

FR 92 2903

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE CEA-CONF-1093

DIRECTION DES APPLICATIONS MILITAIRES

Centre d'Etudes de Bruyères-le-Château

Service Protection contre les Rayonnements

CEA - CONF - 1093

EFFETS BIOLOGIQUES
DES RAYONNEMENTS IONISANTS
ET NORMES DE RADIOPROTECTION

Hubert CLERC

Mars 1991

RESUME

Après avoir rappelé le mode d'action des rayonnements ionisants, les notions de dose, d'équivalent de dose et les valeurs de l'irradiation naturelle, on décrit les effets biologiques des rayonnements ionisants.

On présente ensuite les recommandations de la Commission Internationale de Protection Radiologique (C.I.P.R.) et les grandes lignes de leur application au système de radioprotection mis en place par la législation française.

SOMMAIRE

1. - INTRODUCTION

2. - RAPPELS : RADIOACTIVITE ET RAYONNEMENTS IONISANTS

- 2.1. ATOMES
- 2.2. RADIOACTIVITE
- 2.3. RAYONNEMENTS
- 2.4. ACTIVITE
- 2.5. PERIODE RADIOACTIVE

3. - ACTION DES RAYONNEMENTS IONISANTS SUR LES ORGANISMES VIVANTS

3.1. CONSTATATION DES NUISANCES

3.2. MODE D'ACTION

- 3.2.1. Ionisation, excitation
- 3.2.2. Action sur l'organisme humain

3.3. NOTIONS DE DOSE ABSORBEE ET D'EQUIVALENT DE DOSE

- 3.3.1. Dose absorbée D
- 3.3.2. Equivalent de dose H
- 3.3.3. Equivalent de dose efficace H_E
- 3.3.4. Equivalent de dose engagé
- 3.3.5. Equivalent de dose collectif

3.4. Exposition externe

- 3.4.1. Terminologie
- 3.4.2. Prévention du risque
- 3.4.3. Détermination de l'exposition

3.5. Exposition interne

- 3.5.1. Terminologie
- 3.5.2. Prévention du risque
- 3.5.3. Détermination de l'exposition
- 3.5.4. Période biologique T_b
- 3.5.5. Période effective T_e

4. - EXPOSITION NATURELLE DE LA POPULATION

- 4.1. VALEURS MOYENNES DE LA RADIOACTIVITE NATURELLE
- 4.2. REPARTITION MOYENNE DES EQUIVALENTS DE DOSE
- 4.3. RISQUE RADON

5. - EFFETS BIOLOGIQUES DES RAYONNEMENTS IONISANTS

- 5.1. ORIGINE DES DONNEES (fortes doses)
 - 5.1.1. Expérimentation animale
 - 5.1.2. Irradiations professionnelles chroniques
 - 5.1.3. Accidents d'irradiation
 - 5.1.4. Irradiations médicales
 - 5.1.5. Survivants d'Hiroshima et de Nagasaki

- 5.2. EFFETS SOMATIQUES NON-ALEATOIRES ET ALEATOIRES
 - 5.2.1. Effets non aléatoires (non-stochastiques)
 - 5.2.2. Effets aléatoires (stochastiques)

- 5.3. EFFETS TERATOGENES
- 5.4. EFFETS GENETIQUES
- 5.5. HORMESIS

6. - LE SYSTEME DE PROTECTION RADIOLOGIQUE

- 6.1. OBJECTIFS DE LA PROTECTION CONTRE LES RAYONNEMENTS
- 6.2. LA COMMISSION INTERNATIONALE DE PROTECTION RADIOLOGIQUE (C.I.P.R.)
- 6.3. PRINCIPES DE BASE DE LA C.I.P.R.
 - 6.3.1. Principe ALARA
 - 6.3.2. C.I.P.R. 26

- 6.4. RECOMMANDATIONS DE LA C.I.P.R.
 - 6.4.1. Eviter l'apparition d'effets non-stochastiques
 - 6.4.2. Réduire la fréquence des effets stochastiques à un niveau tolérable

- 6.5. LIMITES D'EXPOSITION
 - 6.5.1. Limites fondamentales
 - 6.5.2. Limites secondaires
 - 6.5.3. Limites dérivées
 - 6.5.4. Limites autorisées
 - 6.5.5. Niveaux de référence

6.6. ELEMENTS ESSENTIELS DE LA C.I.P.R. 90

- 6.6.1. Bases du système de protection, terminologie
- 6.6.2. Effets des rayonnements
- 6.6.3. Limites de doses (travailleurs et public)
- 6.6.4. Classification des travailleurs et des zones
- 6.6.5. Application

7. - REGLEMENTATION FRANCAISE

7.1. TEXTES LEGISLATIFS

7.2. CLASSIFICATION RADIOLOGIQUE DES TRAVAILLEURS

- 7.2.1. Catégorie A
- 7.2.2. Catégorie B
- 7.2.3. Travailleurs non exposés

7.3. LIMITATIONS ET REGLES PARTICULIERES

7.4. MISE EN APPLICATION

7.5. POSITION DE L'ACADEMIE DES SCIENCES DANS LE DOMAINE DES RISQUES LIES AUX FAIBLES DOSES

8. - COMPARAISON AVEC D'AUTRES RISQUES

8.1. RISQUES LIES AUX RAYONNEMENTS NON IONISANTS

- 8.1.1. Domaine d'existence
- 8.1.2. Mode d'action
- 8.1.3. Normes

8.2. RISQUES LIES AUX PRODUITS CHIMIQUES

- 8.2.1. Risque général
- 8.2.2. Exemple du chlorure de vinyle monomère
- 8.2.3. Exemple de l'oxyde d'éthylène

9. - CONCLUSION

10. - ANNEXES

11. - BIBLIOGRAPHIE

1. - INTRODUCTION

Toutes les activités humaines entraînent des risques pour l'homme et son environnement ; chacun de nous peut être confronté à différentes nuisances : bruit, fumées, vibrations, vapeurs toxiques ... Généralement, il a été nécessaire d'édicter des limites à ne pas dépasser pour éviter des effets dommageables pour la santé.

Le mot rayonnement (ou *radiation*) est un terme général qui englobe aussi bien les ondes hertziennes que les rayonnements ionisants. Dans ce document, on considérera principalement les rayonnements ionisants et leur action sur l'être humain.

Les sources de rayonnements existent de façon naturelle : galaxie (rayons cosmiques), uranium et descendants (dont le radon), potassium 40, ... ou ont été créées par l'homme pour être utilisées soit à des fins médicales : générateurs de rayons X, soit à des fins industrielles : réacteurs nucléaires.

Compte tenu du nombre et de la variété des sources de rayonnements rencontrées dans la vie courante, leur utilisation doit être strictement codifiée afin d'éviter des accidents ou des effets biologiques nuisibles.

Il importe de connaître les effets des rayonnements sur les organismes vivants afin de pouvoir prendre les mesures nécessaires pour ne retenir que les effets bénéfiques de leur utilisation et de réduire leurs effets nocifs à des niveaux de risques non significatifs.

2. - RAPPELS : RADIOACTIVITE ET RAYONNEMENTS IONISANTS

2.1. ATOMES

La matière est composée à partir d'éléments appelés atomes. Les atomes comportent un noyau constitué d'un assemblage de protons (p) et de neutrons (n), entouré d'un cortège d'électrons (e).

2.2. RADIOACTIVITE

Les atomes des éléments naturels sont stables dans leur grande majorité. Certains sont instables (radioactifs, radioéléments, radionucléides) et ils ont tendance à se transformer (se désintégrer) spontanément pour atteindre un autre état de plus grande stabilité par une réorganisation de leur noyau atomique. Cette transformation est accompagnée d'une émission de rayonnements chargés électriquement (alpha, bêta) ou non (gamma, X) ou de particules neutres (neutrons).

