Actes du Forum Scientifique et Citoyen sur les Effets Génétiques des Rayonnements Ionisants

Organisé par le Collectif IndependentWHO – Santé et Nucléaire
29 Novembre 2014, Genève (Suisse)

IndependentWHO

À la mémoire de Chiyo Nohara (8 Mai 1955 – 28 Octobre 2015)

Elle est morte pour la cause de la vérité scientifique

ISBN: 978-2-9552736-3-0

Forum Scientifique et Citoyen sur les Effets Génétiques des Rayonnements Ionisants

Organisé par le Collectif IndependentWHO – Santé et Nucléaire

29 Novembre 2014, Genève (Suisse)

Actes

Octobre 2015

Note des éditeurs

Ces Actes sont le reflet fidèle d'un travail collectif auquel ont contribué de nombreuses personnes. Avant que vous en preniez connaissance, nous souhaitons préciser ce que fut la « philosophie » du groupe de rédaction désigné par le Collectif IndependentWHO en vue de cette publication, dont il assume pleinement la responsabilité.

Nous avons voulu rester le plus près possible des présentations orales des intervenant-e-s de ce Forum, parfois complétées par leurs textes écrits, notamment ceux de la Dr Inge Schmitz-Feuerhake et du Dr Wladimir Wertelecki.

Les illustrations des exposés sont tirées de documents en Power-point présentés par les orateurs/oratrices.

Les questions/réponses qui ont suivi les présentations, ainsi que l'échange qui a eu lieu en fin de journée entre les intervenants et le public, sont basées sur des enregistrements des débats que le groupe de rédaction s'est chargé de rendre compatibles avec le langage écrit, au plus près des propos tenus oralement.

Enfin, les présentations et interventions orales ou écrites, publiées dans cet ouvrage le sont sous l'entière responsabilité de leurs auteur-e-s.

Groupe de transcription, traduction et publication des Actes : Line Aldebert, Emanuela Andreoli, Alain Bougnères, Christophe Elain, George Gordon-Lennox, Odile Gordon-Lennox, Alison Katz, Wladimir Tchertkoff.

Photos : Emanuela Andreoli

Mise en page : Alain Bougnères

Site du Collectif IndependentWHO : www.independentwho.org

Publié par **IndependentWHO – Santé et Nucléaire**
Genève
Octobre 2015

ISBN : 978-2-9552736-3-0

Table des matières

Avant-propos 7

Pourquoi ce forum ? 7

Programme du Forum 9

Présentation du Forum 11

Présentation 11

Discours de bienvenue 13

Effets génétiques, immédiats et différés, des rayonnements ionisants par irradiation et par contamination 15

Présentation 16

Échange avec le public 31

Résumé des études précédentes et actuelles sur les effets génétiques des rayonnements ionisants, y compris un survol des avancées technologiques récentes dans ce domaine et des effets transgénérationnels de l'exposition des parents aux mutagènes 33

Présentation 34

Échange avec le public 43

Femmes enceintes ayant reçu de hauts niveaux de ^{137}Cs et présentant des taux élevés d'anomalies congénitales près de Tchernobyl 47

Présentation 48

Échange avec le public 64

Rôle et conséquences potentielles de l'instabilité génomique provoquée par les facteurs de stress environnementaux 67
Présentation 68
Échange avec le public 76
Conséquences biologiques des rayonnements dans l'environnement pour les individus, les populations et les écosystèmes : leçons de Tchernobyl et Fukushima 79
Présentation 80
Échange avec le public 94
Impacts biologiques de l'accident nucléaire de Fukushima sur le papillon bleu pâle des herbes 97
Présentation 98
Échange avec le public 107
Échange entre les intervenants et le public 110
Conclusion 129
Remerciements 133

Avant-propos

Pourquoi ce forum ?

Le génome : trésor le plus précieux du genre humain

« Le génome détermine la vie de nos descendants et le développement harmonieux des générations futures.

En tant qu'experts, nous rappelons que la santé des générations futures est menacée par l'expansion de l'industrie nucléaire et l'augmentation de la quantité de sources radioactives.

Nous considérons également que l'apparition de nouvelles mutations observées chez les personnes peut être fatale pour elles et pour leurs descendants. »

C'est ainsi, qu'en 1956, le groupe d'experts en génétique de l'OMS, qui comprenait H. J. Muller, lauréat du prix Nobel, a qualifié la menace que représentent les rayonnements ionisants pour le patrimoine génétique de l'être humain. Aucune preuve scientifique n'est venue contredire cette prise de position depuis 1956.

Depuis plus d'un demi-siècle, les conséquences sanitaires des accidents nucléaires, tels que Tchernobyl et Fukushima, et des activités nucléaires en général, ont été occultées pour le grand public.
L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) est complice de cette dissimulation.
La raison principale de cette dissimulation est la subordination de l'OMS à l'establishment nucléaire, et en particulier à son porte-parole, l'AIEA.

Face au véritable déni des méfaits biologiques de la contamination radioactive, nous nous donnons pour tâche de faire connaître aux citoyens soucieux de vérité, l'état des recherches menées par des scientifiques de renommée internationale sur les conséquences sanitaires de ces catastrophes, d'où ce **Forum Scientifique et Citoyen sur les Effets Génétiques des Rayonnements Ionisants.**
Il fait suite au premier **Forum Scientifique et Citoyen sur la Radioprotection – de Tchernobyl à Fukushima,** organisé en mai 2012 avec le soutien de la ville de Genève, notamment, et dont les Actes ont été publiés en mars 2013 [téléchargeables sur notre site :http://independentwho.org/media/Documents_Autres/Actes_forum_IW_mai2012_French.pdf]

Ce forum est organisé par le collectif **IndependentWHO – Santé et Nucléaire** qui lutte pour que l'OMS remplisse, en toute indépendance, son mandat dans le domaine des rayonnements ionisants.

Les Vigies d'**IndependentWHO – Santé et Nucléaire** manifestent silencieusement devant le siège de l'OMS à Genève, tous les jours ouvrables, depuis le 26 avril 2007.

Elles manifestent également à Paris, tous les vendredis, devant le ministère de la Santé, depuis novembre 2012.

Membres et sympathisants du Collectif IndependentWHO pour l'organisation du Forum :

Line Aldebert (France), documentaliste retraitée
Emanuela Andreoli (Suisse), film editor
Françoise Bloch (Suisse), sociologue CNRS retraitée
Alain Bougnères (France), retraité
Bruno Boussagol (France), metteur en scène engagé
Maryvonne David-Jougneau (France), sociologue
Christophe Elain (France), militant écologiste
Odile Gordon-Lennox (Suisse), membre de « Femmes pour la Paix, Genève »
George Gordon-Lennox (Canada), ancien fonctionnaire international et journaliste
Marie-Élise Hanne (France), médecin biologiste retraitée
Alison Katz (Suisse), membre de « People's Health Movement »
Miho Kozawa-Hoffman (Suisse), assistante administrative
Claude Proust (France), juriste retraité
Paul Roullaud (France), agriculteur retraité
Hannelore Schmid (Allemagne), assistante administrative
Annick Steiner (Suisse), assistante socio-éducative
Wladimir Tchertkoff (Italie), documentariste retraité de la télévision suisse

Programme du Forum

Session de la matinée

8h30 : Accueil

9h00 : Présentation du Forum

9h10 : Effets génétiques, immédiats et différés des rayonnements ionisants par irradiation et par contamination

Dr Inge Schmitz-Feuerhake,
Société allemande de radioprotection, membre (retraitée), Université de Brême, Allemagne.

(Échange avec le public)

9h55 : Résumé des études précédentes et actuelles sur les effets génétiques des rayonnements ionisants, comprenant un survol des récentes avancées technologiques dans ce domaine et des effets transgénérationnels de l'exposition des parents aux mutagènes

Dr Yuri Dubrova,
Département de génétique, Université de Leicester, Royaume-Uni.

(Échange avec le public)

10h40 : Pause-café

11h00 : Niveaux anormaux de rayonnements ionisants incorporés chez les femmes enceintes ; taux élevés de malformations congénitales chez les enfants de moins d'un an

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, États-Unis.

(Échange avec le public)

11h45 : Rôle et conséquences potentielles de l'instabilité génomique induite par des facteurs de stress environnementaux

Dr Keith Baverstock,
Département des sciences de l'environnement, Université de Finlande orientale, Finlande.

(Échange avec le public)

12h30 : Déjeuner

Session de l'après-midi

14h00 : Conséquences biologiques des rayonnements dans l'environnement pour les individus, les populations et les écosystèmes : leçons de Tchernobyl et Fukushima

Dr Timothy Mousseau,
Professeur de sciences biologiques, Université de Caroline du Sud, États-Unis.

(Échange avec le public)

14h45 : Impacts biologiques de l'accident nucléaire de Fukushima sur le papillon bleu pâle des herbes

Chiyo Nohara,
Université d'Okinawa, Japon.

(Échange avec le public)

15h30 : Pause-café

16h00 : Échange avec le public

17h50 : Conclusion

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

Présentation du Forum

Présentation

***Annick STEINER**, membre d'IndependentWHO – Santé et Nucléaire*

Bonjour. Annick Steiner, simple citoyenne, membre du collectif « IndependentWHO – Santé et Nucléaire » qui organise ce forum.

Je remercie le représentant de la Municipalité de Genève, sans l'aide de laquelle ce Forum ne pourrait se tenir. Plus qu'une aide financière je crois que nous pouvons parler d'un véritable soutien sans lequel nous ne pourrions sans doute pas envisager des initiatives de cette envergure.

Je remercie toutes celles et tous ceux qui sont ici présents, scientifiques et citoyens, pour échanger sur un thème qui nous concerne tous, nous et notre descendance : celui des effets des rayonnements ionisants sur le génome. Le Forum portera sur les effets génétiques immédiats et différés des rayonnements ionisants, les résultats d'études passées et présentes, les conséquences biologiques sur les individus, les populations et les écosystèmes.

Nous rappelons en exergue ce que le groupe d'experts en génétique de l'OMS, dont faisait partie H.J. Muller, lauréat du prix Nobel, en disait en 1956 : « *Le génome détermine la vie de nos descendants et le développement harmonieux des générations futures. En tant qu'experts, nous rappelons que la santé des générations futures est menacée par l'expansion de l'industrie nucléaire et l'augmentation de la quantité de sources radioactives. Nous considérons également que l'apparition de nouvelles mutations observées chez les personnes peut être fatale pour elles et pour leurs descendants.* »

De son côté Sakharov, le père de la bombe H, évaluait en 1957 les conséquences des essais nu-

cléaires : *« Ces effets – y compris l'apparition de carcinomes et les mutations génétiques – se manifestent même avec des irradiations minimales et conduisent statistiquement à de hauts degrés de mortalité et de pathologie car un très grand nombre de personnes et, à terme, l'ensemble de l'humanité sont soumis aux radiations. »*

Il parlait déjà d'effets sans seuil et de 10 000 victimes à long terme par mégatonne calculant qu'à l'époque il y avait déjà eu 400 mégatonnes de bombes explosées en surface.

Il faut dire que dans notre monde nucléarisé ce sont là des propos qui ne sont pas diffusés largement au public. D'une manière générale, lorsque l'on parle du nucléaire dans les débats publics, on parle d'argent, du prix du kilowatt et non pas du problème majeur des effets sur la santé.

D'où la création de notre collectif IndependentWHO en 2007 qui soulève le problème de la santé et du nucléaire et dénonce l'abandon des responsabilités de l'OMS vis-à-vis des populations au profit de la parole des experts de l'atome à laquelle elle se rallie : l'UNSCAER, la CIPR et l'AIEA dont une des tâches est de promouvoir l'atome. C'est cet abandon de la fonction de garante de la santé des populations qui suscite notre présence à proximité de l'OMS en tant que Vigies d'Hippocrate, tous les jours ouvrables de 8 h à 18 h. Lors de notre entretien avec Mme Chan, le 4 mai 2011, la directrice de l'OMS avait reconnu qu'il n'y avait même plus aucun département consacré à la recherche sur les rayonnements ionisants. Nous avons invité Mme Chan et ses principaux représentants à ce Forum qui tend à combler et à souligner cette carence. Je ne sais pas si elle s'est inscrite !

Notre rencontre d'aujourd'hui fait suite à notre premier Forum scientifique et citoyen sur la radioprotection, les 12 et 13 mai 2012. Il a donné lieu à des Actes téléchargeables sur notre site [http://independentwho.org/media/Documents_Autres/Actes_forum_IW_mai2012_French.pdf] et dont nous avons encore ici quelques exemplaires papier en français et anglais.

On comprend que parmi les effets des rayonnements ionisants ceux qui concernent la génétique et notre descendance ne sont pas les plus faciles à démontrer.

Nous pouvons donc nous réjouir d'avoir pu réunir aujourd'hui des chercheurs parmi les plus qualifiés en provenance de différents pays et de trois continents pour faire état des avancées dans ce domaine. Dans le choix de ces chercheurs nous avons suivi les recommandations du Professeur Rosa Gontcharova de Minsk qui, depuis près de 30 ans, a étudié en particulier les effets des faibles doses des radionucléides sur les rongeurs, les poissons, sur plus de 20 générations. Elle n'a pas pu participer à ce forum pour des raisons d'emploi du temps mais nous la remercions pour son travail et sa collaboration dans l'élaboration du programme d'aujourd'hui.

La parole étant donnée aux scientifiques, ceux-ci vont s'exprimer dans un langage qui n'est pas toujours facile d'accès. Cependant nous ne sommes pas dans un colloque d'initiés et notre pari c'est de rester un forum scientifique ET citoyen et donc de permettre à ces derniers de s'emparer des connaissances scientifiques pour éclairer leurs prises de position. Nous demandons donc, après chaque intervention, à chacun, d'oser poser des questions à nos spécialistes sur des points restés obscurs, des notions trop abstraites. Nous demandons à nos chercheurs de se livrer à cet exercice de pédagogie. Nous rappelons que nous avons réservé, après 16 h, près de 2 heures d'échanges entre les intervenants et le public pour approfondir les questions qui seront apparues comme essentielles au cours des débats.

Nous serons aidés tout au long de cette journée par Ruth Stégassy, journaliste à France-Culture, qui a accepté le rôle difficile de « modératrice », ce dont nous la remercions.

***Ruth STÉGASSY**, journaliste à France Culture*

Nous remercions également tous ceux qui nous soutiennent financièrement : ***Femmes pour la paix, Greenpeace Suisse, La Biocoop de Laval, Les Verts Genevois,*** *le* ***Mouvement Ecologie libérale,*** *le* ***Parti Socialiste Genevois, Réseau Sortir du Nucléaire,*** *les* ***Services Industriels de Genève, Solidarités,*** *la* ***ville de Carouge,*** *la* ***ville de Genève,*** *la* ***ville de Plan les Ouates*** ainsi que des particuliers et tous les bénévoles qui ont et vont donner de leur temps et de leur énergie pour que ce Forum soit réussi et porte ses lumières bien au-delà de ces murs et des frontières. Nos partenaires sur Internet nous y aideront je l'espère. Je les en remercie d'avance.◆

Discours de bienvenue

Rémy Pagani*, conseiller administratif de la ville de Genève*

Mesdames et Messieurs les membres du Collectif IndependentWHO, Mesdames et Messieurs les professeurs et les experts, Mesdames et Messieurs les représentants du monde académique et scientifique, Mesdames et Messieurs, j'ai écouté avec attention tout ce qui s'est dit et je trouve que tous les éléments qui ont été exposés ici sont extrêmement graves, toujours est-il que je m'exprime au nom des autorités.

Permettez-moi d'abord, au nom des autorités de la ville de Genève, de vous souhaiter à toutes et à tous une très cordiale bienvenue dans notre cité.

Je suis très heureux de pouvoir vous accueillir, vous qui venez du monde entier, à l'occasion de ce Forum scientifique et citoyen sur les effets génétiques des rayonnements ionisants, qui fait suite au premier Forum scientifique et citoyen sur la radioprotection organisé en mai 2012, auquel la ville de Genève avait déjà apporté son soutien et auquel j'avais eu l'occasion et le plaisir de participer.

Vous savez l'importance que Genève accorde depuis toujours au respect et à la défense des droits humains. Et le droit à la santé, sûrement, fait partie des droits fondamentaux pour tout être humain.

Nous savons aujourd'hui que l'énergie nucléaire coûte très cher et qu'elle a toujours été très dangereuse. Et il n'est pas normal que, bientôt trente ans après la catastrophe majeure de Tchernobyl et presque quatre ans après celle de la centrale nucléaire de Fukushima, l'industrie persiste à investir toujours autant pour développer cette énergie.

C'est pourquoi nous soutenons fermement l'objectif que vous vous êtes fixé, qui consiste à faire connaître à la population l'état des recherches menées par les scientifiques sur les conséquences sanitaires de ces catastrophes. Je dois dire que si vous vous ne le faites pas, personne ne le fera et c'est de cette manière-là, de manière citoyenne, que nous arriverons à percer la chape de plomb qui subsiste sur ces questions.

Parce qu'il est évident que notre santé, celle de nos enfants et celle des générations futures sont menacées par l'expansion de l'industrie nucléaire et l'augmentation de la quantité de sources radioactives.

C'est donc un devoir citoyen de reposer constamment la question de l'abandon du nucléaire civil et militaire et de l'engagement pour une véritable transition énergétique, basée sur les économies d'énergie et le choix d'énergies renouvelables.

Au niveau qui est le sien, une municipalité comme Genève s'engage d'ailleurs pleinement dans cette démarche. Cet automne, notre ville a reçu pour la deuxième fois le label European Energy Award Gold, qui représente la plus haute distinction des Cités de l'énergie. Un titre qui salue l'engagement de Genève dans une politique énergétique active, pour atteindre son objectif « 100% renouvelable en 2050 ».

Ce label met également l'accent sur les projets et les futures réalisations, notamment en termes d'amélioration des performances énergétiques des bâtiments et de mise en place d'infrastructures énergétiques de quartier et de filières d'approvisionnement en énergies renouvelables, en se passant définitivement de toute énergie nucléaire.

Mesdames et Messieurs, je suis pour ma part convaincu qu'il sera possible un jour prochain de se passer du nucléaire civil et militaire. Car il n'est pas envisageable d'attendre tranquillement le prochain accident grave, la prochaine tragédie. Et la pertinence de votre action réside bien dans cet état d'urgence et de nécessité.

Je tiens à saluer vivement l'engagement courageux du Collectif IndependentWHO, pour le combat citoyen qu'il mène et que nous soutenons. Je tiens à vous témoigner ma sympathie et ma solidarité.

À vos côtés, j'ai d'ailleurs eu l'occasion de dénoncer la position ambiguë de l'Organisation mondiale de la santé en matière de santé et de nucléaire. Et je dois dire, j'ai toujours une reconnaissance émue parce qu'il y a 7 ans les camarades qui ont commencé à tenir leur piquet devant l'OMS, je trouve extrêmement remarquable ce qu'il sont en train de faire, il y a 7 ans j'ai pris la responsabilité des constructions et de l'aménagement en ville de Genève et eux depuis 7 ans ils sont devant l'OMS pour dénoncer cette attitude. Je propose qu'on les applaudisse par ce que, vraiment, c'est extrêmement courageux et remarquable comme détermination.

Mesdames et Messieurs, malheureusement, c'est un fait avéré que le monde n'a pas encore su tirer les leçons des désastres de Tchernobyl et de Fukushima et que la situation restera extrêmement dangereuse pour les populations si l'on ne se décide pas à abandonner un jour l'utilisation de cette technologie à haut risque et surtout désuète, Mesdames et Messieurs. On a des moyens aujourd'hui de produire de l'énergie beaucoup plus performante, y compris nous allons mettre en place avec la chaleur du lac Léman, nous allons mettre en place des énergies de substitution.

Cela passera sans aucun doute par la lutte contre le gaspillage, par des programmes d'économie d'énergie, par la mise en place d'une efficacité énergétique et par le développement des énergies renouvelables. Cela passera bien sûr aussi par l'information et la mobilisation citoyenne et sa prise de conscience à la hauteur des enjeux, ce que vous faites.

Mesdames et Messieurs, je vous souhaite encore une fois à toutes et à tous une très cordiale bienvenue à Genève, et surtout plein succès pour votre Forum.

Je vous remercie de votre attention.◆

Effets génétiques, immédiats et différés, des rayonnements ionisants par irradiation et par contamination

*Dr **Inge Schmitz-Feuerhake**, Société allemande de radioprotection, membre (retraitée), Université de Brême, Allemagne*

Introduction *par **Ruth Stégassy***

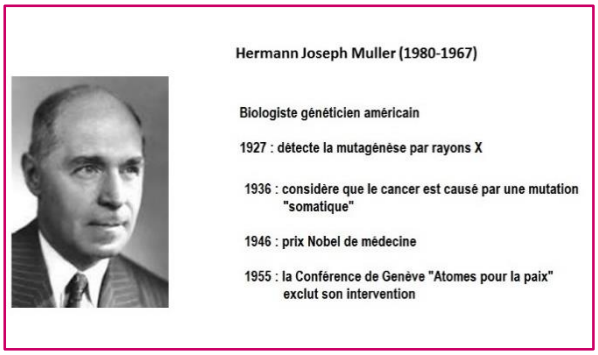
*La **Dr Inge Schmitz-Feuerhake** a été professeure de physique expérimentale à l'Université de Brême (Allemagne) de 1973 à sa retraite en 2000. Sa recherche a porté sur les effets biologiques des rayonnements ionisants de faibles doses ainsi que sur l'emploi de l'irradiation nucléaire à des fins de diagnostic. Son travail a contribué de manière essentielle au développement des méthodes de dosimétrie avec lesquelles on peut 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. La 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).*

Présentation

Mesdames et messieurs c'est un honneur pour moi d'être la première oratrice.

La Société allemande de radioprotection est une organisation non gouvernementale.

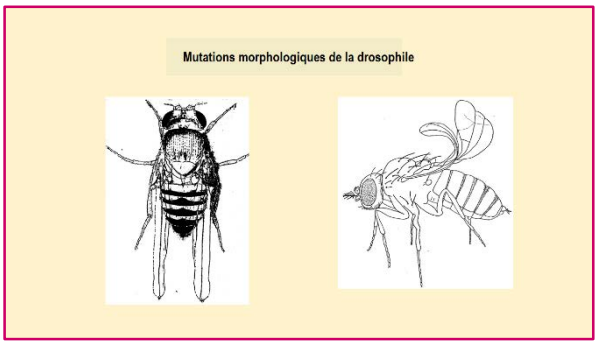
Je suis physicienne et j'ai travaillé comme telle et je dois vous avouer que mes connaissances en biologie, médecine et génétique sont plutôt limitées. La raison pour laquelle je suis ici pour vous parler et ce, même en présence d'experts authentiques, c'est que j'ai l'impression qu'il n'y a pas suffisamment de scientifiques, et pas non plus de citoyens, qui s'occupent des problèmes des risques génétiques liés aux rayonnements et qui demandent une plus grande sensibilisation, une plus grande protection vis-à-vis des effets héréditaires des radiations.



J'ai juste fait une compilation de données publiées afin de vous montrer que, contrairement à la version officielle, les maladies héréditaires se produisent en réalité après des expositions à de faibles doses.

Les effets les plus graves du rayonnement ionisant – les malformations héréditaires chez les descendants de parents exposés – avaient déjà été détectés dans les années 1920 par Herman Joseph Muller.

Il avait exposé des mouches – drosophiles – aux rayons X et trouvé des malformations et d'autres problèmes chez les générations suivantes. Il avait conclu de ses investigations qu'une exposition à de faibles doses, et donc même au rayonnement naturel, était mutagène.



Dès les années 1930, l'idée que le cancer était initié par une seule transformation de la cellule, une mutation « somatique », émergeait déjà. De même, Muller concluait qu'il n'y a aucun niveau de dose sans danger permettant d'éviter l'apparition d'un cancer [Muller, 1936]. Son travail a été honoré par le prix Nobel de médecine en 1946.

Après la deuxième guerre mondiale, Muller a prévenu que la radioactivité de l'environnement détériorerait les ressources génétiques humaines. De ce fait, il a été exclu en tant qu'intervenant à la Conférence Atomique de Genève en 1955, où l'utilisation à grande échelle de l'énergie nucléaire – dite pacifique – a été annoncée par le président des États-Unis, M. Eisenhower. Depuis, parmi les scientifiques, les autorités préfèrent et sélectionnent comme experts ceux qui déclarent que la manipulation d'énormes quantités de radioactivité produite par l'homme est possible et sans danger.

La CIPR, la Commission internationale de protection radiologique, est l'organisme normatif pour l'évaluation des risques du rayonnement et la proposition de limites de dose. Elle remplace un comité fondé en 1928 par des sociétés radiologiques de plusieurs pays dans le but d'établir des normes de radioprotection dans le domaine médical. Pour cette raison, la CIPR est traditionnellement redevable aux intérêts de ses utilisateurs. Depuis 1950, pendant la période de la Guerre froide et du développement de la consommation d'énergie nucléaire, la Commis-

sion est devenue extrêmement importante. Même si elle ne fait que des recommandations, elles sont appliquées par toutes les nations industrialisées de l'Ouest et de l'Est.

Néanmoins, la CIPR a développé le concept d'effet radioactif « stochastique » – complètement aligné sur la compréhension que Muller avait de ce phénomène. Si un grand groupe est exposé à une faible dose, personne ne peut prédire quel individu souffrira d'un effet de la radioactivité ; on peut seulement en déduire une probabilité. Les effets nocifs pour la santé augmentent avec l'accumulation de dose et, même après réduction de moitié de la dose, il reste un effet plus important. Il est donc possible d'en déduire qu'il n'existe pas de « seuil », c'est-à-dire un taux de dose sans risque.

L'idée sous-jacente est qu'un seul quantum de rayonnement – une particule alpha ou beta ou une onde électromagnétique de forte puissance – peut induire ou favoriser une mutation de la cellule. Les mutations d'une seule cellule atteinte se manifestent par des aberrations chromosomiques et elles peuvent être provoquées par de très faibles doses. Elles sont aussi impliquées dans une série de maladies héréditaires si elles sont induites dans les cellules germinales.

L'ADN : une cible pour le rayonnement ionisant

Les cellules des tissus possédant un noyau se divisent en coupant leur matériel génétique en deux parties égales. Lorsque Muller a commencé ses expérimentations sur le rayonnement, on savait déjà que le noyau portait l'information génétique sous forme de chromosomes. Les cellules humaines contiennent 23 paires de chromosomes, dont une moitié donnée par la mère et l'autre moitié par le père. Les chromosomes peuvent devenir visibles à un certain stade de la division cellulaire, appelée la métaphase.

Pour les besoins de la présentation, ils peuvent être disposés par paires en tant que caryotype. (Figure 1) La forme caractéristique d'un chromosome X avec un centromère et quatre bras – les chromatides – existe seulement à ce stade, lorsque le matériel a été doublé afin d'être divisé en deux parties. Les chromatides transportent les gênes.

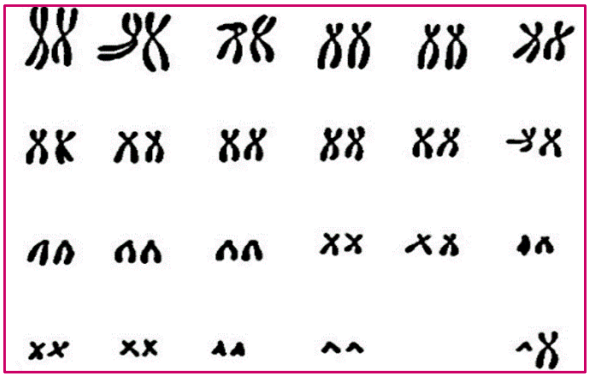


Figure 1. Caryotype d'un homme, 22 paires d'autosomes, une paire de gonosomes : xy

Depuis, nous avons appris que les chromosomes contiennent de l'acide désoxyribonucléique (ADN), qui est une molécule très longue constituée de deux brins polynucléotidiques qui s'entourent l'un l'autre en formant une double hélice. La séquence des bases sur le brin d'ADN contient le code génétique.

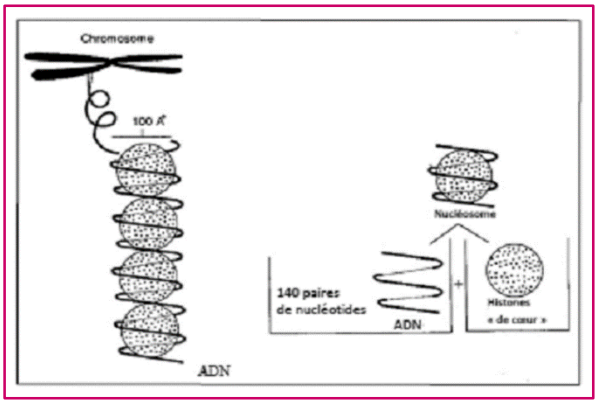


Figure 2. Relation entre molécule d'ADN et chromosome [d'après Uma Devi, 2001]
100 A° = 10 nm = 0,01 µm = 10^{-8} m.

Dans les chromosomes, la molécule d'ADN s'enroule autour du noyau d'une protéine constituée essentiellement d'histones, qui se caractérisent par une quantité relativement élevée d'acides aminés de base (Figure 2). Une séquence d'environ 140 paires de nucléotides est enroulée autour des histones pour former un nucléosome. Les nucléosomes sont liés entre eux par un court étirement de l'ADN donnant l'apparence d'un collier de perles.

L'irradiation produit différents types de lésions dans la molécule d'ADN, dont des cassures de brin, des dégâts de la base et des réticulations. Les cassures simple brin et double brin sont les lésions

les mieux étudiées. La cellule a un système de réparation qui réagit immédiatement au dommage. Les cassures simple brin sont normalement réparées sans erreur. Les cassures double brin peuvent être réparées sans erreur ou avec une tendance à l'erreur. Les cassures double brin non réparées ou mal réparées peuvent entraîner des mutations et des transformations de la cellule ou sa mort.

Les dommages de la base et les cassures de brin sont impliquées dans le délai mitotique induit par le rayonnement (délai de la division cellulaire) et retarde la synthèse de l'ADN.

La preuve des effets des faibles doses sur les chromosomes et les gènes

L'irradiation provoque des cassures dans les chromosomes et les chromatides. Les mauvaises réparations amènent à diverses configurations anormales connues comme aberrations chromosomiques. Elles peuvent être numériques (modification du nombre) aussi bien que structurelles. La Figure 3 montre des aberrations chromosomiques structurelles typiques induites par l'irradiation, qui peuvent être vues comme spécifiques de l'irradiation [Hoffmann, 1999].

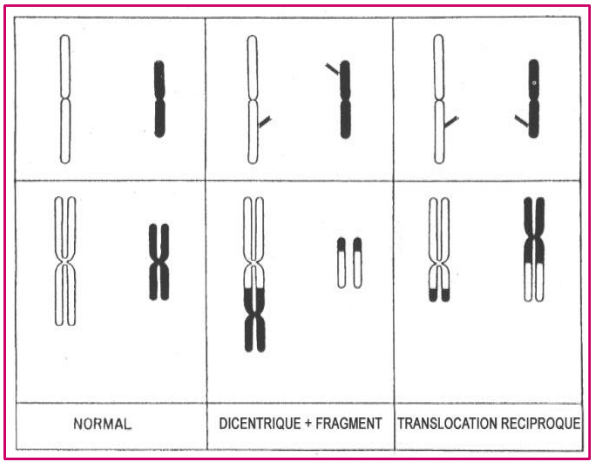


Figure 3. Aberrations interchromosomiques radio-induites

La formation d'un chromosome dicentrique demande l'induction simultanée de deux « sous-lésions » de l'ADN, certainement des cassures double brin qui conduisent à des suppressions dans deux chromosomes voisins. De telles aberrations sont essentiellement le résultat d'une trace d'ionisation.

Le fait de compter le nombre de chromosomes dicentriques dans les lymphocytes humains est une méthode ultra-sensible pour démontrer l'exposition au rayonnement d'une seule personne ou de populations et c'est donc une méthode de « dosimétrie biologique ». On trouve des augmentations significatives chez les populations qui vivent dans des régions à forte radioactivité naturelle [Barcinski, 1975 ; Pohl-Rüling, 1983 ; Wang,1990]. Stephan et ses collègues (2007) ont montré qu'un seul examen tomographique par ordinateur (Ct-scan) du thorax ou de l'abdomen d'un enfant ou d'un adolescent pouvait produire une augmentation significative de chromosomes dicentriques.

Des translocations réciproques – rendues visibles par une méthode spécifique d'hybridation in situ par fluorescence (HISF) – sont aussi utilisées dans des objectifs de dosimétrie rétrospective.

La configuration des aberrations chromosomiques dans une cellule, après une exposition à faible dose, peut donner rétrospectivement une information de valeur sur le genre d'irradiation qui les a produites. Dans le cas de rayons X ou de rayonnement gamma – aussi nommé radiation ionisante à faible densité ou « radiation à faible transfert linéaire d'énergie (TLE) » – on ne trouve en général qu'une seule aberration par cellule, peut-être un chromosome dicentrique.

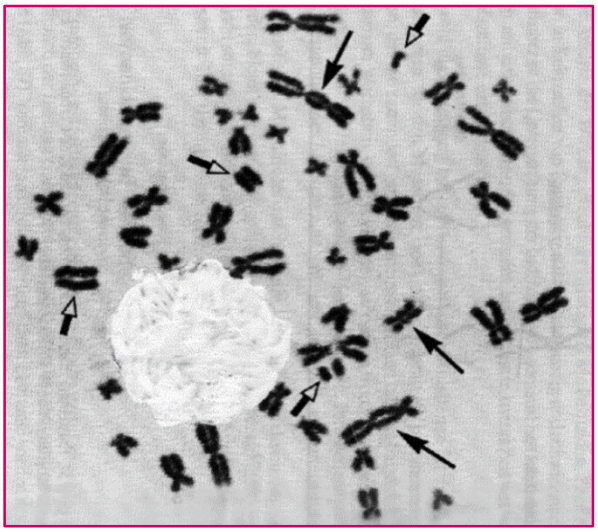


Figure 4. Cellules multiaberrantes (métaphase d'un lymphocyte humain) après irradiation

La Figure 4 montre la métaphase d'un lymphocyte après le passage d'une particule alpha, qui

produit un plus grand nombre d'aberrations – dans ce cas 3 dicentriques, le long de la forte trace d'ionisation.

Les aberrations chromosomiques radio-induites dans les cellules somatiques sont considérées comme directement responsables d'un départ de cancer, comme cela peut aussi arriver dans les télomères. Ceux-ci sont les extrémités des bras des chromosomes. On pense que des mutations dans les télomères jouent un rôle dans le développement du cancer.

Des changements irréversibles dans le matériel génétique à la suite d'un rayonnement, à savoir des mutations, peuvent également se produire dans un seul gène. Les gènes sont des segments d'ADN, dont la nature est déterminée par la séquence des bases. Ils sont disposés en ordre linéaire sur les chromosomes. Chaque gène a une position spécifique ou *locus* sur le chromosome.

Une mutation dans n'importe quel gène peut produire une modification morphologique ou physiologique, ou les deux. Les effets trouvés par Muller chez les drosophiles sont des mutations du gène, produites dans les gènes liés au sexe. Elles peuvent être dominantes ou récessives. Les mutations génétiques dominantes se détectent plus facilement parce qu'elles s'expriment dans la première génération filiale F1 (suivant celle de parents exposés). Les mutations létales dominantes conduisent à la mort de l'embryon. Les mutations récessives ne s'exprimeront pas, sauf si elles sont présentes dans les deux *loci* homologues à la fois, c'est-à-dire si les deux parents subissent la même mutation. Un exemple de mutation récessive est la fente labiale (bec de lièvre).

Les mutations qui affectent la personne irradiée sont appelées mutations somatiques. Les mutations des gènes dans les cellules somatiques peuvent conduire à des effets ultérieurs tels que le début d'un cancer. La mutation du gène P53 (protéine 53) est l'une des modifications que l'on trouve le plus fréquemment dans les cancers chez l'être humain.

Les mutations chez l'être humain ne sont pas spécifiques de l'irradiation et les mutations radio-induites ne se distinguent pas des mutations spontanées. Ceci pose problème dans l'investigation des effets du rayonnement.

Les études sur les enfants de personnes qui ont été exposées elles-mêmes aux retombées de Tchernobyl ont montré que les mutations génétiques sont induites par des expositions à faible dose. Weinberg et ses collègues (2001) ont étudié les séquences de l'ADN à certains *loci* chez les parents et leurs descendants par la méthode de la réaction en chaîne de la polymérase (RCP). Ils ont fait des analyses sur un groupe de liquidateurs dont les familles vivaient dans des régions non contaminées. Les enfants de ces pères exposés ont montré que de nouvelles mutations s'étaient développées. Les cas-témoins étaient les enfants du même père (et de la même mère) nés avant l'exposition.

Évaluation officielle actuelle des désordres héréditaires induits par le rayonnement

Auparavant, on pensait que les effets génétiques sur les descendants étaient les blessures les plus significatives dues aux rayonnements. C'est pour cela que la mesure utilisée dans la protection contre les rayons X en médecine s'appelait « la dose génétiquement significative ».

Bien que beaucoup d'effets génétiques, qui n'avaient pas été reconnus avant, aient été observés après Tchernobyl et que la preuve des effets connus ait été confirmée, la CIPR a considérablement diminué son estimation du risque en 2007. Son coefficient de risque pour les effets héréditaires d'une population exposée a été baissé d'un facteur 6, comparé à la première estimation (Tableau 1). Elle se réfère à de « nouveaux concepts » pour les estimations des risques génétiques développés par les comités sur les rayonnements des Nations-Unies [UNSCEAR, 2001] et de l'Académie des Sciences des États-Unis [BEIR, 2006].

La valeur de 0,2% par mSv signifie que, si une population est exposée à une dose gonadique de 1 Sv, un désordre génétique surviendra chez 0,2% de leurs futurs enfants. 1 Sv (ou 1 000 mSv) est une assez forte dose et le risque génétique est censé être bien plus faible que le risque de cancer – pour une exposition complémentaire de 1 mSv, 2 malformations héréditaires sur 1 million de naissances (1 mSv

par an correspond approximativement à l'exposition au rayonnement naturel, non compris le radon dans les maisons).

Tableau 1. ***Recommandations 2007 de la CIPR*** *Facteurs de risque nominal ajustés au détriment pour les effets des rayonnements sur une population exposée*

	Actuel	CIPR 1990
Effets héréditaires	**0,2 % par Sv**	1,3 % par Sv
Morts par cancer	5,5 % par Sv	6,0 % par Sv

L'estimation du risque (dérivée d'expériences sur les souris) ne prend en compte que les malformations héritées dues aux mutations dominantes dans la première génération qui suit. Ceci correspond à une dose de doublement d'environ 2 Sv [UNSCEAR, 2001].

La CIPR déclare qu'il n'est pas directement évident que des enfants de parents exposés souffrent de maladies héréditaires. Elle se réfère à son groupe de référence préféré pour les êtres humains, les survivants japonais des explosions des bombes atomiques d'Hiroshima et de Nagasaki en 1945. À Hiroshima, un Institut américano-japonais a étudié la santé des survivants pendant des décennies après la guerre et n'a trouvé aucune mutation chez leurs descendants. Un certain risque minimum n'est pas exclu par la CIPR, qui fait référence à la preuve de tels effets dans les études sur les animaux.

Certains scientifiques critiquent cette approche et soutiennent que les survivants japonais ne sont pas une référence qui peut s'appliquer aux personnes exposées à une irradiation chronique de faible dose sur leur lieu de travail ou dans un environnement contaminé. Et il existe vraiment beaucoup de résultats chez les personnes exposées qui contredisent les déclarations de la CIPR [IPPNW, 2014].

Désordres héréditaires attendus chez l'être humain après irradiation

À quoi doit-on s'attendre ? Je vais d'abord parler des maladies que les généticiens considèrent comme désordres génétiques héréditaires. Nous avons une classification en quatre groupes (Tableau 2).

Les **désordres mendéliens** (a) sont dus à des gènes uniques défectueux et suivent les lois de Mendel sur l'hérédité. Le gène défectueux peut appartenir à un autosome, qui est un chromosome n'influençant pas le sexe de la personne, ou il peut faire partie du chromosome X.

Les exemples de maladies autosomiques dominantes listés ici apparaissent la première fois à l'âge adulte et elles ne sont pas connues comme pouvant être induites par le rayonnement. Mais les anomalies congénitales des doigts ou des orteils surviennent après une exposition des parents (« congénital » veut dire que c'est une caractéristique du nouveau-né).

Les autres désordres cités dans le groupe (a) ne sont pas connus comme induits par le rayonnement sauf le déficit de naissances de filles, qui peut être mesuré par le ratio du nombre de naissances de garçons ou de filles.

(b) Certaines malformations sont suivies d'**anomalies chromosomiques**, c'est-à-dire qu'elles montrent des altérations du nombre ou de la forme des chromosomes, qui sont détectables dans le caryotype. La présence d'un nombre anormal de chromosomes s'appelle l'**aneuploïdie.** Un exemple bien connu en est le syndrome de Down, où le chromosome n° 21 est présent trois fois au lieu de deux, comme il devrait l'être normalement. Cette maladie est connue pour être induite par le rayonnement.

Des altérations de la structure des chromosomes conduisent à une mort précoce de l'embryon ou du fœtus, qui peuvent être étudiées après une fausse couche ou un avortement thérapeutique.

(c) **Polygénique** ou « **multifactoriel** », « **hérité irrégulièrement** », « **partiellement génétique** » font référence à ces caractéristiques, maladies ou anomalies congénitales dont le développement a une composante génétique, mais l'hérédité ne suit pas les modèles mendéliens, ce qui suggère que plus d'un gène est impliqué. Il peut y avoir des groupes de telles anomalies dans les familles. Ils comprennent des malformations congénitales graves (les anomalies du « tube neural » sont des malformations du cerveau – le cuir chevelu ou la colonne vertébrale sont fendues, comme pour le spina bifida) ou des maladies graves qui surviennent à l'âge adulte.

Le **cancer**, en tant que maladie héréditaire, a été induit par irradiation chez les animaux et doit aussi être pris en compte chez les humains (voir le chapitre « Cancer »).

(d) Ce groupe comprend les désordres manifestement héréditaires mais qui ne sont pas liés aux altérations du gène. Ils sont aussi dits « d'origine épigénétique ».

Tableau 2. ***Désordres héréditaires [Uma Devi et al., 2000]***
(Les maladies qui se sont révélées avoir été provoquées par les rayonnements ionisants ont été surlignées en jaune par l'auteur.)

(a) Mendeliens
Autosomique dominante; exemples:
La chorée de Huntington, la polykystose rénale, la polypose multiple, l'ataxie cérébelleuse, la dystrophie myotonique
Les anomalies congénitales comme la syndactylie (fusion de doigts), la brachydactylie (des doigts courts), la polydactylie (plus de 5 doigts ou d'orteils dans chaque membre), le goût pour le PTC chimique (le goût dominant le non-goût), l'acondroplasie, l'aniridie bilatérale, l'ostéogenèse imparfaite.
Autosomique recessive; exemples:
La fibrose kystique, la phénylcétonurie, l'intolérance au lactose, l'hyperplasie surrénale.
Liée au sexe; exemples:
Liée à l'X dominant / la dystrophie musculaire de Duchenne, l'hémophilie A, certaines formes de daltonisme, l'X fragile associé à une arriération mentale, la rétinite pigmentaire liée à l'X,
Liée à l'X recessif / moins de naissances de filles.

(b) Chromosomiques
Aneuploïdie (anomalie chromosomique numérique); exemples:
Le syndrome de Down (trisomie 21), le syndrome de Turner (X0), le syndrome de Klinefelter (XXY).
Anomalies structurelles; exemples:
Le syndrome du Cri de chat (suppression du chromosome 5), la perte préimplantatoire, la mort de l'embryon, la fausse-couche.

(c) Polygéniques
Cluster dans les familles; exemples:
Les anomalies congénitales comme les anomalies du tube neural, les malformations cardiaques, une sténose du pylore, une fente labiale (bec de lièvre) avec ou sans fente palatine, cryptorchidie.
Troubles courants de la vie adulte de gravité variable. Parmi les maladies graves sont la schizophrénie, la sclérose en plaques, l'épilepsie, l'infarctus aigu du myocarde, le lupus érythémateux disséminé. Des maladies modérément graves comprennent les psychoses, la maladie de Graves, le diabète sucré, la goutte, le glaucome, l'hypertension primaire, l'asthme, l'ulcère gastro-duodénal, la polyarthrite rhumatoïde. Les maladies moins graves incluent les varices des extremités inférieures et la rhinite allergique.
Cancer.

(d) L'héritage non-chromosomique:
L'héritage cytoplasmique, mosaïscisme, empreint, etc.

Malformations congénitales radio-induites et autres anomalies observées chez les êtres humains

La plupart des anomalies congénitales radio-induites décrites dans la littérature scientifique ont été constatées après l'accident de Tchernobyl, non seulement dans la zone d'explosion du réacteur mais aussi en Turquie, Bulgarie, Croatie et Allemagne [Busby, 2009]. Parce que les hommes et les femmes ont été tous deux exposés en permanence aux retombées radioactives, on ne peut pas distinguer clairement les effets génétiques de ceux qui ont pu être provoqués par l'exposition des embryons et des fœtus *in utero*. Cependant, l'incidence des malformations a été en augmentation constante pendant de nombreuses années après l'accident.

Au Belarus, le Ministère de la santé a établi en 1979 un registre central des anomalies congénitales pour assurer un suivi continu. Les taux d'anomalies avant et après Tchernobyl peuvent être comparés [Sevchenko, 1997]. Le tableau 3 présente les résultats des 17 régions les plus contaminées.

Tableau 3. Pourcentage d'augmentation des malformations congénitales dans les 17 régions les plus contaminées du Belarus de 1987 à 1994 [d'après Lazjuk et al., 1997]

Type de malformation	Taux
Anencéphalie (pas de cerveau)	39 %
Spina bifida (vertèbre fendue)	29 %
Fente labiale/palatine	60 %
Polydactilie (doigts ou orteils supplémentaires)	910 %*
Atrophie/absence des membres	240 %*
Atrésie de l'œsophage (œsophage fermé)	13 %
Atrasie rectale	80 %*
Malformations multiples	128 %*

* significatif ($p < 0,05$)

Les auteurs pensent que ces effets sont génétiquement induits parce qu'il n'est pas plausible que les doses chez les femmes enceintes augmentent dans une période, après l'accident, où la contamination décroît dans l'environnement et les aliments.

L'origine génétique est confirmée pour ces anomalies qui se combinent avec une mutation génétique reconnue qui n'existe chez aucun des parents. Elles ne peuvent venir que d'une transmission entre générations. Ce type de défaut congénital a aussi augmenté au Belarus [Lazjuk, 1999].

Des augmentations de taux ont été enregistrées dans le registre du Belarus au moins jusqu'en 2004 [Yablokov, 2009]. Parce que les données ont été exprimées en moyennes sur de longues périodes, il est impossible de déterminer pendant combien de temps les taux augmentaient, quand ils atteignaient leur maximum, ou s'ils avaient déjà commencé à décroître.

Dans les années 2000-2006 – plus de 14 ans après l'accident, Wertelecki (2010) a trouvé des taux de malformations congénitales en augmentation dans la province (oblast) ukrainienne de Rivne, à environ 250 km de Tchernobyl. Majoritairement dans la partie nord fortement contaminée, les augmentations sont significatives par rapport à la partie sud : 52% d'augmentation pour toutes les malformations, 46% pour les anomalies du tube neural, 180% pour la microcéphalie et 389% pour les microphtalmies (des yeux anormalement petits).

Près du site d'essais nucléaires de l'ancienne Union Soviétique, à proximité de la ville de Semipalatinsk (maintenant au Kazakhstan), la population a été exposée à de grandes quantités de radioactivité. Des essais de surface ont eu lieu de 1949 à 1963. Dans une enquête sur les naissances entre 1969 et 1997, Sviatova et ses collègues (2001) ont étudié les malformations congénitales sur trois générations d'habitants. Ils ont trouvé des taux significativement élevés de malformations en général, y compris le syndrome de Down, la microcéphalie et aussi de multiples malformations sur la même personne.

Si une population est exposée, les effets génétiques se produiront autant sur les gonades des pères que des mères. En Allemagne, une enquête menée sur des femmes qui étaient professionnellement exposées au rayonnement a montré une augmentation significative de 3,2 fois des anomalies congénitales, dont des malformations, chez leur progéniture [Wiesel, 2011]. Les auteurs ont interprété cet effet comme généré *in utero* mais n'ont pas donné la preuve d'une telle relation, parce que ceci paraissait improbable étant donné la courte période sensible pendant la grossesse et l'interdiction, pour les femmes enceintes, de travailler dans des environnements à haut risque.

Bien que l'étude ait été financée par le Ministère de l'environnement, de la protection de la na-

ture et de la sureté nucléaire, ces résultats alarmants n'ont débouché sur aucune action. Des études sur les descendants d'hommes professionnellement exposés, alors que les mères ne l'étaient pas, ont aussi été entreprises et ont montré de réels effets héréditaires (Tableau 4).

Avant 1986, lorsqu'est survenu l'accident de Tchernobyl, il n'y avait eu que quelques études sur les cohortes exposées professionnellement et donc très peu aussi sur leurs enfants. On pensait que les expositions au-dessous des limites officielles de dose étaient trop faibles pour produire des effets statistiquement reconnaissables.

Les doses enregistrées pour les travailleurs d'établissements nucléaires (N^{os} 2 et 3 du tableau 4) sont très basses. Mais les résultats alarmants n'ont pas conduit à d'autres études sur les conséquences héréditaires chez les populations américaines ou européennes concernées.

Environ 800 000 hommes, jeunes pour la plupart, de l'armée et d'autres institutions de l'État, ainsi que des réservistes ont été des « liquidateurs », envoyés après la catastrophe de Tchernobyl pour arrêter les émissions radioactives et pour décontaminer la zone touchée. C'est une cohorte importante pour étudier la santé de leurs descendants (N^{os} 5-7 du tableau 4). Les anomalies trouvées dans ces groupes indiquent une sensibilité inattendue à un fort rayonnement. Dans la région, les doses de doublement sont de 100 mSv et moins.

Tableau 4. Anomalies congénitales, essentiellement des malformations, chez les descendants (1ère génération) d'hommes exposés professionnellement

N°.	Cohorte des pères	Type de défaut	Dose	Références
1	Radiologues, U.S.A. 1951	Malformations congénitale: Augmentation de 20 %		Macht 1955
2	Travailleurs de la centrale nucléaire d'Hanford, U.S.A.	Malformations du tube neural: Augmentation significative de 100 %	En général < 100 mSv	Sever 1988
3	Travailleurs soumis au rayonnement de l'usine de retraitement des déchets nucléaires de Sellafield, R.U.	Enfants mort-nés avec des malformations du tube neural: Augmentation significative de 69 % pour 100 mSv	Moins de 30 mSv	Parker 1999
4	Radiographes en Jordanie	Anomalies congénitales: Augmentation significative de 10 fois		Shakhatreh 2001
5	Liquidateurs de Obninsk (Russie), 300 enfants	Augmentation des anomalies congénitales de 1994 à 2002	En majorité de 10 à 250 mSv	Tsyb 2004
6	Liquidateurs de Russie, région de Bryansk	Anomalies congénitales: Augmentation d'environ 4 fois		Matveenko 2005
7	Liquidateurs de Russie 2379 nouveau-nés	Augmentation significatives de: Anencéphalie 310 % Spina bifida 316 % Fente labiale/palatine 170 % Atrophie/absence des membres 155 % Malformations multiples 19 % Toutes les malformations 120 %	De 5 à 250 mSv	Lyaginskaja 2009

Sex-ratio et facteurs létaux liés aux rayons X

Normalement, il est impossible d'étudier combien d'oocytes (zygotes) avorteront après une irradiation des cellules germinales chez les êtres humains. Il existe cependant un moyen de donner la preuve de cet effet. On a observé que les hommes exposés avant la conception avaient moins de filles que de garçons par rapport à la normale, c'est-à-dire que le sex-ratio garçon/fille augmentait avec la dose.

Les mutations du gène peuvent être responsables de la mort du zygote et atteindre aussi les chromosomes du sexe où elles affecteront en priorité le plus grand chromosome X. Le chromosome X du garçon peut seulement être transmis à une fille. Un facteur létal dominant conduira à la mort du zygote femelle. Les facteurs létaux récessifs du chromosome X sont bien plus fréquents que les dominants [Vogel, 2006]. Ils ne touchent aussi que les naissances des filles.

Tableau 5. Sex-ratio des naissances en Combrie [Dickinson et al., 1996]

Tous les enfants de Combrie	Tous les pères employés* à Sellafield	Pères employés à Sellafield (> 10 mSv**)
1,055	**1,094**	**1,396**
*) employés avant la conception		**) dose 90 jours avant la conception

Des études sur de nombreuses populations exposées peuvent montrer cet effet. Un résultat très impressionnant a été obtenu chez les travailleurs de l'usine de retraitement de combustible nucléaire de Sellafield à l'Ouest de la Combrie (Tableau 5).

Un effet similaire a été détecté dans une enquête sur les cardiologues qui pratiquent des angiographies sur leurs patients, ce qui entraîne des expositions relativement fortes aux rayons X sur le lieu de travail. (Figure 5). La proportion de descendance féminine diminue significativement avec des expositions plus fortes des pères.

