

Qu'avons-nous appris des études écologiques conduites à long-terme sur la faune et la flore des territoires contaminés par les accidents de Tchernobyl et de Fukushima ?

30 ans et 5 ans après les accidents nucléaires majeurs survenus respectivement sur les centrales de Tchernobyl et de Fukushima, les études écologiques conduites sur la faune et la flore exposées de manière chronique aux rayonnements ionisants livrent des conclusions souvent contradictoires notamment en raison de la complexité des approches pluridisciplinaires qu'il est nécessaire de déployer pour interpréter sans biais les effets observés.

Une très grande variété d'effets biologiques a été rapportée dans la littérature suite aux observations des espèces végétales et animales peuplant les territoires contaminés dans la zone d'exclusion de Tchernobyl (et plus largement dans les territoires contaminés de Biélorussie) ainsi que dans les territoires évacués de Fukushima. Les publications qui concernent des espèces d'invertébrés et de vertébrés, et des espèces végétales, rapportent soit l'absence d'effets, soit des effets d'intensité variée *e.g.*, sur le développement, la croissance, le comportement et la reproduction. L'un des objectifs finalisés de ces travaux conduits *in situ* essentiellement à partir des années 2000 pour la zone d'exclusion de Tchernobyl et seulement quelques mois après l'accident de Fukushima, a été (et est toujours) de produire un diagnostic et un pronostic des conséquences de ces effets sur la démographie des populations d'espèces autochtones exposées de manière chronique aux rayonnements ionisants et *in fine* sur l'existence de dommages sur la structure et le fonctionnement des écosystèmes. Pour l'établissement certain d'un lien entre l'exposition aux rayonnements ionisants et les effets observés, ces études doivent être clairement pluridisciplinaires afin d'éviter les biais d'interprétation nombreux (Figure 1).

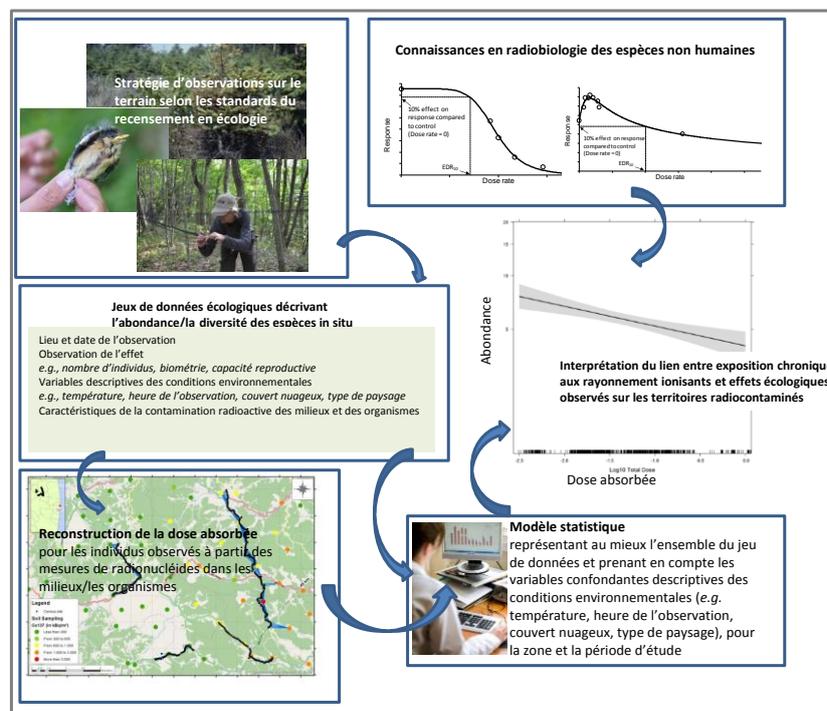


Figure 1- Approche pluridisciplinaire intégrée demandée pour une interprétation correcte des observations écologiques (de type abondance et diversité des espèces présentes) réalisées sur les territoires radiocontaminés.

Des anomalies morphologiques chez les pins sont observées à Tchernobyl comme à Fukushima. La fréquence d'apparition de ces anomalies serait corrélée à la dose absorbée par les arbres mais les estimations dosimétriques proposées par les auteurs sont incomplètes et ne permettent pas d'établir des relations dose-effets robustes.