Actuellement, si l'on considère l'ensemble des atomes connus, on peut noter que les atomes stables sont minoritaires.

2.3. RAYONNEMENTS

. *Nature*

Les rayonnements alpha (α) sont composés de noyaux d'hélium (2 p, 2 n) chargés électriquement (e^{++}), ils sont arrêtés par une feuille de papier.

Les rayonnements bêta (β) sont composés d'électrons chargés électriquement (e^+ ou e^-), ils sont en général arrêtés par quelques millimètres d'aluminium.

Les rayonnements gamma (γ) et X sont des rayonnements de nature électromagnétique, ils sont atténués par des fortes épaisseurs de béton ou de plomb.

Les neutrons (n) sont des particules sans charge électrique, ils sont ralentis par les matériaux fortement hydrogénés.

L'énergie portée par ces rayonnements s'exprime en électron-volt (eV) qui est l'énergie acquise par un électron soumis à une différence de potentiel de 1 volt. Cette unité étant très petite, on utilise généralement des multiples : keV, MeV, GeV.

Le tableau de l'Annexe 1 page 37 rassemble quelques caractéristiques des rayonnements ionisants.

2.4. ACTIVITE A

L'activité est la grandeur qui mesure la vitesse avec laquelle une population d'atomes radioactifs se désintègre. L'unité d'activité est le becquerel (Bq) qui correspond à une désintégration par seconde.

L'ancienne unité d'activité est le curie (Ci) qui correspond à $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq.

2.5. PERIODE RADIOACTIVE T

La période radioactive est le temps nécessaire pour que l'activité d'une source radioactive constituée d'un radionucléide unique ait diminué de moitié.

Les périodes vont de quelques fractions de seconde à plusieurs milliards d'années.

Après 7 périodes, il reste $\frac{1}{1000}$ de l'activité initiale, après 10 périodes, il en reste $\frac{1}{100}$

3. - ACTION DES RAYONNEMENTS IONISANTS SUR LES ORGANISMES VIVANTS

3.1. CONSTATATION DES NUISANCES

Les nuisances engendrées par l'utilisation incontrôlée des rayonnements ionisants ont été mises en évidence peu de temps après leur découverte (rayons X par Roentgen en 1895 et radioactivité naturelle par Becquerel en 1896).

Les premières mises en garde contre les effets des rayons X datent de 1896, les premières radiodermes ont été signalées dès 1897 et le premier cas de cancer apparu sur une radioderme professionnelle a été signalé en 1902.

On s'est attaché très rapidement à comprendre le mode d'action des rayonnements, à définir des grandeurs physiques représentatives de cette action et à proposer une réglementation.

3.2. MODE D'ACTION

3.2.1. Ionisation, excitation

Lorsque des rayonnements ionisants pénètrent dans la matière, ils perdent leur énergie par des interactions électriques et des collisions avec les composants des atomes constituant cette matière.

Si l'énergie apportée est supérieure à un certain seuil (de l'ordre de 10 eV) il y a éjection d'un électron périphérique et création d'une paire d'ions chargés électriquement.

Si l'énergie apportée est inférieure à ce seuil, l'électron est déplacé sur une orbite interne ; le retour à l'état fondamental s'accompagne de l'émission d'un rayonnement électro-magnétique.

3.2.2. Action sur l'organisme humain

. Composition de l'organisme

Les tissus et les organes du corps humain sont constitués de cellules qui comportent environ 80 % d'eau et 20 % de composés organiques complexes dont l'acide désoxyribonucléique (A.D.N.), situé dans le noyau cellulaire et composant des chromosomes.

. Mode d'action

L'ionisation de l'eau crée dans un premier temps des radicaux libres à vie courte (10^{-5} s) qui sont extrêmement réactifs ; ils ont des propriétés, soit oxydantes : HO \cdot , soit réductrices : H \cdot , "électron aqueux".

. Conséquences

- Dans l'eau ces radicaux libres se reconstituent en donnant de l'hydrogène et de l'eau oxygénée, parfois de l'eau.
- Les liaisons chimiques peuvent être altérées au niveau des molécules organiques et induire des réactions biochimiques nuisibles.

- L'action sur l'A.D.N. peut entraîner des anomalies diverses, dont des cassures. Les mécanismes de réparation sont bien au point et 90 % des cassures sur un seul brin sont réparées en moins d'une heure, mais une mauvaise réparation peut être une source de mutation et de désordre cellulaire.
- Ce sont les cellules jeunes, à pouvoir de multiplication rapide qui présentent le plus grand risque de transformation ou de destruction par les rayonnements ionisants.

La succession des événements survenant à l'occasion d'une irradiation est représentée en Annexe 2 page 38.

3.3. NOTION DE DOSE ABSORBÉE ET D'EQUIVALENT DE DOSE

3.3.1. Dose absorbée : D

C'est l'énergie communiquée par le rayonnement au milieu naturel qu'il traverse, par unité de masse de ce milieu.

L'unité est le gray (Gy) qui correspond à une énergie déposée de 1 joule/kg.

Une dose délivrée pendant un certain temps est caractérisée par un débit de dose moyen \dot{D} qui s'exprime en Gy/s (unités S.I.).

En pratique, on utilise plus couramment :

mGy , μ Gy ; mGy/h , μ Gy/h.

L'ancienne unité de dose absorbée est le rad

$$1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ Gy.}$$

3.3.2. Equivalent de dose H

Pour une même dose absorbée, la nuisance biologique dépend de la nature et de l'énergie des rayonnements considérés. Dans le domaine des faibles doses absorbées, l'équivalent de dose H est une grandeur directement liée à la nuisance biologique.

La valeur de H s'obtient en multipliant la dose absorbée D par un facteur de qualité Q associé au rayonnement et par le produit N de facteurs multiplicatifs liés à la nature de l'irradiation : volume irradié, fractionnement, (actuellement $N = 1$)

$$H = D \times Q \times N$$

Valeurs de Q $\left\{ \begin{array}{l} 1 : \text{rayons X et } \gamma \\ 20 : \text{rayons } \alpha \\ 10 : \text{neutrons d'énergie quelconque.} \end{array} \right.$

L'unité de mesure est le sievert : Sv.

L'équivalent de dose reçu pendant un certain temps est caractérisé par un débit d'équivalent de dose moyen H qui s'exprime en Sv/s (système S.I.).

En pratique, on utilise plus couramment :

mSv, nSv, ; mSv/h, nSv/h.

L'ancienne unité d'équivalent de dose est le rem

$$1 \text{ rem} = 10^{-2} \text{ Sv.}$$

On notera que dans le cas des irradiations fortes, on exprime la dose en gray et l'on précise le type de rayonnement en cause ; dans le cas des irradiations faibles, on utilise directement l'équivalent de dose en sievert.

3.3.3. Equivalent de dose efficace : H_E

Dans le cas d'une irradiation partielle de l'organisme, seuls certains organes peuvent être concernés ; de même en cas de contamination interne, les différents organes n'ont pas tous une radiosensibilité identique, on introduit donc un facteur de pondération spécifique de l'organe qui permet d'obtenir une seule valeur d'équivalent de dose en cas d'irradiations diversement localisées.

$$H_E = \sum_T W_T \cdot H_T$$

W_T : facteur de pondération de l'équivalent de dose du tissu ou de l'organe (0,03 pour la thyroïde, 0,12 pour les poumons ...)

H_T : équivalent de dose au tissu ou à l'organe T.