Les scientifiques allemands Hagen Scherb, Kristina Voigt (Helmholtz Center Munich) et leurs collègues ont montré que l'exposition des deux parents dans une population peut aussi conduire à un déclin des naissances de filles. Après l'accident de Tchernobyl, ils ont étudié les effets héréditaires chez différents groupes d'habitants dans plusieurs pays et ont trouvé des morts fœtales radio-induites, une mortalité précoce, le syndrome de Down et des altérations du sex-ratio chez les nouveau-nés.

Ils ont examiné le sex-ratio en tant que conséquence :

- des essais nucléaires de surface ayant affecté les Américains,
- des retombées de Tchernobyl sur l'Europe,
- du fait d'habiter près des centrales nucléaires européennes.

Ils ont trouvé une baisse significative des taux de naissance de filles dans tous ces cas.

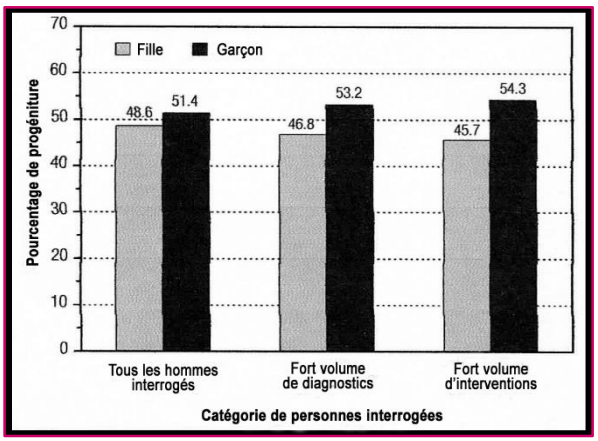


Figure 5. Pourcentage de bébés garçon ou fille chez les cardiologues [Choi et al., 2007]

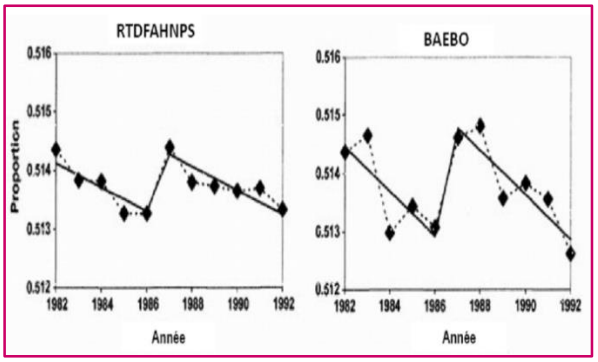


Figure 6. Proportion de naissances de garçons avant et après Tchernobyl pour l'ensemble formé par la République Tchèque, le Danemark, la Finlande, l'Allemagne, la Hongrie, la Norvège, la Pologne et la Suède (RTDFAHNPS) et pour l'ensemble formé par la Bavière, l'ancienne Allemagne de l'Est et Berlin-Ouest (BAEBO) [Scherb et al., 2007]

La Figure 6 montre l'évolution de la proportion de garçons dans les naissances après Tchernobyl. Les données annuelles montrent une croissance élevée en 1987, après l'accident d'avril 1986.

Le Tableau 6 présente leurs résultats en Allemagne et en Suisse près de centrales nucléaires. Une zone étendue (sur un rayon de 35 km), mais comme peu de gens vivent à proximité des centrales nucléaires, le déficit de naissance de filles y est prouvé.

Le sex-ratio est un paramètre très pertinent. Il montre que les altérations génétiques sont provoquées par de faibles doses dans les cellules germinales masculines et il devient un indicateur sensible des expositions de la population.

Tableau 6. Sex-ratio chez les nouveau-nés près des installations nucléaires en Allemagne et en Suisse [Scherb et al., 2012]

N° (voir fig.2)	Installation nucléaire (IN)	Type	En activité depuis /jusqu'à	Naissances vivantes < 35 Km pendant l'activité de l'IN		Rapport de cotes des sexes comparé à la valeur de la dernière ligne de ce tableau	Valeur de *p* (Khi²)	valeur de *p* (Khi²) comparée à **
				garçon	fille			
1	Biblis	REP	1975 -	223 648	211 753	1,0017	0,5804	0,0007
2	Obrigheim	REP	1969 - 2005	164 321	155 447	1,0026	0,4733	0.0010
3	Neckarwestheim	REP	1976 -	380 463	360 212	1,0017	0,4640	0.0005
4	Philippsburg	REB/REP	1980 -	333 967	314 761	1,0063	0,0133	0.0019
5	Grafenrheinfeld	REP	1981 -	95 714	90 722	1,0006	0,8957	0.0007
6	Isar-1 et 2	REB/REP	1977 -	67 059	63 341	1,0041	0,4627	0.0011
7	Gundremmingen	REB	1966 -	142 702	135 276	1,0005	0,8986	0.0006
8	Fessenheim	REP	1977 -	99 148	93 694	1,0036	0,4290	0.0012
9	Beznau 1 et 2	REP	1969 -	337 335	317 880	1,0065	0,0106	0.0031
10	Gösgen	REP	1979 -	220 979	208 604	1,0047	0,1308	0.0005
11	Leibstadt	REB	1984 -	143 467	135 293	1,0057	0,1354	0.0008
12	Mühleberg	REB	1971 -	218 795	207 560	0,9998	0,9387	0.0004
13	Emsland	REP	1988 -	55 502	52 301	1,0065	0,2915	0.0011
14	Grohnde	REP	1984 -	84 739	80 308	1,0008	0,8791	0.0009
15	Würgassen	REB	1972 - 1994	34 453	32 643	1,0010	0,8960	0.0010
16	BR*	REP	1962 - 1987	5 332	5 288	0,9563		
17	Doel*	REP	1974 -	392 512	375 500	0,9914		
18	Tihange*	REP	1975 -	122 594	117 476	0,9897		
19	Dodewaard*	REB	1968 - 1997	5 926	5 710	0,9843		
20	Brunsbüttel	REB	1977 -	21 085	20 003	0,9997	0,9779	0.0010
21	Brokdorf	REP	1986 -	15 505	14 769	0,9957	0,7073	0.0009
22	Krümmel	REB	1984 -	35 882	33 745	1,0085	0,2662	0.0012
23	Stade	REP	1975 - 2003	43 456	40 771	1,0109	0,1174	0.0021
24	Unterweser	REP	1979 -	86 010	81 341	1,0029	0,5608	0.0010
25	Lingen	REB	1968 - 1977	19 372	18 400	0,9985	0,8862	0.0007
26	Karlsruhe	REB	1966 – 1991	149 269	140 584	1,0070	0,0624	0.0007
27	Ahaus	SSN	2000 -	26 427	24 866	1,0080	0,3701	0.0009
28	Jülich	SSN	2000 -	75 735	71 688	1,0020	0,7076	0.0008
29	Ellweiler	MU	1969 -	31 361	29 450	1,0100	0,2225	0.0013
30	Menzenschwand	MU	1969 -	132 037	124 574	1,0052	0,1892	0.0012
31	Gorleben	SSN	2000 -	1 753	1 573	1,0570	0,1108	0.0010
32	Hanau/Kahl	ECN	1969 -	54 772	51 343	1,0118	0,0577	0.0021
	Régions d'Allemagne et Suisse < 35 Km d'une IN			**2 532 471**	**2 393 556**	**1,0035**	****0,0008**	
	Régions d'Allemagne et Suisse >35 Km d'une IN			**7 948 690**	**7 538 729**	**1,0000**	**1,0000**	

*non pris en compte
REP réacteur à eau sous pression — REB réacteur à eau bouillante
MU ancienne mine d'uranium — SSN site de stockage de déchets nucléaires — ECN éléments de combustible nucléaire

Syndrome de Down

Même avant l'accident de Tchernobyl, des groupes de scientifiques avaient publié des recherches montrant que le syndrome de Down peut être provoqué par une exposition au rayonnement ionisant. Des taux plus élevés de cette maladie ont aussi été observés chez des populations vivant dans des régions où la radioactivité naturelle est forte. C'est le cas de l'Etat du Kérala, en Inde, où l'on

trouve de fortes concentrations de thorium naturel dans les sables [Kochupillai, 1976 ; Padmanabhan, 1994].

Cet effet a aussi été montré dans des régions de haute altitude en Chine, qui ont des radiations cosmiques significativement plus élevées [High Background Rad. Res. Group, 1980 ; Wei, 1990]. Comme mentionné précédemment, la population près de Semipalatinsk au Kazakhstan, contaminée par le site d'essais nucléaires de l'ancienne Union Soviétique, montre des taux plus élevés dans les jeunes générations [Sviatova, 2001].

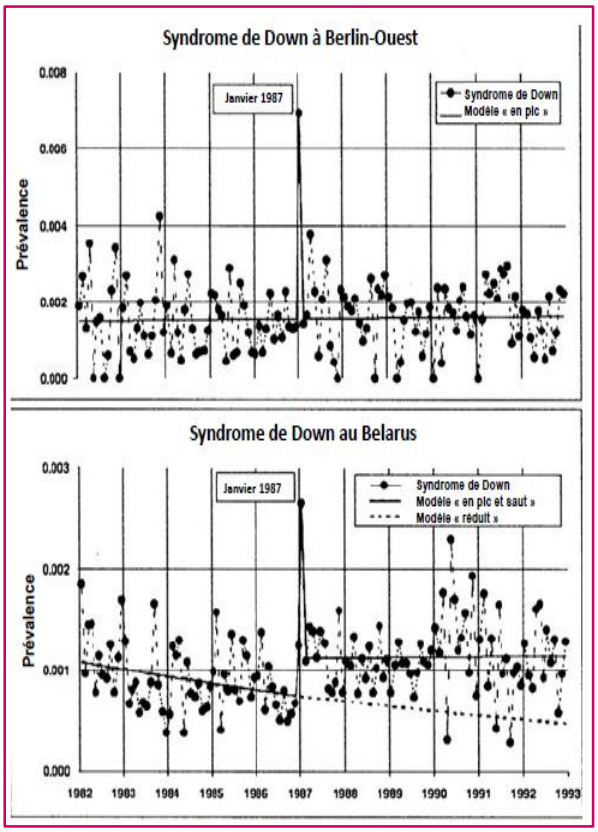


Figure 7. Syndrome de Down (trisomie 21) avant et après l'accident de Tchernobyl [from Scherb and Sperling, 2011]

Après Tchernobyl, les cas de syndrome de Down ont augmenté dans plusieurs pays européens contaminés [Busby, 2009 ; Sperling, 2012]. Des exemples sont présentés dans la Figure 7. À Berlin-Ouest, qui était une sorte d'île fermée à cette période, le généticien Sperling a enregistré une augmentation soudaine et significative des cas, exactement 9 mois après l'accident. Une situation très similaire a été observée au Belarus [Zatsepin, 2004]. On pense que l'effet de la non-disjonction du chromosome 21 est le résultat d'une irradiation au cours de la première ou la deuxième division méiotique du zygote.

Cancer

En 1984, un nombre exceptionnel de cas de leucémie chez des enfants ou des adolescents a été relevé à Seascale, un village près de l'usine de retraitement de combustible nucléaire de Sellafield en Combrie, R.U. Martin Gardner et ses collègues (1990) les ont expliqués comme étant un effet héréditaire, parce que les pères des malades avaient travaillé à l'usine. Ce résultat a été discuté pendant des années et il a été confirmé ou infirmé dans plusieurs études ultérieures. Le principe de cet effet a cependant été déjà décrit dans des études expérimentales [Nomura, 1982, 2006] et on l'a retrouvé après des expositions lors de diagnostics radiologiques (Tableau 7).

Tableau 7. Cancer chez les enfants après une exposition à faible dose des parents avant la conception

Exposition collective	Cancers	Dose gonadique /mSv	Risque Relatif	Double dose /mSv
Pères de Seascale (Gardner 1990)	Leucémie + lymphome			
- Tous les stades de la spermatogénèse		200	7	32
- 6 mois avant la conception		10	7	1,6
Travailleurs de Sellafield (Dickinson 2002)			1,9	
Autre exposition professionnelle des pères	Cancer			
- Militaires (Hicks 1984)	Leucémie + lymphome		2,7	
- Régions du R.U. (McKinney 1991)			3,2	
Diagnostics radiologiques avant la conception des :	Leucémie			
- Pères (Graham 1966)			1,3	
- Pères (Shu 1988)			1,4-3,9	
- Pères (Shu 1994)			3,8	
- Mères (Stewart 1958)			1,7	
- Mères (Graham 1966)			1,7	
- Mères (Natarajan 1973)			1,4	
- Mères (Shiono 1980)			2,6	

Mc Kinney et ses collègues ont trouvé une augmentation de 3,2 fois de la leucémie et des lymphomes chez des enfants d'hommes exposés professionnellement dans trois régions britanniques au cours d'une étude cas-contrôle (1991). La recherche de Hicks et de ses collègues (1984) concernait les militaires de l'armée de l'air ayant été exposés.

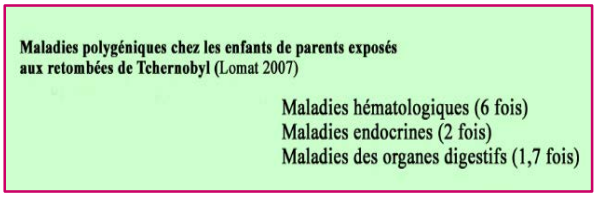
Des recherches statistiques au Belarus et dans les autres états fortement contaminés, voisins de Tchernobyl, montrent un nombre plus élevé de décès par cancer chez les enfants nés plusieurs années après l'accident [Yablokov, 2006, 2007]. De plus forts taux de leucémies et d'autres cancers ont aussi été observés chez les enfants de liquidateurs [Tsyb, 2004].

Autres effets polygéniques du rayonnement

Les enfants des liquidateurs n'ont pas seulement souffert de malformations et de cancers, mais aussi de maladies endocrines et du métabolisme, et en outre de maladies mentales [Tsyb, 2004 ; Pflugbeil, 2006 ; Yablokov, 2009].

Le registre national du Belarus a été étudié en 1995 par un groupe de scientifiques bélarusso-israéliens [Lomat, 2007]. Ils y ont trouvé les taux élevés ci-après de maladies chez les enfants de parents exposés à Tchernobyl :

- maladies hématologiques (6 fois)
- maladies endocrines (2 fois)
- maladies des organes digestifs (1,7 fois)



C'est la fin de ma compilation des faits que nous observons dans la réalité. Et j'aimerais discuter ceci : pourquoi la CIPR et d'autres comités ne respectent pas toutes les données de ces recherches que je vous ai montrées. C'est la question dont nous pourrions peut-être discuter après les présentations des autres orateurs.

Merci de votre attention. ◆

Bibliographie

Aghajanyan, A., Suskov, I.: Transgenerational genomic instability in children of irradiated parents as a result of the Chernobyl nuclear accident. Mutat. Res. 671 (2009) 52-57

Averbeck, D.: Non-targeted effects as a paradigm breaking evidence. Mutat. Res. 687 (2010) 7-12

Barcinski, M., Do Céu, M., Abreu, A., De Almeida, J., Naya, J., Fonseca, L., Castro, L: Cytogenetic investigation in a Brazilian population living in an area of high natural radioactivity. Am. J. Hum. Genet. 27 (1975) 802-806

Baverstock, K., Belyakov, O.V.: Some important questions connected with non-targeted effects. Mutat. Res. 687 (2010) 84-88

BEIR VII PHASE 2: Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, Nat. Academies Press, Washington D.C. 2006; http://www.nap.edu

Busby, C., Lengfelder, E., Pflugbeil, S., Schmitz-Feuerhake, I.: The evidence of radiation effects in embryos and fetuses exposed to Chernobyl fallout and the question of dose response. Medicine, Conflict and Survival 25 (2009) 20-40

Choi, J.W., Mehrotra, P., MacDonald, L.A, Klein, L.W., Linsky, N.M., Smith, A., Riccardi, M.J.: Sex proportion of offspring and exposure to radiation in male invasive cardiologists. Proc. (Bayl. Univ. Med. Cent.) 20 (2007) 231-234

Dickinson, H.O., Parker, I., Binks, K., Wakeford, R., Smith, J.: The sex ratio of children in relation to paternal pre-conceptional radiation dose: a study in Cumbria, northern England. J. Epidemiol. Community Health 50 (1996) 645-652

Dickinson, H.O., Parker, I.: Leukaemia and non-Hodgkin´s lymphoma in children of male Sellafield radiation workers. Int. J. Cancer 99 (2002) 437-444

Domracheva, E.V., Aseeva, E.A. *et al*.: Cytogenetic features of leukaemias diagnosed in residents of areas contaminated after the Chernobyl nuclear accident. Appl. Radiat. Is. 52 (2000) 1171-1177

Feshchenko, S.P., Schröder, H.C., Müller, W.E.G., Lazjuk, G.I.: Congenital malformations among newborns and developmental abnormalities among human embryos in Belarus after Chernobyl accident. Cell. Mol. Biol. 48 (2002) 423-426

Gardner, M.J., Snee, M.P., Hall, A.J., Powell, A.J., Downes, S., Terrell, J.D.: Results of case-control study of leukaemia and lymphoma among young people near Sellafield nuclear plant in West Cumbria. Brit. Med. J. 300 (1990) 423-429

Graham, S., Levin, M.L., Lilienfeld, A.M. *et al*.: Preconception, intrauterine, and postnatal irradiation as related to leukemia. Natl. Cancer Inst. Monogr. 19 (1966) 347-371

Hicks, N., Zack, M., Caldwell, G.G., Fernbach, D.J., Falletta, J.M.: Childhood cancer and occupational radiation exposure in parents. Cancer 53 (1984) 1637-1643

High Background Radiation Research Group: Health survey in high background radiation areas in China. Science 209 (1980) 877-880

Hoffmann, W., Schmitz-Feuerhake, I.: How radiation-specific is the dicentric assay? J. Exp. Analysis Environ. Epidemiol. 2 (1999) 113-133

ICRP, International Commission on Radiological Protection: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP-Publication 103, Ann. ICRP 37 Nos. 2-4 (2007)

IPPNW International Physicians for the Prevention of Nuclear War – Physicians for Social Responsibility: Health effects of ionising radiation: Summary of expert meeting in Ulm, Germany, October 19th, 2013 http://www.ippnw.de

Kochupillai, N., Verma, I.C., Grewal, M.S., Remalingaswami, Y.: Down´s syndrome and related abnormalities in an area of high background radiation in coastal Kerala. Nature 262 (1976) 60-61

Lazjuk, G.I., Nikolaev, D.L., Novikova, I.V.: Changes in registered congenital anomalies in the Republic of Belarus after the Chernobyl accident, Stem Cells 15 (1997), Suppl. 2: 255-260

Lazjuk, G., Satow, Y., Nikolaev, D., Novikova, I.: Genetic consequences of the Chernobyl accident for Belarus Republic. In: Imanaka, T. (Ed.), Recent Research Activities on the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia, 1999, KURRI-KR-7 (Kyoto University, Kyoto), 174-177

Lomat, L., Galburt, G., Quastel, M.R., Polyakov, S., Okeanov, A., Rozin, S.: Incidence of childhood disease in Belarus associated with the Chernobyl accident. Environ. Health Persp. 105 (Suppl. 6) 1997, 1529-1532

Lyaginskaja, A.M., Tukov, A.R., Osipov, V.A., Ermalitskiy, A.P., Prohorova, O.N.: Congenital malformations at posterity of the liquidators of the consequences from Chernobyl accident. Radiazionnaya Biologiya Radioekologiya 49 (2009) 694-702 (Russ.)

Macht, S., Lawrence, P.: National Survey of congenital malformations resulting from exposure to Roentgen radiation. Am. J. Roentgenol. 73 (1955) 442-466

Matveenko, E.G., Borovykova, M.P., Davydow, G.A.: Physical characteristics and primary morbidity in liquidator´s children. In Konferenzproceedings "Chernobyl 20 Years After", 2005, cited from Yablokov 2009, p. 148

McKinney, P.A., Alexander, F.E., Cartwright, R.A., Parker, L.: Parental occupations of children with leukemia in west Cumbria, north Humberside, and Gateshead. Br. Med. J. 302 (1991) 681-687

Muller, H.J.: Über die Wirkung der Röntgenstrahlung auf die Erbmasse. Strahlentherapie 55, 1936, 207-224

Natarajan, N., Bross, I.D.J.: Preconception radiation leukemia. J. Med. 4 (1973) 276-281

Nomura T 1982 Parental exposure to X-rays and chemicals induces heritable tumours and anomalies in mice Nature 296 575-7

Nomura, T.: Transgenerational effects of radiation and chemicals in mice and humans. J. Radiat. Res. 47, Suppl. (2006) B83-B97

Padmanabhan, V.T., Sugunan, A.P., Brahmaputhran, C.K., Nandini, K., Pavithran, K.: Heritable anomalies among the inhabitants of regions of normal and high background radiation in Kerala: results of a cohort study, 1988-1994. Int. J. Health Serv. 34 (1994) 483-515

Parker, L., Pearce, M.S., Dickinson, H.O., Aitkin, M., Craft, A.W.: Stillbirths among offspring of male radiation workers at Sellafield nuclear reprocessing plant. Lancet 354 (1999) 1407-1414

Pflugbeil, S., Paulitz, H., Claußen, A., Schmitz-Feuerhake, I.: Gesundheitliche Folgen von Tschernobyl. 20 Jahre nach der Reaktorkatastrophe. In IPPNW, Ges. f. Strahlenschutz e.V. Berlin, April 2006, 76 p.

Pohl-Rüling, J., Fischer, P.: The dose-effect relationship of chromosome aberrations to α and γ irradiation in a population subjected to an increased burden of natural radioactivity. Radiat. Res. 80 (1979) 61-81

Scherb, H., Weigelt, E.: Zunahme der Perinatalsterblichkeit, Totgeburten und Fehlbildungen in Deutschland, Europa und in hochbelasteten deutschen und europäischen Regionen nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl im April 1986, Berichte des Otto Hug Strahleninstituts Nr. 24 (2003) 35-75

Scherb, H., Weigelt, E.: Cleft lip and cleft palate birth rate in Bavaria before and after the Chernobyl nuclear power plant accident. Mund Kiefer Gesichtschir. 8 (2004) 106-110

Scherb, H., Voigt, K.: Trends in the human sex odds at birth in Europe and the Chernobyl Nuclear Power Plant accident. Reprod. Toxicol. 23 (2007) 593-599

Scherb, H., Voigt, K.: The human sex odds at birth after the atmospheric atomic bomb tests, after Chernobyl, and in the vicinity of nuclear facilities. Environ. Sci. Pollut. Res. 18 (2011) 697-707

Scherb, H., Sperling, K.: Heutige Lehren aus dem Reaktorunfall von Tschernobyl. Naturwiss. Rundschau 64, Heft 5 (2011) 229-239

Scherb, H., Voigt, K., Kusmierz, R.: Modelling human radiation risks around nuclear facilities in Germany and Switzerland: a case study. In Seppelt, R. *et al*. (Eds.) 2012 Int. Congr. Environ. Modelling and Software Managing Resources of a Limited Planet. Sixth Biennial Meeting, Leipzig, Germany http://www.iemss.org/society/index.php/iemss-2012-proceedings

Schmitz-Feuerhake, I.: How reliable are the dose estimates of UNSCEAR for populations contaminated by Chernobyl fallout? A comparison of results by physical reconstruction and biological dosimetry. ECRR Int. Conference „Criticisms and Developments in the Assessment of Radiation Risks" in Molyvos, Lesbos, Greece, May 5-6, 2009. Proceedings 2011, 70-85

Sever, L.E., Gilbert, E.S., Hessol, N.A., McIntyre, J.M.: A case-control study of congenital malformations and occupational exposure to low-level ionizing radiation. Am. J. Epidemiol. 127 (1988) 226-242

Shakhatreh, F.M.: Reproductive health of male radiographers. Saudi Med. J. 22 (2001) 150-152

Shevchenko, V.A., Platonov, E.S., Snigiryova, G.P.: Genetic consequences of disaster at Chernobyl nuclear plant on April 26, 1986. In: Int. Association for Restoration of the Environment and for Safe Living of People "Senmurv" (Minsk-Moscow-Kiev): Chernobyl Accident. Reasons and Consequences. Ed. V.B. Nesterenko, Minsk 1997, P. 213-245

Shiono, P.H., Chung, C.S., Myrianthopoulos, N.C.: Preconception radiation, intrauterine diagnostic radiation, and childhood neoplasia. J. Natl. Cancer 65 (1980) 681-686

Shu, X.O., Gao, Y.T., Brinton, L.A., Linet, M.S., Tu, J.T., Zheng, W., Fraumeni, J.F.: A population-based case-control study of childhood leukemia in Shanghai. Cancer 62 (1988) 635-644

Shu, X.O., Reaman, G.H., Lampkin, B., Sather, H.N., Pendergrass, T.W., Robison, L.L.: Association of paternal diagnostic x-ray exposure with risk of infant leukemia. Cancer Epidemiol., Biomarkers & Prevention 3 (1994) 645-653

Sperling, K., Neitzel, H., Scherb, H.: Evidence for an increase in trisomy 21 (Down syndrome) in Europe after the Chernobyl reactor accident. Genet. Epidemiol. 36 (2012) 48-55

Stewart, A., Webb, J., Hewitt, D.: A survey of childhood malignancies. Brit. Med. J. (1958) 1495-1508

Sviatova, G.S., Abil´dinova, GZh., Berezina, G.M.: Frequency, dynamics, and structure of congenital malformations in populations under long-term exposure to ionizing radiation. Genetika 37 (2001) 1696-1704 (Russ.)

Tsyb, A.F., Souchkevitch, G.N., Lyasko, L.I., Artamonova, Yu.Z., Nvolokon, V.V., Raykina, L.G.: General characterization of health in first-generation offspring born to liquidators of the Chernobyl NPP accident consequences. Int. J. Radiat. Med. Special Issue 6 (1-4) 2004; http://www.mns.gov.ua

Uma Devi, P., Nagarathnam, A., Satish Rao, B.S.: Introduction to Radiation Biology. B.I. Churchill Livingstone PVT Ltd. New Delhi 2000

UNSCEAR United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Sources, effects and risks of ionizing radiation. 1988 Report to the General Assembly, United Nations, New York 1988

UNSCEAR United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Hereditary effects of radiation. 2001 Report to the General Assembly, United Nations, New York 2001; http://www.unscear.org/

Vogel, Friedrich *et al*.: Strahlengenetik der Säuger. Band 1. Fortschritte der allg. und klinischen Humangenetik. Eds. E. Becker *et al*., Georg Thieme Verlag Stuttgart 1969

Wang, Z., Boice, J.D., Wei, L., Beebe, G.W., Zha, Y., Kaplan, M.M., Tao, Z. *et al*.: Thyroid nodularity and chromosome aberrations among women in areas of high background radiation in China. J. Nat. Cancer Inst. 82 (1990) 478-485

Wei, LX., Yongru, Z., Zufan, T., Weihui, H., Deqing, C., Yongling, Y.: Epidemiological investigation of radiological effects in high background radiation areas of Yangjiang, China. J. Radiat. Res. 31 (1990) 119-136

Weinberg, H.Sh., Korol, A.B., Kirshner, V.M. *et al*.: Very high mutation rate in offspring of Chernobyl accident liquidators. Proc. R. Soc. Lond. B 268 (2001) 1001-1005

Wertelecki, W.: Malformations in a Chornobyl-impacted region. Pediatrics 125 (2010) 836-843

Wiesel, A., Spix, C., Mergenthaler, A., Queißer-Luft, A.: Maternal occupational exposure to ionizing radiation and birth defects. Radiat. Environ. Biophys. 50 (2011) 325-328

Yablokov, A.V.: The Chernobyl catastrophe – 20 years later. In C.C. Busby, A.V. Yablokov (Eds.), European Committeee on Radiation Risk ECRR, Chernobyl: 20 Years on. Green Audit 2006; http://www.euradcom.org

Yablokov, A.V., Nesterenko, V.B., Nesterenko, A.V.: Chernobyl– Consequences of the catastrophe for people and the environment. Ann. New York Academy of Sciences Vol.1181, Boston 2009 (version augmentée, traduite en français, avril 2015 : http://independentwho.org/media/Documents_Autres/Tchernobyl_Consequences_de_la_catastrophe_sur_la_population_et_l_environnement_V01PDF.pdf)

Zatsepin, I.O., Verger, P., Robert-Gnansia, E., Gagniere, B., Khmel, R.D., Lazjuk, G.I. (2004): Cluster of Down´s syndrome cases registered in january 1987 in Republic of Belarus as a possible effect of the Chernobyl accident, Int. J. Radiat. Med. Special Issue 6 (1-4), Kiev: 57-71; http://www.mns.gov.ua

Échange avec le public

Ruth Stégassy

Merci beaucoup. S'il y a des points qui vous paraissent obscurs sur lesquels vous aimeriez avoir des précisions, c'est le moment.

Question

Ma question concerne le background naturel qui a été chiffré dans la présentation ; mais est-ce que ce background a augmenté depuis 1945 ou est-ce qu'il est impossible de dire s'il a augmenté ou pas, donc dans les 60, 70 dernières années ?

Ruth Stégassy

Le background… vous parlez de la radioactivité naturelle ?

Absolument. Dite naturelle, c'est-à-dire qu'on mesure actuellement. On la dit naturelle, mais est-ce qu'elle n'est pas déjà due à une certaine quantité de radioéléments artificiels qui se sont répandus déjà sur la planète ? Pour être sûr qu'il est naturel, il faudrait à mon avis…, enfin je vous pose la question, ne faudrait-t-il pas l'avoir mesuré avant les premiers bombardements, c'est-à-dire en pratique, avant 1945 ? Ou même avant 1943 ?

Inge Feuerhacke

Autant que je sache, l'augmentation du rayonnement de fond est pour l'essentiel due au radon dans les maisons. La concentration naturelle du radon est élevée dans les maisons qui sont thermo-isolées, pour qu'elles gardent la chaleur. Et ça c'est 2 mSv par an.

À ma connaissance, les essais nucléaires de surface jusqu'en 1973 n'ont pas causé une augmentation détectable du rayonnement naturel.

Si l'usine française de retraitement de la Hague émet du crypton, qui est utilisé comme produit de fission nucléaire, on peut le mesurer en Allemagne, mais ce n'est pas une proportion qui élève de façon significative le niveau du rayonnement naturel.

Est-ce ce que vous vouliez savoir ?

Ruth Stégassy

Oui, c'est bien, merci.

Intervention

Je veux juste compléter ce que Madame a dit. Je suis complètement d'accord, mais il ne faut pas oublier que, en ce qui concerne le bruit naturel qu'on a ici, on a une valeur qui indique 1 millisievert par an. C'est très, très variable. Dans le bassin alémanique et le pays de Gex, ici, on pouvait avoir des variations de 0,2 millisievert. Cela veut dire que si vous déménagez de Sant Genis à Sergy, votre exposition externe par le sol va augmenter à 0,2 millisievert déjà. Juste pour le fait de déménagement.

Concernant la contamination après les essais nucléaires dans les années 60, il y a eu une contamination par le strontium 90, par le carbone 14, par le tritium. A part le strontium 90, qu'on trouve toujours dans les os des nouveau nés, les concentrations de carbone 14 et de tritium sont tombées presque à un niveau négligeable. Pas grâce à la décroissance radioactive, mais avec l'échange avec les énormes masses de l'océan. Mais aujourd'hui les valeurs de bruit de fond du tritium et du carbone 14 sont tout à fait normales. ◆

Résumé des études précédentes et actuelles sur les effets génétiques des rayonnements ionisants,

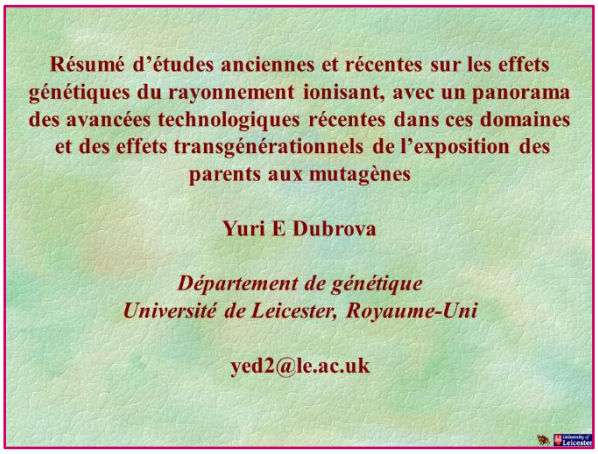
y compris un survol des avancées technologiques récentes dans ce domaine et des effets transgénérationnels de l'exposition des parents aux mutagènes

*Dr **Yuri E. Dubrova**, Département de génétique de l'Université de Leicester (Royaume-Uni)*

Introduction *par **Ruth Stégassy***

*Le **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'État 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 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 aussi 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.*

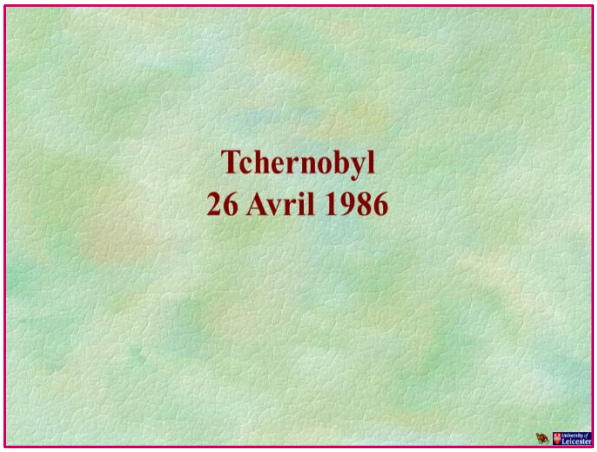
Présentation

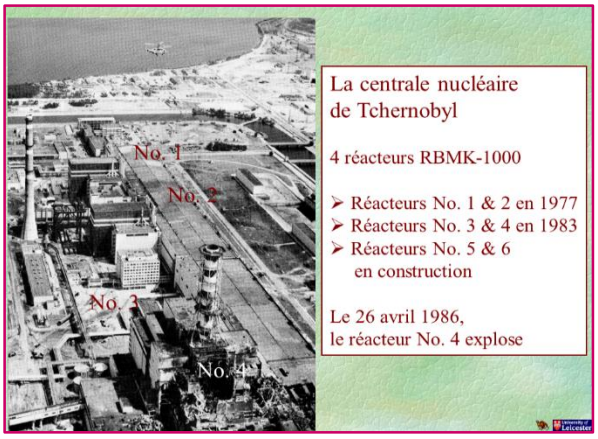


D'abord je vous remercie beaucoup pour cette aimable invitation à présenter nos données ici. Je suis absolument ravi et honoré.

Que vais-je faire aujourd'hui ? Je vais me passer de la science. Elle est ennuyeuse. Aujourd'hui, je vais vous raconter l'histoire d'une expérimentation provoquée par l'homme, appelée Tchernobyl, et de ce qui est arrivé après. Ce qui est arrivé non seulement aux personnes touchées par la catastrophe mais aussi à nous les scientifiques, qui essayons d'analyser les effets génétiques de cette catastrophe, illustre très bien où nous en sommes par rapport à l'analyse de ces effets. Et ce qui est plus important, où devrions-nous nous trouver avec ces analyses.

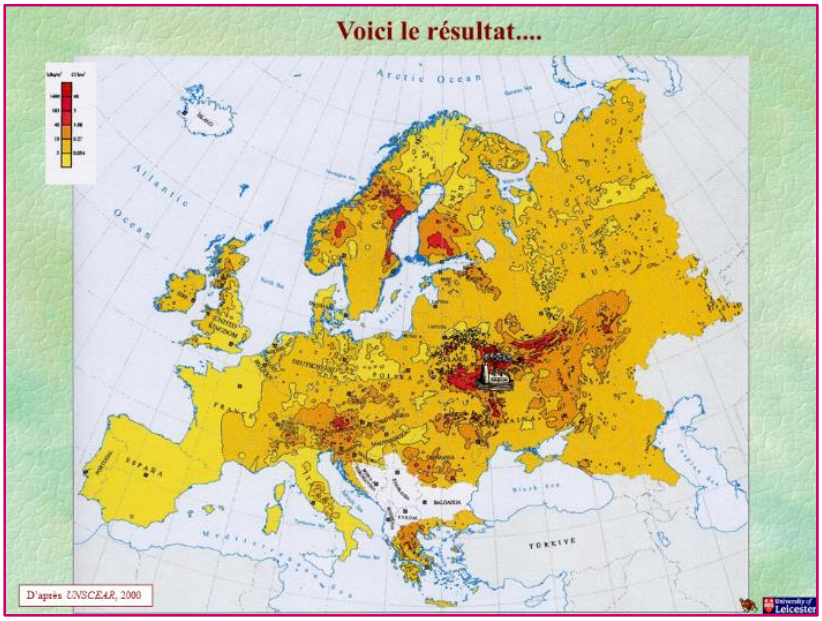
Donc, que c'est-t-il passé ? C'était le 26 avril 1986.





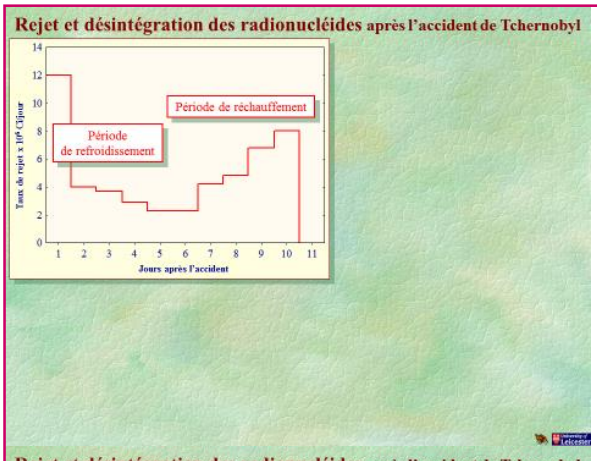
Cette unité, l'unité numéro 4, a explosé. Pour de nombreuses raisons, en envoyant d'énormes quantités de radioactivité dans l'atmosphère. C'était une catastrophe causée par l'homme il y a 20 et quelques années. Que s'est-t-il passé ? Ce n'est pas seulement que le réacteur a explosé, le problème clé c'est que tout était rempli de graphite et ce graphite a pris feu.

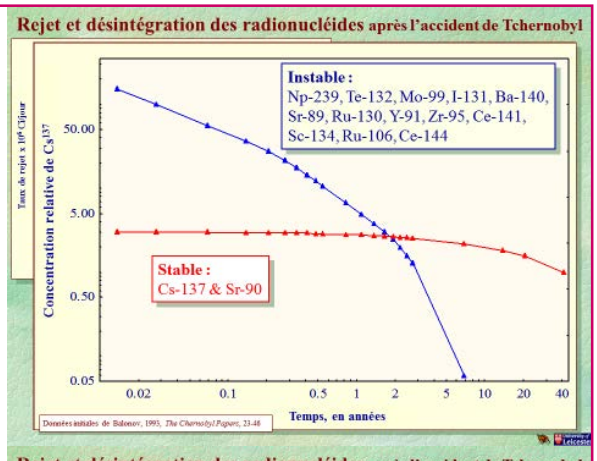
Et pendant 10 jours, malgré tous les efforts héroïques, ils n'ont rien pu faire. Et le graphite en combustion a envoyé une énorme quantité de radioactivité dans l'atmosphère. Ainsi, la principale source de contamination n'était pas due à l'explosion en soi, mais à l'incendie qui a eu lieu après. Le résultat on le voit sur cette carte multicolore. Voici Tchernobyl, voici les zones les plus fortement contaminées du Belarus, de l'Ukraine et de la Russie. Et si vous pensez que le reste de l'Europe y a échappé, repensez-y. En fait, la Suisse, le Royaume-Uni, la Scandinavie et d'autres, ont également reçu leur part. Donc, pour le dire simplement, l'Europe a été recouverte par la radioactivité.

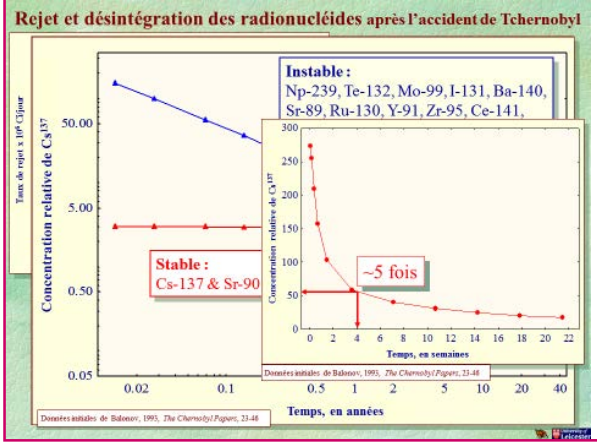


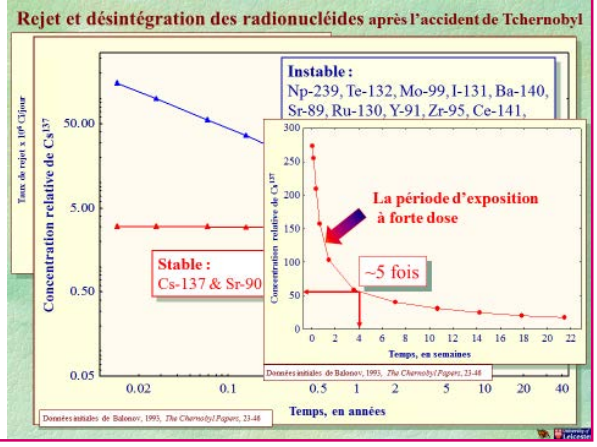
La façon dont tout a brûlé était assez intéressante. Au tout début, immédiatement après l'explosion, l'incendie a éclaté, puis le feu a diminué, et seulement le onzième jour, après l'effort héroïque de centaines de personnes, on parvint à éteindre le réacteur. Et voilà tout. Cela était la fin de la contamination de l'atmosphère. Qu'est-ce qui a été relâché ?

Des isotopes durables, pour la plupart du césium et du strontium avec une demi-vie d'environ 30 ans.



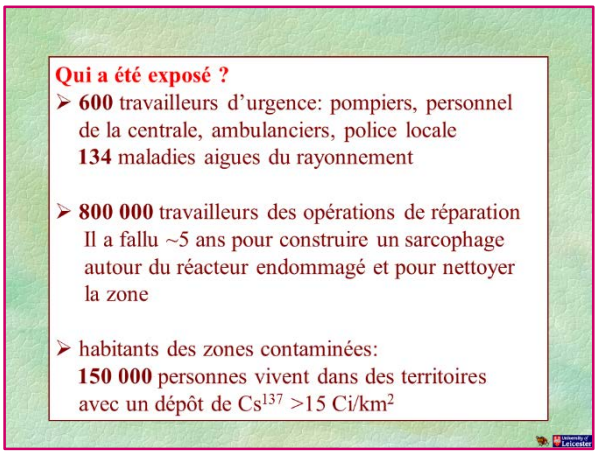




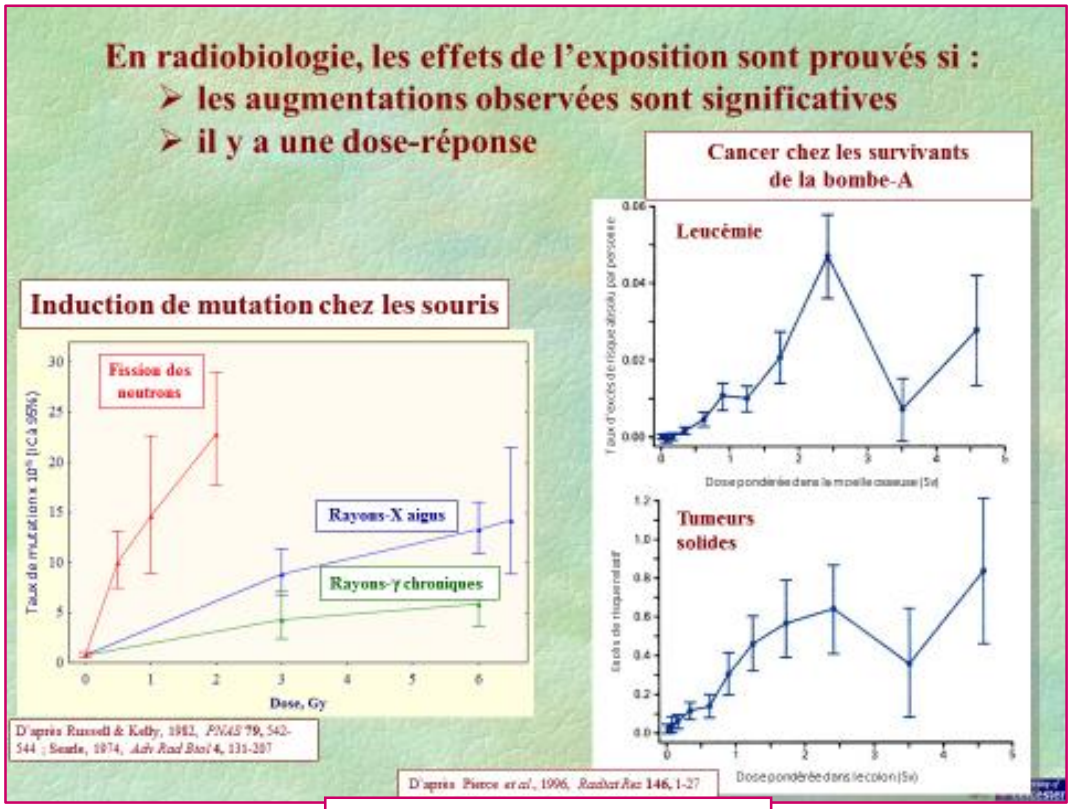


Donc, même après 40 ans cela continue, mais ce qui est encore plus intéressant c'est le grand nombre de matières instables relâchées. Avec une demi-vie allant de quelques minutes à plusieurs semaines. Et en quelques semaines la quantité de radioactivité a été divisée par 5, en raison de ces radionucléides très instables. On a donc une période d'exposition à doses très élevées pour les personnes qui se trouvaient dans la zone, et ensuite on a une période prolongée d'exposition chronique.

Qui a été exposé ? 600 travailleurs d'« urgence » : des pompiers, des ambulanciers, du personnel de la police locale, essentiellement ces personnes héroïques qui sont entrées directement dans l'enfer. Ils ont fait de leur mieux pour recouvrir le réacteur et s'assurer qu'il n'émette plus de radioactivité. Ensuite il y a le groupe des équipes de « sauvegarde », ou liquidateurs (800 000 selon mes estimations), qui est arrivé après le blocage du réacteur et a commencé à décontaminer la zone ainsi qu'à bâtir le sarcophage. Mais il y a également un autre groupe de personnes, spectateurs innocents, qui vivent encore sur ces territoires fortement contaminés par les radionucléides tels que le césium et le strontium. La plupart habitent dans des territoires du Belarus, de l'Ukraine et d'une partie de la Russie.



Pourquoi ? J'aimerais le faire comprendre. En radiobiologie, les effets de l'exposition sont prouvés si les augmentations observées sont significatives et s'il y a des données de dose-réponse.
Des exemples :

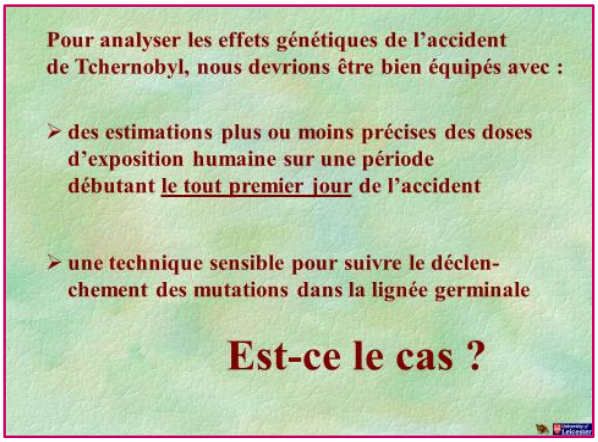


Est-ce le cas pour les études post-Tchernobyl ?

Voici des données normales : la dose de radiation et la mutation du sperme chez des souris irradiées. L'effet est là, la dose-réponse est là également. On voit aussi des données déjà mentionnées pour Hiroshima-Nagasaki. L'incidence du cancer. Les effets des leucémies et des cancers solides sont là. La dose-réponse est là également.

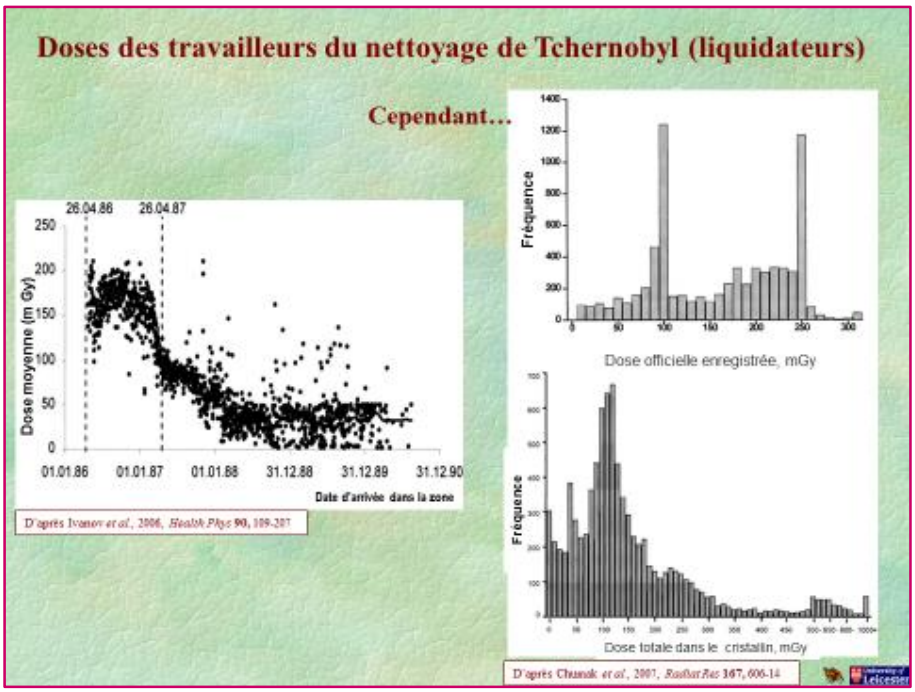
Et la question est : est-ce le cas pour les études post-Tchernobyl ? Avons-nous suffisamment de preuves pour les augmentations observées, et sont-elles significatives ? Avons-nous suffisamment de preuves aussi pour une dose-réponse ?

Pour l'analyse des effets génétiques de l'accident de Tchernobyl, voici ce qu'il nous faudrait : des estimations plus ou moins précises des doses d'exposition humaine sur une période de temps qui commence dès le premier jour de l'accident, quand les doses étaient élevées. Et une technique sensible pour suivre l'induction de mutations dans la lignée germinale.



Nous devrions donc recenser les mutants, la majeure partie d'entre eux, chez les enfants des parents irradiés, et contrôler les parents ; nous devrions comparer les nombres, la fréquence et ainsi de suite. Et alors seulement, peut-être serions-nous en mesure de vous dire ce qui se passe. Est-ce le cas ? Aux deux questions, la réponse est non.

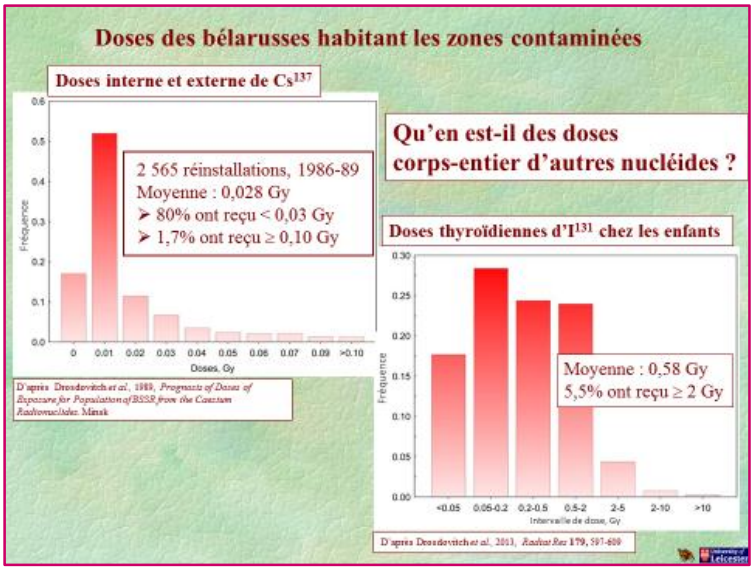
Doses d'exposition



Voici le résultat que nous avons obtenu pour le groupe de personnes qui ont participé à la décontamination.

C'est une estimation basée sur la dosimétrie physique.

Or, regardez ici. La même étude : ils ont utilisé des données officielles relatives aux liquidateurs et ensuite ils ont fait une autre analyse des doses. Les deux répartitions sont nettement différentes. Donc, là aussi nous avons eu beaucoup d'incertitudes.



