

Conséquences écologiques de l'accident de Tchernobyl

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

C. Adam-Guillermin¹, O. Armant¹, J-M. Bonzom¹,
P. Henner², C. Lecomte-Pradines¹

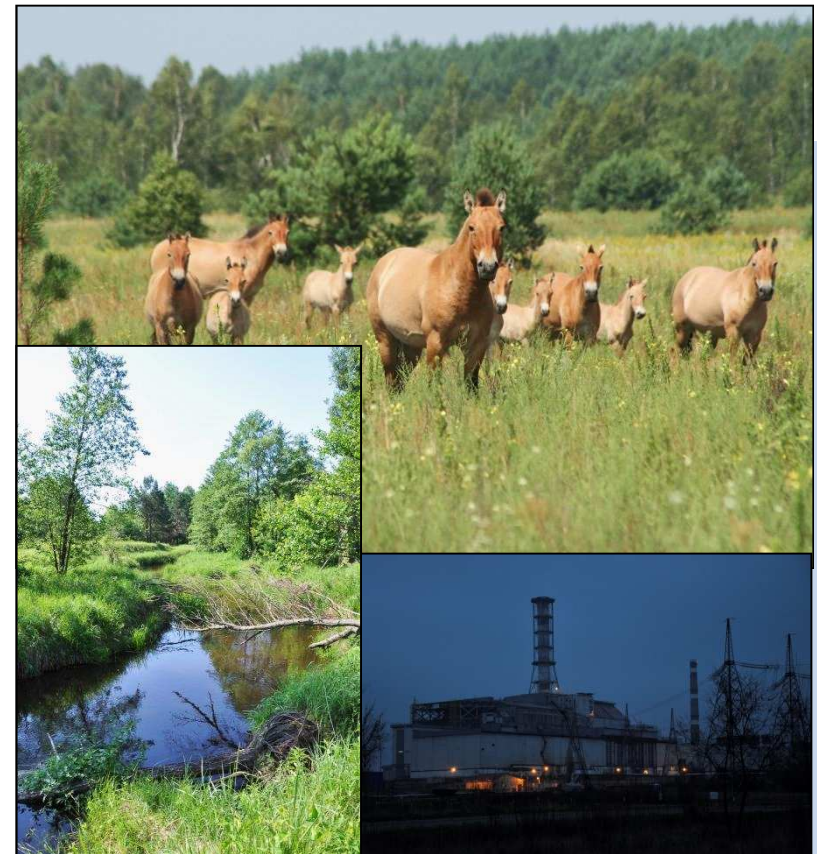
IRSN - Pôle Radioprotection Environnement

*Service de recherche et d'expertise sur les risques
environnementaux (SERIS)*

¹Laboratoire d'écotoxicologie des radionucléides (LECO)

²Laboratoire de biogéochimie biodisponibilité transferts (L2BT)

SFRP - Tchernobyl 30 ans après - 15 mars 2016



30 July 2010 Last updated at 16:00



Chernobyl zone shows decline in biodiversity

By Victoria Gill

Science reporter, BBC News



Scientists say contamination in the Chernobyl exclusion zone has affected biodiversity

The largest wildlife census of its kind conducted in Chernobyl has revealed that mammals are declining in the exclusion zone surrounding the nuclear power plant.

The study aimed to establish the most reliable way to measure the impact on wildlife of contamination in the zone.

It was based on almost four years of counting and studying animals there.

