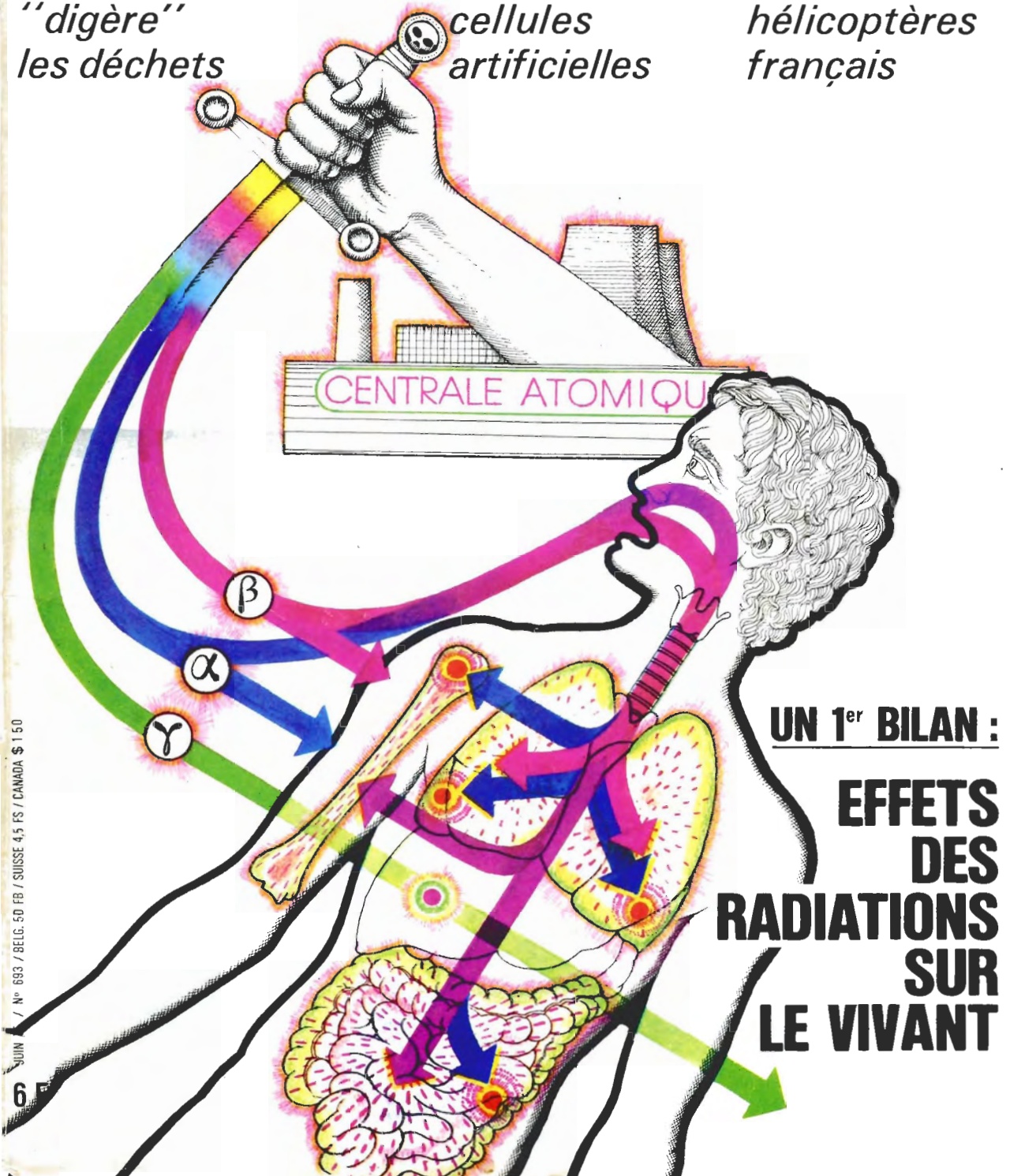


SCIENCE & VIE

*Comment la mer
"digère"
les déchets*

*Les premières
cellules
artificielles*

*Les nouveaux
hélicoptères
français*



UN 1^{er} BILAN :

**EFFETS
DES
RADIATIONS
SUR
LE VIVANT**

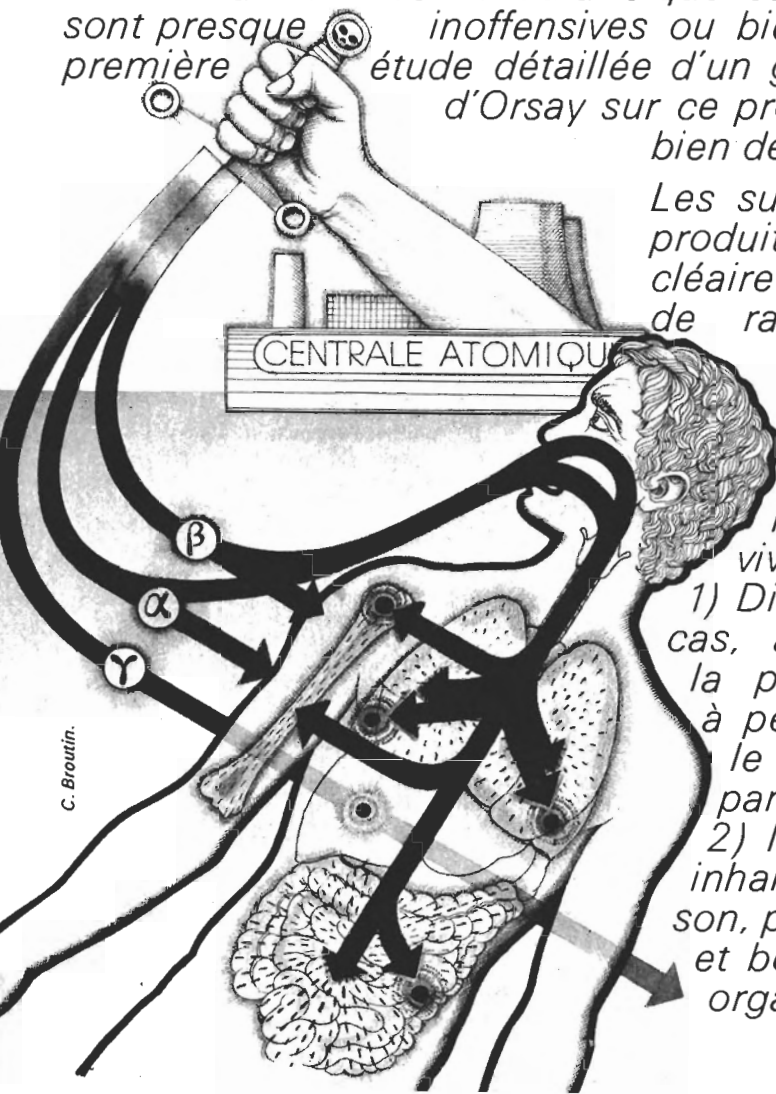
LES EFFETS DES RADIATIONS NUCLÉAIRES SUR LE VIVANT

Dans le débat sur les dangers de l'énergie nucléaire, partisans et adversaires se bornent à dire que les radiations atomiques sont presque inoffensives ou bien mortelles. Voici la première étude détaillée d'un groupe de chercheurs d'Orsay sur ce problème, qui modifiera bien des idées «simples».

Les substances radioactives produites par l'industrie nucléaire émettent trois types de rayonnements : alpha, bêta, gamma dont l'énergie est fonction de la source qui les émet. Ces 3 rayonnements s'attaquent au vivant par deux voies :

1) Directement et dans ce cas, alpha est arrêté par la peau, bêta y pénètre à peine, gamma traverse le corps de part en part.

2) Indirectement par l'air inhalé, par l'eau de boisson, par les aliments. Alpha et bêta « choisissent » les organes qu'ils vont léser.



● Après les explosions nucléaires sur le Japon, en 1945, 90 % des personnes exposées sur tout le corps pendant une dizaine de secondes seulement (irradiation totale aiguë) à 700 ou 800 rem ⁽¹⁾ moururent dans la semaine qui suivit l'explosion, bien qu'elles n'eussent été ni brûlées, ni blessées par les effets du souffle. Preuve formelle, s'il en était besoin, que les rayonnements ionisants peuvent être mortels à très brève échéance. Pourtant, une telle dose correspond à une très faible énergie transférée, puisqu'elle ne suffirait pas à élever la température du corps humain d'un dix-millionième de degré !

