



CONNAISSANCES DE BASE SUR LES RISQUES NUCLÉAIRES : LES LEÇONS TIRÉES DE TCHERNOBYL ET FUKUSHIMA

Viktor Poyarkov



LISTE
des coauteurs qui ont contribué à améliorer cet ouvrage
et à le rendre compréhensible par tous

<i>Badalyan Stepan</i>	Arménie
<i>Bantush Anatoliy</i>	Moldova
<i>Barnova Teya</i>	Géorgie
<i>Barelli Alessandro</i>	Saint-Marin
<i>Chelidze Lia</i>	Géorgie
<i>El Mouraouah Azelarab</i>	Maroc
<i>Georgieva Liliana</i>	Bulgarie
<i>Gibson Kelsey</i>	Etats-Unis
<i>Gruden Yaroslava</i>	Ukraine
<i>Kachanov Sergey</i>	Russie
<i>Kazimirova Galina</i>	Ukraine
<i>Kholosha Vladimir</i>	Ukraine
<i>Kolev Koleo</i>	Bulgarie
<i>Korshunov Sergey</i>	Russie
<i>Machavariany Marina</i>	Géorgie
<i>Massue Jean-Pierre</i>	France
<i>Marchenko Tatyana</i>	Russie
<i>Mayer Cassie</i>	Etats-Unis
<i>McGrory-Klyza Isabel</i>	Etats-Unis
<i>Ojagov Habib</i>	Azerbaïdjan
<i>Raymond Amanda</i>	Etats-Unis
<i>Slayton Hayley</i>	Etats-Unis

Avant-propos

Parmi les plus importantes leçons à tirer de l'accident de Tchernobyl figure l'amplification de ses effets sur la population due au retard avec lequel les autorités ont communiqué sur la gravité de l'accident et les mesures de protection à prendre. Les mêmes hésitations et le même manque de transparence de la part des autorités se sont malheureusement reproduits au moment de l'accident de Fukushima. De tels manquements sont devenus intolérables pour les citoyens. En démocratie, les autorités sont tenues de rendre des comptes à la population et devant la justice. Par conséquent, les décisions qui affectent la vie de tous devraient être soumises au contrôle public. D'où la nécessité de repenser la gouvernance des risques, notamment le risque radiologique, et de faire en sorte que, dans nos sociétés démocratiques, les citoyens soient davantage associés aux grandes décisions afférentes à leur sécurité et à leurs moyens d'existence.

Le Conseil de l'Europe plaide en faveur d'une plus forte participation des citoyens aux décisions qui ont des incidences sur leur vie. Notre Organisation est bâtie autour des valeurs fondamentales des droits de l'homme, de l'état de droit et de la démocratie, celles-là même qui ont été ignorées par le système politique témoin de la catastrophe de Tchernobyl. La démocratie est la condition préalable à toute volonté de bâtir des sociétés plus sûres et plus résilientes. Les populations ont le droit d'être informées des risques qui les entourent et les autorités publiques le devoir de les associer aux mesures et aux procédures qui visent à les protéger de ces risques. L'un des aspects fondamentaux de la sécurité est l'accès à des informations adaptées sur les risques qu'une activité industrielle peut faire courir à la population.

Le présent ouvrage est le résultat d'un projet lancé par l'Accord européen et méditerranéen sur les risques majeurs (EUR-OPA) du Conseil de l'Europe sur les risques radiologiques, en partant du principe qu'une meilleure information sur les risques aide à protéger les populations. L'objectif de l'ouvrage que vous tenez entre vos mains est ambitieux : présenter des connaissances de base sur les risques nucléaires sous une forme pertinente et intéressante pour différents groupes : enseignants, journalistes, décideurs, élèves et étudiants, etc. L'expérience de Tchernobyl et de Fukushima montre que la seule source d'information digne de confiance dans les situations d'urgence est la propre analyse des premières informations que font les personnes concernées en se fondant sur leurs propres connaissances de base.

Persuadés que les scientifiques ne pouvaient pas à eux seuls rédiger un tel ouvrage, il a été convenu qu'un physicien spécialiste du nucléaire en élabore seulement une première version, qui a ensuite été soumise à la consultation d'un très large groupe de professionnels d'autres domaines. L'ouvrage, traduit dans onze langues, a été examiné en Arménie, en Azerbaïdjan, en Belgique, en Bulgarie, en France, en Géorgie, au Luxembourg, en Moldova, au Maroc, en Russie, à Saint-Marin, en Turquie, en Ukraine, aux Etats-Unis et dans d'autres pays. Beaucoup de propositions très utiles nous ont été envoyées par des journalistes, des décideurs, des enseignants et des étudiants, dont les contributions ont permis d'améliorer le texte et de le rendre plus compréhensible pour les personnes du monde entier (voir en annexe la liste des coauteurs). Nous leur sommes à tous reconnaissants et espérons sincèrement diffuser plus largement, grâce à cet ouvrage, les connaissances de base sur la sécurité nucléaire.

Eladio FERNANDEZ-GALIANO

Secrétaire exécutif

Accord européen et méditerranéen sur les risques majeurs (EUR-OPA), Conseil de l'Europe

SOMMAIRE

1. Introduction	4
2. La nature de la radioactivité, les atomes radioactifs et les atomes stables, et les types de rayonnement	5
3. L'interaction rayonnement-matière	6
4. Sources de rayonnement	7
<i>Rayonnement naturel</i>	7
<i>Rayonnement produit par l'homme</i>	8
5. Exposition des hommes au rayonnement	12
6. Effets des radiations sur la santé	17
7. Détection du rayonnement	19
8. Gestion des urgences nucléaires – prévention, préparation et réaction	19
9. Que faut-il faire en cas d'accident nucléaire ?	23
Annexes	26

1. Introduction

L'accident nucléaire du réacteur de Tchernobyl en 1986 a été un choc pour le monde entier. Plus de 100 000 personnes originaires de Biélorussie, d'Ukraine et de Russie ont dû être évacuées de la zone contaminée et environ cinq millions de personnes au total ont été exposées aux radiations. En France, en Allemagne, en Pologne, et d'autres pays d'Europe, des mesures de protection contre les radiations ont été mises en place.

L'accident nucléaire de Fukushima en 2011 a prouvé qu'à chaque réacteur nucléaire correspondaient des risques spécifiques. La perception des accidents nucléaires de Tchernobyl et de Fukushima par le public a clairement démontré l'incroyable inefficacité du système d'information des populations sur les risques nucléaires afférents aux libérations de radionucléides.

Les doses d'exposition relevées en Europe provenant des émissions d'iode 131 radioactif de Fukushima ont représenté moins d'un millième des valeurs d'exposition aux radionucléides naturels tels que le radon ou le potassium. Néanmoins, l'iode 131 a suscité de vives inquiétudes de la part du grand public dans de nombreuses villes européennes. Dans le cas des accidents nucléaires, peu nombreuses sont les personnes à faire confiance aux informations officielles communiquées par les autorités ou les experts en évaluation des risques nucléaires. Cette observation démontre clairement qu'un seul moyen existe pour informer en toute confiance les populations des risques nucléaires : leur fournir des connaissances de base sur les risques d'origine radiologique et leur permettre de développer leur propre capacité d'évaluation des risques.

Malheureusement, les recommandations sous la forme de questions fréquemment posées destinées à indiquer les réactions à adopter face aux urgences d'origine nucléaire n'ont généralement pas fonctionné, celles-ci nécessitant des connaissances de base pour bien comprendre les réponses à certaines questions importantes. Souvent, le grand public pense que de faibles doses de radionucléides artificiels (tels que l'iode 131, le césium 137 ou le strontium

90) sont beaucoup plus dangereuses que les doses de radiation naturelles. Cependant, dans les deux cas, les agents nocifs sont les mêmes : les particules gamma, bêta ou alpha (le risque se mesurant par la dose d'exposition).

De nos jours, certains pays produisent plus de 50 % de leur électricité dans des centrales nucléaires et la médecine, l'industrie, les transports, l'armée et d'autres secteurs d'activités utilisent de la matière radioactive. Nous sommes exposés au rayonnement naturel de l'espace et de la terre (provenant du granite ou du thorium dans certains sables), ou en ingérant du potassium naturellement radioactif et en respirant du radon radioactif. L'exposition aux radiations fait partie de nos vies. En revanche, des risques afférents aux accidents nucléaires ou radiologiques existent si l'exposition aux radiations entraîne un risque pour la vie.

Nous devons tous nous poser les questions suivantes :

**Quels sont les risques nucléaires ou radiologiques réels ? Quelle en est la nature ?
Que devons-nous faire en cas d'accident nucléaire ?**

Chacun d'entre nous devrait pouvoir répondre à ces questions.

2. La nature de la radioactivité, les atomes radioactifs et les atomes stables, et les types de rayonnement

Tous les matériaux sont constitués d'atomes, eux-mêmes composés d'un noyau porteur de charges positives entouré de charges négatives, les électrons. Un noyau atomique contient des charges positives, les protons, et des neutrons, qui ne portent aucune charge. La charge du noyau équivaut au nombre de protons qu'il renferme (voir annexes, page 5).

Les propriétés chimiques des atomes dépendent uniquement du nombre d'électrons, égal à celui des protons du noyau. Certains atomes présentent les mêmes propriétés chimiques mais un nombre différent de neutrons dans leur noyau. Leurs propriétés physiques sont donc différentes. Certains de ces atomes peuvent présenter une instabilité ou être radioactifs.

La radioactivité est la capacité de certains noyaux à se transformer spontanément en d'autres noyaux d'un niveau énergétique inférieur. L'énergie en surplus est libérée en émettant des particules alpha, bêta ou gamma (dans certains cas spéciaux, des neutrons ou d'autres particules peuvent être libérées).

Les atomes qui présentent les mêmes propriétés chimiques tout en possédant un nombre différent de neutrons dans leur noyau sont appelés isotopes ou nucléides, et les isotopes radioactifs portent le nom de radionucléides. L'hydrogène possède par exemple trois principaux isotopes. Le noyau de l'isotope léger contient un seul proton et est stable. Son nombre de masse atomique est $A=1$ et son symbole ^1H . Autre isotope de l'hydrogène, le deutérium possède un noyau constitué d'un proton et d'un neutron et est également stable. Son nombre de masse atomique est $A=2$ et son symbole ^2H . En revanche, l'isotope de l'hydrogène qui contient un noyau renfermant un proton et deux neutrons est instable. Il s'agit du tritium, de symbole ^3H . L'isotope stable de l'iode est l'iode 127 (^{127}I) tandis que l'isotope ^{131}I (ou iode – 131) est radioactif. Les deux isotopes possèdent les mêmes propriétés chimiques. Les éléments chimiques présents dans la nature sont dans certains cas un mélange d'isotopes stables et à longue période, comme le potassium normal, présent dans les minéraux et la nourriture, mélange des isotopes stables ^{39}K et ^{41}K et de l'isotope à longue période ^{40}K .

