

Bonjour à tous et bienvenue dans cette vidéo où on va parler de l'impact sanitaire des rayonnements ionisants. En gros, quels sont les impacts sur notre santé des rayonnements issus de désintégration nucléaire mais également des rayons X. Ce sera l'occasion de parler des morts d'Hiroshima, Nagasaki, Tchernobyl ou encore de Fukushima.

Vu que cette vidéo est particulièrement longue, je vous donne ici le découpage du sujet comme ça vous pouvez savoir où faire une pause ou où retrouver l'information que vous recherchez si ce n'est pas votre premier visionnage. Vous trouverez ce sommaire avec le minutage précis et cliquable dans la description de la vidéo.

Pour vous livrer cette vidéo, j'ai été plonger dans l'abondante littérature scientifique sur le sujet et il y a de quoi s'y perdre... Surtout quand on se rend compte que ce qu'on lit est assez éloigné de l'idée qu'on se fait initialement sur ce sujet

Cette vidéo s'inscrit dans une série et elle sera plus digeste si vous avez vu la vidéo sur la radioactivité naturelle. On y a vu qu'on était tous exposés à des rayonnements ionisants issus de la radioactivité, ionisants parce que ces rayonnements sont suffisamment énergétiques pour ioniser la matière. Les rayonnements ayant une fréquence inférieure ou égale aux ultraviolets sont non-ionisants et les rayonnements ayant une fréquence supérieure aux ultraviolets sont ionisants. Les rayonnements ionisants regroupent donc les rayons X utilisés notamment pour faire des radios et les rayonnements alpha, bêta, gamma et neutroniques produits par la radioactivité

Et un rayonnement aussi énergétique, je suppose que ça va faire des dégâts ?

Un rayonnement aussi énergétique peut faire des dégâts et c'est tout l'objet de cette vidéo, essayer de comprendre comment les rayonnements ionisants affectent notre santé. Avant de revenir sur quelques exemples historiques, on va s'intéresser à ce qu'on sait aujourd'hui de l'impact sanitaire des rayonnements ionisants.

Je dois vous prévenir que les connaissances scientifiques sur ces questions ne sont pas en phase avec la perception qu'en a la majorité de la population. J'ai moi-même découvert pas mal de choses en enquêtant sur cette question en commençant par l'existence de l'UNSCEAR.

Ah oui effectivement, moi j'ai jamais entendu parler de ce truc d'ailleurs c'est quoi ?

C'est le comité scientifique des nations unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants et il existe depuis 1965. Son organisation et son fonctionnement est similaire à celui du GIEC, le groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat que j'ai déjà évoqué plusieurs fois sur ma chaîne. C'est un organisme international placé sous la tutelle du programme des nations unies pour l'environnement, (le PNUE), organisme auquel on doit, par exemple, la lutte contre le trou dans la couche d'ozone. Sa mission est d'établir et actualiser les connaissances sur les niveaux d'exposition et effets des rayonnements ionisants" et je recommande fortement la lecture du document dont vous trouverez un lien avec les autres sources et qui résume extrêmement bien cette question en français et en une soixantaine de pages.

Okay... Donc des scientifiques produisent régulièrement un résumé sur la question qui nous intéresse ici. C'est parfait pour cette vidéo !

Oui et je vais même aller plus loin. J'ai pris le temps de lire pas mal de papiers scientifiques et d'essayer de me faire une opinion sur un domaine qui est sujet à pas mal de controverses et beaucoup de désinformations. Il est assez amusant de voir que certaines ONGs ou médias n'hésitent pas à brandir le GIEC quand il s'agit du climat mais font comme si l'UNSCEAR n'existait pas et on en entend très peu parler dans la presse.

Là je commence à sentir la vidéo sponsorisée par l'industrie nucléaire !

C'est l'occasion de faire un point sur ma méthode. Je vais vous livrer ici le fruit d'un travail de recherches personnel. Vous trouverez comme toujours les sources référencées dans un article sur mon site web pour plus de visibilité. Je n'ai aucun intérêt personnel dans l'industrie nucléaire ou médical et je forge mon opinion sur le nucléaire comme celle sur le climat ou d'autres problèmes environnementaux... en analysant les éléments scientifiques à notre disposition. Les informations que je vais donner ici peuvent être en contradiction avec ce que vous entendrez ailleurs et il m'a fallu un certain temps pour me faire une opinion parce que c'est éloigné de ce que je pensais avant d'approfondir le sujet. Pour que ce script soit le plus correct possible, il a été relu par une dizaine de personnes et je les remercie pour leur temps !

Okay assez de blabla... On a compris que le sujet était sensible mais on va pas passer la journée à tourner autour du pot.

On va commencer par l'aspect le plus simple et le moins polémique de cette question, ce qu'on appelle les effets déterministes, ce sont des effets qui ont lieu à des doses élevées de radiations et ont forcément lieu à une dose donnée.

Et comment on mesure des doses élevées de radiations ?

C'est vrai qu'un petit point sur les unités est nécessaire pour cette vidéo et il faut bien différencier trois choses. D'abord l'activité qui se calcule en Becquerel. C'est le nombre de désintégrations radioactives par seconde. Quand on dit que l'activité d'un corps humain de 80 kg est de 8000 Bq, ça veut dire qu'il y a 8000 désintégrations radioactives par seconde dans notre corps, on en a parlé dans la dernière vidéo. Et il ne faut pas s'en inquiéter, je parle ici de radioactivité naturelle, une radioactivité à laquelle le vivant a toujours été soumis. Le becquerel est une petite unité et on se retrouve vite avec des milliers voire bien plus.

Oui... et on a vu dans la dernière vidéo que vu que les désintégrations ne sont pas les mêmes... On ne peut pas regarder l'impact sur la santé à partir de l'activité ça j'ai retenu

Exact. Toutes les désintégrations ne produisent pas la même énergie... Il est donc bien plus utile de se demander non pas le nombre de désintégrations mais l'énergie totale absorbée à cause des rayonnements issus de ces désintégrations. Pour ça, on utilise le gray. 1 Gray correspond à un dépôt d'énergie d'un joule par kilogramme de matière et quantifier le rayonnement en terme d'énergie totale absorbée est une bien meilleure approximation de l'impact potentiel que de simplement compter les désintégrations. Une exposition en Gray correspond donc à la dose d'énergie reçue à cause de tous les rayonnements ionisants subis. L'exposition externe sera majoritairement due aux rayons gamma, à des neutrons ou

à des rayons X puisqu'on a vu que les rayonnements alpha et bêta sont vite absorbés par l'air. Par contre, on subit aussi une exposition interne à cause de l'inhalation de radionucléides présents dans les poussières ou l'air qu'on respire ou de radionucléides qu'on ingère dans l'eau et l'alimentation.

Okay... Mais la dernière fois, on avait vu que les rayonnements ionisants peuvent avoir différents effets suivant la partie du corps exposée et on avait parlé du Sievert.

Oui, différents rayonnements peuvent avoir différents impacts sur les mécanismes biologiques. Du coup, ne regarder que l'énergie absorbée devient insuffisant. Il est alors important de regarder la sensibilité du corps à différents types de rayonnement, c'est ce que fait le Sievert. Le Sievert est une unité qui prend en compte l'impact de ces rayonnements pour les tissus en multipliant la dose absorbée en gray par un coefficient dépendant de la nature du rayonnement. Cette pondération est de 1 pour les rayonnements bêta et gamma mais de 20 pour les rayonnements alpha et de 1 à 20 pour les neutrons en fonction de l'énergie associée à ces neutrons. Du coup, 1 gray de rayonnement alpha absorbé par un tissu correspond à 20 Sv. C'est ce qu'on appelle la dose équivalente. Mais on peut aller encore plus loin, on peut regarder l'exposition de certains organes en prenant en compte la sensibilité de ces organes en particulier. On parle alors de dose efficace et c'est également calculé en Sievert. Pour avoir quelques repères, l'exposition moyenne aux rayonnements naturels est d'environ 2,4 mSv par an mais des populations importantes reçoivent naturellement quelques dizaines de mSv, il y a donc une forte variabilité.

