

	<i>RaMsEs</i> Module « réglementation et principes de radioprotection »	PCR-T1-7
		Indice de révision : 01
		Date d'application : 01/09/2005
Titre :	Sources d'exposition pour l'homme	
Date :	juin 2005	
Fichier :	\\Sbgpcs47\P_Ramses\Zone Echange\PCR\Cours\PCR-T1-7 Sources d'exposition.doc	

Sources d'Exposition pour l'Homme

	RaMsEs	PCR-T1-7
	Module « réglementation et principes de radioprotection »	Indice de révision : 01
		Date d'application : 01/09/2005

SOMMAIRE

1- SOURCES NATURELLES DE RAYONNEMENTS IONISANTS	4
1.1- Exposition externe	4
1.1.1- Rayonnements cosmiques	4
1.1.2- Rayonnements telluriques	5
1.2- Exposition interne	5
1.2.1- Isotopes cosmogéniques	6
1.2.2- Isotopes d'origine tellurique	6
1.3- Généralités sur le radon	7
1.4- Techniques de mesure du radon	10
• Chambre à ionisation impulsionnelle	10
• Chambre d'ionisation à Téflon (Electret)	11
1.5- Cartographie par départements de l'activité volumique	13
1.6- Les normes	14
2- SOURCES RESULTANT DE L'ACTIVITE HUMAINE	15
2.1- Exposition médicale	15
2.1.1- Radiodiagnostic	15
2.1.2- Radiothérapie	15
2.1.3- Médecine nucléaire	16
2.2- Applications industrielles	16
2.2.1- Radiographie industrielle	16
2.2.2- Jauges	17
2.2.3- Applications reposant sur le principe d'ionisation des gaz	18
2.2.4- Traceurs radioactifs industriels	18
2.2.5- Irradiation	19

	<i>RaMsEs</i>	PCR-T1-7
	Module « réglementation et principes de radioprotection »	Indice de révision : 01
		Date d'application : 01/09/2005

2.3-	Production d'électricité	19
2.3.1-	Préparation du combustible	19
2.3.2-	Fonctionnement des centrales nucléaires	20
2.3.3-	Retraitement du combustible	22
3-	CONCLUSION	23

	RaMsEs Module « réglementation et principes de radioprotection »	PCR-T1-7
		Indice de révision : 01
		Date d'application : 01/09/2005

L'homme est constamment exposé aux rayonnements ionisants. Une des composantes de cette exposition existe depuis l'origine de la vie sur la Terre ; elle est due aux sources naturelles de rayonnements ionisants. L'autre composante est d'apparition récente et résulte de l'activité humaine. En moyenne, elles contribuent chacune pour environ 50% de l'équivalent de dose absorbée.

1- SOURCES NATURELLES DE RAYONNEMENTS IONISANTS

1.1- Exposition externe

1.1.1- Rayonnements cosmiques

On appelle rayonnement cosmique un flux de particules (principalement des protons) dotées d'une énergie très élevée, de l'ordre du GeV. Il est d'origine solaire ou galactique.

Ces protons de haute énergie entrent en collision avec les noyaux des atomes de l'atmosphère et créent des fragments eux-mêmes dotés d'une énergie élevée (protons, neutrons, muons, neutrinos, mésons, ...).

Le débit d'équivalent de dose dû aux rayonnements cosmiques est en moyenne de 0,3mSv/an au niveau de la mer. Mais il varie considérablement en fonction de l'altitude et de la latitude.

Altitude (km)	Equateur	30°	50°
0	0,35	0,4	0,5
1	0,60	0,7	0,9
2	1,0	1,3	1,7
3	1,7	2,2	3,0
4	2,6	3,6	5,0
5	4,0	5,8	8,0
10	14,0	23,0	45,0
15	30,0	50,0	110,0
20	35,0	60,0	140,0

Tableau 1 : Variation du débit d'équivalent de dose absorbée (mSv/an) en fonction de l'altitude et de la latitude.

	RaMsEs Module « réglementation et principes de radioprotection »	PCR-T1-7
		Indice de révision : 01
		Date d'application : 01/09/2005

Région	Altitude (m)	Latitude	mSv/an	Population
LA PAZ (Bolivie)	3630	16° S	2,7	320 000
QUITO (Equateur)	2850	0°S	1,6	213 000
BOGOTA (Colombie)	2640	4° N	1,5	325 000
CERRO DE PASCO (Pérou)	4259	10° S	3,3	20 000
LHASSA (Himalaya)	3684	30° N	3,1	20 000

Tableau 2 : Débit d'équivalent de dose des rayonnements cosmiques dans des régions de haute altitude.

1.1.2- Rayonnements telluriques

Nous sommes exposés aux rayonnements dus aux radioéléments présents dans l'écorce terrestre. Il existe une cinquantaine de radioéléments naturels dont la plupart font partie des 3 familles naturelles du Thorium, de l'Uranium et de l'Actinium.

C'est le Thorium qui existe en quantité la plus importante (10 ppm en moyenne). On trouve ensuite l'Uranium (2 à 3 ppm), puis l'Actinium.

Un autre radioélément contribue de façon notable, c'est ^{40}K isotope naturel du Potassium (0,011%). Sa concentration est de l'ordre de 100 à 1000 Bq/kg de sol.

