

[Slide 1]

Nous avons étudié les effets biologiques des matières radioactives libérées après la catastrophe de Fukushima, en observant le papillon “Pale Grass” depuis la première génération après l'accident. Je suis ici aujourd'hui pour partager avec vous quelques-unes de nos découvertes significatives, qui sont beaucoup plus sérieuses que ce à quoi nous nous attendions.

[Slide 2]

Pour commencer, ce papillon, *Zizeeria maha*, est un petit papillon d'à peine plus d'un centimètre, qui appartient à la famille des Lycaenidae, dans l'ordre des lépidoptères. On peut voir qu'il se développe en passant par les phases d'œuf, de larve, de cocon avant de devenir adulte.

[Slide 3]

Deux principales raisons nous ont fait choisir ce papillon pour notre étude.

La première est qu'il s'agit d'un modèle idéal pour étudier la distribution de couleur de ses ailes. Comme vous pouvez voir, les dessins sont simples, il est donc facile de voir s'il y a ou non modification. Sa taille est petite, il est donc facile de l'étudier dans notre petit laboratoire, et avec nos moyens limités. Par ailleurs, ce papillon est abondant au Japon et facile à capturer sur le terrain. Mais avant tout, parce que notre laboratoire débuté l'étude de ses couleurs avant l'accident, et nous avons accumulé des données sur ce papillon dans les conditions normales. Et cela nous permet de fournir une analyse détaillée de leurs anomalies.

Par ailleurs, ce papillon est aussi un indicateur environnemental idéal. Puisqu'il vit très près du sol, il est atteint directement par les radiations dans l'air au ras du sol. Il partage aussi le même environnement que les humains, aussi bien dans les villes que dans la campagne, et donc est un indicateur de ce que peuvent être les effets dans l'environnement où vivent les humains. En outre, cette espèce est répartie sur l'ensemble du Japon, exception faite dans la partie la plus septentrionale, Hokkaido. Il se nourrit exclusivement de feuilles d' *Oxalis corniculata* (un trèfle à fleurs jaunes), ce qui fait qu'il est adapté aux expériences sur l'exposition interne.

Ces conditions nous ont amenés à penser que notre méthode expérimentale pouvait être utilisée lorsque l'accident est survenu le 11 mars 2011.

[Slide 4]

Nous avons publié notre première étude le 9 août 2012, le jour du largage de la bombe sur Nagasaki, 67 ans plus tôt

[Slide 5]

Et nous avons enregistré immédiatement de fortes réactions de pays oute-mer, y compris d'Allemagne et de France.

[Slide 6]

Ceci est une copie de l'article dans Le Monde. Au Japon, toutefois, nous n'avons obtenu que de faibles r&actions publiques, mais aussi beaucoup de critiques, émotionnelles et n'ayant rien à voir avec le contenu scientifique de la publication. Mais malgré tout certains journaux et groupes académiques ont fourni une évaluation équitable de nos travaux

[Slide 7]

Cette étude est différente, et donc meilleure que les autres études, parce que nous avons commencé cette étude dès la première génération exposée aux radiations. En outre, les expériences destinées à évaluer les effets possibles ont été conduites à Okinawa, une des zones les moins touchées par l'accident. De plus, avec nos expériences de reproduction, nous avons examiné les effets sur leur descendance de première et deuxième génération. Finalement, nous avons mené des expériences de contamination externe et interne pour reproduire les effets observés sur le terrain.

Malgré tout, nos conclusions sur les effets d'une exposition de ce papillon aux faibles doses n'ont pas été acceptées, par référence aux résultats d'études existantes, qui ont montré que des insectes, spécialement des phalènes, semblent résistants à de fortes doses de radiations.

Mais, contrairement à la traditionnelle étude forte dose sur une période courte, cette étude observe les effets de doses faibles sur le long terme; Les conditions expérimentales sont différentes, et il n'est donc pas correct de les comparer directement.

[Slide 8]

Nous avons réalisé jusqu'à présent quatre groupes d'expériences, et le premier concerne le site de prélèvement de Fukushima au début mai 2011. Nous y avons prélevé la première génération exposée aux radiations, et obtenu les descendance F1 et F2 à Okinawa pour analyser les effets possibles.

Puis nous avons effectué un autre prélèvement en septembre 2011, pour collecter les quatrième et cinquième générations sur le terrain, et obtenu leur descendance F1

Ensuite nous avons mené une expérience d'irradiation externe en utilisant du Césium 137, avec des papillons d'Okinawa.