C'est à un autre niveau qu'il faut donc rechercher les causes de la mort : *c'est l'organisation de l'être vivant qui a été perturbée*. D'autre part, les rayonnements n'agissent pas de manière uniforme. Il existe des cellules plus radiosensibles que les autres.

Mort cellulaire

Une seule irradiation (aiguë) de 25 rem, soit le trentième de la dose mortelle, en irradiation totale, tue immédiatement un grand nombre de cellules-souches de certains globules blancs de la lymphe et du sang, les lymphocytes, dont on connaît le rôle primordial dans les mécanismes de défense de l'organisme. Conséquence : une fragilité de l'organisme, heureusement temporaire, car de nouveaux lymphocytes sont formés dans les jours qui suivent à partir des cellules-souches disséminées dans le corps : ganglions lymphatiques, rate, moelle osseuse, et, chez les jeunes, le thymus. (Cet effet, dangereux, est utilisé aujourd'hui en médecine pour l'abaissement transitoire des réactions de rejet de greffes après transplantation d'organes.)

Une seule irradiation (aiguë) de 50 rem, soit le quinzième de la dose mortelle tue immédiatement un grand nombre de cellules-souches des spermatozoïdes. Conséquence : stérilité heureusement temporaire elle aussi, car les cellules-souches suivantes assurent la formation de spermatozoïdes au bout de plusieurs mois.

Ces deux exemples montrent que les cellules de type embryonnaire, *non différenciées*,

(1) Il faut bien distinguer l'irradiation totale de l'irradiation locale, qui comporte la même dose appliquée pendant le même temps, mais dont l'effet sur les mains, par exemple, aurait entraîné un rougissement, à long terme une radiodermite, voire un cancer. Et il faut distinguer également l'irradiation aiguë de l'irradiation chronique.

comme les cellules-souches citées, sont particulièrement radiosensibles.

Arrêt des divisions cellulaires

Dans notre organisme, de mille à dix mille milliards de divisions cellulaires, se produisent chaque jour. Ce phénomène assure :

- le remplacement des cellules « usées » : cellules de l'épiderme qui se desquament en surface, cellules de la bordure du tube digestif et cellules de certaines glandes, périodiquement renouvelées, toutes les cellules sanguines ;
- la croissance des poils, cheveux, ongles ;
- la formation des spermatozoïdes chez l'homme adulte (précisons que chez la femme, le nombre de cellules germinales est déjà fixé, définitif, à la naissance).

Conséquences : une irradiation totale aiguë de 150-200 rem se traduit, en plus d'une diminution des réactions de défense, par des réactions cutanées, de la diarrhée, une anémie, un allongement du temps de coagulation, une stérilisation temporaire ou permanente, ces réactions étant variables d'un sujet à l'autre et dépendant de l'âge et du sexe.

Pour des doses bien inférieures appliquées à l'embryon (premières semaines de la gestation), les risques d'avortement sont élevés — d'une part à cause des réactions maternelles, mais surtout à cause de morts cellulaires ou d'arrêts de divisions dans ce jeune organisme.

Si cette irradiation est appliquée plus tard, par exemple lors de radiographies médicales, le fœtus peut se développer anormalement, avorter ou donner naissance à un bébé mal formé. Il est démontré que, chez le rat, une dose de 10 rem appliquée au fœtus altère les cellules nerveuses du cerveau et provoque la mort d'un grand nombre de cellules germinales.

Les Japonaises enceintes irradiées pendant les bombardements de 1945 ont eu des enfants présentant des anomalies diverses (tête plus petite que la normale, retard de croissance pré et post-natal pour des doses de l'ordre de 25 rem (au niveau du fœtus). Il est conseillé aux médecins d'avorter les femmes enceintes qui ont reçu des doses de 5 à 10 rem sur l'abdomen, la probabilité de malformations congénitales étant trop élevée.

Induction de leucémies et cancers

Appliqués très localement et à hautes doses, les rayonnements ionisants tuent les cellules ou arrêtent leur division, d'où l'utilisation des

rayons γ , très pénétrants, à la destruction de tumeurs malignes profondes. Comme une certaine proportion de cellules survivent à chaque irradiation, il est nécessaire de faire plusieurs irradiations (séances de rayons) espacées dans le temps. Ces irradiations à hautes doses, locales et chroniques, sont en fait une arme à double tranchant car elles risquent de transformer des cellules saines en cellules cancéreuses.

Appliqués sur tout le corps et à des doses faibles mais chroniques, les rayonnements ionisants peuvent induire dans plusieurs tissus divers types de cancers et de leucémies. Pour ces dernières, les enfants courent les plus grands risques, que l'irradiation ait été effectuée pendant la gestation ou après la naissance.

L'étude de ces phénomènes d'induction de cancers et de leucémies, est compliquée par trois faits :

1) Nous ne connaissons toujours pas les mécanismes qui transforment une cellule normale

VISITE
DE LA CENTRALE NUCLEAIRE
DE BUGEY
AVEC TOURISME ET TRAVAIL
RECTIFICATIF
 au lieu des 6 et 20 avril
Elle aura lieu
les 13 et 27 avril
TRANSPORT, REPAS, VISITE
45 F par personne
(La visite est déconseillée aux femmes en état de grossesse et aux jeunes enfants)
TOURISME ET TRAVAIL
 Place Carnot - ANNECY Tél. 67.55.09

« La visite de la centrale est déconseillée aux femmes en état de grossesse et aux jeunes enfants... » C'est en effet l'embryon qui est le premier menacé par les radiations. Avortements, malformations, retard de croissance peuvent résulter de l'arrêt des divisions cellulaires provoquées par une irradiation, même peu importante. Il est conseillé aux médecins d'avorter les femmes enceintes ayant reçu des doses de 5 à 10 rem sur l'abdomen, le risque de malformations congénitales étant trop grand.

en cellule cancéreuse : transformation cellulaire spontanée ou provoquée (mutation somatique), activation d'un virus qui se trouvait à l'état latent ?

2) Diverses substances communes dans notre environnement, surtout depuis l'ère industrielle, sont susceptibles d'induire cancers et leucémies : par exemple, le benzopyrène résultant de la combustion de la houille et des huiles lourdes est cancérigène — le benzène est leucémogène.

3) Il ne suffit pas que la transformation d'une cellule saine en cellule maligne ait lieu, pour qu'une leucémie ou un cancer se développe ; encore faut-il pour cela que les réactions naturelles de défense contre ces cellules soient

amoindries. (Ce qui est le fait des rayonnements ionisants.)

Aussi les études des effets des radiations ionisantes sur la population, sont-elles délicates car il faut effectuer des analyses statistiques sur des échantillons suffisamment vastes de sujets dont le passé est bien connu, tant pour les doses de rayonnements reçus (intensité, fréquence, modalité) que pour d'autres facteurs cancérigènes (expositions professionnelles au benzopyrène par exemple) ou leucémogènes (expositions au benzène).

Induction de mutations génétiques

Dans toute population d'êtres vivants, existe un taux assez constant de mutations spontanées, connues depuis très longtemps par les éleveurs et systématiquement étudiées par les généticiens.

Il s'agit de modifications, de caractères très variés (chez l'Homme, il peut s'agir tout aussi bien d'un caractère évident à l'observation, comme l'albinisme, que d'une anomalie de l'hémoglobine sanguine). Ces caractères se transmettent selon les lois de la génétique et ils sont très stables car très difficilement réversibles (la probabilité de réversion d'une mutation est plusieurs milliers de fois inférieure à la probabilité d'apparition de ladite mutation).

Sur 50 mutations, une dizaine entraînent l'avortement plus ou moins précoce de l'embryon ou du fœtus, une quarantaine sont nuisibles car elles altèrent les conditions de longévité et de fécondité, et une seule altère peu les conditions de vie.

