

Forum Scientifique et Citoyen sur les Effets Génétiques des Rayonnements Ionisants

Abstracts/résumés des présentations et biographies des intervenants



Samedi 29 novembre 2014 à Genève

8h30 Accueil

9h Présentation du forum

9h10 *Dr Inge Schmitz-Feuerhake*

9h55 *Dr Yuri Dubrova*

11h *Dr Wladimir Wertelecki*

11h45 *Dr Keith Baverstock*

14h *Dr Timothy Mousseau*

14h45 *Chiyo Nohara*

16h Échange entre les intervenants et le public

17h50 Conclusion



Ruth Stégassy, productrice de l'émission "Terre à terre" sur France Culture, animera ce forum.



Abstract/Résumé

Présentation de : *Inge Schmitz-Feuerhake*, professeure retraitée de physique expérimentale à l'Université de Brême (Allemagne)

Titre : Effets génétiques, immédiats et tardifs, des rayonnements ionisants par irradiation et par contamination

La Commission internationale de protection radiologique (CIPR) et d'autres comités internationaux affirment que les maladies héréditaires dues à des expositions à de faibles doses de rayonnements ionisants sont quasiment négligeables. Ces organisations ne prennent en compte que les pathologies dues aux mutations dominantes dans la première génération et se réfèrent exclusivement aux survivants japonais des bombardements atomiques chez lesquels des effets significatifs n'ont pas été décelés. Ils ne tiennent pas compte des résultats d'un grand nombre d'études scientifiques sur des groupes humains et leur descendance qui présentent des maladies héréditaires après des expositions professionnelles ou diagnostiquées, particulièrement après les retombées de Tchernobyl. En introduction, je ferai référence aux effets génétiques que l'on peut attendre selon notre

connaissance globale des effets biologiques des rayonnements sur les cellules vivantes et chez les animaux de laboratoire. Je parlerai ensuite des premiers décès, malformations, syndromes de Down et autres maladies congénitales que l'on a observés chez les êtres humains après l'exposition des parents aux rayonnements ionisants. Selon les connaissances actuelles, il n'existe pas de seuil en dessous duquel les dégâts héréditaires dus aux rayonnements ne se produisent pas. De toute façon il a été clairement démontré que l'estimation officielle du risque des effets génétiques des rayonnements est beaucoup trop basse.

Dr Inge Schmitz-Feuerhake a été professeure de physique expérimentale à l'Université de Brême (Allemagne) de 1973 à sa retraite en 2000. Sa recherche a porté sur les effets biologiques des rayonnements ionisants de faibles doses ainsi que sur l'emploi de l'irradiation nucléaire à des fins de diagnostic. Son travail a contribué de manière essentielle au développement des méthodes de dosimétrie avec lesquelles mesurer avec une extrême précision les changements qui affectent les chromosomes des globules blancs du sang. Ses méthodes ont permis de compter au microscope les globules concernés. Elle a présenté ses découvertes scientifiques dans un langage compréhensible pour des collègues de disciplines voisines et pour des non-scientifiques. Dr Schmitz-Feuerhake est connue en Allemagne depuis 1990 grâce à son étude sur l'augmentation du nombre d'enfants souffrant de leucémie dans les environs de la centrale nucléaire de Krümmel. En 2003 elle a reçu le Prix pour un avenir sans nucléaire, qui l'honore pour toute l'œuvre accomplie dans sa vie. Elle est présidente du Comité européen sur le risque des radiations et vice-présidente de la Société pour la radioprotection (*Gesellschaft für Strahlenschutz e.V.*).



Abstract/Résumé

Présentation de : *Dr Yuri E. Dubrova*, professeur de génétique à l'Université de Leicester (Royaume-Uni)

Titre : Résumé des études précédentes et actuelles sur les effets génétiques des rayons ionisants, y compris un survol des avancées technologiques récentes dans ce domaine et des effets transgénérationnels de l'exposition des parents aux mutagènes.