Lorsqu'un isotope est radioactif, quelle est l'unité de cette radioactivité ? Une désintégration par seconde est l'unité de radioactivité qui correspond au becquerel (symbole :

Bq). Le curie (Ci), ancienne unité, est égal à $3,7 \times 10^{10}$ Bq. Le taux de désintégration varie selon les différents isotopes radioactifs (les radionucléides). Il est caractérisé par une demi-vie, c'est-à-dire la période de temps au bout de laquelle la moitié de tous les radionucléides se sera désintégrée pour donner naissance à d'autres atomes. Au cours de la demi-vie, la radioactivité est divisée par deux, au bout de deux demi-vies par quatre, au bout de trois, par huit, etc. Les radionucléides de période courte sont plus radioactifs que les radionucléides à longue période, pour une quantité identique. L'iode 131 (^{131}I), a par exemple une demi-vie de 8,02 jours et le césium 137 (^{137}Cs) une demi-vie de 30,07 ans. La radioactivité de l'iode 131 est donc 1 370 fois plus élevée que celle du césium 137.

De l'énergie nucléaire peut se dégager non seulement de la désintégration radioactive, mais aussi de réactions nucléaires, qui se produisent lorsque certains noyaux interagissent, créant ainsi un nouveau noyau et libérant de l'énergie. Le soleil et d'autres étoiles brillent grâce à des réactions nucléaires. Tous les réacteurs nucléaires actuels produisent de l'énergie à partir de réactions en chaîne issues de la fission nucléaire, malheureusement sources de déchets hautement radioactifs, principale origine du risque nucléaire. Théoriquement, il est possible de créer des réactions nucléaires produisant de l'énergie sans générer de déchets radioactifs, mais personne n'est en mesure de les réaliser à l'heure actuelle. Un bon sujet de recherche pour les années à venir.

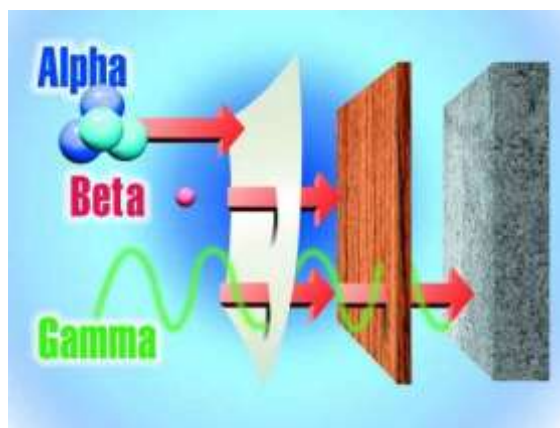
3. L'interaction rayonnement-matière

Le rayonnement ionisant (c'est-à-dire le flux de particules alpha, bêta ou gamma) est en substance le résultat d'une désintégration radioactive. Il peut aussi être produit par des réactions nucléaires, telles que la fission ou la fusion nucléaire, et par les accélérateurs de particules.

L'énergie produite par une désintégration radioactive est émise sous la forme de trois principaux types de rayonnement : les particules alpha, les particules bêta et les rayonnements gamma, de différentes énergies.

Les particules chargées telles que les particules bêta (flux d'électrons ou d'antiélectrons) et alpha (flux des noyaux d'hélium 4) interagissent directement avec les électrons des atomes de la matière et transfèrent aux atomes et molécules l'énergie nécessaire à l'ionisation ou l'excitation. Les particules alpha, lourdes et porteuses de deux charges, réagissent intensément avec la matière, produisant ainsi un grand nombre d'ions par unité de longueur sur la distance qu'elles parcourent. Par conséquent, elles ne se diffusent pas en profondeur dans la matière. La particule alpha du radium 226 (^{226}Ra), par exemple, ne parcourt qu'environ 4 cm dans l'air et ne peut pénétrer une simple feuille de papier. Dans les tissus, elle ne se propage que sur environ $4 \mu\text{m}$.

A l'image des particules alpha, les particules bêta parcourent une distance moyenne (portée) dans la matière qui dépend de leur énergie initiale. Les



particules bêta issues par exemple de la désintégration du césium 137 (^{137}Cs) parcourront jusqu'à 8 m dans l'air et environ 10 mm dans l'eau et seront complètement absorbées après avoir parcouru 1 mm dans l'acier.

Les quanta gamma (rayonnements) ou rayons X n'ionisent pas tous les atomes le long du chemin qu'ils parcourent, contrairement aux particules alpha ou bêta. Seuls certains d'entre eux interagissent avec les électrons des atomes et leur transfèrent de l'énergie, mais une part significative du rayonnement traverse la matière sans modification d'énergie. La pénétration des rayons gammas est la plus forte, notamment celle des rayons gammas de haute énergie. Leur capacité à interagir avec les tissus est également plus faible. Les rayons gammas du césium 137 (^{137}Cs) perdent la moitié de leur intensité après avoir parcouru 5 cm dans le béton, 1,7 cm dans l'acier ou 1 cm dans du plomb.

Les neutrons n'interagissent pas directement avec les électrons de la matière, et ne peuvent ioniser directement les atomes. Ils interagissent avec les noyaux atomiques puis transfèrent l'énergie à la matière. Les neutrons peuvent produire des noyaux radioactifs qui émettent un rayonnement ionisant lorsqu'ils se désintègrent.

Lorsque l'énergie du rayonnement est absorbée par la matière, des transformations chimiques s'opèrent aux échelles atomiques et moléculaires. Si l'exposition est suffisamment importante, des changements peuvent être immédiatement observés. Du verre fortement irradié change par exemple de couleur.

La quantité d'énergie de rayonnement absorbée par gramme de matière est appelée la dose absorbée. Celle-ci permet de mesurer la capacité du rayonnement à endommager les tissus et les risques radiologiques. Le [gray](#) (Gy), qui équivaut à 1 J/kg, est l'unité utilisée dans le système international pour mesurer la dose absorbée et correspond à la quantité de rayonnement requise pour céder 1 [joule](#) d'énergie à 1 [kilogramme](#) de matière, quelle qu'elle soit. Le [rad](#) est une ancienne unité, égale à 0,01 joule d'énergie cédée par kilogramme de matière. 100 rad = 1 Gy.

4. Sources de rayonnement

Rayonnement naturel

Rayonnement terrestre. Lors de la création de l'univers, des isotopes stables n'ont pas été les seuls à apparaître : des radionucléides se sont également formés. Ces isotopes stables et radioactifs ont été les matériaux qui ont formé notre planète Terre. Depuis, une majorité de radionucléides s'est désintégrée, mais certains d'entre eux, tels que l'uranium 235 et 238, le thorium 232 et le potassium 40, dont les demi-vies sont très longues, existent encore à l'heure actuelle. La demi-vie de l'uranium 238 est d'environ 4,5 milliards (10^9) d'années, tandis que les demi-vies de l'uranium 235, du thorium 232 et du potassium 40 s'élèvent respectivement à $0,71 \times 10^9$, 14×10^9 et $1,3 \times 10^9$ ans.

Lorsque les radionucléides originels, à savoir l'uranium 235 et 238 et le thorium 232 se sont désintégrés, ils ont produit d'autres radionucléides qui à leur tour en ont formé d'autres. L'uranium et le thorium initient chacun une chaîne de descendance radioactive qui se trouve pratiquement toujours en présence des nucléides parents. Bien que de nombreux radionucléides fils aient une période courte, comme le radon, ils sont disséminés dans l'environnement car

formés en permanence à partir de précurseurs caractérisés par une longue demi-vie (voir Annexes, tableau 1).

Le radon, gaz inodore et invisible environ huit fois plus lourd que l'air, est le radionucléide qui présente le plus d'incidences sur les humains en termes d'exposition aux radiations (il a produit environ la moitié de la dose totale d'exposition des humains provenant du rayonnement naturel). Il existe sous deux formes principales : le radon 222, l'un des radionucléides de la séquence formée par la désintégration de l'uranium 238 et le radon 220, produit de la chaîne de désintégration du thorium 232.

Le radon provient de la désintégration de l'uranium ou du thorium ; il est produit dans tous les matériaux contenant l'un ou l'autre de ces éléments, à savoir la croûte terrestre, les sols et les matériaux de construction. Tous ces matériaux dégagent du radon dans l'atmosphère. Le radon faisant partie des gaz inertes (connus également sous le terme de gaz rares), il peut s'échapper des surfaces pour se diriger vers l'atmosphère. La quantité de radon qui émane d'une masse donnée de roche dépend de la quantité d'uranium et de thorium qu'elle contient. La concentration du radon dans l'air dépend également du taux d'air frais en mouvement dans l'espace. Dans les sous-sols, les caves et les puits de mine où peu d'air circule, les concentrations de radon peuvent atteindre de très hauts niveaux. Une ventilation efficace des mines est souvent nécessaire pour maintenir la concentration du radon en dessous de seuils pouvant représenter un danger pour les travailleurs.

Le radon se désintègre assez rapidement, pour former une série de radionucléides fils (tableau 1 des annexes). Une fois formée dans l'atmosphère, la descendance du radon se fixe à de petites particules de poussière ou d'eau susceptibles de se déposer sur les sols, les plantes et d'être inhalées. Les précipitations sont particulièrement efficaces pour éliminer de l'atmosphère les radionucléides fils du radon. La concentration du radon dans les espaces clos est en moyenne environ 10 à 20 fois plus élevée qu'à l'extérieur.

Rayonnement cosmique. Une autre source naturelle de rayonnement provient des réactions nucléaires des étoiles. Ces réactions produisent des rayons cosmiques, constitués de protons énergétiques, d'électrons, et autres particules, ainsi que de rayons gamma et rayons X. Notre étoile la plus proche, le Soleil, produit la plus grande partie de notre rayonnement cosmique. Le champ magnétique de la terre ainsi que l'atmosphère protègent les hommes du rayonnement cosmique. Sans eux, personne ne pourrait vivre sur terre.

Le rayonnement cosmique augmente significativement à haute altitude, dans un avion ou dans les montagnes. Il produit aussi certains radionucléides tels que le carbone 14 (^{14}C) et le tritium (^3H) dans l'atmosphère.