Le débit de dose absorbée moyen dû à l'ensemble de ces isotopes est d'environ 0,3mSv/an. Il varie cependant largement en fonction de la composition du sol. L'équivalent de dose reçu en Bretagne ou les Vosges est de 2 à 3 fois supérieur à celui reçu dans le Bassin Parisien. Dans certaines régions, comme l'état de Kerala sur la côte Nord-Ouest de l'Inde, il atteint même 30 mSv/an.

1.2- Exposition interne

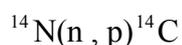
Nous respirons de l'air radioactif, nous buvons de l'eau radioactive, nous consommons des aliments radioactifs. Ces isotopes radioactifs naturels se fixent dans notre organisme.

Ils sont d'origine cosmogénique (formés par l'interaction des rayons cosmiques sur les noyaux de l'atmosphère) ou proviennent des éléments radioactifs contenus dans le sol.

	RaMsEs	PCR-T1-7
	Module « réglementation et principes de radioprotection »	Indice de révision : 01
		Date d'application : 01/09/2005

1.2.1- Isotopes cosmogéniques

Le ^{14}C résulte de l'interaction des neutrons cosmiques sur les noyaux d'azote de l'atmosphère :



La formation constante de ^{14}C au cours du temps permet la datation des organismes vivants.

On connaît une vingtaine d'isotopes cosmogéniques dont les plus courants sont le ^{14}C , le ^3H , le ^7Be et le ^{22}Na .

1.2.2- Isotopes d'origine tellurique

Toutes les familles naturelles ont dans leur chaîne un isotope du Radon qui est un gaz rare radioactif (^{222}Rn engendré par le ^{226}Ra , ^{220}Rn appelé également thoron, engendré par le ^{224}Ra). Ces gaz émanent du sol, des eaux et des matériaux de construction.

Les valeurs moyennes des concentrations ont été évaluées à 2 Bq/m^3 en plein air et 20 Bq/m^3 dans les habitations pour le plus important d'entre eux : le ^{222}Rn . Ces gaz et leurs descendants solides irradient les poumons.

L'isotope ^{40}K présent dans le sol, passe en partie dans les plantes que nous consommons et se fixe dans notre organisme.

Exemple : Radioactivité de différents milieux naturels

<i>Eau de pluie</i>	<i>0,3 à 1 Bq/l</i>
<i>Eau de rivière</i>	<i>0,07 Bq/l (^{226}Ra et descendants) ; 0,07 Bq/l (^{40}K) ; 11 Bq/l (^3H)</i>
<i>Eau de mer</i>	<i>14 Bq/l (^{40}K essentiellement)</i>
<i>Eau minérale</i>	<i>1 à 2 Bq/l (^{226}Ra, ^{222}Rn)</i>
<i>Lait</i>	<i>60 Bq/l</i>
<i>Sol sédimentaire</i>	<i>400 Bq/kg</i>
<i>Sol granitique</i>	<i>8000 Bq/kg</i>
<i>Corps humain</i>	<i>12000 Bq (6000 dus au ^{40}K)</i>

Le tableau 3 résume la contribution des diverses composantes de la radioactivité naturelle. Il faut toutefois se souvenir que ce sont des valeurs moyennes susceptibles de variations importantes en fonction de l'altitude, de la latitude et de la composition du sous-sol.

	RaMsEs	PCR-T1-7
	Module « réglementation et principes de radioprotection »	Indice de révision : 01
		Date d'application : 01/09/2005

Sources naturelles	Exposition (mSv/an)	Totaux (mSv/an)
<i>Exposition externe</i>		0,62
Rayonnement cosmique	0,3	
Rayonnement tellurique	0,32	
<i>Exposition interne</i>		0,94
Isotopes cosmogéniques	0,01	
^{40}K	0,17	
^{222}Rn + descendants	0,55	
^{220}Rn + descendants	0,15	
Divers	0,06	
Total		1,56

Tableau 3 : Equivalents de dose annuels dus aux sources naturelles dans une région à caractéristiques moyennes

1.3- Généralités sur le radon

Le radon est un gaz d'origine naturelle, émanant du sol. Il est inodore, incolore, insipide et radioactif, d'où l'attention qu'il suscite. Il provient de la désintégration de l'uranium et du thorium, présents en proportions variables dans la plupart des roches (et donc dans la plupart des matériaux de construction). Généralement, ce gaz se dilue rapidement dans l'atmosphère dès qu'il atteint la surface du sol. Mais il n'en va pas de même lorsqu'il s'infiltré à travers les pores et les fissures jusqu'aux caves et pièces d'habitations de nos maisons calfeutrées. Piégé, il peut alors s'y accumuler et parfois atteindre des concentrations susceptibles d'augmenter le risque de cancer du poumon.

Le radon se désintègre dans l'atmosphère en donnant successivement et rapidement des atomes de ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi et ^{214}Po sous forme de particules microscopiques (le descendant suivant, le ^{210}Pb de période beaucoup plus longue (22 ans) est en concentration négligeable). Ces quatre descendants peuvent être inhalés. Du fait de sa très courte période (16 ms), le ^{214}Po ne parvient pas directement dans les poumons par inhalation, mais les trois autres peuvent s'y fixer et s'y désintégrer jusqu'au ^{210}Pb .