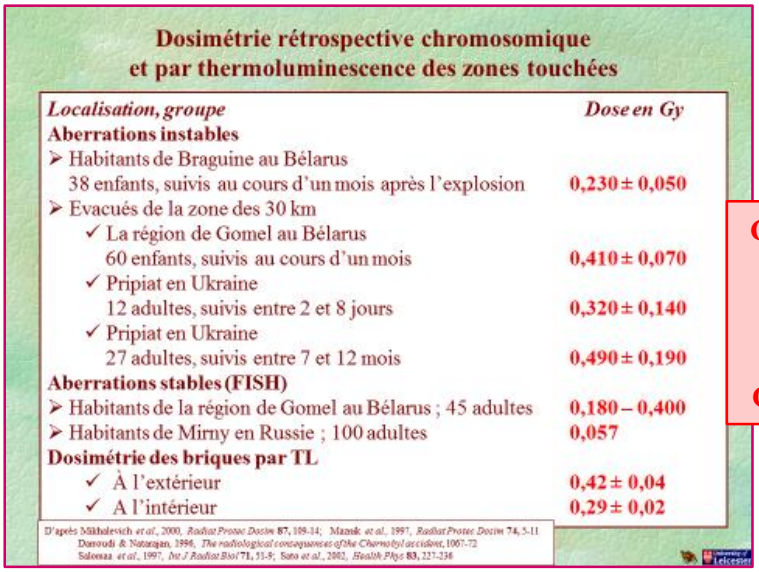
La situation se complique lorsqu'on regarde les gens qui vivent dans les zones contaminées.

Voici des estimations officielles, obtenues par le compteur de dosimétrie physique, des personnes vivant dans les zones les plus contaminées du Belarus.

Ces estimations prennent en considération seulement une chose : l'exposition aux isotopes de longue durée de vie, tels que le césium et le strontium. Mais nous ne savons rien, à ma connaissance, sur les doses d'exposition aux matières à courte vie.

Mais, la merveille de l'organisme humain, c'est qu'en ce moment nous accumulons des mutations. Donc en ce moment même, vous êtes en train d'accumuler des mutations dans votre corps. Ainsi le nombre de mutations accumulées dans mon corps, dans votre corps, dépend de votre âge et de votre historique d'exposition à toutes sortes de mutagènes. Y compris la radiation ionisante. C'est ce qu'on appelle la dosimétrie biologique.

Regardez cette poignée de données relatives aux habitants du Belarus et de l'Ukraine.



Clairement, les résultats de ces études divergent nettement des estimations montrées précédemment

0,2 – 0,5 Gy *contre* 0,00 – 0,10 Gy !

Question : Qui a raison et qui a tort ?

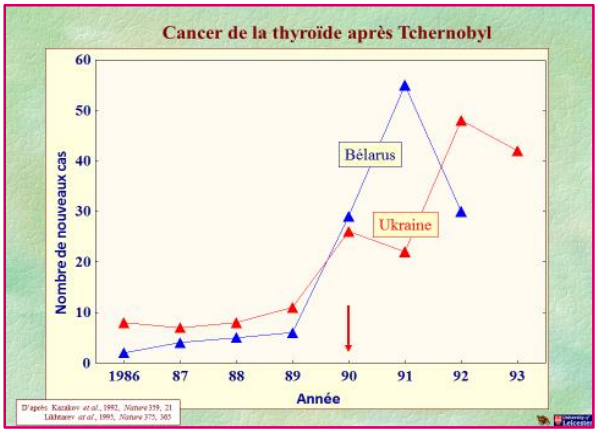
Les doses ici reconstituées sur la base du nombre de mutations, des aberrations chromosomiques que les gens accumulent, diffèrent largement.

Par la dosimétrie biologique, la dose est de 0.5 Gy. En utilisant la dosimétrie physique pour la même zone, ce n'est pas plus de 0.10 Gy.

Qui a raison et qui a tort ? Je ne sais pas.

Que s'est-t-il passé après ?

Une augmentation drastique, bien connue, de l'incidence du cancer de la thyroïde chez les enfants des zones fortement contaminées du Belarus, de l'Ukraine et aussi d'une partie de la Russie.



D'autres effets de ce qui s'est passé après ? Les leucémies, les cancers solides, les maladies non cancéreuses, les mutations somatiques sont en hausse. … Pour ces dernières, nous avons les preuves les plus irréfutables de leur accumulation, soit chez ceux qui ont été exposés dans le travail de décontamination autour du réacteur, soit chez ceux qui vivent dans les territoires contaminés. Pour les autres maladies, les preuves sont vagues, voire pas totalement précises.

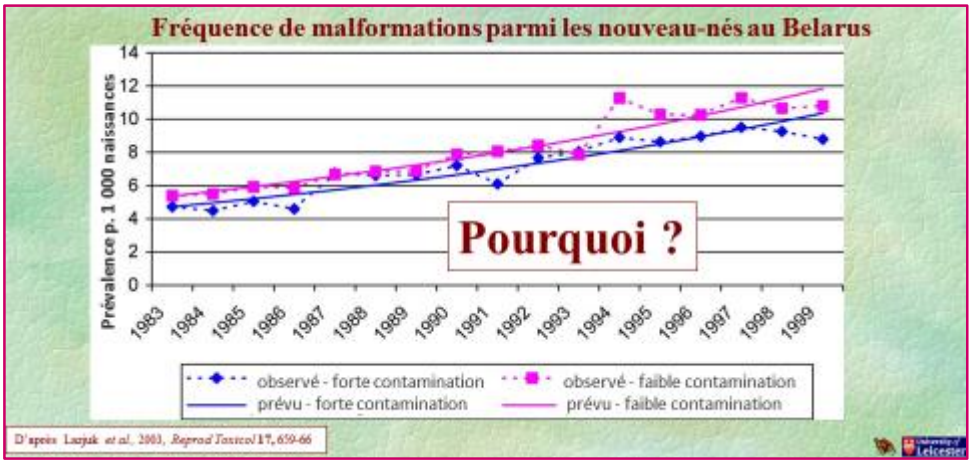
Quant aux effets génétiques c'est encore plus compliqué. J'ai créé deux colonnes : les données positives, les données négatives. Tout est là. Pour les fréquences des fausses couches nous voyons une augmentation en Finlande, mais pas en Suède, en Hongrie et en Autriche. La mortalité périnatale en Allemagne est élevée, au Belarus, en Hongrie et en Norvège non. Les malformations des embryons et à la naissance au Belarus sont élevées, en Hongrie, en Norvège, en Autriche et en Suède non. Et ainsi de suite.

Dans cet exemple on voit la dimension du Syndrome de Down.

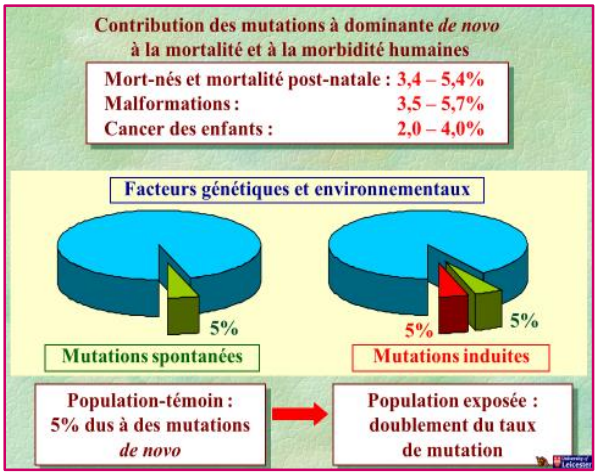
C'est très intéressant parce que vous voyez sur ce graphique – ce sont des données répliquées en Allemagne, au Belarus et en Écosse – un saut brusque ici, essentiellement 9 mois après le désastre.

Pourquoi ?

Lorsqu'on expose des personnes, je m'excuse, pendant l'accouplement, leurs cellules germinales sont à la fin du cycle de vie. Elles passent à l'étape finale de leur maturité. Et elles sont extrêmement sensibles à tout facteur environnemental. Ici donc, les deux parents ont été exposés à Tchernobyl pratiquement au moment de la conception. Ils ont reçu des doses. Leurs cellules génétiques étant très sensibles aux rayonnements ionisants ont eu un chromosome supplémentaire et, comme résultat, on a un pic ici du syndrome de Down.



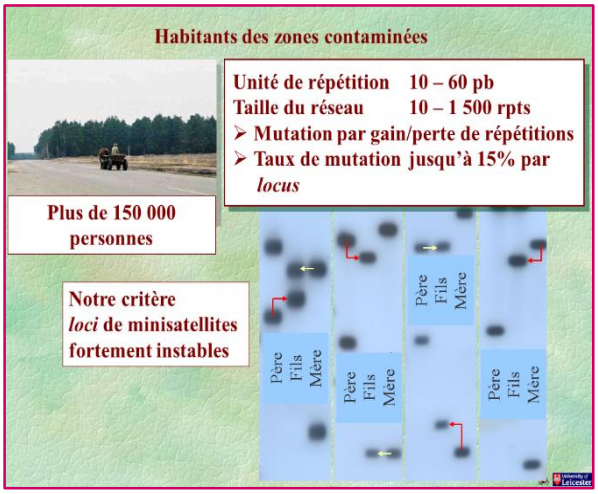
Si on observe les données relatives au nombre d'anomalies congénitales au Belarus, on voit une augmentation à la fois dans les zones propres et dans les zones contaminées. Nous ne savons pas pourquoi mais le fait est là : au Belarus le pourcentage d'anomalies congénitales des enfants augmente. Il y a beaucoup de spéculation à ce sujet, mais c'est ainsi. Il n'y a pas de différence entre les zones contaminées et les non contaminées. Pourquoi ? C'est facile à expliquer parce que le pourcentage des mutations responsables des malformations chez les enfants, est extrêmement faible.



- **La sensibilité de cette approche est extrêmement faible**
- **Les effets de l'irradiation parentale peuvent seulement être détectés à de très fortes doses**

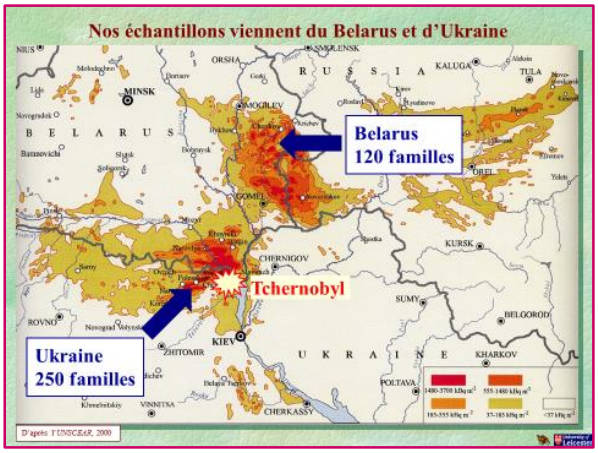
Et il n'y a pas moyen de détecter ces petites modifications en analysant l'incidence des malformations chez les enfants.

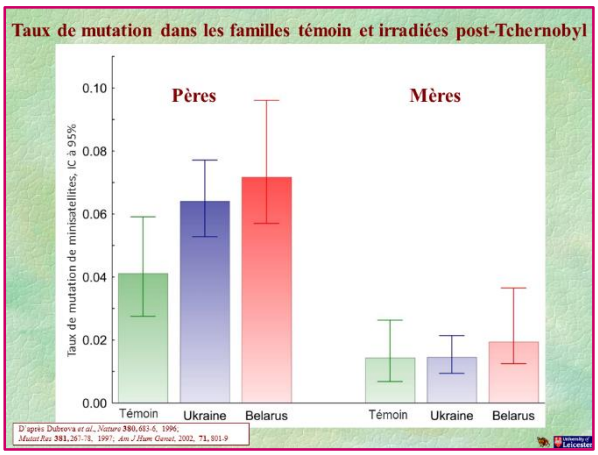
Aussi, nous avons décidé, il y a longtemps, d'adopter une autre démarche. Et pour ce faire nos collaborateurs se sont rendus dans les zones les plus fortement contaminées du Belarus et d'Ukraine pour recueillir des échantillons de sang, et nous avons commencé à rechercher les mutations affectant les séquences très bizarres dans le génome, appelées minisatellites.



Ces séquences mutent en gagnant ou en perdant un certain nombre de répétitions, et il est assez facile de repérer ces mutations. Imaginez un train composé de plusieurs wagons. À la gare quelqu'un ajoute quelques wagons ou les supprime. C'est ce qui se passe avec ces répétitions.

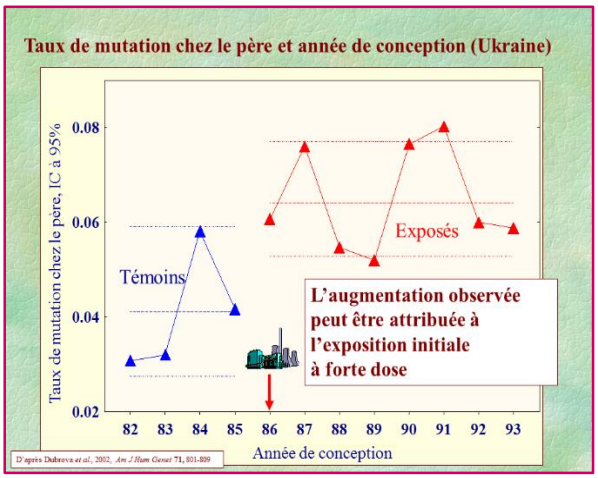
Nous avons donc analysé ces mutations. Nous avons collecté des échantillons au Belarus et aussi en Ukraine, dans des zones assez fortement contaminées où les personnes vivent depuis le début de la catastrophe, et regardez ce qui se passe ici.





Nous avons mesuré les mutants dans le sperme des pères et dans les ovocytes des mères. Et voici ce que nous avons trouvé : il y a une augmentation très significative du nombre de mutations dans le sperme. Donc, selon nos données les pères sont sensibles aux radiations ionisantes. Ce n'est pas le cas pour les mères.

Autre information intéressante.



Nous nous sommes penchés sur le nombre de mutations chez les pères, en fonction de l'année de la conception.

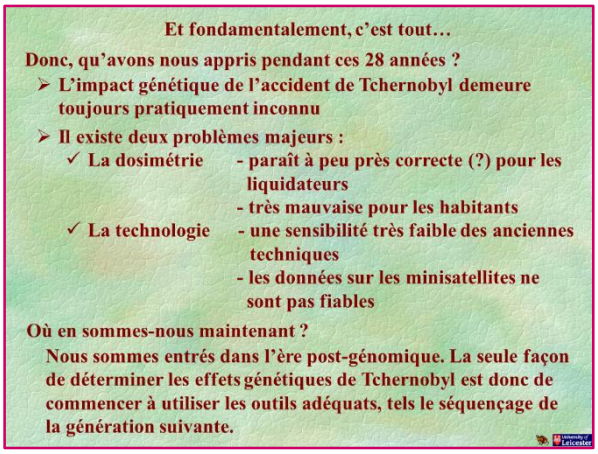
Voici le nombre de mutants dans le sperme des pères en 1982, 1983 et ainsi de suite, avant la catastrophe de Tchernobyl.

Voici Tchernobyl, et voici ce qui s'est passé dans le sperme des pères en 87, 88, etc. D'après ce graphique, vous voyez immédiatement une chose. Les taux sont plus élevés mais n'augmentent pas avec le temps. Alors, qu'est-ce que cela nous révèle ? Une chose. Qu'ils ont eu une mutation ici, immédiatement après la catastrophe. Donc une forte dose d'exposition dans l'espace de quelques semaines après Tchernobyl leur a causé cela.

L'exposition au césium et au strontium dans les semaines et les mois qui ont suivi la catastrophe a eu un effet négligeable.

Et fondamentalement, c'est tout…

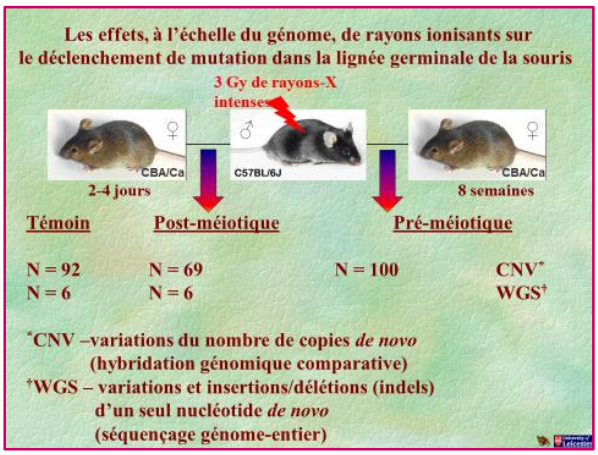
Alors je vais résumer. Qu'avons-nous appris au cours de ces 28 ans après la catastrophe ?



L'impact génétique de la catastrophe de Tchernobyl reste pratiquement encore inconnu. Je vous dis cela avec le sacrifice de dix ans de vie passés à en analyser les effets, et les effets sont encore largement inconnus. Il y a deux problèmes majeurs. La dosimétrie semble être plus ou moins correcte pour les liquidateurs et extrêmement mauvaise pour les résidents. Quant à la technologie, les techniques vétustes ont une très faible sensibilité, et nos données sur les minisatellites sont contestables.

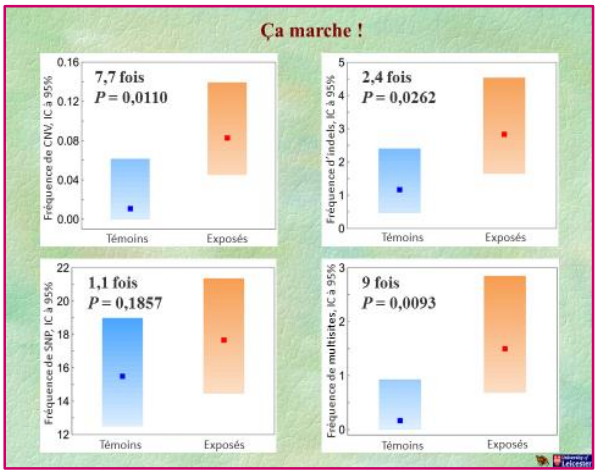
Où en sommes-nous maintenant ?

Heureusement nous vivons dans l'ère post-génomique. Nous avons maintenant des instruments très puissants qui nous permettent de mesurer ce qui se passe non seulement au niveau d'une poignée de gènes, mais au niveau de l'ensemble du génome. Nous pouvons séquencer le génome de tous les animaux et voir ce qui se passe. Et c'est exactement ce que nous avons fait.



Nous avons irradié des souris mâles, en les accouplant avec des femelles non irradiées. Nous avons ensuite recherché la présence de grands changements dans leur génome, qu'on appelle « variation du nombre de copies », et puis nous avons également séquencé les génomes de tous les animaux à la recherche des petits changements.

Regardez ce qui se passe. Ce sont les premières données qui indiquent ce qui se passe au niveau du génome dans son ensemble.



On voit une multiplication par 8 du nombre de changements importants, dont certains ont un effet préjudiciable, une augmentation significative du nombre de petits changements et une augmentation assez importante du nombre de changements qui affectent deux nucléotides proches.

Donc, sur la base de ces données, nous pouvons faire une prévision. L'exposition aux radiations peut affecter le développement de la progéniture, car ces mutants vont manifestement avoir un effet nuisible sur une partie de leur descendance.

Si ça marche pour les souris, nous devrions alors utiliser l'approche à l'échelle du génome pour les êtres humains.
C'est notre avenir.

Cela fonctionne pour les souris. Quand on pourra avoir le même genre de données pour les humains, alors, et alors seulement, nous serons en mesure de comprendre que les effets génétiques de l'exposition humaine aux rayonnements ionisants sont des mutagènes.

Je tiens à remercier les personnes qui ont pris part à cette étude,

Pour les études sur les humains, notre équipe à Leicester, mes collaborateurs du Belarus et d'Ukraine qui ont collecté les échantillons ; pour l'étude des souris, mon équipe à nouveau, le *Wellcome Trust Sanger Centre* et notre collaborateur de Moscou.

Merci de m'avoir toléré. ◆

Échange avec le public

Ruth Stégassy

Merci beaucoup, j'imagine qu'il y a un certain nombre de questions. Oui, alors on vous écoute.

Question

Je m'excuse de toujours poser des questions. Je le fais peut-être en anglais si c'est mieux pour M. Dubrova. Donc, d'abord j'ai été surpris par le pic du syndrome de Down, qui est très étroit. Il a un rapport avec l'accident de Tchernobyl, mais est-ce que c'est statistiquement significatif ?

Yuri Dubrova

C'est une bonne question. Donc, qu'est-ce qui s'est passé, à ma connaissance ? Dans la première publication touchant à ce sujet, la première de toutes, nous avons connaissance de cela par la génétique des souris. Donc, si on irradie des souris et qu'on accouple immédiatement les deux parents, vous verrez une augmentation de quelque chose qui ressemble au syndrome de Down dans la progéniture. Donc, nous savons que ce sont les derniers stades de la spermatogenèse, le dernier stade méiotique de la spermatogenèse, et tous les génomes sont particulièrement sensibles aux rayonnements ionisants. Donc, si vous irradiez dans cette fenêtre d'opportunité très restreinte, vous pouvez obtenir des gamètes avec des chromosomes supplémentaires. En ce qui concerne les données humaines, la première publication est parue il y a bien des années à Berlin. Ensuite une publication identique, avec la même fenêtre, est parue en Ecosse. Et puis les Bélarusses, qui ont enregistré la plus grande base de données, ont réanalysé leurs données et ont obtenu le même pic. C'est significatif.

Question

OK, et c'est plausible et scientifiquement expérimenté ?

Yuri Dubrova

Je ne suis pas en position de commenter si c'est vrai ; ce ne sont pas mes données : je m'en lave les mains. Mais voilà, il y a trois études indépendantes qui montrent que c'est le cas. Il semblerait que ce soit vrai, mais si vous regardez le nombre d'enfants nés annuellement avec le syndrome de Down, et si vous savez que l'intervalle des possibilités n'est que de quelques semaines, alors l'augmentation du nombre d'enfants ayant le syndrome de Down à Tchernobyl est faible. Ce que je crois c'est que dans des régions fortement contaminées, quand les parents ont conçu ils ont été exposés aux rayonnements, et certains de leurs enfants ont eu le syndrome de Down. Voilà, c'est tout.

Question

C'est clair. Une deuxième question concerne cette augmentation constante du syndrome de Down au cours des années. Serait-ce parce qu'il y a augmentation d'exposition à d'autres mutagènes ? Parce que nous savons que les rayonnements ionisants ne sont pas les seules mutagènes auxquels les personnes sont exposées. Comme la société en développe de plus en plus, nous en avons de plus en plus. Serait-ce une explication ?

Yuri Dubrova

Vous avez parfaitement raison.

Ruth Stégassy

Merci.

Intervention

Juste un point de détail. À Three Miles Island vous avez eu aussi un pic très fort de trisomie 21, neuf mois après l'accident, et il a été reconnu par la justice américaine. L'entreprise a dû payer de fortes sommes aux familles

Yuri Dubrova

Sans commentaire. Je ne suis pas médecin.

Question

Je voudrais savoir s'il y a des corrélations entre les différentes maladies. Malheureusement le cancer de la thyroïde chez les enfants est la seule maladie dont on parle officiellement, mais il y a la nourriture contaminée principalement par le ^{137}Cs, et les données humaines sont de plus en plus difficiles à obtenir à Fukushima. Et la dissimulation est arrivée. Nous aimerions voir plus de preuves circonstanciées à l'appui des hypothèses, pour l'avenir.

Yuri Dubrova

Vous avez parfaitement raison. Oui, nous avons besoin de plus de données humaines.

Question

Je suis médecin anatomopathologiste. J'ai posé tout à l'heure la question du background naturel. Et ma deuxième question va dans le même sens : devons-nous attendre le résultat d'études épidémiologiques extrêmement difficiles, voire impossibles, du fait justement de cette dilution et aussi de l'hétérogénéité des retombées radioactives sur les populations ? Donc je voudrais vous remercier pour avoir évoqué les études expérimentales qui ont des résultats beaucoup plus rapides et beaucoup plus parlants pour les autorités que des études épidémiologiques dont les résultats ne peuvent qu'être extrêmement contradictoires et à très long terme. Devons-nous attendre des générations pour admettre que les radiations ionisantes c'est juste pas bon pour la santé ? On le sait depuis plus d'un siècle.

Yuri Dubrova

Je suis généticien, mon laboratoire travaille principalement avec les souris. Nous avons commencé avec les humains mais… je suis à cent pour cent d'accord avec vous que les études de base des laboratoires bien organisées devraient nous donner beaucoup plus que toutes les études épidémiologiques. En outre toute étude épidémiologique est une boîte noire : vous mesurez quelque chose qui sort, mais vous n'avez aucune idée de ce qui entre.

Question

Ma question va un peu dans le même sens. Je voudrais rappeler que l'IRSN a organisé un séminaire scientifique le 25 mars 2014 et un représentant de l'IRSN a déclaré que, de 1965 à 2013, seulement 79 publications au total ont traité de la problématique de l'ingestion du césium 137 dans l'organisme, alors que, sur le cadmium, on monte facilement à 100 000 publications.

Cette personne a ajouté : la catastrophe de Tchernobyl n'a pas fait augmenter sensiblement le nombre des études. On commence à s'intéresser à la question avec Fukushima et grâce au programme EnvirHomme sur des rats. Donc, ma question est la suivante : quand est-ce qu'on prendra en compte vos études pour traiter justement de la santé dans le monde ?

Yuri Dubrova

Je ne prends pas en compte mes études, d'autres le feront.

Ruth Stégassy

Il y avait une question devant, ici.

Question

Je m'excuse de poser cette question maintenant mais je dois partir.

J'invite les enfants des zones contaminées de Biélorussie, les enfants sont entre 7 et 10 ans, pour un séjour de réhabilitation ici à Genève, en Suisse. Je me suis souvent demandé dans quelle mesure un séjour si court, de trois à quatre semaines, peut être bienfaisant pour ces enfants qui sont en pleine croissance.

Yuri Dubrova

Je ne sais pas. Sans commentaire.

Ruth Stégassy

Alors, il y a une réponse là-bas, oui ?

Intervention

Je vais essayer d'apporter une petite réponse. Je suis Daniel Reininger, je suis de l'association « Les Enfants de Tchernobyl » et nous accueillons chaque année plus de 200 enfants qui viennent en séjour en France pendant 3 semaines ou 8 semaines selon le cas. Cela fait 20 ans qu'on accueille des enfants et donc nous le faisons de manière stricte : nous mesurons la contamination interne des enfants avant qu'ils viennent en France et nous remesurons les enfants lors qu'ils rentrent chez eux. Donc, à l'expérience on peut dire que le séjour, que ce soit en Suisse ou en France, dans des régions non contaminées, permet de diminuer la contamination interne en césium d'environ 30 % en 3 semaines. Nous avons eu des diminutions de contamination interne jusqu'à 80% en 8 semaines. Alors, évidemment, ce n'est que provisoire mais ça permet de repartir avec des contaminations internes plus faibles.

Nous continuons effectivement d'aider les enfants quand ils sont là-bas pour avoir des alimentations propres. J'en profite pour dire une chose. C'est qu'aujourd'hui les enfants que nous accueillons sont contaminés comme les enfants que nous avons accueilli il y a 10 ans ou 15 ans ; ils continuent à se contaminer à travers l'alimentation, dans une zone qui est grande comme la Suisse à peu près. Donc, ces enfants viennent avec des contaminations importantes, nettement au-delà des 20 Bq par kilo de poids, que le professeur Bandajevsky avait mis comme limite pour l'impact sur la santé des enfants. Mais je reste au moins persuadé que le fait qu'ils viennent en France leur fait du bien. On le voit avec le recul qu'on a sur maintenant des enfants qui sont devenus adultes. Il y a aussi le moyen de faire de l'éducation sanitaire, le moyen de les aider. Donc, si vous avez le moindre doute sur l'effet bienfaisant des accueils que vous faites, j'essaye de vous l'enlever. Je pense qu'on peut dire que l'effet est bénéfique.

Ruth Stégassy

Merci beaucoup pour ces précisions. Il y a une dame qui voudrait intervenir mais il y aura le temps ce soir, après 16 h pour un débat plus long. ◆

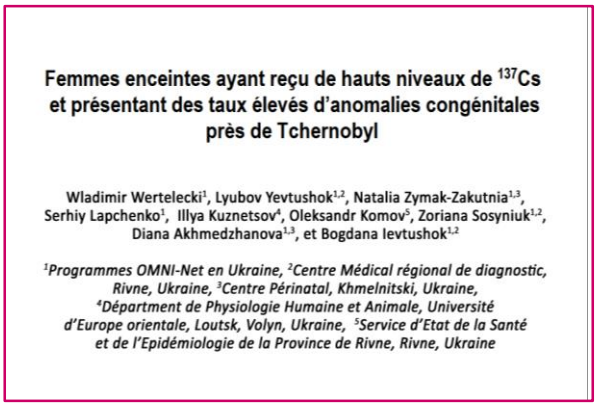
Femmes enceintes ayant reçu de hauts niveaux de ^{137}Cs et présentant des taux élevés d'anomalies congénitales près de Tchernobyl

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)*

Introduction *par* ***Ruth Stégassy***

Le ***Dr Wladimir Wertelecki*** *est président du Conseil des programmes de développement de l'enfant d'OMNI-Net en Ukraine, un groupe qui a mené des recherches approfondies sur les malformations congénitales dans la région de Polésie – province de Rivne – en Ukraine, une des régions les plus touchées par le désastre de Tchernobyl. Il 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'État de New York à Binghamton. Le Dr Wertelecki est né en Pologne et parle couramment les langues de la région touchée par le désastre de Tchernobyl de 1986. Il a fait ses études principalement en Suisse et en Argentine où il a obtenu son diplôme en médecine à l'université de Buenos Aires. Il a suivi une formation en pédiatrie à l'hôpital des enfants 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 de South Alabama 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 ainsi que sur la santé publique. Il a reçu de nombreux prix et il est l'auteur de plus de 250 articles et résumés.*

Présentation



Femmes enceintes ayant reçu de hauts niveaux de ^{137}Cs et présentant des taux élevés d'anomalies congénitales près de Tchernobyl

Wladimir Wertelecki[1], Lyubov Yevtushok[1,2], Natalia Zymak-Zakutnia[1,3], Serhiy Lapchenko[1], Illya Kuznetsov[4], Oleksandr Komov[5], Zoriana Sosyniuk[1,2], Diana Akhmedzhanova[1,3], et Bogdana Ievtushok[1,2]

[1]Programmes OMNI-Net en Ukraine, [2]Centre Médical régional de diagnostic, Rivne, Ukraine, [3]Centre Périnatal, Khmelnitski, Ukraine, [4]Département de Physiologie Humaine et Animale, Université d'Europe orientale, Loutsk, Volyn, Ukraine, [5]Service d'Etat de la Santé et de l'Epidémiologie de la Province de Rivne, Rivne, Ukraine

Définitions et abréviations

^{137}Cs ou césium 137 : parmi les plus abondants et les plus pratiques pour mesurer la matière radioactive (radionucléides) rejetée par les réactions atomiques en chaîne, ce nucléide est similaire au potassium, et donc a les mêmes caractéristiques d'incorporation et de fixation dans les tissus ;

^{90}Sr ou strontium 90 : un radionucléide fréquent libéré par les réactions atomiques en chaîne ; sa similitude avec le calcium favorise une fixation de longue durée sur les os et une concentration des dommages du RI sur les cellules de la moelle osseuse conduisant à la leucémie ;

AC : anomalies congénitales, comprenant en grande partie dans cette étude d'évidentes anomalies structurelles visibles par une échographie prénatale du fœtus ou par des examens cliniques de la naissance à un an ;

AIEA : Agence internationale de l'énergie atomique ;

AIRP : Association internationale de radioprotection ;

anencéphalie : une anomalie congénitale précoce du pôle rostral (céphalique) du tube neural dont proviennent, parmi d'autres, le cerveau et la rétine ;

anophtalmie : absence de globe oculaire ;

biota, biote : matière vivante ;

blastopathies : anomalies de l'œuf fertilisé avant son implantation dans l'utérus et le début du développement embryonnaire ;

blastula : le premier stade d'un œuf fertilisé ;

Bq ou becquerel : une unité de rayonnement qui mesure l'énergie libérée par la désintégration des atomes ;

carcinogène : voir le texte ;

CCE : comptage dans le corps entier du RI incorporé ; dans ce rapport, cette mesure s'applique seulement au ^{137}Cs ;

CDBA : Commission sur les dommages de la bombe atomique, établie par le gouvernement américain pour mener des études sur les impacts des explosions des bombes atomiques d'Hiroshima et Nagasaki ;

CN : centrale ou complexe d'énergie nucléaire qui en Ukraine inclut généralement une « ville de l'atome » ;

défauts du tube neural : anomalies résultant d'altérations du développement du tube neural duquel dérivent le cerveau et la moelle épinière ;

DTN : voir défauts du tube neural ;

épigénétiques : voir le texte ; processus qui se traduit par la modification de l'expression génique plutôt que par une altération du code génétique lui-même (per se) ;

hors P : représente les régions de Rivne, sauf sept districts classés en tant que Polésie ;

microcéphalie : taille de tête réduite, dans cette étude inférieure d'au moins deux écart-types en dessous de la moyenne pour le sexe et l'âge ;

microphtalmie : petits globes oculaires ;

M/M : microcéphalie et/ou microphtalmie ;

millisievert ou mSv : unité calculée ou estimation indirecte de l'impact biologique du rayonnement ionisant ;

mSv : voir millisievert ;

mutagène : voir le texte ;

OMS : Organisation mondiale de la santé ;

P ou Polésie ou marais de Pripiat : nom des plaines inondables de la rivière éponyme et de deux de ses affluents – les sols des sept districts de Polésie sont sableux, un facteur qui accroît le transfert des nucléides du sol vers la chaîne alimentaire ;

radionucléides : molécules chimiques qui contiennent des atomes instables (nucléides) qui se désintègrent et émettent de l'énergie, essentiellement du rayonnement ionisant ;

rayonnement ionisant ou RI : rayonnement avec une énergie suffisante qui, à l'impact avec la matière, peut libérer des électrons ou des molécules provoquant des charges électriques positives ou négatives désignées par le terme « ionisant » ;

spina bifida : une absence de fermeture des pôles distal ou caudal du tube neural – une anomalie grave qui conduit à une paralysie des membres inférieurs souvent compatible avec une survie ;

tératogène : voir texte ;

TSAF : troubles du spectre de l'alcoolisation fœtale ;

UNSCEAR : Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants.

Contexte

Tchernobyl

La catastrophe de 1986 à Tchernobyl a été rapidement suivie de l'implosion de l'Union Soviétique et de l'indépendance de l'Ukraine. La chute brutale des taux de naissance à Rivne est un indice révélateur de la profondeur des impacts sociaux de ces évènements sur la population de la province de Rivne, et jusqu'à présent ces taux restent au-dessous de ceux précédant la catastrophe de la centrale nucléaire (CN) Vladimir Lénine, discrètement rebaptisée Tchernobyl.

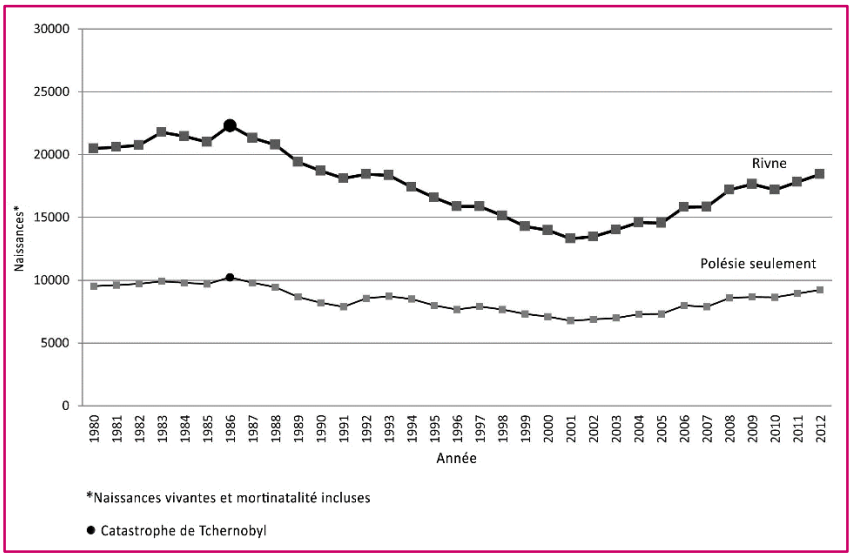


Figure 1. Taux de naissances à Rivne et dans la région de Polésie

Les experts de l'Union Soviétique et de l'AIEA (Agence internationale de l'énergie atomique) ont défini les régions les plus touchées par les retombées du rayonnement ionisant (RI) de Tchernobyl. Pour des raisons inconnues, la région de Polésie (P) de la province de Rivne en Ukraine a été ignorée. Cinq ans plus tard, en 1991, pendant les évènements qui ont atteint un sommet avec l'indépendance de l'Ukraine, cette erreur a été corrigée [décret 106, 1991]. Il est maintenant reconnu que la population de P fait partie de celles qui ont été le plus largement et le plus sévèrement exposées au RI de Tchernobyl en Ukraine [Likhtarev *et al.*, 1996, 2000 ; Zamostian *et al.*, 2002]. Il est aussi devenu évident, comme on le verra plus tard, que ces experts n'allaient pas vraiment concentrer leur attention sur les impacts du RI sur le développement de l'embryon humain. Pour traiter la question de l'effet du RI sur les résultats des grossesses, un groupe de médecins et de scientifiques partageant les mêmes idées ont créé un partenariat qui a évolué vers une organisation appelée OMNI-Net, maintenant enregistrée à Kiev, en Ukraine, en tant qu'entité internationale sans but lucratif [Wertelecki, 2006]. L'un des objectifs d'OMNI-Net est de soutenir des projets presque identiques à Rivne et dans deux provinces voisines : des registres sur chaque nouveau-né et chaque cas d'anomalie congénitale (AC) détectable visuellement. L'exposition prénatale à l'alcool et les troubles du spectre de l'alcoolisation fœtale (TSAF) ont été étudiés simultanément [Wertelecki, 2006 ; Mattson *et al.*, 2010 ; Wertelecki *et al.*, 2014].

La Polésie et les Politchouki de Rivne

Figure 2. Les basses terres de Polésie conviennent à un mode de vie isolé et les sols sont pauvres en minéraux

Presque la moitié de la population de Rivne vit dans les marais de P ou marais de Pripiat, qui sont les plaines inondables de la rivière Pripiat et de ses affluents coulant à travers les basses terres de P (Figures 2, 3 et 4).

Figure 3. Carte schématique des régions touchées par Tchernobyl en Ukraine et dans la province de Rivne.

Parmi les Politchouki, des taux élevés de noms de famille identiques signalent une forte endogamie qui se concrétise par un taux élevé de consanguinité des futures épouses [Colantonio *et al.*, 2003]. Les expositions externes au RI en P sont minimes. Les expositions internes se font essentiellement par inhalation et ingestion. Il est peu probable que les expositions au RI en P fréquemment publiées, habituellement établies sur les données alimentaires fiables relevées dans d'autres régions, ne soient pas pertinentes, au vu des conditions sociales autant que des caractéristiques du sol en P. Les terres humides et marécageuses de P sont associées à l'indice de transfert le plus élevé de césium 137 (^{137}Cs) du sol du biote d'Ukraine. Des recherches préliminaires en P ont montré que l'ingestion quotidienne de ^{137}Cs par les femmes enceintes dépasse les limites de sécurité quotidienne fixées par les autorités ukrainiennes respectivement à 3 700 Bq (becquerels) pour les enfants de moins de 14 ans et 14 800 Bq au-dessus [Dancause *et al.*, 2010]. Depuis 1986, la population indigène isolée de P est toujours exposée à l'air, la fumée et l'eau pollués par le RI.

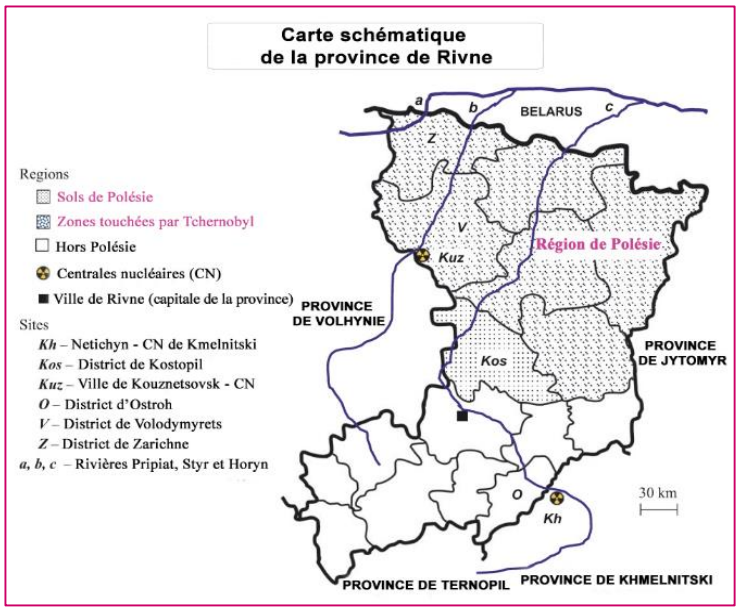


Figure 4. Carte schématique de la province de Rivne, des sols de Polésie, des districts touchés par Tchernobyl et localisation de deux centrales nucléaires.

En outre, les Politchouki et leurs enfants n'ont pratiquement pas d'alternative que de consommer l'eau tirée de puits peu profonds et une

nourriture produite localement, polluées par le RI. La fumée des écobuages, des feux de forêts et du bois brûlé pour la cuisine et le chauffage est clairement évidente en P. La fumée est un facteur qui mobilise le RI et ses dépôts modifient la distribution de RI dans les sols. En P, environ 67% des ménages brûlent du bois local pour la cuisine et le chauffage. La fumée radioactive est inhalée par les adultes et leurs enfants. Les familles utilisent aussi la cendre de bois comme engrais dans leurs jardins, ce qui concentre le ^{137}Cs dans ces sols et dans les aliments cultivés dans les jardins ou localement, que mangeront la famille et les animaux domestiques. Pendant les moissons, les femmes, dont beaucoup sont enceintes, doivent brûler les chaumes, ce qui mobilise les radionucléides, qui sont alors inhalés avec la fumée. Les tiges des pommes de terre plantées en P et soumises à l'écobuage contiennent aussi bien du ^{137}Cs que du strontium 90 (^{90}Sr). Pratiquement tous les nourrissons nés en P sont exposés au ^{137}Cs depuis leur conception.

Études précédentes

La plupart des recherches sur les impacts sur la santé des RI de Tchernobyl en Ukraine et ailleurs se sont concentrées sur les adultes et sur leurs risques aggravés de cancer. Les recherches indépendantes d'AC de la population sont rares. EUROCAT, un consortium de systèmes de surveillance continue d'AC en Europe, a mené des études parmi les populations vivant dans des régions européennes éloignées du site de Tchernobyl. Les résultats n'ont pas montré un impact des retombées de Tchernobyl sur les taux d'AC dans les régions éloignées de la catastrophe [Dolk & Nichols, 1999]. De nombreuses autres études sur des séries relativement petites de malades ont montré des augmentations de taux d'AC, en particulier des défauts du tube neural (DTN), mais elles ont été négligées ou largement ignorées pour toutes sortes de raisons. Nous ne sommes pas au courant d'autres grandes études indépendantes à long terme sur les taux d'AC des populations vivant à une proximité relative du site de Tchernobyl.

Notions inhérentes aux termes tératogène, mutagène et carcinogène

La notion « tératogène », selon son utilisation dans ce rapport, a été consolidée après les calamités de Hiroshima et Nagasaki, qui ont été suivies, quelques années plus tard, d'une épidémie de rubéole à grande échelle et d'une commercialisation agressive de thalidomide. Il est devenu évident que rubéole et thalidomide étaient associées aux groupes d'AC caractéristiques, appelés la « fœtopathie de la rubéole » et la « fœtopathie de la thalidomide ». Il est aussi devenu évident que la rubéole prénatale ou les impacts de la thalidomide n'étaient ni « génétiques » ni « carcinogènes » par nature.

Du fait que le RI provoque aussi des AC caractéristiques, telles que, parmi d'autres, la microcéphalie et les cataractes et aussi des mutations génomiques et des cancers, on pourrait conclure que le RI est tératogène, mutagène et carcinogène. Après ces calamités fondatrices, il est devenu clair que beaucoup de médicaments et d'agents tels que l'alcool sont tératogènes, mais ne provoquent pas d'altérations « génétiques » telles les mutations du gène ou les carcinogenèses.

Les mutagènes, pour les définir brièvement, sont des agents qui altèrent le code génétique des cellules, contribuant à la mort de la cellule, aux altérations tératogènes, à la stérilité, aux désordres héréditaires et parfois à la carcinogenèse.

Une autre perspective est rapidement survenue sous le terme éponyme « Épi-Génétique ». Par essence, dans le contexte des impacts du RI, cette notion concerne les altérations héréditaires qui ne sont pas dues aux mutations du code génétique mais qui reflètent les impacts sur les mécanismes de régulation de l'expression des gènes.

On peut soutenir qu'il n'est pas tenu pour acquis que les impacts tératogènes, mutagènes et épigénétiques dus aux expositions externes, aigues, intenses et brèves au RI à Hiroshima et Nagasaki soient équivalents ou même similaires à ceux de Rivne, comme le laissent entendre les affirmations de l'AIEA, en accord avec l'OMS (Organisation mondiale de la santé). Comme nous le préciserons

plus tard, ces organismes affirment que les expositions à Rivne sont trop faibles pour créer des impacts détectables dans les taux d'AC. Indépendamment de telles extrapolations d'Hiroshima et Nagasaki à Tchernobyl et plus récemment à Fukushima Daiichi, les taux d'AC à Rivne sont parmi les plus élevés d'Europe. En ce qui concerne les nucléides rejetés par l'explosion de Tchernobyl, leur variété et la diversité de leur nature chimique se traduisent par une variété de modes d'incorporation chez les femmes enceintes et leurs embryons. À Hiroshima et Nagasaki, il s'agissait d'expositions externes, souvent intenses et brèves. A Rivne, le RI est chronique, de faible intensité en général ou de forte intensité sur certains embryons en particulier. De plus, la sensibilité des tissus embryonnaires au RI tératogène est variable selon leur stade de développement. Depuis leur propre conception, pratiquement toutes les femmes enceintes nées en P après la catastrophe de Tchernobyl en 1986 sont exposées aux nucléides ainsi que tous leurs embryons.

Introduction

La catastrophe de Tchernobyl en 1986 fait partie des plus grands désastres commis par l'homme et le rejet de rayonnement ionisant (RI) continue à avoir des impacts négatifs sur l'intégrité écologique, le bien-être et la santé des êtres humains dans de vastes régions d'Europe. L'étendue et les impacts de la catastrophe de Fukushima Daiichi au Japon sont aussi énormes. Les observations rapportées ici sont probablement applicables, au moins en partie, aux études des impacts du RI au Japon.

La plupart des recherches sur les impacts du RI de Tchernobyl, y compris ce rapport, se limitent aux mesures du ^{137}Cs. Les impacts du RI venant d'autres nucléides restent très largement non pris en compte. Ce déficit est illustré par notre observation des niveaux significatifs du ^{90}Sr dans les tiges de pommes de terre en P. La potentialité des rejets de nucléides par deux CN à proximité des habitants de Rivne est aussi un facteur à prendre en compte (Figures 1 et 2).

Un autre tératogène très répandu à Rivne en plus du RI est l'alcool. Nous menons une enquête – toujours en cours – sur la consommation d'alcool par les mères et son impact sur le développement de l'embryon [Wertelecki *et al.*, 2014].

Le programme de suivi des AC à Rivne est un partenaire à part entière d'EUROCAT, un réseau de programmes qui partage des objectifs et des méthodologies [EUROCAT, Guide 1.4 et documents de référence, 2013]. Ce réseau facilite les comparaisons des types et des taux d'AC à Rivne avec ceux trouvés ailleurs en Europe.

Méthodes et population

Pour évaluer les expositions au RI, nous avons calculé des comptages corps-entier (CCE) en becquerels (Bq) émanant du ^{137}Cs incorporé. Nous avons analysé 44 438 CCE obtenus entre 2001 et 2013 de patients en consultation externe à l'hôpital, qui se sont portés volontaires. Ce groupe comprend des personnes d'au moins 20 ans et des femmes enceintes de tout âge. Il y avait 6 425 femmes enceintes de tout âge dont on connaissait le poids. En Ukraine, les normes officielles supérieures pour le CCE sont respectivement de 3 700 Bq (becquerels) pour les enfants de moins de 14 ans et de 14 800 Bq pour les adultes. Une information complémentaire sur ce sujet est donnée dans le tableau 1.

Un suivi des AC a été lancé en 2000. Chaque enfant né à Rivne et ceux qui ont des AC évidentes à la naissance ou au cours de leur première année sont répertoriés dans un registre néonatal et si nécessaire dans le registre des AC.

Les comptages corps-entier de ^{137}Cs incorporé ont été obtenus par un seul dispositif, un spectromètre incorporé dans une chaise et calibré annuellement par le Centre de Métrologie de Kiev, les méthodes d'enregistrement ayant été définies par l'Institut d'écologie de Kiev [SVITCH-M3 "SKRINNER" Manuel, 1992] ; les comptages ont été enregistrés en Bq total, les relevés au-dessous de la limite de détection de 100 Bq ont été exclus des

analyses, des mesures répétées sur quelques personnes ont été retenues.

Les analyses des mesures d'irradiation CCE et des taux d'AC ont été axées sur la détermination de contrastes entre ceux de P et ceux de Rivne ou hors de Polésie (hors-P). Des analyses complémentaires se sont concentrées sur deux districts proches des centrales nucléaires (CN). Le premier est le district de Volodymyrets en P qui comprend la ville de Kouznetsovsk, un composant intégral de la CN de Rivne. Le second est le district d'Ostroh, hors-P, adjacent à la CN de Khmelnitski. D'autres descriptions d'analyses CCE sont données ailleurs (articles dans la presse).

Figure 5.Anomalies précoces ou blastopathies (se produisant avant l'implantation de l'œuf fertilisé ou au début de l'embryogénèse). Jumeaux siamois (à gauche) ; tératome sacral (en haut au centre), anencéphalie (en bas au centre) ; et une association anencéphalie – iniencéphalie – omphalocèle (en bas à droite). Ces blastopathies sont plus fréquentes chez les filles (voir texte).

Le suivi, la classification et la codification des anomalies congénitales basées sur la population sont conformes aux méthodes développées par EUROCAT [Guide EUROCAT, 2013]. Chaque nourrisson né à Rivne est répertorié dans un registre néonatal et les AC détectées parmi les mort-nés ou parmi les nourrissons vivants, avant l'âge d'un an, sont répertoriées dans un registre séparé. La catégorie microcéphalie comprend des cas de circonférences occipito-frontales à la naissance inférieures à la normale pour l'âge et le sexe d'au moins trois fois l'écart-type et exclut les cas d'holoprosencéphalie. La microphtalmie et l'anophtalmie sont répertoriées ensemble. Les cas de syndrome de Down comprennent des personnes diagnostiquées uniquement médicalement. Les taux basés sur la population sont calculés pour 10 000 naissances vivantes dont les AC ont été détectées au stade prénatal ou avant l'âge d'un an. Enfin, le logiciel statistique R [http://www.r-project.org/] a été utilisé pour les analyses et les graphiques.

Résultats

Comptages corps-entier

Le nombre et le lieu de résidence des personnes qui ont été répertoriées pour les CCE se trouvent dans le Tableau 1.

Tableau 1.Comptages de ^{137}Cs corps entier (CCE) dans les régions de Rivne

Catégorie	Polésie	Hors Polésie	Ville de Kouznetsovsk	District[4]de Volodymyrets	District d'Ostroh
CCE (≥100 Bq ^{137}Cs)					
Nombre de Garçons[1] (2001-2013)	6520	3266	825	432	268
Médiane Bq	1516	379	1250	2918	307
Moyenne Bq	2663	519	1391	3414	413
Nombre de Filles[2] (2001-2013)	23628	11024	2013	2163	1207
Médiane Bq	1486	404	1117	2425	341
Moyenne Bq	2352	523	1164	2918[5]	493
Femmes enceintes[3] (2011-2013)	3865	2560	90	507	377
Médiane Bq	1942	594	1428	2197	507
Moyenne Bq	2655	744	1460	2533	703

(1) Ayant au moins 20 ans ; (2) y compris les femmes d'au moins 20 ans et celles de tout âge ; (3) femmes enceintes dont le poids est connu ; (4) sauf la ville de Kouznetsovsk ; (5) la moyenne CCE de tout le comté est de 2,072

Les CCE des hommes sont plus élevés que ceux des femmes en général. Le poids des femmes d'âge équivalent sont semblables en Polésie et hors Polésie. Bien que les moyennes de CCE en Polésie et hors Polésie divergent significativement, l'éventail est presque le même à l'intérieur de chaque territoire (P et hors P). Les CCE des femmes enceintes sont plus élevés que ceux des femmes en général et s'approchent souvent ou dépassent ceux des hommes. Les CCE du district de Volodymyrets sont parmi les plus élevés de Polésie et ceux d'Ostroh, hors Polésie, sont les plus bas de Rivne. Dans la ville de Kouznetsovsk, du district de Volodymyrets, la moyenne des

CCE des hommes, des femmes et des femmes enceintes est bien plus basse que dans le reste de ce district. Une régression de Poisson de toutes les données CCE du district de Volodymyrets, avec un codage fictif pour la ville de Kouznetsovsk, fournit une moyenne CCE significativement plus basse de 60% à Kouznetsovsk que dans le reste du district de Volodymyrets (P<0,0001) (Tableau 1).