Rayonnement produit par l'homme

Les radionucléides produits par l'homme sont le résultat d'activités humaines. Les principales sources de rayonnement sont la production d'armes nucléaires et les réacteurs nucléaires ainsi que les installations connexes (mines d'uranium, préparation du combustible nucléaire et usines de retraitement, gestion des déchets nucléaires). Par ailleurs, des sources radioactives et d'autres sources de rayonnement telles que les générateurs de rayons X ou les accélérateurs de particules chargées sont utilisées dans l'industrie, l'armée et en médecine.

La plupart de ces installations produisent des déchets nucléaires et certaines d'entre elles libèrent des quantités contrôlées de rayonnement. Des matières radioactives sont également utilisées dans des produits de consommation courante tels que les détecteurs de fumée. Les suites des essais et accidents nucléaires sont aussi une source de rayonnement produit par l'homme.

Les réacteurs nucléaires sont la plus importante source de rayonnement et de risque radiologique. Jusqu'ici, le principal mode de production d'énergie nucléaire est la réaction en chaîne de fission nucléaire. Des noyaux lourds tels que l'uranium 235 (^{235}U) se scindent en deux noyaux plus légers et quelques neutrons. Le surplus d'énergie nucléaire se transforme alors en énergie thermique puis en électricité. Le grand problème qui se pose est la question de la sécurité. Les noyaux produits durant la fission sont radioactifs.

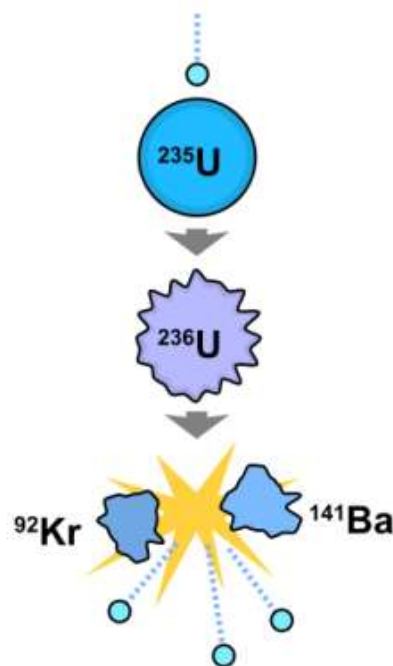
Aujourd'hui, environ 16 % de la production totale d'électricité dans le monde est issue de cette technique. Environ 300 000 tonnes de combustible irradié extrêmement radioactif sont stockées. La quantité de combustible irradié augmente d'environ 12 000 tonnes chaque année.

Dans une centrale nucléaire, la source de chaleur est le cœur du réacteur. La chaleur produite génère de la vapeur. Un turbogénérateur utilise l'énergie de la vapeur pour faire tourner une turbine qui produit de l'électricité (voir le schéma d'un réacteur en annexe). La pompe fournit la force nécessaire pour faire circuler l'eau dans le réacteur et d'autres systèmes.

Le combustible nucléaire habituellement utilisé est du dioxyde d'uranium (UO_2), sous la forme de pastilles cylindriques. Ces pastilles sont empilées les unes sur les autres pour former un crayon de combustible lui-même enfermé dans une gaine de combustible.

Chaque réacteur contient une quantité énorme de radionucléides. Distribués à chacun d'entre nous dans le monde, ils soumettraient les populations à une exposition significative. La principale activité à l'intérieur des réacteurs provient des produits de fission, caractérisés par différentes propriétés chimiques : des gaz tels que le xénon 133 (^{133}Xe), des éléments volatils comme l'iode 131 (^{131}I) ou le césium 137 (^{137}Cs), ou des matériaux solides comme le strontium 90 (^{90}Sr) ou des isotopes du plutonium. Le tableau 2 (en annexe) présente la composition des plus importants radionucléides radiologiques présents dans le cœur du réacteur n°4 de la centrale de Tchernobyl avant et pendant l'explosion au moment de l'accident.

Empêcher la libération éventuelle de radionucléides dans l'environnement est le principal problème auquel il faut faire face dans l'exploitation sûre d'un réacteur. Quatre barrières érigées entre le cœur du réacteur et l'environnement empêchent la libération des produits radioactifs de fission : les pastilles de combustible, la gaine de combustible, le caisson du réacteur et l'enceinte



de confinement. Les crayons de combustible emprisonnent 99 % de tous les produits de fission dans les pastilles de combustible et le pour cent restant est piégé dans la gaine de combustible. Si la quantité d'eau qui recouvre le cœur du réacteur n'est pas suffisante pour le refroidir, il peut entrer en surchauffe et provoquer une rupture de la gaine puis une fusion du combustible. Même en cas de rupture de la gaine de combustible, deux autres obstacles empêchent la libération des produits radioactifs dans l'atmosphère. Le cœur du réacteur est situé dans un caisson (types de réacteur les plus répandus) avec des parois en acier d'une épaisseur d'environ 30 centimètres. L'enceinte de confinement est la dernière barrière entre les produits radioactifs et l'environnement (tous les réacteurs n'ont pas forcément d'enceinte de confinement. Certains sont enfermés derrière un nombre de barrières inférieur). Elle est en béton haute densité, béton renforcé de deux mètres d'épaisseur. L'enceinte de confinement est conçue pour résister à de graves accidents et aux risques technologiques et naturels (crash aérien, par exemple). Elle doit empêcher une libération importante des produits de fission dans l'environnement, même en cas d'endommagement des trois premières barrières.

La dose moyenne d'exposition imputable à l'industrie nucléaire et à la radioactivité produite par l'homme représente environ 1 % des doses provenant de la radiation naturelle, ce qui n'est cependant pas le cas lors d'un accident nucléaire ou radiologique.

Un accident nucléaire ou radiologique est en règle générale un événement au cours duquel une quantité significative de radioactivité se dégage du réacteur (de l'installation) et exposant les employés ou le grand public au rayonnement.

Les accidents radiologiques sont la conséquence de la perte de sources de rayonnement, d'accidents durant le transport de sources ou matériaux radioactifs, de défauts sur les équipements ou d'erreurs humaines d'exploitation des sources de rayonnement. Des sources, souvent appelées « sources scellées », sont habituellement de petits containers métalliques dans lesquels une petite quantité de matière radioactive est scellée. Les pertes de sources sont provoquées par la perte, le vol ou l'abandon de sources radioactives. Les personnes qui découvrent ces sources et ignorent de quoi il s'agit, peuvent subir de graves expositions s'ils les gardent, voire les ouvrent.

Les réacteurs nucléaires sont les sources de radiation et d'accident nucléaire les plus puissantes. Si les barrières qui empêchent le cœur du réacteur de libérer de la radioactivité viennent à être endommagées, les premiers gaz radioactifs et les substances volatiles telles que l'iode 131 (^{131}I) ou le césium 137 (^{137}Cs) s'échappent dans l'environnement. L'un des types d'accident les plus sévères est la fusion du cœur du réacteur. Un tel accident se produit lorsque la chaleur générée par un réacteur nucléaire dépasse la chaleur évacuée par les systèmes de refroidissement au point qu'au moins un crayon de combustible dépasse son point de fusion. Ce type d'accident peut encore se produire après la coupure du réacteur, le combustible continuant à générer de la chaleur à partir de la désintégration des radionucléides. Lorsqu'un réacteur nucléaire est éteint en l'absence de fission nucléaire en chaîne, une très importante source de chaleur persiste du fait de la désintégration radioactive des fragments issus de la fission. Au moment où le réacteur est éteint, la chaleur générée par la désintégration s'élève à environ 6,5 % de la puissance totale du cœur du réacteur si celui-ci fonctionnait en continu depuis longtemps. Environ une heure après la coupure du réacteur, la chaleur de désintégration s'élève à environ 1,5 % de la valeur précédente de puissance du cœur. Au bout d'une journée, la chaleur de désintégration chute à 0,4 % et à seulement 0,2 % après une semaine. Le taux de la chaleur de désintégration générée continuera de diminuer progressivement avec le temps, la courbe de

désintégration dépendant des proportions des différents produits de fission présents dans le cœur du réacteur et de leurs demi-vies respectives.

Le chauffage des pastilles de combustible peut entraîner la perte de certains produits de fission, qui peuvent s'échapper des pastilles. Si du xénon et de l'iode radioactifs se dégagent rapidement d'une pastille, la quantité de ^{134}Cs et de ^{137}Cs présente dans l'interstice entre la gaine et le combustible augmentera. Si les tubes en Zircaloy qui maintiennent les pastilles sont endommagés, une plus importante quantité de gaz radioactifs, d'iode et de césium s'échappera du combustible.

Le danger potentiel que représente un accident sur un réacteur nucléaire provient de l'exposition aux radiations. Cette exposition peut provenir de la libération de matière radioactive par le réacteur dans l'atmosphère, caractérisée par la formation d'un panache de gaz (nébuleux). La taille de la zone contaminée dépend de la quantité et des propriétés de la matière radioactive émise par le réacteur, de la direction et de la vitesse du vent et des conditions météorologiques (telles que la pluie ou la neige) susceptibles de rabattre rapidement la matière radioactive au sol, provoquant ainsi un dépôt plus important de radionucléides. Un périmètre de 30 kilomètres autour du site de l'accident peut être significativement contaminé.

La dose de radiation que reçoit la population durant les premiers jours qui suivent un accident de réacteur nucléaire provient de cinq sources principales :

1) le rayonnement gamma externe provenant du nuage ou panache radioactif, appelé rayonnement de nuage ;

2) rayonnement gamma externe provenant de la matière radioactive déposée au sol, appelé rayonnement du sol ;

3) rayonnements bêta et gamma externes provenant de la matière radioactive déposée sur la peau et les vêtements, les bâtiments et les arbres ;

4) exposition interne provenant de l'inhalation de matière radioactive dans le panache ; et

5) exposition interne provenant de la consommation d'eau et d'aliments contaminés.

Au cours de la libération des radionucléides, les doses d'exposition dues au rayonnement du nuage, du sol, à la contamination de la peau et des vêtements, ainsi que l'inhalation de matières radioactive sont les plus dangereuses. Après le passage du panache, les doses d'exposition provenant du rayonnement du sol et de l'ingestion d'aliments et de lait contaminés deviennent les plus dangereuses. Les doses provenant des expositions externes et de l'inhalation peuvent être évitées ou réduites par ce que l'on appelle les mesures de protection d'urgence. Celles-ci doivent être mises en place immédiatement ou de toute urgence et prévoient la mise à l'abri, l'évacuation et le blocage de la thyroïde. Les doses provenant de l'ingestion de nourriture peuvent être réduites en limitant la consommation immédiate d'aliments produits localement.

Les accidents radiologiques peuvent se produire partout où des matières radioactives sont utilisées, stockées ou transportées. Outre les centrales et autres installations nucléaires, les hôpitaux, universités, laboratoires de recherche, centres industriels, grands axes autoroutiers, voies ferrées, chantiers navals et bases militaires peuvent être le théâtre d'un accident radiologique.

