

**Séminaire ANCCLI-IRSN :  
RADIOACTIVITÉ ET SANTÉ : OÙ EN SOMMES-NOUS ?**

**Paris, les 22 et 23 mars 2018**

**Synthèse des échanges**

---

Séminaire organisé par l'ANCCLI et l'IRSN.  
Les présentations sont disponibles en ligne.

---

# SOMMAIRE

<b>Introduction du séminaire</b>	<b>3</b>
<b>Session 1 : Radioactivité, à quoi suis-je exposé(e) ?</b>	<b>5</b>
Tous exposés : tous différemment	5
De l'exposition à la dose reçue	5
Temps d'échange avec la salle	6
<b>Session 2 : Radioactivité, quels effets sur la santé ?</b>	<b>12</b>
Tout commence au niveau cellulaire, mais ce n'est que le début	12
Radioactivité, recherche expérimentale et faibles doses : quels apports ?	12
Temps d'échange avec la salle	12
Radioactivité, études épidémiologiques sur les populations : apports et limites	15
Temps d'échange avec la salle	16
Populations et travailleurs : quelle réglementation et d'où vient-elle ?	17
Temps d'échange avec la salle	17
<b>Table ronde : « Santé et radioactivité : certitudes et controverses »</b>	<b>19</b>
<b>Session 3 : Radioactivité, j'habite près d'un site ou j'y travaille : et alors ?</b>	<b>25</b>
Évaluation de l'impact radiologique sur la population des rejets des installations du CEA	25
Expertise des rejets des INB et de leur impact : la démarche intégrée de l'IRSN	25
Temps d'échange avec la salle avec en introduction « Les demandes d'autorisation de prélèvements d'eau et de rejets dans l'environnement (DARPE) : le regard des CLI »	25
L'étude GEOCAP sur les leucémies infantiles en France	28
Temps d'échange avec la salle	29
L'étude internationale des travailleurs du nucléaire : INWORKS	30
Le rôle de SISERI dans la surveillance de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants	30
Répondre aux questions de santé environnementale des habitants d'un front industriel : une approche fortement participative	31
<b>Table ronde : « La surveillance sanitaire : quelles pistes d'amélioration ? »</b>	<b>32</b>
<b>Session 4 : Radioactivité, quand l'accident survient.</b>	<b>38</b>
Rejets, contamination et exposition des habitants après l'accident	38
Conséquences thyroïdiennes des accidents de Fukushima et Tchernobyl	38
Enjeux citoyens à Fukushima	38
Temps d'échange avec la salle	39
<b>Conclusion</b>	<b>42</b>

# Introduction du séminaire

---

J.-C. DELALONDE (ANCCLI) et J.-C. NIEL (IRSN)

J.-C. DELALONDE (ANCCLI) remercie les participants de leur présence et de leur assiduité au sein des initiatives lancées voici déjà quelques années, avec l'IRSN. Il les remercie également de leur implication quotidienne permettant de développer leurs compétences et leurs connaissances et ce, à titre bénévole. À l'heure où les contraintes budgétaires pèsent sur les moyens de l'IRSN, des CLI et de l'ANCCLI, il remercie l'IRSN du partenariat qui perdure avec l'ANCCLI depuis maintenant 15 ans. Cette permanence d'action est très appréciée des CLI.

Le premier séminaire sur les questions de santé que nous avons mené en commun a été organisé en 2007, suite à la publication d'une étude faisant état d'un excès de cas de leucémie infantile autour de centrales nucléaires en Allemagne. Cette étude avait amené un groupe de travail à mettre en place un guide publié en 2012 « santé publique à proximité des installations nucléaires : comment aborder les questions posées ? », portant sur les préoccupations en matière de santé et la manière de les traiter.

Ce guide permet aux acteurs locaux de mieux appréhender les études de santé réalisées autour des installations nucléaires en proposant un cadre général d'éléments méthodologiques. Il souligne par ailleurs le rôle essentiel des processus de concertation qui doivent accompagner la mise en place et la restitution des résultats de ce type d'étude.

Pour les 3 000 membres des CLI, en renouvellement permanent, le besoin de connaissance de bases en matière de radioactivité et de ses conséquences sur la santé est important, car leur rôle est de restituer les informations et de monter en compétences, comme l'illustrent bien les expérimentations réalisées en 2010 par la CLI de Soulaïnes et la CLIGEET.

Ce séminaire s'efforcera de répondre à ces préoccupations grandissantes liées aux problématiques de santé à proximité des installations nucléaires, car les populations s'inquiètent et s'interrogent.

Ces initiatives s'inscrivent dans une démarche de projet, dans lesquels des hommes et des femmes s'engagent, animent, critiquent, mais avec un seul objectif, celui de travailler en conscience à l'intérêt général.

Les CLI sont toutes partenaires de réseaux, constituent les parties prenantes et portent les projets. Cette démarche engagée avec et grâce à l'IRSN montre leur capacité commune à saisir les questions et à en parler en toute transparence.

Ce séminaire doit contribuer à la formation de tous sur les effets de la radioactivité sur la santé et sur leur compréhension des enjeux de santé. Différents sujets seront abordés, comme les différents types de rayonnements, les connaissances en matière de faibles doses, la situation des travailleurs et les situations accidentelles et post-accidentelles.

Il espère que les échanges seront fructueux et respectueux. Mieux connaître les effets de la radioactivité sur la santé est un enjeu au cœur des préoccupations des CLI et de l'ANCCLI et au cœur de leurs missions d'information et de suivi des installations.

J.-C. NIEL (IRSN) remercie également les nombreux participants de leur présence. L'IRSN est un acteur public de l'expertise du risque radiologique et nucléaire. Il est engagé dans le dialogue avec la société, car l'IRSN a deux exigences : contribuer à un très haut niveau de sûreté, de sécurité et de radioprotection d'une part, et dans une logique de démocratie environnementale favoriser la participation des citoyens d'autre part. La relation que l'IRSN a tissée avec l'ANCCLI depuis 15 ans s'inscrit dans un objectif d'ouverture vers la société.

Le séminaire organisé en 2015 s'est intitulé « Environnement et santé », mais il a dans la pratique été essentiellement centré sur l'environnement. Il est apparu nécessaire de reprendre l'idée d'un séminaire plus particulièrement dédié à la santé qui est un thème avec des enjeux, qui suscitent des questions de la société civile et il est important de partager les questionnements et les connaissances sur le sujet. Ce séminaire a été co-construit par l'ANCCLI, des CLI, des représentants de la société civile et l'IRSN. L'Institut est particulièrement attentif à ce processus de co-construction, car il lui permet d'être attentif aux interrogations remontées de la société civile, qui alimentent ses propres interrogations et ses recherches. Ces dernières sont destinées à accroître les connaissances en sûreté nucléaire et en radioprotection, mais prioritairement à répondre aux questions que se posent les concitoyens. Un exemple de domaine où les connaissances sont à approfondir et où les interrogations sont nombreuses est le domaine des effets cumulés des polluants radioactifs et chimiques dans le domaine des faibles doses.

L'enjeu de ces échanges est la maîtrise des risques nucléaires, qui passe par une attention et une vigilance de tous les instants et qui n'est malheureusement jamais acquise. L'implication des parties prenantes contribue à cette vigilance permanente. Ce séminaire vise à mettre les connaissances de l'IRSN à la disposition des citoyens afin qu'ils se forment leur propre opinion sur ces risques.

# Session 1 : Radioactivité, à quoi suis-je exposé(e) ?

---

Comprendre les différentes sources et expositions à la radioactivité dans notre quotidien. Quels sont les différents types de radionucléides ? Quelles unités sont utilisées et qu'appelle-t-on la dose efficace ?

## *Tous exposés : tous différemment*

E. VIAL (IRSN)

*Les Français dans leur ensemble sont exposés en permanence à des rayonnements ionisants d'origines naturelle et artificielle.*

*La dose efficace reçue en moyenne par la population en France du fait de l'ensemble des expositions ci-dessus s'élève à 4,5 mSv/an, dont 2,9 mSv/an dus aux sources naturelles et 1,6 mSv/an dû aux sources artificielles. Dans la population française, les contributions des différentes sources d'exposition sont les suivantes : médical (35 %), radon (32 %), rayonnements telluriques (14 %), eaux et aliments (12 %), rayonnements cosmiques (7 %) et autres (moins de 1 %).*

*La variabilité de ces expositions et leur combinaison peuvent conduire à des situations d'exposition annuelle très différentes, en fonction notamment du lieu d'habitation, des habitudes de vie et de consommation alimentaire et des examens médicaux réalisés. L'exposition à ces sources de rayonnements ionisants est donc propre à chaque individu.*

*Aussi, l'IRSN a développé un outil internet avec comme objectif de permettre à chacun d'estimer au mieux son exposition individuelle aux rayonnements ionisants à partir d'un questionnaire. Ce questionnaire, anonyme, est basé sur un nombre réduit de questions abordant les principaux paramètres d'influence de l'exposition et les données correspondantes susceptibles d'être connues de façon individuelle. Cet outil est accessible sur le site internet de l'IRSN (<https://expop.irsn.fr/>).*

## *De l'exposition à la dose reçue*

P. BARBEY (ACRO)

*Les rayonnements ionisants sont des rayonnements particuliers ou électromagnétiques possédant une énergie associée ( $E > 10\text{eV}$ ) et sont émis par des appareils électriques générateurs de rayons X ou par des éléments radioactifs. Il existe différents types de rayonnements : alpha (qui concerne les gros noyaux), bêta (qui concerne les petits noyaux) et gamma. On distingue également les notions de période radioactive ( $T_p$  : temps au bout duquel la moitié des noyaux radioactifs ont disparu par décroissance physique), la période biologique ( $T_b$  : temps au bout duquel la moitié de la radioactivité a été éliminée d'un organe ou de l'organisme par processus physiologique) et la période effective ( $T_e$ ). Ces périodes caractérisent les différents isotopes d'un même élément. On distingue enfin différentes natures de « doses » : la dose absorbée (qui est la dose physique), la dose équivalente (qui prend en compte la nature du rayonnement) et la dose efficace (qui prend en compte la radiosensibilité des tissus).*

*Les modes d'exposition sont de deux ordres : l'irradiation externe et la contamination interne (par les voies inhalation, ingestion, transcutanée et cutanée). Pour se protéger des*

*expositions externes, les trois règles fondamentales à respecter sont le temps, la distance et les écrans. Pour se protéger des expositions internes, il faut travailler dans des installations adaptées, limiter et confiner le danger à la source, disposer des équipements de protection collective nécessaires et les utiliser à bon escient, les compléter par l'utilisation d'équipements de protection individuelle et enfin disposer sur site de moyens de contrôle adaptés.*

### *Temps d'échange avec la salle*

Une participante note que les rayonnements ionisants artificiels sont pris en compte à travers les actes médicaux, mais ne voit pas dans quelle mesure la proximité des centrales nucléaires ou des centres d'enfouissement est prise en compte dans le questionnaire.

Eric VIAL (IRSN) indique qu'au moment de l'élaboration du questionnaire, l'intégration de l'habitation à proximité d'une installation nucléaire s'est posée. Les études d'impact réalisées près des installations montrent que leur proximité se traduit par une exposition de l'ordre de la dizaine de  $\mu\text{Sv}$ . La contribution de cette source d'exposition existe, mais est suffisamment faible par rapport aux autres composantes majoritaires pour ne pas apparaître dans le questionnaire.

Élisabeth DEPEZEVILLE (médecin du travail) rappelle que le Becquerel (Bq) est une unité d'activité. L'unité Gray (Gy) est utilisée pour exprimer la *dose absorbée*, qui se mesure. La *dose équivalente* se calcule, car elle est multipliée par un facteur de pondération relatif à la nocivité des rayonnements ionisants. La *dose efficace* se calcule également avec des facteurs qualité liés aux tissus qui reçoivent une énergie. La *dose équivalente* et la *dose efficace* s'expriment en Sievert (Sv), une unité de nocivité pour l'homme. Ces précisions sont importantes à connaître pour comprendre les restitutions d'exposition.

G. REYNAUD (Ma Zone Contrôlée) indique que les salariés sous-traitants du nucléaire sont confrontés aux rayonnements alpha sur les sites ORANO et sur les sites EDF, en cas de rupture de gaines sur des assemblages combustibles. L'exploitant EDF n'applique toutefois pas les mêmes modalités de prévention des opérateurs. Alors que les salariés sous-traitants d'ORANO qui réalisent des activités de démantèlement sur des ateliers PU sont équipés de tenues ventilées et de masques avec adduction d'air respirable (MAR 95.3) protégeant les voies respiratoires au moment du déshabillage, ceux intervenant sur les sites EDF sont seulement protégés par une tenue Mururoa classique avec le risque au moment du déshabillage de mettre les particules radioactives en suspension dans l'air sans avoir les voies respiratoires protégées. La culture de ce risque spécifique et de son exposition n'est pas appréciée de la même manière par les exploitants EDF/ORANO.

Un(e) participant(e) demande si l'outil présenté par Eric VIAL (IRSN) donne la répartition des différentes contributions des sources d'émission et précise quel axe travailler pour réduire l'exposition.

Eric VIAL (IRSN) répond que l'outil ne fournit pas cette information à ce stade. Son objectif initial est de donner un ordre de grandeur de la dose efficace globale. Il note cette remarque.

Un(e) participant(e) constate qu'une fois de plus, l'industrie nucléaire déroge aux règles générales, car elle n'applique pas les principes de l'industrie chimique. L'industrie nucléaire ne peut pas empêcher les radiations, faute d'être en capacité de construire des barrières étanches : si les principes de l'industrie chimique devaient s'appliquer (supprimer le danger), il serait nécessaire de s'interroger sur d'autres solutions que l'énergie nucléaire.

Un(e) participant(e) précise que son association rassemble plus de 15 000 membres dans 65 pays. Sur la plage de Guarapari au Brésil, une zone de forte radioactivité naturelle (HBRA), on peut mesurer une radioactivité de 50  $\mu\text{Sv}$ /heure, bien supérieure à ce que l'on

peut trouver à l'intérieur des zones contrôlées de centrales nucléaires. Cette ville est réputée en Amérique du Sud pour ses bienfaits sur la santé, à cause de sa radioactivité naturelle. À Ramsar, une ville iranienne située au bord de la Mer Caspienne, il a rencontré un homme âgé dont le domicile est soumis à une radiation de plus de 100  $\mu\text{Sv}/\text{heure}$  et l'ancien lieu de travail jusqu'à 120  $\mu\text{Sv}/\text{heure}$ . Il consomme les produits de son potager. Ces chiffres interpellent, comparés à ceux qui posent question en France et sont cent à mille fois plus faible. Il semble pertinent d'étudier ces zones de forte radioactivité naturelle.

Ce(tte) participant(e) demande à Eric VIAL (IRSN) ce qu'il pense de ces HBRA (High Background Radiation Area) et si l'IRSN dispose de chiffres et d'études sur ces zones. Par ailleurs, le radon a-t-il des effets bénéfiques dans certaines zones de débit de dose : il a pu mesurer un rayonnement de 3  $\mu\text{Sv}/\text{heure}$  dans le centre-ville de la station thermale La Bourboule : Monsieur BARBEY (ACRO), un remboursement par des mutuelles pourrait-il être envisagé dans le cas de rayonnements bénéfiques à la santé ?

Eric VIAL (IRSN) confirme que certains endroits dans le monde sont plus exposants que l'environnement français et sont caractérisés par des débits de dose tellurique importants. Il n'a pas connaissance d'études particulières sur les populations qui y vivent.

Dominique LAURIER (IRSN) indique que certaines études épidémiologiques portent sur ces zones HBRA. Ces études ne remplissent pas à ce jour les critères suffisants de qualité, de durée de suivi, de reconstitution des expositions individuelles nécessaires pour mettre en évidence des effets associés à des expositions qui restent faibles. Elles sont en cours d'amélioration. La mesure d'un débit de dose à un endroit donné n'est pas suffisante : pour réaliser une étude épidémiologique, il est nécessaire : de reconstituer l'historique d'exposition des personnes, d'avoir un suivi sur le long terme et un enregistrement des pathologies.

Pierre BARBEY (ACRO) suppose que les personnes qui se rendent dans les stations thermales consomment un excellent vin rouge contenant des polyphénols ! La toxicité du radon ne fait pas débat aujourd'hui. Autrefois, tout reposait sur les mineurs d'uranium. Après la publication en 2005 de trois grandes études internationales sur les expositions domestiques au radon, les instances internationales ont proposé des valeurs abaissées du radon pour les habitations, reprises par la récente directive européenne.

Un(e) participant(e) demande quel est le niveau de Gray reçu par les personnes traitées en radiothérapie pour des cancers ?

Pierre BARBEY (ACRO) répond que les radiations reçues lors des examens diagnostics sont de l'ordre du mSv. Dans les examens thérapeutiques, les doses délivrées sont de l'ordre d'une ou plusieurs dizaines de Gray et visent à détruire des tissus ou des organes. Pour obtenir une destruction d'une tumeur, plusieurs séances peuvent être cumulées en quelques semaines.

