

Radioactivité naturelle & risques radon

Pr Abdel Mjid NOURREDDINE

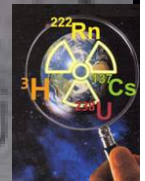
Institut de Recherches Subatomiques

23 rue de loess

B.P. 28 - 67037 STRASBOURG CEDEX 2

Tel 03 88 10 65 76

E-mail : nourredi@ires.in2p3.fr



- La radioactivité en question
- Sources de rayonnements ionisants
 - ✓ Exposition naturelle
 - ✓ Exposition cosmique
 - ✓ Exposition artificielle
- Radon
 - ✓ Risque sanitaire
 - ✓ Aspect réglementaire
 - ✓ métrologie

France : 58 réacteurs \Rightarrow 63 GWe/an, **75 %** des besoins en électricité

Activités minières, centres de production, usines de retraitement, gestion des déchets \Rightarrow surtout après **l'accident de Tchernobyl**, a une prise de conscience de **l'impact** sur **l'environnement**.

Radioactivité naturelle et artificielle dans l'environnement, est devenue une préoccupation sociétale.

Décret n° 2002-460 du 4 avril
Protection générale des personnes contre les dangers des RI



IRSN

Gestion du réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement

Recherches → Physico-chimie des radionucléides dans le secteur de l'énergie nucléaire présent et futur (amont et aval du cycle des combustibles), ainsi que l'environnement et la médecine

Missions → Recherche fondamentale dans tous les domaines de la physico-chimie des actinides et produits de fission (solide, en solution et aux interfaces), et sur les effets des rayonnements ionisants sur la physico-chimie des RN

Projets à développer :

- Physico-chimie des radionucléides
- Physico-chimie sous irradiation
- Métrologie des RI

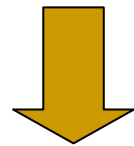


Bonne connaissance de la métrologie des radionucléides et des RI

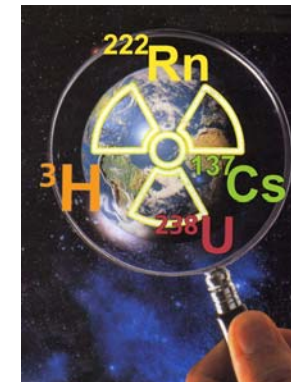
UMR 7500 CNRS/IN2P3-ULP

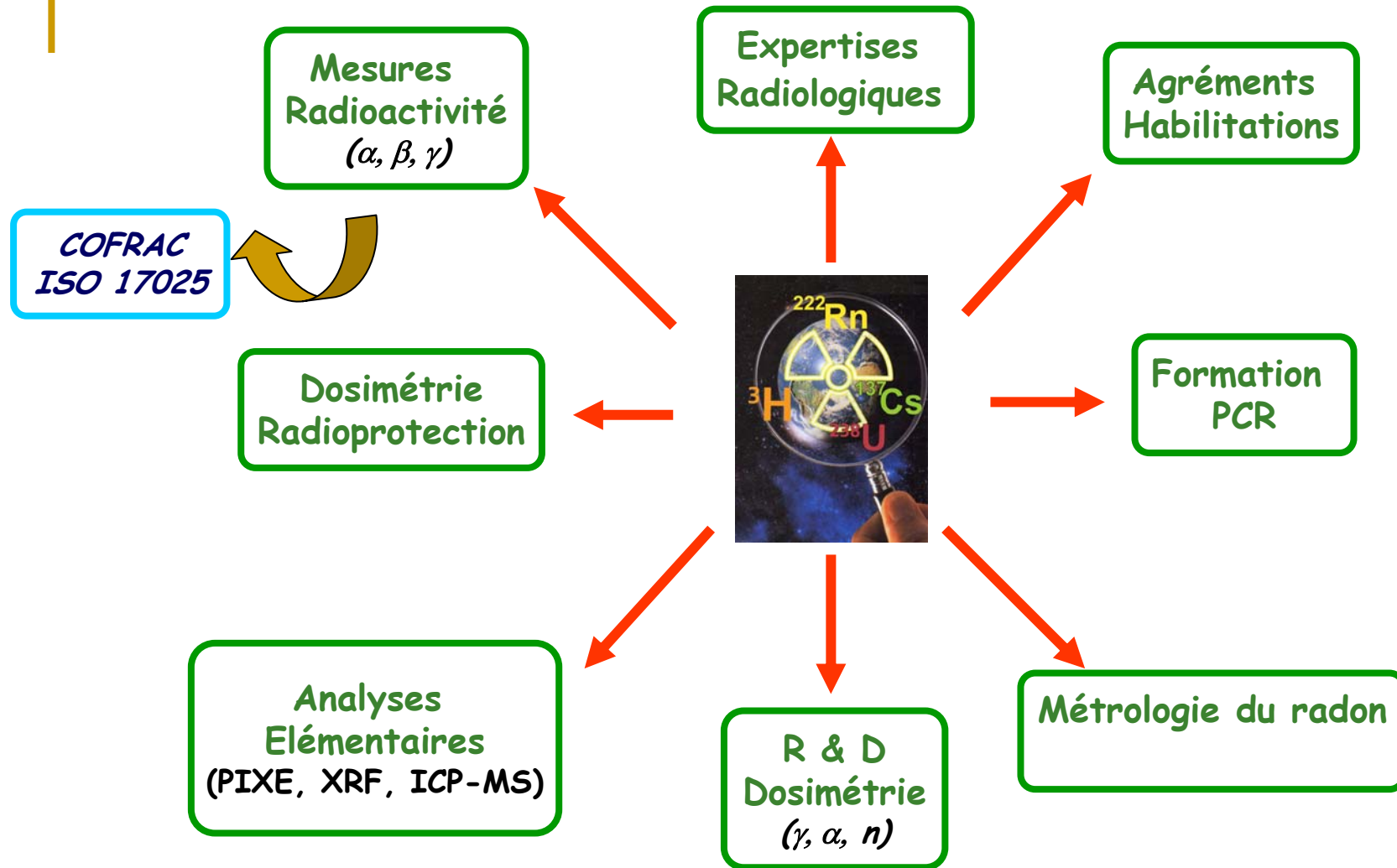
Activités de recherches :

- ↪ Physique des Particules et des Astro-particules
- ↪ Physique Nucléaire et Chimie Nucléaire
- ↪ Pluridisciplinaires :
 - ❖ Aval du cycle électronucléaire
 - ❖ Applications Bio-médicales
 - ❖ Radioprotection et Mesures Environnementales (RaMsEs)



- ☞ Radioprotection & dosimétrie
- ☞ Analyses & expertises
- ☞ R & D : Métrologie Rayonnements Ionisants





Classification des Rayonnements

Selon leurs effets sur la matière

Rayonnement ionisant :

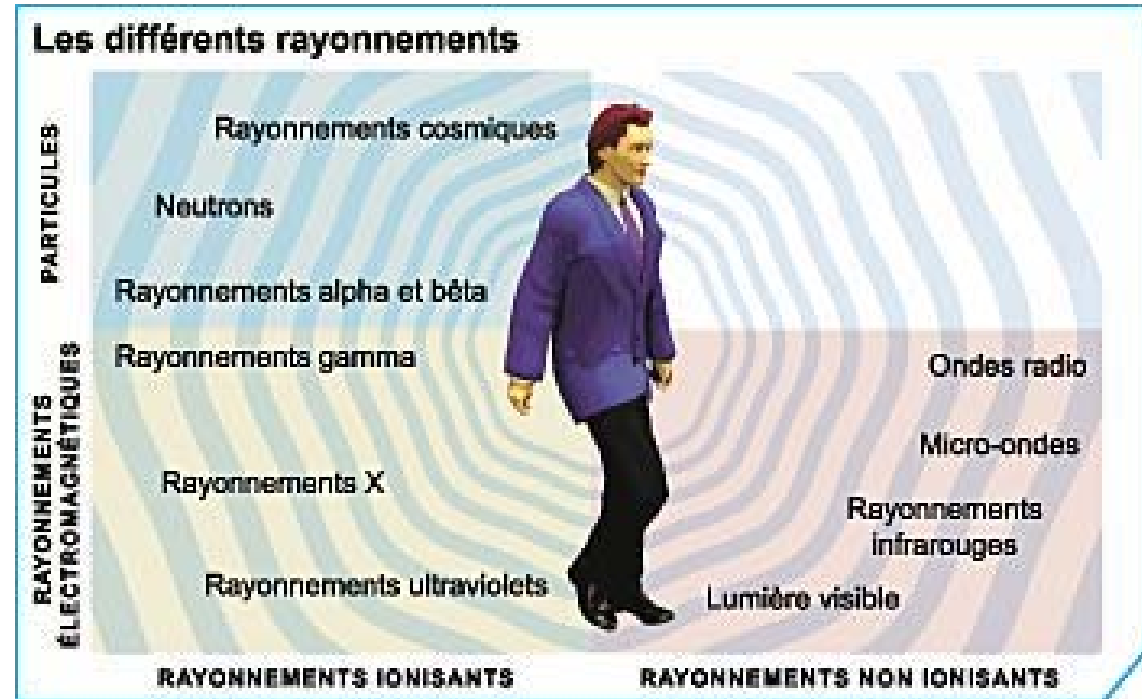
susceptible d'arracher des électrons à la matière.

$$E_{RI} > B_e$$

matière vivante (C, H, O, N)