La preuve expérimentale de la mutation des cellules germinales humaines due à l'irradiation reste encore très controversée, ce que l'on attribue en priorité au peu de sensibilité des approches traditionnelles pour détecter les mutations chez les êtres humains. Nous avons développé un nouveau système pour observer la mutation des cellules germinales humaines. Cette technique utilise des loci de minisatellites très instables et à cause du taux très élevé de mutation spontanée altérant la longueur de l'allèle (répétition du nombre de copie), elle fournit un système capable de détecter des mutations induites dans un échantillon relativement petit de la population. Les résultats de récentes études ont montré que les loci de minisatellites en tandem en répétition constituent un système particulièrement efficace pour suivre la mutation induite par le rayonnement chez les humains.

En utilisant cette technique, la mutation des cellules germinales a été étudiée dans des familles de zones rurales d'Ukraine (régions de Kiev et Zhitomir) et du Bélarus (région de Mogilev) qui ont été très lourdement contaminées par les radionucléides après la catastrophe de Tchernobyl [1-3]. On a trouvé une augmentation statistiquement significative (de 1 à 6 fois) du taux de mutation des cellules germinales des pères exposés, alors que le taux de mutation des cellules germinales maternelles chez les familles exposées n'était pas élevé. Au sein de la cohorte du Bélarus, le taux de mutation était considérablement plus élevé dans les familles où la dose de rayonnement chez les

parents était plus forte, estimée à partir d'une exposition chronique externe et interne au Cs137, ce qui est cohérent avec l'induction par le rayonnement de mutation de la lignée germinale.

Ces données suggèrent que le taux élevé de mutation du minisatellite peut être attribué à une exposition radioactive post-Tchernobyl. Des résultats similaires ont été obtenus en analysant le modèle d'induction de mutation du minisatellite dans la cohorte des familles irradiées exposées aux retombées radioactives des essais au sol de bombes atomiques dans l'ancienne URSS [4] ou aux rejets de déchets radioactifs dans la rivière Tetcha [5]. Les résultats de nos études fournissent la première preuve expérimentale du fait que le taux de mutation dans la population humaine augmente à cause du rayonnement ionisant et montre que les loci de minisatellites constituent un outil puissant pour surveiller la mutation des cellules germinales chez les humains. Nous débattons des avantages et des inconvénients de ce système et des nouvelles approches expérimentales pour suivre la mutation des cellules germinales humaines induite par le rayonnement.

Nous présenterons aussi le phénomène d'instabilité transgénérationnelle induite par le rayonnement, définie par une augmentation du taux de mutation observée dans la descendance non-exposée de parents irradiés. Les résultats d'études récentes sur les hommes et les animaux seront comparés et nous débattons de la contribution potentielle des effets transgénérationnels au risque génétique d'une exposition des êtres humains aux rayonnements ionisants.

Références

1. Dubrova YE, Nesterov VN, Krouchinsky NG, Ostapenko VA, Neumann R, Neil DL, Jeffreys AJ. 1996. Human minisatellite mutation rate after the Chernobyl accident. *Nature*, 380, 683-686./ Taux de mutation du minisatellite humain après la catastrophe de Tchernobyl.
2. Dubrova YE, Nesterov VN, Krouchinsky NG, Ostapenko VA, Vergnaud G, Giraudeau F, Buard J, Jeffreys AJ. 1997. Further evidence for elevated human minisatellite mutation rate in Belarus eight years after the Chernobyl accident. *Mutat. Res.*, 381, 267-278./ Preuves supplémentaires de l'augmentation du taux de mutation du minisatellite humain au Bélarus huit ans après la catastrophe de Tchernobyl.
3. Dubrova YE, Grant G, Chumak AA, Stezhka VA, Karakasian AN. 2002. Elevated minisatellite mutation rate in the post-Chernobyl families from Ukraine. *Am. J. Hum. Genet.*, 71, 801-809./ Augmentation du taux de mutation du minisatellite dans les familles post-Tchernobyl en Ukraine
4. Dubrova YE, Bersimbaev RI, Djansugurova LB, Tankimanova MK, Mamyrbayeva ZZ, Mustonen R, Lindholm C, Hultén M, Salomaa S. 2002. Nuclear weapons tests and human germline mutation rate. *Science*, 295, 1037./ Essais d'armes atomiques et taux de mutation des cellules germinales humaines
5. Dubrova YE, Ploshchanskaya OG, Kozionova OS, Akleyev AV. 2006. Minisatellite germline mutation rate in the Tetcha River population. *Mutat. Res.*, 602, 74-82./ Taux de mutation des cellules germinales humaines chez la population de la rivière Tetcha