5. Exposition des hommes au rayonnement

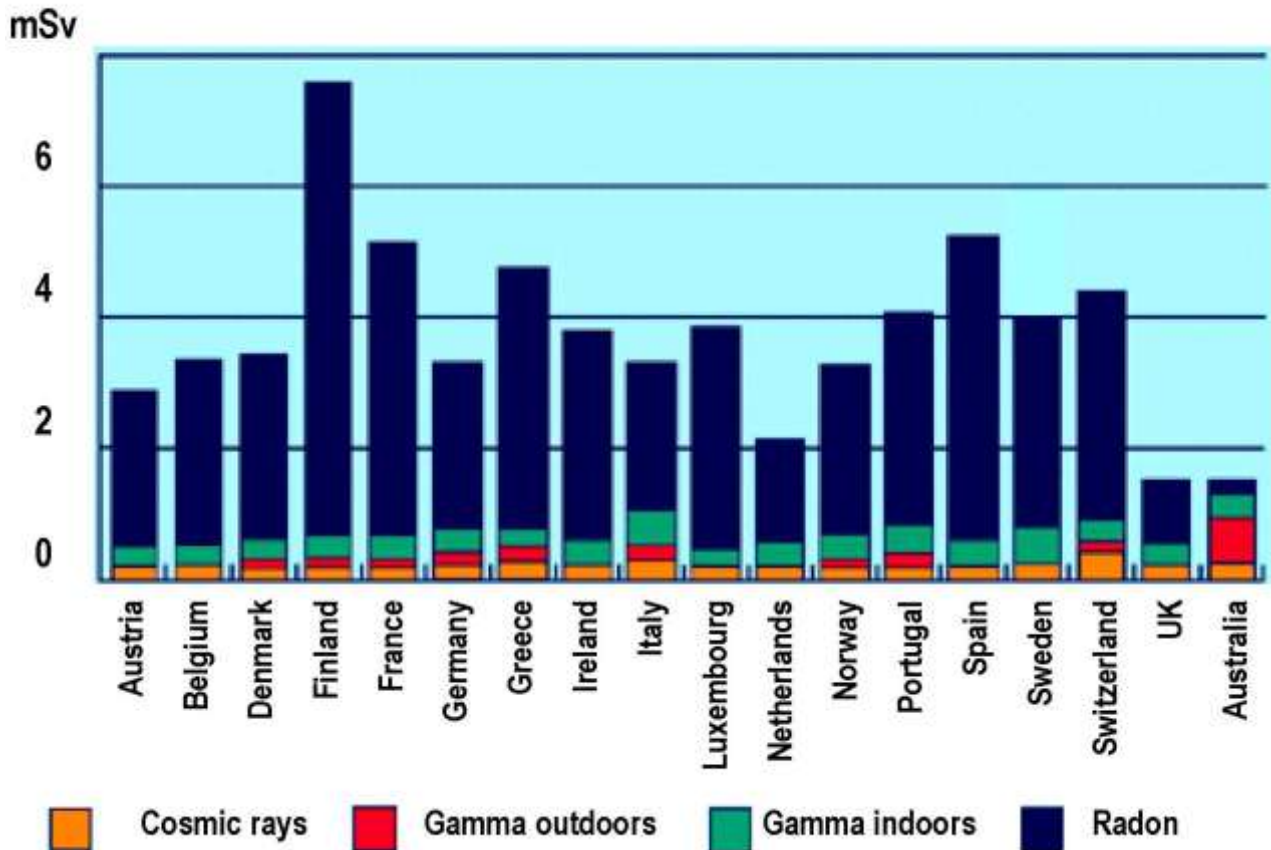
Depuis que la vie existe sur terre, les organismes ont été en permanence exposés aux rayons cosmiques, aux radionucléides produits par les interactions entre les rayons cosmiques dans l'atmosphère, et au rayonnement produit par les substances naturellement radioactives disséminées dans tous les organismes vivants et éléments inertes de l'environnement. Les humains se sont adaptés aux quantités de rayonnement naturel. Bien que des niveaux élevés de rayonnement soient incontestablement nocifs pour les organismes, une certaine dose de rayonnement naturel est nécessaire à la vie. Le rayonnement de fond a par exemple contribué aux processus fondamentaux de l'évolution biologique.

La quantité de l'énergie de rayonnement déposée par unité de masse dans un matériau est la « dose absorbée ». L'unité de la dose absorbée est le gray (Gy), qui correspond à un joule par kilogramme. Les différents rayonnements d'ionisation (particules bêta, gamma, rayons X, neutrons et particules alpha) interagissent de diverses manières avec les tissus biologiques, de sorte que l'absorption de doses identiques n'a pas toujours les mêmes effets biologiques. La sensibilité au rayonnement, qui varie d'un organe humain à l'autre, doit également être prise en compte. Ainsi, la dose efficace permet de mesurer les effets biologiques d'une exposition au rayonnement. Elle correspond à la dose absorbée multipliée par un facteur qui prend en compte l'efficacité relative en termes de nocivité biologique. L'unité de la dose efficace est le sievert (Sv). Pour les rayonnements bêta, gamma et rayons X, 1 Gy est égal à 1 Sv, tandis que pour les neutrons et particules alpha, plus nocifs sur le plan biologique, 1 Gy équivaut à 5 à 20 Sv.

Exposition aux sources naturelles de rayonnement de fond

Le rayonnement de fond, ou rayonnement naturel, est naturellement présent dans notre environnement. Ses quantités peuvent considérablement varier. Les personnes vivant dans des régions granitiques ou sur des sables noirs contenant du thorium sont davantage exposées au rayonnement terrestre tandis que les personnes vivant à haute altitude reçoivent plus de rayonnement cosmique. Notre exposition au rayonnement naturel provient principalement du radon, un gaz libéré par la croûte terrestre et présent dans l'air que nous respirons. La plus forte concentration en radon dans l'air se trouve dans les bâtiments. Elle dépend du type d'habitation, des matériaux de construction et de la ventilation et peut varier d'un facteur 10.

AVERAGE ANNUAL DOSES FROM NATURAL RADIATION SOURCES



Le rayonnement de fond produit naturellement constitue la principale source d'exposition pour la plupart des gens. Les niveaux d'exposition varient typiquement entre 1,5 et 3,5 millisieverts par an, la dose annuelle moyenne étant de 2,4 mSv (1 Sv = 1 000 mSv), même si elle peut dépasser les 50 mSv/an. Un niveau élevé de rayonnement de fond touchant une importante population est relevé dans les états du Kerala et de Madras en Inde, où quelque 140 000 personnes sont exposées à des doses moyennes dépassant les 15 millisieverts par an et provenant du rayonnement gamma externe, additionné à une dose similaire de radon interne. Des niveaux comparables sont constatés au Brésil et au Soudan, avec des doses moyennes d'exposition d'environ 40 mSv/an pour de nombreuses personnes. De multiples endroits sont connus en Iran, en Inde et en Europe pour leur rayonnement de fond naturel correspondant à une dose annuelle de plus de 50 mSv, voir 260 mSv (à Ramsar en Iran). En Finlande, les doses moyennes annuelles sont environ quatre fois plus élevées qu'au Royaume-Uni. Cependant, rien ne prouve qu'un nombre accru de cancers ou d'autres problèmes de santé soient provoqués par ces niveaux naturels d'exposition élevés.

Exposition aux rayonnements provenant d'accidents nucléaires et de radiation

Lorsqu'un accident nucléaire se produit, les barrières de sécurité qui protègent les populations et l'environnement du rayonnement du cœur du réacteur sont endommagées et une partie des radionucléides s'échappe dans l'environnement.

L'exposition de la population et des employés varie en fonction de l'échelle de l'accident et d'autres facteurs. Dans l'histoire de l'énergie nucléaire, trois accidents graves se sont produits : à la centrale nucléaire de Three Mile Island aux Etats-Unis en 1979, à celle de Tchernobyl en Union soviétique en 1986 et celle de Fukushima –1 en 2011.

Le plus grave accident nucléaire civil aux Etats-Unis se produisit à la *Centrale nucléaire de Three Mile Island* en 1979. A la suite de défauts d'équipement et d'erreurs humaines, l'eau de refroidissement qui recouvre le réacteur s'échappa du système. Cette eau radioactive, d'un volume avoisinant les 260 000 litres, finit sa course dans les sous-sols de l'enceinte de confinement et des bâtiments des auxiliaires. L'eau de refroidissement située dans le cœur du réacteur continua de s'échapper jusqu'à ce que le combustible ne soit plus submergé. Sans le refroidissement de l'eau, la gaine commença à fondre. De grandes quantités d'eau contenant des matières radioactives se déversèrent dans l'enceinte de confinement. Celle-ci joua son rôle comme prévu et les fuites radioactives dans l'atmosphère restèrent limitées. Résultat : des fuites pouvant atteindre 370 PBq (1 PBq = 10^{15} Bq) de gaz rares radioactifs, et environ 0,55 TBq (1 TBq = 10^{12} Bq) d'iode 131 (^{131}I). La dose d'irradiation moyenne des personnes vivant dans un périmètre de dix miles (16 km) autour de la centrale s'est élevée à 0,08 mSv, et n'a pas dépassé 1 mSv par individu. A l'aide des chiffres relatifs aux émissions, des publications scientifiques sur les effets des retombées radioactives sur la santé ont estimé qu'un ou deux cas de décès supplémentaires dus au cancer avaient été éventuellement possibles dans un rayon de 16 km autour de la centrale.

Le 26 avril 1986, le plus grave accident de l'histoire de l'industrie nucléaire se produisit au niveau du réacteur 4 de la *Centrale nucléaire de Tchernobyl* situé dans l'ancienne Union des républiques socialistes soviétiques, à proximité de la frontière commune entre la Biélorussie, la Fédération de Russie et l'Ukraine. Une explosion détruisit complètement le réacteur 4, libérant des radionucléides dans l'environnement.

La plupart des radionucléides du réacteur de Tchernobyl a continué de s'échapper dans les 10 jours qui ont suivi l'explosion du 26 avril. Parmi eux, des gaz radioactifs, des aérosols condensés et des particules de combustible. La quantité totale des matières radioactives libérées s'est élevée à environ 14 EBq (1 EBq = 10^{18} Bq), dont 1,8 EBq d'iode 131 (^{131}I), 0,085 EBq de césium 137 (^{137}Cs), 0,01 EBq de strontium 90 (^{90}Sr) et 0,003 EBq d'isotopes du plutonium. Les gaz rares radioactifs ont contribué à environ 50 % de l'activité totale libérée (voir tableau 2 en annexe).