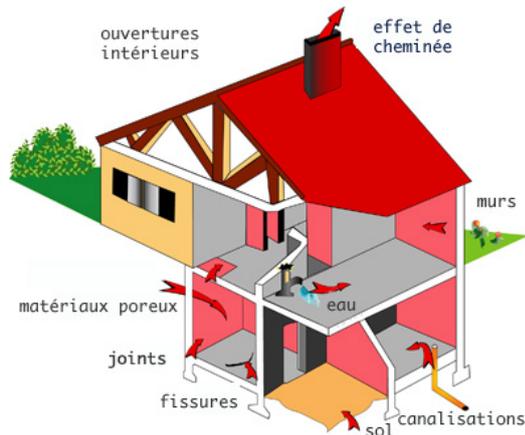
	RaMsEs	PCR-T1-7
	Module « réglementation et principes de radioprotection »	Indice de révision : 01
		Date d'application : 01/09/2005

L'EAP volumique pondérée par le nombre de chaque descendant est donnée par l'expression suivante :

$$EAP_V = 13,69 N(^{218}\text{Po}) + 7,69 N(^{214}\text{Pb}) + N(^{214}\text{Bi})$$

$N(^{218}\text{Po})$, $N(^{214}\text{Pb})$, $N(^{214}\text{Bi})$ désignent respectivement les nombres d'atomes par mètre cube d'isotopes ^{218}Po , ^{214}Pb et ^{214}Bi .

Le radon présent dans l'air d'une habitation provient essentiellement de deux sources : les matériaux de construction et le sol. La contribution des matériaux de construction ne dépasse généralement pas quelques dizaines de Bq/m^3 . Par contre, le sol de l'habitation peut être la source de concentrations de radon de quelques centaines de Bq/m^3 .



La concentration en radon varie d'une maison à l'autre dans une même zone géologique. Elle varie aussi fortement d'une région à l'autre, en fonction de la nature géologique du sous-sol (le granit et le schiste en contiennent plus). En outre, certaines conditions exceptionnelles, liées à la composition du sol sous la maison (facteurs géologiques très locaux ou résultat d'activités humaines antérieures), peuvent engendrer des concentrations en radon élevées. Enfin, la concentration en radon varie au cours de la journée (plus élevée le matin), d'une saison à l'autre (plus élevée en hiver) et aussi en fonction des conditions météorologiques (plus élevée lors des basses pressions et lors du phénomène d'inversion de température). Plus on s'éloigne de la source (de la cave), plus la concentration diminue. Enfin, plus la ventilation est forte et efficace, moins il y a de risques d'avoir de grandes concentrations de radon dans l'habitation.

L'Union Européenne recommande d'agir à partir de concentrations dépassant 400 Bq/m^3 pour les maisons existantes et 200 Bq/m^3 pour les nouvelles habitations. Quel que soit le bâtiment (maison, école, lieu de travail), la seule façon de savoir s'il présente une concentration de radon élevée est de faire mesurer le radon par un organisme spécialisé. Un petit nombre de mesures permettra de détecter une concentration excessive de radon. En cas de problème, la pose

	RaMsEs	PCR-T1-7
	Module « réglementation et principes de radioprotection »	Indice de révision : 01
		Date d'application : 01/09/2005

de détecteurs dans différents locaux pour des durées variables peut être nécessaire afin de mieux cerner la situation. Cela exige une volonté particulière de recherche de détecteurs performants.

1.4- Techniques de mesure du radon

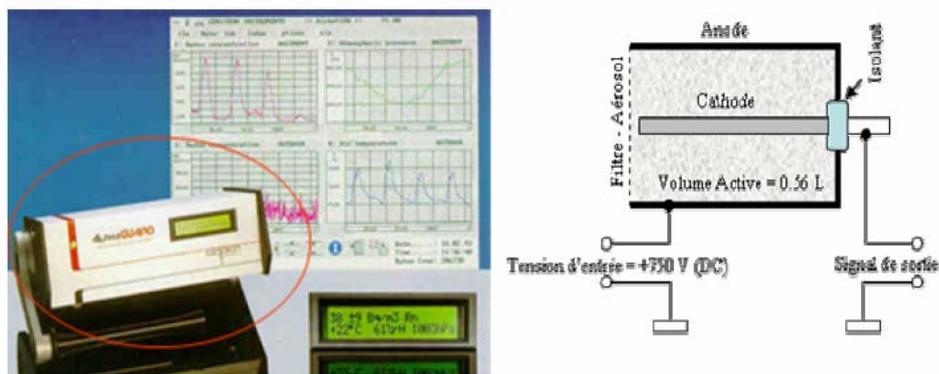
Plusieurs méthodes actives et passives sont utilisées pour mesurer les concentrations volumiques du radon et de ses descendants :

- Piégeage du radon sur charbon actif puis mesure par Scintillation liquide ou par spectrométrie gamma
- Emanométrie
- Détecteur semi conducteur en regard d'un volume d'air connu
- Détecteurs Solides de Traces Nucléaires (détermination de l'énergie alpha potentielle volumique)
- Chambre d'ionisation

Dans la suite nous décrivons à titre d'exemple deux de ces méthodes :

- *Chambre à ionisation impulsionnelle*

Les détecteurs actifs sont des dispositifs capables de mesurer en temps réel l'activité volumique du radon dans l'environnement. Ces détecteurs fonctionnent le plus souvent avec une circulation forcée de l'air.



Principe de fonctionnement de la chambre d'ionisation AlphaGUARD

Le système AlphaGUARD est constitué d'une chambre d'ionisation impulsionnelle portable permettant de mesurer en continu l'activité volumique du radon dans l'air tout en enregistrant

	RaMsEs Module « réglementation et principes de radioprotection »	PCR-T1-7
		Indice de révision : 01
		Date d'application : 01/09/2005

simultanément les différents paramètres météorologiques tels que la pression, l'humidité et la température du lieu de mesure en fonction du temps.