3.3.4. Equivalent de dose engagé

Cette grandeur rend compte du risque engendré par l'ingestion ou l'inhalation d'un radioélément en fonction du temps de séjour dans l'organisme : on fait la somme des équivalents de dose délivrés par unité de temps à un tissu ou à un organe sur une durée conventionnelle de 50 ans en cas d'incorporation unique.

Un mode de calcul adapté tient compte d'incorporations successives et de l'âge de l'individu concerné.

3.3.5. Equivalent de dose collectif

Cette grandeur est utilisée par une population d'individus : on fait la somme de tous les équivalents de dose reçus par chacun des membres de la population, quelle que soit la valeur de la dose reçue.

On l'exprime en homme.sievert.

Son intérêt est de permettre la comparaison d'expositions d'origines différentes.

3.4. EXPOSITION EXTERNE

3.4.1. Terminologie

L'exposition aux rayonnements ionisants émis par une source scellée correspond à l'irradiation, ou exposition externe.

3.4.2. Prévention du risque

On se protège contre ce risque dès la conception des installations par interposition d'écrans puis lors de l'exploitation par : formation du personnel, respect des consignes, travail à distance, réduction du temps de présence, stockage des sources inemployées..., vérifications par contrôles périodiques du débit d'équivalent de dose et de l'étanchéité de la source.

3.4.3. Détermination de l'exposition

Le fonctionnement des détecteurs gazeux, solides ou liquides est basé sur les propriétés ionisantes des rayonnements.

Les appareils sont gradués en débit de dose ou en débit d'équivalent de dose.

Le suivi dosimétrique des agents est assuré au moyen de détecteurs "passifs" (films, pastilles thermoluminescentes) et de détecteurs "opérationnels" (Dosimètre Electronique Intégré).

3.5. EXPOSITION INTERNE

3.5.1. Terminologie

La contamination (présence de substances radioactives à la surface ou à l'intérieur d'un milieu quelconque) peut provoquer une exposition externe (dépôt de radionucléides sur la peau) ou une exposition interne par incorporation de radionucléides dans l'organisme (ingestion, inhalation, blessure, passage direct à travers la peau).

3.5.2. Prévention du risque

On se protège contre ce risque dès la conception des installations en interposant des barrières étanches entre la source de contamination et l'homme ou l'environnement et en renouvelant l'air des locaux : utilisation de sources scellées, enceintes de confinement avec filtres absolus, puis en exploitation par : formation du personnel, respect des consignes, stockage des sources inemployées, élimination des déchets ... et en vérifiant l'absence de contamination par des contrôles périodiques par frottis ou par prélèvements atmosphériques.

3.5.3. Détermination de l'exposition

Elle est mesurée directement au niveau de l'organisme par les émissions X ou γ des radioéléments : anthropogammamétrie.

Elle est mesurée indirectement sur les prélèvements nasaux et sur les excréta : urines et fèces.

3.5.4. Période biologique T_b

Après incorporation des radioéléments, ceux-ci sont éliminés par les urines et les fèces. La période biologique (T_b) est le temps nécessaire pour que la moitié du radioélément incorporé ait été éliminée par l'organisme. Sa valeur dépend, entre autres, de l'organe considéré et de la nature chimique du composé.

3.5.5. Période effective T_e

On considère souvent la période effective (T_e) qui est liée à la période radioactive et à la période biologique par la relation :

$$\frac{1}{T_e} = \frac{1}{T_r} + \frac{1}{T_b}$$

4. - EXPOSITION NATURELLE DES POPULATIONS

L'homme a toujours été soumis à une irradiation naturelle à laquelle s'est ajoutée celle provenant des activités humaines.

4.1. VALEURS MOYENNES DE LA RADIOACTIVITE NATURELLE

activité moyenne de la croûte terrestre	2 000 Bq/kg
activité moyenne des engrais phosphatés	5 000 Bq/kg
activité des pommes de terre	150 Bq/kg
activité de l'eau de mer	12 Bq/l
activité du lait	80 Bq/l
activité du corps humain	4 000 Bq.

4.2. REPARTITION MOYENNE DES EQUIVALENTS DE DOSE

. naturelle	cosmique	10 %	}	68 %
	tellurique	12 %		
	corps humain	9 %		
	radon	37 %		
. industrielle et retombées				3 %
. médicale				29 %

(en 1988, il y avait en France plus de 51 000 installations de radiographie classique et près de 1 000 installations "lourdes").

L'équivalent de dose moyen est de 2,4 mSv par an. Pour un homme de 70 kg, cette valeur correspond à environ 10^9 ionisations par seconde...

4.3. RISQUE RADON

Le radon est un gaz radioactif rencontré dans les produits de désintégration de deux chaînes radioactives naturelles : celle de l'uranium 238 qui donne le radon 222 (radon) et celle du thorium 232 qui donne le radon 220 (thoron).

Environ 90 % du risque provient du radon 222 ou plus exactement de ses descendants radioactifs solides émetteurs α qui se déposent dans le système pulmonaire ; compte tenu de la courte période de ces émetteurs (quelques minutes) on arrive très vite à l'équilibre de décroissance dans une pièce fermée non ventilée.

La ventilation (des sous-sols ou des vides sanitaires en particulier) est le moyen de prévention du risque radon dans certaines habitations.

5. - EFFETS BIOLOGIQUES DES RAYONNEMENTS IONISANTS

5.1. ORIGINE DES DONNEES (fortes doses)

5.1.1. Expérimentation animale

L'effet génétique des rayons X a été découvert en 1927 par Müller sur la mouche et depuis on dispose de nombreuses données, mais l'extrapolation des résultats à l'homme doit se faire avec prudence.

5.1.2. Irradiations professionnelles chroniques

• mineurs des mines d'uranium

Le risque de cancer pulmonaire a été reconnu, mais, l'influence des risques classiques (silicose) et du mode de vie, est difficile à estimer.

• peintres de cadrans au radium

Les premiers cas d'ostéosarcomes ont été décrits en 1925 ; l'estimation des doses a pu être faite avec une assez bonne précision et a montré la possibilité d'un seuil de déclenchement de cancer vers 0,8 Gy (16 Sv) pour cette irradiation due à des particules α .

- *radiologues*

Les radiodermites ont été très nombreuses chez les radiologues, mais l'estimation des doses est difficile.

5.1.3. Accidents d'Irradiation

Depuis 1945 on compte environ 250 accidents enregistrés ayant impliqué 1 200 personnes dont 600 ont été sévèrement touchées et 37 sont décédées (hors Tchernobyl avec 31 morts et les autres conséquences).

Il y a eu 9 décès supplémentaires par ingestion accidentelle de radioéléments (2 dans l'industrie et 7 par traitements médicaux).

5.1.4. Irradiations médicales

- traitement de la spondylarthrite ankylosante (rhumatisme) 15 000 sujets traités
- injection de thorotrast : produit de contraste contenant du thorium qui se fixe en particulier sur le foie et délivre des doses de plusieurs dizaines de Gy sur une vie, plusieurs dizaines de milliers de sujets ont été traités. Des études épidémiologiques conduites dans 5 pays ont montré l'apparition d'un excès de cancers du foie chez les malades traités par rapport aux populations témoins.
- traitements médicaux : près de 100 000 personnes par an sont traitées en France avec mise en oeuvre de radioéléments. Dans le traitement de certains cancers, des doses de 60 à 80 Gy sont délivrées à un organe en quelques semaines.

5.1.5. Survivants d'Hiroshima et de Nagasaki

Sur 250 000 personnes, 120 000 ont été identifiées et suivies régulièrement ; 91 000 ont eu une évaluation de dose individuelle. Malgré de nombreuses incertitudes : dosimétrie, état de santé des individus avant l'explosion, conditions de diagnostic des cancers, cette enquête permet un recul de 40 ans et présente un intérêt exceptionnel.

