

NOTE D'INFORMATION

Mieux estimer la dose aux espèces non humaines pour évaluer les conséquences écologiques des expositions chroniques aux rayonnements ionisants dans les territoires contaminés après l'accident de Fukushima

Diverses études dédiées aux conséquences des accidents nucléaires sur la faune et la flore rapportent des effets notables pour des débits de dose estimés si faibles que leurs conclusions remettent en cause les connaissances en radiobiologie.

Sur la base des données écologiques décrivant la communauté d'oiseaux sur le territoire de la préfecture de Fukushima, une publication de l'IRSN en collaboration avec deux écologues de renom démontre qu'une meilleure estimation dosimétrique réconcilie les effets observés *in situ* avec les connaissances scientifiques relatives aux relations dose-effet.

L'IRSN vient de publier avec deux écologues de renom Anders Møller (CNRS, laboratoire d'écologie, systématique et évolution, France) et Timothy Mousseau (université de Caroline du Sud, Etats-Unis) dans *Nature Scientific Reports* une ré-analyse de leurs données d'abondance des oiseaux dans la région de Fukushima. À la période de reproduction (juillet), les espèces présentes et leur nombre d'individus ont été répertoriés selon des méthodes écologiques standardisées, chaque année depuis l'accident nucléaire. Les débits de dose absorbés par les individus des 57 espèces observées sur 300 sites et durant 4 ans (2011-2014), ont été reconstruits en combinant mesures de radionucléides (^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{131}I) et modèles.

La reconstruction des doses aux oiseaux permet de prendre en compte l'hétérogénéité de la contamination du territoire ainsi que l'influence du mode de vie des espèces sur leur niveau d'exposition.

Jusqu'à la présente étude, les effets délétères sur la diversité des espèces et leur abondance étaient mis en relation avec le débit de dose ambiant mesuré sur les sites d'observations, ce qui était vu par la communauté scientifique des radioécologistes comme un point faible. La dose ou le débit de dose absorbée par les organismes étudiés est en effet une grandeur cruciale dont la juste évaluation contribue à garantir la crédibilité scientifique des conclusions des études quant aux relations entre la dose absorbée et la réponse biologique/écologique observée. Dans le cadre de la présente étude, un travail de reconstruction dosimétrique a permis de prendre en compte les voies d'irradiation externe et interne ainsi que les spécificités d'exposition des oiseaux en fonction de leur mode de vie. Ainsi, les débits de dose reconstruits peuvent être supérieurs jusqu'à un facteur 20 aux débits de dose ambiants tels que mesurés *in situ* par des radiamètres portatifs. De plus, pour un même site, les débits de dose reconstruits varient d'un facteur 8 entre les 57 espèces examinées. Enfin, pour une même espèce, les débits de dose reconstruits varient d'un facteur 44 entre les 300 sites d'observation. La nécessité de prendre en compte ces deux facteurs (site et espèce) pour la reconstruction de dose est donc largement démontrée. En comparant ces niveaux d'exposition ainsi reconstruits aux connaissances sur leurs relations avec les effets induits publiées

par la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR, 2008), il apparaît que 90 % des espèces sont exposées de manière chronique à des débits de doses susceptibles d'affecter leur reproduction (Figure 1). Ce point conforte les conclusions réalisées par Møller *et al.* (2015) quant au lien de causalité entre le niveau d'exposition et les effets délétères sur la diversité des espèces et leur abondance.