La capacité de la chambre est de 0,56 L et fonctionne sous une alimentation de 750 V. En mode de fonctionnement classique, le gaz étudié pénètre à l'intérieur de la chambre d'ionisation via un large filtre en fibre de verre.

Chaque désintégration est alors convertie en une impulsion de courant analysée par trois types de filtres :

- passe-bas : permet de mesurer le courant de référence,
- passe-bande : permet de mesurer la racine carrée de bruit de fond,
- passe-haut : permet de faire une analyse de la forme de l'impulsion et de son maximum, et de l'éliminer si elle ne correspond pas à une forme d'impulsion due au radon, mémorisée dans l'appareil.

Les caractéristiques techniques de cet appareil sont :

- protection en cas d'exposition à des activités trop importantes (jusqu'à 2 MBq.m^{-3}),
- capacité de stockage de 4 mois de mesures continues,
- erreur de linéarité inférieure à 3 %.

Le dispositif est doté, en outre, d'un système de contrôle interne du bon fonctionnement et de la qualité des mesures.

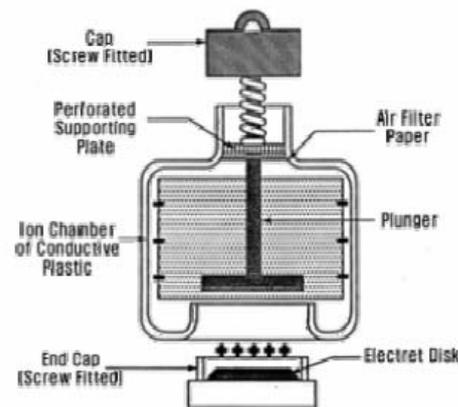
- *Chambre d'ionisation à Téflon (Electret)*

La chambre d'ionisation à électret est un système de détection passif pour la mesure intégrée de la concentration de radon dans l'air. Ce système se compose d'un disque en Téflon chargé positivement (l'électret), d'une chambre en plastique conducteur sur laquelle se visse l'électret et qui joue ainsi le rôle de chambre d'ionisation, d'un lecteur permettant de déterminer la charge de l'électret utilisé et d'un logiciel d'exploitation qui permet de calculer l'activité volumique du radon dans l'air en se basant sur la différence de tension avant et après exposition.

La chambre est équipée d'un filtre ne laissant passer que le gaz radon et non les descendants solides présents dans l'air ambiant. Tant que la chambre reste fermée, l'électret conserve sa charge initiale mais lorsque qu'elle est ouverte, le radon diffuse à l'intérieur en passant par le filtre et les particules alpha émises lors de sa désintégration ionisent les molécules d'air. Les ions positifs se fixent alors sur les parois de la chambre tandis que les charges

	RaMsEs	PCR-T1-7
	Module « réglementation et principes de radioprotection »	Indice de révision : 01
		Date d'application : 01/09/2005

négatives sont attirées vers le disque en Téflon où elles se recombinent avec les charges positives initialement présentes diminuant ainsi la charge de l'électret. Cette dernière est alors mesurée après l'exposition à l'aide d'un lecteur spécifique. La « décharge » de l'électret est proportionnelle au temps d'exposition du détecteur et à la concentration en radon dans la zone analysée, ce qui permet de déterminer l'activité volumique moyenne en radon gaz de cet endroit.



Principe de la chambre d'ionisation à Electret

Il est à noter que le rayonnement gamma ambiant peut aussi entraîner l'ionisation de l'air à l'intérieur de la chambre et par conséquent décharger l'électret. Il faut donc retrancher la contribution de ce rayonnement en le mesurant sur place ou en utilisant une valeur moyenne.

Deux étapes sont nécessaires pour convertir la décharge de l'électret et le temps d'exposition en concentration volumique en radon. Tout d'abord, le coefficient de calibration (CF) doit être déterminé à l'aide de l'équation :

$$CF = \frac{V}{\left(\frac{\text{pCi}}{L} \times \text{jour}\right)} = A + B \times \frac{(V_I - V_F)}{2}$$

Où le facteur $\frac{(V_I - V_F)}{2}$ est la moyenne des tensions initiales et finales, aussi appelé « point de tension moyenne ».

A et B sont de constantes inhérentes à l'électret utilisé.

La deuxième étape consiste à utiliser le résultat obtenu en (4-11) pour déterminer l'activité volumique en radon.