Finalement, nous avons procédé à une expérience d'irradiation interne à Okinawa, en nourrissant les papillons d'Okinawa avec des feuilles contaminées ramassées dans la zone de Fukushima

[Slide 9]

Cette carte montre les dix sites de prélèvement des papillons en mai 2011. La centrale de Fukushima-Dai-ichi se trouve ici. Nous avons utilisé les sites de prélèvement de quatre préfectures, Fukushima, Tokyo, Ibaraki et Miyagi.

[Slide 10]

Au total, 6000 de ces papillons ont été utilisés pour ces expériences.

[Slide 11]

Et voici les résultats.

[Slide 12]

Tout d'abord, les résultats des papillons collectés sur le terrain, et leurs descendant F1 et F2

[Slide 13]

Les conditions de développement des papillons peuvent être évaluées en regardant la taille de leurs ailes, comme pour la taille et le poids des êtres humains.

Comme vous pouvez voir, on observe une réduction significative de la taille des ailes avant dans la population collectée à Fukushima, comparée aux populations de Shiroishi, au Nord de Fukushima, Tsukuba, au sud de Fukushima, et Tokyo.

En outre, la taille des ailes avant semble décroître en réponse à l'accroissement de la dose de radiation du sol. C'est en contradiction avec la règle standard qui monte que les papillons des régions froides tendent à avoir des ailes plus grandes.

[Slide 14]

Ensuite, voici la corrélation entre les périodes de collecte et les taux d'anomalies. Les barres vertes indiquent les échantillons collectés en mai 2011, les rouges indiquent les échantillons prélevés en septembre 2011. Le graphe de gauche concerne les parents, celui de droite la descendance F1.

Les taux d'anomalies étaient plus importants en septembre pour les parents et la descendance F1, sauf pour Mito.

Egalement, parmi les critiques trouvées sur Internet, il y avait un commentaire suggérant que les taux d'anomalies augmentaient avec la latitude. Notre conclusion est qu'il n'y a aucune corrélation entre latitude et taux d'anomalies. Ce point jaune indique la latitude de la centrale. En ce qui concerne la corrélation, nos résultats montrent peut-être des taux d'anomalies supérieurs à proximité de la centrale.

[Slide 15]

(a)

Nous avons ensuite observé la croissance et le développement des papillons. En

ordonnée, le pourcentage d'individus qui ont éclôt. En abscisses, le nombre de jours qu'il leur a fallu pour éclore. La population de Tsukuba, la plus éloignée de la centrale, s'est développée plus vite que les autres. La population d'Hirono, à 20 km au sud de la centrale, qui est la plus proche de toutes les zones de prélèvement, a montré la croissance la plus lente.

(b)

Ce graphe montre le nombre de jours qu'il a fallu à chaque population pour parvenir à l'éclosion, en fonction de la distance à la centrale. On voit que les populations proches de la centrale ont besoin de plus de temps pour atteindre l'éclosion, ce qui confirme le retard au développement

[Slide 16]

En ce qui concerne les anomalies de la descendance F1, on observe des individus avec des segments de pattes tronqués, des déformations des yeux, des ailes plus petites d'un côté, et des ailes cassées ou enroulées.

[Slide 17]

Nous avons également observé les anomalies de la descendance F2. Nous avons retenu des femelles des différentes localités, présentant des anomalies, et les avons accouplées avec des mâles en bonne santé de Tsukuba, créant ainsi huit souches reproducteurs. Peu d'œufs ont été produits, et beaucoup d'individus n'ont pas survécu, pour que nous puissions observer leurs anomalies.

La population de Motomiya, de la préfecture de Fukushima, qui a subi la plus forte irradiation, présentait le taux le plus important d'anomalies, et la génération F2 d'Iwaki présentait un taux d'anomalies de 50%.

En outre, les signes d'anomalies de la génération F1 semblent avoir été transmis à la génération F2.

[Slide 18]

Les anomalies morphologiques trouvées dans la génération F2 incluaient un individu avec une antenne pliée en deux. Ceci est un individu avec des antennes normales. Nous observons également des individus avec une patte courte ou des taches de couleur anormales.

Toutefois, ces résultats expérimentaux ne sont pas suffisants pour prouver que ces anomalies sont le résultat de dommages génétiques. Nous avons donc commencé l'année dernière un nouveau projet pour régler ce problème, par analyse de mutation au niveau génétique.

[Slide 19]

Parmi les critiques que nous avons reçues pour notre publication, il y a un argument

selon lequel puisque la fréquence de modification des taches de couleur augmente généralement avec la latitude, les taches de couleur anormales trouvées chez les individus de Fukushima, qui est située dans une zone relativement septentrionale du Japon, serait logique. Ceci est une fausse allégation.

En haut, les ailes normales du type sauvage, et en bas, les ailes avec de taches de couleur anormales.