5.2. EFFETS SOMATIQUES NON ALEATOIRES ET ALEATOIRES

Ce sont les effets qui concernent l'individu irradié lui-même.

5.2.1. EFFETS NON-ALEATOIRES (non stochastiques)

Les caractéristiques de ces effets sont les suivantes :

- ils concernent des doses élevées reçues en une fois
- l'apparition est précoce : de quelques heures à quelques semaines
- il y a un seuil à partir duquel ces effets apparaissent
- la gravité augmente avec la dose
- tous les individus exposés sont atteints

On définit la dose létale 50 : dose pour laquelle 50 % des personnes décèdent dans le mois qui suit l'exposition, elle est de 4,5 Gy pour une exposition uniforme de l'organisme entier.

En irradiation localisée de la peau, 4 à 7 Gy peuvent donner un érythème (rougeur), 7 à 10 Gy peuvent donner une phlyctène (cloque).

5.2.2. EFFETS ALEATOIRES (stochastiques)

Les caractéristiques de ces effets sont les suivants :

- ils concernent les doses faibles ou moyennes reçues en plusieurs fois
- le délai d'apparition des effets peut être très long : jusqu'à quelques dizaines d'années
- il n'y a pas de seuil d'apparition des effets
- la relation dose-effet est mal connue : la probabilité croît avec la dose, mais non la gravité

- dans un groupe d'individus, seuls quelques-uns sont concernés
- ces types d'effets existent dans la nature.

L'extrapolation des données en-dessous de 1 Gy est impossible et l'hypothèse prudente retenue est celle d'une relation dose-effet linéaire sans seuil.

Pour les faibles doses, la C.I.P.R. (Commission Internationale de Protection Radiologique) admet un facteur de risque de $1,25 \cdot 10^{-2}$ par sievert. Ceci signifie que, si sur une population de 1 000 000 de personnes, chaque individu reçoit un équivalent de dose de 0,01 Sv (1 rem) il y a une probabilité d'occurrence de 125 décès supplémentaires par cancer par rapport à ceux dus à la fréquence naturelle (qui sont de 250 000 !).

5.3. EFFETS TERATOGENES

Ce sont également des effets somatiques (à seuil) qui atteignent le fœtus et peuvent provoquer un avortement spontané ou des anomalies graves.

Aucune lésion n'a été prouvée en-dessous d'un seuil de 0,2 Sv et le risque est considéré comme négligeable en-dessous de 0,1 Sv (10 rem).

La réglementation actuelle admet une exposition de 10 mSv (1 rem) pendant toute la durée de la grossesse. Il faut éviter toute irradiation (sauf urgence médicale) des femmes en état de procréer après les 9 premiers jours du cycle et jusqu'à la fin du quatrième mois de la grossesse.

5.4. EFFETS GENETIQUES

Ce sont des effets qui atteindraient la descendance non exposée d'individus irradiés.

On dispose d'un suivi comparatif sur des enfants japonais : on a comparé 30 000 enfants dont au moins un des parents avait été irradié à une dose de plus de 1 Gy, à 40 000 enfants dont aucun des parents n'avait été irradié. Aucune différence statistiquement significative n'a pu être mise en évidence entre ces groupes d'enfants.

La C.I.P.R. admet un facteur de risque calculé de $0,4 \cdot 10^{-2}$ par sievert pour les deux premières générations. Ceci signifie que pour une population de 1 000 000 d'individus exposés chacun à 0,01 Sv (1 rem), il y a un risque d'apparition de 40 anomalies génétiques dans la descendance de ces individus. Cette valeur est à comparer au nombre d'anomalies génétiques naturelles qui est de 100 000 (plus ou moins sévères) pour 1 000 000 de naissances.

5.5. HORMESIS

Ce terme est relatif aux éventuels effets stimulants des faibles doses.

Certaines études statistiques ont montré que la fréquence des cancers s'était révélée moindre dans les régions où l'irradiation naturelle était la plus élevée. On peut penser à un effet de sélection d'espèces et de races avec une action stimulante de l'irradiation sur certaines fonctions.

On sait par ailleurs que la synthèse de certaines enzymes de réparation des radiolésions est induite par l'irradiation.

6. - LE SYSTEME DE PROTECTION RADIOLOGIQUE

6.1. OBJECTIF DE LA PROTECTION CONTRE LES RAYONNEMENTS

L'exposition aux rayonnements fait partie des risques de la vie humaine, mais il faut réduire ce risque à un niveau tolérable.

Comme il n'y a pas de critère absolu d'acceptabilité, on a estimé que les activités liées à l'utilisation des rayonnements ionisants ne devaient pas présenter un niveau de risque supérieur à celui accepté dans d'autres activités humaines.

Pour les travailleurs, la comparaison est effectuée avec les industries les plus sûres (chaussure, vêtement) où le taux de décès de 1 pour 10 000 correspond à une exposition annuelle de 50 mSv (cf. Annexe 3 page 39).

Pour la population, on prend comme référence, un niveau de risque couramment accepté dans la vie quotidienne (cf. Annexe 4 page 40).

6.2. LA COMMISSION INTERNATIONALE DE PROTECTION RADIOLOGIQUE (C.I.P.R.)

A la suite de la constatation des nuisances des rayonnements ionisants, le premier congrès international de radiologie s'est tenu en 1925 ; puis en 1928 à l'occasion du second congrès a été créé le comité international de protection contre les rayons X et le radium, ce dernier s'est transformé en 1950 en devenant la Commission Internationale de Protection Radiologique.

Cet organisme international est composé d'experts de différents pays, il émet des recommandations qui sont reprises au niveau international par l'A.I.E.A. (Agence Internationale de l'Energie Atomique) et au niveau européen par le Conseil des Communautés Européennes, ce dernier émet alors des directives qui représentent le minimum applicable par les états membres, à charge pour eux d'adapter leur réglementation.

6.3. PRINCIPES DE BASE DE LA C.I.P.R.

6.3.1. Principe ALARA (As Low As Reasonably Achievable)

Dès 1970 la C.I.P.R. avait énoncé ce principe visant à maintenir les expositions à un niveau aussi bas que raisonnablement possible. Le but était de rappeler que les seuils constituent des limites à ne pas dépasser mais en aucun cas une valeur que tous les individus exposés pourraient atteindre.

6.3.2. C.I.P.R. 26

Dans cette publication, trois principes de base sont rappelés :

- justification d'activités ou de procédés impliquant la mise en oeuvre de rayonnements ionisants
- optimisation de la protection
- respect des limites de doses individuelles.

6.4. RECOMMANDATIONS DE LA C.I.P.R.

6.4.1. Eviter l'apparition d'effets non-stochastiques

Pour ce faire, la dose H_T reçue au niveau de chaque organe ou tissu devra être inférieure à 500 mSv par an, avec une exception pour le cristallin (150 mSv).

6.4.2. Réduire la fréquence des effets stochastiques à un niveau tolérable

Pour ce faire, la dose totale H_E à l'organisme entier devra rester inférieure à 50 mSv par an.

6.5. LIMITES D'EXPOSITION

6.5.1. Limites fondamentales

Ce sont des limites primaires, valables quelque soit le mode d'exposition et qui doivent, si nécessaire, prendre en compte la somme des deux risques exposition externe et exposition interne.