$$A_{Rn} = \frac{(V_I - V_F)}{CF \times t} - B_\gamma$$

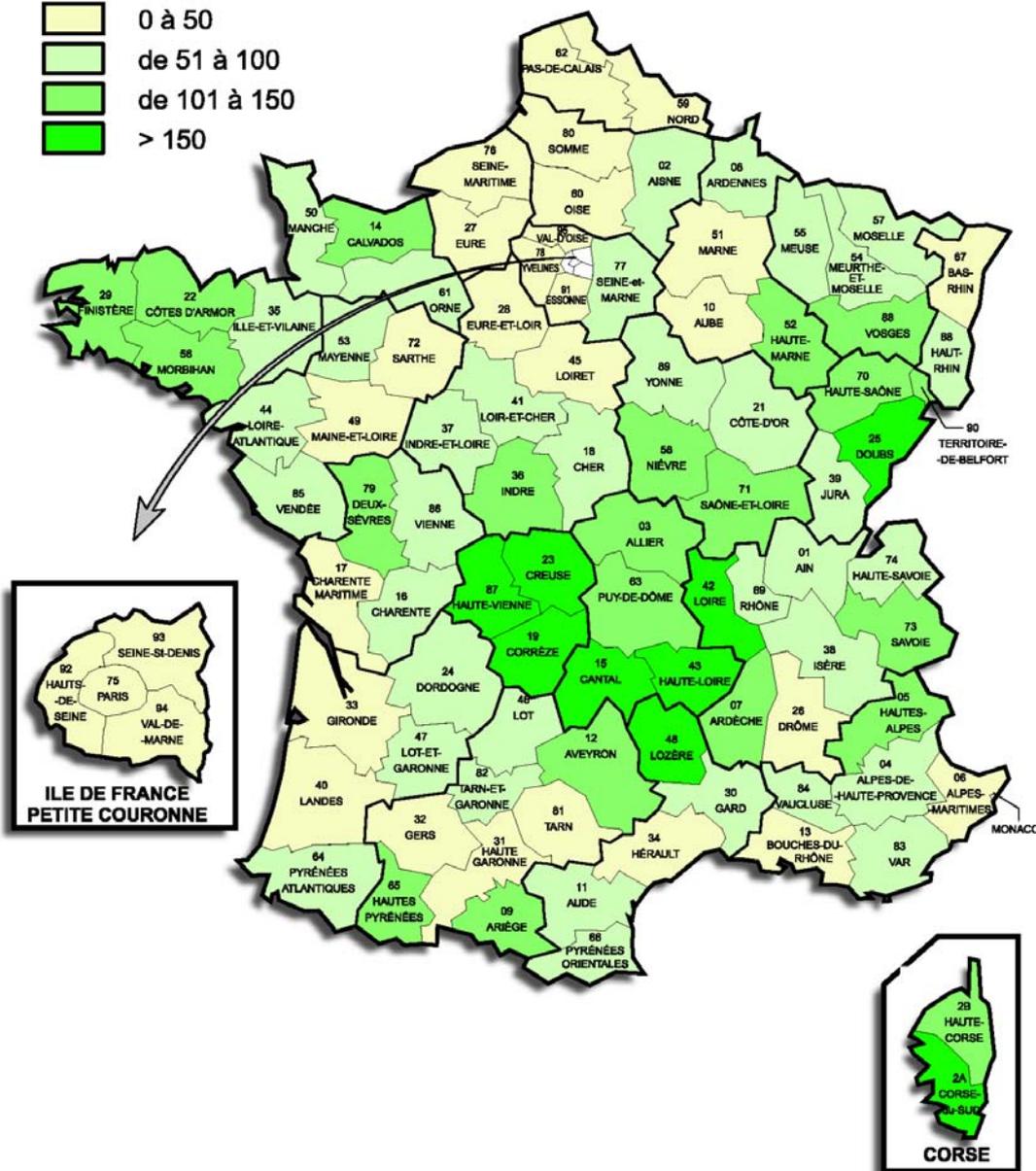
A_{Rn} : activité volumique en radon exprimée en $pCi.L^{-1}$,

t : durée d'exposition exprimée en jours,

B_{γ} : bruit de fond dû au rayonnement gamma.

1.5- Cartographie par départements de l'activité volumique

Moyennes arithmétiques départementales en $Bq.m^{-3}$



	RaMsEs Module « réglementation et principes de radioprotection »	PCR-T1-7
		Indice de révision : 01
		Date d'application : 01/09/2005

Cette carte est issue des campagnes de mesures menées sur le territoire métropolitain. Elle reflète l'activité volumique moyenne. Le tableau ci-dessous fait état des disparités de cette activité au sein d'un même département.

	Nombre de mesures réalisées	Moyenne arithm. (en Bq/m ³)	% > 200 Bq/m ³	% > 400 Bq/m ³	% > 1 000 Bq/m ³
Allier	169	145	20.7%	4.1%	1.2%
Cantal	121	161	19 %	4.1%	2.5%
Haute-Loire	113	157	23.9 %	3.5%	0.9%
Puy-de-Dôme	199	146	18.1 %	6.5%	1.5%
AUVERGNE	602	154	19.8%	6.0%	1.0%
France entière	12 641	90	9.0%	2.3%	0.5%

1.6- Les normes

Les différentes normes concernant le radon sont les suivantes :

- **NF M60-764** Septembre 2004 : Énergie nucléaire - Mesure de la radioactivité dans l'environnement - Air - Radon 222 : méthodes de mesure intégrée de l'énergie alpha potentielle volumique des descendants à vie courte du radon dans l'environnement atmosphérique
- **NF M60-765** Septembre 2004 : Énergie nucléaire - Mesure de la radioactivité dans l'environnement - Air - Radon 222 : méthodes de mesure ponctuelle de l'énergie alpha potentielle volumique des descendants à vie courte du radon dans l'environnement atmosphérique
- **NF M60-766** Septembre 2004 : Énergie nucléaire - Mesure de la radioactivité dans l'environnement - Air - Le radon 222 : méthodes de mesure intégrée de l'activité volumique moyenne du radon, dans l'environnement atmosphérique, avec un prélèvement passif et une analyse en différé
- **NF M60-767** Août 2004 : Énergie nucléaire - Mesures de la radioactivité dans l'environnement-Air - Le radon 222 : Méthodes de mesure en continu de l'activité volumique du radon dans l'environnement atmosphérique.

