Zeitschrift: Bericht der Eidgenössischen Kommission zur Überwachung der Radioaktivität

Herausgeber: Eidgenössische Kommission zur Überwachung der Radioaktivität

Band: 27 (1983)

Rubrik: 27e Rapport de la Commission fédérale de surveillance de la radioacitvité pour l'année 1983 à l'intention du Conseil fédéral

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

27e RAPPORT

DE LA COMMISSION FEDERALE DE SURVEILLANCE DE LA RADIOACTIVITE POUR L'ANNEE 1983 A L'INTENTION DU CONSEIL FEDERAL

PAR PROF. DR. O. HUBER, PRÉSIDENT DE LA COMMISSION, FRIBOURG [1])

RÉSUMÉ

La radioactivité artificielle de l'air a aussi été très faible en Suisse en 1983. La dose aux personnes qui en résulte est inférieure à 1 mrem/an.

Les limites de concentration en éléments radioactifs dans l'air et dans l'eau ont été respectées par toutes les centrales nucléaires, par l'ISN et l'IFR. Les doses supplémentaires causées par ces installations dans l'environnement ont été inférieures à quelques mrem/an.

Les concentrations des radionucléides dans les échantillons hebdomadaires d'eau des STEP de Zürich, Bâle, Berne et Lausanne ont été constamment inférieures à la valeur directrice applicable à l'effluent (pour le tritium: 300'000 pCi/litre); il en est de même pour le tritium dans l'eau de la STEP de La Chaux-de-Fonds (prélèvements mensuels).

Comme le montrent des échantillons instantanés provenant de drainages de dépotoirs à Teufen/AR, Stein/AR et à La Chaux-de-Fonds, la teneur en tritium a dépassé en quelques endroits la valeur de 300'000 pCi/litre. Il n'existe aucun danger pour la population, car ces eaux ne sont pas utilisées comme eaux potables et sont en outre diluées après un petit parcours avec de l'eau inactive.

---

1) Le rapport a été rédigé en collaboration avec Dr. H. VÖLKLE, Dr. H. SURBECK et C. MURITH phys. dipl. (Fribourg) sur la base des rapports de travail des laboratoires cités à l'appendice

En décembre 1983, une industrie de Volketswil rejeta sans intention environ 500 Ci de tritium dans la canalisation. Ce rejet provoqua des augmentations significatives de la concentration en tritium dans la Glatt et dans le Rhin. Toutefois, aucune augmentation ne fut décelée dans la plupart des stations de pompage d'eau de la nappe phréatique des communes situées en aval. Les élévations observées dans certaines de ces stations étaient du reste inférieures à 4000 pCi/litre. De ce fait, aucune dose d'irradiation notable n'a été causée à la population concernée.

Les sources naturelles de rayonnements occasionnent à la population suisse un équivalent de dose effectif moyen de l'ordre de 125 mrem/an (rayonnement terrestre 65, rayonnement cosmique 32, irradiation interne 30 mrem/an; dose moyenne aux gonades 105 mrem/an).

A cette valeur, il faut ajouter l'équivalent de dose effectif causé par le gaz rare radon et ses descendants, surtout à l'intérieur des maisons. La dose au poumon, estimée sur la base de l'enquête par sondage menée jusqu'alors dans les maisons en Suisse par l'IFR en collaboration avec la CFSR, correspond à un équivalent de dose effectif moyen de l'ordre de 125 mrem/an (valeur provisoire). Le radon occasionne essentiellement une irradiation des organes respiratoires; les effets génétiques sont par conséquent négligeables.

Des mesures de radon effectuées dans d'anciens ateliers de posage de peintures luminescentes au radium et dans certaines habitations de La Chaux-de-Fonds ont donné en partie des concentrations de radon fortement accrues; dans la plupart des cas la situation n'est toutefois pas alarmante. Cependant, pour certaines de ces maisons un assainissement est recommandé dans le but d'y diminuer le niveau de radon. Dans cette optique, des possibilités d'assainissement sont étudiées en collaboration avec les autorités locales.

Autre source d'irradiation, les examens diagnostiques aux rayons X en médecine provoquent en moyenne pour tous les types d'examen environ 80 mrem/an à la moelle osseuse. En pondérant la dose aux gonades par la probabilité de procréation, on obtient ce qu'on appelle la dose génétiquement significative. Elle s'élève en moyenne à environ 30 mrem/an.

Les mesures de la CFSR et des organes de contrôle ont montré que la contribution annuelle moyenne des autres sources artificielles (retombée radioactive des essais nucléaires, installations nucléaires, entreprises industrielles et hôpitaux, exposition professionnelle aux radiations, etc.) à l'irradiation de la population suisse en 1983 est inférieure à 10 mrem.

L'équivalent de dose effectif moyen annuel à la population suisse s'élève ainsi à environ 350 mrem, c'est à dire: 125 mrem par irradiation naturelle, 125 mrem par le radon dans les habitations, environ 80 mrem par les examens diagnostiques aux rayons X (dose à la moelle osseuse), 10 mrem par la médecine nucléaire (dose aux gonades) et moins de 10 mrem par les autres sources artificielles de radiation.

Si l'on ne considère que la dose génétiquement significative, on obtient environ 150 mrem/an en moyenne par tête d'habitant, soit: 105 mrem par irradiation naturelle, 30 mrem par les examens diagnostiques aux rayons X et moins de 10 mrem par les autres sources artificielles de radiations.

1. INTRODUCTION: BUT DE LA SURVEILLANCE, PRESCRIPTIONS

1.1. Doses d'irradiation et leur limitation

De tout temps l'homme a été soumis aux rayonnements ionisants. Leurs origines sont d'une part le rayonnement cosmique et d'autre part la radioactivité naturelle de l'écorce terrestre. Les essais d'armes nucléaires, ainsi que la production d'éléments radioactifs dans les centrales nucléaires, et leur utilisation dans les industries et les hôpitaux ont incité bien des pays à créer des organisations nationales de mesure et de surveillance. Ainsi, en Suisse, en 1956 le Conseil fédéral nomma la Commission fédérale de surveillance de la radioactivité (CFSR).

Le jugement de l'importance de la radioactivité, et de l'irradiation de la population qui en résulte, se base sur des recommandations internationales, qui servent aussi dans la plupart des pays de base pour la législation de la radioprotection. L'ordonnance suisse concernant la protection contre les radiations (OPR) fixe les doses maximales admissibles en cas d'irradiation du corps entier comme suit:

personnes professionnellement exposées aux radiations:	5000 mrem [1]) par an
individus de la population:	500 mrem par an.

Selon l'article 107 de l'OPR, les substances radioactives évacuées dans l'atmosphère ne doivent produire en aucun endroit accessible au public des concentrations moyennes annuelles dans l'air provoquant par inhalation plus de 50 mrem/an. De même, les substances radioactives liquides déversées dans des systèmes d'évacuation des eaux usées ne doivent pas provoquer dans l'effluent, en moyenne par semaine, une augmentation de la concentration en substances radioactives produisant plus de 50 mrem/an. Cette limitation admet comme hypothèse l'utilisation exclusive de l'effluent (eaux publiques ou canalisations dans lesquelles se font les rejets) comme eau potable. L'article 28 exige finalement que: "Chacun est tenu d'éviter toute irradiation inutile de personnes".

En 1977, la "Commission Internationale de protection Radiologique" (CIPR) a publié un nouveau concept pour la limitation des doses au corps entier et aux organes pour les personnes profes-

---

1) Le rem est une unité exprimant le risque lié à une irradiation (1 rem = 1000 mrem)

sionnellement exposées aux radiations; cette Commission a publié des facteurs de dose et de conversion correspondants entre 1979 et 1982. La limitation de l'équivalent de dose effectif, défini comme la somme pondérée des différentes doses aux organes, a été maintenue à 5 rem/an pour les personnes professionnellement exposées aux radiations. En plus, il est recommandé qu'aucun organe ne doit recevoir plus de 50 rem/an. D'autres recommandations pour limiter les doses à la population sont faites par la CIPR dans sa publication No 39 (1984). On y retrouve la valeur limite de 500 mrem/an pour les individus de la population. Pour des irradiations répétées sur une longue période, la CIPR recommande toutefois une limite de 100 mrem/an. Ce concept correspond dans son ensemble à celui des 50 mrem pour les effluents liquides et 50 mrem pour les effluents gazeux de l'art. 107 de l'OPR mentionné précédemment.

Pour le calcul de la dose interne, à la suite d'une incorporation unique de substances radioactives par l'alimentation, il faut tenir compte du temps d'intégration. D'après la CIPR, la durée de 50 ans choisie pour les personnes professionnellement exposées aux radiations semble aussi être indiquée pour les individus de la population. Toutefois, la Commission souligne que les différences de grandeur des organes respectivement du corps chez l'enfant par rapport à l'adulte, ainsi que les différences de métabolisme peuvent occasionner pour certains nucléides des doses aux organes respectivement des équivalents de dose effectifs plus élevés lors de l'incorporation d'une même quantité d'une substance radioactive. A titre d'exemple, pour un enfant de 6 mois les équivalents de dose effectifs par ingestion d'une même quantité d'iode-131 sont environ 10 fois supérieurs, pour l'iode-129 environ 2 fois, pour le strontium-90 environ 5 fois, pour le strontium-89 de 20 à 40 fois et pour le plutonium-239 environ 20 fois supérieurs que chez un adulte. De même, la dose par unité d'activité incorporée peut différer de celle des personnes professionnellement exposées chez des femmes enceintes, chez des personnes âgées ou chez des malades chroniques. Enfin, la forme chimique sous laquelle se présente un radionucléide conduisant à l'irradiation de l'homme peut être autre que celle des radionucléides incorporés par voie respiratoire ou alimentaire, à leur place de travail, par des personnes professionnellement exposées. La dose d'irradiation ainsi engendrée peut de ce fait différer.

La CIPR désire rassembler plus d'information sur ces cas spéciaux et en publier les recommandations correspondantes sans pour autant vouloir remettre en question le concept de dose pour la population mentionné précédemment. Il s'agit par exemple aussi, lors d'une augmentation de l'irradiation par le radon dans des habitations, de fixer des limites de concentration du radon à partir desquelles des mesures d'assainissement sont recommandées.

Pour juger les doses d'irradiation conditionnées par la civilisation, la référence première reste comme auparavant la dose d'irradiation naturelle. Les accroissements de la dose engendrés artificiellement peuvent être considérés inoffensifs du point de vue radiologique tant qu'ils se tiennent à une fraction des doses naturelles, ou même, sont faibles par rapport aux variations locales et temporaires de la dose naturelle.

1.2. Mesures de surveillance

Les instances de contrôle compétentes à la protection des personnes et de l'environnement près des installations et des entreprises fabriquant, traitant ou utilisant des substances radioactives sont l'Office fédéral de la santé publique (OFSP) la Caisse nationale suisse d'assurance (CNA) et la Division principale de la sécurité des installations nucléaires (DSN). L'OFSP contrôle les entreprises médicales, les instituts de recherche et d'enseignement auprès des universités, ainsi que les autres centres de formation. La CNA contrôle les entreprises industrielles, les ateliers de posage de peintures luminescentes, les entreprises commerciales, les entreprises de recherche, de production et d'administration de la confédération, des cantons et des communes (en exceptant les centres de formation et les entreprises médicales), les entreprises de transport public et privé, les pharmacies et les laboratoires d'analyses médicales. La DSN contrôle les centrales nucléaires et d'autres installations nucléaires.

La CFSR s'occupe de la mesure de la radioactivité dans l'environnement, spécialement aussi dans le voisinage des entreprises et des installations citées plus haut, pour en déduire les doses d'irradiation de la population, dont elle apprécie l'importance du point de vue de la radioprotection.