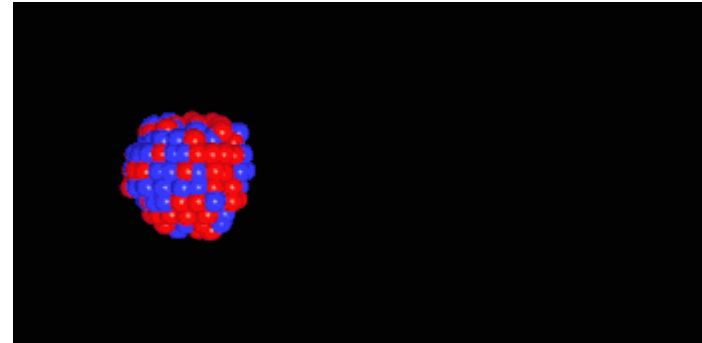
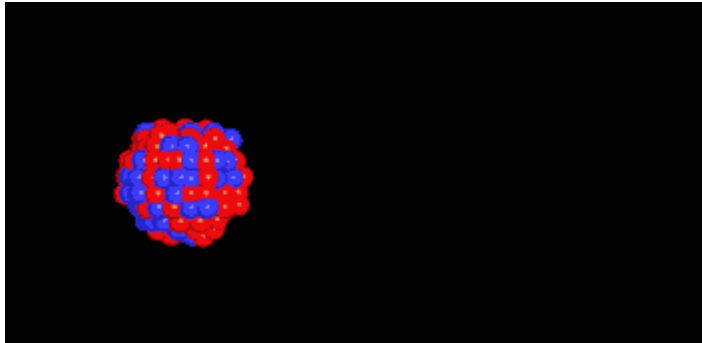


$$11 < B_e < 14 \text{ eV}$$



	Spectres de raies	Spectres continus
R.D.I	α , Electrons Auger	β^- , β^+
R.I.I	γ , X de fluorescence	X de freinage, Neutrons

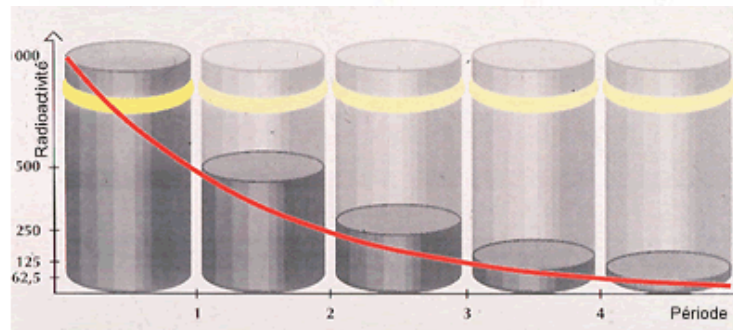
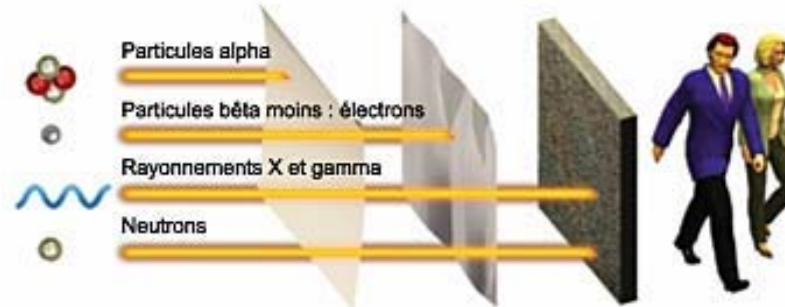
Qu'est ce la radioactivité ?



Loi de décroissance :

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$$

❖ Période : $T = \frac{0,693}{\lambda}$

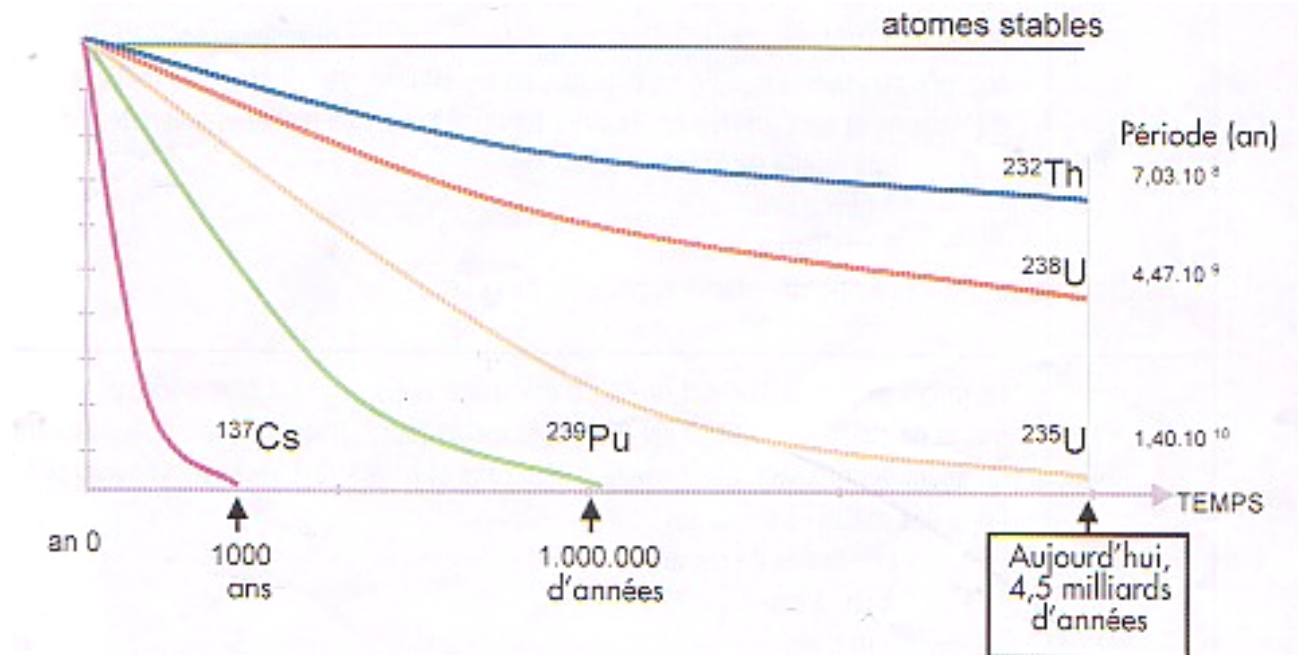


$$A(nT) = \frac{A_0}{2^n}$$

❖ Unité : Bq 1 Ci = 37 GBq 1 Bq = 27 pCi

Décroissance de la radioactivité naturelle créée lors de la formation de la Terre

$$m = \frac{1}{6,02 \cdot 10^{23}} \frac{AM}{\lambda}$$



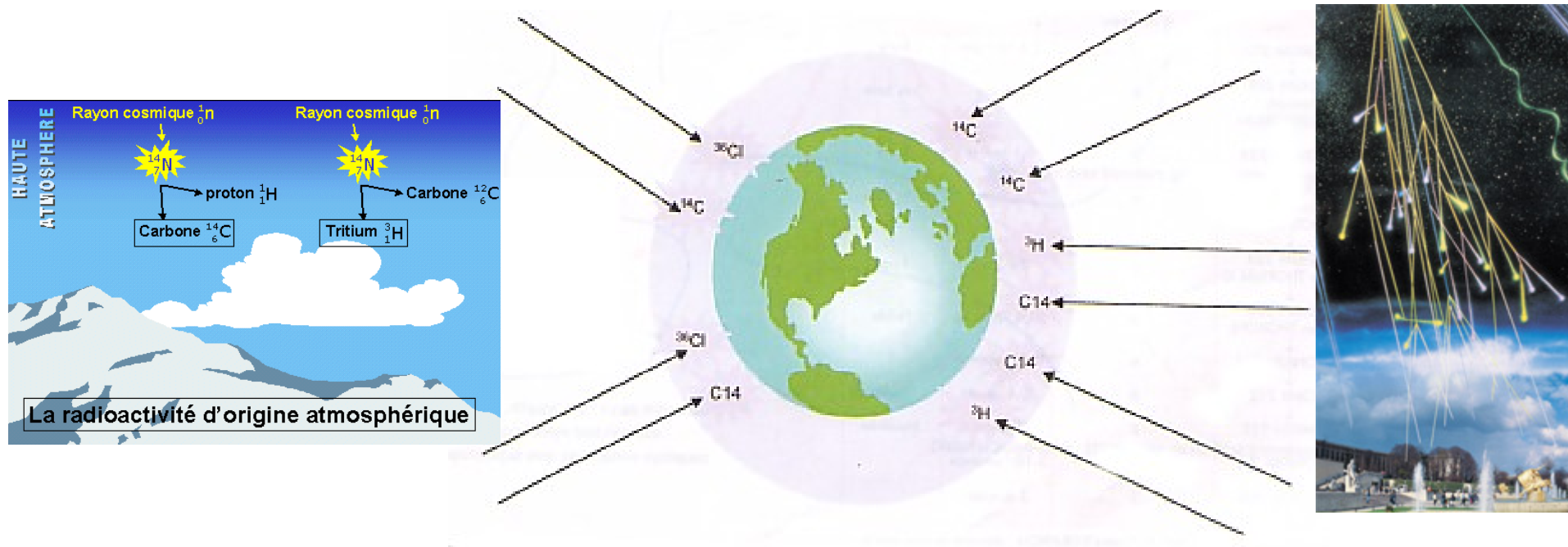
Radioélément	Période	Activité massique(Bq/g)
^{131}I	8 jours	$4,6 \cdot 10^{15}$
^{137}Cs	30 ans	$3,2 \cdot 10^{12}$
^{239}Pu	24 000 ans	$23 \cdot 10^9$
^{238}U	$4,5 \cdot 10^9$ ans	$12,3 \cdot 10^3$