Dans la zone d'exclusion de Tchernobyl, les modifications des communautés végétales sont indéniables avec, dans la phase aigüe de l'accident, la mort des pins¹ autour du réacteur endommagé, suivie de l'établissement progressif de nouvelles espèces herbacées et d'arbres à feuilles caduques. Dans les zones fortement contaminées où les conifères ont pu persister, depuis 1993, 50 à 60 % des jeunes arbres âgés de 2 à 9 ans présentent une morphogénèse anormale (Zelena *et al.*, 2005), notamment une perte de dominance apicale (i.e. perte du bourgeon apical) en lien avec la mort des méristèmes (tissus responsables de la croissance) des bourgeons. Par contre, les anomalies concernant les capacités reproductives ne sont plus significatives depuis 1995. Les analyses les plus récentes conduites sur les pins plantés dans la zone d'exclusion après l'accident et exposés chroniquement ont montré que 10 % et 50% des arbres exposés respectivement à un débit de dose total (irradiation externe et interne) de 1 et 40 $\mu\text{Gy/h}$, présentent des anomalies morphologiques (Yoschenko *et al.*, 2011). Mousseau *et al.* (2013) ont rapporté un effet dépendant de la dose absorbée sur la croissance des pins à Tchernobyl, cependant leur étude présente des limitations quant à l'estimation du niveau d'exposition assimilé simplement au débit de dose ambiant, ignorant la contribution de la contamination interne des arbres à la dose absorbée. A ce jour, une seule étude abordant les conséquences sur les arbres des retombées de l'accident de Fukushima a été publiée (Watanabe *et al.*, 2015)². Pour des sites dans les territoires contaminés où le débit de dose ambiant en 2015 s'étend de 5 à 40 $\mu\text{Gy/h}$, une fréquence significative de l'augmentation de perte de la dominance apicale du pin japonais (*Abies firma*) est mise en évidence (Figure 2). Bien que cette première étude publiée souffre de faiblesses dans l'analyse statistique et ne présente pas un estimatif de la dose cumulée par les arbres, les fréquences d'apparition du dommage sont cohérentes avec les observations mises en évidence sur les pins de Tchernobyl. Par ailleurs, dans ces études où la dose absorbée par les arbres est plutôt sous-estimée par rapport à la dose réelle du fait de la non prise en compte de la contribution de la contamination interne, les débits de doses sont globalement du même ordre de grandeur que la gamme de variation des débits de dose correspondant à une très faible probabilité d'apparition d'effets délétères chez les individus publiée par la CIPR 108 (CIPR, 2008) soit 4 à 40 $\mu\text{Gy/h}$, et cohérents avec ceux impliquant des dommages morphologiques (de 40 à 400 $\mu\text{Gy/h}$).

¹ Dans les premières semaines après l'accident, 90% des pins (*Pinus sylvestris* L.) sont morts dans une zone de 6 km² autour de la centrale en raison de la dose létale absorbée variant de 60 à 100 Gy (Geras'kin *et al.*, 2008).

² Cette étude a fait l'objet d'une note de lecture par l'IRSN, publiée sur le site web de l'institut en 2015 (http://www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Actualites/Documents/IRSN-Note-Lecture-Fukushima-Pin-Contamination_20151110.pdf).