Wild mammals 'have returned' to Chernobyl

By Victoria Gill

Science reporter, BBC News

5 October 2015 | Science & Environment



The team carried out a long-term survey of mammals including wild boar

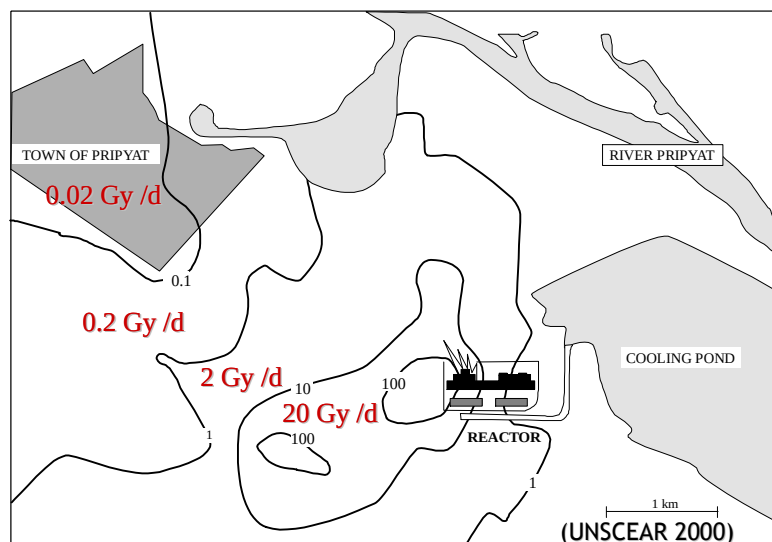
Removing humans from what is now the exclusion zone around the damaged Chernobyl nuclear reactor has allowed wildlife to return, researchers say.

They say a long-term census of mammals in the area has shown that wildlife numbers are likely to be "much higher than they were before the accident".

Trois phases d'exposition différentes des organismes vivants associées à des effets variés

■ Phase I - aiguë - : ≈30 premiers jours

(^{99}Mo , $^{132}\text{Te/I}$, ^{133}Xe , ^{131}I , $^{140}\text{Ba/La}$; débit de dose 20 Gy/j)



■ Phase II - transitoire - : jusqu'au printemps suivant

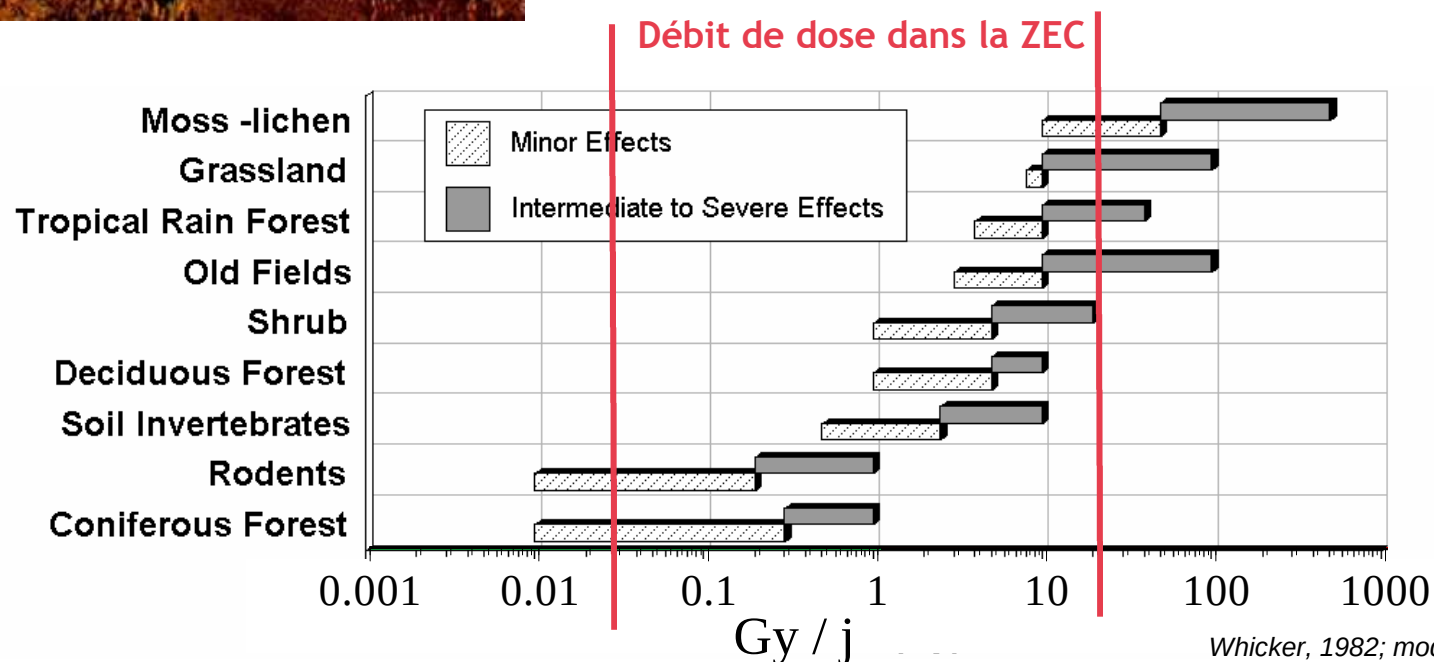
■ Phase III - chronique - : jusqu'à nos jours