Pour la mise en application des prescriptions légales en vigueur, les organes de contrôle compétents peuvent fixer des limites de rejets pour chaque entreprise produisant ou traitant des matières radioactives. Ceci vaut en particulier pour les centrales nucléaires dont les precriptions sur les rejets reposent sur une directive commune de la Division principale de la Sécurité des installations nucléaires (DSN), de la Commission fédérale pour la sécurité des installations nucléaires et de la CFSR, selon laquelle aucune personne de la population de l'environnement ne doit recevoir plus de 20 mrem/an par les rejets d'une centrale nucléaire.

Le plan de prélèvement d'échantillons et de mesure, élaboré par la CFSR, permet conjointement à l'estimation des radionucléides naturels la surveillance de la retombée radioactive des explosions nucléaires et des immissions radioactives dues aux centrales nucléaires, aux industries traitant des radioisotopes et aux hôpitaux. La surveillance de l'ensemble de la biosphère au moyen d'échantillons et de mesures en séries - air, précipitations, eaux superficielles, souterraines et usées, sol, herbe, aliments et l'homme lui-même - donne une image complète de la radioactivité dans l'environnement et permet une estimation des doses qui en résultent pour la population.

2. SURVEILLANCE GÉNÉRALE

2.1. Air

2.1.1. Radioactivité artificielle de l'air (Tab. 1)

La radioactivité artificielle associée aux aérosols, provenant en grande partie des essais nucléaires, n'a pratiquement plus été mesurable en 1983 du fait que depuis 1980 aucune explosion nucléaire n'a eu lieu dans l'atmosphère de l'hémisphère nord. Seules encore des traces de césium-137 (T 1/2 = 30 ans) ont été déterminées dans les filtres à air de chacune des stations où ces aérosols sont collectés. La dose correspondante causée par inhalation des aérosols est négligeable.

Les activités d'argon-37 (T 1/2 = 35 jours) dans l'air mesurées en 1983 ont varié comme l'année précédente entre 20 et 400 fCi/m^3 [1]). Elles proviennent en grande partie de sources artificielles telles que les explosions nucléaires souterraines et l'industrie nucléaire. Il y a d'autres radioisotopes artificiels à vies longues dispersés dans l'air à l'échelle mondiale: le tritium (T 1/2 = 12 ans), le carbone-14 (T 1/2 = 5730 ans), le krypton-85 (T 1/2 = 10,3 ans) et l'iode-129 (T 1/2 = $1,7.10^7$ ans); ils sont issus d'explosions nucléaires passées et aussi de l'industrie nucléaire. Ces nucléides ont occasionné une dose d'irradiation par inhalation inférieure à 0,1 mrem/an.

2.1.2. Radionucléides naturels à vies courtes dans l'air

La plus grande partie de la radioactivité naturelle à vie courte de l'air proche du sol provient de l'émetteur alpha radon-222 (T 1/2 = 3,8 jours), un nucléide de la série de désintégration de l'uranium-radium et de ses produits de filiation à vies courtes (émetteurs alpha, bêta et gamma). Son activité dépend de la saison, des conditions météorologiques et de la composition du sol; elle va de quelques pCi/m^3 à quelques centaines de pCi/m^3, en moyenne 100 à 200 pCi/m^3.

Le radon-220 (T 1/2 = 53 secondes) issu de la série du thorium et ses produits de filiation à vies courtes présentent des activités inférieures en moyenne d'un facteur 10 à celles des produits de filiation du radon-222 correspondants.

2.1.3. Radionucléides naturels à vies longues

Les deux radionucléides naturels à vies longues contenus dans l'air proche du sol, le plomb-210 et le polonium-210 (produits de filiation du radon-222) peuvent être mesurés sur des filtres à air prélevés mensuellement. Pour le plomb-210 (émetteur bêta, T 1/2 = 22,3 ans), on a enregistré en 1983 14 fCi/m^3 d'air en moyenne annuelle; les valeurs mensuelles ont fluctué entre 5 et 23 fCi/m^3. Le temps sec du deuxième semestre 1983 a eu pour conséquence que les valeurs de plomb-210 des mois de juillet - no-

---

1) 1 fCi (femtocurie) = 1/1000 pCi (picocurie) = 3,2 désintégrations nucléaires par jour

vembre de 20 fCi/m^3 en moyenne ont été supérieures à la moyenne de 12 fCi/m^3 déterminée entre 1973 et 1982. La mesure des cendres des filtres a donné une activité alpha totale de 2 fCi/m^3 en moyenne annuelle; la plus grande partie de cette activité provient du polonium-210 (T 1/2 = 138 jours).

Les mesures de la CFSR confirment les valeurs données par l'UNSCEAR (1982) [1]), soient 14 fCi/m^3 de plomb-210 et 3,3 fCi/m^3 de polonium-210 pour les latitudes moyennes de l'hémisphère nord. L'activité du polonium-210 dans l'air est inférieure à celle de son ascendant le plomb-210, car celui-ci se dépose partiellement au sol avant la désintégration. La dose d'irradiation causée par l'incorporation de ces deux nucléides à travers l'alimentation vaut 13 mrem/an d'après UNSCEAR (1982); la dose engendrée par l'inhalation de ces nucléides est bien moindre.

Le béryllium-7 (T 1/2 = 53 jours) est créé par le rayonnement cosmique et s'associe également à des aérosols. Les mesures gamma des filtres à air 1983 ont révélé une teneur moyenne en béryllium-7 de 80 fCi/m^3 (minimum en hiver de 50 fCi/m^3, maximum en été de 120 fCi/m^3), ce qui produit des doses négligeables.

Dans l'air, dans les feuilles et dans les jeunes pousses des plantes, 1 g de carbone contient environ 6 pCi du radioisotope naturel carbone-14 (T 1/2 = 5730 ans) créé par le rayonnement cosmique. La dose au corps entier qui en résulte (avant tout à travers l'alimentation) vaut 1,3 mrem/an. Les valeurs obtenues sur des échantillons de feuilles d'arbres (v. chap. 3.3.5.) se situent actuellement environ 25% au-dessus du niveau naturel. Cette composante qui décroît annuellement d'environ 1 à 2% provient en grande partie encore des essais nucléaires dans l'atmosphère et occasionne présentement une dose de l'ordre de 0,3 mrem/an.

2.1.4. Irradiation due au radon et à ses produits de filiation dans les habitations

A l'irradiation externe due au rayonnement cosmique, à la radioactivité naturelle de la croûte terrestre, et à l'irradiation interne par les radionucléides assimilés dans le corps s'ajoute une irradiation interne supplémentaire par le radon-222 et ses nucléides de filiation. En tant que gaz rare avec une période radioactive de 3,8 jours, le radon présent dans la terre et dans certains matériaux de construction s'échappe partiellement dans l'atmosphère où il se désintègre en une série de nucléides radioactifs de filiation (émetteurs alpha, bêta, gamma) qui s'associent à des aérosols. Par la respiration, ces aérosols se déposent partiellement dans les bronches et le tissu pulmonaire. La désintégration alpha des nucléides de filiation tels que le polonium-218 (T 1/2 = 3,05 min.) et le polonium-214 (T 1/2 = 0,16 msec.) provoque une irradiation des organes respiratoires.

---

1) United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, New York 1982 (UNSCEAR): "Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects"

Au contraire du radon, les descendants de celui-ci se déposent partiellement sur le sol, à l'intérieur des maisons également sur les parois, ce qui provoque dans l'air de respiration un certain appauvrissement des nucléides de filiation par rapport au radon.

Le radon et ses produits de filiation produisent principalement une irradiation des organes respiratoires; la dose génétique est négligeable. Les statistiques sur les cancers du poumon chez les mineurs montrent que de hautes concentrations en radon dans l'air respiré peuvent déclencher un cancer. Les estimations du risque de cancer sur la base des concentrations de radon mesurées dans les habitations, qui sont en comparaison condisérablement plus basses, doivent être interprétées avec prudence, parce qu'elles donnent au plus l'ordre de grandeur du risque. D'autre part, les cancers du poumon ne sont pas dûs uniquement au radon, mais peuvent résulter d'autres causes ou éléments nocifs (par exemple le fait de fumer).

A l'intérieur des bâtiments, la concentration du radon et par conséquent l'irradiation due au radon et à ses produits de filiation peuvent être notablement plus élevées qu'en plein air. D'une part, le radon provenant principalement du sol parvient par la cave dans les locaux d'habitation et s'y accumule, surtout dans les pièces bien calfeutrées. D'autre part, certains matériaux de construction contiennent du radium et le radon qui est formé s'échappe partiellement dans l'air.

Une première enquête de l'Institut fédéral de recherches en matière de réacteurs (IFR), effectuée en 1981/82 sur le niveau de radon dans les habitations en Suisse, (principalement dans des maisons à une famille), a révélé des valeurs fluctuant entre 400 et 100'000 pCi/m^3, avec une forte prédominance entre 500 et 2000 pCi/m^3; la moyenne se situe vers 1500 pCi/m^3. La CFSR en collaboration avec la Division du contrôle des radiations de l'IFR a conduit au semestre d'hiver 1983/84 de nouvelles enquêtes par sondage sur le radon dans des habitations (principalement dans des maisons à plusieurs familles), dans quelques écoles, bureaux et hôpitaux de différentes agglomérations de Suisse. Ces mesures ont amené les résultats suivants en pCi/m^3:

Agglomération	Nombre de maisons	Moyenne des locaux d'habitation	Domaine de fluctuation	Moyenne des caves	Domaine de fluctuation
Genève	9	1000	500-2000	2400	700- 5200
Lausanne	10	700	400-1700	3400	800-17000
Fribourg	5	700	400-1200	1100	800- 1800
Berne	11	1100	300-4800	7400	800-28400
Zürich	7	1100	500-3000	5100	800-19600
Bâle	11	1100	400-3500	3300	400-29900
Lucerne	5	1000	300-2900	3200	1100- 8500

Le niveau de radon dans les caves est en général plus élevé que dans les locaux d'habitations; par contre, à quelques exceptions

près, aucun effet d'étage n'a été observé. De même, les 7 agglomérations ne mettent pas en évidence d'importantes différences régionales. Dans certaines régions alpestres où le contenu en radium du sol est plus élevé (granite, gneiss), le niveau de radon peut néanmoins atteindre des valeurs plus élevées dans les habitations. Pour les 58 maisons à plusieurs familles sondées, la concentration moyenne dans les locaux d'habitation vaut 1000 pCi/m^3 et celle dans les caves 4200 pCi/m^3. Ainsi, sur la base des études effectuées jusqu'à maintenant, la concentration en radon dans les maisons à plusieurs familles s'avère environ 3 fois moindre que celle dans les maisons à une famille. Une valeur moyenne provisoire pour les deux types de maison de 1250 pCi/m^3 peut être adoptée.

Conformément aux considérations sur les taux de respiration et les durées de séjour dans les maisons explicitées dans le rapport annuel 1982, et en se basant sur les recommandations internationales, la CFSR adopte un facteur de 100 mrem/an pour 1000 pCi de radon-222 par m^3 d'air pour la conversion de la concentration en radon dans les habitations en un équivalent de dose effectif.

La concentration moyenne du radon dans les locaux d'habitation des maisons examinées, soit 1250 pCi/m^3, donne donc un équivalent de dose effectif de l'ordre de 125 mrem/an. A partir de cette valeur, une grossière approximation du taux de cancer des poumons d'environ 10 à 20 cas mortels par million d'habitants et par an peut être adoptée. Cette estimation doit être comparée au taux de mortalité par cancer du poumon en Suisse en 1982 de l'ordre de 716 par million chez les hommes et 111 par million chez les femmes. Un nombre considérable de ces cas de cancer ainsi que la différence du taux des cancers du poumon entre l'homme et la femme sont à attribuer aux fumeurs (cf. A.F. et B.L. Cohen, Health Physics 38/1, 1980 page 53 et suivante et G. Schüler, "Zur Epidemiologie des Lungenkrebses" de "Tuberkulose und Lungenkrankheiten" No 3 du 10 mai 1984).