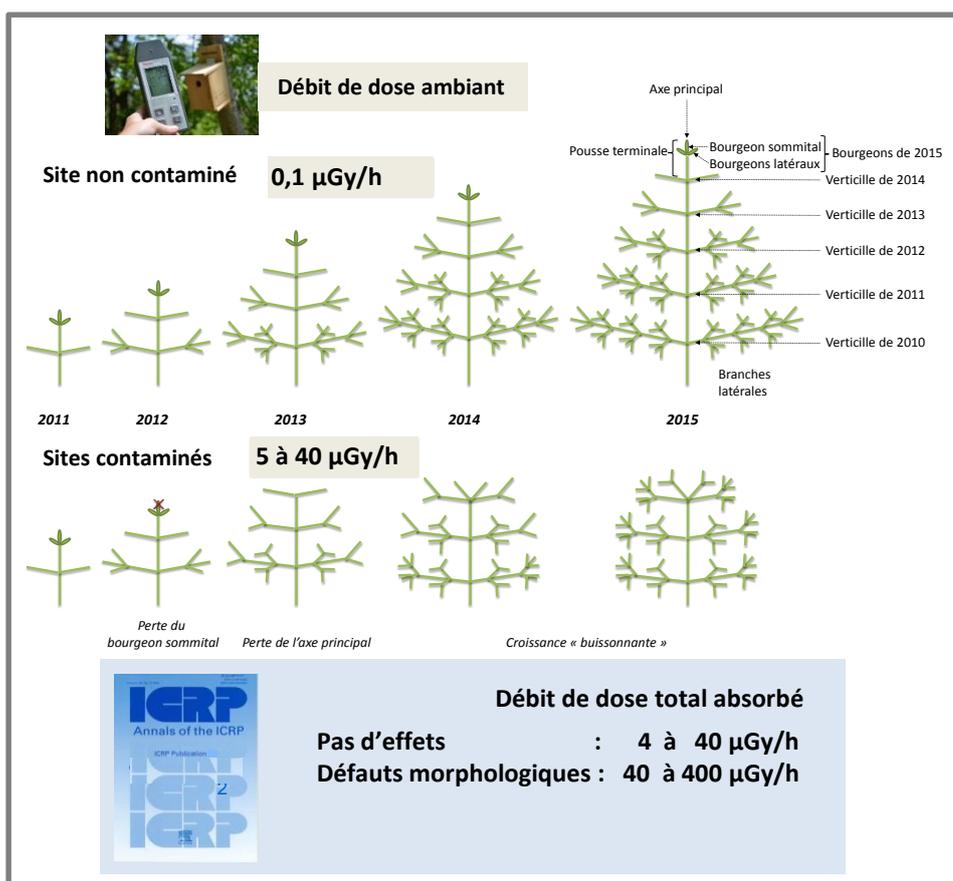


Figure 2- Schéma résumant l'étude sur les pins japonais qui a mis en évidence une augmentation significative des anomalies morphologiques chez le pin en fonction du débit de dose ambiant du site d'observation. Comparaison avec les connaissances sur les effets des rayonnements ionisants chez le pin publiées par la CIPR (2008).

Les effets observés sur l'abondance d'invertébrés terrestres sont fonction des groupes d'espèces étudiés. Pour certains de ces groupes seulement, l'évolution de l'abondance avec le niveau de d'exposition ambiant est différente sur le site de Tchernobyl et de Fukushima. Selon les auteurs, les différences de radiosensibilité entre espèces et les effets liés à une exposition chronique sur plusieurs générations sont les principales pistes d'explication de ces différences.

Chez les invertébrés, Jackson *et al.* (2005) ont observé une diminution de la diversité (mais pas de l'abondance) des invertébrés du sol dans la zone d'exclusion de Tchernobyl pour des débits de dose externes compris entre 0,1 et 140 µGy/h. Møller et Mousseau (2009) ont montré quant à eux une diminution de l'abondance des insectes (bourdons, sauterelles, papillons, libellules) et des araignées pour des doses externes d'un ordre de grandeur inférieures à celles publiées par Jackson *et al.* (2005). La diminution de l'abondance des pollinisateurs dans les zones contaminées semble s'accompagner d'une diminution de la production de fruits dans ces mêmes zones (Møller *et al.*, 2012a). Lecomte-Pradines *et al.* (2014) ont montré un effet modéré de l'exposition aux rayonnements ionisants sur l'assemblage des nématodes³ collectés sur des sites forestiers 25 ans après l'accident, proposant l'hypothèse de la disparition des espèces les plus sensibles rapidement après l'accident en raison du niveau d'exposition beaucoup plus élevé. Plus récemment, une étude menée sur des invertébrés collectés sur des sites contaminés de la zone d'exclusion montre une corrélation positive entre l'abondance de certains taxons et le débit de dose ambiant alors que d'autres taxons montrent une corrélation négative (Bezrukov *et al.*, 2015). Les auteurs attribuent cette hétérogénéité à une différence de sensibilité vis-à-vis de l'exposition aux rayonnements

³ Les nématodes sont de petits vers millimétriques, rencontrés dans des milieux très diversifiés (eaux douces, saumâtres, sols).

