



Juin 1986.

UFSM - CFDT
CEN SACLAY - Bât. 38
91191 GIF sur Yvette CEDEX
Tél.: (6) 908.41.27

**CONSEQUENCES RADIOLOGIQUES DU PASSAGE DU NUAGE RADIOACTIF
DÛ A L'ACCIDENT DE LA CENTRALE DE
TCHERNOBYL (URSS)**

1 - ORIGINES DE L'EXPOSITION DES POPULATIONS -

L'exposition aux rayonnements entraînée par le passage du nuage radioactif au-dessus de l'Europe est due à la combinaison de plusieurs modalités d'atteinte de l'organisme. Nous pouvons distinguer - figure 1 - :

- 1/ l'irradiation externe à l'organisme due à la présence globale du nuage qui se comporte alors comme une source radioactive de grand volume,
- 2/ la contamination interne entraînant une irradiation à l'intérieur de l'organisme causée par l'inhalation de l'air chargé des poussières radioactives tombant du nuage et se disséminant dans l'atmosphère pour enfin se déposer en contaminant les végétaux, le sol et les eaux de surface,
- 3/ au niveau du sol, une irradiation externe causée par le dépôt des poussières sèches décrites ci-dessus et des poussières entraînées par les eaux de pluie (les aérosols, entre autres radioactifs, constituent des noyaux de condensation de la vapeur d'eau) qui contribuent à un apport supplémentaire de contamination.
- 4/ la contamination interne due à l'ingestion de radioéléments issus du dépôt radioactif en surface (produits agricoles, eaux de ville, etc...). Le transit des produits radioactifs jusqu'à l'homme est souvent complexe comme l'illustre la figure n°2 pour le lait de vache.

2 - PRINCIPAUX FACTEURS INFLUENCANT LE NIVEAU D'EXPOSITION

L'importance de l'exposition aux rayonnements dépend de nombreux paramètres, notamment :

- de la nature, la période et la forme chimique des éléments radioactifs,
- de la quantité et de la nature des produits alimentaires contaminés qui ont été absorbés (donc des habitudes alimentaires de chacun),
- de la durée de l'exposition de l'organisme aux produits radioactifs,
- de l'âge des individus (les bébés, enfants et adolescents qui ont des organes de masse inférieure à celle des adultes reçoivent, pour une même quantité de produit radioactif ingérée, une dose absorbée plus grande).

./.