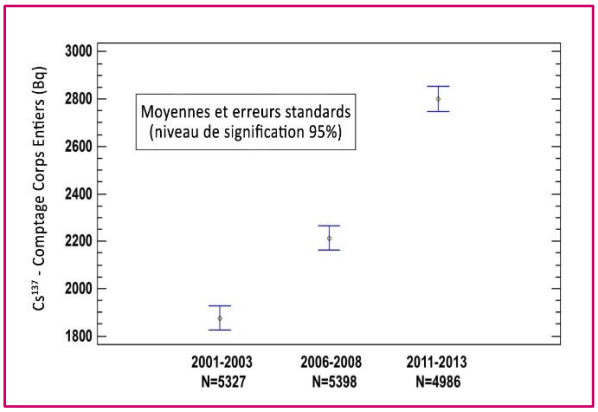


Figure 6. Tendances temporelles des comptages de ^{137}Cs corps entier de femmes résidant en Polésie

De 2001 à 2013, les CCE des femmes en P et hors-P ont montré de grandes différences. Chez les femmes de P et hors-P, les moyennes des CCE étaient respectivement de 2 352 et 523 Bq. Il existe aussi une augmentation temporelle statistiquement significative en Polésie (P<0,0001) montrée dans la figure ci-dessus et une augmentation non significative statistiquement hors-Polésie (P=0,09, non illustrée).

La charge corporelle en ^{137}Cs des femmes enceintes en 2001-2013 a été déterminée à parmi de mesures CCE et de poids (kg) en Polésie (N=3 865) et hors Polésie (N=2 560). En P, l'activité spécifique variait de 1,4 à 629 Bq/kg avec une valeur moyenne de 40,4 Bq/kg. Pour déterminer la tendance temporelle, on a utilisé une régression de Poisson. La charge moyenne de césium a augmenté de 6,3 ± 1.8% par an (P=0,0006). Hors-P, l'activité spécifique variait de 0,9 à 207 Bq/kg avec une valeur moyenne de 11,3 Bq/kg et la moyenne a baissé de 15 ± 2% par an (P<0,0001). D'autres analyses de CCE sont disponibles sur demande.

Taux d'anomalies congénitales

Le nombre de naissances vivantes et le nombre de personnes ayant des AC et les taux correspondants sont présentés dans le Tableau 2. Les taux de DTN et de microcéphalie/microphthalmie (M/M) en P étaient respectivement de 24,1 et 17,5 et 8,6 et 5,2, un contraste statistiquement significatif (respectivement, P=0,0014 et P=0,005). Cette différence a persisté dans le temps.

Tableau 2. Nombre et taux d'anomalies congénitales en Polésie

Catégorie	Polésie		Hors Polésie		District de Volodymyrets(1)		District d'Ostroh	
Naissances vivantes (2000-2012)	98069		99429		21671		5636	
Anomalies congénitales	N	Taux	N	Taux	N	Taux	N	Taux
NTD(2)	236	24.1	174	17.5	57	26.3	18	31.9
M/M(3)	84	8.6	52	5.2	23	10.6	6	10.6
Fente labiale a/s palatine(4)	97	9.9	108	10.9	21	9.7	10	17.7
Syndrome de Down(4)	156	15.9	142	14.3	33	15.2	6	10.6

Abréviations : DTN, défauts du tube neural ; M/M, microcéphalie et/ou microphtalmie ; a/s, avec ou sans ;
(1) y compris la ville de Kouznetsovsk ;
(2) y compris une personne avec M/M du district de Volodymyrets en Polésie ;
(3) hors 8 personnes avec une holoprosencéphalie et en incluant 6 personnes de Polésie avec une fente labiale (avec ou sans fente palatine) et 3 hors de Polésie, dont l'une vient du district d'Ostroh ;
(4) y compris des personnes avec DTN ou M/M mentionnées ci-dessus.

Pour d'autres analyses statistiques, les cas de DTN et de M/M ont été mis en commun. Une régression logistique sur le niveau dans un district (7 districts en Polésie et 9 hors Polésie) a été faite pour vérifier la dépendance des taux de malformations aux CCE. Un codage fictif a été utilisé pour tester toute différence systématique dans les taux entre Polésie et hors Polésie. On a aussi vérifié de possibles dépassements de taux dans les deux districts proches de CN, Volodymyrets en Polésie et Ostroh hors-Polésie, par rapport aux taux respectifs de ces régions. Un dépassement fortement significatif de 58% a été trouvé en Polésie par rapport aux régions hors-Polésie (P=0,0004). Nous avons aussi remarqué que, dans le district d'Ostroh, le taux de DTN – M/M dépassait de 82% celui du reste des zones hors-Polésie (P=0,0007). En fait, c'est le taux le plus élevé de la province de Rivne. On ne trouve aucun écart dans le district de Volodymyrets par rapport au taux attendu en Polésie.

D'autres résultats de CCE sont disponibles sur demande auprès des auteurs.

Tableau 3. Tendances temporelles des défauts du tube neural et des microcéphalies / microphthalmies dans les régions de Rivne

Catégorie	Polésie		Hors-Polésie	
	DTN	M/M	DTN	M/M
2000-4	29,1	7,1	18,4	3,9
2000-6	27,2	6,7	18,7	3,0
2000-9	26,1	8,6	16,4	4,1
2000-11	24,6	8,5	17,1	5,1

Taux pour 10 000 naissances vivantes

Abréviations : M/M, microcéphalie et/ou microphthalmie ; DTN, défauts du tube neural

Le tableau 4 montre les proportions hommes/femmes chez les personnes atteintes de blastopathies.

Comme d'autres observations de ces AC relativement rares s'accumulent, des analyses statistiques vont devenir possibles.

Tableau 4. Prévalence des filles parmi les blastopathies à Rivne (2000 – 2009)

Catégories	N	Sexe		
		M	F	M/F
Naissances vivantes	145 437	75 292	70 117	1,07
Défauts du tube neural (DTN)	309	114	129	0,88
Microcéphalie	68	32	36	0,89
Isolée	22	6	16	0,38
Microphthalmie	24	11	13	0,85
Jumeaux siamois	7	1	4	0,25
Tératomes	10	1	6	0,17
Sacro-coccygiens	9	1	5	0,20

Une étude de la circonférence de la tête à la naissance montre des réductions statistiquement significatives chez les garçons et les filles nés dans le district de Zarichne en Polésie par rapport aux nouveau-nés de la ville de Rivne hors Polésie. Une enquête ultérieure a montré un contraste similaire parmi les nourrissons garçons et filles nés dans le district de Volodymyrets en Polésie par rapport à ceux qui étaient nés dans les autres districts hors Polésie [Wang & Wertelecki, 2013 ; Wertelecki *et al.*, 2014].

(Figure 7, page suivante)

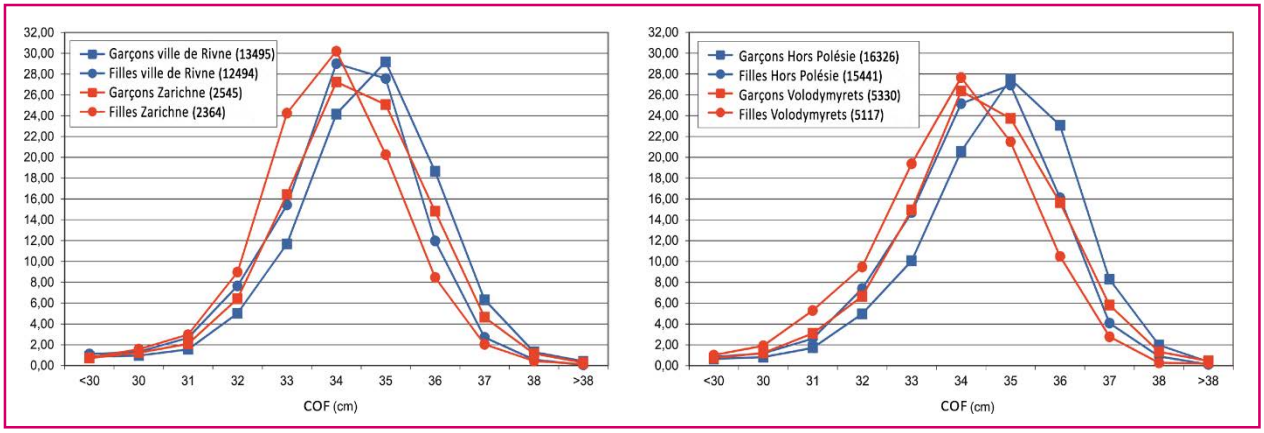


Figure 7. Comparaison, à la naissance, de la circonférence occipito-frontale entre des nourrissons du district de Zarichne en Polésie et ceux de la ville de Rivne hors Polésie ; et entre des nourrissons du district de Volodymyrets en Polésie et des enfants conçus dans neuf districts hors de Polésie de 2000 à 2009 (Polésie vs Hors-Polésie P<0.01, données non publiées)

Débat

Hiroshima-Nagasaki et Tchernobyl

Avant Tchernobyl, le plus grand nombre de personnes touchées par le RI étaient les habitants des villes d'Hiroshima et de Nagasaki au Japon. Comme mentionné précédemment, à Hiroshima et Nagasaki, il s'agissait d'expositions externes, intenses et brèves et la radioactivité résiduelle était tenue pour négligeable. A l'opposé, celles de Rivne sont internes, chroniques et caractérisées par les organismes officiels comme de faible intensité. Cependant, l'assimilation de nucléides incorporés dans certains tissus embryonnaires peut s'y concentrer, ce qui est le cas pour de fortes concentrations d'iode radioactif sur la thyroïde ou de ^{90}Sr sur les tissus embryonnaires du squelette. Les conséquences graves telles que le carcinome de la thyroïde et la leucémie infantile en sont des exemples bien connus. Comme développé plus loin, les experts et les responsables de l'AIEA et de l'OMS ne prennent absolument pas en compte le fait que le RI de Tchernobyl puisse être la cause de très nombreuses AC, parce que les expositions sont trop faibles comparées à celles d'Hiroshima et de Nagasaki.

Après les explosions atomiques d'Hiroshima et Nagasaki, les États-Unis ont créé la Commission sur les dommages de la bombe atomique (CDBA) pour sponsoriser et coordonner les recherches sur les impacts sanitaires du RI sur les survivants exposés et leurs enfants. Nous ne connaissons qu'une seule étude d'enfants exposés *in utero* – les résultats n'étaient pas concluants, en grande partie à cause du nombre limité de sujets et des conditions difficiles qui ont suivi la déflagration des bombes atomiques [Plummer, 1952]. Une recherche plus étendue s'est concentrée sur les enfants non exposés *in utero,* correctement résumée dans le rapport détaillé : « Les enfants de survivants de la bombe atomique – une étude génétique ». Parmi 14 768 nourrissons d'Hiroshima et 12 234 de Nagasaki, 165 et 154 avaient des AC, alors que parmi les 49 645 naissances observées entre 1922 et 1940 à la maternité de l'hôpital de la Croix-Rouge de Tokyo, 456 présentaient des AC. [Neels & Schull, Tableaux 8.2 et 8.3, 1991]. Étant donné la nature différente des deux cohortes d'enfants, on ne peut tirer aucune conclusion en ce qui concerne les taux ou les types d'AC. La principale conclusion était que « (…) la fréquence des malformations (…) ne révèle aucun effet significatif résultant de l'exposition des parents » (page 117). Cette conclusion est souvent extrapolée pour corroborer les assertions de l'AIEA et l'OMS qui mettent implicitement sur le même plan l'irradiation interne et externe par le RI ainsi que les distinctions entre les impacts tératogènes et mutagènes.

Les recherches subventionnées par la CDBA ont clairement montré une association des expositions externes au RI avec la microcéphalie et la réduction des facultés mentales [Neel, 1958, 1994 ; Otake & Schull, 1984 ; Schull & Otake, 1999 ; Wood *et al.*, 1967a, 1967b, 1967c ; Miller & Blot, 1972].

A Rivne, l'impact du RI sur la santé humaine émanait des radionucléides incorporés par les personnes et les couples « mère-embryon ». Les premières études sur le RI de Tchernobyl, dont la nôtre, reposent seulement sur les mesures de ^{137}Cs. Les mesures d'autres radionucléides sont techniquement et financièrement plus lourdes. Comme indiqué précédemment, la nature chimique des radionucléides détermine leur impact sur les sites embryonnaires, où la sensibilité et la régénération-réparation des dégâts du RI varient avec le développement de l'embryon. Comparés aux adultes, le fœtus humain et les enfants restent largement plus sensibles aux impacts du RI, spécialement pendant les périodes de croissance rapide des tissus. Les premiers impacts de blastogénèse pourraient peut-être interrompre la formation axiale du corps, ce que l'on retrouve dans les jumeaux siamois, une anomalie rencontrée assez fréquemment en P, un sujet examiné plus loin.

Après Hiroshima et Nagasaki

Une étude officielle sur les malformations congénitales en Bavière, la région d'Allemgne la plus touchée par les retombées de Tchernobyl, n'a relevé aucune augmentation du taux des malformations après Tchernobyl [Schoetzau *et al.*, 1994]. Mais une analyse de la prévalence des malformations à la naissance (1984-1991), en fonction de la charge corporelle de ^{137}Cs, « approximée » par le niveau moyen de contamination au césium du sol du district multiplié par la tendance à la concentration (calculée) du césium chez les femmes enceintes, a révélé une association significative lors de l'utilisation d'un modèle de tendance linéaire-quadratique, avec une pente négative pour de faibles valeurs de césium et une augmentation forte lorsqu'elles sont élevées. Les chercheurs ont aussi précisé que les résultats devaient être interprétés avec précaution, puisque cette analyse était menée en tant qu'étude d'observation exploratoire [Kuchenhoff *et al.*, 2004].

Dans le contexte européen, les taux de DTN et de M/M en P sont en permanence parmi les plus élevés transmis à EUROCAT [Wertelecki *et al.*, 2014]. Après la Polésie, les taux les plus élevés de DTN et de M/M en Europe sont relevés dans les régions du Nord de la Grande Bretagne, connues pour avoir été plus sévèrement touchées par le RI de Tchernobyl que le reste du pays (Figure 8).

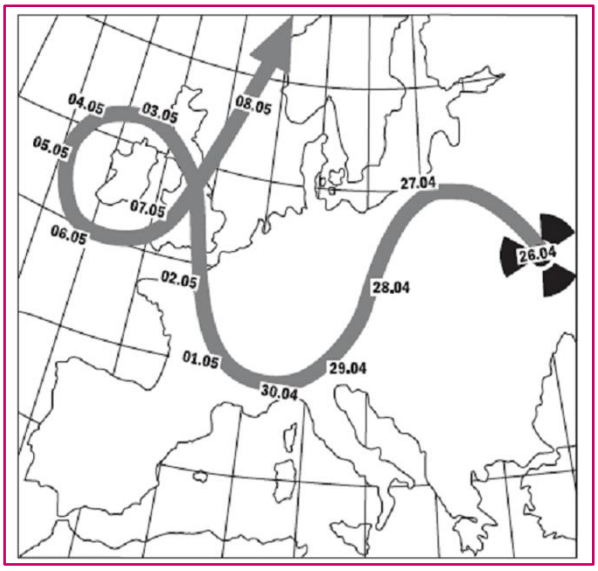


Figure 8. Le passage d'un nuage radioactif de Tchernobyl au-dessus de l'Europe du 27 avril au début mai 1986 [Yablokov & Nesterenko, 2009]

Le complexe nucléaire de Sellafield se trouve également dans cette région, où une recherche montrait des taux élevés de DTN [Parker *et al.,* 1999]. De telles observations peuvent être fortuites, mais il est imprudent de les négliger. Les études de suivi d'EUROCAT peuvent clarifier la pertinence de ces types d'AC.

Les Centres pour le contrôle et la prévention des maladies (CDCPM) aux États-Unis ont sponsorisé deux études dans la proximité du groupe de CN d'Hanford (État de Washington) pour déterminer les taux et les types d'AC. Les résultats des deux études ont montré une augmentation des taux de DTN. Cependant, bien que les chercheurs aient trouvé que les études étaient scientifiquement valables, ils ont refusé de tenir compte de leur importance, parce que les résultats contredisaient ceux remis à la CDBA et diffusés par l'AIEA et l'OMS [Sever *et al.*,1988a, 1988b]. Il est intéressant de noter que de récents rapports sur des groupes de DTN à proximité du site de Hanford ont déclenché une nouvelle étude des CDCPM [Centres pour le contrôle et la prévention des maladies, 2013].

Tableau 5. Taux[a] de malformations neurales et autres dans le district de Polésie et les autres districts de la province de Rivne (Ukraine) et dans d'autres régions européennes

Catégories[b]	Naissances	DTN	MIC	mOPH	FL/P	SD
Polésie (2000-2011)	*89 680*	***24,42 (49)[d]***	***6,24***	***3,35***	*10,04*	*15,05*
Hors-Polésie (2000-2011)	*90 879*	*16,95 (68)*	*4,40*	*1,10*	*10,89*	*14.19*
Registres EUROCAT (2005-2011)[c]						
ROYAUME UNI (RU)						
Nord de l'Angleterre	23 3134	**14,41 (79)**	1,46	0,73	10,90	22,86
Pays-de-Galles	24 3992	14,02 (82)	**4,75**	**1,52**	10,94	22,91
Est Midlands & Sud Yorkshire	510 172	11,92 (76)	0,92	0,33	8,96	19,25
Vallée de la Tamise	209 508	11,41 (83)	1,00	0,76	9,07	27,45
Wessex	206 120	11,30 (90)	1,31	0,63	10,96	27,70
Sud-Ouest de l'Angleterre	343 636	11,09 (83)	4,51	1,08	8,79	27,97
EUROPE CONTINENTALE						
Paris (France)	187 658	12,26 (87)	2,61	1,07	7,99	**43,06**
Pays Basque (Espagne)	145 543	10,72 (87)	3,78	1,37	5,57	34,08
Norvège	425 676	9,44 (74)	0,52	0,70	12,4	19,52
Neuf autres–taux les plus élevés[a]		9,16 (56)	4,11	1,28	**13,18**	24,04

*(a) **En gras**, taux les plus élevés pour 10 000 naissances [pour plus d'informations, voir Wertelecki et al., 2014] ;*
(b) Abréviations : FL/P, fente labiale avec/sans fente palatine ; SD, syndrome de Down ; EUROCAT, Surveillance épidémiologique Européenne des Anomalies Congénitales ; MIC, microcéphalie ; mOPH, microphthalmie ; DTN, défauts du tube neural ;
(c) EUROCAT publie de temps en temps des mises à jour de données, les dernières données analysées ont été accessibles le 25 décembre 2013 ;
(d) Pourcentage d'interruptions de grossesse.

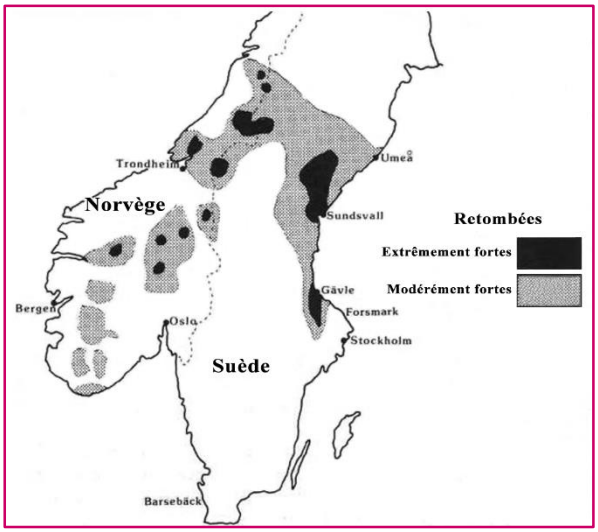


Figure 9. Configuration des retombées.de Tchernobyl en Suède et en Norvège [Almond et al., 2009]

Deux études indépendantes menées sur les enfants des régions du centre de la Norvège et de la Suède ont montré que ceux qui avaient été exposés *in utero* aux retombées de Tchernobyl avaient des facultés mentales amoindries à l'adolescence. Ces observations concordent avec les recherches financées par la CDBA, qui démontraient une association des expositions au RI avec les déficiences intellectuelles. Les études financées par la CDBA ont aussi montré une association du RI à la microcéphalie, ce qui est en accord avec nos observations en P [Almond *et al.*, 2009 ; Heiervang *et al.*, 2010 ; Schull & Otake, 1999].

Outre la microcéphalie, nous avons aussi noté une légère réduction, à la naissance, des circonférences occipito-frontales chez les nourrissons dont la

gestation a eu lieu dans deux districts de P. Ces observations doivent être confirmées par des recherches complémentaires.

Concernant l'Europe, des zones des îles Britanniques présentent des taux élevés et concordants de blastopathies, semblables à celles de P, ce qui attire l'attention. Il reste à rechercher si ces configurations sont associées à des expositions plus fortes aux RI ou à d'autres tératogènes.

Polésie et radionucléides

L'isolation géographique et les contrastes en matière d'écologie, de traditions, de langage ainsi que la contamination par le RI de Tchernobyl rendent la population indigène de P distincte des autres populations de l'Ukraine [Dancause *et al.*, 2010].

Les analyses de CCE montrent que les niveaux de ^{137}Cs incorporés par les hommes et les femmes et les femmes enceintes vivant en P sont cohérents avec la caractérisation officielle de P comme territoire significativement touché par le RI de Tchernobyl. Les analyses CCE montrent aussi des taux plus élevés chez les hommes que chez les femmes mais ceux des femmes enceintes approchent ou peuvent dépasser, ceux des hommes. Ceci est probablement à mettre en relation avec l'augmentation de poids durant la grossesse. Nous notons aussi que, depuis 2001, le CCE moyen des femmes s'est régulièrement et fortement élevé. Il est peu probable que cette croissance reflète la bioconcentration humaine en ^{137}Cs puisqu'on ne peut l'associer à l'âge et au gain de poids correspondant. En revanche, peut-être que la croissance avec le temps du CCE est liée à celle de la bioconcentration des radionucléides dans la nourriture produite sur place, que les populations essentiellement rurales de Polésie continuent de consommer.

La ville de Kouznetsovsk dans le district de Volodymyrets en P présente un intérêt particulier. Cette ville s'est développée comme un composant de la CN locale. Le CCE moyen des personnes des deux sexes et des femmes enceintes y sont nettement plus faibles que ceux des individus vivant dans le reste du district de Volodymyrets. Cette différence est probablement révélatrice du fait que la nourriture consommée à Kouznetsovsk est en grande partie importée et contient peu ou pas de ^{137}Cs. Cette hypothèse est cohérente avec les observations faites au Japon qui ont montré une diminution rapide du ^{137}Cs des CCE quand les régimes alimentaires excluaient les comestibles contaminés [Tsubokura *et al.*, 2014]. De plus, les analyses en cours d'échantillons de lait venant des marchés de Kouznetsovsk confirment que les niveaux de ^{137}Cs sont près de quatre fois plus faibles que dans les échantillons de lait produit localement par les familles rurales.

Le district d'Ostroh est aussi voisin de la CN de Khmelnitski. Toutefois, à l'opposé du district de Volodymyrets, les relevés des CCE de ^{137}Cs du district d'Ostroh sont parmi les plus bas de Rivne alors que les taux de DTN et M/M sont les plus élevés de Rivne, même plus hauts que ceux des districts de P. D'autre part, dans les districts de Volodymyrets et d'Ostroh, les taux des deux AC sentinelles sont semblables à ceux constatés en P, hors de P et en Europe en général (Tableaux 2 et 5).

Les populations des districts de Volodymyrets et Ostroh ne sont évidemment pas différentes de celles des autres districts de leurs régions respectives (P et hors P) sauf qu'elles vivent à proximité de CN. La possibilité d'une fuite de RI venant de ces CN est suggérée par les études sur le tritium dans les eaux de la rivière Pripiat en amont du site de Tchernobyl. Les études de Gudkov et Kuzmenko |Gudkov & Kuzmenko, 1996, 1997] montraient des niveaux élevés de tritium et concluaient que la source probable en était les écoulements des CN de Kouznetsovsk et Khmelnitski dans les affluents de la rivière Pripiat qui traversent la P (Figure 4). Dans le contexte global de nos études, il devient urgent d'engager des recherches sur la pollution au tritium des eaux consommées par les populations de P et du district d'Ostroh.

Radionucléides, blastopathies et prévalence chez les femmes

Il est en général admis que les AC résultent d'interactions « multi-factorielles » de processus tératogènes et de régénération-réparation. On sait que le RI est une cause d'anencéphalie, de microcéphalie, de microphtalmie et d'autres anomalies des systèmes neuraux et d'autres systèmes de développement. On a aussi montré que la destruction des neurones par le RI au début de l'embryogénèse était suivie d'une

récupération totale ou quasi totale [D'Amato, 1982]. On sait aussi que l'alcool peut intervenir dans le métabolisme des folates et que les apports d'acide folique réduisent mais ne suppriment pas entièrement l'apparition de DTN. Ces exemples suffisent pour conclure qu'il est particulièrement intéressant d'établir dans quelle mesure les apports d'acide folique réduiront les taux de DTN en P comparée à hors-P, ce qui pourra aider à définir les similitudes ou les différences attribuables à leur pathogénèse ou leur étiologie.

La CIPR (Commission internationale de protection radiologique), après examen des effets d'une irradiation prénatale sur le développement de l'embryon, affirme qu'« il n'y a aucune donnée sur l'homme disponible pour ces paramètres (...) et que les souris femelles ont une radio-sensibilité plus élevée » [Valentin, 2003, page 7]. Dans un rapport complémentaire, nous trouvons aussi une prévalence marquée des femmes parmi celles atteintes de blastopathies en P et hors P. Des chercheurs précédents ont noté la même chose bien que ceci ne soit pas souligné dans certains rapports. Des études récentes sur les molécules ont conduit plusieurs chercheurs à faire l'hypothèse que des facteurs qui retardent la croissance de l'embryon et son développement peuvent entraîner des blastopathies incluant, parmi d'autres, la naissance de jumeaux monozygotes, de siamois et des DTN. On a aussi noté que la blastogénèse et le début de l'embryogénèse étaient plus lents pour les « embryons-filles » que pour les « garçons », une différence attribuée au processus résultant de l'inactivation de l'un des deux chromosomes-X [Juriloff & Harris, 2012].

Les attitudes de l'AIEA et de l'OMS

Il est difficile de concilier nos observations à Rivne avec les idées non vérifiées diffusées par l'AIEA, l'OMS et récemment l'UNSCEAR (Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants). Depuis presque dix ans, ces organismes ont affirmé que les niveaux d'exposition au RI après Tchernobyl étaient trop faibles pour provoquer les augmentations d'AC qui peuvent être attribuées à l'évènement de Tchernobyl [Tchernobyl Joint News Release, 2005 ; AIEA, 2006]. Un précédent significatif est l'attitude regrettable de ces organismes qui ont rejeté les premières annonces de l'émergence d'une épidémie de carcinomes thyroïdiens chez les enfants aussitôt après l'explosion de Tchernobyl [Baverstock, 2007]. Un rapport récent de l'UNSCEAR concernant la catastrophe de Fukushima Daiichi comporte une attitude semblable de rejet [Sources, effects and risks of ionizing radiation, 2013]. Ce rapport, produit par des scientifiques, financés par un nombre relativement faible de gouvernements, cite les mêmes résultats que ceux des études de la CDBA extrapolés antérieurement pour rejeter les impacts potentiels de Tchernobyl. Dans les deux cas, les arguments sont les mêmes. Le rapport de l'UNSCEAR affirme que les doses accumulées de RI « (...) ne vont probablement pas entraîner d'effet mesurable » et que « (...) les effets au niveau de la population sont peu susceptibles d'être mesurables ». S'agissant des enfants, le rapport affirme qu'« (...) on n'a identifié explicitement chez l'homme aucun effet héréditaire dû à l'exposition au rayonnement » et que « Il n'y a fondamentalement aucune preuve d'une augmentation de l'instabilité chromosomique, de mutations de mini-satellites, d'instabilité génomique transgénérationnelle, de modification du sex-ratio des naissances, d'anomalies congénitales ou d'augmentation du risque de cancer chez les enfants nés de parents exposés au rayonnement. » Les lecteurs peuvent conclure que des recherches complémentaires ne se justifient pas. De telles déclarations ont en même temps un autre impact : elles ont un effet dissuasif sur les organismes qui veulent financer des recherches pour vérifier de façon indépendante ces graves affirmations. Certaines personnalités indépendantes trouvent le rapport de l'UNSCEAR assez troublant. Le vice-président de l'AIRP (Association internationale de radioprotection), par exemple, a déclaré, lors d'une table ronde au Symposium 2014 de l'Association nucléaire mondiale, que l'industrie nucléaire et les gouvernements « n'avaient pas été honnêtes dans leur présentation des risques du rayonnement à faible dose » [site du Symposium 2014 de l'Association nucléaire mondiale]. D'autres chercheurs considèrent que le rapport de l'UNSCEAR est fallacieux parce qu'il ignore les études contraires à ses conclusions [Mousseau & Moller, 2014]. C'est peut-être pourquoi notre rapport publié dans le journal de l'Académie américaine de pédiatrie ne figure pas

dans ce que l'UNSCEAR présente comme un panorama complet et impartial de la littérature scientifique [Wertelecki, 2010]. Les faits ci-dessus montrent que l'AIEA, l'OMS, l'UNSCEAR et les autres organismes doivent intégrer des scientifiques authentiquement indépendants et éviter de se fier uniquement à des experts et des équipes qui sont les obligés des gouvernements qui les emploient. Les impacts potentiels du RI sur les enfants à naître sont trop graves pour être évalués uniquement par ceux dont la mission est de servir des gouvernements ou de promouvoir l'énergie nucléaire.

Résumé et conclusions

Les observations rapportées ici sont issues d'études épidémiologiques descriptives d'une population touchée de manière chronique par le RI provenant du ^{137}Cs incorporé et visent à identifier les associations qui peuvent guider des recherches prospectives « cause-effet », en particulier pour les AC. Parmi les observations les plus saillantes : les femmes enceintes vivant en P incorporent près de quatre fois plus de ^{137}Cs (40,4 Bq/kg) que celles ne vivant pas en Polésie (11,3 Bq/kg). De plus, les niveaux de ^{137}Cs incorporé ont significativement augmenté en P mais pas hors P. La coïncidence de taux élevés de ^{137}Cs incorporé par les femmes enceintes et de taux plus forts de prévalence de blastopathies féminines en P ne constitue pas une preuve de relation de cause à effet. Cependant, nous pensons qu'il est imprudent d'ignorer ces faits. Des recherches « cause-effet » prospectives et collaboratives sont essentielles : elles sont susceptibles d'accroître les connaissances sur les AC observées.

Enfin, les observations rapportées et les études prospectives « cause-effet » sont, selon nous, pertinentes dans la situation telle qu'elle se présente au Japon après la catastrophe de Fukushima Daiichi. Des recherches en double, parallèles et coordonnées sont susceptibles d'accélérer et de renforcer l'importance de pratiquement n'importe quel type d'études prospectives.

Remerciements

Nous remercions les Dr. C. Chambers, A. Korblein et Y. Korzhynsky pour leurs contributions respectives sur la catégorisation des anomalies congénitales, les analyses statistiques et la coordination des études cliniques. ◆

Bibliographie

Almond D, Edlund L, Palme M. 2009. Chernobyl's subclinical legacy: prenatal exposure to radioactive fallout and school outcomes in Sweden. Quart J Econ 124:1729–1772.

Baverstock K. 2007. The recognition of childhood thyroid cancer as a consequence of the Chernobyl accident: an allegorical tale of our time? J R Soc Med. 100(9):407-9. Review.

Centers for Disease Control and Prevention. 2013. Notes from the Field: Investigation of a Cluster of Neural Tube Defects — Central Washington, 2010–2013. MMWR 62: 728.

Chernobyl: the true scale of the accident. 2005. Joint News Release WHO/IAEA/UNDP http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2005/pr38/en/ . Accessed September 15, 2014.

Colantonio SE, Lasker GW, Kaplan BA, Fuster V. 2003. Use of surname models in humans population biology: a review of recent developments. Hum Biol 75:785–807.

D'Amato CJ. 1982. Regeneration and Recovery in the Fetal Nervous system after Radiation Injury. Exp Neur 76: 547-467.

Dancause K, Yevtushok L, Lapchenko S, Shevchenko G, Wertelecki W, Garruto R. 2010. Chronic radiation exposure in the Rivne-Polissia Region of Ukraine: implications for births defects. Am J Hum Biol 22:657–674.

Decree 106. 1991. Regarding Realization of Decrees of Supreme Soviet of Ukrainian Soviet Socialist Republic about Realization of Laws of Ukrainian Soviet Socialist Republic concerning the Legal Status of Territories Polluted by the Chornobyl Catastrophe Radiation and regarding the Status and Social Protection of People Suffered from the Chornobyl Catastrophe. Decree Number 106 of Cabinet of Ministers of Ukrainian Soviet Socialist Republic of July 23, 1991 [online]. Available at: http://zakon.rada.gov.ua:80/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=106%E0-91-%EF&p=1236860994819643 [September 17, 2013] (in Ukrainian).

Dolk H, Nichols R, EUROCAT Working Group. 1999. Evaluation of the impact of Chernobyl on the prevalence of congenital anomalies in 16 regions of Europe. Int J Epidemiol 28:941–948.

EUROCAT Guide 1.4 and reference documents 2013. Available at: http://www.eurocat-network.eu/aboutus/datacollection/guidelinesforregistration/guide1_4. Accessed 13 October 2014.

Gudkov DI, Kuz'menko MI. 1996. Tritium in Water Objects of Chernobyl 30-km Zone. In: Problems of Chernobyl Exclusion Zone: Scientific-Technical Collection. Kyiv: Naukova Dumka. Volume 3: 130-133. [In Russian]. ISBN 512004288 0.

Gudkov DI. Kuzmenko MI. 1997. Restoration of tritium inflow dynamics in regulated river systems. Trace Hydrology 97, Kranic 9th ed. Rotterdam: Balkema. ISBN 9054108754.

Heiervang K, Mednick S, Sundet K, Rund B. 2010. Effect of low dose ionizing radiation exposure *in utero* on cognitive function in adolescence. Scand J Psychol 51:210–215.

IAEA. 2006. Report Chornobyl's legacy: health, environmental ani socio-economic impacts and recommendations to the governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine [online]. Technical Report, International Atomic Energy Agency. Available at: http://www.iaea.org/Publications/Booklets/Chernobyl/chernobyl.pdf . Accessed 17 September 2013.

Juriloff D, Harris J. 2012. Hypothesis: the female excess in cranial neural tube defects reflects and epigenetic drag of the inactivating X chromsome on the molecular mechanisms of neural fold elevation. Birth Defects Res A Clin Mol Teratol 94:849–855.

Küchenhoff H, Engelhardt A, Körblein A. 2006. Combined spatial-temporal analysis of malformation rates in Bavaria after the Chernobyl accident. In: Busby C, Yablokov AV (ed.) Chernobyl 20 years on: Health effects of the Chernobyl accident. Green Audit Books, 179-183.

ISBN: 1-897761-25-2. Available at: http://www.alfred-koerblein.de/chernobyl/downloads/chernobylebook_p.187-191.pdf. Accessed 13 October 2014

Kyiv Metrology Center (DP) "Kyivoblstandartmetrologia", Bila Tserkva, Ukraine. Available: http://www.bcdst.kiev.ua/index.php/metr/dmkzvtib. Accessed 11 June 2014. [In Ukrainian].

Likhtarev IA, Kovgan LN, Vavilov SE *et al.* 1996. Internal exposure from the ingestion of foods contaminated by ^{137}Cs after the Chernobyl accident. Report 1. General model: ingestion doses and countermeasure effectiveness for the adults of Rovno Oblast of Ukraine. Health Phys 70:297–317.

Likhtarev I, Kovgan L, Vavilov S *et al.* 2000. Internal exposure from the ingestion of foods contaminated by ^{137}Cs after the Chernobyl accident. Report 2. Ingestion doses of the rural population of Ukraine up to 12 y after the accident (1986–1997). Health Phys 79:341–357.

Mattson SN, Foroud T, Sowell ER *et al*. 2010. Collaborative initiative on fetal alcohol spectrum disorders: methodology of clinical projects. Alcohol 44:635–641.

Miller RW, Blot WJ. 1972. Small head size after *in utero* exposure to atomic radiation. Lancet. Oct 14;2(7781):784-7

Mousseau TA, Moller AP. 2014. Genetic and ecological studies of animals in Chernobyl and Fukushima. J Hered. 2014 Sep-Oct;105(5):704-9.

Neel J. 1958. A study of major congenital defects in Japanese infants. Am J Hum Genet 10:398–445.

Neel JV. 1994. Physician to the gene pool: genetic lessons and other stories. New York: John Wiley and Sons Inc. 457 p.

Neel JV, Schull WJ. 1991. The children of atomic bomb survivors – a genetic study. Washington, DC: National Academy Press. 511 p.

Otake M, Schull W. 1984. *In utero* exposure to A-bomb radiation and mental retardation; a reassessment. Br J Radiol 57:409–414.

Parker L, Pearce M, Dickinson H, Aitkin M, Craft A. 1999. Stillbirths among offspring of male radiation workers at Sellafield nuclear reprocessing plant. Lancet 354:1407–1414.

Plummer G. 1952. Anomalies occurring in children exposed *in utero* to the atomic bomb in Hiroshima. Pediatrics 10:687–693. Available at: http://pediatrics.aappublications.org/content/10/6/687 [September 17, 2013].

Schoetzau A, van Santen F, Irl C, Grosche B. 1994. Säuglingssterblichkeit und angeborene Fehlbildungen in Bayern nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl. Bericht im Rahmen des Strahlenbiologischen Umweltmonitorings Bayern. Institut für Strahlenhygiene, Bundesamt für Strahlenschutz.

Schull W, Otake M. 1999. Cognitive function and prenatal exposure to ionizing radiation. Teratology 59:222–226.

Sever L, Hessol N, Gilbert E, McIntyre J. 1988a. The prevalence at birth of congenital malformations in communities near the Hanford site. Am J Epidemiol 127:243–254.

Sever L, Gilbert E, Hessol N, McIntyre J. 1988b. A case-control study of congenital malformations and occupational exposure to low-level ionizing radiation. Am J Epidmiol 127:226–242.

SVITCH-M3 "SKRINNER" Spectrometry Specialized Hardware-Software Complex for Human Incorporated Radiation: User Manual. 1992. Kyiv, Ukraine: Ecology Institute. 17 p. [In Russian].

Tsubokura M, Kato S, Nomura S, Gilmour S, Nihei M, *et al*. 2014. Reduction of High Levels of Internal Radio-Contamination by Dietary Intervention in Residents of Areas Affected by the Fukushima Daiichi Nuclear Plant Disaster: A Case Series. PLoS ONE 9(6): e100302. doi:10.1371/journal.pone.0100302.

Sources, effects and risks of ionizing radiation. UNSCEAR 2013 report vol. 1. Available at: http://www.unscear.org/unscear/en/publications/2013_1.html. Last accessed September 24, 2014.

Valentin J, Editor. 2003. ICRP Publication 90: Biologic Effects After Prenatal Irradiation (Embryo and Fetus). New York, New York:Elsevier Inc: p. 7.

Wang B, Wertelecki W. 2013. Density estimation for data with rounding errors [online]. Comput Stat Data Anal 65:4–12. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167947312000989. Accessed September 17, 2013.

Wertelecki W. 2006. Birth defects surveillance in Ukraine: a process. J Appl Genet 47:143–149.

Wertelecki W. 2010. Malformations in a Chornobyl-impacted region. Pediatrics 125:836–843.

Wertelecki W, Yevtushok L, Zymak-Zakutnia N, Wang B, Sosyniuk Z, Lapchenko S, Hobart HH. 2014. Blastopathies and microcephaly in a Chornobyl impacted region of Ukraine. Congenit Anom (Kyoto). 54(3):125-49.

Wood J, Johnson K, Omori Y. 1967a. *In utero* exposure to the Hiroshima Atomic bomb: an evaluation of head size and mental retardation: twenty years later. Pediatrics 39:385–392.

Wood J, Johnson K, Omori Y, Kawamoto S, Keehn R. 1967b. Mental retardation in children exposed *in utero* to the atomic bombs in Hiroshima and Nagasaki. Am J Public Health Nations Health 57:1381–1390.

Wood J, Keehn R, Kwamoto S, Johnson K. 1967c. The growth and development of children exposed *in utero* to the atomic bombs in Hiroshima and Nagasaki. Am J Public Health Nations Health 57:1374–1380.

World Nuclear Association's 2014 Symposium. Available at: http://www.wna-symposium.org/ehome/81896/170693/. Accessed September 21, 2014.

Yablokov AV, Nesterenko VB. 2009. 1. Chernobyl contamination through time and space. Ann N Y Acad Sci. Nov;1181:5-30.

Zamostian P, Moysich KB, Mahoney MC *et al*. 2002. Influence of various factors on individual radiation exposure from the Chernobyl disaster. Environ Health 1:4. Available at: http://www.ehjournal.net/content/1/1/4. Accessed September 17, 2013.

Échange avec le public

Ruth Stégassy

Merci beaucoup pour cette présentation. Il y a une question.

Question

Merci beaucoup pour votre présentation. À propos d'EUROCAT. Quelle pourrait être la surveillance européenne des anomalies congénitales sans l'Ukraine ? L'Ukraine est membre du Conseil européen. Elle pourrait être un membre associé ? J'ai assisté à la réunion du FDI aux États-Unis et en Europe, j'ai assisté à des congrès européens d'associations médicales, et les orateurs venaient des États-Unis et d'Asie. L'Ukraine pourrait être un membre associé…

Wladimir Wertelecki

Pouvez-vous me faire une synthèse. Si la modératrice peut m'aider je vous en serais reconnaissant.

Ruth Stégassy

Je n'ai pas vraiment compris non plus.

Question

Je dis que l'Ukraine pourrait être membre associé de l'EUROCAT. Il vous a demandé de le lui expliquer, c'est très important.

Ruth Stégassy

Il vient de dire que l'Ukraine pourrait être membre associée d'EUROCAT.

Wladimir Wertelecki

L'Ukraine est membre à part entière d'EUROCAT. Non associé, mais un partenaire à part entière d'EUROCAT, sauf qu'elle n'est pas financée par l'Union Européenne comme les autres membres.

Question

Vous n'avez pas mentionné la santé maternelle. Je ne sais pas quelle est votre position, ou quelle est votre analyse sur la santé maternelle et comment vous voyez la morbidité et la mortalité … Les statistiques en Ukraine se réfèrent à la morbidité, ce qui signifie de 0 à 1 ans.

Wladimir Wertelecki

D'abord il faut définir ce qu'est la santé. Si vous souhaitez définir la santé, je resterai ici deux mois à vous écouter.

En général la santé maternelle dans la statistique de la santé publique est définie par la mortalité et la morbidité infantiles.

On peut vous dire que l'indice de naissances des enfants nous permet de voir les taux des naissances correctes. En Polésie comme hors Polésie. En ce qui concerne la mortalité maternelle, vous pouvez aller sur le site officiel du Ministère de la santé et vous allez trouver les données, année par année.

La plus grande morbidité en Ukraine est parmi les enfants gros. Pas les petits, pas les prématuré mais des enfants de plus de quatre kilogrammes qui ont des difficultés parce qu'on ne fait pas assez d'opération césariennes. Et parce qu'on ne fait pas de césariennes – pour une variété de raisons –, l'enfant s'asphyxie et soit il meurt, soit il naît avec une insuffisance cérébrale. Il y a un programme suisse qui traite la santé maternelle et la morbidité des enfants. C'est le programme le plus efficace que je connaisse en Ukraine. Et je connais tous les programmes que l'Agence internationale pour le développement des États-Unis, a introduits en Ukraine.

Ruth Stégassy

Il y a encore une question et 10 minutes à disposition.

Wladimir Wertelecki

En tout cas, pour la Suisse, je tiens à souligner que ce programme est « le top ». C'est vraiment un programme exceptionnel, vous devriez le connaître.

Ruth Stégassy

Merci beaucoup. Il y avait une question au troisième rang, et puis on va s'arrêter là parce qu'on est déjà assez en retard. On reprendra les questions à 16 h.

Question

Vous parliez tout à l'heure des problèmes de financements de vos recherches. Qui est-ce qui les a financées ? Et autre question, est-ce qu'il y a une relève ? Vous avez un peu plus de 18 ans, est-ce qu'il y a des jeunes chercheurs qui prennent la relève de vos recherches ?

Ruth Stégassy

La question est double. Qui finance vos recherches et y a-t-il des jeunes chercheurs qui continuent votre travail ?

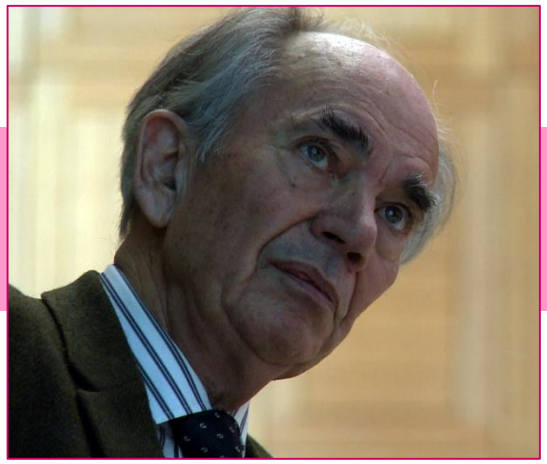
Wladimir Wertelecki

Le travail se poursuit, ce n'est pas une question de jeunes ou vieux. L'étude sur l'alcool est financée par l'Institut national de lutte contre l'abus de l'alcool et des drogues. C'est un consortium international qui comprend l'Ukraine. Le reste est financé par de multiples sources. Et pourtant, je tiens à souligner le bénévolat. 90% du coût, si vous avez à payer, est financé par l'Ukraine.

Ruth Stégassy

Merci beaucoup. On va arrêter là les questions pour l'instant mais je suis sûre qu'il y en aura beaucoup encore cet après-midi. ◆

Rôle et conséquences potentielles de l'instabilité génomique provoquée par les facteurs de stress environnementaux



***Dr Keith Baverstock**, Département des sciences de l'environnement, Université de Finlande orientale, Finlande*

Introduction *par* ***Ruth Stégassy***

*Le **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 2003 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.*

Présentation

Le rôle et les conséquences potentielles de l'instabilité génomique provoquée par les facteurs de stress environnementaux.

Keith Baverstock
Département des sciences de l'environnement
Université de Finlande orientale
Campus de Kuopio

D'abord, merci pour cette aimable introduction et merci aux organisateurs de m'avoir invité à m'exprimer à cette rencontre. L'instabilité génomique c'est ce qui a été révélé – je dis révélé plutôt que découvert – en 1991 par certains de mes collègues de l'Unité de radiobiologie du Conseil de recherche médicale à Oxford. Pourquoi révélée, parce qu'en fait elle a été découverte en 1976 par un scientifique suédois, Luning, dans une étude sur les effets du plutonium chez les souris. Ce qui est intéressant, c'est que je ne connaissais pas les travaux de Luning et lorsque j'ai appris ce qu'avaient trouvé mes collègues avec les cellules en culture, je m'apprêtais à rejoindre l'OMS. Et je m'étais dit que c'était une chose intéressante sur laquelle méditer, mais que je n'étais pas en mesure de faire des recherches expérimentales car j'abandonnais la recherche. J'ai commencé à réfléchir aux implications et à la façon dont cela se passe, comment les cellules répondent de cette façon particulière en causant ce dommage progressif d'une génération de cellule à l'autre, que nous décrivons maintenant comme instabilité génomique.

Je voudrais vous présenter un concept complètement différent du concept génétique devenu habituel dans la biologie depuis l'époque où la structure de l'ADN fut fixée par Crick et Watson, et en fait même avant.

Le point est qu'en fait les gènes, au contraire de ce que nous avons pensé pendant les 60 dernières années, ne sont pas vraiment la cause de la plupart des maladies, et probablement d'aucune maladie.

Je ne dis pas qu'ils ne sont pas associés, mais ils n'en sont pas la cause. Et nous devons comprendre la cause de ce que nous examinons du point de vue des effets sur la santé. Donc ce paradigme, comme j'ai dit, a dominé la biologie pendant 60 ans, depuis 1953, et en réalité même avant, quand la découverte de Mendel a vu le jour.

Les gènes ne sont PAS la cause (de la plupart, si ce n'est d'aucune) des maladies.

Le paradigme « géno-centré » qui a dominé la biologie depuis avant la découverte de la structure de l'ADN en 1953, en fait plus ou moins depuis que les résultats expérimentaux de Mendel ont été connus vers 1900, est une illusion.

Ce paradigme attribue la maladie aux modifications dans les séquences du gène dues aux mutations héréditaires. En termes de biologie humaine, on a seulement pu tester ce paradigme depuis 2001, avec l'achèvement du séquençage complet du génome humain, et ces tests n'ont manifestement pas réussi au cours des 13 dernières années, conduisant au problème de « l'héritabilité manquante ».

Nous pouvons nous demander ce que devrait être notre réponse à cet échec – modifier d'une manière ou d'une autre la génétique ou abandonner le concept du gène comme prototype de la vie et unité héréditaire de Mendel. Je choisis la dernière et nous devons donc revenir à l'essentiel !

Et ce paradigme attribue les maladies aux changements dans la séquence génomique. Or, maintenant nous pouvons séquencer l'ADN. Nous avons connu la séquence du génome humain seulement en 2001, après un projet qui a démarré en 1991. C'est la première fois que nous avons été en mesure d'examiner une hypothèse sur la modification de la séquence conduisant à une maladie. Et ce processus d'essais sur les hypothèses, qui s'est déroulé au cours des 13 dernières années, a manifestement échoué. Nous avons ce qu'on appelle le problème de « l'héritabilité manquante ».

Maintenant, on peut se demander ce qu'il faut faire à ce sujet. Nous pourrions continuer à essayer de modifier de quelque manière la génétique pour surmonter ce problème, ou nous pourrions abandonner la génétique, abandonner l'idée du gène comme prototype de la vie ou comme l'unité héréditaire de Mendel. Et c'est alors que j'ai pensé qu'il fallait au moins essayer d'y travailler. Il nous faut revenir à la base, et la base, en ce qui nous concerne, c'est la physique. De quelle sorte de physique avons-nous besoin pour comprendre comment les organismes répondent aux stress environnementaux ?

Maintenant, la physique « par défaut », celle que nous avons apprise à l'école, que tous les étudiants du premier degré, sauf les spécialistes physiciens ont apprise, c'est ce qu'on appelle la physique newtonienne.

Quelle sorte de physique régit les organismes?

La «physique par défaut» est la physique newtonienne telle qu'elle est enseignée dans les écoles et à presque tous les niveaux de cours. Cependant, l'un des problèmes avec la physique newtonienne est qu'en terme de dynamique elle est réversible dans le temps. Ceci voudrait dire que l'on peut aussi bien rajeunir que vieillir chaque jour.

La physique des systèmes dissipatifs complexes (SDC) n'est pas réversible dans le temps et de plus les organismes consomment (dissipent) de l'énergie et ils sont complexes parce que leur fonctionnement dépend d'une multiplicité de réactions chimiques et d'interactions. Nous devons considérer que ce sont en fait des systèmes dissipatifs complexes.

Les systèmes dissipatifs complexes soutiennent des états quasi-stables appelés «attracteurs». Un système cycliste-vélo en est un exemple courant.

Elle a un petit problème, c'est qu'elle est réversible dans le temps. Si vous regardez l'oscillation pendulaire, si vous regardez pendant une courte période, elle ne vous dit pas dans quelle direction le temps passe. Elle peut aller en avant, elle peut aller en arrière, comme si nous parlions d'un film. Cela signifie en termes de biologie que si nous sommes régis par la physique newtonienne, chaque jour nous avons la même chance de devenir plus jeune ou plus âgé. Je pense que la plupart d'entre nous savent que c'est ce dernier fait qui se produit presque exclusivement. Un jour quelqu'un se sent plus jeune, mais en fait vous vieillissez quotidiennement. Donc, cette physique n'est clairement pas appropriée à la biologie.

Or, il y a une autre physique, celle des « systèmes dissipatifs complexes », qui est, je pense, la physique la plus appropriée, parce que les cellules, humaines ou animales, ou les bactéries sont des systèmes dissipatifs. Nous dissipons de l'énergie, nous consommons et nous vivons sur la base de la prise d'énergie. Et c'est cette physique-là qui s'applique à ce genre de systèmes.

L'un des éléments les plus importants de ce système que j'appelle SDC, c'est qu'il soutient des états quasi-stables appelés « attracteurs ». Si quelque chose n'est pas stable on ne peut pas l'observer. Alors, nous avons différents types de stabilité. Il y a une stabilité qui est comme ce verre, posé sur la table. C'est la stabilité newtonienne. Mais il en existe une autre que nous rencontrons dans la vie de tous les jours…

Voici l'image d'un cycliste. Une jeune femme à vélo.

Une chose intéressante c'est cette combinaison : cette conduite du cycliste sur le vélo, permet au vélo d'avoir une position verticale. Vous ne verrez jamais un vélo seul, non supporté dans cette position, car il tombe, il n'est pas stable. Mais la stabilité résulte de ce système comportant la combinaison du cycliste et du vélo en même temps. Le cycliste gère le vélo, en déplaçant son poids à gauche ou à droite, en tournant le guidon vers la gauche ou vers la droite, et ce sont ces quatre actions que nous appelons « dimensions du système ». Celles-ci peuvent maintenir le vélo dans la position droite, et le vélo-cycliste est un « attracteur ». C'est une sorte de quasi-stabilité qui se maintient tant que la totalité de ces quatre dimensions sont disponibles pour le cycliste. Si l'une d'entre elles se perd, la roue va contre le trottoir, le vélo chute, le cycliste tombe et l'attracteur est perdu.

Nous rencontrons des attracteurs dans la vie de tous les jours, mais sans reconnaître le phénomène.