Un(e) participant(e) indique que lorsqu'une unité est exprimée en J/kg, la dose reçue ne doit pas être proportionnelle à son poids. L'expression est celle d'un dépôt d'énergie dans un corps. Il faut éviter ce piège.

Un(e) participant(e) comprend que la dose efficace et la dose équivalente se calculent et que des coefficients jouent en fonction des organes. Il / elle demande comment ces coefficients ont été établis, car des suspicions existent à leur sujet. L'effet de ces sources de radiation sur l'organisme vivant reste flou. Rien ne semble plus inégal que la sensibilité individuelle à des expositions, des irradiations et des contaminations. Si certaines personnes ont vécu des années à proximité de sources de radon, Il(Elle) doute pour autant que l'on puisse affirmer que le radon est sans conséquence.

La Normandie sort de son Plan Régional Santé Environnement : dans le département de la Manche, l'exposition au radon est la troisième cause de mortalité au niveau pulmonaire.

G. REYNAUD (Ma Zone Contrôlée) cite l'étude épidémiologique consacrée aux travailleurs du nucléaire. Les données collectées ne concernent que les agents statutaires d'EDF et ORANO (ex-Areva), mais n'incluent pas les salariés sous-traitants, qui sont pourtant les plus exposés. Ils réalisent plus de 80 % de l'activité et sont également exposés aux produits chimiques. Certains salariés présentent aujourd'hui des pathologies probablement liées à leur exposition professionnelle. Cette étude est faussée.

Dominique LAURIER (IRSN) précise qu'une présentation détaillée de cette étude INWORKS est prévue le lendemain. En France, l'étude épidémiologique mise en place porte uniquement sur les statutaires. Pour démontrer une association entre l'exposition de ces travailleurs et un risque de cancer au cours de leur vie et après leur activité professionnelle, il est nécessaire de disposer de données de très bonne qualité, ce qui est le cas des fichiers administratifs et du suivi dosimétrique de ces travailleurs statutaires. L'INSERM a tenté de réaliser une étude épidémiologique sur les prestataires d'EDF publiée en 2009 : cette étude a montré que les données d'exposition de ces travailleurs, disponibles auprès de leurs employeurs, étaient problématiques et n'avaient permis que de travailler sur 50 % de l'effectif initialement ciblé. Depuis le milieu des années 90, le système SISERI enregistre automatiquement les informations individuelles et fournit des données de qualité suffisante pour permettre à l'avenir à l'IRSN d'intégrer les travailleurs sous-traitants aux études. Il est important que les médecins du travail fournissent les données les plus complètes possibles.

Un(e) participant(e) s'insurge contre l'exclusion des travailleurs sous-traitants d'EDF de ces études.

Un(e) participant(e) revient sur les facteurs de pondération. Si le  $W_r$  est bien connu, car lié à la nature du rayonnement, comment est mesuré le  $W_t$  et est-il bien connu ?

Élisabeth DEPEZEVILLE (médecin du travail) explique que ces informations émanent des recommandations de la CIPR.

Pierre BARBEY (ACRO) explique que le Sv n'est pas une unité de physique mesurée, car elle touche un tissu ou un organe. Le Gray exprime la dose absorbée, qui se mesure par l'intermédiaire de chambres d'ionisation. Pour connaître la dose biologique, il est nécessaire de passer par des facteurs de pondération des rayonnements (mesure du pouvoir destructeur des rayonnements, notamment liés à la densité d'ionisation créée sur leur parcours). Ces facteurs de pondération des rayonnements sont en cours de révision voire de correction. Le facteur est de 1 lorsqu'il s'agit de photons, de bêta ou d'électrons, il est de 20 pour les alpha, qui sont parmi les plus toxiques. Les facteurs de pondération pour les électrons Auger ne sont pas de 1, mais plutôt de 20, voire 80 selon certains radio-physiciens. Ces outils sont discutables.

Ensuite, le Sv est un indicateur de risque, au regard du risque stochastique (dans la descendance et dans les cancers radio-induits). On pondère en additionnant les doses reçues dans les différents tissus et organes pour obtenir un indicateur corps entier du risque (c'est la dose efficace exprimée en Sv). La pertinence de cet indicateur est là encore discutée mais reste pour le moment le seul retenu.

Un(e) participant(e) revient sur l'outil présenté par Eric VIAL. Le risque de cancer induit par le tabagisme ne semble pas pris en compte : il semble qu'il existe une correspondance de 20  $\mu$ Sv par cigarette fumée. Une scintigraphie se traduit par une dose de 20 mSv organisme entier.

Eric VIAL (IRSN) rappelle que l'outil n'a pas vocation à parler de cancer, mais de permettre à chacun d'estimer sa propre exposition. Le tabagisme par lui-même augmente le risque d'exposition du fait des radioéléments naturels contenus dans le tabac.

Un(e) participant(e) indique que Rolf Sievert était un radio-biologiste suédois qui a mené des études sur les cultures cellulaires et la résistance des cellules aux différents types de rayonnement, qui ont permis d'aboutir aux facteurs de pondération des



rayonnements, aujourd'hui en cours de révision. Le Sv traduit la nuisance biologique des rayonnements dans le domaine des faibles doses.

Concernant les enquêtes épidémiologiques, sa situation dosimétrique de fin de carrière a établi une dose de 7,75 mSv sur 40 années de carrière au CEA. Il a toutefois subi des poses de stents au cours de trois opérations, qui lui ont valu 350 mSv au niveau du cœur et 3 Gy à la peau. Les enquêtes épidémiologiques menées sur les travailleurs tiennent bien sûr compte de l'exposition professionnelle, mais doivent également tenir compte des doses reçues à l'occasion d'examens médicaux.

Il / elle indique que la CIPR a publié en janvier 2018 des éléments montrant que les coefficients de dose relatifs à l'inhalation de radon sont réévalués d'un facteur d'ordre 2. Le radon est le deuxième cancérigène pulmonaire en France sur le risque de cancer poumon. La nouvelle réglementation ajoutera l'obligation d'un diagnostic Radon supplémentaire dans la vente des maisons et appartements.

Mariette GERBER (experte scientifique) s'inquiète de l'apport en radionucléides des aliments et demande quelle est leur quantité dans les produits de la mer, recommandés pour un bon équilibre nutritionnel. Par ailleurs, lorsque l'on parle de risque de cancer, les études épidémiologiques doivent prendre en compte l'ensemble des autres facteurs (exposition au soleil, alimentation...), parfois dit de confusion, mais qui sont peut-être plutôt des risques d'addition ou de coaction.

Eric VIAL (IRSN) explique que l'outil se focalise sur les produits de la mer, car ces derniers concentrent davantage de radioéléments que les autres denrées alimentaires, notamment du Polonium 210 (émetteur alpha). L'exposition liée à l'incorporation de radioéléments d'une personne qui consomme beaucoup de produits de la mer est de l'ordre de 2 à 3 mSv. Cette exposition est à mettre en balance avec toutes les vertus culinaires et gustatives des produits de la mer.

Un(e) participant(e) se déclare gêné(e) par l'idée de banaliser la contamination subie par les travailleurs du nucléaire. Certains risquent leur vie au quotidien pour le confort des autres. Le 1<sup>er</sup> février 2013, un plongeur sous-traitant intervenant dans une piscine d'entreposage, lors de la manutention d'une pièce métallique massive, a été exposé à un quart de la dose réglementaire en quelques secondes. Il(Elle) invite chacun à faire preuve d'humanité pour ces personnes qui prennent des risques. Un agent a pris une forte dose de cobalt en 1988 sur le même type de mission. Celui-ci a développé une leucémie au bout de 10 ans. Passées ces 10 années, la réglementation a permis à EDF de ne pas assumer la responsabilité de sa contamination. Il semble que la fabrication de robot pour réaliser ce genre de manipulation soit trop onéreuse. Les dangers de la radioactivité ne sont pas maîtrisables et ne sont pas à l'abri de l'erreur humaine. Il (Elle) demande si humainement, on a le droit de soumettre des êtres humains à de tels risques ?

Un(e) participant(e) mentionne une étude de la CRIRAD publiée en 2017 réalisée sur le taux de contamination des champignons dans sa région et dans les Alpes, montrant que les effets de Tchernobyl sont toujours bien présents et que le taux de contamination reste considérable. La CRIRAD a également réalisé des prélèvements de terrains dans certains sentiers montagneux : la terre des sentiers de randonnée est également contaminée.

Un(e) participant(e) regrette que les bilans ne prennent pas toujours en compte l'environnement géographique et notamment la présence d'une centrale nucléaire à proximité. Une question a été soulevée voici quelques années lors d'un séminaire organisé à Valence sur l'impact des centrales nucléaires sur le milieu agricole et les aliments consommés, auquel s'ajoutent les retombées de Tchernobyl. La non-prise en compte de l'environnement géographique est un réel manque dans ces bilans.

Eric VIAL (IRSN) rappelle que l'outil distingue bien les différentes communes afin de pouvoir prendre en compte leurs caractéristiques géologiques et altimétriques. L'exposition aujourd'hui liée aux retombées de Tchernobyl est prise en compte dans le bilan de manière macroscopique (elle est estimée en moyenne à 10 µSv/an). Les études d'impact

réalisées en amont des autorisations de rejet accordées aux centrales nucléaires font état d'une dizaine à quelques dizaines de  $\mu\text{Sv}$  pour les groupes de référence près des installations. Moyennée sur la population française générale, la contribution de cette exposition est très inférieure à celle des autres contributeurs. L'IRSN n'a pas intégré la consommation de champignons issus d'une zone fortement marquée par les retombées de Tchernobyl. Il l'a fait pour les produits de la mer, car l'ensemble du littoral est concerné. La contamination des terres agricoles a été intégrée par la prise en compte de l'ingestion de denrées alimentaires contenant des radioéléments naturels. L'estimation de l'exposition liée aux denrées alimentaires prend en compte toutes les mesures réalisées sur le territoire intégrant aussi bien les radionucléides naturels et artificiels, sachant que la contribution de ces derniers est très faible par rapport aux premiers.

Jean-Christophe GARIEL (directeur de la santé à l'IRSN) précise qu'en 2016, l'IRSN a publié un rapport visant à faire le bilan des conséquences des retombées de Tchernobyl sur l'environnement français. Ce rapport qui présente des calculs de dose est accessible sur le site internet de l'Institut.

Un(e) participant(e) indique que l'étude réalisée par Madame Gazal, au titre de l'ANCCLI, dans le cadre du dossier de la DARPE à la centrale de Paluel a montré que les radioéléments ne sortent pas seuls, mais avec un cocktail de substances chimiques. Le radioélément ne vit pas seul dans la nature et s'accroche à d'autres éléments chimiques : les effets cocktails sont-ils étudiés ? Quelles sont leurs conséquences sur la santé ? Dans les nappes de chaleur sortant des centrales vivent des organismes susceptibles d'avoir des effets sur la chaîne alimentaire. Potentialisent-ils les irradiations ou les contaminations ? Voici 10 ans, Dieppe a été touchée par une « pandémie durable » de méningite touchant les jeunes de moins de 16 ans. L'opinion publique a spontanément incriminé la centrale. C'est aux CLI d'expliquer aux populations, ce qui est probable, possible ou encore faux. Les CLI sont soumises à de nombreuses questions et l'enjeu de transparence est important.

Jean-Marc BERTHO (IRSN) confirme que l'actuel système de radioprotection développé par la CIPR ne prend pas toujours en compte les effets cocktail de façon satisfaisante. Pour la CIPR, «  $1 \text{ Gy} + 1 \text{ Gy} = 2 \text{ Gy}$  », quelle que soit l'origine de l'énergie déposée dans le volume cible. Il reste une forte inconnue sur les contaminations internes : 1 Gy issu d'une contamination interne avec de l'uranium (alpha) a-t-il le même effet que 1 Gy issu d'une contamination interne avec du césium 137 (gamma). La contamination en dose absorbée équivalente ne donne probablement pas le même résultat.

Il existe davantage d'inconnus dans le cas de mélange de plusieurs radionucléides : a-t-il le même effet en contamination interne que la somme de chacun de leurs effets individuels ? Son équipe commence à développer des études dans ce sens.

Le problème devient prégnant dans le cas des contaminations chimiques. Les études de toxicologie chimique montrent qu'avec de faibles concentrations de polluants chimiques dans l'environnement, on constate des effets cocktails supra-additifs. Deux études européennes ont utilisé des mélanges de produits chimiques présents dans l'alimentation française et ont observé des effets biologiques nettement supérieurs à ceux attendus. Cela pose la question de la protection des populations face aux risques chimiques sur la base des EQS (standards de qualité environnementale). Si l'on mélange un élément chimique et un élément radiologique, l'effet induit est-il supra-additif ou simplement additif ? L'IRSN commence également à développer des projets de recherche pour répondre à cette question.

Un(e) participant(e) confirme la constatation d'effets de concentration de radionucléides dans la chaîne alimentaire dans la région de Tchernobyl : si l'analyse de l'eau ramenée par un pêcheur ne révèle pas de risque radiologique, le brochet pêché produit une dose de 2000 Bq/kg. Il est difficile d'additionner simplement les effets. Toujours dans la même région, sur une même branche de chêne, on peut avoir trois types de feuilles différents. L'observation de la biodiversité n'est pas suffisamment pointue. La dose

est un indicateur, mais ne peut pas être une base de décision. La mesure doit être utilisée avec prudence.

Un(e) participant(e) indique que chaque individu a une sensibilité différente de son voisin, en recevant exactement la même dose. Les dernières études montrent une variation interindividuelle aux irradiations (certains individus étant dix fois plus sensibles que leurs voisins en matière d'effets biologiques). Il est très important de savoir à quoi on est exposé, qui est exposé et comment il réagit à cet effet.

## Session 2 : Radioactivité, quels effets sur la santé ?

---

*Quels sont les effets aujourd'hui connus de la radioactivité sur la cellule et sur la santé. Quels sont les apports et les limites des études ? Quelle réglementation est appliquée ?*

*Tout commence au niveau cellulaire, mais ce n'est que le début*

C. LUCCIONI (CNAM)

*Effets cellulaires des rayonnements ionisants*

*La principale cible des rayonnements ionisants est l'ADN qui est le support de l'information génétique.*

*Les lésions induites par les rayonnements ionisants sont très diverses, il n'y a pas de lésion spécifique. Toutefois, les effets des rayonnements ionisants sont considérés comme principalement dus aux cassures des deux brins de l'ADN. Les dommages de l'ADN, qui ne peuvent être réparés complètement et parfaitement, entraînent soit la mort cellulaire, soit la survie de cellules avec un patrimoine génétique modifié (mutation). Ces conséquences au niveau cellulaire peuvent entraîner l'apparition d'effets déterministes ou stochastiques au niveau de l'organisme entier.*

*Pour une même dose, les dommages de l'ADN sont plus sévères et moins réparables si la densité des dépôts d'énergie à l'échelle microscopique est élevée ; la gestion des effets biologiques des rayonnements ionisants ne peut donc pas être basée sur la dose.*

*Divers effets, dits non ciblés sur l'ADN, ont été mis en évidence. Leur importance, qui semble plus élevée à faibles doses, reste à préciser.*

*Les effets cellulaires sont importants, mais de nombreux facteurs interviennent avant l'apparition d'effets sanitaires à l'échelle de l'organisme entier.*

*Radioactivité, recherche expérimentale et faibles doses : quels apports ?*

J.-M. BERTHO (IRSN)

*Cette présentation abordera des résultats récents dans le domaine de la recherche fondamentale sur les effets des faibles doses sur deux points particuliers. Le premier point abordera l'étude des signatures moléculaires dans les cancers radio-induits et la possibilité d'identifier les tumeurs d'origine radio-induite. Le second point abordera les incertitudes sur l'exposition aux faibles doses, en particulier en cas d'exposition chronique en situation post-accidentelle.*

*Temps d'échange avec la salle*

Un(e) participant(e) indique avoir étudié les effets des radicaux libres et du stress oxydatif sur le système cardiovasculaire et notamment sur la paroi vasculaire et sur le taux d'oxydes d'azote, qui protège contre l'athérome. Ses conclusions sur le modèle animal étaient inverses de celles présentées par Jean-Marc BERTHO. Dans le cas d'un excès de radicaux libres, on note une augmentation significative de la plaque d'athérome. II(Elle)

partage les conclusions présentées par Jean-Marc BERTHO : l'étude de la co-exposition et des effets de la potentialisation ouvre un champ d'avenir, où chacun dit coopérer avec ses propres moyens.

Jean-Marc BERTHO (IRSN) confirme que les effets sont différents selon la nature de l'agent agressant et également aussi en fonction de la dose. L'effet « positif » du césium sur la stabilité de la plaque d'athérome et sur la pression artérielle n'a été démontré qu'avec une dose définie de césium. Lorsque cette dose change, cet effet disparaît. Dès que la dose augmente, les effets linéaires apparaissent.