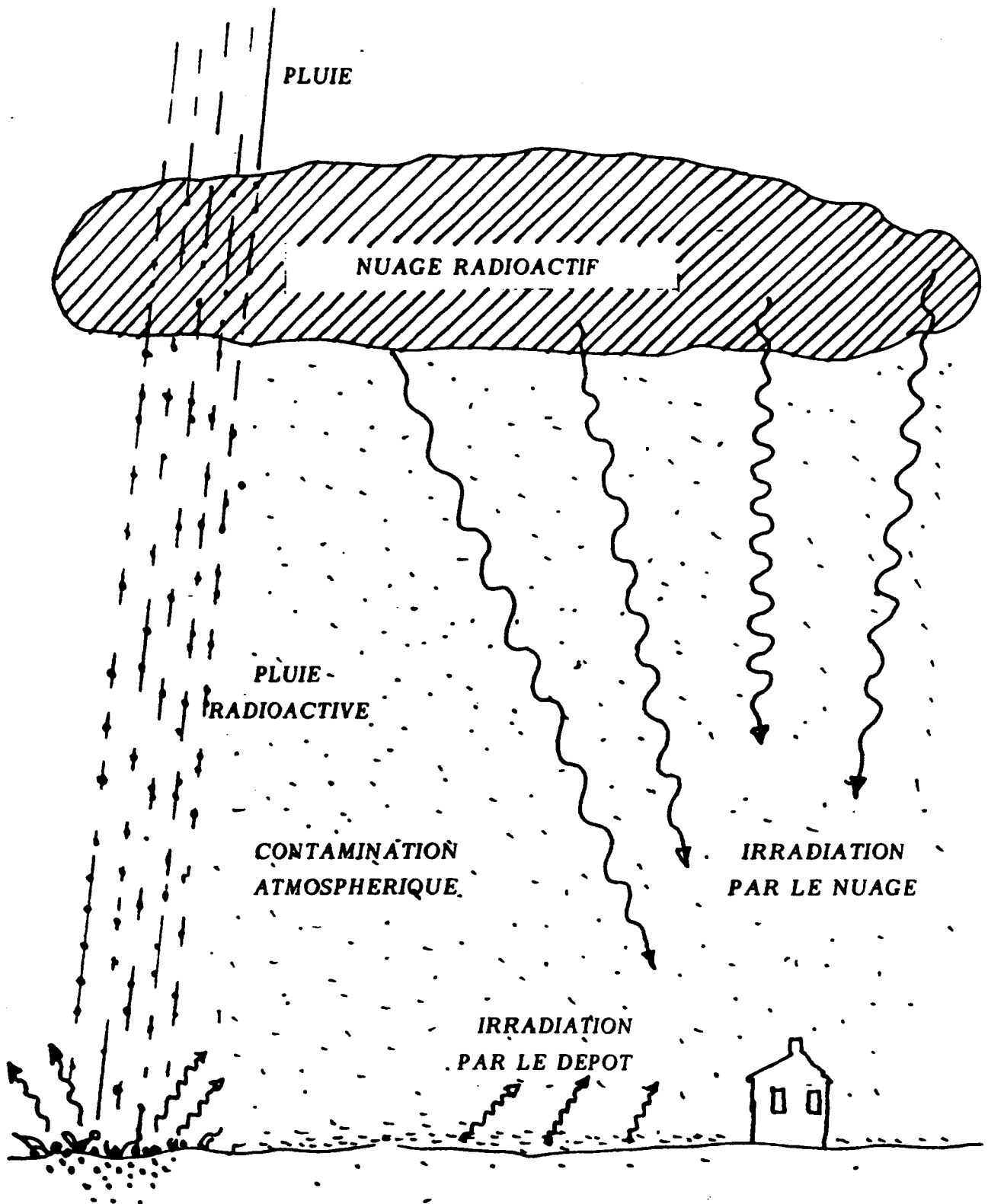
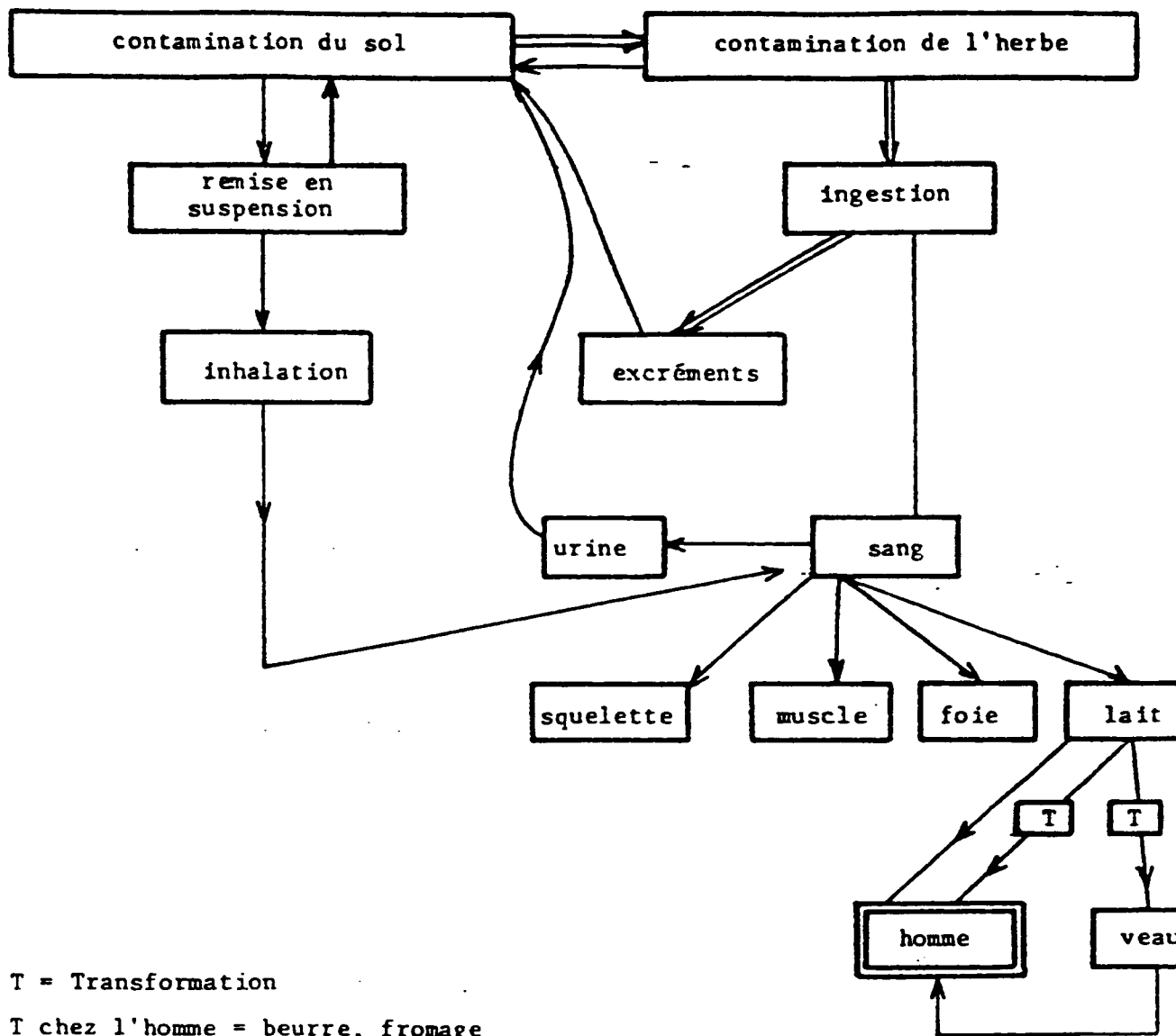


Figure N°1 : Irradiation : retombées sèches et humides.

Figure 2 : CONTAMINATION PAR LE CESIUM ET LE STRONTIUM

MODELE METABOLIQUE CHEZ LA VACHE LAITIERE



T = Transformation

T chez l'homme = beurre, fromage

T chez le veau = lait en poudre

- pour le strontium-90 : l'activité intégrée, causée par la consommation de plantes augmente au cours des années qui suivent la contamination. Ce phénomène est dû à l'importante absorption du strontium par les racines de plantes. Cette absorption nécessite un délai allant de 2 à 3 ans pour que ce radioélément migre dans le sol.