L'accident de Tchernobyl est le résultat d'un défaut de sécurité inhérent au réacteur. De plus, les opérateurs n'avaient pas été informés des faiblesses de conception et n'ont pas respecté toutes les procédures opérationnelles. La combinaison de ces facteurs provoqua l'accident nucléaire le plus grave qui puisse exister, au cours duquel le réacteur fut totalement détruit en quelques secondes.

La libération et le dépôt d'iode radioactif suscitèrent le plus rapidement de l'inquiétude mais ce problème se posa les premiers mois après l'accident en raison de la désintégration rapide du plus important isotope, l'iode 131 (^{131}I). L'iode radioactif fut rapidement retrouvé dans du lait, entraînant l'absorption de grandes doses au niveau de la thyroïde des consommateurs de lait (en particulier les enfants). La contamination la plus forte fut relevée en Biélorussie, en Russie et en Ukraine. Dans le reste de l'Europe, des niveaux plus élevés d'iode radioactif dans le lait ont été observés là où les animaux laitiers se trouvaient déjà à l'extérieur. La France, l'Allemagne, la

Pologne et d'autres pays européens mirent en place des mesures de protection contre les radiations.

En Europe, plus de 200 000 kilomètres carrés ont été contaminés par des niveaux de césium 137 (demi-vie de 30 ans) supérieurs à 37 kBq/m². La majeure partie de cette zone est située dans les trois pays les plus touchés, à savoir la Biélorussie, la Russie et l'Ukraine. La quantité des dépôts a extrêmement varié et a été plus élevée dans les zones où des précipitations se sont produites là où passait la masse d'air contaminée. La majeure partie du strontium et du plutonium s'est déposée dans un périmètre de 30 km autour du réacteur détruit, du fait de la grande taille de leurs particules.

En 1986-1987, environ 350 000 personnes (employés de la centrale nucléaire, pompiers, médecins et autres professions) ont été initialement mises à contribution dans les opérations de nettoyage qui ont suivi l'accident.

Durant le printemps et l'été 1986 116 000 personnes ont été évacuées des zones les plus contaminées situées dans la zone d'exclusion de 30 km. Environ 220 000 personnes supplémentaires ont été relogées ultérieurement.

25 ans après l'accident, environ cinq millions d'habitants originaires de Biélorussie, Russie et Ukraine vivaient dans des régions contaminées à des niveaux supérieurs à 37 kBq/m² de césium 137 (normalisés par rapport aux niveaux de 1986).

Le syndrome aigu d'irradiation (SAI) a été diagnostiqué chez 134 ouvriers ayant travaillé dans l'urgence et ayant été irradiés sur tout le corps par 1 à 16 Gy. Vingt-huit patients sont morts dans les trois mois qui ont suivi l'exposition. La population globale soumise aux retombées radioactives de Tchernobyl a été exposée à des doses d'irradiation beaucoup plus faibles que les travailleurs et aucun cas de SAI ni décès associé n'a été déploré chez elle (en raison peut-être de l'inefficacité du suivi sanitaire).

Le cancer de la thyroïde chez les jeunes personnes exposées à l'iode 131 (¹³¹I) est reconnue comme étant un effet majeur de l'accident sur la santé, confirmé par les conclusions de nombreuses études nationales et internationales. 25 ans après l'accident, environ 6 000 cas de cancer de la thyroïde ont été diagnostiqués chez les personnes ayant été exposées à un âge compris entre 0 et 18 ans en Biélorussie, Russie et Ukraine.

Les accidents nucléaires de *Fukushima-1* (*Dai-ichi*) sont une suite continue de défaillances des équipements et de libération de matières radioactives observées à la centrale nucléaire de Fukushima-1, conséquences du séisme de magnitude 9 et du tsunami du 11 mars 2011. La centrale nucléaire fut submergée par les vagues du tsunami. Toute l'alimentation électrique destinée au refroidissement fut perdue et les réacteurs commencèrent à entrer en surchauffe en raison de l'énergie de désintégration des produits de fission créés avant l'arrêt des réacteurs. Les dégâts provoqués par l'inondation et le tremblement de terre ont empêché la mise en place d'une aide externe.

Des éléments indiquant une fusion partielle du cœur des réacteurs 1, 2 et 3 apparurent rapidement ; des explosions d'hydrogène détruisirent la partie haute des bâtiments des réacteurs 1, 3 et 4 ; une explosion endommagea l'enceinte de confinement à l'intérieur du réacteur 2 ; et de nombreux incendies se déclarèrent au niveau du réacteur 4. En dépit d'un arrêt initial, les réacteurs 5 et 6 commencèrent à surchauffer. Les crayons de combustible stockés dans les piscines de chaque réacteur entrèrent en surchauffe alors que le niveau de l'eau dans les piscines diminuait.

Les quantités totales de matière radioactive libérées par les réacteurs de la centrale nucléaire de Fukushima-1 ont été évaluées à 0,16 EBq pour l'iode 131 (¹³¹I) et 0,015 EBq pour le césium 137 (¹³⁷Cs).

Quelque 7 800 travailleurs envoyés en urgence ont été exposés à environ 7,7 mSv en moyenne. On a relevé un total de trente personnes ayant été exposées à des doses supérieures à 100 mSv.

Des cas de brûlures suspectes dues aux radiations ont été constatés sur les pieds ou les jambes de trois employés après leur exposition par inadvertance à une eau fortement contaminée dans le sous-sol du bâtiment d'une turbine. Après avoir été hospitalisés, ils purent sortir au bout de quatre jours sans avertissement de risque d'effets nocifs significatifs à long terme.

Pour éviter d'exposer potentiellement les populations au rayonnement, les autorités japonaises décidèrent par précaution de demander aux personnes vivant dans un rayon de 3 km, puis de 10 km et enfin de 20 km autour de la centrale d'évacuer les lieux et à celles vivant dans un périmètre situé entre 20 km et 30 km autour de la centrale de se mettre à l'abri et de se préparer à quitter les lieux. Plus de 70 000 personnes ont été évacuées depuis l'accident.

Le pire *accident radiologique* s'est produit du 12 au 29 septembre 1987 à Goiânia, dans l'état du Goiás au Brésil.

Une unité de radiothérapie fut abandonnée dans une clinique en cours de démolition. L'unité comprenait une source de 1 375 curies de césium 137 scellée dans deux containers en acier inoxydables imbriqués. Deux personnes démantelèrent l'unité pour en extraire la source, l'emmenant chez eux. Elles furent toutes deux victimes de vomissements le 13 septembre. Le matériau de l'unité fut vendu à un dépôt de ferrailles appartenant à D., qui remarqua une lueur bleue dans le container de la source cette nuit-là. Avec sa femme, M.F., il examina de près le matériau et invita également quelques personnes à observer la capsule. Le 21 septembre, le matériau de la source radioactive fut retiré et distribué à différentes personnes, dont certaines le répandirent sur leur peau. La plupart étaient tombées malades le 28 septembre. Environ 112 800 personnes furent examinées. Il s'avéra que 129 d'entre elles étaient contaminées. Parmi elles, 20 ont dû être hospitalisées. Au total, cinq personnes sont décédées et 23 ont souffert de brûlures localisées dues au rayonnement, dont plusieurs ont nécessité l'amputation de doigts. Durant leur hospitalisation, de nombreux patients souffrirent de dépression ainsi que d'autres troubles émotionnels.

Le tableau 3 représente l'exposition à différentes doses de rayonnement issu de diverses sources d'exposition, naturelles et produites par l'homme, permettant d'évaluer les risques.

Tableau 3. Exposition aux radiations provenant de différentes sources.

Source	Dose habituelle (mSv)
10 heures de vol en avion	0,03
Radiographie du thorax	0,05
Tomodensitométrie	10
Dose annuelle issue du rayonnement de fond naturel	2,4
Rayonnement cosmique annuel au niveau de la mer	0,4

Dose annuelle reçue par un travailleur du nucléaire (exploitation normale)	1
Rayonnement cosmique annuel à Mexico City (2 300 m)	0,8
Exposition accidentelle des travailleurs intervenus dans l'urgence lors de l'accident de Tchernobyl	Jusqu'à 16000
Dose moyenne annuelle reçue par la population sur le site le plus contaminé (environ 150 000 individus) en 1986 en raison de la catastrophe de Tchernobyl	16

6. Effets des radiations sur la santé

Le rayonnement ionisant affecte les personnes en transférant de l'énergie aux tissus humains, entraînant un endommagement ou la mort des cellules. Dans certains cas, il peut n'y avoir aucune répercussion sur la santé humaine ; dans d'autres, la cellule peut survivre, mais devient anormale, soit temporairement, soit définitivement, ou la cellule anormale peut devenir maligne. De grandes doses de rayonnement peuvent fortement endommager les cellules et entraîner la mort. Une personne exposée à de plus faibles doses a des chances de survivre, mais ses cellules endommagées augmentent la probabilité de cancer. L'étendue des dommages dépend de la quantité totale d'énergie absorbée, de la durée et du débit de dose d'exposition, ainsi que de l'organe/des organes exposés en particulier.

Deux types d'effets physiologiques médicaux liés à l'exposition au rayonnement existent. Le premier est appelé *l'effet déterministe*. Les effets déterministes sont le résultat d'une exposition localisée, qui expose à une dose de rayonnement importante et unique ou à une série de doses durant une courte durée. Dans la plupart des cas, une importante exposition localisée au rayonnement (supérieure à 1 sievert) peut avoir des effets à la fois immédiats et retardés. Pour les humains et les autres mammifères, une exposition localisée, si elle est suffisamment forte, peut rapidement entraîner le développement d'un syndrome aigu d'irradiation (SAI), mis en évidence par des troubles gastro-intestinaux, des infections bactériennes, des hémorragies, des anémies, etc. Les effets immédiats se produisent relativement rapidement (en quelques jours ou quelques semaines) après une exposition à une forte dose à débit de dose élevé. Les dommages causés aux tissus par le rayonnement ne sont fondamentalement pas suffisamment intenses pour que le corps n'ait pas le temps de régénérer de nouveaux tissus. Les effets deviennent donc visibles avec l'apparition de nombreuses caractéristiques d'une brûlure thermique, néanmoins plus profondes et plus durables. Les effets déterministes apparaissent souvent de manière localisée sur le corps, en fonction du type d'exposition au rayonnement et du niveau de pénétration du rayonnement. Parmi les effets biologiques différés figurent les cataractes, la stérilité temporaire, le cancer et les effets génétiques.