Élisabeth DEPEZEVILLE (médecin du travail) salue ces présentations, qui répondent aux interrogations des médecins de prévention. Lorsqu'ils suivent des salariés du nucléaire, permanents ou sous-traitants, les médecins du travail sont obsédés par l'exposition radiologique et tendent à oublier les risques chimiques, également présents dans l'entreprise et pour lesquels les mesures sont moins précises. Les mélanges ne sont pas non plus connus. La situation est identique à celle des interactions médicamenteuses sur l'organisation et la pathologie. Elle souhaiterait inviter Jean-Marc BERTHO à la journée des médecins du travail du nucléaire organisée le 1<sup>er</sup> juin.

Lorsqu'il a été question des faibles doses, de leurs effets sur la cellule et des marqueurs, les études ont été faites in vitro et non in vivo, alors que le tissu peut avoir des actions régulatrices et de transmission d'informations. Les souris ont moins de chromosomes que les humains, ce qui impacte leur taux d'identification d'anomalies et d'élimination.

Jean-Marc BERTHO (IRSN) confirme que les interactions médicamenteuses relèvent de la même problématique que celle des mélanges de polluants. Il favorise les modèles intégrés (animaux), car les modèles in vitro ne peuvent pas reproduire les circuits physiologiques existant dans un organisme vivant. Ils permettent simplement d'étudier des détails (ex. modalité d'apparition d'une mutation...), mais pas les systèmes. L'expérimentation animale est un passage obligé pour aboutir à des conclusions solides.

Pourquoi voit-on des effets de transmission de mutation à la descendance chez la souris et pas chez l'homme ? Chez l'homme, la molécule d'ADN comporte une grande proportion d'ADN inutile (non codant pour une protéine utile au fonctionnement de la cellule). Chez la souris, cette proportion d'ADN non codant est beaucoup plus faible. La probabilité qu'un rayonnement ionisant touche un gène utile chez les souris est plus élevée que chez l'homme. Par conséquent, la probabilité de constater la transmission d'une mutation à la descendance chez la souris est plus élevée que chez l'homme.

G. REYNAUD (Ma Zone Contrôlée) revient sur le suivi médical des travailleurs sous-traitants du nucléaire. Il travaille actuellement sur un site ORANO en catégorie B, et travaillait par le passé sur un site EDF en catégorie A. Le médecin du travail qu'il voit tous les deux ans lui fait faire une prise de sang et commente son taux de cholestérol, alors qu'il préférerait avoir des informations sur une éventuelle altération de sa santé liée aux opérations de démantèlement et de reconditionnement de déchets qu'il réalise. Il a compris dans la présentation de Catherine LUCCIONI qu'il existait des techniques permettant de détecter une altération de l'ADN. Pour la cohorte de salariés du nucléaire, permanents et sous-traitants (200 000 aujourd'hui), il serait intéressant de réaliser des analyses plus poussées sur les effets des rayonnements, qui par exemple pourraient être utilisées sur les personnes traitées par radiothérapie.

Un(e) participant(e) questionne comment les malformations d'enfants nés après l'accident de Tchernobyl sont imputables aux fortes doses reçues par ces derniers. Par ailleurs, on parle d'un seuil de 100mSv, mais il(elle) avait en mémoire un seuil de faible dose de 200 mGy pour aboutir à 20 mSv par an, dose fixée pour les travailleurs du nucléaire.

Un(e) participant(e) rappelle que l'amiante a permis d'identifier des cancers spécifiques (reconnus en tant que maladie professionnelle) et il(elle) a l'impression que cette

reconnaissance sera beaucoup plus difficile sur la radioactivité. Pour réaliser des statistiques à proximité des sites nucléaires, il est nécessaire de disposer d'outil. Il est scandaleux qu'en France, certains départements (dont l'Ain et le Rhône) n'aient pas de registres de cancer. Il semblerait que la France paye des indemnités à l'Europe à ce sujet.

Yves LHEUREUX (ANCCLI) rappelle qu'une table ronde abordera demain la surveillance sanitaire.

Un(e) participant(e) s'étonne de constater que le début de la courbe de survie cellulaire en fonction de la dose est très différent pour les très faibles doses.

Mariette GERBER (experte scientifique) indique avoir travaillé à l'ANSES en tant que médecin épidémiologiste. Catherine LUCCIONI a mentionné le cas d'une cassure double brin de l'ADN provoquant une mutation et le développement d'un effet cancérigène. Elle demande si, dans ses expérimentations, elle a testé l'effet de facteurs de croissance sur les cassures simples brins ou d'autres lésions moins importantes, sur l'évolution potentielle vers un cancer.

Jean-Marc BERTHO (IRSN) a parlé de la multiexposition : peut-on considérer les cas où la personne est soumise à des expositions successives à divers facteurs « de confusion », pouvant faire évoluer une première lésion bénigne vers un cancer ? Ces facteurs de confusion dédouanent-ils complètement l'exposition à la radioactivité ?

Un(e) participant(e) a compris que les rayons X de basse énergie sont plus nocifs que ceux de plus haute énergie. Pour les scanners, les recommandations pour les optimisations de doses chez les enfants, sont toujours de travailler avec les kilovolts les plus bas (70 à 80). À dose identique, ne faudrait-il pas alors plutôt privilégier les kilovolts élevés tant que le contraste reste suffisant ?

Catherine LUCCIONI (CNAM) propose à Dominique LAURIER d'apporter une réponse sur le seuil de significativité passé de 200 à 100 mSv. Il était de 500 mSv dans les années 60. La puissance statistique des études permet aujourd'hui d'obtenir des résultats statistiquement significatifs pour des doses inférieures.

Jean-Marc BERTHO (IRSN) explique n'avoir fait que proposer une convention de langage, pour que chacun sache de quelle gamme de doses il parlait dans son exposé. Cette convention n'a rien à voir avec la réglementation, les études épidémiologiques ou une quelconque limite de dose.

Catherine LUCCIONI (CNAM) confirme que l'amiante provoque des cancers spécifiques, comme les UV ne provoquent que des tumeurs cutanées via des pontages spécifiques sur l'ADN, en lien avec leur pouvoir de pénétration. De fait, la présomption de causalité est forte. Les rayonnements ionisants augmentent tous les cancers, à des sensibilités différentes. Cette différente sensibilité est reflétée dans le coefficient de pondération utilisé pour calculer la dose efficace, qui ne peut être utilisée que pour les effets stochastiques. Le coefficient reflète le risque de développer un effet stochastique pour tel ou tel organe (ex. 5 % pour la thyroïde). Il n'existe pas de cancer « signature » associé à une exposition. La diversité des lésions sur l'ADN (cassures, modifications de bases, pontages...) diminue fortement la probabilité d'avoir une réelle signature.

Dans la mesure où les cassures double-brin sont les lésions les plus difficilement réparables, on considère que les effets nocifs des rayonnements ionisants sont dus à ces lésions. Une cassure double-brin peut se réparer et une mauvaise réparation de cassure double brin ne signifie pas nécessairement qu'un cancer va se développer.

Concernant la physique médicale, les rayons X (bêta du tritium) de faible énergie sont plutôt utilisés pour la mammographie. Ainsi, le tritium donne à peine 20 keV alors que le <sup>60</sup>Co donne 1 300 keV. Les X à faible énergie ont tendance à déposer très localement leur énergie et produisent des zones avec une forte densité, donc des dommages plus importants. Le tritium est deux à trois fois plus nocif que les électrons, plus énergétiques.

Pierre BARBEY (ACRO) ajoute que lorsqu'on parle de facteur de pondération, on raisonne sur des X dans l'énergie du  $^{60}\text{Co}$ , la référence retenue après Hiroshima et Nagasaki, et qui se situent dans l'unité du MeV. La physique médicale utilise des rayons X de quelques dizaines de keV. Le fait de passer de 80 à 60 keV ne modifie pas le facteur de pondération, mais joue sur la dose. En diminuant le courant par deux, on divise la dose par deux. Si on diminue la tension par deux, la dose est divisée par quatre. Il est donc très pertinent de passer de 80 à 60 keV.

Jean-Marc BERTHO (IRSN) rappelle que l'apparition d'une tumeur n'est pas un évènement unifactoriel. Le dommage initial existe, mais ne suffit pas pour provoquer l'apparition d'une tumeur, sauf à tomber dans une région précise de l'ADN. Il est nécessaire d'avoir une série d'autres évènements pour constater l'apparition d'une tumeur. Le mécanisme de la réponse adaptative a été clairement démontré in vitro : lorsqu'on envoie une petite dose d'irradiation sur les cellules suivie ensuite d'une forte dose d'irradiation, les cellules réparent mieux leur ADN. C'est là toute la problématique des faibles doses : elles ne donnent pas de réponse linéaire constante.

Plusieurs études sérieuses, réalisées sur les registres de naissances, ont confirmé l'existence de malformations fœtales au cours du développement à la suite de l'exposition à l'accident de Tchernobyl. La première étude a porté sur la trisomie 21 et la seconde sur les malformations du tube neural, facilement repérables à la naissance et notifiées dans les registres. La première a démontré une constance dans la fréquence des trisomies 21 en Ukraine et Biélorussie, sauf au mois de janvier 1987, exactement 9 mois après l'accident de Tchernobyl, où on a pu constater un doublement de la fréquence des trisomies 21. La fréquence est ensuite revenue à la normale en février 1987. Il existe une forte présomption pour dire que ces trisomies 21 constatées en janvier 1987 ont été induites par l'exposition au nuage de Tchernobyl, mais on ne dispose d'aucune mesure de l'exposition à la radioactivité dans le corps des mères. On ne peut donc pas faire de lien direct entre l'exposition et ce doublement des fréquences de trisomies 21. En tant que scientifique, il considère que cette corrélation statistique est significative et importante, mais n'a pas suffisamment été prise en compte. La seconde étude, menée dans le Nord de l'Ukraine, a montré que les malformations congénitales étaient plus importantes chez les personnes vivant sur un territoire fortement contaminé.

## *Radioactivité, études épidémiologiques sur les populations : apports et limites*

D. LAURIER (IRSN)

*La présentation introduira la méthodologie et les objectifs de l'approche épidémiologique, en précisant les limites de ces études dans le domaine des faibles doses. Elle illustrera les principaux résultats acquis sur la caractérisation des effets des expositions à de faibles doses de rayonnements ionisants, en se basant en particulier sur l'étude des survivants des bombardements atomiques de Hiroshima et Nagasaki, et sur quelques autres études épidémiologiques majeures.*

*Grâce à ces études épidémiologiques, on peut dire dans le cas des leucémies et des cancers (sein, poumon, thyroïde...) que le risque lié à l'exposition aux rayonnements ionisants a été démontré, que le risque de cancers solides et de leucémies augmente avec la dose, que la latence d'apparition va de quelques années (leucémies, thyroïde) à plusieurs dizaines d'années (cancers solides), que le risque par unité de dose diminue avec l'âge à l'exposition et avec l'âge atteint ou le délai depuis l'exposition. Enfin, il n'existe pas d'évidence d'un seuil ni d'effet démontré en dessous de 100 mSv. Dans les pathologies non cancéreuses, les études permettent de conclure que l'exposition aux rayonnements ionisants in utero est à l'origine de retards mentaux et de malformations congénitales. L'exposition augmente la mortalité non liée*

à un cancer, en particulier cardio-vasculaire et qu'aucun effet héréditaire n'a été observé.

### *Temps d'échange avec la salle*

Yves LHEUREUX (ANCCLI) rappelle qu'en 2012, l'IRSN avait consacré une journée entière à la présentation de résultats épidémiologique. Il semblerait pertinent de réitérer cette initiative en 2019.

Un(e) participant(e) note que les études épidémiologiques interviennent sur un périmètre spatial délimité. Les rejets gazeux des cheminées des installations nucléaires ne sont pas tous de la même ampleur. Ils sont par exemple plus importants lors des arrêts de tranches. Les conditions météorologiques orientent également les rejets vers certaines zones. Les études épidémiologiques pourraient-elles descendre à une échelle plus fine permettant de compartimenter le territoire en petites zones, car certaines populations vivant autour des centrales reçoivent plus d'effluents que d'autres.

Un(e) participant(e) interroge Dominique LAURIER sur ce qu'il pense de la fréquence des très faibles doses.

Un(e) participant(e) ne se déclare pas convaincu par le second exposé, qui retombe dans les travers de l'imputabilité. Certains scientifiques confirment l'existence d'un problème, qui passe ensuite à la moulinette de la santé publique et conclut à l'inexistence d'un risque. Les nouvelles installations sont néanmoins envisagées dans des zones faiblement peuplées... L'industrie nucléaire se contredit, avec d'un côté un savoir amenant à considérer que l'on ne peut pas conclure malgré l'existence d'éléments scientifiques solides, et de l'autre le scandale des éléments CMR (cancérogènes, mutagènes et reprotoxiques). Le (la) participante connaît d'anciens salariés du nucléaire dont les enfants de 14 ans sont cardiaques ! La réponse qu'il entend régulièrement est que cela peut être dû au hasard ou à d'autres facteurs mais qu'il est peu probable que ces pathologies puissent être attribuables aux rayonnements ionisants.

Les écologistes ont mené un combat de 25 ans pour faire reconnaître l'effet de la pollution atmosphérique sur la mortalité. L'évolution sémantique a enfin amené à privilégier les faits scientifiques par rapport au savoir statistique. Les enquêtes de cohortes chinoises sont plus puissantes que les enquêtes européennes : si la France veut développer un savoir de santé publique efficace, il est peut-être nécessaire de changer les outils statistiques et de se pencher sur les suivis individuels.

À titre d'exemple, on affirme qu'il n'existe pas au plan statistique de problèmes de légionellose dans les centrales nucléaires, alors que les exemples issus du terrain sont nombreux.

Yves LHEUREUX (ANCCLI) indique que ce questionnement sera abordé dans la table ronde

Dominique LAURIER (IRSN) indique qu'une réponse sera apportée le lendemain lors d'une présentation par l'INSERM sur la prise en compte de l'hétérogénéité des paramètres autour des installations nucléaires dans le risque de leucémies infantiles.

Les résultats issus des études menées sur les populations après Tchernobyl, les travailleurs de l'industrie nucléaire et les populations vivant dans des zones de radioactivité naturelle élevée, permettent aujourd'hui d'extrapoler les risques aux très faibles doses, en faisant l'hypothèse que la relation entre la dose et les risques est connue. Dans l'état actuel des connaissances, il lui semble difficile d'obtenir aujourd'hui des résultats épidémiologiques sur l'exposition aux très faibles doses : un épidémiologiste ne peut pas identifier le risque associé à 1 mSv. Si une signature biologique d'un effet radio-induit était mise en évidence sans attendre la pathologie, ce lien pourrait être établi.



Dominique Laurier (IRSN) précise que lorsqu'il parle d'effets de faible dose à 100 mSv, il fait référence aux expositions cumulées vécues par les travailleurs, les liquidateurs depuis leur intervention en zone contaminée. Ce cumul de 100 mSv peut être également atteint via l'exposition à une radioactivité naturelle de 2 mSv pendant 50 ans. Les 100mSv s'inscrivent bien dans le domaine des faibles doses.

### *Populations et travailleurs : quelle réglementation et d'où vient-elle ?*

J.-L. GODET (ASN)

*La législation nationale sur l'élaboration de la doctrine et des normes de base en radioprotection résulte de nombreuses discussions d'instances internationales et nationales. La réglementation doit se positionner comme un outil de gestion du risque. Le risque est géré sur la base de la relation linéaire sans seuil : on considère qu'il existe un risque dès la première fraction de  $\mu$ Sv.*

*Concernant la situation d'exposition créée par l'exercice d'une activité nucléaire, les trois grands principes de radioprotection appliqués sont :*

- *la justification (ex. : mise à jour du régime d'interdiction d'addition intentionnelle) ;*
- *l'optimisation (ex. : contraintes de doses pour la protection du public) ;*
- *la limitation : la limite de dose efficace elle est fixée pour les travailleurs hors situation d'urgence à 20 mSv/an pour l'organisme entier, 500 mSv/an pour les extrémités et la peau et 20 mSv/an pour le cristallin (la limite de dose équivalente) et pour le public à 1 mSv/an (50 mSv/an pour la peau et 15 mSv/an pour le cristallin).*

*Plusieurs principes sont également posés concernant les situations d'urgence, les situations d'exposition durable et d'exposition aux RI d'origine naturelle (CSP).*

*Le nouveau cadre législatif et réglementaire (CSP, CT), après la transposition de la directive 2013/59/Euratom a été entièrement mis à jour dans son écriture, mais les principes et les règles générales demeurent. Ses principales innovations sont une déclinaison plus opérationnelle du principe de justification, un abaissement de la limite pour le cristallin et enfin l'utilisation des niveaux de référence pour la gestion des situations d'urgence, des situations d'exposition durable et d'exposition aux RI naturels.*

### *Temps d'échange avec la salle*

Un(e) participant(e) regrette que Jean-Luc GODET n'ait pas précisé la composition de la CIPR, ni les modalités de leur nomination, qui restent obscures. Il(Elle) souhaite également savoir qui sont les représentants français siégeant à Euratom et regrette que ces derniers ne viennent pas expliquer leurs votes devant les CLI. La transparence dans le milieu nucléaire a encore des progrès à faire.

