

20 ans après Tchernobyl, les radiations ionisantes

Pourquoi ce dossier ?

" Les hommes ont oublié cette vérité, dit le renard. Mais tu ne dois pas l'oublier. Tu deviens responsable pour toujours de ce que tu as apprivoisé. Tu es responsable de ta rose ". Antoine de Saint-Exupéry *Le Petit Prince*.

Toutes les générations nées durant le XX^e siècle furent, sont ou seront confrontées aux bienfaits des radiations ionisantes d'abord, à leurs méfaits ensuite. Alors que l'histoire des rayons X privilégie leur rôle majeur dans la genèse de la médecine moderne et qu'on oublie leur place dans l'art et l'industrie, l'atome n'a vraiment pris son envol qu'avec l'explosion de la bombe A qui mit un terme à la seconde guerre mondiale.

La radioactivité est au service de l'homme pour le meilleur, les applications civiles dont bénéficie notamment la médecine depuis la dynastie Curie, et pour le pire, avec la dispersion incontrôlée de l'arme atomique. **Vingt ans après Tchernobyl, où en est-on et ou va-t'on ?** Qui peut par son itinéraire nous éclairer alors que tous les jours on glose sur le risque nucléaire et la vulnérance des rayons X, souvent sans vrai discernement ? Par ordre de leur apparition dans l'histoire contemporaine du risque nucléaire, Maurice **Tubiana** (AIHP 1946), Thérèse **Planiol** (AIHP 1947), Georges **Mathé** (AIHP 1948), le Prix Nobel Roger **Guillemin**, Alain **Laugier** (AIHP 1956), Gabriel **Kalifa** (AIHP 1970), André **Aurengo** (1976) et Pierre **Carli** (AIHP 1978) nous apportent ici leurs témoignages. Le Prix Nobel Georges **Charpak** et Richard **Garwin**, sollicités, se sont exprimés dans un livre capital qu'ils nous ont recommandé (G Charpak, RL Garwin, V Journé. *De Tchernobyl en tchernobyls* - Editions Odile Jacob, Paris, 2005) et dont nous nous sommes largement servi.

Qu'ils en soient tous remerciés.

Un radiologue du XX^{ème} siècle, de la bombe A à la résonance magnétique nucléaire

De l'atome militaire

Né le 27 avril 1938, l'enfant avait l'âge de raison lorsque les bombes atomiques du Projet Manhattan de l'Oncle Sam détruisirent Hiroshima et Nagasaki le 6 août 1945. Le monde se mettait à l'abri de nouvelles guerres mondiales ouvertes, relayées toutefois par la guerre froide entre les Alliés de la veille devenus ennemis idéologiques. Le garçonnet rêva longtemps de son premier "bikini", ce slip de bain sulfureux baptisé du nom de l'atoll où eut lieu l'explosion atomique expérimentale de 1946. Il était trop jeune en 1945 pour s'intéresser à la création du *Commissariat à l'Energie Atomique* (CEA) par le Prix Nobel communiste Frédéric Joliot et à son *appel de Stockholm* de 1950. Jusqu'à l'adduction d'eau courante municipale vers 1960, l'eau minérale de *Plancoët*, *Source Sassay*, la plus radioactive de France lisait-on sur l'étiquette, était l'unique alternative sur la table familiale à l'eau du puit de Martigné-Ferchaud, vectrice, elle, d'une endémique fièvre paratyphoïde B.

L'adolescent acnéique resta serein lors de l'explosion de la première bombe H américaine en 1952, à Eniwetok, dans les îles Marshall, un archipel perdu du Pacifique Nord. Au contraire, réagirent par la panique les copains du film *Avant le Déluge*, meurtriers absurdes d'un Roger Coggio, nouvel Alain Gerbault rêvant d'une Océanie idyllique, pourtant déjà le laboratoire appliqué du nucléaire militaire occidental. Il adora l'idée d'une "bombe" au cobalt pour traiter les cancers et l'un de ses profs du lycée faisait frémir ses potaches par des "interros écrites atomiques" à l'improviste. Il s'éveilla à la politique sous Pierre Mendès-France qui lança le programme nucléaire militaire français en 1954 que reprit Charles de Gaulle en 1958. Pacifiste mais pas antimilitariste, il approuva derechef les explosions des bombes A dans le Sahara. À sa grande honte et alors qu'il était carabin depuis 1955, il ne se souvient pas des funérailles nationales offertes par la Nation reconnaissante aux époux Joliot-Curie qui décédèrent, Irène, en 1956, Frédéric, en 1958. Il vibra pour la survie des physiciens irradiés de Vinca sauvés à Paris par la greffe de moelle osseuse en 1959 par Georges Mathé.

Dossier

En 1965, à 27 ans, le jeune adulte, fraîchement marié et nommé au concours de l'internat de Paris, sortit médecin-aspirant de l'école des officiers de réserve de Libourne pour aller se morfondre au CIT 151 de Montlhéry. Il se retrouva heureusement vite muté au *Département des Applications Militaires* (DAM) du CEA. Dans le *Centre d'Essais de Limeil*, on calculait la force de frappe sur des ordinateurs américains surpuissants. Faute d'y avoir le moindre isotope radioactif sur le site, il n'y avait aucun risque de contamination pour le personnel dont le sang était néanmoins réglementairement contrôlé tous les trois mois. Nombre d'agents de toutes qualifications étaient volontiers leucopéniques (4000/mm³) et neutropéniques (40%). L'hématologue de référence, le célèbre Jean Bernard, consulté à plusieurs reprises à l'hôpital Saint-Louis, attribuait ces anomalies à une tendance, disons psychosomatique, courante également chez les intellectuels de l'X et de Normale Sup. On cessa donc de s'en émouvoir. À trois reprises et au titre de l'OTAN, le médecin devenu sous-lieutenant fut envoyé en mission de plusieurs semaines sur la base militaire d'Inamguel, dans le Hoggar, où eurent lieu les explosions atomiques souterraines dans une montagne dont il fit le tour en 2CV, avec le détour imposé par une "fuite" lors d'un essai dont le *Canard* avait fait état en son temps. Il passa une anthropogammamétrie du corps humain dans une sorte de sarcophage, par curiosité car nul ne l'y forçait. Son corps émettait deux pics isotopiques de rayons gamma, le potassium 40 et le césium 137. Le potassium 40 existe chez tous les humains depuis la création du monde. L'autre appareil, lui, avec les explosions atomiques terrestres type Reggane. Tous les Européens avaient donc les mêmes anthropogammagrammes. Pourquoi donc s'en formaliser ? L'usine marémotrice de la Rance allait ouvrir l'année suivante pour le plus grand bonheur du Breton qu'il était resté dans l'âme. Un "atomo-écologiste", quoi !

Des effets incongrus des rayons X à usage médical

1) Le choix d'une profession d'arroseur-arrosé

L'interne devait choisir une orientation de carrière. Pour devenir médecin interniste, Fred Siguier (AIHP 1933), le mentor de l'époque, conseillait de savoir interpréter parfaitement les examens radiologiques, sinon les faire soi-même, comme les Allemands. La discipline radiologique en tant que telle n'était pas professionnellement enseignée dans le cursus des études de médecine. Il choisit un poste chez Guy Ledoux-Lebard (AIHP 1934), à l'hôpital Cochin. Le radiothérapeute Alain Laugier (AIHP 1955) s'était fait l'évangéliste de la promotion de la radiologie moderne par la voie de l'internat des hôpitaux de Paris. Les perspectives de carrières hospitalo-universitaires paraissaient aussi ouvertes que celles de l'exercice libéral. Dans l'un comme dans l'autre cas, on ne risquait pas de mourir de faim ; l'aspiration à devenir riche sans se fatiguer était réputée être la motivation principale des jeunes radiologistes. Par contre, vivre dans le noir une vie de "photographe" en compagnie des radiations ionisantes - et/ou des cancéreux - rebutait nombre de collègues.

Lors du semestre suivant chez Jean-René Michel (AIHP 1953) à la Salpêtrière, sa vocation se heurta à un problème de numération globulaire inattendu : une anémie à 3 000 000 d'hématies par millimètre cube de sang. Le matériel de radiologie était très vétuste : l'un datait d'avant la guerre 39-40 ! Les irradiations directes et diffusées étaient considérables au cours des demi-journées répétées d'examens spéciaux digestifs et génito-urinaires, une bonne douzaine avec un long temps de radioscopie dans

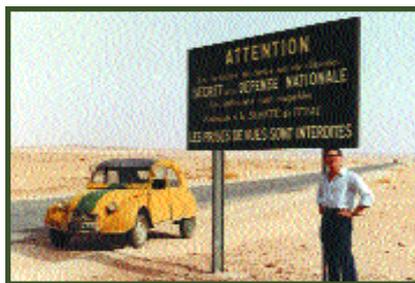
l'obscurité. La dosimétrie individuelle obligatoire était peu fiable. Consulté, l'hématologue de l'hôpital Beaujon, Jacques Mallarmé (AIHP 1932), mit carrément en doute l'intérêt de poursuivre l'idée d'une carrière radiologique, mais la numération refaite dans son laboratoire s'avéra normale. Les collègues de la salle de garde de la Salpêtrière connaissaient "l'anémie à 3 millions" quand les frottings sanguins passaient sous les yeux d'une certaine laborantine ! Les examens hématologiques se lisaient encore artisanalement à la cellule de Malassez ; avant l'ère des automates, il y avait une forte opérateur-dépendance en biologie comme en radiologie.

Mai 68 révolutionna en bien le cursus hospitalo-universitaire de l'électroradiologie. En naquirent une radiologie débarrassée de la "quincaillerie" électrologique, puis une imagerie moderne de plus en plus professionnelle, vers laquelle les internes affluèrent en raison de l'intérêt de la discipline. Jacques Lefebvre (AIHP 1934) et Maurice Tubiana (AIHP 1946) amorcèrent la scission de l'enseignement du radiodiagnostic et de la radiothérapie. Ils introduisirent l'obligation de traiter du risque des radiations ionisantes dans un programme formel de radiologie des carabins.

L'interne qui cumulait les fonctions d'attaché-assistant de radiologie à Paris 5 - Necker l'y enseigna pendant sept ans. Il décida d'opter définitivement pour le radiodiagnostic, une fois achevée sa formation d'interniste en 1971. Faute de culture physique suffisante, il ne fut pas séduit par l'exercice de la médecine nucléaire, celle qui utilise les isotopes radioactifs à des fins diagnostiques ou thérapeutiques. Elle avait été détachée de la radiologie dès sa création à la Libération et dirigée depuis Saclay et Orsay. Sa pratique était strictement confinée au service public, principalement dans les Centres anticancéreux et à l'exception de l'Hôpital Américain de Neuilly. *L'Assistance Publique à Paris* n'avait pas poussé à son développement dans ses hôpitaux, hormis Necker et la Pitié. Le très influent conseiller de Georges Pompidou, le biophysicien Gaston Meyniel (1923-2005), deux Auvergnats, sauva la discipline à un moment où le pouvoir politique pouvait encore créer des postes universitaires sans passer par l'aval des collèges nationaux. *L'AP-HP* s'est bien rattrapée depuis.