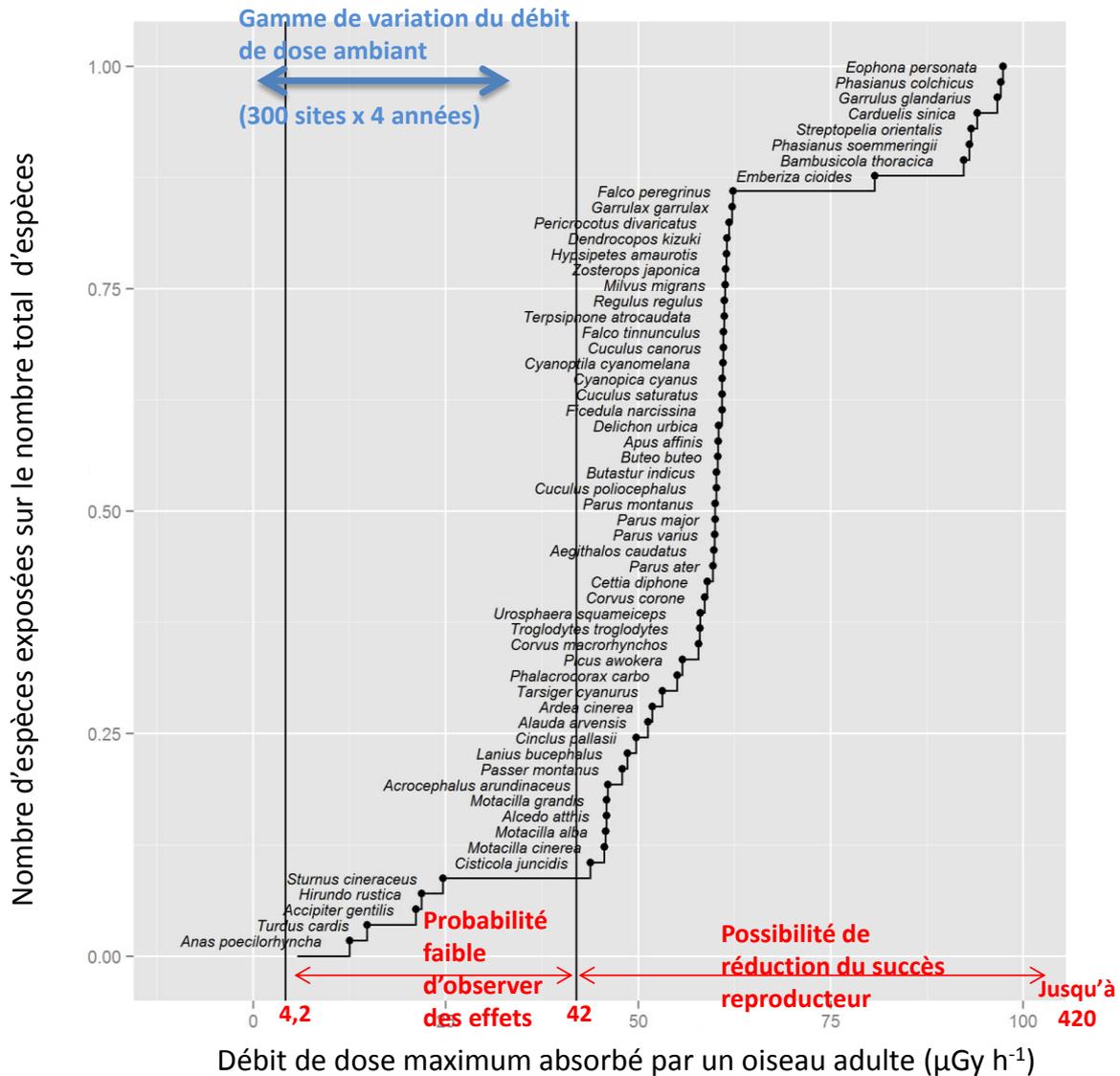


Figure 1- Représentation simplifiée de la variation du niveau d'exposition maximum des oiseaux adultes (exprimé en débit de dose) pour les 57 espèces de la communauté d'oiseaux observées sur les 300 sites et les 4 années d'étude. Comparaison avec la gamme de variation (en bleu) du débit de dose ambiant mesuré sur les sites et les gammes (en rouge) correspondant à divers effets chez les oiseaux publiées par la CIPR (2008).