- . Pour les travailleurs, la limite est de 50 mSv par an pour l'organisme entier

- . Pour le public, la limite est égale au 1/10 de cette valeur, soit 5 mSv par an pour l'organisme entier

6.5.2. Limites secondaires

La Limite Annuelle d'Incorporation (L.A.I.) est égale à l'activité d'un radioélément qui, ayant pénétré dans l'organisme, délivre à cet organisme l'équivalent de dose engagé et la dose effective engagée limites.

Cette grandeur s'exprime en becquerels.

Dans le cas d'une incorporation de radioéléments différents, des facteurs correctifs tiennent compte des nuisances relatives de chacun des radioéléments.

Les valeurs des L.A.I. dépendent également de la forme physico-chimique des radioéléments.

Les radioéléments sont classés en 4 groupes selon l'importance de leur nuisance (radiotoxicité). On donne quelques valeurs de L.A.I. pour des radioéléments des différents groupes dans le tableau ci-après :

RADIOTOXICITE	RADIOELEMENT	L.A.I. par INGESTION (Bq/an)	
		Travailleurs	Public
GROUPE 1 TRES FORTE	$^{239}_{94}\text{Pu}$	2.10^5	2.10^4
	$^{226}_{88}\text{Ra}$	7.10^4	7.10^3
GROUPE 2 FORTE	$^{131}_{53}\text{I}$	10^6	10^5
	$^{90}_{38}\text{Sr}$	10^6	10^5
GROUPE 3 MODEREE	$^{137}_{55}\text{Cs}$	4.10^6	4.10^5
	$^{140}_{56}\text{Ba}$	2.10^7	2.10^6
GROUPE 4 FAIBLE	$^{238}_{92}\text{U}$	5.10^5	5.10^4
	^3_1H (forme HTO)	3.10^9	3.10^8

6.5.3. Limites dérivées

Ces limites correspondent à des conditions qui peuvent être rencontrées sur les lieux de travail ou dans l'environnement. On fixe des valeurs de contamination (ou d'irradiation) dans l'air, l'eau, la chaîne alimentaire, sur les surfaces, ...

On définit par exemple la Limite Dérivée de Concentration Admissible dans l'air (L.D.C.A.) pour les travailleurs. Une présence permanente dans une telle ambiance sur les lieux de travail entraînerait une incorporation par inhalation égale à la L.A.I..

6.5.4. Limites autorisées

Ces limites sont fixées par les gouvernements, par exemple pour les autorisations de rejets. Les valeurs sont généralement inférieures aux limites dérivées.

6.5.5. Niveaux de référence

6.5.5.1. Fonctionnement normal

• Niveau d'enregistrement

Une grande partie des mesures effectuées dans le cadre des programmes de surveillance donne des résultats trop faibles pour présenter de l'intérêt. On est souvent amené à définir un niveau d'enregistrement pouvant faire l'objet d'une exploitation.

• Niveau d'investigation

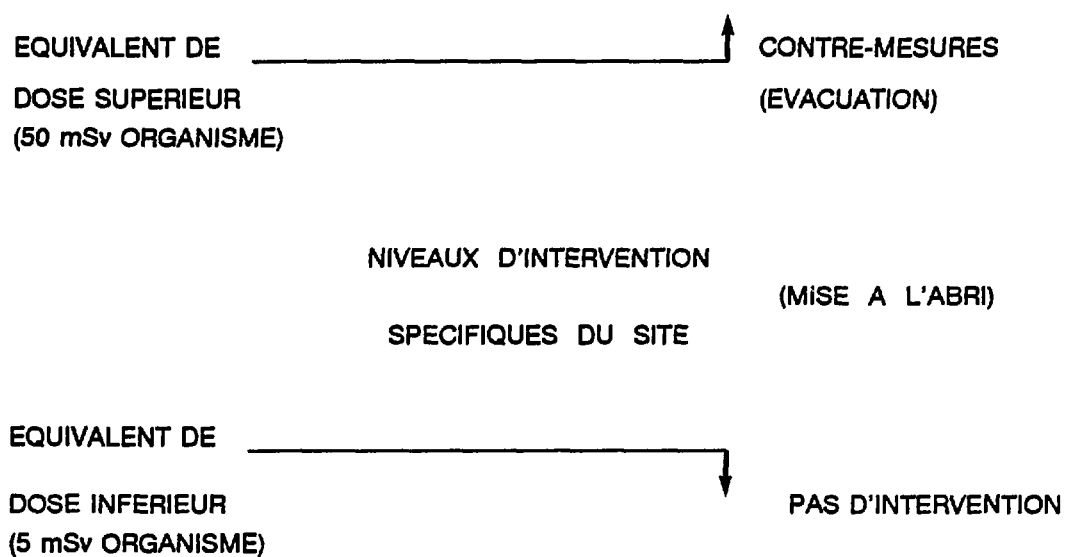
C'est un niveau de mesure à partir duquel on peut être amené à effectuer des investigations complémentaires pour garantir qu'il n'y a pas de risque de dérive dans les conditions de travail. Généralement, on se base sur une fraction des limites annuelles correspondant à la partie de l'année écoulée.

6.5.5.2. Cas accidentel

• Niveau d'intervention

Bien qu'il soit difficile de prévoir une situation accidentelle dans le détail, il est important d'avoir des estimations de niveaux préétablis.

Le schéma ci-après donne un exemple de situation



6.5.5.3. Exemple de normes alimentaires

Limites indicatives pour les radionucléides dans les aliments, applicables dans le commerce international à la suite d'une contamination nucléaire accidentelle. (18^è Codex Alimentarius, Genève 1989, partie du programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires).

• Aliments destinés à la consommation générale

radionucléides	limite (Bq/kg)
^{241}Am , ^{239}Pu	10
^{90}Sr	100
^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs	1 000

• Lait et aliments pour nourrissons

radionucléides	limite (Bq/kg)
^{241}Am , ^{239}Pu	1
^{90}Sr , ^{131}I	100
^{134}Cs , ^{137}Cs	1 000

6.6. ELEMENTS ESSENTIELS DE LA C.I.P.R. 90

6.6.1. Bases du système de protection, terminologie

• *Conservation des 3 principes*

justification

optimisation

limitation des doses

• *Activités humaines*

On distingue entre :

PRATIQUES : activités humaines augmentant l'exposition générale aux rayonnements, et

INTERVENTION : activités humaines diminuant l'exposition générale en influençant les causes d'exposition.

• *Exposition*

les différents types sont bien séparés :

PROFESSIONNELLE (au travail)

MEDICALE

DU PUBLIC

POTENTIELLE

6.6.2. Effets des rayonnements

• *Type et énergie des rayonnements*

Abandon du facteur de qualité Q (aspect microscopique) au profit d'un facteur de pondération W_R (aspect macroscopique).

• *Influence du débit de dose et du fractionnement*

Abandon du facteur N

• *Organes ou tissus pris en compte*

12 au lieu de 6

. Effets non-stochastiques

sont appelés déterministes

. Facteurs de risques

Les valeurs sont modifiées pour tenir compte de tous les détriments : risque de cancer curable ou non curable, risque d'effet héréditaire sur toutes les générations.

6.6.3. Limites de doses (travailleurs et public)

. Travailleurs

A partir d'une dose vie de 1 Sv, la limitation proposée est de 100 mSv moyennée sur 5 ans, sans pouvoir dépasser 50 mSv sur une année.

Les Limites Annuelles d'Incorporation (L.A.I.) sont calculées sur la base d'une dose de 20 mSv.

Dans certains cas, l'irradiation naturelle sur les lieux de travail peut être prise en compte (risque radon).

. Public

L'équivalent de dose reçu ne devrait pas dépasser 1 mSv par an. Dans des conditions particulières, une valeur supérieure peut être acceptée à condition que la moyenne sur 5 ans ne dépasse pas 1 mSv par an.