2) Un couple d'arrosés infertiles

Marié avec une excellente infirmière pédiatrique, l'interne aurait vécu parfaitement heureux si le couple ne s'était révélé infertile sinon stérile depuis neuf ans déjà. Avait-il eu tort de ne pas suivre Mallarmé dans son aversion pour la radiologie ? Le spermogramme était normal, mais les insufflations tubaires post-coïtales répétées sur l'épouse étaient toujours inefficaces. Fallait-il donner de l'importance à la surirradiation subie par la jeune infirmière pionnière de la néonatalogie de Saint-Vincent de Paul pendant ses cinq années passées chez Marcel Lelong (AIHP 1921) et Daniel Alagille (AIHP 1950) ? Elle avait tenu, suspendus par les mains et à bout de bras, les nourrissons examinés derrière les appareils de radioscopies des services de néonatalogie comme de radiopédiatrie, pendant des temps incalculablement longs. Elle se trouva donc dans les conditions quasi expérimentales qui permirent à Antoine Béclère (AIHP 1877) de décrire la radiologie clinique mais aussi de se nécroser les mains. Elle ne portait jamais de dosimètre ni de tablier plombé. C'était il y a cinquante ans. Le gynécologue-obstétricien enthousiaste et obstiné autant que rude, Michel Chartier (AIHP 1949) pour ne pas le nommer, avait assuré au mari " *Cette femme aura un enfant ! Je le garantis ! Je ne sais pas quand ! Je ne sais pas avec qui !!! Oh pardon, mon vieux ! Ce n'était pas ce que je voulais dire !* " On com-



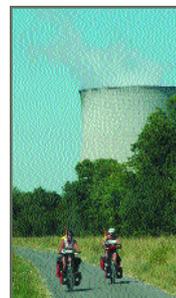
mençait à évoquer l'adoption sinon le divorce. L'enfant du hasard fut conçu au début du printemps 1971. L'échographie fœtale n'existait pas, la mère était presque quarantenaire, l'enfant serait-il bien formé ? Il fallut attendre neuf mois et l'accouchement, le 24 décembre, pour recevoir l'heureux produit de la conception d'un enfant normal sur tous les plans. Ouf !

3) Radiologue urogénital arroseur-arrosé

Il était alors chef de clinique à Necker, dans le tout nouveau *Palais du Rein*. Entre Jean Hamburger (AIHP 1931) à l'Est et Roger Couvelaire (AIHP 1927) à l'Ouest, Jean-René Michel (AIHP 1953) avait fait de son service la référence française en radiologie urinaire. On y faisait par jour une cinquantaine d'UIV, des urétrocystographies rétrogrades par vingtaines, des angiographies rénales par demi-douzaines. Comment ne pas se pencher sur le problème quotidien de l'irradiation des testicules et des ovaires des malades durant ces examens, surtout les femmes et les enfants ? Et regrettamment parfois aussi des fœtus ; ignorés de la mère ou cachés au radiologue, ils se révélaient sur les clichés sans préparation de l'abdomen. On évoquait souvent un hypothétique "*permis d'irradier*" réservé aux seuls radiologues.

Il n'y avait que deux parades à l'angoisse métaphysique qui fit longtemps fuir tant de radiologues devant cette dualité de responsabilités dissuasives : user des rayons X et des produits de contraste iodés réputés dangereux pour produire des examens d'interprétation préjugée très difficile. *La première consiste à récuser toute indication inutile à l'aboutissement de la procédure d'étude diagnostique d'un symptôme et/ou d'une maladie. La seconde est de réaliser un examen dans son intégralité potentiel - le tout en usant d'une technique aussi économique que possible en agents vulnérants.* On ne nuit pas à son malade en décidant d'y aller si on ne peut pas faire autrement mieux que d'y aller. Mais on lui nuirait à coup sûr si, une fois que l'on a décidé d'y aller, on n'allait pas jusqu'au bout de ce que la technique offre pour justifier les espoirs mis en elle, c'est-à-dire une aide réelle au diagnostic. Un examen normal a alors autant d'intérêt médical - et encore plus pour le malade - qu'un résultat pathologique, n'en déplaît à certains technocrates. Nommé professeur et chef de service hospitalo-universitaire, il continua d'enseigner et de pratiquer cette exigence, sans jamais sombrer dans les excès des thèses hormésiques les plus extrêmes. Michel racontait qu'un de

ses collègues se faisait administrer *5r* pour se remettre en forme avant de commencer sa journée, ce qui ne l'empêcha pas de vivre ingambe bien au-delà de l'âge d'une heureuse retraite !



Des radiations ionisantes médicales face à *Harward* et à la vulnérance en imagerie

Dans les années 1970, apparurent deux nouveaux concepts qui bouleversèrent la pratique médicale, en commençant par celle du radiodiagnostic. L'école harvardienne de Barbara McNeil exporta l'idée de coût-efficacité des moyens diagnostiques et thérapeutiques disponibles dans des départements d'imagerie médicale, pour réguler les budgets des dépenses de santé. L'un des effets pervers fut un risque de bâclage d'examen d'imagerie pour cause de technologies trop dépendantes des prix de l'énergie, du support d'image, de la nomenclature et/ou de la maintenance. Le concept de méthode invasive, dite vulnérante en langage académique, vient de ce souci de se soustraire des dangers des sources nuisibles, au premier rang desquels se situent toujours aujourd'hui les radiations ionisantes et les produits de contraste. Faut-il insister ? Les ondes ultrasonores ne sont pas ionisantes ; elles sont thermogènes par agitation moléculaire. Ultraviolets et infrarouges brûlent sans ioniser. Les pionniers propagandistes de l'échographie ultrasonore usèrent trop de l'idée selon laquelle l'imagerie radiologique est vulnérante contrairement à la leur qui serait totalement inoffensive. L'opérateur-dépendance du diagnostic ultrasonographique est pourtant un facteur important dans l'évaluation de sa fiabilité, donc de sa nuisance indirecte.

En 1973, apparut le (CT) scanner - académiquement le scanner - qui vaudra à Geoffrey T Hounsfield un Prix Nobel et une baronnie. S'il était compréhensible que les purs ultrasonographistes y voient un nouveau produit des rayons X, nombre de radiologues le sacrèrent non-vulnérant parce qu'il les libérait, pensaient-ils, des produits de contraste iodés voire de la prise de trop nombreux clichés. Ils n'eurent raison qu'à court terme car, très vite, les examens scanographiques exigèrent des quantités croissantes d'iode, souvent très supérieures à celles que requière une UIV maximaliste de type Necker. De plus, les séries de coupes de plus en plus nombreuses et plus fines se multiplièrent durant une même séance. Le suivi des malades inclut de plus en plus de scanners répétés.

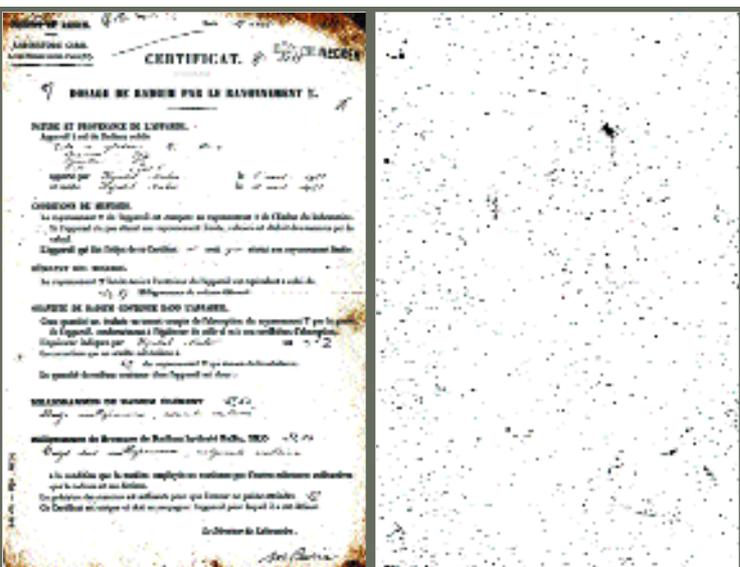
La révolution technologique apporta la résonance magnétique nucléaire peu de temps après. **Les champs magnétiques oscillants n'ionisent pas.** Fut-ce cet adjectif inquiétant qui gêna ? La RMN fit rapidement place à l'IRM. Technologie lourde aussi bien en contraintes architecturales qu'en euros, l'imagerie RM était jusqu'à ces dernières semaines considérée comme non-vulnérante. Une directive de la *Commission de Bruxelles* d'origine anglo-saxonne reprise par le *Parlement Européen* remet en cause cette certitude.

Aujourd'hui et encore plus demain, quand on parle de "*disruptive radiology*", en ira-t-il ainsi avec la tomographie par émission de positons (PET-scanner), agressif pour le moment principalement pour les finances des budgétivores en mégaeuros ?

Du radiodiagnosticien face à Tchernobyl

En 1986, Maurice Tubiana et lui présidaient aux destinées chaotiques de l'*International Society of Radiology* (ISR) après le désastreux ICR'85 d'Honolulu. Il en allait du succès du *XVI^e Congrès International de Radiologie de Paris* (ICR'89). Il fallait ramener la radiologie nord-américaine dans le sein de la communauté internationale qu'elle avait piteusement fuie. Pure coïn-

Autoradiographie effectuée en 2002 par Nicole Laborie et l'auteur, d'un document destiné à contrôler la source de radium utilisée en 1923 à l'hôpital Necker. Rempli et signé par Marie Curie, ce document confirme l'incrustation définitive de corps radioactifs de périodicités élevées, radium principalement, dans sa main droite.



Dossier

cidence, quelques semaines après l'explosion du réacteur de Tchernobyl, il se rendit à Baltimore pour que l'*American College of Radiology* fasse un comeback avec les honneurs de la guerre. L'ISR contribuait au budget de deux commissions qu'elle avait créées en 1927 à Stockholm. L'une, l'*International Commission of Radiation Protection* (ICRP) allait jouer un rôle trop important pour que les USA négligeassent de participer aux débats sur le risque nucléaire induit par Tchernobyl après THREE MILE ISLAND. L'autre, l'*International Commission of Radiation Unit and Measurement* (ICRU), s'occupait de la réforme des unités de radiations et de leurs mesures.