2.2. Précipitations (Tab. 2)

Les moyennes mensuelles de l'activité bêta totale des échantillons de précipitations de 7 stations de prélèvement en Suisse ont donné des valeurs le plus souvent inférieures à 5 pCi/litre. L'activité bêta totale déposée par km^2 s'est élevée à 2,5 mCi en 1983 (1982: 2,4); elle est essentiellement constituée des produits de filiation à vies longues du radon-222. L'activité déposée sous forme de poussière à Locarno s'est evaluée à 0,3 mCi/km^2 en 1983 (1982: 0,4 mCi/km^2).

La plupart des valeurs mensuelles de la teneur en tritium des précipitations, ainsi que la moyenne annuelle à toutes les stations non influencées par des entreprises, ont été en 1983 comprises entre 100 et 200 pCi/litre. Ce contenu en tritium provient encore en grande partie des essais de bombes atomiques des années 60. La composante naturelle de tritium correspond à environ 20 pCi/litre. La moyenne annuelle dans les précipitations de Berne, 260 pCi/litre, est un peu supérieure aux autres stations de part l'influence des entreprises traitant du tritium dans la région de Berne.

Les mesures de tritium dans les précipitations de La Chaux-de-Fonds et au voisinage d'entreprises fabriquant des peintures luminescentes sont traitées au chapitre 4.

2.3. Eaux superficielles (Fig. 1, 2)

Les résultats des mesures alpha totale, bêta totale et tritium des échantillons instantanés et cumulatifs des différentes eaux superficielles en Suisse sont présentés dans le tableau 3. Par rapport aux prélèvements correspondants de l'année prédédente aucune différence notable n'a été constatée. Seuls des échantillons de la Glatt et du Rhin en aval de l'embouchure de la Glatt ont montré des concentrations en tritium accrues en décembre, à la suite du rejet accidentel de tritium par l'entreprise Cerberus SA à Volketswil. Le Doubs, dont la concentration en tritium est partiellement accrue du fait des rejets de tritium dans la région de La Chaux-de-Fonds, constitue une exception supplémentaire. Sinon aucune augmentation n'a été constatée dans les eaux superficielles. Il faut noter que si le contenu en tritium des eaux superficielles provient encore en grande partie des essais d'armes nucléaires, les valeurs de mesures alpha totale et bêta totale sont à attribuer en majeure partie à la radioactivité naturelle.

2.4. Terre et herbe (Tab. 4)

Les activités en strontium-90 et en césium-137 de la terre des différents points de prélèvement n'ont présenté aucune différence par rapport à l'année précédente. Les activités de ces deux nucléides proviennent exclusivement des essais antérieurs d'armes nucléaires dans l'atmosphère. De nouveau, les concentrations en strontium-90 et en césium-137 à Davos-Stillberg ont été nettement supérieures à celles mesurées sur le Plateau suisse. Ces valeurs extrêmes ainsi que les différences entre les résultats aux divers endroits de prélèvements sont expliquées par les variations des conditions météorologiques ainsi que par les propriétés physiques et chimiques du sol.

Dans quelques échantillons de terre, nous avons observé des traces de nucléides à vies longues, dont les concentrations radioactives restent insignifiantes du point de vue de la radioprotection.

L'activité en césium-137 contenue dans le sol provoque à 1 m de hauteur une dose ambiante de 1 à 2 mrem/an. L'activité prépondérante dans le sol et dans l'herbe vient des radionucléides naturels des séries de l'uranium et du thorium, et du potassium; leur contribution à la dose d'irradiation sur le Plateau suisse 1 m au-dessus du sol est de l'ordre de 40 à 50 mrem/an.

La teneur en strontium-90 et en césium-137 de l'herbe des divers prélèvements n'a pratiquement pas diminué par rapport à l'année précédente. Les valeurs observées pour les échantillons du Plateau suisse sont proches de la limite de détection et ont aussi montré des différences locales.

Comme au cours des années précédentes, les résultats de mesure les plus élevés en strontium-90 et en césium-137 dans l'herbe ont été obtenus à Davos, où les prélèvements de terre et d'herbe à différentes altitudes ont donné les résultats suivants:

Sr-90 pCi/kg MS (±1 σ-erreur de mesure)				
Lieu	Altitude (m)	Terre couche supérieure 0-5cm	Terre couche inférieure 5-15cm	Herbe
Dischmatal	1660	430±40	250±30	370± 40
Stillberg	2140	970±80	500±50	1070± 80
Brämabüel	2450	470±40	-*)	1500±110

Cs-137 pCi/kg MS (±1 σ-erreur de mesure)				
Lieu	Altitude (m)	Terre couche supérieure 0-5 cm	Terre couche inférieure 5-15 cm	Herbe
Dischmatal	1660	1500±100	920± 50	40±10
Stillberg	2140	4300±100	1700±100	90±20
Brämabüel	2450	4700±100	-*)	590±20

*) Couche d'humus trop mince pour le prélèvement de la couche inférieure 5-15 cm.

2.5. Lait, céréales et autres denrées alimentaires

Ces aliments sont contrôlés par échantillonnage en étroite collaboration avec la communauté de surveillance de la radioactivité des denrées alimentaires (CRDA). La composante prépondérante de l'activité dans ces échantillons provient du potassium-40 naturel.

L'activité en césium-137 du lait des stations du Plateau a été inférieure en général à 5 pCi/litre. Seuls les échantillons de lait de Davos (45 pCi/litre de césium-137) et le lait de Mürren (6 à 20 pCi/litre de césium-137) ont présenté une teneur en césium-137 quelque peu accrue, comme déjà au cours des années précédentes. Les échantillons provenant du Tessin ont donné 1 à 9 pCi/litre de césium-137. Il en est de même pour la teneur en strontium du lait: 2 à 5 pCi/litre sur le Plateau, 45 pCi/litre à Davos, 12 à 25 pCi/litre à Mürren et 6 à 8 pCi/litre au Tessin.

Dans le froment de la moisson 1983, provenant de plusieurs régions au nord des Alpes, du Tessin et des environs des centrales nucléaires, la teneur en césium-137 a été inférieure à 5 pCi/kg

et celle du strontium-90 à 25 pCi/kg (en moyenne de l'ordre de 15 pCi/kg).

Des analyses isolées de riz, de vin, de noix, de fruits et légumes indigènes et importés n'ont pas révélé d'activité accrue en césium-137 resp. en strontium-90.

En ce qui concerne la radioactivité, toutes les denrées alimentaires examinées ont été irréprochables pour la consommation.

2.6. Corps humain

Comme les années précédentes, le Service cantonal de contrôle des irradiations (SCCI) à Genève a mesuré à l'anthropogammamètre 20 jeunes gens et 21 jeunes filles de 17 à 19 ans, élèves d'une école moyenne. Nous avons enregistré en moyenne 12 pCi césium-137/kg poids du corps chez les garçons et 11 pCi/kg chez les filles. Il en résulte une dose annuelle au corps entier d'environ 0,2 mrem/an. Comparativement, les concentrations moyennes en potassium-40, soit 2100 pCi/kg chez les hommes et 1600 pCi/kg chez les femmes occasionnent une dose de 18, respectivement 15 mrem/an au corps entier.

La détermination du strontium-90 dans les vertèbres de 14 adultes décédés de la région lausannoise a donné en 1983 un rapport moyen converti pour le squelette de 0,7 pCi strontium-90/g calcium. Cette valeur est pratiquement constante depuis 1975 et correspond à une irradiation annuelle des organes générateurs du sang de l'ordre de 2 mrem.

3. INSTALLATIONS NUCLÉAIRES (en collaboration avec la Division principale de la sécurité des installations nucléaires, DSN)

3.1. Aperçu

Les centrales nucléaires (CN) rejettent en fonctionnement normal des matières radioactives dans l'environnement. Ce sont des gaz rares, des aérosols, des isotopes de l'iode (sous forme gazeuse ou associés à des aérosols) du carbone-14 et du tritium. Ces matières radioactives libérées se déposent partiellement sur le sol et les plantes et vont également du sol dans les plantes. Des produits de fission et d'activation radioactifs, ainsi que du tritium sont aussi rejetés dans les cours d'eau avec les effluents liquides et peuvent passer de l'eau dans les plantes aquatiques, les poissons et les sédiments fluviaux.

Les matières radioactives libérées causent en premier lieu une irradiation externe des personnes qui séjournent au voisinage d'une installation. Elles peuvent en outre entrer dans le corps humain par l'air respiré, l'eau potable et la nourriture, et provoquer ainsi une irradiation interne.

La fixation des limites de rejet pour les CN est basée sur les directives R-11 [1]), selon lesquelles aucune personne de la population avoisinante ne doit recevoir une dose supérieure à 20 mrem/an due aux immissions de la centrale.

L'exploitant d'une installation a l'obligation de mesurer de manière continue les émissions radioactives et d'en faire le bilan. La DSN contrôle les données de l'exploitant en procédant elle-même à des mesures par échantillonage et en inspectant ses appareils de mesure, ses enregistrements et ses notes. Les laboratoires de la DSN et de la CFSR contrôlent en outre les résultats de mesure de l'exploitant par des mesures parallèles.

Un rayonnement direct éventuel provenant d'une installation (dû par exemple aux rayonnements gamma de hautes énergies de l'azote-16 dans le circuit de vapeur d'un réacteur à eau bouillante) ne doit causer en aucun lieu accessible, situé hors du terrain clôturé, un débit de dose ambiante supérieur à 10 mrem/semaine. Le rayonnement direct se limite à une zone restreinte à l'extérieur de la clôture, lieu inhabité où les passants ne se tiennent que peu de temps. Selon R-11, on procédera à une limitation supplémentaire de ce débit de dose ambiante, s'il faut prévoir que la dose accumulée annuelle d'individus de la population, par toutes les voies d'irradiation, dépassera 30 mrem, compte tenu de la durée prévisible d'exposition au rayonnement direct.

Pour fixer les limites des émissions [2]) et calculer l'irradiation due aux rejets d'une installation, on utilise des modèles mathématiques qui décrivent la dispersion des matières radioactives dans l'environnement, le transfert dans les plantes et la nourriture, et l'absorption dans le corps humain. Ces modèles tiennent compte entre autres des connaissances sur la situation météorologique et topographique du site de l'installation nucléaire, l'exploitation du sol, la structure de peuplement et les habitudes alimentaires de la population. La vitesse de déposition de l'iode (sous forme gazeuse) et des aérosols sur le sol et la végétation, les coefficients de transfert air → herbe → lait, sol → plantes, eau → poissons etc. sont déterminés non seulement au moyen d'expériences appropriées, mais également sur la base de longues séries de mesures des retombées radioactives consécutives aux essais nucléaires dans l'atmosphère (voir rapport : Radioactivité en Suisse, 25 ans de surveillance, CFSR, 1982). Le calcul des doses pour des radionucléides isolés ou des mélanges de radionucléides à partir des activités mesurées ou calculées dans l'air, l'eau et la nouriture se fait à l'aide des facteurs convertissant l'incorporation annuelle en une dose au corps entier ou à un organe, contenus dans l'ordonnance concernant la protection contre les radiations (OPR). Ces estimations de dose doivent tenir compte autant que possible des conditions réelles. Ceci n'est cependant pas possible en tous points. Nous

---

1) Directives R-11: Objectifs de la protection des personnes contre les radiations ionisantes dans la zone d'influence des centrales nucléaires DSN-CSA-CFSR, mai 1980

2) Ces limites peuvent en tout temps être adaptées à de nouvelles conditions ou connaissances.

adoptons par conséquent pour certains paramètres des valeurs défavorables donnant des doses élevées aux personnes; de telles estimations sont conservatives.