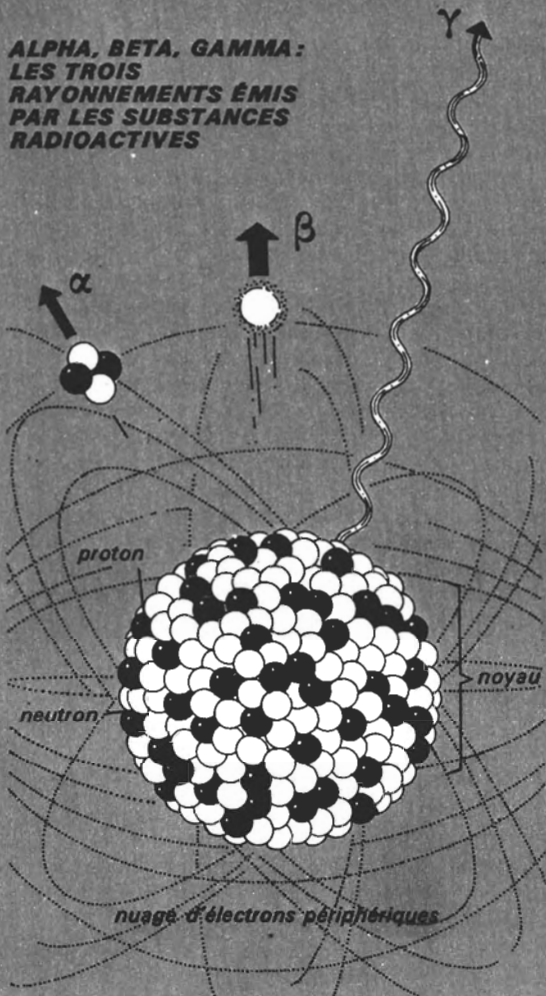
Exceptionnellement, et dans certaines conditions du milieu, cette mutation peut s'avérer utile à l'individu qui la porte.

Depuis plus de quarante ans ⁽²⁾, les généticiens ont démontré que l'irradiation augmente le taux de mutations spontanées, l'effet d'induction étant grossièrement proportionnel à la dose.

C'est pourquoi ils recommandent désormais de limiter au maximum les irradiations des ovaires, et surtout des testicules. Des études effectuées sur des souris ont démontré que, au moins pour la lignée des cellules sexuelles mâles, la fréquence des mutations décroît à mesure qu'une même dose de rayons X est délivrée pendant un temps plus long, c'est-à-dire à un faible débit. Cela est plus marqué pour les cellules sexuelles femelles mûres (ovocytes) que pour les cellules-souches des spermatozoïdes. Ce fait démontre l'existence de mécanismes de réparation des molécules d'acide désoxyribonucléique (ADN), supports de l'hérédité. Mais ces

(2) C'est Müller, en 1928, qui découvrit l'effet génétique du rayonnement X (et donc des gamma) en irradiant des mouches du vinaigre. Vingt ans après, vers 1948-50, il était encore très difficile de faire admettre l'idée que les irradiations telles celles d'Hiroshima et Nagasaki induisent des effets génétiques certains sur la population. C'est chose faite, mais on ne sait toujours pas si les effets sont proportionnels aux doses reçues et s'il existe un seuil.

ALPHA, BETA, GAMMA : LES TROIS RAYONNEMENTS ÉMIS PAR LES SUBSTANCES RADIOACTIVES



Dessins Cl. Lacroix.

■ En se désintégrant, les radioéléments naturels ou ceux produits par les activités nucléaires émettent plusieurs formes de rayonnements :

1) Des rayonnements électromagnétiques : les rayons gamma (γ). Ce sont des photons (de masse nulle, émis à la vitesse de la lumière), caractérisés par une très petite longueur d'onde (de l'ordre de dix millièmes de millimètre) et leur haute énergie (de l'ordre du million d'électronvolts ou MeV). Ils sont analogues aux rayons X produits par des générateurs à très haute tension et, comme eux, peuvent être utilisés en radiothérapie, par exemple pour la destruction de tumeurs profondes par les rayons γ émis par le ^{60}Co des bombes au cobalt.

2) Des rayonnements corpusculaires constitués par des particules qui peuvent être :

- soit des particules de petite taille à l'échelle de l'atome. Les rayons bêta (β) sont constitués par des corpuscules émis par les noyaux instables à des vitesses atteignant souvent 90% de la vitesse de la lumière ; ils ont la même masse que les électrons atomiques, leur charge électrique étant négative comme celle de l'électron (β^-) ou positive (positron β^+) ;

- soit des particules beaucoup plus grosses à cette même échelle. Les rayons alpha (α) ont la constitution des noyaux d'hélium et sont donc près de 7500 fois plus lourds que les particules bêta (β). Ils sont très énergétiques (quelques MeV) et caractérisent les radioéléments lourds : isotopes radioactifs du plomb, du bismuth, du thorium, de l'uranium. □

mécanismes de réparation sont encore très mal connus.

Les mutations induites par les radiations, ne diffèrent guère par leur nature des mutations spontanées : il s'agit toujours d'altérations du message génétique inscrit dans les molécules géantes d'ADN. Ces altérations sont détectables seulement par leurs effets (mutations ponctuelles ou géniques) ou peuvent être décelées à l'échelle microscopique par l'examen de préparations des chromosomes de cellules en division (mutations liées à des aberrations ou remaniements chromosomiques). *Les mutations induites par les rayonnements ionisants comptent proportionnellement plus de modifications chromosomiques que les mutations spontanées.*

Durée entre irradiation et manifestations tardives

Le grand danger des processus d'induction des leucémies et cancers, d'une part, et de mutations génétiques, d'autre part, est la durée qui s'écoule entre le rayonnement inducteur et sa manifestation. Deux cas peuvent se présenter :

1) Durée entre irradiation et déclaration des leucémies et cancers.

Si le fœtus est irradié pendant la gestation, les premiers cas se manifestent immédiatement et les risques d'apparition de nouveaux cas persistent pendant au moins dix ans. Et si l'irradiation a lieu après la naissance, les premiers cas de leucémies induites se révèlent environ deux ans après et les risques d'apparition de nouveaux cas persistent pendant au moins 25 ans. Pour les cancers induits, les premiers cas peuvent se révéler seulement quinze ans plus tard et les risques d'apparition de nouveaux cancers persistent pendant au moins 30 ans ! (3)

2) Durée entre irradiation et mutations génétiques.

Si la mutation ne permet pas la vie de l'embryon ou du fœtus, elle entraîne une élimination plus ou moins rapide du germe (avortement spontané) : la mutation est ainsi éliminée. Mais, si la mutation est génétiquement dominante (caractère dominant ou lié à un chromosome sexuel), elle se manifeste dès la première génération par des effets mineurs ou de lourdes tares susceptibles d'être transmises aux générations ultérieures.

Enfin, si tel n'est pas le cas, elle sera totalement ou partiellement dominée et n'aura que des effets mineurs ou inaperçus pendant cette première génération. Toutefois, elle risque de se manifester ultérieurement, à la $n^{\text{ième}}$ génération.

En résumé, la durée qui s'écoule entre une irradiation et ses manifestations tardives est très longue : de l'ordre de la décennie pour les

(3) Il s'agit là des estimations des experts les plus « optimistes ». D'autres considèrent qu'après irradiation, les risques s'atténuent progressivement mais persisteraient toute la vie.

leucémies et les cancers — de l'ordre de la génération pour les mutations génétiques.

On s'aperçoit ainsi qu'entre l'ionisation des atomes et l'effet biologique observé, se produit une cascade d'événements mal connus dans le détail, de l'atome à la molécule, de la molécule aux minuscules organelles de la cellule, des

COMMENT CARACTÉRISER LA RADIOACTIVITÉ D'UN RADIOÉLÉMENT

■ La caractéristique essentielle des radioéléments est l'instabilité de leurs noyaux : à tout instant, dans un échantillon donné d'un radioélément, chaque noyau a une probabilité donnée de se désintégrer. Cette probabilité est une constante physique pour chaque type de radioélément. On l'exprime par la **période radioactive**, qui est le temps nécessaire à la désintégration de la moitié des noyaux du radioélément d'un échantillon donné. Dans cet échantillon, au bout d'une période, il ne reste plus que la moitié des noyaux initiaux du radioélément considéré — au bout de 2 périodes, il n'en reste plus que $\frac{1}{4}$ au carré, soit le quart, — au bout de 20 périodes, il n'en reste plus que $\frac{1}{2}$ à la puissance 20, soit à peu près un milliardième. La période varie énormément selon les radioéléments, et même pour les radioéléments isotopes (occupant la même case du tableau périodique des éléments en tableau de Mendeleïeff).