Dr Yuri E. Dubrova est professeur de génétique à l'Université de Leicester (Royaume Uni). Il est né à Kiev (Ukraine). Il a obtenu un Bsc en biologie à l'Université d'Etat de Kiev et un Phd en génétique générale à l'Institut Vavilov de Moscou où il a entrepris plusieurs projets de recherche sur la génétique de la population. Depuis 1994 au Département de génétique de l'Université de Leicester, il étudie les effets génétiques de l'exposition aux rayonnements ionisants et aux mutagènes chimiques sur les mammifères. Sa recherche est centrée sur l'analyse du processus de la mutation des cellules germinales chez les êtres humains et les souris, suite à l'exposition aux rayonnements ionisants, aux mutagènes chimiques et à certains médicaments anti-cancer. Sa recherche récente porte sur l'instabilité génomique que l'on observe dans la descendance de parents irradiés. Dans ce domaine il est l'auteur de plus de 110 articles publiés qui ont fait l'objet de lecture par les pairs.



Abstract/Résumé

Présentation de : Dr Wladimir Wertelecki, président du Conseil des programmes de développement de l'enfant d'OMNI-NET (Ukraine) et ancien président du Département de génétique médicale et de malformations congénitales, de l'Université de South Alabama (USA)

Titre : Niveaux anormaux de rayonnements ionisants incorporés chez les femmes enceintes ; taux élevés de malformations congénitales chez les enfants de moins d'un an, en Ukraine.

Ce rapport concerne les taux d'anomalies congénitales parmi la population de la province de Rivne en Ukraine. Les taux sont manifestement plus élevés dans la moitié nord de Rivne, une région appelée la Polésie (P), polluée par les rayonnements ionisants de Tchernobyl (RI). P est une région de forêts marécageuses, que l'on nomme aussi les Marais de Pripiat. Comparés à d'autres sols, ceux de P relâchent plus rapidement le Cs137 dans la chaîne alimentaire. Les taux élevés d'anomalies congénitales (AC) notées en P sont les blastopathies qui apparaissent avant l'implantation des œufs fertilisés. Les blastopathies rencontrées sont les jumeaux siamois, les tératomes du sacrum (tumeurs embryonnaires du sacrum), les défauts du tube neural (parmi lesquels l'anencéphalie et le spina bifida), une microcéphalie - microphthalmie (une taille réduite de la tête et/ou des globes oculaires réduits). Ces blastopathies sont plus répandues chez les enfants de sexe féminin et leurs taux élevés persistent et se trouvent parmi les plus hauts rencontrés en Europe.

En Ukraine, pratiquement toutes les mesures de RI provenant du sol, inhalées ou ingérées, sont extrapolées à partir des mesures de Cs137. Cependant, il y a bien d'autres radionucléides qui émettent des RI. On trouve par exemple du Sr90 dans les plants de pommes de terre en P et des rejets de centrales nucléaires comme celles de Kouznetsovsk et près du district d'Ostroh peuvent aussi s'ajouter aux niveaux totaux d'exposition totale aux RI. Il est raisonnable de conclure que les impacts de RI sur les fœtus sont plus importants que ceux calculés à partir d'une extrapolation basée seulement sur les mesures de Cs137. La moyenne du Cs137 incorporé par 3 865 femmes enceintes venant de P était de 40,4 becquerels par kilogramme de poids corporel et de 11,3 pour celles qui ne venaient pas de P. Les niveaux d'incorporation de Cs137 ont augmenté de manière significative avec le temps. Une analyse globale des expositions prénatales à l'alcool, une autre cause importante d'AC, n'a pas montré de différence entre les femmes de P et les autres.