Les doses réelles à la population peuvent être bien inférieures à celles estimées à partir de suppositions défavorables, comme l'ont montré des calculs pour l'environnement de la CN de Mühleberg (CNM) [1]).

Le contrôle des émissions à la CN est complété par la surveillance de l'environnement (surveillance des immissions). Celle-ci constitue un contrôle du calcul des doses causées à la population par les rejets. La surveillance de l'environnement comprend la mesure de la dose ambiante en plusieurs points et de la radioactivité de tous les maillons importants des voies d'irradiation, partiellement en continue, partiellement par échantillonage, selon un programme de mesure et de prélèvement d'échantillons spécifique à chaque installation. Ce programme englobe la mesure de la radioactivité de l'air, des aérosols, des précipitations, du sol, de l'herbe, du lait, des céréales, des eaux et aussi des plantes aquatiques, des matières en suspension dans l'eau, des sédiments et des poissons. Les mesures effectuées par l'exploitant lui-même sont controlées par sondage par des mesures de la CFSR. La surveillance de l'environnement, il est vrai, ne peut pas être complète; néanmoins, même si nous nous limitons aux voies d'irradiation les plus importantes, à quelques points bien situés pour les prélèvement d'échantillons et mesures en continu, complétés par des échantillons de matières dans lesquelles une accumulation a lieu (sol, plantes, nourriture, sédiments, plantes aquatiques, poissons), nous pouvons garantir une surveillance à laquelle aucune pollution inadmissible due à l'installation ne peut échapper.

A partir des mesures des émissions, en liaison avec les calculs de dispersion et de dose, et des résultats de la surveillance de l'environnement, nous pouvons évaluer les doses aux personnes de la population environnante avec une précision permettant de vérifier si la limite de dose de 20 mrem/an est respectée.

Pour évaluer les effets d'une installation sur l'environnement, il est important de connaître la radioactivité et les doses ambiantes au voisinage avant sa mise en service. Par conséquent, l'ensemble du programme de surveillance de l'environnement est commencé déjà quelques années avant la mise en service dans le cadre du constat radiologique. Les mesures permettant de définir l'état de référence dans le voisinage de la CN de Leibstadt (CNLE) ont été accomplies jusqu'à la fin de l'année 1983. La CNLE a atteint le premier état de criticité le 9.3.84 et fonctionnera à pleine puissance fin 1984. Les programmes de surveillance de l'environnement sont planifiés et exécutés en commun avec la DSN et le Service de la protection de l'air à Payerne. Comme la CNLE est située à la frontière, les programmes de mesu-

---

1) "Ein Vergleich zwischen konservativen und realistischen Dosisabschätzungen für die Umgebungsbevölkerung von Kernkraftwerken", von H. Völkle und J. Czarnecki, Congrès IRPA, Berlin, Mai 1984

re et les méthodes d'investigation pour les côtés allemand et suisse ont été décidés d'un commun accord avec le Ministère du secteur de l'alimentation, de l'agriculture, de l'environnement et des forêts de l'état de Bade-Württemberg à Stuttgart et l'Institut de protection de l'environnement à Karlsruhe. Dans le cadre de la Commission germano-suisse pour la sécurité des installations nucléaires, il existe des contacts permanents permettant chaque année l'échange et la discussion des résultats de mesure.

3.2. Emissions des installations nucléaires

Les rejets liquides et gazeux des installations nucléaires dans l'environnement, ainsi que les doses maximales aux personnes calculées à partir de ces rejets et les rejets annuels admissibles d'après le règlement sont rassemblés au tableau 6. En 1983, les rejets annuels et les doses qui en résultent dans l'environnement ont été bien inférieurs aux limites.

Les émissions des installations nucléaires sont comptabilisées séparément selon les effluents liquides et gazeux et selon les nucléides. La composition des rejets est présentée aux tableaux 7 et 8. Les résultats des mesures parallèles effectuées par la DSN et la CFSR en 1983 ont montré une concordance satisfaisante avec les mesures faites par les exploitants (Tab. 9-12).

D'après les obligations relatives à la limitation des rejets, stipulées dans les autorisations d'exploitation, l'activité volumique dans le tank, lors du rejet, ne doit pas dépasser 10 C_W [1]) (CNB, CNM, CNL et bassin de contrôle de l'IFR [2]), respectivement 5 C_W (CNG et CNLE). Les échantillons prélevés dans les tanks de rejet ont présenté les concentrations maximales suivantes: CNB: 5 C_W, CNG: 0,001 C_W, CNM: 5 C_W, IFR: 0,3 C_W. La concentration dans les 12 échantillons composés mensuels provenant des tanks d'eaux résiduaires de la CNM a toujours été inférieure à 1 C_W. Une concentration maximale de 0,012 C_W (césium-137: 200 pCi/l, strontium-90: 70 pCi/l, tritium: 0,47 µCi/l) a été enregistrée dans les échantillons d'eaux résiduaires de la CNL.

---

1) 1 C_W est l'activité volumique dans l'eau qui, en cas de consommation continue de 1,1 litre par jour pendant 250 jours par an (personnes professionnellement exposées aux radiations) engendrerait les doses maximales admissibles selon l'OPR

2) IFR: Institut fédéral de recherches en matière de réacteurs, Würenlingen /AG
   CNB: Centrale nucléaire de Beznau /AG
   CNLE: Centrale nucléaire de Leibstadt /AG (pas encore en fonction en 1983)
   CNM: Centrale nucléaire de Mühleberg /BE
   CNG: Centreale nucléaire de Gösgen-Däniken /SO
   CNL: Centrale nucléaire expérimentale de Lucens /VD (hors d'usage)

D'après les indications de la DSN, aucune activité sous forme liquide n'a été rejetée par les réacteurs de recherche de l'EPF Lausanne et des Universités de Bâle et de Genève. Les échantillons d'eau du réacteur expérimental CROCUS de l'EPF Lausanne ont donné les résultats suivants:

Date	Echantillon	Tritium nCi/Liter	Emetteur gamma
30. 5.83 6.12.83	Eau CROCUS Eau CROCUS	210 27	aucun émetteur gamma identifié
6.12.83	Eau de rejet de la zone contrôlée	10	Cs-137: 30 pCi/l Na- 22: 170 pCi/l

Outre les échantillons d'eaux résiduaires, la DSN et la CFSR ont prélevé dans les CN pour analyse également des échantillons de gaz d'échappement, de filtres à aérosols et, à la CNG, (pour la détermination des rejets d'iode) de cartouches au charbon actif (Tab. 13, 14). A la CNM, les rejets d'aérosols radioactifs à vies courtes sont contrôlés au moyen d'un appareil automatique à filtre à avancement par pas. L'analyse gamma subséquente de rouleaux entiers de filtre (temps de collection env. 2 mois) permet de déterminer aussi la faible composante des radionucléides à vies longues, laquelle ne peut pas être mesurée au moyen de l'appareil à filtre à avancement par pas du fait de la présence d'activité à vie courte (tab. 14b).

Les rejets avec les effluents gazeux ont été eux-aussi bien inférieurs aux limites prescrites dans l'autorisation d'exploitation.

D'après les données de la DSN, les rejets de carbone-14 dans les effluents gazeux des CN s'élèvent à: CNB: env. 1 Ci/an, CNM: env. 5 Ci/an, CNG: env. 3 Ci/an, le réacteur Saphir de l'IFR: moins de 0,2 Ci/an. En ce qui concerne le tritium présent dans les effluents gazeux, les rejets ont été d'environ 40 Ci/an à la CNB, 10 Ci/an à la CNM et respectivement 100 Ci/an à la CNG.

En 1983, 710 mCi d'iode (principalement de l'iode-131) ont été rejetés à la cheminée de l'IFR ainsi que 32 mCi (iode-131: T 1/2 = 8 jours et iode-125: T 1/2 = 60,2 jours) aux autres installations de rejet. Parmi ces rejets, 25 mCi ont été cédés en octobre 1983 à la station d'incinération de déchets radioactifs à la suite d'une incinération de déchets d'iode-125 effectuée par mégarde. Les échantillons d'herbe prélevés après ce rejet dans le voisinage à l'extérieur de l'enceinte de l'IFR ont donné 1300 pCi/kg matière fraîche soit 2000 pCi/m^2 d'iode-125. Comme pendant cette saison aucun herbage dans le voisinage de l'IFR n'a été utilisé pour le fourrage des vaches, l'iode-125 n'a pu être transféré au lait. Par conséquent, la possibilité d'irradiation de la thyroïde pour les consommateurs de lait (en particulier les nourrissons) peut être exclue. Ainsi, le personnel de l'IFR a constitué le groupe critique de la population, pour lequel une dose maximale à la glande thyroïde de 0,13 mrem a été accumulée d'après les estimations sur l'inhalation de l'iode par voies respiratoires.

Un incident au cours duquel un mélange de nucléides transuraniens a été libéré, a eu lieu le 24.5.1983 dans le laboratoire "chaud" de l'IFR conduisant à une contamination considérable à l'intérieur de ce laboratoire. Toutefois, aucune radioactivité n'a pu atteindre l'environnement à partir de ces locaux contaminés.

3.3. Surveillance au voisinage des installations nucléaires

3.3.1. Dose ambiante

Les doses ambiantes au voisinage des installations nucléaires sont contrôlées au moyen de dosimètres à thermoluminescence (TLD) qui sont évalués trimestriellement. La précision des doses trimestrielles resp. annuelles obtenues (fond naturel inclus) est de l'ordre de 20%. En 4 points au voisinage de chaque installation, la CFSR a installé ses propres TLD en plus de ceux de l'exploitant. Les doses ambiantes obtenues à l'aide des TLD en 1983 sont rapportées au tableau 15.

Comme le montre ce tableau, les résultats obtenus par la CFSR concordent, en tenant compte de la marge d'erreur, avec ceux que l'exploitant obtient aux mêmes points.

Les mesures montrent des différences de dose ambiante d'un site à l'autre de centrale nucléaire jusqu'à 30% (moyenne au voisinage de CNB/IFR: 70 mrem/an, au voisinage de la CNM: 90 mrem/an). Des différences locales de dose ambiante jusqu'à 35 mrem/an se présentent également au voisinage de chacune de ces centrales. Elles sont imputables principalement à la composition différente du sol et, pour certains points de mesure, à la proximité de bâtiments. Le débit de la dose ambiante et ses variations temporelles dépendent en outre de facteurs météorologiques (température, précipitations, humidité ou enneigement du sol). Comme l'évolution du débit de la dose naturelle est à peu près la même pour tous les points de mesure au voisinage d'un réacteur, une méthode appropriée d'évolution permet, en tenant compte des variations locales de la dose ambiante naturelle, de découvrir une éventuelle contribution au débit de dose, due aux rejets de la CN. Cette méthode permet de détecter des doses supplémentaires de quelques mrem par an, causées par les rejets d'une CN, bien que les valeurs de mesure brutes soient considérablement dispersées (± 10 à ± 15 mrem/an). En se référant à la précision de mesure mentionnée ci-dessus, aucune dose supplémentaire n'a été constatée en 1983.

En plus de la surveillance au moyen de TLD, des mesures de la dose ambiante ont été effectuées à l'aide des chambres à ionisation à haute pression, aussi bien de courtes mesures (quelques minutes) en 30 à 40 points que des enregistrements continus sur de plus longues périodes en des endroits choisis dans la direction principale des vents (fig. 3-6); en 1983, nous avons obtenus les résultats suivants convertis en doses annuelles.