ionisants. Enfin, une étude montre que la descendance de sauterelles issues de sites contaminés de la zone d'exclusion présente des anomalies de développement, de survie et succès reproducteur (Beasley *et al.*, 2012). Il n'existe à ce jour que peu d'études qui traitent des conséquences de l'accident de Fukushima sur les populations d'invertébrés. Une étude réalisée sur différents taxons suggère que l'abondance des papillons et des cigales est impactée négativement par l'exposition à la contamination radioactive. Par contre, à l'inverse de Tchernobyl, aucune association entre la dose absorbée et l'abondance des libellules, des sauterelles et des abeilles n'a été observée après le premier été qui a suivi la catastrophe. Une augmentation du nombre d'araignées a même été observée sur les sites les plus contaminés (Møller *et al.*, 2013). Le papillon *Zizeeria maha* a été utilisé pour suivre et comprendre l'impact de la contamination issue de l'accident de Fukushima⁴. Les adultes prélevés sur des sites contaminés en 2011 présentent des anomalies morphologiques qui ne sont pas observées sur les sites témoins, non impactés par les retombées radioactives. Ces anomalies morphologiques sont même plus sévères sur les deux générations suivantes obtenues en condition témoin (Hiyama *et al.*, 2012). Le suivi des populations de ce papillon en zones contaminées entre 2011 et 2013 montre un retour progressif à la normale au bout de deux ans (Hiyama *et al.*, 2015). Nohara *et al.* (2014) ont reproduit en laboratoire l'augmentation de la mortalité et du taux d'anomalies morphologiques en nourrissant des larves de papillons issues d'une zone témoin avec des feuilles collectées en zone contaminée. Ce résultat souligne l'importance de prendre en compte la dose interne dans l'évaluation des effets (Nohara *et al.*, 2014) mais n'informe pas sur les doses absorbées ayant conduit à l'apparition des effets ni sur les mécanismes moléculaires à l'origine de ces phénomènes. De même, des anomalies morphologiques sévères ainsi qu'une mortalité accrue ont été observées chez des pucerons prélevés au printemps 2012 en zone contaminée à proximité de la centrale de Fukushima Dai-ichi. Toutefois, ces malformations n'ont pas été transmises à la génération suivante et en 2013, les auteurs ont observé une amélioration par rapport à 2012 (Akimoto, 2014).

Les communautés d'oiseaux ont fait l'objet d'observations à long terme dans la zone d'exclusion de Tchernobyl et dans les territoires contaminés de Fukushima. Selon les auteurs des publications, la diminution d'abondance observée dans les deux cas a été corrélée avec l'augmentation du débit de dose ambiant. Une étude récente de l'IRSN à partir d'une reconstruction dosimétrique chez les oiseaux de Fukushima, a démontré que les effets observés étaient cohérents avec les connaissances sur la baisse de la capacité reproductive en lien avec l'augmentation des doses absorbées.

Diverses publications de Møller et Mousseau (Møller *et al.*, 2006 ; Møller et Mousseau, 2009) abordent par des approches de type éco-épidémiologique les conséquences de l'exposition chronique aux rayonnements ionisants dans la zone d'exclusion de Tchernobyl chez les populations d'oiseaux. Ces études démontrent que, plus de 30 ans après l'accident, la richesse spécifique, l'abondance et la densité des populations d'oiseaux en milieu forestier décroissent avec l'augmentation du niveau d'exposition aux rayonnements ionisants. Les auteurs concluent sur la cause de cette décroissance drastique par une relation statistique entre les niveaux d'exposition estimés et l'intensité des effets observés à ces niveaux d'exposition : l'abondance des oiseaux diminuerait de 60% entre les sites dits « à haut niveau d'irradiation » avec 0,1 à 1 mGy/h en irradiation externe (sans donner toutefois d'informations sur le niveau de contamination interne) et les sites dits « témoin » avec environ 0,1 µGy/h en irradiation externe. Les auteurs avancent l'hypothèse d'un effet direct des niveaux d'exposition aux rayonnements ionisants sur le taux de survie et de fécondité (qui est de 25 % en zone contaminée), diminuant la taille des populations (Møller *et al.*, 2005) et/ou d'effets indirects associés à un comportement d'évitement des habitats

