture pour la prévention des maladies cryptogamiques et le contrôle de leur dissémination. Le carbendazim agit sur la division cellulaire fongique, mais pourrait aussi inhiber les acétylcholinestérases des invertébrés.

Les réponses en termes de taux d'alimentation, de reproduction, et de croissance ont été étudiées dans le but de mettre en

évidence d'éventuelles interactions. Les effets conjoints des stress combinés ont été prédits à l'aide du modèle conceptuel d'action indépendante à partir des données obtenues lors de l'exposition à l'un ou l'autre des deux agents stressants. Ces évaluations ont ensuite été comparées aux effets enregistrés lors de l'exposition combinée aux deux facteurs agissant conjointement.

Les deux agents stressants provoquent des effets négatifs sur le taux d'alimentation et les capacités reproductives des animaux lorsqu'ils agissent isolément. Le rayonnement UV provoque en outre une diminution de la croissance des daphnies et une baisse significative des contenus en carbohydrates et en lipides chez les individus exposés. Les résultats indiquent également que le rayonnement UV n'affecte pas directement les œufs formés, mais qu'il agirait plutôt sur leur formation. Une des hypothèses explicatives serait qu'il existe une compétition en matière d'allocation des réserves énergétiques entre les besoins liés aux réparations des dommages à l'ADN causés par les UV et ceux liés à la production de la progéniture. L'exposition au carbendazim provoque quant à elle une altération des capacités reproductives qui se traduit par des différences significatives en ce qui concerne le nombre de naissances et le nombre d'œufs avortés. Ceci tiendrait au fait que le blocage des divisions cellulaires sous l'effet du pesticide empêcherait le développement de l'œuf.

Ces deux réponses montrent des déviations dose-ratio dépendantes par rapport aux prévisions du modèle d'action indépendante chez les daphnies subissant l'exposition combinée au rayonnement UV et au carbendazim. Les résultats suggèrent

l'existence d'un antagonisme entre les deux stressés pour les fortes concentrations en carbendazim et les faibles doses de rayonnement UV. Au contraire, une synergie est observée lorsque le rayonnement UV est le stressé majeur, c'est-à-dire pour des doses élevées de rayonnement et des concentrations faibles en carbendazim. Ces résultats sont en cohérence avec ceux rapportés chez la daphnie exposée conjointement à du nickel et de fortes températures.

En conclusion, les résultats rapportés dans ce travail indiquent qu'il est nécessaire de considérer les interactions entre le rayonnement UV et le carbendazim dans l'évaluation des risques du pesticide. Plus généralement, ces interactions entre substances toxiques et agents naturels stressants devraient systématiquement être prise en compte dans l'évaluation des risques liés aux substances chimiques.

Commentaire

Le travail de Ribeiro *et al.* (2011) fait suite à une série de publications, dont les résultats sont convergents à savoir que les possibles interactions entre les substances toxiques et d'autres paramètres environnementaux ne peuvent être négligées lors des procédures d'évaluation des risques.

Ribeiro *et al.* (2011) ont utilisé le modèle d'action indépendante et ces auteurs montrent que ce modèle simple ne prédit pas les effets observés. En outre, ils mettent en évidence des interactions qui vont au-delà de l'indépendance d'action ou de la simple additivité: synergie ou antagonisme.

L'ensemble de ces travaux montrent que lorsque des interactions polluants – facteurs naturels existent, il est nécessaire d'étudier les effets des polluants sur les organismes vivants dans une large gamme de conditions environnementales en prenant notamment en compte les variations saisonnières des facteurs stressants naturels.

De telles précautions devraient notamment être prises pour l'ensemble des polluants dont l'occurrence environnementale où les utilisations sont saisonnières.

Interactions entre des substances toxiques et des facteurs environnementaux naturels. Méta-analyse et exemples

Laskowski R, Bednarska AJ, Kramarz PE, Loureiro S, Scheil V, Kudłek J, Holmstrup M. Interactions between toxic chemicals and natural environment – A meta-analysis and case studies. *Sci Tot Environ.* 2011; 408: 3763-3774.

Résumé

L'étude est une méta-analyse effectuée à partir de 61 articles traitant des effets des facteurs environnementaux naturels sur la toxicité des polluants vis-à-vis des organismes. La plupart de ces études ont été réalisées dans le cadre du projet européen NoMiracle (Nouvelles méthodes pour l'évaluation intégrée des risques liés aux stress cumulés en Europe).

L'objectif est d'identifier si les fortes variations des facteurs naturels auxquelles sont exposés les organismes dans leur

environnement sont susceptibles de moduler les réponses écotoxicologiques. L'article met l'accent sur le fait que les tests écotoxicologiques sont en règle générale réalisés en conditions contrôlées. Or, les conditions retenues pour ces tests ne correspondent pas le plus souvent à celles qui règnent dans les milieux naturels, ce qui peut conduire à des erreurs en matière d'évaluation des risques écologiques.

