

Risque technologique

LE RISQUE NUCLEAIRE



Ce livre a été élaboré à partir d'une étude menée par la Société d'Assistance à la Gestion des Risques (SAGERI) et la Société ARES, sous la conduite de Jean-Paul MOREL, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées.

Il a été établi grâce à la collaboration technique de Michel BRANGBOUR, Technicien à la Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales de l'Aube, avec les conseils pédagogiques d'un groupe d'enseignants pluridisciplinaire.

Pour toutes les informations et documents utiles qu'ils leur ont procurés, les auteurs remercient la Direction de la Sûreté des Installations Nucléaires, la Direction de la Sécurité Civile (ministère de l'Intérieur), l'équipe de direction de la centrale nucléaire de Nogent-Sur-Seine, le Service Statistiques d'Electricité de France.

Ils remercient également les personnalités qui ont participé à la relecture du livret : Michel LAVERIE Directeur, et Jean SCHERER, de la D.S.I.N., Jean CALAMY, attaché au chef du département Formation d'EDF, Jean Marie HOMO Ingénieur de sûreté à la centrale EDF de Penly, Marcel CHAPRON Ingénieurs à la Direction des Risques Majeurs ainsi que Jean Pierre HENRY Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées à la Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques, mission Energie.

SOMMAIRE

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION	p. 3
----------------------------------	-------------

CHAPITRE 2 : LA RADIOACTIVITE	p. 5
--------------------------------------	-------------

- 2.1. L'atome
- 2.2. Les radio-éléments
- 2.3. Les unités de mesure de la radioactivité

CHAPITRE 3 : LES EFFETS BIOLOGIQUES DES RAYONNEMENTS IONISANTS	p. 11
---	--------------

- 3.1. Période biologique, période effective
- 3.2. Les rayonnements d'une centrale nucléaire
- 3.3. Les effets biologiques des rayonnements

CHAPITRE 4 : LA CONNAISSANCE DU RISQUE	p. 15
---	--------------

- 4.1. Les effets d'un accident nucléaire avec rejets radioactifs
- 4.2. Rappels de la définition du risque
- 4.3. La connaissance de l'aléa
- 4.4. La connaissance des enjeux
- 4.5. La localisation des risques
- 4.6. Les conséquences de l'accident nucléaire
- 4.7. Les déchets des centrales nucléaires
- 4.8. Le transport de matières radioactives

CHAPITRE 5 : PREVENTION, PROTECTION, PARADES	p. 29
---	--------------

- 5.1. Les acteurs de la prévention
- 5.2. La triple barrière
- 5.3. Protections
- 5.4. Protections contre les actes de malveillance
- 5.5. Les parades financières
- 5.6. L'efficacité des protections et parades
- 5.7. Information et formation

CHAPITRE 6 : LA REGLEMENTATION

p. 39

- 6.1. Typologie**
- 6.2. Les centrales nucléaires**
- 6.3. Protection des populations**
- 6.4. Rejets d'effluents radioactifs**

CHAPITRE 7 : LA GESTION DE CRISE

p. 47

- 7.1. Les acteurs**
- 7.2. Les plans de secours**
- 7.3. Exercices et simulations**
- 7.4. Information des populations**
- 7.5. Les principales publications des associations de protection de l'environnement**

CHAPITRE 8 : CONSIGNES ET MESURES DE SAUVEGARDE

p. 53

- 8.1. Le signal d'alerte**
- 8.2. Les consignes**
- 8.3. Les mesures de sauvegarde**

ANNEXES

- 1- Three Mile Island** **p. 57**
- 2- Tchernobyl** **p. 61**
- 3- La sûreté nucléaire** **p. 70**
- 4- Les règles fondamentales de sûreté** **p. 71**
- 5- L'exercice Jacques Cœur** **p. 73**
- 6- Irradiation et contamination** **p. 75**
- 7- Les dossiers du bulletin SN en 1991** **p. 76**
- 8- Centres de stockage** **p. 77**

LEXIQUE

p. 78

BIBLIOGRAPHIE

p. 79

INTRODUCTION

1 Définition du risque nucléaire majeur

A l'appellation "**Risque nucléaire**" le public associe notamment des événements comme :

- l'accident de Tchernobyl ;
- les pollutions liées au fonctionnement normal des installations nucléaires ;
- les pollutions aux effets différés (contamination de l'eau, des végétaux, des animaux,...) ;
- les pollutions dues aux déchets...

Tous mettent en général en cause des centrales nucléaires de production d'électricité. Mais ces événements peuvent survenir également à d'autres étapes du cycle du combustible nucléaire (dans sa phase de retraitement par le CEA par exemple) ou dans d'autres installations utilisant des réacteurs (recherche, militaires...).

Toutefois, le risque que nous allons étudier dans ce livret est :

LE RISQUE NUCLEAIRE MAJEUR.

Une définition du **risque nucléaire majeur** peut-être la suivante :
 "tout événement **accidentel** se produisant sur une installation nucléaire et entraînant des **conséquences immédiates graves** pour le personnel, les populations avoisinantes, les biens ou l'environnement."

Cependant, nous évoquerons les conséquences non immédiates, c'est-à-dire les effets à moyen et long terme.

On trouvera dans ce livret toutes les informations permettant de réagir aux **événements accidentels** survenant sur des installations nucléaires (*voir p. 53*). Sont concernées toutes les installations nucléaires utilisant des quantités de produits suffisamment importantes pour qu'en cas de dysfonctionnement grave, la libération intempestive de ces produits ait des conséquences au delà de l'enceinte du site, sur des parties plus ou moins grandes de territoire.

2 Peut-on se passer du nucléaire ?

Les progrès industriels et le niveau d'équipement des ménages ont entraîné une augmentation considérable de la consommation d'énergie électrique (voir fig.1).

Pour faire face à cette consommation, les pays industrialisés ont installé de nouvelles unités de production d'électricité. Certains pays, dont la France, ont choisi l'énergie nucléaire (voir fig. 2).

Cette énergie permet une relative indépendance énergétique.

L'énergie nucléaire est utilisée dans beaucoup d'autres domaines :

- **industriel** : ionisation du bois, du plastique, radiographie de soudures, ...
- **agro-alimentaire** : traitement de fruits et légumes, pour ralentir la germination, prolonger la conservation, ...
- **médical** : radiographie, scanner, radiothérapie, ...

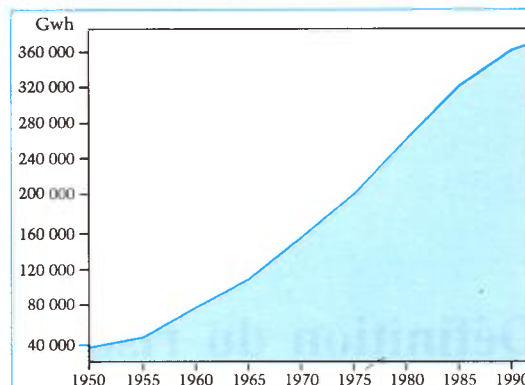


Fig. 1 : Evolution de la consommation d'électricité en France (1 Gwh = 1 milliard de Watts/heure)

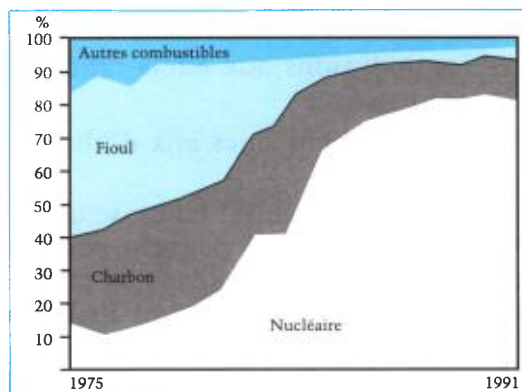


Fig. 2 : Structure de la production d'électricité

3 Limites d'étude du livret

A priori toutes les activités utilisant l'énergie nucléaire présentent des risques : extraction du minerai, fabrication et utilisation de combustibles ou de sources, traitement et stockage des déchets et transport de produits radioactifs.

Ces risques sont proportionnels à la quantité et à la nature des matériaux radioactifs ainsi qu'à leur type d'utilisation.

Un accident nucléaire sur une installation autre qu'une centrale, bien qu'il présente les mêmes risques, toucherait une partie moins importante de la population, et serait limité géographiquement à une aire plus restreinte.

Les installations qui mettent en œuvre les plus grandes quantités de matières et d'énergie sont les centrales nucléaires, et les centres de retraitement.

Aussi nous n'étudierons dans ce livret que les risques liés aux centrales nucléaires.

LA RADIOACTIVITE

2 1 L'atome

L'atome est l'élément de base de la matière. Il est constitué d'un noyau (99,5 % de sa masse) formé de **protons** (chargés positivement) et de **neutrons** (non chargés), autour duquel gravitent 1 à 7 couches d'**électrons** (chargés négativement) (voir fig. 3).

Les neutrons et les protons sont appelés **nucléons**.

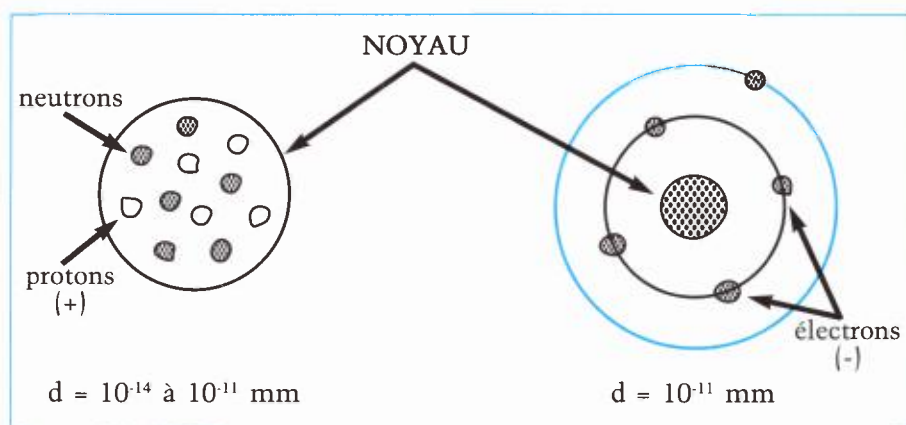


Fig. 3

Représentation schématique de l'atome

Les atomes sont habituellement représentés comme des systèmes planétaires (voir fig.4), bien qu'ils soient "sphériques" :

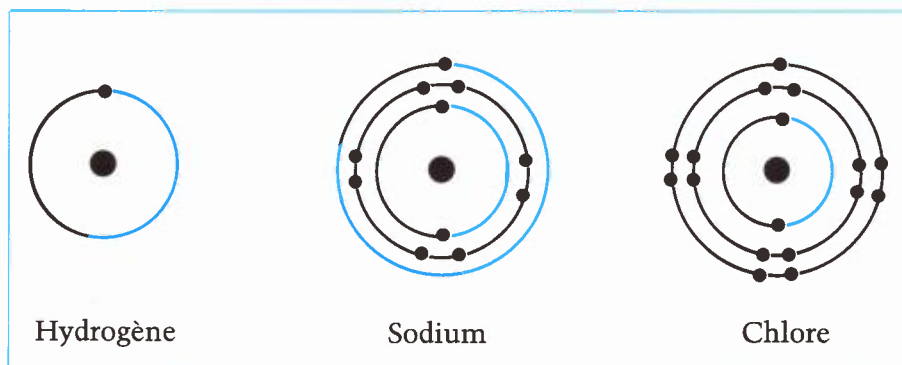


Fig. 4

Représentation planétaire de trois atomes

Dans chaque atome il y a autant de protons que d'électrons. Ce nombre est appelé **nombre atomique**. Le total des protons et des neutrons (nucléons) est appelé **nombre de masse**.

Le nombre de masse s'écrit en haut à gauche du symbole de l'élément, le nombre atomique s'écrit en bas à gauche.

Exemple : le fer stable (symbole chimique Fe) :



Cela signifie qu'il contient donc 26 protons, 26 électrons et 30 neutrons.

2 Les radio-éléments

Dans les atomes (*voir isotopes p. 8*) dont le noyau comporte trop de neutrons et de protons, ou lorsqu'il y a disproportion entre le nombre de neutrons et de protons, ceux-ci peuvent s'échapper ou se transformer l'un en l'autre : c'est la désintégration de l'atome.

Ces atomes instables sont dit **radio-actifs** ou appelés **radio-éléments**. Ils sont **ionisants**.

Il existe des radio-éléments naturels et d'autres artificiels créés notamment par l'industrie nucléaire.

Aujourd'hui, dans les pays industrialisés, ils se répartissent approximativement dans les proportions de la *fig. 5*.

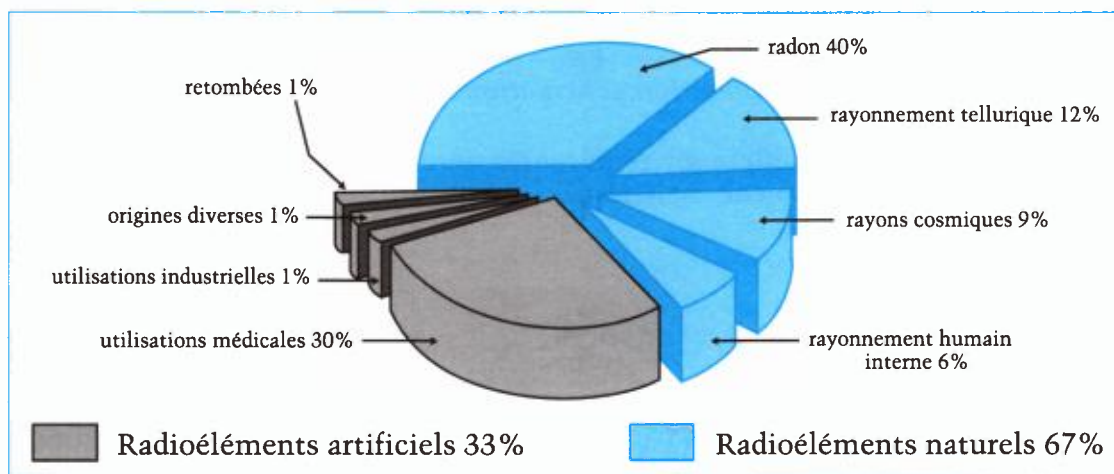


Fig. 5
Proportions des sources naturelles et artificielles

Les radio-éléments ne sont pas éternels. Ils se transforment (très lentement pour certains), à la suite de leurs différentes désintégrations, en d'autres éléments successifs qui deviennent finalement des atomes non radioactifs stables (*voir fig. 6*).

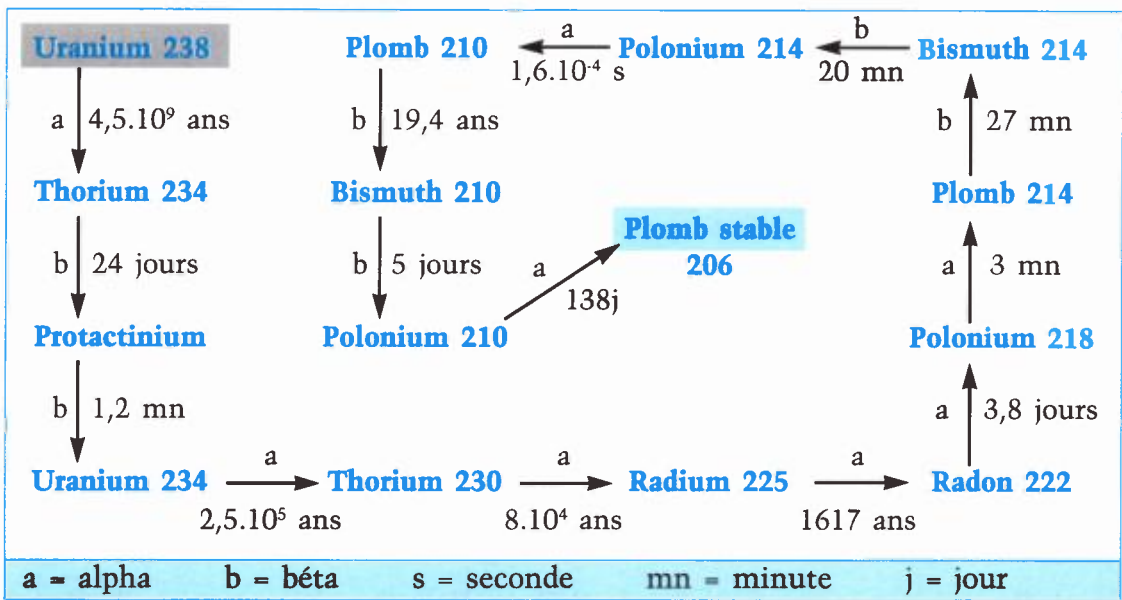


Fig. 6
Différentes étapes de la transformation d'un atome d'U 238 en plomb stable

On connaît environ 60 éléments radioactifs naturels. Ces corps radioactifs naturels sont présents dans pratiquement tout notre environnement (voir fig. 7).

Poisson	100 Bq/kg
Pomme de terre	100 à 150 Bq/kg
Huile de table	180 Bq/kg
Lait	50 Bq/l (Potassium 40) 80 Bq/l (radioactivité naturelle totale)
Eau minérale	Radium 226 : 1 Bq/l, ou Uranium : 2 Bq/l
Eau de pluie	0,3 à 1 Bq/l
Eau de mer	10 Bq/l
Sol sédimentaire	400 Bq/kg
Sol granitique	8.000 Bq/kg
Corps humain	12.000 Bq dont 6.000 dus au Potassium 40
1 g de Radium	3,7.10 ¹⁰ Bq

Fig. 7
Radioactivité naturelle (en Becquerel-Bq)
(d'après bulletin de liaison SFEN n° 128)

D'après la fig. 6, on voit que la transformation des radio-éléments nécessite de quelques fractions de secondes à plusieurs milliards d'années.

Le temps pour que la moitié des atomes radioactifs, présents initialement, se soient désintégrés spontanément (voir fig. 8), est appelé **période radioactive physique, ou demi-vie**.

Polonium 214	1/10000 ème de seconde
Tellure 132	3,4 jours
Iode 131	8 jours
Baryum 140	12 jours
Césium 134	30 jours
Ruthénium 106	369 jours
Césium 137	30 ans
Plutonium 239	24.000 ans
Uranium 238	4,5 milliards d'années

Fig. 8

Demi-vie = période radioactive physique de quelques éléments

Cela signifie qu'il faudra 80 jours pour que l'Iode 131 soit 1 000 fois moins radioactif, alors qu'il faudra 300 ans pour le Césium 137, et 45 milliards d'années pour l'Uranium 238 (radioélément naturel).

Le chiffre suivant les noms des radioéléments (nombre de masse) est destiné à identifier des éléments chimiques de même nature ayant un nombre de nucléons (protons + neutrons) différents : ce sont des isotopes.

Exemple 1 : isotopes de l'Hydrogène (H)

$\begin{smallmatrix} 1 \\ 1 \end{smallmatrix} \text{H}$	$\begin{smallmatrix} 2 \\ 1 \end{smallmatrix} \text{H}$	$\begin{smallmatrix} 3 \\ 1 \end{smallmatrix} \text{H}$
Hydrogène	Deutérium	Tritium

Exemple 2 : isotopes de l'Uranium (U)

$\begin{smallmatrix} 234 \\ 92 \end{smallmatrix} \text{U}$	$\begin{smallmatrix} 235 \\ 92 \end{smallmatrix} \text{U}$	$\begin{smallmatrix} 238 \\ 92 \end{smallmatrix} \text{U}$
--	--	--

Comme on peut le voir sur la [fig. 8](#), chaque isotope a sa propre période radioactive physique : exemple Césium 134, 30 jours ; Césium 137, 30 ans.

2 3 Les unités de mesure de la radioactivité

L'activité des radio-éléments, suivant qu'il s'agit de celle émise par la source, de celle absorbée par l'organisme ou de celle réellement incidente sur l'organisme, s'exprime avec des unités différentes.

*** Activité émise par la source**

L'unité légale est le Becquerel (Bq) qui correspond à une désintégration par seconde. L'ancienne unité est le Curie qui vaut $3,7 \cdot 10^{10}$ Becquerel ([voir fig. 9](#)). 1 Curie est égal à l'activité d'un gramme de Radium 226.

*** Dose absorbée**

L'unité légale est le Gray (Gy). L'ancienne unité est le Rad qui vaut 0,01 Gy. 1 Gray = 1 Joule/Kg = 100 Rads (Radiation absorbed dose) ([voir fig. 10](#)).

*** Dose incidente sur l'organisme**

A dose absorbée égale, les effets des rayonnements ionisants, dus aux radioéléments, varient selon leur nature, l'organe qu'ils atteignent, et le mode d'irradiation. Cette dose incidente est appelée **équivalent de dose**.

L'unité légale pour l'exprimer est le Sievert (Sv).
1 Sievert vaut également 100 Rems (Röntgen équivalent man) donc 1 mSv = 0.1 Rem et 1 mrem= 10 micro Sv.

Exa (E)	10 ¹⁸	1 000 000 000 000 000 000	multiples
Peta (P)	10 ¹⁵	1 000 000 000 000 000	
Tera (T)	10 ¹²	1 000 000 000 000	
Giga (G)	10 ⁹	1 000 000 000	
Mega (M)	10 ⁶	1 000 000	
Kilo (K)	10 ³	1 000	sous multiples
mili (m)	10 ⁻³	0.001	
micro (u)	10 ⁻⁶	0.000 001	
nano (n)	10 ⁻⁹	0.000 000 001	
pico (p)	10 ⁻¹²	0.000 000 000 001	
femto (f)	10 ⁻¹⁵	0.000 000 000 000 001	
atto (a)	10 ⁻¹⁸	0.000 000 000 000 000 001	

Fig 9
Multiples et sous multiples

	Joule	Kwh	Calorie	Electron Volt
Joule	1	2,78.10 ⁻⁷	0,239	6,24.10 ¹⁸
Kwh	3,6.10 ⁶	1	8,6.10 ⁵	2,25.10 ²⁵
Calorie	4,18	1,16.10 ⁻⁶	1	2,62.10 ¹⁹
Electron Volt	1,6.10 ⁻¹⁹	4,44.10 ⁻²⁶	3,83.10 ⁻²⁰	1

Fig. 10
Equivalence entre les différentes unités d'énergie
(Ex : 1 KWh = 8,6.10⁵ calories et 3,6.10⁶ Joules)

- L'équivalent de dose dépend donc de plusieurs facteurs :
- de la dose absorbée : D (en Gray) ;
 - de la nature du rayonnement : caractérisée par un facteur Q dont les valeurs varient de 1 à 20 (1 pour les "bêta", X et "gamma" ; 3 à 10 pour les neutrons ; 20 pour les particules "alpha"). Ce facteur Q est fonction du transfert linéique d'énergie (T.L.E.) : très schématiquement, le TLE d'un radioélément dépend de sa distance (son pouvoir) de pénétration dans le milieu considéré, et de l'énergie qu'il lui communique. C'est dire que le T.L.E. varie d'un élément à l'autre et d'un milieu à l'autre.
 - de la distribution de la dose dans le temps : N ; une dose de 1 Gray en une heure a des effets plus conséquents qu'une dose de 10 Grays répartie sur un an.