⁴ Cette étude a fait l'objet d'une note de lecture par l'IRSN, publiée sur le site web de l'institut en 2012 (http://www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Actualites/Documents/IRSN_NI_Effet-biologique-Fukushima-papillon_08102012.pdf).

contaminés (Møller et Mousseau, 2007a) ou à une diminution de l'abondance de la nourriture essentiellement composée d'invertébrés du sol (Møller et Mousseau, 2007b ; 2009). La susceptibilité des oiseaux est différente en fonction du stade de vie et du sexe. Ainsi, les ratios d'âge observés sur les populations d'oiseaux dans la zone d'exclusion sont en faveur des stades les plus jeunes, indiquant une mortalité importante des adultes. Egalement, le sexe ratio est fortement en faveur des mâles dans les zones les plus contaminées (Møller *et al.*, 2012b).

Ces effets sur les traits d'histoire de vie s'accompagnent de changements physiologiques ou morphologiques. Un taux élevé d'anomalies morphologiques (*e.g.* albinisme partiel, malformations du bec, tumeurs) est également observé chez les hirondelles dans la zone d'exclusion, associé à une baisse de leur survie (Møller *et al.*, 2007). De surcroît, les populations d'oiseaux de la zone d'exclusion, toutes espèces confondues (546 individus de 48 espèces échantillonnées) présentent des cerveaux significativement plus petits que dans les zones témoins. Les auteurs quantifient une réduction de 5% sur le volume du cerveau quand le débit de dose varie de 0,02 µGy/h à 100 µGy/h (Møller *et al.*, 2011). Dans une autre étude menée par cette équipe, l'incidence de cataractes augmente avec le niveau de radiation ambiant (57 espèces échantillonnées) (Mousseau et Møller, 2013).

A Fukushima également, une diminution de l'abondance des oiseaux a été observée (45 espèces) avec les niveaux croissants de débit de dose ambiant de mars à juillet 2011 (Møller *et al.*, 2012b). Cette diminution s'accroît au fil du temps (de 2011 à 2014, 57 espèces) (Møller *et al.*, 2015). A partir de ce jeu de données décrivant la communauté d'oiseaux de Fukushima, Garnier-Laplace *et al.* (2015) ont réalisé un travail de reconstruction dosimétrique qui a permis de prendre en compte les voies d'irradiation externe et interne pour estimer la dose absorbée, 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. Cette nouvelle analyse a permis de quantifier que 90 % des espèces sont exposées de manière chronique à des débits de doses susceptibles d'affecter leur reproduction, confirmant les conclusions réalisées par Møller *et al.* (2015) quant au lien entre le niveau d'exposition et les effets délétères sur l'abondance des oiseaux. L'analyse statistique basée sur la dose reconstruite révèle en effet 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 (Garnier-Laplace *et al.*, 2015)⁵.

L'évacuation des populations humaines est considérée comme le facteur déterminant vis-à-vis du retour des animaux dans les territoires radiocontaminés par certains auteurs ayant publié sur les grands mammifères des réserves de Bioélorussie⁶. L'IRSN, dans une étude qui vient d'être soumise à *Biology letters*, démontre, en ce qui concerne les communautés d'oiseaux à Fukushima, que le statut d'évacuation des zones où sont réalisées les observations ne modifie pas la décroissance de l'abondance avec l'augmentation de la dose absorbée mais que l'abondance est plus élevée dans ces zones par rapport aux zones non évacuées.

A l'heure actuelle, la question relative à l'influence de l'évacuation des populations humaines des territoires contaminés sur la diversité et l'abondance des espèces animales fait l'objet de débats. Deux études récentes menées sur les mammifères dans la zone d'exclusion de Tchernobyl sont contradictoires. Leur abondance a été étudiée par le dénombrement des traces dans la neige

⁵ Cette publication a fait l'objet d'une note d'information sur le site de l'IRSN au moment de sa parution, en novembre 2015 (http://www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Actualites/Documents/IRSN_NI_Fukushima-Csq-Oiseaux_20151124.pdf)

⁶ L'une de ces réserves, la réserve de Polessye (Polessye State Radioecological Reserve), correspond au secteur biélorusse de la zone d'exclusion de Tchernobyl ;