Il obtint gain de cause et la possibilité d'inclure un symposium dédié à Tchernobyl - et à une autre catastrophe moins connue survenue à Goiânia au Brésil - dans le programme scientifique de la section radiodiagnostic d'ICR 89. Maurice Tubiana et lui voulaient que ce rendez-vous fondamental pour l'avenir des études du risque radique ait lieu pour témoigner de leur volonté de ne pas fuir la discussion objective des effets secondaires réels des explosions nucléaires accidentelles. Il y fut notamment évoqué le rôle qu'allait jouer l'échographie dans l'enquête épidémiologique des nodules thyroïdiens chez les rescapés et dans les régions traversées par le nuage radioactif.

Une certitude existe et pour longtemps : la technologie croît en potentiel plus vite que les capacités humaines à s'adapter aux effets qu'elles provoquent sur l'exercice des professions de Santé

Toutes les défenses naturelles ou artificielles que l'humain édifie pour contrôler le phénomène sont faillibles à plus ou moins court terme. Le risque radiatif n'est pas qu'affaire d'isotopes dans les mains de docteurs Mabuse. La justice française tranchera sur les responsabilités respectives des technologies et des technologues dans le cadre récent des erreurs de dosages radiothérapeutiques d'Epinal, comme la britannique dans la toute chaude et criminelle affaire Litvinenko et son ouverture sur le terrorisme "sale". Elles ne seront ni plus ni moins édifiantes que ce qui se discutera encore longtemps dans les sections vosgiennes de



l'écologie militante à propos de l'énergie nucléaire.

Toutes les techniques d'imagerie peuvent se transformer d'outils purement diagnostiques en moyens thérapeutiques nécessairement beaucoup plus agressifs pour être efficaces. Les isotopes radioactifs servent non seulement l'imagerie mais aussi la biochimie, avec les dosages radio-immunologiques qui ne font de mal à personne, au moins avant qu'ils n'aillent à la poubelle. Viennent s'introduire dans le débat de la définition de la vulnérance de nouveaux interlocuteurs :

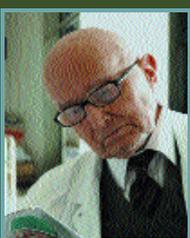
les écologistes, les économistes, les juristes, les banquiers, les assureurs, les philosophes, les législateurs, ... Pour ne citer que ceux qui tentent de mieux canaliser positivement la nécessité de protéger les citoyens de l'infirmité iatrogénique.

Les spécialistes de la radioprotection s'associent à ceux qui assument le risque nucléaire en général pour réclamer une rationalisation du devoir de précaution, notion maintenant constitutionnelle dans le droit français, mais nullement absente dans les autres pays de l'Union Européenne. Les Anglo-Saxons ont l'*habeas corpus* depuis trois siècles.

"*Approvoiser, c'est créer des liens*", apprend-on au Petit Prince, venu sur terre d'une autre planète, avant les Shadocks et les Gibis. Quel que soit le futur du nucléaire, l'énergie électrique n'est pas stockable, quelle que soit la quantité nécessaire, de la terratonne de TNT au picojoule produits. L'être humain doit mûrir suffisamment pour comprendre que son sort est lié pour encore des décennies, en grande partie mais de moins en moins exclusivement, à la domestication des radiations ionisantes à des fins civiles utiles. Des centrales nucléaires de toutes tailles seront plus que probablement nécessaires voire indispensables pour faire fonctionner aussi bien les mégapoles hospitalières que les sonotones dans les oreilles des sourds qui voudraient bien entendre comme vous et encore lui.

"*Un jour pourtant, un jour viendra, couleur d'orange...*" prédisait, optimiste, Aragon.

Entretiens à paraître dans *l'Internat de Paris* n° 48



Georges Mathé
AIHP 1948



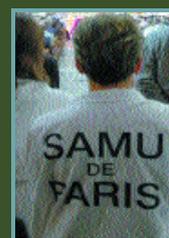
Gabriel Kalifa
AIHP 1970



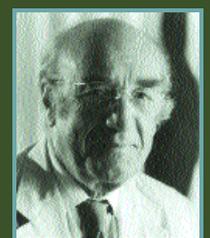
Alain Laugier
AIHP 1956



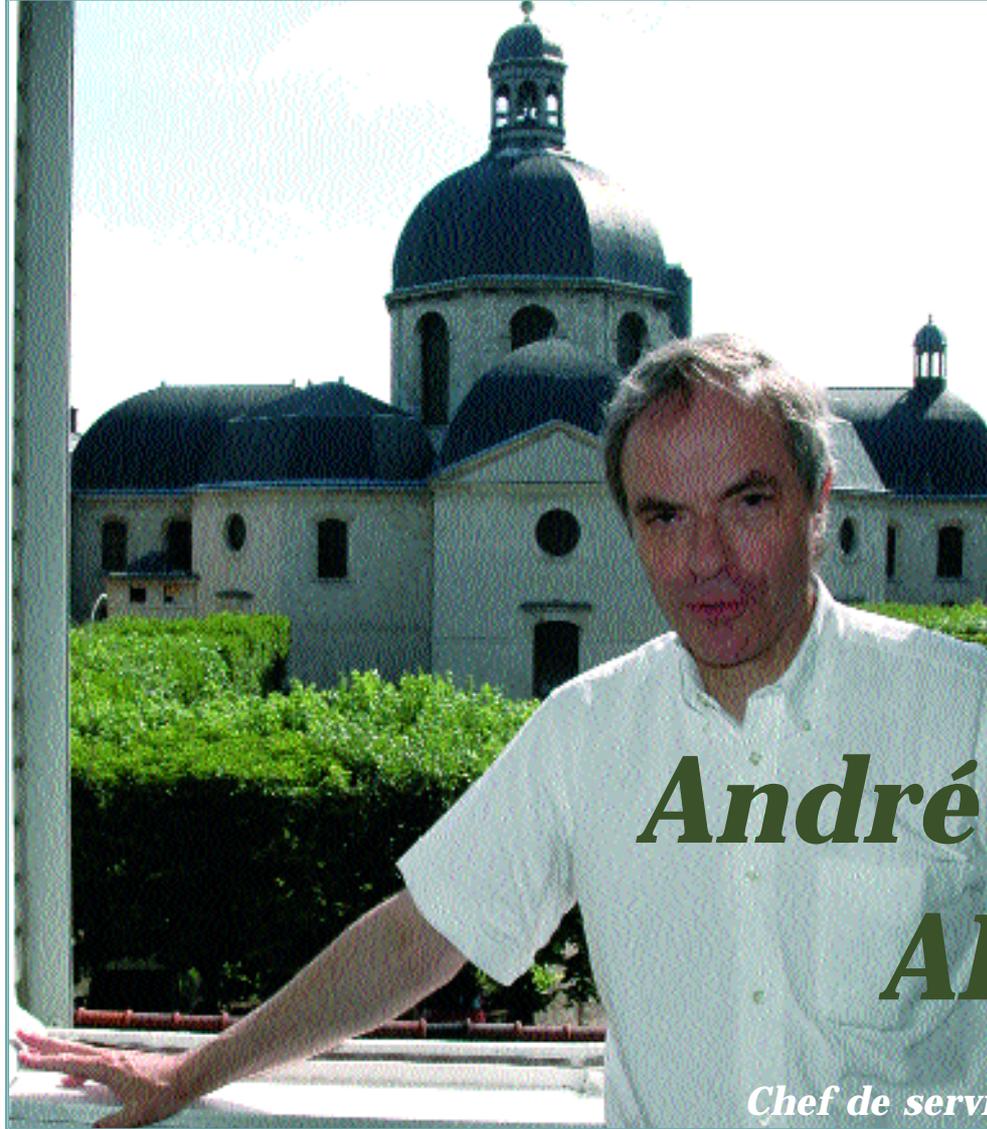
Thérèse Planiol
AIHP 1947



Pierre Carli
AIHP 1978



Roger Guillemin
Prix Nobel



André Aurengo

AIHP 1976

Chef de service de Médecine Nucléaire

Groupe hospitalier Pitié Salpêtrière

Président de la Société Française de Radioprotection

Jean-François Moreau pour l'Internat de Paris : André Aurengo, vous êtes Professeur de Biophysique à l'Université Pierre & Marie Curie (Paris VI) et le chef du service de Médecine Nucléaire du GH de la Pitié Salpêtrière (GHU Est) depuis 1989, année de vos 40 ans. Vous êtes le président en exercice de la *Société française de Radioprotection* (SFRP). Né en 1949, vous avez été élu Membre de l'*Académie Nationale de Médecine* en 2005. Vous y exercez un rôle d'expert de référence en matière de risque nucléaire et, d'une façon plus générale, des radiations ionisantes. Avant de commencer vos études de médecine, vous étiez sorti de l'École Polytechnique (X 67) et vous êtes docteur ès sciences. Nommé au concours de l'Internat des hôpitaux de Paris en 1976, vous aviez donc dix années d'exercice de la médecine hospitalière lors de l'explosion de la centrale nucléaire de Tchernobyl dont le monde entier a célébré le triste vingtième anniversaire le 26 avril dernier.

Pourquoi, quand et comment avez-vous été impliqué dans le suivi médical cette grande catastrophe nucléaire civile,

au sommet de L'ÉCHELLE INES qui en évalue la gravité ?

André Aurengo : J'ai été contacté au début des années 1990 par une association humanitaire du XIII^e arrondissement de Paris, *Les Enfants de Tchernobyl* ¹. Entraînée par sa présidente Marie-Laurence Simonet, aussi dynamique que pauvre en moyens financiers, elle prenait en charge des enfants malades d'origine ukrainienne qui ne pouvaient être soignés sur place faute de moyens techniques. À peine quatre ans après l'explosion de la centrale nucléaire, c'est-à-dire très tôt, on fut alarmé par l'incidence anormalement croissante de cancers de la thyroïde de jeunes enfants, à l'évidence radio-induits, qui atteignit bientôt près de cent nouveaux cas par an en Ukraine, alors qu'on en dénombrait 6 à 8 avant l'accident. En Ukraine, Bélarus et Russie, on dénombre au total aujourd'hui quatre mille cas en excès par rapport à la norme. Il s'agit essentiellement d'enfants, surtout des très jeunes de moins de cinq ans. Une fois faite la thyroïdectomie à Kiev, il n'y avait

aucune structure locale capable d'effectuer le traitement radio-isotopique complémentaire. Sous l'impulsion de son créateur, Jean-Claude Savoie (AIHP 1947), le service de médecine nucléaire de la Pitié-Salpêtrière avait acquis une grande réputation en matière de pathologie thyroïdienne, et j'ai été amené à traiter une trentaine d'enfants de Tchernobyl par l'iode radioactif (¹³¹I).

Est-ce pertinent que de traiter un cancer radio-induit par un isotope radioactif ?