Les observations à Rivne viennent d'investigations épidémiologiques descriptives cherchant à détecter des associations pour diriger les investigations prospectives de cause-effet. La coexistence de taux élevés de blastopathies et de niveaux incorporés plus élevés de Cs137 chez les femmes enceintes montre une association mais ne constitue pas une preuve de causalité. Les observations à Rivne sont suffisamment frappantes pour justifier des investigations prospectives de cause spécifique - effet spécifique. Dans le contexte des circonstances qui émergent au Japon après le désastre de Fukushima Daiichi, c'est notre opinion que des études simultanées, parallèles et homologues à Rivne et au Japon accéléreront et élargiront la compréhension des impacts des RI sur l'embryon humain.

Dr Wladimir Wertelecki est président du Conseil des programmes de développement de l'enfant du réseau OMNI en Ukraine, un groupe qui a mené des recherches approfondies sur les malformations congénitales dans la région de Polissia - province de Rivne- en Ukraine, une des régions les plus touchées par le désastre de Tchernobyl. Dr Wertelecki est professeur honoraire du Département de dysmorphologie de l'Université de Californie à San Diego et du programme de 3ème cycle d'anthropologie biomédicale de l'Université de l'Etat de New York à Binghamton. Il est né en Pologne et parle couramment les langues de la région touchée par le désastre de Tchernobyl. Il a fait ses études principalement en Suisse et en Argentine où il a obtenu son diplôme en médecine

à Buenos Aires. Il a suivi une formation en pédiatrie à l'hôpital Saint-Louis de l'Université de Washington et en génétique clinique à l'hôpital pédiatrique de l'École de médecine de Harvard à Boston. Il a été président du Département de génétique médicale et de malformations congénitales à l'Université d'Alabama du Sud de 1974 à 2010. Il s'intéresse principalement à la génétique médicale, aux handicaps chez l'être humain et à la pédiatrie. Il a organisé de nombreuses conférences, entre autres sur la génétique et les malformations congénitales et sur la santé publique. Il a reçu de nombreux prix et il est l'auteur de plus de 250 articles et résumés.



Abstract/Résumé

Présentation de : *Dr Keith Baverstock*, enseignant à la Faculté des sciences naturelles et de l'environnement de l'Université de Kuopio, en Finlande

Titre : Rôle et conséquences potentielles de l'instabilité génomique induite par les facteurs de stress environnementaux

L'approche suivie pour cette présentation est établie sur les concepts de biologie des systèmes. Un système est une collection d'objets qui entrent en interaction les uns avec les autres pour produire un résultat spécifique et qui peut être facilement compris comme étant un objet isolé de son environnement.

Une cellule dans un être humain est un système constitué de molécules interactives qui produisent des propriétés. C'est son PHENOTYPE. L'ENVIRONNEMENT de la cellule est l'organisme (l'être humain).

L'organisme a aussi un phénotype composé des phénotypes cellulaires. L'ENVIRONNEMENT de l'organisme est l'ECOSYSTEME dans lequel il évolue.

Les trois systèmes, cellule, organisme et écosystème interagissent les uns avec les autres, de telle sorte qu'une modification de l'un des systèmes peut produire des modifications (généralement non prévisibles) chez les autres ; ceci se vérifie en particulier pour les modifications qui influencent le phénotype cellulaire. Dans de tels systèmes complexes, tout dépend de tout le reste.