L'EQUIVALENT DE DOSE H (en Sv) est donc égal à :

H = D x Q x N

D = Dose absorbée (en Gy)

Q = Nature du rayonnement (1 à 20)

N = Distribution de la dose dans le temps (en règle générale N =1)

Exemple : une dose de 1 Gray dans le squelette est égale à :

1 Sv en cas d'irradiation par des rayons X (car $Q = 1$; $N = 1$)

1 Sv en cas de contamination par du K 40 (car $Q = 1$, émission Bêta ; $N = 1$)

20 Sv s'il s'agit de Radium 226 ($Q = 20$, émetteur de rayons alpha ; $N = 1$).

On voit l'extrême difficulté à appréhender les effets d'un rayonnement ionisant (homme, femme, faune, air, eau, matériaux...).

Même en se limitant à l'homme, les effets biologiques varieront en fonction de :

- la nature du radioélément (rayon X, alpha, bêta, gamma, neutrons) ;
- la partie du corps atteinte (peau, thyroïde, moelle osseuse, appareil digestif,...) ;
- la sensibilité de chaque groupe d'individus (enfant, adulte, homme, femme).

Par exemple : la femme a les organes génitaux mieux protégés que l'homme ; les risques de leucémie sont plus importants chez l'enfant que chez l'adulte...

LES EFFETS BIOLOGIQUES DES RAYONNEMENTS IONISANTS

Nous venons de voir que les effets biologiques des rayonnements ionisants dépendent de l'équivalent de dose. Toutefois à dose égale, ces effets sont très différents selon que l'irradiation a été localisée ou globale (délivrée à l'ensemble de l'organisme), et selon l'organe qui a été atteint.

3 1 Période biologique, période effective

A la période radioactive physique (*voir p. 7*) vient s'ajouter l'action biologique de l'organisme qui contribue à l'élimination de la radioactivité.

Cette action est **la période biologique** qui s'exprime par rapport au temps nécessaire pour que soit éliminée, naturellement, la moitié de la quantité d'un radioélément absorbé par une voie quelconque.

L'action cumulée de la période physique et de la période biologique s'appelle **la période effective**.

Elle se calcule de la façon suivante :

$$\frac{1}{\text{période effective}} = \frac{1}{\text{période biologique}} + \frac{1}{\text{période physique}}$$

$$\text{ou } T_e = \frac{T_b \times T_p}{T_b + T_p}$$

T_e = période effective, T_b = période biologique, T_p = période physique

Exemple 1 : Iode 131 $T_b = 138 \text{ j}$ $T_p = 8,04 \text{ j}$

$$T_e \text{ Iode 131} = \frac{138 \times 8,04}{138 + 8,04} = 7,6 \text{ jours}$$

Exemple 2 : Césium 137 $T_b = 70 \text{ j}$ $T_p = 30 \text{ ans}$

$$T_e \text{ Césium 137} = \frac{70 \times (30 \times 365)}{70 + (30 \times 365)} = 69,55 \text{ jours}$$

Ces deux exemples montrent l'importance de la période effective qui est toujours inférieure à la période physique : pour le deuxième exemple, notons que la moitié du Césium 137 est éliminée en 30 ans dans la nature, et en 70 jours environ par le corps humain.

Il faut souligner que les radioéléments, en fonction de leur nature chimique, se fixent de préférence sur certains organes :

- le Césium 137 dans les muscles ;
- l'Iode 131 dans la thyroïde ;
- le Plutonium 239 dans les os, le tube digestif, les poumons ;
- le Ruthénium 106 dans les reins ;
- le Strontium 90 dans les os, les reins, le foie et la vessie ;
- l'Uranium 238 dans les os et les poumons ;
- etc.

Dans certains cas, l'élimination d'un radioélément peut être accélérée, et la fixation évitée dans des proportions importantes, en saturant l'organisme avec l'élément chimique non radioactif qui se fixe sur l'organe pouvant être atteint : iode stable pour saturer la thyroïde, ...

3 2 Les rayonnements d'une centrale nucléaire

Lors d'un dysfonctionnement de centrale nucléaire, la radioactivité, émise hors du site, serait due essentiellement à des rayonnements alpha, bêta, gamma, l'activité des neutrons n'existant qu'à l'intérieur du cœur de la centrale. Ces rayonnements se divisent en deux catégories :

** les rayonnements corpusculaires chargés :*

- alpha : noyaux d'hélium constitués de 2 neutrons et 2 protons ;
- bêta : ce sont des électrons.

** les rayonnements neutres :*

- neutrons ;
- électromagnétiques : gamma.

3.2.1. Les rayonnements corpusculaires chargés

Ils agissent sur la matière dans laquelle ils se propagent en arrachant des électrons. Leur parcours est très court ; il s'exprime :

- en cm dans l'air et en microns dans l'eau pour les alpha,
- en mètres dans l'air et en mm dans l'eau pour les bêta.

Ils sont peu nocifs par irradiation externe, car ils sont peu pénétrants, mais très nocifs par irradiation interne, car ils sont fortement ionisants.

3.2.2. Les rayonnements neutres

Ils peuvent traverser des quantités importantes de matière, et nécessitent pour s'en protéger des écrans de béton, d'acier,...

Schématiquement, ils peuvent, en fonction de la dose reçue, être très dangereux pour l'homme, car ils entraînent sur leur parcours la transformation d'atomes neutres en ions, c'est-à-dire la formation de rayonnements corpusculaires chargés.

3.2.3. Les rayonnements neutres et corpusculaires chargés

Ils sont également caractérisés par leur énergie. Cette énergie s'exprime en électron Volt (eV) :

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Joule.}$$

La fission d'un atome d'U 235 libère 200 MeV (200.000.000 eV) soit $3,2 \cdot 10^{-11}$ Joule qui, absorbés dans 1 Kg de matière, entraîneraient une dose de 32 pico Gray (pico = 10^{-12}).

Il faudrait donc l'énergie de $31 \cdot 10^9$ atomes d'U 235 dans 1 Kg de matière pour obtenir 1 Gray (soit 10^{12} d'U 235).

3 Les effets biologiques des rayonnements

Il faut au préalable préciser que les rayonnements ionisants, qu'ils soient d'origine naturelle ou artificielle, présentent à dose équivalente les mêmes risques, étant précisé toutefois que les doses naturelles sont extrêmement faibles.

Ces rayonnements peuvent avoir des effets immédiats ou retardés. Ces effets sont différents suivant qu'il s'agit d'une irradiation globale ou partielle.

3.3.1. Effets immédiats

Ces effets sont bien connus et ne peuvent intervenir qu'en cas d'exposition à proximité d'une source, sans protection. Ils occasionnent des lésions importantes susceptibles d'entraîner la destruction de cellules, la diminution des cellules sanguines et/ou l'affaiblissement des défenses immunitaires.

Une dose au delà de 4 à 5 Grays (3,5 à 5,5 suivant les auteurs), en une seule exposition, correspond à la dose létale 50-60 : c'est-à-dire à la mort d'un individu sur 2 (50 %) en 60 jours, **en l'absence de traitement**.

Au delà de 12 Grays, pratiquement aucun traitement n'est efficace. Il convient de préciser que des doses de cette importance ont souvent des effets physiques (brûlures, ...).

3.3.2. Effets retardés

Les rayonnements ionisants pourraient occasionner des mutations génétiques. Le gène est un fragment de la molécule d'ADN (Acide Désoxiribonucléique). L'ADN avec son cortège de molécules de protéines constitue le chromosome. Les chromosomes sont donc les éléments du noyau cellulaire qui contiennent les gènes. Ils communiquent les informations nécessaires à la reproduction normale des cellules.

Des désordres pourraient être constatés dans :

- les cellules somatiques (non reproductrices) ;
- les cellules reproductrices : spermatozoïdes ou ovules.

Lorsqu'il y a mutation d'une ou plusieurs cellules somatiques, il y a risque de cancer ou de leucémie.

Lorsque ce sont les cellules reproductrices, des mutations génétiques peuvent affecter la descendance. Nous verrons cependant [p. 16](#), que les études d'Hiroshima et de Nagasaki n'ont pas montré d'augmentation significative de la fréquence des anomalies génétiques.

3.3.3. Irradiation globale et partielle

Selon que l'organisme est irradié en totalité (irradiation globale) ou partiellement, les risques varient de façon importante.

Par exemple, une dose de quelques Grays dans une main ne peut avoir de conséquences qu'au niveau de cette main, alors qu'une dose plus faible délivrée à l'ensemble de l'organisme peut avoir des conséquences graves pour l'individu, voire fatales.

LA CONNAISSANCE DU RISQUE

*“C’est un excellent moyen de bien voir les
conséquences des choses, que de sentir vivement
tous les risques qu’elles nous font courir”.*

J.J. ROUSSEAU

4¹ Les effets d'un accident nucléaire avec rejets radioactifs

4.1.1. Irradiation, contamination

Pour l'individu il y a des risques d'irradiation et/ou de contamination (*voir annexe 6*) que l'on peut distinguer de la façon suivante :

* *Irradiation*

Il y a irradiation lorsque l'homme se trouve sur le trajet des rayonnements émis par une source radioactive.

On distingue l'**irradiation externe**, quand la source est à l'extérieur du corps, et l'**irradiation interne**, quand des éléments radioactifs ont été inhalés ou ingérés. Plus l'exposition est longue, plus l'irradiation est importante. On peut diminuer l'exposition à l'irradiation en se protégeant derrière des écrans (plomb, métal, béton) ou en s'éloignant de la source.

En outre, les différentes études faites après Tchernobyl, ont montré que la proportion d'irradiation due au nuage est très faible (quelques pour cent) par rapport à celle due aux dépôts. En effet, l'irradiation due au nuage n'existe que pendant son passage, alors que celle due au dépôt, même si elle décroît, persiste en fonction de la durée de vie des radioéléments et du lessivage des sols.

* *Contamination*

Il y a contamination lorsque les substances radioactives se sont répandues dans le milieu. Elle peut être atmosphérique (en suspension dans l'air) ou surfacique (lorsque ces substances se sont déposées).

Pour l'homme la contamination peut être externe ou interne :

- **elle est externe** lorsque les particules se sont déposées sur la peau ou les

cheveux. Dans ce cas, elle peut s'éliminer par un simple lavage, l'eau entraînant les particules ;

- **elle est interne** lorsque les particules ont pénétré dans l'organisme par inhalation, ingestion ou par blessure cutanée : elle provoque une irradiation interne. Dans ce cas elle peut s'éliminer par les voies naturelles ou grâce à un traitement médical approprié.

Les études "post Tchernobyl" ont montré que l'irradiation interne due à la contamination interne par ingestion était plus importante que celle due à l'inhalation (98,6 % contre 1,4 %).

Celles faites par le RERF (Radiation Effect Research Foundation, comité d'experts internationaux, notamment américains et japonais) sur les survivants d'Hiroshima et Nagasaki, qui ont été irradiés essentiellement par des gamma, concernent 285.000 personnes irradiées ; plus de 100.000 font encore l'objet d'une enquête particulière.

Les résultats de ces études sont les suivants :

- 500 à 600 des 80.000 décès survenus de 1950 à 1988 paraissent dûs à des cancers radio-induits (dûs à la radioactivité) ;
- parmi 1 200 personnes ayant reçu une dose de l'ordre de 3,3 Sv, l'excès de cancers ne dépasserait pas 4 %.

En fonction de toutes les études et expérimentations qui ont été réalisées, la C.I.P.R. (Commission Internationale de Protection Radiologique) estime le **risque global de cancer mortel** à 5 % par Sievert pour la population, tous âges confondus, et 4 % par Sievert, pour les individus entre 18 et 65 ans.

4.1.1. Risque génétique

Les études d'Hiroshima et Nagasaki n'ont pas montré d'augmentation significative de la fréquence des anomalies génétiques (le risque génétique provient de l'altération du matériel génétique des parents pouvant entraîner des évolutions sur les générations ultérieures).

Toutefois elles ont mis en évidence qu'il existe un **risque tératogène** : il s'agit des effets induits sur l'enfant à naître, suite à une irradiation in-utéro. Ces effets se sont manifestés par un retard mental qui varie selon que l'irradiation s'est produite entre la 8^{ème} et la 15^{ème} semaine de gestation, ou entre la 16^{ème} et la 25^{ème} semaine. Dans le premier cas il y aurait une perte de trente points de Q.I. par Sievert ; dans le second, les conséquences seraient très nettement inférieures.

4.1.2. Risques immédiats d'irradiation

Les effets physiques immédiats sur le corps humain ne peuvent intervenir qu'à la suite d'incidents ou d'accidents d'irradiations : il peut s'agir d'irradiations globales ou partielles.

Les tissus les plus fragiles sont : la peau, les cellules formatrices du sang (la moelle osseuse), l'intestin, les cellules reproductrices.

** Irradiation globale*

- **Au dessous de 1 Gray** (X ou gamma) **ou 0,3 Gray** (neutrons), les signes fonctionnels sont nuls.
- **Entre 1 et 2 Grays** (1 à 2 Sv pour des gammas), les manifestations fonctionnelles apparaissent (nausées, vomissements, céphalées). La guérison est la règle avec quelques précautions simples en milieu hospitalier.
- **Au delà de 2 Grays**, il est impératif d'hospitaliser en milieu spécialisé, l'atteinte de la moelle osseuse pouvant être critique.
- **Au delà de 8 Grays** peuvent s'ajouter des complications digestives (hémorragie, perforation, ...).
- **Au delà de 12 Grays** en irradiation instantanée, il n'y a pratiquement plus aucun traitement efficace.

** Irradiation partielle*

- **Pour la peau**, les effets sont visibles à partir d'environ 4 Grays (rougeurs type coup de soleil).
- **Pour les cellules reproductrices**, les différents auteurs estiment que la stérilité ne serait irréversible qu'avec des doses supérieures à 6 Grays pour l'homme et de 7 à 12 Grays pour la femme.
- **Pour les autres organes** (cœur, poumons, reins, tube digestif, foie, système nerveux central), il faudrait des doses supérieures à 8 Grays pour qu'apparaissent des lésions importantes.

4 2 **Rappels de la définition du risque**

On se reportera à la définition donné dans le livre général, à savoir, en résumant :

Risque = conjonction d'un aléa et d'un ou plusieurs enjeux

Exemple	ALEA	ENJEUX	RISQUES
1	nuage radioactif	zone d'habitation	- risque d'intoxication - risque de contamination des maisons, des objets, de l'eau, impossibilité de réintégrer la zone pendant un temps plus ou moins long
2	nuage radioactif	zone d'habitation	- risque d'intoxication - risque de contamination des maisons, des objets, de l'eau, impossibilité de réintégrer la zone pendant un temps plus ou moins long
		cultures, élevages	contamination des animaux et de leurs sous produits (lait, ...) contamination des végétaux et des sols cultivables

4³ La connaissance de l'aléa

4.3.1. Connaissance des phénomènes

Comme nous l'avons précisé [p. 4](#) toutes les installations nucléaires présentent des risques. Toutefois les installations à plus haut risque sont les réacteurs nucléaires industriels. Des produits radioactifs sont présents en quantité importante et mettent en jeu des énergies considérables (la désintégration de tous les atomes d'un gramme d'Uranium 235 dégage autant d'énergie que la combustion de 1600 litres de fioul).

Par contre, la quasi totalité des autres applications utilisent des sources dont l'activité diminue au fur et à mesure de leur utilisation.

4.3.2. Le cycle du combustible

* *L'Uranium naturel*

Extrait d'un minerai (pechblende), c'est un mélange de plusieurs de ses isotopes : environ 0,05 % d'U 234, 0,7 % d'U 235, 99,2 % d'U 238. Pour que cet uranium produise de l'énergie, il faut qu'il y ait fission d'atomes.

Or, lorsqu'un neutron percute un atome, il peut y avoir une fission, mais également la capture de ce neutron par l'atome.

Pour l'U 235 il y a fission : on dit qu'il est fissile (voir fig. 12).

Pour l'U 238 il y a capture : on dit qu'il est fertile (ce phénomène aboutit à la production de plutonium).

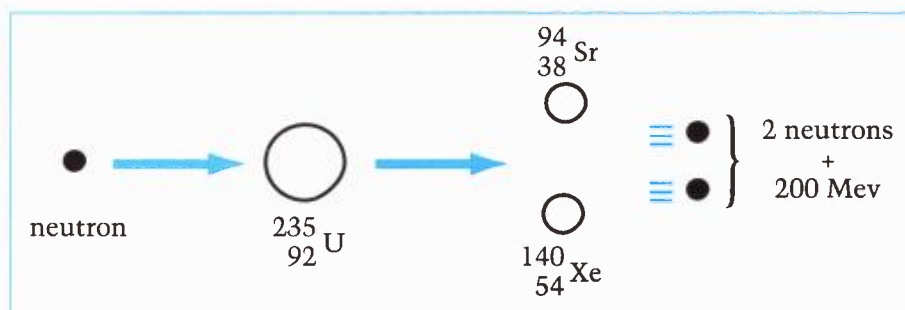


Fig. 12

Exemple d'une fission d'un atome d'Uranium 235

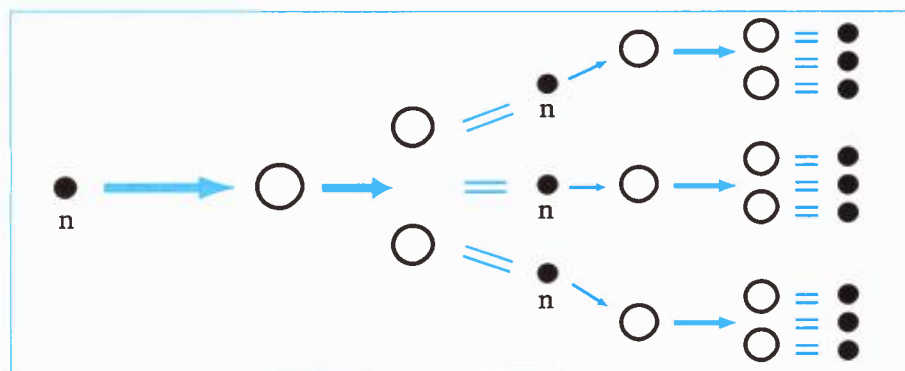


Fig. 13

Schématisation de la réaction en chaîne

* L'Uranium enrichi

Il s'appelle ainsi car le but de cet enrichissement est d'augmenter la teneur en Uranium 235 pour que le combustible soit plus riche en matière fissible que l'uranium naturel. Pour une centrale équipée d'un Réacteur à Eau Pressurisée (REP), l'uranium est enrichi à environ 3 %, c'est à dire qu'il contient 3 % d'U 235 et 97 % d'U 238.

4.3.3. Connaissance des procédés

Nous verrons plus loin la description des différents éléments d'une centrale nucléaire représentée schématiquement *fig. 14*.

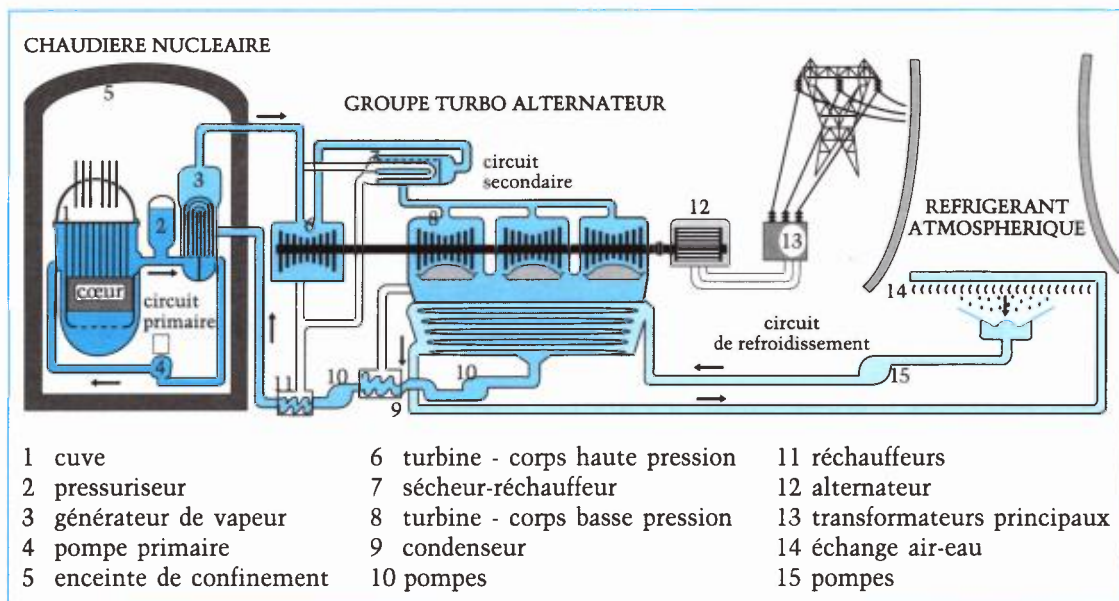


Fig. 14

Principe de fonctionnement d'une centrale refroidie par de l'eau de rivière

Voyons sur deux exemples simplifiés les causes principales des accidents nucléaires :

Exemple 1 : l'accident de Three Mile Island, centrale équipée d'un REP - USA 1979 :

- arrêt de la circulation d'eau du circuit secondaire (des générateurs de vapeur aux turbines), d'où perte de réfrigération du circuit primaire ;
- absence de fermeture de la soupape du pressuriseur ;
- vanne du circuit d'alimentation de secours des générateurs de vapeur fermée par erreur lors d'une opération de maintenance ;
- arrêt, à tort, de l'injection de sécurité.