Le Becquerel est une très petite unité

- ✓ Eau minérale : 2 à 4 Bq/L ^{40}K
0,02 à 1,8 Bq/L ^{226}Ra
0,01 à 0,9 Bq/L ^{238}U
- ✓ Eau de pluie : 0,5 Bq/L
- ✓ Eau de mer : 13 Bq/L ^{40}K + traces U, ^3H , ^{87}Rb
- ✓ Poisson : 100 Bq/kg ^{40}K
- ✓ Lait : 80 Bq/kg dont 62 % ^{40}K
- ✓ Pomme de terre : 150 Bq/kg ^{40}K
- ✓ Engrais phosphatés : 5 000 Bq/kg U, Th, ^{40}K
- ✓ Sédiments : 400 Bq/kg ^{40}K + 12 % U-Th
- ✓ Granite : 8 000 Bq/kg 600 à 2000 ^{238}U ; 600 ^{226}Ra
- ✓ Matériaux de construction :
 - Béton : 200 à 1 000 Bq/kg ^{40}K
 - Briques : 600 à 1 000 Bq/kg ^{40}K
 - Plâtre : 50 à 1 000 Bq/kg ^{226}Ra dominant du au phosphogypse



La radioactivité naturelle créée au jour le jour par les rayonnements cosmiques



L'activation des noyaux stables (N, Ar, ...) de l'atmosphère terrestre créé en permanence des noyaux radioactifs

Origine de la radioactivité

- ✓ Corps humain adulte : 4 500 Bq ^{40}K
3 700 Bq ^{14}C



Nous sommes des sources radioactives

- ✓ Essais atmosphériques : 1945 à 1981
423 essais = 143 USA + 142 URSS + 45 FR + 21 GB + 22 Chine

→ ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{106}Ru

- ✓ Accidents des installations nucléaires :
 - ❖ 1957 : Windscale (GB)
 - ❖ 1986 : Tchernobyl (URSS) → ^{131}I , $^{134-137}\text{Cs}$, ^{106}Ru



- ✓ Industries nucléaires :

	Rejets liquides	Rejets gazeux
Réacteur nucléaire	^3H , ^{60}Co , ^{54}Mn , ^{110}Ag , ^{131}I , ^{137}Cs	^3H , ^{14}C , ^{85}Kr , ^{131}I
Usine de retraitement	^3H , ^{14}C , ^{90}Sr , ^{129}I , ^{137}Cs	^3H , ^{14}C , ^{85}Kr , ^{129}I

Les radioéléments sont \pm nocifs

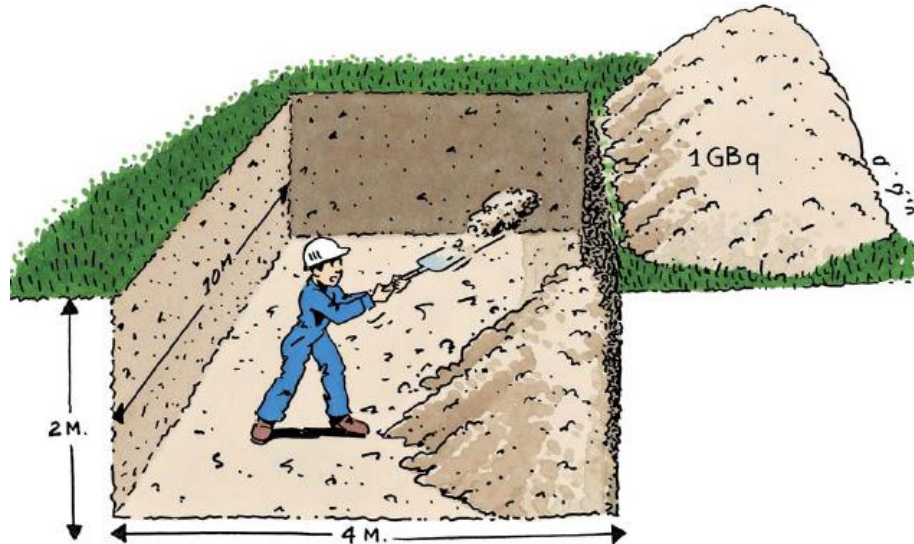
Énergie

Fixation sur les organes

<p>GROUPE 1 = Très forte radiotoxicité (Ancien groupe I)</p>	^{227}Ac , ^{241}Am , ^{252}Cf , ^{242}Cm , ^{244}Cm , ^{237}Np , ^{231}Pa , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{226}Ra , ^{228}Th , ^{230}Th , ^{233}U
<p>GROUPE 2 = Forte radiotoxicité (ancien groupe II A)</p>	$^{110}\text{Ag}^m$, ^{109}Cd , ^{144}Ce , ^{60}Co , ^{134}Cs , ^{152}Eu , ^{125}I , ^{131}I , ^{106}Ru , ^{151}Sm , ^{90}Sr , $^{\text{nat.}}\text{Th}$, ^{232}Th
<p>GROUPE 3 = Radiotoxicité modérée (ancien groupe II B)</p>	^{141}Ce , ^{143}Ce , ^{36}Cl , ^{57}Co , ^{58}Co , ^{137}Cs , ^{169}Er , ^{152m}Eu , ^{55}Fe , ^{59}Fe , ^{203}Hg , ^{192}Ir , ^{42}K , ^{140}La , ^{54}Mn , ^{99}Mo , ^{22}Na , ^{24}Na , ^{63}Ni , ^{32}P , ^{147}Pm , ^{149}Pm , ^{191}Pt , ^{222}Ra , ^{86}Rb , ^{103}Ru , ^{124}Sb , ^{48}Sc , ^{75}Se , ^{113}Sn , ^{160}Tb , ^{234}Th , ^{204}Tl , ^{170}Tm , ^{48}V , ^{169}Yb , ^{65}Zn
<p>GROUPE 4 = Faible radiotoxicité (ancien groupe III)</p>	^7Be , ^{51}Cr , ^{64}Cu , ^3H , ^{129}I , ^{113m}In , ^{85}Kr , ^{220}Rn , ^{35}S , ^{31}Si , ^{99m}Tc , $^{\text{nat.}}\text{U}$, ^{235}U , ^{133}Xe

Comment représenter la radioactivité ?

Exemple : terrain granitique en Bretagne



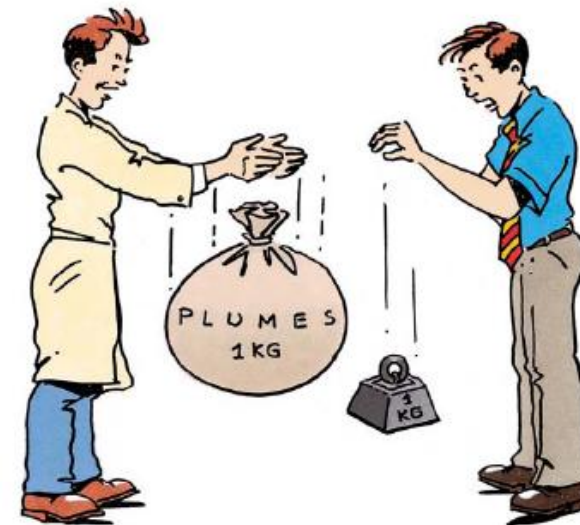
$$80 \text{ m}^3 \Rightarrow 1 \text{ GBq}$$

U, Th, Ra et K

Les Becquerels ne sont pas
tous les mêmes



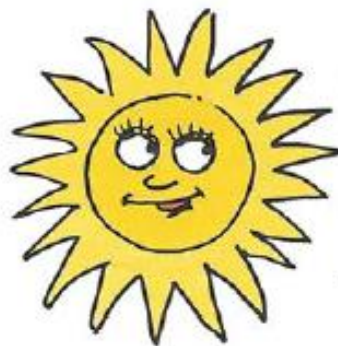
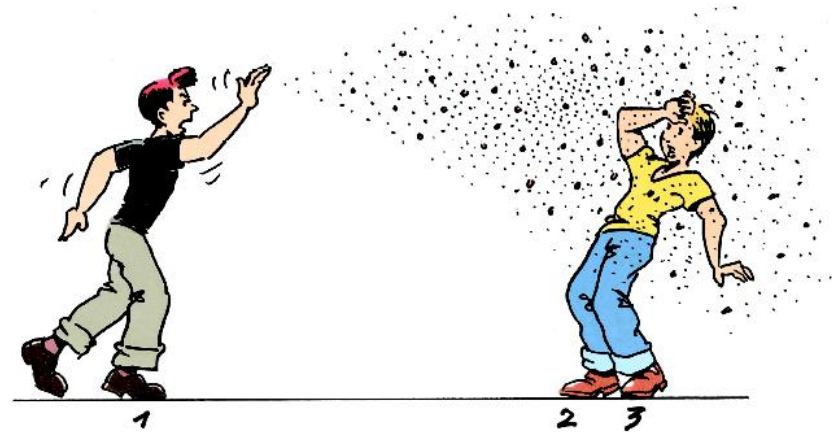
Symbole de radioactivité



Becquerel, Gray et Sievert

3 unités pour mesurer :

- ❖ la radioactivité,
- ❖ son énergie,
- ❖ ses effets



ENERGIE
TRANSMISE PAR
RAYONNEMENT



Activité de la source
en **Becquerel**
(α , β , γ ...)