Les anomalies trouvées dans les couleurs des générations F1 et F2 de la population de Fukushima sont très caractéristiques, du fait de leur distribution aléatoire, sans dessin reconnaissable.

Les modifications sous l'effet d'un choc froid n'impliquent aucune autre aberration morphologique, infertilité ou anomalie comportementale trouvées dans la population de Fukushima.

[Slide 20]

Si on regarde les différences des taches de couleur entre celles trouvées chez les individus de Fukushima et les individus traités pas un choc froid, ces derniers ont un dessin distinct, et il y a seulement ces trois types reconnus.

[Slide 21]

Nous avons vu les résultats d'observations faites sur des prélèvements sur le terrain et des expériences de reproduction aux générations F1 et F2.

Maintenant, je vais vous montrer les résultats d'une expérience d'irradiation externe, utilisant des papillons d'Okinawa, la zone du Japon la plu éloignée de la centrale

[Slide 22]

Nous avons effectué deux groupes d'expériences en exposant les papillons à des doses de 55 mSv et 125 mSv, pendant une longue période durant leur stade larvaire jusqu'au stade de cocon.

Les anomalies morphologiques obtenues étaient similaires à ce qui a été vu chez les individus de Fukushima, et leurs générations F et F2

[Slide 23]

La taille des ailes, qui sont l'indication de leur croissance, étaient nettement plus petites chez les mâles comme chez les femelles pour les individus exposés aux radiations externes.

Nous avons également regardé la tendance des taux de survie durant l'évolution de ces papillons du stade larvaire jusqu'au stade adulte.

Alors que la population témoin présentait un taux de survie de 95%, la population exposée à 55mSv montrait un taux de survie de 70%, et celle exposée à 125 mSv montrait un taux de l'ordre de 50%. I apparaît donc que le taux de survie décroît en fonction de la dose.

[Slide 24]

Enfin, je voudrais vous montrer les résultats d'une exposition interne. Ici, nous avons exposé des papillons d'Okinawa à une irradiation interne en les nourrissant avec des feuilles récoltées dans la région de Fukushima.

Je voudrais insister sur l'importance de cette expérience, parce que les résultats des expériences sur le terrain dont j'ai parlé tout à l'heure, ont été reproduites dans cette expérience. En d'autres termes, l'irradiation interne est responsable de ce qu'on observe sur le terrain, du moins en partie.

[Slide 25]

Dans cette expérience d'irradiation interne, des feuilles récoltées dans divers endroits à Fukushima et également à un site de contrôle à environ 1000 km de Fukushima ont été données aux papillons nés à Okinawa, et élevés sur place..

Nous avons mesuré la radioactivité dans les feuilles par la quantité de césium; et identifié les anomalies des papillons adultes, mesuré la taille de leurs ailes et enregistré leur taux de survie.

[Slide 26]

Pour les expériences conduites en 2011, les feuilles ont été récoltées à Ube pour le contrôle, à environ 1000 km de la centrale, dans la ville de Fukushima, à environ 60 km de la centrale, dans la plaine d'Itate, à 40 km de la centrale, dans la région d'Itate motane, à 33 km de la centrale, et à Hirono, à 20 km au sud de la centrale. Tous les papillons ont été élevés à Okinawa, à environ 1800 km de la centrale.

[Slide 27]

La quantité de Césium 137 dans les feuilles a été mesurée à 0,5 Becquerel par kg à Ube, 770 Bq in Hirono, 4170 Bq dans la ville de Fukushima, 5420 Bq ans la plaine d'Itate,et 23100 Bq dans la région d'Itate motane.

[Slide 28]

Quand ces valeurs sont exprimées par rapport aux valeurs de contrôle des feuilles d'Ube, si la valeur d'Ube est l'unité, on peut voir que la dose de radiation au niveau du sol est seulement 100 fois plus élevée que le contrôle, que la quantité de césium 137 est 10 000 fois, ou même 40 000 fois plus élevée. Ces valeurs sont de 2011. Au départ, lorsque nous voulions connaître les effets des radiations, nous avons choisi intentionnellement ces sites de récolte où nous avons mesuré de hauts niveaux de radioactivité.

[Slide 29]

Le résultat d'une irradiation interne montre différentes anomalies morphologiques chez les papillons.

Comme on peut le voir dans ces images, on constate anomalies des antennes et palpes labiaux, déformation des yeux composés, échec d'éclosion, ailes courbées, et dessins de couleurs des ailes anormaux. Nous avons donc reproduit les anomalies constatées sur le terrain.

[Slide 30]

Voyons maintenant les modifications du taux de survie. En abscisse, les stades de développement depuis la larve, en passant pas le cocon, la pré-éclosion, jusqu'à l'adulte après éclosion. En ordonnée, le taux de survie.