L'**activité** d'une source radioactive désigne le nombre de désintégrations par seconde. L'unité est le **curie** : une source où se produisent 37 milliards de désintégrations par seconde a une activité d'1 curie. Un gramme de radium 226 a une activité d'environ 1 curie. Comme il s'agit d'une grandeur importante à l'échelle de l'Homme, les sous-unités sont le plus souvent utilisées :

le millième du curie = **millicurie** ;

le milliardième du curie = **microcurie** ;

le milliardième du curie = **nanocurie**.

Les radioécologistes mesurent la pollution radioactive en **picocuries** (le millième d'1 nanocurie = 1 **picocurie**).

Période et activité sont corrélées : plus la période du radioélément contenu dans un échantillon est courte, plus l'activité de l'échantillon est grande, et inversement : ainsi, 1 gramme d'iode 131 (période 8 jours) a une activité énormément plus grande qu'1 gramme d'uranium naturel, composé d'uranium 238 (période : 4,5 milliards d'années) et d'un peu d'uranium 235 (période : 713 millions d'années). Pour chaque radioélément, le biologiste doit prendre en considération 4 données physiques qui vont pouvoir lui permettre de prédire le mode d'action sur les êtres vivants :

1) la nature du ou des rayonnements ; exemples : β^- , β^+ et γ , α et γ ou α , β et γ ;

2) l'énergie du ou des rayonnements considérés (en multiples de kiloelectronvolts ou KeV ou de mégaelectronvolts ou MeV) ;

3) la période du radioélément (et même celle de ses descendants s'ils sont eux-mêmes radioactifs) ;

4) l'activité de l'échantillon contenant le radioélément. □

organelles à la cellule, de celle-ci à l'organe et à l'organisme tout entier. Les rayons γ , très pénétrants, altèrent ou tuent les cellules tout aussi bien quand leur source est située à l'exté-

rieur de l'organisme que si elle est interne (par exemple : contamination accidentelle par un radio-élément émettant des rayons γ). Au contraire des rayons γ , les rayons α , peu pénétrants, ne sont guère dangereux tant qu'ils sont extérieurs à l'organisme (à moins d'une exposition longue). En revanche, la contamination interne par des radio-éléments émetteurs est redoutable, surtout s'ils ne sont pas rapidement évacués. -

Il en est de même pour les radio-éléments émetteurs β , à densité d'ionisation moindre, mais pénétrant plus loin que les rayons α émis par des atomes lourds, peu mobiles dans l'organisme. De nombreux émetteurs β tels que le tritium, le carbone-14, le phosphore-32, le soufre-35, le strontium-90, l'iode-129 et l'iode-131, le césium-137 (les 3 derniers émettent en plus des γ) peuvent s'intégrer à des substances minérales ou à des molécules organiques et contaminer ainsi l'organisme à plusieurs niveaux. Ce sont quelques-uns de ces éléments que produisent les centrales atomiques.

Pour chaque radio-élément contaminant, plusieurs paramètres doivent être soigneusement considérés :

- la quantité de l'échantillon radioactif et plus particulièrement son activité en nanocuries et en microcuries en général.

- la nature de l'émission avec les caractéristiques énergétiques (β^- — β^+ et γ — α et γ ...).

- les propriétés chimiques du produit radioactif (est-il soluble dans les liquides biologiques ?).

- la localisation initiale de la substance, liée au mode de contamination (inhalation de gaz, de vapeurs, d'aérosols, ingestion de suspensions, de solutions...).

- les modalités du transfert de la substance dans d'autres organes ?

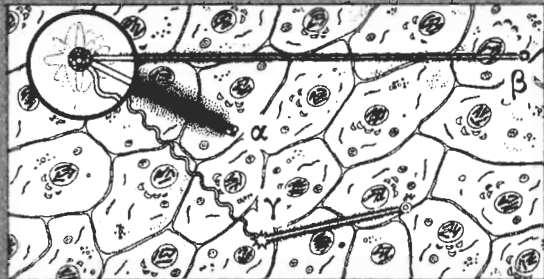
- les facultés d'épuration de l'organisme vis-à-vis de cette substance : métabolisme hépatique, transfert rénal ou immobilisation et encapsulation dans des tissus fibreux de particules insolubles ?

Il s'agit, même pour un spécialiste en ce domaine, d'un véritable casse-tête s'il y a eu contamination simultanée par plusieurs radio-éléments ! L'expérience acquise surtout sur des animaux de laboratoire démontre que certains organes, qualifiés de critiques, signent divers types de contamination car les risques de lésions sont accrus à leur niveau.

Irradiations accidentelles et développement de l'électronucléaire

Toute industrie est polluante, mais la gravité de cette pollution dépend avant tout :

- du degré d'importance, en qualité et en quantité des émissions toxiques ou des perturbations des communautés d'êtres vivants, tant à l'échelle locale et régionale qu'à l'échelle glo-



COMMENT LES RAYONNEMENTS NUCLÉAIRES AGISSENT-ILS SUR LA MATIÈRE VIVANTE ?

■ La propagation dans la matière de ces radiations très énergétiques perturbe les électrons d'une certaine proportion d'atomes et peut aboutir à l'éjection d'un électron périphérique ce qui transforme l'atome touché en un ion chargé positivement et, par là, chimiquement réactif. Secondairement, l'électron éjecté se fixe sur un autre atome, qui se charge ainsi négativement (ion négatif). Les ions formés ont une durée de vie très brève car ils réagissent chimiquement. C'est cette réactivité chimique induite qui rend les rayonnements nucléaires si dangereux pour les êtres vivants. Les effets ionisants varient selon la nature des rayonnements.

● Les rayons γ sont très pénétrants et ionisent la matière en profondeur, mais créent relativement peu de paires d'ions par unité de trajet : ils ont une faible densité d'ionisation.

● Les rayons β sont beaucoup moins pénétrants (en général moins d'un millimètre) et ce, d'autant moins que leur énergie est plus faible. Mais leur densité d'ionisation est élevée, surtout en fin de trajectoire, avant qu'ils ne soient totalement absorbés.

● A énergie égale, les rayons α sont encore moins pénétrants que les rayons β mais leur densité d'ionisation est de beaucoup plus élevée.

Ainsi la pénétration dans les tissus biologiques des rayons α émis par le plutonium 239 est de l'ordre de 35 à 50 millièmes de millimètre seulement. Mais les substances situées dans la périphérie d'une poussière de plutonium, à l'intérieur d'une sphère de 30 à 50 millièmes de millimètre de rayon, sont beaucoup plus ionisées que par les rayons β .

A chaque ionisation, l'énergie incidente des radiations est absorbée par la matière. Une mesure de cette absorption permet donc de mesurer indirectement l'intensité de l'ionisation.

L'énergie absorbée est exprimée en rad. 1 rad est la dose de rayonnement ionisant qui correspond à l'absorption d'une énergie de 100 ergs, soit, 1/100 000 de watt-seconde, par gramme de matière irradiée. Cette valeur est proche de l'unité utilisée en radiologie (rayons X), le roentgen (1 roentgen = 0,93 rad). On utilise aussi couramment la sous-unité : le millirad (le millième de rad).

L'expérimentation sur des êtres vivants avec des radioéléments, a démontré que l'énergie absorbée (exprimée en rad) ne suffit pas à rendre compte des effets biologiques. Aussi, compte tenu de la variété des rayonnements nucléaires, doit-on utiliser une autre unité : le rem — ou sa sous-unité, le millirem (= le millième du rem).

Le rem (abréviation de « Roentgen-équivalent-man ») est l'unité de dose de radiations produisant les mêmes effets biologiques sur l'Homme que les effets provoqués par 1 rad de rayons X produits par un générateur de 250 000 volts.

bale d'une nation ou du globe terrestre ;

● de la réversibilité ou de l'irréversibilité des processus.

La pollution thermique étant inhérente à toute transformation d'énergie dont le rendement est inférieur à l'unité, nous ne la traiterons pas car il ne s'agit pas d'un phénomène propre au seul secteur électronucléaire (4).

Mais tout d'abord quel est l'ordre d'importance de la pollution radioactive industrielle ? La pollution radioactive faisant suite aux essais des bombes nucléaires dans l'atmosphère et dans les mers a fait l'objet de nombreux rapports, mais elle ne se situe pas dans notre sujet.