Mesures courtes (quelques minutes)

Voisinage	Date	Nombre de points	Domaine de dispersion des résultats mrem/Jahr	Moyenne[2]) mrem/Jahr
CNM [1])	12.7.-13.7.83	52	75-102	86±8
CNG	25.5.83	38	60- 81	71±5
CNLE (pas encore en fonction)	29.6.83	32	60- 88	72±5

Enregistrements continus

Centrale	Emplacement	Durée de mesure	Dose ambiante mrem/an [1])	TLD au voisinage de ces points mrem/an [1])
CNB	Centrale hydroélectrique de Beznau (800 m NE)	3 mois	(78± 8)[3])	61±6
CNM	Poste de couplage des FMB (800 m ENE)	12 mois	92±10	85±9
CNM	Ufem Horn (500m O)	12 mois	99±10	87±8
CNG	Poste de couplage de 220 kV (800 m ENE)	12 mois	78± 8	77±8
CNLE	Full-Station de pompage	10 mois	82± 8	72±7

Compte tenu des marges d'erreur, les résultats obtenus par les différentes méthodes sont concordants.

---

1) Sans les points dans la zone d'influence du rayonnement direct

2) Indication d'erreur: écart-type

3) Extrapolation sur l'année à partir des résultats de mesure de janvier à mars 1983

Doses ambiantes accrues causées par le rayonnement direct

Aux installations nucléaires CNB, CNM, IFR, CNG et CNL, nous avons constaté à l'extérieur de la clôture, aux abords immédiats de celle-ci, un débit de dose ambiante supplémentaire dû au rayonnement direct (la CNLE n'étant pas en fonction pour la production en 1983). Les doses nettes ont été partout inférieures à la dose ambiante maximale admissible de 10 mrem/semaine (500 mrem/an)

A la CNB, les TLD placés le long de la clôture pour la mesure du rayonnement direct, ont donné dans le secteur NE-SE des doses annuelles comprises entre 195 et 300 mrem/an (fond naturel de 60 à 70 mrem/an inclus). Dans la partie sud de la clôture un dosimètre a donné 155 mrem/an. Aucune dose accrue n'a été observée pour les autres dosimètres placés le long de la clôture. De tierces personnes ne se tiennent que peu de temps à ces endroits et n'accumulent de ce fait que de faibles doses supplémentaires.

A l'extérieur du terrain clôturé de l'IFR, à proximité immédiate, des doses ambiantes jusqu'à 270 mrem/an (fond naturel inclus; dues à l'installation d'irradiation, au terrain d'exercice de l'école de radioprotection, à la station d'incinération, à l'entrepôt de déchets) ont été enregistrées (voir rapport annuel 1979, p. 59).

A la CNM, le rayonnement direct provenant du bâtiment des machines, dû au rayonnement gamma dur de l'azote-16 (T 1/2 = 7 sec) formé dans le circuit primaire, produit une dose ambiante accrue le long de la clôture surtout au sud et à l'est de ce bâtiment. Le maximum net à la clôture au sud du bâtiment des machines atteint environ 460 mrem/an. Comme le débit de dose décroît rapidement avec la distance et que de tierces personnes ne se tiennent que peu de temps dans la zone d'influence de ce rayonnement, des doses inadmissibles aux personnes par le rayonnement direct peuvent être exclues. La dose ambiante maximale sur le chemin forestier à Runtigenrain (env. 200 m au sud de la CNM) s'élève à 200 mrem/an (fond naturel inclus); elle est de 90 mrem/an près de la maison de week-end située sur la rive droite de l'Aar (fond naturel: 80 à 90 mrem/an).

A la CNG, où le fond naturel moyen dans l'environnement est de l'ordre de 80 mrem/an, tous les 10 dosimètres placés le long de la clôture ont donné des doses ambiantes comprises entre 65 et 98 mrem/an.

Des doses ambiantes accrues causées par le rayonnement direct apparaissent aussi autour de la CNL (voir rapport annuel 1979, p. 59); toutefois, après soustraction du fond naturel, à l'extérieur de la clôture ces doses n'excèdent pas 400 mrem/an.

3.3.2. Aérosols et précipitations

La radioactivité des aérosols au voisinage des installations nucléaires est surveillée par rétention sur des plaques de vaseline et par mesure mensuelle de l'activité bêta totale. Comme

dans les précipitations, nous avons obtenu des résultats (voir fig. 7) concordant avec ceux de l'année précédente ou avec les autres stations de Suisse, sauf dans le point de mesure auprès de l'IFR. Quant à la teneur en tritium des précipitations autour des installations nucléaires, aucune différence notable n'est apparue par rapport aux autres régions du pays.

Les aérosols sont en outre recueillis continûment sur des filtres de cellulose et leur teneur en émetteurs gamma mesurée mensuellement (à l'IFR hebdomadairement) à la CNG (Niedergösgen, poste de couplage de 220 kV à l'ATEL), à la CNLE (Full, réservoir d'eau près du stand de tir) et au nord de l'IFR.

A la station de l'IFR, des traces de césium-137 et de cobalt-60 (1 à 2 fCi/m^3) ont été détectées au 2ème et au 3ème trimestre, ainsi que des concentrations d'iode-125 comprises entre 30 et 320 fCi/m^3 pendant 2 semaines en octobre, tandis que la station d'incinération était en service (voir chap. 3.2.). Comparativement, à la même époque seules des concentrations en césium-137 inférieures à 0,15 fCi/m^3 ont été mesurées dans les stations de Fribourg et de Full (voisinage de la CNLE).

Des échantillons de précipitations sont recueillis à la CNG (Niedergösgen, poste de couplage de 220 kV) et à la CNLE (Full, réservoir d'eau près du stand de tir); leur activité bêta totale et leur teneur en tritium sont mesurées hebdomadairement. Les concentrations mesurées en ces stations, compte tenu de la marge de fluctuation, concordent avec celles de Fribourg.

3.3.3. Terre, herbe, céréales, lait

Les échantillons de terre, de céréales et de lait prélevés périodiquement au voisinage des installations nucléaires n'ont présenté aucune différence significative d'activité par rapport aux échantillons correspondants provenant d'autres régions du pays (voir aussi chap. 2.4. et 2.5.). Les traces de strontium-90 et de césium-137 issus des retombées des explosions nucléaires sont encore mesurables dans tous les échantillons. Du fait des propriétés physiques et chimiques du sol différentes, nous observons pour le césium-137 des différences locales jusqu'à un facteur 3 dans la terre et un facteur 4 dans l'herbe (voir tableau 4).

3 échantillons de terre prélevés au nord de l'IFR, à l'extérieur de la clôture, ont présenté 420, 500 et 700 pCi/kg de matière sèche (MS) de césium-137 ainsi que 40 à 200 pCi/kg MS de cobalt-60. L'herbe en ces endroits a contenu 630 pCi/kg de matière sèche de césium-137, 30 pCi/kg MS d'argent-110m et de césium-134 respectivement, ainsi que 90 pCi/kg MS de zinc-65. Dans les tiges et les feuilles de maïs en ces emplacements, les mesures ont donné moins de 180 pCi/kg de matière sèche de césium-137, et dans leurs grains moins de 10 pCi/kg MS de césium-137. Ces activités provenant en partie de la station d'incinération pilote de déchets radioactifs de l'IFR sont sans gravité du point de vue de la radioprotection.

3.3.4. Eau, sédiments, plantes aquatiques, poissons

Des échantillons d'eaux fluviales sont prélevés continûment en amont et en aval des installations nucléaires; leur activité bêta totale (E_β > 150 keV) est mesurée hebodmadairement; nous avons obtenu le plus souvent des valeurs inférieures à 10 pCi/l, en concordance avec les mesures faites dans les autres eaux superficielles de Suisse. Nous n'avons observé aucune différence entre les échantillons d'eaux prélevés en amont et en aval de chaque installation nucléaire (voir fig. 1, tab. 3).

L'activité en tritium d'échantillons prélevés aux mêmes points a varié entre 100 et 500 pCi/litre, et a été en moyenne de l'ordre de 200 pCi/litre (fig. 2, tab. 3).

Les échantillons d'eaux souterraines provenant de stations de pompage au voisinage des installations nucléaires ont présenté des activités bêta totales inférieures à 5 pCi/litre, en moyenne 2 pCi/litre, et des teneurs en tritium variant entre 100 et 500 pCi/litre, soit environ 200 pCi/litre en moyenne. Ces mesures ne révèlent aucune influence des installations nucléaires.

Dans les échantillons de sédiments et de plantes aquatiques des cours d'eau en aval des installations nucléaires, nous avons enregistré, outre les radionucléides naturels, parfois aussi de l'iode-131, du césium-134 et 137, du manganèse-54, du cobalt-58 et -60, du zinc-65 etc. en concentrations jusqu'à quelques milliers de pCi/kg de matière sèche (tab. 16). Ceux-ci proviennent partiellement des installations nucléaires; une partie du césium-137 est cependant issue de la retombée radioactive, alors que l'iode-131 est également rejeté par les hôpitaux. Du fait de l'accumulation de certains radionucléides dans de tels échantillons, ceux-ci sont des indicateurs très sensibles pour la détection de la radioactivité. A part le potassium-40 naturel (en moyenne 2800 pCi/kg de chair de poisson), seules quelques traces de césium-137 (< 10 à 350 pCi/kg de chair de poisson; moins de 20 pCi/kg dans la plupart des échantillons) provenant essentiellement de la retombée radioactive des essais nucléaires, ont été détectées dans les échantillons de chair de poisson (filets).

3.3.5. Mesures du carbone-14 dans le feuillage (fig. 8)

Les déterminations du carbone-14 dans les feuilles de hêtres au voisinage de la CNM, de CNB/IFR/ISN [1]) de la CNLE, à Imibhuel/BE (station de référence) et aux environs de la station d'incinération d'ordures de la ville de Berne ont été poursuivies en 1983.

Le but de ces mesures est de constater si les rejets de carbone-14 (T 1/2 = 5730 ans) par les installations nucléaires provoquent une augmentation notable de la concentration de ce nucléide dans les plantes du voisinage.

---

1) ISN: Institut suisse de recherches nucléaires à Villigen/AG (voir aussi chap. 4.4.)

A la station de référence et à Reuenthal (près de la CNLE qui n'était pas encore en service), la concentration du carbone-14 a été en 1983 de l'ordre de 240‰ supérieure à la valeur naturelle (1982: 250‰). Cette teneur accrue provient encore toujours des essais nucléaires des années 60 et diminue chaque année de 20‰ environ par suite de l'échange du CO_2 de l'air avec les océans.

7 échantillons provenant du voisinage IFR/ISN/CNB ont donné des valeurs du carbone-14 de l'ordre de 20 à 100‰ (en moyenne env. 50‰) supérieures à celles des stations de référence non influencées.

L'irradiation supplémentaire causée par la consommation exclusive d'aliments à teneur en carbone-14 provenant des environs des CN est négligeable (< 0,3 mrem/an).

Pour 3 échantillons prélevés au voisinage de la station d'incinération d'ordures de la ville de Berne, les résultats de l'analyse du carbone-14 ont été 3 à 15‰ inférieurs à la valeur des stations de référence. Cela tient au fait que l'incinération de combustibles fossiles (mazout et proximité des routes) appauvrit l'air dans sa teneur relative en carbone-14.

3.3.6. Eventuelles influences des rejets des CN sur la végétation

A partir des résultats des mesures de surveillance de la radioactivité et sur la base des connaissances dont nous disposons aujourd'hui, il ressort qu'il n'existe aucune relation entre les rejets de radioactivité des CN et les dommages à la végétation ("mort des forêts") dans l'environnement. La dose externe, causée par les gaz rares et les aérosols radioactifs rejetés par les installations nucléaires, et la dose interne, due à l'incorporation de radionucléides provenant des rejets des CN à partir de l'air ou par les racines des plantes poussant dans l'environnement de CN, se situent dans le domaine de fluctuation des doses naturelles.

En particulier, s'il arrive que la teneur en carbone-14 ou en tritium dans les plantes du voisinage proche (jusqu'à 5 km) des CN soit plus élevée qu'ailleurs, l'augmentation observée reste insignifiante. Par contre, dans le voisinage d'industries traitant du tritium, des concentrations en tritium plus élevées ont été enregistrées (voir chap. 4.2.1. et 4.3.).