(Møller and Mousseau, 2013). Parmi les 12 espèces recensées, l'abondance était corrélée négativement au débit de dose ambiant, avec des effets très marqués pour certaines espèces comme le renard et beaucoup moins pour d'autres espèces comme le loup. La seconde étude a couplé des campagnes pluri-annuelles de dénombrement de traces dans la neige ainsi que des comptages par des surveillances aériennes, donnant des indications sur la dynamique des populations de mammifères (Deryabina *et al.*, 2015). Les auteurs concluent que la densité des mammifères n'est pas corrélée à la contamination radioactive. De surcroît, les densités de grands ongulés tels que l'élan, le cerf, le chevreuil ou le sanglier sont comparables avec celles observées dans des réserves naturelles non contaminées, la densité des loups dans la zone d'exclusion étant même 7 fois supérieure à celle observée dans ces réserves. Enfin, 10 ans de données de surveillance aérienne obtenues entre 1987 et 1996 montrent une augmentation des densités d'élans, de chevreuils et de sangliers. Toutefois, ces données ne permettent pas de comparer l'évolution temporelle étudiée en Biélorussie avec celle observée au niveau des zones de climat identique en Europe, ni de séparer l'effet positif dû à l'abandon de la zone d'exclusion par les populations humaines (engendrant un arrêt des activités de chasse, d'agriculture et d'exploitation forestière) d'un potentiel effet négatif des rayonnements ionisants. A ce jour, seule une étude récente de l'IRSN répond à cette dernière question de manière rigoureuse à partir de l'analyse statistique des données écologiques décrivant la communauté des oiseaux observée dans les 50 km autour de la centrale accidentée de Fukushima sur la période 2011-2014 (Garnier-Laplace *et al.*, soumis). Sur la base du modèle statistique représentant au mieux l'ensemble du jeu de données incluant la dose absorbée totale reconstruite pour les oiseaux, 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, l'IRSN a estimé que la dose absorbée a plus de poids dans la diminution du nombre total d'oiseaux que l'évacuation des populations humaines (Figure 3).

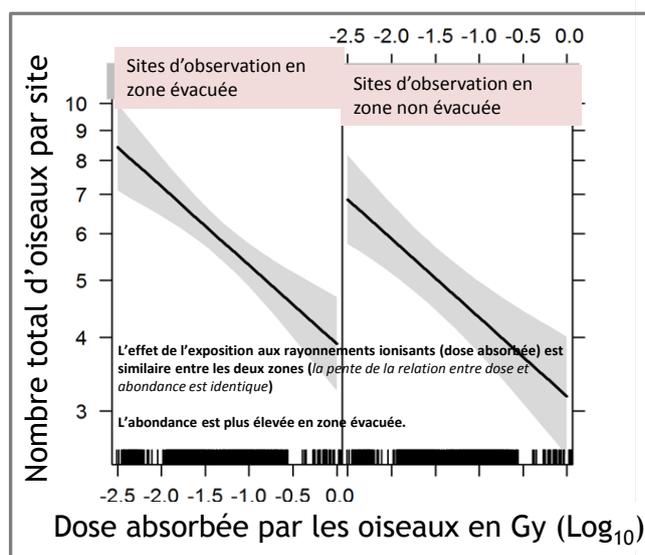


Figure 3- Relation entre la dose absorbée par les oiseaux et l'abondance des individus par site d'observation selon le statut d'évacuation de la zone où se situe le site (adapté de Garnier-laplace *et al.*, soumis).

Pour conclure

Il existe de nombreuses études écologiques conduites dans les territoires contaminés suite aux deux accidents nucléaires majeurs de Tchernobyl et de Fukushima qui démontrent l'existence d'effets sur les espèces animales et végétales en lien avec la contamination radioactive des territoires. La revue des publications de ce domaine met cependant en évidence les lacunes de coopération entre les disciplines scientifiques élémentaires, situation qui peut conduire à des conclusions biaisées. Le dernier travail de l'IRSN amenant ses compétences en dosimétrie et en radiobiologie pour l'analyse

de données écologiques issues de l'observation de la communauté des oiseaux de Fukushima, illustre le bénéfice apporté par la coopération entre ces disciplines pour tirer des conclusions robustes sur les conséquences écologiques d'un accident nucléaire. C'est en multipliant ce type d'analyses intégrées que des réponses pourront être amenées à des questions majeures toujours en suspens, comme les effets transgénérationnels, l'adaptation des organismes au stress, les mécanismes gouvernant la différence de radiosensibilité entre les espèces...