Il est difficile d'affirmer dans l'absolu quelle sera l'importance de la pollution nucléaire industrielle car il s'agit d'un secteur neuf de l'activité humaine où l'étude de fiabilité des systèmes est encore du domaine de la prospective : l'expérience acquise est encore trop restreinte pour que l'on dépasse le stade des calculs de probabilité (voir à ce sujet la divergence des conclusions des pré-rapports publiés en 1974, celui de N.C. Rasmussen et celui de H. Kendall).

D'autre part, des améliorations techniques permettront probablement de mieux contrôler et de limiter les émissions de radio-éléments — mais leur coût ne risque-t-il pas d'en retarder la mise au point et surtout l'application ?

Avec la technologie actuelle, nous disposons de données suffisantes pour affirmer que, dans les prochaines décennies la pollution radioactive ne peut que s'accroître inexorablement.

Comment cette augmentation de la pollution va-t-elle se manifester ? Tout d'abord par l'émission de produits instables dans l'atmosphère. Le krypton-85 (émetteur β et d'un peu de γ , période longue : 10,7 années) rejeté par les réacteurs à eau légère et au niveau des usines de retraitement, va s'accumuler dans l'atmosphère du fait de sa longue période (6). Après les essais de bombes nucléaires dans l'atmosphère, une activité de 3 millions de curies a été libérée, mais, en 1972, les rapports officiels américains admettent que l'industrie nucléaire existant alors, en rejette plus de 10 millions de curies chaque année !

Qu'en sera-t-il si l'extension de l'électronucléaire atteint le niveau souhaité par les politiciens et les économistes ? Le gaz est chimiquement non réactif : comme il serait très difficile à retenir, il est délibérément émis. La mise

(4) Par ses effets sur la faune et la flore, la pollution thermique peut accroître les effets radiobiologiques de la pollution par des radio-éléments.

(5) Une industrie se révèle très sensible à cet effet, celle de la fabrication de l'air liquide et de la séparation de l'oxygène et de l'hydrogène. En fait il faut traiter des quantités considérables d'air et les gaz radioactifs très dilués, tel le Krypton 85 des centrales nucléaires, se trouveront, de ce fait, accumulés dans les compresseurs, exposant les ouvriers à des doses non négligeables de rayonnement.

au point et la réalisation de procédés de rétention et d'emmagasinement seraient trop coûteuses et réduiraient d'autant les profits ! L'absence de réactivité chimique est un prétexte car elle empêche sa concentration par le métabolisme des êtres vivants : cet argument est spé-

LE STRONTIUM-90 SE FIXE DANS LES OS... COMME LE CALCIUM

■ Le strontium-90 est un radioélément issu de la fission provoquée des noyaux d'uranium-235. Introduit accidentellement (1) dans l'organisme sous une forme assimilable, cet émetteur β est absorbé au niveau de l'intestin grêle, passe donc dans le sang circulant. Ses propriétés chimiques étant voisines de celles du calcium, il s'intègre à la matrice organique du tissu osseux sous forme de phosphate, avec un peu moins de facilité que le calcium sanguin, il est vrai.

Cette intégration est particulièrement forte chez le jeune en période de croissance et de calcification osseuse ; elle existe à un degré moindre chez l'adulte dont les os sont soumis à un lent remaniement. Ce radioélément a une longue période : 28,1 ans, et, une fois intégré à l'os d'un adulte, son élimination est tellement lente que 20 ans après la contamination, il reste encore environ la moitié de la quantité initiale (« période » biologique = 20 ans).

Un calcul simple montre que, pour une contamination interne avec une quantité donnée de strontium-90 assimilable, il faut environ 11 ans (« période » effective = 11 ans) pour que la radioactivité initiale ait diminué de moitié ; à moins qu'il n'y ait eu une nouvelle contamination. Le danger de ce radioélément réside surtout dans le fait que, une fois intégré dans l'os, il irradie les cellules de la moelle osseuse risquant d'y provoquer des blocages de division de cellules à l'origine de nombreux types de cellules sanguines — et surtout d'y induire une grave leucémie (leucémie myéloïde). □

(1) Par exemple, contamination par le lait et les produits dérivés par l'intermédiaire des vaches, elles-mêmes contaminées par les herbages ou le fourrage souillés par des retombées radioactives.

100 % : le débit serait trop faible. Aussi, une certaine proportion contamine-t-elle l'atmosphère, puis les végétaux, les herbivores et finalement l'Homme. Les ruminants qui pâturent de grandes quantités d'herbages concentrent l'iode dans leur thyroïde mais aussi dans leur lait.

Les eaux continentales et océaniques sont, elles aussi, contaminées. En effet, le tritium (émetteur β de faible énergie : 18,1 keV) rejeté par les réacteurs à eau pressurisée et les usines qui retraitent leurs combustibles s'accumule dans les eaux car, comme le krypton-85, sa période est longue : 12,2 années. En 1970, 500 000 à un million de curies ont été émis dans les eaux de ruissellement et les eaux océaniques, sous forme d'eau tritiée. Ce tritium nous contamine :

- soit directement, par voie alimentaire, sous forme d'eau tritiée, qui est absorbée au niveau intestinal, puis peu à peu éliminée (à moins qu'il n'y ait une nouvelle contamination entre-temps) : période biologique de 20 à 30 jours. Auparavant, une partie s'est intégrée à des molécules organiques qui se sont synthétisées dans l'organisme et la période biologique est plus longue car elle dépend de la vitesse de renouvellement de ces molécules ;

- soit indirectement, par consommation d'aliments provenant d'êtres vivants qui ont eux-mêmes intégré le tritium dans leurs molécules. En 1970, l'activité due au tritium dans les eaux du Rhône, au niveau d'Arles, atteignait jusqu'à 32 picocuries par litre ; depuis, des activités supérieures ont été relevées dans les eaux de la Meuse, polluée par les effluents de la centrale de Chooz, dans les Ardennes. Dans les eaux continentales des USA et dans les eaux océaniques territoriales, des activités de 200 à 1 500 picocuries par litre ont été relevées cette année-là.

Le phosphore-32 (émetteur β d'énergie plus grande que le tritium : 1,71 MeV — période : 14,3 jours) émis dans les effluents de la rivière Columbia, dans le nord-ouest des USA par les réacteurs de Hanford en fonctionnement normal, a atteint une activité de 5 700 picocuries par litre en août 1964. Il s'agit là d'un maximum car la moyenne est de 150 picocuries par litre d'eau de la rivière en aval de ces installations.

Tout comme pour le tritium, l'Homme peut se contaminer en buvant de l'eau polluée par ces effluents et le phosphore-32 s'intègre aux diverses molécules phosphorées en synthèse. Mais cette contamination est encore plus grande quand il consomme des aliments comprenant du phosphore-32 concentré.

Cette concentration a été suivie dans deux chaînes alimentaires :

- l'une d'elles aboutit aux pêcheurs et peut se schématiser ainsi : la concentration dans l'eau du fleuve étant égale par convention, à l'unité.

cieux car le krypton-85 est 10 fois plus soluble dans les graisses que dans le plasma sanguin.

Les calculs des experts les plus optimistes prévoient que, en l'an 2000, ce seul radioélément serait responsable d'une dose globale annuelle de 1/25 de millirem, pour l'ensemble du corps, de 1/10 de millirem pour les poumons, de 2 millirem pour la peau — et ce pour l'ensemble de la population.