Dose **Gray**
(ce que mesure
un dosimètre)

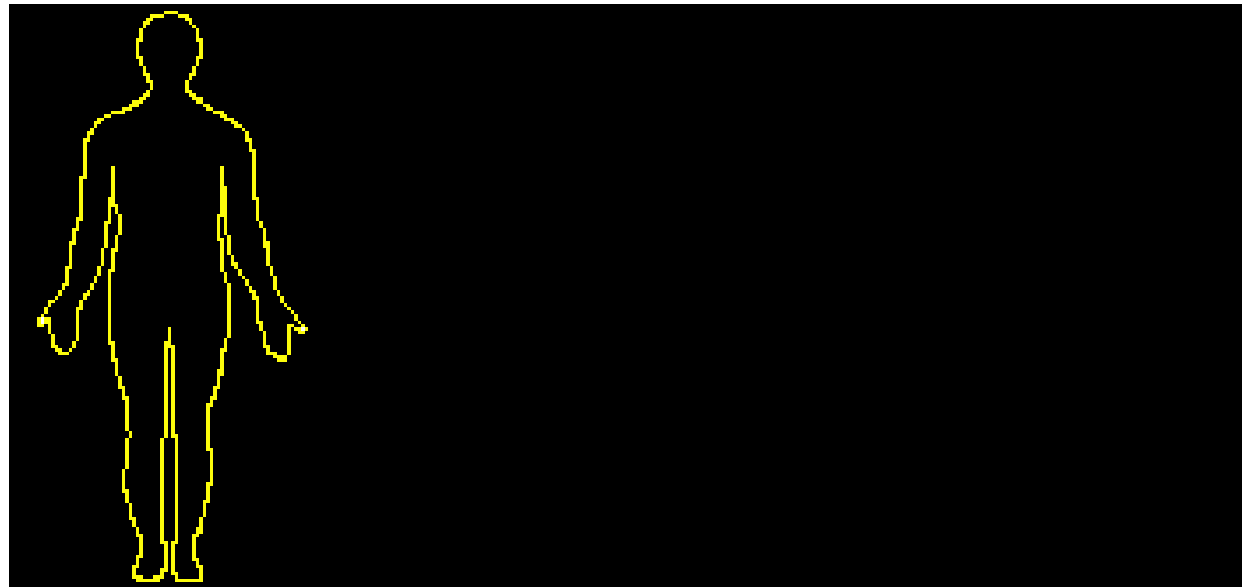
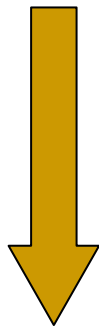
Effets biologiques
en **Sievert**
produits par l'énergie reçue
et pondérée par le type
de rayonnement, la durée
de l'exposition et la sensibilité
de l'organisme ou organe atteint.

Anciennes unités :

- ❖ $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$
- ❖ $1 \text{ rad} = 0,01 \text{ Gy}$
- ❖ $1 \text{ rem} = 0,01 \text{ Sv}$

- ❖ Tissu ou organe : **Équivalent de dose** $H_T = \sum_R W_R D_{T,R}$
- ❖ Corps entier : **Dose efficace** $E = \sum_T W_T \sum_R W_R D_{T,R}$

G. Charpak et R. Garwin
(Acad. Nat. Med. 2001)

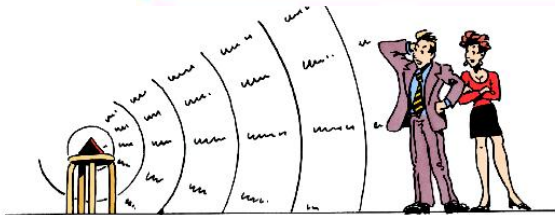
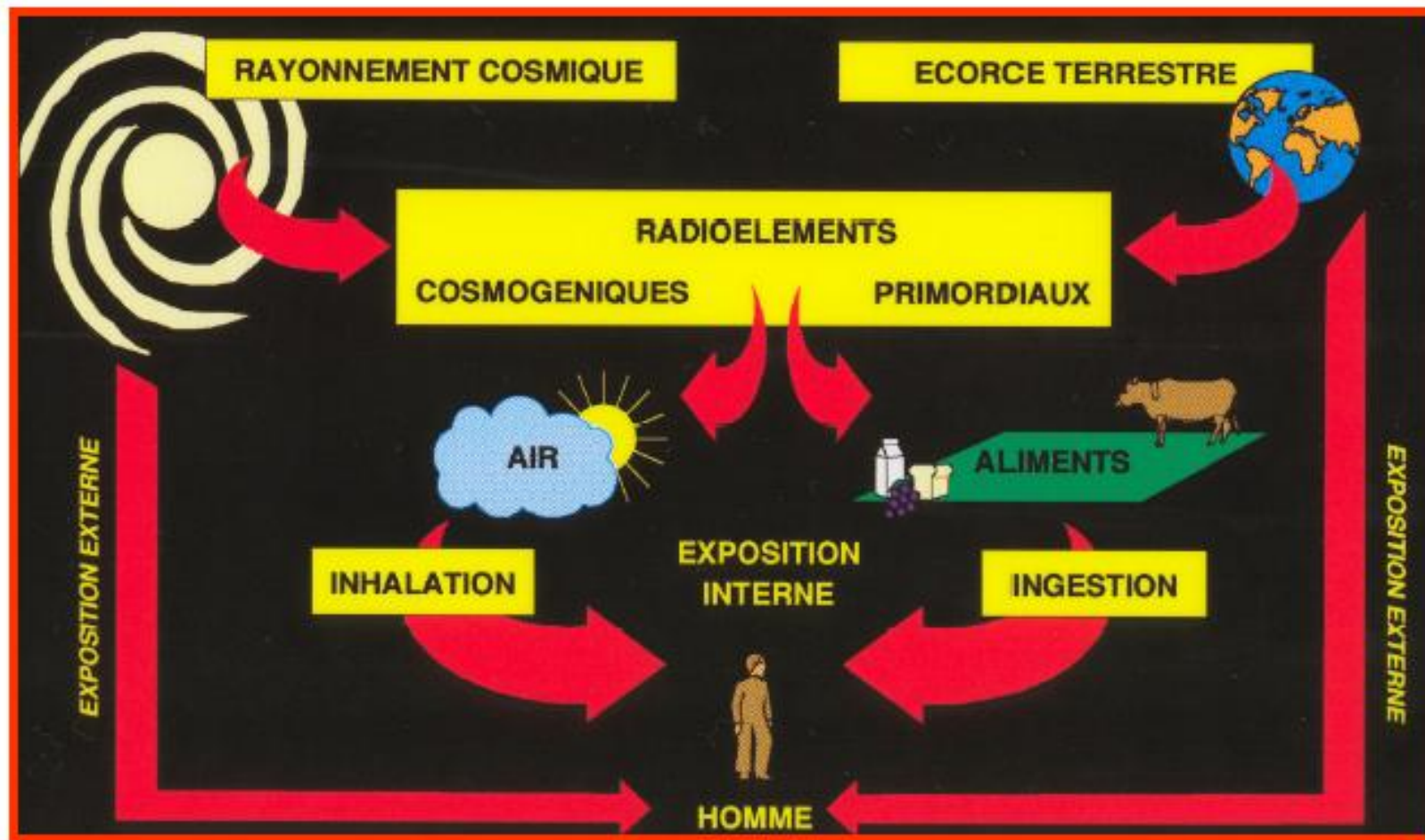


DARI : unité de Dose Efficace pour évaluer l'effet des faibles doses

1 DARI $\cong E_{\text{ingestion}}(6 \text{ kBq } ^{40}\text{K}) + E_{\text{cosmique}}(4 \text{ KBq } ^{14}\text{C})$ pour un Homme de 70 kg