Okay... je sens que les unités ne vont pas du tout nous aider est-ce qu'il y a une logique utile à comprendre pour la suite ?

Pour les effets déterministes, les effets violents à fortes doses, on parle plutôt de Gray car ici c'est l'énergie qui nous intéresse, puisqu'on parle de dommages directs, de brûlures notamment. Quand on regarde l'exposition à des doses modérées ou faibles, on utilise plutôt le Sievert. Mais, si vous feuillotez la littérature, vous verrez sûrement d'autres unités et je dois dire que ça complexifie considérablement la compréhension de ce problème.

Donc quand on en prend plein la tronche, c'est l'énergie reçue qui compte parce que de toute façon, ça crame les tissus. Mais si on regarde des doses modérées ou faibles, il faut prendre en compte la différence de sensibilité entre les tissus biologiques parce qu'ils ne réagissent pas tous pareil.

Exactement ! On va commencer par les effets les plus violents des rayonnements ionisants, quand on regarde de fortes doses reçues dans un temps court. L'UNSCEAR parle de dose élevée au dessus de 1 gray. En dessous d'une exposition de 0,5 Gray, on ne voit pas apparaître d'effets déterministes et de syndrome d'irradiation aiguë et ce syndrome est systématiquement observé au-dessus de 2 Gray sur l'ensemble du corps. L'irradiation est d'autant plus grave que la dose est importante et administrée rapidement. Et je parle ici d'une dose sur le corps entier: 1 gray sur l'ensemble du corps d'un individu de 80 kg fait 80 joules d'énergie absorbée.

Et du coup, c'est quoi ce syndrome ?

Aux très fortes doses, au-delà de 20 Gray sur le corps entier, le système nerveux est touché: désorientation, mouvements involontaires, délires, comas, convulsions et la mort survient en quelques minutes à quelques heures. Pour des doses de 1 à 20 Gray sur tout le corps, le syndrome d'irradiation aiguë se déroule en trois phases. D'abord une phase qui dure au plus quelques jours et où le patient présente des fatigues, des maux de têtes, des nausées et/ou des vomissements ainsi que des rougeurs de peau. Il y a ensuite une phase de latence de quelques jours à deux semaines où le patient recouvre tout ou partie de ses capacités. Plus l'irradiation initiale est forte, plus cette phase de latence est courte. Enfin, une troisième phase s'accompagne de symptômes beaucoup plus graves qui dépendent de la dose reçue et des organes exposés: problèmes gastro-intestinaux, respiratoires, cutanés, nausées, vomissements, pertes des cheveux, nécroses de la peau, hémorragies internes et plein d'autres choses tout aussi sympathiques... Cette phase est potentiellement mortelle suivant la dose reçue, la rapidité de cette irradiation et les soins prodigués. On estime qu'une exposition rapide à une dose de 3 à 5 Gray tue 50% des sujets exposés. Et une exposition à plus de 8 Gray en tue 100%. Je parle ici de dose sur quelqu'un qui est soumis uniformément aux rayonnements ionisants. Vu que différents organes ont différentes sensibilités, la liste des effets pour une exposition sur un organe spécifique serait longue. Mais, par exemple, la peau va montrer les premiers symptômes d'irradiation aiguë autour de 6 Gy alors que l'oeil peut en développer à partir de 1.

Tu es en train de me dire que les personnes qui subissent ces irradiations sont malades avant de se rétablir et de replonger vers une phase potentiellement mortelle ?

Oui parce que toutes les cellules ne sont pas aussi sensibles aux rayonnements ionisants. Par exemple, si les cellules de la moelle osseuse, plus sensibles, sont touchées, le corps devient incapable de produire des globules blancs et des globules rouges mais ceux déjà présents dans le corps n'ont pas été détruits. D'où l'effet de latence, les pires symptômes apparaissent parce que le corps est devenu incapable de maintenir certaines fonctions. Après, il faut bien se rendre compte qu'un syndrome d'irradiation aiguë est rarement observé.

Il y a quand même eu Hiroshima, Nagasaki et Tchernobyl où des personnes ont été soumises à de fortes doses non ?

Parmi les dizaines de milliers de liquidateurs de Tchernobyl, les civils et militaires qui sont intervenus au coeur du site et ont donc été les populations les plus exposées, seuls 134 auraient développé un syndrome d'irradiation aiguë et 28 en sont morts dans les quatre mois qui ont suivi l'accident, majoritairement à cause d'atteintes à la moelle osseuse. Sur cette figure qui est tirée d'un rapport de l'UNSCEAR sur les impacts sanitaires de Tchernobyl, vous pouvez voir que, sans surprise, la proportion de survivants dépend fortement de la dose reçue. Même à Tchernobyl, qui est le plus grave accident nucléaire, les cas de syndrome d'irradiation aiguë sont rares.

Okay et pour Hiroshima et Nagasaki ?

Plus de 200 000 personnes sont mortes de ces deux bombes atomiques en août 1945 et dans les mois qui suivirent. La majorité de ces victimes sont mortes à cause du souffle de l'explosion, brûlées par le flash thermique ou dans les incendies et les destructions qui ont

suivi les explosions. On estime que 5 à 15% des victimes seraient mortes de l'irradiation mais les chiffres sont incertains, les victimes irradiées ayant également subi le flash thermique et étant donc gravement brûlées. Je pense que lire les articles wikipédia associés est important pour se rendre compte de l'horreur de cette double explosion, les photos qui s'y trouvent peuvent être assez choquantes, âmes sensibles s'abstenir. J'espère que les bombardements d'Hiroshima et Nagasaki resteront à jamais les seuls exemples de l'utilisation d'armes nucléaires sur des êtres humains.

Et est ce qu' il y a eu d'autres cas ailleurs de syndrome d'irradiation aigüe ?

Il y a également eu des accidents dans des laboratoires comme la mort d'un des physiciens travaillant sur le projet Manhattan, des accidents dans des sous-marins nucléaires ou des empoisonnements comme l'assassinat d'Alexander Litvinenko ancien agent des services secrets russes assassiné à Londres en 2006 par empoisonnement au polonium. On a aussi des accidents avec des sources orphelines, des sources de rayonnements ionisants qui ont été perdues ou oubliées.

Attends... C'est possible d'oublier ou de perdre des sources de radioactivité ?

Le plus connu de ces accidents est sûrement l'accident de Goiânia. En 1987, au Brésil, un vieil appareil de radiothérapie est récupéré par des ferrailleurs sur le site d'un hôpital abandonné. Dans cet appareil une capsule contient du césium 137, un radionucléide. L'exposition accidentelle causa la mort de 4 personnes et 16 autres développèrent un syndrome d'irradiation aigüe. Mais, des expositions à des doses aussi importantes de rayonnement ionisant restent rares, en dehors des expositions volontaires.

Des expositions volontaires ? Tu vas me dire qu'on s'expose volontairement à de fortes doses de rayonnement ionisant ?

Le milieu médical utilise beaucoup les rayonnements ionisants. Nous sommes en moyenne bien plus exposés aux rayonnements ionisants via une exposition volontaire dans un cadre médical que via des expositions involontaires liées aux activités de l'industrie nucléaire ou aux activités militaires. Les rayonnements ionisants sont par exemple utilisés pour traiter des cancers dans le cadre de la radiothérapie. Les doses cumulées varient entre 45 et 80 Gy suivant les tumeurs !

Mais on a dit qu'une telle dose était mortelle !

Sauf, que dans ce cas là, elle est administrée très localement, le but étant précisément de tuer... la tumeur. Les patients en radiothérapie soumis à de fortes doses de rayonnement y sont soumis volontairement et dans le but de les soigner.

Il ne s'agit pas du tout d'une exposition sur le corps entier. L'énergie totale reçue par le corps est donc bien moindre que si c'était plusieurs dizaines de Gy sur le corps entier. Elle est aussi administrée en plusieurs fois et séparée de période de repos. Et c'est important de savoir ça, l'effet sanitaire d'une dose de radiation dépend de la façon dont elle est administrée, c'est ce qu'on appelle le débit de dose. Les ordres de grandeurs que j'ai données jusqu'ici sont liées à une exposition brève, de l'ordre de la seconde à l'heure. La même dose délivrée de façon brève ou sur une période plus longue n'a pas le même effet.