Élisabeth DEPEZEVILLE (médecin du travail) s'étonne de l'absence d'évolution réglementaire concernant l'exposition de la femme enceinte. L'embryon et le fœtus, les plus radiosensibles, ont droit à la même exposition que l'adulte (1 mSv/an). Les médecins du travail appliquent à la lettre le principe de précaution et excluent les femmes enceintes de l'exposition, tout comme pour les risques chimiques. Elle regrette que les dispositions réglementaires ne protègent pas mieux les fœtus.

G. REYNAUD (Ma Zone Contrôlée) signale que le ministre des Armées Hervé MORIN a fait reconnaître, par décret en Conseil d'État, 26 cancers supplémentaires (concernant

notamment les militaires ayant participé aux essais nucléaires). Seuls 9 cancers figurent dans le tableau 6 des maladies professionnelles des salariés exposés aux rayonnements ionisants. L'IRSN et l'ASN sont-ils moteurs pour faire évoluer ce tableau ?

Un(e) participant(e) explique qu'au moment de son élaboration en 1946, le tableau des maladies professionnelles du Code de Sécurité sociale s'est basé sur la connaissance de quelques maladies radio-induites, d'une cause possible de la radioactivité, sans connaître le chemin de l'un à l'autre. L'idée était donc de dire que si un travailleur avait été exposé de façon vérifiable aux rayonnements ionisants et que la maladie déclarée figurait sur un tableau, alors elle était reconnue comme maladie professionnelle. L'exposition des vétérans aux essais nucléaires n'a rien de professionnelle, mais elle est accidentelle. L'idée a donc été de se baser sur la liste de maladies dans lesquelles l'excès de risque relatif était suffisamment élevé pour dire qu'elles étaient probablement radio-induites. Le raisonnement est différent. Parmi les personnes qui ont déposé un dossier, certaines ont bénéficié d'une reconnaissance de maladie professionnelle, d'autres ne sont reconnues que par une procédure cherchant un lien possible entre l'accident lié aux essais nucléaires et leur maladie.

Un(e) participant(e) demande comment est effectuée la dosimétrie réglementaire du cristallin.

Jean-Luc GODET (ASN) répond aux différentes questions. La CIPR et une association séculaire qui renouvelle périodiquement ses membres et fait appel aux meilleurs experts. Elle ne fonctionne pas sur le principe d'un appel public comme l'ASN peut le faire dans le cadre de ses groupes d'experts. Il est lui-même expert Euratom : la Commission européenne a obtenu l'accord de ses experts afin qu'elle publie la liste des experts nationaux. Il intervient aujourd'hui devant les CLI en tant qu'expert Euratom.

Concernant l'exposition de la femme enceinte et des fœtus, les réglementations peuvent évoluer sur la base de nouvelles données épidémiologiques. Ceci a été le cas pour l'abaissement des valeurs limites pour le cristallin. L'ASN n'a aucune compétence en médecine du travail et n'a qu'un rôle de contrôle, d'information du public et d'inspection du travail sur les sites EDF.

# Table ronde : « Santé et radioactivité : certitudes et controverses »

---

Animation par E. ALLAIN (IFFO-RME)

Introduction par M. GERBER

Avec la participation de : E. VIAL (IRSN), P. BARBEY (ACRO), C. LUCCIONI (CNAM), J.-M. BERTHO (IRSN), D.LAURIER (IRSN) et J.-L. GODET (ASN)

Il est rappelé que plus qu'une table ronde, c'est un espace de dialogue auquel participent tous les intervenants de la journée, ayant eu au cours de la journée l'occasion d'approfondir un certain nombre de sujets, ce temps doit permettre l'expression des questions qui se posent encore, préciser le cas échéant l'état des connaissances, rappeler les limites de ce savoir et échanger sur ce qui fait aujourd'hui débat.

Mariette GERBER (experte scientifique) souhaite soulever deux points de réflexion. Tout d'abord, elle s'étonne de la modestie de l'IRSN face aux résultats de l'excellente étude INWORKS. Par son ampleur, elle a permis d'observer que la moitié des leucémies myéloïdes observées apparaissaient chez des travailleurs exposés à guère plus de 5 mSv accumulés de manière hétérogène pendant 10 ans. Cette observation semble importante pour étayer l'effet des faibles doses. Dans son article sur les tumeurs solides, Richardson invite à revoir les limites de radioprotection.

La NAGRA est chargée en Suisse de la gestion des dépôts de déchets en couches géologiques profondes. Un décret de l'IFSN (équivalent de l'IRSN suisse) recommande que la population vivant autour du déchet géologique ne soit pas exposée à plus de 0,1 mSv sur le long terme. Le décret prend en compte une multi exposition de radioactivité (naturelle, médicale) : ces normes seront-elles envisagées du point de vue européen ou international ?

Dominique LAURIER (IRSN) confirme que l'étude INWORKS sur les travailleurs anglais, français et américains de l'industrie nucléaire est un résultat majeur des dernières années et contribue à améliorer la connaissance des effets des faibles doses. Une présentation y sera dédiée demain. Cette étude apporte des éléments scientifiques directement pertinents pour le système de radioprotection et donne des éléments de contexte et de comparaison les plus pertinents possible au regard des hypothèses du système de radioprotection. Le système de radioprotection est basé sur les risques observés chez les survivants des bombardements d'Hiroshima et de Nagasaki après une exposition flash à des niveaux de dose importants, INWORKS suggère qu'ils sont applicables dans l'extrapolation aux faibles doses ou aux risques chroniques.

Le système de radioprotection applique un coefficient de réduction de l'effet aux faibles doses et débits de dose DDREF (*dose and dose-rate effectiveness factor*), qui divise par deux le risque directement dérivé des survivants des bombardements d'Hiroshima et de Nagasaki et qui n'est pas cohérent avec les résultats d'INWORKS. En effet, cette étude démontre bien des résultats similaires à ceux constatés chez les survivants des bombardements d'Hiroshima et de Nagasaki. Ces résultats contribuent à la discussion sur les systèmes de radioprotection.

Un(e) participant(e) déplore ces discours techniques tenus devant des citoyens qui s'inquiètent de la situation actuelle des travailleurs du nucléaire et des populations vivant autour des installations nucléaires. Il (elle) a bien compris qu'il existait des incertitudes liées aux études, mais rappelle également l'existence de certitudes, comme celles liées au droit du travail. Ainsi, la présentation de Jean-Luc GODET ne mentionne pas la suppression des CHSCT, qui ne semble pas poser de problème à qui que ce soit.

Comment ces travailleurs seront-ils suivis et protégés ? Jean-Luc GODET n'a pas non plus parlé de l'organisation du travail ni de la sous-traitance, qui permet de diluer les responsabilités. EDF sous-traite son activité nucléaire pour faire disparaître des risques. Il est très difficile de suivre médicalement ces nomades du nucléaire ! L'étude INWORKS a été réalisée auprès de 308 000 travailleurs : combien en faut-il pour établir une relation statistique entre les risques du nucléaire et la santé des travailleurs. Quand allons-nous sortir de la technique et parler de l'humain ? Ce(tte) intervenant(e) cite certains documents de l'ASN montrant sa difficulté à faire appliquer la réglementation sur le terrain.

Évelyne ALLAIN (IFFO-RME) suggère à l'IRSN et l'ANCCLI d'organiser une réunion spécifique à la situation des travailleurs sous-traitants du nucléaire.

Un(e) participant(e) note qu'il est beaucoup question de doses instantanées ou mesurées sur un an voire sur une vie. Selon la manière dont la dose est délivrée, l'impact sur la santé est différent, car le corps répare un certain nombre de défauts au cours du temps. Dominique LAURIER peut-il aborder la question de l'étalement des doses et de l'intensité du danger en fonction de cet étalement ?

Dominique LAURIER (IRSN) indique que l'étude INWORKS, qui inclut 300 000 personnes, change la donne et amène des résultats pertinents. Une dose cumulée tout au long de la vie professionnelle entraîne un risque finalement assez semblable à celui observé chez les survivants de Hiroshima et Nagasaki ayant subi une exposition flash de forte intensité.

L'incertitude fait partie de l'humain et de l'expression du risque : les effets stochastiques s'observent au sein d'une population. Aujourd'hui, la science n'est pas en mesure de savoir quelles personnes développeront une maladie au sein d'un groupe exposé. En refusant les interprétations statistiques et les incertitudes, on refuse de constater l'expression du risque. Les 300 000 personnes suivies sur 30 ans au sein de l'étude INWORKS permettent de déterminer la fréquence réelle des cancers observés et comment ils se classent en fonction des doses reçues.

Pierre BARBEY (ACRO) souhaite exprimer le point de vue de l'ACRO sur le sujet. L'ACRO estime que les limites réglementaires des expositions qui vont paraître dans la prochaine réglementation sont totalement inadaptées, car elles reposent sur des connaissances scientifiques datant du milieu des années 80 et qui ont inspiré la CIPR 60 (publiée en 1990). Ces limites auraient dû être abaissées au regard des connaissances scientifiques plus récentes dans le domaine de la radiobiologie. Auparavant, les ruptures double-brin d'ADN ne pouvaient être estimées qu'à des doses du niveau du Gy : les technologies modernes permettent désormais de les détecter au niveau du mGy. On constate que les mécanismes de réparation s'expriment beaucoup moins fréquemment dans ces faibles niveaux d'exposition.

Dans le domaine de l'épidémiologie, d'autres études qu'INWORKS existent. Une étude récemment parue dans le British Journal of Cancer a porté sur une population de jeunes taïwanais exposés à des émissions de  $^{60}\text{Co}$  dues à l'introduction d'une source dans les matériaux de construction. 10 ans plus tard, le niveau de cancers (tous confondus) est significativement augmenté, notamment les cancers du sein. À l'aune de telles études, la directive européenne aurait dû revoir ces niveaux d'exposition inadmissibles.

La situation de la femme enceinte a fait l'objet d'un débat au ministère du Travail : les organisations de salariés ont demandé à ce qu'il n'y ait aucune exposition pendant la grossesse, mais ont été combattues par les organisations patronales, notamment du secteur libéral et de la radiologie. Le gouvernement a choisi de s'en tenir à la directive européenne (1 mSv).

La dernière révision du tableau n°6 des maladies professionnelles date de 1984. Là encore, il est nécessaire de revoir cet outil qui n'est pas adapté.

Comment est-il possible de recevoir une dose de 1 mSv et dans le même temps subir 50 mSv au niveau de la peau ? Le seuil de 1 mSv (valeur limite pour le corps entier) est

estimé à une dose en profondeur de 10 mm sous la surface de la peau. Si une personne est exposée à un rejet massif de krypton-85 qui émet des rayonnements bêta, la dose est uniquement à la peau. La dose aux extrémités est estimée de la même manière que la dose à la peau. Enfin, la dose pour le cristallin est estimée à une profondeur de 3 mm, avec un outil adapté

Un(e) participant(e) annonce avoir travaillé 30 ans dans le nucléaire et être en retraite depuis 5 ans. Les travailleurs bénéficiaient de la même surveillance que ceux issus de la sous-traitance. Les sous-traitants avaient un carnet pour compter leurs doses. Lorsqu'ils l'atteignaient, leur entreprise les faisait changer de centrale. Ensuite, EDF a entré les données informatiquement et a pu les surveiller. Lorsqu'ils atteignaient la dose limite, ils cachaient donc leurs rads et allaient travailler sans leur appareil de mesure. Ces personnes sont nomades, gagnent davantage que les salariés permanents, mais jouaient avec leur santé. S'ils refusaient, ils perdaient leur travail.

Un(e) participant(e) attend toujours une réponse relative à l'imputabilité. Aujourd'hui, il existe des indicateurs de pollution atmosphérique compris par l'ensemble de la population et qui ont amené à changer les pratiques. La France se dirige-t-elle vers la mise en place d'indicateurs clairs permettant à la population de considérer que la radiotoxicité est effective et entraîne des conséquences sanitaires graves et des morts différées. Il ne faut plus minorer les problématiques : ce qui a été acquis dans un domaine de la santé publique et qui est vecteur de politiques audacieuses dans le sens du bien commun pourrait-il être mis en œuvre par rapport aux différents usages du nucléaire ? Il est nécessaire de communiquer sur des éléments clairs et de ne plus se cacher derrière des arguties scientifiques à l'heure du débat public sur la programmation pluriannuelle de l'énergie. Si ces aspects sanitaires ne sont pas pris en compte, notre pays ne sera pas en capacité de faire de choix pour l'avenir dans le respect de tous.

Jean-Luc GODET (ASN) revient sur l'exemple de la Suisse. Les textes à venir permettront aux autorités ou à l'exploitant de fixer des « contraintes de dose », liées à une source d'exposition ou à une installation spécifique, et inférieures à la limite annuelle de 1 mSv. Ce nouvel outil pourra être utilisé au cas par cas.

Le GPRAD, groupe d'experts en radioprotection de l'ASN, a identifié quelles installations pourraient être concernées par ce nouvel outil. Le GPRAD estime qu'il n'est pas utile pour les installations nucléaires, dont les doses sont basses en fonctionnement normal, et que dans leur cas il est préférable de faire appliquer par l'exploitant les meilleures technologies disponibles. Le GPRAD estime que cet outil serait utile dans les industries utilisant des matières contenant des radionucléides naturels. Il faudra voir à l'usage comment les contraintes de dose seront utilisées en France.

La directive Euratom fixe des exigences minimales (20 mSv/an pour les travailleurs), que les gouvernements peuvent adapter sur la base de publications scientifiques et d'un consensus d'experts.

Mariette GERBER (experte scientifique) ne comprend pas la logique de la contrainte de dose. Les populations voisines d'une installation nucléaire sont sensibles de la même manière. Pourquoi ne pas imposer une règle demandant la fixation d'un niveau inférieur ?

Catherine LUCCIONI (CNAM) explique que les contraintes de dose sont un outil d'optimisation (et d'abaissement) des taux d'exposition. La limite à 1 mSv est toutes sources confondues de rayonnement, alors que la contrainte de dose concerne une installation.

Un(e) participant(e) estime que cela permet de passer un incident sous silence.

Catherine LUCCIONI (CNAM) rappelle que l'exposition des travailleurs français est faible. Si l'on fixe une contrainte de dose largement supérieure au niveau d'exposition des populations, elle ne permet pas d'abaisser les niveaux d'exposition dans une démarche d'optimisation.

Un(e) participant(e) indique avoir pris connaissance voici dix ans des travaux de Rosa GONCHAROVA, une généticienne biélorusse. Le Professeur GOURMELON les avaient négligés en estimant que les protocoles utilisés n'étaient pas recevables. Des progrès ont-ils été réalisés sur les protocoles utilisés par cette scientifique ?

Jean-Marc BERTHO (IRSN) ne connaît pas les travaux de cette personne. Une équipe de l'Institut de radiobiologie de Gomel travaille sur un modèle très similaire à celui qu'utilise l'IRSN, mais capture des animaux dans des zones plus ou moins contaminées. L'équipe ne contrôle pas l'exposition des animaux, mais leur exposition est réaliste ( $^{137}\text{Cs}$ , autres radionucléides, irradiation externe...). Sa propre équipe contrôle très précisément l'exposition, travaille avec une concentration donnée d'un radionucléide dans l'eau de boisson et mesure ensuite les contaminations. Les effets biologiques observés par les deux équipes sont concordants, et toutes deux s'interrogent sur les mélanges d'exposition aux éléments radiologiques et chimiques.

Un(e) participant(e) estime que l'unité du mSv est difficile à appréhender, s'agissant d'une mesure d'impact. Il est question de le modifier : quelle variation pourrait être apportée à cette unité ?

Jean-Marc BERTHO (IRSN) explique que c'est la correspondance entre le Gray et le Sievert qui pourrait changer. Il invite les participants à comparer la radioactivité à un boxeur. Le Becquerel correspond au coup de poing envoyé par le boxeur (l'énergie cinétique de la particule). Lorsque le coup de poing touche le visage de l'adversaire, on obtient un transfert d'énergie, mesuré en Gray, dont la quantité dépend de la nature de la particule. Le Sievert correspond à la taille de l'hématome sur la joue de l'adversaire. Le passage du transfert d'énergie (Gy) à l'effet biologique (Sv) est fortement dépendant de la taille et de la cinétique du poing (Bq). L'effet biologique dépend de l'énergie déposée et de la manière dont elle est déposée. Les facteurs de qualité du rayonnement et du tissu sont susceptibles d'évoluer en fonction des connaissances.