Absolument. Lors de l'accident, la quantité d'iodes radioactifs (¹³¹I, ¹³²I, ¹³³I), ingérés ou inhalés puis captés par la thyroïde, fut suffisante pour créer des lésions cancérogènes sur des cellules initialement saines en pleine période de multiplication. La thyroïde est fonctionnelle dès le troisième mois de la vie fœtale et les mitoses sont nombreuses jusqu'à l'adolescence. Les cellules thyroïdiennes sont avides d'iode et leurs chromosomes sont vulnérables à leur radioactivité. Pour tuer les cellules cancéreuses primi-

tives ou secondaires, on administre des doses thérapeutiques considérablement plus élevées, de l'ordre de 80 grays. Elles ne sont délivrables que dans les centres spécialement équipés, tel celui de la Pitié-Salpêtrière. Un centre pleinement autonome n'existe en Ukraine que depuis 1995. J'avais participé à l'élaboration de son projet médical à l'occasion de deux missions exploratoires déjà anciennes.

Aux USA, l'arrêt de la production d'électricité par le nucléaire fut décidée par Jeremy Carter, à la suite de l'accident de *Three Mile Island* (TMI), une centrale située en Pennsylvanie, survenu le 28 mars 1979. A-t-on constaté la même augmentation de fréquence des cancers radio-induits dans le voisinage ?

Non, et pour une raison très simple : les mécanismes des deux accidents et leurs conséquences n'ont strictement rien à voir. Dans le cas de TMI, une erreur humaine qui avait pour origine une information erronée quant à la position d'une vanne entraîna une fuite radioactive de très faible importance (trois millions de fois moins qu'à Tchernobyl). L'accident fut détecté très vite et contrôlé techniquement. Il n'y eut aucune victime dans la centrale elle-même. En revanche, la diffusion dans les médias de la nouvelle et de l'ordre d'évacuation d'urgence, promulgué après quelques atermoiements par le gouverneur de l'État, entraîna une panique généralisée avec des morts par accident d'automobile parmi les fuyards. À distance, l'accident de TMI n'a pas eu d'effet statistiquement significatif sur la morbidité cancéreuse nord-américaine régionale ou nationale. Ce fut aussi l'occasion de revoir les protocoles de sécurité dans toutes les centrales nucléaires en les durcissant.

Pourquoi fut-ce si différent à Tchernobyl ?

Avec Tchernobyl, on a affaire à un scénario totalement différent. L'usine fut construite à l'époque où l'Ukraine faisait partie de l'URSS, un régime marxiste-léniniste centralisé à Moscou. Il existe encore dans la Russie d'aujourd'hui quelques vieilles centrales construites sur le même modèle "*grand réacteur à eau bouillante*" RBMK, déjà différentes de celle de TMI, puisqu'elles servent à des fins mixtes, civiles et militaires.

Tchernobyl serait-il donc un nouvel Hiroshima ?

L'accident de Tchernobyl n'est pas une "*explosion nucléaire*" comme Hiroshima :

c'est l'explosion d'une gigantesque cocotte-minute manipulée par d'incroyables maladroits irresponsables accumulant erreurs sur erreurs impardonnables. Rappelons que l'URSS dissimula la nouvelle de l'explosion pendant une semaine, et ses causes pendant plus d'un mois, mais on sait reconstituer exactement le déroulement des faits techniques. Il s'agit d'un test de fonctionnement de certains organes de la centrale, en mode dégradé. La poursuite du test, que les opérateurs voulaient absolument terminer avant le week-end du 1^{er} mai, les a conduits à lever une à une toutes les sécurités automatiques, induisant ainsi un emballement de la puissance du réacteur qui fut multipliée par mille en quelques secondes. La chaleur entraîna la vaporisation de l'eau sous pression qui fit exploser la cuve du réacteur lorsque le point de rupture mécanique fut atteint, dispersant environ 2% de son contenu. Pendant une semaine, ce fut le graphite qui brûla et que l'on ensevelit sous des tonnes de sable et de cailloux. Le nuage qui s'ensuivit fut donc un mélange d'eau, de fumées et de matières radioactives qui se répandirent dans l'atmosphère pendant des semaines au gré des vents et, au sol, à celui des pluies et des microclimats. Mis au courant de l'accident, les spécialistes du monde entier furent stupéfaits par l'aveuglement des "*responsables*" tant locaux que soviétiques.

Quels effets somatiques les populations humaines vivant autour de la centrale eurent-elles à subir à court et moyen termes ?

La contamination de l'air et surtout des aliments a été très importante dans les zones de l'ex-URSS sous le vent par rapport à la centrale, principalement au nord-ouest de l'Ukraine, en Belarus et dans une petite zone de la Russie. Les isotopes radioactifs contenus dans le nuage ont été rabattus par la pluie, contaminant le sol et les végétaux, en particulier l'herbe des plaines où paissent les ovins et les bovins dont le lait a été contaminé par de l'iode radioactif.

Or, les produits lactés – fromage et yaourt notamment – sont les produits de base de l'alimentation des locaux, les enfants en premier, bien entendu. L'iode étant concentré activement par la thyroïde (d'autant plus que ces régions sont touchées par une carence iodée), il en résulta une augmentation locale considérable de l'incidence du cancer thyroïdien chez ceux qui étaient des enfants ou *in utero* à l'époque de l'accident.

Qu'en fut-il donc pour l'Europe occidentale et plus particulièrement pour la France ? On sait que le nuage franchit la ligne Oder-Neisse. Se serait-il imparablement heurté à l'invincible rive droite du Rhin, comme on l'aurait clamé à l'époque ? On en reparle aujourd'hui à l'occasion de la mise en examen du professeur de biophysique et électroradiologiste Pierre Pellerin qui dirigeait le SCPRI (*Service central de protection contre les rayonnements ionisants*, rattaché à l'Inserm), alors en charge de notre radio-protection civile ².

A ma connaissance, aucune autorité nationale, et en particulier le SCPRI, n'a dit que le nuage de Tchernobyl n'était pas passé sur le territoire français. La communication a été de piètre qualité, personne n'en étant vraiment chargé. Une instruction judiciaire est en cours pour déterminer si, comme je le crois, la communication du SCPRI a été simplement d'un lacanisme très maladroite mais avec des décisions conformes à la réglementation de l'époque, sans mettre en danger la santé des Français, ou bien si son action a été répréhensible ³. Affaire à suivre.

L'accent est mis sur la contamination du sol par les isotopes radioactifs.

La contamination des sols est très imparfaitement connue, mais de toute manière elle ne permet pas de déterminer la contamination des aliments, donc d'estimer les doses reçues par la population et encore moins par la thyroïde des enfants, comme je le montre dans le rapport que j'ai remis aux ministres de la Santé et de l'Environnement en avril dernier. Ce rapport, bien embarrassant pour certains, a été mis au placard ⁴.

Pouvez-vous être plus précis ?

Des estimations dosimétriques assez fiables ont été conduites en 1997, fondées sur les mesures de contamination des aliments conduites en 1986 et sur la consommation moyenne des aliments en France. Elles montrent des doses maximales à la thyroïde des enfants d'environ 16 mGy, nettement inférieures aux niveaux auxquels on observe un excès significatif du risque de cancer thyroïdien (100 mGy).

Mais les cancers de la thyroïde doivent-ils mis sur le compte de Tchernobyl, oui ou non ?

Les spécialistes, et cet avis est confirmé par le *Bilan actualisé sur les cancers thyroïdiens* publié en avril 2006 par

l'Institut de Veille Sanitaire, avancent plusieurs arguments pertinents pour montrer que cette augmentation de l'incidence du cancer de la thyroïde en France ne peut pas résulter de Tchernobyl :

a) elle a débuté plus de dix ans avant l'accident ;

b) on la rencontre dans tous les pays développés où l'on pratique des échographies, qu'ils aient été contaminés ou non par l'accident ;

c) elle ne concerne que les adultes alors qu'un "effet Tchernobyl" ne concernerait que des enfants très jeunes ou in utero en 1986 ;

d) enfin, l'augmentation département par département ne suit pas celle de la contamination. Par exemple, quand on compare les périodes 1982-86 et 1992-96, le nombre de cancers a été multiplié par 4 dans le Calvados et par 2 dans le Bas-Rhin.

N'allez-vous pas avoir du mal à en convaincre les Corses ?

On constate effectivement une seule anomalie significative : une augmentation d'incidence en Corse, touchant des hommes adultes lors de l'accident. Mais il ne semble pas possible que cette anomalie soit liée à Tchernobyl. Rappelons en effet qu'en Ukraine, 98 % des cancers thyroïdiens en excès recensés concernent des enfants qui avaient moins de 10 ans en 1986 et que 2/3 d'entre eux sont des petites filles.

La France métropolitaine est divisée schématiquement en deux parties. L'une, occidentale, est de climat atlantique avec des vents dominants du sud-ouest et un bon apport de sel marin iodé à sa population. L'autre, orientale, est continentale et supposée moins riche en iode. Cela explique-

til une supposée moindre capacité du corps thyroïde des Alsaciens et des Jurassiens à résister naturellement au nuage de Tchernobyl ?

L'iode des Français vient certes de l'air marin, mais la source principale est alimentaire. Au XIX^e siècle, en France, l'autarcie alimentaire était responsable d'une carence iodée importante et grave : en 1840, une enquête nationale conduite par Mayet concluait, sur 36 millions d'habitants, à la présence de 370 000 goitreux, dont 120 000 "crétins" par hypothyroïdie congénitale. Aujourd'hui, notre sel de table est systématiquement et judicieusement suriodé. Également, voire surtout, il y a une augmentation des apports liée à la diversification des origines de nos aliments, du fait de la circulation des légumes et des viandes de provenances variées sur nos marchés. En revanche, dans la région de Tchernobyl en 1986, il y avait une situation de carence iodée importante - une campagne de supplémentation en iode avait été interrompue quelques années auparavant ! - qui n'a pu que favoriser l'exposition thyroïdienne aux iodes radioactifs. De plus, aucune distribution d'iode stable efficace (c'est-à-dire très précoce) pour protéger la thyroïde ne fut conduite.

Mais alors pourquoi ces digressions en France sur l'impéritie supposée de nos responsables à divers degrés de la hiérarchie sociale et politique ? Faut-il soi-même céder à la désespérance ? La situation est-elle désespérée pour nos concitoyens les plus orientaux ?

Vous pourriez poser la question autrement : pourquoi la France est-elle le seul pays d'Europe où on n'a pas refermé le dossier Tchernobyl ? Je ne comprends pas bien en quoi la situation serait "désespérée" pour les habitants de l'Est de la France. Les doses à la thyroïde reçues dans l'Est en 1986 ont été estimées à environ 2 mGy pour un adulte et 16 mGy pour un enfant de 5 ans. On n'a jamais observé de cancer radio-induit de l'enfant pour des doses aussi faibles. Pour les adultes, c'est encore plus simple : le cancer thyroïdien radio-induit n'existe probablement pas, comme le montrent les études épidémiologiques conduites aux USA et en Suède, sur près de 50 000 personnes après administration diagnostique ou thérapeutique d'iode 131.