$$\dot{E} = 0,17 \text{ mSv/an}$$

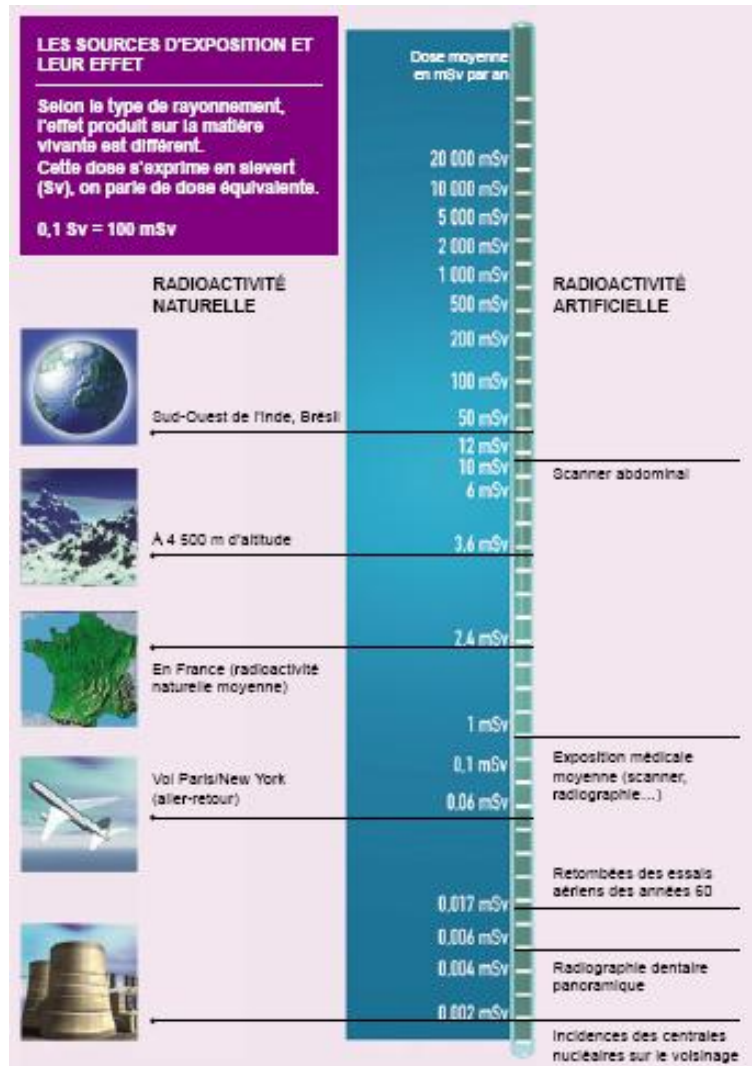
Exposition externe et contamination



$$A(t) = A_0 e^{-\lambda_e t}$$

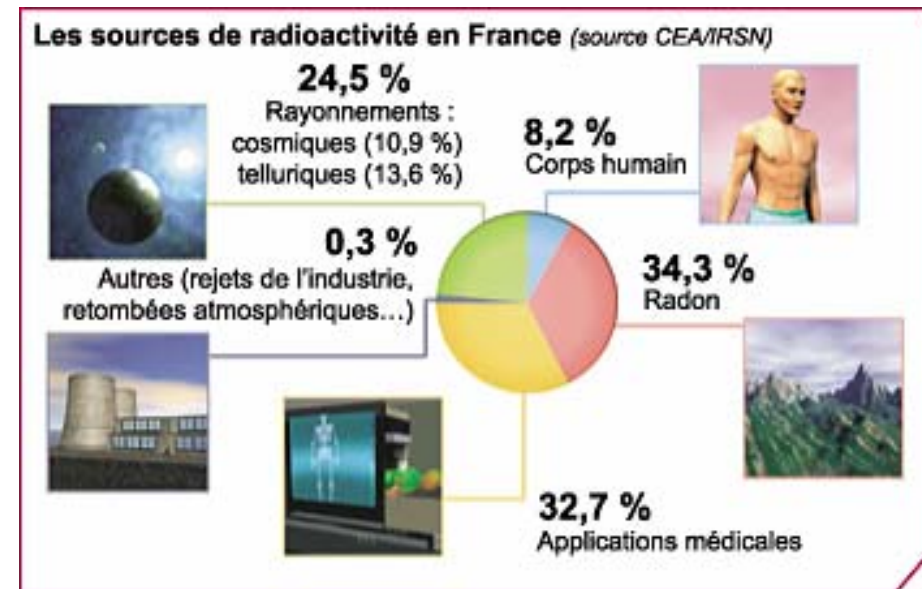
$$T_e = \frac{T_b T_p}{T_b + T_p}$$





Exposition moyenne en France :

2,9 à 3,5 mSv/an/habitant



Exposition aux rayons cosmiques



<http://www.sievert-system.org>

SIEVERT www.sievert-system.org

Evaluez la dose reçue ✓ Qu'est ce que le rayonnement cosmique? ✓ L'exposition au rayonnement cosmique en avion ✓ Les effets du rayonnement sur la santé ✓ La mesure du rayonnement et l'évaluation de ses effets ✓ Les experts vous en disent plus ✓ Glossaire ✓ Rechercher
✓ Plan du site ✓ Les questions les plus fréquentes

DÉPART :	ARRIVÉE :
Pays : FRANCE	Pays : ETATS-UNIS NEW YORK
Ville : PARIS	Ville : NEW YORK
date : (locale) 03 02 2005	date : (locale) 03 02 2005
Heure : (locale) 14 00	Heure : (locale) 14 00

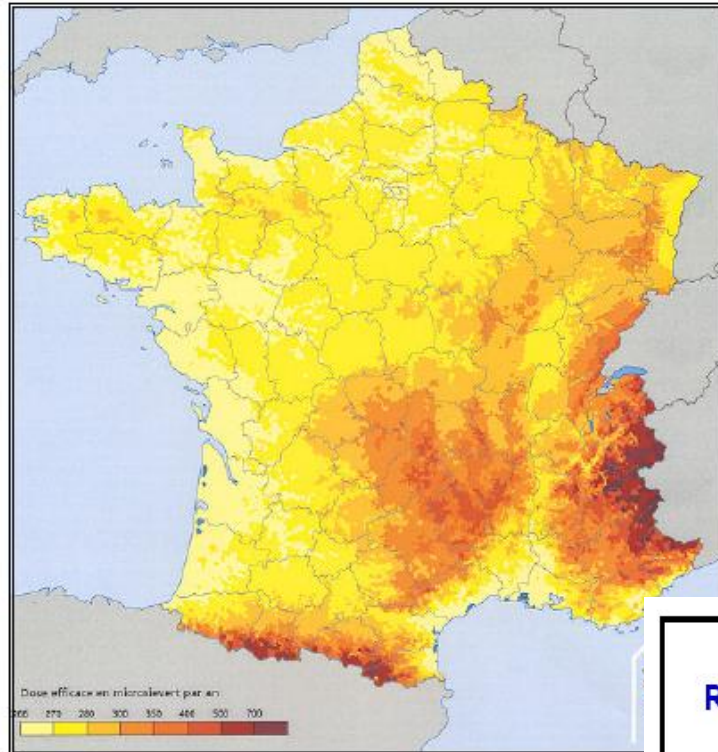
Type d'avion : Business jet

✓ Calculer la dose de rayonnements cosmiques reçue lors de ce vol

Système réalisé et intégré par  LOGATIQUE

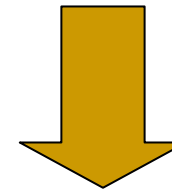
"Sous réserve des modifications de la réglementation locale, les dates et heures du vol prennent en compte le décalage horaire et éventuellement l'heure d'été. Vérifier la durée du vol."

Dose reçue lors du vol = 0.0448 mSv
Temps de vol = 06:00 (HH:MM)



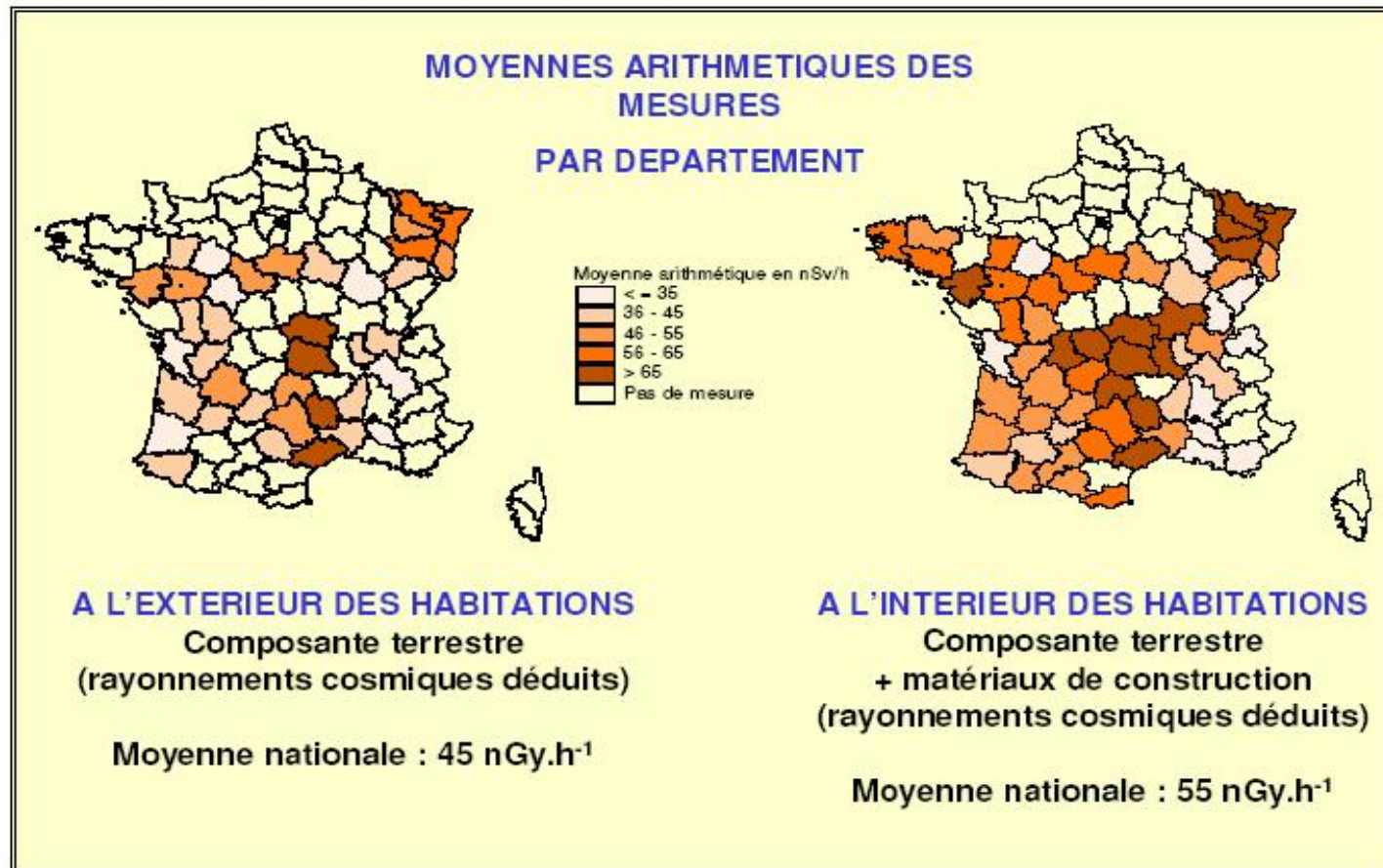
$\langle E \rangle = 0,28 \text{ mSv/an}$