D'ailleurs on a parlé de morts... Mais est-ce qu'il y a d'autres effets de cette forte exposition ?

Une stérilité féminine définitive peut-être induite au delà de 2,5 Gy et au-delà de 5 Gy chez l'homme. Ici, je parle indifféremment d'exposition sur le corps entier ou sur l'organe en question. Si un patient prend 2 Gy corps entier, il prend 2 Gy à la jambe, à l'oeil, à la peau... etc. Une stérilité temporaire chez l'homme apparaît également dès quelques centaines de mGy d'exposition instantanée et dure entre 4 et 12 mois. Une cataracte, c'est-à-dire une opacification partielle ou totale de l'oeil touche 10% des personnes exposées à 2 Gy et 50% à 5 Gy. C'est un symptôme qui a été observé chez les survivants d'Hiroshima et Nagasaki. Les foetus sont particulièrement sensibles aux rayonnements ionisants et des risques de fausse couche, microcéphalie, retard mental, retard de croissance et malformation apparaissent proportionnellement à l'exposition dès 100 mGy.

Mais il y a aussi tous les cancers... qu'il ne faudrait pas oublier.

Oui, on vient de parler des effets déterministes, ceux qui arrivent forcément et rapidement au-delà d'une certaine exposition et on va maintenant parler des effets stochastiques, c'est-à-dire aléatoires. La survenue de cancers induite par une surexposition au rayonnement ionisant peut avoir lieu des décennies après l'exposition. Une exposition au rayonnement ionisant n'induit pas forcément un cancer mais augmente la probabilité d'avoir des cancers comme n'importe quel autre cancérigène. Plus la dose reçue est importante, plus la probabilité d'apparition d'effets sur la santé à long terme est grande, au-delà d'une exposition à 100 mSv. Les personnes survivants au syndrome d'irradiation aiguë ont subi une forte exposition aux rayonnements ionisants et ont donc une plus grande probabilité de développer un cancer.

Okay... Et ça cause quoi comme cancers ?

Ce serait beaucoup trop facile si il y avait des cancers qui n'étaient induits que par la radioactivité. Les cancers sont des phénomènes complexes résultants de nombreuses interactions différentes et les attribuer à une surexposition de rayonnement ionisant est une tâche difficile, si ce n'est impossible. Si vous voulez comprendre le cancer et comment il apparaît, je vous renvoie à l'excellente vidéo de Science étonnante sur le sujet. La majorité des cancers induits par une surexposition à des rayonnements ionisants apparaissent plusieurs décennies après cette surexposition. Mais, les leucémies, les cancers de la thyroïde et les cancers des os apparaissent beaucoup plus rapidement après la surexposition.

Parmi les rejets d'accidents nucléaires ou des bombes nucléaires, on trouve différents radionucléides. Certains radionucléides vont s'accumuler dans des organes particuliers à cause de leur nature chimique. Par exemple, l'iode 131 est un radionucléide qui va se concentrer dans la thyroïde car c'est ici que le corps humain stocke l'iode sans différencier les isotopes. L'iode 131 a une faible période radioactive: 8 jours. Donc une part importante de ce radionucléide, si il est absorbé, va se désintégrer dans la thyroïde. C'est la faible

période radioactive de l'iode 131 qui le rend dangereux mais c'est aussi pour ça que l'iode 131 disparaît rapidement de l'environnement après une émission.

Attends... est-ce que c'est pas contradictoire que le truc le plus dangereux soit dangereux moins longtemps?

Non et c'est un truc auquel il faudra s'habituer quand on parle de radioactivité, les radionucléides à faible durée de vie sont particulièrement dangereux parce qu'ils ont de bonne chance de se désintégrer dans la personne qui les a inhalés ou ingérés et donc de causer une exposition interne. A l'inverse, l'uranium 238 avec sa période radioactive de 4,5 milliards d'années est faiblement radioactif et aura un impact extrêmement limité sur les populations exposées. En fait, si vous vous amusez à en manger, vous mourrez d'un empoisonnement aux métaux lourds bien avant d'être affecté par la radioactivité. La présence dans l'environnement d'un élément à faible période radioactive va aussi décroître rapidement. L'iode 131 émis lors de l'accident de Tchernobyl il y a plus de 30 ans s'est désintégré pour l'immense majorité puisqu'il a une période radioactive de 8 jours.

Et cet iode 131 ça a un rapport avec la distribution d'iode aux populations quand il y a un accident ou un risque d'accident nucléaire ?

Oui, si on consomme beaucoup d'iode, on sature la glande thyroïde d'iode non radioactif, du coup l'iode 131 absorbé après sera éliminé par l'organisme au lieu de s'accumuler dans la glande. C'est donc une mesure préventive efficace pour réduire la dose interne de rayonnement ionisant si les populations consomment des tablettes d'iode directement après un accident nucléaire. En diminuant le temps de résidence de l'iode 131 dans le corps, on en diminue considérablement la dangerosité.

Et pour les os... C'est aussi l'iode 131 le problème ?

Non c'est le strontium 90, un radionucléide produit lors d'une fission nucléaire et qui va donc être relâché dans l'environnement lors de l'explosion d'une bombe nucléaire ou d'un accident nucléaire grave. Le problème c'est que le strontium est chimiquement proche du calcium et va donc se fixer dans la matière osseuse à la place du calcium et irradier cette partie du corps en particulier. Sa période radioactive est beaucoup plus longue que l'iode 131: environ 28 ans, provoquant une exposition interne du sujet sur une plus longue période. En fait, c'est même l'élément issu de la désintégration du strontium 90, l'yttrium 90, qui émet un rayonnement plus énergétique et est donc plus dangereux. Avec sa période radioactive de 64 heures. Si vous subissez une désintégration du strontium 90 dans votre corps, vous avez de bonne chance que ce soit suivi d'une désintégration d'yttrium 90 plus énergétique.

Donc c'est les comportements de ces radionucléides qui expliquent pourquoi ces cancers apparaissent plus rapidement ?

Cela joue apparemment un rôle mais il y a également des phénomènes physiologiques liés à ces types de cancer, je suis loin d'être un expert en cancers et on ne va pas passer trop de temps là-dessus.

Est-ce qu'on connaît l'augmentation des cancers à cause des rayonnements ionisants ?

La majorité des informations qu'on a à ce sujet provient de l'étude de cohortes de personnes qui ont été exposées à différentes doses de rayonnement ionisant. Une cohorte est étudiée par rapport à une population non-exposée de référence et on fait tout plein de trucs de statistiques compliquées pour s'affranchir des biais qui peuvent exister entre la population d'étude et la référence: différence d'âge, de sexe, de milieu socio-économique, de taux de tabagisme, d'habitudes alimentaires, d'expositions naturelles... etc. Cette approche est au coeur de l'épidémiologie, la discipline scientifique qui étudie les différents facteurs influant sur la santé des populations. C'est notamment avec cette approche qu'on a montré l'impact du tabac sur la santé, en comparant des populations de fumeurs avec des populations de non-fumeurs.

Okay, on a compris. Et les cohortes étudiées c'est quoi par exemple ?

L'étude de loin la plus complète sur le sujet est celle qui a suivi les victimes des bombardements d'Hiroshima et Nagasaki. Il y a environ une centaine d'articles scientifiques sur cette cohorte. L'explosion des deux bombes a fait environ 200,000 morts sur le court terme mais a également exposé les survivants à des rayonnements ionisants. La cohorte des survivants est constituée de 120 000 personnes dont on a pu estimer précisément le taux d'exposition aux rayonnements ionisants.

Et on fait ça comment ?

En fait, il faut savoir que les deux bombes ont explosé au-dessus du sol pour souffler une plus grande surface, à 580m du sol pour Hiroshima et à 500m du sol pour Nagasaki. La dose de rayonnement reçu par un survivant est directement liée à sa distance avec l'explosion nucléaire. Ici, on ne parle que de rayonnement gamma et de rayonnement neutronique, les rayonnements alpha et bêta ne pouvant pas franchir la distance qui sépare la bombe du sol sans être absorbés par l'atmosphère. Les études parlent de rayonnement en Gray mais ce sont souvent des grays pondérés, un facteur de pondération est associé au rayonnement neutronique qui était plus abondant sur Hiroshima que sur Nagasaki car les deux bombes n'étaient pas de même nature.

mais là on est d'accord qu'on regarde que le rayonnement reçu directement ?