La reconstruction des doses aux oiseaux réconcilie les effets délétères observés sur l'abondance des individus avec les connaissances en radiobiologie sur les relations dose-effets.

L'analyse statistique basée sur la dose reconstruite révèle un effet négatif significatif de la dose totale absorbée sur le nombre total d'oiseaux au sein de la communauté observée dans les 50 km

autour de la centrale accidentée de Fukushima sur la période 2011-2014. Notre analyse permet de plus de quantifier cet impact sous divers angles :

- sur la base du modèle statistique représentant au mieux l'ensemble du jeu de données et prenant en compte les variables confondantes descriptives des conditions environnementales (*e.g.* température, heure de l'observation, couvert nuageux, type de paysage), pour la zone et la période d'étude, nous estimons qu'une réduction de 22% du nombre total d'oiseaux se produit lorsque la dose absorbée augmente de 10 à 100 mGy (**Figure 2**).
- par reconstruction de la relation dose-réponse à partir des prédictions d'effet sur l'abondance de ce même modèle statistique, la dose qui entraîne 50% de perte sur le nombre total d'oiseaux (dans la zone et pour la totalité de la période) est estimée à 550 mGy.

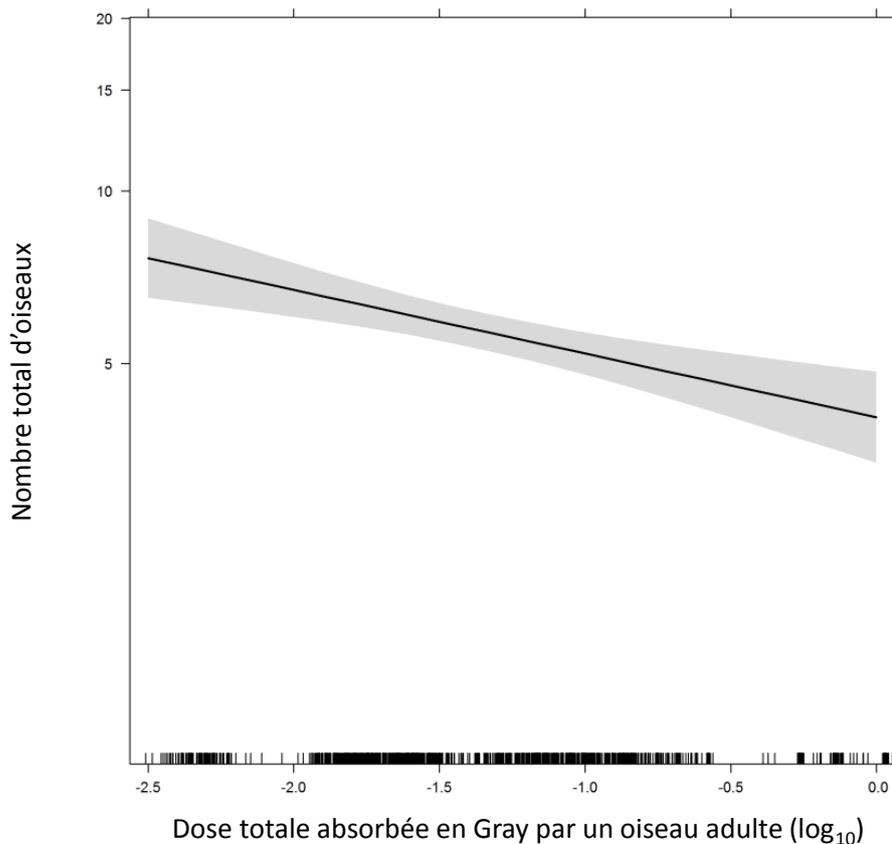


Figure 2- Prédiction du nombre total d'oiseaux à partir de la dose absorbée (après transformation en \log_{10}) à partir du meilleur modèle statistique obtenu pour représenter l'ensemble du jeu de données écologiques. La pente (coefficient de corrélation partiel du modèle) est statistiquement hautement significative. Elle permet d'estimer le pourcentage de diminution du nombre total d'oiseaux en fonction de l'augmentation de la dose absorbée (*e.g.*, 22% de perte pour une dose passant de 10 à 100 mGy).