Oui, mais la pluie ?

Tout d'abord, qu'en est-il des zones où il a beaucoup plu début mai 1986

(quand le nuage est passé sur la France) et où le sol est davantage contaminé ? Il ne faut pas confondre la contamination du sol en césium radioactif et celle des aliments en iode radioactif : quand la pluie augmente, le césium est largement rabattu vers le sol, sans saturation (plus il pleut, plus on retrouve de césium dans le sol). En revanche, l'iode est peu entraîné par la pluie et son dépôt sur l'herbe et les légumes feuillus est vite saturé : au-delà de 20 mm de pluie environ, la contamination de ces végétaux n'augmente plus car la pluie coule vers le sol. Sur l'herbe par exemple, la contamination ne suit pas la voie pluie=>sol=>racines=>feuilles, mais la voie pluie=>feuilles=>incorporation ou écoulement vers le sol. Ce n'est pas en regardant où il a plu le plus qu'on peut déduire où les contaminations alimentaires ont été les plus fortes.

Qu'en est-il des personnes vivant en autarcie et/ou ayant un régime alimentaire très particulier ?

Les calculs dosimétriques de 1997 sont fondés sur des mesures conduites sur des mélanges (du lait de coopérative par exemple) et ils permettent d'estimer avec une fiabilité satisfaisante les doses à la thyroïde d'enfants français ayant une alimentation habituelle. On ne peut exclure que des enfants (probablement en petit nombre) vivant en autarcie, dans des zones où la contamination des aliments aurait été particulièrement élevée et qui auraient consommé des produits laitiers frais en abondance, aient eu une dose nettement plus élevée à la thyroïde. Il est pratiquement impossible, rétrospectivement, de conduire une étude dosimétrique pour un cas particulier : la contamination des aliments en un point donné est inconnue et ne peut pas être déduite de celle du sol aujourd'hui ; d'autre part, une enquête alimentaire conduite vingt ans après est illusoire et comporterait un risque de biais d'anamnèse majeur.

J'ai commencé mes études de médecine avec le roentgen et le rem, le rad et le curie. On parle aujourd'hui de becquerel, de gray et de sievert. Comment ne pas être agacé par des changements incessants de nomenclature dont on saisit mal le bien-fondé ?

Le rad (système CGS) a été abandonné au profit du gray, conforme au Système international MKSA. Le rem (dérivé du rad) et le sievert "efficace" (dérivé du gray) ont été créés pour les besoins de la radioprotection :

a) le sievert tient compte de la plus ou

Notes

1 M Pennec. *Ouest-France* du vendredi 21 avril 2006. "Prévention ! C'est ce que font, depuis 1992, Marie-Laurence Simonet et Olga Vassilenko au Centre médical français de Kiev. Leur association, Les enfants de Tchernobyl, se démène pour juguler ces cancers de la thyroïde qui se sont multipliés chez les jeunes Ukrainiens..."

2 H Morin, C Prieur. *Pierre Pellerin serein sur son nuage*. Le Monde, 30 juin 2006, pp 20-21.

3 Pour comprendre les versions des parties adverses, lire sur : http://www.dissident-media.org/stop_nogent/10_retour_tcherno.html "Retour sur la gestion en France de la crise ouverte par Tchernobyl". Publié dans la Gazette Nucléaire, 207/208, juillet 2003, p. 23-27. B Belbéoch, juin 2003.

4 *Rapport sur les conséquences de l'accident de Tchernobyl en France*. Missions ministérielles du 25 février et du 6 août 2002 ; disponible sur simple demande (aurengo@wanadoo.fr)

Dossier

moins grande dangerosité des rayonnements et de la sensibilité différente des tissus à la cancérogenèse ;

b) ils permettent d'ajouter des doses très diverses chez une même personne tout au long d'une vie, par exemple une radiothérapie pour cancer du sein, une scintigraphie thyroïdienne et un scanner du genou, dans un même espace de temps ou à intervalles plus ou moins éloignés. Les jeunes générations y sont maintenant habituées. Il est exact que la multiplicité des unités ne simplifie pas un sujet déjà complexe en lui-même. Pour la mesure de la radioactivité d'une source (c'est-à-dire le nombre de désintégration de noyaux par unité de temps) on utilisait jadis le curie, qui est la radioactivité d'un gramme de radium. Cette unité, très grande (37 milliards de désintégrations par seconde) a été remplacée par le becquerel, unité très petite (1 désintégration par seconde). On peut s'inquiéter de l'effet psychologique que créent les nombres élevés auxquels conduit une unité aussi petite, d'autant que les repères manquent pour le public et ne sont jamais rappelés.

Le sanglier des Vosges qui contenait 2000 becquerels de césium 137 par kg a été présenté comme la Bête de l'Apocalypse. Rappelons que le corps humain d'un adulte contient naturellement environ 7000 becquerels. On a calculé que, si un garde forestier vosgien ne consommait pendant un an que de la viande de sanglier et des champignons locaux, sa dose d'irradiation n'augmenterait que d'un seul millisievert, soit la moitié de la différence qui existe entre un Parisien et un Auvergnat de Clermont-Ferrand.

Quid du carbone 14 et du "dari" ?

Le carbone 14, autre élément radioactif bien connu pour la datation en archéologie, est normalement présent dans le corps humain ; mais, émetteur d'un rayonnement β trop "mou", il est indétectable par la technique de l'anthropogammamétrie. L'irradiation annuelle naturelle liée aux radioéléments que contient notre organisme (essentiellement potassium 40 et carbone 14) définit le DARI, unité de "dose annuelle due aux radiations internes", proposée par Charpak et Garwin. Normalement 1 dari = 170 microsieverts.

Quelle unité doit-on utiliser en radiologie ?

Les radiologues et les isotopistes doivent maintenant fournir à leurs patients une fiche d'irradiation qui s'exprime en millisieverts efficaces. Un effort pédagogique supplémentaire et des éléments de comparaison en direction de tous les publics sont évidemment nécessaires.

Comment la cellule vivante réagit-elle quand elle reçoit une radiation ionisante ?

Tout dépend de la dose. Très schématiquement, agressée par une irradiation à très forte dose, une cellule sera tuée par nécrose ou après quelques mitoses. C'est comme cela que l'on traite les cancers par les radiations ionisantes, rayons X ou radio-isotopes.

Dans la vie courante des individus et fort heureusement pour l'humanité, le risque quotidien relève plutôt de doses beaucoup plus faibles voire infinitésimales.

Avec une dose modérée à faible, la cellule peut réagir à d'éventuelles lésions de l'ADN selon trois mécanismes mieux connus qu'il y a vingt ans, mais encore difficilement quantifiables.

a) Dans la plus mauvaise hypothèse pour elle, mais la meilleure pour l'individu, la cellule est détruite soit par nécrose soit par apoptose.

b) Dans la meilleure hypothèse pour elle-même et cet individu, la cellule se répare par ses propres moyens pour revenir à son état anatomo-fonctionnel normal antérieur.

c) Dans la troisième hypothèse, la plus dangereuse pour l'individu, l'ADN est mal réparé, engendrant des mutations génétiques. Les cellules somatiques pourront dégénérer et devenir cancéreuses. Les cellules germinales pourront engendrer des monstruosité génétiques chez l'embryon ou le fœtus, tantôt létales, tantôt à l'origine d'infirmités plus ou moins handicapantes. Ces effets génétiques transmissibles à la descendance existent chez la souris, mais ils n'ont jamais été mis en évidence chez l'homme, même après Hiroshima-Nagasaki ou Tchernobyl.

Pourrait-on imaginer que certains effets soient bénéfiques à des doses, disons, homéopathiques ?

Chez l'animal, après de faibles irradiations, on observe dans 40% des expériences une diminution paradoxale significative du risque spontané de cancer. Cet effet appelé "hormésis", bien connu et fréquent en toxicologie, serait lié à la stimulation des défenses de l'organisme contre les dégâts naturels de l'ADN (non tant ceux de l'irradiation naturelle, que ceux, quantitativement beaucoup plus importants, du métabolisme oxydatif).

Vous, AIHP sorti de Polytechnique, avez-vous un modèle mathématique qui puisse servir à la prédiction des effets et des risques ?

Je n'ai pas de modèle "clefs en mains", mais il faut dénoncer une erreur conceptuelle grave qui consiste à faire de la prédiction avec la loi qui sert à établir la réglementation (un peu comme si on calculait la puissance cardiaque en utilisant des chevaux fiscaux...). Il n'est pas possible d'extrapoler par une équation linéaire sans seuil les risques biologiques des faibles doses à partir de ce que l'on sait des risques des fortes doses. En effet, selon la dose, des mécanismes de défense de l'organisme différents sont mis en jeu. La plupart des expériences montrent que les moyens impliqués par les faibles doses (laisser mourir la cellule lésée sans la réparer, ou déclencher l'apoptose des cellules irréparables) sont proportionnellement plus efficaces.

Comment vos étudiants vous perçoivent-ils lorsque vous enseignez ces questions de biophysique des radiations et de radio-protection ?

Les étudiants de seconde année sont majoritairement motivés et intéressés. Certains s'en désintéressent faute de ne pas encore connaître la médecine clinique enseignée, elle, dans le deuxième cycle. Je crains que, sauf à être relayé par des modules plus tardifs dans leur cursus, ce seul enseignement spécifique de biophysique ne vienne trop tôt dans le premier cycle des études de médecine pour être vraiment bien assimilé.

Vous faites partie du Conseil d'Administration d'EDF. Serez-vous vexé, choqué ou indigné si je vous demande de vous situer dans le cadre du lobby du nucléaire auquel manifestement vous appartenez ?

Bien que j'utilise tous les jours des produits radioactifs dans ma pratique médicale (je dirige un service de médecine nucléaire) et que je sois convaincu qu'il n'y a pas d'alternative à la production nucléaire d'énergie, pour un grand pays industriel comme le nôtre, je n'ai pas l'impression d'appartenir au "lobby nucléaire". Si on pouvait se passer de l'énergie nucléaire pour produire de l'électricité en quantité suffisante quand on en a besoin (contrairement aux éoliennes), sans générer de gaz à effet de serre (contrairement aux centrales thermiques classiques) et en assurant l'indépendance énergétique de l'Europe, j'en serais enchanté. Comme l'actualité le montre abondamment, je ne suis pas le seul à faire ce raisonnement. Mais il est indispensable que des médecins soient représentés et actifs dans les institutions et les instances qui régissent l'industrie et la

recherche. Notre corporation est là pour inciter à encore plus de précaution dans la construction et la maintenance des installations fonctionnant avec des matières radioactives.