Une fois l'ensemble de ces paramètres pris en compte, l'exposition totale est égale à la somme des expositions dues à chaque élément radioactif pris individuellement. Les normes citées en Annexe I ne prennent en compte que l'effet de chaque radioélément pris isolément. Ces valeurs limites ne sont donc pas cumulables.*)

3 - IRRADIATION EXTERNE DUE AU NUAGE -

Ordinairement, l'irradiation externe moyenne due à la radioactivité naturelle des sols et au rayonnement cosmique, se situe aux environs de 10 à 12 $\mu\text{rem/h}$ en Ile de France (soit environ 100 mrem/anj). Lors du passage du nuage radioactif, le SCPRI (Service Central de Protection contre les Rayonnements Ionisants) a observé un niveau de 60 $\mu\text{rem/h}$ [1], soit un surcroît d'environ 50 $\mu\text{rem/h}$. En considérant une durée d'irradiation d'environ 2 jours, la dose occasionnée par le nuage est estimée à 2,5 mrem ; ce qui correspond à un accroissement moyen égal à 2,5 % environ de la dose reçue annuellement par un individu, du fait de l'irradiation externe naturelle.

Il faut noter que la France a été relativement épargnée, dans la mesure où des pays ont dépassé les 200 $\mu\text{rem/h}$, voire même 400 $\mu\text{rem/h}$ (Pologne et Suède).

A la date du 6 mai 1986 (soit environ 5 jours après le début du passage du nuage radioactif sur la France), la majeure partie des pays européens avait fourni à l'Organisation Mondiale de la Santé - OMS - des niveaux chiffrés sur l'irradiation externe. Pour sa part, la France n'a donné uniquement à l'OMS que l'indication d'un "faible niveau" de contamination - voir figure n° 3 -. Notons par ailleurs, que parmi les experts réunis par l'OMS se trouvaient deux français professionnellement liés aux deux organismes (CEA et SCPRI) qui disposaient de la quasi-totalité des mesures effectuées sur des espèces variées d'échantillons prélevés sur l'ensemble du territoire.

4 - DONNEES CHIFFREES SUR LA CONTAMINATION -

Lors de la détection du nuage, le radioélément prépondérant était l'iode 131. Les radionucléides qui l'accompagnaient ne représentaient que le quart de l'activité totale.

A partir du 4 mai 1986, la tendance s'est renversée. L'activité de l'iode 131 est passée progressivement de 45 % à 30% du mélange.

Les produits de fission à vie moyenne ou longue (césium 134, 136 et 137, baryum-lanthane 140, ruthénium 103) n'ont pas vu leur activité globale décroître dans les deux semaines qui ont suivi l'accident.

En conséquence, dans les premiers temps, l'iode 131 (période radioactive égale à 8 jours) a été le produit radioactif le plus préoccupant dans la mesure où il entraîne une contamination des légumes à feuilles (salades,

./.

*) Dans l'hypothèse d'une contamination au moyen de 2 produits radioactifs R1 et R2, si l'on atteint 30% de la norme pour R1, alors la limite de R2 devra être ramenée à 70% de la norme pour R2.