Vous pouvez voir que les papillons élevés avec les feuilles de contrôle d'Ube montrent un taux de survie de 95%, tandis que les papillons élevés avec des feuilles de Fukushima montrent un taux de survie de 68% à Hirono, 53 % dans la région Itate motane, 42% dans la ville de Fukushima, et 37% dans la plaine d'Itate.

Ensuite lorsqu'on évalue leur croissance en mesurant la taille de leurs ailes avant, chez les mâles par exemple, on observe une diminution notable pour 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.

[Slide 31]

Quand on regarde les individus qui n'ont pas survécu à l'expérience d'irradiation interne, les larves élevées sur des feuilles des régions de Fukushima ont souvent été trouvées mortes durant leur mue, alors que l'individu du contrôle d'Okinawa, montré ici, est mort dans sa forme naturelle. Il y a eu aussi des cas d'échec d'éclosion, qui est la dernière mue du cocon à l'adulte. Même s'ils survivent à l'éclosion, ces adultes sont incapables d'étendre leurs ailes.

Ces observation suggèrent qu'un changement physiologique est intervenu dans leur corps.

[Slide 32]

Pour résumer ces résultats, pour des individus collecté sur le terrain, et leurs générations F1 et F2 élevées en laboratoire, nous avons observé des retards de croissance, du nanisme, des anomalies morphologiques, une augmentation du taux d'anomalies entre mai et septembre et un héritage des anomalies morphologiques.

Dans les expériences d'irradiation externe et interne, les observations sur le terrain, telles que diminution du taux de survie, nanisme, et anomalies morphologiques on pu être reproduites en laboratoire

[Slide 33]

Maintenant, je vais parler brièvement de découvertes plus récentes liées aux expériences d'irradiation interne

[Slide 34]

Nous avons enregistré les changements du taux de mortalité et du taux d'anomalies en réaction à la dose de césium ingérée par une larve durant son développement.

En abscisse, la dose de césium ingérée par une larve jusqu'au passage en pupes, et en ordonnée le taux de mortalité et le taux d'anomalies.

Comme le graphe l'indique, on observe un accroissement important du taux de mortalité et du taux d'anomalies pour de faibles doses de césium ingérées. Les deux taux atteignent un plateau pour environ 3 Bq/ larve, sans accroissement supplémentaire pour des doses de césium plus importantes.

[Slide 35]

On observe un maintien de l'activité du césium dans les cocons morts de toutes les populations sauf pour la groupe de contrôle Ube. Les pupes qui ont consommé les feuilles d'Hirono présentent la plus forte activité du césium même si le niveau de contamination et le taux de mortalité n'était pas aussi haut malgré la distance de seulement 20 km de la centrale.

[Slide 36]

Jusqu'à présent dans nos expériences d'irradiation interne, nous avons utilisé des feuilles récoltées dans des zones hautement contaminées dans la préfecture de Fukushima, à l'intérieur de la zone d'évacuation. D'un autre côté, les résultats que je vais vous montrer proviennent d'expériences d'irradiation interne effectuées en 2012, où nous avons utilisé des feuilles récoltées dans des zones comme Koriyama et Motomiya de la préfecture de Fukushima, où les habitants vivent normalement. Ces deux zones sont situées à environ 60 km de la centrale.

Je vous montrerai uniquement les effets observés sur la génération F2.

[Slide 37]

En ordonnée, le taux de survie et le taux de normalité, et en abscisse les stades de développement des larves et des pupes.

Les graphes des résultats sont clairement divisés en deux groupes.

Quelle que soit l'origine des feuilles consommées par la génération F1, les individus de la génération F2 qui ont consommé des feuilles d'Okinawa ont montré un taux de survie de 70%.

Par ailleurs, les individus élevés avec des feuilles de Koriyama sur deux générations montrent un taux de normalité de 16,7%, et ceux élevés avec des feuilles de Motomiya sur deux générations montrent un taux de normalité de 0,8%.

Comme vous pouvez voir, les effets de la radioactivité accumulée sur les générations F1 et F2 étaient significatifs pour les individus élevés sur des feuilles de Motomiya, qui présentent le taux de radioactivité le plus élevé. Les concentrations de Césium 137 dans les feuilles de Koriyama et de Motomiya sont respectivement de 72 et 98 Bq. Kg, respectivement.

[Slide 38]

Ceci conclut ma présentation. Pour finir, je tiens à remercier ceux qui vivent à Fukushima pour leur aide dans ces expériences. Je voudrais aussi signifier mon sincère support à ceux qui vivent cette épreuve. Merci beaucoup pour votre attention.