Oui, on ne regarde pas les retombées nucléaires qui ont pu suivre parce que les doses concernées sont faibles devant l'exposition directe. D'ailleurs, les deux villes ont été rapidement reconstruites et ne sont pas des zones d'exclusion. En plus, si l'exposition indirecte n'était pas négligeable, les études basées sur ces cohortes surestimeraient l'impact des rayonnements ionisants et c'est toujours mieux de faire une erreur dans ce sens là. L'exposition directe subie par les survivants varie fortement mais dans l'étude qu'on va regarder, c'est regroupé en plusieurs groupes. En dessous de 5 mGy donc en gros 5 mSv, l'étude considère que l'excès d'exposition au rayonnement ionisant est nul parce que c'est environ l'exposition au rayonnement ionisant naturel dans le monde qui est de l'ordre de quelques mSv. Les groupes sont donc formés suivant l'exposition et on a également des groupes témoins qui n'ont pas été exposés au rayonnement parce qu'ils étaient trop loin ou

parce qu'ils sont arrivés sur place après l'explosion. Les données sont ajustées de biais identifiables: différences entre les deux villes, entre les sexes, l'année de naissance... etc.

Okay et c'est quoi les résultats ?

On voit sur ces courbes le taux de survie en fonction de l'âge et de l'exposition au rayonnement puisque de nombreux survivants des bombardements qui ont eu lieu il y a plus de 70 ans sont morts aujourd'hui... Il y a deux observations importantes. La première, c'est que les populations les plus exposées sont mortes plus jeunes. Par exemple, 50% des populations non exposées habitant à moins de 2.8 km du centre de l'explosion ont vécu moins de 82,5 ans alors que 50% des 411 personnes exposées à plus de 2.5 gray ont vécu moins de 76,5 ans. Il y a donc un impact observé à la surexposition au rayonnement ionisant, c'est un résultat indiscutable. Mais contrairement aux préjugés de la majorité d'entre nous, les populations qui ont été exposées à ces rayonnements ionisants ne sont pas mortes très rapidement en contractant une multitude de cancers. L'effet est bien plus limité qu'on pourrait le croire. Les 3419 survivants exposés à plus de 1 Gray ont perdu, en moyenne, 2,6 années de vie par rapport aux individus non exposés. Pour les rayonnements plus faibles, l'effet est significatif ou non suivant la population utilisée comme référence comme on peut également le voir sur cette figure où la population témoin entre 3-7 km des explosions est très proche des populations exposées à moins de 250 mGy

Et quand on regarde l'augmentation des taux de cancers ça donne quoi ?

Il faut effectivement regarder une AUGMENTATION des taux de cancers puisque les populations non exposées au rayonnement ionisant ont aussi des risques d'en développer. On voit que l'augmentation du risque de développer une leucémie augmente avec la dose reçue par la moelle osseuse. Pour les faibles expositions, l'augmentation est de 6%, pour les plus fortes c'est un doublement du taux de leucémie ! Mais, les leucémies induites par la surexposition sont de 94 sur 49 000 sujets. Même sur une aussi grande cohorte, le nombre de cas est faible. Les leucémies touchent plus fortement les jeunes enfants. On note aussi que la courbe de dose-réponse ne semble pas être linéaire, un effet est démontré qu'au-delà de 100 mSv. Toutes les leucémies ne sont pas induites par les rayonnements ionisants mais c'est un cancer qui augmente plus en proportion que d'autres et il est donc souvent étudié à part quand on regarde les impacts du rayonnement ionisant.

Et si on parlait de tous les autres cancers ?

Pour les autres cancers, on voit, là aussi, que le risque d'en développer augmente avec la dose. Une personne exposée à plus de 2 Gray a 61% de probabilité supplémentaire de développer un cancer. 2 Gray constituant une dose élevée de rayonnement ionisant et c'est donc une personne qui a probablement survécu à un syndrome d'irradiation aiguë. Si la probabilité de développer un cancer à la base est de 16%, elle devient donc 25%. Ah oui toute cette vidéo se base sur des approches épidémiologiques qui regardent des populations de façon statistique. Mais, il faut savoir que la sensibilité aux rayonnements ionisants peut varier fortement d'un individu à l'autre. Une personne qui a des déficiences dans ses mécanismes de réparation cellulaire sera beaucoup plus sensible qu'une autre à un excès de rayonnement ionisant. Les études épidémiologiques montrent, encore une fois, que l'effet d'une surexposition aux radiations est clairement visible au-dessus de 100 mSv.

C'est un effet sanitaire indéniable et ça doit au rayonnement ionisant d'être considéré comme un cancérigène certain pour l'homme au même titre que l'amiante, l'alcool, le tabac ou les rayonnements ultraviolets de notre cher soleil.

Mais le tableau montre que ça n'a provoqué "que" 848 cancers sur 44000 personnes. C'est très loin de ce que j'imaginai !

C'est vrai que c'est éloigné de l'idée qu'on se fait des effets des rayonnements ionisants, en tout cas c'est assez éloigné de mes préjugés avant de faire cette vidéo. Et puis, on parle de deux bombes qui ont fait initialement plus de 200 000 morts. Malheureusement, les survivants des bombardements ont été discriminés notamment à cause des méconnaissances des maladies liées à l'irradiation, certaines personnes pensant par exemple que les radiations étaient contagieuses. Les survivants ont eu des difficultés à trouver du travail ou obtenir un logement. De crainte de voir des effets sur leurs enfants, ils ont également eu du mal à trouver des conjoints pour fonder une famille. Pourtant, ces discriminations sont difficilement justifiables... surtout compte tenu des impacts sanitaires observés. Les effets de ces discriminations sur les survivants sont peut-être même plus graves que les impacts sanitaires des rayonnements ionisants...

Et les enfants qui ont été conçus après deux explosions par des parents irradiés... on n'en parle pas je suppose qu'ils ont tous été malformés?

Les études ont également porté sur les 76 000 enfants nés après 1946 de parents exposés. Il n'y a pas eu d'augmentations décelables de naissances anormales même pour des parents tous deux fortement irradiés. Il n'y a pas eu d'effets décelables sur la fertilité non plus. Aucun effet de l'irradiation des parents sur les enfants n'a été décelé: ils n'ont pas eu plus ou moins de problèmes de santé que les témoins. Si il est trop tôt pour voir un effet sur l'espérance de vie de cette génération, le suivi de la plus grande cohorte comportant des enfants de personnes significativement irradiées n'a trouvé pour le moment aucun effet probant.

On a donc des effets déterministes au dessus de 1 Gy et des accroissements de cancers au-dessus de 100 mSv. 100 mSv est la limite qui est souvent citée dans la littérature même si vous pourrez trouver d'autres seuils suivant les sources que vous consultez. Pour avoir un ordre de grandeur, on considère qu'une exposition à 1 Sievert fait apparaître 5% de cancers supplémentaires dans la population exposée. Et ce coup ci on parle d'augmentation absolue. Si le taux de base du cancer était de 20 % il passe à 25%.

Du coup, les survivants de ces deux bombes montrent qu'il y a plus de cancers au-dessus de 100 mSv mais qu'est-ce qui se passe en dessous ?

Et bien... ça se complique. On parle de doses faibles en dessous de 100 mSv et il faut comprendre qu'il est extrêmement difficile de détecter l'impact sanitaire de rayonnements ionisants pour ces doses faibles parce que cet effet est faible. Si l'effet sanitaire était important, il serait facile à observer. Les études de cohortes qui ont été faites pour montrer l'impact du tabac, de l'alcool ou de l'amiante ne laissent pas de place au doute... Les effets cancérigènes de faibles doses de rayonnement, s'ils existent, peuvent vite se faire noyer dans des effets plus importants comme ceux du tabac ou de l'alcool ou dans des biais

statistiques. Même l'énorme cohorte d'Hiroshima et Nagasaki ne parvient pas à prouver un impact sanitaire des rayonnements ionisants de façon significative en dessous de 100 mSv. En plus, cette exposition est particulière et rend difficile l'application de ces conclusions ailleurs...