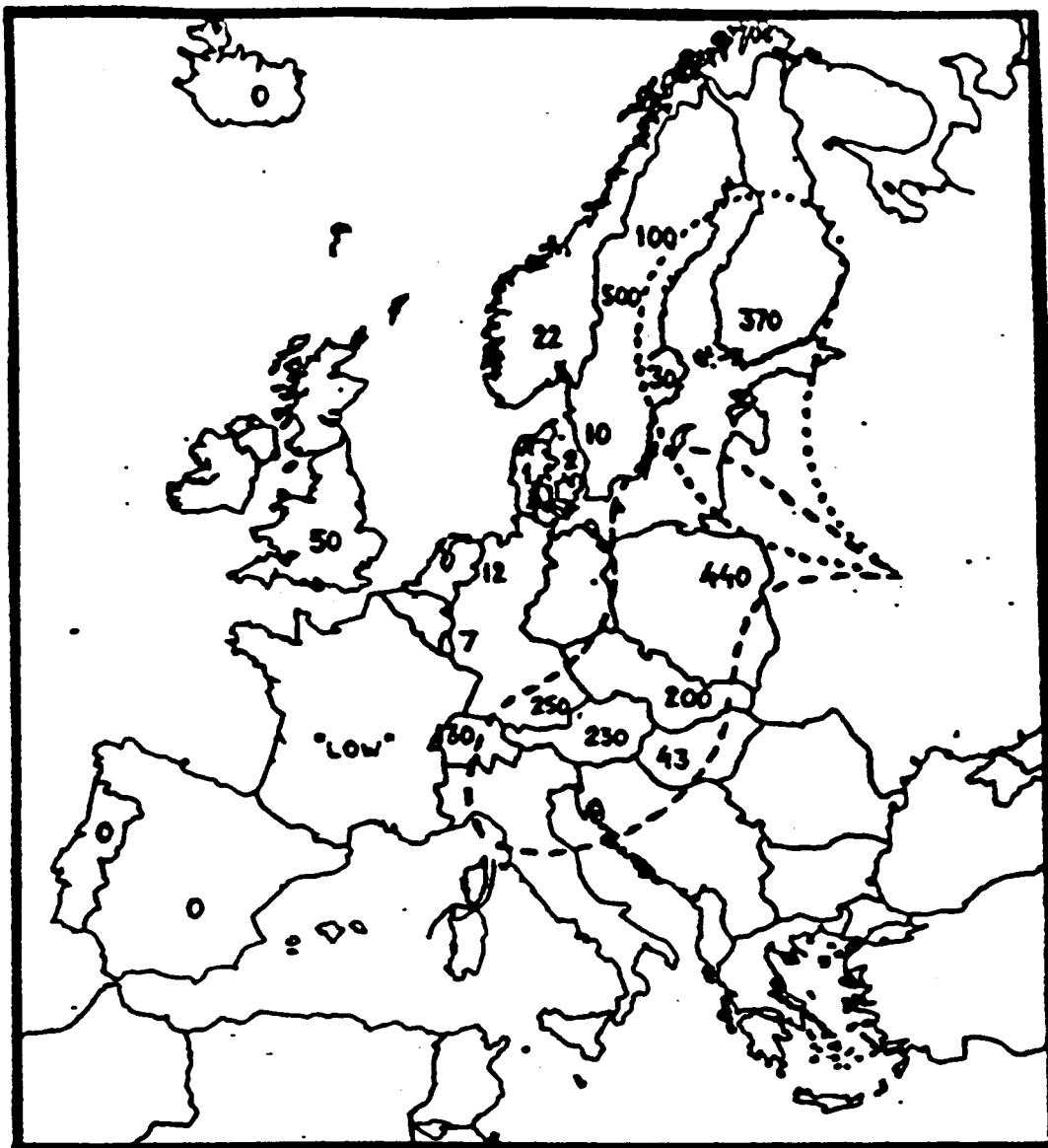


Figure : Geographical distribution of the peak values reported on the external exposure rate ($\mu\text{R/h}$).

Note: The two dominating plume situations are only schematically indicated, the exact border lines of the initial plumes are diffuse and affected by, e.g. rainfall and variable winds. The local depositions, causing the peak exposure rates from the ground, are highly dependent on rainfall.

Figure3 : Répartition géographique des valeurs maximales enregistrées du débit d'irradiation externe (en $\mu\text{R/h}$).

Note: Les deux principales régions sous l'influence du nuage radioactif ne sont données que de façon schématique; les limites exactes des nuages initiaux sont diffuses et influencées, par exemple, par les précipitations pluviales et les vents d'orientation variable. Les dépôts locaux, à l'origine de l'irradiation provenant du sol, dépendent fortement des précipitations atmosphériques.

épinards), de l'herbe et donc indirectement celle du lait qui, une fois ingérés, conduisent principalement à l'irradiation de la thyroïde. Des mesures effectuées avant et après lavage à l'eau, par des physiciens du CNRS de Strasbourg, ont montré que le lavage à l'eau, non additionnée d'un produit détergent, était inopérant du point de vue de la décontamination.

Les résultats des mesures effectuées en Allemagne sur des échantillons de lait, d'herbe et d'eau de pluie sont donnés dans le tableau N°1.

Une série de mesures résultant d'analyses effectuées par le Service de Radioprotection du Centre de Saclay, est donnée dans les tableaux N°2 - pour l'herbe -, N°3 - pour le lait -, N°4 - pour l'air - et N°5 - pour l'eau de pluie -. Ces valeurs sont proches des valeurs moyennes françaises si l'on considère l'ensemble des résultats collectés et analysés [8] par l'Institut de Protection et Sécurité Nucléaire - IPSN -.

5 - LES "SEUILS D'INTERVENTION" -

Alors que les seuils d'intervention (fixés en Bq/l pour le lait ou en Bq/kg pour les légumes) ont été fixés dans de nombreux pays, la France a, pour sa part, délibérément choisi de ne pas intervenir. Les ministres de la Santé Publique et de l'Agriculture se sont même abstenus de donner des règles simples, telles que :

- "ne pas boire (ou faire boire aux animaux) de l'eau de pluie",
- "bien laver les légumes et fruits avant consommation",
- "éviter de mettre les vaches au pré" pour certaines régions de l'Est de France notamment.

Lorsque l'action des médias est devenue plus pressante, les responsables sont convenus d'adopter, tardivement, la plus haute des valeurs limites -2000 Bq/l d'iode 131 dans le lait - citée à titre d'exemple par un groupe d'experts réunis par la circonstance par l'Organisation Mondiale de la Santé - OMS - le 6 mai à Copenhague. Notons que les autorités françaises ont appelé "Normes OMS" des propositions que l'Organisation Mondiale présente dans son rapport comme un point de vue d'experts qui ne représente pas nécessairement celui de l'OMS [2]. Les références aux recommandations de la CEE, qui se traduisent par des niveaux de contamination plus sévères que ceux cités par les experts réunis par l'OMS, n'ont guère eu d'écho auprès de nos Autorités.

Pourtant l'ingestion d'un seul litre de lait contaminé par de l'iode 131 à 2000 Bq/l entraîne, chez un jeune enfant, un équivalent de dose effective de 40 mrem [2]. Il lui suffira donc de consommer 12,5 litres de lait pour atteindre la limite maximale annuelle de 500 mrem fixée par la Réglementation Française (décret du 16 juin 1966).

Il est par ailleurs nécessaire de préciser les niveaux de doses occasionnés à la thyroïde par l'ingestion d'un litre de lait contaminé par de l'iode 131 à 2000 Bq/l :

- pour un adulte : 100mrem
- pour un enfant d'un an : 2000mrem.

La limite maximale admissible pour la thyroïde étant de 5000 mrem pour les personnes du public, on notera qu'elle sera atteinte pour un enfant d'un an après avoir consommé 2,5 litres de lait.