Une bougie par exemple est un attracteur. C'est pourquoi il est difficile de souffler une bougie flamboyante, c'est beaucoup plus difficile d'éteindre la flamme d'une bougie que celle d'une allumette. C'est aussi pourquoi, lorsque le pare-brise de votre voiture est propre, une forte pluie arrive et vous voyez l'eau qui coule sur le pare-brise, ces vagues dirigent l'eau en traversant le pare-brise. Et ces vagues sont des attracteurs, elles sont tout à fait stables. Les attracteurs sont donc un phénomène courant. Et nous soutenons que le phénotype de la cellule est un attracteur et agit comme un interrupteur.

Un état attracteur se comporte comme un interrupteur

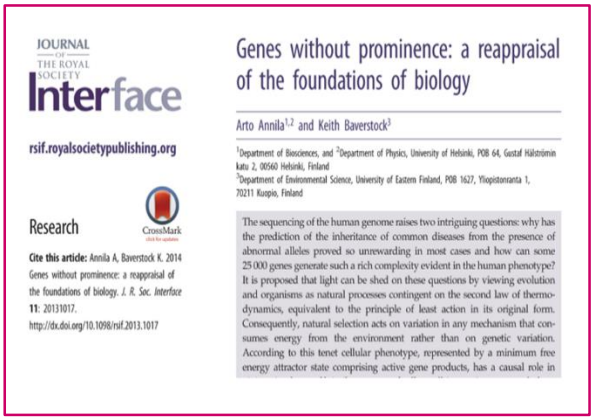
Un système est soit dans un attracteur soit il n'y est pas. Dans le cas du système "cycliste-vélo", être hors d'un attracteur, c'est être par terre ; mais des systèmes plus complexes peuvent avoir plusieurs attracteurs alternatifs (attracteurs variables) et des passages entre attracteurs sont possibles.

Avec mes collègues, nous avons suggéré que le phénotype cellulaire est un état attracteur dans un système complexe de protéine et d'autres interactions macromoléculaires. En plus de soutenir les propriétés phénotypiques de la cellule (encodage de l'information), il régule la cellule et il est ce que Mendel nomme « l'unité héréditaire ». En d'autres termes, chacun de nous a hérité d'états attracteurs de ses parents.

Dans ce dernier sens, l'attracteur remplace le gène.

Le phénotype d'une cellule est dans un attracteur, ou alors il a été expulsé par une certaine forme de stress environnemental. Or, la cellule est bien plus complexe que le système cycliste-vélo. Dans une cellule normale de l'être humain, il y a à peu près 3 000 dimensions, au lieu de quatre. Et il y a peut-être un nombre infini d'attracteurs. Donc ce qu'on obtient c'est le passage d'un attracteur à un autre attracteur. Un changement du phénotype. C'est ainsi que fonctionne l'instabilité génomique. Cet attracteur est constitué de protéines interactives. Et nous savions peut-être cela, mais ce n'est pas une chose qu'on souligne lorsqu'on examine la biologie dans la perspective génétique. Un attracteur est donc quelque chose qui est passé d'une génération à l'autre, et c'est cela que représente pour nous « l'unité héréditaire » de Mendel. Nous avons hérité de chaque parent un attracteur, et ces deux attracteurs se synchronisent dans un zygote et c'est ce qui engendre le nouvel individu. Donc dans ce sens l'attracteur remplace le gène.

Ces idées ont été publiées il y a un an dans une revue très importante de la Royal Society.


JOURNAL OF THE ROYAL SOCIETY Interface

rsif.royalsocietypublishing.org

Research

Cite this article: Annila A, Baverstock K. 2014 Genes without prominence: a reappraisal of the foundations of biology. *J. R. Soc. Interface* **11**: 20131017. http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2013.1017

Genes without prominence: a reappraisal of the foundations of biology

Arto Annila[1,2] and Keith Baverstock[3]

[1]Department of Biosciences, and [2]Department of Physics, University of Helsinki, POB 64, Gustaf Hällströmin katu 2, 00560 Helsinki, Finland
[3]Department of Environmental Science, University of Eastern Finland, POB 1627, Yliopistonranta 1, 70211 Kuopio, Finland

The sequencing of the human genome raises two intriguing questions: why has the prediction of the inheritance of common diseases from the presence of abnormal alleles proved so unrewarding in most cases and how can some 25 000 genes generate such a rich complexity evident in the human phenotype? It is proposed that light can be shed on these questions by viewing evolution and organisms as natural processes contingent on the second law of thermodynamics, equivalent to the principle of least action in its original form. Consequently, natural selection acts on variation in any mechanism that consumes energy from the environment rather than on genetic variation. According to this tenet cellular phenotype, represented by a minimum free energy attractor state comprising active gene products, has a causal role in

Et même si cet article remet en question la génétique, pas un seul généticien au cours de la dernière année nous a écrit ou nous a dit « c'est faux ». Et pourtant il remplace dans une large mesure ce que font beaucoup de généticiens. Alors, je vous présente ces idées avec confiance, car je pense qu'on aurait dû nous dire que c'était faux, si c'était le cas.

Avec Annila, nous avons montré dans cet article comment il est possible de reformuler la biologie en une théorie véritablement scientifique (plutôt que dépendant d'associations statistiques) de systèmes vivants basée sur la *deuxième loi de la thermodynamique* et sur le principe de *moindre action*, étayée par la physique des systèmes dissipatifs complexes (SDC) et le phénotype représentant l'état attracteur. Dans cette reformulation, les gènes (et par conséquent la génétique) jouent un rôle minimal, s'ils en jouent un.

Il est important de noter qu'il existe des preuves solides que, par exemple, le cancer n'est PAS une maladie génétique. Une étude nordique de paires de jumeaux identiques a montré que pour la plupart des cancers, la concordance (les deux jumeaux contractant la maladie) était de moins de 10%, et le plus souvent moins de 5%. Comme les jumeaux identiques ont quasiment des génotypes identiques, si le cancer était une maladie génétique, c'est-à-dire déterminée par la séquence de l'ADN, la concordance serait plus proche des 100%.

La question est donc de savoir, si la maladie n'est pas "dans les gènes", d'où elle vient.

Ce que nous avons fait c'est d'essayer de remplacer le paradigme génétique par une véritable théorie basée sur la physique. Elle se fonde sur des lois physiques bien établies : la 2ème *loi de la thermodynamique* et le principe appelé le principe *de la moindre action*.

Et l'action est un processus. Le principe de *moindre action* nous dit que, si un processus va se produire, – par exemple un transfert d'énergie, si vous voulez, l'énergie dans votre maison chaude par un jour froid, et vous êtes préoccupé par la perte d'énergie, la perte de chaleur de votre maison –, le principe de *moindre action* dit que cet équilibre entre la maison et l'extérieur sera réglé aussi rapidement que possible. Alors, si vous laissez la porte ouverte, il sera réglé plus rapidement que si vous ne le faites pas. C'est très, très simple. Dans ce contexte cela signifie que, s'il y a un excès d'énergie, – par exemple à l'heure du déjeuner où il y aurait un excès d'énergie autour de la table, avec la table entourée de personnes affamées –, cette énergie serait consommée le plus rapidement possible, du moins aussi rapidement que les bonnes manières des convives le permettent. Ainsi advient le processus par lequel se produit la sélection. Si un organisme peut extraire de l'énergie pour croître par son environnement de manière plus efficace et plus efficiente qu'un autre orga-

nisme, il sera sélectionné. Nous avons donc une sélection darwinienne, ne reposant pas sur les gènes, mais sur la capacité d'extraire de l'énergie.

Or, il est important de noter que, par exemple, le cancer n'est pas une maladie génétique, bien que tout le monde semble continuer à la considérer comme telle. Une étude nordique publiée en 2000 a examiné des jumeaux identiques. Les jumeaux identiques ont des séquences génomiques identiques, d'ADN. Et donc on s'attend à ce que, si l'un des jumeaux contracte une maladie génétique, l'autre ait une forte probabilité de la contracter, si la maladie est encodée dans la séquence d'ADN. Pour la plupart des cancers courants, ce qu'on appelle la concordance (à savoir, la possibilité que des jumeaux identiques contractent la même maladie) est de moins de 10%, le plus souvent moins de 5%. Donc ce n'est clairement pas une maladie génétique. Il n'y a aucun fondement en génétique pour la désigner comme maladie génétique.

D'où vient cette maladie, où se trouve l'origine de cette maladie ? C'est la question à laquelle nous devons répondre. La réponse se trouve, comme je l'ai dit, dans cet attracteur. Et cet attracteur est complexe. C'est ce qu'on appelle un réseau d'interaction des protéines.

La réponse est que l'attracteur remplit les fonctions qui ont été attribuées au gène. Ce n'est pas révolutionnaire, comme vous pourriez le penser, depuis longtemps il a été admis que la fonction cellulaire est fournie par les protéines et non par l'ADN. Il est aussi bien connu que les protéines "interagissent" l'une avec l'autre et c'est généralement exprimé en termes de réseau.

Des diagrammes comme celui-ci sont un instantané du moment où les protéines forment une cellule – quelques-unes ne sont reliées qu'à une autre protéine, mais d'autres sont des morceaux de groupes constitués de plusieurs dizaines de protéines et elles agissent collectivement. Quelques caractéristiques émergent des isolées, mais d'autres ont besoin de plusieurs protéines agissant ensemble. Chaque protéine est dérivée d'un peptide qui est codé pour cela par un gène, mais l'attracteur régule la façon dont le peptide est plié (pour devenir une protéine) et le moment où il interagit.

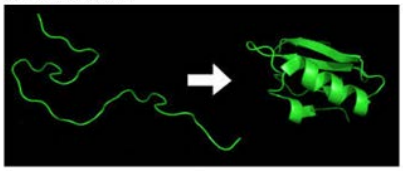
Vous pouvez voir que chacun de ces points est une protéine, c'est un instantané typique dans le temps. Donc juste le moment où les protéines interagissent entre elles. Ces interactions donnent lieu à cet état d'attraction, qui ensuite devient un phénotype. Mais pas seulement ça, l'attracteur régule la cellule, il est vraiment le centre de la cellule. Ainsi nous avons déplacé le centre de notre attention de l'action de la séquence génomique, au phénotype lui-même et aux protéines qui interagissent pour donner naissance au phénotype.

Un autre point intéressant c'est de savoir comment ces protéines le font. Parce que nous avons besoin d'une certaine sorte d'information pour étudier ce qui se passe dans la cellule. Car en fait c'est une chose hautement organisée : la cellule fait ce qu'elle doit faire et nous sommes en bonne santé. Comment donc tout cela a-t-il lieu seulement grâce à des protéines ?

Eh bien, les protéines sont dérivées des peptides, et les peptides représentent une séquence de l'ADN.

Donc, la séquence de l'ADN exige un flot d'acides aminés nommés peptides. Et un peptide n'est pas actif, il ne fait rien, sauf se plier dans la protéine. Et vous voyez là la spirale en trois dimensions de la structure de la protéine.

Le repliement du peptide en protéine et son activation dotent la protéine d'information.



Ceci est bien démontré par le fait que les enzymes reconnaissent leur substrats spécifiques uniquement dans la forme pliée. Pour beaucoup de protéines, le repliement est effectué par d'autres protéines appelées chaperons. En produisant bien plus de 100 000 protéines, la cellule humaine peut générer toutes les fonctions phénotypiques requises par l'organisme humain, mais ceci doit être fait de manière très coordonnée et dans une période de temps appropriée. C'est la tâche de l'attracteur – qui régule essentiellement la cellule et en exprime en même temps les caractéristiques phénotypiques. C'est aussi l'attracteur qui est hérité d'une génération de cellules à la suivante.

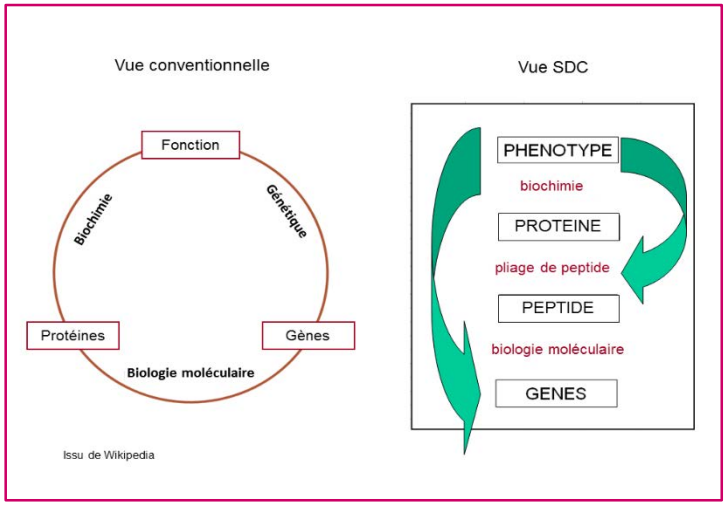
Dans le même temps, pendant ce processus, l'information est codée en quelque sorte dans cette protéine. Nous le savons parce que nous connaissons très bien la chimie des enzymes. Les enzymes ne reconnaissent qu'une seule molécule, leur substrat, et ils réagissent exclusivement avec elle. Ils ont des informations qui leur disent : je sais que c'est la molécule avec laquelle je peux interagir, dans un certain sens.

Cette information est donc générée dans ce processus de repliement impliquant la dissipation de l'énergie. C'est en fait une conversion d'énergie en information. Et cette information est un domaine, le domaine de la chimie des protéines, que nous n'avons jamais exploré. Nous n'avons même pas pensé à cet aspect, à la façon dont les protéines fonctionnent. Mais elles font ceci : en gros, la cellule humaine a bien plus de 100 000 protéines et, à partir de quelques 20 000 séquences codantes d'ADN, elle obtient les peptides, mais elle augmente ce nombre à une centaine de milliers en pliant les mêmes peptides de différentes façons. Et ainsi vous obtenez des protéines différentes à partir du même peptide. Et la tâche de plier ces protéines correctement c'est la tâche de l'attracteur.

Essentiellement il régule la cellule et en exprime en même temps les traits phénotypiques. Et les traits phénotypiques sont une forme d'information existant dans la cellule, qui lui permet de communiquer avec d'autres cellules et d'échanger l'information. Et ce que nous voyons, c'est ce qu'en général on considère comme la signalisation cellulaire. Et il y a un énorme champ de la biologie qui concerne la signalisation cellulaire.

Comme j'ai dit, c'est aussi l'attracteur qui est hérité d'une génération à l'autre.

Alors, regardons maintenant les deux différents concepts.



Nous avons la vision conventionnelle de la génétique qui est structurée de façon circulaire : les gènes selon la biologie moléculaire ont conçu les protéines, les peptides ne sont pas mentionnés. Parce que la plupart des biologistes moléculaires estiment qu'il n'y a qu'une seule manière de passer d'une séquence codante du gène à une protéine. Pas plus qu'une. Ils savent que le peptide est là mais il n'est pas pertinent. Et puis les protéines, comme dans mon modèle, produiront la fonction par la biochimie. Mais il y a très peu d'intérêt à cet aspect. Et puis la fonction du phénotype est en relation avec les gènes, ainsi les gènes donnent vie au phénotype, qui fait l'objet de la génétique.

Or nous, nous considérons cette chose différemment. Les gènes passent par la biologie moléculaire, mais ils créent des peptides. Et le peptide se replie en protéine, et ensuite la biochimie a lieu pour produire le phénotype. Mais la causalité, le phénotype, agit vers le bas, sur le repliement des peptides et peut affecter la séquence du génome. Et je pense que les changements que les gens décrivent comme résultat du rayonnement sont souvent dus à ce processus, et non à un effet primaire du rayonnement.

Maintenant, ceci est connu comme la causalité descendante. C'est très controversé, mais ça existe. Par exemple si quelqu'un provoquait une forte détonation dans cette salle, elle serait détectée essentiellement à travers les oreilles par le cerveau. Cela provoquerait des changements physiologiques. Vous sentiriez la peur, un picotement dans votre colonne. C'est la causalité descendante. C'est quelque chose que vous avez détecté avec le cerveau en obtenant une réponse physiologique.

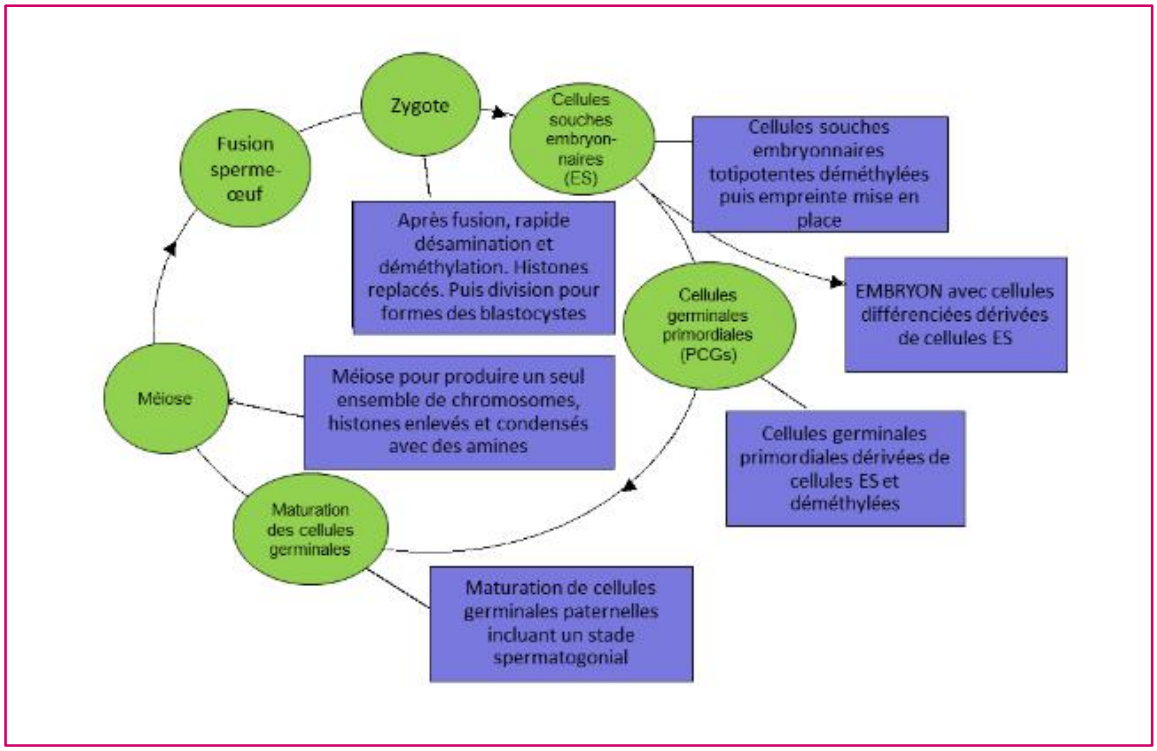
Nous disons que le phénotype agit vers le bas, sur ces propres composants.

Un autre point sur le phénotype représentant l'attracteur: pour n'importe quelle cellule germinale d'une espèce stablement reproduite, l'état stable est appelé *«attracteur maison»*. Il a, sur de nombreuses générations dans un écosystème donné, réalisé l'intégrité optimale dans la réplication et un degré élevé de résistance du fait d'avoir été fabriqué instable. C'est ce que nous appelons le *conditionnement évolutionniste*. Si cet «attracteur maison» est perdu, c'est irréversible et n'importe quel *attracteur variable* adopté ensuite est: a) reproduit moins fidèlement et b) plus probablement perdu. Ceci conduit à une dégradation progressive de l'intégrité des espèces, - c'est à dire des niveaux de maladies plus élevés. C'est l'instabilité génomique et c'est le premier pas d'une transition vers une nouvelle espèce.

Je voudrais en finir ici avec la théorie, juste après un autre point: vous avez certainement compris que nous parlons de causalité circulaire et il s'agit de quelque chose qui n'est absolument pas newtonien. Cependant, si la vie a commencé sans agent extérieur (un créateur), comme le croient beaucoup de biologistes, il n'y a alors pas d'alternative pour la vie que de s'être créée elle-même. Un phénotype engendre un phénotype.

Il y a un autre point que je tiens à souligner, qui est ce type particulier d'attracteur. Si l'individu d'une espèce est reproduit selon les règles de l'art, chaque génération est dans un « attracteur maison ».

Et cet attracteur a des propriétés spécifiques. Il a obtenu la propriété d'une réplication précise et il a une stabilité. Il a un niveau de stabilité supérieur par rapport à d'autres attracteurs que nous appelons attracteurs variants. Mais si cet « attracteur maison » est détruit de sorte qu'il s'effondre, alors ce que nous voyons c'est une instabilité génomique. L'instabilité génomique c'est la progression d'une cellule à travers de nombreux attracteurs différents, des attracteurs variants ; ils sont instables, plus facilement perturbés, et c'est un processus qui est hérité et qui continue pour toujours, et en s'accentuant. Je veux juste noter que c'est une causalité circulaire, et cela signifie vraiment que le phénotype qui a surgi par une sorte de processus aléatoire lors de la création de la vie, forme tous les phénotypes qui suivent.



Vu le peu de temps, je vais passer directement à ceci.

Voici le cycle des cellules germinales.

Parce que cette instabilité génomique, elle nous intéresse surtout du point de vue des cellules germinales. Vous voyez que ce cycle, ces cercles verts ont un cycle infini, mais à chaque passage il produit un embryon qui va devenir un être humain. Et les dommages sur ces cellules ne sont jamais éliminés par le système. Une fois qu'on a une instabilité génomique induite chez un être humain, un individu, si c'est chez un mâle cette instabilité sera transmise à la génération suivante, et à la génération suivante encore, selon la lignée paternelle. Ces embryons qui ont des cellules somatiques, subissent des effets néfastes à cause de l'instabilité, à cause du manque du bon phénotype.

Toutes les cellules du corps ont cet attracteur maison, mais s'il est perdu dans les cellules germinales, alors nous verrons cet effet transmis d'une génération à l'autre.

Youri Dubrova, que vous avez entendu avant, a fait le travail le plus important à ce sujet, qui est soutenu par d'autres études sur les rats, et je crois qu'il est de plus en plus étudié.

Or, quelles sont les conséquences pour les humains ?

Quelles sont les conséquences pour les êtres humains?

Les générations humaines sont d'environ 30 ans et beaucoup de maladies qui affectent la population ne sont pas répertoriées comme on le fait pour le cancer. Ces deux facteurs signifient qu'il est impossible de détecter les conséquences qu'induit l'instabilité génomique dans les populations humaines, sauf à connaître les causes potentielles d'instabilité génomique, disons d'il y a 50 à 100 ans avant, et de surveiller une population exposée. L'une des sources potentielle d'exposition sont les essais d'armes nucléaires dans les années 1950, dont la deuxième génération des personnes exposées est déjà née. Dubrova a conduit une petite étude des survivants des essais d'armes nucléaires à Semipalatinsk et observé les marqueurs d'instabilité génomique sur deux générations.

Le problème avec l'utilisation de marqueurs est qu'ils sont très dépendants d'un système d'une manière qui nous est incompréhensible. Pour un travail sur les vers ronds (nématodes) dans lequel j'étais impliqué, nous n'avons pas observé un seul marqueur, mais nous avons trouvé que le phénotype était modifié plus de 10 générations après l'exposition.

C'est un processus irréversible qui conduira à la dégradation de plusieurs générations de l'espèce humaine. Ceci va conduire à des malformations, à des dommages mentaux, à l'augmentation des maladies. Mais cela va être difficile à voir parce qu'il faut 30 ans à une génération… pour passer à la génération suivante. Donc nous ne serons pas en mesure de détecter ce processus très facilement, car sa lenteur le rend imperceptible pendant le laps de temps où nous pouvons l'observer.

On ne peut pas l'étudier en utilisant des marqueurs, ils ne sont pas toujours fiables, et les marqueurs diffèrent d'un système à l'autre. Nous avons donc vraiment besoin de nous focaliser sur la façon dont nous allons étudier cela.

Bon ! Comment puis-je vous assurer que je ne suis pas en train de vous raconter un conte de fées ? Eh bien, je pense qu'il y a quatre raisons.

Comment puis-je être sûr de ne pas inventer un conte de fées ?

D'abord, le paradigme génétique qui a dominé la biologie pendant 60 ans est défaillant et nous le voyons de plus en plus clairement chaque jour. Ainsi, on remplace quelque chose qui est absolument faux.

Deuxièmement, l'argument théorique sur ce qui est affirmé est fermement basé sur une physique solide et de base qui remonte à 1760, 100 ans avant *«De l'origine des espèces»* de Darwin.

Troisièmement, il y a des preuves empiriques solides chez les animaux à la fois avec des critères de substitution et des marqueurs.

La principale source de financement d'un travail de ce type en Europe, la plateforme MELODI, qui a pris la suite du programme de la Commission européenne, après n'avoir pu réussir à découvrir le mécanisme de l'instabilité génomique induite par le rayonnement, dénie maintenant l'existence même de ce phénomène!

L'une, c'est qu'il y a quelque chose qui cloche avec le paradigme génétique. Deuxièmement il y a des arguments théoriques sur ce point, basés sur la physique fondamentale. Troisièmement il y a des preuves empiriques dans certains des travaux de Youri, s'ils entrent dans cette catégorie. Et puis il y a une dernière chose : la Commission européenne, la plateforme MELODI, a étudié ce sujet avec une énorme somme d'argent pendant une dizaine d'années et puis elle a tout laissé tomber en disant « en fait, nous ne pensons pas que le phénomène existe ». Ils ne s'intéressent donc pas à ça. Parce que, je pense, ils en comprennent les implications.

Pour résumer :

L'instabilité génomique est une modification phénotypique profonde et irréversible, qui est bien plus facile à provoquer que, par exemple, les mutations spécifiques dans l'ADN. Car tout dommage provoqué sur l'ADN doit être réparé ; cette instabilité résulte du stress de ces processus de réparation et du fonctionnement général de la cellule.

Pour résumer :

L'instabilité génomique est une modification phénotypique profonde et irréversible, qui est bien plus facilement provoquée que, par exemple, les mutations spécifiques de l'ADN.

Si les arguments présentés ici sont corrects, il y aura une dégradation de l'intégrité de l'espèce humaine entraînant un départ plus précoce et plus important de maladies et de malformations sur plusieurs générations futures.

Etant donné le temps d'une génération humaine, il sera très difficile de réaliser une observation épidémiologique, mais une possibilité peut exister avec les personnes exposées aux retombées des essais d'armes nucléaires des années 1950, dont la deuxième génération est déjà née.

Si les arguments présentés ici sont corrects, il y aura une dégradation prononcée des espèces sur plusieurs générations. Et cela est vraiment une partie intégrante du processus de l'évolution. C'est l'envers de la médaille de la stabilité des espèces. Si un organisme ne peut pas bien s'adapter à son environnement, alors il essaye de trouver une forme meilleure dans laquelle il peut mieux s'adapter. Il sera très, très difficile de l'observer directement, notamment par l'épidémiologie, mais nous pouvons examiner des populations qui ont été exposées dans les années 50. Nous avons donc une longue période de suivi.

Pour finir, je tiens à remercier mes collègues, le Dr Andrei Karotki, le professeur Arto Annila et le Dr Mauno Rönkkö.

Merci. ◆

Échange avec le public

Ruth Stégassy

Merci beaucoup, on prend quelques questions.

Question

Vous avez dit que la génétique n'explique pas le cancer. Évidemment, ce n'est pas une mutation primaire qui est responsable de la plupart des cancers, mais c'est quelque chose qui arrive plus tard dans l'existence du fait des facteurs environnementaux, donc je ne pense pas qu'il y ait une incohérence entre les gènes et le cancer.

Vous parliez des attracteurs dans l'instabilité génomique, mais vous n'avez montré aucune expérience scientifique à l'appui de votre hypothèse, ce que je trouve un peu gênant du point de vue scientifique.

Keith Baverstock

On m'a demandé de parler pour un public profane et je devais aussi respecter le temps donné. Nous parlons d'un profond changement dans la manière dont nous voyons la biologie. Je pense que si vous lisez la littérature vous trouverez qu'il existe des preuves empiriques, dont certaines sont mentionnées dans l'article que je vous ai montré.

Pour revenir à votre premier point, je dirais que si vous faites le séquençage de l'ADN pour rechercher des changements dans la séquence et que vous essayez d'établir un lien avec les maladies courantes, ça ne fonctionne pas. La raison avancée est c'est que les maladies courantes n'impliquent pas seulement une séquence particulière d'ADN mais l'interaction entre plusieurs, et qu'il est très difficile de déterminer cette interaction. Je ne crois pas que cet argument soit juste : je crois que la raison fondamentale pour laquelle l'information dans la séquence ADN n'est pas l'information qui résulte de la protéine est que les protéines peuvent être pliées de différentes façons. Et vous êtes probablement au courant de l'existence des protéines chaperons qui font beaucoup de repliements de protéines, et vous pourriez alors vous demander pour quelle raison les cellules développent des protéines chaperons ; et si, par exemple, la séquence des acides aminés dans le peptide détermine la structure de la protéine, … ce qui est généralement admis.

Question

Merci. On m'a dit ou j'ai lu quelque part qu'en fait les gènes… – je suis une profane, juste pour vous donner le niveau de ma question –, que les gènes, comme vous dites, ne sont pas nécessairement la cause d'une maladie mais qu'en fait les gènes sont le registre, les archives. Cela signifie que la maladie est présente et qu'elle pourrait être inscrite dans

vos gènes. Mais il en sera de même pour la guérison, si elle arrive. Les gènes pourraient changer, c'est dans un certain sens un registre historique. Confirmez-vous cela ? Est-ce que j'ai bien compris ou pas ?

Keith Baverstock

Non, je ne pense pas que vous verrez la maladie dans les gènes. Parce que, si c'est vrai que l'état de l'attracteur est responsable de l'héritage, il est vrai aussi que l'état de l'attracteur n'est pas directement relié à la séquence du génome. Et la raison c'est que quand un rayonnement ionisant détériore l'ADN, la cellule tente de réparer autant que possible avant la division cellulaire. Et une énorme quantité d'énergie, près de 30% de l'énergie passant par la cellule dans ses processus métaboliques, est utilisée pour la détection des dommages et la réparation.

Donc c'est extrêmement important, mais lorsque ce dommage surgit, il doit être réparé partout où il se produit, et 98% de l'ADN n'est pas de l'ADN codant le gène. Vous pourriez donc avoir, disons, une instabilité génomique, qui conduit au cancer, provoquée par des dommages causés à l'ADN, mais à aucun gène, à aucun des gènes du reste de l'ADN. Et c'est une des raisons pour lesquelles l'instabilité génomique est bien plus sensible que la mutation. Parce que dans certains cas non seulement il faut que la mutation soit dans une séquence spécifique, mais elle doit aussi être dans un endroit spécifique de cette séquence.

Donc, vous parlez d'un événement qui se produit très rarement – un rayonnement ionisant provoquant la mutation – alors que, dans l'instabilité génomique, l'explication alternative du mécanisme est que les dommages pourraient être n'importe où dans l'ADN et encore conduire à ces cancers. Donc, je ne pense pas que cela a à voir avec ce genre de registre, mais avec celui de notre évolution, d'une certaine manière…

Question

Je pense un peu que les préjudices de certaines mutations peuvent être déterminés dans une population d'ici quelques générations, et qu'ils peuvent être calculés à un certain taux. Donc, si cela se produit dans certaines régions régulatrices de localisations multiples, chaque mutation peut alors être presque invisible à l'intérieur, mais dans la génération future pourrait apparaître, en tant que dommage combinatoire, comme une nouvelle maladie. Est-ce que vous envisagez que quelque chose de ce genre puisse se produire ?

Keith Baverstock

Eh bien, non, je pense que nous ne suivons pas cette voie. En fait, la plupart des mutations qui se produisent dans l'ADN proviennent de plusieurs sources : des rayonnements ionisants, de la pollution due au trafic, … il y a beaucoup de choses qui causent des mutations, les cigarettes, toute sorte de choses. Mais en réalité la plupart de ces mutations ne font rien, elles n'apparaissent pas.

Ainsi, le système est assez résiliant à cela, mais ce à quoi il n'est pas résiliant, ou autant qu'il pourrait l'être, c'est à cette quasi-instabilité, que vous pouvez avoir si vous désactivez le bon phénotype en adoptant un phénotype variable. Ce phénotype variable ne trouvera jamais sa voie vers l'attracteur maison original. Et il n'y aura jamais un retour du vrai phénotype. Donc en fait ce qu'on recherche dans les populations soumises à ces atteintes, c'est le phénotype anormal. Et c'est assez complexe, car un phénotype a des centaines d'aspects. En général les biologistes se concentrent sur un ou deux aspects, par exemple lorsqu'une fleur rose se transforme en fleur bleue. Mais quoi d'autre change aussi ? Ils adoptent le point de vue que toutes les autres choses restent égales, mais en fait cela ne fonctionne pas dans le domaine économique, et cela ne fonctionne pas en biologie non plus.

Question

Moi je voudrais remercier le dernier orateur d'avoir souligné l'idée qui me parait extrêmement importante : c'est qu'un rayonnement ionisant qui traverse un organisme vivant, abime non seulement les molécules d'ADN qu'il rencontre, d'où des possibles mutations cancérigènes notamment, mais toutes les autres molécules, en particulier les protéines ; et donc le rayonnement ionisant met en danger toute la machine des cellules.

La deuxième idée que j'ai retenue c'est que ce fait s'aggrave au fil des générations.

La troisième idée c'est que l'on met 300 ans pour le prouver. Donc, ma question c'est : de quelle façon présenter ce type de résultat aux gouvernements pro nucléaires, et notamment le gouvernement de la France, où j'habite, qui maintient en fonctionnement 19 centrales nucléaires au total, 58 réacteurs aux portes de la Suisse ; et que notre gouvernement est ouvertement pro nucléaire et ne comprend absolument rien aux arguments présentés ce matin ?

Donc ma question c'est : comment traduire vos recherches de façon convaincante pour nos hommes politiques, c'est-à-dire ceux qui décident au bout du compte de maintenir cette industrie nucléaire qui met en jeu la survie de l'humanité entière.

Keith Baverstock

Je pense qu'il y a une étape avant cela, et cette étape est de s'engager, au niveau scientifique, pour débattre dans quelle mesure cela est pertinent, et si effectivement ceci remplace le paradigme génétique. C'est triste à dire mais ce document, ainsi que plusieurs articles publiés il y a des années, remontant à 2008, n'ont stimulé aucune discussion avec la communauté génétique. Donc, jusqu'à ce qu'ils décident de s'engager dans ce débat, cela sera simplement ignoré. Ce sont les faits.

Ruth Stégassy

Merci beaucoup, ça a été une matinée déjà très dense, donc on s'arrête pour manger tous ensemble dans le hall, puisque les organisateurs ont la gentillesse de nous inviter tous, et nous reprenons nos travaux à 14 h. ◆

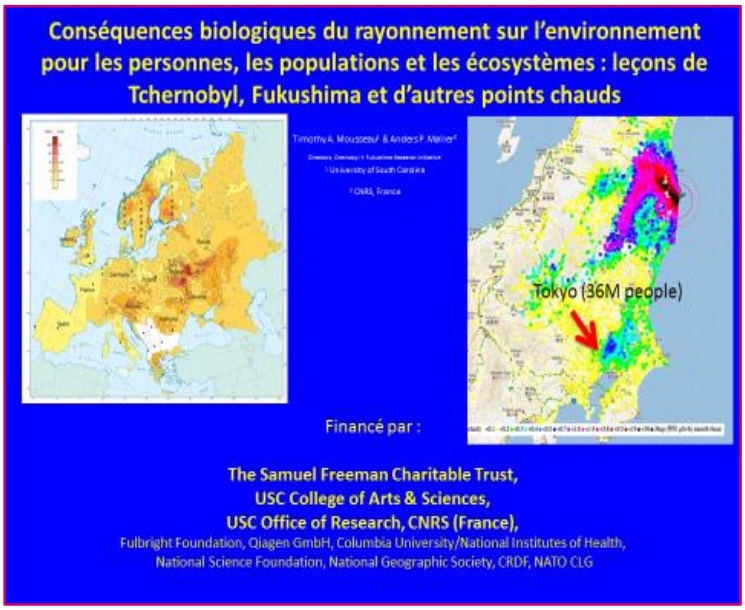
Conséquences biologiques des rayonnements dans l'environnement pour les individus, les populations et les écosystèmes : leçons de Tchernobyl et Fukushima

***Dr Timothy Mousseau**, Professeur au Département des sciences biologiques de l'Université de Caroline du Sud (États-Unis)*

Introduction *par* ***Ruth Stégassy***

***Le 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, le 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 le 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.*

Présentation



C'est vraiment un grand privilège pour moi d'être ici aujourd'hui, je vous remercie d'être venus.

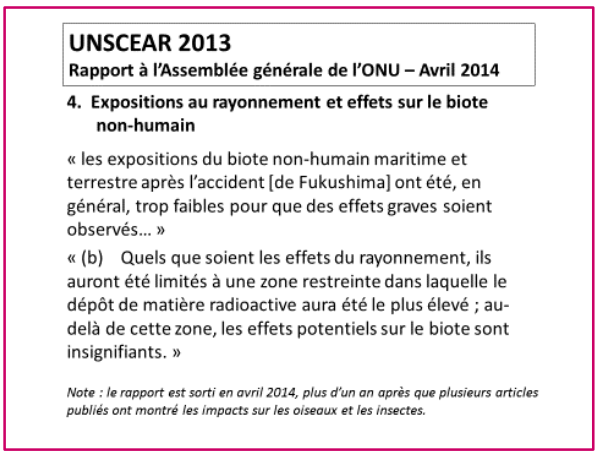
Je vais utiliser mon temps pour aborder certains des résultats clés que nous avons obtenus au cours des 15 dernières années à Tchernobyl et pendant les 3 dernières années et demi à Fukushima.

Comme vous le savez tous ici, Tchernobyl s'est produit en 1986, il y a 28 ans et demi, et Fukushima en mars 2011. À bien des égards ces événements sont similaires mais également différents et nous avons essayé de saisir et d'utiliser les similitudes et les différences pour tester certains de nos modèles concernant les effets des radionucléides sur les populations naturelles.

Je vais commencer par quelques diapositives qui nous ont vraiment motivés et qui précisent le cadre des recherches que nous avons effectuées ces dernières années.

Je crois que vous avez tous entendu parler du Rapport du Forum Tchernobyl publié en partie en 2005, officiellement en 2006, qui suggère, entre autres, que les animaux et les plantes à Tchernobyl prospéraient, allaient très bien car il n'y avait pas d'humains, – il y a une belle et grande clôture autour. Alors ça nous a plutôt étonné car nous y étions déjà depuis plusieurs années et nous n'avons vraiment pas remarqué qu'il y avait beaucoup d'animaux partout, en fait nous avons eu du mal à trouver bon nombre d'animaux. Alors nous étions un peu choqués et surpris.

Le rapport UNSCEAR 2013, paru juste au début de cette année, en avril 2014, dit la même chose. Ils estiment que les expositions de Fukushima sont en général « trop faibles pour que des effets aigus soient observables ».



Ils ont également affirmé que « les effets possibles sur le biote sont insignifiants, » même si peut-être il y avait quelques rayonnements (rires)…

Ils ont sorti ce rapport sans tenir compte de tous les ouvrages produits sur Tchernobyl ces dix dernières années, dont certains que nous avons publiés, ainsi que les quelques publications sur Fukushima des trois dernières années. Nous avons donc été très surpris, on a du mal à comprendre pourquoi

ils font ce genre de déclarations qui brillent par l'absence totale de données brutes, en ignorant la plupart des données qui existent.

Donc, il n'y a pas de données scientifiques empiriques rigoureuses à l'appui de ces deux rapports, qui ont eu une influence énorme sur notre manière de considérer les risques et les dangers des catastrophes nucléaires et de la radioactivité en général.

Mais....

- Aucune donnée scientifique rigoureuse, empirique ne vient soutenir ces déclarations.
- Le corpus de plus en plus fourni de données empiriques qui démontre les blessures faites aux personnes, aux populations et à l'écosystème par ces catastrophes est ignoré.

Et cela va à l'encontre du mandat général de l'ONU, de protéger aussi l'environnement. Il ne s'agit pas seulement de protéger les êtres humains mais aussi l'environnement pour, au bout du compte, le bien de l'homme.

UNEP

Programme des Nations Unies pour l'environnement

La mission du PNUE est « d'assurer la direction et d'encourager la coopération pour la protection de l'environnement en incitant, informant et permettant aux nations et aux populations d'améliorer leur qualité de vie sans compromettre pour autant celle des générations futures. »

Vu le peu de temps que j'ai aujourd'hui, je vais passer en revue rapidement quelques domaines clés et essayer de soulever un certain nombre de points.

Le premier domaine touche la question de savoir si oui ou non le niveau du rayonnement, le niveau de la contamination radioactive que nous voyons dans des endroits comme Tchernobyl et Fukushima, génère ou non des dommages à l'ADN.

Je pars de l'hypothèse que les dommages à l'ADN sont importants au vu de certaines de leurs conséquences.

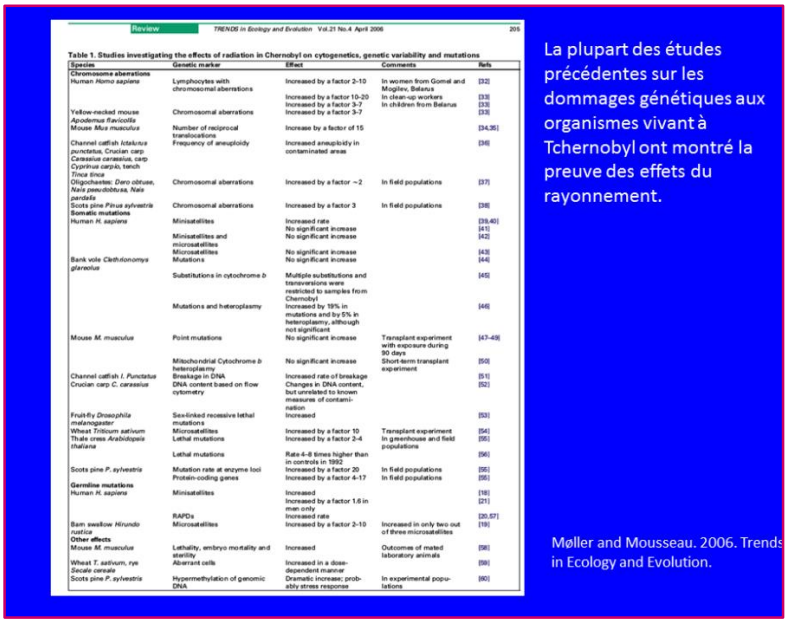
Donc nous avons travaillé avec différents types de marqueurs de dommages à l'ADN : les marqueurs d'ADN microsatellites. Ce sont les empreintes digitales que la police utilise pour identifier les corps, ils mutent très rapidement, ils sont souvent un bon marqueur pour l'immunogénèse. Nous avons une technique, comme le test des comètes, qui nous permet de voir la cassure des chromosomes.
Mais il y a d'autres méthodes standard pour évaluer les dommages génétiques dus aux rayonnements : la fréquence de micronoyaux. Nous utilisons également d'autres indicateurs, comme la détérioration du sperme, pour mesurer certains effets géniques. À l'avenir, si nous obtenons le financement, nous utiliserons d'autres techniques génomiques plus complexes pour évaluer les dommages génétiques.

Estimation des dommages génétiques dus au rayonnement

- Marqueurs microsatellites de l'ADN
- Tests des comètes pour les taux de cassures simple et double brin
- Fréquence de micronucléides
- Dommage morphologique du sperme comme vecteur d'un dommage génétique
- Futurs : - Profils de l'expression du gène
- - Scanners du génome entier pour des estimations de taux de mutations *de novo* (néomutations)

Il y a dix ans, lorsque ce sujet a commencé à devenir un peu plus brûlant, on s'est dit qu'il était nécessaire de réexaminer la littérature. Que sait-on des effets des radiations dans l'environnement relatifs aux dommages génétiques ? Nous nous sommes tournés vers la littérature de l'Occident et vers la littérature réputée de l'Est, en nous focalisant sur les

études effectuées à Tchernobyl et nous avons examiné celles de la revue *Trends in Ecology and Evolution*. Ce tableau montre les résultats d'environ 44 études faites à l'époque et qui auraient donc dû être incluses dans le Rapport du Forum Tchernobyl, mais en grande partie ne l'ont pas été.



En regardant toutes ces études, on constate qu'environ 85 % d'entre elles montrent des preuves de dommages à l'ADN liés à l'exposition aux rayonnements de Tchernobyl. C'est donc une information tout à fait convaincante sur les dommages génétiques des effets de Tchernobyl.

Nous venons de terminer une autre étude similaire, qui utilise toute la littérature produite dans les cinq dernières années – bientôt huit ans maintenant depuis que ce document a été rédigé – et cette nouvelle analyse, qui redouble le nombre d'études, est beaucoup plus convaincante. Faite du point de vue quantitatif, elle devrait être publiée j'espère d'ici un mois ou deux, vous la verrez, j'en suis sûr.

Beaucoup d'entre vous ont probablement vu cette annonce provenant de l'industrie du nucléaire, à savoir que les niveaux de rayonnement autour de Tchernobyl et Fukushima sont très faibles. La quantité des radiations émises par les centrales nucléaires dans leurs activités quotidiennes est très faible, en fait plus faible que les niveaux de rayonnement naturel que l'on trouve dans plusieurs régions du monde ; et comme c'est plus faible que les niveaux de rayonnement naturel, peut-être que ce n'est pas si grave, non ?

Cette déclaration a été faite à maintes reprises, je l'ai entendue tellement de fois que nous avons décidé de refaire la même chose : revoir la littérature, voir ce qui avait été publié quant aux expériences des effets des rayonnements dans des régions naturellement radioactives comme Ramsar en Iran, Kerala en Inde, Guarapari au Brésil, Lodève en France, des zones qui ont des taux de radioactivité naturelle plus élevés en raison de la présence d'uranium ou de thorium proches de la surface.

Nous avons trouvé 150 études différentes, relativement informatives ; nous les avons analysées et, ô surprise, même la radioactivité naturelle entraîne des conséquences.

Il n'y a pas d'études démontrant que le rayonnement naturel de ce genre génère des cancers. Cependant, la deuxième cause de cancers du poumon prouvée en Amérique du Nord et en Chine, savez-vous ce que c'est ? *(Le public : le radon)*. C'est le radon ! Le radon dans vos sous-sols est une radioactivité naturelle qui cause des cancers.

Voici un résumé des différents caractères affectés par la radioactivité naturelle, dont la plupart sont significatifs.

Evolution et variation naturelle de la radioactivité 21

Tableau 2. Tailles d'effet moyennes pondérées par la taille de l'échantillon, leurs intervalles de confiance, nombre d'études, hétérogénéité (Q_T) parmi les études (test global) et les catégories, degrés de liberté (d.d.l.) du test d'hétérogénéité et probabilité (P) de ce test d'hétérogénéité pour différents groupes de jeux de données listés au tableau 1.

Category	Mean effect size	Bootstrap 95% confidence interval	No. studies	Q_T	d.f.	P
Ensemble des études	0.093	0.039, 0.171	66	952.41	65	<0.0001
Animaux	0.089	0.071, 0.108	57	39.45	1	<0.0001
Plantes	0.749	0.570, 0.878	9	—	—	—
Immunologie	0.451	0.018, 0.750	3	70.86	4	<0.0001
Physiologie	0.278	−0.029, 0.767	4	—	—	—
Mutation	0.177	0.059, 0.376	31	—	—	—
Morphologie	0.054	0.004, 0.124	19	—	—	—
Cancer	−0.005	−0.049, 0.006	6	—	—	—
Autres maladies	0.057	−0.017, 0.158	11	1.49	1	0.22
Variables confondues non contrôlées	0.026	0.010, 0.063	8	—	—	—
Variables confondues contrôlées	0.056	−0.079, 0.199	17	2.08	1	0.15
	0.098	0.041, 0.184	49	—	—	—

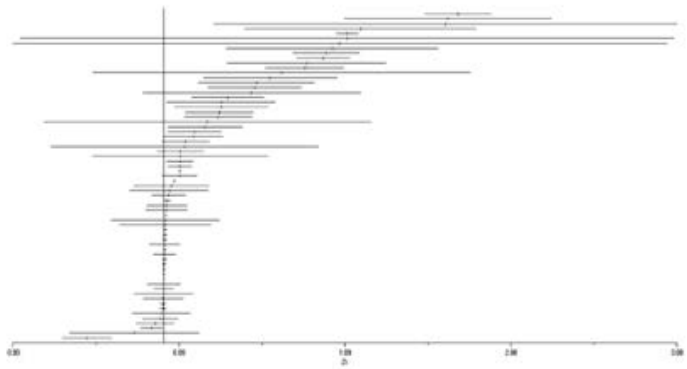
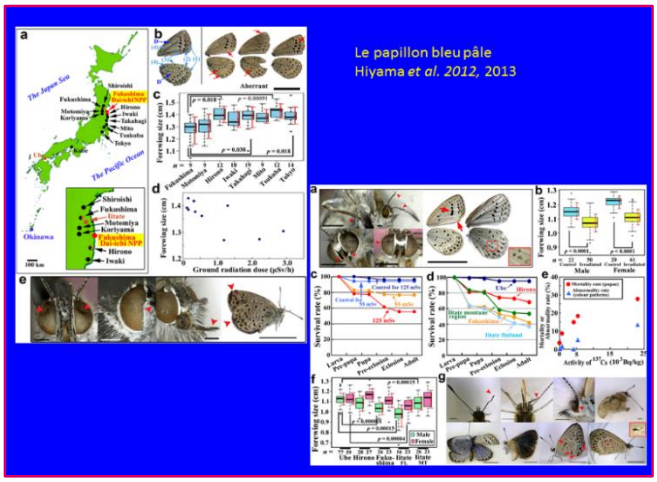


Figure 1. Graphique des 66 estimations de taille d'effet de la relation entre le niveau de rayonnement naturel et les variables de réponse biologique. Les tailles d'effet sont des estimations du coefficient de corrélation du produit des moments de Pearson transformé en cote z (Zr) représenté ici avec un intervalle de confiance à 95%. La ligne verticale indique la taille d'effet globale moyenne : 0,093.

Nous allons entendre beaucoup plus sur cette étude après ma présentation, donc je ne vais pas m'y attarder.

C'est une des études les plus éloquentes faite jusqu'à présent sur les conséquences génétiques de l'exposition multigénérationnelle aiguë aux rayonnements, et c'est l'histoire du papillon bleu pâle du Japon. Je vais laisser cela pour vous. *(il se tourne vers Chiyo Nohara).*

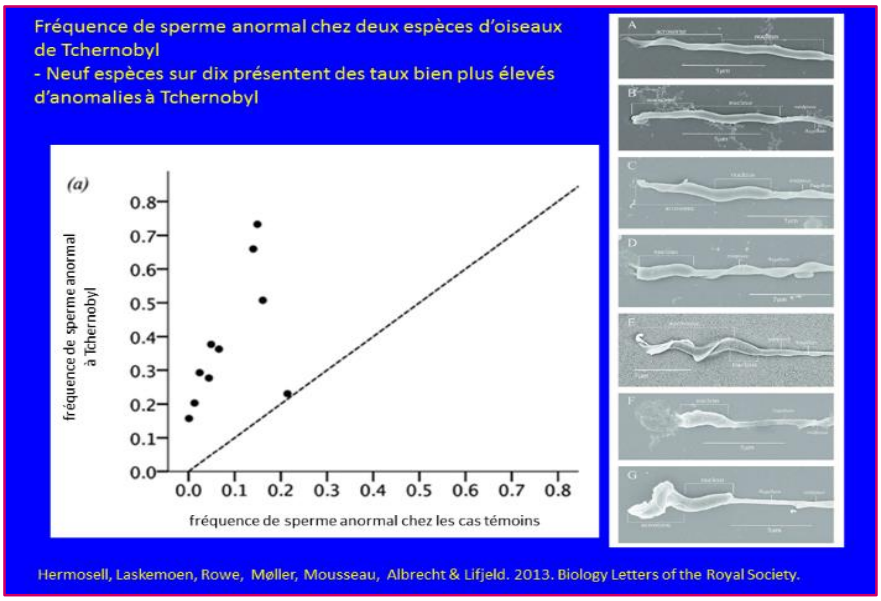


Une chose que nous avons déjà entendue précédemment... Le fait d'avoir une mutation au niveau de l'ADN, n'est pas forcément un élément significatif en soi. Nous sommes tous porteurs de milliers, sinon plus, de mutations, entre guillemets. La plupart d'entre elles ne se révèlent pas, la plupart n'ont aucun effet. Il est donc tout à fait possible que les niveaux du rayonnement de Tchernobyl et Fukushima conduisent à une hausse du taux de mutations, mais cela n'implique pas nécessairement des conséquences pour l'organisme.

Donc, il faut tester cela pour le démontrer de façon empirique. Et c'est ce que nous avons fait de différentes manières.

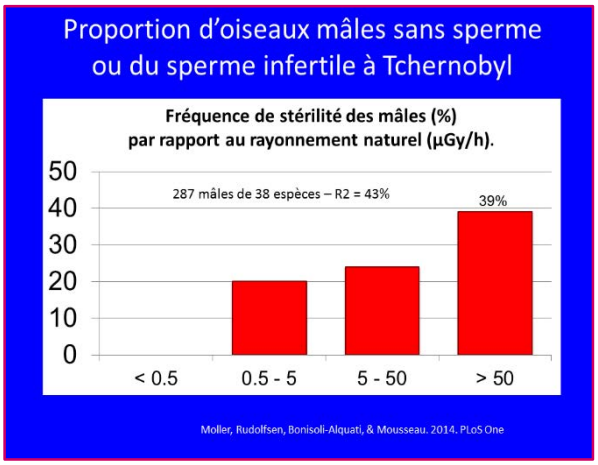
Nous avons publié un article l'an dernier qui compare la morphologie du sperme des oiseaux mâles. Une des raisons pour examiner le sperme c'est que la spermatogenèse a tendance à être très sensible aux effets environnementaux, y compris les rayonnements.