	RaMsEs	PCR-T1-7
	Module « réglementation et principes de radioprotection »	Indice de révision : 01
		Date d'application : 01/09/2005

Ces normes peuvent être obtenues depuis le site de l'AFNOR :

<http://www.boutique.afnor.fr/>

2- SOURCES RESULTANT DE L'ACTIVITE HUMAINE

2.1- Exposition médicale

2.1.1- Radiodiagnostic

L'essor du radiodiagnostic a été un des facteurs essentiels du progrès médical au cours du 20^{ème} siècle. Les équivalents de dose délivrés par les différents types d'examens varient considérablement en fonction de la profondeur des organes étudiés et de la dimension du segment de l'organisme concerné.

A côté des appareils classiques sont apparus progressivement des appareils plus perfectionnés (scanners) qui, associés à des puissants moyens informatiques, permettent de réaliser des images en coupe de l'organisme.

Examen	Dose (mGy)
Radiographie pulmonaire	0,7
Radiographie du crâne	2
Radiographie de l'abdomen	3
Scanner du crâne	27
Urographie	20
Scanner du corps entier	160
Transit oesogastroduodéal	90

Tableau 4 : Doses délivrées lors des examens les plus courants en radiodiagnostic

2.1.2- Radiothérapie

C'est un des traitements de base des cancers. On utilise généralement des rayonnements de haute énergie émis par des sources de ^{60}Co (cobalthérapie) ou par des accélérateurs. Dans certains traitements, un corps radioactif est placé, soit au contact immédiat des tissus à irradier, soit implanté sous forme d'aiguilles radioactives (^{192}Ir , ^{137}Cs)

	RaMsEs	PCR-T1-7
	Module « réglementation et principes de radioprotection »	Indice de révision : 01
		Date d'application : 01/09/2005

Les doses classiquement administrées sont élevées (40 à 80 Gy) et espacées dans le temps pour permettre aux tissus sains de se régénérer.

2.1.3- Médecine nucléaire

C'est l'utilisation des isotopes radioactifs pour l'exploration de l'organisme humain. Elle consiste à injecter un isotope radioactif qui se fixe dans la partie à explorer et de réaliser une image à l'aide d'une caméra à scintillation (gammagraphie).

Les isotopes utilisés sont ^{131}I pour l'exploration fonctionnelle de la thyroïde et surtout $^{99\text{m}}\text{Tc}$ dont l'intérêt est sa courte période ($T = 6,02 \text{ h}$) ce qui minimise les équivalents de dose administrés. Il peut être obtenu à partir de $^{99\text{m}}\text{Mo}$ par un appareil à élution.

Exploration	Equivalent de dose (mSv/mCi)
Vessie	0,85
Estomac	0,51
Intestin	2,3
Thyroïde	1,3
Ovaires	0,3
Testicules	0,09
Moelle osseuse	0,17
Corps entier	0,11

Tableau 5 : Equivalents de dose après injection de $^{99\text{m}}\text{Tc}$ pour différentes explorations

2.2- Applications industrielles

2.2.1- Radiographie industrielle

- Gammagraphie

C'est une technique de radiographie industrielle utilisant une source de rayonnements gamma. Elle consiste à placer la pièce à radiographier entre la source de rayonnements et un film photographique contenu dans une cassette souple ou rigide.

Après un temps d'exposition dépendant de la nature et de l'épaisseur du matériau radiographié, le film est développé et révèle les défauts existant éventuellement à l'intérieur de la pièce. Les domaines d'utilisation sont nombreux (chaudronnerie, fonderie, industrie du pétrole, construction navale et aéronautique).

	RaMsEs	PCR-T1-7
	Module « réglementation et principes de radioprotection »	Indice de révision : 01
		Date d'application : 01/09/2005

Radioéléments utilisés :

- ^{60}Co : émetteur gamma d'énergies de 1,17 et 1,33 MeV (15% des appareils)
- ^{192}Ir : émetteur gamma d'énergies comprises entre 200 et 600 keV (80% des appareils)

Types d'appareils :

- Portatifs sont les plus répandus. Ils contiennent des sources de 2 à 5 TBq de ^{192}Ir . Ils ont été à l'origine de plusieurs accidents (blocage de la source en position d'irradiation, perte de la source).
- Fixes équipés de source de ^{60}Co de plusieurs centaines de TBq sont réservés au contrôle de fortes épaisseurs. Ils sont généralement installés dans des casemates de tir.

- Radiographie X

Son principe est le même que pour la gammagraphie, la source de photons étant remplacée par un générateur X. Les différences de potentiel utilisées vont de 50 à 400 keV.

- Neutrographie

Elle peut être effectuée grâce à un faisceau neutronique issu d'un réacteur ou d'une source de ^{252}Cf (émetteur de neutrons). Elle est utilisée pour le contrôle des matériaux hydrogénés.