(Pour plus de détails sur les causes et les conséquences de ces erreurs, voir l'annexe 1)

Ces erreurs entraînent une élévation trop importante de la température du combustible du réacteur, qui provoque la fusion partielle du cœur.

Exemple 2 : l'accident de Tchernobyl - URSS 1986 (voir annexe 2). Ce type de réacteur, à tubes de force, est très différent des REP. Il ne dispose pas d'enceinte de confinement :

- arrêt volontaire du refroidissement de secours ;
- extraction des barres de contrôle mais il en reste 8 ;
- malgré le signal d'arrêt d'urgence (déclenché automatiquement lorsqu'il y a moins de 16 barres de contrôle), les opérateurs bloquent ce signal et continuent la remontée en puissance du réacteur ;
- le réacteur s'emballe et atteint en quelques secondes une puissance CENT FOIS SUPERIEURE à sa puissance nominale ;
- cette libération brutale d'énergie a conduit à la fusion du combustible qui a entraîné d'autres phénomènes (voir annexe 2).

Pour un troisième accident qui s'est produit à WINDSCALE (Grande Bretagne) en 1957, sur un réacteur non producteur d'électricité, on a aussi abouti à la fusion du combustible (uranium), qui semble être l'accident le plus dangereux.

Pour une centrale nucléaire, la fusion du cœur du réacteur est considérée par tous les spécialistes comme l'accident majeur.

Cette fusion (à 2.800°), comme tous les autres accidents importants sur un réacteur nucléaire, ne peut intervenir qu'à la suite d'une série de défaillances qui aboutirait à une trop forte élévation de la température du combustible.

Pour qu'il y ait ensuite dissémination de produits radioactifs, plusieurs conditions devront être requises :

- dysfonctionnement des systèmes de sécurité ;
- perte des 3 barrières de protection (gaine, cuve, enceinte), dans le cas d'un réacteur à eau pressurisée (voir fig. 14).

4.3.4. Outils et méthodes de connaissance

** Les outils du technicien*

Les techniciens doivent disposer des instruments de mesures fiables pour contrôler tous les paramètres de fonctionnement.

** Méthodes d'analyse des risques : théorie de la fiabilité*

Parmi les premières études d'analyse sur la sûreté des réacteurs dans les centrales électriques nucléaires, pour évaluer les risques que pouvait subir la population, il en est une qui fait référence : on la connaît sous le nom de "**Rapport Rasmussen**".

Elle prend en compte deux éléments :

- les arbres d'événements ;
- les arbres de défaillances.

Les arbres d'événements définissent une défaillance initiale, puis le déroulement des événements qui peuvent en résulter. Dans le cas des centrales nucléaires ces "arbres d'événements" sont utilisés :

- pour définir les millions de déroulements potentiels d'accidents ;
- pour déterminer leur probabilité de survenue ;
- pour calculer la quantité de radioactivité pouvant être dégagée.

Un arbre de défaillance commence avec la définition d'un événement non désiré, puis, détermine, à l'aide de connaissances technologiques et de systèmes logiques mathématiques, les différents phénomènes pour lesquels les sécurités risquent de ne pas fonctionner. Il couvre :

- la défaillance de composants (pompes, vannes, tuyauteries ...) ;
- la probabilité d'erreurs des opérateurs (de la plus petite à la plus grande) ;
- la probabilité des erreurs d'entretien.

Enfin les différentes séquences d'accidents potentiels prennent en compte les **conditions météorologiques** et la **distribution des populations** au voisinage du réacteur.

Cette méthode d'analyse, complétée par le **retour d'expérience**, a permis de placer le seuil de fiabilité technique à un très haut niveau. "Le retour d'expérience" découle de la communication, dans le monde entier, des moindres incidents pouvant se produire sur une centrale nucléaire. Il permet d'apporter, au fur et à mesure, des modifications pour renforcer la fiabilité.

Cependant, l'homme, également source de défaillance, a été le facteur déterminant dans pratiquement tous les accidents nucléaires. Ces accidents sont la conséquence :

- soit d'une négligence humaine (par manque de sensibilisation et/ou de connaissance) : exemple Tchernobyl ;
- soit d'une erreur d'appréciation (par manque d'attention) : exemple Windscale ;
- soit d'une méconnaissance du problème (par manque d'information) : exemple Three Mile Island.

Ainsi, comme pour le risque industriel, l'homme peut être considéré comme le maillon faible de la sécurité.

Afin de limiter les risques liés à la défaillance humaine, les systèmes de sécurité (arrêt automatique du réacteur, injection de sécurité, alimentation de secours des générateurs de vapeur) sont activés automatiquement par les systèmes de protection du réacteur. Ils peuvent également être mis en service par les opérateurs. De nombreuses études sont en cours, afin de mieux connaître la fréquence et la nature de la défaillance humaine.

Enfin la chaîne humaine est "doublée" par la présence permanente d'un **ingénieur de sûreté**.

4.3.5. Etude de dangers

L'Etat impose à certains établissements jugés dangereux, de faire des études sur les risques encourus. Les installations nucléaires, comme les autres installations industrielles, sont soumises à une législation spéciale (*voir p. 39*) : soit celle des installations classées pour la protection de l'environnement (I.C.P.E.), soit celle concernant les installations nucléaires de base (I.N.B.).

Dans tous les cas de figures, une des études les plus importantes est appelée : **étude de dangers**. Elle doit notamment comprendre :

- une description précise de l'établissement et une analyse des risques ;
- une modélisation des conséquences d'un accident ;
- les mesures de prévention pour éviter l'apparition des accidents et pour en limiter les effets : il faut mettre en place les moyens de lutte privés, en cohérence avec ceux détenus ou pouvant être réquisitionnés par les pouvoirs publics ;
- les effets et mesures de protection contre des agressions extérieures (terrorisme, inondation, séisme...).

Cette étude sert de support à l'élaboration des plans de secours (*voir p. 48*).

4

La connaissance des enjeux

Les enjeux sont de trois ordres : humains, environnementaux et économiques.

4.4.1. Les enjeux humains

Les accidents nucléaires avec des conséquences immédiates graves, pour les hommes, sont heureusement très rares.

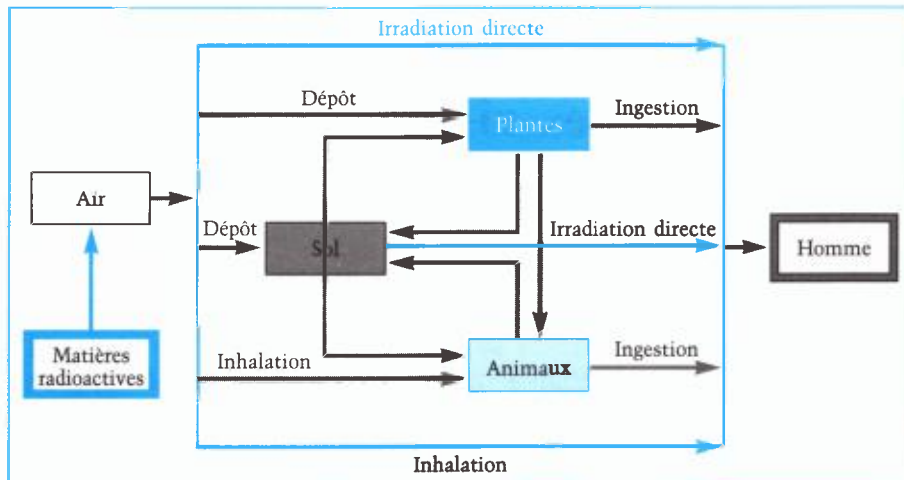
Actuellement un seul accident sur une centrale nucléaire (**Tchernobyl**) a eu des conséquences immédiates graves : plus de 30 morts (statistiques officielles) dues à de fortes expositions de l'organisme entier, aggravées par des brûlures thermiques ou radioactives. Il s'agit uniquement d'agents d'exploitation de la centrale et de personnes appartenant aux services de secours.

En dehors de cet accident majeur, il y a eu également dans le monde quelques décès isolés (environ 10 à 15 personnes, avec les réserves qui s'imposent pour tenir compte du peu d'information concernant certains pays). Ces décès sont dus à des erreurs de manipulation ou à la transgression des règles de sécurité ou de sûreté, sur **des réacteurs de recherche**, et se situent, pour la majeure partie, entre 1945 et 1965.

4.4.2. Atteintes à l'environnement

Comme pour les enjeux humains, un seul accident nucléaire majeur a eu des conséquences pour l'environnement (avec une réserve concernant un accident qui se serait produit pendant l'hiver 57-58 à Kysthym, sud-est de l'Oural).

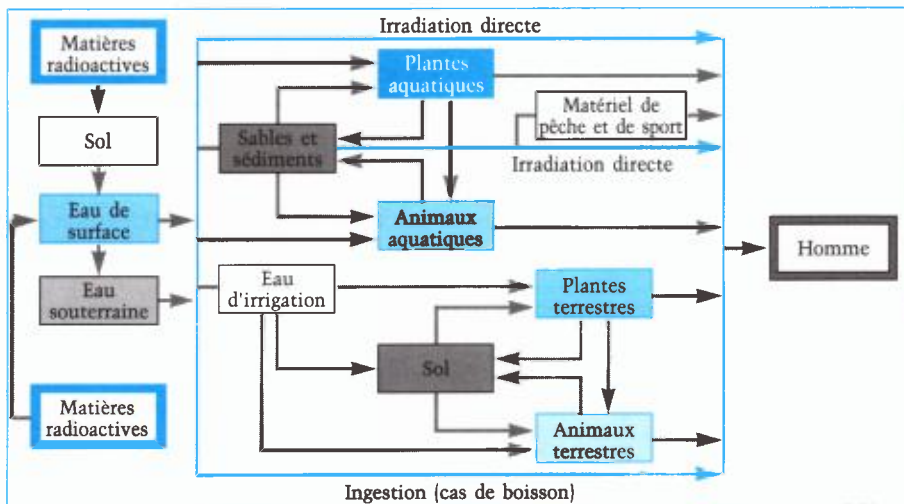
Il s'agit évidemment de l'accident de **Tchernobyl**. Cet accident a entraîné la contamination des sols, des constructions, des végétaux, des animaux, avec un **cheminement des matières radioactives** pouvant remonter jusqu'à l'homme (voir fig. 15 et 16). Une zone, dans un rayon de trente kilomètres autour de la centrale, est encore interdite (1993).



Source : Rapport du Comité IV, CIPR - publication 7

Fig. 15

Cheminement des matières radioactives, rejetées dans l'atmosphère jusqu'à l'homme



Source : Rapport du Comité IV, CIPR - publication 7

Fig. 16

Cheminement des matières radioactives, rejetées et reprises dans les eaux (surface, irrigation), jusqu'à l'homme

4.4.3. Les enjeux économiques

Les enjeux économiques d'une catastrophe nucléaire peuvent atteindre la société toute entière (Ex. Tchernobyl). Le coût d'une telle catastrophe est difficile à chiffrer :

- perte de l'outil : plusieurs milliards de francs ;

- perte des biens (maisons, magasins, établissements publics,...) ;
- perte d'exploitation des terres pour plusieurs années ;
- perte des cultures et animaux ;
- coût des interventions des secours, de surveillance, de protection et de remise en état du site,... ;
- coût des soins médicaux et des décès...

4 5 La localisation des risques

4.5.1. Cartographie des sites à risque

* Localisation des zones dangereuses dans la centrale

Tout exploitant de centrale nucléaire répertorie et identifie ses risques et les représente sur une carte. Celle-ci servira d'ailleurs à l'élaboration du Plan d'Urgence Interne (P.U.I) et du Plan Particulier d'Intervention (P.P.I) (voir p. 49).

* Localisation de la centrale dans son environnement extérieur

Cette notion concerne les risques auxquels est soumis l'extérieur, mais également ceux que l'environnement extérieur peut faire subir à la centrale, par exemple : secousse sismique, inondation,...

On localisera donc les contraintes (voies de communication, vents,...), les agressions extérieures, les points de vulnérabilité particuliers, les possibilités de repli...

Cette cartographie est illustrée dans le livre général sur le risque majeur : carte de l'aléa, des enjeux, du risque.

4.5.2. Répartition géographique du risque

La carte ci-dessous (voir fig. 17) représente les sites où sont implantées les centrales électronucléaires en Europe.



Fig. 17 : Sites électronucléaires en Europe

4.5.3. Un exemple en France, la Centrale de Nogent-sur-Seine

La *fig. 18* représente les zones prises en compte dans le Plan Particulier d'Intervention (*voir p. 49*) de la centrale nucléaire de Nogent-sur-Seine (Aube).



Fig. 18
Périmètres de danger

La population autour de cette centrale est d'environ 5 600 hab. à une distance inférieure à 5 km (1^{er} cercle), 13 000 dans un rayon de 10 km (2^{ème} cercle), plus de 450 000 dans un rayon de 50 km.

La zone de 5 km est une zone de confinement puis d'une éventuelle évacuation en fonction de la gravité de l'accident.

Dans la zone de 10 km une seule consigne : le confinement.

4 6 Les conséquences de l'accident nucléaire

Un accident nucléaire, comme nous l'avons précédemment évoqué, peut avoir, quand ses effets dépassent le site, des conséquences très diverses, échelonnées dans le temps et l'espace.

Le seul exemple connu étant celui de Tchernobyl, on se reportera à l'[annexe 2 p. 61](#) pour préciser, toutes proportions gardées, les conséquences immédiates (atteintes corporelles, rejets dans l'atmosphère...), retardées (pollution, contamination...) et très retardées (cancers...), d'un accident nucléaire majeur sur ce type de centrale.

4 7 Les déchets des centrales nucléaires

Les déchets proviennent du combustible, du circuit primaire et des matériels de maintenance et d'exploitation.

Ils se divisent en plusieurs catégories :

- les **déchets de haute activité** à vie longue, issus du combustible ;
- les **déchets de faible et moyenne activité** à vie courte, issus du circuit primaire ;
- les **déchets de faible activité**, issus des matériels de maintenance et d'exploitation ;
- les **déchets à vie longue et faible activité** (issus du retraitement).

Les déchets sont produits à la suite de la désintégration des atomes d'U 235 et de la capture de neutrons par l'U 238. Les premiers sont les **produits de fission**, les seconds sont les produits de fertilisation appelés **transuraniens**.

Les produits de fission, généralement émetteurs de bêta et de gamma forment la plus grande partie de l'activité des déchets (crayons combustibles "usagés"). Ils ont une période physique relativement courte.

Les transuraniens, comme les isotopes du plutonium, sont des corps lourds, émetteurs alpha, dont la période physique est longue.

Il se forme également du tritium par fusion ternaire (le tritium est un isotope de l'hydrogène de symbole ^3H).

En France, le volume annuel moyen des déchets est de 2.100 m³ pour les déchets à vie longue, et 30.000 m³ pour les déchets à vie courte (100 m³ de déchets à vie longue sont vitrifiés).

Après trois ans dans une centrale, cent kilogrammes d'uranium (3 kg d'U 235 et 97 kg d'U 238) produisent :

- 1 kg d'U 235,
- 95 kg d'U 238,

- 3 kg de produits de fission (Cobalt, Césium,...),
- 1 kg de plutonium.

Une partie importante des déchets provient des crayons combustibles usagés. Ces crayons sont remplacés à raison d'un tiers des éléments combustibles par an.

Pendant ce remplacement le réacteur est à l'arrêt. L'arrêt du réacteur permet également de procéder à des contrôles : on l'appelle "**arrêt de tranche programmé**".

Les crayons remplacés sont stockés dans une **piscine de désactivation**, afin de faire chuter la puissance résiduelle (chaleur).

Ils sont ensuite acheminés (voir p. 28) dans une usine de retraitement où une partie des radioéléments est récupérée pour une nouvelle utilisation après enrichissement ou retraitement (notamment l'uranium et le plutonium). Les déchets non réutilisés seront traités puis conditionnés comme l'indique le tableau ci-après.

Les déchets se divisent en trois catégories :

- déchets contenant des émetteurs à vie courte (catégorie A) : environ 30.000 mètres cubes par an, représentant moins de 1% de la radioactivité ;
- déchets contenant des traces d'émetteurs alpha à vie longue (catégorie B) : environ 2.000 mètres cubes par an ;
- déchets constitués de produits de fission et d'émetteurs alpha à vie longue (catégorie C) : environ 100 mètres cubes par an.

Déchets A	Déchets B	Déchets C
contenant des émetteurs à vie courte ; demi-vie : < 30 ans	contenant des traces d'émetteurs alpha à vie longue ; demi-vie : plusieurs dizaines de milliers d'années	produits de fission et émetteurs alpha à vie longue
CONDITIONNEMENT CONCENTRATION ou COMPACTAGE ENROBAGE		CONDITIONNEMENT CONCENTRATION stockage réfrigéré momentané ENROBAGE
dans béton, bitume, résines (*)		VITRIFICATION entreposage provisoire sur le site
EMBALLAGE		EMBALLAGE
dans - fûts métalliques - coques de béton - cylindres d'acier		les déchets vitrifiés font partie du verre qui est coulé dans des containers en acier
STOCKAGE (voir annexe 8)		STOCKAGE
- dans des tranchées bétonnées - sur des aires bétonnées ou goudronnées - dans des tumulus Centre de Stockage de l'Aube (CSA)	galeries en profondeur	en profondeur dans des puits individuels

(*) certains déchets radioactifs liquides sont utilisés à la place ou en complément de l'eau pour faire le béton qui sera coulé dans des fûts (pour des déchets de faible activité à vie courte).

4 8 Le transport de matières radioactives

Les risques que nous venons de voir sont localisés sur un site ou sur une portion de territoire autour du site. Toutefois les combustibles neufs, comme les déchets, doivent être acheminés vers les unités de production pour les premiers, vers les centres de retraitement ou de stockage pour les seconds.

Le transport des matières radioactives s'effectue par le rail ou par route, ou par la conjugaison des deux moyens, le train étant le moyen privilégié (*voir aussi le livret : "Transport de matières dangereuses"*).

Les réglementations nationales et internationales prévoient pour ces transports des conditions extrêmement sévères :

- conditionnements adaptés aux produits transportés ;
- conteneurs conçus pour protéger le public et le personnel ;
- les transports de combustibles usés doivent être réalisés dans des conteneurs capables d'évacuer la puissance thermique résiduelle : on utilise d'énormes emballages d'acier de plus de cent tonnes appelés châteaux. Ils sont capables de résister à une chute de 9 m sur une surface indéformable, à une température de 800 degrés pendant plus d'une minute, à une immersion sous 15 m d'eau pendant 8 heures ; ils résistent au choc d'une locomotive lancée à 160 km/h.

Les transports sont surveillés tout au long de leur parcours et des équipes spécialisées sont prêtes à intervenir à tout moment en cas d'accident ou d'agression.

Pour les matières de faibles et moyennes activités, la multiplicité des colis et la limitation de la radioactivité de chaque colis diminuent les risques ; c'est la technique du **fractionnement** qui fait, qu'en cas de rupture d'un colis, la dose de radioactivité engagée sera plus faible que si la totalité des déchets était contenue dans un seul colis.

PREVENTION PROTECTION PARADES

*“Ce qui est voulu comme fin,
est voulu par prévention devant les moyens.”*

BOSSUET

5 1 Les acteurs de la prévention

La prévention est l'affaire de nombreux acteurs, publics et privés, à l'échelle internationale, nationale, régionale ou locale.

5.1.1 Au niveau international

Il y a deux organismes importants : l'OCDE (Organisation de Coopération et de Développement Economique) par l'intermédiaire de son Agence pour l'Energie Nucléaire (AEN), et l'ONU dont dépend l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA).

Ces organisations sont notamment à la base des conventions d'information rapide et d'assistance entre les différents pays et travaillent actuellement sur une convention internationale en matière de sûreté nucléaire. De plus l'AIEA assure des évaluations des niveaux de sûreté chez les exploitants, conduites par des groupes d'experts internationaux étrangers au pays où se déroule l'évaluation.

5.1.2. Au niveau national

Les ministères impliqués dans la prévention des risques nucléaires sont nombreux. Ils sont coordonnés par le Comité Interministériel de la Sûreté Nucléaire (C.I.S.N.).

C'est le ministère de l'Industrie qui est chargé de l'instruction des dossiers concernant les installations nucléaires de base (*voir p. 39*), le contrôle de la sûreté nucléaire étant assuré par la Direction de la Sûreté des Installations Nucléaires (D.S.I.N.), qui est également rattachée au ministre de l'Environnement. Les ministres de l'Industrie et de l'Environnement disposent du Conseil Supérieur de Sûreté et de l'Information Nucléaire (C.S.S.I.N.) composé principalement de représentants du Parlement, de scientifiques de haut niveau, de journalistes, de représentants syndicaux et de représentants des associations de protection de la nature.

Le ministère de la Santé a confié à un de ses services, le Service Central de Protection contre les Rayonnements Ionisants (S.C.P.R.I.), le contrôle des rejets

liquides et gazeux des installations nucléaires, le contrôle de l'environnement et le suivi dosimétrique des personnels risquant d'être exposés à des sources radioactives.

L'autorisation de mise en service d'une centrale nucléaire est délivrée, comme pour toutes les **Installations Nucléaires de Base (INB)**, par décret pris sur le rapport du ministre de l'Industrie, après avis conforme du ministre chargé de la Santé, de la Commission Interministérielle des INB, et contresigné par le ministre de l'Environnement.

Comme pour le risque technologique majeur, le ministre de l'Intérieur, qui est chargé de la préparation et de l'organisation des secours, joue un rôle important : sous son autorité le préfet établit les plans particuliers d'intervention (P.P.I.) (*voir p. 49*).

L'ensemble des acteurs gouvernementaux ci-dessus bénéficie de l'appui technique de l'Institut de Protection et de Sécurité Nucléaire (IPSN) créé en 1976 et qui, depuis 1990, dispose d'un statut garantissant son indépendance par rapport aux exploitants nucléaires.