Limites conjoncturelles fixées par
la CEE après l'accident de Tchernobyl

(exprimées en becquerels par kilogramme)

Date	Lait et produits laitiers	Fruits & Légumes
6 mai 1986	500	350
16 mai 1986	250	175
26 mai 1986	125	90

6 - EFFETS SANITAIRES DES DOSES -

La doctrine de prévention contre le risque de cancers induits par les rayonnements ionisants a été élaborée par la Commission Internationale de Protection Biologique - CIPR -. Elle repose sur l'hypothèse que les effets de doses, même faibles, peuvent s'évaluer par une relation linéaire sans seuil. Pour quantifier ces effets, la CIPR dont les travaux fondent la Réglementation Européenne et Française, a retenu un coefficient de $1,25 \cdot 10^{-4}$ décès par cancer par rem.

Pour des doses de l'ordre de quelques dizaines de millirems reçus par l'organisme entier, le risque individuel est insignifiant (quelques 10^{-6}), toutefois ces doses concernent plusieurs dizaines de millions d'individus, le risque de décès peut, en terme de probabilité, affecter plusieurs dizaines de personnes. Un tel effet sanitaire ne peut alors être négligé, même si son évaluation est entachée d'incertitudes.

Ainsi, 10 mrem distribués à 55 millions de Français, conduit à un effet égal à :

$$0,010 \text{ rem} \times 55 \cdot 10^6 \text{ personnes} \times 1,25 \cdot 10^{-4} \text{ cancers mortels/rem} \approx 69 \text{ décès.}$$

Compte tenu du nombre "naturel" de décès par cancer survenant en France (#120 000 décès par an), il est impossible de mettre en évidence un effet différé qui ne concerne que 0,6 pour mille du total.

Cette impossibilité ne justifie cependant aucunement le refus des Autorités Françaises de prendre quelque mesure que ce soit, d'autant que le bilan total des doses engagées dues aux incorporations des produits radioactifs réalisées et à venir, va se chiffrer, pour certaines régions de l'Est de la France et plus particulièrement pour les jeunes enfants, en dizaines de mrem par personne.

7 - CAS PARTICULIER DE LA THYROÏDE -

Comme nous avons pu le voir, une partie notable des radioéléments était constituée par l'iode 131. Environ la moitié de l'iode ingéré ira se fixer dans la thyroïde qui recèle, chez l'homme "standard" 10 mg d'iode sur les 11 mg qui sont dans l'organisme entier.

L'effet de l'irradiation interne et externe de la thyroïde a fait l'objet de nombreux travaux épidémiologiques dont une grande majorité a montré que pour des doses de quelques rems, l'on observait des taux d'induction de cancers de quelques 10^{-4} par rem [3], [4], [5]. Le taux d'induction observé est plus important chez les jeunes enfants (âge inférieur à 10 ans) que chez les adultes et une plus grande sensibilité - supérieure à 2 - est observée chez les personnes du sexe féminin.

Les observations humaines portent principalement sur les rescapés des irradiés d'Hirohima et Nagasaki, la population des îles Marshall, victime en 1954 des retombées des explosions nucléaires américaines, des enfants dont le cuir chevelu a été irradié (1940 à 1959) aux rayons X pour lutter contre la teigne, et des bébés qui ont subi une irradiation dans les années 1940-1950 pour le traitement d'une hypertrophie du thymus.

On trouvera en Annexe II, un exemple de résultats obtenus de l'analyse des enfants traités contre la teigne à New York et en Israël.

Il faut noter toutefois qu'une étude épidémiologique suédoise (1980) portant sur 10 133 personnes ayant subi des radiodiagnostic au moyen de scintigraphie à l'iode 131 entre 1952 et 1965 n'a pas montré d'augmentation du nombre de cancers induits alors que la dose moyenne était égale à 58 rems [7].

Bien que, d'une part, il s'agissait d'adultes (âge moyen = 44 ans), chez qui le risque est au moins deux fois plus petit que chez le jeune enfant, et que d'autre part, ces personnes présentaient des troubles de fonctionnement de la thyroïde qui ont conduit les auteurs à décompter les cancers survenus dans les cinq ans qui suivaient l'examen, les résultats de cette étude doivent être pris en compte. Une réduction du taux d'induction de cancer peut être liée, pour une même dose reçue, au fait que le débit de dose est plus faible dans le cas d'une contamination interne que lors d'une irradiation externe par un générateur de rayons X. Dans le premier cas, la majeure partie de la dose est délivrée en deux semaines, dans le deuxième, la totalité de la dose est distribuée en quelques minutes.

On peut donc dire que ce risque d'induction de cancer de la thyroïde se situe, pour les jeunes enfants entre zéro et quelques 10^{-4} cancer induit par rem délivré à la thyroïde. Là encore, l'incertitude portant sur l'évaluation du risque ne légitime pas l'absence de dispositions pratiques visant à réduire au niveau le plus bas possible, la quantité d'iode ingérée par les enfants qui ont reçu en France des doses moyennes de l'ordre de 400 mrem à la thyroïde [8].

En considérant les niveaux de contamination de l'herbe mesurés en Allemagne Fédérale par exemple - tableau 1 - on peut dire que les doses délivrées à la thyroïde des jeunes enfants ont été supérieures d'un facteur 10 environ à celles reçues en France.

8 - CONCLUSIONS -

1/ Les conséquences radiologiques du passage du nuage radioactif dû à l'accident de la centrale de Tchernobyl seront plus faibles que celles relatives à certains pays d'Europe.