6.6.4. Classification des travailleurs et des zones

. Travailleurs

Le classement par catégories serait abandonné.

. Zones

Les zones contrôlées et surveillées sont maintenues avec des définitions légèrement différentes.

6.6.5. Application

Dans l'ensemble, les dispositions proposées sont homogènes avec les recommandations de 1977.

L'application à la réglementation des états membres de la Communauté Européenne pourrait intervenir vers 1994-1995.

L'abaissement prévu pour les valeurs des L.A.I. entraînera dans certains cas des difficultés au niveau de la mesure des L.D.C.A.

7. - REGLEMENTATION FRANCAISE

7.1. TEXTES LEGISLATIFS

La réglementation française a été revue ces dernières années afin de s'adapter aux recommandations de la C.I.P.R. (26 et 30) et aux directives du Conseil des Communautés Européennes.

Les textes de référence sont les suivants :

- Décret 86-1103 du 02/10/86 (abroge le décret 67-228 du 15/03/67) - Protection des travailleurs contre les rayonnements ionisants.
- Décret 88-521 du 18/04/88 (modifie le décret 66-450 du 20/06/66) - Principes généraux de protection contre les rayonnements ionisants.
- Décret 88-662 du 06/05/88 (modifie le décret 75-306 du 28/04/75) - Protection des travailleurs dans les Installations Nucléaires de Base (I N B).
- Arrêté du 25/11/87 (application du décret 86-1103) - Formation de la personne compétente à la radioprotection.

Le tableau des maladies professionnelles a été également remis à jour (cf. Annexe 5 page 41).

7.2. CLASSIFICATION DES TRAVAILLEURS

7.2.1. Catégorie A

Catégorie A : travailleurs directement affectés à des travaux sous rayonnements : personnes dont les conditions habituelles de travail sont susceptibles d'entraîner le dépassement des trois dixièmes des limites annuelles d'exposition.

7.2.2. Catégorie B

Catégorie B : travailleurs non directement affectés à des travaux sous rayonnements : personnes dont les conditions habituelles de travail sont telles qu'elles ne peuvent normalement pas entraîner le dépassement des trois dixièmes des limites annuelles d'exposition.

7.2.3. Travailleurs Non Exposés

Lorsque des personnes travaillant dans l'enceinte d'un centre nucléaire ont un poste de travail ne présentant pas de risque d'exposition aux rayonnements (supérieur au 1/10 des limites annuelles), elles sont classées en catégorie N.E. (Non Exposées).

N.B. : le tableau récapitulatif est joint en Annexe 6 page 42

7.3. LIMITATIONS ET REGLES PARTICULIERES

• Limites trimestrielles

Pour 3 mois consécutifs, les équivalents de dose reçus doivent rester inférieurs aux 6/10 de la limite pour 12 mois consécutifs.

• Femmes en état de procréer

Pour 3 mois consécutifs, l'équivalent de dose maximal en profondeur doit être inférieur au 1/4 de la limite pour 12 mois consécutifs.

- *Femme enceinte*

Exposition entre déclaration de grossesse et accouchement inférieure à 10 mSv.

- *Exposition exceptionnelle concertée*

tolérée sous réserve de certaines dispositions :

- . travailleur de catégorie A, autorisation, information

- . doit rester inférieure sur un an au double des limites annuelles et sur une vie inférieure à 5 fois ces limites.

- *Exposition d'urgence*

ne concerne que des volontaires, les limites peuvent être dépassées.

7.4. MISE EN APPLICATION

L'organisation de la protection contre les rayonnements est de la responsabilité du chef d'établissement qui s'appuie sur une ou plusieurs personnes compétentes ou sur un service de Protection contre les Rayonnements (S.P.R.) pour les établissements importants.

7.5. POSITION DE L'ACADEMIE DES SCIENCES DANS LE DOMAINE DES RISQUES LIES AUX RAYONNEMENTS IONISANTS

Devant les propositions d'évolution des normes de radioprotection, le Ministère de la Recherche et de la Technologie a posé les deux questions suivantes au président de l'Académie des Sciences :

1. - L'évolution des connaissances justifie-t-elle une révision des normes de radioprotection ?
2. - Que peut-on faire pour accroître nos connaissances en ce domaine et, éventuellement améliorer la radioprotection de la population et des travailleurs ?

Les conclusions du groupe d'études chargé de répondre à ces deux questions sont reproduites in-extenso ci-après.

"Au total, considérant que les normes actuelles paraissent déjà prudentes, qu'il n'existe aucune raison scientifique de les remettre en cause, que l'on pourrait en quelques années compléter les données sur les effets de faibles doses, il apparaît qu'un effort prioritaire devrait être effectué pour développer les recherches épidémiologiques sur les effets des faibles doses et qu'il serait préférable d'attendre le résultat de ces études pour procéder à une révision des normes."

8. - COMPARAISON AVEC D'AUTRES RISQUES

8.1. RAYONNEMENTS NON-IONISANTS

8.1.1. Domaine d'existence

Les rayonnements non-ionisants couvrent une étendue extrêmement vaste dans le domaine des ondes électro-magnétiques. Les longueurs d'onde vont de 100 nm à plus de 10 000 km et les fréquences de 3 PHz à moins de 30 Hz.

8.1.2. Mode d'action

L'énergie transportée par ces rayonnements se dépose à la surface du corps (λ inférieure à quelques cm) ou dans les tissus. Le tableau ci-après donne quelques exemples de lésions en fonction du mode d'action des rayonnements.

MODE D'ACTION	ZONE PREDOMINANTE	LESION
Photochimique	UV, visible bleu-vert	coup de soleil ophtalmie
Thermique	IR, micro-ondes	brûlure
Electrique		fibrillation cardiaque changement de perméabilité de la membrane cellulaire vis-à-vis de certains ions

8.1.3. Normes

• *Réglementation*

Une commission identique à la C.I.P.R. a été créée : l'I.N.I.R.C. (international Non-ionizing radiation Committee) qui a édicté des premières recommandations.

• *Conditions de mesure*

Le risque est fonction de la puissance absorbée par unité de masse, l'unité est le watt par kg.

Les calculs sont effectués à partir d'une valeur moyenne mesurée pendant une durée de 6 minutes, par rapport à une journée de 8 heures pour les travailleurs et de 24 heures pour les personnes du public.

• **Normes travailleurs**

	énergie absorbée
. corps entier	< 2 W/kg
. extrémités (mains, poignets, pieds, chevilles)	< 2 W/0,1 kg
. autres parties du corps	< 1 W/0,1 kg

• **Normes public**

. corps entier	< 0,08 W/kg.
----------------	--------------

A noter que, suivant leur nature, les rayonnements non-ionisants peuvent être perçus ou non selon les personnes exposées.

8.1.4. Remarque : action sur l'A.D.N.

Les rayons ultra-violetes d'une longueur d'onde de 254 nm, émis par une lampe au mercure, provoquent certaines lésions de l'A.D.N. identiques à celles provoquées par les rayonnements ionisants.

8.2. RISQUES LIES AUX PRODUITS CHIMIQUES

8.2.1. Risque général

Il existe environ 5 millions de substances chimiques, dont près de 60 000 produits chimiques d'usage courant.

Certains produits chimiques ont des effets mutagènes, cancérigènes, tératogènes reconnus. Les mécanismes cellulaires ont de nombreux points communs avec ceux liés aux effets des rayonnements ionisants et l'on peut estimer une équivalence risque chimique - risque lié aux rayonnements;

10 000 substances devraient être testées à court terme, actuellement 600 ont été évaluées et 85 % seraient cancérigènes.