** Les exploitants*

Le CEA et EDF sont les principaux exploitants en France. Ils sont les responsables premiers de la sûreté des installations : il leur appartient de proposer aux pouvoirs publics toute solution en vue d'assurer, maintenir ou améliorer la sûreté. Après approbation de ces propositions, il leur appartient de les mettre en œuvre avec efficacité.

** Les associations*

De nombreuses associations d'usagers ou de protection de l'environnement existent sur l'ensemble du territoire national. Vous trouverez *p. 51* leurs adresses et principales publications.

5.1.3. Au niveau régional

Certaines DRIRE (Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement) ont des personnels spécialisés dans le contrôle des installations nucléaires : ce sont les Inspecteurs des INB (nommés conjointement par le ministre de l'Industrie et le ministre de l'Environnement).

Il existe aussi, dans certains cas, une association, la CRIIRAD (Commission de Recherche et d'Information Indépendante sur la Radioactivité) qui effectue des expertises et contre-expertises à la demande des conseils régionaux, généraux et des municipalités.

5.1.4. Au niveau local

Les autres acteurs les plus sollicités sont :

- **le préfet** avec le Service Interministériel des Affaires Civiles et Economiques de Défense et de Protection Civile (SIACEDPC : chargé de l'élaboration des plans de secours, P.P.I., PSS...), les services administratifs et techniques (DRIRE, DDE, DDAF...) et plus particulièrement les Directions Départementales des Affaires Sanitaires et Sociales (DDASS) ;

- **le chef de la centrale et son équipe**, dont ingénieurs de sûreté, médecins : ce sont eux qui gèrent et surveillent 24h/24 le bon fonctionnement de la centrale et la disponibilité des sécurités ;
- **les élus des collectivités territoriales**, responsables de la sécurité de leurs concitoyens, qui aménagent le territoire en prenant en compte les risques, et mettent en place une partie des services de secours (pompiers par exemple) ;
- **il existe d'autres acteurs du risque** : les pompiers, les médecins, les experts, les médias, les riverains,...

5 2 La triple barrière

Le plan général d'une centrale nucléaire ayant été présenté p. 19, il convient de revenir sur les éléments contribuant à la sûreté. Les protections techniques appliquées aux centrales nucléaires sont nombreuses et interviennent tant au stade de la conception, qu'en fonctionnement normal, ou en situation accidentelle.

Nous allons décrire ici les éléments entrant dans une centrale REP de 1.300 MW (réacteur à eau pressurisée).

Les *fig. 19, 20 et 21* montrent de façon schématique les différentes barrières de protections disposées entre les radioéléments et l'environnement.

Ces barrières sont au nombre de trois :

- **la gaine combustible** (voir *fig. 19*), constituée d'un tube de 4,5 m de longueur en Zircaloy (alliage de Zirconium et d'un peu de fer et d'étain). Chaque élément combustible comporte 264 crayons (assemblage) ; un réacteur de 1.300 MW contient 193 assemblages (soit 193 x 264 crayons de 4,5 m).

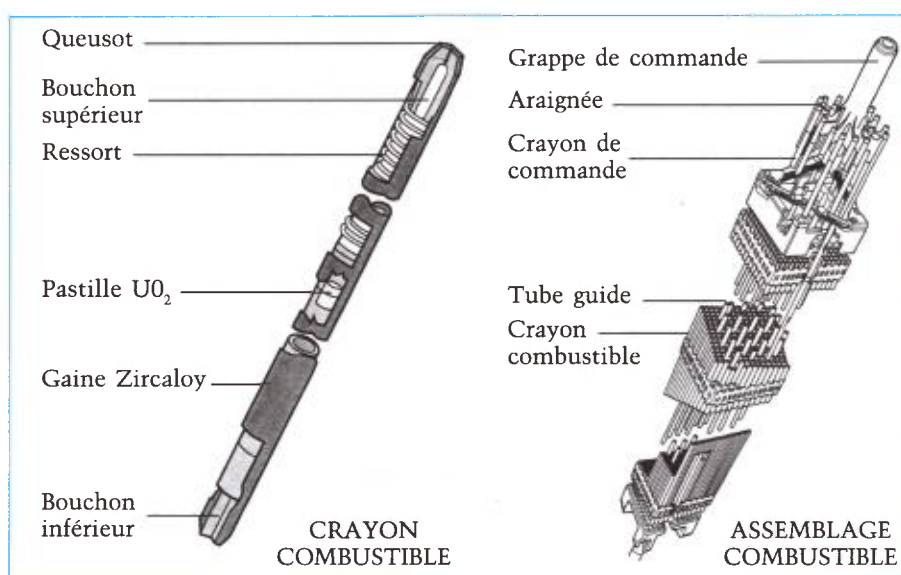


Fig. 19 : Crayons et éléments combustibles

- **la cuve du réacteur** (voir fig. 20) (environ 5 m de diamètre et 14 m de hauteur) est en acier massif de 22 cm d'épaisseur. L'eau du circuit primaire y arrive à une température d'environ 280° et en sort pour aller dans les générateurs de vapeur à environ 320°. La pression de l'eau dans le circuit primaire est de 155 bars. Cette eau n'est pas directement en contact avec celle du circuit secondaire qui est à une pression de 60 à 80 bars.

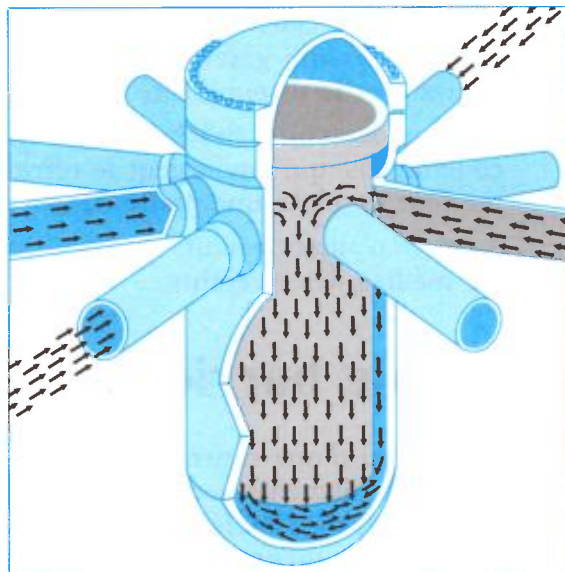


Fig. 20
Cuve du réacteur

- **l'enceinte de confinement** comporte deux enveloppes (voir fig. 21) avec un espace de 1,80 m en constante dépression entre ces deux enveloppes : l'enceinte interne d'1,20 m d'épaisseur est en béton précontraint, l'enceinte externe de 0,55 m d'épaisseur est en béton armé. Ces enceintes sont conçues pour résister aux séismes, et, bien que les sites nucléaires soient hors des couloirs aériens, elles sont également capables de résister à l'impact d'un avion.

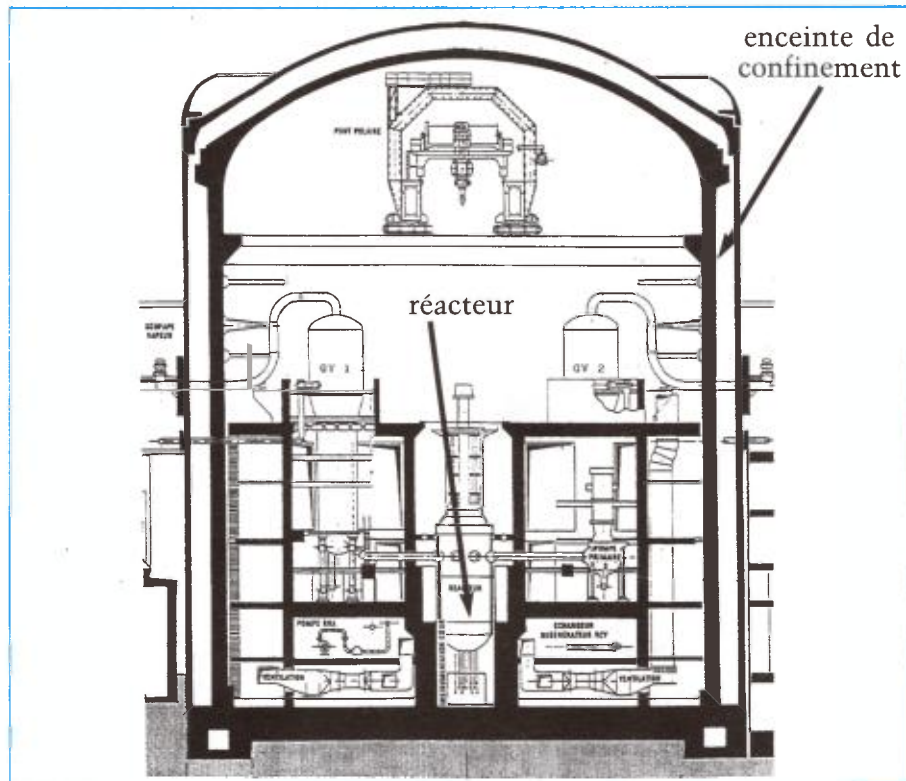


Fig. 21
Chaudière nucléaire

Protections

Elles sont destinées à maintenir en permanence l'efficacité des barrières. Ce sont notamment :

- **les grappes absorbantes de flux neutroniques** ; 65 grappes de 24 crayons en alliage Argent, Indium, Cadmium ; elles servent à contrôler ou arrêter la réaction en chaîne ; elles tombent sous leur propre poids, dès que certains critères d'exploitation ne sont plus conformes et atteignent leur position de butée en moins de deux secondes ;
- **la séparation physique des trois circuits d'eau** :
 - **circuit primaire**, refroidissant le réacteur ;
 - **secondaire** : son eau pulsée par les turbines refroidit le circuit primaire dans le générateur de vapeur ;
 - **tertiaire**, qui refroidit et condense la vapeur des turbines. Ce dernier circuit est alimenté par de l'eau de mer, ou de l'eau d'un fleuve. Lorsque le débit du fleuve est insuffisant, l'eau est refroidie dans des aéroréfrigérants (tours de 165 m de haut et de 145 m à la base), d'où sort un panache de vapeur ;
- **les réservoirs d'eau borée**, qui peuvent noyer le réacteur : le bore est "neutrophage" et stoppe la réaction en chaîne, en absorbant les neutrons ;
- **les systèmes d'aspersion** qui, en cas d'accident, condenseraient une partie de la vapeur dans l'en-cinte de confinement et piégeraient également une partie des radioéléments ;
- **les filtres à sable** (voir fig. 22) utilisés uniquement en situation accidentelle (plus de 20 m de diamètre) : conçus et installés après l'accident de Tchernobyl, ils sont destinés à filtrer les émissions de gaz et d'aérosols formés dans l'enceinte en cas de rupture de l'étanchéité de la cuve ou du circuit primaire. L'évacuation de ces émissions éviterait la mise en pression de l'enceinte, et le filtre à sable retiendrait 90% des radioéléments...

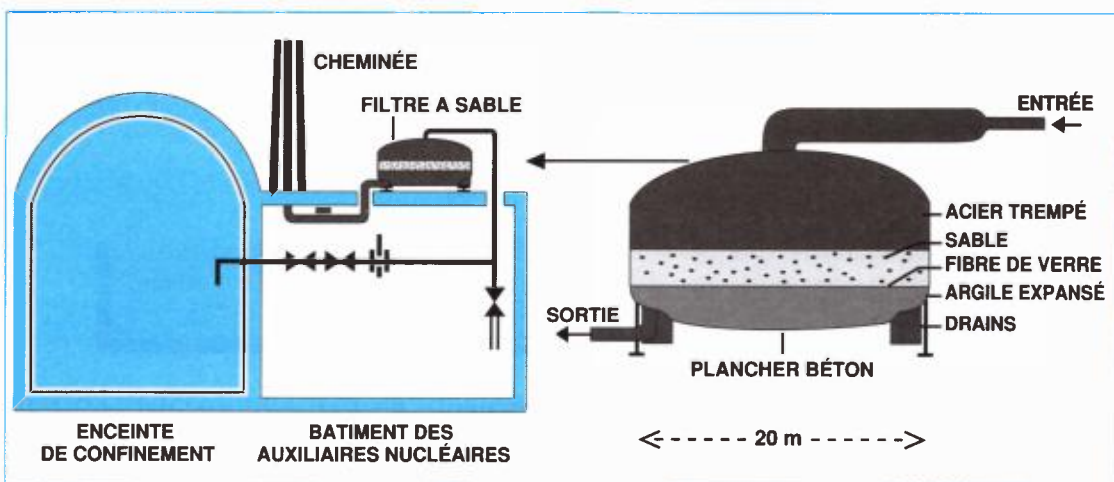


Fig. 22 : Filtre à sable

Les matériels qui contribuent à la sûreté sont doublés, voire triplés (on dit qu'ils sont redondants) ; notamment :

- pompes, circuits de secours ;
- groupes électrogènes ;
- réservoirs de secours ;
- appareillages de mesures,...

Des contrôles permanents et/ou périodiques sont effectués par l'exploitant, par les inspecteurs des installations nucléaires de base, et par le SCPRI. Les personnels affectés à la conduite, à l'entretien et à la surveillance des centrales nucléaires sont tous qualifiés. Ils effectuent régulièrement des stages et sont soumis à des tests et contrôles sur des simulateurs en grandeur réelle.

Enfin un ingénieur de sûreté est en permanence sur le site.

5 4 Protections contre les actes de malveillance

Les sites nucléaires sont protégés contre les actes de malveillance de plusieurs façons :

- ils sont entièrement clôturés ; le bâtiment réacteur et ses auxiliaires ont une double clôture ;
- ils sont contrôlés par un réseau de télésurveillance ;
- chaque employé, ou visiteur (toujours accompagné) doit être en possession d'un badge et d'un code lui permettant d'accéder aux secteurs identifiés sur ce badge ;
- les secteurs sensibles sont protégés par des alarmes et des portes blindées ;
- un service de gardiennage fonctionne 24 H sur 24,...

5 5 Les parades financières

Les exploitants ont principalement trois moyens de se protéger des accidents et de leurs conséquences :

- la prévention technique et humaine (développée *au chapitre précédent*) ;
- la constitution de réserves financières (dont celles nécessaires à un éventuel démantèlement en fin d'exploitation) ;
- le transfert de leurs risques à une assurance.

Les exploitants des centrales nucléaires ont obligation d'avoir une assurance pour les dommages qui pourraient être causés aux tiers.

Cette obligation a été instituée par le Protocole de Paris du 29 juillet 1960, modifié par différents textes (protocole de révision, lois, décrets). Les dernières modifications figurent dans la loi 90-448 du 16 juin 1990 et le décret 91-27 du 04 janvier 1991. Ces textes précisent que les dispositions suivantes s'appliquent à tous les exploitants d'installations nucléaires, publics ou privés :

- **l'exploitant est responsable** même s'il n'a pas commis de faute ;
- **l'action des victimes** doit s'exercer uniquement contre l'exploitant ;
- **la responsabilité de l'exploitant** est limitée à 600 millions de francs ; dans certaines circonstances les victimes peuvent être indemnisées par l'Etat, pour le surplus, dans la limite de 2,5 milliards de francs.

L'exploitant est donc dans l'obligation de souscrire une garantie à hauteur de 600 millions de francs, et doit pouvoir, en permanence, en fournir les justificatifs. Le défaut d'assurance, comme le défaut de justificatifs, sont sévèrement réprimés par la loi.

5 6 **L'efficacité des protections et parades**

Si l'on compare l'efficacité des protections et des parades, à travers deux accidents majeurs (*voir les annexes 1 et 2*), on constate que la conception de la centrale de TMI, par rapport à celle de Tchernobyl, a joué un rôle important pour la protection du personnel, du voisinage, et de l'environnement.

Par ailleurs, à Tchernobyl, il semble qu'il y ait eu un manque de formation, donc de connaissance des phénomènes et des risques, aussi bien au niveau du personnel de la centrale, que des secours.

Effectivement, il n'est pas imaginable que le personnel ait pu persévérer dans des manœuvres aussi risquées, s'il avait eu conscience des risques.

A TMI, équipée de réacteurs de conception très voisine des centrales REP françaises, aucune conséquence n'a été déplorée, alors que le réacteur de Tchernobyl, de conception très différente, a causé officiellement plus de trente morts.

5 7 **Information et formation**

5.7.1. L'information du public

** Enquête publique*

Toutes les installations nucléaires de base sont soumises à enquête publique.

Grâce à elle, chaque citoyen peut s'exprimer et consigner par écrit ses observations sur un registre d'enquête, après avoir consulté le dossier de l'installation, qui comprend notamment l'étude de dangers et l'étude d'impact sur l'environnement.

** Information préventive (voir également le livret général)*

La loi fait obligation, comme pour le risque industriel, d'informer les citoyens sur les risques auxquels ils sont soumis : le préfet élabore un dossier synthétique, il le transmet au maire qui établit un document d'information et avertit les populations par voie d'affichage.

Les autres modes d'information sont identiques à ceux prévus pour les autres risques technologiques : en particulier l'exploitant doit réaliser, à ses frais, l'information directe des populations (plaquettes, audio, vidéo, conférences,...).

** Médias*

Le nucléaire fait également l'objet de moyens d'informations spécifiques :

Sommaire du 3614 MAGNUC (Minitel)	
- Généralités Sûreté	
- Généralités Santé	
- Information sur la sûreté nucléaire par site, y compris les incidents sur l'installation	SUH
- Information sur la radioprotection, détail des contrôles de radioactivité de l'air au sol, radioactivité des cours d'eau, de l'eau de pluie	SAH
- Mesures des exploitants nucléaires	SIM
- Echelle de gravité	ECH
Informations du 3614 TELERAY (Minitel)	
120 stations de mesures permanentes de la radioactivité de l'air sont installées sur le territoire français. Elles mesurent la radioactivité 24 H SUR 24 ; les résultats sont exprimés en micro Gray par heure.	

** Le bulletin " SURETE NUCLEAIRE "*

Le ministère de l'Industrie et du commerce extérieur (Direction de la Sûreté des Installations Nucléaires) édite tous les deux mois un bulletin dont le titre est "Sûreté Nucléaire".

Ce bulletin fait le point sur toutes les Installations Nucléaires de Base (I.N.B.), décrit tous les incidents qui ont eu lieu dans les deux mois précédant sa parution, et comprend divers articles concernant des problèmes spécifiques de sûreté, la réglementation, les services, et les relations internationales (*voir annexe 7*).

** Les Commissions Locales d'Information*

Suite à une circulaire du Premier ministre de 1989, les conseils généraux concernés ont créé des Commissions Locales d'Information (C.L.I.).

Elles sont composées de maires, de socioprofessionnels, de représentants d'associations de protection de l'environnement, de représentants de l'Administration et de personnalités qualifiées.

Elles informent le public par tout moyen à leur convenance.

** Echelle de gravité*

Tous les incidents concernant les centrales nucléaires font l'objet d'un examen

par les autorités de sûreté et, le cas échéant, d'un classement dans **l'échelle de gravité** (voir fig. 23).

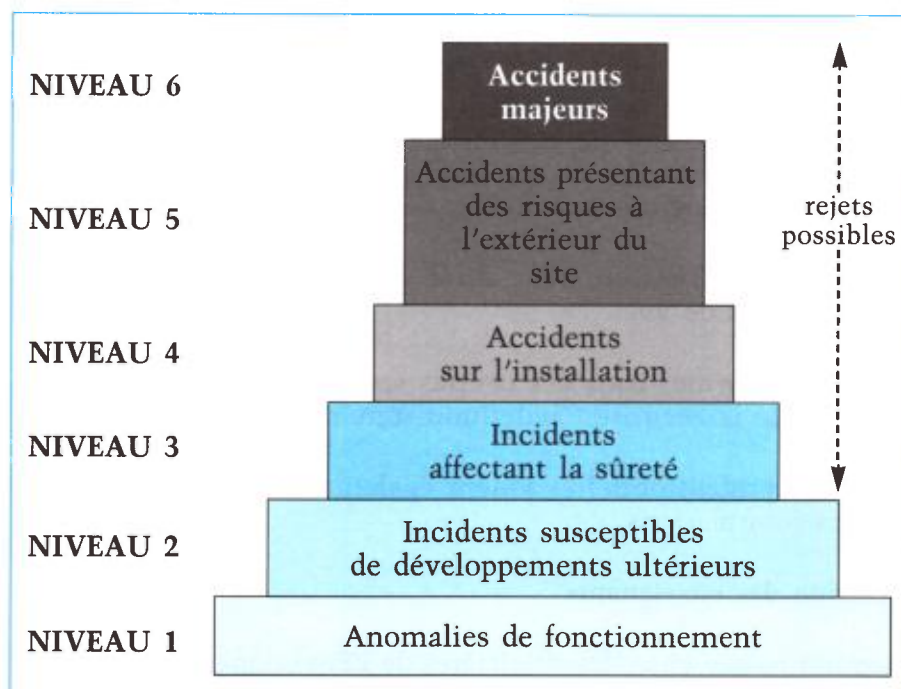


Fig. 23

L'échelle de gravité des accidents nucléaires

Les accidents ou incidents entraînant des rejets de radioactivité à l'extérieur du site sont classés dans les niveaux 3 à 6. Cependant certains accidents n'ayant pas entraîné de rejet peuvent être classés en 4 ou 5, compte tenu des conséquences qu'ils auraient pu avoir.

En outre, un défaut ou une erreur, peuvent également être classés dans cette échelle, même s'ils n'ont eu aucune incidence :

Par exemple lors d'un arrêt de tranche programmé, sur la centrale de Fessenheim (réacteur 1), un défaut métallurgique a été mis en évidence, le 13 septembre 1991, sur la tuyauterie qui conduit la vapeur du générateur de vapeur à la turbine. Il s'agit donc du circuit secondaire (voir Fig. 14 p. 19).

Ce défaut présentait une taille importante : environ 11 cm de longueur sur 3 cm de profondeur (la tuyauterie a 8 cm d'épaisseur).

Cette tuyauterie, traversant l'enceinte de confinement, est considérée comme faisant partie de la troisième barrière.