Phase I - Effets aigus



© DR

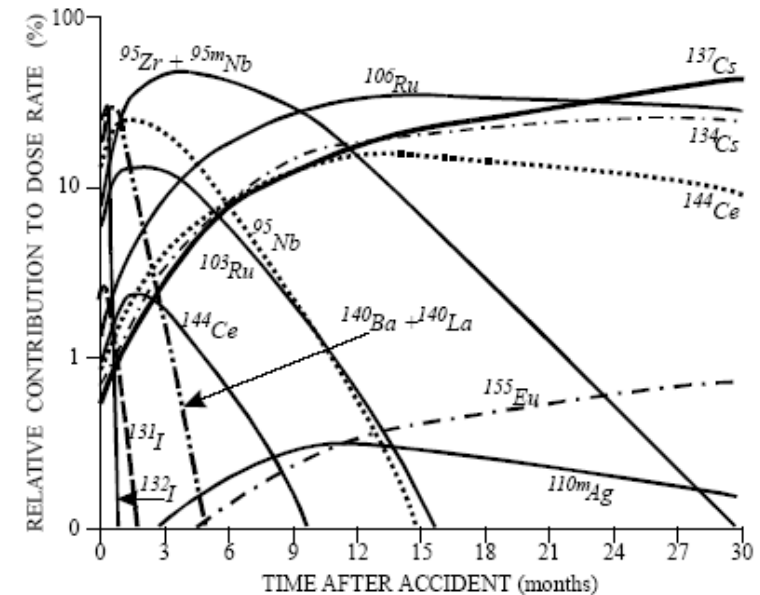
- Effets délétères 10 km autour du réacteur accidenté
- Mortalité des espèces les plus radiosensibles (conifères - forêt rousse, invertébrés du sol et mammifères)
- Diminution de la reproduction chez les plantes et les animaux



Whicker, 1982; modifié par T. Hinton

Phase II - Exposition

- Décroissance des RNs à vie courte
- Redistribution au sein des différents compartiments
- Importance de la contamination interne des organismes (domine progressivement l'irradiation externe).
- Au cours des trois mois après l'accident, 80% de la dose totale a été délivrée aux plantes et aux animaux (estimée à l'échelle de la durée de vie)



Phase II - Effets

- Reproduction affectée (mammifères : résorption embryonnaire en augmentation)
- Dose cumulée, les 5 premiers mois : 12 à 110 Gy (γ) ; 580 à 4500 Gy (β)
- Augmentation de la taille des populations de campagnols au printemps 1987 (individus migrants: effet puit) (Geras'kin et al., 2008)

Phase III : du printemps 1987... à nos jours

- la majorité des recherches ont commencé 5 à 6 ans après l'accident -

■ Exposition chronique

- Débits de dose $\approx$ moins de 1% des débits de dose initiaux (100-200 $\mu\text{Gy/h}$, hot spots $\approx$ 400-500 $\mu\text{Gy/h}$)

■ Contribution de la dose en β vs. γ

- Fonction des capacités d'accumulation du Cs et du Sr, spécifique à chaque espèce et fonction de paramètres du milieu