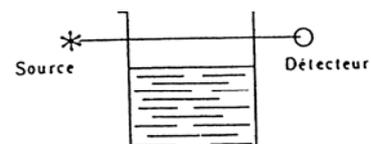
2.2.2- Jauges

Principe : basé sur la loi de l'atténuation :

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x}$$

- Jauges de niveau

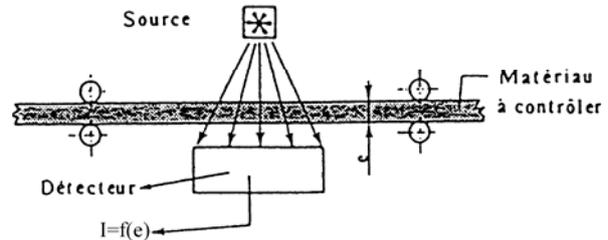
Elles indiquent la présence ou l'absence de matériau sur le trajet horizontal du faisceau (source et détecteur placé de part et d'autre du matériau). Les sources utilisées sont des émetteurs Bêta ou Gamma selon l'épaisseur et la densité du matériau à mesurer.



Elles sont utilisées pour le contrôle des réservoirs de liquides, des silos (sable, grains, ciment...)

- Jauges d'épaisseur

Si le matériau est de densité constante, l'intensité du signal reçu par le détecteur sera fonction de l'épaisseur de celui-ci.



Elles sont utilisées pour la mesure en continu de produits en feuilles : papiers, tissus, caoutchouc, etc.

2.2.3- Applications reposant sur le principe d'ionisation des gaz

- Elimination de l'électricité statique

L'utilisation de sources de ^{241}Am (émetteur gamma), sous forme de rubans placés en fin de machines de production de papiers, plastiques, textiles synthétiques, etc. à quelques millimètres du matériau, permet en rendant l'air avoisinant conducteur, de supprimer l'accumulation d'électricité statique.

- Détecteur de fumée

Deux chambres d'ionisation sont disposées en série : l'une servant de témoin, l'autre, grillagée, en contact avec l'air ambiant. Dans chacune de ces chambres, une petite source de quelques kBq de ^{241}Am donne naissance à un courant constant. Si des particules de fumée pénètrent dans la chambre ouverte, elles entraînent une variation du courant qui déclenche un signal d'alarme. Il y a en France 3 millions et demi de détecteurs de fumée basés sur ce principe.

2.2.4- Traceurs radioactifs industriels

- Principe :

Le marquage de quelques individus d'une population permet l'étude du comportement global de cette population. Les traceurs radioactifs sont particulièrement performants car ils marquent l'entité élémentaire qu'est l'atome et permettent une détection facile.

- Utilisation :

- Marquage d'un liquide ou d'un gaz par un émetteur gamma permettant la recherche de fuites sur des canalisations

	RaMsEs Module « réglementation et principes de radioprotection »	PCR-T1-7
		Indice de révision : 01
		Date d'application : 01/09/2005

- Marquage d'une pièce de moteur permettant, grâce à la mesure de la radioactivité de l'huile de graissage, d'évaluer l'usure des constituants.

2.2.5- Irradiation

- Radioconservation des denrées alimentaires

Actuellement en plein essor, la radioconservation des denrées alimentaires utilise le rayonnement gamma du ^{60}Co ou des électrons accélérés. Elle n'induit, bien entendu, aucune radioactivité au sein des aliments. Elle a pour effet :

- l'augmentation de la durée de conservation des aliments par le ralentissement de la maturation, de la germination, par la réduction du nombre de microorganismes responsables de détériorations,
- l'élimination des insectes nuisibles dans les denrées stockées (céréales, farines, fruits, poissons séchés).
- l'assainissement bactérien par la destruction de microorganismes pathogènes (volailles, œufs).

Les doses utilisées sont de l'ordre de 10^2 à 10^4 Gy.

- Stérilisation

La radiostérilisation du matériel médico-chirurgical par rayonnement gamma (25 Gy) peut s'effectuer sur le matériel déjà placé dans son emballage définitif. Cette liste n'est pas exhaustive, de nombreuses autres applications industrielles existent.

2.3- Production d'électricité

Les centrales nucléaires ne constituent qu'un élément de la production d'électricité. Celle-ci comporte trois stades :

- préparation des éléments combustibles,
- fonctionnement des centrales,
- retraitement du combustible.

2.3.1- Préparation du combustible

Elle se fait en plusieurs étapes :

- extraction du minerai d'uranium,
- concentration et raffinage,
- transformation afin d'obtenir des sels d'uranium (uranate, nitrate d'uranyle),

	RaMsEs	PCR-T1-7
	Module « réglementation et principes de radioprotection »	Indice de révision : 01
		Date d'application : 01/09/2005

- enrichissement en ^{235}U par diffusion gazeuse après transformation en hexafluorure d'uranium gazeux,
- fabrication des éléments combustibles.

Toutes ces opérations n'entraînent pas d'exposition pour les personnes du public. Pour les travailleurs, la phase la plus critique est l'extraction du minerai qui entraîne une exposition interne par inhalation de poussières et de ^{222}Rn .

2.3.2- Fonctionnement des centrales nucléaires

• Produits de fission

La fission, véritable explosion du noyau, donne naissance à :

- des fragments de fission (généralement 2),
- des neutrons (2 ou 3),
- de l'énergie (200 MeV en moyenne).

Les produits de fission sont pour la plupart radioactifs, émetteurs bêta ou gamma.