Radionucléides cosmogéniques



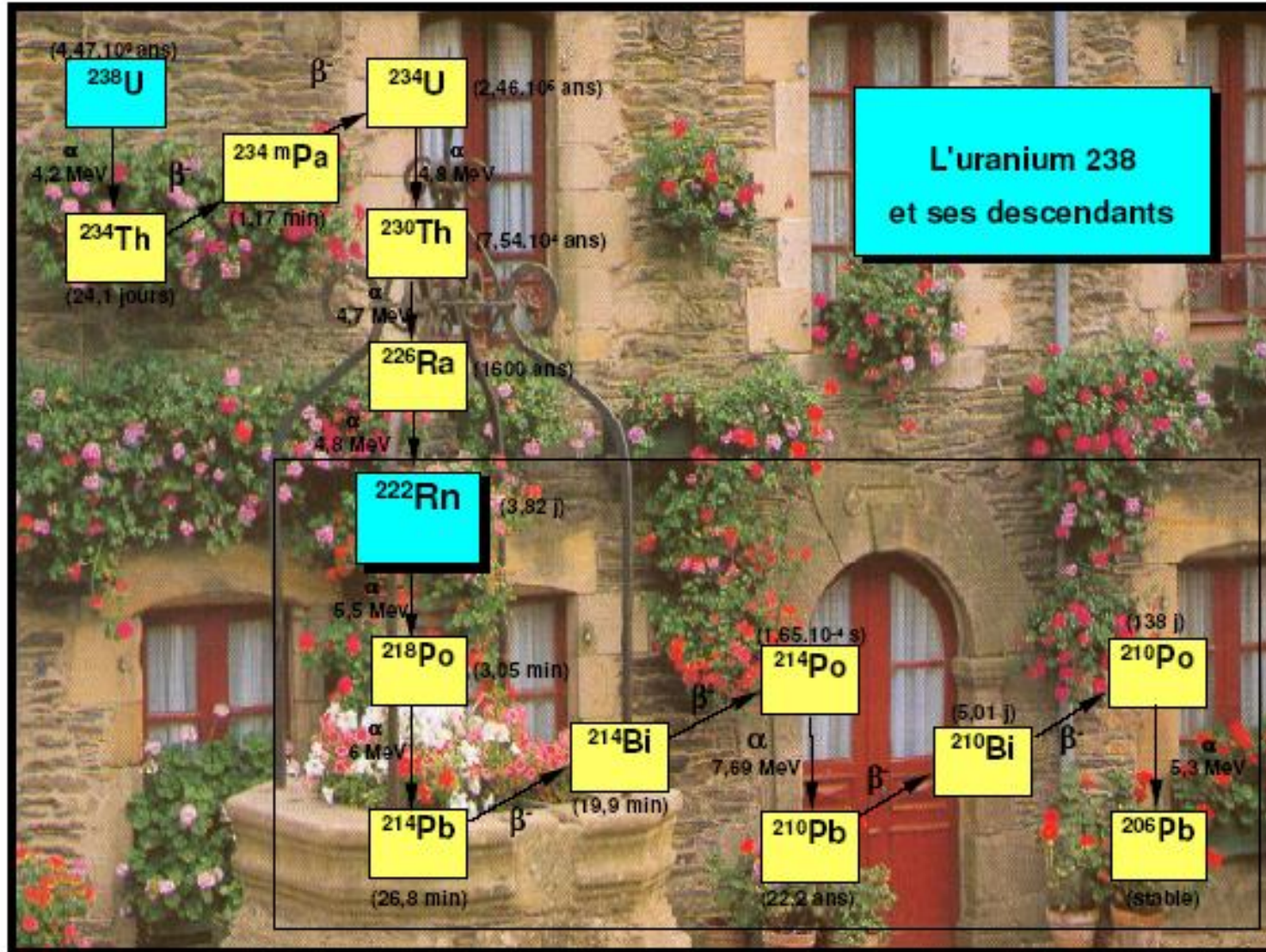
Radionucléide	Période	Incorporation annuelle (Bq/an)	Dose efficace annuelle ($\mu\text{Sv/an}$)
^3H	12,3 a	500	0,01
^7Be	53,6 j	1000	0,03
^{22}Na	2,62 a	50	0,15
^{14}C	5 730 a	20000	12

Exposition naturelle tellurique en France



	⁴⁰ K	²³² Th	²³⁸ U
Air libre	15 nGy/h	26 nGy/h	16 nGy/h

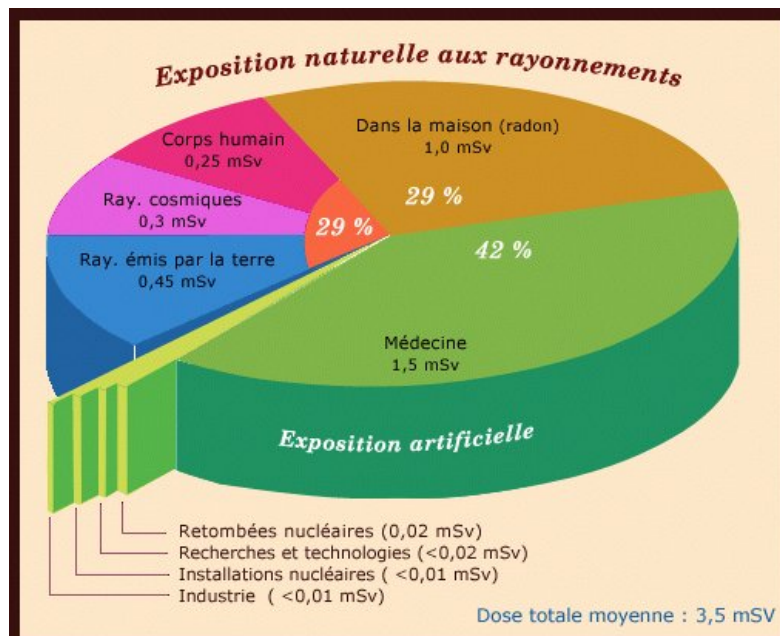
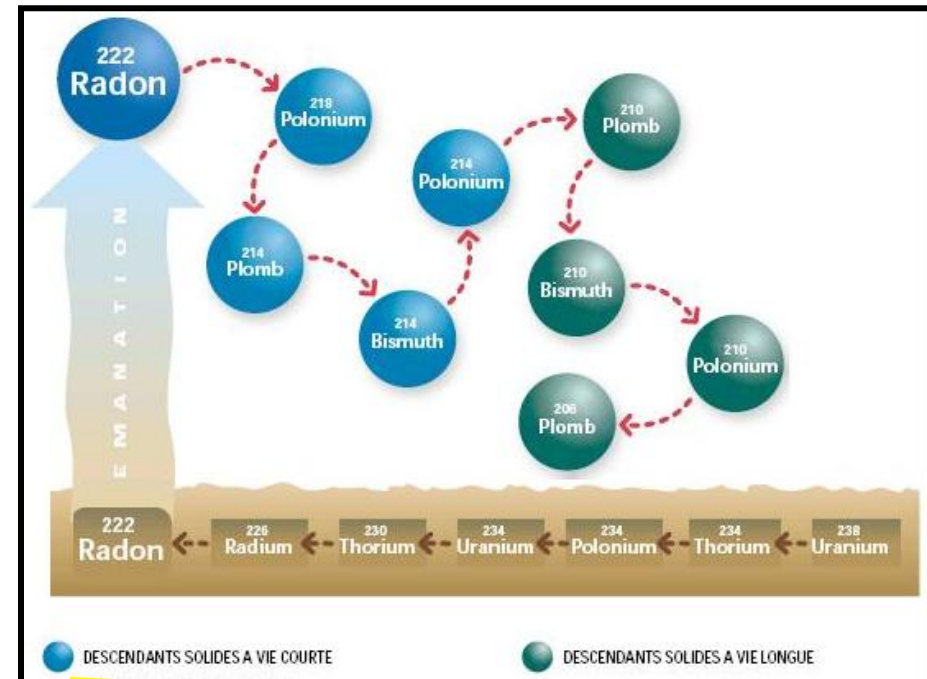
Le radon



Radon : gaz radioactif d'origine naturelle

❖ Désintégration : U et Ra présents dans la croûte terrestre.