Et lorsque nous avons comparé les espèces de Tchernobyl aux mêmes espèces des zones de contrôle non contaminées d'Europe, nous avons constaté que 9 espèces sur 10 présentaient des taux bien plus élevés d'anomalies dans leur sperme. 9 sur 10, c'est assez frappant.



Ce qui est encore plus frappant c'est que lorsque nous avons collecté plusieurs milliers d'oiseaux au cours des années à Tchernobyl, des zones très contaminées jusqu'aux zones très propres, et que nous avons contrôlé leur sperme – par manque de temps je ne vais pas vous expliquer la technique de massage japonaise pour prélever le sperme de ces mâles, mais nous l'avons fait sans leur nuire (rires) – donc, dans les zones plus contaminées de Tchernobyl, nous avons constaté qu'environ 40% des mâles étaient complètement stériles.

Ceci n'est pas très étonnant : on sait que le rayonnement cause une stérilité temporaire ou permanente des hommes soumis par exemple à une radiothérapie. En général on vous conseille de déposer votre sperme si vous envisagez d'avoir des enfants.



Je pense que les oiseaux dans ces zones sont probablement stériles en permanence, et cela montre une relation dose-effet, à nouveau très frappante.

Nous voyons également beaucoup d'autres biomarqueurs de l'exposition aux rayonnements qui sont probablement assez bénins par rapport à la survie des oiseaux.

Une des premières choses que nous avons remarquée, c'est que de nombreux oiseaux avaient des touffes de plumes blanches là où ils ne devaient pas en avoir.

Probablement ça n'enlève rien à leur capacité de voler, ou de faire autre chose, mais la quantité de plumes blanches au menton de cette hirondelle rustique peut affecter sa capacité d'attirer une femelle.

Dans ce cas, il peut y avoir un effet indirect sur les chances de survie. On ne voit pas ces plumes blanches avec une telle fréquence ailleurs qu'à Tchernobyl. Là encore nous avons publié des articles sur ce sujet.

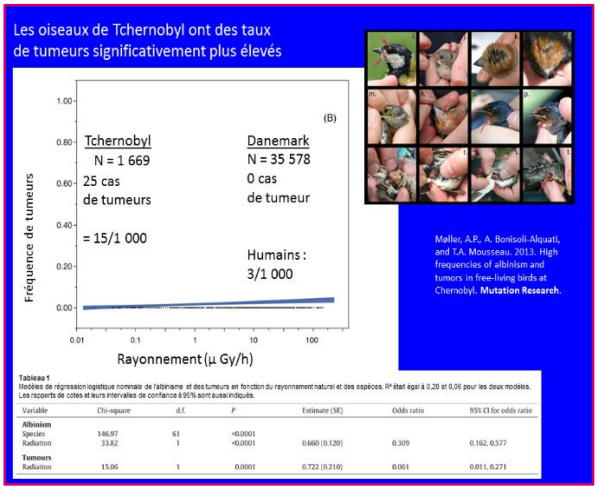
Le seul autre endroit où l'on voit souvent ces plumes blanches c'est à Fukushima. Trois ans après l'accident on commence à voir des taches de plumes blanches sur les hirondelles rustiques, seule espèce que nous étudions très attentivement. Environ 20% des oiseaux à Fukushima présentent ces petites touffes de plumes blanches.

Et bien sûr il y a d'autres animaux à Fukushima, dont vous avez peut-être entendu parler, qui présentent des taches blanches, y compris les vaches que certains des agriculteurs ont gardées.

Excusez-moi de vous montrer l'arrière d'une vache, mais ça vous permet de bien voir les petites taches blanches. Nous ne savons pas si c'est la même raison qui cause cet effet, mais cela mérite certainement d'être étudié, c'est une coïncidence intéressante.

Nous ne voyons pas seulement des petites taches de plumes blanches ou de pelage blanc, nous observons également des taux extrêmement élevés de tumeurs et d'autres anomalies du développement qu'on ne trouve pas ailleurs.

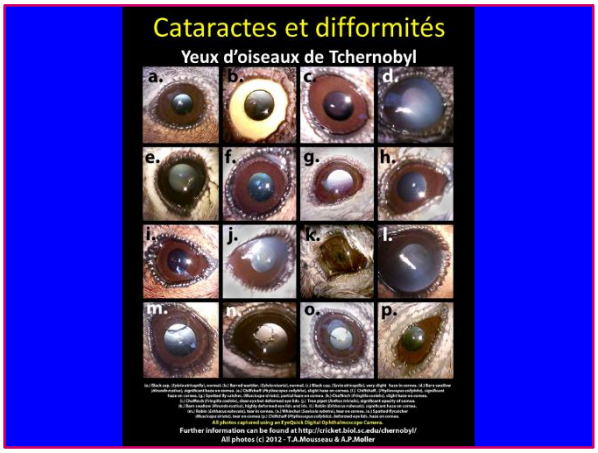
Cela peut sembler pas trop évident, mais voici une mésange charbonnière avec une grande tumeur qui s'est développée au-dessus et sous l'œil. On ne voit pas souvent ce genre de tumeurs de la tête. On observe aussi d'autres anomalies du développement que vous ne voyez nulle part ailleurs dans d'autres populations, au moins avec cette fréquence. Voici ce que nous avons publié l'an dernier sur ce sujet.



L'un des caractères observés en premier parmi les survivants des bombes atomiques, c'était le fait que beaucoup de gens, y compris les enfants, avaient développé des cataractes un à deux ans après l'exposition.

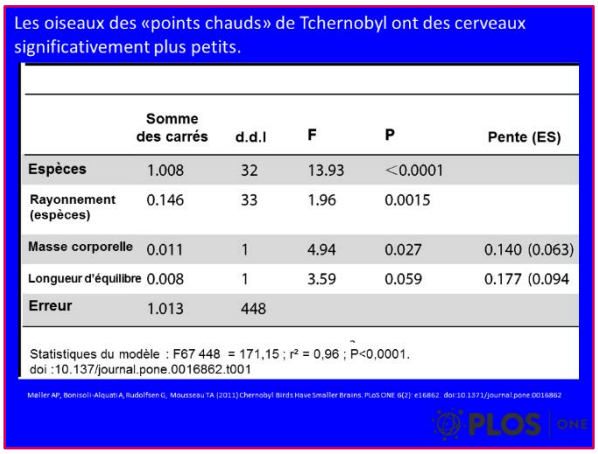
L'effet n'est pas imputable à l'âge en tant que tel, mais à l'exposition aux rayonnements.

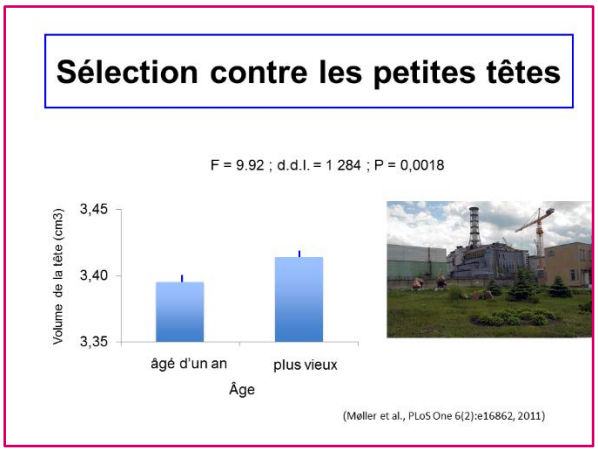
Nous avons donc commencé à observer les oiseaux. Les oiseaux présentent une fréquence bien plus élevée de cataractes, une opacification du cristallin de l'œil de type CSP (PSC en anglais ; cataracte sous-capsulaire postérieure) qui est souvent associée à l'exposition aux rayonnements.



Il y avait aussi des mutations dans les cellules souches qui constituent le cristallin. Et une fois que ces cellules souches accumulent suffisamment de mutations, elles deviennent moins claires et se manifestent sous forme de cataracte. Nous avons publié également sur ce sujet l'an dernier.

Une autre caractéristique, encore une fois pas trop surprenante : on sait que le rayonnement a des effets négatifs sur le développement neurologique. Le tissu neural est particulièrement sensible au rayonnement ionisant et au stress oxydatif résultant de ce rayonnement. Nous avons donc commencé à mesurer la taille du cerveau des oiseaux et nous avons constaté que les oiseaux à Tchernobyl ont des cerveaux d'environ 5% plus petits.

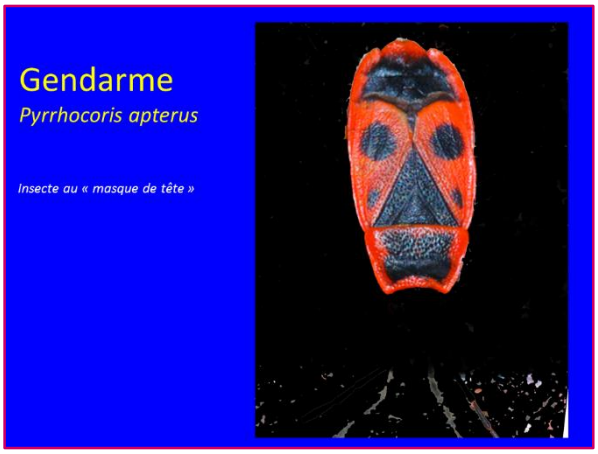




Ce chiffre de 5% à l'air insignifiant mais, en termes de survie des oiseaux, il s'avère que ce 5% est très significatif. Les oiseaux avec des cerveaux plus petits ont moitié moins de chances de survie d'une année à l'autre. Les deux dernières diapositives montrent les conséquences cognitives de ce cerveau plus petit.

Je n'ai pas de diapositives car nous n'avons pas encore la publication, mais nous avons aussi étudié la taille des cerveaux des petits rongeurs, les souris et les campagnols, tant à Tchernobyl qu'à Fukushima et, devinez, eux aussi ont un cerveau plus petit. Nous essayons de voir si, chez ces souris, cela a un impact en termes de réponses comportementales, mais elles montrent les mêmes genres d'effets ; elles montrent aussi des taux élevés de cataractes.

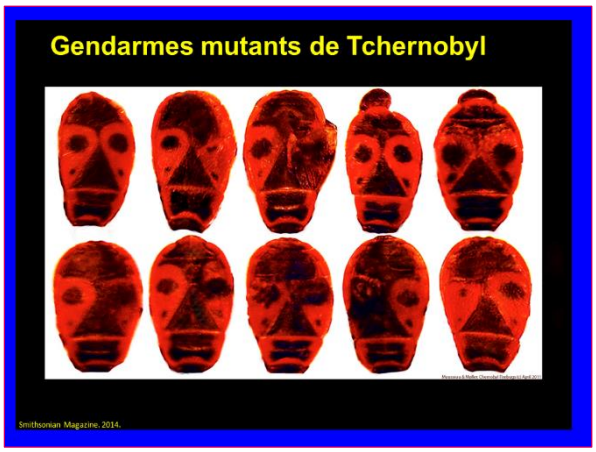
Cette diapositive montre un insecte, le gendarme.



Certains d'entre vous ont peut-être déjà vu les dessins de Cornelia Hesse-Honegger, l'artiste suisse qui a bien gagné sa vie en dessinant les insectes, en particulier ceux qui vivent à proximité des centrales nucléaires.

Cette espèce est connue, vous pouvez tous voir là le masque avec cette touche noire, vous voyez la bouche, le nez, les yeux. Vous voyez celui-là – il a un aspect normal.

Quand vous allez à Tchernobyl et que vous commencez à retourner les pierres, voilà ce que vous trouvez : des mutations qui se manifestent en motifs étranges de développement.



C'est un test très sensible parce que normalement ils ont une coloration symétrique. Cela m'incite à vous dire que, fondamentalement, à Tchernobyl, à chaque pierre qu'on retourne, on voit les signes des effets du rayonnement.

Pas besoin de chercher trop loin. Les arbres montrent continuellement les effets étranges de leur développement.

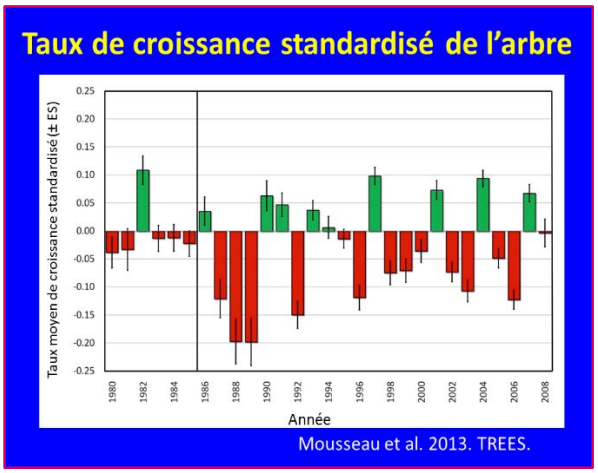
Ce sont des pins sylvestres, ils devraient être grands et droits, mais dans les zones très contaminées on voit toutes sortes de modèles de croissance vraiment inhabituelles causées soit par la toxicité directe soit par l'effet mutagène du rayonnement.

On voit également une différence dans la qualité et la couleur du bois.

L'histoire est assez intéressante. Il y a quelques années nous essayions d'évaluer le nombre de petits mammifères à Tchernobyl, d'où l'idée d'aller là-bas en hiver pour voir les pistes, leurs empreintes dans la neige, afin de compter le nombre et la diversité dans la région. On s'est retrouvé derrière une équipe de bûcherons qui faisaient des tranchés coupe-feu dans la forêt, et Ils avaient parfaitement empilé toutes ces bûches.

Et en regardant cette pile de bûches je me suis dit : « il y a un changement de la couleur vraiment bizarre, on dirait qu'il s'est produit au même moment dans les jeunes arbres comme dans tous les arbres ».

Les pins ont l'avantage d'avoir de grands anneaux, de sorte qu'on peut réellement compter leur âge à l'œil nu, il suffit de les compter. Quand j'ai compté ces anneaux, il était clair que ce changement de la couleur s'était produit à l'époque de Tchernobyl. Et quand nous avons prélevé des échantillons de 300 arbres et examiné les modèles de croissance, voilà de nouveau les effets négatifs dramatiques sur la croissance suite au désastre de Tchernobyl, qui ont tendance à ressurgir dans les années de sécheresse.



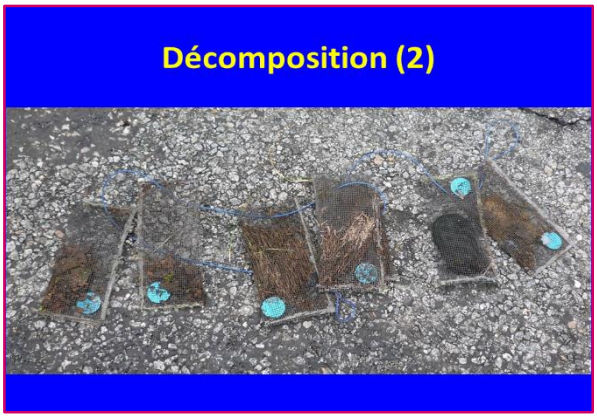
Une autre observation intéressante. Nous nous promenions dans la Forêt rousse de Tchernobyl. C'est la zone qui a été tuée, très rapidement. Les pins sous le vent du réacteur ont été frappés par une forte dose de radiation et toutes les aiguilles sont devenues très rapidement rouges, d'où son nom de « Fôret rousse (ou rouge) ». Un certain nombre d'arbres ont été abattus, d'autres simplement abandonnés. C'est une vieille pinède dans la zone.

Quand nous sommes arrivés en 2002, nous nous promenions aux alentours ; nous avons voulu marcher sur ces troncs, et nous nous sommes aperçus qu'ils étaient durs. Ces troncs d'arbres, qui étaient là depuis plus de 15 ans déjà, ne s'étaient pas du tout décomposés, ils étaient plutôt intacts, et ça nous a un peu surpris.

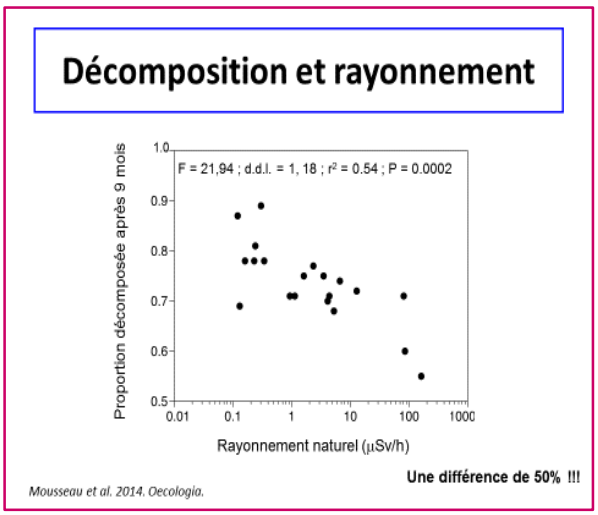
On s'est dit que peut-être le rayonnement préservait le bois d'une certaine façon, mais ensuite il nous est venu à l'esprit que peut-être le rayonnement agissait plus comme dans la stérilisation des aliments : nous stérilisons les aliments par le rayonnement pour tuer tous les microbes, n'est-ce pas, pour éviter que les aliments ne dépérissent. Peut-être le rayonnement avait-il le même impact sur la décomposition du bois dans cette forêt ? Nous avons donc tenté une expérience.

Nous avons pris des feuilles et des aiguilles de pin, nous les avons mises dans 600 petits sacs en filet qu'on a dispersés un peu partout autour de Tchernobyl, dans des zones contaminées et des zones propres.

Nous sommes revenus un an après pour voir combien de matière végétale avait disparu suite à



l'activité microbienne. Et voilà : nous avons constaté que le taux de décomposition, la vitesse à laquelle la matière avait été décomposée par les bactéries, était bien plus basse dans les zones à forte contamination.



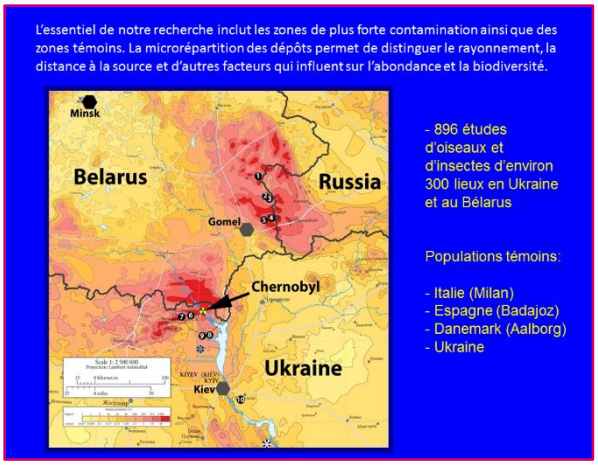
Le rayonnement avait une incidence sur la communauté microbienne. C'est très grave puisque cette décomposition naturelle permet le recyclage des nutriments dans l'écosystème, et donc ça a potentiellement une conséquence sur tout l'écosystème et peut être en partie responsable de la croissance plus lente des arbres que nous voyons aussi dans certaines de ces zones.

Je veux aborder une dernière conséquence, qui m'a vraiment intéressé suite au Rapport du Forum Tchernobyl : les animaux sont-ils affectés ? L'abondance et la biodiversité des animaux et des plantes dans ces zones sont-elles touchées par les contaminants radioactifs ?

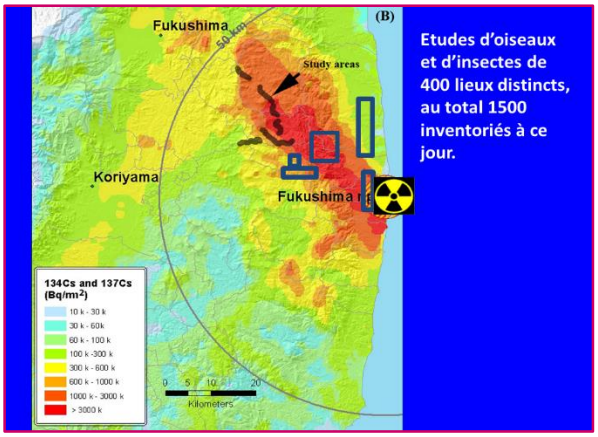
Nous avons publié plusieurs articles, une douzaine à l'heure actuelle sur ce sujet. Et nous arrivons à cette question, car ce n'est pas une question simple à résoudre.

On ne peut pas se rendre dans un ou deux endroits contaminés à Tchernobyl, puis se rendre dans un ou deux endroits propres pour se faire une idée des effets sur l'abondance des animaux, parce différentes choses influent sur les animaux et les plantes : le type de sol, les différentes sortes de plantes présentes, les différents animaux présents ; donc il faut effectuer une étude beaucoup plus complète pour apporter une réponse à cette question.

Pour faire cela nous sommes allés à environ 400 endroits différents autour de Tchernobyl, à la fois du côté ukrainien et du côté biélorusse, dont le niveau de radioactivité varie.



De même pour Fukushima nous allons dans 400 lieux différents ; nous nous y sommes rendus 4 fois déjà, là encore dans des zones quasi propres jusqu'aux zones très, très contaminées.



Nous mesurons l'abondance dans chacun de ces 400 emplacements, et on le fait pour la plupart 3 fois.

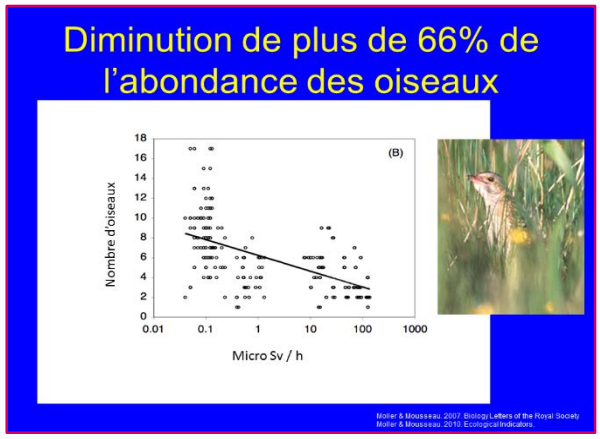
Nous mesurons aussi tout ce qui est important pour un oiseau ou un insecte : les plantes, le type de sol, s'il y a de l'eau à proximité ou des champs agricoles – tout facteur qui peut être important pour un oiseau –, ainsi que les niveaux de radiation.

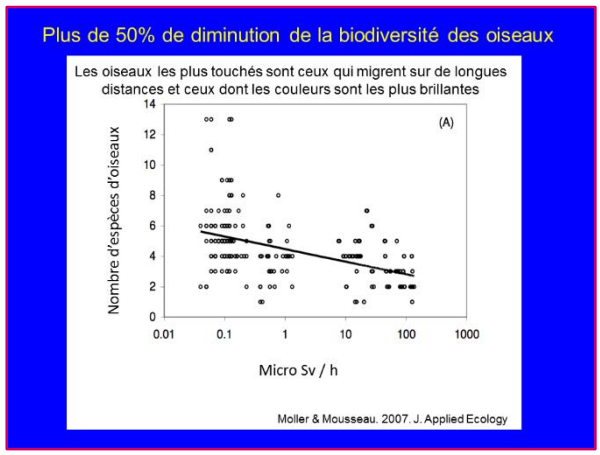
On utilise le SIG, système d'informations géographiques, et des statistiques multivariées pour créer un modèle qui montre quels ont été les effets.

Cette approche est plutôt rare, très peu de gens l'utilisent, il faut un gros travail pour collecter les données. Mais cela nous permet de prédire ce qui devrait être dans un endroit. Même si on ne sait pas

exactement ce qu'il y avait auparavant, on peut découvrir ce qui aurait dû y être, sur la base de l'échelle du paysage.

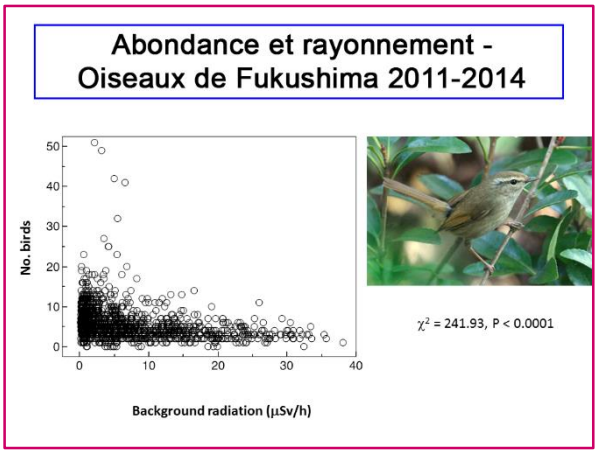
Quand nous le faisons à Tchernobyl, nous trouvons qu'il y a, dans ces zones très radioactives, beaucoup moins d'oiseaux qu'il devrait y en avoir. Beaucoup moins, environ un tiers en moins. Il y a presque la moitié d'espèces. Le nombre d'espèces, à un endroit donné, a diminué de moitié dans ces zones radioactives par rapport aux zones propres.

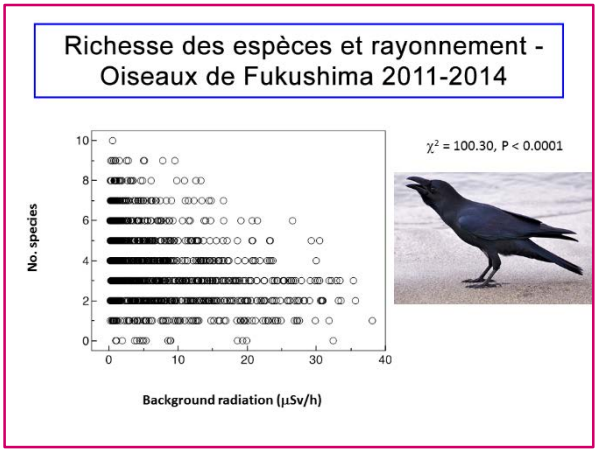




Il s'avère que le rayonnement est le principal prédicteur de l'abondance et de la distribution d'un grand nombre de ces espèces.

Là je vous présente des données très récentes.





Nous venons de terminer la quatrième étude de ces 400 sites à Fukushima. Ces données représentent nos 4 années d'observations à Fukushima. Nous observons exactement la même chose : beaucoup moins d'oiseaux dans ces zones de contamination significative et, ce qui est encore plus frappant, beaucoup moins d'espèces dans ces zones à forte contamination. Un signal très clair, très fort.

Ce que je pensais faire pour terminer, c'est vous montrer une petite vidéo sur la façon dont on obtient ces données. Parce que beaucoup de gens ne savent pas comment on le fait.

Y a-t-il un guetteur d'oiseaux dans la salle ? Si oui, vous connaissez les points de comptage des oiseaux. Nous fixons ces points, nous allons à cet em-

placement et nous observons le nombre d'oiseaux présents. Je vais vous montrer la vidéo, si mon assistante peut placer le micro devant l'ordinateur. Pouvez-vous lancer la vidéo ? C'est bon.

Alors ça c'est un endroit normal près de Fukushima, où on guette les oiseaux. Il suffit d'être assis, d'écouter et regarder pendant 5 minutes.

Il y a environ 10, 11 espèces d'oiseaux à cet endroit particulier…

Et là c'est 5 miles plus loin, dans un emplacement très contaminé.

C'est un « printemps silencieux ». Il y a très peu d'oiseaux. Un calme où rien ne se passe, très peu de papillons, très peu d'oiseaux. C'est accablant et sans équivoque. Surtout lorsque nous faisons cela dans 400 endroits, nous pouvons nous rendre compte de ce qui s'y passe : le rayonnement est la cause principale du changement.

Alors, permettez-moi de passer aux conclusions.

Que signifie tout cela ?

Que signifie tout cela?

- Contrairement à ce que l'on trouve dans les rapports gouvernementaux, il existe maintenant une abondance d'informations démontrant les conséquences (i.e. les dommages) du rayonnement à faible dose provenant des catastrophes de Tchernobyl et Fukushima sur les personnes, les populations, les espèces et le fonctionnement de l'écosystème.

Eh bien, je dirais que le résultat principal, contrairement aux rapports gouvernementaux comme celui du Forum Tchernobyl ou de l'UNSCEAR, c'est qu'il y a une énorme quantité d'informations démontrant les conséquences, les dommages à tous les niveaux de l'organisation biologique, de l'ADN aux individus, aux espèces, aux populations, à l'écosystème.

Maintenant il y a beaucoup de données qui démontrent ces effets, et il faut leur accorder plus d'attention, il faut les prendre en considération lorsqu'on commence à réfléchir aux effets des rayonnements.

Que faire ?

Que faut-il faire?

- Nous appelons au financement d'un effort scientifique international pour établir une documentation complète sur l'étendue des conséquences biologiques liées au rayonnement à faible dose dans l'environnement.
- Un tel effort doit être piloté par des scientifiques indépendants impliqués dans une analyse rigoureuse, impartiale de la situation actuelle dans le but de prévoir les impacts à long terme.

Eh bien nous demandons davantage de fonds.

Aux États-Unis l'an dernier, la National Science Foundation a dépensé plus d'un milliard de dollars pour la recherche sur le réchauffement climatique global ; en fait je pense même plus que ça.

Et ils ont dépensé une centaine de milliers de dollars pour financer des recherches sur Fukushima et Tchernobyl, et cela en fait juste pour des réunions. Le gouvernement japonais dépense 100 milliards de dollars pour nettoyer la zone, ce qui signifie déplacer les débris des routes et autour des maisons, et zéro, rien pour la recherche environnementale liée aux effets de la contamination radioactive. Le travail de recherche médicale qu'ils sont en train de faire n'est pas bon non plus.

Ce dernier point est très important : les efforts de recherche nécessaires ne doivent pas être effectués par des gens parrainés par l'AIEA. On sait que les chercheurs sont souvent biaisés par la source de leur financement, cela arrive ; donc ils doivent être des scientifiques indépendants dont la carrière ne dépend pas du financement. Ce qui signifie qu'ils doivent être dans les universités avec un salaire payé sans lien avec cela.

Voilà, je crois que je vais arrêter là, et je répondrai à toute question que vous pourriez avoir. La plupart des articles que j'ai mentionnés se trouvent sur le site web.

Donc, je vais m'arrêter là pour répondre à vos questions. Merci beaucoup.◆

Publications, photos et articles de presse

- http://cricket.biol.sc.edu/chernobyl/Chernobyl_Research_Initiative/Publications.html

Échange avec le public

Ruth Stégassy

Merci beaucoup pour cet exposé. Il y a plusieurs questions ; 1, 2, 3, 4…

Question

Vous avez recueilli de très bonnes informations phénotypiques. Est-ce que l'une d'entre elles est liée à des données moléculaires qui peuvent universaliser la compréhension et aussi être extrapolées par rapport à ce qui peut arriver aux humains ?

Timothy Mousseau

Très bonne question.

Alors, le premier point portait sur les limites des études génétiques, je pense que c'est ce que vous demandiez : est-ce qu'on peut établir une corrélation directe entre une modification de l'ADN et un changement phénotypique ?

Je peux vous dire que c'est le Saint Graal de la biologie évolutionniste, de la génétique évolutionniste depuis des décennies déjà, parce que c'est un peu une abstraction.

Le mieux que l'on puisse faire pour l'essentiel, à cause de nos ressources limitées et aussi des limites de la technologie, c'est d'associer un fragment d'ADN, peut-être un chromosome ou un protochromosome, à un changement dans le phénotype. À partir de là on peut déduire qu'il y a un lien génétique direct.

Mais pour beaucoup de caractères, beaucoup d'espèces – par exemple celles qui ne peuvent pas être élevées en laboratoire –, où on ne peut pas faire les croisements dont on a besoin pour vérifier ces associations génétiques, le lien entre la génétique et le phénotype est, pour la plupart, juste une hypothèse ; il y a sans doute d'autres mécanismes impliqués. Le docteur Baverstock en a parlé, il y a des interactions épigénétiques, et il y a d'autres modes d'action sur l'hérédité des caractères et leur mode d'expression. C'est probablement bien plus compliqué que ce que j'ai présenté. Pour autant il y a une association et nous avons besoin de mieux comprendre comment ces mécanismes fonctionnent dans la transmission des dommages génétiques d'une génération à l'autre.

La deuxième partie de votre question : est-ce que cela peut s'appliquer aux humains ? Vous savez, on me pose très souvent cette question. Sommes-nous différents des autres animaux, est-ce que les humains sont différents des singes qui courent autour de Fukushima ?

Pour la pluparts des recherches médicales, dont beaucoup sont effectuées en Suisse pour tester les médicaments, nous utilisons bien sûr des lapins, des souris, des rats, des poissons, des oiseaux et parfois nous utilisons juste des vins acides.

Pourquoi faisons-nous cela ? Parce que nous ne pouvons pas faire ce genre d'expériences sur les humains. Et les modèles animaux, végétaux et autres nous fournissent les informations dont nous avons besoin, car essentiellement nous nous comportons de la même manière, nous avons le même système biochimique de base, le même système génétique, nous avons le même code génétique. Alors oui, bien sûr, ceci est applicable aux humains.

Question

Tout d'abord merci pour vos recherches et vos communications qui sont très éclairantes, et je crois aussi très importantes face aux discours culpabilisateurs et insultants, qui incitent les gens à davantage d'optimisme. Cela a été le cas à Tchernobyl et ça l'est aussi à Fukushima, face à ce qu'on appelle

la radiophobie. Donc, on accuse les gens de radiophobie et je pense que c'est insultant. Je crois qu'on ne peut pas accuser les animaux d'être radiophobes et donc d'avoir des symptômes à cause de la radiophobie.

Ma question c'est : est-ce que vous avez connaissance de recherches sur les milieux marins ? Il y a un certain nombre d'observations qui ont été faites, sur le Pacifique notamment, où il y aurait une grande disparition d'espèces.... Est-ce que vous avez des éléments à ce sujet ? Merci.

Timothy Mousseau

Je vais commencer en disant que d'habitude, lorsque je fais une présentation plus longue, je montre une photo d'un oiseau avec une cigarette. Moi je n'ai jamais vu des oiseaux qui fument, qui boivent de la vodka et, autant que je le sache, ils n'ont pas des rapports sexuels à risque et ils ne sont pas déprimés. Je ne pense pas que les oiseaux soient stressés et déprimés. Si, ils sont stressés, ils le sont toujours, car ils ne souhaitent pas être mangés par un prédateur, non parce qu'ils ont peur de la catastrophe. Je pense que c'est l'un des grands avantages d'utiliser les animaux, car on n'a pas à se soucier des aspects psychosociaux.

En ce qui concerne l'Océan Pacifique et les conséquences…, le plus gros problème c'est que nous n'avons pas de financements pour y aller et étudier les conséquences potentielles.

Il y a eu toutes sortes d'histoires d'hécatombes de diverses espèces.

À mon sens elles sont relativement peu probables, parce que nous savons que même si les niveaux de contamination sont mesurables, ils ne sont probablement pas biologiquement importants, au moins du point de vue du rayonnement, car ils sont très, très bas. Si c'était le cas, si ces cas d'extinctions et d'hécatombes observés étaient liés directement aux rejets de Fukushima, tout le Japon serait une zone morte, ils seraient tous morts, car les niveaux sont bien plus élevés là-bas. Or, ce n'est pas le cas.

Mon soupçon c'est qu'il y a d'autres facteurs impliqués, bien qu'il puisse exister des réactions aux rejets radioactifs. Au bout du compte nous ne savons pas, on ne saura jamais, parce qu'il n'y a aucun investissement dans la science fondamentale pour essayer de répondre à ces questions.

Lorsque quelqu'un dit, « il y a une mortalité des éléphants de mer à cet endroit, s'il vous plaît aidez-moi, dites-moi, est-ce dû à la radioactivité ou à autre chose ? », il n'y a aucun financement pour envoyer des experts enquêter là-dessus. En ce moment, le monitorage du rayonnement dans l'eau de mer au large de la côte ouest des États Unis est financé par « crowd-sourcing », un financement participatif. Ken Buesseler, de La Jolla (Californie), un célèbre géochimiste marin, a reçu de l'argent de gens « ordinaires », avec des échantillons à analyser. Il n'y a aucun financement gouvernemental, c'est ça le problème. Nous avons des informations insuffisantes, et personne n'est prêt à payer pour avoir les informations.

Question

Merci d'avoir montré que les effets nocifs des rayonnements ionisants sont en fait exactement les mêmes chez les différentes espèces animales que chez les humains. J'ai été notamment frappée de la similitude, de ce que vous avez dit sur la diminution de taille du cerveau dans plusieurs espèces animales et l'existence d'une microcéphalie chez les enfants, donc une taille du cerveau également inférieure à la moyenne chez les enfants vivant dans les zones contaminées du Belarus et de l'Ukraine.

Et la question, qui doit être très difficile à déterminer pour les animaux, est : quelles sont les conséquences de cette réduction de la taille du cerveau ? Chez l'homme on peut imaginer que ce soit une réduction des capacités intellectuelles et je crois que c'est déjà le cas, c'est déjà observé au Belarus : des classes entières de petits enfants montrent en fait des signes d'une légère débilité. Les rayonnements ionisants nous feront avoir, en fait, des enfants de plus en plus bêtes. Y a-t-il moyen de le prouver chez les animaux avec un intervalle de temps plus réduit que dans l'espèce humaine ?

Timothy Mousseau

Je pense que le docteur Wertelecki peut sans doute parler davantage sur ce sujet. Je pense qu'il y a des données qui démontrent les effets liés à la taille

de la tête chez l'homme, mais je n'en connais pas l'importance. Je crois qu'il faut mesurer la circonférence… Je pense que la relation entre la taille du cerveau et la capacité cognitive chez l'homme pourrait être moins déterminante que chez les oiseaux, où la sélection est très intense pour être le plus petit et compact, le plus léger possible. Donc la taille de la tête reflète bien la taille du cerveau, et nous supposons que la taille du cerveau reflète bien la capacité cognitive. Mais il reste encore beaucoup à faire.

Wladimir, avez-vous des données sur la taille de la tête ? Non… Cela mérite certainement d'être étudié. Il y a des preuves d'effets neurologiques chez les enfants qui étaient *in utero* au cours de la catastrophe de Tchernobyl, et pas seulement en Ukraine, au Belarus et en Russie, mais aussi ailleurs en Scandinavie et en Allemagne où on voit des conséquences mesurables. Petites mais significatives.

Question

Si l'objectif est de savoir quels sont les effets sur l'homme des rayonnements ionisants, pourquoi n'utilise-t-on pas des puces ADN – évidemment ADN de culture de cellules humaines – au lieu de le faire sur des animaux ?

On sait très bien que la transposition n'est pas toujours bonne. L'expérience le prouve puisque sur dix médicaments qui ont passé tous les tests sur animaux, neuf sont recalés au moment où on passe à l'être humain.

En plus il faut savoir qu'il vient d'y avoir tout récemment une initiative citoyenne européenne, avec plus d'1 million de signatures validées, pour demander la suppression de tous les tests sur animaux. Donc, pourquoi on ne teste pas principalement sur puces ADN ?

Timothy Mousseau

Très bonne remarque et la réponse est que nous avons fait quelques tests avec des puces ADN, il y a juste deux ans, et nous attendons la technologie, qui coûte. Il y a juste une paire d'années, le séquençage de l'ADN a été réalisé pour plusieurs espèces d'oiseaux, ce qui a permis la production de ces puces, qui sont maintenant disponibles sur le marché. Mais chaque puce coûte à peu près 300 dollars. Donc pour faire ce genre d'étude avec une population de plusieurs centaines d'individus, il faut plusieurs milliers de francs, voire un million de francs.

Nous venons juste de commencer une étude en collaboration avec l'Institut de neurologie de Montréal, à l'Université McGill, pour examiner l'ensemble du génome humain en prenant une population d'enfants ukrainiens. Des enfants de liquidateurs d'un côté, et de l'autre des enfants de parents dont les doses sont connues et qui n'ont pas été impliqués dans le nettoyage. Nous allons prendre leurs génomes entiers pour identifier les taux de mutations *de novo* au niveau de l'ADN. Nous aimerions le faire aussi sur des animaux, qui étaient là aussi mais cela signifie connaître la descendance pour pouvoir regarder en détail. Et cela signifie aussi avoir à disposition 1 million de francs pour une recherche, c'est assez cher.

Les études que j'ai évoquées aujourd'hui sont beaucoup moins couteuses, et nous avons fait ce que nous pouvions avec ce que nous avions. Mais il reste encore beaucoup à faire.

Ruth Stégassy

Merci beaucoup pour ces échanges. On va passer maintenant au dernier exposé.◆

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

***Chiyo Nohara**, Université d'Okinawa, Japon*

Introduction *par* ***Ruth Stégassy***

***Chiyo Nohara** fait partie d'un groupe de l'Unité de physiologie moléculaire BCPH du Département de chimie, biologie et sciences marines, de la Faculté des sciences de l'Université de Ryukyus 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 transgénérationnelle 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.*

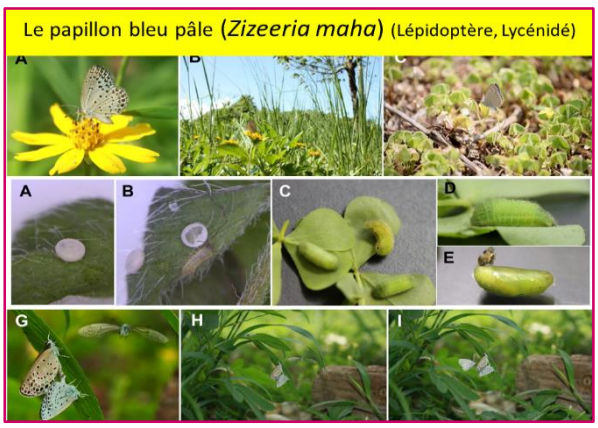
Présentation

Merci pour cette magnifique introduction. J'aimerais remercier tous les collaborateurs du collectif IndependentWHO qui m'ont invitée à participer à cette conférence. Je m'appelle Chiyo Nohara et je parle au nom de mon groupe de recherche qui travaille sur ce projet à l'Université de Ryukyus à Okinawa, Japon.

Nous avons étudié les effets biologiques des matières radioactives rejetées après la catastrophe de Fukushima, en observant le papillon bleu pâle à partir de la première génération après l'accident.

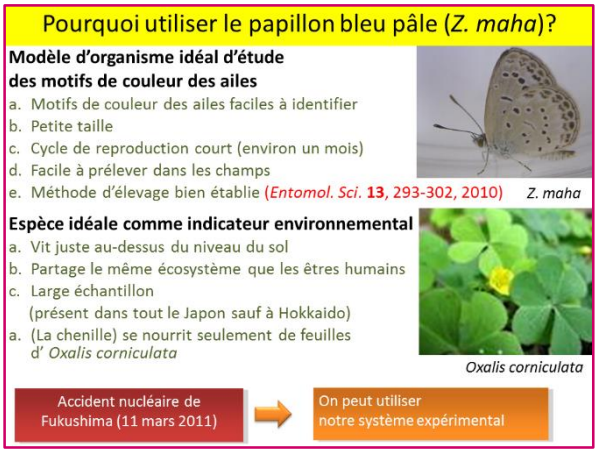
Et je suis ici aujourd'hui pour partager avec vous tous certaines de nos découvertes significatives qui sont beaucoup plus graves que celles que nous attendions initialement.

Tout d'abord, je vais commencer sur le papillon bleu pâle, *Zizeeria maha* ; c'est un petit papillon d'un peu plus d'un centimètre qui appartient à la famille des Lycénidés, de l'ordre des lépidoptères.



Et comme vous pouvez voir, il se développe à travers les stades d'œuf, de larve et de pupe, avant de devenir adulte.

Il y a principalement deux raisons pour lesquelles nous avons choisi d'étudier le papillon bleu pâle.



La première c'est que c'est un modèle d'organisme idéal pour étudier des motifs de couleurs des ailes. Comme vous le voyez, les motifs de couleurs sont simples, il est donc facile de déterminer si les motifs sont normaux. Il a aussi une très petite taille, il est donc facile à élever dans notre petit laboratoire aux moyens limités. Il a un cycle de vie court, ce qui facilite le contrôle des changements d'une génération à l'autre.

Cette espèce est très abondante au Japon, donc se collecte facilement. Mais surtout parce que notre laboratoire avait étudié les motifs de couleurs des ailes depuis bien avant l'accident, nous avions acquis une expérience dans l'élevage de ces papillons en conditions normales. Et cela nous a permis de fournir une analyse approfondie de leurs anomalies.

Deuxièmement, le papillon bleu pâle est un indicateur environnemental idéal des espèces, parce qu'il vit juste au-dessus du sol, il est directement affecté par la dose de rayonnement dans l'air juste au-dessus du sol. Il partage également le même milieu de vie que les humains, que ce soit dans les villes ou à la campagne, et par conséquent sert d'indicateur des effets potentiels sur l'environnement où les gens vivent.

En outre, cette espèce est présente dans tout le Japon à l'exception de la partie extrême nord, le Hokkaido. Il se nourrit uniquement des feuilles

d'*Oxalis corniculata*, ce qui le rend approprié pour les expériences d'exposition interne.

Toutes ces conditions nous ont fait penser que notre système d'expérimentation pouvait être utilisé lors de l'accident qui s'est produit le 11 mars 2011.

SCIENTIFIC REPORTS

OPEN

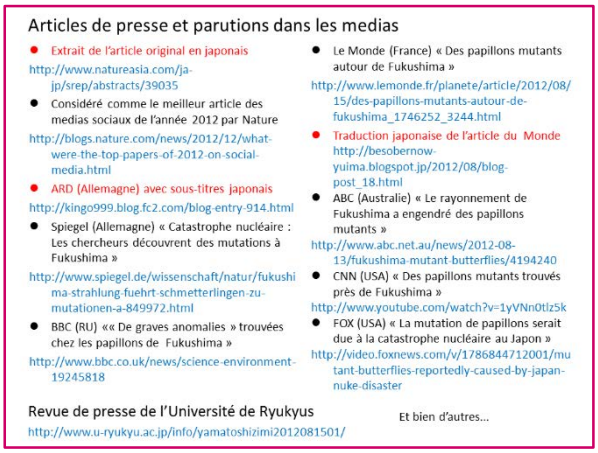
Les impacts biologiques de l'accident nucléaire de Fukushima sur le papillon bleu pâle

SUBJECT AREAS: ENVIRONMENTAL SCIENCES ECOLOGY BIODIVERSITY

Atsuki Hiyama[1]*, Chiyo Nohara[1]*, Seira Kinjo[1], Wataru Taira[1], Sinichi Gima[2], Akira Tanahara[2] & Joji M. Otaki[1]

Publié le 9 août 2012

Nous avons publié notre premier article sur cette recherche le 9 août 2012, jour anniversaire de la chute de la bombe atomique sur Nagasaki, il y a quelque 70 ans. Et tout de suite nous avons reçu des réactions fortes de l'étranger, notamment d'Allemagne et de France.


Articles de presse et parutions dans les medias

- Extrait de l'article original en japonais
http://www.natureasia.com/ja-jp/srep/abstracts/39035
- Considéré comme le meilleur article des medias sociaux de l'année 2012 par Nature
http://blogs.nature.com/news/2012/12/what-were-the-top-papers-of-2012-on-social-media.html
- ARD (Allemagne) avec sous-titres japonais
http://kingo999.blog.fc2.com/blog-entry-914.html
- Spiegel (Allemagne) « Catastrophe nucléaire : Les chercheurs découvrent des mutations à Fukushima »
http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/fukushima-strahlung-fuehrt-schmetterlingen-zu-mutationen-a-849972.html
- BBC (RU) «« De graves anomalies » trouvées chez les papillons de Fukushima »
http://www.bbc.co.uk/news/science-environment-19245818
- Le Monde (France) « Des papillons mutants autour de Fukushima »
http://www.lemonde.fr/planete/article/2012/08/15/des-papillons-mutants-autour-de-fukushima_1746252_3244.html
- Traduction japonaise de l'article du Monde http://besobernow-yuima.blogspot.jp/2012/08/blog-post_18.html
- ABC (Australie) « Le rayonnement de Fukushima a engendré des papillons mutants »
http://www.abc.net.au/news/2012-08-13/fukushima-mutant-butterflies/4194240
- CNN (USA) « Des papillons mutants trouvés près de Fukushima »
http://www.youtube.com/watch?v=1yVNn0tlz5k
- FOX (USA) « La mutation de papillons serait due à la catastrophe nucléaire au Japon »
http://video.foxnews.com/v/1786844712001/mutant-butterflies-reportedly-caused-by-japan-nuke-disaster

Revue de presse de l'Université de Ryukyus
http://www.u-ryukyu.ac.jp/info/yamatoshizimi2012081501/

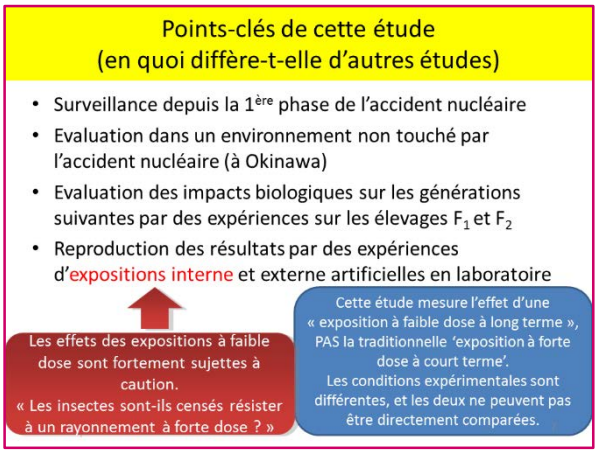
Et bien d'autres...

NB : les liens Internet actifs se trouvent page 106

Voici l'article qui est paru dans Le Monde.

Même si au Japon la réaction publique a été relativement faible, nous avons reçu de nombreuses critiques qui étaient plutôt émotives et sans rapport avec le contenu scientifique de l'article. Cependant certaines revues et des académies ont fait des évaluations équitables de notre recherche.

Cette étude est différente, supérieure à d'autres études dans le sens où nous avons un suivi depuis le tout début de la catastrophe nucléaire. En effet, nous avons suivi les papillons *Zizeeria maha* depuis leur première génération exposée au rayonnement. Les expériences visant à évaluer les effets possibles ont été menées à Okinawa qui est l'une des zones les moins touchées par l'accident.



Avec nos expériences de culture, nous avons examiné les effets sur leur progéniture de première et deuxième génération. Nous avons conçu des expériences d'exposition externe et interne, afin de reproduire les résultats observés sur le terrain.

Toutefois notre conclusion selon laquelle les expositions à faibles doses affectent cette espèce de papillon n'a pas été acceptée sur la base de résultats des études existantes, dans lesquelles les insectes, en particulier les phalènes, étaient présentés comme résistants aux fortes doses de rayonnement.

Contrairement aux expositions usuelles à hautes doses à court terme, cette étude a examiné les effets aux expositions à faibles doses à long terme. Ce sont des conditions d'expérimentations différentes, donc on ne peut pas les comparer.

À ce jour nous avons mené 4 expériences, et la première a été l'échantillonnage sur le terrain dans la zone de Fukushima en mai 2011.

Qu'a-t-on fait dans cette étude ?

1. **Echantillon de terrain dans la zone de Fukushima [Mai 2011]**
   Adultes de première voltine (1ère génération sur le terrain)
   ➔Expériences sur les élevages F_1 et F_2 à Okinawa pour évaluer les effets sur leur progéniture
2. **Echantillon de terrain dans la zone de Fukushima [Sept. 2011]**
   Adultes de quatrième voltine (4ème génération sur le terrain)
   ➔Expériences sur l'élevage F_1 à Okinawa
3. **Irradiation externe artificielle au Cs^{137}**
   Les individus capturés à Okinawa ont été exposés à un rayonnement au Cs^{137} pour reproduire expérimentalement les résultats obtenus ci-dessus.
4. **Exposition interne artificielle utilisant des plantes hôtes contaminées**
   Les individus capturés à Okinawa ont été nourris avec des feuilles contaminées d' *O. corniculata* cueillies à Fukushima. IMPORTANT

Nous avons collecté la première génération exposée aux rayons et obtenu la descendance F1 et F2 à Okinawa pour observer les effets possibles. Ensuite, nous avons fait un autre échantillonnage en septembre 2011, pour collecter les 4ème et 5ème générations nées sur le terrain, et de nouveau nous avons obtenu leur descendance F1. Troisièmement, nous avons mené une expérience d'irradiation externe artificielle au césium 137 avec des papillons d'Okinawa. Enfin nous avons fait une expérience d'exposition interne artificielle à Okinawa : des papillons de Okinawa ont été nourris avec des feuilles contaminées recueillies à Fukushima.

Lieux de capture (Echantillon de mai)

- Tokyo
- Tsukuba, Mito, Takahagi (préfecture d'Ibaraki)
- Iwaki, Hirono, Koriyama, Motomiya, Fukushima (préfecture de Fukushima)
- Shiroishi (préfecture de Miyagi)

10 localités au total

Cette carte montre les dix sites pour l'échantillonnage sur le terrain des papillons, en mai 2011. La centrale nucléaire de Fukushima Daiichi se trouve ici.

Nous avons choisi les sites d'échantillonnage de 4 préfectures : Fukushima, Tokyo, Ibaraki et Miyagi. Environ 6 milles papillons ont été utilisés pour ces séries d'expériences.