Comment s'y retrouver dans les multiples acronymes qui couvrent les appellations des organismes qui s'occupent de plus ou moins près de notre sûreté. Où se situe le politique par rapport au technicien ?

En 2002, l'Institut de protection et de sûreté nucléaire (IPSN) et l'Office de protection contre les rayonnements ionisants (OPRI) furent regroupés au sein de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), organisme d'expertise. Parallèlement l'institution chargée du contrôle de la sûreté des installations nucléaires civiles se voyait également chargée de la radioprotection et devenait

la Direction Générale de la Sûreté Nucléaire et de la Radioprotection (DGSNR). Très récemment, en juin 2006, il a été décidé de créer une Haute Autorité de Sûreté Nucléaire (HASN) qui regroupe dans une même entité administrative l'ensemble des responsabilités civiles résultant de l'utilisation du nucléaire. La nomination du Directeur de l'HASN relève du pouvoir politique, mais la fonction est autonome et régalienne.

Dans quel état d'esprit abordez vous le risque nucléaire ?

En matière de sécurité, je suis inconditionnellement pour la tolérance zéro, sans aucune concession, à tous les maillons humains et techniques de la chaîne des centrales nucléaires. Tous les personnels, de l'administrateur au sommet jusqu'au mécano de base, sont

concernés par la sûreté et la radioprotection, en sachant qu'elles exigent une vigilance permanente et que, dans ce domaine, on doit toujours progresser, sous risque de régresser. Ne pas signaler une anomalie, si minime soit elle, est une faute professionnelle grave. La sécurité a fait d'énormes progrès depuis les accidents de TMI et de Tchernobyl. Les ingénieurs de toutes disciplines communiquent entre eux d'une centrale à l'autre, d'un pays à l'autre, d'un continent à l'autre. Les inspections croisées nationales et internationales sont périodiques. En France, les incidents et accidents observés dans nos centrales se situent de 0 à 2 au maximum sur l'échelle INES. L'HASN, sous la direction de André-Claude Lacoste, devrait accentuer encore cette recherche de la perfection.

Entretien réalisé le 14 juin 2006
et validé le 12 novembre 2006



Maurice Tubiana AIHP 1946

*De l'Institut de France
Président d'honneur
du Centre Antoine Béclère*

Jean-François Moreau pour l'Internat de Paris : : Maurice Tubiana, je vous interviewe au Centre Antoine Béclère 1, baptisé du nom du père de la radiologie clinique à tous. Vous en êtes le Président Honoraire. Électroradiologiste des hôpitaux de Paris, vous avez dirigé l'Institut Gustave Roussy de Villejuif en tant que radiothérapeute et un Espace y a été récemment ouvert qui porte votre nom. Parmi les titres de votre parcours glorieux, vous avez présidé l'Académie des Sciences et l'Académie Nationale de Médecine, en chevauchant par-dessus l'an 2000, ses espérances et ses déceptions. Nous avons eu la chance de tra-

Dossier

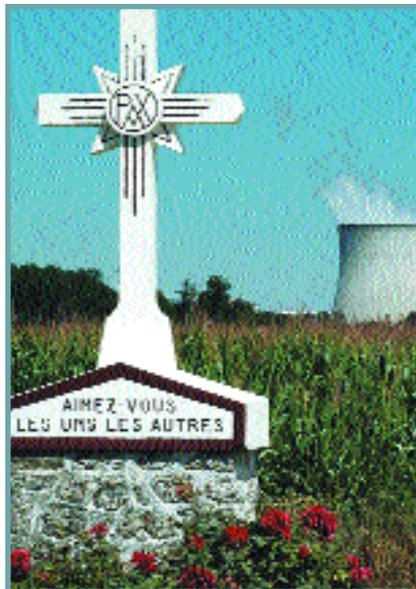
vailler conjointement au succès du XVI^e Congrès International de Radiologie de Paris en 1989. Nous avons présidé, vous l'International Society of Radiology de 1986 à 1993, moi sa Radiodiagnostic Section qui fut créée à Hawaï en 1985.

Nous nous connaissons bien, ce qui va permettre d'approfondir, sans langue de bois ni a priori courtois, votre rôle dans la création d'une politique médicale nationale ouverte à la science de l'atome et des radiations ionisantes en général. Nommé au concours de l'Internat des hôpitaux de Paris en 1946 et licencié ès science physique à 23 ans, vous avez en effet occupé une place de pionnier international dans la création de la discipline de médecine nucléaire. Qu'a représenté pour l'enfant de l'avant-guerre la date de 1935 qui a vu le couronnement de Frédéric Joliot et d'Irène Joliot-Curie par un Prix Nobel pour leur découverte de la radioactivité artificielle l'année précédente ? Fut-ce la révélation initiatrice d'une vocation médicale axée sur l'exploitation des radiations ionisantes ?

Maurice Tubiana : J'avais quatorze ans lors de la découverte de la radioactivité artificielle dont j'ai pris connaissance avec intérêt, mais sans que cela m'ait produit l'éblouissement que vous espérez peut-être me voir décrire. J'ai été nommé au concours de l'externat des hôpitaux de Paris en 1938. Par la suite, ce fut la guerre, le refus du nazisme et du vichysme, la résistance puis le départ à travers les Pyrénées vers l'Espagne puis l'Algérie pour rejoindre l'armée française. La campagne d'Italie dans le corps expéditionnaire français commandé par Juin, le débarquement le 15 août 1944 dans le Sud de la France où cours duquel j'ai été blessé.

En revanche, dès l'annonce de l'explosion des bombes atomiques d'Hiroshima et de Nagasaki en 1945, j'ai compris qu'il fallait que j'allie la médecine que j'allais pratiquer pendant l'internat à l'exploration scientifique de cette nouvelle énergie fabuleusement puissante. Médecin et physicien, j'ai travaillé dans le laboratoire de Frédéric Joliot au Collège de France de 1947 à 1950. C'est le même Joliot qui me conseilla de partir pour les USA où il savait que se développaient des recherches dont les fruits étaient déjà remarquables. Par Louis Bugnard qui était le Directeur de l'Institut National d'Hygiène, l'ancêtre de l'Inserm, j'ai obtenu une bourse qui m'a permis de passer un an à l'University of California, Berkeley de 1947 à 1948. Ce fut une année miraculeuse auprès du grand John H Lawrence². J'y ai

découvert une médecine moderne - *evidence-based medicine* - qui bannissait le paternalisme, le psittacisme et l'empirisme. Il y avait foison de Prix Nobel, de cliniciens, de biologistes qui travaillaient ensemble dans la collégialité avec des physiciens. Les médecins cumulaient trois fonctions dans le même rôle : soins, recherche clinique, recherche sur l'animal de laboratoire et la paillasse. Ils disposaient du matériel nucléaire le plus moderne dérivé de l'industrie militaire. C'est à Berkeley que furent mis au point les cristaux à scintillation puis, en 1957, la gammacamera à scintillation de Hal Anger. J'y ai utilisé de nouveaux isotopes applicables en médecine, notamment le fer 59.



À mon retour, j'ai terminé mon internat tout en travaillant avec Joliot. En 1950, grâce au soutien de Robert Debré (AIHP 1906) et du radiothérapeute de Necker, Robert Coliez, j'ai pu ouvrir un petit laboratoire de radio-isotopes au fin fond des Enfants-Malades. J'y ai spécialement développé les applications de l'iode radioactif à des fins diagnostiques et thérapeutiques sur le corps thyroïde.

Un médecin promis à appartenir à l'establishment pouvait-il s'entendre avec un savant aussi ouvertement marxiste que Frédéric Joliot ? Membre dirigeant du Parti Communiste Français, il avait été le Président de l'Appel de Stockholm qui marqua une date pour les hommes de gauche hostiles aux programmes nucléaires occidentaux.

D'abord le savant avait une stature authentiquement respectable et très respectée. Dans son laboratoire, on savait

distinguer la science et le politique et il y avait des chercheurs de toute sensibilité politique avec une liberté totale de pensée et de parler. Frédéric Joliot, lui-même, était d'un homme d'une grande ouverture intellectuelle et quand il a été nommé haut-commissaire à l'énergie atomique, nul n'ignorait ses attaches politiques, mais tous savaient qu'il était d'abord un Français patriote. Les partis communistes marxistes-léninistes, en France comme dans les pays de l'Est, ont toujours été favorables au nucléaire car ils respectent la science et la technologie. Mais Staline redoutait l'invasion de l'URSS par des Alliés à la force atomique surpuissante. Ce fut la guerre froide, le rideau de fer et l'équilibre par la terreur. Les marxistes lancèrent l'appel de Stockholm et déclenchèrent la peur des rayonnements ionisants pour ralentir ou arrêter à l'Ouest les recherches sur l'atome militaire et la bombe H. Joliot croyait possible de dissocier la recherche civile, qu'il appuyait de tout son poids, de la recherche militaire qu'il redoutait. J'étais de ceux qui pensaient que c'était une utopie et je n'ai pas signé cet appel. La suite nous a donné raison. Mendès-France a lancé le programme militaire français en 1954. Jusqu'à ce jour, il y a toujours eu une majorité politique largement étalée de la droite à la gauche sociale pour que cette orientation soit maintenue.

Vous êtes donc un membre du lobby du nucléaire depuis son origine et vous n'en rougissez pas ?

Oui, j'en fais indiscutablement partie. Non, je n'en éprouve nulle honte, mais comprenons nous bien, je ne me suis intéressé qu'à l'action civile et, en particulier, aux effets des radiations sur l'organisme humain, puisque ceci concernait directement mon métier de radiothérapeute et de spécialiste en médecine nucléaire. Du fait de la rareté des experts et mon implication précoce, j'ai été appelé, dès 1953, à occuper le siège de la France à l'International Commission of Radiation Protection (ICRP). Ceci m'a permis de connaître et de discuter avec les collègues qui étudiaient l'énorme masse de données expérimentales et cliniques concernant ces recherches civiles et militaires sur les effets de la radioactivité artificielle et des rayons X sur la matière vivante. J'y apportais ma propre connaissance clinique et expérimentale des effets bénéfiques et nocifs des radiations ionisantes. Je suis donc devenu un expert fréquemment consulté par les pouvoirs politiques, des gaullistes aux socialistes, François Mitterrand inclus. Je suis entré au

Comité de Radioprotection de l'EDF et au Conseil d'administration du CEA (à titre bénévole sans aucune rémunération). Raymond Latarjet et moi avons signé un rapport pour le gouvernement de Pierre Messmer donnant un avis biomédical concernant les effets des rayonnements sur l'homme et les risques sanitaires éventuels liés à la création de centrales nucléaires. Les conclusions étaient favorables au lancement de l'énergie nucléaire et ces travaux ont été repris dans un rapport publié par l'Académie des Sciences. Aujourd'hui les trois-quarts de la production française de courant électrique vient du nucléaire ; ce chiffre parle pour moi.