La dose à l'organisme entier sera, pour les personnes adultes du public, de l'ordre d'une dizaine de millirems en moyenne. La majeure partie de cette exposition est occasionnée par la contamination interne. Dans certaines régions, Est de la France notamment, cette valeur pourra être multipliée par un facteur 2 ou 3. La dose délivrée aux jeunes enfants, et notamment celle concernant la thyroïde, pourra être significativement supérieure à celle des adultes, dans la mesure où la masse de la thyroïde est, par exemple, 5 (enfant de 4 ans) à 20 fois (bébé) plus faible que celle de l'homme adulte. Cet effet est encore accentué par l'importance du lait et des produits laitiers dans le régime alimentaire des enfants.

2/ Les conditions pour l'information du public étaient idéales, dans la mesure où :

- l'accident se déroulait très loin du territoire français et il n'y avait pas, comme à TMI, une forte concentration de journalistes sur un site restreint,
- les niveaux de contamination n'étaient pas trop inquiétants,
- l'alerte a été donnée par les nombreuses installations nucléaires du CEA, de l'EdF et par les stations du SCPRI. Les techniciens et ingénieurs ont alors diversifié et multiplié les prises d'échantillons en vue de leur mesure,
- des consignes simples permettaient de réduire les niveaux de contamination interne.

Or, ces avantages ont été réduits à néant par la pusillanimité du CEA et de l'EdF qui se sont retranchés derrière le SCPRI pour informer le public. Comme à l'ordinaire, la manie du Secret des responsables du SCPRI l'a emporté sur le devoir d'informer. A vouloir trop "rassurer", on n'a pas su "convaincre". Les comparaisons de doses reçues avec un "séjour à la montagne" ou "un voyage aux USA" restent incompréhensibles pour le grand public. Les données chiffrées utilisables n'ont été fournies qu'après l'importante pression des médias.

3/ La manipulation des pseudo "normes OMS" et le silence observé sur les recommandations formulées par la CEE montrent à l'évidence qu'il est nécessaire de clarifier la "règle du jeu" et d'examiner les modalités de son application.

4/ Les moyens destinés à l'information objective du public ne sont pas aujourd'hui réalisés. Il est nécessaire de les définir démocratiquement et d'assurer leur stricte indépendance vis à vis des différents opérateurs susceptibles d'être impliqués dans un accident.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] - SCPRI - Téléx du 5 mai 1986
- [2] - OMS
"Chernobyl reactor accident"
Report of a consultation 6 may 1986 (provisional)
Edit. OMS - Regional office for Europe - ICP/CEH 129
- [3] - HARLEY.N.H., ALBERT.R.E., SHORE.R.E., PASTERNAK.B.S.
Follow-up study of patients treated by X-ray epilation for tinea capitis. Estimation of the dose to the thyroid and pituitary glands and other structure of the head and neck.
Phys. Med. Biol. - Vol. 21, n° 4, PP(631-642) -1976-
- [4] - SCHMITZ-FEUERHAKE.I, MUSCHUL.E, BATJER.K, SCHAEFER.
Risk estimation of radiation-induced thyroid cancer in adult in "Late biological effects of ionizing radiation"
IAEA SM 224/712 VIENNE -Mars 1978-
- [5] - TUBIANA.M
Métabolisme et radiotoxicité de l'iode radioactif dans "Toxiques nucléaires" sous la direction de P. GALLE
Edit. MASSON - PARIS- 1982 -
- [6] - RON E., MODAN B.
Benign and malignant thyroid neoplasm after childhood irradiation for tinea capitis.
J. Nat. Cancer Institut - Vol 65 - N°1 - p(7-11) - July 1980
- [7] - National Council on Radiation Protection and Measurements
Induction of thyroid cancer by ionizing radiation.
NCPR Report N°80 - March 1985 -
- [8] - LAYLA VOIX F., MADELMONT C., PARMENTIER N., ROBEAU D. WARTENBERG I.
Premières estimations des conséquences sanitaires en Europe, de l'accident survenu sur le réacteur nucléaire de Tchernobyl.
Rapport DPS 86/02 SEAPS - 12 mai 1986 - IPSN - France.]

Tableau n° 1 : Résultats des mesures effectuée en RFA

DATE	LIEU	ECHANTILLON	ACTIVITE EN IODE 131
3/5/86	Bade-Wurtemberg	Lait	. 1500 Bq/l avec des maxi à 3300 Bq/l
4/5/86	Hesse Darmstadt Rhénanie-Palatinat Sarre Bavière Oldenburg	Lait Herbe Eau de pluie Eau de pluie Epinards Herbe Lait Lait de brebis	. 300 à 500 Bq/l . 1000 à 10000 Bq/kg + Césium 137 (10%) + Césium 134 (3 à 5% de l'activité de l'iode 131) . 8000 Bq/l (à Aschaffenburg) . 2000 Bq/l . 1750 Bq/kg . 6000 Bq/kg (à St Wendel) + 1800 Bq/kg en Césium 137 . 4700 Bq/kg (à St Ingbert) + 780 Bq/kg en Césium 137 l'activité totale des produits de fission est de 10800 Bq/kg . 1000 Bq/l maxi . 1500 Bq/l maxi
6/5/86	Bade-Wurtemberg Sarre Danube	Salade Lait Lait de brebis Salade Herbe Eau	. 2500 Bq/kg en moyenne 12000 Bq/kg maxi . 2000 Bq/l . 8500 Bq/l maxi . 3300 Bq/kg (à Hombourg) + 450 Bq/kg en Césium 137 . 10800 Bq/kg (à St Ingburt) . 130 Bq/l (château d'eau à Liepheim)
7/5/86	Sud de la RFA Düsseldorf Meersburg Bonn Hammuentrop Rhénanie-Palatinat	Herbe Herbe Herbe Herbe Herbe Herbe	. 10000 à 50000 Bq/m ² maxi de 100 000 Bq/m ² . 50 000 Bq/m ² . 50 000 à 100 000 Bq/m ² . 25 000 Bq/m ² . 50 000 Bq/m ² . 16 000 Bq/m ² (à Valdmoor) valeur mini 2 800 Bq/m ²