Comparativement à la teneur en radioactivité naturelle des plantes et aux concentrations en carbone-14 et en tritium répandues à l'échelle mondiale encore de nos jours dans l'environnement, par suite des essais d'armes nucléaires des années 60, les influences des rejets des CN sur la végétation et dans leur voisinage sont négligeables.

4. INDUSTRIES, HÔPITAUX ET INSTITUTS DE RECHERCHE

4.1. Stations d'épuration des eaux usées (STEP) (fig. 9 et 10)

Des échantillons cumulatifs d'eaux usées sont prélevés chaque semaine à la sortie des STEP de Zürich, Bâle, Berne et Lausanne; leur radioactivité est analysée soit hebdomadairement, soit mensuellement.

STEP de Zürich-Werdhölzli. L'activité alpha totale moyenne de 0,8 pCi/l (1982: 0,8 pCi/l) et l'activité moyenne en tritium de 220 pCi/l (1982: 240 pCi/l) à la sortie de la STEP se situent dans le domaine des activités moyennes des eaux courantes. La teneur annuelle moyenne en iode-131 des eaux usées s'est élevée à 24 pCi/l (1982: 41 pCi/l). La moyenne hebdomadaire la plus haute, 80 pCi/l a été nettement inférieure à la valeur directrice de 200 pCi/l d'iode-131 applicable à l'effluent selon l'OPR. Depuis 1981, les bassins de rétention d'iode radioactif sont en service à l'hôpital universitaire de Zürich.

L'écoulement total d'iode-131 à travers la STEP de Zürich-Werdhölzli, puis dans la Limmat, a été évalué pour 1983 à 2 Ci (1982: 3,5 Ci). Cette activité correspond à une concentration moyenne dans la Limmat de 0,7 pCi/l; l'usage permanent de cette eau comme eau potable aurait entaîné une dose annuelle de 0,9 mrem/an à la glande thyroïde des adultes (valeur maximale admissible pour des individus de la population: 3000 mrem/an).

STEP de Berne-Stuckishaus. La moyenne hebdomadaire de la teneur en tritium à la STEP n'a jamais dépassé 700 pCi/l; la moyenne annuelle, 400 pCi/l (1982: 640 pCi/l) est un peu plus de deux fois supérieure à celle de Zürich et de Lausanne. L'écoulement total de 27 Ci de tritium de la STEP dans l'Aar en 1983, a provoqué une élévation moyenne de la teneur en tritium de l'eau de l'Aar de 7 pCi/l, valeur inférieure à la limite de détection.

La moyenne annuelle de la concentration de l'iode-131 dans l'eau de la STEP a été de 31 pCi/l (1982: 28 pCi/l), correspondant à un rejet total de 2 Ci/an et à une augmentation de 0,5 pCi/l d'iode-131 dans l'eau de l'Aar.

STEP de Lausanne. Dans les eaux usées de Lausanne, nous avons enregistré les moyennes annuelles suivantes: activité alpha totale: 0,6 pCi/l, activité bêta totale: 7 pCi/l, activité en tritium: 230 pCi/l. Ces résultats correspondent aux valeurs mesurées dans les rivières en Suisse. Aucune activité notable n'est par conséquent rejetée à travers la STEP.

STEP de Bâle. Depuis les mois d'août 1983, des échantillons cumulatifs d'eaux usées prélevés hebdomadairement à la sortie de la STEP de Bâle sont analysés. Leur activité en iode-131 a été constamment inférieure à 10 pCi/l, et l'activité alpha totale de mélanges mensuels inférieure à 5 pCi/l. L'activité en tritium a donné des valeurs jusqu'à 1630 pCi/l, en moyenne 320 pCi/l.

4.2. Région de la Chaux-de-Fonds

4.2.1. Tritium (Fig. 11 et 12)

Les valeurs mensuelles de l'activité en tritium des précipitations prélevées aux "Anciens Moulins" à La Chaux-de-Fonds ont varié entre 150 et 1500 pCi/l (moyenne annuelle 540 pCi/l; 1982: 400 pCi/l). A la station de référence de Cernier, la moyenne annuelle dans les précipitations s'est élevée à 150 pCi/l. Environ la moitié du tritium contenu dans les précipitations des "Anciens Moulins" est par conséquent imputable aux industries de peintures luminescentes de la région de La Chaux-de-Fonds. Dans les échantillons cumulatifs mensuels de la STEP de La Chaux-de-Fonds, l'activité en tritium a varié entre 17'000 et 230'000 pCi/l (moyenne 84'000 pCi/l; 1982: 65'000 pCi/l). L'activité totale en tritium rejetée à travers la STEP de la ville s'est élevée à 640 Ci (1982: 540 Ci).

Les teneurs en tritium d'échantillons provenant du drainage du dépotoir de la Sombaille ont varié entre 10'000 et 490'000 pCi litre, elles ont varié entre 660 et 860'000 pCi/l au dépotoir de la Charrière.

Du fait que ces eaux ne sont pas utilisées comme eaux potables, et s'infiltrent sur une courte distance ou sont diluées avec de l'eau inactive, elles ne conduisent pas à une irradiation inadmissible de la population.

3 échantillons d'eau du Doubs prélevés en amont de la zone de résurgence des eaux usées de La Chaux-de-Fonds ont présenté des activités en tritium situées entre 100 et 580 pCi/l, soit à peine plus que dans les autres rivières suisses. Les concentrations en tritium ont varié entre 250 et 2400 pCi/l dans les échantillons provenant de la Ronde à son embouchure dans le Doubs; les échantillons prélevés aux sources contenant les eaux usées de La Chaux-de-Fonds, dont l'eau se jette après un faible parcours dans le Doubs, ont présenté des activités en tritium allant de 3100 à 48000 pCi/l. Dans les échantillons accumulés hebdomadairement à St. Ursanne, nous avons obtenu des valeurs en tritium comprises entre 200 et 2400 pCi/l. L'appareil automatique pour ces prélèvements hebdomadaires a été hors d'usage pendant 7 mois.

L'eau potable de La Chaux-de-Fonds est amenée des gorges de l'Areuse; sa teneur en tritium n'est pas accrue.

4.2.2. Radon dans les maisons (Mesures de la CNA)

Jusqu'en 1963, des peintures luminescentes au radium ont été utilisées dans la région de La Chaux-de-Fonds pour la fabrication de cadrans lumineux pour l'horlogerie. La CNA a procédé en 1982/83 à des mesures d'assainissement dans certains anciens ateliers de posage de peintures luminescentes; en outre, en collaboration avec l'Office fédéral de la santé publique (OFSP) et les autorités communales, elle a effectué des mesures de radon dans ces ateliers ainsi que dans les maisons d'habitation voisines et dans un environnement plus éloigné. Des concentrations en

radon partiellement très élevées ont été mesurées; dans la plupart des cas, il est vrai, elles ne sont pas alarmantes (Fig. 13).

En collaboration avec la CNA, l'OFSP, les autorités communales de la Chaux-de-Fonds et les habitants concernés, les origines des augmentations du niveau de radon sont à l'étude, et des mesures possibles d'assainissement dans les maisons présentant les concentrations les plus élevées sont examinées.

A partir des mesures de radon poursuivies en 1982 et 1983 par la CNA à La Chaux-de-Fonds dans les habitations, dans les puits d'eaux usées et d'eau potable, on peut établir le tableau de résultats suivant [1]):

Emplacement Maisons/Locaux	Nombre	Moyenne	Domaine de dispersion Radon-222: pCi/m^3
- Salon	95	7'500	100- 100'000
- Chambre à coucher	95	4'000	100- 24'000
- Cave	94	60'000	400- 730'000
Puits d'eaux usées	29	190'000	20'000- 500'000
Puits d'eau potable	59	360'000	9'000-2'000'000

D'après les niveaux de radon mesurés dans les habitations et sur la base des hypothèses définies dans le rapport annuel de 1982, il résulte pour les habitants de ces maisons un équivalent de dose effectif moyen de 660 mrem/an (maximum: 8100 mrem/an). Dans les 3/4 des cas, cette dose est inférieure à 500 mrem/an.

4.3. Entreprises industrielles particulières (en collaboration avec la CNA)

Radium-Chemie SA, Teufen (RCT)

Actuellement, la RCT utilise presque exclusivement du tritium pour la fabrication des peintures luminescentes.

Les rejets avec les eaux résiduaires se sont élevés en 1983 à 0,3 Ci de tritium. Dans l'effluent, un bassin de décantation pour la pluie, nous avons enregistré entre 2000 et 11'000 pCi/l de tritium. Selon l'OPR, la valeur directrice pour l'augmentation d'activité dans l'effluent se situe à 300'000 pCi/l en moyenne hebdomadaire. Les mesures des échantillons prélevés à la STEP de Teufen ont donné des concentrations en tritium comprises entre 520 et 1100 pCi/l. L'écoulement net en tritium qui en résulte à travers la STEP peut être estimé à environ 0,5 Ci/an.

---

1) Tiré de "The Concentration of Radon in a Town where Radium-activated Paints were used", de Th. Lauffenburger et A. Auf der Maur, Congrès IRPA de Berlin, du 7 au 12 mai 1984.

En 1983, la fabrique a rejeté 235 Ci de tritium dans l'atmosphère avec les effluents gazeux, dont 200 Ci sous forme de HTO. Les immissions causées par ces rejets sont mesurées dans les précipitations, à 65 m à l'est de la cheminée. Dans les échantillons composés mensuels, la teneur en tritium des précipitations a varié entre 6400 et 100'000 pCi/l.

Depuis l'installation d'un système de récupération du tritium dans cette fabrique en 1979, l'activité annuelle moyenne en tritium dans les précipitations a passé de (2 à 4).10^5 pCi/l à (3 à 6).10^4 pCi/l, constituant une diminution d'environ un ordre de grandeur.

En 1983, la teneur en tritium des échantillons prélevés à la "fontaine Reifler" a fluctué entre 3 et 5 pCi/l, et a atteint en moyenne 340'000 pCi/l. En outre, depuis 1979 l'activité moyenne en tritium dans l'eau de cette source a diminué annuellement de 25%. Depuis 1984 la fontaine n'est plus alimentée par l'eau de la source. Dans les échantillons prélevés dans le ruisseau qui reçoit l'eau de la source, nous avons mesuré 5000 à 20'000 pCi litre, soit 7400 pCi/l en moyenne; l'écoulement annuel de tritium estimé à partir de cette valeur s'élève à 0,6 Ci.

La concentration accrue du tritium dans l'eau de source au voisinage immédiat de Teufen provient d'une part des anciens dépôts de déchets et de débris de construction contaminés au tritium et d'autre part des rejets de tritium avec les effluents gazeux qui, par l'intermédiaire des précipitations et après rétention dans le sol, parviennent partiellement dans l'eau de source.

Les rejets de la fabrique avec les eaux résiduaires vont par la canalisation à la STEP et n'influencent pas l'eau de source du voisinage.

Dans les drainages des dépotoirs "Bächli" (terrain de la protection civile à Teufen) et "List" (Commune de Stein), nous avons enregistré des teneurs en tritium de (0,5-3,2).10^5 pCi/l resp. (0,9-3,7).10^5 pCi/l. Ces drainages ne sont pas utilisés comme eau potable et coulent après quelques mètres dans des ruisseaux, où par dilution, l'activité volumique s'abaisse à des valeurs insignifiantes. L'activité bêta totale de 80 à 300 pCi/l (principalement du strontium-90) dans le drainage du dépotoir "Bächli" ne constitue aucun danger d'irradiation inadmissible de personnes.

