

Étude des retombées en France des essais atmosphériques d'armes nucléaires

• PH. RENAUD (IRSN)

Les essais atmosphériques d'armes nucléaires

Depuis 1945, cinq nations ont effectué plus de cinq cents essais aériens d'armes nucléaires : les États-Unis, l'URSS, le Royaume-Uni, la France et la Chine. Le **tableau 1** présente la répartition des essais dans le temps ainsi que la contribution de chaque État (UNSCEAR, 2000).

L'essentiel de la puissance a été libéré au début des années 1960 et plus particulièrement durant les années 1961 et 1962 par les tirs américains et soviétiques jusqu'au traité de non-prolifération des armes nucléaires signé en août 1963. Les tirs atmosphériques français et chinois, qui ont continué respectivement jusqu'en 1974 et 1980, ne représentent que quelques pour cent du total.

L'essentiel de ces tirs a eu lieu dans l'hémisphère Nord et, bien que l'énergie libérée ait été suffisante pour créer un souffle ascensionnel qui a entraîné la majeure partie des substances radioactives dans la stratosphère, les retombées ont eu lieu à près de 90 % dans cet hémisphère. En raison de cette dispersion stratosphérique, les retombées ont été assez homogènes à l'échelle de l'hémisphère, même si les valeurs maximales ont été atteintes entre 40° et 50° de latitude

Période	État	Nombre d'essais	Rendement estimés en Mt
1945-1962	États-Unis	197	154
1949-1962	URSS	219	247
1952-1953	Royaume-Uni	21	8,05
1960-1974	France	45	10,2
1964-1980	Chine	22	20,7
Total		503	440

nord. Elles étaient constituées de produits de fission (en rouge dans le **tableau 2**) et de produits d'activation (en bleu).

Les retombées de ces produits radioactifs ont entraîné une contamination globale de notre environnement et de toutes les chaînes alimentaires qui perdure encore de nos jours.

L'intérêt des mesures effectuées depuis 1961

Les mesures effectuées depuis 1961 par le Service central de protection contre les rayonnements ionisants (SCPRI), puis par l'Office de protection contre les rayonnements ionisants (OPRI)¹, témoignent des retombées de ces tirs et de leur puissance².

Radionucléide	Activité émise (Bq)	Période rad. (an)	Radionucléide	Activité émise (Bq)	Période rad. (an)
³ H	2 10 ²⁰	12	¹³¹ I	7 10 ²⁰	0,02
¹⁴ C	2 10 ²⁰	5,7 10 ³	¹³⁷ Cs	1 10 ¹⁸	30
⁵⁴ Mn	5 10 ¹⁵	0,86	¹³⁶ Cs	7 10 ¹⁸	0,036
⁵⁵ Fe	2 10 ¹⁸	2,7	¹⁴⁰ Ba	7 10 ¹⁹	0,035
⁸⁹ Sr	9 10 ¹⁹	0,15	¹⁴¹ Ce	2 10 ⁶	0,090
⁹⁰ Sr	7 10 ¹⁷	28	¹⁴⁴ Ce	3 10 ¹⁹	0,78
⁹⁵ Zr	1 10 ²⁰	0,14	²³⁸ Pu	3 10 ¹⁴	88
⁸⁵ Kr	2 10 ¹⁷	10,7	^{239,240} Pu	8 10 ¹⁵	2,4 10 ⁴ - 6,6 10 ³
¹⁰³ Ru	2 10 ²⁰	0,11	²⁴¹ Pu	2 10 ¹⁷	14
¹⁰⁶ Ru	1 10 ¹⁹	1,0	²⁴¹ Am*	6 10 ¹⁵ *	4,3 10 ²

1 - L'OPRI a été regroupé avec l'IPSN en 2002 pour former l'IRSN.

2 - République française, ministère de la Santé, Service central de protection contre les rayonnements ionisants. Bulletins mensuels des résultats de mesures 1961-1980.