■ Le ^{137}Cs et le ^{90}Sr

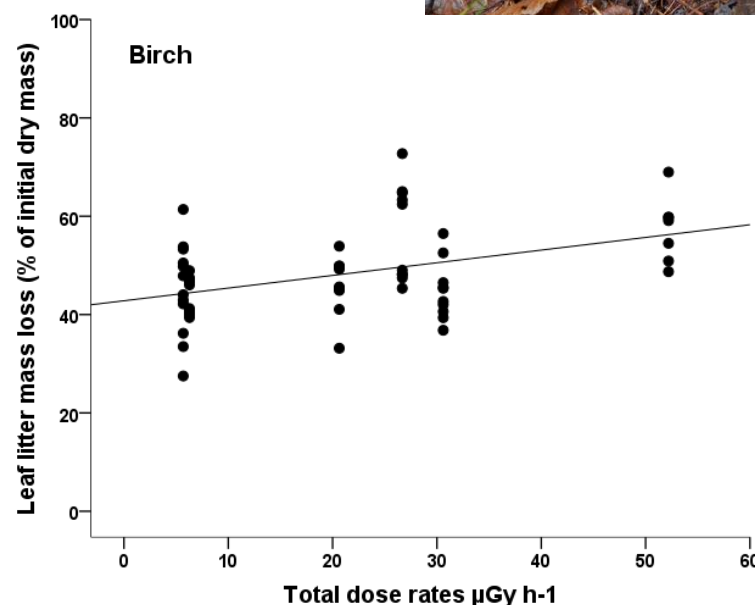
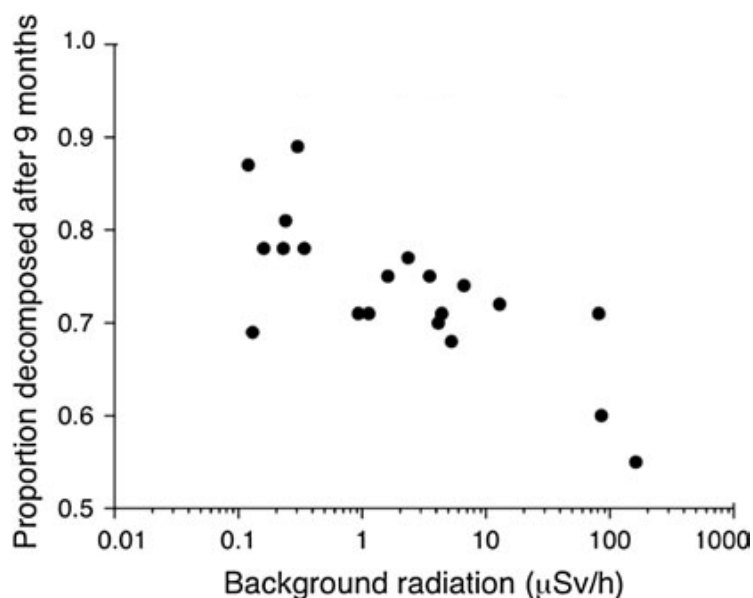
- Contributeurs majoritaires à la dose (puis Pu, Am)

■ Les effets indirects et subtils dominant

- C'est la phase de toutes les controverses scientifiques en matière d'interprétation des effets observés...

Effets sur le fonctionnement des écosystèmes

- Dégénération de la matière organique (par les macro-invertébrés et les micro-organismes) : indicateur du bon fonctionnement des écosystèmes
- Litières végétales (feuilles...) : essentiel du carbone et part importante des nutriments alimentant les réseaux trophiques des écosystèmes forestiers et cours d'eau afférents



Diminution de la dégradation des litières

- ✓ débit de dose **ambiant** : 0,09 à 240 μGy/h;
(Mousseau et al., 2014)