Non seulement ces deux cohortes ne sont pas conclusives pour des doses faibles mais, en plus, l'irradiation considérée, celle des rayons gamma et des neutrons relâchés au moment de l'explosion a été quasiment instantanée, de l'ordre de la microseconde. Or, la même dose administrée à un débit de dose plus faible a un effet plus faible comme on l'a évoqué dans le cadre de la radiothérapie. Pour des doses faibles et des débits de doses faibles, qui est le cas d'exposition finalement le plus fréquent, plusieurs modèles coexistent faute d'avoir des éléments scientifiques suffisants pour trancher.

Et c'est quoi ces modèles ?

Le premier modèle est un modèle linéaire sans effet de seuil. On prend ce qu'on sait comme impact au-dessus de 100 mSv et on prolonge ça en dessous. Si on considère, une augmentation de 50% par Sv de la probabilité de développer un cancer et bien ça fait 0,05% par mSv. C'est le modèle qui est utilisé dans le cadre de la radioprotection parce qu'il majore l'impact sanitaire. C'est une application du principe de précaution. Mais l'utiliser dans un cadre épidémiologique, pour calculer les impacts sanitaires de Tchernobyl, par exemple, ne donne pas une quantification fiable mais une majoration, un maximum de ce qu'on peut attendre en termes d'impacts. Considérer un modèle linéaire sans seuil n'est pas du tout habituel en toxicologie. Par exemple, on ne considère pas comme dangereuse la consommation normale d'amandes sous prétexte qu'elles contiennent du cyanure qui nous tuerait à plus forte dose.

Et est-ce qu'on a d'autres modèles ?

Les modèles supposant un risque plus élevé que le modèle linéaire sans seuil sont encore plus en contradiction avec les observations et ne sont donc pas considérés sérieusement. Par contre, en dessous du modèle linéaire sans seuil, on peut avoir un modèle quadratique sans seuil. Dans ce cas, les faibles doses vont avoir proportionnellement moins d'impacts que les doses plus élevées. Des modèles avec seuil existent également. Dans ce cas, on considère que les doses n'ont pas d'effet en dessous d'un certain seuil. Enfin, des modèles incluent également un effet d'hormèse... qui est un phénomène beaucoup moins connu. Enfin, je dis ça parce que je ne connaissais pas avant de creuser pour cette vidéo. L'hormèse désigne dans ce cadre l'effet positif de faibles doses de rayonnement ionisant. Ce n'est pas une hypothèse absurde parce qu'il y a des observations de phénomènes d'hormèse à l'échelle cellulaire par exemple mais ce n'est pas prouvé par des études épidémiologiques... Je n'ai pas le temps de développer l'hormèse mais je vous laisse des liens pour aller plus loin.

Et même avec toutes les cohortes qu'on a on ne peut pas trancher entre ces modèles?

C'est vrai que l'étude des mineurs, des travailleurs du nucléaire, du personnel médical, des patients, du personnel navigant dans l'aviation, des populations surexposées à la radioactivité naturelle a fourni de nombreuses données. Certaines de ces données

contredisent assez fortement la relation linéaire sans seuil car les effets observés sont inférieurs à ce qu'il devrait être si cette relation s'appliquait tout le temps. Pour l'anecdote, le personnel naviguant est exposé à une dose non négligeable de rayonnement ionisant mais contrairement aux travailleurs du nucléaire, la dose qu'ils reçoivent n'est pas suivie, à croire qu'on traite différemment les gens exposés à un rayonnement ionisant naturel, les rayons cosmiques en l'occurrence, et ceux exposés à des sources de rayonnement artificiel... Pourtant on a dit dans la précédente vidéo que ce sont les mêmes phénomènes à l'oeuvre, cette différence de traitement est difficilement justifiable.

Et tu peux donner quelques exemples de ces cohortes, pourquoi on n'arrive pas à en déduire quelque chose ?

On observe un impact significatif sur les mineurs d'uranium avant qu'on mette en place des mesures de radioprotection. Ces mineurs étaient exposés à des concentrations élevées de radon mais ils fumaient également énormément. En plus, il y a une interaction entre tabac et radon puisque les poumons des fumeurs sont moins capables d'évacuer les éléments toxiques présents dans les poumons. Si l'impact du tabac et du radon pris ensemble est plus grand que la somme des deux pris séparément, comment on fait pour attribuer l'impact du radon seul ?

Autre exemple: on observe que la surmortalité chez les médecins radiologues, qui ont été parmi les gens les plus exposés au début de l'utilisation de la radioactivité, disparaît avec la mise en place de mesure de radioprotection. Aujourd'hui, les médecins radiologues semblent se porter mieux que les populations témoins. Mais, est-ce qu'on observe un effet d'hormèse ou un biais statistique ? On pourrait, par exemple, évoquer l'effet "travailleur sain", une cohorte de travailleurs étant statistiquement en meilleure santé qu'une population de référence.

À l'inverse, si on suit une cohorte de patients, on se rend compte d'un effet significatif de leur exposition aux rayonnements... Mais s'ils subissent des examens et des traitements, c'est qu'ils sont en moins bonne santé initialement. Comment bien prendre cet effet en compte ?

Il existe des méthodes pour s'affranchir de biais statistiques comme ceci mais plus l'effet observé est faible, plus il est difficile de s'affranchir de tous les biais et d'obtenir des résultats statistiquement probants. L'effet étant faible et les biais nombreux, il est possible que les études de cohortes ne permettent jamais de trancher entre les modèles. Aujourd'hui, il existe des résultats contradictoires quand on regarde les effets de faibles doses à faibles débits de doses et chacun peut défendre son modèle même si le modèle linéaire sans seuil est, globalement, de plus en plus critiqué. Il n'y a pas de modèle scientifique consensuel en-dessous de 100 mSv et pas d'impacts sanitaires prouvés. L'UNSCEAR, par exemple, considère que l'incertitude est trop importante en dessous de 100 mSv pour mettre un modèle en avant. En fait, pour trancher, il faudrait s'affranchir de tous les autres effets qui peuvent apporter des confusions...

Du coup, il faudrait qu'on étudie cette question dans des endroits où il y a très peu de radioactivité.

Tu ne crois pas si bien dire parce que c'est envisagé ! En gros, faire un laboratoire où on minimiserait toutes les sources de rayonnement ionisant pour étudier l'impact de faibles doses sur des cellules ou des animaux par rapport à des groupes témoins non exposés. Et ça voudrait dire retirer les radionucléides présents naturellement dans l'eau et l'alimentation en plus de se protéger des rayonnements telluriques et cosmiques. Mais, des expériences comme celles-ci donneraient une idée plus précise des effets de faibles doses à faibles débits de doses.

Mais est-ce qu'on a vraiment intérêt à plus étudier cette question ?

Oui parce que les conséquences vont bien au-delà de l'industrie nucléaire. Des populations sont surexposées au rayonnement naturel dans certaines régions du monde. Le personnel naviguant subit plus le rayonnement cosmique vu qu'il s'élève dans l'atmosphère mais c'est encore plus vrai pour l'espace. L'irradiation dans la station spatiale internationale est entre 10 et 50 fois plus importante que l'exposition naturelle au sol. Si l'humain veut continuer sa conquête de l'espace, il doit mieux comprendre les effets de cette irradiation. Enfin, et surtout, la majorité de la surexposition provient du milieu médical. Une exposition volontaire aux rayonnements ionisants est le résultat d'un calcul bénéfice-risque. Si on connaît mieux les risques, on peut donc améliorer les soins. En 2005, l'académie des sciences et l'académie de médecine française ont approuvé un rapport qui critique l'utilisation du modèle linéaire sans seuil. C'étaient les premières grandes instances scientifiques à critiquer le modèle linéaire sans seuil. L'enjeu dans le milieu médical d'une bonne compréhension d'une exposition à de faibles doses va bien au-delà de la quantification du nombre de morts attribué à l'accident de Tchernobyl.