G. REYNAUD (Ma Zone Contrôlée) réagit aux propos d'un participant qui est précédemment intervenu. Il assure que les salariés ne cachent plus leur dosimètre pour aller travailler, car ils ont bénéficié de formation et ont conscience des conséquences des rayonnements sur la santé. L'état d'esprit des responsables a également évolué. Depuis l'accident de Fukushima, les facteurs sociaux, organisationnels et humains ont été mis en évidence. Les entreprises sous-traitantes du nucléaire évoluent dans une véritable jungle économique (conventions collectives inadaptées au métier...) et font le bonheur des donneurs d'ordre. Lorsque l'ASN et l'IRSN participent aux diverses auditions officielles à l'Assemblée nationale-OPECST, il les invite vivement à souligner ce *dumping* social dans leurs rapports, qui fait faire à la France une industrie nucléaire *low cost*. Leur intervention aurait du poids et aurait une chance d'être prise en compte par le législateur.

Jean-Marc BERTHO (IRSN) rappelle que l'IRSN a mis en place un système d'enregistrement des doses (SISERI) qui devrait permettre de suivre l'exposition des travailleurs du nucléaire, sous-traitants ou permanents. L'IRSN ne peut rien faire contre les comportements de dissimulation de dose ou de pression de l'employeur pour ne pas les déclarer, sauf à faire davantage de contrôles. Il semble indispensable de mieux sensibiliser tous les intervenants à tous les niveaux de responsabilité.

Un(e) participant(e) indique que faire appel au moins-disant social n'améliore pas la sécurité et la sûreté des installations.

Jean-Marc BERTHO (IRSN) confirme que ce critère de choix n'est pas suffisant.

Dominique LAURIER (IRSN) explique que la non-intégration des sous-traitants dans les études épidémiologiques ne signifie pas que leurs résultats ne sont pas pertinents pour cette population. Ces études fournissent des résultats sur la relation dose/risque sur une population dont la qualité de reconstruction et de suivi des doses et des causes de décès est très bonne. Ces résultats peuvent être appliqués au niveau de doses des sous-traitants et permettre d'estimer leurs risques. Il espère que SISERI fournira la qualité d'information

suffisante pour intégrer ces travailleurs. Aujourd'hui, la qualité de la reconstitution des doses reçues par les travailleurs sous-traitants depuis les années 50 n'est pas suffisante. L'épidémiologie ne protège pas les travailleurs, mais permet d'objectiver leurs risques.

Jean-Luc GODET (ASN) rappelle assister à ce séminaire afin d'intervenir sur les normes et la réglementation, et non sur la sûreté nucléaire. Il est lui-même en charge de l'application du contrôle des rayonnements ionisants et n'est pas le bon interlocuteur en matière de sûreté ou de contrôle des prestataires. Il ne peut donc pas prendre d'engagements au nom de l'ASN sur les questions, légitimes, soulevées. L'ASN et l'IRSN sont très transparentes : l'ASN publie leurs rapports de suite d'inspection, y compris sur la sous-traitance et l'IRSN publie ses expertises.

Un(e) participant(e) regrette l'absence à ce séminaire de scientifiques qui ne partagent pas les vues de l'ASN, de l'IRSN et de l'ANCCLI sur les études épidémiologiques, comme Annie Thébaud-Mony. Les propos font encore référence à l'étude des survivants de la population d'Hiroshima et à leur mortalité, comme le font toutes les enquêtes menées aujourd'hui. Il est très regrettable que ces études ne s'occupent pas de la morbidité. Il est inacceptable d'entendre Dominique LAURIER dire que l'on ne peut pas mener d'étude sur les sous-traitants, faute de données de bonne qualité.

Concernant les modèles animaux étudiés, il(elle) estime que le modèle des primates est plus fiable que celui des souris.

Il(Elle) assure avoir inventé l'expression du « cumul des faibles doses ». L'enquête épidémiologique diligentée par l'InVS visait à dénombrer dans sa région le nombre de malades de la thyroïde, mais n'est pas valable en raison de la mobilité. Il(Elle) réalise des enquêtes à la main et a identifié un coefficient 5 par rapport aux normes. Il(Elle) applique la démarche de « Recipan », pour recensement citoyen volontaire. Parmi les enfants nés deux ans après l'accident de Tchernobyl jusqu'à aujourd'hui dans son village, 74 % n'y habitent plus et renforcent les zones d'enquêtes extérieures au périmètre des études réalisées sur Soulaines. La meilleure enquête reposerait sur l'exploitation des données de la carte vitale, actuellement bloquée par le secret médical.

Évelyne ALLAIN (IFFO-RME) rappelle qu'un point sera consacré le lendemain à un programme réalisé dans le domaine de la radioactivité et de la santé bénéficiant de la confrontation entre la connaissance citoyenne et la recherche.

Un(e) participant(e) s'interroge sur la traduction entre les faibles doses et les normes en termes de contamination, qui a été peu abordée aujourd'hui. Il(Elle) a travaillé à la centrale de Brennilis et indique que tous les décès qu'il a constatés sont dus à la contamination. La moitié des personnes ayant travaillé dans la centrale et ayant été exposées aux faibles doses sont décédées 20 ans après leur activité. Il est difficile de faire des statistiques. Les normes sont fixées sur le terrain. La nappe phréatique a été contaminée par le tritium, s'écoule dans un lac pour être diluée puis dans l'eau potable du versant sud du Finistère. Les rejets sont censés être dans les normes, à moins de 10 Bq/litre. Comment savoir si ces doses sont acceptables ou mortelles ?

Dominique LAURIER (IRSN) précise que les données qu'il a présentées sur Hiroshima et Nagasaki portaient sur la mortalité, mais les conclusions sont identiques en termes d'incidence (nombre de cas de cancer). Un certain nombre d'études fournissent des résultats en termes de morbidité, dont les résultats sont cohérents avec ceux de la mortalité.

Il confirme également que les résultats présentés ont majoritairement porté sur de l'exposition externe. Le calcul de la dose due à des contaminations est plus difficile à reconstituer : l'étude TRACY (travailleurs du cycle de l'industrie nucléaire), actuellement en cours, examine les résultats d'examens radio-toxicologiques de plus de 14 000 personnes obtenus au cours de leur activité professionnelle, en essayant de reconstituer les doses.

Jean-Marc BERTHO (IRSN) fait le parallèle avec l'exposition au <sup>137</sup>Cs dans les territoires contaminés. Lorsqu'une personne présente un examen d'anthroporadiométrie

anormal (ex. : 80 000 Bq de  $^{37}\text{Cs}$ ), il est impossible de savoir comment cette contamination est survenue. La personne a-t-elle mangé un kilogramme de champignons contaminés la semaine précédente ou mange-t-elle 10 g de champignons quotidiens depuis 6 mois ? Cela ne signifie pas que l'on nie les effets des contaminations internes, au contraire.

Il revient sur la question des modèles animaux. Il est très impliqué dans les questions éthiques sur l'utilisation des animaux en recherche expérimentale. À chaque fois qu'une étude expérimentale est lancée avec des animaux, il est nécessaire de trouver le modèle le plus adéquat en fonction de la question posée. La qualité scientifique du modèle animal utilisé est contrebalancée par le coût de l'étude. Si une souris coûte environ 100 euros, un primate en coûte 5 000 euros. Il est impossible d'avoir une base d'étude statistique suffisamment solide en utilisant des primates aussi coûteux à l'unité. Leur élevage est encore plus coûteux. Par ailleurs, le ministère de l'Agriculture demande à l'expérimentateur de justifier l'utilisation de l'animal. Les expériences réalisées par le CEA par les primates portent très spécifiquement sur l'inhalation de plutonium et de mox et emploient un nombre d'animaux très réduit (au maximum une vingtaine). Même si les effets biologiques observés sont très significatifs, il est difficile de tirer des conclusions statistiques sur un nombre aussi réduit d'animaux.

Évelyne ALLAIN (IFFO-RME) après avoir remercié les intervenants et la salle, invite les participants à fêter les 15 années de collaboration fructueuse entre l'IRSN et l'ANCCLI.



## Session 3 : Radioactivité, j'habite près d'un site ou j'y travaille : et alors ?

---

*Comment sont fixées les limites de rejet d'une installation nucléaire ? Quels résultats des études sur les populations proches d'une installation et les travailleurs ?*

« Des rejets de l'installation à la dose pour l'humain »

*Évaluation de l'impact radiologique sur la population des rejets des installations du CEA*

M. CALVEZ & M. MONFORT (CEA)

*Cette présentation dresse d'abord un état des lieux des situations pour lesquelles une évaluation de l'impact radiologique des rejets sur la population est réalisée pour les installations du CEA. Cette évaluation est réalisée dans de nombreuses situations, dans le cadre d'une étude d'impact ou d'un autre dossier prévu par des prescriptions réglementaires, comme un rapport annuel. Pour cela, le CEA développe une méthode et des outils, permettant d'assurer une cohérence des différents dossiers présentés aux autorités. Les principales étapes de ces calculs sont exposées.*

*Expertise des rejets des INB et de leur impact : la démarche intégrée de l'IRSN*

C. RINGEARD (IRSN)

*L'IRSN participe au système de contrôle mis en place en France pour les installations qui rejettent de la radioactivité en condition normale de fonctionnement, depuis l'établissement des limites de rejet jusqu'à l'évaluation de leur impact sur l'environnement. Ce système comprend un ensemble de mesures dont une étude préalable de l'impact des rejets aux populations (et à l'environnement). À l'issue de l'examen de cette étude d'impact, une autorisation de rejet dans l'environnement peut être délivrée par l'autorité. Le contrôle se poursuit par le calcul d'exposition du public, réalisé par l'exploitant, sur la base des valeurs réelles de ses rejets dans l'environnement. Il est complété par la surveillance de l'environnement qui permet de vérifier la cohérence entre les niveaux des rejets réels et la radioactivité qui en résulte dans l'environnement. Elle permet également de contrôler que les ordres de grandeur calculés dans les études d'impact (a priori ou a posteriori) sont respectés.*

*Temps d'échange avec la salle avec en introduction « Les demandes d'autorisation de prélèvements d'eau et de rejets dans l'environnement (DARPE) : le regard des CLI »*

S. GAZAL (experte scientifique)

La réglementation prévoit que les projets de prescriptions de l'Autorité de sûreté nucléaire suite au dépôt par un exploitant d'une demande de modification des autorisations de

prélèvement d'eau et de rejets (DARPE) soient transmises à la CLI concernée, assorties d'un rapport de présentation - les CLI disposant d'un délai de trois mois pour faire part à l'ASN de leurs éventuelles observations.

Plusieurs CLI ont sollicité le Comité scientifique de l'ANCCLI ou des experts scientifiques au cours des dernières années pour les conseiller et les assister dans leur démarche d'expertise (Fessenheim, Paluel-Penly, Golfech, Bugey,...). Ces expertises se sont déroulées selon diverses modalités, qu'il s'agisse de l'objet de l'expertise (projet de prescription et/ou dossier DARPE) et du rôle de l'expert (construction d'un avis ou simple soutien technique et méthodologique).

Au terme d'une démarche rigoureuse, des points de vigilance ont ainsi été identifiés concernant les différents volets des DARPE, à savoir : la modification des règles d'exploitation, le dragage du canal d'amenée et le curage de la station de pompage, les autorisations de prélèvements d'eau, les limites et les modalités de rejets thermiques, radioactifs, chimiques et biologiques. Bien que ne donnant pas lieu à une demande spécifique, la surveillance de l'environnement fait également l'objet des projets de prescriptions. Plusieurs exemples sont présentés dans cette introduction – avec un focus sur l'établissement des limites de rejets radioactifs

Si l'exigence de l'Autorité de sûreté nucléaire est apparue de manière manifeste (abaissement de limites de rejets existantes ou demandées par l'exploitant, prescription d'études complémentaires...), la question essentielle est de savoir dans quelle mesure les observations et recommandations des CLI sont prises en compte dans les prescriptions de l'ASN. Une réponse à cette question est apportée sur un cas précis. En tout état de cause, les CLI doivent impérativement anticiper leurs demandes afin de disposer de suffisamment de temps pour réaliser leur expertise dans de bonnes conditions.

Un(e) participant(e) habite à 300 m de la cheminée d'évacuation de l'ancienne centrale de Brennilis qui a produit plus de tritium que d'électricité. Actuellement, parmi les personnes vivant à proximité, l'une souffre de leucémie, d'autres de cancers, d'autres personnes sont décédées de cancers (pancréas, sein, poumons, estomac), dans un village d'une quinzaine de personnes. Leur point commun a été de cultiver un potager à proximité de la cheminée. Les études prennent en compte les vents dominants : même si son village est situé en amont de ces vents, la pluie a fait tomber le tritium sur les terrains. Une personne habitant à 800 m sous les vents dominants a vécu jusqu'à 95 ans. Il semble nécessaire de mener des études très locales : avec 23 habitants au km<sup>2</sup> dans cette zone, les études statistiques doivent intégrer davantage d'habitants éloignés des installations et manquent alors de robustesse.

Un(e) participant(e) demande si les études d'impacts portent attention à ces cocktails de polluants (ceux du site et ceux de l'environnement).

Un(e) participant(e) signale avoir travaillé sur le rapport annuel environnemental de la CLI de Nogent-sur-Seine. Celui-ci intègre le bilan radioécologique réalisé par l'IRSN, qui concerne plusieurs bassins versants. Il(Elle) demande pour quelle raison ce document n'est pas rendu public, alors que l'on parle de transparence. Elle souhaite qu'il le soit.

Un(e) participant(e) soutient pleinement cette demande. Le rapport environnemental annuel est indispensable pour comprendre les rapports des autorités. Le fait de ne pas le publier est « anti-scientifique » et qu'il est faux que la dispersion des liquides se fait en zone de bon mélange. Le/la participant(e) appuie également les remarques de Suzanne GAZAL et estime que « la dispersion des rejets liquides est effective dans la zone présentée comme étant la zone de bon mélange » est fausse.

Un(e) participant(e) souhaite signaler la possible présence de tritium dans la Vienne. Un conseiller municipal de Châtelleraut a indiqué que les analyses réalisées par le SIVER (société des eaux) révélaient de traces de tritium dans l'eau. Il est inquiétant que ces

informations ne soient pas communiquées aux abonnés. L'IRSN peut-il aider la CLI dans cette enquête technique et demander au SIVER de la Vienne les relevés pouvant révéler la présence de tritium dans l'eau consommée par les habitants ?

Un(e) participant(e) annonce avoir participé au groupe de travail pour la révision de la DARPE. Le premier arrêté pour les rejets datait de 1978, avec des valeurs autorisées astronomiques : il est scandaleux d'avoir attendu plus de 35 ans pour les modifier. Dans le dossier présenté à la CLI, les valeurs de rejets sont connues : il est également scandaleux de constater que sur les 10 dernières années, la limite a été fixée 15 à 20 fois supérieure à la valeur maximale constatée de rejet sur chaque polluant. En parlant « d'optimisation pour les faibles rejets », on se moque des populations. L'exploitant veut avoir suffisamment de marges pour fonctionner en situation d'incident et pouvoir faire des rejets qui ne devraient pas être. Enfin, l'ASN a la main mise sur l'environnement dans le domaine nucléaire, sans connexion avec les autres acteurs. Sur le site du Bugey, l'Agence de l'eau a autorisé une station de pompage agricole de plusieurs milliers de m<sup>3</sup>/heure à 3 km en aval de l'installation, qui pompe dans la veine chaude où l'on trouve tous les produits chimiques et les effluents radioactifs.

Un(e) participant(e) salue le travail réalisé et ne remet pas en cause les personnes qui ont travaillé sur les faibles doses. Il(Elle) a travaillé 30 ans dans le nucléaire et a vu peu de décès par irradiation, mais beaucoup par contamination. La rumeur publique a dit que les travailleurs du nucléaire mourraient rapidement. Il(Elle) a pu constater que la moitié des personnes ayant travaillé sur le tritium mourrait 20 à 30 ans après la survenue d'accidents. La rumeur avait raison, et non les normes ! L'étude du CEA montre que le tritium traverse le placenta : il ne faut donc pas seulement prendre en compte les nourrissons, mais également les fœtus. Il y a 15 ans, la valeur donnée au CLI était de 7 800 Bq/l pour l'eau potable. Aujourd'hui, les rejets sont de 10 Bq/l. L'IRSN prend les mêmes références que celles appliquées aux perturbateurs endocriniens : il serait nécessaire de réaliser des mesures fines sur la mortalité des fœtus de poissons, associées à la radioactivité dans l'eau.

Mariette GERBER (experte scientifique) confirme la nécessité de vérifier les modèles de dispersion. L'InVS a réalisé des études de dispersion autour des incinérateurs et a démontré l'existence de dépôts qui ne suivent pas le panache de dispersion. Concernant les « effets cocktails », plutôt que de comparer les émissions radioactives d'un site nucléaire et les autres natures d'émission, ne serait-il pas plus pertinent de les additionner, comme l'a fait l'Institut fédéral suisse ?

Suzanne GAZAL (experte scientifique) précise qu'afin d'assurer un bon suivi des rejets atmosphériques des centrales, une proposition consiste à avoir une plus grande densité de balises de surveillance des aérosols. Le dispositif de surveillance actuel est à cet égard insuffisant.