MB-Microtec SA, Niederwangen/BE (Fig. 14)

En 1983, cette fabrique a rejeté 0,4 Ci de tritium (1982: 0,3 Ci) avec les eaux résiduaires. Dans un échantillon prélevé dans le ruisseau "Stadtbach" en aval de l'entreprise, nous avons mesuré 1700 pCi/l de tritium.

Environ 3300 Ci de tritium, dont 560 Ci sous forme de HTO et le reste sous forme de HT, ont été rejetés dans l'atmosphère avec les effluents gazeux.

Les mesures de tritium des échantillons prélevés toutes les 2 semaines dans les pluviomètres installés en 4 points du voisina-

ge de la fabrique ont donné les résultats suivants pour l'année 1983:

Emplacement	1	2	3	4
Direction	SO	SE	NE	NNE
Distance (m)	200	300	320	180
Minimum (pCi/l)	180	210	1400	1100
Maximum (pCi/l)	312000	171000	157000	105000
Moyenne pondérée (pCi/l)	7100	2300	8900	5400

Il s'est avéré que les teneurs en tritium enregistrées aux stations 1 et 3, installées dans la direction de la vallée et ainsi dans la direction principale des vents, sont supérieures à celles relevées aux emplacements 2 et 4 situés tranversalement à la direction des vents. Depuis le début du mois d'octobre, des mesures du tritium contenu dans l'humidité de l'air sont aussi effectuées en un point au NE de la fabrique. Selon l'OPR, la valeur directrice en vigueur pour le tritium sous forme de vapeur dans l'air aux endroits accessibles à la population à l'extérieur d'industries est 33'000 pCi/m^3, ce qui conduirait à la suite d'une exposition continue à 50 mrem/an. Les doses aux personnes séjournant au voisinage de la fabrique sont au plus de quelques mrem/an.

L'analyse de deux échantillons, provenant du drainage du dépotoir de Teuftal (à l'est de Bern), où s'est effectué le dépôt de terre et de débris de construction résultant de l'assainissement du terrain de la fabrique Merz & Benteli de Bümpliz, a donné les résultats suivants (en pCi/l):

Date	Tritium	Ra-226	Cs-137	Co-60	K-40
15. 4.83	1870±200	<0,8	<0,7	<0,1	15±1
30.12.83	1500±150	<0,9	<0,4	<0,1	20±2

Cerberus SA, Männedorf et Volketswil

L'entreprise Cerberus SA traite principalement du tritium à Männedorf, du tritium et de l'américium-241 à Volketswil. Quatre échantillons sont prélevés annuellement dans l'effluent de chacune des deux fabriques; nous mesurons leur activité alpha totale, bêta totale et en tritium. L'activité bêta totale s'est élevée à 17 pCi/l au maximum, et l'activité alpha totale a été inférieure à 10 pCi/l (valeur directrice dans l'effluent pour l'américium-241 selon l'OPR: 300 pCi/l). La teneur en tritium d'échantillons d'eaux résiduaires a varié entre 3300 et 4100 pCi/l à Männedorf, et entre 750 et 72'000 pCi/l à Volketswil, si l'on ne tient pas compte de l'incident relatif au rejet de tritium par cette fabrique, survenu en décembre 1983 (valeur directrice dans l'effluent pour le tritium selon l'OPR: 300'000 pCi/l).

Incident dans la fabrique de Volketswil de l'entreprise Cerberus SA (Fig. 15)

Les 13 et 14 décembre 1983, un incident s'est produit dans la fabrique de Volketswil de l'entreprise Cerberus SA, au cours duquel 500 Ci de tritium ont été rejetés à travers la canalisation dans la STEP de Volketswil-Schwerzenbach-Fällanden avant d'atteindre la Glatt et le Rhin. Du tritium a aussi été rejeté en faible quantité dans l'atmosphère avec les effluents gazeux. Des bouteilles en aluminium n'étant plus usitées et ayant au préalable contenu du tritium à l'état gazeux, ont été rincées avant leur élimination en tant qu'ordures. C'est ainsi que le tritium adsorbé sur les parois internes des bouteilles a été libéré et transporté avec l'eau de rinçage dans la canalisation. De ce fait, la limite de rejet en tritium pour les effluents liquides fixée par l'organe de contrôle (CNA) à 20 mCi/semaine a été largement dépassée.

Dès qu'elle eût connaissance de l'incident, la CFSR a engagé son laboratoire de Dübendorf à l'Institut fédéral pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux pour effectuer des mesures de tritium dans le voisinage proche et lointain de la fabrique. Sur la base des premières estimations, il est rapidement ressorti que des doses inadmissibles à la population avoisinante, principalement par l'eau potable, pouvaient être exclues avec certitude. Toutefois, des échantillons ont été prélevés, d'abord journalièrement puis sur de plus longues périodes, dans le canal des eaux usées de la fabrique, à l'entrée et à la sortie de la STEP de Volketswil-Schwerzenbach-Fällanden, dans les bassins de décantation et les digesteurs de la STEP, dans la Glatt à Hermikon, Rümlang et Rheinsfelden, dans le Rhin à Reckingen, ainsi que dans 17 stations de pompage de l'eau de la nappe phréatique en aval de la Glatt, afin d'en déterminer la teneur en tritium.

Si une concentration en tritium nettement accrue a été observée dans le canal des eaux résiduaires de la fabrique, dans la station d'épuration, dans les eaux superficielles, ainsi que dans les précipitations (et dans la neige) dans le voisinage immédiat de l'entreprise, il n'en a pas été de même pour les eaux de la nappe phréatique des communes situées en aval de la Glatt, où seul un nombre restreint d'emplacements ont présenté des augmentations de la teneur en tritium. Ainsi, dans le canal des eaux résiduaires de la fabrique et dans l'eau d'affluence et d'écoulement de la STEP de Volketswil-Schwerzenbach-Fällanden, la valeur directrice pour l'effluent, selon l'OPR de 300'000 pCi/l de tritium a été nettement dépassée, ce qui n'a été le cas ni dans la Glatt ni dans le Rhin. Des personnes consommant continûment (2,2 l/jour) pendant une année de l'eau à cette concentration accumuleraient une dose de 50 mrem/an.

Dans la plupart des échantillons de la nappe phréatique, les teneurs en tritium ont été de l'ordre de quelques centaines de pCi/l. Ces valeurs ne sont pas notablement supérieures aux activités moyennes en tritium observées dans la pluie, en Suisse. Seulement dans trois stations de pompage des eaux souterraines, les résultats de mesure se sont élevés jusqu'à 3000 pCi/l, c'est à dire, à un centième de la valeur directrice en tritium dans

l'effluent mentionnée plus haut. Par conséquent, les augmentations de la concentration en tritium, occasionnées dans les eaux pendant plusieurs semaines à la suite de l'incident, n'ont causé aucune dose notable à la population dans le voisinage de la fabrique.

La CNA et l'OFSP ont pris les dispositions nécessaires pour accélérer l'information des autorités, des services administratifs et de la population lors de tels incidents.

Dépotoires de Trimbach/SO et de Härkingen/SO

Des échantillons des drainages de deux dépotoirs (Trimbach/SO et Härkingen/SO), où des décombres et des débris de construction de fabriques de peintures luminescentes ont entre autre été amassés, n'ont donné aucune augmentation des activités à l'exception du tritium (en pCi/l):

Emplacement	Tritium	Ra-226	Cs-137	Co-60	K-40
Dép. Härkingen	3800±200	<2	<1	<1	835±10
Dép. Trimbach	13700±400	<3	<1	<1	325±10

Du point de vue de la radioprotection ces eaux ne représentent aucun danger pour la population.

4.4. Institut suisse de recherche nucléaire (ISN)

D'après le bilan des rejets pour 1983, seules d'infimes quantités de matières radioactives ont été évacuées dans l'Aar par l'ISN (40 m^3 d'eau contenant env. 4 µCi équivalents de cobalt-56; composés de béryllium-7, sodium-22, manganèse-54, cobalt-57 et -60, zinc-65 et cuivre-67). A la fin du mois d'octobre, un rejet supplémentaire de 45 litres d'eau présentant une activité totale en tritium de l'ordre de 14 mCi (correspondant à 0,14 mCi équivalents de cobalt-56) a été enregistré à la suite d'une expérience sur une cible gazeuse de tritium. La limite de rejet annuel liquide est fixée par l'organe de contrôle (OFSP) à 5 mCi équivalents de cobalt-56.

Les rejets gazeux de l'ISN ont été composés d'environ 1500 Ci d'émetteurs bêta à vies courtes (dont 42% de carbone-11, 34% d'azote-13 et 24% d'oxygène-15), 186 Ci d'argon-41, 9 Ci de xénon-122, 13 Ci de xénon-123, 15 Ci de xénon-125 et 15 Ci de tritium. L'ensemble de ces rejets correspond à 1500 Ci équivalents d'argon-41. A ces rejets s'ajoute 8 Ci d'iode-122, 3 Ci d'iode-123 et environ 50 mCi d'iode-125 sous forme d'aérosols dans les effluents gazeux. Quant aux rejets de beryllium-7 (env. 77 µCi), ils sont négligeables. Enfin, les rejets de carbone-14 ont été évalués à près de 1 mCi/an. La valeur maximale annuelle à ne pas dépasser selon l'organe de contrôle (OFSP) pour les rejets gazeux est fixée à 2500 Ci équivalents d'argon-41.

D'après les mesures de l'ISN, la dose ambiante gamma, après soustraction du fond, vaut jusqu'à 20 mrem/an le long de la clôture côté sud de l'ISN; elle varie entre 5 et 10 mrem/an sur la

place de parc côté nord et s'élève à environ 95 mrem/an à l'angle SE du terrain (près de l'entrepôt pour les composantes actives).

En 6 points au voisinage de l'ISN, la dose neutronique est enregistrée au moyen de dosimètres spéciaux de l'IFR, afin de détecter une influence éventuelle des accélérateurs de particules de l'Institut.

Les doses neutroniques obtenues pour l'année 1983 (en mrem/an, fond naturel inclus) sont présentées dans le tableau ci dessous:

Sud de l'IFR (maison d'habitation)	(350m SE)	1,5±0,5
Grange Schödler	(150m WNW)	5,0±2,0
Tüeliboden	(400m NW)	2,7±1,0
Hôtellerie de l'ISN	(300m NNE)	2,7±1,0
Villigen (maison d'école)	(1200m SSW)	1,3±0,5
Station "Förderband"	(500m S)	1,4±0,6
Ennetbaden (station de référence)		1,3±0,6

Seul le point de mesure "Grange Schödler" indique une valeur notablement accrue par rapport à la station de référence. D'après les mesures de l'ISN, la dose neutronique le long de la clôture de l'Institut atteint au plus env. 15 mrem/an.

5. COMPOSITION DES DOSES D'IRRADIATION DE LA POPULATION SUISSE

L'objectif des mesures de radioactivité de la CFSR est la détermination de la dose annuelle moyenne aux personnes en Suisse. Pour atteindre cette exigence, la CFSR s'appuye sur les mesures des différents laboratoires engagés à cet effet; elle se base aussi sur les rejets radioactifs des centrales et autres industries nucléaires communiqués par les organes de contrôle, ainsi que sur les doses des personnes professionnellement exposées aux radiations et les mesures de radon de l'IFR et de la CNA.

Pour 1983, les contributions à la dose s'établissent comme suit:

5.1. Rayonnement naturel

En Suisse, la dose ambiante naturelle (rayonnement terrestre et cosmique) varie entre env. 50 mrem/an dans le Jura et env. 300 mrem/an dans certaines régions des Alpes. Cette irradiation et les radionucléides naturels présents dans le corps, principalement le potassium-40, occasionnent des doses moyennes à la population suisse de 145 mrem/an à la moelle osseuse rouge, resp. 105 mrem/an aux gonades. Cela correspond en moyenne en Suisse à un équivalent de dose effectif de l'ordre de 125 mrem/an (rayonnement terrestre: 65, rayonnement cosmique: 32, irradiation interne: 30 mrem/an). Cette irradiation naturelle et ses variations locales et temporaires constituent de bonnes grandeurs de comparaison pour juger des doses d'origine artificielle.