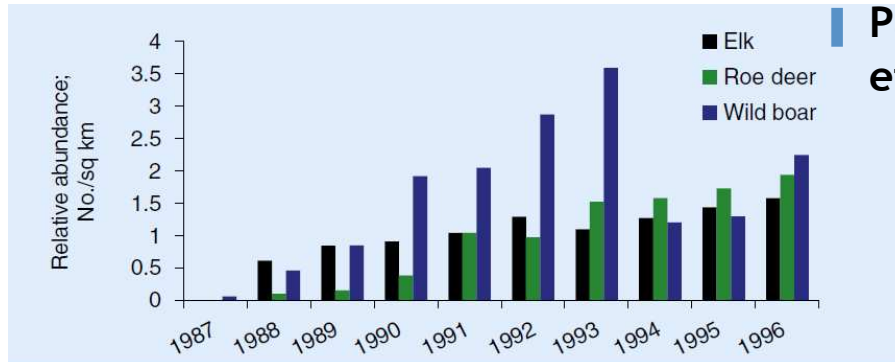
Augmentation de la dégradation des litières

- ✓ débit de dose total reçu par les organismes **décomposeurs** : 0,3 à 150 μGy/h (vs 0,22 à 29 μGy/h ambiant) (Bonzom et al., soumis).
- ✓ Stimulation de la fitness des organismes ? Appétence de la litière ? Débits de dose



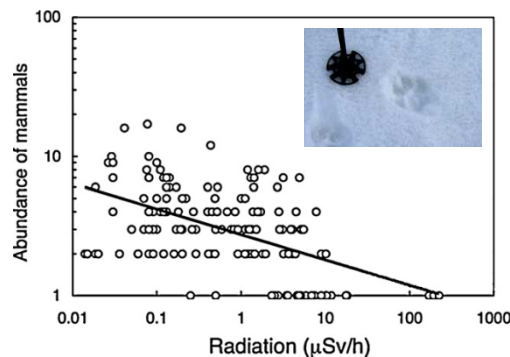
Effets sur la faune

Effets sur l'abondance des grands mammifères : deux études contradictoires



Pas de corrélation entre la densité des mammifères et la contamination radioactive

- Densité de grands ongulés (élan, cerfs, chevreuils ou sangliers) = celles observées dans des réserves naturelles non contaminées
- Densité des loups 7 fois > dans ZEC ; augmentation des densités d'élan, de chevreuils et de sangliers (surveillance aérienne de 1987 à 1996) (Deryabina et al., 2015)



Corrélation négative entre l'abondance (12 espèces) et le niveau de radiations ambiant

- Effets très marqués pour certaines espèces (renard) et beaucoup moins pour d'autres espèces comme le loup (Møller et Mousseau, 2013)

Effets sur la faune



© Alan Flavell

- **Age, sexe ratio, diversité, abondance et tératogénèse : pas de différence** (populations des sites contaminés vs témoins; Baker et al., 1996 ; Baker et Chesser, 2000 ; Jackson et al., 2004)
- **Augmentation des réarrangements chromosomiques** dans les gamètes mâles corrélée à une baisse de la fertilité (Pomerantseva et al., 1997)
- **Anomalies de la formule sanguine** (Materiy, 1996), **changements histologiques de la rate et du foie** (Materiy et Goncharov, 1996), du **système endocrinien** (Ermakova, 1996)

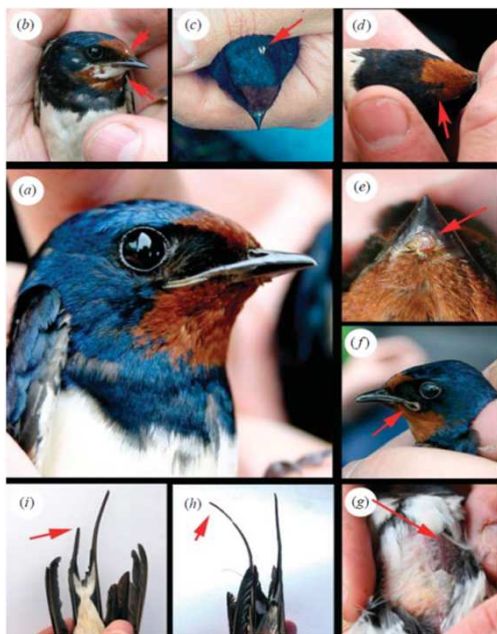


© Timothy Mousseau

- **Richesse spécifique, abondance et densité des populations d'oiseaux en milieu forestier décroissent avec l'augmentation du niveau d'exposition aux rayonnements ionisants** (Møller et al., 2005, 2006 ; Møller et Mousseau, 2009)
 - Effets directs sur les taux de survie et de fécondité (= 25% en zone contaminée), effets indirects (comportement d'évitement ou baisse de la ressource en nourriture)
- **Les adultes et les femelles sont plus radiosensibles** (73% de mâles à 160 $\mu\text{Gy/h}$ vs. 50% dans les zones non contaminées).
 - Les mâles chantent plus fort dans les zones les plus contaminées, probablement pour attirer plus de femelles (Møller et al., 2012)