Caroline RINGEARD (IRSN) confirme que sa présentation n'a pas évoqué l'évaluation des rejets d'effluents chimiques. Ils sont pris en compte selon les méthodes existantes. Des travaux sont en cours, mais il est aujourd'hui difficile d'évaluer les effets cocktails. Pour le moment, les doses sont évaluées indépendamment des substances chimiques, car il est difficile de les additionner hormis les substances visant un même organe.

Marianne CALVEZ (CEA) confirme que les exploitants et l'IRSN réalisent des évaluations de l'impact sanitaire chimique et l'impact sanitaire radiologique. Concernant le rapport environnemental annuel, elle distingue le rapport ex-TSN qui est public et consultable sur le site internet des exploitants et transmis aux CLI. Il est public et généraliste, sans entrer dans le détail des calculs. Le rapport annuel, en application de l'article 4-4-4 de l'arrêté INB, n'est pas public, mais est transmis à la CLI et à l'ASN.

Caroline RINGEARD (IRSN) précise que l'IRSN rend public un rapport sur l'état radiologique sur des périodes de quatre ans. Il présente des résultats de mesures et des évaluations d'impacts associés. Il est en cours d'actualisation et prend en compte des mesures depuis 2014.

Marianne CALVEZ (CEA) confirme qu'il s'agit d'une compilation par l'IRSN des données issues du réseau national de mesures de la radioactivité (exploitants, associations, IRSN). Les autorisations de rejets (prescriptions techniques, anciennement DARPE) sont prises en complément d'autres autorisations (décrets et arrêtés) autorisant l'exploitation d'une installation, car les rejets doivent être autorisés pour pouvoir être émis dans l'environnement. À la question de savoir qui décide des contrôles des rejets et de leur fréquence, elle répond qu'une réglementation nationale générale (arrêté INB et décision Environnement de 2013 modifiée en 2016) fixe de nombreuses obligations en matière de mesures et de surveillance. D'autres prescriptions techniques spécifiques aux installations font en complément l'objet de décision. Les contrôles des rejets sont décidés après discussion entre l'exploitant et l'autorité de sûreté. C'est elle qui au final tranche sur le programme de surveillance (fréquence, seuils de détection à atteindre...)

Un(e) participant(e) précise à une intervention précédente d'un(e) participant(e) que soit la mairie, soit l'intercommunalité réalise un appel d'offres pour l'eau et reçoit un rapport annuel émis par le gestionnaire d'eau (« également appelé le fermier »). Ce rapport doit être lu par le conseil municipal et est à disposition de tous les habitants. Ce rapport analyse toute l'eau captée pour la population. Si certaines informations semblent anormales, tout habitant peut demander à sa commune d'aller plus loin.

« J'habite près d'un site nucléaire, que savons-nous ? »

### *L'étude GEOCAP sur les leucémies infantiles en France*

J. CLAVEL et D. HEMON (INSERM)

*Étude d'incidence multisite INSERM/IRSN 1990-2001 sur la leucémie infantile s'est basée sur la proximité des sites nucléaires civils et le zonage basé sur la dose due aux rejets des sites. En moyenne, 370 cas de leucémies infantiles sont diagnostiqués chaque année sur l'ensemble de la France métropolitaine. L'étude examine à l'intérieur des périmètres des installations nucléaires si les cas de leucémies répondent à la moyenne nationale. Le programme GEOCAP (géolocalisation des cancers pédiatriques) recense les adresses des cas de cancers d'enfants depuis 2002 et géolocalise 5 000 adresses témoins par an représentatives de la population de moins de 15 ans. GEOCAP étudie plusieurs facteurs environnementaux : proximité des sites nucléaires, radiations ionisantes environnementales, exposition résidentielle aux UV, proximité des lignes à très haute tension, proximité des routes à grande circulation, voisinage d'activités agricoles. 80% de l'échantillon est précisément géolocalisé (jusqu'au numéro de la voie).*

*Sur 2002-2007, on note un excès d'incidence des leucémies de l'enfant par rapport à l'incidence attendue dans la bande de 5 km autour des centrales nucléaires. Cet excès n'est pas attribuable à une centrale particulière et n'a pas été observé sur la période précédente 1990-2001. L'excès n'est pas localisé sur un site particulier et ne suggère aucune surincidence localisée. D'après l'estimation des doses d'exposition liées aux rejets gazeux, le niveau d'exposition radioactive est très bas ( $\mu\text{Sv}$ ), l'incidence des leucémies de l'enfant observée dans la zone la plus exposée est identique à l'incidence attendue.*

*Il est donc nécessaire de rechercher d'autres facteurs locaux possiblement impliqués (démographiques, modes de vie, environnementaux, viraux), d'améliorer l'évaluation des expositions radioactives dues aux centrales (rejets liquides) et de développer des collaborations internationales afin de « pooler » les données, par une augmentation de la taille des enquêtes et un échange des idées.*

## *Temps d'échange avec la salle*

Mariette GERBER (experte scientifique) souligne la difficulté de réalisation de ces études épidémiologiques et suppose que de nombreuses questions vont émerger, notamment pour savoir comment améliorer ces résultats par l'étude d'autres facteurs.

Denis HEMON (INSERM) précise que cette étude a pris le parti que d'examiner des excès de manière sporadique au fur et à mesure de leur détection n'était pas la bonne manière, elle a construit pendant 20 ans un registre national et cette étude répond à la question de l'existence d'un excès de leucémies infantiles à proximité d'une installation (1,9 dans les 5 kilomètres). La distance englobe aussi bien l'exposition associée que d'autres facteurs : il est nécessaire de mobiliser les biologistes et cancérologues et les épidémiologistes de ces domaines pour les identifier.

Un(e) participant(e) signale que son collègue Jean-François VIEL avait réalisé la première étude cas-témoins à la Hague, sur les rejets liquides et non sur le panache aérien. Il avait démontré un excès de leucémies notable. Par ailleurs, dans l'étude allemande, l'évaluation de dose prend également en compte la contamination par les rejets liquides, au-delà des rejets aériens. Elle met en évidence un gradient entre les zones 0-5 km, 5-10 km et suivant. Plus l'on est proche du centre de rejets liquides ou gazeux, plus l'incidence de leucémies augmente. Comment prendre en compte la volonté « d'améliorer l'évaluation des expositions radioactives dues aux centrales (rejets liquides) » pour avoir une étude compatible avec les études internationales ?

Denis HEMON (INSERM) explique que cette phrase doit être transformée en réalité d'estimation. Il n'est pas spécialiste de la diffusion de radioactivité dans les milieux ni de la manière dont les rejets liquides se répartissent dans le milieu. Cette partie relative aux rejets liquides doit encore être travaillée.

Un(e) participant(e) assure qu'elle a été faite et publiée.

Denis HEMON (INSERM) ne connaît pas la publication associée. Les estimations de rejets liquides réalisées à titre de contrôle s'intéressent aux situations maximales d'exposition. En épidémiologie, si on surestime les estimations d'exposition, cela amène une diminution du risque relatif. Pour mettre en relation une pathologie comme la leucémie infantile avec une exposition, il est préférable de ne pas avoir une estimation maximale.

L'étude cas-témoin menée par Jean-François VIEL en Normandie s'est basée sur le fait que 50 % des mamans qui fréquentaient régulièrement la plage étaient à un risque relatif de 3 pour les leucémies de l'enfant. Cela signifie que l'autre moitié de la population est à un risque 1 et que l'ensemble de la population est en moyenne à un risque 2. Si le nombre attendu était de 25, 50 cas auraient dû être observés. Ceci n'a pas été le cas et explique pourquoi ses travaux ont été contestés, car l'estimation était trop forte par rapport à l'attendu. Cette étude n'a pas montré d'excès autour de la Hague.

Lorsqu'on sait qu'un agent est cancérigène, il est utile de contrôler la fréquence de certaines pathologies sensibles autour des sources de cet agent. Les niveaux d'exposition sont tels que cet agent devrait fortement dépasser ses seuils pour constater un excès de leucémie de l'enfant. On doit être rigoureux sur l'absence de risque en contrôlant les expositions dans des situations particulières.

Dominique LAURIER (IRSN) précise qu'il n'y a pas eu d'estimation de doses aux enfants dans l'étude allemande citée précédemment ni d'estimation de l'impact des rejets en Allemagne. Le travail réalisé en France est plus solide. Après les études réalisées dans les années 1990 à la Hague, ce site est suivi depuis et a été intégré dans des études plus récentes que celle de Jean-François VIEL.

La veille, les discussions ont porté sur les problèmes d'effectifs. Travailler sur un seul site ne permet pas une interprétation statistique. Pour les leucémies infantiles, il est possible de travailler sur l'ensemble des sites, ce qui fournit une base permettant d'obtenir

des résultats (l'étude présentée par Denis HEMON a porté sur 5 500 cas sur la période et sur la France). Une telle étude fournit également des informations globales et pour chacun des sites. L'approche multisite répond à l'incertitude statistique et à la prise en compte de faibles effectifs.

GEOCAP tient non seulement compte de la proximité des sites, mais également à celles d'autres facteurs (lignes haute tension, pesticides...). Cette approche multifactorielle permet d'identifier les déterminants des leucémies infantiles, leurs éventuelles combinaisons...

### *L'étude internationale des travailleurs du nucléaire : INWORKS*

K. LEURAUD (IRSN)

*INWORKS est une étude épidémiologique visant à quantifier le risque de décès par cancer et maladies non cancéreuses associé à des doses faibles et répétées de rayonnements ionisants (RI) chez les travailleurs de l'industrie nucléaire. L'étude regroupe des cohortes de travailleurs français, américains et britanniques employés dans l'industrie nucléaire et surveillés pour une exposition externe aux rayonnements ionisants par le port de dosimètres individuels. La population étudiée inclut 308 297 travailleurs, hommes et femmes employés à partir du milieu des années 1940 (dont 59 000 travailleurs d'ORANO, du CEA et d'EDF), qui ont fait l'objet d'un suivi épidémiologique en moyenne pendant 27 ans. La dose moyenne cumulée sur la durée de l'activité professionnelle de ces travailleurs est de 25 mSv. L'étude INWORKS montre que le risque de décès par cancer hors leucémie et par leucémie augmente avec la dose cumulée de RI ; ces associations semblent bien décrites par un modèle linéaire. En dessous de 100 mGy cumulés au côlon pour les cancers hors leucémies et 300 mGy cumulés à la moelle osseuse pour les leucémies, l'incertitude statistique devient importante et les relations dose-réponse ne sont plus statistiquement significatives. À partir des relations dose-risque estimées, il apparaît que la proportion de décès attribuables à l'exposition externe aux RI au sein de la population d'INWORKS serait de l'ordre de 1 % parmi les décès par cancers. Les associations dose-risque observées dans INWORKS sont cohérentes avec celles observées dans d'autres études, en particulier chez les survivants des bombardements atomiques de Hiroshima et Nagasaki. Les résultats issus d'INWORKS sont compatibles avec l'une des hypothèses sous-jacentes au système de radioprotection actuel qui est l'extrapolation du modèle dérivé des survivants des bombardements de Hiroshima et Nagasaki aux populations exposées de façon répétée à de faibles doses.*

### *Le rôle de SISERI dans la surveillance de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants*

J. FEUARDENT (IRSN)

*Le Système d'information de la Surveillance de l'Exposition aux Rayonnements Ionisants (SISERI) a été mis en place à la demande et avec le soutien des Directions générales du travail. Sa gestion a été réglementairement confiée à l'IRSN. En application de l'article R. 4451-125 du Code du travail, SISERI permet de centraliser, vérifier et conserver l'ensemble des résultats des mesures individuelles de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants. SISERI, via un accès internet sécurisé, met à disposition des médecins du travail et des personnes compétentes en radioprotection (PCR), les données dosimétriques des travailleurs qu'ils suivent, selon les règles fixées par*

le Code du travail. Les données de la base SISERI peuvent être restituées dans le respect des règles fixées par le Code du travail, aux ayants droit et notamment aux travailleurs, sur demande écrite.

### *Répondre aux questions de santé environnementale des habitants d'un front industriel : une approche fortement participative*

Y. FERRIER (UMR 8562)

*L'équipe FOS EPSEAL a mené une étude participation en santé environnementale ancrée localement sur le front industriel de Fos-sur-Mer et Port-Saint-Louis du Rhône, afin de répondre aux questions de santé environnementale des habitants d'un front industriel, via une approche fortement participative. Les habitants et les médecins locaux ont lancé une alerte sanitaire (cancers, symptômes chroniques, diabète, maladies encore peu visibles..) qui ne trouve pas de réponses dans les études réalisées par l'Etat (qui concluent généralement à l'absence de problèmes sanitaires dans la zone).*

*L'équipe a permis la rencontre et l'alliance entre les habitants et les chercheurs, entre des questions locales et une approche scientifique pour répondre aux questions, et a proposé une EPSEAL (étude participative de santé ancrée localement) qui prévoit une épidémiologie rigoureuse, locale, alliée à la bio statistique et aux compétences des sciences sociales. Un questionnaire d'enquête très étoffé a été élaboré, permettant de croiser des données quantitatives et qualitatives, à l'intersection entre santé et environnement, avec une spatialisation des données par zone d'enquête. L'enquête s'est déroulée sur un échantillon aléatoire d'habitants des deux villes et plus de 28 ateliers collaboratifs ont été organisés, réunissant une centaine de participants. Parmi les répondants de l'étude FOS EPSEAL, on note une proportion plus importante d'asthmes, de cancers, de diabète et de maladies chroniques. Forts de cette étude participative, les habitants peuvent faire entendre leur voix à la table des négociations face à l'État et l'industrie.*

# Table ronde : « La surveillance sanitaire : quelles pistes d'amélioration ? »

Animation par Y. LHEUREUX (ANCCLI)

Participation de : E. DEPEZEVILLE (médecin du travail), F. De Maria (Santé Publique France), G. REYNAUD (Ma Zone Contrôlée), A. ROGEL (Santé Publique France), M. CALVEZ, M. MONFORT (CEA), C. RINGEARD (IRSN), S. GAZAL (experte scientifique), D. HEMON (INSERM), K. LEURAUD (IRSN), J. FEUARDENT (IRSN) et Y. FERRIER (UMR 8562).

Yves LHEUREUX (ANCCLI) estime que, même si des désaccords perdurent quant à l'accès aux données, la méthodologie des études et les échantillons pris en compte, de nombreuses études scientifiques sont néanmoins menées pour comprendre les impacts des rayonnements sur la population et sur les travailleurs. Avant d'entamer les échanges, il rappelle la question posée la veille relative à l'insuffisance de registres de cancers en France et sur la nécessité de les développer afin d'avoir un meilleur état des lieux de l'état de santé de la population. Il invite la représentante de Santé Publique France à intervenir sur le sujet.

Florence DE MARIA (Santé Publique France) coordonne le programme de surveillance des cancers en population générale. Il existe un registre national des cancers pédiatriques (0-18 ans) couvrant l'ensemble du territoire. Au-delà de cet âge, les registres sont pour la plupart départementaux (28 territoires couverts) et résultent fréquemment d'initiatives locales (médecins, autres professionnels...) prises dans les années 1980. Dans les années 2000, des initiatives plus stratégiques ont vu le jour, avec la volonté de créer des registres « urbains » afin de renforcer la couverture (Nord, Val-de-Marne et Gironde). Au final, seul le registre de la Gironde (tous les types de cancers) et le registre couvrant la zone de proximité de Lille ont été mis en place. En effet, la France est confrontée à une forte difficulté d'accès aux données et à leur croisement. Dans les départements du Nord et du Val de Marne ont été confrontés à ces difficultés : tous les laboratoires d'anatomocytopathologie n'ont pas accepté de transmettre leurs données. Santé Publique France a essayé de monter une base nationale (système multi-sources de surveillance des cancers) à partir de l'ensemble des comptes rendus de diagnostics d'anatomocytopathologie, mais a échoué. D'autres alternatives existent, grâce à d'autres sources de données, telles que les bases de données médico-administratives (hôpitaux, assurance maladie).

## *Temps d'échange avec la salle*

Un(e) participant(e) revient sur les leucémies infantiles à proximité des centrales. La comparaison est faite avec une moyenne nationale, or la France est le pays le plus nucléarisé au monde, avec 19 centrales nucléaires, des installations militaires... Châtelleraut est situé exactement entre deux centrales nucléaires : à laquelle attribuer un cas de leucémie infantile à Châtelleraut ? Ne vaudrait-il pas mieux de prendre comme référence un pays similaire à La France, sans nucléaire civil ou militaire (peut-être la Nouvelle-Zélande) ?

Denis HEMON (INSERM) confirme que plusieurs installations françaises sont susceptibles de délivrer des radiations. Il demande à le(la) participant(e) s'il(elle) pense que la majorité de la population présente une exposition liée à ces sources d'exposition ? Si l'on prend comme taux de référence la France entière, le fait de considérer que 10 % de la population française serait exposée aux sources radioactives ferait très peu varier le taux de référence. Idéalement, il faudrait pouvoir comparer les données avec une



population dans laquelle le facteur étudié n'existe pas, toutes choses égales par ailleurs. Cela est extrêmement difficile, aussi prend-on comme référence l'extérieur des disques de 20 km centrés autour des centrales. Si certains considèrent que cette distance est trop restrictive, on pourrait envisager de faire des disques de 100 km de rayon. Il doute que les taux de référence en soient influencés.