5.2. Rayonnement issu de la civilisation

5.2.1. Irradiation par le radon et ses produits de filiation dans les habitations.

Comme l'ont montré des recherches en cours dans différentes régions en Suisse, le radon, qui s'échappe principalement du sol et des matériaux de construction, et ses produits de filiation peuvent s'accumuler dans les habitations; ils entraînent ainsi, pour le temps de séjour à l'intérieur des maisons, une dose moyenne supplémentaire au poumon de l'ordre de 1000 rem/an. Cette irradiation du poumon par le radon et ses descendants, en se référant aux données des pages 7 et 8, occasionnent un équivalent de dose effectif de l'ordre de 125 mrem/an qui est à additionner aux 125 mrem susmentionnés. Compte tenu du fait que ces mesures de radon se poursuivent, la valeur précitée n'a pas encore un caractère définitif.

L'irradiation due au radon et à ses produits de filiation n'entraîne qu'une dose au tissu des poumons; il ne s'en suit ainsi aucun effet génétique.

Dans la région de La Chaux-de-Fonds, où par le passé des peintures luminescentes au radium ont été fabriquées et traitées, la CNA a obtenu à l'occasion de travaux d'assainissement des concentrations en radon accrues dans certaines habitations. Ces teneurs en radon correspondent à des équivalents de dose effectifs pouvant atteindre jusqu'à 8100 mrem/an au maximum, la moyenne étant d'environ 660 mrem/an. Les études permettant de clarifier les causes de ce niveau accru en radon, ainsi que les recherches quant aux possibilités d'assainissement sont en cours en collaboration avec les autorités locales.

5.2.2. Retombée mondiale des explosions nucléaires

Le césium-137 déposé au sol et le strontium-90 accumulé dans les os par l'intermédiaire de l'alimentation, provenant d'anciens tests de bombes atomiques, occasionnent tout au plus chacun encore une dose de 2 mrem/an. D'autres radionucléides à vies longues tels que le tritium, le carbone-14 et l'iode-129 provoquent également, par différentes voies, une irradiation supplémentaire qui est cependant au total inférieure à 1 mrem/an.

5.2.3. Irradiation par d'autres sources

Des doses sont dues en outre à de faibles sources telles que montres à cadran lumineux et appareils de télévision en couleur, ainsi qu'à l'augmentation du rayonnement cosmique lors de vols à haute altitude, et à la fumée de tabac par inhalation de polonium-210. Ces contributions produisent au total quelques mrem au maximum.

5.2.4. Installations nucléaires et instituts de recherche

Les immissions imputables aux installations nucléaires, aussi bien par les eaux résiduaires que par les effluents gazeux, sont faibles même dans leur voisinage immédiat et le plus souvent non décelables. Les doses maximales qui en résultent pour les per-

sonnes du voisinage sont par conséquent estimées à partir des émissions mesurées. La radioactivité rejetée avec les eaux résiduaires entraîne des doses hypothétiques (hypothèse: l'eau fluviale est utilisée comme eau potable; y inclus l'irradiation due à la consommation de poisson) inférieures à 0,1 mrem/an, avec les effluents gazeux des doses de 1 mrem/an au maximum. Les immissions radioactives provenant des centrales nucléaires diminuent rapidement avec la distance. L'irradiation moyenne qui en résulte pour la population suisse est négligeable.

En octobre 1983, l'IFR a rejeté de l'iode-125; la dose résultante à la glande thyroïde de bébés, qui n'auraient bu que du lait de vaches pâturant au point critique au voisinage de l'IFR, atteint 17 mrem/an au maximum. Comme toutefois en cette période de l'année l'herbe n'a pas été utilisée pour le fourrage des vaches, une irradiation due à la consommation du lait peut être exclue (dose à la glande thyroïde par l'iode-131: centrale nucléaire de Mühleberg: 0,1 mrem/an, centrale nucléaire de Beznau: 1,5 mrem/an). D'après les prescriptions concernant les rejets, la dose à la glande thyroïde d'un bébé ne doit pas dépasser 60 mrem/an dans le voisinage des centrales nucléaires.

Les doses dues aux nucléides radioactifs à vies longues issus de l'énergie nucléaire (tritium, carbone-14, krypton-85, iode-129) et dispersés dans l'atmosphère à l'échelle mondiale sont insignifiantes.

Des doses ambiantes accrues dues au rayonnement direct ont été constatées au voisinage immédiat en des endroits inhabités à l'extérieur de la clôture des installations nucléaires (Beznau, Institut fédéral de recherches en matière de réacteur, Mühleberg, Gösgen-Däniken) et de l'ancienne Centrale nucléaire expérimentale de Lucens (CNL), ainsi que près de l'Institut suisse de recherche nucléaire. Les accroissements de dose à l'endroit du maximum s'élèvent à environ 230 mrem/an près de la centrale nucléaire de Beznau, env. 200 mrem/an près de l'IFR, env. 95 mrem/an près de l'ISN, env. 380 mrem/an près de la centrale nucléaire de Mühleberg et à env. 400 mrem/an près de l'ancienne CNL. La dose indivuduelle annuelle (= dose ambiante fois durée de séjour par an) qui en résulte pour des individus de la population avoisinante se tenant peu de temps en ces zones est inférieure à 10 mrem/an.

5.2.5. Industries et hôpitaux

Les entreprises industrielles et les hôpitaux rejettent différents radioisotopes avec les eaux résiduaires. Il en résulte un accroissement minime de la radioactivité dans les eaux; celle-ci est de plus retenue en grande partie lors du traitement pour l'eau potable. Seul le tritium - qui, en tant qu'isotope de l'hydrogène, est lié à l'eau - n'est pas retenu lors de ce traitement. A l'exception de la Glatt lors de la troisième et de la quatrième semaine de décembre 1983, à la suite de l'incident survenu à la fabrique Cerberus à Volketswil, c'est le Doubs en aval de La Chaux-de-Fonds qui est le cours d'eau de Suisse possédant la plus forte teneur en tritium. Même l'utilisation de cette eau comme eau potable entraînerait une dose inférieure à 1 mrem/an.

La plus grande quantité de tritium rejetée dans l'environnement en Suisse provient des effluents gazeux des entreprises MB-Microtec SA Niederwangen/BE et Radium-Chemie Teufen/AR. Sur la base d'anciennes mesures de tritium dans les échantillons d'urine de personnes habitant au voisinage de l'entreprise Radium-Chemie, nous avons calculé une dose au corps entier inférieure à 10 mrem/an.

Le rejet sans intention d'environ 500 Ci de tritium par la fabrique Cerberus à Volketswil au mois de décembre a conduit à de nettes augmentations de l'activité en tritium principalement dans la Glatt, mais aussi dans le Rhin pendant deux semaines. Dans la nappe phréatique resp. dans l'eau potable des communes situées an aval du cours, en peu d'endroits seulement, une augmentation a été observée. Une irradiation de la population par l'eau potable a pu être exclue.

5.2.6. Personnes professionnellement exposées aux radiations

En 1983, 46'770 personnes professionnellement exposées aux radiations ont été surveillées par 3 organes de contrôle. Elles ont accumulé ensemble 2260 rem (en moyenne 50 mrem/personne), ce qui donne moins de 0,5 mrem/an en moyenne sur l'ensemble de la population. Cette valeur est déterminante pour juger les effets génétiques sur la population.

5.2.7. Applications médicales

Des enquêtes sur la dose moyenne à la moelle osseuse et la dose génétiquement significative moyenne (DGS, dose aux gonades pondérée par la probabilité de procréation), causées par les examens diagnostiques aux rayons X en médecine, ont été effectuées pour la dernière fois en Suisse en 1978 [1]). Pour l'enquête de 1978, les moyennes suivantes ont été obtenues: environ 30 mrem/an pour la DGS et 80 mrem/an à la moelle osseuse. En 1976, les examens effectués en médecine nucléaire [2]) ont causé à la population de Bâle-Ville une GSD de 0,5 mrem/an (dose moyenne aux gonades: 10 mrem/an).

---

1) G. Poretti et al. "X-ray Examinations, Gonadal and Bone Marrow Doses, Switzerland 1978", dans Journée scientifique de la "Société Suisse de Radiobiologie et Radiophysique", Epalinges, octobre 1982

2) J. Roth: Die Bestimmung der Strahlenbelastung der Patienten in der Röntgendiagnostik und Nuklearmedizin. Hôpital cantonal de Bâle, décembre 1978

Nous remercions le Conseiller fédéral A. Egli, le secrétaire général du Département fédéral de l'intérieur, M.E. Marthaler et le Prof. Dr. B. Roos, directeur de l'Office fédéral de la santé publique pour leur considérable soutien à la CFSR. Nos remerciements vont aussi à tous les experts et collaborateurs des laboratoires et postes de prélèvement engagés, et en particulier à la Division principale de la sécurité des installations nucléaires, à la Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents et à la section de radioprotection de l'office fédéral de la santé publique pour leur précieuse collaboration.

****

Composition de la Commission:

Prof. Dr. O. Huber, Université de Fribourg, président
PD Dr. H. Loosli, Université de Berne, vice-président
PD Dr. C. Bovet, CERN, Genève
Prof. Dr. A. Donath, Hôpital cantonal, Genève
Prof. Dr. G. Poretti, Hôpital de l'Ile, Berne
Prof. Dr. W. Stumm, EPF, Zürich
Prof. Dr. J. Wellauer, Hôpital universitaire, Zürich

Appendice

Les résultats rassemblés dans ce rapport proviennent d'analyses effectuées par les laboratoires suivants:

CBE Institut de chimie inorganique, analytique et physique, Université de Berne (Prof. Dr. H.R. von Gunten)

CNA Section de physique de la Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accidents, Lucerne (Dr. D. Galliker, Dr. A. Auf der Maur, Dr. T. Lauffenburger)

CRDA Communauté de surveillance de la radioactivité des denrées alimentaires (Président: Dr. B. Zimmerli, Office fédéral de la santé publique, Berne)

DSN Division de radioprotection de la Division principale de la sécurité des installations nucléaires, Würenlingen (S. Prêtre, Dr. J. Czarnecki, W. Jeschki, J. Schuler, Dr. U. Weidmann)

EPFL Institut d'électrochimie et de radiochimie, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (Prof. Dr. P. Lerch, J.J. Geering, Mlle F. Barraud)

IFR Division du contrôle des radiations de l'Institut fédéral de recherches en matière de réacteurs, Würenlingen (H.H. Brunner, Dr. W. Burkart, Dr. W. Görlich, Dr. E. Nagel, Ch. Wernli)

LDU Laboratoire de Dübendorf de la CFSR, auprès de la Section pour la radioactivité de l'Institut fédéral pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux (Prof. Dr. W. Stumm, Dr. P. Santschi, K. Farrenkothen, H.J. Hüppi, A. Lück, Frl. E. Werth)

LFR Laboratoire de Fribourg de la CFSR, auprès de l'Institut de physique de l'Université (Prof. Dr. O. Huber, Dr. H. Völkle, Dr. B. Michaud, Dr. H. Surbeck, L. Ribordy, C. Murith, F. Wicht, L. Baeriswyl, Mme M. Gobet, Mme D. Siradovic, I. Sachs)

NESTEC Société d'assistance technique pour produits Nestlé SA, la Tour-de-Peilz (M. Arnaud, Mme I. Bracco)

PBE Institut de physique de l'Université de Berne (Prof. Dr. H. Oeschger, PD Dr. H. Loosli, U. Schotterer)

SCCI Service cantonal de contrôle des irradiations, Genève (Prof. Dr. A. Donath)

Fribourg, Novembre 1984 /mg