La catastrophe de Tchernobyl a produit un effet révélateur des dangers des radiations ionisantes sur les populations du globe peut être plus fort que celui de la bombe A, quarante ans auparavant. Comment la notion de radio-toxicité a-t-elle évolué au long du XX^e siècle alors qu'on ne cesse de les utiliser en médecine de façon exponentiellement croissante ?

La notion de cancer radio-induit date de 1903. En 1910, des expériences sur des lapins confirmèrent cette nuisance. Les pionniers de la radiologie ont été les premières victimes de leur art. A Hambourg une stèle rend hommage aux quatre cents médecins et physiciens victimes des "rayons" répertoriées dans le monde. Les radiologues d'avant 1940 développaient dix fois plus de leucémies myéloïdes que leurs confrères non-pratiquants. Marie Curie comme sa fille Irène Joliot-Curie moururent de leucémies radio-induites.

Puisque vous évoquez les Curie, ne trouvez-vous pas surprenant qu'on n'ait pas étudié les conséquences de la contamination directe de leurs deux enfants, Irène et Eve, à partir du corps de Marie qui était truffé de radium ? Elle dut bien leur manifester quelque tendresse à expression charnelle directe !

Marie Curie ne fut pas uniquement la victime de la manipulation du radium. Elle avait créé durant la première guerre mondiale les ambulances Curie munies de tubes à rayons X et elle pratiqua elle-même sur les blessés des radioscopies hautement irradiantes pour elle. C'est l'occasion de rappeler que les doses d'irradiation sont cumulatives. Si l'aînée de ses filles, Irène, mourut d'une leucémie, Eve, la cadette bientôt centenaire, vit toujours en parfaite santé en Amérique et visite la France régulièrement. Ses petits-enfants, Hélène Langevin et Pierre Joliot-Curie, que je sache, n'ont développé aucun

symptôme de lésion radique. Dans la première moitié du XX^e siècle, comme dans tous les autres corps de métiers dangereux, les médecins acceptaient la notion de risque professionnel avec un courage dont les jeunes générations actuelles ne réalisent pas la radicalité³. Le risque infectieux, notamment de tuberculose, était alors quotidien (un étudiant en médecine sur cinq contractait une tuberculose) et cela ne rebutait nul médecin clinicien. Connue et reconnue inhérente à la fonction de radiologue, le risque de cancer et de leucémie était accepté volontairement et sans réticences.



Un virage a été pris vers 1955 lorsque les résultats des études des effets des bombes atomiques ont mis l'accent sur plusieurs syndromes cliniques radio-induits. Les effets des doses fortes, de l'ordre du gray, sont bien connus. Ils sont utilisés en thérapeutique pour tuer les cellules cancéreuses. La radiothérapie, qui utilise des doses de l'ordre de 60 à 80 Gy sur une région de l'organisme, est une des deux armes majeures contre le cancer. L'irradiation totale de l'organisme (à dose d'environ 10 Gy) est utilisée pour réduire les défenses immunologiques avant une greffe d'organe ; des doses supérieures sur l'ensemble de l'organisme peuvent entraîner la mort par la sidération des tissus hématopoïétiques et lésion intestinale. En radioprotection et pour le radiodiagnostic, on considère des doses environ mille fois plus faibles. Les études effectuées après Hiroshima et Nagasaki ont montré qu'à partir d'une centaine de milliGy en une séance à débit élevé il y avait augmentation de la fréquence des cancers, mais pour des doses inférieures à 100 milliGy aucune augmentation de cette fréquence n'a été décelée. Il y a eu après Tchernobyl une quarantaine de décès et 4 000 cancers de la thyroïde sur deux millions d'enfants ayant été contaminés. Heureusement, le cancer de la thyroïde chez les jeunes est l'un de ceux dont le pronostic est le meilleur s'il est bien traité (pour l'instant 9 décès ont été observés). Dans ces cas, aussi, il n'y a pas d'augmentation pour des doses infé-

rieures à une centaine de milliGy. A Hiroshima, il s'agissait d'un acte de guerre ; celui-ci a fait plus de 150 000 victimes et a mis fin à la guerre. On s'est interrogé pour savoir s'il n'aurait pas suffi de faire exploser la bombe au milieu d'un désert pour terrifier les Japonais. Les Américains, alors, n'avaient que deux bombes, et la guerre avait déjà fait 40 millions de victimes ; un débarquement au Japon aurait pu faire un million de victimes civiles et militaires. On a négligé ce contexte et il est exact que ces explosions ont marqué d'infamie la naissance de l'énergie.

Indignation partagée par de très nombreux sympathisants dans le monde, rappelons nous l'impact du film d'Alain Resnais *Hiroshima, mon amour*, sorti en 1957. Mais la bombe au cobalt 60 tuait pacifiquement les cellules cancéreuses depuis 1951 et il fallut longtemps pour que la "télécobaltothérapie" ne s'y substitue en linguistique académique. La radiophobie relève donc de mécanismes complexes dont il convient d'analyser en profondeur les racines si l'on veut qu'elle ne soit pas réductrice à l'extrême dans toutes les activités humaines qui dépendent des radiations ionisantes, dont la médecine. La radio-nuisance s'exprime-t-elle de la même façon chez les humains et les animaux, chez certaines catégories d'individus par rapport à leurs congénères ?

L'histoire des conséquences délétères de certaines formes d'irradiation médicale a conduit plus ou moins rapidement à partir des années 50 à tirer des leçons de radioprotection pour l'homme. D'abord la qualité de la survie des malades traités par la radiothérapie se révéla obérée d'un risque de cancer élevé, touchant trois à cinq pour cent des malades irradiés. Cette proportion est plus élevée chez les enfants et les fillettes. Il faut donc être particulièrement prudent chez eux. On imagine difficilement aujourd'hui la popularité des radiothérapies de jadis pour des affections bénignes, telles arthroses, panaris, verrues plantaires, myomes utérins... Ces indications sont logiquement interdites aujourd'hui, car seule la gravité de la maladie cancéreuse justifie l'emploi de radiations ionisantes à titre thérapeutique. Deux autres leçons furent tirées de certaines pratiques abusives du radiodiagnostic chez les fillettes et les jeunes femmes qui développèrent à long terme des cancers du sein avec une fréquence accrue. L'une relevait du suivi radiologique des tuberculoses pulmonaires traitées par pneumothorax avec une radioscopie hebdomadaire, à vie avant l'antibiochimiothérapie spécifique qui mit un terme à ces traitements. L'on mit

Dossier

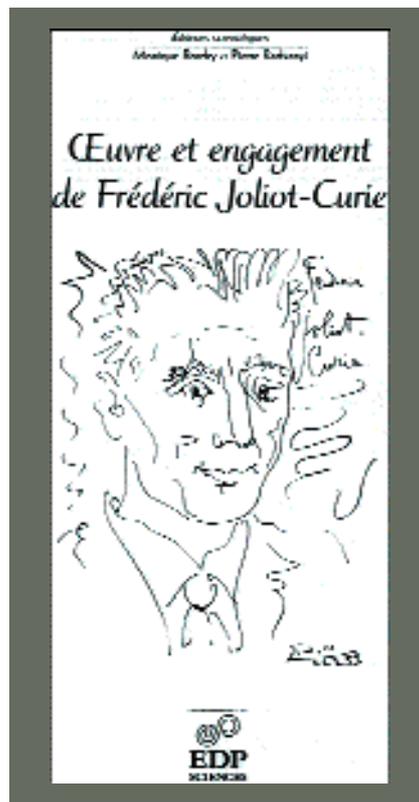
quelques décennies pour obtenir le démantèlement des appareils de radioscopie et l'arrêt de sa pratique hors des services d'imagerie médicale, maintenant c'est fait. L'autre, aujourd'hui inimaginable, relevait d'une pratique régulière à un rythme effréné de clichés du rachis pour vérifier l'évolutivité des scolioses congénitales.

Vous avez participé à un rapport de l'Académie Nationale de Médecine et de l'Académie des Sciences sur la nuisance des faibles doses de radiations ionisantes ⁴. Sur quels arguments fondez-vous votre thèse prétendant qu'il n'est pas scientifique d'extrapoler leurs effets par rapport à ceux des fortes doses à l'aide d'une simple équation linéaire droite ? Vous êtes en contradiction avec des contestataires américains de l'envergure de John W Gofman, émule de Robert Oppenheimer, que vous aviez peut-être connu à Berkeley.

J'ai, en effet, bien connu John Gofman. C'était un biologiste extrêmement brillant qui avait fait une découverte retentissante et tous pensaient qu'elle lui vaudrait un prix Nobel. Hélas, il avait été victime d'une erreur méthodologique (comme pour la mémoire de l'eau). Sa déception fut si profonde qu'il ne s'en remit jamais et, après avoir été un scientifique brillant, il devint un contestataire. Ce n'est pas le seul cas. Le prix Nobel peut être un engin de destruction si on le rate de peu. En ce qui concerne les arguments au sujet de faibles doses, nous les développons dans un rapport de plus de 100 pages et avec plus de 300 références.

Ils sont essentiellement basés sur des données biologiques qui montrent que la cellule des mammifères est dotée de mécanismes de sauvegarde extrêmement puissants (agents destructeurs de radicaux oxydants, réparation de l'ADN, apoptose) contre l'existence de mutations potentiellement cancérogène. Les êtres vivants utilisent l'oxygène comme source d'énergie. Or, le métabolisme de l'oxygène dans les cellules y crée des radicaux oxydants qui sont des génotoxiques et des cancérogènes puissants, d'où la nécessité de mécanismes de défense. Ces mécanismes sont particulièrement efficaces dans le cas des faibles doses. Mais ceci était ignoré il y a 15 ans, ces recherches n'ont pris toute leur ampleur que depuis 5 ans. Sur le plan épidémiologique, il n'y a ni chez l'animal, ni chez l'homme d'effets cancérogènes pour les faibles doses. On ne peut pas en exclure l'éventualité, mais ils n'ont jamais été prouvés.

André Aurengo et moi accordons une très grande importance aux constatations épidémiologiques sur la prévalence du cancer dans les populations des régions du globe où la radioactivité naturelle est dix fois supérieure à celle de la moyenne des autres pays (50 à 100mSv/an contre 1 à 6mSv/an). C'est le cas du Kerala et de quelques provinces chinoises et brési-



liennes. La fréquence générale du cancer n'y est pas statistiquement plus élevée. Ceci corrobore les données expérimentales. Alors qu'on vivait depuis 1960 sur l'idée que même les faibles doses pouvaient être cancérogènes, le spécialiste de la radioprotection qui n'a pas une formation biologique a du mal à remettre en question les idées qu'il avait apprises et enseignées depuis un demi-siècle. A chaque révolution des connaissances, de Copernic à Galilée et Harvey, on sait qu'il faut quelques années ou décennies pour que les idées nouvelles s'imposent, mais elles finissent toujours par s'imposer.