Des niveaux extrêmement élevés d'exposition localisée au rayonnement peuvent entraîner la mort en quelques heures, jours ou semaines. Le rayonnement touchant les individus de diverses manières, il est impossible de savoir quelles doses peuvent être létales. Cependant, il semblerait que 50 % de la population est condamnée à mourir dans les trente jours suivant une exposition du corps entier à une dose comprise entre 3,5 et 5 Sv durant une période pouvant aller de quelques minutes à quelques heures. Cette observation peut varier en fonction de l'état de santé des individus avant l'exposition et des soins apportés après. Une exposition similaire de certaines parties du corps uniquement est davantage susceptible de conduire à des effets localisés tels des brûlures de la peau dues au rayonnement.

Plus la dose d'irradiation est élevée, plus les tissus sont endommagés et plus l'apparition des symptômes est précoce (les effets peuvent apparaître dès les premières heures dans le cas de très fortes doses). Cependant, dans le cas de doses et de débits de dose plus faibles, ces effets n'apparaissent pas du tout. Il semblerait qu'une dose seuil existe en dessous de laquelle aucun effet déterministe n'apparaît. Cette observation a une influence considérable sur les objectifs des mesures d'urgence. A savoir tenter de maintenir les doses reçues en dessous du seuil d'apparition des effets déterministes qui nécessitent un traitement spécial pour la guérison du patient.

Le second type d'effets sur la santé pouvant être induit par irradiation est nommé *effet stochastique*. Il peut par exemple prendre la forme de cancers, ou d'effets héréditaires sur la descendance future. Ils sont principalement la conséquence d'une exposition chronique continue ou intermittente à de faibles niveaux de rayonnement sur une longue durée. On considère que l'exposition chronique produit uniquement des effets pouvant être observés un certain temps après l'exposition initiale. Parmi ces effets, des mutations génétiques, ou d'autres effets comme les leucémies ou les cancers.

Les effets stochastiques sont caractérisés par leur apparition tardive après l'exposition (plusieurs années, voire plusieurs décennies) et en particulier par l'incertitude de les voir apparaître ou non. Le rayonnement peut endommager les cellules du corps, ce qui n'est pas visible, mais modifie leur fonction. Ces modifications peuvent se manifester très tardivement, comme les cancers. Il convient ici de noter l'utilisation du verbe « pouvoir », car aucune certitude n'existe sur leur apparition. S'agissant des effets stochastiques, le risque ou la probabilité d'apparition d'un effet augmente avec la dose du rayonnement. A de faibles doses, la probabilité de développer un cancer est donc très faible tandis qu'à des doses plus élevées, la probabilité d'apparition du cancer augmente. Cependant, il semble qu'aucune dose ne soit « sûre » ou représente une dose seuil en dessous de laquelle aucun risque supplémentaire de cancer n'apparaît.

Les cancers dus au rayonnement sont-ils différents de ceux engendré par d'autres risques (exemples : produits chimiques, agents biologiques, patrimoine génétique propre, ...) ? La réponse à cette question est probablement non. Il n'est pas possible de les distinguer, à la différence des effets déterministes, qui peuvent être immédiatement attribués au rayonnement. Autrement dit, le seul moyen de détecter ces effets est l'étude des statistiques relatives au cancer pour une population donnée, en exploitant avec précaution les cas de cancer et les doses enregistrées.

7. Détection du rayonnement

Pour évaluer les risques radiologiques, il faut mesurer les doses d'exposition externe et de la contamination des sols, de l'eau et des aliments. Tout un éventail d'instruments existe pour mesurer différents types de rayonnement, niveaux d'énergie et ce avec plus ou moins de précision. Certains exemples sont donnés ici. En radiographie, notamment pour la radiographie du thorax, la variation de la puissance de pénétration des rayons X dans les os et les tissus imprime une image sur un film photographique ou un autre support. Une chambre d'ionisation collecte la charge produite par le rayonnement dans un gaz. D'autres instruments mesurent les scintillations produites par le rayonnement dans les cristaux.



Pour mesurer l'exposition externe due à un nuage radioactif ou une surface contaminée, des instruments de mesure du débit de dose ou de la dose sont utilisés. Pour évaluer l'exposition interne, il faut



connaître la concentration de différents radionucléides, tels que l'iode 131 (^{131}I), le césium 137 (^{137}Cs), le strontium 90 (^{90}Sr), le plutonium 239 (^{239}Pu) dans l'air, l'eau et les aliments. Différents radionucléides auront différents effets sur l'exposition interne, selon leur métabolisme dans l'organisme humain et le type de rayonnement émis (alpha, bêta ou gamma). Pour détecter la radioactivité, des échantillons d'eau, d'aliments, etc. sont recueillis, préparés et mesurés par exemple à l'aide d'un spectromètre gamma. Pour déterminer la concentration de

radionucléides présents dans l'air, celui-ci est pompé au travers de filtres puis les concentrations de radionucléides mesurées.

8. Gestion des urgences nucléaires – prévention, préparation et réaction

Les réacteurs nucléaires (production d'électricité, armée ou recherche) sont les principales sources du rayonnement produit par l'homme. La radioactivité du cœur d'un réacteur nucléaire est plusieurs millions de fois supérieure celle de toute autre source de rayonnement. La construction et l'exploitation de centrales nucléaires sont étroitement surveillées et réglementées. De nombreux efforts sont fournis pour la prévention des accidents nucléaires mais un accident, même improbable, peut toujours se produire.

Dans le cas d'un accident nucléaire grave, les travailleurs et le grand public sont soumis aux risques radiologiques liés aux



radionucléides libérés dans l'environnement. Les populations doivent être protégées. L'exposition provenant de l'expulsion des matières radioactives du réacteur dans l'atmosphère est généralement détectée par la formation d'un panache (semblable à un nuage). La taille de la zone affectée dépend de la quantité de matières radioactives relâchées par la centrale, la direction et la vitesse du vent, les conditions météorologiques (exemple : pluie, neige, etc.) susceptibles de rabattre rapidement les matières radioactives vers le sol, augmentant ainsi la quantité de radionucléides déposés. Une contamination significative peut principalement affecter les zones situées dans un périmètre de 30 km autour du site où s'est produit l'accident. L'objectif des mesures de protection est de réduire au minimum les effets sur la santé de la population et des travailleurs, y compris par le biais d'une meilleure information et formation des citoyens aux risques nucléaires, en tenant notamment compte des enfants.

Les mesures de protection d'urgence nucléaire regroupent :

Des actions de protection urgentes, qui doivent être prises dans les heures qui suivent un accident pour être efficaces. Parmi celles-ci, *l'évacuation, la prise de comprimés d'iode stable (prophylaxie par l'iode) et la mise à l'abri* (garder les populations à l'intérieur pour les protéger d'une exposition directe au rayonnement et d'une inhalation d'air contaminé) ;

Des actions de protection à plus long terme, ces mesures peuvent être requises dans les jours qui suivent l'accident. Parmi celles-ci, *les restrictions d'utilisation d'aliments et d'eau contaminé, le relogement et la relocalisation.*

L'évacuation consiste à déplacer d'urgence la population d'une zone où un risque significatif d'exposition existe. Il s'agit de l'action la plus efficace contre les libérations massives de matières radioactives dans l'atmosphère, mais qui pose quelques difficultés. Dans un premier temps, il faut informer à l'avance les populations de cette éventuelle mesure. En cas d'accident, un message ou un signal clair sur l'évacuation doit leur être envoyé, des moyens de transport doivent être mis à disposition en nombre suffisant pour évacuer toute la population qui pourrait être affectée, y compris les personnes hospitalisées et les prisonniers. Enfin, les infrastructures routières doivent être suffisamment développées pour prendre en charge une évacuation massive sans provoquer d'embouteillages. Les personnes doivent changer leurs vêtements s'ils ont été contaminés dans la zone de la catastrophe et rincer la contamination de leur peau et de leurs cheveux. A cet effet, un dispositif est mis en place, permettant aux populations de se laver avec de l'eau et du détergent.

Enfin se pose la question du lieu d'accueil des personnes évacuées durant plusieurs jours. En règle générale, il n'est pas recommandé que l'évacuation et l'hébergement dans des centres d'urgences dure plus de sept jours environ. Par ailleurs, la mise en place l'évacuation prend elle-même un certain temps qui doit être pris en compte dans le plan d'urgence nucléaire et les réactions qu'il prévoit.

Prophylaxie par l'iode. Lorsque le combustible d'un réacteur entre en surchauffe, et que la gaine de combustible se rompt, d'importantes quantités d'iode radioactif peuvent s'échapper. Cet iode peut être inhalé ou se déposer sur les légumes, les plantes et se concentrer dans le lait des animaux broutant l'herbe contaminée. L'iode inhalé ou ingéré s'accumule dans la thyroïde humaine. De fortes doses d'iode peuvent détruire la thyroïde et augmenter considérablement le risque de développer un cancer, notamment chez les enfants. L'ingestion d'iode radioactif peut être réduit en évitant l'inhalation de radionucléides et la consommation d'aliments et d'eau potentiellement contaminés. La dose absorbée par la thyroïde peut être diminuée par la prise d'iode stable (non radioactif), appelée blocage de la thyroïde (prophylaxie à l'iode). L'iode stable

va saturer la thyroïde et empêcher ou réduire son absorption d'iode radioactif. L'iode normalement stable est pris sous la forme de comprimés de KI ou de KIO_3 ou de gouttes d'iode liquide diluées dans un verre d'eau. La dose individuelle recommandée pour l'iode stable est présentée dans le tableau 4 des annexes.

Protéger le grand public contre des doses élevées d'iode radioactif dans la thyroïde nécessite d'administrer des comprimés servant à bloquer la thyroïde avant ou peu après la libération des radionucléides. Le blocage de la thyroïde ne protège que la thyroïde, mais la dose à laquelle a été soumis le corps entier est la source de la plupart des décès prématurés dus à un accident de réacteur nucléaire. Par conséquent, il faut veiller à ce que la distribution d'iode stable pour le blocage de la thyroïde ne retarde pas l'évacuation ou la mise à l'abri.

Mise à l'abri. Mettre la population à l'abri signifie maintenir certaines personnes à l'intérieur de bâtiments adaptés, pour réduire l'exposition au rayonnement provenant des matières radioactives présentes dans l'atmosphère et les surfaces contaminées. La mise à l'abri n'est pas recommandée pour une période excédant 48 heures. Le confinement désigne l'utilisation d'installations conçues spécialement avec des murs blindés ou de sous-sols de grands immeubles. Des systèmes de ventilation munis de filtres à charbon actif qui protègent de l'iode radioactif peuvent aussi être utilisés dans certains lieux de confinement.

L'efficacité de la mise à l'abri dans la protection contre le rayonnement externe du nuage et du rayonnement du sol dépend du type de local utilisé et de la capacité de la population à se mettre elle-même à l'abri. Les maisons à toiture basse des pays chauds ont par exemple tendance à ne pas fournir une très bonne protection.