En tant que système, la cellule contient des éléments matériels (des molécules comme les protéines et les peptides de l'ADN) et des processus (les interactions entre les molécules). La biologie moléculaire conventionnelle a tendance à se concentrer sur les molécules (biologie moléculaire), ignorant largement les processus. Elle est dominée par le matérialisme. Dans l'approche décrite ici, les processus sont plus centraux. Cette approche est holistique. Les approches holistiques ne sont pas en général considérées comme « scientifiques » par de nombreux biologistes parce que, si toute chose dépend des autres, les approches expérimentales traditionnelles (appelées réductionnistes) sont difficiles, voire impossibles à mettre en œuvre.

Les systèmes biologiques sont gouvernés par la physique. La physique par défaut, telle qu'on l'enseigne dans les écoles, est la PHYSIQUE NEWTONIENNE, mais elle n'est pas pertinente pour les systèmes biologiques : c'est surtout la physique de systèmes basés sur la MATIÈRE et non la physique de systèmes basés sur le processus. La physique appropriée est la physique des systèmes complexes de dissipation (consommateurs d'énergie ou de nutriments). Tout ce qu'il faut comprendre, c'est que ce type de physique soutient uniquement des caractéristiques biologiques étayées par des processus.

L'une de ces caractéristiques étayées par la physique des systèmes complexes de dissipation est celle de l'attracteur. Un attracteur est un état quasi-stable, ce qui veut dire qu'il est STABLE dans

certaines circonstances mais pas dans d'autres. La physique newtonienne ne soutient pas le concept de l'attracteur. Par exemple, prenez une pièce longue avec deux ampoules électriques, placées chacune à un bout, qui peuvent être allumées ou éteintes alternativement de façon autonome, et une mouche. Lorsqu'une ampoule sera allumée à un bout, la mouche s'y trouvera invariablement. Voici un état quasi-stable du système pièce/ampoule/mouche. Si l'ampoule est éteinte et que l'on allume l'autre, la mouche s'envolera à l'autre bout de la pièce : c'est un second état quasi-stable du système. Si les deux ampoules sont soit allumées, soit éteintes, la mouche ira n'importe où et c'est un état instable du système. L'ampoule est un attracteur pour la mouche.

Dans ma présentation, j'ai utilisé un autre système familier, le système cycliste/bicyclette. Une bicyclette avec un cycliste peut se tenir debout, ce qui n'est pas possible pour la bicyclette toute seule. Le cycliste peut balancer son poids à droite ou à gauche et diriger la roue avant à droite ou à gauche avec le guidon. Ces quatre, soi-disant dimensions du système, permettent un état quasi-stable (attracteur) du système. Si le cycliste perd le contrôle de l'une ou de plusieurs de ces dimensions, il n'aura plus de stabilité et il tombera du vélo – le système est détruit. L'attracteur dans une cellule humaine a plusieurs milliers de dimensions et beaucoup d'états d'attracteur, donc la perte d'un attracteur ne signifie pas nécessairement la destruction (mort) de la cellule.

Les propriétés de la cellule, son phénotype, sont représentées par un état d'attracteur. La quasi-stabilité d'une cellule à partir d'une espèce qui se reproduit de manière stable peut-être interrompue par une exposition à des agents qui abîment l'ADN, avec pour résultat, soit la mort de la cellule, soit l'adoption d'un autre état quasi-stable (phénotype) qui pourra encore se reproduire. Cependant, la reproduction peut-être instable et on dit de la cellule qu'elle est génomiquement instable.

Les cellules sont alors capables de changer irréversiblement et au hasard entre différents phénotypes, dont un seul pourra reproduire le vrai système des espèces, les autres conduiront à des anomalies. Si les cellules en question sont ce que nous appelons des cellules germinales, le sperme ou les ovules, les anomalies apparaîtront dans toutes les cellules d'un organisme dérivé d'un tel phénotype. En outre, les anomalies peuvent se transmettre aux générations futures.