Les principaux paramètres étudiés ont été la température, l'humidité et la concentration en oxygène dissous. Les polluants analysés sont de nature chimique variée puisqu'il s'agit d'éléments en traces métalliques, de pesticides et d'hydrocarbures aromatiques polycycliques. Plusieurs méthodes statistiques dont la méthode de troncature des produits ont été utilisées pour calculer la fréquence des études montrant des interactions significatives entre facteurs environnementaux naturels et substances chimiques chez différentes espèces d'invertébrés et une espèce de poisson.

Cette méthode a notamment permis de montrer que l'hypothèse selon laquelle il n'existe pas d'interactions entre polluants et facteurs environnementaux naturels peut être rejetée avec un risque d'erreur infime évaluée à $2,7 \cdot 10^{-82}$. Les effets d'une large gamme de substances toxiques sur les organismes vivants peuvent différer très largement en fonction des variations des conditions externes. Dans 62 % des cas étudiés, il existe des interactions significatives entre polluants et facteurs environnementaux naturels et ce pourcentage atteint même 100 % pour les interactions entre polluants aquatiques et concentration en oxygène dissous. Les interactions entre polluants et facteurs environnementaux naturels peuvent être de nature complexe: elles peuvent moduler les réponses soit par des effets directs sur les organismes soit en affectant les voies chimiques et biochimiques des substances toxiques. Pour quelques expériences plus complexes, il a en effet été possible de mettre en évidence des interactions de second ordre qui indiquent que les paramètres environnementaux peuvent agir en modifiant les interactions entre substances chimiques. Les auteurs considèrent en conclusion qu'il est important d'inclure dans les procédures d'évaluation des risques les informations sur les facteurs environnementaux naturels et notamment celles liées à leurs variations spatiales et temporelles. Dans le même ordre d'idées, il importe de tester les effets toxiques des polluants dans une large gamme de conditions environnementales.

Commentaire

Cette méta-analyse renforce les conclusions des travaux réalisés jusqu'ici en ce qui concerne l'existence d'interactions entre facteurs environnementaux naturels et substances toxiques, interactions qui sont susceptibles de moduler drastiquement l'expression de la toxicité vis-à-vis des organismes vivants.

L'analyse statistique qui est conduite fournit une base solide aux conclusions des auteurs et démontre si besoin était qu'il est important de prendre en compte l'incidence des variations environnementales dans les procédures d'évaluation des risques écologiques liés aux substances toxiques.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Les travaux passés en revue confirment que les interactions entre substances toxiques et facteurs environnementaux naturels ont un caractère général. Ils montrent qu'il est nécessaire de prendre en compte dans les tests écotoxicologiques les variations des paramètres environnementaux susceptibles d'agir comme des facteurs stressants et de mimer, autant que faire se peut, par des modalités expérimentales appropriées l'éventail des conditions réelles.

En conclusion, ces travaux démontrent aussi qu'il est nécessaire d'inclure les possibles effets conjoints des substances chimiques et des autres facteurs stressants dans les procédures d'évaluation des risques écotoxicologiques.

Kiesecker J. Global stressors and the global decline of amphibians: tipping the stress immunocompetency axis. *Ecol Research*. 2011; 26: 897-908.

Les stressors globaux interagissent avec les contaminants chimiques et menacent de causer des extinctions massives d'amphibiens.

Qin G, Presley SM, Anderson TA et al. Effects of predator cues on pesticide toxicities: toward an understanding of the mechanism of interaction. *Environ Toxicol Chem*. 2011; 30: 1926-1934.

La toxicité des pesticides est potentialisée ou synergisée par la co-occurrence de stress environnementaux et écologiques.

Hegseth MN, Camus L, Corbi S et al. Effects of exposure to halogenated organic compounds combined with dietary restrictions on the antioxidant defense system in herring gull chick. *Sci Tot Environ*. 2011; 14: 2717-2714.

Les restrictions alimentaires modifient la réponse aux PCBs chez une mouette.

Lexique

- (1) Facteur stressant ou stressor: facteur extérieur potentiellement défavorable, c'est-à-dire susceptible d'induire une réduction d'une ou plusieurs grandeurs physiologiques chez un organisme vivant.
- (2) Contrainte: état d'un organisme soumis à un facteur stressant.

Mots clés utilisés pour la recherche bibliographique

Combined exposure, Stress.

Publications de référence

Ferreira A, Serra P, Soares A et al. The influence of natural stressors on the toxicity of nickel to *Daphnia magna*. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2010; 17: 1217-1229.

Van den Brink PJ, Hattink J, Bransen F et al. Impact of the fungicide carbendazim in freshwater microcosms. II. Zooplankton, primary producers and final conclusions. *Aquat Toxicol*. 2000; 48: 251-264.

Revue de la littérature

Solomon C. Stratospheric ozone depletion: a review of concepts and history. *Reviews in Geophysics*. 1999; 37: 275-316.

Autres publications identifiées

Altshuler I, Demiri B, Xu S et al. An Integrated Multi-Disciplinary Approach for Studying Multiple Stressors in Freshwater Ecosystems: *Daphnia* as a Model Organism. *Integr Comp Biol*. 2011; 51: 623-633.

*Publication démontrant l'intérêt de l'utilisation de *Daphnia* comme organisme modèle pour étudier les stress multiples toxiques ou non.*