Les personnes qui se trouvent à l'extérieur au moment du passage du nuage radioactif doivent changer de vêtements et éliminer la contamination de la peau et des cheveux en se lavant à l'aide d'eau et de détergent. Dans la « vraie vie », il est également difficile de demander aux gens de rester confinés chez eux plus de quelques jours. Dans des régions où la famille moyenne a un accès à une ou deux voitures, comme lors de l'accident de Three Mile Island, donner l'ordre de se mettre à l'abri peut provoquer des évacuations spontanées. Ces attitudes peuvent augmenter le nombre de difficultés et avoir davantage de conséquences radiologiques, notamment si l'évacuation est chaotique et conduit à des embouteillages au moment où passe le nuage ou que les niveaux de contamination sont élevés.

Les actions de protection à long terme sont par nature extrêmement coûteuses et complexes. Elles nécessitent de réorganiser les logements et d'acheminer différemment des denrées alimentaires pour une population importante. Ces mesures ont d'importantes conséquences psychologiques. Dans le cas de l'accident de Tchernobyl par exemple, le relogement de la population rurale en ville fut, semble-t-il, à l'origine d'une importante diminution de l'espérance de vie due à des problèmes médicaux associés au stress du déménagement. Les moyens de lutte utilisés dans le secteur de l'agriculture sont particulièrement difficiles pour les agriculteurs et les producteurs de denrées alimentaires, qui subissent des pertes d'argent significatives. Les indemnités financières posent problème dans tous les cas comprenant notamment des actions de protection à plus long terme.

Relogement et relocalisation temporaires. La relocalisation temporaire constitue une solution lorsqu'il est nécessaire de maintenir la population en dehors du périmètre affecté durant une période supérieure à environ 7 jours, mais n'excédant pas quelques mois. Cette mesure est mise en œuvre lorsque la dose affectant la population est susceptible de dépasser une certaine limite sur une durée de vie. Pour qu'elle soit efficace, elle nécessite de fournir des installations

temporaires mais robustes à la population touchée. Elle présuppose que les personnes relogées soient en mesure de retourner chez elles en temps voulu. Cependant, dans la réalité, la relocalisation peut être permanente.

Moyens de lutte dans le secteur de l'agriculture. Les actions de protection en rapport avec l'alimentation comprennent l'interdiction immédiate de consommer la nourriture produite dans la zone touchée, la protection des sources locales de nourriture et d'eau en couvrant par exemple les puits à ciel ouvert, ou en mettant à l'abri les animaux et leur nourriture. Les denrées alimentaires produites localement doivent être testées à intervalles réguliers pour vérifier la contamination en radionucléides dans les mois qui suivent un accident nucléaire. Le suivi de la contamination du lait, principal élément de l'alimentation des enfants et aliment concentrant d'important radionucléides tels que l'iode et le césium, est particulièrement important.

Si la contamination radioactive est supposée contenir de l'iode 131 (¹³¹I), l'action à prendre immédiatement doit être l'arrêt de la consommation du lait produit localement tant que les niveaux de la contamination à l'iode 131 (¹³¹I) n'ont pas été mesurés. Il est alors possible de se procurer des informations et instructions détaillées auprès de l'autorité gouvernementale compétente.

Néanmoins, s'il se passe un certain temps avant que les retombées radioactives directes n'atteignent sa propre région, les mesures de prévention suivantes sont à prendre immédiatement :

- Protéger les plantations de légumes et le fourrage des animaux ; les couvrir de films en plastique ;
- Ramener le bétail des pâturages ; placer les animaux dans un hangar ou une grange ;
- Moissonner toutes les récoltes mûres et les placer sous abri.

Après des retombées radioactives directes :

- Ne pas consommer du lait ou des légumes produits localement (si des mesures préventives n'ont pas été mises en place) ;
- Mettre à l'abri les ruminants se trouvant normalement à l'extérieur et leur donner du fourrage non contaminé ;
- Interdire la chasse, la pêche, la cueillette des champignons et la consommation de légumes et des eaux de surface ou de précipitations.

Dans les zones potentiellement contaminées :

- Ne pas utiliser l'eau d'irrigation ;
- Eviter la contamination directe des denrées alimentaires ou produits agricoles (poussière, pluie) ;
- Ne pas brûler de végétaux ou tout autre matériel stocké à l'extérieur, y compris du bois de chauffage ;
- Ne pas créer de poussière, celle-ci étant radioactive après les retombées.

Les principaux objectifs de la préparation à une situation d'urgence doivent être la localisation de tout accident susceptible de se produire, et d'en réduire au minimum les effets nocifs sur la santé publique et l'environnement, biens immobiliers compris.

Le plan de préparation aux situations d'urgence est un outil décisif (voir annexes, page 20, Mise sur pied du plan d'urgence). Il doit être développé et clairement définir toutes les mesures pour réagir efficacement dans les situations d'urgence. Il doit identifier les rôles et responsabilités de tous les protagonistes, y compris le grand public, et doit clairement préciser la chaîne hiérarchique et la coordination entre les différentes parties, ainsi que les canaux de communication et les moyens d'obtenir les informations techniques, météorologiques et médicales nécessaires.

9. Que faut-il faire en cas d'accident nucléaire ?

Les précédentes sections vous ont fourni des informations générales en matière de risques nucléaires, vous avez appris ce qu'est un rayonnement ionisant, comment il peut affecter le corps humain, ce qu'est le rayonnement de fond et quels sont les effets du rayonnement sur la santé. Vous connaissez désormais les sources de radiation, ce que sont les accidents nucléaires, les effets de la libération de radionucléides et les mesures de protection appropriées. Vous disposez d'une base de connaissances minimale pour comprendre chaque information, même minime, relative à un accident nucléaire et vous comprendrez pourquoi certaines mesures de protection sont recommandées par les autorités.

Si vous vivez à proximité d'une source d'énergie nucléaire, et par extension sous la menace d'un risque radiologique, il est de votre devoir d'en savoir plus sur les risques nucléaires. Lorsque vous utilisez du feu ou une source d'électricité, vous connaissez les risques et les mesures de protection correspondants. Il en va de même pour l'énergie nucléaire : vous devez en savoir davantage sur la radioactivité, la prophylaxie par l'iode et les doses d'exposition. Si vous vivez dans un périmètre de 30 km autour d'une centrale nucléaire, vous devez comprendre qu'en cas d'accident nucléaire grave, vous serez tenu informé des mesures de protection prises et vous devrez vous tenir prêt à évacuer la zone ou vous mettre à l'abri et prendre des comprimés d'iode. Si vous ne vous souvenez plus de l'endroit où se trouvent vos comprimés de KI, vous pouvez simplement prendre quelques gouttes d'iode liquide diluées dans un verre d'eau et les boire. Vous recevrez à un moment ultérieur des comprimés de KI de la part des autorités, mais sachez que vous bénéficiez d'une meilleure protection si vous ingérez de l'iode stable avant l'arrivée du nuage radioactif. Néanmoins, vous devez tout d'abord attendre d'avoir reçu l'information officielle de la libération de radionucléides par la centrale nucléaire.

De nombreuses actions de sensibilisation du grand public aux risques nucléaires ont consisté à publier des questions fréquemment posées (FAQ), accompagnées de leurs réponses. Désormais capable de mieux comprendre la nature de ces recommandations et comment les suivre, prenez les exemples suivants de FAQ et expliquez le raisonnement qui sous-tend les mesures de sécurité indiquées dans les réponses.

Question n°1. Que devez-vous faire en cas d'accident nucléaire ?

Réponse : Ecoutez l'avertissement diffusé dans toute une série de médias : télévision, radio ou communication d'urgence. Suivez attentivement les instructions pour savoir quelles mesures de protection doivent être mises en place.

Vous savez que pour protéger le corps humain de l'exposition externe, les mesures de protection suivantes peuvent être recommandées :

- Protection par la distance (éloignez-vous le plus possible de la source de radiation).
- Protection par la durée (éloignez-vous de la source le plus rapidement possible).
- Protection par la mise à l'abri (entrez dans un bâtiment sûr, en béton ou en pierres).

Pour protéger le corps humain de l'exposition interne, les mesures de protection suivantes peuvent être recommandées

- Eviter d'inhaler des radionucléides : (avec un masque ou un mouchoir humide).
- Eviter d'ingérer des radionucléides (ne pas boire d'eau de sources à ciel ouvert, ne pas manger de fruits ou de légumes qui se trouvaient à l'extérieur après la libération de radionucléides).
- Prophylaxie par l'iode (prendre de l'iode stable en suivant les instructions).

Question n°2. Si vous êtes prié de vous mettre à l'abri à l'intérieur, que devez-vous faire ?

Réponse : Vous devez entrer dans l'immeuble, le logement, le bâtiment public, etc. accessible le plus proche.

- Fermez toutes les portes et fenêtres.
- Prenez une douche, lavez vos mains, votre visage et vos cheveux et changez de vêtements si vous vous trouviez dehors.
- Arrêtez les dispositifs de ventilation, les radiateurs et la climatisation.
- Placez de la nourriture dans des conteneurs et emballez-la.
- Mettez de l'eau potable à l'abri dans un conteneur scellé pour l'utiliser au cours de la semaine à venir.
- Ne consommez pas de lait ou de légumes produits localement.
- Mettez à l'abri les ruminants se trouvant normalement à l'extérieur et donnez-leur du fourrage non contaminé ;

Question n°3. Si vous êtes priés d'évacuer les lieux, que devez-vous faire ?

Réponse : Vous mettre à l'abri à l'intérieur et vous préparer calmement à l'évacuation.

- Coupez le gaz et l'électricité et débranchez les fiches des prises.
- Appelez les voisins pour les informer de l'évacuation.
- Contactez les autorités locales pour les informer de tout handicap et qu'ils puissent vous aider à évacuer les lieux.
- Donnez de la nourriture et de l'eau aux animaux de compagnie et gardez-les à l'intérieur.
- Fermez toutes les portes lorsque vous quittez le logement.
- Suivez les instructions des autorités compétentes telles que la police, les autorités compétentes en matière de risques ou les autorités locales pour les étapes suivantes de l'évacuation.

Nous espérons que les informations élémentaires présentées dans ce livre vous aideront à comprendre la vraie nature des risques nucléaires dans une situation d'urgence et vous donneront les connaissances nécessaires pour vous aider à vous protéger et sauver votre vie.

La structure des atomes

En 1911, Ernest Rutherford démontra que la masse d'un atome est majoritairement concentrée dans le noyau (à 99,9 %). La taille du noyau est environ 10 000 fois plus petite que celle d'un atome (environ 10^{-10} m).