Jusqu'à présent, l'instabilité génomique a été observée dans des cellules de culture et dans des organismes non-humains, allant des vers aux rats. La compréhension de la nature de l'instabilité génomique n'a pas été possible dans le cadre conventionnel de la biologie, à savoir la génétique. Ce que l'on présente ici est une reformulation importante de la façon dont la biologie fonctionne. Cela a été publié dans une revue renommée, évaluée par des pairs, et donc vérifié minutieusement. Il s'agit d'une hypothèse qui doit encore être testée. Cependant, les concepts utilisés sont plus profondément basés sur la physique que ceux dont on se sert en biologie conventionnelle et l'hypothèse dispose d'un pouvoir d'explication considérable. Il est donc raisonnable d'essayer de formuler les conséquences à long-terme de l'instabilité génomique.

Il s'agit, sur plusieurs générations, d'un déclin progressif de l'état de santé et du bien-être des personnes touchées, avec une avancée de maladies généralement liées à l'âge et l'apparition de malformations. Il peut se passer 10 générations (300 ans) avant que l'impact complet de l'instabilité génomique induite aujourd'hui soit tout à fait clair.

Dr Keith Baverstock enseigne actuellement à la Faculté des Sciences naturelles et de l'environnement de l'Université de Kuopio (Finlande). Ses cours et ses recherches portent sur les effets des rayonnements ionisants. Il est diplômé de l'Université de Londres. Il a dirigé, de 1991 à 2003, le Programme de radioprotection du Bureau régional pour l'Europe de l'Organisation mondiale de la santé à Bonn, comme Conseiller régional pour les radiations et la santé publique. Ce programme de l'OMS a permis d'attirer l'attention du reste du monde sur l'accroissement du nombre de cancers de la thyroïde au Belarus, attribué maintenant à l'accident de Tchernobyl. En 2001 il a participé à une mission de l'ONU chargée d'analyser la situation dans les régions du Belarus, de l'Ukraine et de la Russie touchées par l'accident de Tchernobyl. En 2002 le rapport de

mission « Conséquences de l'accident de Tchernobyl sur les êtres humains : une stratégie de rétablissement » a été publié par l'ONU. De novembre 2002 à avril 2005 il a travaillé au sein du Comité du Royaume Uni pour la gestion des déchets radioactifs (CoRWM). Il est maintenant associé au projet ARCH, financé par la Commission européenne, dont le but est d'établir une stratégie de recherche sur les effets de l'accident de Tchernobyl. Il recherche en ce moment les aspects dynamiques du processus par lequel les rayonnements ionisants et les autres agents environnementaux sont la cause de l'instabilité génomique et des cancers, ainsi que les effets des faibles doses d'irradiation sur la santé et ses aspects psychologiques.



Abstract/Résumé

Présentation de : *Dr Timothy Mousseau*, professeur au Département des sciences biologiques de l'Université de Caroline du Sud (Etats-Unis) - avec Anders P. Møller

Titre : Conséquences biologiques des rayonnements dans l'environnement pour les individus, les populations et les écosystèmes : leçons de Tchernobyl et Fukushima

Des études empiriques récentes et un survol de la littérature scientifique fournissent des preuves sérieuses de l'importance des conséquences biologiques de l'irradiation à faible taux de dose, tels que ceux des zones touchées de Tchernobyl et Fukushima, ainsi que ceux des zones à radioactivité naturelle dans le monde. On observe ces effets à tous les niveaux de l'organisation biologique, depuis l'ADN jusqu'aux écosystèmes et dans bien des cas on peut penser que les catastrophes radiologiques de Tchernobyl et Fukushima ont induit des blessures graves chez les personnes et les populations et de sérieuses répercussions sur le fonctionnement de l'écosystème. La plupart de ces études ont été souverainement ignorées par les organismes des Nations-Unies (par exemple l'AIEA et l'UNSCEAR) parce ce qu'elles n'ont pas été conduites dans l'optique de la régulation des normes dans le domaine du nucléaire. Il est cependant évident qu'un plus grand effort doit être fait pour tenir compte des implications de ces découvertes récentes, non seulement pour les végétaux et les animaux de ces régions, mais aussi pour les populations humaines dans les zones environnantes.