L'iode radioactif et en particulier l'iode-131 (émetteur β et γ , période courte : 8,05 jours), peut être retenu par des filtres mais jamais à

Radioéléments	Nature et énergie (1) de l'émission	Période s: seconde j: jour a: an	Organes critiques en cas de contamination			
			par l'eau		par l'air	
			Produits solubles	Produits insolubles	Produits solubles	Produits insolubles
Tritium (eau tritiée)	$\beta +$	12,26 a	tous les tissus	—	tous les tissus	—
Krypton-85	$\beta + \gamma$	10,7 a	—	—	—	—
Strontium-90	$\beta + +$	28,1 a	os	côlon	os	poumons
Ruthénium-106	$\beta + \gamma$	1 a	côlon	côlon	côlon	poumons
Iode-131	$\beta + + \gamma + +$	8,05 j	thyroïde	côlon	thyroïde	côlon
Xénon-133	$\beta \gamma$	5,27 j	—	—	—	—
Césium-137	$\beta + + \gamma +$	30 a	tous les tissus	côlon	tous les tissus	poumons
Cérium-144	$\alpha \beta + + \gamma +$	285 j	côlon	côlon	os	poumons
Polonium-210	α	138,4 j	rate	côlon	rate	poumons
Radon-220	$\alpha \beta \gamma$	54 s	—	—	poumons	—
Radon-222	$\alpha \beta \gamma$	3,8 j	—	—	poumons	—
Radium (4 isotopes)	$\alpha \beta \gamma$	—	os	côlon	os	poumons
Thorium naturel	$\alpha \beta \gamma$	—	os	côlon	os	poumons
Uranium naturel	$\alpha \beta \gamma$	—	reins	côlon	reins	poumons
Plutonium-238	$\alpha + + + \gamma$	86,4 a	os	côlon	os	poumons
Plutonium-239	$\alpha + + + \gamma$	24 360 a	os	côlon	os	poumons
Americium-241	$\alpha \gamma$	458 a	reins	côlon	reins	poumons

(1) $+$: $E < 0,2 \text{ MeV}$

$++$: $0,2 < E < 1 \text{ MeV}$

$+++$: $1 \text{ MeV} < E$

LES PRODUITS DE L'INDUSTRIE NUCLÉAIRE ET LEURS CIBLES DANS LE CORPS HUMAIN

■ Tous les produits radioactifs insolubles ingérés, par exemple, par des aliments souillés, risquent d'induire des cancers du tube digestif et plus particulièrement du côlon. De même, les produits radioactifs insolubles inhalés sont d'abord dangereux pour les poumons.

Quant aux produits solubles, quel que soit le mode de contamination, ils se répartissent dans toutes les cellules de l'organisme et peuvent se concentrer dans différents organes. □

elle est respectivement : de 1 000 dans les algues minuscules du plancton ; de 500 dans les crustacés d'eau douce et les insectes à larves aquatiques ; de 271 en moyenne (6) dans les poissons les plus couramment consommés par l'Homme ;

● l'autre aboutit à des oiseaux vivant à proximité de la rivière : de jeunes hirondelles contenaient jusqu'à 500 000 fois plus de phosphore-32 que leur poids d'eau de la rivière Columbia ; des œufs de canards jusqu'à 200 000 fois !

Les capacités de concentration de divers radio-éléments par les algues minuscules du plancton des eaux douces, et surtout du plancton marin, sont maintenant bien connues. Des mesures effectuées sur le plancton végétal marin ont permis de comparer les teneurs en divers éléments radioactifs dans la même quantité d'eau et de plancton : les teneurs dans le plancton sont de l'ordre de 10 000 fois supérieures à celles de l'eau de mer dans laquelle il vit.

Certains en ont tout simplement déduit que le plancton pouvait être considéré comme un filtre biologique vis-à-vis des radio-éléments ! Certes on constate que, dans diverses chaînes alimentaires, le facteur de concentration est

(6) La concentration a atteint un facteur de 5 000 en été pour certaines espèces de poissons heureusement non consommées.

moindre à l'extrémité de la chaîne que dans le plancton végétal, mais il n'en atteint pas moins une valeur non négligeable.

Dans d'autres chaînes alimentaires, comme dans celle décrite pour le phosphore-32, la concentration peut être encore plus forte en fin de chaîne : pour les jeunes hirondelles et les canards, il s'agit d'une véritable « escalade » des concentrations à chaque palier, puisque ces oiseaux mangent des animaux marins qui se nourrissent du plancton.

Les responsables des émissions d'effluents respectent, en principe, les recommandations

MINES D'URANIUM : LE RADON Y PROVOQUE DES CANCERS DU POUMON

■ *Le personnel des mines d'uranium, de divers métaux, d'hématite, de fluorine, respire un gaz rare, le radon, qui résulte de la désintégration du radium et s'accumule dans les interstices des roches radifères. Ce gaz lourd s'amasse au fond des alvéoles pulmonaires et s'y désintègre en polonium. Radon et polonium sont des émetteurs α (le radon émet en plus des β et γ). Ces particules à forte densité d'ionisation, tuent les cellules des alvéoles pulmonaires ou induisent des cancers.*

Les statistiques effectuées sur les mineurs de Bohême (du Schneeberg, de 1895 à 1912 ; de Jachymow, ex-Joaquimsthal, de 1929 à 1938) montrent que l'incidence des cancers du poumon était de 30 à 50 fois supérieure à celle observée dans la population de Vienne ; pour les autres types de cancers, on n'observait aucune différence significative. Les conditions d'aération, qui permettent une évacuation plus rapide des émanations de radon, ont permis de diminuer le taux d'incidence des cancers pulmonaires chez ces travailleurs, qui demeure toutefois 5 fois supérieure à la normale dans les mines d'uranium américaines.

Le dépôt prolongé de poussières de polonium sur la peau y provoquerait des rougeurs, voire une radiodermite, mais il suffit d'un lavage soigneux pour les enlever. Nous ne pouvons malheureusement pas laver nos poumons ! □

des experts sur les concentrations maximales admissibles pour les êtres vivants. Mais qui peut actuellement prétendre tout savoir sur les processus de cheminement de la matière dans un milieu aussi complexe que les océans ?

Plusieurs exemples ont démontré la gravité de l'impact de la pollution chimique sur l'environnement et la difficulté de renverser le sens de processus de dégradation.

La pollution radioactive risque d'être encore plus irréversible tant que la technologie actuelle ne pourra maîtriser les émissions de radio-éléments dans la biosphère. Exemple :

● pour des radio-éléments aussi dangereux que le strontium-90 et le césium-137, heureusement en majeure partie stockés, il faudra 20 périodes,

soit 6 siècles environ pour que leur activité soit réduite au millionième ;

● pour le plutonium-239 (7), cette activité « négligeable » ne sera atteinte que dans 20 fois 24 360 années !

Les activités cumulées de déchets radioactifs prévues pour l'an 2000 dans le monde entier (en milliards de curies)

Tritium	~ 0,25
Krypton-85	~ 6
Strontium-90	20 à 50
Cesium-137	30 à 40
Plutonium-137	~ 0,17
Américium-241	~ 0,26

Tous ces radio-éléments sont tellement dangereux que leur majorité — mais pas leur totalité — est stockée dans les meilleures conditions que permet la technique du stockage ; or, aucune technique n'a jusqu'ici totalement convaincu les experts, même les plus optimistes ! Même si une technique s'avérait sûre, les quantités de déchets stockés sont telles que toutes les informations concernant les sites et les conditions devraient passer d'une génération aux suivantes !

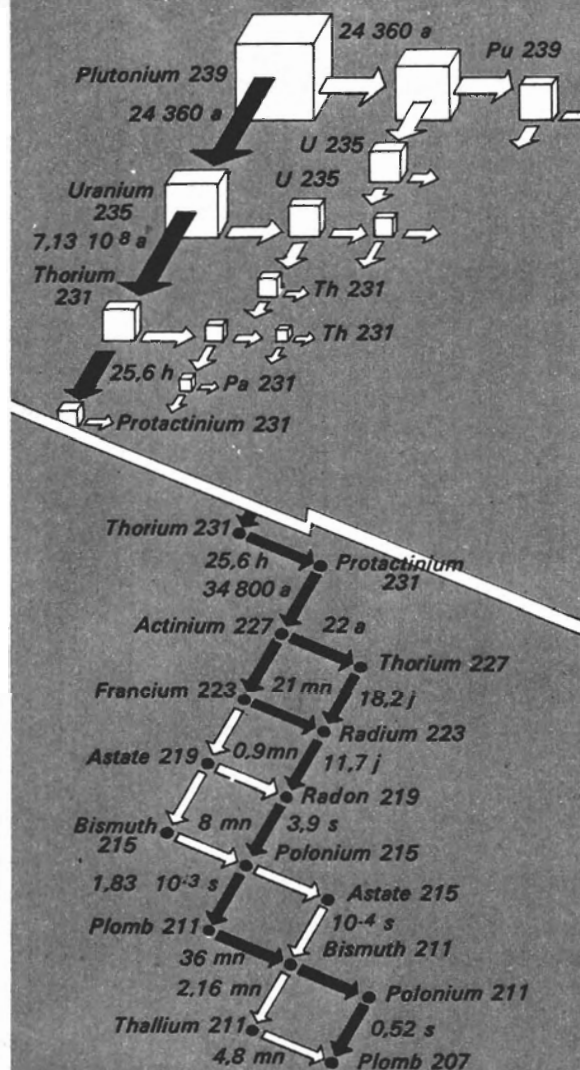
D'autre part, cela suppose aussi que la comptabilité ait été bien effectuée et que des émissions de radio-éléments n'aient pas échappé au contrôle humain (8). Que de conditions réunies ! Quel beau cadeau à nos descendants !