Nota : La commission fédérale pour la Radioprotection a fixé la limite de concentration en iode dans le lait à 500 Bq/L. Certains gouvernements régionaux ont fixé le 4 mai 1986 des limites plus sévères encore :

- SARRE 100 Bq/l
- HESSE et HAMBOURG 20 Bq/l

Tableau n° 2 : Résultats des mesures effectuées en FRANCE

SACLAY ET LES ENVIRONS

(variation de l'activité de l'herbe exprimée en becquerels par kilogramme)

Date	¹³¹ I	¹³² Te-I	¹³⁴ Cs	¹³⁶ Cs	¹³⁷ Cs	¹⁴⁰ Ba - la	¹⁰³ Ro	⁹⁹ Mo
2/5/86	1 900	360	35	-	55	30	80	40
	1 600	340	-	-	100	45	70	-
	1 300	300	30	-	45	35	65	25
3/5/86	1 020	650	80	60	190	50	250	45
4/5/86	810	390	100	-	210	80	260	-
6/5/86	470	190	75	20	150	40	240	-
11/5/86	290	45	80	20	170	50	200	-

Tableau n° 3 : Résultats des mesures effectuées en FRANCE

SACLAY ET LES ENVIRONS

- . L'activité du lait est donnée en becquerel par litre.
- . Les valeurs données entre parenthèses correspondent aux fractions des concentrations maximales admissibles pour le public (voir annexe 1).

Date	I ¹³¹	Te-I ¹³²	Cs ¹³⁴	Cs ¹³⁶	Cs ¹³⁷	Ba ¹⁴⁰ _{la}	Mo ⁹⁹
5 Mai 86	60 (1,622)	0,55 (0,001)	2,8 (0,008)	1,0 (0,000)	6 (0,008)	- -	0,6 (0,000)
7 Mai 86	28 (0,757)	0,67 (0,001)	5,3 (0,016)	1,2 (0,000)	10 (0,014)	0,1 (0,000)	- -

Nota : . Le lait provient de la traite de vaches alimentées à 50 % par de l'herbe. Une alimentation réalisée exclusivement au moyen d'herbe aurait pratiquement multiplié par deux les concentrations en radio-éléments.

. L'activité volumique totale représente 1,64 CMA (5/5/86) et 0,79 CMA (7/5/86). La teneur en strontium 90 n'a pas été mesurée.

. La contamination du lait en iode 131, exprimée en becquerels/litre, a présenté les variations suivantes, pour la France entière - SCPRI -

date	maxi	moyenne	mini
1 à 3 mai 86	44	24	4
4 mai 86	19	9	4
5 mai 86	444	107	4
6 mai 86	407	89	11
7 mai 86	67	37	4

Tableau n° 4 : Variation de l'activité de l'air en FRANCE

- Mesures effectuées à Saclay -
(activité en becquerel par m³)

Radioélément	2 et 3 Mai 1986		
	0 h à 7 h 30	7 h 30 à 17 h 30	17 h 30 à 10 h 00
Iode 131	40	5,6	1,0
Tellure 132	25	2,6	0,02
Césium 134	2,0	0,3	0,02
Césium 136	0,9	-	-
Césium 137	5,3	0,5	0,04
Baryum-Lanthane 140	1,1	0,2	-
Ruthénium 103	6,0	0,8	0,07
Molybdène 99	2,1	0,2	0,03
Total : Bq/m³	82,4	10,2	1,18
Total : CMA	5,97	0,84	0,14

Nota : Compte tenu de l'activité volumique mesurée avant le 2 mai 1986 à 0 heure, l'exposition totale représente 77 CMA.h soit environ 0,9 % de la limite maximale annuelle admissible.

Comme cette limite conduit, pour l'iode, à une dose de 3 rems à la thyroïde, l'exposition de cet organe du à l'iode 131 seul est de l'ordre de 25 mrem.

A N N E X E 1

**VALEURS DES CMA LES PLUS RESTRICTIVES DANS L'EAU ET DANS L'AIR
POUR LES PERSONNES DU PUBLIC (adultes)**

Valeurs extraites du décret du 15 mars 1967

Radionucléide	Période	CMA air		CMA eau	
		Ci/m ³	Bq/m ³	Ci/m ³	Bq/l
iode-131	8,02 j	2.10 ⁻¹⁰	7,4	10 ⁻⁶	37
tellure-132	3,26 j	4.10 ⁻⁹	148	2.10 ⁻⁵	740
iode-132	2,30 h	4.10 ⁻⁹	148	3.10 ⁻⁵	1 110
césium-134	2,07 a	4.10 ⁻¹⁰	15	9.10 ⁻⁶	333
césium-137	30,15 a	5.10 ⁻¹⁰	19	2.10 ⁻⁵	740
baryum-140	12,77 j	1.10 ⁻⁹	37	2.10 ⁻⁵	740
lanthane-140	1,68 j	4.10 ⁻⁹	148	2.10 ⁻⁵	740
ruthénium-103	39,26 j	3.10 ⁻⁹	111	8.10 ⁻⁵	2 960
césium-136	13,1 j	6.10 ⁻⁹	222	6.10 ⁻⁵	2 220
molybdène-99	2,75 j	7.10 ⁻⁹	259	4.10 ⁻⁵	1 480
strontium-90	28,15 a	4.10 ⁻¹¹	1,5	4.10 ⁻⁷	15
neptunium-239	2,35 j	2.10 ⁻⁸	113	10 ⁻⁴	3 700
plutonium-239	24 100 a	0,6.10 ⁻¹³	2,2.10 ⁻³	5.10 ⁻⁶	185

CMA = Concentration Maximale admissible

Ci/m³ = curie par mètre cube

Bq/l = becquerel par litre

Bq/m³ = becquerel par mètre cube

1 curie = 37 milliards de becquerels

(1 becquerel = une désintégration par seconde).