L'incident a été classé au niveau 2 de l'échelle de gravité.

Le nombre total d'événements déclarés en 1991, sur les 59 réacteurs de centrales nucléaires, est de 420. Parmi ces événements, 107 ont été classés sur l'échelle de gravité : 9 au niveau 2, 98 au niveau 1.

5.7.2. Formation des professionnels et des responsables

Outre les formations pouvant être délivrées par des établissements spécialisés (écoles d'ingénieurs, instituts de technologie, GRETA...), les agents des centrales nucléaires sont formés par les exploitants, sur des matériels en grandeur réelle, par exemple des simulateurs de conduite, des chantiers-écoles de maintenance...

Les maires sont constitués en association, ce qui leur permet d'échanger leurs expériences et points de vue.

Les pompiers sont formés dans des centres spécialisés, les stages étant financés par la Direction de la Sécurité Civile (ministère de l'Intérieur).

Les associations professionnelles jouent également un rôle important dans la circulation des informations.

5.7.3. Formation des enseignants

Une convention passée entre les ministères de l'Environnement et de l'Education nationale permet de développer des stages de formation au risque majeur. Ils sont programmés par les MAFPEN dans le cadre de la formation permanente des enseignants.

Depuis 1991 l'académie de ROUEN propose un stage spécifique au risque nucléaire ; dès 1993 d'autres académies se proposent de faire la même démarche. Les enseignants intéressés peuvent consulter le programme académique de formation (P.A.F.) ou se renseigner auprès de leur M.A.F.P.E.N.

LA RÉGLEMENTATION

*“Deux sûretés valent mieux qu’une ;
et le trop en cela ne fut jamais perdu”.*

LA FONTAINE

La réglementation en matière de protection nucléaire comprend de nombreux textes et concerne des domaines variés (médicaux, industriels....) : il s’agit dans tous les cas d’assurer la radioprotection. Cette radioprotection est directement dépendante des règles de sûreté et de sécurité :

- la **sûreté** s’applique aux installations ;
- la **sécurité** concerne la protection des individus, de leurs biens et de l’environnement.

1 Typologie

Les **textes législatifs et réglementaires**, ainsi que les **textes internationaux** (Directives CEE, EURATOM...), s’appliquent aux installations nucléaires et à leurs éventuelles conséquences ; ces installations sont scindées en deux grandes catégories.

6.1.1. Les installations classées pour la protection de l’environnement prévues par la loi 76-663 du 19/07/76, modifiée

Ces installations sont soumises à la même réglementation que les autres établissements industriels (*voir le livret : “Le risque industriel”*). Toutefois pour la partie nucléaire ils sont contrôlés notamment par les inspecteurs des DRIRE, spécialisés dans ce domaine.

6.1.2. Les installations nucléaires de base

Ce sont au sens du décret 63-1228 du 11/12/63 modifié :

- les réacteurs nucléaires, à l’exception de ceux qui font partie d’un moyen de transport (sous-marin, porte avion,...) ;
- les accélérateurs de particules... ;
- les usines de fabrication, de préparation ou de transformation de substances radioactives (les usines de préparation des combustibles nucléaires, de traitement de combustible ou de déchets radioactifs) ;
- les installations destinées au stockage, au dépôt, ou l’utilisation de substances radioactives.

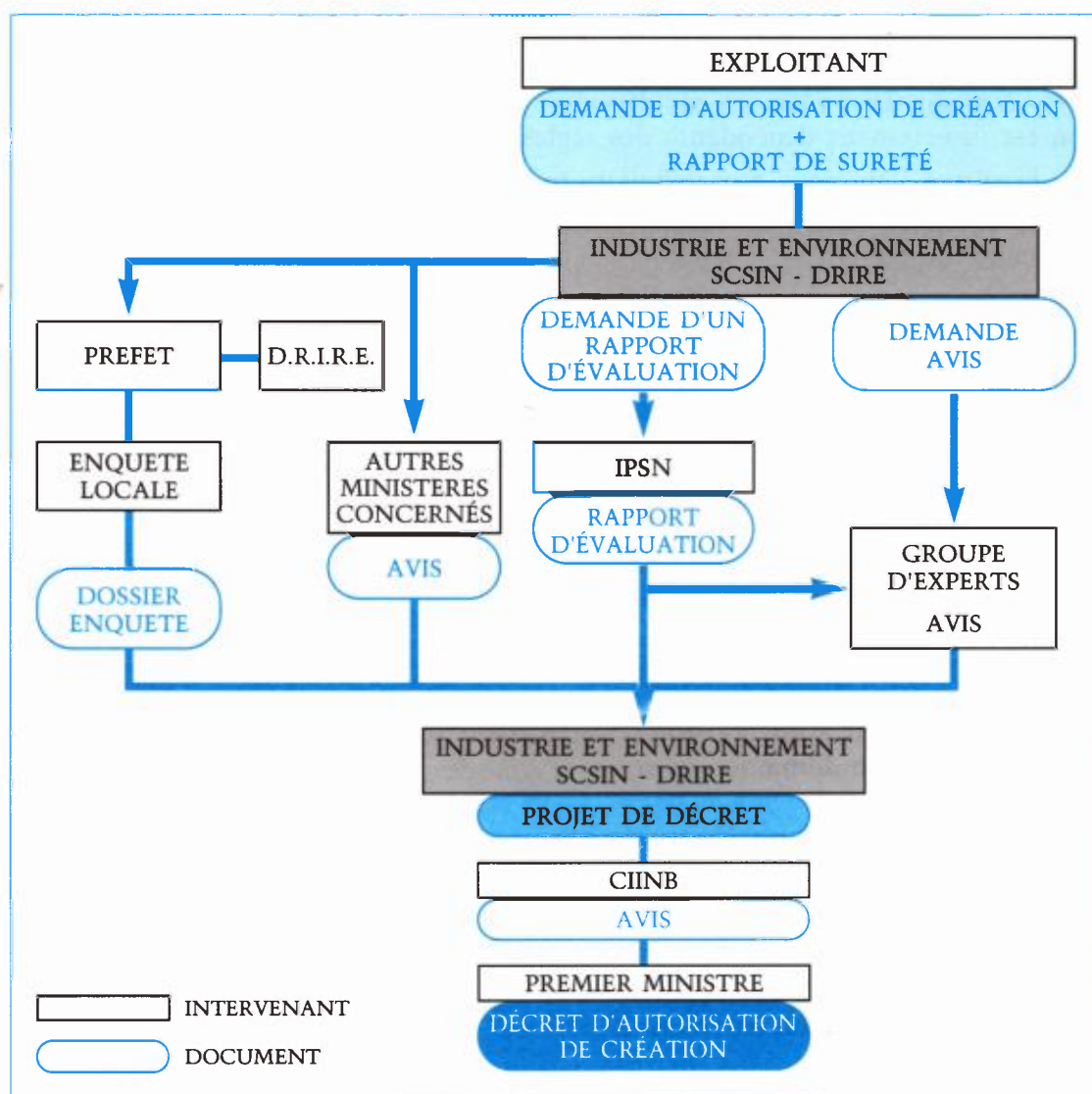
Rappelons que ce livret est limité aux seules centrales nucléaires (le risque potentiellement le plus important).

2 Les centrales nucléaires

Elles sont soumises à de nombreux textes, concernant la procédure d'autorisation, leur conception, leur fonctionnement et leur contrôle.

6.2.1. Procédure d'autorisation

Le schéma ci-après montre la procédure d'autorisation de création des installations nucléaires de base. La D.S.I.N. est chargée de mener toutes les actions figurant dans ce schéma.



L'autorisation est délivrée par décret, pris sur le rapport conjoint des ministres de l'Industrie et de l'Environnement, après avis conforme du ministre chargé de la Santé et de la CIINB.

Des autorisations spécifiques pour les rejets d'effluents gazeux et liquides sont également données par décrets.

La demande d'autorisation doit comprendre :

- les renseignements concernant le demandeur ;
- une carte au 1/25 000^{ème} ;
- une carte au 1/10 000^{ème} avec les infrastructures et équipements existants ;
- le plan détaillé de l'installation au 1/2 500^{ème} ;
- les documents donnant les caractéristiques de l'installation et de son fonctionnement et exposant, à partir des principes énoncés dans le rapport préliminaire de sûreté, les mesures prises pour faire face aux risques présentés par l'installation. Ce document constitue **l'étude de dangers** au sens de l'article 46 de la loi du 22/07/87.

La conception doit tenir compte des règles fondamentales de sûreté (*voir annexe 4*).

L'organisation de la sûreté nucléaire en France figure en *annexe 3*.

6.2.2. Fonctionnement

Tout accident ou incident est déclaré sans délai aux :

- ministre chargé de l'Industrie (DSIN) ;
- ministre de l'Environnement chargé de la prévention des risques technologiques majeurs ;
- ministre de la Santé (SCPRI).

En outre, les ministres chargés de l'industrie et de la prévention des risques technologiques majeurs peuvent à tout moment demander à l'exploitant de procéder au réexamen de la sûreté de l'installation.

6.2.3. Contrôle

Les installations nucléaires de base sont soumises notamment au contrôle des inspecteurs de la Direction de la Sûreté des Installations Nucléaires (D.S.I.N.), des DRIRE et du SCPRI.

Ces contrôles garantissent la sûreté et la sécurité qui incluent notamment les mesures techniques destinées à assurer le fonctionnement normal des installations :

- sans exposition excessive des travailleurs aux rayonnements,
- sans rejet excessif d'effluents radioactifs dans l'environnement.

Le ministre de la Santé peut demander l'arrêt d'une centrale nucléaire en cas de risques pour la santé publique.

3 Protection des populations

6.3.1. La réglementation générale

La protection des populations s'applique aussi bien aux travailleurs directement affectés aux travaux sous rayonnements ionisants (D.A.T.R.), qu'aux travailleurs non D.A.T.R. et à l'ensemble du public. Pour les personnes du public qui ne sont pas soumises à des examens et à une surveillance médicale constante, les limites ont été fixées par décret 86-1103 du 02/10/86 à un seuil nettement inférieur à celui des travailleurs DATR, ou non, qui eux subissent une surveillance médicale très stricte (voir fig. 24).

	Niveau d'irradiation	Limite réglementaire par an		Limite réglementaire par trimestre	
		mSv	Rem	mSv	Rem
TRAVAILLEURS D.A.T.R. article 6	- Globale	50	5	30	3
	- Peau	500	50	300	30
	- Cristallin	150	15	90	9
	- Mains, avant-bras, pieds, chevilles	500	50	300	30
TRAVAILLEURS NON D.A.T.R. article 4	- Globale	15	1,5		
	- Peau	150	15		
	- Cristallin	45	4,5		
	- Mains, avant-bras, pieds, chevilles	150	15		
PUBLIC	- Globale	5	0,5		
	- Partielle (y compris peau, mains, avant-bras, pieds, chevilles)	50	5		
	- Cristallin	15	1,5		

Fig. 24 : Limites prescrites pour l'irradiation des populations

La Commission Internationale de Protection contre les Rayonnements (C.I.P.R.) vient de proposer, au niveau mondial, des normes plus restrictives ; pour être applicables, elles devront faire l'objet d'une directive de la C.E.E., puis être intégrées à la législation de chaque état membre ; mais ces chiffres sont toujours valables, et les discussions ne devraient pas entraîner de modification, au niveau européen, avant 1994 (EURATOM).

6.3.2. La toxicité des radioéléments

Les directives du Conseil des Communautés Européennes et, notamment, la Directive EURATOM 84/467 du 3 septembre 1984, ont fixé d'une part 4 classes de toxicité (voir fig. 25), et d'autre part des limites d'incorporation annuelle (L.I.A.) pour les 761 radioéléments figurant dans ces 4 classes (voir fig. 26).

Classe	Exemples
TRES FORTE RADIOACTIVITÉ, (47 radioéléments)	Uranium 234, Radium 226 Plutonium 239
FORTE RADIOACTIVITÉ (78 radioéléments)	Iode 131, Ruthénium 106, Uranium 236, Plutonium 244 Strontium 90, Césium 134, Radium 224
RADIOACTIVITÉ MODÉRÉE (313 radioéléments)	Iode 132, Ruthénium 103, Uranium 231, Plutonium 237, Strontium 92, Césium 137, Tellure 132, Baryum 140
FAIBLE RADIOACTIVITÉ (323 radioéléments)	Iode 121, Uranium 235, Plutonium 235, Strontium 80, Césium 135, Tellure 127, Baryum 126, Radium 227

Fig. 25
Classes de toxicité de quelques radioéléments

On constate que suivant l'isotope, la toxicité peut être faible ou très forte.

Radioéléments	Ingestion (en Bq)	Inhalation (en Bq)
IODE 131 (*)	1.10 ⁵ (100.000)	2.10 ⁵ (200.000) (1)
TELLURE 132 (*)	8.10 ⁵ (800.000)	9.10 ⁵ (1)
		8.10 ⁵ (2)
BARYUM 140 (*)	2.10 ⁶ (2.000.000)	5.10 ⁶ (1)
CÉSIUM 137 (*)	4.10 ⁵ (400.000)	6.10 ⁵ (1)
IODE 128	2.10 ⁸	4.10 ⁸ (1)
TELLURE 129	1.10 ⁸	2.10 ⁸ (1)
		3.10 ⁸ (2)
BARYUM 131	1.10 ⁹	5.10 ⁹ (1)
CÉSIUM 130	2.10 ⁸	7.10 ⁸ (1)

Fig. 26
Limite d'incorporation annuelle

(1) par jour. (2) par semaine
(*) Radioéléments composant en majeure partie ceux détectés dans "le nuage de Tchernobyl" en Suède : Iode 131 (46%) ; Tellure 132 (36%) ; Baryum 140 (7%) ; Césium 137 (4%). Leur période physique respective est de 8 jours, 3,4 jours, 12 jours, 30 ans.

On voit que suivant l'isotope d'un même élément la limite d'incorporation (LIA) peut être 100 à 2.000 fois supérieure.

6.3.3. Limites de radioactivité dans l'alimentation

Ces différents textes ont été suivis par le règlement CEE 737/90 du 22/03/90 et le règlement CEEA 770/90 du 29/03/90 qui fixent les limites de radioactivité suivantes applicables en cas d'accident (en Bq par litre ou Kg) :

- isotopes du Strontium (Sr), notamment Sr 90
75(1), 125(2), 750(3) (voir légendes page suivante)

- isotopes de l'Iode (I), notamment I 131
150⁽¹⁾, 500⁽²⁾, 2000⁽³⁾
- isotopes du Plutonium (Pu) d'éléments transplutoniens à émission alpha, notamment Pu 239 et Am 241 (Américium)
1⁽¹⁾, 20⁽²⁾, 80⁽³⁾
- tout autre radionucléide à période radioactive supérieure à 10 jours, notamment Cs 134 et Cs 137 (Césium)
400⁽¹⁾, 1000⁽²⁾, 1250⁽³⁾

(1) pour les aliments pour nourrissons

(2) pour les produits laitiers

(3) pour les autres denrées alimentaires

4 Rejets d'effluents radioactifs

Afin de respecter les normes susvisées, chaque site nucléaire doit déposer une demande d'autorisation pour les rejets d'effluents radioactifs liquides (dans l'eau) et pour les rejets d'effluents radioactifs gazeux (dans l'air).

6.4.1. Etude préliminaire

Avant le dépôt de ces demandes, l'exploitant adresse **une étude préliminaire** au ministre de l'Industrie.

Cette étude doit comprendre :

- la description des installations ;
- la production et les caractéristiques de l'effluent ;
- les caractéristiques des rejets ;
- les rejets radioactifs des autres installations existantes ou prévues dans l'environnement immédiat ;
- les caractéristiques de l'environnement ;
- les caractéristiques des populations ;
- l'évaluation des transferts pour les différents vecteurs ;
- les indications préliminaires sur les voies et les radioéléments prépondérants en égard à l'irradiation ;
- les études complémentaires en cours ou prévues.

Le ministre de l'Industrie la transmet au ministre de la Santé (qui recueille l'avis du SCPRI), ainsi qu'au ministre de l'Intérieur et au ministre de l'Environnement.

Ensuite, **la demande de rejets** est transmise dans les mêmes conditions, et adressée par le ministre de l'Industrie au préfet. Elle est soumise à enquête publique sous la même forme que pour la création de la centrale nucléaire.

6.4.2. L'autorisation

L'autorisation est accordée par les ministres précités. Elle fixe les limites de rejets autorisés, les quantités cumulées annuelles globales, ou pour certains radioéléments.

* **Les rejets d'effluents radioactifs gazeux** sont contrôlés par le SCPRI avec le concours des DDASS.

L'activité annuelle de ces rejets, fixée en fonction de la puissance des réacteurs, ne peut dépasser, pour une centrale nucléaire 900 mégawatts électriques :

- 5 Curies pour les halogènes et les aérosols ;
- 80 kiloCuries pour les gaz rares.

Elle doit être étalée dans le temps et maintenue aussi basse que possible.

* **Les rejets d'effluents radioactifs liquides** sont contrôlés dans les mêmes conditions que les rejets gazeux.

Les activités annuelles rejetées par les centrales nucléaires doivent être, au maximum, par réacteur de 3.000 mégawatts thermiques :

- 40 Curies pour l'ensemble des radioéléments autre que le Tritium (le Potassium 40 et le Radium étant exclus) ;
- 2.000 Curies pour le Tritium.

En valeur moyenne quotidienne, les activités volumiques ajoutées doivent être au maximum :

- **dans un fleuve :**

20 picoCuries par litre (0,74 Bq) pour l'ensemble des radioéléments autres que le Tritium (le Potassium 40 et le Radium étant exclus) ;

2.000 picoCuries par litre (74 Bq) pour le Tritium.

- **en mer :**

les quantités ci-dessus sont multipliées par 10. En aucun cas ces rejets ne doivent ajouter du Ra 226 ou du Ra 228 au milieu environnant. Comme pour les rejets gazeux, l'activité ajoutée doit être étalée dans le temps et maintenue aussi basse que possible.

Ces rejets liquides et gazeux sont toujours très inférieurs aux valeurs prescrites par les arrêtés d'autorisation (voir fig. 27).

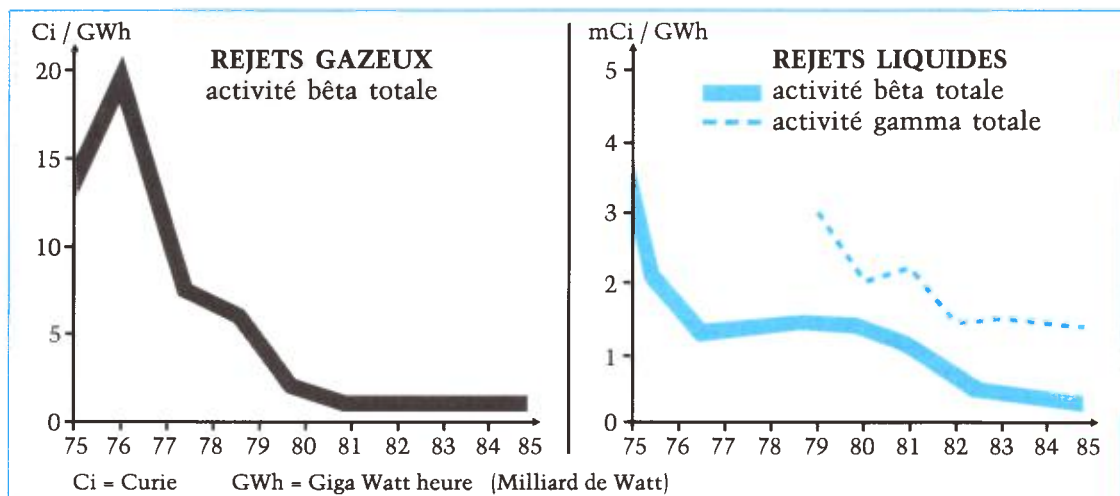


Fig. 27

Effluents rejetés par les centrales nucléaires en France

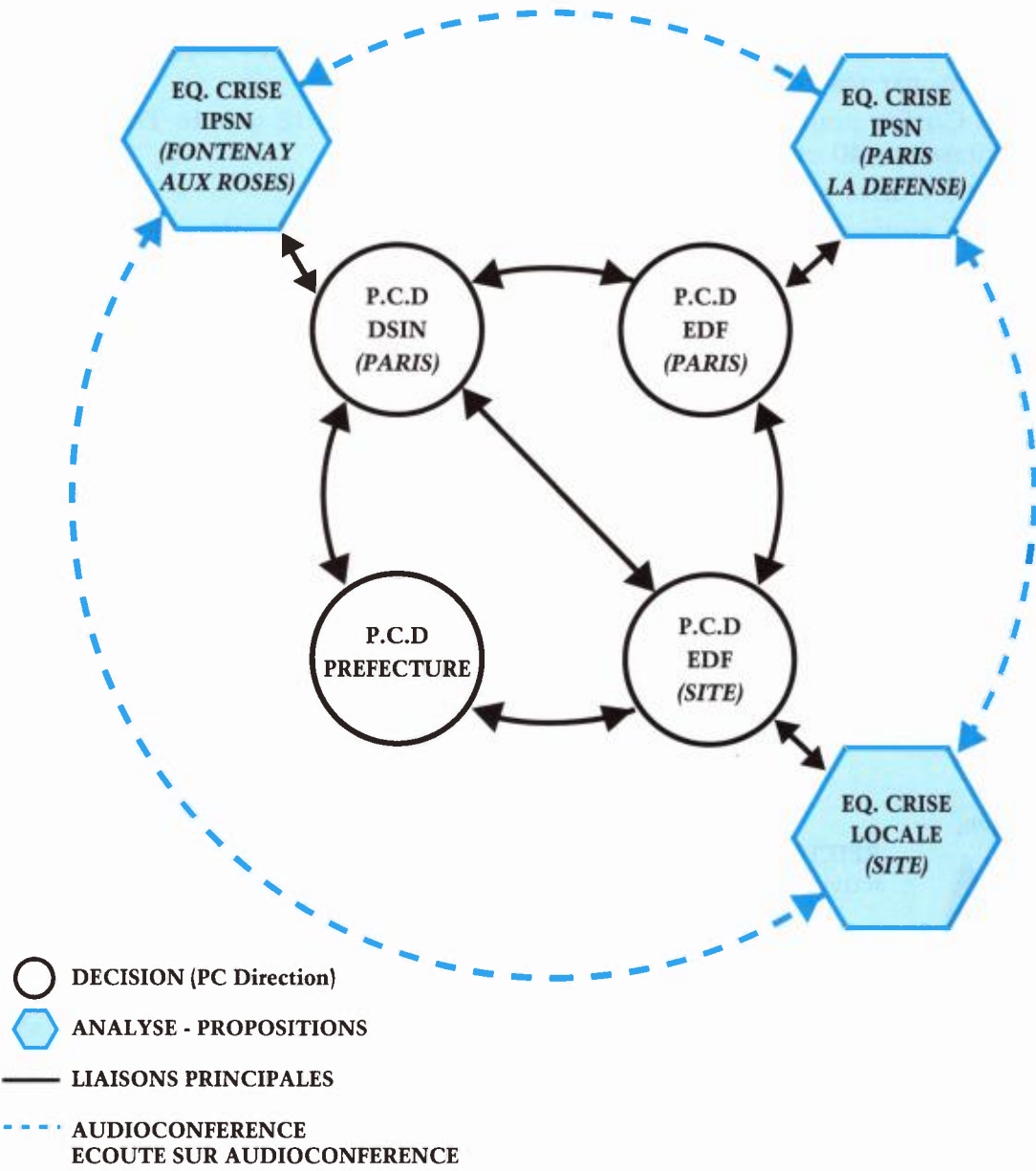


Fig. 28
Organisation de la sûreté en France, en cas d'accident

LA GESTION DE CRISE

*“L’erreur n’est pas une pure négation,
c’est-à-dire n’est pas le simple défaut
ou manquement
de quelque perfection qui n’est point due,
mais c’est une privation
de quelque connaissance que je devrais avoir”.*

DESCARTES



u’est ce qu’une crise ?