Une précédente remarque a suggéré de centrer les études là où l'exposition est plus forte (ex. : rayon de 500 m autour de la centrale). Il ne s'agirait alors plus à l'épidémiologie d'étudier l'incidence des leucémies, mais à la dosimétrie de calculer les doses effectivement absorbées.

Si l'on veut modifier la réglementation concernant la vitesse maximale autorisée aux alentours des écoles, ce n'est pas en étudiant le nombre d'enfants décédés par excès de vitesse, mais en étudiant la vitesse des voitures.

Un(e) participant(e) demande si le relief est pris en compte dans les modélisations de doses autour des sites nucléaires. La centrale nucléaire du Bugey est par exemple environnée à 1 km au Nord par une falaise de plus de 100 m de haut, au pied de laquelle on trouve la plus forte concentration de population à proximité de la centrale.

Un(e) participant(e) interroge Yolaine FERRIER sur l'objectif de son étude et sur ce qu'elle apporte à ce séminaire. À Fos, le principal problème est celui de l'industrie chimique.

Yves LHEUREUX (ANCCLI) explique que l'intérêt de cette présentation était de montrer des initiatives participatives impliquant la population et la différence existant parfois entre les questionnements des citoyens et les études menées. Cette idée peut être retenue pour apporter des pistes d'amélioration.

Un(e) participant(e) estime que le fait de réaliser des études géographiques en se basant sur des cercles concentriques est illogique, alors qu'il existe aujourd'hui de nombreux outils pour référencer les objets. Si la source du rayonnement est liquide, il semble pertinent de réaliser des observations en amont et en aval. En travaillant sur des cercles, il est plus difficile de déterminer la source des effets constatés (une autre entreprise sous-traitant les produits chimiques...). En aval de la centrale de Chinon se trouve un pont au-dessus de la Clarinette sur lequel pêche en permanence une cinquantaine de personnes : les enfants atteints de leucémie ne sont-ils pas les fils de ces pêcheurs ? Il/elle estime que c'est à ce niveau qu'il faut réaliser des recherches épidémiologiques. Le géo-référencement qui doit être pris en compte, et non seulement la distance à l'objet.

Un(e) participant(e) explique que l'élargissement du plan particulier d'intervention fait qu'un tiers de Français est concerné pour deux tiers de Belges dans un rayon de 20 km autour de la centrale de Chooz. Il est nécessaire de s'organiser pour entendre les doléances de ces frontaliers, qui ne sont bénéficiaires que des retombées environnementales de la centrale, car ils sont les principaux concernés par les vents dominants et le sens d'écoulement de la Meuse qui refroidit la centrale. Ils s'interrogent sur la volonté de transparence : les décrets vont permettre d'élargir les CLI aux pays frontaliers.

Par ailleurs, les entreprises qui interviennent sur les travaux de déconstruction des installations nucléaires sont fréquemment étrangères : les salariés intervenant sur ces chantiers disposent-ils d'un suivi médical ? En Europe, existe-t-il un dispositif de suivi des personnes frontalières exposées aux doses ?

Enfin, il s'étonne que les ARS n'aient pas eu l'occasion de s'exprimer au cours de ce séminaire. Elles ont la responsabilité sur les territoires à établir des diagnostics et des enquêtes et disposent de connaissances importantes sur l'histoire des territoires.

Caroline RINGEARD explique que les évaluations de dose font appel à différents modèles de dispersion et prennent en compte autant que faire se peut les reliefs. Dans

certains cas, l'IRSN réalise des mesures dans l'environnement afin de remonter aux coefficients de transfert atmosphérique et être au plus près de ce qui se passe à proximité de l'installation. Les évaluations d'impact dosimétrique ne se limitent pas aux habitations ou aux populations situées sous le panache : elles tiennent compte de l'ensemble des données relevées à proximité des cheminées et du point de rejet des effluents liquides. Ceux qui se trouvent en dehors de l'axe du panache sont bien pris en compte.

Denis HEMON confirme que le fait d'utiliser des cercles concentrique est très réducteur. Toutefois, tracer les rivières et ne prendre en compte que des zones linéaires n'est pas une bonne solution, car la modélisation des doses liées aux rejets liquides est complexe. Une interrogation générale des populations porte sur la distance à la centrale : y a-t-il davantage de cancers à proximité de telle ou telle centrale nucléaire qu'ailleurs ? L'examen de la forme des fleuves ne suffirait pas à y répondre. L'ensemble des connaissances permettant de relier une dosimétrie précise d'exposition à un risque de leucémie de l'enfant ne provient pas des études géographiques, mais d'études individuelles précises sur les effets adverses des radiothérapies, radiographies, des positions relatives aux expositions nucléaires... Il existe de nombreuses données précises sur les expositions individuelles, mais à des doses plus élevées, démontrant un lien avec les leucémies de l'enfant. Ces données servent de base aux normes de radioprotection par exemple pour la radiothérapie ou les examens de radiodiagnostic.

L'extrapolation de ces données aux doses estimées autour des centrales fait penser que l'augmentation de risque attendue est minimale. Il est nécessaire de trouver une cartographie la plus intelligente possible pour être semblable à la dose, dont le résultat probable sera que l'on ne trouvera pas d'excès de ces leucémies liés à l'exposition, plus basse que celle constatée dans les études individuelles. On peut trouver des excès à proximité des centrales et s'interroger sur la mise en cause d'autres facteurs de risque de leucémies infantiles.

Une intervenante précise que le sens de l'écoulement des rivières est pris en compte, ainsi que les usages de l'eau (irrigation, consommation...). Les cercles sont simplement des repérages dans lequel on situe des points plus précis.

Suzanne GAZAL (experte scientifique) indique que la question relative aux pêcheurs renvoie à celle du devenir de la veine de rejet et de sa dilution totale dans le milieu. La zone de bon mélange impacte le choix des points de prélèvements aval réglementaires, qui doivent être situés après le mélange. La définition de ces points de prélèvements comporte beaucoup trop d'incertitudes. La surveillance de l'environnement et l'évaluation de la dose à l'homme supposent quant à eux que l'on prenne en compte la contamination du milieu aquatique non seulement après mais également si nécessaire avant mélange.

La veille, une question a porté sur la forte contamination des brochets de Tchernobyl dans une eau pourtant « claire ». Cela pose la question de la contamination des sédiments, qui n'apparaît pas dans les DARPEs ni dans le processus d'évaluation de la dose à l'homme.

Élisabeth DEPEZEVILLE (médecin du travail) signale que la loi d'août 2016 a fait évoluer la surveillance médicale des travailleurs du nucléaire. Les travailleurs étrangers passent une visite médicale annuelle en France, mais la raréfaction des médecins du travail empêche ces derniers de voir ces travailleurs en situation de travail. Les travailleurs étrangers de l'Union Européenne peuvent travailler en France sur présentation de documents à l'entreprise utilisatrice. D'autres pays européens imposent un suivi spécifique de ces travailleurs.

Les travailleurs qui ne sont pas issus de l'UE doivent s'inscrire à un Service de santé au travail interentreprises proche de leur lieu de travail. Certains médecins du travail rencontrent des travailleurs qui ne parlent pas français, ce qui rend quasi impossible l'interrogatoire sur l'historique d'exposition, et refusent en conséquence de les voir. La Belgique exige par exemple des documents et des échanges plus fournis. Certains salariés étrangers possèdent des documents d'un autre pays. Avant 1990, les médecins

du travail Cogema et des entreprises rencontraient tous les salariés du site de manière identique. Ensuite, le suivi des salariés Cogema ou CEA a été séparé de celui des salariés des entreprises extérieures. Les services médicaux interentreprises suivent les salariés du site, mais pas les salariés nomades, qui se font suivre au plus près de la centrale dans laquelle ils interviennent. Ceci pose le problème du morcellement de la surveillance médicale et de la dosimétrie (avant SISERI) et de l'absence d'information sur l'historique d'exposition des salariés. Depuis 1997, les médecins du travail doivent être formés à la radioprotection et les services médicaux doivent être habilités à suivre les salariés exposés aux rayonnements ionisants. Un travail a été réalisé sur le volet dosimétrique des expositions.

Les salariés étrangers de l'Union européenne posent de nouveaux problèmes : langues différentes, connaissance parcellaire des instructions de sûreté et de sécurité...

Gilles REYNAUD (association Ma Zone Contrôlée) précise que les activités de démantèlement offrent une panoplie d'expositions professionnelles (amiante, rayonnements ionisants, CMR, produits chimiques et dangereux...) qui soulève de nombreuses questions dans le cadre de la reconnaissance de la pénibilité. Le tableau 6 des maladies professionnelles date de 1984 et mérite d'être réactualisé. Sur les sites EDF, certains salariés prennent moins de 10  $\mu$ Sv par jour et il n'est pas certain que la dosimétrie soit bien enregistrée. D'autres sont soumis à des doses flash jusqu'à 2 mSv/heure (décontamination de piscine, traitement des déchets...). Les conséquences de ces expositions inquiètent les salariés. Sur le site de Romans sur Isère, les salariés d'une société sont en grève depuis 50 jours : ils travaillent sur l'installation INB 63 à proximité d'agents Framatome qui bénéficient eux d'analyses de selles et d'urine tous les 6 mois, alors qu'eux-mêmes n'en bénéficient que tous les deux ans.

Yolaine FERRIER (Centre Norbert Elias) explique que sa présence à ce séminaire vise à présenter une approche alternative pour saisir les données en partant des habitants eux-mêmes. Sur la zone de Fos où toutes les eaux du Rhône achèvent leur course, les différentes sources d'expositions sont mal connues. L'enquête participative est un moyen de saisir des données, décrire de manière globale l'état de santé de la population, construire des pistes de recherche plus pertinentes, enquêter sur des associations non perçues auparavant (associations de maladies, cumul de cancers...) en l'absence de registre des cancers chez l'adulte. Ces enquêtes permettent également d'apporter une perception très fine des données résidentielles, des données qualitatives sur les usages qu'ont les personnes de leur territoire. Enfin, cette approche permet de décroquer la santé au travail et la santé en population générale. Certaines expositions mises en évidence ne sont jamais documentées dans les articles scientifiques : les travailleurs à quai ou chargés de la sécurité des bâtiments sont exposés à des cocktails de produits, mais ne font pas l'objet de fiches d'exposition ou d'un suivi particulier et ne bénéficient pas d'un équipement particulier.

Un(e) participant(e) constate que l'enquête INWORKS concerne également les salariés de l'industrie nucléaire militaire et s'interroge sur la fiabilité des informations issues du nucléaire militaire, très opaque. L'association « Les irradiés de l'Île Longue » met en lumière d'importants problèmes survenus dans les années 1995 au moment du changement des têtes nucléaires (M45 à M51). De nombreux salariés sous-traitants et de la Direction des constructions navales (DCN), maintenant Naval Group, assurent avoir subi d'importantes irradiations neutroniques. La presse relate des maladies et des décès sur cette population, sans réels chiffres. Peut-on avoir confiance dans les informations remontées des installations nucléaires militaires concernant le lien entre la radioactivité et la santé ?

Un(e) participant(e) rappelle que pour évaluer le niveau de contamination, les travailleurs urinaient pendant une semaine dans un bocal. Il s'agit d'un moyen simple d'obtenir des informations ! Par ailleurs, il(elle) a été contacté(e) par des enfants dont le père, ancien travailleur du nucléaire, était décédé et qui demandaient à obtenir ses informations « SISERI ».

Un(e) participant(e) comprend de l'étude INWORKS que sur 216 décès enregistrés sur 1 000 travailleurs, un seul est imputable à l'exposition aux rayonnements ionisants. Il(Elle) s'étonne alors de l'affirmation selon laquelle les résultats de cette étude sont comparables à ceux d'Hiroshima et Nagasaki. Par ailleurs, il(elle) souligne l'intérêt de l'étude de l'équipe EPSEAL au regard de la relation que les CLI pourraient avoir avec l'ensemble de la population. Quel a été le résultat pour l'incinérateur à l'origine de la démarche ? Depuis, l'équipe d'Yolaine FERRIER est-elle contactée systématiquement par les Préfectures ou les services de l'État sur des situations nouvelles ?

Un(e) participant(e) note que le fichier SISERI est ouvert à tous les travailleurs du nucléaire. Parmi les sous-traitants, certains ne travaillent que trois ans dans le nucléaire et ne bénéficient d'aucun suivi médical adapté. Il demande comment ces personnes sont suivies, de même que les travailleurs qui partent à la retraite. Il existe un suivi à vie pour les travailleurs exposés à l'amiante.

Juliette FEUARDENT (IRSN) confirme que les ayants droit peuvent demander l'historique dosimétrique enregistré dans SISERI d'un travailleur décédé. L'enregistrement des données dosimétriques dans SISERI est réglementairement conservé au moins 50 ans après la fin de la période de travail.

Élisabeth DEPEZEVILLE (médecin du travail) ajoute que la réglementation prévoit que les dossiers médicaux soient conservés jusqu'à 50 ans après le départ du salarié de l'entreprise. Le dossier médical est alors pris en charge par le médecin inspecteur. Lorsque le salarié quitte l'entreprise, mais ne part pas en retraite et est suivi par un autre service de santé au travail, c'est le nouveau médecin du travail auquel il est rattaché qui récupère les données antérieures et continue à suivre le salarié pour ses expositions antérieures (rayonnements ionisants, amiante, benzène, autres cancérigènes identifiés... Pour les rayonnements ionisants, il est prévu de faire un suivi tous les deux ans. Lorsque la personne quitte l'entreprise, ce suivi est à la charge du médecin traitant : la personne se voit remettre les derniers éléments de son dossier médical, bénéficie quand cela est possible d'une visite de départ... Le dossier médical des travailleurs sous-traitants est transmis au médecin du travail responsable du site qu'ils rejoignent. Ce dernier doit mettre en place un suivi biologique (coûteux) et continuer à informer le salarié et mettre en place un suivi médical adapté aux expositions antérieures.

La tâche la plus complexe en santé au travail est de réaliser le « cursus labori », la carte d'identité des expositions du salarié au cours de sa vie professionnelle. Ce travail de traçabilité est devenu obligatoire depuis 2016.

Yolaine FERRIER (Centre Norbert Elias) explique que l'incinérateur à l'origine de l'étude EPSEAL est toujours en activité. Son unité de méthanisation a déjà brûlé deux fois. La mesure des émissions de la cheminée et la pertinence du suivi environnemental sont toujours controversées. ARCELORMITTAL, site voisin, reste le plus grand émetteur de dioxines de la région. La gestion du dossier d'installation de l'incinérateur est très politique. Son équipe n'est pas invitée par les services de l'État dans les réunions, mais intervient en tant qu'experts scientifiques mandatés par les riverains. C'est le cas actuellement sur le dossier des « Boues Rouges » ou celui de l'incinérateur de Lunel-Viel. La DREAL et les services de l'État ont par la force des choses dû discuter avec l'équipe FOS EPSEAL, poussés par la couverture médiatique. L'équipe de Barbara Allen a été auditionnée par les inspecteurs du CGEDD (Conseil général de l'environnement et du développement durable) chargés des audits du ministère de l'Environnement, pour connaître les liens entre tous les acteurs intervenant autour de l'étang de Berre et améliorer le suivi environnemental. Enfin, son équipe participe à plusieurs études locales indépendantes sur le point d'être publiées. Les autorités locales sont obligées de la prendre en compte.

Klervi LEURAUD (IRSN) précise que la cohorte française incluse dans INWORKS n'intègre pas les activités militaires du CEA, mais uniquement les salariés du CEA civil, d'ORANO et d'EDF. D'autres pays participant à INWORKS ont intégré les travailleurs militaires (Angleterre). INWORKS projette d'inclure les activités militaires du CEA : les

échanges sont nombreux entre l'IRSN et le CEA sur la reconstitution des doses, afin d'obtenir une dosimétrie de bonne qualité.

La comparaison entre Hiroshima/Nagasaki (LSS) et INWORKS concerne les relations doses/réponses (augmentation du risque de mortalité par rapport à l'augmentation d'une unité de Gray). Les coefficients sont comparables entre les deux études. Lorsque l'on parle de « risque attribuable », il s'agit du risque associé à une dose dans une population : dans la population d'INWORKS, 1 % des cancers sont attribuables à l'exposition. Dans la cohorte des survivants d'Hiroshima/Nagasaki, les doses et le risque attribuable sont plus élevés. La manière dont le risque augmente en fonction de la dose est identique.

Dominique LAURIER (IRSN) explique que les militaires anglais sont intégrés dans INWORKS, car ce pays possède un système semblable à SISERI depuis les années 1970. Les deux grands enseignements d'INWORKS sont d'une part la mise en évidence de la relation dose/risque issue des données dosimétriques des travailleurs. Cette relation est compatible avec un modèle linéaire et qu'il ne semble pas exister de seuil en dessous duquel le risque n'existe plus. D'autre part, la valeur de la pente est très similaire à celle qui ressort de l'étude des survivants d'Hiroshima/Nagasaki.