❖ Présent à la surface de la planète, provient surtout des **sous-sols granitiques** et **volcaniques** ainsi que de certains **matériaux de construction**.



se fixent sur les aérosols et peuvent être inhalés

Carte d'activité volumique du Radon

❖ France : IRSN (1982 à 2000)

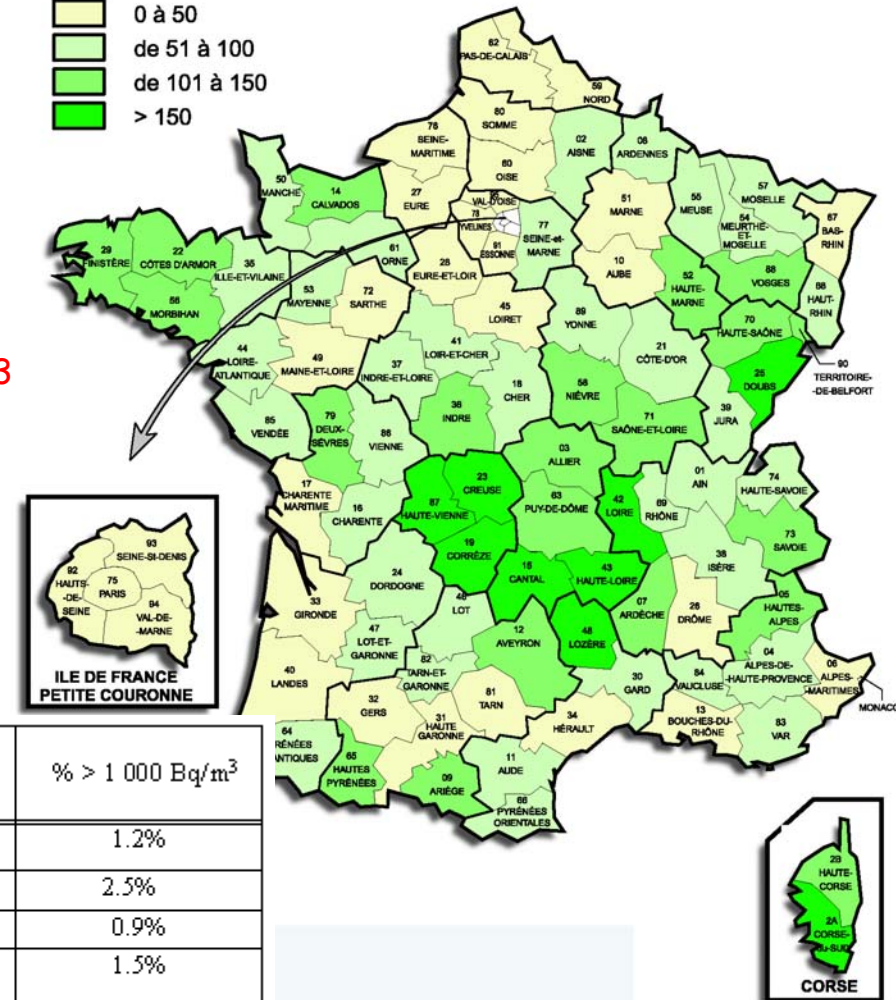
✓ National : $\langle A \rangle = 90 \text{ Bq/m}^3$

✓ Département : $\langle A \rangle = 68 \text{ Bq/m}^3$

❖ G.B : 20 Bq/m^3

❖ Suède : 108 Bq/m^3

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



	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%

Propriétés du radon

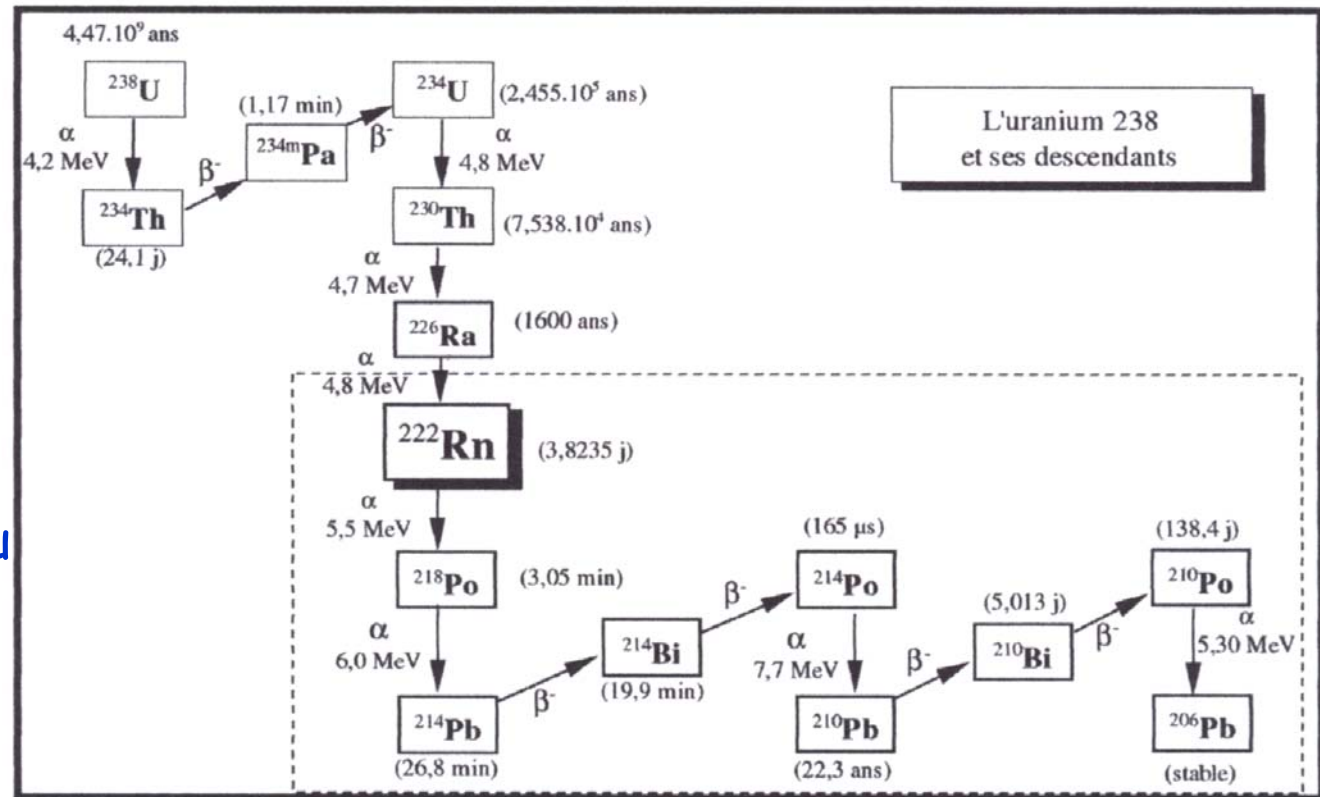


Famille	Isotope	Période
^{235}U	^{219}Rn Actinon	3,96 s
^{232}Th	^{220}Rn Thoron	55,6 s
^{238}U	^{222}Rn Radon	3,82 j

- ✓ Découvert en 1899
- ✓ gaz rare,
- ✓ inodore,
- ✓ incolore,
- ✓ inerte,
- ✓ très volatile,
- ✓ soluble dans l'eau

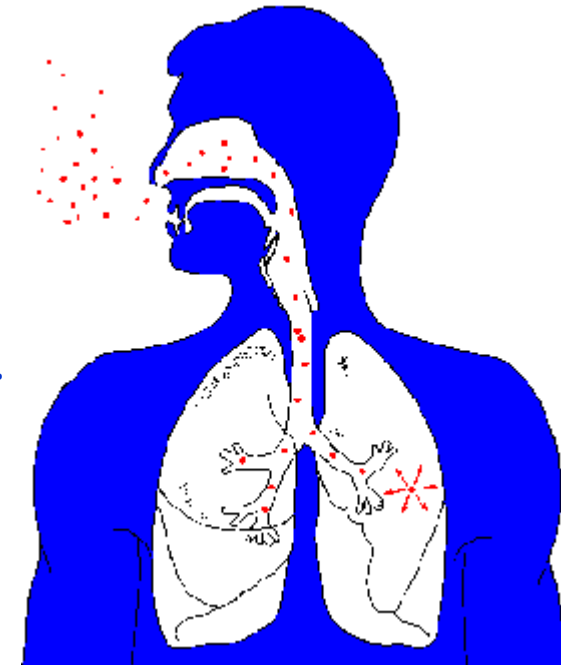
Diffusion :

- ❖ Air : $10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
- ❖ Eau : $10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$

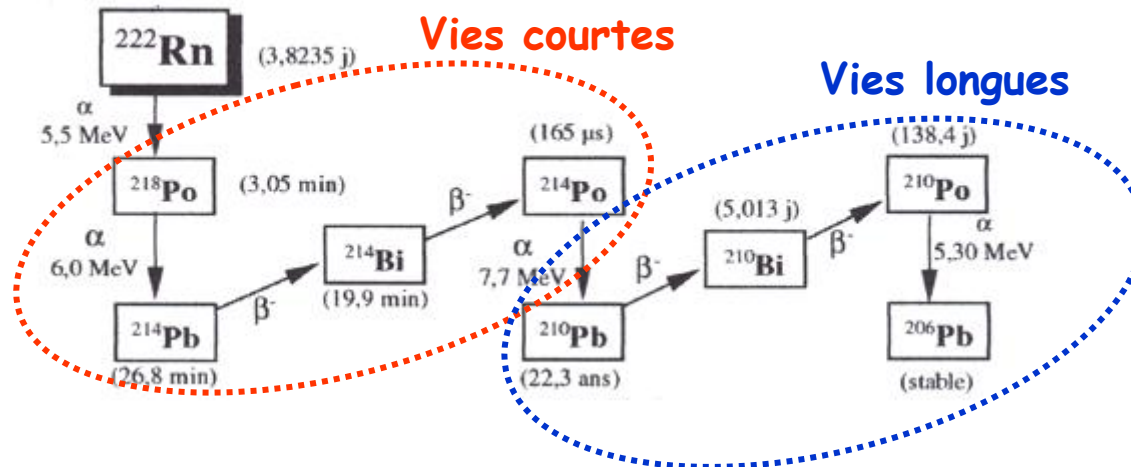


OMS a reconnu en 1987 le radon comme cancérigène pulmonaire humain

- ❖ **Nocivité** : une fois **inhalé**, Rn continue sa décroissance à l'intérieur des poumons. Ses descendants solides **irradient** les cellules les plus sensibles des bronches.
- ❖ **Études épidémiologiques** : l'exposition au Rn accroît le risque de cancer du poumon chez les mineurs
- ❖ **Prévention** : ventilation des galeries des mines souterraines
- ❖ **Comparaison avec le tabagisme** :
 - ✓ **Tabagisme** ⇒ (19 000 hommes + 3 000 femmes)/an en France
 - ✓ **Paquet/jour** ⇒ augmentation du risque d'un facteur 10 à 20 @ 3000 Bq/m³