En savoir plus - Une version étendue de cette synthèse est disponible sous forme de rapport IRSN (C. Adam-Guillermin, O. Armant, J-M Bonzom, P. Henner, C. Lecomte. « Conséquences écologiques de l'accident nucléaire de Tchernobyl ». Rapport IRSN N° PRP-ENV/SERIS/2016-06).

Références citées

- Akimoto S.I. (2014). Morphological abnormalities in gall-forming aphids in a radiation-contaminated area near Fukushima Daiichi: selective impact of fallout? *Ecology and Evolution* 2014; 4(4):355-369
- Beasley D.E., Bonisoli-Alquati A., Welch S.M., Møller A.P., Mousseau T.A. (2012). Effects of parental radiation exposure on developmental instability in grasshoppers. *J. Evol. Biol.* 25: 1149-1162
- Bezrukov V., Møller A.P., Milinevsky G., Rushkovsky S., Sobol M., Mousseau T.A. (2015). Heterogeneous relationships between abundance of soil surface invertebrates and radiation from Chernobyl. *Ecological Indicators* 52: 128-133.
- CIPR, Commission Internationale pour la Protection radiologique (2008). Environmental protection: the concept and use of reference animals and plants. *Annals of the ICRP* 30: n° 4-6.
- Deryabina T.G., Kuchmel S.V., Nagorskaya L.L., Hinton T.G., Beasley J.C., Lerebours A., Smith J.T. (2015). Long-term census data reveal abundant wildlife populations at Chernobyl. *Current Biology* 25, Issue 19, pR824-R826.
- Garnier-Laplace J., Beaugelin-Seiller K., Della-Vedova C., Métivier J.M., Ritz C., Mousseau T.A., Møller A.P. (2015). Radiological dose reconstruction for birds reconciles outcomes of Fukushima with knowledge of dose-effect relationships. *Scientific Reports* 5, 16594.
- Garnier-Laplace J., Beaugelin-Seiller K., Della-Vedova C., Mousseau T.A. & Møller A.P. (soumis). Bird communities near Fukushima are more impacted by radiation dose than by evacuation of humans. *Biology Letters*, soumis en Février 2016.
- Geras'kin S.A., Fesenko S.V., Alexakhin R.M. (2008) Effects of non-human species irradiation after the Chernobyl NPP accident. *Environment International*, 34 : 880-897.
- Hiyama A., Nohara C., Kinjo S., Taira W., Gima S., Tanahara A., Otaki J.M. (2012). The biological impacts of the Fukushima nuclear accident on the pale grass blue butterfly. *Scientific Reports*, 2, 570. <http://doi.org/10.1038/srep00570>
- Hiyama A., Taira W., Nohara C., Iwasaki M., Kinjo S., Iwata M., Otaki J.M. (2015). Spatiotemporal abnormality dynamics of the pale grass blue butterfly: three years of monitoring (2011-2013) after the Fukushima nuclear accident. *BMC Evolutionary Biology* 15:15.
- Jackson D., Copplestone D., Stone D.M., Smith G.M. (2005). Terrestrial invertebrate population studies in the Chernobyl exclusion zone, Ukraine. *Radioprotection, Suppl.* 1. 40, S857-S863.
- Lecomte-Pradines C., Bonzom J.-M., Della-Vedova C., Beaugelin-Seiller K., Villenave C., Gaschak S., Coppin F., Dubourg N., Maksimenko A., Adam-Guillermin C., Garnier-Laplace J. (2014). Soil nematode assemblages as bioindicators of radiation impact in the Chernobyl Exclusion Zone. *Science of the Total Environment*, 490, pp. 161-170.
- Møller , A.P., Nishiumi I., Suzuki H., Ueda K., Mousseau T.A. (2013). Differences in effects of radiation on abundance of animals in Fukushima and Chernobyl. *Ecological Indicators*, 24:75-81.
- Møller A. P., Nishiumi I., Mousseau, T. A. (2015). Cumulative effects on interspecific differences in response of birds to radioactivity from Fukushima. *J. Ornithol.* in press
- Møller A.P. , Mousseau T.A. (2006). Biological consequences of Chernobyl: 20 years on. *Trends Ecol Evol*, 2006. 21(4): p. 200-7.
- Møller A.P., Mousseau T.A., de Lope F., Saino N. (2007). Elevated frequency of abnormalities in barn swallows from Chernobyl. *Biology Letters of the Royal Society*, 3: 414-417.
- Møller A.P., Barnier F., Mousseau T.A. (2012a). Ecosystems effects 25 years after Chernobyl : pollinators, fruit set and recruitment. *Oecologia*, 170: 1155-1165.
- Møller A.P., Bonisoli-Alquati A., Rudolfson G., Mousseau T.A. (2011). Chernobyl Birds Have Smaller Brains. *PLoS ONE* 6 (2): e16862
- Møller A.P., Bonisoli-Alquati A., Rudolfson G., Mousseau T.A. (2012b). Elevated mortality among birds in Chernobyl as judged from biased sex and age ratios. *PLoS One*, 7(4): e35223. doi:10.1371/journal.pone.0035223
- Møller A.P., Bonisoli-Alquati A., Rudolfson G., Mousseau, T.A. (2011). Chernobyl Birds Have Smaller Brains. *PLoS ONE* 6 (2): e16862
- Møller A.P., Mousseau T.A. (2007a). Species richness and abundance of forest birds in relation to radiation at Chernobyl. *Biology Letters of the Royal Society*, 3: 483-486. (pdf)
- Møller A.P., Mousseau T.A. (2007b). Determinants of Interspecific Variation in Population Declines of Birds after Exposure to Radiation at Chernobyl. *Journal of Applied Ecology*, 44: 909-919.
- Møller A.P., Mousseau T.A. (2009). Reduced abundance of insects and spiders linked to radiation at Chernobyl 20 years after the accident. *Biology Letters of the Royal Society* 5(3): 356-359.
- Møller A.P., Mousseau T.A. (2013). Assessing effects of radiation on abundance of mammals and predator-prey interactions in Chernobyl using tracks in the snow. *Ecological Indicators* 26: 112-116.
- Møller A.P., Surai P., Mousseau T.A. (2005). Antioxidants, radiation and mutation as revealed by sperm abnormality in barn swallows from Chernobyl. *Proc Biol Sci.* 272(1560): p. 247-53.
- Mousseau T.A., Møller A.P. (2013). Elevated Frequency of Cataracts in Birds from Chernobyl. *PlosOne*, 8, 7, e66939.