On se reportera à la définition du livre général. Rappelons seulement que :

La crise majeure est une situation exceptionnelle, qui appelle une organisation exceptionnelle.

C’est pourquoi il existe des acteurs de la gestion de crise qui assument également un rôle important en prévention, comme nous l’avons vu au précédent chapitre.



Les acteurs

7.1.1. Les décideurs et les gestionnaires (voir fig. 28)

L’exploitant d’une centrale nucléaire est évidemment le premier acteur en cas de crise.

Mais dans le cas d’un accident majeur ou d’un incident ou accident risquant d’évoluer vers un accident majeur, la responsabilité de la gestion de la crise est rapidement dévolue au préfet, voire au gouvernement, dont il est le représentant.

Ils ont, comme pour le risque industriel, un rôle stratégique dans l’évolution des événements, puisque de leurs décisions (exploitant, préfet, gouvernement), dépendra l’ampleur du sinistre (incident ou accident maîtrisé, ou crise locale, régionale, nationale, voire internationale...).

7.1.2. Les responsables des secours sur les lieux de l'accident

Ils sont tous placés sous l'autorité du préfet et leurs attributions sont déterminées dans les plans d'urgence : P.P.I. (Plan Particulier d'Intervention) dans le cas de certains établissements, et notamment les centrales nucléaires. Ce sont :

** Les sapeurs-pompiers*

qui, outre leurs opérations habituelles (combattre le feu, secourir les populations), disposent, en cas d'accident nucléaire, de cellules mobiles d'intervention radiologique (CMIR), qui sont des véhicules spécialement équipés pour intervenir en milieu radioactif et pratiquer des mesures.

** Les médecins*

Médecins de catastrophe, médecins sapeurs-pompiers, SAMU, SMUR : en règle générale, ce sont les directeurs de SAMU et SMUR, qui sont directeurs des secours médicaux.

7.1.3. Les experts

Le préfet et le responsable de l'installation disposent pour gérer la crise d'appuis techniques :

- services techniques de l'Etat (DSIN, SCPRI, DRIRE, Météo...) ;
- experts nucléaires (CEA, services centraux EDF...).

Leurs avis permettent aux gestionnaires de la crise de prendre des décisions en toute connaissance de cause.

7.1.4. L'armée

Elle dispose de moyens humains et matériels importants, et en permanence opérationnels.

7 2 Les plans de secours

Afin de pouvoir gérer une crise éventuelle il convient :

- d'élaborer des plans de secours ;
- de procéder à des exercices de simulation pour tester ces plans ;
- d'informer et de communiquer.

Les plans de secours sont les outils qui doivent permettre aux acteurs de réagir, toujours le plus rapidement et le plus efficacement possible, depuis le début d'un incident ou d'un accident, afin de protéger les populations (à l'intérieur et à l'extérieur d'une installation) ; leur mise en œuvre doit aussi concerner la sauvegarde de l'environnement.

Dans le cas d'une centrale nucléaire, il y a, comme pour les installations SEVESO, deux types de plans :

- celui de l'exploitant : **le Plan d'Urgence Interne (P.U.I.)** ⁽¹⁾ ;
- celui rédigé et mis en œuvre par les représentants de l'Etat : **le Plan Particulier d'Intervention (P.P.I.)**, spécifique à chaque site nucléaire.

7.2.1. Le Plan d'Urgence Interne ⁽¹⁾

Il est élaboré et rédigé sous la responsabilité de l'exploitant.

Il définit les réactions qu'il doit avoir pendant et après l'accident pour protéger les travailleurs, les populations et l'environnement, et pour mettre rapidement l'installation dans un état de sûreté acceptable.

Il a notamment pour objet de :

- procéder au diagnostic de l'événement initiateur et de son évolution prévisible ;
- estimer la qualité et la quantité des effluents rejetés ;
- acquérir et traiter en temps réel les mesures météorologiques et radiologiques ;
- fournir une estimation des conséquences sur l'environnement.

Il s'articule étroitement avec le P.P.I.

7.2.2. Le Plan Particulier d'Intervention

En fonction des conséquences d'un éventuel accident, le P.P.I., comme le P.U.I., comporte trois niveaux d'application qui fixent, pour chacun d'entre eux :

- les dispositions techniques et administratives de l'organisation des secours ;
- les modalités de l'information ;
- les rôles respectifs des services et organismes concernés par la mise en œuvre du plan.

Niveau 1	Accident à caractère non radiologique
Niveau 2	Accident à caractère radiologique limité au site
Niveau 3	Accident pouvant entraîner des rejets radiologiques exceptionnels à l'extérieur du site

Il est élaboré par le préfet, en liaison avec les autorités, services et organismes compétents.

Ensuite, il est présenté pour avis aux maires et à l'exploitant.

Une fois arrêté, le plan fait l'objet d'une publicité par le préfet, concernant les dispositions prises.

Des brochures sur les risques et consignes, destinées aux habitants de la zone, sont établies, après consultation, et aux frais de l'exploitant.

(1) le P.U.I. est l'équivalent d'un P.O.I. sur un site industriel.

** Contenu du P.P.I.*

1) Pour tous les niveaux

- présentation et mise en œuvre du plan ;
- présentation des différents niveaux (*voir p. 49*) ;
- plan de sectorisation ;
- index des schémas d'alerte et de déclenchement.

2) Par niveau

- les conditions de mise en œuvre du niveau concerné ;
- l'alerte ;
- le déclenchement du PPI ;
- la mise en place des postes de commandement ;
- les fiches réflexes de tous les services et organismes intervenants : préfectures, chef de centrale, DDSIS, SAMU, SMUR, gendarmerie, DDPU, STI, télécommunications, DDAF, DRIRE, DDASS, services des Armées, maires, DSIN, SCPRI, SNCF, Météorologie nationale,... (pour les sigles *voir le lexique*).

7 3 **Exercices et simulations**

Les plans de secours (P.U.I. et P.P.I.) doivent être testés par des exercices de simulation, afin d'en valider la connaissance et l'usage. C'est également l'occasion de mettre à jour les informations qu'ils contiennent, et de vérifier les matériels spécifiques.

En outre ces exercices permettent aux acteurs de la crise de mieux se connaître, donc de pouvoir, en cas de déclenchement d'un plan, identifier leurs interlocuteurs.

** Qui décide des exercices ?*

Au niveau du P.U.I., il peut être testé à l'initiative de l'exploitant, imposé par arrêté préfectoral, ou demandé par les inspecteurs des installations nucléaires de base ou les autorités de sûreté.

Au niveau du P.P.I., l'initiative appartient aux autorités préfectorales.

** Comment sont-ils effectués ?*

- soit en régie (c'est-à-dire dans des bureaux) : le responsable de l'exercice fixe les hypothèses d'incidents ou d'accidents et l'équipe teste la pertinence et la chronologie des interventions de chacun ;
- soit sur le terrain : selon l'objectif, qui est fixé par le responsable (exploitant ou préfet), la population est ou n'est pas invitée à participer.

De tels exercices supposent un déploiement réel des moyens d'interventions, dans l'espace et dans le temps.

L'intérêt des exercices est de mettre en évidence toutes les failles éventuelles du plan afin d'y remédier :

- existence du plan et connaissance de son contenu ;
- précision des informations ;
- vérification de l'exactitude des données chiffrées, cartographiques, des moyens disponibles ;
- comportement des responsables, des populations, et des secours ;
- manques ;
- état des matériels spécifiques ;
- etc...

** Etude de cas*

Voir exercice Jacques Cœur (*annexe 5*)

7 4 Information des populations sur les risques potentiels

Concernant les risques nucléaires, la législation impose aux exploitants de diffuser, aux personnes concernées, des informations sur les risques auxquels elles sont exposées et sur la conduite à tenir en cas d'accident ; cette information est faite sous contrôle des autorités administratives.

Vous trouverez, *chapitre 8*, les consignes et mesures de sauvegarde concernant les populations.

En outre vous pouvez consulter le P.P.I. dans les mairies, préfectures, sous-préfectures. Ne soyez pas surpris si une partie du P.P.I. ne vous est pas communiquée : elle est classée "**CONFIDENTIEL**", car elle contient uniquement les noms et coordonnées personnelles de tous les responsables et adjoints des administrations et organismes concernés, à tous les niveaux.

7 5 Les principales publications des associations de protection de l'environnement

CALYPSO LOG

Publication de l'équipe Cousteau

Equipe Cousteau

233, rue du faubourg Saint-Honoré - 75405 Paris Cedex 08

L'Equipe participe à l'évaluation des centrales Bulgares.

INFO URANIUM

Publication du Réseau Uranium

7, rue de l'Auvergne - 12000 Rodez - tél. : 65.42.20.07

Sommaire du N° 54

- Bulletin info mode d'emploi
- Adhésion au réseau Uranium
- Les mines d'Uranium en France
- Déchets radioactifs
- Page action-environnement
- Presse documentation
- Uranium : action CRIIRAD
- Titres miniers

GOLFECH MAGAZINE

Publication de la commission locale d'information auprès de la centrale de Golfech
Secrétariat du CLI

Hôtel du département

BP 783 - 82013 Montauban Cedex

N° de décembre 1991 : Golfech 1er Bilan

Hors série n° 3, dossier : "Les filtres à sable"

DAMOCLES

Revue bimestrielle de réflexion et d'échanges sur la paix, les conflits et la sécurité nucléaire

BP 1027 - 69201 Lyon Cedex 01 - tél. : 78.36.93.03

N° 10 janvier 1992

Guide des forces nucléaires françaises

Hors série 1991

Les essais nucléaires français - 1960-1988 (actualisé en 1991)

ECOLOGIE-INFOS

Fondateurs Sylvie et Jean-Luc Burgunder

édité par Espace-Ecologie

BP 432 - 45204 Montargis Cedex

Le CRI DU RAD

CRIIRAD

Le Cime - 471, av. Victor Hugo - 26000 Valence

ACRO

Pour les régions Calvados, Manche, Nord

Acro - 18, rue Savorgnan de Brazza - 14000 Caen

CONSIGNES ET MESURES DE SAUVEGARDE

Malgré tous les efforts réalisés pour prévenir le risque, tous les acteurs concernés se doivent d'envisager sa survenue. Il est donc nécessaire de connaître les conduites à tenir dans cette éventualité.

8 1 Le signal d'alerte

Il existe un code national d'alerte (*voir le livre général, chapitre 4*) : il s'agit de la diffusion d'un signal sonore et de messages annonçant un danger imminent.

La signification de ce signal d'alerte est :

Confinez-vous et écoutez la radio.
Le premier message sera donné par France-Inter.

8 2 Les consignes

- **Suivez impérativement les prescriptions et directives des pouvoirs publics** (préfecture, mairie, gendarmerie, police, sapeurs-pompiers).
- **Conservez votre calme et votre sang-froid**, car toute panique vous ferait encourir de réels dangers.
- **Restez à votre domicile ou regagnez le rapidement** si vous en êtes proche.
- Si vous êtes loin de chez vous, **rendez vous dans le bâtiment public le plus proche** et conformez vous aux consignes qui vous y seront données.
- **Evitez de téléphoner**, pour ne pas encombrer les lignes qui peuvent servir aux secours (sauf cas de force majeure : malade à domicile ne pouvant se déplacer seul par exemple).

3 Les mesures de sauvegarde

Dans le cas d'un risque radioactif, deux mesures peuvent être prises.

8.3.1. Le confinement

C'est la mesure simple de protection utilisée en premier réflexe.

En effet, l'habitation constitue un écran qui est le meilleur protecteur possible contre une contamination.

Une fois à l'intérieur d'un bâtiment vous devez VOUS CONFINER, c'est à dire :

- fermer soigneusement portes et fenêtres ;
- fermer les bouches d'aération et de ventilation (salle de bain, cuisine, et autres pièces), ou les obstruer avec des chiffons humides ou du ruban adhésif ;
- couper les ventilations mécaniques (obstruer les ventilations au niveau des portes et fenêtres) ;
- arrêter les appareils fonctionnant au gaz (chaudière, radiateur, chauffe-eau, gazinière...).

Etant confiné vous devez écouter France-Inter qui vous renseignera sur l'accident et vous précisera les consignes à suivre. Ces consignes seront éventuellement reprises par les radios locales et/ou diffusées par haut-parleurs.

8.3.2. L'évacuation

Il est possible qu'après le confinement à domicile, l'évacuation temporaire soit décidée par le responsable de l'organisation des secours

Vous en serez informés par la radio ou par haut-parleurs ; la durée de l'évacuation sera fonction des risques d'extension possible du sinistre et de ses conséquences.

** Si vous êtes à votre domicile*

- Rassemblez les membres de votre famille qui s'y trouvent ;
- munissez vous des documents suivants : pièce d'identité officielle, livret de famille, livrets médicaux ;
- emportez les médicaments indispensables si vous ou un membre de votre famille (même s'il n'est pas à votre domicile) suit un traitement ne pouvant être interrompu ;
- quittez votre domicile après avoir coupé les arrivées principales d'eau et de gaz ainsi que les appareils de chauffage autonome ; fermez les portes à clef.

** Une fois hors de l'abri*

- Rejoignez le point de rassemblement qui vous sera indiqué ;
- n'utilisez pas votre voiture ; tout comme la panique, les embouteillages vous feraient encourir de réels dangers ;
- à votre arrivée au point de rassemblement, conformez vous aux consignes qui vous seront transmises.

Des centres de regroupement, hors de la zone risquant d'être contaminée, sont prévus pour rassembler les familles et attendre le retour au domicile ou, en cas d'évacuation prolongée, l'hébergement temporaire dans des structures appropriées (hôtels, internats d'établissements d'enseignement,...).

En cas de force majeure, si vous ne pouvez rejoindre le point de rassemblement indiqué ou vous conformer à l'ordre de confinement, vous devez vous déplacer dans une direction opposée à l'origine présumée du risque et perpendiculairement au sens du vent.

** Si les enfants sont à l'école, et votre famille au travail*

Quelle que soit votre situation au moment de l'alerte, sachez que si vos enfants ou tout autre membre de votre famille se trouvent à l'école ou sur les lieux de travail, ils ne devront en aucun cas retourner au domicile, mais se conformer aux consignes qui leur seront transmises par les chefs d'établissements.



Centrale nucléaire de Tricastin

L'ACCIDENT DE THREE MILE ISLAND

La centrale nucléaire de Three Mile Island se situe aux Etats Unis, à 16 km de la ville d'Harrisbourg (68.000 h), capitale de l'Etat de Pennsylvannie.

La centrale est implantée sur la plus grande des trois îles formées par le fleuve "Susquehanna".

Dans la nuit du mardi 27 au mercredi 28 mars 1979, le réacteur 2 qui, à l'issue de sa période d'essais, est depuis 4 mois en service commercial, fonctionne à pleine puissance.

Un incident survenu sur un circuit d'air comprimé entraîne **l'arrêt de la circulation d'eau du circuit secondaire** (entre les générateurs de vapeur et le condenseur). La turbine s'arrête et la vapeur qui l'entraînait est rejetée brutalement et bruyamment dans l'atmosphère. L'eau du circuit primaire, qui n'est plus refroidie par le circuit secondaire, voit sa pression augmenter très rapidement. La vanne de décharge du pressuriseur (situé sur le circuit primaire pour réguler la pression) s'ouvre et la vapeur est envoyée dans un ballon de décharge, ce qui est malgré tout insuffisant pour ramener la pression à une valeur normale. Les barres de contrôle chutent dans le cœur (arrêt d'urgence) et le réacteur est arrêté.

La puissance résiduelle est encore considérable : plus de **cent mégawatts thermiques** (l'équivalent de la combustion en une heure de plus de 10.000.000 de litres de fioul). Il faut donc encore évacuer :

- environ 7 % de la puissance nominale dans la seconde qui suit l'arrêt,
- 5 % une minute après.

La pression baisse progressivement et un dispositif automatique commande la fermeture de la vanne de décharge du pressuriseur.

** Les erreurs de manœuvre (voir fig. 14 p. 19)*

C'est à ce moment que surviennent plusieurs incidents graves par leurs conséquences :

- bien qu'en salle de contrôle le voyant indique la fermeture de la vanne, celle-ci **ne se ferme pas** : l'eau du circuit primaire (200 m³) s'échappe à la vitesse d'environ 1 m³ par minute ;
- les pompes d'alimentation de secours des générateurs de vapeur se mettent en fonctionnement 30 secondes après, mais les vannes du circuit de secours ont, **par erreur**, été fermées lors d'une opération de maintenance mal contrôlée ;

- l'eau contenue dans les générateurs de vapeur se vaporise et les générateurs s'assèchent en un peu plus de deux minutes. Ce n'est que **huit minutes** plus tard que les opérateurs donnent l'ordre d'ouverture manuelle de ces vannes ;
- l'injection de sécurité, à haute pression, s'est déclenchée lorsque la pression dans le circuit primaire s'est abaissée à environ 110 bars. Le niveau d'eau augmente dans le pressuriseur et dépasse la cote autorisée. Les opérateurs, qui en déduisent qu'il y a trop d'eau dans le réacteur, **arrêtent l'injection de sécurité.**

Le circuit primaire continue alors de se vider et entraîne une nouvelle baisse de pression, ce qui occasionne, après six minutes, l'ébullition de l'eau dans la cuve du réacteur.

Un quart d'heure plus tard, c'est la rupture du ballon de décharge du pressuriseur : l'eau du circuit primaire se déverse alors directement dans l'enceinte de confinement.

La proportion de vapeur augmente progressivement dans le circuit primaire. Les pompes d'alimentation de ce circuit vibrent. Une première pompe (il y en a trois) est arrêtée par les opérateurs 1 h 13 après le début de l'accident, une seconde 27 mn plus tard.

Les techniciens espèrent alors qu'une circulation naturelle va s'établir dans le circuit primaire. En fait, le dégagement de chaleur accentue l'ébullition, et l'absence d'alimentation en eau, combinée à la fuite, va découvrir progressivement le cœur du réacteur.

Le haut des assemblages combustibles qui est hors de l'eau va connaître une élévation importante de température. Lorsque la température atteint 1300°C, le zirconium, constituant principal de la gaine qui enserme les pastilles d'oxyde d'uranium, réagit chimiquement avec la vapeur d'eau. Il se forme de l'oxyde de zirconium et de l'hydrogène. La gaine dégradée laisse échapper des gaz radioactifs et les produits de fission les plus volatiles (tellures, iodes, césiums). Il s'est écoulée 2 h 15 mn depuis le début de l'accident. L'alarme indiquant la présence de radioactivité dans l'enceinte du réacteur se déclenche.

Quinze minutes plus tard, une partie de l'oxyde d'uranium atteint sa température de fusion (2800°C).

Un chef de quart du réacteur voisin, arrivé sur les lieux, réalise qu'il peut y avoir une fuite par la vanne de décharge et ferme la vanne d'isolement interrompant ainsi la décharge.

Le circuit est alors fermé, mais toujours pas refroidi. La chaleur dissipée par le cœur fait monter la pression dans le circuit primaire :

- l'opérateur **remet en route une pompe** primaire ce qui a pour résultat d'envoyer de l'eau froide sur un combustible très chaud. La vaporisation de cette eau est rapide et massive. Elle accroît dangereusement la pression dans le circuit primaire.

- l'opérateur, en conséquence **ouvre à nouveau**, une heure après l'avoir fermée, la vanne de décharge du pressuriseur entraînant le rejet d'une eau très radioactive dans l'enceinte.

A ce moment des alarmes se déclenchent hors du bâtiment réacteur. Effectivement l'eau qui s'est écoulée dans l'enceinte de confinement est reprise par des pompes, à démarrage automatique, qui la renvoient dans un bâtiment auxiliaire non étanche. De la vapeur d'eau contaminée s'échappe vers l'extérieur.

Les pompes sont alors arrêtées pour stopper le transfert vers le bâtiment auxiliaire. Il s'est écoulé trois heures et vingt minutes depuis le début de l'accident.

- l'injection de sécurité est **remise en marche**, ce qui entraîne un nouveau choc thermique mais assure le refroidissement du cœur : celui-ci est beaucoup plus dégradé que ne le pensent les techniciens ; six heures trente minutes plus tard, une explosion, occasionnée par la présence d'hydrogène, entraîne un "pic de pression" dans l'enceinte du réacteur.

** Le retour d'expérience*

Pendant plusieurs jours tous les experts seront préoccupés par le risque d'une nouvelle explosion, car il s'est formé environ une demi-tonne d'hydrogène.