ANNEXE 1

**VALEURS LES PLUS RESTRICTIVES DES LIMITES D'INCORPORATION
ANNUELLE - LIA - POUR LES ADULTES DU PUBLIC**

Extrait du Journal Officiel des Communautés Européennes du 5.10.84

Radionucléide	Période	LIA "Inhalation"		LIA "Ingestion"	
		Ci/a	Bq/a	Ci/a	Bq/a
iode-131	8,02 j	$5,4 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^5$	$2,7 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^5$
tellure-132	3,26 j	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^5$	$2,2 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^5$
iode-132	2,30 h	$8,1 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^7$	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^7$
césium-134	2,07 a	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^5$	$8,1 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^5$
césium-137	30,15 a	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^5$
baryum-140	12,77 j	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^6$	$5,4 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^6$
lanthane-140	1,68 j	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^6$	$5,4 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^6$
ruthénium-103	39,26 j	$5,4 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^6$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^6$
césium-136	13,10 j	$5,4 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^6$	$5,4 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^6$
molybdène-99	2,75 j	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^6$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^6$
strontium-90	28,15 a	$2,7 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^4$	$2,7 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^5$
neptunium-239	2,35 j	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^6$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^6$
plutonium-239	24 100 a	$5,4 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^1$	$5,4 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^4$

100 000

300 000

400 000

ANNEXE II

TRAITEMENT DE LA TEIGNE PAR IRRADIATION DU CUIR CHEVELU

En 1968 ALBERT et OMRAM ont donné les résultats qui ont porté sur 2043 enfants irradiés au New-York University Hospital entre 1940 et 1959. Ce groupe d'enfants a été comparé à 1413 enfants non irradiés traités pour la même affection au moyen d'une autre technique. [6]

Dans le groupe irradié, il y a eu au moment de l'étude, 14 cancers dans la population irradiée et un seul dans le groupe témoin (maladie de Hodgkin) ; l'âge moyen du groupe était de 7 ans au moment de l'irradiation et le diagnostic de cancer a été établi 10 ans après en moyenne. Parmi les 14 cancers on a dénombré : 4 leucémies, 3 cancers du cerveau, et 7 autres cancers parmi lesquels 2 de la thyroïde. Un second examen devait montrer 8 nouvelles anomalies affectant la thyroïde. Elles nécessitèrent une intervention chirurgicale conduisant à l'ablation partielle ou totale de la thyroïde. L'examen des tissus a montré la présence de 4 autres cancers.

Le bilan porte donc sur 6 cancers de la thyroïde induits pour 2043 enfants irradiés.

Les doses moyennes évaluées par une équipe de l'hôpital en 1976 [3] au moyen d'un "fantôme" représentant un enfant de 7 ans ont donné les résultats suivants :

- cuir chevelu 500 à 800 rads
- moelle rouge crânienne ~ 400 rads
- cerveau ~ 140 rads
- thyroïde 6 ± 2 rads

la dose maximale possible étant de 9 rads.

Donc $2042 \times (6 \pm 2)$ rads à la thyroïde induisent 6 cancers soit en moyenne 5.10^{-4} cancer par rad.

En 1980, RON E. et MODAN B. ont étudié l'incidence de cancers de la thyroïde dans un groupe de 10842 enfants qui ont subi entre 1948 et 1960 en Israël une irradiation du cuir chevelu destinée au traitement de la teigne [6].

Ces enfants étaient âgés de 1 à 15 ans au moment du traitement. La cohorte irradiée a été comparée à deux groupes.

Le premier constitué de 10842 enfants, non irradiés et n'ayant pas été infectés par le parasite de la teigne a été apparié à la cohorte en tenant compte de l'âge, du sexe et des diverses origines ethniques (Yemen, Iracq, Maroc, Tunisie, etc...)

Le deuxième groupe de 5400 enfants était aussi constitué de personnes non infectées et non irradiées.

La dose moyenne reçue par les membres de la cohorte étudiée était légèrement inférieure à 9 rads. L'évaluation de la dose effectuée au moyen d'un fantôme a montré que la plage de dose variait entre 4,3 et 16,8 rads.

L'étude a montré que :

- l'induction de cancer était plus grande chez les enfants irradiés âgés de cinq ans,
- le risque pour les enfants de sexe féminin était environ trois fois supérieur à celui des risques relatifs aux enfants masculins,
- pour la durée de l'étude, le taux d'induction de cancer est de 0,2 pour mille par rad (excès de 18 cancers),
- compte tenu de l'importante incidence du taux de cancers observé chez les enfants d'origine marocaine et tunisienne, il n'est pas exclu qu'un effet ethnique soit possible. Les auteurs n'écartent cependant pas l'hypothèse qu'une première irradiation non comptabilisée ait été probablement délivrée,
- les tumeurs observées ont été diagnostiquées 4 à 22 ans après l'irradiation avec une période moyenne de 14,3 ans.