Ah enfin !!! Avec tout ce que tu as appris, qu'est-ce que tu peux nous dire de l'impact sanitaire de Tchernobyl ?

L'accident de 26 avril 1986 a provoqué des retombées de radionucléides sur une vaste zone et dans une moindre mesure dans une partie de l'Europe occidentale et du nord. 115 000 personnes ont été évacuées après l'accident. Et 220 000 personnes supplémentaires ont été relogées ensuite car elles étaient dans des zones fortement contaminées. Comme on l'a déjà dit, parmi les travailleurs sur place, 134 personnes ont été atteintes du syndrome d'irradiation aiguë et 28 en sont mortes. Une augmentation statistique du nombre de cancers de la thyroïde a été observée chez les gens qui, lors de l'accident, étaient enfants ou adolescents et vivaient dans les régions les plus contaminées du Bélarus, de la Fédération de Russie et d'Ukraine. Cette augmentation est imputée aux effets des rayonnements ionisants et notamment à l'absorption d'iode 131 dont on a parlé. Sur les 6000 cancers de la thyroïde recensés dans ces régions depuis l'accident, une bonne partie est imputable à l'accident de Tchernobyl. C'est un des cancers qui se soigne le mieux et seuls 15 se sont révélés fatals. Pour les autres effets d'une surexposition aux rayonnements ionisants, aucun effet statistiquement probant n'avait été détecté au moment où l'UNSCEAR l'OMS et six autres agences ont produit leur rapport sur les impacts sanitaires de Tchernobyl en 2008. J'ai été éplucher un peu la littérature scientifique et j'ai trouvé une étude scientifique sur les populations les plus exposées, notamment les liquidateurs, qui trouve un excès de 233 cancers sur plus de 67000 personnes et qui considère que le risque relatif excédentaire est de 0.47 par Gray. Une personne exposée aux rayonnements ionisants à hauteur de 1 Gy verrait donc sa probabilité de développer un cancer augmenter de 47%. Si cette probabilité

est de 30% à la base, elle passera donc à 44%. Sur la base d'Hiroshima et Nagasaki, l'UNSCEAR avait estimé ce risque relatif excédentaire à 0,43 par Sv pour les hommes et 0,81 pour les femmes. On voit donc des quantifications qui restent dans les mêmes ordres de grandeur.

Okay mais on n'est pas omniscient, on peut s'attendre à ce que le manque d'informations ou de puissances statistiques nous fassent manquer un paquet de cancers...

Certes, mais il faut bien comprendre qu'en épidémiologie, l'impact ne peut pas être à la fois énorme et difficile à détecter. Le fait que de gros effets sanitaires ne ressortent pas des études épidémiologiques tend plutôt à montrer que ces effets sont faibles. Pour avoir un ordre de grandeur, fumer un paquet de cigarettes par jour depuis vos 15 ans augmente vos chances de développer un cancer des poumons avant vos 80 ans de 3180 % donc multiplie la probabilité de développer un cancer des poumons par presque 32. On comprend donc vite pourquoi les effets de faibles doses de rayonnements ionisants sont durs à observer: une augmentation de "seulement 47%" pour une dose reçue de 1 Gray surtout qu'une exposition à 1 Gy est énorme ! Parmi les 67000 liquidateurs de cette étude, seul 0,8% ont été exposés à plus de 0,3 Gy.

Attends on peut pas avoir une idée un peu plus précise des victimes potentielles, avec tout ce qu'on sait sur le sujet ?

Pour aller plus loin et avoir une quantification du nombre de cancers et de morts potentiellement liés à Tchernobyl, il faut s'appuyer sur des modèles linéaires sans seuil qui majorent les impacts et sont de plus en plus critiqués. Huit instances de l'ONU réunies dans le forum de Tchernobyl ont estimé que les rayonnements ionisants feraient 4000 morts à cause de cancers dans les 626 000 personnes les plus exposées qui incluent les liquidateurs, les populations évacuées et les personnes vivant dans les zones les plus contaminées et 5000 de plus chez les 5 000 000 de personnes exposées aux retombées de Tchernobyl et à des doses d'exposition plus faibles.

oui mais le nuage de Tchernobyl a touché bien plus que 5 000 000 de personnes puisqu'il a survolé une bonne partie de l'Europe.

Oui et c'est là que ça devient encore plus polémique. Une large portion a été exposée à de faibles quantités de matière radioactive, des doses reçues bien inférieures à l'exposition naturelle. Certains scientifiques y appliquent donc également le modèle linéaire sans seuil tout en expliquant que l'augmentation du taux de cancer y sera tellement faible qu'il sera absolument indétectable et ne jouera que pour une proportion infime de tous les cancers qui se produiront dans ces régions. Mais, comme on parle de larges populations, utiliser le modèle linéaire sans seuil dans ces zones peut vite faire grimper le nombre de cancers. Une application typique de cette méthode trouve 16 000 cancers de la thyroïde et 25 000 autres cancers sur l'ensemble du monde et en prenant en compte l'exposition jusqu'en 2065 causant, en tout, 16 000 morts entre 1986 et 2065. Ces 16 000 morts dus à une exposition au rayonnement ionisant formeraient une part infime des 120 000 000 de personnes qui mourront de cancers sur la même période et dans les populations prises en compte par cette étude. Un tel modèle ne pourra donc jamais être prouvé par des études épidémiologiques. Evidemment, l'application d'un tel modèle est emplie d'incertitudes mais on

peut retenir une fourchette haute de la fourchette haute pour une application du modèle linéaire sans seuil de 20 000 morts.

Attends tu avais dit que le modèle linéaire sans seuil surestimait les impacts et qu'on ne devait justement pas l'appliquer dans ce type de cadre. Alors pourquoi on fait ça ?

Parce que ça donne une idée de l'impact sanitaire maximal attribuable à l'accident. La quantification la plus large du modèle linéaire sans seuil trouve un maximum de 20 000 morts découlant des impacts indirects de Tchernobyl et là on est dans la fourchette haute de la majoration. Si on ne considère que les populations exposées à des doses non négligeables, le consensus est plutôt autour de 10 000 morts. Ces cas mortels de cancers s'ajoutent aux 6000 cancers de la thyroïde qui n'ont provoqué que peu de décès. Pour moi, il paraît improbable que les rayonnements ionisants aient fait plus de 10 000 morts. Vu ce que j'ai lu sur le modèle linéaire sans seuil, j'ai déjà l'impression que l'appliquer aux alentours de Tchernobyl majore l'impact alors je n'irai pas jusqu'à l'appliquer aux très faibles retombées sur l'ensemble du monde. Evidemment, on parle de vie humaine. Chacune de ces morts est une tragédie mais si on veut comparer les impacts sanitaires des différentes technologies, il faut quantifier correctement ces impacts, y compris ceux des accidents puisque les autres technologies provoquent également leurs morts et leurs tragédies.

Et pourquoi des fois on entend des quantifications bien plus hautes 100 mille 500 mille 1 million de morts ?

C'est vrai qu'on peut tomber sur des quantifications bien plus hautes comme dans cet extrait d'un rapport de Greenpeace sur les conséquences de Tchernobyl. Dans ce passage, on met face à face, un article écrit par un scientifique seul qui n'est même pas publié dans une revue à comité de lecture et qui prédit 90 000 morts dus à Tchernobyl et le consensus scientifique tiré de centaines de publications que je vous ai présenté jusque là... Ces deux sources ne sont absolument pas équivalentes. Ce procédé est aussi largement employé par les climato-sceptiques: mettre sur un pied d'égalité quelques études douteuses et le consensus scientifique basé sur des centaines de recherches indépendantes. La méthode reste extrêmement discutable peu importe le sujet ou l'organisation qui l'emploie. Je ne dis pas que c'est facile mais il serait quand même bien mieux d'appliquer la même méthode pour se faire une opinion quelque soit le sujet et c'est ce que j'essaie de faire au fil de mes vidéos.

Mais, est-ce que tu as été, au moins, voir l'article avant de balancer tes vilaines petites piques ?