Que signifient ces conclusions pour la population ? L'existence de cette relation dose/risque ne signifie pas que les risques sont élevés. 300 000 personnes ont été nécessaires à l'étude, car elle s'intéressait à des risques faibles. Avec en moyenne 50 % d'augmentation de risque par Gray, si on s'intéresse à une dose de 100 mSv, l'excès n'est plus que de 5 % et de 1% pour une dose de 20 mSv. Dans une population de 1 000 personnes, on dénombre 100 cancers : un seul est lié aux doses reçues. Le risque, sans être nul, est faible.

# Session 4 : Radioactivité, quand l'accident survient.

---

Mieux comprendre les niveaux de la radioactivité, les doses en situation accidentelle et post-accidentelle.

## *Rejets, contamination et exposition des habitants après l'accident*

F. ROLLINGER (IRSN)

*L'exposé présente tout d'abord une comparaison des rejets et de l'étendue des territoires contaminés qui en a résulté à Tchernobyl et Fukushima. Il décrit ensuite les principales voies d'exposition des habitants (exposition externe, inhalation, ingestion) et leur temporalité.*

## *Conséquences thyroïdiennes des accidents de Fukushima et Tchernobyl*

M. SCHLUMBERGER (Gustave ROUSSY)

*Le risque de cancer de la thyroïde après irradiation externe est impacté par l'âge au moment de l'irradiation (plus élevé chez les jeunes enfants) et par les doses reçues à la thyroïde. Il existe un délai entre l'irradiation et l'apparition du cancer (au minimum de 5 ans et avec une incidence maximale 15 à 25 ans après l'irradiation).*

*En Biélorussie, l'incidence du cancer de la thyroïde a fortement augmenté chez les personnes jeunes au moment de l'irradiation consécutive à l'accident de Tchernobyl. Le risque est par ailleurs augmenté par une carence en iode. Après l'accident de Tchernobyl, 2 millions d'enfants ont été contaminés par les iodures radioactifs en Biélorussie, Ukraine et Russie et 7 000 cancers de la thyroïde sont survenus chez les sujets de moins de 18 ans en 1986. On recense moins de 20 décès par cancer de la thyroïde. L'incidence reste plus élevée 20 ans plus tard chez les personnes contaminées pendant l'enfance. Après l'accident, les populations ont été exposées par inhalation et contamination alimentaire. Aucune mesure de confinement ni de contrôle alimentaire n'a été appliquée, et aucune prophylaxie par KI (iodure de potassium) n'a été mise en place. Les doses à la thyroïde des enfants vivant à proximité du site ont été en moyenne de 580 mGy).*

*Au contraire, les populations de Fukushima ont bénéficié de mesures d'évacuation, confinement, de restrictions alimentaires, ont un régime riche en iode et se sont vues distribuer une prophylaxie par KI. Les doses à la thyroïde des enfants vivant à proximité du site ont été inférieures à 1 mSv (maximum 35). Un programme de dépistage du cancer de la thyroïde a été mis en place à Fukushima sur plusieurs années. Depuis 2011, 125 cancers ont été opérés à Fukushima, et aucun cancer n'a été détecté chez les enfants âgés de 0-5 ans en 2011. L'âge de survenue du cancer de la thyroïde plaide contre une cause radio-induite à Fukushima. Compte tenu des incertitudes liées à la méthode de dépistage, il est difficile de savoir si le cancer est lié à l'irradiation ou s'il survient spontanément. Des recherches d'autres anomalies moléculaires sont en cours.*

## *Enjeux citoyens à Fukushima*

D. BOILLEY (ACRO)

*Après la catastrophe de Fukushima, 160 000 personnes ont été évacuées (en urgence dans un rayon de 20 km autour de la centrale et dans le mois qui a suivi au-delà des 20 km) ou sont parties d'elles-mêmes à cause de la radioactivité. Les autorités ont rapidement*

*fourni une cartographie générale des tâches de contamination sur toutes les zones touchées, mais les mesures locales ont été faites par les populations. Des cartographies ont été également réalisées par des universités et des associations afin d'évaluer le niveau de contamination, également issue des poussières radioactives émises par les incinérateurs de déchets radioactifs. L'ACRO a analysé plus de 600 échantillons sur deux ans (sols, eau, urine, alimentation, poussières intérieures...) et a créé un laboratoire au Japon qui s'est mis en réseau avec d'autres laboratoires.*

*En ce qui concerne l'impact sanitaire, qui est l'objet du séminaire, seuls 23 % des questionnaires visant à reconstituer les doses ont été retournés aux autorités, qui font l'objet d'une certaine défiance de la part des populations. Les autorités ont organisé une surveillance des enfants et des femmes enceintes (197 cas de cancer de la thyroïde ont été détectés). Aucun outil statistique ne permet de dire qu'aucun de ces cas n'est pas radio-induit, ce qui est une source d'inquiétude pour les populations. Toutefois, le taux de dépistage est de plus en plus bas. L'information aux familles était défailante au début et elles font part d'un manque de soutien. Une fondation privée a été créée pour leur venir en aide. Elle a découvert le cas d'un enfant atteint qui avait moins de 5 ans en 2011 et 8 cas de rechute.*

*Alors qu'à Tchernobyl, les autorités ont abandonné de vastes territoires dans un rayon de 30 km, au Japon, les autorités s'obstinent à vouloir reconquérir tous les territoires contaminés, sans consultation de la population. 16 millions de m<sup>3</sup> de déchets radioactifs issus de la décontamination (uniquement les sols) sont attendus après la décontamination. Les déchets organiques s'accumulent devant les 22 incinérateurs dédiés à la réduction des volumes.*

*Le taux de retour moyen est de 15 % dans les zones où l'ordre d'évacuer a été levé et concerne essentiellement les personnes âgées. 59 % des familles qui ne reviennent pas disent que leur maison n'est pas remise en état, 56 % évoquent l'absence de services publics et 48 % s'inquiètent de la radioactivité. Le Japon maintient une limite de 20 mSv/an pour l'évacuation et le retour (celle retenue en France pour les travailleurs du nucléaire). L'indemnisation a déjà coûté plus de 60 milliards d'euros et des plaintes collectives ont été déposées par près de 12 000 plaignants.*

### **Temps d'échange avec la salle**

Un(e) participant(e) demande ce qu'il advient des poussières et des gaz émis lors de l'incinération.

David BOILLEY (ACRO) explique qu'il existe des filtres à poussières de haute efficacité. Des mesures citoyennes ont été effectuées autour des incinérateurs, mais sur des territoires contaminés, le bruit de fond est très élevé, ce qui complexifie l'identification de l'origine de la contamination. Les cendres d'incinérateur sont compactées et placées dans des fûts bétonnés, puis stockées dans un centre de stockage de déchets industriels.

Un(e) participant(e) aurait souhaité avoir des chiffres plus précis sur les incinérateurs et de pouvoir les comparer avec ceux de la radioactivité des cendres des centrales au charbon, en différenciant les fumées et les cendres.

David BOILLEY (ACRO) répond que les cendres des incinérateurs ne sont pas la préoccupation principale en territoire contaminé, où la contamination due aux retombées radioactives est beaucoup plus forte que celle due aux poussières.

Un(e) participant(e) indique que des représentants de citoyens de Fukushima sont venus en début de semaine sur Valence. Ils ont exprimé la honte d'être de Fukushima aux yeux de leurs compatriotes et le problème que pose l'obligation de retour imposée par le

gouvernement (suppression des indemnités d'éloignement...). Un fermier a dû retravailler sa terre, sans pouvoir consommer ses produits.

Un(e) participant(e) signale que dans la matinée, il a été indiqué que la moyenne d'exposition des travailleurs dans le secteur nucléaire était de 1,15 mSv. Si l'on fait la différence entre les travailleurs statutaires et les travailleurs sous-traitants, le taux de radiation est très différent. Il serait intéressant de les comparer. Le livre « Nucléaire : danger immédiat » précise qu'en Corse, en 2013, une équipe médicale génoise a mis en évidence une augmentation significative de 28 % des cancers de la thyroïde chez les hommes versus une situation antécédente à 1986 et l'a attribué à l'accident de Tchernobyl. Il a bien saisi le risque lié au surdépistage de la thyroïde (effet screening) qui peut révéler des cas de cancers de la thyroïde non malins. En 1986, tous les enfants italiens ont eu interdiction de consommer les légumes sortant de terre, mesure qui n'a pas été appliquée en France.

Un(e) participant(e) demande pourquoi en France les exploitants des installations nucléaires n'ont pas la responsabilité des accidents qu'ils peuvent poser, et pourquoi tous les citoyens ont dans leur contrat d'assurance une exclusion pour le risque nucléaire. Il considère que les responsables doivent payer en cas d'accident. En Inde, les exploitants couvrent la totalité de la responsabilité en cas d'accident.

Mariette GERBER (experte scientifique) s'étonne que l'on présente la contamination par le panache par temps de pluie car même sans pluie, la contamination a lieu.

David BOILLEY (ACRO) précise qu'à Fukushima, 7 000 personnes interviennent chaque jour sur le site : les sous-traitants reçoivent 95 % de la dose collective.

Martin SCHLUMBERGER (Gustave Roussy) estime que l'élément important est la dose individuelle reçue par chaque travailleur du nucléaire. À sa connaissance, en 2017, aucun n'a reçu de dose supérieure à 12 mSv.

Un(e) participant(e) signale que sa CLI relève systématiquement chaque année une différence notable entre les doses reçues par les salariés EDF statutaires et celles reçues par les salariés sous-traitants. Un médecin du travail a indiqué dans la matinée qu'il était difficile de suivre les salariés sous-traitants. La moyenne réalisée entre les deux catégories fausse la vision des doses reçues. Les personnes qui travaillent dans la sous-traitance sont souvent peu qualifiées et ne se rendent pas toujours compte des risques qu'elles encourent.

Dominique LAURIER (IRSN) indique que l'IRSN a fait connaître son avis relatif à l'étude réalisée en Corse en 2013. Il a rencontré l'équipe italienne à l'origine de l'étude et lui a fait part des limites de cette étude, notamment sur le fait que les cas ne portaient pas uniquement sur des enfants et surtout parce que la distribution d'âge entre le groupe exposé et le groupe non exposé n'était pas considérée. Or les taux d'incidence de cancers de la thyroïde varient fortement en fonction de l'âge. Les résultats de cette étude n'ont toujours pas été publiés.

Martin SCHLUMBERGER (Gustave Roussy) explique que les seules données disponibles sont épidémiologiques et comparent une incidence avant/après. Encore faut-il que les choses soient comparables (âge, méthode de dépistage...). La question est de savoir si la tumeur de la thyroïde développée par une personne qui a reçu de petites doses à la thyroïde est radio-induite ou non. Les données épidémiologiques ne permettent pas d'y répondre. Pour y répondre, il est nécessaire de réaliser des études scientifiques permettant d'identifier des marqueurs de radio-induction fiables. Les résultats de l'étude en Corse ne sont, à son avis, dus qu'à un effet screening et qu'il est nécessaire d'apporter une confirmation scientifique.

François ROLLINGER (IRSN) précise que la pluie est un facteur aggravant de la contamination, dans la durée. Le dépôt humide est beaucoup plus important que le dépôt sec et entraîne une exposition durable plus forte.



Un(e) participant(e) s'étonne de la méthode consistant à compter les nodules dans la thyroïde. À son époque, les lésions précancéreuses étaient estimées à partir du décompte des nodules froids uniques, et non par la multiplication des nodules.

Martin SCHLUMBERGER (Gustave Roussy) explique que le risque de cancer pour un nodule est de 5 %. Lorsqu'il y a 5 nodules, le risque de cancer est de 1 % par nodule. Le risque global de cancer est toujours de 5%. Il faut diviser le risque de cancer par nodule par le nombre de nodules. Les échographies révèlent beaucoup de plus de nodules qu'auparavant : on y repère ceux qui apparaissent suspects et qui sont soumis à cytoponction.

Un(e) participant(e) s'étonne du peu de références faites au cours de ce séminaire aux travaux réalisés sur l'accident de Tchernobyl, qui offre une cohorte d'un million d'habitants. Il cite les travaux de Vassili NESTERENKO et Youri BANDAJEVSKY, qui ont listé les pathologies radio-induites : cancer de la thyroïde, cancer du sein, diabète, le « Sida nucléaire » (effondrement du système immunitaire), la cataracte, les maladies cardiaques, la tension artérielle, les troubles de l'appareil digestif, les ulcères, les leucémies, les problèmes de fertilité, le retard mental... cette liste semble-t-elle correcte et doit-elle être complétée ?

Audrey LEBEAU-LIVE (IRSN) explique que ce séminaire a permis une première approche des effets de la radioactivité sur la santé. Elle propose de retenir cette piste pour un prochain séminaire.

# Conclusion

---

J.-C. DELALONDE (ANCCLI) et J.-M. PERES (IRSN)

Audrey LEBEAU-LIVE (IRSN) invite les participants à répondre au questionnaire sur le séminaire.

J.-C. DELALONDE (ANCCLI) remercie l'IRSN et l'équipe organisatrice de ce séminaire. L'ANCCLI a été co-constructeur de ce séminaire au travers du comité de pilotage qui s'est réuni pendant deux ans afin de bâtir un projet répondant aux interrogations des CLI, où le sujet de la santé et de la radioactivité monte en puissance. Il a paru important d'y consacrer ces deux journées, auxquelles 23 CLI sur 35 ont participé. La difficulté a été de concentrer sur deux jours un maximum de sujets et de laisser du temps aux présentations et aux échanges. Tous les intervenants qui ont participé à ces deux journées peuvent être remerciés de la qualité et de la pédagogie de leurs présentations.

Même s'il reste encore quelques sujets de frustration, il a le sentiment que de nombreuses réponses ont été apportées. Il est nécessaire de poursuivre le dialogue par l'intermédiaire de tels séminaires. Ni l'ANCCLI, ni les CLI n'ont les moyens d'organiser ce type de réunion. Il espère que les participants repartiront avec beaucoup de satisfaction, peu de frustrations. Il rencontrera la Direction de l'IRSN avant le mois de juillet afin de bâtir des projets de séminaires répondant aux interrogations des CLI.

Jean-Marc PERES (IRSN) remercie également l'équipe organisatrice de ce séminaire, qui est intervenue tant en amont que pendant son déroulement. Il remercie également les orateurs : voici dix ans, les échanges entre les scientifiques et la société civile étaient limités, et l'écoute était limitée de part et d'autre. Aujourd'hui, l'échange est très constructif du fait qu'il y a eu une progression de la connaissance technique chez les uns et la capacité d'écoute chez les autres et il retient avec satisfaction ce constat. Pour ceux qui sont inquiets de l'intégrité des informations présentées, il assure qu'elles ont été préparées spécifiquement pour ce séminaire avec la volonté d'aborder ce que l'on sait et ce que l'on ne sait pas, de dire ce qui est vrai et ce qui est faux. Il souligne l'intérêt que le monde scientifique a pour ce type de manifestation du fait de la pertinence des questions posées.

Le programme de ces deux jours lui avait semblé au premier abord trop ambitieux : effets de faibles doses, relation dose/risque, problématique des travailleurs, impact des installations dans leur environnement, doses dans le domaine médical, gestion post-accidentelle...L'assemblée a pu découvrir la puissance de l'outil épidémiologique pour aborder la problématique des faibles doses. Cet outil a toutefois ses propres limites, qui peuvent être repoussées, mais nécessitent l'étude de cohortes nouvelles, plus importantes sur des périodes de temps longues. Un autre outil est également très complémentaire, à savoir les études en radiobiologie. Il est nécessaire de continuer à étudier la problématique des faibles doses. Il propose d'y consacrer une partie du prochain séminaire dans le domaine post-accidentel (vivre ou non dans les territoires contaminés, banalisation du risque...), en conservant cette importante dimension d'échanges.

## RADIOACTIVITÉ ET SANTÉ : OÙ EN SOMMES-NOUS ?



### ANCCLI

3 allée des Mûriers - 59229 TETEGHEM

[www.anccli.org](http://www.anccli.org)

Association nationale des comités et commissions locales d'information, créée en 2000 pour fédérer les expériences et les attentes des comités et commissions locales d'information et porter leurs voix auprès des instances nationales et internationales. Sa mission est d'informer le grand public et de développer l'expertise citoyenne sur les activités nucléaires.



### IRSN

BP n° 17 - 92262 FONTENAY-AUX-ROSES Cedex

[www.irsn.fr](http://www.irsn.fr)

Pour en savoir plus, vous pouvez nous contacter à [ouverture.societe@irsn.fr](mailto:ouverture.societe@irsn.fr)

Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, établissement public créé en 2002, chargé de la recherche et de l'expertise sur les risques nucléaires et radiologiques, placé sous la tutelle des ministres chargés respectivement de la défense, de l'environnement, de l'industrie, de la recherche et de la santé.