Nombre de papillons utilisés pour les expériences

- Adultes capturés en mai (1ère génération <P>) : **144**
  - Leur progéniture F_1 : **2 516**
  - Leur progéniture F_2 : **538**
- Adultes capturés en sept. (1ère génération <P>): **238**
  - Leur progéniture F_1 : **1 563**
- Expériences par irradiation externe artificielle : **400**
- Expériences par irradiation interne artificielle : **542**

Environ 6 000 individus

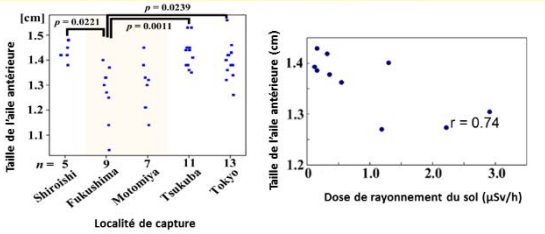
Et voici les résultats. En premier, les résultats des prélèvements d'échantillons sur le terrain de la génération parentale, et les subséquentes expériences de reproduction des progénitures F1 et F2.

Résultats

Echantillon de terrain dans la zone de Fukushima et expériences sur les élevages F_1 et F_2 à Okinawa

Taille des ailes (taille du corps)

(papillons capturés en mai 2011)



Réduction significative de la taille de l'aile antérieure dans l'échantillon de Fukushima. La taille de l'aile antérieure est inversement corrélée avec la dose de rayonnement du sol

Les résultats violent la règle température-taille (plus grande taille dans les régions plus froides).

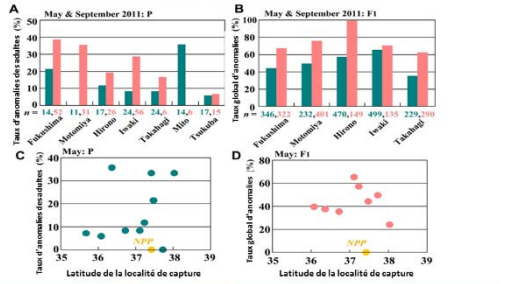
L'état du développement d'un papillon peut être évalué en regardant la taille des ailes, tout comme la hauteur et le poids chez les humains. Comme vous pouvez voir, nous avons constaté une

réduction significative de la taille des ailes antérieures dans les populations collectées à Fukushima, par rapport aux populations de Shiroishi, au nord de Fukushima, Tsukuba, au sud de Fukushima, et Tokyo. En outre, la taille des ailes antérieures semble décroitre en rapport à l'augmentation de la dose de radiation du sol.

Ceci donc n'est pas conforme à la règle standard selon laquelle les papillons dans les régions plus froides ont tendance à avoir des ailes plus grandes.

Ensuite il y a la corrélation entre les périodes de collecte et les taux d'anomalies.

Corrélation entre période de capture / latitude et taux d'anomalies



Les taux d'anomalies étaient plus élevés dans les populations de septembre partout sauf à Mito.

Pas de corrélation entre latitude et taux d'anomalies .
Taux d'anomalies probablement plus élevés dans les zones plus proches de la centrale.

Les barres vertes indiquent les échantillons collectés en mai, et les barres rouges les échantillons collectés en septembre 2011. Le graphique sur la gauche montre la génération parentale, à droite la génération F1.

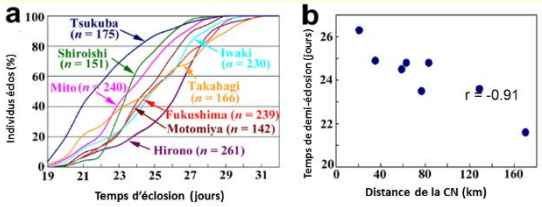
Les taux d'anomalies étaient plus élevés dans les populations du mois de septembre, tant pour la génération des parents que pour la génération F1 dans toutes les zones sauf pour Mito.

Parmi les critiques recensées sur Internet, il y a eu un commentaire suggérant que les taux d'anomalies des papillons augmenteraient avec la latitude. Notre conclusion est que, aucune corrélation n'a été observée entre latitudes et taux d'anomalies.

Ce point jaune indique la latitude de la centrale nucléaire. En termes de corrélation nos résultats laissent entendre des taux d'anomalies plus élevés dans les zones plus proches de la centrale.

Nous avons ensuite examiné la croissance et le développement des papillons.

Durée d'éclosion de la génération F_1 (progéniture des papillons capturés sur le terrain)



Une durée d'éclosion plus longue chez les papillons capturés près de la centrale nucléaire de Fukushima Dai-ichi.

Retard de croissance

L'axe des Y indique le pourcentage d'individus ayant connu l'éclosion. L'axe des X indique le nombre de jours qu'il leur a fallu pour qu'ils éclosent.

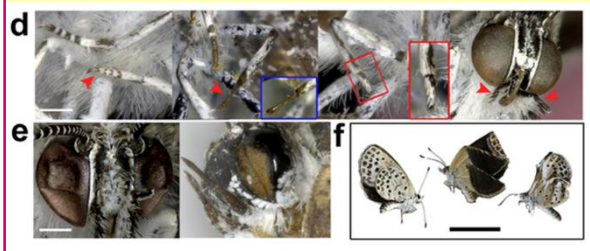
La population de Tsukuba, la ville la plus éloignée de la centrale nucléaire, a grandi plus rapidement que les populations des autres zones. Et la population de Hirono, ville située à 20 km au sud de la centrale, qui est la plus proche des zones échantillonnées, a montré la croissance la plus lente.

Le graphique « b » montre le nombre de jours qu'il a fallu pour que la moitié de chaque population éclose par rapport à la distance de la centrale.

Comme vous voyez, l'éclosion exige plus de temps pour les populations les plus proches de la centrale, ce qui signifie un retard de croissance.

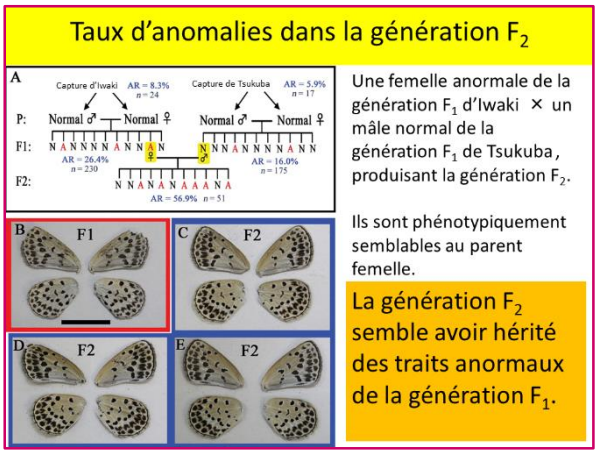
Parmi les anomalies morphologiques trouvées dans la génération F1, on observe des individus avec des segments de jambes tronquées, des yeux à facette bosselées, des ailes plus petites d'un côté et des ailes cassées ou recourbées.

Anomalies morphologiques dans la génération F_1



Des anomalies des pattes, des palpes, des yeux à facettes et des ailes (taille, forme, motifs de couleur) ont été observées.

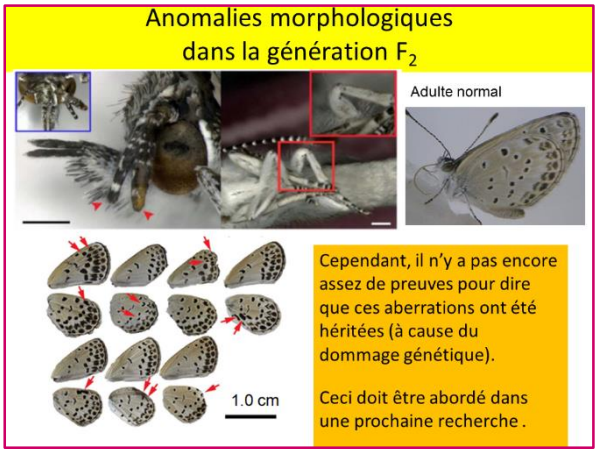
Nous avons également examiné la génération F2 pour détecter leurs anomalies.



On a choisi des femelles de chaque localité qui présentaient des anomalies et nous les avons accouplées avec des mâles en bonne santé de Tsukuba, créant ainsi huit couples reproducteurs. La quantité d'œufs n'a pas été très nombreuse, et beaucoup d'individus n'ont pas survécu pour que nous puissions voir leurs anomalies.

La population de Motomiya de la préfecture de Fukushima, qui a connu la plus forte dose de radiation, a montré le taux d'anomalies le plus élevé. Et la génération F1 d'Iwaki a montré un taux d'anomalies de plus de 50%. En plus, la génération F2 semblait avoir hérité des traits anormaux de la génération F1.

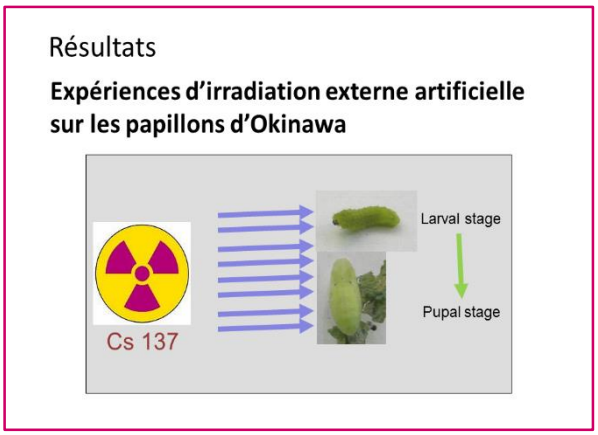
Les anomalies morphologiques constatées dans la génération F2 comprenaient un individu avec une antenne divisée en deux. À droite, un individu avec des antennes normales.



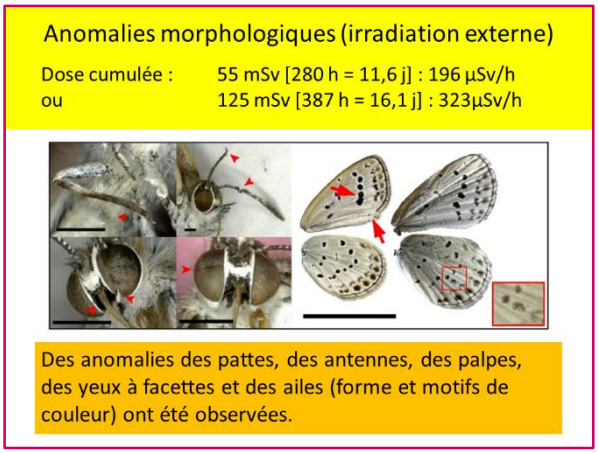
Nous avons aussi observé des individus avec une patte plus courte ou avec des motifs de couleurs anormales. Toutefois ces résultats expérimentaux ne sont pas suffisants pour prouver que ces aberrations sont le résultat d'un dommage génétique.

C'est pourquoi l'année dernière nous avons lancé un nouveau projet afin d'analyser les mutations au niveau génétique. Nous avons examiné les résultats des observations faites dans l'échantillonnage sur le terrain et des expériences de culture des générations F1 et F2.

J'aimerais maintenant vous montrer les résultats de l'irradiation externe artificielle faite en utilisant des papillons à Okinawa, la partie du Japon située le plus loin de la centrale nucléaire.

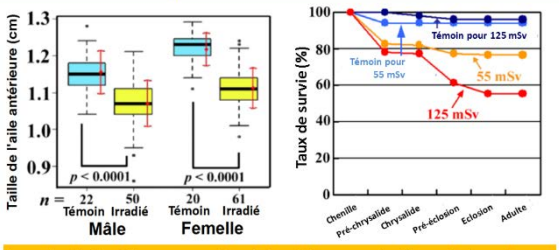


Nous avons procédé à deux séries d'expériences en exposant les papillons à des doses de radiations de 55 mSv et 125 mSv pendant une longue période au cours de leurs stades larvaire et nymphal.



Les anomalies morphologiques constatées étaient semblables à celles qui avaient été observées sur les individus de Fukushima et leur progéniture F1 et F2. Il y avait des anomalies des pattes, des antennes, des taches de couleur et des yeux à facettes.

Taille des ailes et courbes de survie (irradiation externe)



Les résultats obtenus avec les échantillons capturés sur le terrain ont été reproduits expérimentalement.
Réduction de taille de l'aile antérieure (due au retard de croissance) et diminution des taux de survie dépendent de la dose.

La taille des ailes, qui est un indice de leur croissance, était significativement plus petite tant chez les mâles que chez les femelles exposés à une irradiation externe.

Nous avons également observé la tendance dans les taux de survie dans le développement de ces papillons du stade larvaire jusqu'au stade adulte. Alors que les populations témoins avaient des taux de survie d'environ 95%, la population exposée à 55 mSv montrait un taux de survie de 70%, et la population exposée à 125 mSv avait un taux de survie de l'ordre de 50%.

Il est évident que le taux de survie diminue en fonction de la dose administrée.

Enfin j'aimerais vous montrer les résultats de l'expérience d'exposition interne.

Expérience d'exposition interne artificielle
IMPORTANT

- Les chenilles de *Z. maha* nées à Okinawa ont été nourries avec les feuilles des plantes hôtes (*O. corniculata*) cueillies dans les zones de Fukushima et Ube (zone témoin). Elles ont été élevées à Okinawa.
- L'activité des radionucléides artificiels tels que le césium a été quantifiée dans les feuilles d' *O. corniculata*.
- Diverses anomalies, tailles des ailes et taux de survie ont été identifiées et répertoriées.

Nous avons exposé des papillons à Okinawa au rayonnement interne en leur donnant des feuilles recueillies dans la région de Fukushima.

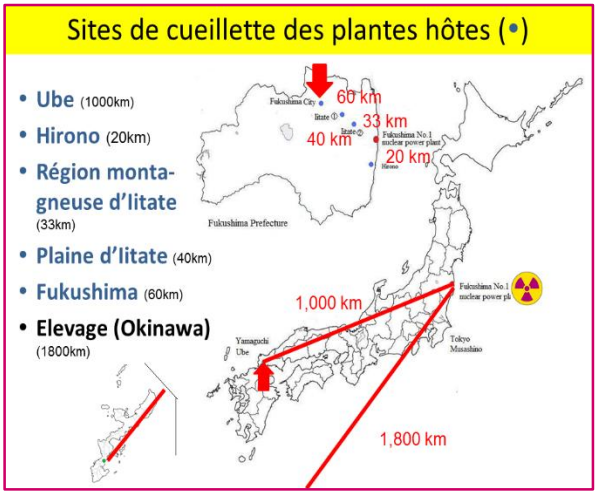
J'aimerais souligner l'importance de cette expérience, parce que les résultats du travail sur le terrain, dont je viens de vous parler, a pu être reproduit dans cette expérience. En d'autres termes le rayonnement interne est responsable de ce qui a été observé sur le terrain, au moins en partie.

Dans cette expérience d'exposition interne, les feuilles collectées en différents endroits de Fukushima ainsi que dans le site de contrôle situé à environ 1 000 km de Fukushima, ont servi d'aliment pour les papillons nés à Okinawa, lieu où ils ont été élevés ensuite.

Nous avons mesuré la radioactivité dans ces feuilles, la quantité de césium radioactif, nous avons identifié les anomalies chez les papillons adultes, mesuré la taille de leurs ailes et recensé les taux de survie.

Pour les expériences menées en 2011, les feuilles ont été recueillies à Ube qui se trouve à environ 1 000 km de la centrale, puis dans la ville de Fukushima à environ 60 km de la centrale, dans la plaine de Iitate, à 40 Km de la centrale, dans la région montagneuse de Iitate, à environ 33 km de la centrale, et à Hirono, situé à 20 km au sud de la centrale. Tous les papillons ont été élevés à Okinawa, situé à environ 1 700 km de la centrale nucléaire.

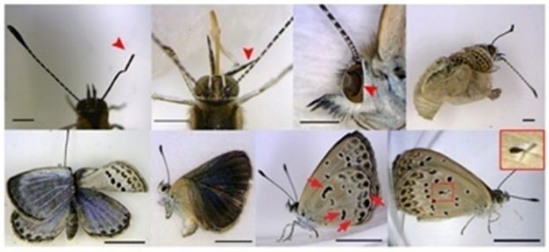
Sites de cueillette des plantes hôtes (•)



À la suite de l'exposition interne nous avons identifiés plusieurs anomalies morphologiques chez les papillons.

On le voit sur ces images :

Anomalies morphologiques induites par exposition interne

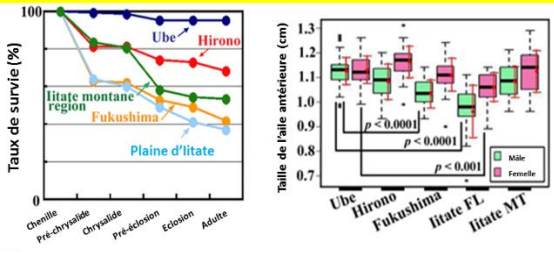


Les anomalies des pattes, des palpes, des yeux à facettes et des ailes (forme et motifs de couleur) ont été reproduites expérimentalement.

anomalies d'antennes et de palpes, yeux à facettes affaissés, échec d'éclosion, ailes tordues et motifs de couleurs des ailes anormaux. On retrouve ici des anomalies très similaires à celles observées sur le terrain.

Ce graphique montre les taux de survie.

Courbes de survie et tailles des ailes



Les résultats obtenus à partir des échantillons capturés sur le terrain ont été reproduits expérimentalement.
Diminution des taux de survie dépendante de la dose et réduction de taille de l'aile antérieure (due au retard de croissance).

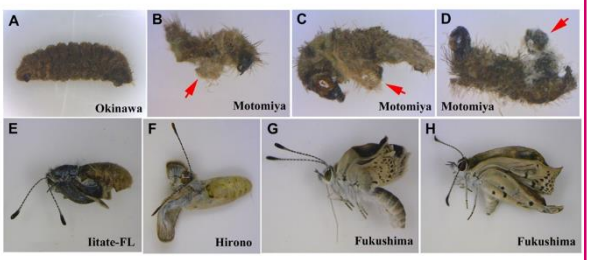
L'axe des X indique les stades de développement : de l'état de larve, pupe, pré-éclosion jusqu'à l'état adulte après l'éclosion. L'axe des Y indique les taux de survie.

Comme vous voyez, les papillons élevés et alimentés avec des feuilles du site de contrôle d'Ube montrent un taux de survie de 95%, tandis que les papillons élevés avec des feuilles des zones de Fukushima ont montré des taux de survie de 68% à Hirono, 53% dans la région montagneuse d'Itate, 42% dans la ville de Fukushima et 37% dans la plaine d'Itate.

Ensuite, lorsqu'on a évalué leur croissance en mesurant la taille des ailes antérieurs, chez les mâles par exemple, nous avons observé une réduction de la taille des ailes dans les populations de la ville de Fukushima et de la plaine d'Itate par rapport à la population d'Ube, ce qui suggère un retard de croissance.

Lorsque nous avons examiné les individus qui n'avaient pas survécu aux expériences d'expositions internes, les larves de ceux qui ont été élevés avec des feuilles des zones de Fukushima, étaient souvent mortes pendant le processus de mue, alors que l'individu témoin d'Okinawa est mort d'une façon naturelle.

Individus n'ayant pas survécu à l'expérience d'exposition interne



Fréquence élevée de morts dues aux échecs de mues et d'éclosions.
Les cellules ne sont pas tuées directement par le rayonnement.

Il y avait aussi des cas d'échec d'éclosion, qui est la mue finale de pupe à adulte. Même en survivant à l'éclosion, ces individus n'ont pas pu déployer leurs ailes.

Ces observations suggèrent une sorte de changement physiologique qui a eu lieu à l'intérieur du corps.

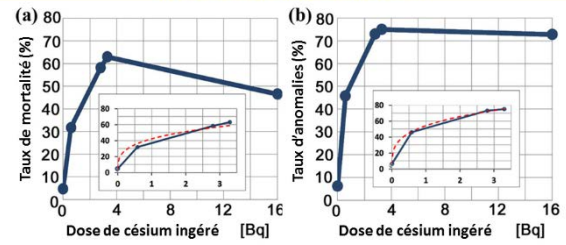
Maintenant j'aimerais vous parler des conclusions plus récentes qui concernent notre expérience d'exposition interne.

Résultats plus récents 1

Effets de l'exposition interne sur la génération F_1
(en nourrissant les chenilles capturées à Okinawa avec des feuilles d'*O. corniculata* cueillies à Fukushima.)

http://www.nature.com/srep/2014/140515/srep04946/full/srep04946.html

Taux de mortalité (a) et taux d'anomalies (b) dus à la dose de césium radioactif ingérée par la chenille



- Vive augmentation aux faibles doses de césium ingéré
- Palier atteint à 3 Bq/chenille environ

Nous avons tracé le changement des taux de mortalité et d'anomalies dus à la dose de césium ingérée par la larve au cours de son développement. L'axe des X montre la dose de césium ingérée par la larve jusqu'au stade de chrysalide. L'axe des Y montre les taux de mortalité et d'anomalies.

Comme l'indiquent ces graphiques nous avons observé une forte augmentation des taux de mortalité et d'anomalies à de faibles doses de césium ingéré. Tant la mortalité que l'anomalie ont atteint un plateau à environs 3 Bq par larve, sans autre accroissement en réponse à l'augmentation de la dose de césium.

Jusque-là, dans nos expériences d'exposition interne, on a utilisé des feuilles recueillies dans les territoires à forte contamination de la préfecture de Fukushima situés à l'intérieur de la zone d'évacuation.

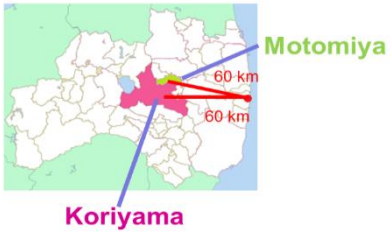
Les résultats que je m'apprête à vous montrer maintenant sont des expériences d'exposition interne effectuées en 2012.

Nous avons utilisé des feuilles recueillies à Koriyama et Motomiya, deux zones de la préfecture de Fukushima où les gens mènent une vie normale. Les deux zones sont situées à environ 60 km de la centrale.

Je vais vous présenter les effets observés sur la génération F2.

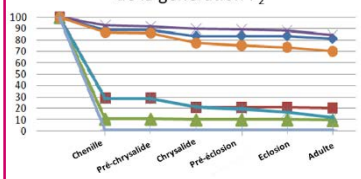
Résultats plus récents 2

Effets de l'exposition interne sur la génération F_2
(En nourrissant les chenilles capturées à Okinawa avec des feuilles d'*O. corniculata* cueillies à Fukushima.)



Effets de l'exposition interne sur la génération F_2

Taux de survie et taux d'anomalies de la génération F_2



F_1	F_2	
Koriyama	Okinawa	88,3
Okinawa	Okinawa	83,5
Motomiya	Okinawa	73,7
F_1	F_2	
Okinawa	Koriyama	20,9
Koriyama	Koriyama	16,7
Okinawa	Motomiya	10,1
Motomiya	Motomiya	0,8

- Les résultats se divisent clairement en deux groupes
- Les générations F_2 élevées sur les feuilles d'Okinawa montrent des taux de survie > à 70%, quelles que soient les feuilles dont s'est nourrie la génération F_1
- Les effets de la radioactivité accumulée dans F_1 et F_2 sont significatifs chez les individus élevés sur des feuilles de Motomiya qui présentent une radioactivité très élevée
- Cs^{137} (Bq/kg) : Okinawa 0,1 ; Koriyama 71,9 ; Motomiya 98,2

L'axe Y indique les taux de survie et le niveau de normalité, et l'axe X indique les stades de développement de larve, pupe, adulte.

Les résultats se divisent clairement en deux groupes.

Quelle que soit l'origine des feuilles consommées par la génération F1, les individus de la génération F2 qui se sont nourris de feuilles d'Okinawa ont montré des taux de survie supérieurs à 70%.

D'autre part, les individus élevés avec des feuilles de Koriyama pendant deux générations ont montré un taux de 16,7%, et ceux élevés avec des feuilles de Motomiya ont montré un taux de 0,8%.

Comme vous pouvez le voir, les effets de la radioactivité accumulée dans les générations F1 et F2 sont significatifs chez les individus élevés avec des feuilles de Motomiya qui présentent la radioactivité la plus élevée. Les concentrations de césium 137 dans les feuilles de Koriyama et de Motomiya étaient de 72 et 90 becquerels par kilo.

Ainsi s'achève ma présentation.

Pour terminer je tiens à remercier ceux qui vivent à Fukushima pour leur aide dans ces expériences. J'aimerais aussi exprimer mon soutien sincère à ceux qui vivent encore dans ces conditions difficiles.

Je vous remercie de votre attention. ◆

Liens Internet actifs du slide page 99

Articles de presse et parutions dans les medias

- Extrait de l'article original en japonais
  http://www.natureasia.com/ja-jp/srep/abstracts/39035
- Considéré comme le meilleur article des medias sociaux de l'année 2012 par Nature
  http://blogs.nature.com/news/2012/12/what-were-the-top-papers-of-2012-on-social-media.html
- ARD (Allemagne) avec des sous-titres japonais
  http://kingo999.blog.fc2.com/blog-entry-914.html
- Spiegel (Allemagne) « Catastrophe nucléaire : les chercheurs découvrent des mutations à Fukushima »
  http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/fukushima-strahlung-fuehrt-schmetterlingen-zu-mutationen-a-849972.html
- BBC (RU) « De « graves anomalies » trouvées chez les papillons de Fukushima »
  http://www.bbc.co.uk/news/science-environment-19245818
- Le Monde (France) « Des papillons mutants autour de Fukushima »
  http://www.lemonde.fr/planete/article/2012/08/15/des-papillons-mutants-au-tour-de-fukushima_1746252_3244.html
- Traduction japonaise de l'article du Monde
  http://besobernow-yuima.blogspot.jp/2012/08/blog-post_18.html
- ABC (Australie) « Le rayonnement de Fukushima a engendré des papillons mutants »
  http://www.abc.net.au/news/2012-08-13/fukushima-mutant-butterflies/4194240
- CNN (EU) « Des papillons mutants trouvés près de Fukushima »
  http://www.youtube.com/watch?v=1yVNn0tlz5k
- FOX (EU) « La mutation de papillons serait due à la catastrophe nucléaire au Japon »
  http://video.foxnews.com/v/1786844712001/mutant-butterflies-reportedly-caused-by-japan-nuke-disaster

Revue de presse de l'Université de Ryukyus

http://www.u-ryukyu.ac.jp/info/yamatoshizimi2012081501/

Échange avec le public

Ruth Stégassy

Merci beaucoup, vous pouvez venir vous asseoir pour les questions.

On va attendre juste un petit instant que Chiyo vienne se rasseoir et mette l'oreillette.

Question

J'ai seulement une question pour mieux comprendre. Pouvez-vous montrer la dernière diapositive sur la reproduction F2 ?

Ruth Stégassy

Attendez une petite seconde parce qu'il y a encore des gens qui sont en train de noter le site web.

Chiyo Nohara

Celle-ci ?

Question

Oui. J'ai cru comprendre que pour des parents qui ont été exposés à une irradiation interne au césium dans la génération F1, avec une progéniture élevée à Okinawa qui n'a pas été exposée au césium 137, cela donne un taux de survie pratiquement inchangé. Parce que, quand on regarde pour Koriyama, la F1 est à 71,9 Bq/kg, la F2 est à 0,1 Bq/kg et le taux de survie est de 88,3 ; et quand on prend Motomiya, à 98,2 Bq/kg, où la génération F1 a été nourrie avec cette forte dose de césium, la progéniture F2 a grandi normalement à Okinawa et arrive à 73,7% de taux de survie, mais ce n'est pas si grave. Avez-vous une explication à cela ?

Chiyo Nohara

Oui, c'est vrai. C'est une bonne remarque. La différence de 10%, pour nous, ce n'est qu'une petite différence. Dix ou 15% est un niveau de différence marginal.

Intervention

Je pense que la question était vraiment pour confirmer ce qui est dans la partie supérieure droite de ce graphique : si la génération F1, les parents, ont été élevés avec une très mauvaise nourriture de Koriyama ou Motomiya, et que la génération F2 a été élevée à Okinawa avec une bonne nourriture d'Okinawa, alors il y a fondamentalement les mêmes taux de survie. Donc votre conclusion c'est que l'exposition au césium dans la première génération peut, pour ainsi dire, être guérie ou ne pas avoir d'effet sur la génération F2 si celle-ci est élevée avec une nourriture propre. Je pense que c'était ça la question. Juste pour confirmer que telle est la conclusion à ce stade de votre étude.

Chiyo Nohara/Miho (traductrice de Nohara)

C'est ça la conclusion, comme vient de préciser Philip. Elle voulait confirmer cette conclusion et elle tenait à vous la montrer.

Question

Donc, il y a certains effets qui sont indéniables mais ce n'est pas si dramatique. Cela signifie qu'il n'y a pas, au moins dans la deuxième génération, des effets héréditaires chez ces espèces particulières. Est-ce correct ? Ai-je raison ?

Intervention 1

Désolé. Je ne suis pas biologiste, mais je pense que ce que vous montrez c'est que la nourriture à Motomiya a ces effets sur la deuxième génération. Aussi, vous ne parlez pas ici des effets héréditaires,

mais des effets de la nourriture de Motomiya sur la deuxième génération.

Intervention 2

Non. Je pense que ce que vous avez souligné, sur la base de ce résultat, c'est qu'il n'y a pas d'effets pour la génération F1 qui se nourrit avec des aliments contaminés. Mais ceci n'indique probablement que le taux de survie, et ne fournit pas plus de détails sur la santé. Donc vous ne pouvez pas tirer cette conclusion ?

Timothy Mousseau

Ceci n'est pas un test sur les effets génétiques héréditaires, c'est l'effet direct sur la génération F2. Mais ils ont fait des expériences d'une génération à l'autre. Ceci c'est juste un test d'une génération.

Intervention 3

Si vous me permettez de faire un peu le parallèle avec ce qui se passe réellement dans les sites qui sont contaminés, que ce soit Fukushima ou Tchernobyl. À Tchernobyl malheureusement on est déjà à la deuxième génération. Puisque, je vous ai expliqué avant qu'on fait venir des enfants depuis la catastrophe, grosso modo, et que les enfants des enfants de l'époque sont aujourd'hui toujours dans la même situation et mangent des produits contaminés.

Donc, si effectivement on peut régler les choses par l'alimentation, c'est d'autant plus injuste aujourd'hui.

Sur les courbes de survie entre une première génération qui a mangé des produits contaminés au césium et une deuxième avec des aliments propres, on a vu que les problèmes ne sont pas héréditaires, qu'on peut effectivement heureusement corriger les choses en nourrissant leur progéniture avec des aliments propres.

Ce qui n'est pas le cas aujourd'hui. C'est-à-dire que c'est d'autant plus injuste aujourd'hui que dans toutes ces régions, notamment Tchernobyl que je connais bien, dans toute cette zone contaminée, les enfants continuent à manger des aliments impropres à la consommation. Donc ils sont plutôt dans le F2, ils vont bientôt être dans le F3, et la situation est toujours la même.

On est aujourd'hui dans une situation d'urgence. On n'est plus dans le laboratoire, là on est dans la réalité. Et ça continue.

Donc, l'urgence c'est aujourd'hui. La catastrophe de Tchernobyl ce n'était pas il y a 28 ans, Fukushima ce n'était pas il y a 4 ou 5 ans, c'est aujourd'hui la catastrophe. Elle continue, pendant que nous on discute ici, la catastrophe continue. Et on continue à alimenter les statistiques

Ruth Stégassy

Alors, on n'a pas vu qu'il n'y avait pas d'hérédité. On a simplement vu un test qui concernait une génération et l'alimentation d'une génération. On ne peut pas en inférer l'absence de problèmes qui traversent les générations, d'accord ?

Je voudrais, si vous avez des questions, qu'elles concernent très spécifiquement des points à éclaircir sur cette intervention, puisque à 4 heures on va avoir une discussion plus générale dans laquelle toutes ces questions-là pourraient être posées.

Question

À la deuxième ligne de la dernière diapositive vous avez 71,1 Bq/kg et 80 et quelque par kg. La réglementation des aliments au Japon est de 100 Bq/kg. Et en Europe en fait c'est très élevé, 600, et 1 250 pour la Suisse et environ mille aux États-Unis. Alors, ... quel effet sur l'homme pouvez-vous estimer, si vous pouvez l'estimer au niveau scientifique ?

Chiyo Nohara

Je ne peux pas vous répondre parce que nous n'avons pas effectué d'expériences sur les êtres humains. Je ne peux rien vous dire. La raison pour laquelle j'ai choisi Koriyama et Motomiya comme lieux de contrôle, c'est que les gens vivent normalement là alors que le rayonnement est très élevé. Donc, je voulais voir les effets de l'exposition interne dans de tels endroits. En fait, l'expérience a été faite à Okinawa qui est peut-être l'endroit le moins contaminé au Japon, mais probablement le résultat d'une expérience similaire serait différent à Koriyama et à Motomiya.

Question

Moi je trouve votre intervention absolument lumineuse et je voudrais saluer votre courage face au lobby nucléaire japonais et international. Et surtout en tant que femme, jeune femme, donc particulièrement vulnérable dans la société japonaise, qui est pas mal misogyne autant que je sache.

Et je voulais seulement vous poser cette question : est-ce que votre travail a été diffusé parmi les médecins japonais, puisque il est pour moi évidemment extrapolable à l'espèce humaine ? On le verra dans quelques générations, peut-être, sans doute. Quelle a été la réaction des médecins japonais dans votre pays ?

Ruth Stégassy

On prend juste une dernière question-là, au deuxième rang. On vous écoute.

Question

Vous avez dit, Madame, que vous étiez surprise que les insectes répondent à des faibles doses de rayonnements. Effectivement on m'a toujours appris que les insectes étaient très résistants, très radiorésistants. Était-ce parce qu'on faisait des tests sur des irradiations externes, et que là vous avez fait une irradiation interne ?

Chiyo Nohara

J'aimerais que vous posiez de nouveau la question. Vous parlez des phalènes qui sont résistantes aux fortes radiations externes, donc en relation à l'exposition externe ou interne. C'est ça votre question ?

Timothy Mousseau

Dans l'attente je peux vous dire que, parmi les différentes espèces et même chez les individus de la même espèce, la sensibilité à la dose diffère énormément. Et les oiseaux et les papillons semblent être les plus sensibles aux fortes conséquences environnementales. Peut-être parce qu'ils ont des systèmes génétiques similaires déterminant le sexe.

Chiyo Nohara/Miho (traductrice)

En fait, cette expérience est réalisée sur les phalènes parce qu'elles sont très résistantes aux fortes expositions. L'exposition a été de 70 jusqu'à 80 Sv juste pour voir les effets à court terme du rayonnement.

Mais dans mon expérience, je voulais voir l'effet à long terme de l'irradiation interne à faible dose, de sorte que la nature de l'expérience conduite sur les phalènes et sur ces papillons est différente. Pour autant que je sache, puisque je viens de vérifier les expériences passées, il n'y avait eu qu'une expérience d'exposition interne concernant du tritium dans l'eau.

Ruth Stégassy

On va s'arrêter sinon on ne peut pas prendre une pause avant le débat. Donc on s'arrête et on va reprendre dans 20 minutes. À tout à l'heure pour deux heures de questions-réponses. ◆

Échange entre les intervenants et le public

Ruth Stégassy

Avant de commencer le débat on va donner la parole à Paul Roullaud, qui est à l'origine de toute cette histoire.

Paul Roullaud

J'ai fait pas mal de bêtises dans ma vie, puis ça, c'est une de plus. Je plaisante. Je me disais que j'allais prendre la parole pour une minute pour d'abord remercier tous les intervenants et ce qu'ils nous ont raconté.

Et que pour porter ça à l'OMS, puisque il n'y a pas eu de représentants de l'OMS ici aujourd'hui, – Madame Chan on ne l'a pas vue dans le public, donc l'OMS n'est pas là –, il va falloir qu'ils le sachent.

Et la meilleure façon de le leur transmettre c'est que la Vigie continue. On est plusieurs dizaines, pas loin d'une centaine, à vouloir que ça continue longtemps. On vote la reconduction de la Vigie à toutes les assemblées générales, qui ont lieu tous les six mois. Donc, les gens qui veulent participer à la Vigie sont les bienvenus. Vous trouvez sur notre site internet mon numéro de téléphone, puis avec le cahier je vous inscris pour les dates. On peut y participer pour une heure, une demi-journée, une journée, une semaine, un mois.

Les gens qui se déplacent viennent d'assez loin – la semaine prochaine ça va être des bretons qui vont tenir la Vigie. C'est souvent les gens du bord de l'Atlantique qui la font, mais enfin les gens du coin aussi, merci à eux. Ils les hébergent. Il y a tout un groupe de gens de Genève et des environs qui hébergent gratuitement et chaudement toutes les

Vigies qui viennent à Genève. Je demande qu'on les applaudisse.

Voilà, j'espère que tout tiendra bon encore très longtemps pour porter ce message. Merci

Ruth Stégassy

Merci Paul et je m'associe à ce vœu de durée de cette action qui est vraiment extrêmement belle.

Alors, le moment attendu est arrivé. Il y a déjà une question. Je me demande si on ne va pas en prendre 4 ou 5, par mesure de fluidité. Donc, on écoute la première.

Question

Certains affirment que le niveau de la radioactivité ambiante dans le monde a augmenté depuis le début des activités humaines autour de l'uranium, des activités industrielles civiles et militaires. Et j'ai eu l'impression que cet avis n'était pas partagé. Si on pouvait avoir des précisions, merci.

Ruth Stégassy

Une seconde question.

Question

Ce matin, une personne a parlé de la nourriture par rapport à ce qu'on peut faire concrètement pour essayer d'aider les personnes qui ont été irradiées. D'abord pour nous aider nous tous parce qu'on l'est tous d'une manière ou d'une autre.

J'ai eu vent d'une possibilité de nettoyer le corps avec du blé germé – je le dis pour le monsieur qui est très intéressé et qui parle plusieurs fois de la nourriture –.

Je pense personnellement que si la nourriture est l'une des réponses qu'on peut donner concrètement, là on est dans le concret, pour guérir le mal qui a été fait…

Ruth Stégassy

Merci de faire des questions synthétiques. Là vous avez parlé du blé germé, c'est bien, on va passer à la question suivante.

Question

J'aimerais poser une question à Mme Feuerhake au sujet de la vie autour des centrales nucléaires. Je sais qu'elle a fait plusieurs études là-dessus, et je serais très intéressée d'entendre plus en détail ce qui se passe autour des centrales nucléaires qui sont en fonctionnement quotidien. Et aussi justement les pics de radioactivité, paraît-il, au moment où on fait la fameuse maintenance.

Question

La question s'adresse à M. Baverstock. J'aimerais qu'il explique un peu mieux le nouveau paradigme dont il nous a parlé, qui est le système dissipatif complexe. Et j'aimerais que les autres intervenants s'expliquent aussi sur cette nouvelle notion.

Ruth Stégassy

On va commencer par les questions plus générales. Donc, la première question je la répète : certains affirment que le niveau de la radioactivité ambiante est augmenté depuis le début des activités industrielles autour du nucléaire. Quelqu'un veut-il répondre à cette question ? Inge.

Inge Feuerhake

Je crois que vous vous référez aux activités minières d'extraction de l'uranium. Bien sûr si vous

avez une mine d'uranium, vous extrayez de la matière. Mais le radium est un produit dérivé de l'uranium. L'uranium se désintègre en radium, et le radium est dans la terre, dans le sol. Si vous creusez dans le sol et dans le minéral, vous aurez une quantité élevée de radon et vous aurez de la poussière. Cette poussière est constituée de matériaux lourds qui seront déposés localement. Et le radium se répand. La demi-vie du radon est de 3 jours environ, donc ce n'est pas quelque chose de très important loin des mines. Vous parlez peut être du tritium, qui lui est produit artificiellement. On le trouve également dans la nature mais il est produit artificiellement. Est-ce que c'était ça votre question ?

Intervention

Si je peux préciser, merci. J'ai lu notamment des déclarations de représentants de l'Association internationale des médecins contre la guerre atomique, qui dénoncent l'augmentation du bruit de fond général autour de la planète due aux activités civiles et militaires depuis le début de l'utilisation de l'uranium. Merci.

Ruth Stégassy

Monique ? Alors Monique Sené va répondre. Monique Sené, je n'ai pas besoin de la présenter. Elle est physicienne…

Monique Sené

La radioactivité naturelle a décru depuis les millénaires parce que les radioéléments diminuent. La moitié diminue, enfin, disparait dans leur temps de vie. Et par exemple, l'uranium c'est quand même 4,5 milliards d'années. Donc, vous voyez… Et le thorium 11 milliards. Enfin, on laisse tomber les virgules, mais c'est pas mal. Et ça donne l'âge de la terre.

Et maintenant, si on pense à l'augmentation, oui, elle est due effectivement à tous les essais nucléaires qu'on a faits. Et ça, clairement, on a envoyé 110 kilos de tritium. Cela ne vous dit pas grand-chose mais ça fait un nombre de becquerels absolument colossal. Et il en reste quand même malgré le temps de vie, puisque ça va être 12,5 ans le temps de demi-vie. En douze ans la moitié disparait. Eh bien, il y en a quand-même encore 40 ou 50 kilos. Si ce n'est pas davantage, parce qu'on en a encore envoyé.

Maintenant, si on compare la radioactivité émise par toutes les centrales, c'est quand même limité aux centrales. C'est limité dans les 100 kilomètres, mettons, mais pas plus. Et ça fait pas mal, parce que la radioactivité en tritium envoyée par les centrales n'est pas négligeable par rapport au tritium naturel. Attention, ce n'est pas un petit facteur.

Et vous avez effectivement d'autres produits qui sont envoyés par les centrales et, si ce sont des liquides, ils vont jusqu'à la mer, mais ils se mettent dans tous les sédiments. C'est-à-dire que pour la Loire, par exemple, on sait qu'il y a une certaine contamination en plutonium qui s'est produite au moment d'accidents dans les années 69 et 80 et donc, c'est inéluctable, ça y est. Et dans les sédiments de la Seine, c'est pareil.

Et puis vous avez une pollution qui vous vient effectivement de toutes les usines qui sont dans le Nord Cotentin et qui remontent de là jusqu'à la Norvège. Donc vous voyez, vous avez effectivement une augmentation parce que ça n'existait pas, mais n'oubliez jamais que il y a la radioactivité naturelle.

Mais surtout dans la mer, ça ne se voit pas mais la mer elle en prend, donc cela veut dire que les poissons peuvent effectivement se trouver contaminés. C'est ce qui se passe d'ailleurs à Fukushima. Donc c'est ça, si on peut dire, la radioactivité artificielle qu'on a.

Ruth Stégassy

Merci beaucoup. Il y avait une seconde question qui concernait l'alimentation dans les zones

contaminées : nettoyer le corps avec du blé germé. Est-ce que vous avez entendu parler de ça et est-ce que vous avez quelque chose à dire sur l'alimentation ? Qui voudrait répondre à ça ? Keith Baverstock.

Keith Baverstock

Il existe des techniques permettant de réduire le césium. Le bleu de Prusse par exemple, c'est un produit chimique insoluble qui lie les isotopes du césium. Il est surtout utilisé pour le bétail, je ne sais pas s'il a été utilisé pour les êtres humains. Alors, on nourrit le bétail avec ce produit qui lie tout le césium dans le tractus gastro-intestinal. Le césium sortira des muscles, parce que c'est dans les muscles qu'il se loge, pour aller dans le tractus gastro-intestinal, et c'est ainsi qu'il peut être évacué.

On dit aussi qu'une alimentation riche en pectine permet de réduire le césium par le même mécanisme, à savoir le césium se lie à la pectine. Je n'ai jamais entendu parler du blé germé, mais il se peut que se soit le même processus.

Un processus dont je suis certain qu'il ne fonctionne pas c'est le sauna. On a prétendu que soumettre le corps à de hautes températures et puis le refroidir en sautant dans l'eau froide, lui permet de se libérer du césium. Mais je ne le crois pas.

Ruth Stégassy

Merci beaucoup. On se retourne vers Inge Feuerhacke, puisqu'une question vous a été posée pour que vous nous parliez de la vie autour des centrales nucléaires et des pics de radioactivité au moment de la maintenance.

Inge Feuerhake

Depuis les années 1970 nous observons qu'en Allemagne les taux de leucémies chez les enfants sont élevés autour des centrales nucléaires. Le gouvernement a toujours dit : *« Non, ce n'est pas un effet réel, ce n'est qu'un biais statistique. Cela n'est pas possible parce que nous avons mesuré régulièrement la radioactivité environnementale et dans les registres vous pouvez voir que la dose est plutôt faible. »* Et puis il y a eu un pic extraordinaire, très élevé de leucémies chez les enfants, c'était en 1990. Le taux le plus élevé a été localisé autour de la centrale de Krümmel, près de Harbour, où, entre autres, il y a un Institut de recherche nucléaire qui a deux réacteurs en fonction.

Les chercheurs et les épidémiologistes conventionnels ont dû accepter le fait qu'il y avait une augmentation significative et qu'il fallait une commission d'étude. Cette commission a été mise sur pied par le land du Schleswig-Holstein. La Commission de protection radiologique, quant à elle, estimait qu'il n'était même pas nécessaire de faire des études pour trouver la radioactivité ou autre chose : *« Nous savons que c'est impossible que la leucémie soit provoquée par ces réacteurs. Les émissions ainsi que les doses sont connues, et donc l'origine doit être autre ».*

Et moi-même, avec un groupe de personnes, nous avons essayé de faire la lumière sur cette question. Dans les endroits radioactifs nous avons trouvé une augmentation des chromosomes dicentriques chez les personnes vivant dans ces territoires. Toutefois le ministère qui supervisait les travaux ne le croyait pas, il disait que s'ils avaient fait des mesures, eux n'auraient rien trouvé. Ensuite nous avons détecté une émission anormale de radioactivité du réacteur du centre de recherche nucléaire. Cela s'est passé en 1986, l'année où il y a eu Tchernobyl. Et personne n'a examiné cela car ils étaient impliqués ailleurs. C'était en septembre et nous avons pu trouver des choses dans d'autres enregistrements, une augmentation de la fission des nucléides, on a trouvé du plutonium, des émissions alpha. Et donc il a été possible d'expliquer la relation entre la cause et l'effet, mais ils ont rétorqué qu'un tel résultat n'était pas plausible.

Mais toutes ces conséquences sont décrites dans le registre allemand des cancers des enfants. Dans ce registre, qui a été établi en 1980, on peut trouver une étude faite à cette époque. En prenant en considération toutes les centrales nucléaires allemandes, on voit que, dans un rayon de 5 km, on peut trouver un taux élevé de leucémies chez des enfants très jeunes, de moins de 5 ans.

Et puis il y a une nouvelle étude, dont vous avez peut-être entendu parler, qui a été publiée en 2000, il me semble, toujours par le registre central des cancers de l'enfant, où il a été démontré qu'il y avait un lien très fort entre les taux de leucémie chez les enfants de moins de 5 ans et la distance des cen-

trales nucléaires. C'est ce qu'a montré cette étude, dite KiKK. *(Kinderkrebs in der umgebung von Kernkraftwerken – KiKK).*

Ruth Stégassy

Inge, est-ce qu'il y a un site sur lequel on peut lire une description détaillée de cette étude et du travail que vous avez fait ?

Inge Feuerhake

Oui. Je vais essayer d'être brève. C'est intéressant parce qu'on parle des effets génétiques et je pense qu'ils sont impliqués dans ce contexte. En Allemagne on remarque une forte corrélation entre leucémie et proximité d'une centrale nucléaire. Vous savez peut-être que ce point n'est plus nié par les autorités, mais ils ont quand même dit : « *Nous savons que c'est impossible que les émissions des centrales nucléaires puissent causer ces effets. Nous avons le registre, vous savez que les doses sont très faibles. Donc il doit y avoir des facteurs inconnus et il faut mener des recherches pour déterminer comment la leucémie est provoquée, comment elle a pu être causée, par quels facteurs, car tous les facteurs connus ont été étudiés et il n'y a pas de liens possibles.* »

En fait, ces émissions ne sont pas suivies correctement. Les phases où la matière nucléaire se transforme libèrent de la radioactivité. Selon mon expérience, dans le cas de Krümmel, on peut mesurer tous ces différents éléments. En effet je crois que les mesures ne sont pas correctes et ne sont pas complètes. Je pense qu'il y a des émissions de nucléides alpha dans l'environnement.

Ruth Stégassy

Maintenant, Wladimir Wertelecki voudrait faire un bref commentaire.

Wladimir Wertelecki

Merci. Je vais essayer de me souvenir de tout.

Alors, du point de vue de la Polésie. Je tiens à souligner certains points qui ont été soulevés.

Le premier. L'incorporation de la radioactivité est en hausse, elle augmente dans le temps.

Deuxièmement la consommation alimentaire est basée sur les aliments produits localement. Et leur production est liée aux pâturages pour les vaches, les chèvres,… et aux potagers. Les excréments des animaux sont dans les pâturages. Donc il y a recirculation. Et plus l'organisme est grand, plus grande est la concentration. Un petit poisson, un thon, un gros poisson. Et les potagers sont fertilisés avec des cendres de bois radioactifs. Plus de la moitié des habitations sont chauffées au bois. En outre nous assistons à l'avènement de la troisième génération. Nous parlons de ces enfants dont la mère était *in utero*, qui est devenue adolescente, exposée chaque jour, puis elle tombe enceinte et l'embryon est exposé chaque jour. Cet embryon devient une fille, cette fille tombe enceinte et son embryon est exposé chaque jour. Vous pouvez donc effectuer des études multigénérationnelles. Y a-t-il quelqu'un qui se porte volontaire ? Nous avons les données, nous n'avons pas la capacité de tout analyser.

Le troisième point c'est qu'en amont de Tchernobyl il y a une quantité inimaginable de tritium. Cela ne peut pas provenir de Tchernobyl. Cela provient des deux autres centrales nucléaires, et vous pouvez trouver dans les registres la fréquence de leur maintenance. Combien de fois elles s'arrêtent. Et chaque fois qu'elles s'arrêtent elles sont dépressurisées. Ce sont des espèces de cocottes minutes. Un de mes mentors dit que la façon la plus stupide de faire bouillir de l'eau c'est de bâtir une centrale nucléaire. Il y a de meilleures façons d'avoir de l'eau bouillante. Donc, si vous regardez le nombre de temps d'arrêt, de combien de fois elles ont été fermées parce qu'il y avait un cas d'urgence, vous aurez d'une manière indirecte une idée des rejets qui se sont produits à cause d'une urgence.

Ainsi, gardez à l'esprit que, dans tout cela, le rayonnement naturel pâlit.

Mais la réalité c'est qu'en Polésie, sous cette terre humide, il y a le granit, et le granit est radioactif. Et quand ils le coupent et ils essaient de le vendre à l'étranger, ce granit est arrêté à la frontière car il est trop radioactif pour être vendu, de sorte qu'il revient et ils construisent avec ce granit à Kiev, à Odessa ou à Moscou. C'est donc un problème, mais ce n'est pas un gros problème en termes relatifs.

Il faut avoir plusieurs points de vue sur ce qui est naturel. Ce qui est naturel est supposé être bénin. Eh bien ce n'est pas le cas. Le rayonnement est le rayonnement, un point c'est tout. Donc tout rayonnement non naturel est une dose supplémentaire. Merci.

Ruth Stégassy

Alors, la question qui a été posée à Keith Baverstock sur son nouveau paradigme du SDC est, à mon avis, une question qui va prendre un certain temps. Donc je propose qu'on la garde pour un peu plus tard. Il ne s'agit pas de la sortir, mais simplement d'attendre un moment parce que je pense que la discussion risque d'être dense. Donc, est-ce qu'il y a d'autres questions ?

Question

Une question rapide. Au niveau de la thyroïde, quels sont les examens préventifs que l'on peut faire et quelles sont éventuellement les précautions ?

Intervention

Si c'est permis je voudrais juste revenir rapidement sur l'alimentation, puisqu'on a parlé de plusieurs moyens pour diminuer ou évacuer une partie du césium. On a parlé de la pectine de pomme. Effectivement on sait que la pectine de pomme qui est administrée permet de diminuer la contamination interne. Mais je pense que le meilleur moyen pour diminuer la contamination interne c'est de fournir une alimentation propre ; puisque l'expérience nous montre que les enfants qui viennent en France par exemple, réduisent leur contamination interne de 30%.

Donc, si on veut « nettoyer », entre guillemets, les organismes des gens qui continuent à se contaminer – c'est ce qu'on peut faire sur place –, ça n'a pas beaucoup de sens. On le fait. Il y a le produit Vitapect qui est fabriqué et qui est distribué, mais ce sont des gens qui restent malheureusement dans les zones contaminées et qui continuent à se contaminer. C'est un peu un serpent qui se mord la queue. Donc, une alimentation propre.

Intervention

Je voudrais dire un mot concernant le cancer de la thyroïde chez les enfants. Et, en tant que pédiatre, je voulais juste rappeler deux chiffres. Le cancer de la thyroïde chez les enfants est une affection rarissime. On considère que sa fréquence est de l'ordre de 1 à 2 par millions d'enfants. Il y a 300 000 enfants qui sont suivis à Fukushima et au bout de quelques mois les autorités sanitaires ont commencé à déceler un nombre de plus en plus important de nodules thyroïdiens, dont certains ont été opérés et qui ont révélé la présence de cancer ; et on en est maintenant à un chiffre qui tourne… allez, on ne va pas être trop méchant, on va dire 70 cas sur 300 000. Ce qui nous ferait quand même 210 cas sur 1 million. Donc on pourrait dire que la fréquence des cancers thyroïdiens chez les enfants de la population de Fukushima a été multipliée par 100 ou 200.