* L'²⁴¹Am n'a pas été produit directement lors des explosions, mais se crée régulièrement par désintégration du ²⁴¹Pu. L'activité mentionnée ici correspond à l'activité ainsi produite en 1988.

Neuf produits de fission ont été régulièrement mesurés, notamment dans des échantillons d'air, d'eau de pluie, de végétaux et de lait prélevés sur plusieurs stations réparties sur le territoire français : le strontium 90 (^{90}Sr), le zirconium 95 (^{95}Zr), les ruthénium 103 et 106 (^{103}Ru et ^{106}Ru), l'iode 131 (^{131}I), le césium 137 (^{137}Cs), le barium 140 (^{140}Ba), ainsi que les cérium 141 et 144 (^{141}Ce , ^{144}Ce).

À partir de ces mesures et de modèles radio-écologiques, les dépôts de ces produits de fission de 1961 à 1983 ainsi que l'évolution des activités dans les herbages, le lait de vache et la viande de bœuf produits en France durant cette période ont été reconstitués.

Cette connaissance est indispensable si l'on souhaite interpréter les activités mesurées aujourd'hui et juger de l'impact d'événements comme

l'accident de Tchernobyl ou d'Algésiras ou encore des rejets des installations nucléaires.

De plus, le fait de disposer de longues séries de mesures de plusieurs produits de fission permet, d'une part, de tester les modèles radio-écologiques, d'autre part, d'étudier en milieu naturel certains mécanismes de transfert des radionucléides qui n'avaient jusque-là été abordés que par l'expérimentation ou la modélisation.

Reconstitution des dépôts radioactifs

Les dépôts par temps sec et lors des pluies ont été reconstitués à partir de mesures d'activité de l'air et/ou de l'eau de pluie. Lorsque les deux mesures étaient disponibles, les rapports entre les activités de l'air et de l'eau de pluie ont été calculés. Ces rapports traduisent le "chargement" des gouttes d'eau en aérosols radioactifs. Ce chargement se fait de deux manières : par inclusion lors de la formation de la goutte et par interception des aérosols lors de la chute de la goutte d'eau au sol (lessivage de l'air).

Les mesures montrent que le rapport d'activité eau/air varie au plus d'un ordre de grandeur, mais que sa valeur moyenne est assez constante pour les quatre radionucléides pour lesquels il a été étudié (^{90}Sr , ^{95}Zr , ^{106}Ru et ^{137}Cs) : 500 Bq/l d'eau par Bq/m³ d'air. Ceci confirme l'hypothèse habituellement faite dans les modèles, à savoir que ces mécanismes de transfert des aérosols vers l'eau de pluie sont essentiellement physiques et ne dépendent pas de la nature du radionucléide fixé aux aérosols. Par ailleurs, le rapport entre les dépôts sec et pluvieux reconstitués montre que plus des deux tiers des activités déposées l'ont été lors des pluies, et ceci quel que soit le radionucléide (figure 1).

S'il est impossible de différencier les nombreux essais américains et soviétiques du début des années 1960, les pics d'activité dix à cent fois plus faibles mesurés dans les années 1970 coïncident parfaitement, avec un décalage de quelques mois, aux essais isolés de moindre puissance pratiqués par la France et la Chine.

Les dépôts mensuels de ^{137}Cs déduits de ces mesures sont toujours restés en deçà de 200 Bq/m², même lors des retombées les plus intenses de 1962 et de 1963 (figure 2), ce qui est peu, comparé aux dépôts consécutifs à l'accident de Tchernobyl (quelques milliers à plusieurs milliers de Bq/m² en moins d'une semaine). En

Figure 1

Rapport des dépôts secs et pluvieux de 1961 à 1985.