Radioisotope	Période	Masse (g/t)
^3H	12,3 a	$7 \cdot 10^{-2}$
$^{85\text{m}}\text{Kr}$	4,4 h	$3 \cdot 10^{-2}$
^{95}Kr	10,6 a	28
^{88}Kr	2,8 h	$5,5 \cdot 10^{-2}$
$^{131\text{m}}\text{Xe}$	12 j	$7 \cdot 10^{-2}$
^{133}Xe	5,3 j	9,3
^{135}Xe	9,1 h	$8,6 \cdot 10^{-2}$
^{129}I	$1,6 \cdot 10^7$ a	180
^{131}I	8,1 j	7
^{133}I	21 h	1,5
^{89}Sr	50 j	32
$^{90}\text{Sr}^*$	28 a	550
^{99}Mo	67 h	42
^{103}Ru	40 j	25
^{106}Ru	1,02 a	61
^{137}Cs	30 a	1 200
^{140}Cs	13 j	20
^{141}Ce	33 j	54
^{144}Ce	285 j	54

Tableau 6 : Principaux produits de fissions dans un réacteur à eau ordinaire de 100 MW pour une irradiation de 33 000 MWj/t et pour une charge de 90 t.

	RaMsEs	PCR-T1-7
	Module « réglementation et principes de radioprotection »	Indice de révision : 01
		Date d'application : 01/09/2005

- Produits d'activation

L'action des neutrons sur les matériaux de gainage du combustible, les impuretés des fluides de refroidissement et les divers éléments de structure donne naissance à des produits d'activation radioactifs de nature et de période diverses. Un réacteur fonctionne en circuit fermé, mais le fluide du circuit primaire est contaminé par les produits d'activation et les produits de fission échappés des gaines métalliques contenant l'uranium et dont certaines peuvent devenir défectueuses. Les purges, vidanges et opérations de maintenance produisent des effluents gazeux (gaz rares, iodes) et liquides qui sont dispersés dans l'environnement directement ou après traitement, mais de toute façon de manière strictement contrôlée.

Éléments	Période
^3H	12,3 a
^{24}Na	14,9 h
^{41}A	110 mn
^{51}Cr	27,8 j
^{54}Mn	280 j
^{56}Mn	2,58 h
^{59}Fe	45 j
^{58}Co	71 j
^{60}Co	5,24 a
^{65}Ni	2,6 h
^{65}Zn	245 j
^{90}Mo	67 h
^{134}Cs	2,2 a
^{203}Hg	2,2 a

Tableau 7 : Principaux produits d'activation.

	RaMsEs	PCR-T1-7
	Module « réglementation et principes de radioprotection »	Indice de révision : 01
		Date d'application : 01/09/2005

Rejets atmosphériques	Activité (Bq)	Rejets liquides	Activité (Bq)
Gaz nobles	$5 \cdot 10^{11}$	^{131}I	$7 \cdot 10^6$
^{133}Xe (5,3 j) 94 %		^{134}Cs et ^{137}Cs	$5 \cdot 10^7$
^{135}Xe (9,2 h) 5 %		divers produits de fission et d'activation	10^8
^{131}I	$4 \cdot 10^4$		
^3H (12, 3 ans)	$1,5 \cdot 10^4$		
^{14}C (5730 ans)	$2 \cdot 10^8$		
Aérosols de produits de fission et d'activation	$3 \cdot 10^4$		

Tableau 8: Ordres de grandeur de rejets atmosphériques et liquides normalisés des réacteurs PWR européens (Bq/MWE.an).

2.3.3- Retraitement du combustible

Chaque année, une partie du combustible est retirée du cœur du réacteur et retraitée après une période de décroissance de plusieurs années.

Ce retraitement est destiné à réduire le volume, récupérer des matières réutilisables (plutonium, uranium 235). Pour ce faire, les gaines sont cisailées, le combustible dissous dans l'acide nitrique puis traité par différents solvants. Ces opérations libèrent une certaine quantité d'effluents gazeux et liquides.

Rejets atmosphériques	Activité (Bq)	Rejets liquides	Activité (Bq)
^{85}Kr (10,7 a)	10^{13}	^3H (12,3 ans)	$2,8 \cdot 10^{11}$
^3H (12, 3 ans)	$4 \cdot 10^9$	^{129}I	$7 \cdot 10^6$
^{14}C (5730 ans)	$7 \cdot 10^8$	activité β ^{106}Ru (1 an) ^{137}Cs (30 ans)	$7 \cdot 10^7$ à $7 \cdot 10^{11}$
^{129}I ($1,57 \cdot 10^9$ ans)	$2 \cdot 10^4$		
Aérosols β	$2 \cdot 10^8$		
Aérosols α	$7 \cdot 10^5$	activité α	$7 \cdot 10^7$

Tableau 9: Ordres de grandeur de rejets atmosphériques et liquides normalisés d'une usine de traitement de combustible irradié (Bq/MWE.an).

	RaMsEs	PCR-T1-7
	Module « réglementation et principes de radioprotection »	Indice de révision : 01
		Date d'application : 01/09/2005

3- CONCLUSION

Pour conclure, il semble intéressant de présenter une vue synthétique des principales sources d'exposition de l'homme avec les équivalents de dose correspondants.

Il ne faut pas perdre de vue qu'il s'agit de valeurs moyennes et que certains groupes d'individus (travailleurs de l'énergie nucléaire, populations habitant dans certaines régions, etc...) sont exposés à des équivalents de dose plus importants.

Radioactivité	Exposition interne	Exposition totale
Radioactivité naturelle	0,94	1,64
Irradiation à des fins médicales	0,015	0,8
Essais nucléaires	0,02	0,04
Energie d'origine nucléaire	0,015	0,02
total	0,99	2,5

Tableau 10 : Inventaire général des engagements de dose (mSv/an) pour un individu moyen.