Ruth Stégassy

Merci. Question suivante.

Intervention

À propos de la décontamination. J'ai eu l'occasion de rencontrer une femme médecin française qui s'appelle Jade Alègre, qui a fait une thèse de doctorat sur l'utilisation de l'argile comme thérapie par ingestion. Et elle cite notamment le cas du césium qui est englobé par l'argile si on la consomme. Je ne suis pas spécialiste mais j'aimerais vous renvoyer sur son site qui s'appelle *« L'homme et l'argile »* où vous pourrez lire sa thèse de doctorat en entier ainsi qu'un résumé, et d'autres articles, deux de Nexus, dont un qui cite notamment le rôle de l'OMS qui interdit l'utilisation de l'argile en Afrique malgré les résultats absolument extraordinaires. Voilà, elle s'appelle Jade Alègre.

Ruth Stégassy

C'est noté. Ensuite, on va prendre encore deux questions.

Question

Deux petites questions. Une pour M. Dubrova : quel est le rôle des faibles doses dans les expériences qu'il nous propose ? Je n'ai pas compris si vous leur donniez de l'importance. La deuxième question à M. Wertelecki : la courbe du nuage de Tchernobyl qu'il nous a présentée ne passe pas par le sud de la France. Or, en France on sait que la Corse a été très touchée, donc je serais pour qu'il rectifie sa courbe.

Question

Moi j'aimerais poser une question puisqu'on parle de nourriture. Après ces catastrophes, Tchernobyl ou Fukushima, est-ce qu'il y a eu des essais de décontamination des sols, notamment pour l'agriculture et pour permettre aux populations de revenir à une alimentation saine ?

Ruth Stégassy

Ok, merci. On va regrouper les questions parce qu'il y en a plusieurs sur l'alimentation. Une qui concerne la pectine de pomme et qui appelle à une alimentation propre pour les populations qui sont encore en zones contaminées. Il y a notamment ce témoignage à propos d'une femme médecin qui a écrit sur l'argile qui, si on l'ingère, adsorberait le césium, l'envelopperait et donc le rendrait inoffensif. Et puis il y a encore une question sur les essais de décontamination des sols, notamment à destination agricole. Et puis vous aviez parlé du germe de blé. Est-ce que quelqu'un connait les orgonites, toujours dans le cadre de l'alimentation ?

Wladimir Wertelecki veut bien répondre.

Wladimir Wertelecki

Pour en revenir à ce qui a été dit, encore une fois j'aimerais partager avec vous l'expérience de la Polésie. Vous pouvez ensuite la généraliser. Tout d'abord, la nappe phréatique est très haute. Ainsi les puits d'eau sont de 1, 2, parfois 3, 4 mètres de profondeur et donc les gens boivent de l'eau (comme si c'était de l'eau qui coule dans une rivière) où il y a du tritium. Et lorsque vous parlez de 50 km, une rivière va bien plus loin que cela. Soyons donc réalistes. Considérons la géologie et l'hydrologie ensemble.

Deuxième point, la nutrition. Si les Ukrainiens arrêtaient de manger des champignons, – mais ils ne le font pas, ils se damneraient plutôt que de ne plus manger des champignons –, ils réduiraient leur rayonnement corporel de plus de 50%. Et les champignons n'ont aucune valeur nutritive, qu'elle soit calorique ou autre. S'ils ne buvaient pas le lait qu'ils

produisent, ils réduiraient davantage leur charge corporelle. Lorsque nous mesurons les rayonnements incorporés dans le corps près des centrales nucléaires on arrive au paradoxe que ces rayonnements corporels sont la moitié de ceux qu'on trouve dans les villages autour de ces centrales. Et peu importe si les gens sont proches ou pas d'une centrale, ils ont la moitié, parce qu'ils ont des épiceries. Ces entrepôts d'épiceries, apportent des aliments qui viennent d'on ne sait où, mais ces aliments ont une charge de césium et d'autres nucléides beaucoup plus faible. Et donc la diminution de la charge corporelle par le contrôle des aliments, oui, absolument, il faut une nourriture propre. Mais la tragédie c'est que les enfants ne reçoivent pas d'aliments propres. Ils mangent à la cantine de l'école. On pourrait donc mettre en place des programmes pour leur donner une alimentation propre, du moins quand ils sont à l'école.

La Polésie manque de micro-minéraux, car les sols ont été épuisés par l'ère glaciaire et il n'y a pas de zinc, pas de cuivre, pas d'acide folique. Les micronutriments dans ces sols n'existent pas et donc les plantes ne peuvent pas les absorber. Et le fœtus en a besoin.

Et pour finir une question d'éthique humaniste : comment se fait-il que la Pologne ait pu distribuer de l'iode et que l'Union Soviétique l'a interdit. Ils étaient au courant, ils savaient le faire, pourtant ils l'ont interdit. Ils ont commencé à distribuer de l'iode au début de la tragédie, mais le gouvernement de Moscou ne voulait pas provoquer de panique. Et, pour ne pas provoquer la panique, beaucoup de mesures douteuses ont aussi été prises au Japon.

Voilà, c'est tout ce que j'avais à partager avec vous sur cette histoire.

Ruth Stégassy

Merci beaucoup, alors on va se tourner vers Yuri Dubrova, puisque c'est une question qui concernait directement votre communication de ce matin. On vous demandait des précisions sur le rôle des faibles doses dans l'expérimentation que vous avez conduite.

Yuri Dubrova

La réponse la plus simple, c'est que j'aimerais connaître ces doses. Qu'est-ce que nous avons fait ? Nous avons collecté des échantillons sanguins auprès de familles qui vivent dans des zones très contaminées. Et voilà, j'ai fait de mon mieux au début de ma présentation pour essayer de vous convaincre qu'on sait très peu de choses s'agissant des doses auxquelles sont soumis les habitants des zones contaminées. Et donc la réponse à votre question c'est que l'on ne sait rien de ces doses. Et je n'ai aucun autre commentaire à faire.

L'autre point qui concerne la recherche, nous faisons beaucoup de recherches sur les souris, et la dose la plus faible qu'on ait jamais testée était de 10 cGy.

Ruth Stégassy

Merci. Il y avait une question qui s'adressait à Wladimir Wertelecki, et c'était pour lui signaler que dans la carte qu'il nous a montrée avec le nuage de Tchernobyl, la France n'apparaissait pas. C'est vrai que, pour les Français, c'est d'autant plus choquant que de fait on nous a annoncé que le nuage n'avait pas survolé la France ; et il semblerait que ce ne soit pas tout à fait le cas. Ce n'est pas exactement une question, c'est simplement une invitation, je pense, à métamorphoser un petit peu votre carte pour les prochaines présentations.

Chiyo voudrait intervenir. Donc, Chiyo Nohara.

Chiyo Nohara

Pour en revenir au résultat qui a été présenté sur la dernière diapositive de la présentation avec la deuxième génération qui, en se nourrissant à Okinawa de produits propres, semblait présenter une très grande amélioration dans les niveaux de survie : pour moi c'est un résultat très encourageant en soi, qui irait dans le sens de ce qui a été dit par ailleurs. C'est-à-dire que, en prenant une deuxième génération et en lui donnant de la nourriture propre on peut, en tout cas, améliorer une situation qui avait été très endommagée.

Mais je tiens à préciser que, d'un autre côté, on peut aussi regarder le verre à moitié vide. C'est-à-dire que, même à Okinawa, même en étant à 1 700 km de la centrale de Fukushima, si on mange des ingrédients qui sont contaminés, alors il y a des dommages immédiats. Donc, pour moi, le résultat de l'étude, à ce stade, peut être vu comme un encouragement mais je le vois aussi comme la preuve qu'il y a une menace énorme et que finalement nous ne savons pas qui mange quel ingrédient et où, et qu'il est très important de considérer que le problème de la sécurité alimentaire ne se limite pas aux environs proches des centrales.

Je voulais aussi préciser une deuxième chose. Comme vous l'avez vu dans le résultat, la deuxième génération nourrie avec un produit de qualité et en dehors de l'environnement de la centrale, c'est-à-dire à Okinawa, a un niveau de survie qui semble normal. Mais ceci ne peut en aucun cas nous rassurer sur le risque qu'on court au niveau de l'impact sur l'ADN et des menaces génétiques que pourrait comporter l'exposition à la nourriture, même à des doses basses, telles que dans notre expérience.

C'est pourquoi nous avons développé un projet, qui a démarré depuis l'année dernière, que nous avons appelé le « Projet Génome », pour analyser l'impact sur la génétique. Donc, je ne tiens en aucun cas à ce que les résultats que nous avons présentés aujourd'hui soient minimisés, dans la mesure où il suffirait de manger des choses propres à la deuxième génération pour que le problème soit résolu. Ce n'est en aucun cas notre approche. Et pour nous, l'étape suivante est de s'attaquer, pour le dire de manière très générale, au problème de l'ADN.

Ruth Stégassy

Merci beaucoup. Il y avait donc une question sur la thyroïde. Est-ce qu'il existe des examens préventifs et des précautions à prendre ? Alors, qui veut répondre ? C'est le monsieur-là qui veut répondre ?

Intervention

Il y a des mesures qui ont été faites ici à Genève à l'hôpital universitaire. Cela s'appelle l'anthropogammamétrie.

On met un détecteur sur la thyroïde et il mesure l'iode 131, ou les autres isotopes de l'iode qui peuvent être présents.

En ce qui concerne la prévention, on connait les fameux comprimés d'iode, mais normalement on ne sait pas que ça ne vaut pas la peine de les prendre

après l'accident, après l'arrivée du nuage. Car l'objectif du mécanisme de protection c'est de saturer la thyroïde avec de l'iode stable pour éviter l'incorporation de l'iode radioactif dans la thyroïde. Mais si on le fait trop tard, si l'iode radioactif est déjà là et que la thyroïde est déjà contaminée, c'est fini. Alors, ce n'est pas la peine de prendre des comprimés d'iode en situation normale. Au contraire, c'est plutôt dangereux pour la santé pour le réglage du niveau d'iode dans l'organisme.

Alors, on fait plus mal que bien. C'est pour ça que c'est très important d'avoir un système d'alerte qui fonctionne assez vite, pour que les gens qui sont concernés puissent prendre ces comprimés.

Il y a eu une troisième question qui est liée à l'iode. C'est la nécessité ou possibilité de décontaminer le sol, je suppose en Europe, au moment de l'accident de Fukushima. Je vous dis que ça ne serait pas une bonne chose. Pourquoi ? Parce qu'on a montré des cartes en couleurs mais on n'a pas dit que ces cartes sont en échelle logarithmique. Fukushima c'est noir, c'est la contamination d'iode extraordinaire. Et on trouve quelque chose en jaune qui est en Europe. Mais la différence en concentration est de neuf ordres de grandeur, cela veut dire 1 milliard. Cela veut dire qu'en Europe pendant Fukushima, avec tout le respect pour les victimes de Fukushima, on a eu des concentrations d'iode qui sont 1 milliard de fois au-dessous de ce qu'il y a à Fukushima. Dans cette situation on va de nouveau faire plus de mal que de bien… décontaminer le sol avec des agents chimiques.

Ruth Stégassy

Merci, mais je pense qu'il s'agissait de décontaminer les sols de Fukushima et de Tchernobyl.

Keith Baverstock voudrait également dire quelque chose sur la thyroïde.

Keith Baverstock

Tout d'abord, c'est vrai que l'iode devrait être pris avant ou tout juste après une exposition. C'est un très bon conseil avancé par l'OMS, d'abord non pas par Genève mais par son Bureau régional européen. Ce conseil dit que les comprimés d'iode seront pré-distribués, et que les gens seront informés de quand et comment les prendre. Il ne faut pas les prendre tant qu'on ne vous le dit pas. En fait c'est nécessaire seulement pour les enfants, pas pour tout le monde, pour les personnes âgées cela peut être nuisible. J'ai appris, il y a seulement une semaine, que la Suisse avait décidé de pré-distribuer les comprimées d'iode. Donc, voilà le moyen le plus efficace d'empêcher ou de limiter le cancer. C'est ce qui est arrivé en Pologne, qui a mené une action pionnière en faisant une distribution à l'échelle nationale dans les jours qui ont suivi l'accident de Tchernobyl, et la Pologne a probablement un taux de cancers de la thyroïde inférieur aux prévisions.

Or, en ce qui concerne les cancers de la thyroïde à Fukushima, les comprimés n'ont pas été pré-distribués et n'ont pas été distribués après l'accident. Donc, très peu de gens ont eu des comprimés d'iode. En réponse aux préoccupations des citoyens, un programme de dépistage a été mis en place et 300 000 enfants de moins de 18 ans ont été examinés. Ce premier tour de dépistage est plus ou moins complet et a détecté 104 cancers de la thyroïde, dont jusqu'à présent 54 avec des nodules thyroïdiens établis comme malins. Certains se sont étendus aux ganglions lymphatiques et même aux poumons. C'est un nombre très élevé ; donc le débat est de savoir si c'est l'effet de ce dépistage qui a révélé ces cancers ou si c'est le résultat de l'exposition à l'iode après l'accident.

Pratiquement aucune mesure de l'activité thyroïdienne n'a été effectuée dans les mois après la catastrophe, nous n'avons qu'une petite idée des doses. Donc on ne sait pas à quoi s'attendre. Il est vrai que les thyroïdes des Japonais, – car ils mangent des produits de la mer et des algues très riches en iode –, ont une charge moins importante par rapport à Tchernobyl, donc on s'attend à ce que les taux de cancers de la thyroïde soient plus faibles. Cependant nous savons qu'il faut attendre le deuxième dépistage, car ce qui a été mesuré dans le premier était la prévalence. Tout ce qu'il y avait là, chez les enfants jusqu'à l'âge de 18 ans, peu importe quand les cancers ont commencé à se développer. Le deuxième tour de dépistage, deux ans plus tard, chez les mêmes enfants, montrera si on trouve davantage de cancers. Si tel est le cas, il est presque certain que c'est la radioactivité qui les a induits. Si aucun autre cancer ou très peu de cancers étaient détectés, alors on pourrait dire que ces cancers ont été détectés grâce au dépis-

tage. Voilà la situation. Nous aurons les premiers résultats de ce deuxième dépistage au printemps.
[voir : http://fukushimavoice-eng2.blogspot.ch/2015/05/fukushima-thyroid-examination-may-2015.html
http://www.fmu.ac.jp/radiationhealth/results/]

Ruth Stégassy

Merci beaucoup. On va prendre encore une question.

Question

J'aimerais d'abord remercier les intervenants pour tout ce qu'ils nous ont apporté. Moi ça m'a révélé deux choses qui vont à l'encontre de ce qui a été établi jusqu'à présent, en tout cas de ce que je croyais établi.

Une première chose c'est : plus un organisme est simple, plus il est résistant à la radioactivité. Du moins c'est ce qui était affirmé et il y avait des preuves. Là il semblerait que des organismes simples, dont des insectes, des plantes, puissent être sensibles à la radioactivité y compris à de faibles doses. Mieux, c'est qu'à quelques becquerels de césium dans les larves, on observe quelque chose. Alors on n'est plus dans les faibles doses, on est dans les très, très faibles doses. Et qu'on voie quelque chose à ce niveau-là, ça me pose des questions aujourd'hui et ça remet en cause carrément le nucléaire, non pas seulement en situations accidentelles, mais aussi en fonctionnement normal par les rejets des installations nucléaires. Parce qu'on est à ces niveaux-là, de quelques becquerels dans l'environnement, qu'on va pouvoir retrouver rapidement.

Et je voulais juste signaler pour terminer l'étude allemande sur les leucémies autour des centrales allemandes, faite par Alfred Körblein, que vous pouvez trouver sur Internet. Il faut savoir que l'IRSN a fait la même chose en France, qu'il a trouvé les mêmes résultats autour des sites nucléaires français, et que sa conclusion c'est, je cite : « *c'est tout à fait un hasard qu'il y ait une centrale là au milieu de ce cercle qu'on a tracé, ça tombe vraiment mal, mais c'est comme ça. Nous le constatons, nous n'irons pas chercher plus loin* ».

Évidemment il aurait été intéressant d'aller un peu plus loin, c'est-à-dire de voir s'il y avait une corrélation entre la contamination, donc les becquerels rejetés par la centrale, et la localisation de ces leucémies dans le cercle, qui lui n'est pas uniforme. Donc, est-ce qu'il y avait une corrélation ? Mais l'IRSN s'est arrêtée avant d'aller faire ce travail.

Ruth Stégassy

Merci beaucoup.

Question

Nos panélistes experts perçoivent-ils une approche comparative qui pourrait être établie entre l'émission de la radioactivité dans l'air et l'émission des gaz à effet de serre ? Merci.

Question

Je voulais vous demander si vous accepteriez de dire que la seule prévention efficace contre les effets néfastes du nucléaire c'est tout simplement l'arrêt des industries nucléaires civiles et militaires. Je vous en remercie par avance.

Ruth Stégassy

Prenez une dernière question ici.

Intervention

Immédiatement après l'accident nucléaire, ont été rejetés probablement 60 types différents de radionucléides, voire plus. Et je pense qu'il y a approximativement deux groupes : des fortes doses d'effets aigus (avec beaucoup de radionucléides à courte vie, comme l'iode, le xénon, le tritium etc.,) et puis aussi des radionucléides de longue vie, de long terme, comme le césium, le strontium ou peut-être le plutonium.

Et si nous avons ces deux choses différentes, ne serait-il pas plus pertinent d'avoir deux méthodes différentes en fonction d'un lieu ou en fonction de la situation sur comment protéger nos vies, ou comment en tenir compte pour la recherche ?

Question

Une question très courte pour suivre la question de Monsieur sur les organismes simples qui souffriraient aussi de l'exposition aux rayonnements. Dans la communication du docteur Mousseau tout à l'heure, j'imagine que les personnes qui remettent en cause les effets de l'impact des radiations pourraient dire que le comptage des oiseaux dépend … de comment on les compte. Je trouve que la vidéo était très parlante avec le chant des oiseaux d'un côté et pas de chants de l'autre, mais elle peut être mise en cause de manière assez facile.

J'avais trouvé très intéressant, et j'aimerais avoir sa confirmation sur ce qui est fait dans ce domaine : l'absence de pourriture sur les arbres, qui semblerait indiquer qu'à un niveau fondamental il y a un arrêt d'une activité d'organismes, qui seraient monocellulaires ou en tout cas très petits. Et est-ce que quelque chose est fait dans ce domaine-là, parce que ça parait plus irréfutable s'il y avait des résultats concrets dans ce domaine, ce serait peut-être plus facile à imposer que le comptage des oiseaux, qui est facile à remettre en cause. Merci.

Monique Séné

À propos de la décontamination des territoires et puis aussi à propos de la nourriture saine. Je rappelle qu'une fois que la radioactivité est dans l'environnement, ce n'est pas très facile d'aller la rechercher. Et que si vous mangez des aliments sains qui captent votre radioactivité, eh bien, il faut que vos selles, pardon… et votre urine soient récupérées, sinon vous allez tout recontaminer. Donc, ce n'est pas si facile que ça de gérer le post-accidentel. Voilà. C'est une question… simplement, qu'est-ce qu'on fait ?

Ruth Stégassy

Peut-être qu'on pourrait repartir sur la question des organismes simples. Roland Desbordes faisait la remarque qu'en général on pense que, plus un organisme est simple, moins il est sensible à la radioactivité ; et ici, il découvre qu'on voit des traces de radioactivité jusque dans les larves, donc à très,

très faibles doses, ce qui remet en question le nucléaire lui-même, même en régime de croisière et pas seulement en cas d'accident.

Et il y avait une autre remarque sur les organismes simples qui s'adressait plus spécifiquement à Tim Mousseau. Donc, il y a l'exemple du comptage des oiseaux, mais qui peut facilement être contesté. En revanche l'absence de pourriture sur les arbres est un élément tout à fait intéressant. Est-ce qu'il y a des études spécifiques sur cette absence de pourriture qui pourrait être corrélée avec une radioactivité induite par un accident ?

Alors, qui veut répondre sur cette question des organismes simples ? Je pense que, peut-être, Tim, vous pouvez commencer.

Timothy Mousseau

Les gens de Tchernobyl aiment faire remarquer que…. c'est bien de manger les pommes de Tchernobyl, mais on doit le faire avec la pulpe qui est un déchet toxique. Mais c'est très bien de manger les pommes.

Alors, l'un des résultats très intéressants que nous avons eu, c'est cette formidable variation de sensibilité entre les différentes espèces. Au début de cette année, nous avons publié un article dans une revue scientifique britannique, *Functional Ecology,* où nous avons montré qu'aujourd'hui à Tchernobyl 5 ou 6 espèces d'oiseaux, parmi les 60 ou 70 espèces régulièrement visées, semblent s'être adaptées, semblent avoir développé la capacité de faire face aux rayonnements. C'est une petite proportion du total des espèces mais, en 28 ans de sélection, 28 générations de la plupart de ces oiseaux ont changé l'allocation de l'un de leurs importants antioxydants, ainsi que la coloration, en utilisant plutôt les antioxydants GSH pour se protéger du stress oxydatif. Or le stress oxydatif est l'une des choses qu'on peut observer lors d'un rayonnement ionisant. Les oiseaux identifiés qui ont cette capacité ont un niveau de dommages génétiques moindre dans les zones modérément radioactives que dans celles qui ont une radioactivité beaucoup plus faible. Donc ils ont en quelque sorte surcompensé en termes de défense contre les effets du rayonnement.

Donc il y a d'énormes variations entre les différentes espèces, il y a d'énormes variations entre individus au sein d'une même espèce, et il est donc très difficile de généraliser à partir d'un seul animal, comme le fait souvent la CIPR ou d'autres organismes de réglementation. Ils généralisent à partir d'un poisson, d'un oiseau, d'un insecte ; ils généralisent tout. C'est la même chose bien entendu avec les humains, et ce n'est tout simplement pas possible de le faire en raison de la variation de la sensibilité.

Voilà je pense que c'est vraiment tout ce que j'avais à dire sur ce sujet.

Ruth Stégassy

Oui, Chiyo peut-être sur les organismes simples ?

Chiyo Nohara

Juste pour revenir sur l'alimentation et les résultats présentés tout à l'heure. On s'est concentré sur la génération F2 ; je voudrais faire un commentaire sur la génération F1, celle qui a été directement impactée par les rayonnements.

Par faute de temps la présentation que vous avez eue portait sur la génération 2, et les effets d'une nourriture bonne dans un milieu non contaminé. Il se trouve que si vous vous référez à l'étude complète, nous avons fait une étude tout à fait importante sur la génération F1, y compris dans les zones qui sont relativement proches de Fukushima. Comme vous le savez tous, Fukushima est au nord-est de Tokyo. Quand on descend de Fukushima, à 150 km on arrive dans l'aire métropolitaine de Tokyo. Et nous avons fait des études sur la génération F1 qui portaient sur la région du Kantô, donc la région de Tokyo, et un peu plus au sud, la presque île de Shizuoka, qui est très connue pour la production de thé, et donc avec, entre autres, les problèmes des cendres qui étaient tombées directement sur les feuilles de thé.

Les études que nous avons faites sur la génération n°1 sont particulièrement inquiétantes parce qu'elles montrent que chaque fois qu'il y a consommation même à des doses très basses de césium

radioactif, il y a une augmentation du taux de mortalité. Et le plus inquiétant pour nous, comme nous avons vu dans les graphes que je vous ai présentés, c'était qu'avec une augmentation du taux de césium il y avait une augmentation de la mortalité, mais qu'en fait nous atteignions très vite des maxima. C'est-à-dire que ce n'est pas qu'une dose 10 fois supérieure va entraîner une mortalité 10 fois supérieure. On atteint très vite des taux de mortalité de l'ordre, – je traduis librement –, de l'ordre de 50% avec des doses qui sont faibles.

Donc, ça c'était dans l'étude, vous trouverez ces éléments-là dans la première génération : une exposition même étonnamment faible provoquait un impact très important et une mortalité significativement supérieure, même dans des zones comme Tokyo, le sud-ouest de Tokyo, donc des zones qui ne sont pas du tout en ce moment prises en compte dans la problématique Fukushima. Merci.

Ruth Stégassy

Merci. Alors, là il nous reste quelques petits points avant d'arriver à la question qui à mon avis va conclure le débat, enfin conclure ou l'ouvrir largement.

Donc, il y en a quelques-unes à mon avis. Roland, la question sur la corrélation entre localisations… on laisse tomber. La question, est-ce que vous êtes d'accord pour dire que la seule prévention c'est l'arrêt du nucléaire civil et militaire ? Je propose qu'on répond tous ensemble, 1, 2, 3 : oui ! Voilà, c'est répondu. Il y avait une question sur la relation à établir entre radioactivité et gaz à effet de serre.

Je suis désolée mais je n'ai pas très bien compris votre question qui concernait les deux groupes de radionucléides rejetés, stables, non stables, quelle était votre question exactement ?

Question

Il est temps peut-être d'avoir une méthode différente pour l'ensemble des différents radionucléides, de sorte que pour les radionucléides à courte vie on essaie de prendre telle mesure de prévention, et pour les radionucléides à longue vie, on travaille sur telle autre mesure. Bien sûr il y a 60, 70 radionucléides différents, et même, pour un ou deux, nos connaissances médicales sont insuffisantes, mais au moins on pourrait établir certaines orientations et ensuite, en fonction de la situation, les examiner ensemble.

Ruth Stégassy

Qui veut répondre ? Keith Baverstock.

Keith Baverstock

Nous n'avons pas besoin d'une nouvelle vision. Les isotopes à court terme affectent avant tout les gens proches du site de l'accident, et c'est la responsabilité de la compagnie exploitant la centrale nucléaire d'assurer un système pour protéger ces gens, et on le fait généralement par l'évacuation ou par la mise sous abri. Les isotopes à long terme sont dans une certaine mesure inévitables : on peut nettoyer de nombreuses zones fortement contaminées de Fukushima et on va réduire les doses en les divisant peut-être par deux, mais il y aura encore la forêt, il y aura encore les champignons, il y aura toujours les baies et les animaux sauvages qui peuvent-être utilisés pour se nourrir. Donc il y aura toujours des sources d'irradiation interne autour de ces villages ou villes.

Par exemple, il a été rapporté récemment que le niveau du césium dans les rennes en Norvège avait augmenté. C'était en raison de l'année particulièrement bonne pour les champignons. Les rennes mangent les champignons et ils ont pris du césium. Ce sont des impacts à long terme, et cela justifie peut-être un bref commentaire. L'industrie ne peut pas contrôler cela. Ils ont promis qu'il n'y aurait aucun

effet sur la santé. Ils ont promis que les accidents seraient d'un niveau très, très faible. Or, le niveau des accidents qui se produisent en pratique est beaucoup, beaucoup plus élevé, et ils ont des caractéristiques qu'ils ne peuvent pas gérer. Je voudrais juste vous mettre au courant d'une remarque faite à Fukushima par une responsable de l'OMS, Émilie Van Deventer ; elle a dit que (ce ne sont pas ses mots exacts) « *en regardant les aspects de l'accident de Fukushima du point de vue de la santé publique, nous devions garder à l'esprit l'avenir économique de l'industrie nucléaire.* » Ce n'était pas l'AIEA, c'était l'OMS.

Ruth Stégassy

Ça a le mérite de la clarté.

Alors, on va en venir à la question qui a été posée plus tôt, qui s'adressait à Keith Baverstock. On lui demandait d'expliquer un peu mieux son nouveau paradigme des systèmes dissipatifs complexes, (SDC, en anglais Complex Dissipative System – CDS). Donc, est-ce que vous pourriez l'expliquer de manière synthétique, et puis ensuite on voulait avoir l'avis de tous les intervenants.

Bon, ce qui est évident c'est que cette question-là tourne autour de la génétique et, génétique ou pas génétique, on a passé toute une journée à discuter et à écouter des choses sur la génétique.

Donc, c'est intéressant effectivement d'avoir cet avis général, et peut-être plus largement aussi, me semble-t-il, moi ce qui m'a frappé c'est qu'il y a autour de cette table des scientifiques qui sont plongés dans des recherches extrêmement intéressantes, très pointues mais qui ne se croisent pas nécessairement les unes avec les autres. Et moi ce que j'aimerais savoir c'est quel lien, quel pont, est-ce que vous pouvez établir les uns avec les autres. Est-ce que vous avez le sentiment que vos recherches sont totalement isolées les unes par rapport aux autres ou est-ce qu'au contraire il y a possibilité de créer un corps, un corpus scientifique à partir de vos recherches aux uns et aux autres. Donc, on commence par Keith Baverstock et le CDS.

Keith Baverstock

Eh bien, ce n'est vraiment pas possible d'expliquer ça en peu de temps. Donc je vais me limiter à trois points.

Tout d'abord, pour les lois de la nature, nous nous tournons vers la physique. La vie est un processus naturel. Donc nous devons nous tourner vers la physique en tant que processus naturel autonome et nous demander si nous utilisons la bonne physique. Or, je pense que peu de biologistes réfléchissent à ce sujet, car on leur enseigne la physique newtonienne, ils l'adoptent, mais ils ne sont pas des physiciens, ils ne s'interrogent pas à son sujet. Donc il n'y a pas vraiment un effort pour remettre les choses en question. Mais la physique newtonienne ne paraît pas satisfaisante, alors qu'il y a d'autres physiques nouvelles qui peuvent être plus applicables, parce que les cellules des organismes et les organismes ont une énergie de développement. Ils sont comme un moteur dans un certain sens, ils prennent de l'énergie comme votre voiture et l'utilisent pour faire fonctionner le système, mais ils ont de l'entropie qui reste. Et c'est celle qui est perdue habituellement – ou on l'utilise pour réchauffer les passagers dans les jours froids – mais c'est une énergie qui ne peut pas produire du travail. Mais elle apparaît dans l'organisme, dans l'organisme en croissance ; l'entropie apparaît comme masse corporelle. Vous voyez donc la consommation de l'énergie et l'organisme en croissance, mais l'organisme brûle de l'énergie dans les deux sens, il utilise l'énergie de deux manières. Il utilise l'entropie en termes de croissance. Voilà une raison pour prétendre que nous avons besoin d'une nouvelle base en physique.

Maintenant la question c'est que nous voulons une théorie de la vie, que la génétique ne fournit pas car la génétique, ce sont seulement des associations statistiques entre ce qui est supposé être une séquence d'ADN et le phénotype. Or, en 1930, R.A. Fisher, un statisticien, a pris la théorie de Darwin de l'évolution par sélection naturelle en disant « *nous manquons d'une théorie de la sélection naturelle* ». Étant statisticien, il a créé la théorie statistique de la sélection naturelle. Nous pouvons créer une théorie physique de la sélection naturelle basée sur le *principe de moindre action* et sur la *2ème loi de la thermodynamique*. Maintenant nous avons le choix. Moi je suis en faveur d'une approche physique, les généticiens utilisent l'approche statistique. Mais est-ce que les généticiens ont envisagé d'utiliser l'approche physique ?

Le troisième point, pour rester bref : je pense que les organismes sont des systèmes et nous disons que les systèmes sont plus que la somme de leurs parties. Ils ne sont donc pas le résultat de l'addition de tous les éléments que nous avons, à savoir l'ADN, les cellules et d'autres produits chimiques, agissant indépendamment les uns des autres ; ils interagissent pour produire quelque chose qui est supérieur à la somme des composants isolés. Ceci est un argument contre le réductionnisme. Et le réductionnisme a été la force motrice de la biologie parce que c'est facile. On peut isoler le système et en étudier chaque élément. Ce que nous ne pouvons pas faire, c'est réunir tous les éléments et obtenir l'ensemble. Nous pouvons juste obtenir quelque chose qui ne fonctionne pas.

Je pense que ce sont les trois raisons pour lesquelles nous devrions réexaminer la question de savoir si travailler sur le paradigme génétique est la meilleure manière de résoudre nos problèmes en biologie.

Ruth Stégassy

Merci beaucoup. Qui veut donner son avis… Wladimir ?

Wladimir Wertelecki

Je suis audacieux, par conséquent ne croyez pas à ce que je vais dire.

Je suis d'accord. La statistique ne m'a jamais convaincu. Et en fait il est intéressant de noter que l'un des défis à Darwin, Dalton, Fisher, Haldane et toute cette école, a été posé par un anarchiste, un prince, qui était très aimé lorsqu'il a quitté la Russie pour se rendre à Oxford. C'est l'évolution, sans Darwin, sans Malthus. C'était basé sur les populations en symbiose de Sibérie où les espèces sont très séparées et où elles ont besoin les unes des autres ; ainsi donc la Sibérie était un organisme… contrairement aux Galápagos où les espèces sont très serrées, en rivalité et prêtes à s'entretuer. Le deuxième défi est venu de Vernadsky. Vernadsky est un homme dont la vie a été sauvée par un adolescent appelé Dobzhansky. Et Dobzhansky faisait partie de l'équipe de Muller, dont vous avez entendu parler. Dobzhansky et Muller se sont opposés, c'est Muller qui a perdu. Et Dobzhansky est, pour ainsi dire, le successeur de l'homme qui a créé l'Académie des sciences d'Ukraine, qui a conçu la notion de GEA, selon laquelle le monde entier est un organisme, un organisme interactif.

Par conséquent vous ne pouvez même pas isoler un individu, vous ne pouvez même pas isoler une population, mais il faut en fait l'examiner dans le contexte écologique. Je suis donc fier et très content de dire que nous avons un porte-parole d'un nouveau concept qui devrait être promu, car l'épigénétique est aujourd'hui la nouvelle perspective de la génétique. Exactement comme on a vu Dobzhansky unir les idées évolutionnistes de Darwin avec celles des gènes uniques de Mendel, dans une synthèse grandiose qu'il a publiée dans les années 40 ou 50. Ma réponse est donc, écoutons davantage notre collègue ici présent. Je vous remercie et je le félicite.

Yuri Dubrova

Juste quelques mots. En 2000, du jour au lendemain, nous avons obtenu un ensemble de données incroyables. Qu'avons-nous fait ? Nous avons irradié des souris mâles et ensuite nous avons analysé ce qui se passait dans leur descendance non irradiée. La sagesse courante en biologie nous dit qu'elles auraient dû hériter de quelques mutations supplémentaires, que quelques-unes auraient dû mourir, d'autres pas, en fonction de la gravité de la mutation. Et énorme surprise : il s'est avéré que le taux de mutations chez ces animaux qui n'avaient jamais vu une goutte de rayonnement ionisant était 5 fois plus élevé que celui des sujets témoins. Cela a été le début d'une nouvelle ère dans mon laboratoire où nous avons commencé à étudier le phénomène de l'instabilité transgénérationnelle. Et il est impossible d'expliquer cela en utilisant la génétique conventionnelle. Il y a quelque chose d'autre. Nous avons passé 10 ans depuis, sans savoir combien de livres sterling on a dépensé pour analyser cela. Et nous ne savons toujours pas ce qu'il y a derrière. Mais ce que nous savons à coup sûr c'est que la génétique standard ici ne fonctionne pas. Car ce que nous voyons, ce sont des centaines d'animaux génétiquement instables. Et cela est une nouvelle façon de comprendre les effets génétiques de l'exposition paternelle aux rayonnements ionisants.

Inge Feuerhake

Moi, ce qui m'intéresse, c'est l'amélioration de la radioprotection, puisque je suis en contact avec des gens qui ont des enfants qui ont subi des dommages. Nous savons que, si vous irradiez des parents, vous aurez des malformations et autres dommages chez les enfants. Et par conséquent nous devons exiger une meilleure protection des gonades peut-être avec diagnostic médical et dans les limites des doses standards. Nous devons lutter contre l'interprétation de la CIPR et de l'UNSCEAR. Et le rôle des physiciens dans ce domaine est très mauvais à ma connaissance, car ils prétendent être en mesure de calculer la dose, ce qui n'est pas vrai, ils ne sont pas capables. Ils ne peuvent pas modéliser le métabolisme complexe de la radioactivité incorporée. Mon objectif est donc principalement qu'on accepte les phénomènes. Il y a des phénomènes, il y a des effets chez les enfants. Le deuxième objectif c'est d'essayer d'élaborer une meilleure théorie de comment se vérifient ces effets dans les cellules humaines. Nous savons que c'est dangereux. J'aimerais savoir pourquoi on ne peut pas déterminer si une malformation est causée par une exposition *in utero* ou si elle est génétique. Ce sont des questions très pratiques, ce serait important d'agir pour exiger une meilleure radioprotection.

Ruth Stégassy

Merci beaucoup. Chiyo, est-ce que peut-être vous pouvez dire quelques mots ?

Chiyo Nohara

J'habite, comme vous le savez, l'île d'Okinawa, qui se trouve à 1 800 km au sud-ouest de la centrale de Fukushima, donc un endroit qui est complètement en sécurité. Nous voyons arriver sur l'île des gens qui viennent se réfugier depuis Fukushima, depuis la région de Tokyo qui est beaucoup plus proche. Et je vois arriver ces gens sur notre île et chacun, chaque personne, chacun d'entre eux souffre de l'exposition qu'il a reçue suite à l'accident de la centrale il y a trois ans et demi. Moi-même j'ai commencé ma recherche – comme vous le savez je travaillais dans le domaine des sciences sociales – et j'ai changé l'objectif de ma recherche complètement suite à l'accident de Fukushima. Et mon souhait est que les sciences, les sciences sociales dans mon cas mais les sciences au sens large, puissent rendre compte de la situation qui est engendrée dans mon cas, par l'accident de Fukushima, et que nous puissions avoir une approche qui soit du même ordre que celle que j'ai connue quand je travaillais dans un domaine qui était beaucoup plus anecdotique mais où nous avions une discipline et une reconnaissance que nous n'arriverons pas à obtenir en ce moment dans le domaine du nucléaire.

C'est pourquoi je pense que la science que nous exerçons doit se mettre au service de ces gens qui sont maintenant, aujourd'hui-même, dans la souffrance et leur offrir au moins la possibilité d'un espoir. Et cette démarche, qui doit être la nôtre, est non pas de produire des données mais concrètement de nous mettre en position de pouvoir donner un espoir au moins aux personnes qui sont maintenant dans la souffrance.

Ruth Stégassy

Merci. Tim.

Timothy Mousseau

Je vais être bref. Je suis d'accord avec le docteur Baverstock et d'autres collègues qui ont suggéré qu'une nouvelle façon de regarder certaines de ces questions est nécessaire. Il est clair que, si vous écoutez les idées reçues, vous pensez qu'il n'y aura absolument aucun danger à vivre près d'une centrale nucléaire, pas de danger à Tchernobyl, à Fukushima. En fait, ils continuent de suggérer que les niveaux de rayonnement ne sont pas dangereux. Mais clairement ces modèles, ces prévisions, élaborés principalement par des physiciens, ne répondent pas aux besoins, et donc il faut qu'il y ait effectivement un changement de perspective.

Je pense que, pour commencer, il faut tout d'abord avoir des données, il faut des observations empiriques. Je pense que faire des prévisions sans données empiriques conduit à de fausses prévisions, et je pense que c'est une tendance que nous avons eue dans ce domaine particulier. Je suis également d'accord sur le fait que la génétique conventionnelle, la génétique mendélienne aujourd'hui est dépassée. Et nos modèles doivent intégrer la complexité accrue existante.

Pour être biographique, autobiographique, j'ai publié en 1998 un livre pour les Presses universitaires d'Oxford, – et aussi plusieurs autres articles –, intitulé « *Effets maternels en tant qu'adaptations* ». J'y mettais l'accent sur le fait que – vous savez – la progéniture hérite beaucoup plus que l'ADN seul. Ils héritent tout du cytoplasme, tous les autres types d'ADN, tous les autres éléments biochimiques, qui vont dans l'œuf. Et ils sont influencés par l'environnement maternel. Et la même chose vaut, mais dans une moindre mesure, avec les pères. Or, ceci n'a jamais été intégré dans la plupart des modèles biologiques par le passé. Maintenant nous savons qu'il y a ces interactions qui se produisent, que nous appelons l'épigénétique, et c'est effectivement une intégration de ces complexités ou une tentative d'intégrer certaines de ces complexités.

Donc je suis d'accord qu'il nous faut avancer, nous devons intégrer une vision plus moderne de la biologie, et certainement une vision beaucoup plus réaliste de la façon dont la physique s'applique à ce genre de systèmes environnementaux.

C'est ce que j'avais à dire, rien d'autre, je vous remercie beaucoup.

Ruth Stégassy

Merci beaucoup, c'était un très beau mot de la fin, merci à tous pour la richesse de ces échanges, pour tout ce que nous avons appris. Merci aussi de vous être placés du côté de la complexité, de la difficulté, du doute, de la recherche, de la question et pas du côté du simplisme, du côté de l'affirmation évidente et bête, qui est celle des… bah je vais le dire, celle des nucléaristes… ◆

Conclusion

Ruth Stégassy

C'est Françoise Bloch qui va conclure ce Forum bien rempli.

Françoise Bloch

Je vais m'asseoir ici parce que je suis toute petite ; vous ne me verriez même pas derrière le machin. Ça sera beaucoup plus simple. D'ailleurs vous n'avez même pas besoin de me voir parce que je parle au nom du collectif IndependentWHO dont je fais partie ; donc ce n'est pas mon texte que je lis contrairement à tous ces scientifiques magnifiques qui nous ont fait des exposés passionnants aujourd'hui. Alors, je veux bien me poser mais je ne veux pas faire lever quelqu'un. C'était très bien là-bas. Oui, je ne vais pas m'asseoir derrière, quand même.

Je veux dire merci. D'abord évidemment, merci à tous les intervenants et à Ruth Stégassy pour son rôle de modératrice dans ce forum. Merci aussi une fois encore à tous ceux qui ont participé au financement de ce forum et soutenu notre collectif IndependentWHO – Santé et Nucléaire.

Ça marche ça, ça m'éviterait de tenir ce truc. Vous m'entendez là ? Moi je ne m'entends pas mais je n'ai pas besoin de m'entendre.

Alors, j'aimerais commencer par trois observations sur la tenue de ce forum aujourd'hui à Genève. Trois observations qui sont sous forme de « si ».

D'abord, si nos institutions publiques, nationales et internationales, fonctionnaient normalement – ce qui veut dire indépendamment de tout intérêt financier ou géopolitique – ce forum aurait dû être organisé par l'OMS au cours de la décennie qui a suivi Tchernobyl.

Et deuxième « si ». Les chercheurs indépendants, peut-être nos six intervenants si brillants aujourd'hui, auraient alors été invités par l'autorité internationale de la santé à présenter les résultats de leurs recherches. Ils auraient entretenu une communication régulière avec l'OMS, ils auraient travaillé en tant qu'experts indépendants et leurs résultats auraient été rendus publics.

Troisième « si ». Si un tel forum avait été organisé, peut-être qu'aujourd'hui des normes de sécurité et de radioprotection sérieuses et fiables protégeraient notre héritage génétique et celui de toute forme de vie.

De ce que nous avons appris aujourd'hui, je pense que nous pouvons conclure que la radiologie médicale est sans doute la seule que l'on puisse qualifier « d'utilisation pacifique » de l'atome.

Il est important de répéter deux affirmations que l'OMS a dites en 1956, ne serait-ce que pour illustrer que déjà, il y a plus d'un demi-siècle, nous connaissions suffisamment les dangers des rayonnements – notamment leur propriétés mutagènes – pour prendre des décisions responsables... Première affirmation, je cite : « *Tous les rayonnements créés artificiellement par l'homme doivent être considérés comme dangereux pour l'être humain d'un point de vue génétique* ». Deuxième affirmation, je cite : « *Le bien-être des descendants de la génération actuelle est menacé par les développements dans l'utilisation de l'énergie nucléaire et des sources de rayonnement.* »

Au lieu de cela, d'énormes, d'inimaginables quantités de radionucléides – connus comme mutagènes – ont été dispersées avec insouciance dans l'air, la terre et l'eau, non seulement par des accidents nucléaires, non seulement par des armes nucléaires mais par le fonctionnement normal des centrales nucléaires et bien sûr et surtout par les quantités colossales émises à l'époque des essais atomiques nucléaires.

Il est clair que nos autorités ont abdiqué leurs responsabilités dans ce domaine particulièrement important de santé publique, celui qui concerne les dommages à long terme (des siècles parfois) et majoritairement irréversibles.

Afin de comprendre comment ceci est arrivé, il faut se souvenir que nous sommes confrontés au lobby le plus puissant du monde qui a caché et continue de cacher les conséquences sanitaires des rayonnements ionisants car il sait que leur prise en compte est économiquement anxiogène pour l'industrie nucléaire.

En fait, il s'agit de bien plus qu'un lobby – on l'appelle « l'establishment nucléaire » – parce qu'il comprend les gouvernements des nations les plus puissantes du monde, des autorités nationales et internationales et même la famille des Nations Unies – dont l'OMS, pour sa honte éternelle.

Le pouvoir géopolitique a voulu et a organisé ce mensonge.

Il n'est donc pas surprenant qu'il y ait eu un camouflage institutionnel de haut niveau et international des conséquences sanitaires des activités nucléaires. La moindre suggestion d'effets sanitaires importants aurait été fatale au projet américain des « Atomes pour la paix ».

La contamination radioactive nous touche tous, sans discrimination. Elle touche les puissants décideurs et leurs enfants, leurs petits-enfants et tous leurs descendants.

Ainsi, d'une certaine manière, ils sont victimes de leur propre désinformation. Pendant plus d'un demi-siècle, l'establishment nucléaire a mis en avant une politique d'ignorance et d'incertitude en ce qui concerne les effets sanitaires des rayonnements ionisants. Et il l'a fait par l'intermédiaire de l'autorité internationale de la santé – autorité qui appartient aux peuples.

Permettez-moi de citer la déclaration concluant un rapport de l'OMS publié en 1958 sur les problèmes de santé mentale lors de l'utilisation de l'énergie atomique. Je cite – je fais pas mal de citations de nos ennemis parce que je trouve que c'est intéressant – : « *À long terme, le plus grand espoir pour la santé mentale quant à l'avenir de l'utilisation pacifique de l'énergie atomique est l'émergence d'une nouvelle génération qui aura appris à vivre dans des conditions d'ignorance et d'incertitude.* » [Aspects de la santé mentale des utilisations pacifiques de l'énergie atomique].

Vous voyez finalement : avoir un cerveau plus petit, ça fait pas de mal.

Quel espoir resterait-il à une génération qui vit dans des conditions d'ignorance et d'incertitude ? Absolument aucun, que ce soit pour sa santé physique ou mentale !

De telles conditions sont intolérables pour les êtres humains mais ils résistent et vont résister de plus en plus par la voie d'initiatives citoyennes à l'exemple de ce forum. Ils n'ont pas appris à vivre dans des conditions d'ignorance et d'incertitude.

Ils n'ont pas été convaincus par l'invention de nouvelles maladies, telle la radiophobie, et ils suspectent que toute la vérité n'a pas été dite, même s'il est vrai que, dans l'ensemble, on les a maintenus dans l'incertitude et l'ignorance.

Aujourd'hui, la résistance des peuples à la politique d'ignorance et d'incertitude est une question de survie. Survie pour nous et non pas pour la planète qui, comme nous le savons, survivra sans nous. La survie de notre héritage génétique et de l'héritage génétique de toute forme de vie est en jeu.

De quel niveau de connaissance les citoyens ont-ils besoin pour résister ?

Au niveau le plus basique, il est certainement suffisant de savoir que le rayonnement ionisant est mutagène, qu'un faible niveau de rayonnement ionisant (ce qui est le problème lors d'accidents nucléaires et du fonctionnement normal des réacteurs nucléaires) provoque des mutations, qu'il n'y a pas de seuil de rayonnement ionisant qui ne soit pas mutagène Et, très important, que la grande majorité des mutations sont dangereuses ou neutres, très peu étant bénéfiques.

Nos intervenants nous ont apporté une quantité énorme d'informations, qui nous permettront certainement d'avancer dans notre lutte contre la politique d'ignorance et d'incertitude.

Nous sommes infiniment reconnaissants aux intervenants d'avoir participé à ce forum scientifique et citoyen et d'avoir compris l'importance d'offrir l'information au public, même dans un domaine aussi techniquement difficile que les effets génétiques du rayonnement.

La science citoyenne implique, bien sûr, autre chose que la compréhension. Elle implique l'investissement de « gens ordinaires », beaucoup n'étant pas des scientifiques, dans une prise de décision démocratique en rapport avec la science et la technologie. Nous avons organisé ce forum et le précédent en 2012 afin de rapprocher scientifiques et citoyens pour soutenir ensemble une science sérieuse et indépendante.

Dans une première étape, les citoyens doivent être conscients qu'il n'existe aujourd'hui aucune autorité sanitaire internationale crédible dans le domaine du rayonnement et de la santé. L'Organisation Mondiale de la Santé n'a pas de département « rayonnement » et n'a aucun scientifique de haut niveau dans ce domaine. Elle déclare ouvertement qu'elle reçoit toutes les informations en matière de rayonnement et de santé de l'Agence internationale de l'énergie atomique, l'AIEA. Comme nous l'avons souvent fait remarquer, cette agence des Nations Unies n'a ni mandat ni compétence en matière de santé publique. Cependant, une partie de son mandat concerne la promotion de l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire. Il y a donc un conflit d'intérêt évident dans le fait que l'AIEA est d'une part un lobby industriel et simultanément qu'elle évalue les conséquences sanitaires des activités industrielles nucléaires qu'elle promeut. Je pense que vous le voyez comme tout le monde. On est tous d'accord là-dessus.

Enfin, je voudrais dire quelques mots sur les manières dont l'establishment nucléaire poursuit toujours sa politique de maintien du public dans l'ignorance et l'incertitude dans ce domaine.

La manière la plus connue est tout simplement de dénigrer toutes les études qui montrent des effets néfastes sur la santé comme un « travail de qualité scientifique inférieure ». L'establishment nucléaire, via l'OMS, déclare ne prendre en compte que les « études de la plus haute qualité scientifique ».

IndependentWHO – Santé et Nucléaire a analysé certaines publications de l'establishment nucléaire et les a comparées à des publications émanant de sources indépendantes. Le fait est que sur la base de ce critère, c'est-à-dire de leurs propres normes, la qualité scientifique des rapports de l'establishment nucléaire est passablement inférieure à celle des publications de chercheurs indépendants. Notez que les études qui ont été présentées aujourd'hui par nos intervenants, que nous remercions encore de leur présence, sont publiées dans des revues à comité de lecture et évaluation par des pairs, mais elles peuvent être encore ignorées, comme l'a fait remarquer l'un de nos intervenants.

Une autre manière consiste à déclarer que, si des effets génétiques significatifs ont été observés, ils ne sont pas dus à la contamination radioactive parce

que, selon la CIPR, les niveaux sont trop faibles pour produire de tels effets. En tant que citoyens nous devrions adopter une autre logique. On doit prendre en compte la possibilité que ces populations ont été exposées à des doses plus élevées que celles qui ont été rapportées et que les effets sur la santé de faibles doses de rayonnement sont plus graves qu'on ne le pensait auparavant.

En tant que citoyens nous devons nous familiariser avec les ruses le plus fréquemment utilisées par nos autorités pour discréditer la recherche indépendante, et pour finir, nous devons soutenir la science citoyenne et la recherche financée sur fonds publics indépendants. Nous devons retenir de ce forum qu'une compréhension de base des effets génétiques des rayonnements ionisants est à notre portée et qu'il nous appartient de le faire savoir.

Je vous remercie donc de votre attention vigilante, de votre patience et aussi de votre présence. ◆

Remerciements

Ce Forum a bénéficié du concours de nombreuses personnes, associations et institutions.

Nous remercions tous les bénévoles qui ont donné leur temps et leurs compétences, sans compter. Nous remercions également les interprètes professionnels, les techniciens et personnel du Centre œcuménique et bien sûr les généreux donateurs dont les logos figurent ci-dessous.

Pour la Suisse : Ville de Genève, Ville de Plan les Ouates, Ville de Carouge, Services industriels de Genève, Greenpeace Suisse, Femmes pour la paix, Mouvement Ecologie Libérale, Parti Socialiste genevois, Les Verts Genevois, Solidarités.

Pour la France : Réseau Sortir du Nucléaire, Biocoop de Laval.

Le collectif IndependentWHO – Santé et Nucléaire est un mouvement citoyen créé en 2006 par un groupe d'individus et d'associations : Brut de Beton Production, Contratom Genève, CRIIRAD, IPPNW Suisse, Enfants de Tchernobyl Belarus, Réseau SDN, SDN Loire & Vilaine, People's Health Movement. Le collectif dénonce la subordination de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) à l'establishment nucléaire et lutte pour que l'OMS remplisse, en toute indépendance, son mandat dans le domaine des rayonnements ionisants.

Ainsi, les Vigies d'IndependentWHO manifestent silencieusement devant le siège de l'OMS à Genève, tous les jours ouvrables, depuis le 26 avril 2007.

Parmi les autres actions du collectif, un Forum sur la radioprotection a été organisé à Genève en mai 2012, avec la participation de nombreux scientifiques, élu-e-s et membres de la société civile. Les Actes de ce forum sont disponibles sur le site d'IndependentWHO.

Alors que le déni des méfaits biologiques de la contamination radioactive continue, un second forum a été organisé en novembre 2014, de nouveau à Genève, avec cette fois pour thème les effets génétiques des rayonnements ionisants. Cette publication en est la transcription intégrale et en constitue les Actes.

ISBN : 978-2-9552736-3-0