Dr Timothy Mousseau est membre de la faculté du Département des Sciences biologiques de l'Université de Caroline du Sud depuis 1991. Il a obtenu son doctorat en 1988 à l'Université MacGill puis une bourse post doctorale NSERC (Canada) en biologie de la population à l'Université de Californie de Davis. A l'UCS Dr Mousseau et ses étudiants ont travaillé sur différents organismes, allant de la bactérie aux insectes et aux oiseaux. L'intérêt principal de ces recherches est la base génétique de l'adaptation des populations naturelles. Depuis 1999 Dr Mousseau et ses collaborateurs explorent les conséquences écologiques, génétiques et évolutionnistes des faibles doses de radiation sur les plantes, les animaux et la population qui habitent la région de Tchernobyl au Belarus et en Ukraine. Il a entrepris récemment un programme de recherche à Fukushima, Japon. Sa recherche suggère que plusieurs espèces de plantes et d'animaux subissent une charge accrue de mutations dues aux radionucléides provenant du désastre de Tchernobyl. Chez certaines espèces, comme l'hirondelle *hirundo rustica* cette charge de mutation a eu des conséquences dramatiques sur la reproduction et la survie. La recherche actuelle du Dr Mousseau a pour but de mesurer de manière précise les doses reçues par les animaux dans la nature et d'élucider, selon les différentes espèces, les causes de variation de leur sensibilité apparente aux radionucléides.



Abstract/Résumé

Présentation de : *Chiyo Nohara*, membre de l'équipe de l'Unité de BCPH de physiologie moléculaire du Département de chimie, biologie et sciences de la mer de la Faculté des sciences de l'Université des Ryukus à Okinawa (Japon).

Titre : *Impacts biologiques de l'accident nucléaire de Fukushima sur le papillon bleu pâle des herbes*

L'effondrement de la centrale nucléaire de Fukushima Dai-ichi a provoqué un rejet massif d'éléments radioactifs dans l'environnement. On n'a pas disposé d'un système fiable et rapide pour évaluer les impacts biologiques de cet accident sur les animaux. Nous montrons ici que l'accident a causé des dommages physiologiques et génétiques au *Zizeeria maha*, un lycénidé bleu pâle, papillon commun au Japon. Nous avons recueilli les adultes de la première génération (voltine) dans la zone de Fukushima en mai 2011; certains montraient des anomalies relativement légères. La descendance F1 des femelles de la première génération (voltine) montraient des anomalies plus sérieuses, dont a hérité la génération F2. Les papillons adultes recueillis en septembre 2011 montraient des anomalies encore plus sévères que ceux recueillis en mai. Des anomalies similaires ont été reproduites expérimentalement chez des individus d'une zone non contaminée par une exposition externe et interne à de faibles doses. Nous en concluons que des radionucléides artificiels de la centrale nucléaire de Fukushima ont provoqué des dommages physiologiques et génétiques à cette espèce.

Chiyo Nohara fait partie d'un groupe de l'Unité de physiologie moléculaire BCPH du Département de chimie, biologie et sciences marines, Faculté des sciences de l'Université des Ryukus à Okinawa, Japon. Son groupe a évalué les effets de l'accident nucléaire de Fukushima sur le papillon bleu pâle des herbes *Zizeeria maha*, le plus commun des papillons du Japon. Les résultats laissent supposer une accumulation trans-générationnelle de dégâts génétiques. Avant d'aller à Okinawa Madame Nohara a enseigné, de 2003 à 2005 à l'Université Aichi Toro, la vérification de comptes gouvernementaux puis, comme professeure associée, l'administration commerciale. De 2005 à 2009 elle était professeure adjointe d'administration commerciale à l'Université d'Aichi. Elle a été membre du comité d'évaluation des Agences administratives incorporées du Ministère du territoire, de l'infrastructure, du transport et du tourisme et membre du Comité d'évaluation du secteur public des villes de Nagoya et Tokai et de la préfecture de Mie.