Toutes les études visant à comparer la sensibilité aux radiations nucléaires des êtres vivants démontrent que les animaux les plus complexes, oiseaux et mammifères, sont les plus radiosensibles. A ce point de vue, l'Homme ne se distingue guère des autres mammifères et les expériences faites sur des souris et des rats, (dont la grande fécondité permet d'obtenir plusieurs générations en quelques années) peuvent lui être transposées moyennant certains aménagements et certaines corrections de données (métabolisme plus rapide...).

Malheureusement, nous ne disposons pas d'une espèce qui serait par exemple 10 fois plus radiosensible que nous et qui nous permettrait de tirer à temps la sonnette d'alarme. Un des

(7) Les expériences effectuées sur des chiens démontrent que, après inhalation expérimentale de très fines particules d'oxyde de plutonium-239, il suffit que 0,07 milligramme reste fixé dans les alvéoles pulmonaires pour y induire un cancer.

(8) Pour donner un ordre de grandeur, il a été calculé que si la production d'électricité aux USA était uniquement assurée en l'an 2000 par des réacteurs à eau légère pressurisée, cette industrie produirait chaque année une quantité de déchets radioactifs grossièrement équivalente à celle produite par l'explosion de 8 millions de bombes atomiques de type Hiroshima !



UNE FAMILLE RADIOACTIVE OU L'HISTOIRE D'UN KILOGRAMME DE PLUTONIUM

■ La route est longue pour atteindre le Plomb 207, stable ! Ainsi au bout de 24 360 ans la moitié seulement du plutonium s'est transformé en uranium 235. Et il faut 713 millions d'années pour que la moitié de celui-ci se transforme en thorium 231. La longue période de l'uranium 235 explique sa faible activité. En revanche, apparaissent plus tard des éléments extrêmement actifs, car de très courte période, tels le radium, le radon ou l'actinium. (Leur période respective étant de 11,7 jours, 3,9 secondes et un dix-millième de seconde). Il ne faut donc pas penser qu'au bout de la période d'un élément considéré, la radioactivité a diminué de moitié. C'est l'activité de cet élément qui est réduite de moitié, mais il est apparu de nouveaux éléments eux aussi radioactifs, jusqu'à l'élément stable, le plomb, ou le bismuth dans d'autres cas.

problèmes les plus préoccupants reste l'évaluation des effets des faibles doses de rayonnements sur de vastes populations d'êtres vivants, et en particulier sur les populations humaines.

Irradiation naturelle...

Elle correspond à une dose annuelle moyenne de 100 millirem, répartie approximativement sur tout le corps, et susceptible de varier : elle est moindre à basse altitude qu'en montagne, plus élevée sur terrains granitiques et volcaniques que sur terrains sédimentaires.

Nous sommes tous soumis à une irradiation naturelle qui n'a guère dû changer depuis l'origine de l'Homme ⁽⁹⁾. Cette irradiation est produite par des sources externes à notre organisme (rayons cosmiques — sous-sol de notre habitat et pierres de nos maisons) et par des sources internes (le potassium-40 et le carbone-14, qui contaminent naturellement notre organisme).

... et médicales

A cette irradiation naturelle doivent s'ajouter les irradiations médicales. Sauf dans le cas où des radio-éléments sont utilisés (par exemple radio-iode pour des traitements thyroïdiens), il s'agit principalement d'irradiations externes.

La fréquence de ces irradiations tend à s'accroître mais les équipements se perfectionnent, ce qui diminue les doses. Toutefois, le risque encouru par le patient doit être mis en balance avec le bénéfice médical qu'il compte en tirer, ce qui laisse douter de la nécessité des radiographies systématiques « de dépistage » sur l'ensemble des enfants en âge scolaire, des travailleurs et des femmes enceintes ⁽¹⁰⁾.

Une législation stricte, qui tend à devenir internationale, exige que l'ensemble de la population ne soit pas soumise à une dose annuelle d'irradiation totale supérieure à 170 millirem. De cette dose sont exclues l'irradiation naturelle et les irradiations médicales. Sauf pour certaines catégories professionnelles : radiologues, certains chirurgiens, personnel des installations nucléaires pour lequel la dose maximale admissible d'irradiation totale du corps est de 5 rem par an !

Une telle dose supplémentaire de 170 millirem par an, est encore très loin d'être atteinte, même localement, pour l'ensemble de la population. Toutefois, connaissant la légèreté

(9) L'irradiation naturelle devait être plus grande dans les anciens temps géologiques, il y a un milliard ou cinq cents millions d'années. Il est fort possible, sinon très probable, que c'est elle qui a causé bon nombre des mutations à partir desquelles se sont différenciées les formes animales et végétales de la vie telle que nous la connaissons sur Terre.

(10) En 1972, aux USA, dose moyenne annuelle d'irradiations médicales : de l'ordre de 70 millirem.

avec laquelle des industriels ont enfreint les règlements s'appliquant aux émissions d'effluents chimiques, nous avons tout lieu de supposer que les émissions de radio-éléments se feront de plus en plus routinières et que le taux d'irradiation de l'ensemble de la population se rapprochera insensiblement de la valeur maxi-

L'OXYDE DE PLUTONIUM : UNE CONTAMINATION PAR LES POUMONS.

■ L'oxyde de plutonium, émetteur γ et α , forme, associé à l'oxyde d'uranium, le « combustible » des surrégénérateurs. Supposons qu'un ouvrier ait inhalé accidentellement de fines poussières d'oxyde de plutonium (aérosol) d'autant plus dangereux que les poussières sont plus fines. Cet oxyde métallique est peu soluble dans les liquides biologiques.

Au cours de l'inhalation, une faible fraction — surtout les grosses particules — est retenue par le mucus nasal, le reste pénètre dans les poumons. L'évacuation bronchique (mucus rejeté par les mouvements des cils tapissant l'intérieur des grosses bronches) rejette une grande part des particules dans le larynx et le pharynx, d'où le mucus peut soit être expectoré, soit passer dans l'œsophage, mais le reste demeure dans les alvéoles pulmonaires. Si aucun soin n'est rapidement effectué, deux dangers distincts en résultent :

- les particules évacuées dans le tube digestif irradiant les cellules bordantes d'autant plus qu'elles restent longtemps à proximité ou en contact de chaque cellule ; d'où un danger d'induction de cancer dans le côlon (du gros Intestin), là où le transit est le plus lent ;

- les particules restées dans les alvéoles tuent les cellules avoisinantes ou les rendent cancéreuses.

Malgré la faible solubilité de l'oxyde, un peu de plutonium passe dans le sang, circule, lèse des cellules en divers lieux de l'organisme (ganglions lymphatiques, foie...) puis se fixe à la surface des os (et non en profondeur comme le strontium-90), en un site particulièrement sensible à l'induction de cancers osseux.

Les remaniements de la surface osseuse peuvent détacher les particules d'oxyde, qui pourront se fixer ailleurs. Compte tenu de la période du plutonium-239 : 24360 années, et de sa très longue « période » biologique, peut-être 100 ans pour les os, on ne peut guère compter sur les processus d'épuration biologique pour en débarrasser l'organisme. Heureusement, on peut injecter dans le sang une substance qui forme un complexe avec le plutonium circulant et permet son élimination par les reins. Mais on ne peut laver les poussières incrustées dans les alvéoles ! □

male dite « admissible ». Sans parler de l'éventualité d'accidents majeurs...

J.W. Gofman, A.R. Tamplin et leurs collaborateurs ont déclenché une vive polémique dès 1969, en publiant les estimations selon lesquelles une irradiation industrielle correspon-

dant à un supplément de dose de 170 millirem/an entraînerait chaque année aux USA :

- soit 32 000 morts supplémentaires par leucémies et cancers divers (évaluation « optimiste » émise en 1969 et en 1970) ;

- soit 104 000 morts supplémentaires pour les mêmes causes (évaluation « pessimiste » publiée en 1971). De telles estimations ne font qu'avancer des ordres de grandeur, mais elles ont été aussitôt vivement critiquées par les radiobiologistes. Selon ces derniers, les durées s'écoulant entre l'induction, par irradiation, de leucémies et de cancers et la manifestation de la maladie doivent être réduites, ce qui signifie que le risque par irradiation ne dure pas aussi longtemps que le suppose Gofman et Tamplin.