Oui, c'est une série d'extrapolations discutables à partir de données limitées et soigneusement choisies. Ni les hypothèses, ni la méthodologie, ni les résultats ne sont en phase avec les nombreuses études sur le sujet. Si cette étude est vraie, ça implique que des centaines d'autres, publiées dans des revues à comité de lecture, soient fausses et ça remettrait en cause le travail d'un grand nombre de scientifiques qui ont plus de données, des méthodes plus solides et produisent des résultats cohérents entre eux. Mais, surtout, pour que cette étude soit vraie, il faudrait que les impacts observés ailleurs comme sur Hiroshima et Nagasaki soient plus élevés. On peut donc rejeter cette étude en faisant un raisonnement par l'absurde. Elle est non-recevable parce que ce qu'elle impliquerait n'est

pas observé ailleurs. Ou alors, il faudrait expliquer en quoi les rayonnements ionisants issus de l'accident de Tchernobyl auraient, pour les mêmes doses, des conséquences bien plus graves que ce qui est observé ailleurs.

Est-ce que d'autres études utilisent une approche différente ?

Une autre approche menant à de très grandes surestimations est de regarder l'augmentation du nombre de morts ou de cancers sans essayer de le lier à une surexposition aux rayonnements ionisants. Et ces deux points sont vrais pour une autre étude, elle aussi publiée sans validation par les pairs, et qui met en avant non pas 90 000 morts mais un million. Quand on fait de la désinformation, ou qu'on la répand, il ne semble pas y avoir de limites à la surenchère. Ces quantifications erronées sont reprises par certaines ONGs militantes mais ne sont pas publiées dans des revues à comité de lecture et n'ont donc pas d'impacts sur l'étude scientifique de ces phénomènes. J'attache une très faible crédibilité à ces sources.

En même temps, si on voit une augmentation des impacts sanitaires dans la région, c'est à cause de Tchernobyl? L'approche n'est pas débile ?

Et bien les deux ne sont pas nécessairement liés... Il ne faut pas oublier que ces pays ont subi un autre choc majeur. La dislocation de l'URSS a eu de très forts impacts économiques et sanitaires. L'espérance de vie a fortement chuté et les conditions de vie se sont dégradées. C'est même une époque où on observe une baisse de la population dans ces régions. On ne peut pas attribuer tous les impacts sanitaires aux rayonnements ionisants dus à l'accident de Tchernobyl. D'ailleurs, beaucoup d'effets sanitaires de Tchernobyl ne sont pas liés aux rayonnements ionisants...

Okay là tu m'as perdu... de quoi tu parles ?

L'accident de Tchernobyl a eu de nombreux retentissements socio-économiques. La zone d'exclusion est une perte nette pour l'économie du pays. C'est une énorme perte de territoire ! Des centaines de milliers de personnes ont dû être évacuées et délocalisées. La perte de sa maison, de son emploi, de la ville que l'on a connue a un impact psychologique énorme qui peut entraîner des changements dans la consommation de tabac, d'alcool ou les habitudes alimentaires et on sait que ça a aussi des effets sur la santé. Les populations déplacées ont été stigmatisées et discriminées par une partie de leurs compatriotes comme les survivants des bombardements d'Hiroshima et Nagasaki. Beaucoup d'entre eux vivent dans la peur de contracter une maladie liée à l'exposition aux rayonnements ionisants qu'ils ont subi, même quand l'exposition a été faible. Cette peur étant d'autant plus difficile à adresser que les maladies entraînées par une exposition aux rayonnements ionisants ne sont pas caractéristiques de cette exposition. Une personne développant un cancer ne peut pas savoir si c'est attribuable ou non à l'accident. Les rayonnements ionisants étant invisibles, inodores et, plus globalement, non perceptibles, ils n'en sont que plus effrayants. La communauté scientifique considère que ces impacts psychologiques ont eu plus d'effets sanitaires que la surexposition aux rayonnements ionisants proprement dits.

oui mais c'est également lié à l'accident, on ne peut pas l'ignorer !

Non, on ne peut pas l'ignorer mais ces effets sociaux, économiques et psychologiques peuvent être mitigés et c'est pour ça qu'on ne peut pas agréger les effets sanitaires directement dus aux rayonnements ionisants et les impacts indirects. On peut accompagner les victimes de traumatismes et on peut expliquer les effets sanitaires réels de ces rayonnements ionisants pour minimiser les impacts psychologiques et les discriminations. Si la peur du nucléaire tue plus que le nucléaire, c'est qu'il est grand temps de beaucoup beaucoup mieux informer sur ces questions.

La peur du nucléaire qui tuerait plus que le nucléaire... Tu y vas un peu fort là quand même !

Et bien parlons rapidement de l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima-Daïchi. C'est un accident provoqué par un séisme suivi d'un tsunami. Ces deux catastrophes naturelles ont tué 20 000 personnes au Japon. Les rejets de l'accident nucléaire sont inférieurs à ceux de Tchernobyl d'un facteur 10 et une bonne partie des émissions de radionucléides ont été dirigés vers l'océan Pacifique. Sur les 25 000 travailleurs qui sont intervenus sur site, 34% ont reçu une dose supérieure à 10 mSv et seul 0,7% ont reçu une dose supérieure à 100 mSv, ce qui est la dose minimale à partir de laquelle une surexposition de cancers est prouvée. La dose maximale reçue a été de 679 mSv et il n'y a eu aucun syndrome d'irradiation aiguë. Les populations alentours ont été exposées à de très faibles doses de radiations. Même en appliquant un modèle linéaire sans seuil, les doses reçues ne provoqueraient que quelques cancers et cet effet sera très probablement indiscernable malgré les mesures de suivi mises en place. Le suivi des cancers de la thyroïde qui auraient pu se manifester depuis 2011 n'a montré aucune augmentation de ces cancers. Ces faibles impacts sont aussi liés aux réactions après l'accident: distribution d'iode ou interdiction de certains aliments provenant des environs de la centrale comme le lait ou les poissons. En 2018, le Japon a reconnu le premier mort lié à une surexposition au rayonnement ionisant, un travailleur ayant été exposé à 195 mSv est mort d'un cancer des poumons.

Mais attends... Comment on sait que son cancer est lié à la surexposition aux rayonnements ionisants?

Eh bien on ne le sait pas, on ne peut pas attribuer un cancer aux rayonnements ionisants, surtout si c'est un événement unique. Reconnaître un lien entre le cancer et la surexposition permet cependant de dédommager la famille pour la surexposition aux rayonnements ionisants qu'a effectivement subi ce travailleur. L'incapacité à prouver un lien ne peut pas justifier qu'on ne dédommage pas mais un dédommagement ne prouve pas un lien pour autant.

Du coup le bilan sanitaire de l'accident de Fukushima c'est quoi ?

Le nombre de morts pouvant être alloué de façon statistiquement significatif à une surexposition au rayonnement ionisant est aujourd'hui de 0 et le restera probablement. Dans la mémoire collective, Fukushima est aujourd'hui un accident nucléaire et non une catastrophe naturelle. C'est dommage que la peur du nucléaire vienne occulter la mémoire des 20 000 personnes qui sont mortes dans le séisme et le tsunami qui a suivi.

Donc les rayonnement ionisants dus à l'accident n'ont fait aucun mort ?

L'accident lui-même non mais les mesures qui ont suivi en ont fait. Environ 300 000 personnes ont été évacuées dans la panique dont une large partie de zones qui étaient très faiblement contaminées. L'évacuation aurait fait 2200 morts majoritairement parmi les personnes âgées hospitalisées ou en maison de retraite qui ont été évacuées dans de mauvaises conditions médicales, auxquels il faut également ajouter des suicides dans des populations déplacées qui ont vécu dans des logements provisoires parfois pendant plusieurs années ! L'exemple emblématique repris par la presse japonaise étant celui d'une personne de 102 ans qui a préféré se suicider que d'évacuer. Pourquoi pousser quelqu'un dans de tels retranchements quand les doses reçues sont aussi faibles ? Surtout que même si elles étaient plus élevées, elles n'impliqueraient que des risques sur le long terme. Globalement, l'idée que l'évacuation a fait plus de morts que la surexposition aux rayonnements ionisants est assez consensuelle. La panique qui a suivi la catastrophe, le manque de préparation des autorités japonaises et la peur du nucléaire a fait plus de dégâts que les rayonnements tant craints. Après, c'est vrai que c'est facile de faire une critique après coup puisqu'on sait ce qu'il s'est passé mais, sur le moment, dans la panique et avec les informations disponibles, décider d'évacuer ou non peut être un choix extrêmement difficile.