En 1982, 7 types d'industries ou de professions et 23 composés ou groupes de substances étaient reconnus comme pouvant induire des cancers chez l'homme.

8.2.2. Exemple du chlorure de vinyle monomère

Ce produit est mutagène et cancérigène, l'équivalence établie avec le risque lié aux rayonnements conduit à estimer qu'une personne exposée pendant 1 200 heures par an à une atmosphère contenant 1 ppm de CVM reçoit environ 60 mSv.

8.3.3. Exemple de l'oxyde d'éthylène

L'éthylène est un gaz produit dans les combustions, il est en partie métabolisé dans le foie en oxyde d'éthylène qui est mutagène, cancérigène et tératogène.

Si l'on transpose ce risque à celui lié au tabac, le fait de fumer un paquet de 20 cigarettes par jour en inhalant la fumée équivaut à 20 mSv par an.

9. - CONCLUSION

Sur l'organisme humain, l'effet cancérigène des rayonnements ionisants a été mis en évidence pour des doses élevées (supérieures à un gray) reçues en une seule fois, alors que l'effet mutagène n'est que supposé.

Pour des doses faibles, reçues sur des temps longs (plusieurs années), on n'a pas pu mettre en évidence d'effets significatifs par rapport à la fréquence naturelle d'apparition des cancers et anomalies génétiques.

Actuellement, pour des conditions normales d'exploitation des installations, le système de protection radiologique mis en place sur la base des recommandations de la C.I.P.R. permet de maintenir les risques induits par les rayonnements ionisants à des niveaux acceptables, tant pour les travailleurs que pour le public.

10. - ANNEXES

1. CARACTERISTIQUES DES RAYONNEMENTS IONISANTS

2. IRRADIATION : SUCCESSION DES EVENEMENTS

3. COMPARAISON DE DIFFERENTS RISQUES PROFESSIONNELS

4. COMPARAISON DE DIFFERENTS RISQUES DANS LA VIE QUOTIDIENNE

5. TABLEAU DES MALADIES PROFESSIONNELLES

6. CLASSIFICATION DES TRAVAILLEURS.

ANNEXE 1

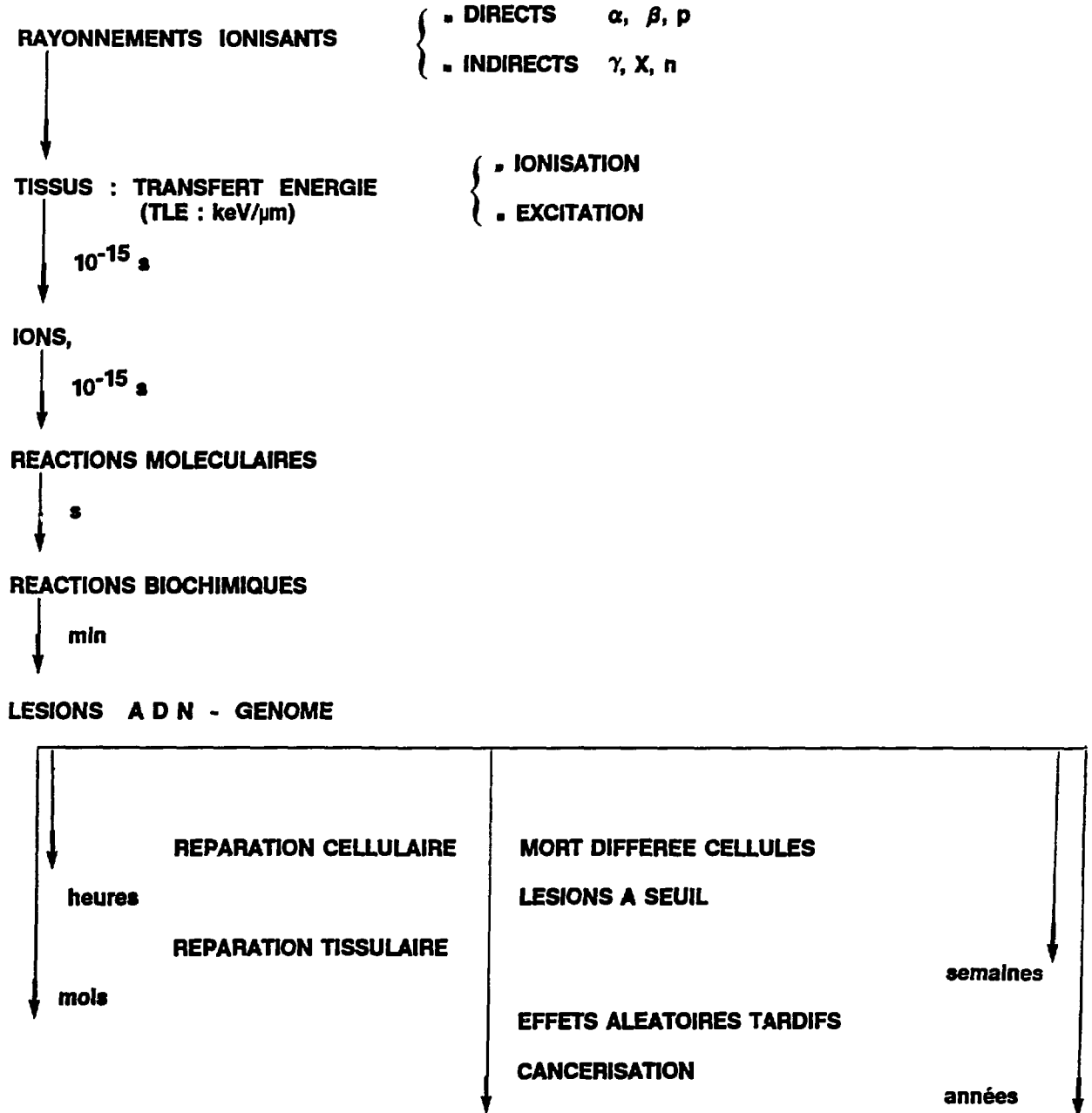
CARACTERISTIQUES DES RAYONNEMENTS IONISANTS

RAYON- NEMENTS	MASSE	CHARGE	ENERGIE (MeV)	PENETRATION* DANS L'ORGA- NISME (cm)	IONS CREESS** PAR μm DE MATIERE	RISQUE D'EXPOSITION
DIRECTEMENT IONISANTS						
β^- o ● -1	1 $(9,31 \cdot 10^{-31} \text{ kg})$	● ⁻ $(-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C})$	1	0,5	6	EXTERNE ET INTERNE
β^+ o ● +1	1	● ⁺	1	0,5	6	EXTERNE ET INTERNE
α 4 He 2	7 000	● ⁺⁺	5	0,005	3 700	INTERNE
p 1 H 1	1 836	● ⁺	80	5	500	EXTERNE
INDIRECTEMENT IONISANTS						
γ	0	0	1,1	10 (50 % dose)	4	EXTERNE ET INTERNE
X	0	0	0,2	7 (50 % dose)	80	
PARTICULES NON CHARGÉES						
n 1 n o	1 839	0	6	7 (50 % dose)	300 (12 MeV) 1100 (0,4 MeV)	EXTERNE

NOTA : la pénétration dépend fortement de l'énergie

*) } valeurs indicatives

ANNEXE 2 IRRADIATION : SUCCESSION DES EVENEMENTS



DESCENDANCE : EFFETS GENETIQUES SUPPOSES

N.B. : AUTRES AGENTS DESTRUCTEURS
α rayonnements non ionisants
α agents chimiques