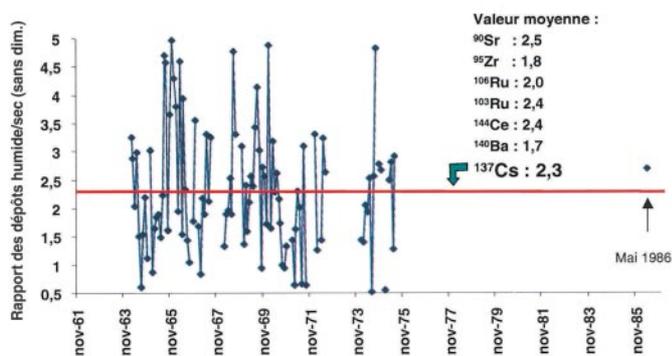
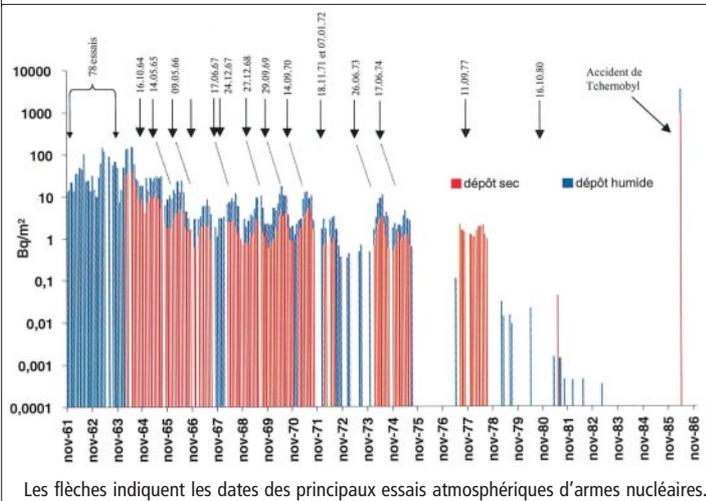


Figure 2

Dépôts mensuels de césium 137 au Vésinet de 1961 à 1986.



Les flèches indiquent les dates des principaux essais atmosphériques d'armes nucléaires.

revanche, les autres produits de fission ont donné lieu à des dépôts beaucoup plus importants (figure 3). Ainsi, les dépôts mensuels de ^{95}Zr ont dépassé 1 000 Bq/m² au cours des années 1961 à 1963, pour un dépôt total cumulé sur quinze ans de plus de 50 000 Bq/m².

Activités des herbages et du lait

L'HERBE

Les activités des herbages ont suivi les évolutions mensuelles des dépôts, avec une amplitude beaucoup plus forte pour les radionucléides de courte période, notamment ^{95}Zr (figure 4). En effet, pour le ^{137}Cs et le ^{90}Sr , l'accumulation dans le sol et l'existence d'un transfert racinaire ont diminué cette amplitude. Les activités de ^{95}Zr ont été les plus élevées. Elles ont couramment dépassé 1 000 Bq/kg dans l'herbe fraîche au début des années 1960 et atteint 100 Bq/kg après chacune des plus fortes explosions des années 1968 à 1972.

La confrontation des mesures d'activité dans les herbages avec les résultats des activités calculées à partir des dépôts reconstitués a permis à la fois de valider la méthodologie utilisée pour reconstituer les dépôts pour chaque radionucléide et de valider les valeurs des paramètres radioécologiques utilisés dans des modèles comme ASTRAL¹ ou FOCON², notamment par l'étude statistique du rapport "calculé/mesuré". Par ailleurs, l'adoption des mêmes valeurs de paramètres montre que, pour certains radionucléides, les phénomènes intervenant dans le transfert direct entre l'air ou de l'eau de pluie et les feuilles d'un végétal ne dépendent pas ou peu de sa nature. Enfin, il faut noter la conservation des rapports d'activité isotopiques depuis les explosions

Pour certains radionucléides, les phénomènes intervenant dans le transfert direct entre l'air ou de l'eau de pluie et les feuilles d'un végétal ne dépendent pas ou peu de sa nature.