Les mêmes experts qui avaient contesté ces premières estimations, réunis sous l'égide de l'Académie des Sciences des USA ont publié leurs propres évaluations en 1972. Selon eux, pour un même supplément de dose, il en résulterait chaque année aux Etats-Unis :

- de 900 à 2 250 morts supplémentaires par leucémies ;

- de 2 100 à 12 750 morts supplémentaires par cancers divers ⁽¹¹⁾ soit un total de 3 000 à 15 000 morts supplémentaires. Les experts estiment qu'il faut doubler ces nombres pour avoir un ordre de grandeur du nombre de cas de leucémies et de cancers, environ la moitié étant mortels.

D'autre part, ces experts ont essayé d'estimer les effets génétiques de ce supplément d'irradiation. Cependant, bien des inconnues persistent, les plus flagrantes étant les suivantes :

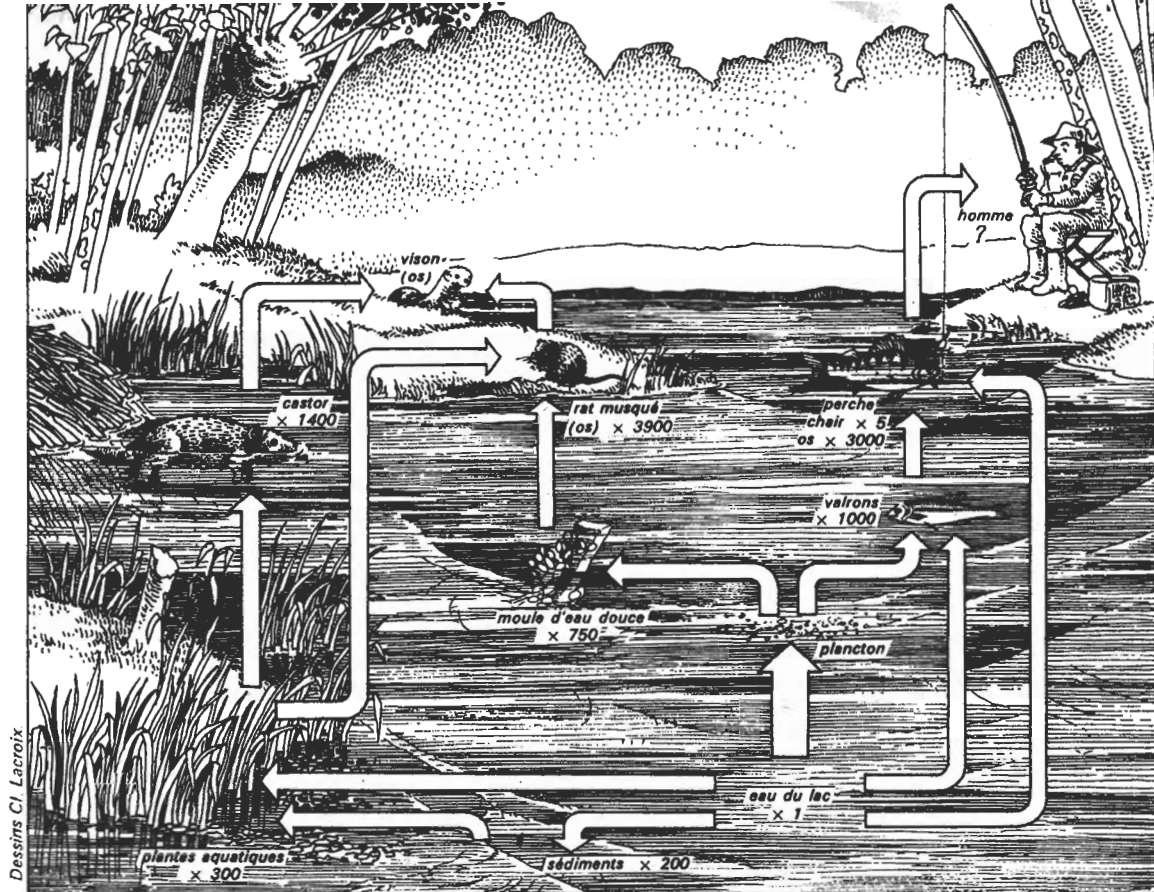
- pour l'induction des cancers et leucémies, pendant combien de temps persistent les risques d'irradiations ?

- pour les mutations génétiques, la dose de doublement du taux des mutations est inconnue (20 rem ? 200 rem ?...).

Tous les calculs effectués reposent sur des extrapolations à de faibles doses des effets observés et étudiés statistiquement sur des effectifs de plusieurs milliers de personnes irradiées à des doses beaucoup plus fortes.

Plusieurs effectifs sont difficiles à comparer avec l'ensemble d'une population, qui comprend tous les âges. Exemple : malades atteints de rhumatismes ankylosants de la colonne vertébrale (plus de 14 000 patients traités par de hautes doses locales de rayons X, puis suivis médicalement), ouvriers et ouvrières des ateliers de peinture de cadrans radioluminescents (pendant longtemps, peintures avec du sulfure de zinc en pâte contenant du radium), mineurs des mines d'uranium.

(11) Pour la fréquence des divers types de cancers induits par les irradiations, leurs évaluations sont les suivantes pour 1 000 morts par cancer : 300 femmes par cancer du sein ; 260 personnes par cancer du poulmon ; 200 personnes par cancer du tube digestif, estomac compris ; 40 personnes par cancer osseux ; 200 personnes par d'autres types de cancers.



FAUNE ET FLORE : DES FILTRES QUI CONCENTRENT LES PRODUITS RADIOACTIFS

■ Il faut se garder de se rassurer en considérant les faibles teneurs en produits radioactifs des rejets des centrales nucléaires. En effet, plantes et animaux tout au long de la chaîne alimentaire qui mène à l'Homme, se chargent souvent de concentrer ces produits, et ce parfois dans des proportions considérables. Ici, l'exemple du strontium 90 dans les organismes vivants d'un petit lac recevant des effluents faiblement radioactifs. Dans les os de la perche, le strontium, qui s'y fixe comme le calcium, est concentré 3 000 fois. Quelle sera la concentration dans les os du pêcheur ? □

Les seuls effectifs comparables sont les survivants d'Hiroshima et de Nagasaki (toutes les classes d'âge). Mais ils n'ont été bien suivis qu'à partir de 1950, la dose d'irradiation qu'ils ont reçue n'est pas très bien connue et il est difficile de comparer les effets d'une irradiation aiguë à forte dose avec ceux d'irradiations chroniques à faibles doses.

Que se passerait-il, si à la suite d'une augmentation insidieuse de la radioactivité, le nombre des cancers, des leucémies, et à plus longue échéance, le nombre des tares héréditaires augmentaient de manière significative ?

Il est probable que la pollution chimique de notre environnement, universellement reconnue, en serait rendue responsable. Même si la pollution radioactive était arrêtée à sa source, les effets à long terme continueraient à induire des leucémies, des cancers, des mutations génétiques.

L'engagement à outrance dans la voie de

l'électronucléaire avec la technologie actuelle, représente donc un pari sur la santé publique.

Les premières victimes seront, bien sûr, le personnel des installations nucléaires et leur descendance, ainsi que, dans l'ensemble de la population, les enfants, particulièrement sensibles aux contaminations internes par divers radio-éléments du fait de leur intense métabolisme, et qui seront atteints en premier par les leucémies et par les cancers (12).

Georges PÉTAVY ■

biologiste,
du « Groupe d'Orsay »

(12) R.S. Russel a calculé que, si les vaches consommaient suffisamment d'iode-131, de strontium-90, de césium-137 pour présenter des symptômes pathologiques mineurs, les enfants ayant bu leur lait auraient reçu les doses annuelles suivantes : 400 rem au niveau de la thyroïde (iode-131) ; 180 rem au niveau du tissu osseux (strontium-90) ; 170 rem au niveau de l'ensemble du corps (césium-137).