Combiner reconstruction dosimétrique et statistiques avancées pour traiter les jeux de données écologiques est prometteur pour améliorer la compréhension des conséquences écologiques associées aux situations d'exposition chronique aux rayonnements ionisants.

En conclusion, cet article souligne l'intérêt de combiner reconstruction dosimétrique pour les espèces concernées et traitements statistiques avancés afin de décrypter les messages portés par les jeux de données écologiques collectées sur les territoires impactés par un accident nucléaire. Suite aux deux accidents majeurs qui ont marqué l'histoire de l'énergie électronucléaire civile (Tchernobyl, Ukraine, 1986 et Fukushima, Japon, 2011), une centaine d'études relatives aux conséquences sur la faune et la flore sauvages exposées de manière chronique a été publiée dans la littérature scientifique se rapportant aux effets dits « des faibles doses » de rayonnements ionisants. Ces études ont été conduites à partir des années 2000 pour la faune et la flore de la zone d'exclusion de Tchernobyl, et dès juillet 2011 dans un territoire couvrant une centaine de km autour du site accidenté de Fukushima. Leur objectif principal était d'évaluer les conséquences sur la santé de populations d'espèces peuplant les écosystèmes impactés par les rejets accidentels de substances radioactives et le cas échéant, d'en identifier et d'en comprendre la cause, ainsi que d'en quantifier les effets. À quelques exceptions près, ces études ont au moins un point commun : celui d'un défaut d'estimation dosimétrique aux organismes pour les conditions auxquelles ils sont, et ont été, exposés. L'IRSN souhaite que ces jeux de données, extrêmement volumineux et précieux, puissent être ré-analysés à l'instar des méthodes publiées par la présente étude. Cela permettra de progresser dans la connaissance des conséquences écologiques de l'exposition chronique aux rayonnements ionisants, complexes à appréhender car résultant de la combinaison d'effets direct et indirect des rayonnements ionisants et de divers facteurs environnementaux gouvernant la démographie des populations d'espèces (e.g. prédation, compétition, immigration et brassage génétique, événements climatiques extrêmes).

Références citées

CIRP. Environmental Protection - the Concept and Use of Reference Animals and Plants, ICRP Publication 108, Ann. ICRP 38 (4-6) (2008). <http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20108>

Garnier-Laplace J., Beaugelin-Seiller K., Della-Vedova C., Métivier J.M., Ritz C., Mousseau T. and Møller A.P. Radiological dose reconstruction for birds reconciles outcomes of Fukushima with knowledge of dose-effect relationships, Scientific Report, on line. <http://www.nature.com/articles/srep16594>

Møller, A. P., Nishiumi, I. & Mousseau, T. A. Cumulative effects on interspecific differences in response of birds to radioactivity from Fukushima. J. Ornithol. in press (2015). http://www.researchgate.net/publication/273770328_Cumulative_effects_of_radioactivity_from_Fukushima_on_the_abundance_and_biodiversity_of_birds

Collaborations hors IRSN

Anders Pape Møller, écologue, Laboratoire d'Ecologie, Systématique et Evolution, CNRS UMR 8079, Université Paris-Sud, Bâtiment 362, F-91405 Orsay Cedex, France.

Timothy A. Mousseau, écologue, Department of Biological Sciences, University of South Carolina, Columbia, SC 29208, USA.

Christian Ritz, biostatisticien, Department of Nutrition, Exercise and Sports Faculty of Science, University of Copenhagen, Rolighedsvej 26 DK-1958 Frederiksberg C, Denmark.