Ce n'est que le 23 juillet 1980, soit seize mois plus tard, que deux ingénieurs munis de plusieurs tenues isolantes et d'appareils respiratoires autonomes peuvent entrer dans l'enceinte du réacteur.

Début 1982, les premières opérations de décontamination commencent. En mai de la même année, des caméras introduites à l'intérieur de la cuve du réacteur, montrent un vide important en partie haute du cœur, et des débris dans le fond de cette cuve (environ quarante pour cent de la masse du cœur) (*voir fig. 29 p. 60*).

Les principales améliorations apportées après l'analyse des causes de cet accident sont les suivantes :

- **mise en place d'équipements** contrôlant directement l'état d'ouverture ou de fermeture de la vanne de décharge du pressuriseur. Auparavant, on ne testait que la commande électrique de fermeture ou d'ouverture de cette vanne ;
- **diffusion d'informations nationales et internationales** concernant ce problème de vanne dans le cadre du "retour d'expérience" ;
- **définition de nouvelles procédures** à mettre en œuvre dans le cas d'une élévation du niveau d'eau du pressuriseur. Si ces procédures avaient existé, plusieurs erreurs auraient été évitées ;
- **hiérarchisation des alarmes**, les informations essentielles étant regroupées sur un "panneau de sûreté". Précédemment il était difficile d'interpréter les anomalies car toutes les alarmes restaient activées, sans hiérarchisation, tant que les anomalies persistaient ;

- **modification automatique de la destination de l'eau** pompée dans le fond du réacteur en cas d'injection de sécurité ;
- **étanchéité des tuyauteries et des réservoirs de stockage** situés dans le bâtiment des auxiliaires.

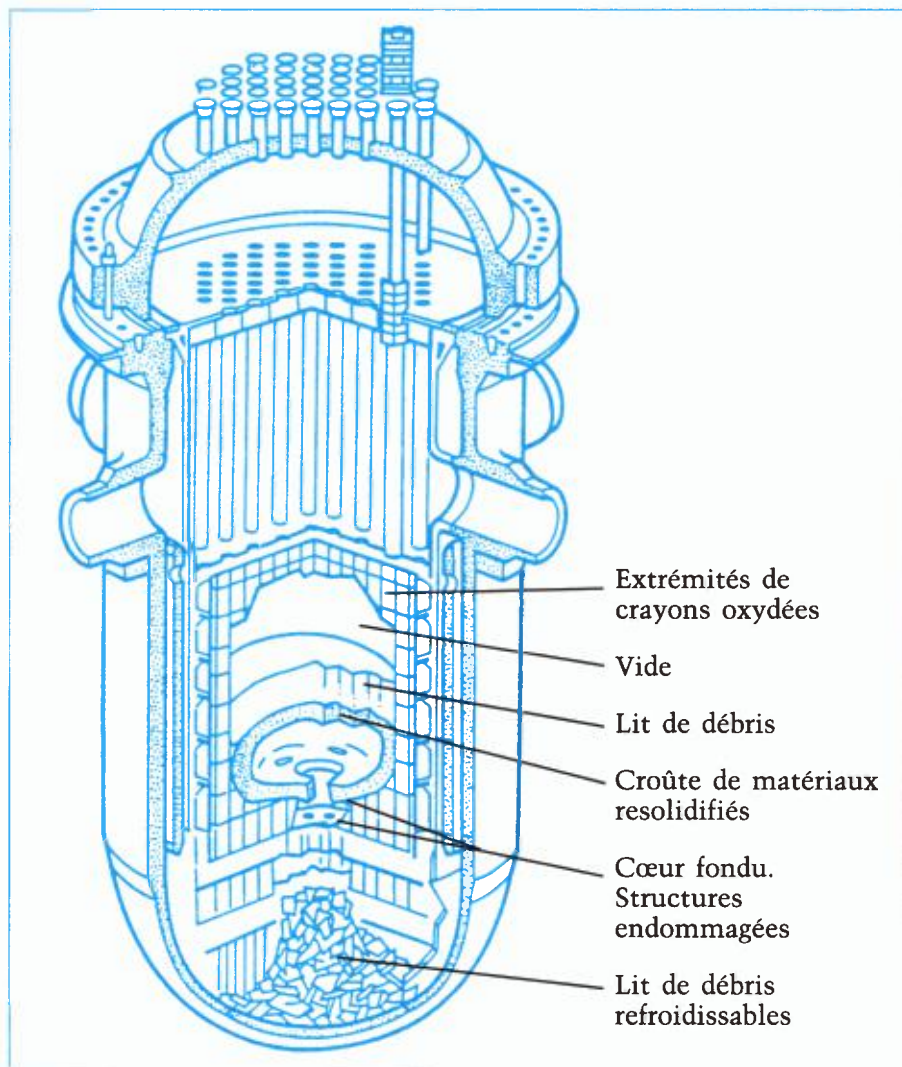


Fig. 29
Estimation de l'état final du cœur

L'ACCIDENT DE TCHERNOBYL

Le lundi 28 avril 1986, à 7 heures du matin, un technicien de la centrale de Forsmark en Suède procède à un contrôle de routine : ses chaussures présentent apparemment une contamination radioactive.

Le contrôle d'environ 700 personnes, travaillant sur le site, montre que cette contamination est générale. Des détecteurs placés à l'extérieur accusent un niveau d'activité ambiante 10 fois supérieur à la valeur moyenne habituelle.

Les responsables de la centrale suspectent une fuite provenant de leurs installations, ce qui, à priori, semble être la seule explication possible de cette augmentation de la radioactivité ambiante.

La radio suédoise demande donc aux habitants de ne pas approcher de la centrale.

Cependant l'Institut suédois de radioprotection, qui reçoit les résultats de plusieurs stations de mesures réparties sur le territoire, constate que cette contamination est générale, et qu'elle vient de l'URSS.

L'Agence TASS, dans une dépêche du 28 avril à 17 heures, annonce "qu'un accident a eu lieu dans une centrale nucléaire soviétique, et qu'un réacteur a été endommagé". Elle précise, que "des mesures sont prises pour éliminer les conséquences de l'accident".

L'Associated Press relate, en date du 29 avril 1986, ces informations, qui vont faire rapidement le tour des médias.

Ce n'est que le 14 mai 1986, que Mickhail GORBATCHEV prononcera un discours en déclarant qu'un accident est survenu sur une centrale nucléaire avec mort d'hommes. Il annonce :

" Au cours de la mise hors-service de l'unité 4 de la centrale située près de Tchernobyl (à environ une douzaine de kilomètres), la puissance du réacteur a soudain augmenté. La décharge considérable de vapeur et la réaction qui a suivi, ont provoqué la formation d'hydrogène, son explosion, la destruction du réacteur et l'émission de produits radioactifs..."

Il s'est écoulé 18 jours entre cette information officielle et l'accident survenu près de Tchernobyl, petite ville inconnue du nord de l'Ukraine, qui va devenir tristement célèbre dans le monde entier.

2 1 Le scénario de l'accident

Dans la centrale de Tchernobyl, située à environ 80 km au Nord de KIEV, sont implantés quatre réacteurs de type RBMK, ce qui signifie en français : **Réacteur à Eau Bouillante de Grande Puissance** (voir fig. 30)

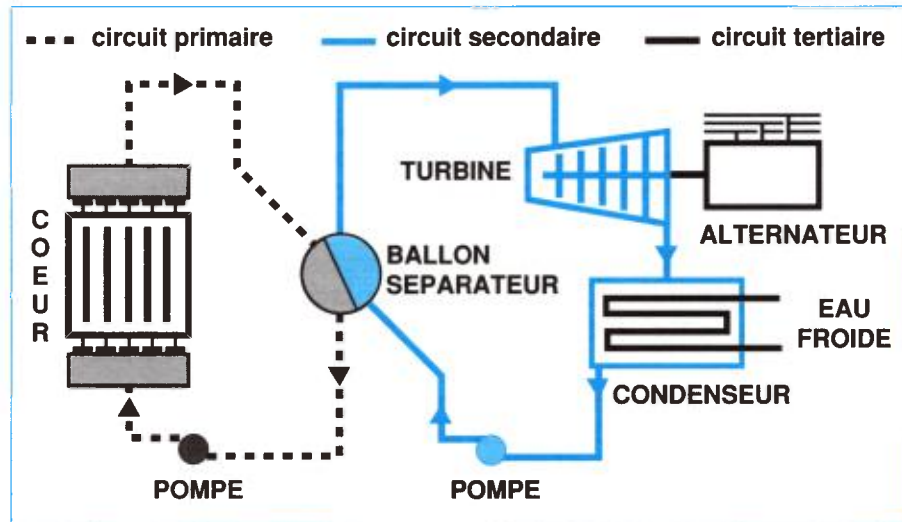


Fig. 30

Schéma d'une centrale RBMK

Le 25 avril, à 11 heures du matin, le personnel chargé de l'exploitation de la tranche 4 (1000 Mégawatts électriques) diminue progressivement la puissance du réacteur.

Un **essai électrique est programmé**, après avoir reçu l'agrément du Chef de la centrale. Il consiste à vérifier si, en cas d'arrêt du réacteur, l'électricité produite par l'un des deux turbo-alternateurs, qui continuent à tourner par inertie, peut être utilisée pour alimenter les équipements de l'installation en attendant la mise en route des groupes électrogènes de secours (environ 45 secondes).

Cet essai doit commencer lorsque la puissance du réacteur est réduite, environ au quart de sa puissance nominale.

Bien que l'on ne comprenne pas pourquoi (conformément au programme prévu), le circuit de refroidissement de secours est isolé, lorsque le réacteur est à la moitié de sa puissance.

Vers 13 heures, un groupe turbo-alternateur est arrêté. A ce moment, le service qui assure la distribution d'électricité, demande à la centrale d'alimenter le réseau par 500 MWe.

Pendant 9 heures le réacteur va fonctionner à cette puissance sans que quiconque pense à remettre en service le circuit de refroidissement de secours.

En outre, à ce palier de puissance, le réacteur produit du xénon (gaz rare) qui

est **“un poison neutronique”**, c’est-à-dire qui ralentit la puissance du réacteur. De ce fait, les opérateurs extraient progressivement **“les barres de contrôle”** insérées dans le cœur.

A 20 h 10 mn, la réduction de puissance est reprise.

Vers 0 h 30 mn, à la suite d’une **erreur matérielle**, la puissance du réacteur tombe à une dizaine de MWe. Le xénon augmente encore l’empoisonnement du cœur.

Des barres de contrôle sont de nouveau retirées pour remonter puis stabiliser la puissance à environ 60 MWe : **il est 1 h du matin, le 26 avril 1986.**

LE REACTEUR NE SE TROUVE PLUS DANS LE DOMAINE AUTORISE : sa puissance est inférieure à 220 MWe, il y a moins de trente barres de contrôle dans le cœur.

Malgré cette situation, l’équipe de conduite de la centrale décide de poursuivre l’essai en cours suivant les indications du programme.

Le xénon continuant à s’accumuler, d’autres barres de contrôle sont retirées.

A 1 h 22 mn, il n’y a plus que huit barres de contrôle dans le cœur. Les procédures normales font que **l’alarme se déclenche** dès qu’il n’y a plus que 15 barres, les opérateurs devant dans ce cas procéder à l’arrêt d’urgence du réacteur, cet arrêt n’étant pas automatique sur ce type de centrale.

Malgré cela, les opérateurs bloquent le signal d’alarme et continuent l’essai en cours.

A 1 h 23 mn, les vannes d’admission de vapeur à la turbine sont fermées, mais **le réacteur n’est pas arrêté**. Les pompes de circulation ralentissent. L’eau chauffe et se vaporise, la puissance du réacteur augmente. Le chef opérateur donne l’ordre d’insertion manuelle des barres de contrôle.

Le réacteur s’emballe, et, avant que les barres ne soient insérées l’accident se produit. **La puissance du réacteur atteint cent fois sa puissance normale de fonctionnement** ce qui produit **“une excursion nucléaire”**. Cette excursion conduit à céder aux pastilles de combustible une énergie si forte (300 calories par gramme) qu’elles explosent.

La dalle supérieure du réacteur, qui pèse 1000 tonnes, est projetée en l’air, puis retombe inclinée sur le réacteur qui s’entrouvre. Cette dalle rompt tous les canaux ainsi que les tuyauteries horizontales de retour de vapeur.

Environ deux à trois secondes plus tard, une deuxième explosion, 5 à 10 fois plus violente que la première, détruit une part importante de la partie supérieure du bâtiment réacteur et projette des dizaines de tonnes de graphite et de combustible, qui retombent autour de la centrale.

2 2 Les suites immédiates de l'accident

Deux opérateurs sont tués sur le coup. Le personnel de la centrale pense que c'est un réservoir de secours qui a explosé.

Deux ingénieurs stagiaires se dirigent vers le hall du réacteur pour insérer une commande manuelle des barres de contrôle et découvrent, sous des débris, le réacteur en feu. Ils meurent quelques jours plus tard des suites des trop fortes doses reçues.

L'adjoint au chef de la centrale monte sur le toit de l'unité 5 et découvre le réacteur détruit. **Il semble qu'il n'ait pas été cru lorsqu'il l'a annoncé à ses supérieurs.** Il décédera également quelques jours plus tard.

La population de Pripyat, petite ville située à trois kilomètres de la centrale est confinée. Le dimanche 27 avril, elle est évacuée. A 14 heures plus de 1200 bus réquisitionnés évacuent les 45.000 habitants. Partis pour trois jours, ils ne peuvent toujours pas revenir dans cette zone qui est fortement contaminée.

Environ 12 heures après l'accident, 230 physiciens, radiologues et hématologistes sont arrivés de Moscou. Dans les 24 heures qui suivent, 350 personnes ont fait l'objet d'un examen : 217 ont reçu une dose supérieure ou égale à un Gray ; cette dose a été **estimée biologiquement**, les appareils de dosimétrie, compte tenu de leurs plages de mesures, ne permettant pas de réunir des informations exploitables.

2 3 Premier bilan de l'impact sanitaire

En août 1986, les autorités soviétiques fournissaient aux experts internationaux réunis à Vienne (Autriche), un premier bilan médical (*voir fig. 31*), qui précisait que les dommages radiologiques les plus importants avaient été occasionnés aux personnes qui étaient intervenues dans les heures suivant l'accident. Il s'agit principalement des opérateurs de la centrale et des pompiers entrés en action pour éteindre les feux allumés par les projections incandescentes.

Doses absorbées en Grays	Victimes hospitalisées			Mortalité
	KIEV	MOSCOU	TOTAL	
1 à 2	74	31	105	0 (0 %)
2 à 4	10	43	53	1 (2 %)
4 à 6	2	21	23	7 (30 %)
6 à 16	2	20	22	21 (95 %)
1 à 16	88	115	193	29 (14 %)

Fig. 31 : Premier bilan médical des personnes gravement irradiées

N.B. : ces 29 décès sont survenus dans un délai compris entre 4 et 96 jours. Il faut y ajouter les deux décès du 1^{er} jour.

L'incidence de cette forte exposition de l'organisme entier a été aggravée par des brûlures thermiques ou radiologiques, dues au contact prolongé de la peau avec des poussières radioactives : par exemple certains pompiers, harassés, se sont couchés avec leurs tenues, non spécifiques, sans être décontaminés.

Le tableau suivant montre l'incidence des brûlures sur le taux de mortalité.

Surface brûlée	Nombre de brûlés	Nombre de décès
< 30 %	21	0 (0 %)
30 à 60 %	12	9 (75%)
60 à 90 %	8	8 (100%)

Une greffe de moelle osseuse a été réalisée sur treize personnes sévèrement exposées. Seulement quatre d'entre elles ont survécu. Pour six autres personnes, des greffes de foies foetaux (pour remplacer la moelle sanguino-formatrice), n'ont pas permis de les sauver.

2 4

Les rejets radioactifs et la contamination de l'environnement

L'ensemble des radionucléides échappés du cœur du réacteur représente 30 à 50 millions de Curies (11.10^{17} à 18.10^{17} Bq), compte non tenu de l'activité des gaz radioactifs (Krypton 85, Xénon 133).

Les principaux éléments radioactifs retrouvés à plusieurs milliers de kilomètres de la centrale sont : l'Iode 131, le Tellure 132 et les Césiums 134 et 137.

Les prélèvements effectués dans les premières dizaines de kilomètres présentent une gamme de radionucléides beaucoup plus variée : présence notamment de Strontium 90 et de Plutonium.

La contamination la plus préoccupante, à long terme, est celle due au Césium 137 dont la période radioactive physique est de 30 ans. Elle concerne un territoire important :

- 76.100 km² contaminés entre 1 et 5 Curies par km² (37.000 à 185.000 Bq par m²), où vivent 824.000 habitants ;
- 10.000 km² contaminés à plus de 15 Curies par km² où vivent 230.000 habitants.

Les pollutions irrégulières du sol, dites en **"taches de léopard"**, sont dues à des fluctuations météorologiques et à la topographie des sols : par exemple, les régions au dessus desquelles il a plu, ont été contaminées de façon plus importante à cause des radionucléides entraînés par la pluie ; les terrains où l'altitude est plus importante ont "bloqué" le nuage et sont donc restés exposés plus longtemps...

2 5 Doses reçues par la population et les secours

A l'évacuation de Pripyat se sont ajoutées d'autres évacuations dans un rayon d'environ trente kilomètres autour de la centrale, et notamment Tchernobyl (voir fig. 33).

Les populations vivant dans ce rayon ont reçu des doses relativement importantes entre le début de l'accident et le moment de leur transfert (voir fig. 32).

Localisation	Nombre de personnes évacuées	Dose moyenne (en Sievert)	Dose en 7 jours (en Sv) *
PRIPYAT	45.000	0,033	évacuée
3 à 7 km	7.000	0,543	0,06 à 0,8
7 à 10 km	9.000	0,456	0,10 à 0,6
10 à 15 km	8.200	0,354	0,02 à 0,75
15 à 20 km	11.600	0,052	0,003 à 0,25
20 à 25 km	14.900	0,060	0,004 à 0,35
25 à 30 km	39.200	0,046	0,001 à 0,12
TOTAL	135.000	0,119	

D'après une publication de l'Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire, les doses à Pripyat seraient de 13 Rems soit 0,13 Sv.

* L'incertitude sur les doses est due au fait que, dans une même couronne, les zones ont été inégalement concernées par les différentes phases de rejet.

Fig. 32 : Doses reçues

Pour réduire les rejets du réacteur, des militaires ont organisé une noria d'hélicoptères qui ont déversé au-dessus du cœur 40 tonnes de carbure de bore, 800 de dolomite, 1800 d'argile et de sable et 2400 de plomb. En outre, plus de 600.000 personnes ont nettoyé le site, creusé le sous-sol et édifié le sarcophage de béton et d'acier qui enveloppe le bâtiment du réacteur.

Des centaines de forages ont été effectués, dans le sarcophage, à des fins d'analyse. Les échantillons prélevés ont démontré que près de 135 tonnes de combustible, essentiellement sous forme de lave, se sont accumulées aux étages inférieurs du bâtiment.

Selon l'avis de plusieurs experts, les doses individuelles admises réglementairement, ont probablement, pour les personnes qui ont travaillé sur le site, été largement dépassées.



Fig. 33 : Site de la centrale nucléaire de Tchernobyl

2 6 Impact dosimétrique en Europe

P A Y S	Dose effective en micro Sieverts	
	La première année	
	"Groupe critique"	Adultes
BELGIQUE	430 (B)	44
DANEMARK	400 (B)	55
ESPAGNE		0,9
- Est	71 (B)	3,9
- Ouest	3,8 (B)	0,2
FRANCE		39
- Est	970 (B)	110
- Ouest	340 (B)	21
GRECE	1.300 (E/A)	300
IRLANDE	520 (A)	97
ITALIE		160
- Nord	1.100 (A)	200
- Centre	830 (A)	120
- Sud	760 (A)	120
LUXEMBOURG	400 (B)	47
PAYS-BAS	380 (A)	60
PORTUGAL	3,7 (B)	0,2
RFA		150
- Nord	430 (B)	46
- Sud	1.900 (B)	380
ROYAUME UNI		32
- Cumbria		
- Nord du P. de Galles	840 (B)	190
- S. O. de l'Ecosse		
- Reste du R. Uni	260 (E)	20
- Reste du P. de Galles	370 (A)	29
- Reste de l'Ecosse	590 (E/A)	83
- Irlande du Nord	520 (A)	97
Les groupes critiques sont : B = enfant moins d'un an ; E = enfant de 10 ans ; A = adulte		

Source : Extrait du bilan effectué pour la CEE
par Mr. WEBB, expert britannique du NPRB

Fig. 34 : Le nuage de Tchernobyl

Le passage au dessus de la France du "nuage de Tchernobyl" est schématisé par la fig. 35 p. 68.

La dose maximum a été (la première année), pour les individus du groupe critique (les plus sensibles), de 970 uSv (micro Sieverts) et ce sur l'est de la France.

Cette dose correspond à 0,097 Rem ; pour mémoire, la limite admissible fixée par la réglementation est de 0,5 Rem pour le public.

Si on compare, pour l'Europe, la dose maximum reçue en un an (0,19 Rem en RFA) à la dose fixée par la réglementation, on constate qu'elle est nettement inférieure.