ANNEXE 3

COMPARAISON DE DIFFERENTS RISQUES PROFESSIONNELS

PROBABILITE ANNUELLE DE DECES	NOMBRE MOYEN DE DECES PAR AN POUR 1 MILLION D'INDIVIDUS	ACTIVITES PROFESSIONNELLES	CAUSES DE DECES
10^{-6} à 10^{-5}	1 à 10	vêtements chaussures	accident accident
10^{-5} à 10^{-4}	10 à 100	textiles-papier imprimerie produits alimentaires chimie simple	accident accident accident accident
10^{-4} à 10^{-3}	100 à 1 000	métallurgie chantiers navals bâtiment mines de charbon poterie	accident accident accident pneumoconiose pneumoconiose
10^{-3} à 10^{-2}	100 à 10 000	pêche au chalut aviation (équipage) carbonisation	accident accident cancer du poumon
$> 10^{-2}$	$> 10 000$	fabrication du "gaz moutarde" fabrication de la naphtylamine	cancer du poumon cancer de la vessie

**D'après H. JAMMET, Colloque sur les risques sanitaires
PARIS 24-26 janvier 1980**

ANNEXE 4

COMPARAISON DE DIFFERENTS RISQUES DANS LA VIE QUOTIDIENNE

. UN MEME RISQUE DE MORT , PROBABILITE 1/1 million ,

EST CAUSE PAR (d'après le PR. TUBIANA)

- . 1 CIGARETTE**
- . 2 HEURES DE SEJOUR DANS UNE PIECE AVEC DES FUMEURS**
- . 0,5 LITRE DE VIN**
- . 100 KM EN AUTO**
- . 1 HEURE DE PECHE EN MER**
- . 6 KM EN MOTO**
- . LA PRISE DE CONTRACEPTIFS ORAUX PENDANT 2,5 SEMAINES**
- . 10 mRem (0,1 m Sv) soit :**
 - dose reçue pendant 1 trimestre en moyenne par la population du fait du radiodiagnostic**
 - 3 ans de vie à proximité immédiate d'une centrale nucléaire**
 - 1/2 jour d'irradiation à dose maximale admissible pour un travailleur de catégorie "A"**

ANNEXE 5

TABLEAU DES MALADIES PROFESSIONNELLES

Affections provoquées par les rayons X ou les substances naturelles ou artificielles ou toute autre source d'émission corpusculaire (tableau modifié par les décrets des : 9 décembre 1950, 1er octobre 1960, 10 avril 1963 et 22 juin 1984).

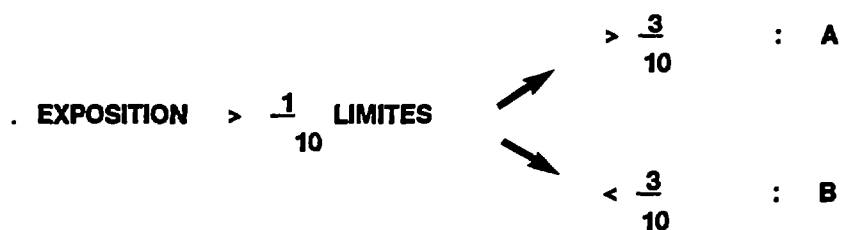
Désignation des maladies	Délai de prise en charge	Liste indicative des principaux travaux susceptibles de provoquer ces affections
Anémie, leucopénie, thrombopénie ou syndrome hémorragique consécutifs à une irradiation aiguë	30 jours	Tous travaux exposant à l'action des rayons X ou des substances radioactives naturelles ou artificielles, ou à toute autre source d'émission corpusculaire, notamment :
Anémie, leucopénie, thrombopénie ou syndrome hémorragique consécutifs à une irradiation chronique	1 an	Extraction et traitement des minerais radioactifs ;
Blépharite ou conjonctivite	7 jours	Préparation des substances radioactives ;
Kératite	1 an	Préparation de produits chimiques et pharmaceutiques radioactifs ;
Cataracte	10 ans	Préparation et application de produits luminescents radifères ;
Radiodermites aiguës	60 jours	Recherches ou mesures sur les substances radioactives et les rayons X dans les laboratoires ;
Radiodermites chroniques	10 ans	Fabrication d'appareils pour radiothérapie et d'appareils à rayons X ;
Radio-épithéliite aiguë des muqueuses	60 jours	Travaux exposant les travailleurs au rayonnement dans les hôpitaux, les sanatoriums, les cliniques, les dispensaires, les cabinets médicaux, les cabinets dentaires et radiologiques, dans les maisons de santé et les centres anticancéreux ;
Radiolésions chroniques des muqueuses	5 ans	
Radionécrose osseuse	30 ans	
Leucémies	30 ans	Travaux dans toutes les industries ou commerces utilisant les rayons X, les substances radioactives, les substances ou dispositifs émettant les rayonnements indiqués ci-dessus
Cancer broncho-pulmonaire primitif par inhalation	30 ans	
Sarcome osseux	50 ans	

ANNEXE 6

CLASSIFICATION DES TRAVAILLEURS

CATEGORIE DE TRAVAILLEURS	RISQUE D'EXPOSITION ANNUELLE (organisme entier)	SUIVI DOSIMETRIQUE	SUIVI MEDICAL
A	> 15 m S v	INDIVIDUEL MENSUEL (film)	2 VISITES/AN
B	< 15 m S v	INDIVIDUEL moyen adaptés périodicité au CEA*	1 VISITE/AN
NE	< 5 m S v		1 VISITE/AN

* NIGG 113 du 09/04/87



N.B. : UNE SEULE LIMITE LEGALE : 50 mSv/an

. ETUDE ET SUIVI DOSIMETRIQUE DES POSTES DE TRAVAIL

. FICHE DE POSTE ET DE NUISANCES

. CLASSIFICATION DES ZONES DE TRAVAIL

N.B. : EXPOSITION NATURELLE 2,5 mSv/an

BIBLIOGRAPHIE

- BEIR IV
Health risks of radon and other internally deposited alpha-emitters
NATIONAL ACADEMY PRESS
WASHINGTON, D.C. 1988

- CHOUDENS de, H
Mémento du risque nucléaire
Edité par l'Association d'information pour la Prévention des Risques Majeurs
Société Alpine de Publications Grenoble

- C.I.P.R. 26
Recommandations of the International Commission on Radiological Protection
PERGAMON PRESS 1977

- C.I.P.R. 30
Limits for Intakes of Radionuclides by workers
PERGAMON PRESS 1978

- DRION P-A
Effets biologiques des rayonnements ionisants
Service Médical du Travail
Centre d'Etudes de Bruyères le Châtel

- I.R.P.A. Guidelines
Guidelines on limits of exposure to radiofrequency electromagnetic fields in the
frequency range from 100 kHz to 300 GHz
Health Physics Vol 54 n° 1 p 115-123 1988

- JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE FRANCAISE
Protection contre les rayonnements ionisants
n° 1420 tomes I et II 6^e édition février 1990

- LEONARD A
Les mutagènes de l'environnement et leurs effets biologiques
MASSON 1990

- NENOT J.C., STATHER J W
Toxicité du plutonium, de l'américium et du curium
Technique et Documentation PARIS 1978
publié par la Commission des Communautés Européennes

- National Radiological Protection Board
Living with radiation ed 1990

- Rapport de l'Académie des Sciences n°23
Risques des rayonnements ionisants et normes de radioprotection
Novembre 1989

- Société Française de Radioprotection
La radioactivité dans l'environnement 1990

- TUBIANA M, BERTIN M
Radiobiologie, radioprotection
Que sais-je ? PUF 1989

- TUBIANA M, DUTREIX J, WAMBERSIE A
Radiobiologie HERMANN 1986

- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME
Radiations, effects, risks 1985.