Effets sur la faune

Effets sur les traits d'histoire - Changements physiologiques ou morphologiques



© Timothy Mousseau

Hirondelles

- Taux élevé d'anomalies morphologiques (Møller et al., 2007)
- Augmentation du nombre de mutations dans la lignée germinale (dose ambiante : 5 $\mu\text{Gy/h}$) (Ellegren et al., 1997)

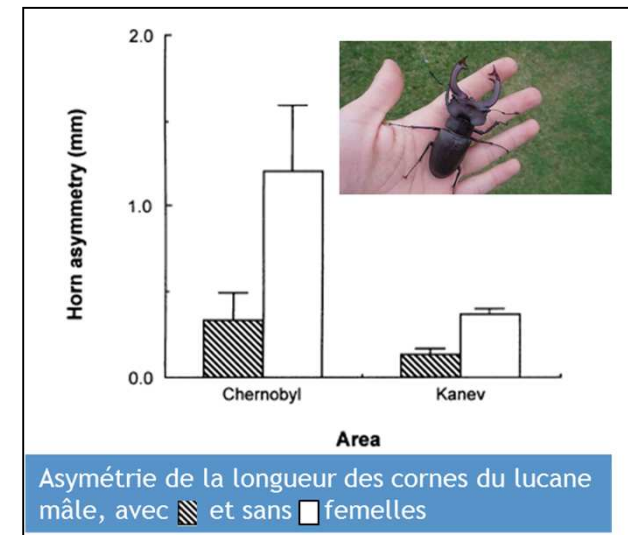
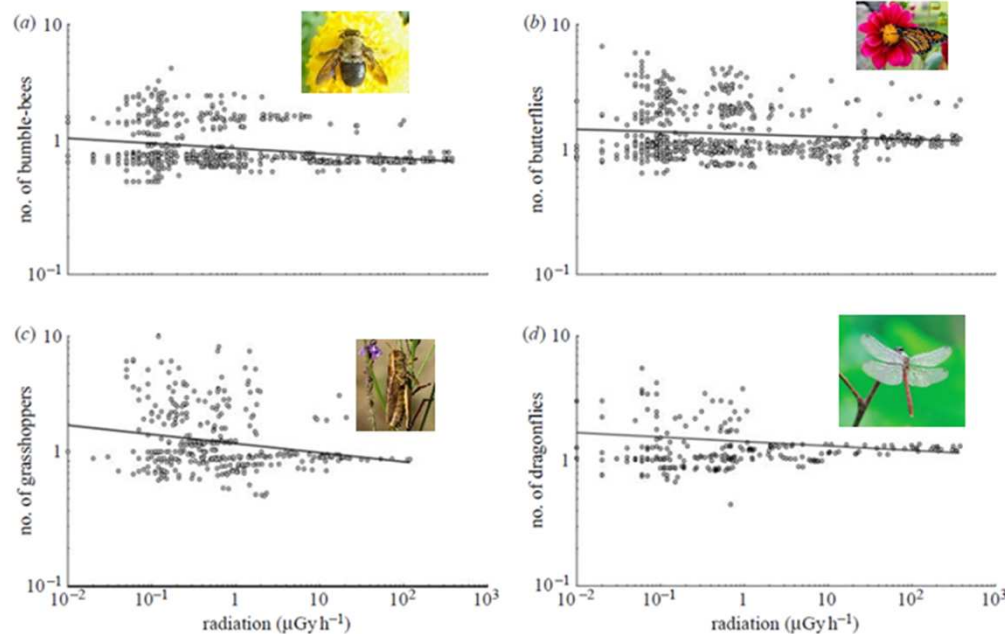
→ Dommages à l'ADN