Figure 3

Dépôts mensuels et cumulés des principaux produits de fission au Vésinet de 1961 à 1983.

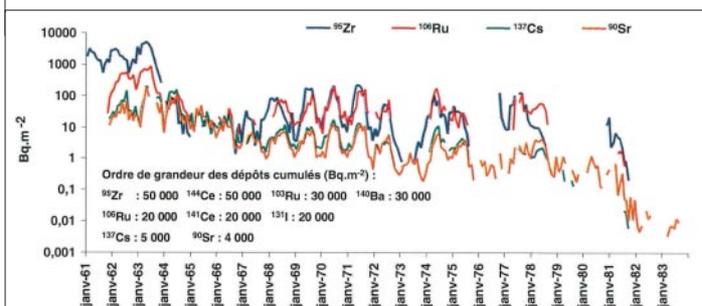
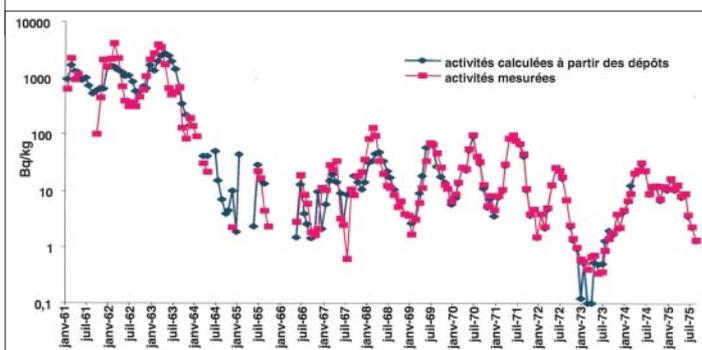


Figure 4

Activités en zirconium 95 de l'herbe au Vésinet de 1961 à 1975, mesurées et calculées à partir des dépôts reconstitués.



jusqu'aux activités mesurées dans l'herbe. Ceci montre que tous ces produits de fission ont eu des comportements voisins, que ce soit lors de leur résidence dans la stratosphère, de leurs retombées ou de leur transfert à l'herbe. Néanmoins, pour le césium et le strontium, l'existence d'un transfert racinaire non négligeable entraîne une différenciation de leur transfert à l'herbe.

LE LAIT

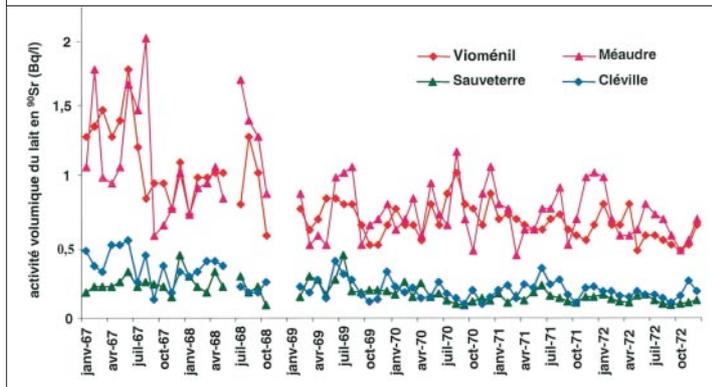
Dans le lait, les activités les plus élevées sont celles du ^{137}Cs et de ^{90}Sr . Ceci s'explique par le fait que, pour une même activité incorporée par une vache, le zirconium, le cérium et le ruthénium sont de cent à mille fois moins transférés au lait que le césium et le strontium. En région parisienne, l'activité volumique du lait de vache en ^{137}Cs oscillait entre 1 et 10 Bq/l dans les années 1960, entre 0,1 et 1 Bq/l dans les années 1970 et au début des années 1980. En mai 1986, suite à l'accident de Tchernobyl, cette activité est brutalement remontée à 5 Bq/l en région parisienne et à plus de 100 Bq/l dans l'est de la France avant de diminuer fortement dans les

1 - ASTRAL : modèle développé par l'IRSN permettant d'établir la correspondance entre un dépôt radioactif accidentel, les activités dans la chaîne alimentaire qui en résultent et les doses associées. Modèle intégré à un logiciel d'évaluation radiologique en situation de crise post-accidentelle.