L'atome ne porte pas de charge électrique. La charge du noyau **Z** est positive et égale au nombre d'électrons de l'atome (le nombre atomique d'un élément chimique de la table périodique des éléments).

Un noyau atomique est constitué de protons, porteurs d'une charge positive, et de neutrons sans charge (les deux portent le nom de nucléons). La charge du noyau est égale au nombre de protons qu'il contient. Le nombre de protons et de neutrons du noyau est appelé nombre de masse atomique **A**.

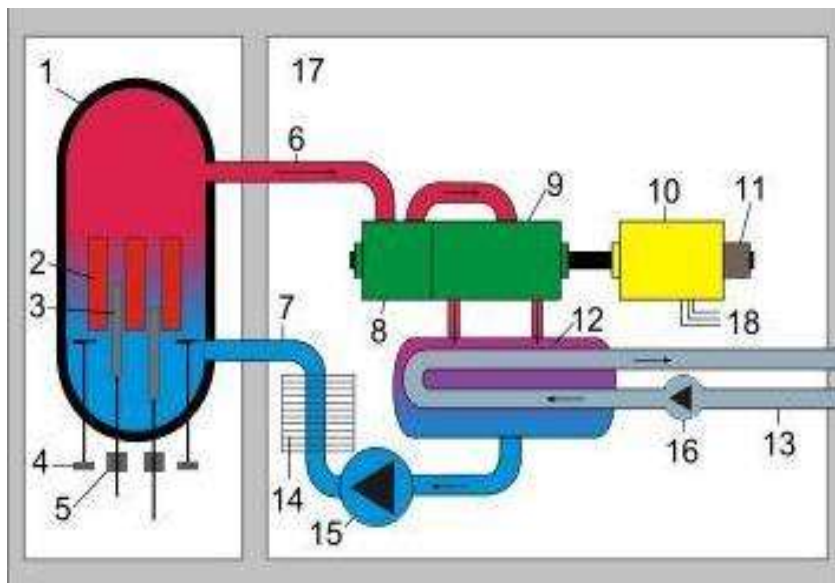
Les propriétés chimiques des atomes dépendent uniquement du nombre de protons du noyau. Certains atomes possèdent les mêmes propriétés chimiques mais un nombre différent de neutrons. Par conséquent, leur nombre de masse **A** est différent, tout comme leurs propriétés physiques. Certains de ces atomes peuvent être instables ou radioactifs.

Tableau 1. Schémas de désintégration de l'uranium 238 (U-238) et du thorium 232 (Th-232).

Uranium 238			Thorium 232		
Radionucléide	Demi-vie	Radiation	Radionucléide	Demi-vie	Radiation
²³⁸ U	4,5·10 ⁹ ans	α, γ	²³² Th	14·10 ⁹ ans	α, γ
²³⁴ Th	24 jours	β, γ	²²⁸ Ra	6,7 ans	γ, β
²³⁴ Pa	1,2 min	β, γ	²²⁸ Ac	6,1 h	γ, β
²³⁴ U	2,5·10 ⁵ ans	α, γ	²²⁸ Th	1,9 an	α, γ
²³⁰ Th	8·10 ⁴ ans	α, γ	²²⁴ Ra	3,6 jours	α, γ
²²⁶ Ra	1 620 ans	α, γ	²²⁰ Rn	55 sec	α, γ
²²² Rn	3,8 jours	α, γ	²¹⁶ Po	0,16 sec	α, β
²¹⁸ Po*	3,1 min	α, β	²¹² Pb	11 h	γ, β
²¹⁴ Pb	27 min	β, γ	²¹² Bi	61 min	α, γ, β
²¹⁴ Bi*	20 min	α, γ, β	²¹² Po	3·10 ⁻⁷ sec	α
²¹⁴ Po	1,6·10 ⁻⁴ sec	α	²⁰⁸ Pb	Stable	Aucune
²¹⁰ Pb	19 jours	β, γ			
²¹⁰ Bi*	5 jours	α, γ, β			
²¹⁰ Po	138 jours	α, γ			
²⁰⁶ Pb	Stable	Aucune			

* Seules les principales voies de désintégration sont mentionnées.

Schéma d'un réacteur



- | | |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| 1. Caisson sous pression du réacteur | 10. Générateur |
| 2. Élément de combustible nucléaire | 11. Excitateur |
| 3. Barres de contrôle | 12. Condenseur |
| 4. Pompes de circulation | 13. Réfrigérant |
| 5. Moteurs des barres de contrôle | 14. Réchauffeur |
| 6. Vapeur | 15. Pompe eau d'alimentation |
| 7. Eau d'alimentation | 16. Pompe eau froide |
| 8. Turbine haute pression | 17. Enceinte en béton |
| 9. Turbine basse pression | 18. Connexion au réseau électrique |

Tableau 2. Composition des principaux radionucléides radiologiques dans le coeur du réacteur 4 de Tchernobyl avant l'explosion et pendant l'explosion au moment de l'accident.

Contenu du coeur le 26 avril 1986			Total explosion normalisé par rapport au 26 avril 1986	
Nucléide	Demi-vie	Activité (PBq)	Contenu (%)	Activité (PBq)
¹³³ Xe	5,3 jours	6 500	100	6 290
¹³¹ I	8 jours	3 200	20	1 650
¹³⁴ Cs	2 ans	180	20	52
¹³⁷ Cs	30 ans	280	13	85
¹³² Te	78 h	2 700	25-60	~1 020
⁸⁹ Sr	52 jours	2 300	4-6	93
⁹⁰ Sr	28 ans	200	4-6	8,1
¹⁴⁰ Ba	12,8 jours	4 800	4-6	180
⁹⁵ Zr	64 jours	5 600	3,2	155
⁹⁹ Mo	67 h	4 800	> 3,5	-
¹⁰³ Ru	39,6 jours	4 800	2,9	170
¹⁰⁶ Ru	1 an	2 100	2,9	59
¹⁴¹ Ce	33 jours	5 600	2,3	190
¹⁴⁴ Ce	285 jours	3 300	2,8	137
²³⁹ Np	2,4 jours	2 700	3	1 440
²³⁸ Pu	86,0 ans	1	3	0,03
²³⁹ Pu	24 400,0 ans	0,85	3	0,03
²⁴⁰ Pu	6 580,0 ans	1,2	3	0,044
²⁴¹ Pu	13,2 ans	170	3	5,9
²⁴² Cm	163,0 jours	26	3,5	~0,9
TOTAL		73 559		~10 933

Administration de comprimés d'iode stable

La distribution d'iode stable est un moyen de protection efficace contre les conséquences nocives de l'inhalation d'iode radioactif, à condition qu'il soit pris avant, ou au début de la libération des substances radioactives. Cependant distribuer de l'iode stable à la population n'est pas chose aisée. Si le stockage des réserves d'iode est par exemple centralisé, comme c'est le cas dans certains pays, il faut affronter les difficultés logistiques liées à la distribution d'iode à toutes les personnes touchées au cours d'une situation d'urgence. Autrement dit, une action chronophage, qui implique de nombreuses personnes et qui peut faire courir aux travailleurs dépêchés dans l'urgence le risque d'être soumis à une exposition supplémentaire. Une distribution préalable d'iode stable présente l'inconvénient d'un renouvellement périodique des stocks avant la date d'expiration, une mise à jour de la distribution pour les nouveaux arrivants et un suivi des populations de passage. Cette action de protection nécessite ainsi de conserver d'importants stocks d'iode stable à tout moment.

L'efficacité de l'iode stable diminue rapidement s'il est pris après la période d'exposition. Le blocage de la thyroïde est efficace à plus de 90 % si l'iode est administré avant ou au moment de l'inhalation de matières radioactives. Son efficacité chute rapidement dès lors qu'il est pris après inhalation d'iode radioactif. Protéger les populations contre des doses d'iode élevées au niveau de la thyroïde doit par conséquent passer par l'administration de l'agent bloquant de la thyroïde avant ou peu après la libération des radionucléides. Le blocage de la thyroïde ne protège que la thyroïde, mais c'est la dose d'exposition de l'ensemble du corps qui est à l'origine de la plupart des décès prématurés dus à un accident de réacteur nucléaire. Il faut donc s'assurer que la distribution d'iode stable destinée au blocage de la thyroïde ne retarde pas l'évacuation ou la mise à l'abri.

Dans le cas des accidents graves, la dose inhalée peut être suffisamment élevée pour garantir un blocage de la thyroïde à plus de 100 km de l'accident. Néanmoins, pour des raisons pratiques, la distribution d'iode stable destinée à bloquer la thyroïde peut être limitée à une zone plus petite qui présente un risque maximum. Le blocage de la thyroïde est considéré comme étant sûr. En réaction à l'accident de Tchernobyl, le gouvernement polonais pris des mesures pour le blocage de la thyroïde chez environ 18 millions de personnes. Seuls deux adultes, dont la vulnérabilité à l'iode était connue, ont subi des effets indésirables graves.

Tableau 4. Dose individuelle d'iode stable recommandée par l'Organisation mondiale de la Santé (Lignes directrices pour la prophylaxie par l'iode à la suite d'accidents nucléaires, Genève, 1999) en fonction du groupe d'âges.

Groupe d'âges	Masse d'iode (mg)	Masse de KI (mg)	Masse de KIO ₃ (mg)	Fraction d'un comprimé de 100 mg
Adultes et adolescents (plus de 12 ans)	100	130	170	1
Enfants (3–12 ans)	50	65	85	0,5
Enfants en bas âge (1 mois à 3 ans)	25	32	42	0,25
Nouveaux-nés (de la naissance à 1 mois)	12,5	16	21	0,125

Page 20

Mise sur pied du plan d'urgence

Le plan d'urgence doit veiller à ce que la population potentiellement touchée :

- se voit fournir des informations d'ordre général sur les accidents pouvant se produire sur des sites nucléaires existants ou en cours de planification. Parmi ces informations doivent figurer la nature et l'étendue du risque radiologique, ainsi que les effets potentiels sur la santé humaine et/ou l'environnement, biens immobiliers compris ;
- se voit fournir des informations en temps utile sur les comportements et les mesures de sécurité appropriés à adopter dans le cas d'un accident libérant des radionucléides ou d'autres substances dangereuses. D'autres informations pouvant s'avérer utiles pour comprendre la nature des effets possibles d'un accident (telles que des informations sur les radionucléides ou d'autres substances dangereuses susceptibles de provoquer des dégâts en dehors du site) doivent être mises à disposition et surtout des informations sur la possibilité de contribuer efficacement et de manière adaptée aux décisions sur les installations dangereuses et le développement de plans de préparation de la population aux urgences.