Okay... C'est très loin des perceptions que j'avais de tout ça.

Et c'est bien pour ça qu'il serait peut-être temps de parler correctement de ces questions. Le nucléaire est sans doute un des sujets les moins bien traités par les politiques et les médias traditionnels... et je ne parlerai même pas des médias "écologiques". Le problème de ce manque d'informations, voire de cette désinformation, ce n'est pas seulement que ça nous prive potentiellement d'une technologie qui peut-être intéressante d'un point de vue écologique mais surtout que cette désinformation tue. Et si la désinformation tue, ça pose également la question morale de la responsabilité de ceux qui désinforment sur ces sujets.

Tu es complètement taré de faire cette vidéo. Je ne suis pas sûr qu'on puisse tout raconter... En plus ça montre très clairement que le nucléaire tue des gens !!!

Je refuse de croire que les connaissances scientifiques sur un sujet ne puissent pas être entendues à cause de préjugés, d'idéologies ou de dérives politiques. Je pense également qu'il est temps que l'écologie politique et militante traite scientifiquement ces sujets. Je suis peut-être naïf mais je continuerai d'expliquer ce qu'on sait des différents sujets que ces connaissances soient, ou non, en phase avec la perception générale. Certes, le nucléaire, dont la production électrique à partir de centrales nucléaires, tue des gens mais la question n'est pas là. Tous les moyens de production électrique tuent directement, ou indirectement, des gens. La question est donc: est-ce que le nucléaire tue plus ou moins de gens que les alternatives. Le plus gros accident lié aux barrages hydroélectriques, celui de la rupture des barrages de Banqiao en Chine, a fait autour de 170 000 morts ce qui est bien plus que la majoration qu'on a établi pour Tchernobyl et donc bien plus que tous les accidents nucléaires réunis. Et les centrales au charbon feraient plusieurs centaines de milliers de morts PAR AN, donc bien plus, chaque année, que des catastrophes comme celle de Tchernobyl. Pourtant la terreur inspirée par le nucléaire est bien plus grande que la peur des barrages ou du charbon.

Eh mais c'est vrai que comparer l'impact sanitaire des différents moyens de production

électrique ferait une excellente vidéo !

Oui, c'est vrai et je peux la faire si ça intéresse certains d'entre vous. Ce qui me retenait jusque là c'est que les résultats du nucléaire auraient été incompris par beaucoup mais maintenant que cette vidéo est faite, c'est envisageable d'en faire une sur l'impact sanitaire de la production électrique. Il y a un dernier petit aspect que je n'ai pas eu le temps de traiter: la dose reçue au quotidien. Sachez que vous êtes plus exposés à une surdose de rayonnements ionisants si vous habitez à proximité d'une centrale au charbon que d'une centrale nucléaire, même si dans les deux cas, ça reste minime. Vivre à 80 km d'une centrale nucléaire vous expose environ à 0.09 microsievert sur un an, ce qui est à peu près égal à la dose que vous recevez en mangeant une banane ou en dormant avec deux personnes une nuit, ce qui est quand même une situation assez rare. Pour d'autres comparaisons de ce style, je vous encourage à jeter un coup d'oeil à l'excellent résumé de XKCD qui vous donnera quelques ordres de grandeur sur les expositions. Il y a évidemment des variations entre les émissions de centrales nucléaires et vous pouvez consulter les expositions autour des centrales françaises dans un lien en description mais les ordres de grandeur de cette figure sont les bons.

Autre comparaison intéressante pour remettre tout ce qu'on a dit en perspective, l'exposition moyenne en France liée au médical est de 1,6 mSv par an alors que l'exposition liée aux installations nucléaires industrielles et militaires, aux retombées des anciens essais d'armes nucléaires et aux accidents est de 0,02 mSv par an.

On a vu que les rayonnements ionisants ont des impacts sanitaires. Pour des doses de plusieurs grays, on constate des effets déterministes entraînant rapidement la mort du sujet. Pour des doses plus faibles mais supérieures à 100 mSv, le taux de cancers augmente à peu près proportionnellement à la dose reçue. Les cancers de la thyroïde, des os et les leucémies apparaissent dans les années qui suivent la surexposition alors que d'autres cancers peuvent apparaître plusieurs décennies après.

En dessous de 100 mSv, il n'y a pas de preuves satisfaisantes d'effets sanitaires des rayonnements ionisants. Les effets sont faibles et difficiles à observer, même sur des cohortes de plusieurs centaines de milliers d'individus. Plusieurs modèles continuent donc d'être discutés par la communauté scientifique pour les effets sanitaires de faible dose à faible débit de dose

Les centaines d'études scientifiques sur ce sujet permettent quand même de bien cerner le phénomène. Contrairement à ce qu'on pourrait penser, Tchernobyl a fait et fera, au maximum, 20 000 morts en appliquant largement le modèle linéaire sans seuil et 9000 morts en l'appliquant seulement aux populations exposées à des doses non négligeables. Probablement aucun mort ne sera attribué à la surexposition aux rayonnements ionisants liés à l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima-Daïchi. Par contre, ces accidents ont un énorme coût économique, en particulier celui de Tchernobyl qui s'accompagne également d'un bilan humain beaucoup plus lourd si on prend en compte les effets psychologiques et les conséquences socio-économiques. Que les effets psychologiques et la peur du nucléaire pèsent aussi lourd dans les bilans humains de ces catastrophes est un argument supplémentaire pour, enfin, parler scientifiquement du nucléaire et lutter contre la désinformation sur ce sujet.

Même si les impacts sanitaires ne sont pas aussi graves que ce qu'on pourrait penser, ça ne dit rien des autres défauts qu'on peut trouver au nucléaire civil. Cette vidéo ne dit rien de la sûreté, de la gestion des déchets radioactifs ou de l'impact sur la biodiversité et j'essaierai de couvrir correctement ces sujets à l'avenir. Cette vidéo ne traite donc pas entièrement du nucléaire civil et va aussi au-delà. La compréhension des impacts sanitaires des rayonnements ionisants a de gros retentissements sur certaines pratiques médicales, sur l'exposition à la radioactivité naturelle ou encore sur l'exposition des personnels navigants et la course à l'espace.

Merci à tous d'avoir regardé cette vidéo, j'espère vous avoir appris plein des trucs. En tout cas, j'ai appris pas mal de choses en la faisant et j'ai essayé de transmettre l'essentiel de ce que j'ai pu découvrir. Je remercie Tristan Karmin qui a relu ce script et a répondu à mes nombreuses questions sur des points techniques et notamment sur ses unités qui sont quand même super relou. Il vulgarise bien ces questions sur twitter et je vous encourage à le suivre !

Je n'ai aucun intérêt dans le nucléaire et j'essaie de rester le plus objectif possible. Je peux comprendre que le contenu de cette vidéo soit un choc pour certains et ça a également été un choc pour moi, s'étalant sur la période plus longue de mes recherches. Il y a quand même deux choses qui m'énervent de plus en plus: (i) quand la communication autour d'un sujet se moque complétement des éléments scientifiques disponibles, (ii) quand les mouvements, les partis ou les associations se prétendant écologiques se discréditent complètement en traitant très mal une question. Du coup, l'impact sanitaire des rayonnements ionisants est un sujet qui m'agace sans doute plus que d'autres.

Il reste encore un paquet de sujets à traiter dans la série sur l'énergie et dans cette sous-série sur le nucléaire. Et on se retrouve donc très vite pour d'autres vidéos ! Je remercie du fond du coeur ceux qui me soutiennent financièrement sur Tipeee et Utip, c'est grâce à vous que je peux poursuivre ce travail et faire des recherches poussées. C'était le Réveilleur et à bientôt sur le net.