2 - FOCON : modèle développé par l'IRSN et permettant notamment de prendre en compte les transferts dans l'environnement pour la détermination des autorisations de rejet des installations nucléaires.

Figure 5

Activités de strontium 90 mesurées dans le lait sur des sites présentant des pluviométries moyennes annuelles différentes : Sauveterre (450 mm) et Cléville (800 mm), Vioménil (1 200 mm) et Méaudre (1 400 mm).



semaines suivantes. Comme pour l'herbe, la concordance entre les activités calculées sur la base des dépôts et celles mesurées est très satisfaisante, ce qui souligne la qualité et la cohérence des différents types de mesures et la validité des modèles radioécologiques.

Influence des précipitations moyennes annuelles

Cette étude reposant pour l'essentiel sur des mesures qui proviennent du Vésinet, en région parisienne, il était intéressant d'étudier l'homogénéité des dépôts consécutifs aux essais d'armes nucléaires sur le territoire français ainsi que l'homogénéité des niveaux de contamination de la chaîne alimentaire résultants. Pour cela, les dépôts pluvieux et les activités du lait mesurées sur quatre stations de l'IRSN ont été confrontés. Les quatre sites suivants ont été choisis en raison de précipitations moyennes annuelles représentatives des variations régionales et des extrêmes rencontrés en France métropolitaine : Sauveterre, près d'Avignon (650 mm de précipitation par an),

Cléville, en Normandie (800 mm/an), Vioménil, en Bourgogne (1 200 mm/an), et Méaudre, dans le Vercors (1 400 mm/an). Entre 1967 et 1972, les dépôts mensuels à Vioménil ont été plus importants qu'à Sauveterre de 50 % à 60 % en moyenne pour le ⁹⁰Sr et le ¹³⁷Cs. Cette influence des précipitations moyennes annuelles sur l'importance des retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires sur ces deux sites français est conforme, notamment, à celle observée et quantifiée en Irlande (Mitchell et al, 1990). Elle s'est répercutée dans l'activité du lait. La figure 5 montre qu'entre 1967 et 1972, les activités de ⁹⁰Sr mesurées dans le lait à Méaudre et à Vioménil ont été en moyenne cinq fois supérieures à celles mesurées à Cléville et à Sauveterre.

Perspectives

Outre la connaissance de l'origine et de l'évolution de la radioactivité artificielle présente dans notre environnement – indispensable pour interpréter les activités mesurées aujourd'hui et juger de l'impact d'événements comme l'accident de Tchernobyl ou le rejet d'Algésiras ou encore des rejets d'une installation nucléaire –, les mesures effectuées depuis plus de quarante ans par le SCPRI puis l'IRSN fournissent une base de données utile pour l'acquisition de connaissances scientifiques nouvelles ou la validation de modèles existants.

Les résultats présentés ici n'utilisent qu'une petite partie de cet ensemble de mesures et ne couvrent donc pas l'intégralité des nombreuses perspectives de recherche et d'expertise offertes. Un projet fédérateur pluriannuel est en préparation. Il pourrait consister en l'étude des facteurs qui déterminent la vulnérabilité d'un environnement à des retombées radioactives accidentelles ou chroniques : quels sont les facteurs environnementaux susceptibles d'augmenter ou de réduire les conséquences de ce type de pollution ?

Références

- P.Mitchell, J. Sanchez-Cabeza, T. Ryan et A. McGarry, A. Vidal-Quadras, "Preliminary Estimates of Cumulative Caesium and Plutonium Deposition in the Irish Terrestrial Environment", J. of Radioanalytical and nuclear chemistry, vol. 138, n° 2, 241-256, 1990.
- United Nations, "Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation", New York, 1982.