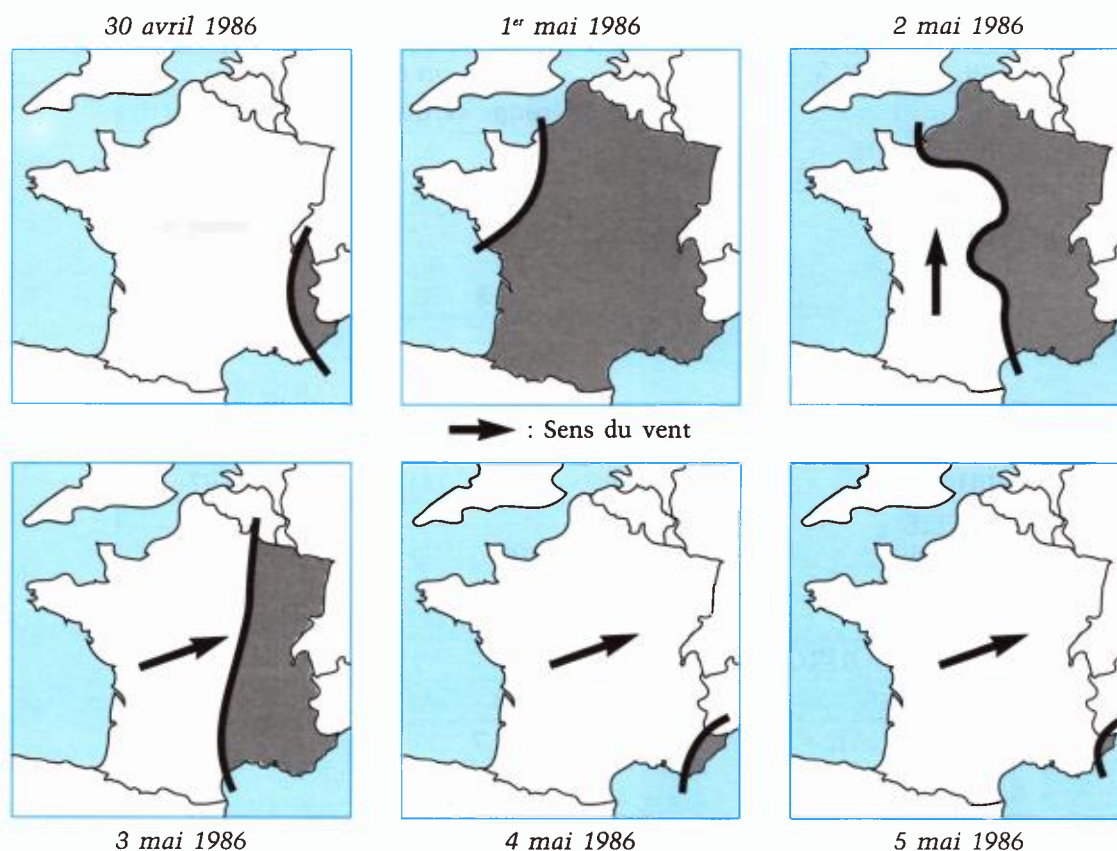


Fig. 35 : Carte de la radioactivité de l'air au niveau du sol en France du 30 avril au 5 mai 1986

2.7 Les conséquences de l'accident

L'accident de Tchernobyl a eu, ou peut avoir, des conséquences très diverses, échelonnées dans le temps et dans l'espace.

2.7.1. Conséquences immédiates

- **Atteintes corporelles graves** des employés et des secours (dans le cas de Tchernobyl ces atteintes auraient pu être moindres, si les personnes en cause avaient eu la connaissance du risque, et des équipements appropriés).
- **Rejets dans l'atmosphère** d'une grande quantité de produits radioactifs (dans le cas de Tchernobyl, ils ont été véhiculés par les nuages sur l'Europe de l'Ouest) : plus on s'éloigne du lieu de l'accident, plus les produits disparaissent par dépôt, dilution, pluviométrie (la pluie entraîne plus de radioactivité au sol).

2.7.2. Conséquences retardées

- **Pollution de l'environnement** ; elle peut entraîner l'évacuation d'une zone importante (près de 3 000 km² à Tchernobyl).

- **Atteinte importante de l'écosystème** dans cette zone.
- **Contamination plus ou moins importante des individus**, en fonction de la quantité de radioéléments ayant atteint l'atmosphère.

2.7.3. Conséquences très tardives

Elles sont difficilement quantifiables et peuvent apparaître très longtemps après l'accident ayant entraîné une exposition variable au niveau des populations.

Les différents rapports d'experts concernant les doses engagées au niveau de la population de la région de Tchernobyl, ont défini, dans un rayon de 30 km, des doses allant de 0,01 Sv (1 rem) à la limite de la zone, jusqu'à 0,35 Sv (35 rems) près du site de la centrale. Ceci, compte tenu de l'évaluation du risque de cancer pourrait entraîner une augmentation de mortalité par cancer dans une fourchette allant de 1 pour 1.000 à 1 pour 100, soit 50 à 500 cas de cancers supplémentaires (ce qui sera difficilement vérifiable compte tenu du nombre de cancers, non radioinduits, parmi cette population : environ 15.000).

ANNEXE 3

LA SURETÉ NUCLÉAIRE EN FRANCE

L'OFFICE PARLEMENTAIRE D'EVALUATION DES CHOIX
SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES



LE MINISTRE
DE L'INDUSTRIE ET DU
COMMERCE EXTERIEUR

ETUDES
D'EVALUATION

LE MINISTRE
DE
L'ENVIRONNEMENT

Consultent :

- le Conseil Supérieur de la Sûreté et de l'Information Nucléaire
- la Commission Interministérielle des Installations Nucléaires de Base

D R I R E

La Direction
de la Sûreté
des Installations Nucléaires
(DSIN)

GROUPES D'EXPERTS

L'Institut
de
Protection
et de
Sûreté
Nucléaire
(IPSN)

Groupe
permanent
chargé
des
réacteurs
nucléaires

Groupe
permanent
chargé des
installations
destinées au
stockage à
long terme
des déchets
radioactifs

Section
permanente
nucléaire
de la
commission
centrale
des appareils
à pression

LES RÈGLES FONDAMENTALES DE SURETÉ

- R.F.S. - I.2.a.** Prise en compte des risques liés aux chutes d'avions (5 août 1980)
- R.F.S. - I.2.b.** Prise en compte des risques d'émission de projectiles par suite de l'éclatement des groupes turbo-alternateurs (5 août 1980)
- R.F.S. - I.2.c.** Détermination des mouvements sismiques à prendre en compte pour la sûreté des installations (1er octobre 1981)
- R.F.S. - I.2.d.** Prise en compte des risques liés à l'environnement industriel et aux voies de communication (7 mai 1982)
- R.F.S. - I.2.e.** Prise en compte du risque d'inondation d'origine externe (12 avril 1984)
- R.F.S. - I.3.a.** Utilisation du critère de défaillance unique dans les analyses de sûreté (5 août 1980)
- R.F.S. - I.3.b.** Instrumentation sismique (8 juin 1984)
- R.F.S. - I.3.c.** Etudes géologiques et géotechniques du site : détermination des caractéristiques des sols et études du comportement des terrains (1er août 1985)
- R.F.S. - II.2.2.a.** Conception du système d'aspersion de l'enceinte (5 août 1980) ; révision 1 (31 décembre 1985)
- R.F.S. - IV.1.a.** Classement des matériels mécaniques, structures et ouvrages de génie civil (21 décembre 1984)
- R.F.S. - IV.2.a.** Exigences à prendre en compte dans la conception des matériels mécaniques classés de sûreté, véhiculant ou contenant un fluide sous pression, et classés de niveau 2 et 3 (21 décembre 1984)
- R.F.S. - IV.2.b.** Exigences à prendre en compte dans la conception, la qualification, la mise en œuvre et l'exploitation des matériels électriques appartenant aux systèmes électriques classés de sûreté (31 juillet 1985)
- R.F.S. - V.1.a.** Détermination de l'activité relâchée hors du combustible à prendre en compte dans les études de sûreté relatives aux accidents (18 janvier 1982)
- R.F.S. - V.1.b.** Moyens de mesures météorologiques (10 juin 1982)
- R.F.S. - V.2.b.** Règles générales applicables à la réalisation des ouvrages de génie civil (réf. : code RCC-G), (30 juillet 1981)

- R.F.S. - V.2.c.** Règles générales applicables à la réalisation des matériels mécaniques (réf. code RCC-M), (8 avril 1981) ; révision 1 (12 septembre 1986)
- R.F.S. - V.2.d.** Règles générales applicables à la réalisation des matériels électriques (réf. code RCC-E), (28 décembre 1982) ; révision 1 (23 septembre 1986)
- R.F.S. - V.2.e.** Règles générales applicables à la réalisation des assemblages de combustible (réf. code RCC-C), (28 décembre 1982) ; révision 1 (25 octobre 1985)
- R.F.S. - V.2.f.** Règles générales relatives à la protection contre l'incendie (réf. code RCC-I), (28 décembre 1982)
- R.F.S. - V.2.g.** Calculs sismiques des ouvrages de génie civil (31 décembre 1985)
- R.F.S. - V.2.h.** Règles générales applicables à la réalisation des ouvrages de génie civil (réf. code RCC-G), (4 juin 1986)

Note SIN 3130/84 du 13 juin 1984 relative aux conclusions de l'examen du document intitulé : règles de conception et de construction des centrales nucléaires PWR (recueil de règles relatives aux procédés - tranches de 900 M We), (réf. : code RCC-P)

Il faut faire une mention spéciale pour 2 textes formalisant les règles fondamentales des structures, équipements et matériels des ensembles les associant, ainsi que les conditions d'exploitation des installations nucléaires de base :

Arrêté et circulaire du 10.8.84, relatifs à la qualité de la conception, de la construction et de l'exploitation des installations nucléaires de base (J.O. du 22.9.84).

L'EXERCICE JACQUES CŒUR

Comme nous l'avons vu, des exercices sont réalisés, afin de vérifier l'efficacité des plans particuliers d'interventions.

Ils nécessitent parfois la mise en œuvre de moyens considérables, tant au niveau local qu'au niveau national.

C'est le cas de **l'exercice Jacques CŒUR** qui a eu lieu en juin 1990, et qui concernait la centrale nucléaire de Belleville-sur-Loire (CHER).

Les acteurs de cet exercice étaient :

- l'exploitant (E.D.F.) ;
- l'Administration Centrale (ministères) ;
- la préfecture du Cher ;
- 17 journalistes sous contrat ;
- 30 représentants des élus ;
- les agents économiques locaux ;
- ...

Le déroulement de l'exercice Jacques CŒUR a comporté trois phases :

- **mise en place du PUI et du PPI** en considérant un accident fictif avec des émissions radioactives à l'extérieur du site ;

- **contamination fictive** de zones étendues et examen de plusieurs thèmes du Plan Post Accidentel (P.P.A.) ;

- **évaluation de l'exercice** qui a porté sur :

- l'ensemble du dispositif national et plus particulièrement sur le recueil et l'exploitation des données radiologiques ;
- l'organisation de la **cellule de crise** auprès du préfet ;
- la gestion sociale de la crise ;
- la gestion médiatique de la crise ;
- la formation et l'entraînement des intervenants.

Les principales conclusions de l'exercice ont mis en évidence que l'organisation mise en place pour couvrir la centrale peut être considérée comme opérationnelle.

Toutefois, les dispositions prises pour gérer la vie sociale et économique, en cas de contamination de zones étendues, nécessitent des améliorations.

C'est pourquoi, à la suite de ce bilan, le secrétaire général du CSIN (Comité Interministériel de la Sûreté Nucléaire) a proposé des orientations et des dispositions complémentaires au Premier ministre.

Elles ont été acceptées et ont fait l'objet d'une directive interministérielle.

Cette directive n° 1444 du 1.7.1991 est axée sur la sauvegarde des fonctions sociales en cas de passage de la vie normale à l'état de crise.

Elle concerne notamment :

- le recueil et l'exploitation des données radiologiques ;
- la diffusion des informations ;
- la formation et l'entraînement des intervenants ;
- la gestion médiatique de la crise.

Elle précise qu'il est nécessaire d'associer aux cellules de crise les élus, les agents sociaux et économiques et les médias locaux.

Ceci permettrait indubitablement une information plus rigoureuse de l'ensemble des acteurs, afin que chacun puisse assumer les responsabilités que sa fonction exige : maire, médecin, chef d'établissement d'enseignement, vétérinaire, chef d'entreprise,...

Par ailleurs, cette approche de la crise n'est pas spécifique au risque nucléaire. Elle prend en compte les enseignements des grands accidents ou catastrophes récentes (on pourra se référer au *livret : "Le risque industriel"*).

Enfin, pour disposer de procédures et outils encore plus efficaces, des groupes de travail, à vocation opérationnelle, sont animés par le Secrétariat Général de la Défense Nationale (S.G.D.N.) et l'Institut des Hautes Etudes de la Sécurité Intérieure (I.H.E.S.I.), en collaboration avec les services compétents des ministères chargés de l'Industrie, de la Santé et de l'Intérieur, ainsi qu'avec les exploitants et les experts.

IRRADIATION CONTAMINATION

1 Irradiation externe par le nuage

Elle commence et finit instantanément avec le passage du nuage ; elle reste faible vis-à-vis des autres modes d'irradiation.



Fig. 36 : Irradiation externe

2 Irradiation due aux dépôts

Elle commence progressivement avec l'arrivée du nuage. Elle se prolonge après le passage du nuage en décroissant si elle n'est pas renouvelée par d'autres nuages ; l'effet de la pluie est très important pour la formation des dépôts (augmentation).



Fig. 37 : Irradiation par dépôts

3 Contamination par ingestion

Elle commence après les autres modes d'irradiation, avec le début de consommation des produits alimentaires contaminés directement.



Fig. 38 : Contamination par ingestion

4 Contamination par inhalation

Elle commence avec l'arrivée du nuage. La contamination cesse après le passage du nuage, mais l'irradiation provoquée par les poussières radioactives fixées par l'organisme continue.



Fig. 39 : Contamination par inhalation

LES DOSSIERS PUBLIÉS DANS LE BULLETIN SN EN 1991

Parc nucléaire, les enjeux de la maintenance
(n° 79 janvier-février)

Le déclassé des installations nucléaires de base
(n° 79 janvier-février)

Le combustible futur des réacteurs d'EDF
(n° 80 mars-avril)

Le projet de loi relatif aux recherches sur l'élimination des déchets radioactifs
(n° 80 mars-avril)

Les coopérations internationales entre autorités de sûreté
(n° 81 mai-juin)

Le risque de criticité dans les installations du cycle du combustible
(n° 82 juillet-août)

Anomalies sur des couvercles de cuve à Bugey et Fessenheim
(n° 83 septembre-octobre)

Arrêt définitif de la centrale de Chooz A
(n° 83 septembre-octobre)

L'échelle de gravité : bilan 1991
(n° 84 novembre-décembre)

Retraitement et déchets, les enjeux d'Atalante
(n° 84 novembre-décembre)

LES CENTRES DE STOCKAGE

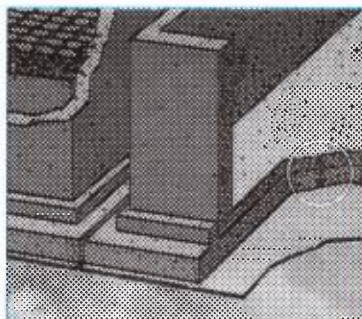
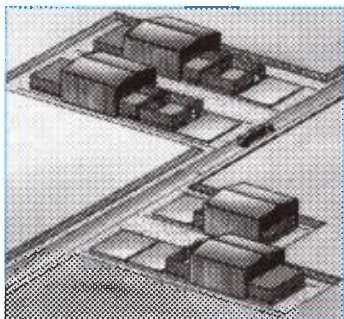
Les déchets vitrifiés sont entreposés dans des puits verticaux construits dans des fosses bétonnées à **Marcoule** et à **la Hague**.

Compte-tenu du dégagement thermique important de ces déchets, ils sont refroidis pendant plusieurs années, grâce à une circulation d'eau dans les puits, avant d'être stockés en profondeur.

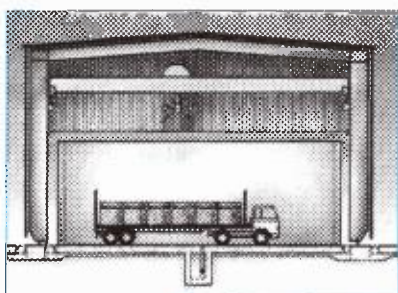
Les déchets de catégorie A sont stockés au centre de stockage de l'Aube, ce centre ayant pris le relai du centre de stockage de la Manche qui était exploité depuis 1969.

Le centre de stockage de l'Aube (voir fig. 40) sera exploité pendant trente ans, puis après remise en état du site (plantations), il redeviendra un espace vert. Il sera contrôlé jusqu'à disparition quasi totale de la radioactivité, soit pendant environ trois cents ans.

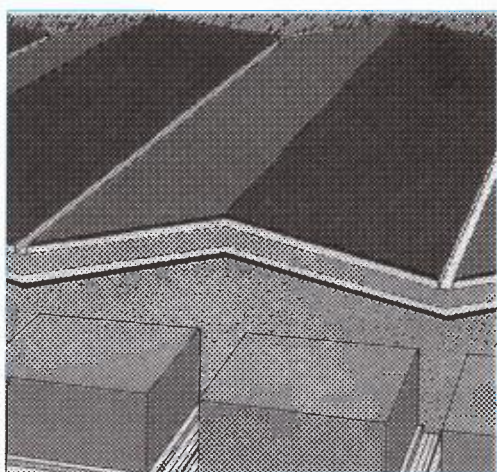
Après les contrôles d'admission, les camions pénètrent dans la zone de stockage. Elle s'étend sur une trentaine d'hectares.



Les structures de stockage sont des cases de 25 mètres de côté. Murs et radiers sont en béton armé de 30 cm d'épaisseur.



Les cases sont protégées par un toit mobile pour empêcher à la pluie de pénétrer dans le stockage. Quand la case est remplie, recouverte de béton et imperméabilisée, on roule le toit au-dessus de la case suivante.



On pose ensuite la couverture définitive qui assure l'étanchéité du stockage. Elle est constituée d'une membrane bitumineuse, de couches alternées de sable et d'argile et, enfin, d'un tapis de terre végétale semé d'herbe et planté d'arbustes.

Fig. 40
Centre de stockage de l'Aube

LEXIQUE

<i>Bq</i>	Becquerel
<i>Ci</i>	Curie
<i>CIINB</i>	Commission Interministérielle des Installations Nucléaires de Base
<i>DDAF</i>	Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt
<i>DDASS</i>	Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales
<i>DDPU</i>	Direction Départementale des Polices Urbaines
<i>DD SIS</i>	Direction Départementale des Services Incendie et de Secours
<i>DRIRE</i>	Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement
<i>DSIN</i>	Direction de la Sûreté des Installations Nucléaires
<i>K40</i>	Potassium 40
<i>PCD</i>	Poste de Commandement Direction
<i>PCF</i>	Poste de Commandement Fixe
<i>PCO</i>	Poste de Commandement Opérationnel
<i>PPI</i>	Plan Particulier d'Intervention
<i>PUI</i>	Plan d'Urgence Interne
<i>PWR</i>	Presurised Water Réacteur (Réacteur à eau pressurisée)
<i>Ra</i>	Radium
<i>REP</i>	Réacteur à Eau Pressurisée
<i>RFS</i>	Règles Fondamentales de Sûreté
<i>SCPRI</i>	Service Central de Protection contre les Rayonnements Ionisants
<i>STI</i>	Service des Transmissions de l'Intérieur
<i>Sv</i>	Sievert

BIBLIOGRAPHIE

- LES EFFETS BIOLOGIQUES DES RAYONNEMENTS IONISANTS

Auteur : Docteur Michel Bertin

Electricité de France, Direction de l'Équipement

Editeur : SODEL, 336, rue St-Honoré, 75001 Paris

Ce livre, rédigé à l'intention des médecins et des biologistes, traite des risques d'irradiation et de contamination, ainsi que de leurs conséquences.

- LES CAHIERS DE LA SECURITE INTERIEURE

N° 6 août-octobre 1991 - La gestion de crise

Auteur, éditeur : Institut des Hautes Etudes de la Sécurité Intérieure

Ce numéro traite notamment de l'exercice Jacques Cœur.

- TCHERNOBYL ET SES CONSEQUENCES

Editeur : ENERG'HIC, 44, rue de l'Etang, 44360 La Paquelaie

Numéro spécial.

- QUID

Editeur : Robert LAFFONT S.A.

- ENVIRONNEMENT ENERGIE SANTE

Auteurs : multiples

Editeur : SFEN (Société Française d'Energie Nucléaire)

48, rue de la Procession, 75724 Paris Cedex 15

Cette brochure, très illustrée, présente sous une forme attrayante la radioactivité, les déchets, les effets des rayonnements, ...

- MEDECINS ET RISQUE NUCLEAIRE

Editeur : SODEL Conseil

Brochure conçue dans le cadre de "Isère Département Pilote". Elle est consacrée au risque radiologique et a été élaborée avec le concours de médecins spécialistes en radio-biologie.

- LE CONCOURS MEDICAL - RISQUES D'IRRADIATION

Supplément au n° 28 du 05 septembre 1987

Editeur : Imprimerie Borel. Paris

Ce numéro concerne le traitement des grands irradiés, les irradiations corporelles totales thérapeutiques, et leur application aux irradiations accidentelles.

- VIGILANCE - LES BASES BIOLOGIQUES DE LA RADIOPROTECTION

Périodique - n° Hors Série

Editeur : SODEL

Ce document présente les risques cancérogènes, génétiques et tératogènes dus à l'irradiation. Il précise l'évaluation des risques à faible dose et la relation dose-effet.

- LES RISQUES MAJEURS ET LA PROTECTION DES POPULATIONS

Editeur : Edition du Moniteur, 17 rue d'UZEZ. 75002 Paris

Ce document de près de trois cents pages, traite des risques naturels, technologiques et des menaces militaires. Il précise les moyens et les techniques d'intervention, l'organisation et les structures des services publics. Il récapitule de façon schématique les principaux textes officiels.

- CANCER IN POPULATION LIVING NEAR NUCLEAR FACILITIES

Auteurs multiples : National Cancer Institut (USA)

Il s'agit d'une importante étude américaine analysant l'évolution du taux de mortalité, par type de cancer, sur les populations vivant à proximité de centrales nucléaires, par rapport à d'autres populations témoins (cette étude concerne plusieurs pays).

Conception, photocomposition, photogravure :
IMPRIMERIE LE COPISTE

Imprimé d'après films fournis
IMPRIMERIE NATIONALE - 2 234042 S

MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT

Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques
Délégation aux Risques Majeurs
14, Bld Général Leclerc, 92524 Neuilly sur Seine cedex
Tél.: 47.58.12.12 postes 22.85 et 27.81

Diffusion : Centre Régional de Documentation Pédagogique
B.P. 490 - 21023 Dijon cedex