Et pourtant Marie Curie isole le polonium puis le radium du minerai de pechblende extrait de mines de Bohême où l'on connaît depuis des siècles un mal pernicieux, en fait des cancers du poumon. Est-ce la faute de ce fameux radon que la terre entière exhale naturellement ?

Les mineurs des mines de Bohême et de Saxe ont été, en effet, victimes du

radon, on l'avait subodoré dès le XVII^{ème} siècle mais ceci n'a été prouvé qu'au XX^{ème}. Partout la terre exhale du radon, en quantité très variable, et généralement les doses sont inoffensives. Mais, elles peuvent atteindre dans certaines régions, et notamment dans les mines, des niveaux dangereux. Le travail de mineur a des risques notables, et celui-ci en est un.

C'est en France qu'ont été découvertes les deux radioactivités, naturelle et artificielle. Est-il arrogant de penser que cette ancienneté lui donne une aura positive dans le domaine de la prévision des risques et de leur prévention ? Comme Fermi qui s'enfuit d'Italie à Londres à l'occasion de la remise de son Prix Nobel à Stockholm, Joliot démontra devant la guerre un sens aigu de ses responsabilités, notamment en soustrayant un stock d'eau lourde à la convoitise nazie. Il faut revoir le film de Jean Dréville où lui et ses collègues jouent leurs propres rôles. Leurs successeurs pourraient-ils peu ou prou appartenir à la race des savants type docteur Folamour ?

Le mythe du docteur Folamour, comme au XIX^{ème} siècle ceux de Frankenstein ou de l'apprenti sorcier, plaisent au public car la science, la magie ont toujours été considérées avec crainte. Le savoir a toujours été associé à l'idée de transgression. Rappelons-nous, Adam et Eve chassés du paradis pour avoir mangé le fruit de l'arbre des connaissances (la pomme) et Prométhée condamné par Zeus au supplice éternel pour avoir dérobé le feu aux dieux. A une époque où les connaissances évoluent vite, où les innovations techniques sont nombreuses et où le public et les médias ignorent tout, ou presque, de la méthode scientifique, on assiste à la reviviscence de ces vieux mythes.

Vous revenez d'un symposium tenu à Budapest pour tirer les conséquences de Tchernobyl, vingt ans après l'explosion du réacteur et la dissémination du nuage finalement sur toute l'Europe continentale. Vous connaissez le regain actuel d'animosité contre la façon dont le SCPRI a traité la carte de la radioactivité lors du passage du nuage sur le territoire français. D'où la mise en examen de Pierre Pellerin et le doute s'étend jusqu'à la véracité des données d'un article récent paru dans les Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, elle-même mise sur écoute téléphonique ⁵. Rappelons que Jacques Chateauroux, son adjoint d'alors, avait été l'un des orateurs de notre symposium à ICR'89 ⁶, trois ans après la catastrophe. J'ai le souvenir d'un débat objectif,

Notes

- 1 <http://www.centre-antoine-beclere.org/> - Le Centre Antoine Bèclère, association sans but lucratif, a été créé par Claude et Antoinette Bèclère en mémoire de leur père Antoine Bèclère (1856- 1939) pour maintenir le rayonnement international imprimé à la Radiologie. Son siège est localisé à l'UFR Bio-Médicale des Saints-Pères (Université René Descartes Paris 5).
- 2 John H Lawrence (1904-1991), fondateur de la médecine nucléaire américaine et Prix Fermi, est le frère cadet d'Ernest O Lawrence (1901-1958), Prix Nobel de Physique. Tous deux physiciens nucléaires à l'UC Berkeley, ils donnèrent leur nom au *Lawrence National Radiation Laboratory*, acteur essentiel de la politique nucléaire américaine.
- 3 M Tubiana, C Vrousos et al : *Risque & Société. NucléoN*, Paris, 1999.
- 4 Rapport adopté par l'Académie de Médecine le 5 octobre 2004 et le 22 février 2005 par l'Académie des Sciences. *La relation dose-effet et l'estimation des effets cancérigènes des faibles doses de rayonnements ionisants*. (M Tubiana et A Aurengo au nom d'un groupe de travail).
- 5 H Morin., C Prieur. *Tchernobyl : la manipulation de M. Pellerin*. Le Monde, 13 Juillet 2006. Interrogé, JF Bach, Secrétaire général de l'Académie des Sciences, répond : "S'agissant de l'article des Comptes rendus de l'Académie des sciences dont la presse a parlé récemment, nous avons tenu à rap-peler que l'article incriminé était un débat signé par trois auteurs dont deux n'étaient d'ailleurs pas membres de l'Académie des sciences : le troisième, Pierre Galle, étant membre correspondant. Cet article a subi le traitement habituel de tous les articles publiés dans les Comptes rendus, avec expertise par des pairs. L'Académie n'est pas responsable du contenu de l'article et n'a pas à savoir si d'autres personnes que les auteurs de l'article ont participé à sa rédaction (nous n'avons d'ailleurs aucune information à ce sujet et n'avons pas à en avoir). En d'autres termes, l'Académie des sciences n'est pas impliquée dans la polémique qui s'est ouverte sur ce sujet." Communication personnelle par courriel du 27 juillet 2006.
- 6 M Tubiana, AR Oliveira, JF Moreau. *Radioprotection*. ICR'89, Paris, session du 8 juillet 1989.
- 7 G Medvedev. *La vérité sur Tchernobyl*, VAAP, Moscou, 1989. (Albin Michel, Paris, 1990).
- 8 M Tubiana : *Actualités en radiologie et radioprotection*. NucléoN, Paris, 2003.
- 9 J Lallemand, M Tubiana : *Radiobiologie et radioprotection*. PUF, Paris, 2002.
- 10 M Tubiana : *Le cancer*. 5^e éd., PUF, Paris, 2003.
- 11 R Dautray, M Tubiana : *La radioactivité et ses applications*. Que sais-je? PUF, Paris, 1997.

sérieux, documenté, nullement polémique et bien orienté vers les conséquences prévisibles du sinistre sur la santé des populations.

Pierre Pellerin pensait depuis longtemps que l'angoisse devant le risque nucléaire fait plus de victimes que la radioactivité elle-même.

J'ai le plus grand respect pour Pellerin et pour Chanteur. Ils ont évité à la France une panique comme celle qui a été observée en Allemagne ou d'autres pays. Les procès que Pellerin a gagnés ont prouvé qu'il n'a jamais dit que le nuage de Tchernobyl s'était arrêté sur le Rhin. C'est une phrase qu'on lui a prêtée et qui déformait sa pensée. Ce qu'il a dit c'est que les retombées en France déposées par le nuage ne posaient pas de problème sanitaire et qu'il était inutile d'affoler la population. À Budapest, j'ai pu mesurer, en écoutant les rescapés de tous endroits de la région d'Europe Centrale, les dégâts psychologiques catastrophiques provoqués par les réactions d'angoisse puis de panique provoquées par l'attitude des autorités soviétiques⁷. Cloîtrés sur place ou déportés dans des camps à longue distance, environ deux cent mille rescapés ukrainiens, biélorusses et russes, réellement ou supposés contaminés, sont encore aujourd'hui considérés comme des parias. Ajoutées à la famine et à la dénutrition, dépressions mentales, suicides, avortements provoqués... se comptent par milliers. Dans les pays d'outre-Rhin très marqués par la vague écologiste, une forte pression anxiogène a été mise par les médias sur les populations et il en résulta les mêmes syndromes psychosomatiques

et un nombre considérable d'avortements "prophylactiques". En France, par contre, il faut se féliciter que les autorités gouvernementales comme les experts scientifiques aient, non pas nié l'existence d'une augmentation de la radioactivité consécutive au passage du nuage, mais mis en valeur la faiblesse des doses en becquerels retombées sur le territoire avec les pluies. Notre côté du Rhin n'a pas eu à souffrir d'une morbidité par angoisse similaire, et il faut s'en réjouir. Les controverses actuelles sont fortement biaisées par des considérations philosophiques, morales, financières et politiques, sous-tendues elles-mêmes par une situation économique internationale remettant en cause les sources d'énergie nucléaire. La justice jugera le cas Pellerin.

Tout le monde s'accorde à dire que la façon de communiquer fait voir la radio-nuisance en blanc, gris ou noir, selon la thèse que l'on veut privilégier. Vous avez professé un enseignement universitaire pendant toute votre vie académique dont le contenu fut cohérent avec ce que vous venez d'exprimer, ici comme dans vos livres⁸⁻¹¹. Révérence gardée, ceux qui vous connaissent savent que vous êtes un anxieux constitutionnel mais parfaitement maître de lui-même quand vous êtes en représentation. Comment voyez vous évoluer la radiophobie d'une humanité angoissée en permanence par l'expansion du modernisme technoscientifique, avec l'option "retour à l'âge de pierre" comme principale sinon unique alternative, redoutée par Albert Einstein lui-même ? À l'orée du XXI^e siècle, comment voyez vous se profiler le langage scientifique à

l'usage des masses et des individus de toutes qualifications ? En d'autres termes, qui gagnera l'Oscar de la sagesse? L'or du silence ou l'argent de la parole ?

D'abord, je crois que l'anxiété actuelle des populations occidentales n'est pas liée à la technologie. La cause relève, Freud l'avait montré dans son essai illustre "*Malaise dans la civilisation*", à une angoisse existentielle. Autrefois, la religion, la famille, le travail protégeaient l'homme contre la peur de la mort. Ces défenses sont moins efficaces aujourd'hui. Il en résulte une anxiété diffuse qu'on focalise sur la science et la technologie qui sont les aspects les plus évidents de notre civilisation. Cette thèse de Freud en 1929 a été, hélas, confirmée par l'histoire. La crise économique en 1929, le nazisme puis la guerre ont donné à l'angoisse une justification et un point de focalisation. Le rejet de la science et de la technologie ont disparu, jusqu'à ce que la paix et la hausse du niveau de vie fassent réapparaître les mêmes problèmes qu'en 1929. Il faut relire *Malaise dans la civilisation*. Il faudrait donner aussi à tous les Français un minimum de formation scientifique. Notre pays est vulnérable car il est gouverné par des énarques qui n'ont aucune formation scientifique et sont incapables de distinguer les risques imaginaires des risques réels. Je ferai une réflexion analogue à propos de certains médecins.

Entretien réalisé le 19 juin 2006
et validé le 15 novembre 2006