Effet des radicaux libres produits par les RI (stress oxydant)

- Allocation des molécules anti-oxydantes dans la lutte contre le stress oxydant et baisse de leur disponibilité pour d'autres fonctions (immunité, synthèse de pigments, production de gamètes)
- Diminution de l'abondance des espèces avec pigments à base de caroténoïdes (Galvan et al., 2011)
- Lien oxydation des protéines du cristallin et cataractes chez oiseaux et rongeurs (Mousseau et Møller, 2013)

Effets sur la faune

- **Modification de la structure des réseaux trophiques, baisse de la diversité** (Krivolutsky et Pokarzhevsky, 1992)
- **Augmentation des anomalies morphologiques** chez certaines espèces de coléoptères et de libellules (Sokolov et al., 1994), pouvant affecter leur comportement de reproduction (Møller, 2002)
- **Baisse de l'abondance de diverses espèces d'invertébrés terrestres** (Møller et Mousseau, 2009)



- **Absence d'effets pour les invertébrés aquatiques** (Murphy et al., 2011) ; **faible effet sur les communautés de nématodes**, avec cependant peu d'espèces sensibles présentes (Lecomte et al., 2014) →

Adaptation ?

Effets sur la flore



© DR

Diminution de la diversité et de l'abondance de certaines espèces (variations de radiosensibilité sur 4 ordres de grandeurs) (Suvorova et al., 1993)

Réduction du pouvoir germinatif des graines de diverses espèces (Geras'kin et al., 2008)

Dommages cytogénétiques des pins (1993, 5 à 15 Gy) 8x plus importants comparés aux contrôles. 50 à 60 % des jeunes conifères présentent une morphogénèse anormale (Zelena et al., 2005 ; Yoschenko et al., 2011)

Dommages et hyperméthylation de l'ADN des pins (zones les plus contaminées : 20 à 40 Gy) : prévention de l'instabilité génomique (Kovalchuk et al., 2003)

Aberrations chromosomiques non létales (zones moyennement contaminées) : déstabilisation des structures génétiques pour créer de nouveaux phénotypes ? (Geras'kin et al., 2013)



■ Interprétation très souvent indirecte, statistiques critiquables

- Difficultés d'obtenir de « vrais » contrôles
- Difficultés de maîtriser toutes les variables confondantes pour attribuer l'effet seulement aux RI (e.g., effet des cycles saisonniers et évolution des stades de vie, abandon de la ZEC par l'homme...)
- Difficulté d'avoir des données informant sur l'état de santé des organismes
- Sous estimation de la dose d'exposition : seul le débit de dose externe est mesuré ; celui lié à la contamination interne est ignoré et il est très variable d'une espèce à l'autre, et pour une même espèce est fonction du stade de vie; forte hétérogénéité spatiale ; sensibilité 8 fois plus importante des espèces *in situ* (Garnier-Laplace et al., 2013)
- Adaptation au fil des générations (Rogers et Baker, 2000 ; Galvan et al., 2014)

- **Importance de poursuivre les études écologiques à long terme dans les territoires radiocontaminés pour comprendre les effets observés en prenant en compte l'ensemble des facteurs environnementaux (études in situ de l'IRSN au Japon et en Ukraine dans le cadre de projets nationaux et internationaux)**
- **Comprendre les mécanismes moléculaires d'actions toxiques des radionucléides pour inférer les différences taxonomiques de radiosensibilité**
- **Quantifier les effets transgénérationnels en prenant en compte la dynamique évolutive des populations (traits d'histoire de vie, rôle des mécanismes épigénétiques dans l'acclimatation, adaptation génétique, résilience...)**

Merci de votre attention !



Pour en savoir plus : Rapport IRSN PRP-ENV 2016-0006 *Conséquences écologiques de l'exposition aux radiations ionisantes engendrées par les accidents nucléaires de Tchernobyl et Fukushima*