- Mousseau T.A., Welch S.M., Chizhevsky I., Bondarenko O., Milinevsky G., Tedeschi D.J., Bonisoli-Alquati A., Møller A.P. (2013). Tree rings reveal extent of exposure to ionizing radiation in Scots pine *Pinus sylvestris*". *Trees*, 27: 1443-1453.
- Nohara C., Taira W., Hiyama A., Tanahara A., Takatsuji T., Otaki J.M. (2014). Ingestion of radioactively contaminated diets for two generations in the pale grass blue butterfly. *BMC Evolutionary Biology* 14:193
- Watanabe Y., Ichikawa S., Kubota M., Hoshino J., Kubota Y., Maruyama K., Fuma S., Kawaguchi I., Yoschenko V.I., Yoshida S. (2015) Morphological defects in native Japanese fir trees around the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. *Sci. Rep.*, 5, 13232; doi: 10.1038/srep13232.
- Yoschenko V.I., Kashparov V.A., Melnychuk M.D., Levchuk S.E., Bondar Y.O., Lazarev M., Yoschenko M.I., Farfan E.B., Jannik G.T. (2011) Chronic irradiation of scots pine trees (*Pinus sylvestris*) in the Chernobyl exclusion zone: dosimetry and radiobiological effects. *Health Physics*, 101: 393-408.
- Zelena L., Sorochinsky B., vonS Arnold, vanL Zyl, Clapham D.H. (2005) Indications of limited gene expression in *Pinus sylvestris* trees from the Chernobyl region. *Journal of Environmental Radioactivity*, 84: 363-373.