Évolution des descendants solides



$$EAP_V (\text{MeV} \cdot \text{m}^{-3}) = 13,7N(^{218}\text{Po}) + 7,7 [N(^{214}\text{Pb}) + N(^{218}\text{Po})]$$

Facteur d'équilibre dans
les habitations

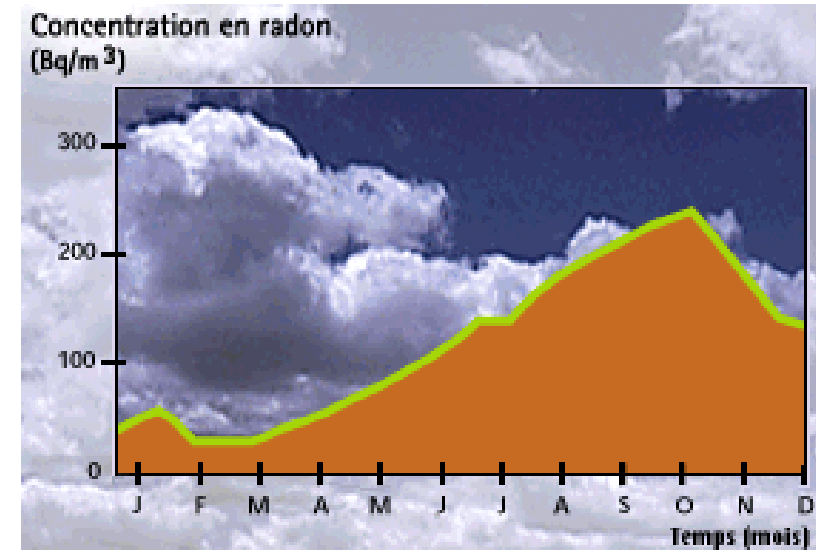
$$0,3 < f < 0,6$$

$$\text{CIPR} \Rightarrow f = 0,4$$

	EAP (MeV)	EAP(MeV/Bq)
218Po	13,7	3 620
214Pb	7,7	17 800
214Bi	7,7	13 100
214Po	7,7	2 10 ⁻³
Total à l'équilibre/Bq de Rn		34 520

Concentration varie d'un lieu à l'autre dans une région :

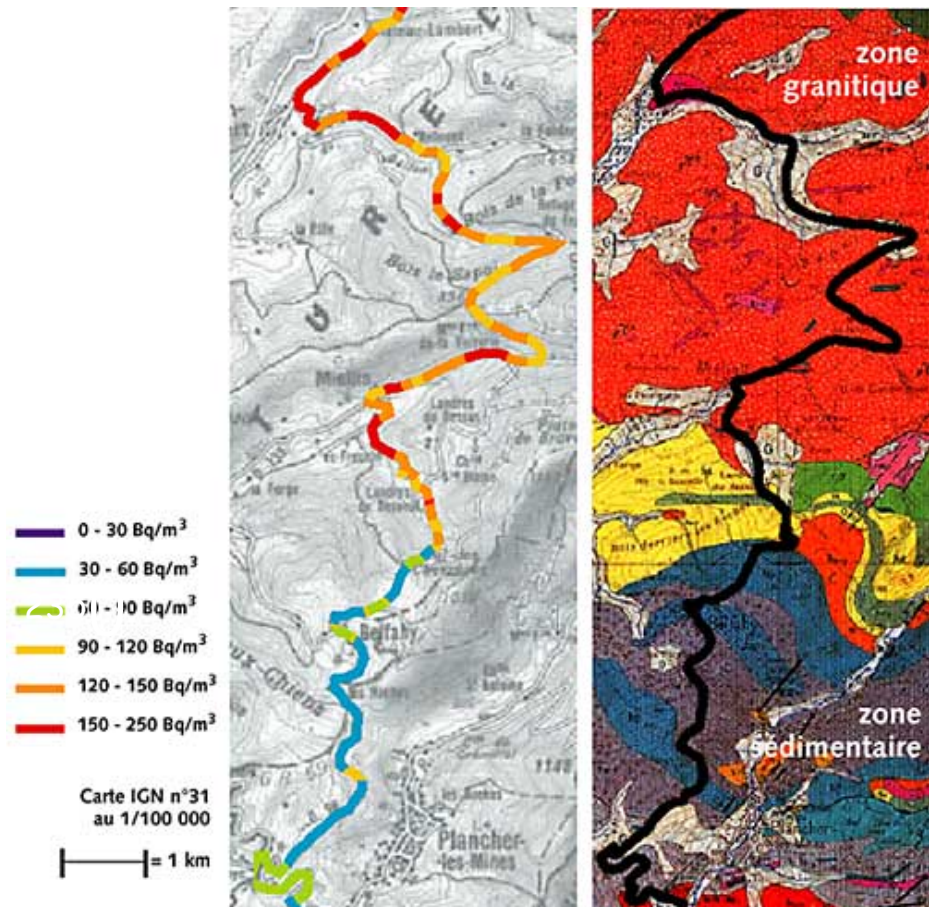
- ❖ Nature des sols
- ❖ Conditions météorologiques :
 - ✓ pression atmosphérique,
 - ✓ température,
 - ✓ humidité,
 - ✓ précipitations,
 - ✓ vitesse du vent



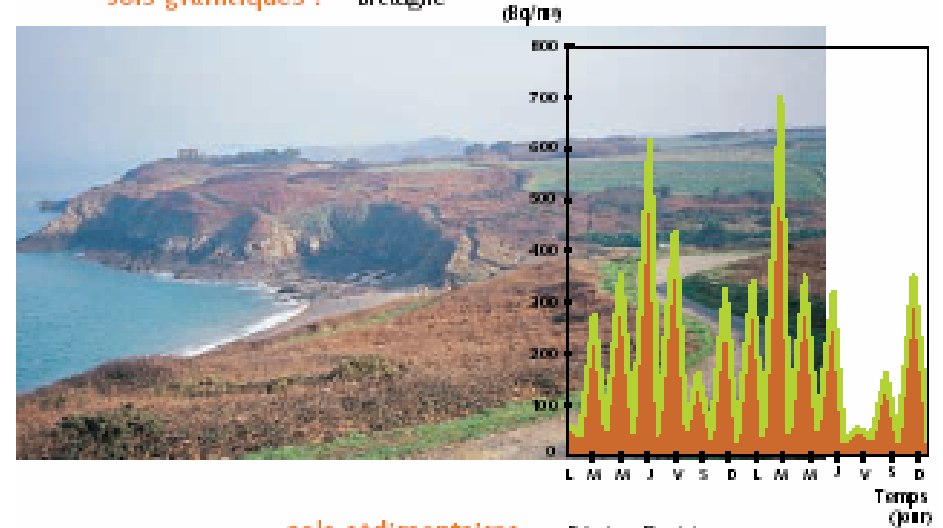
Concentration du Rn augmente significativement après un orage

Radon dans l'environnement

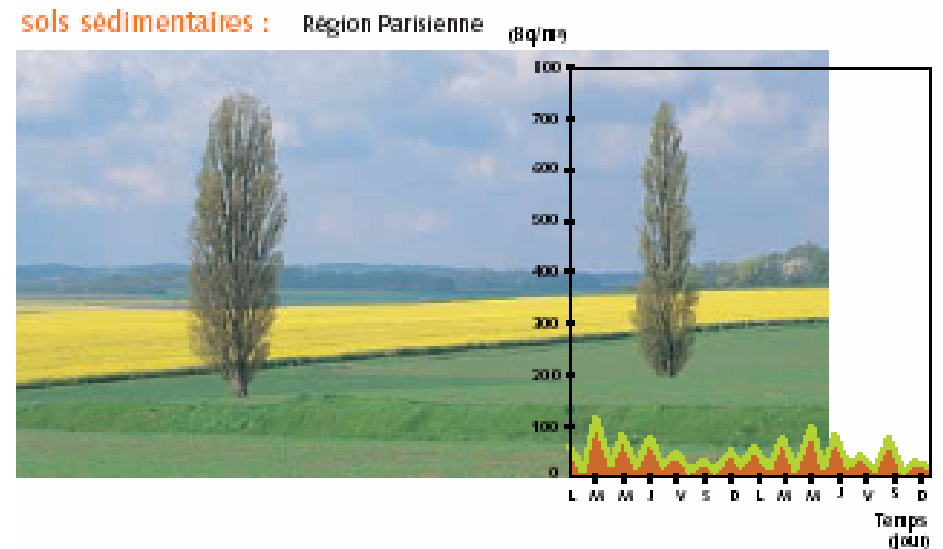
- ❖ caractéristiques géologiques du sous-sol,
- ❖ contraintes tectoniques,
- ❖ niveau de la nappe phréatique



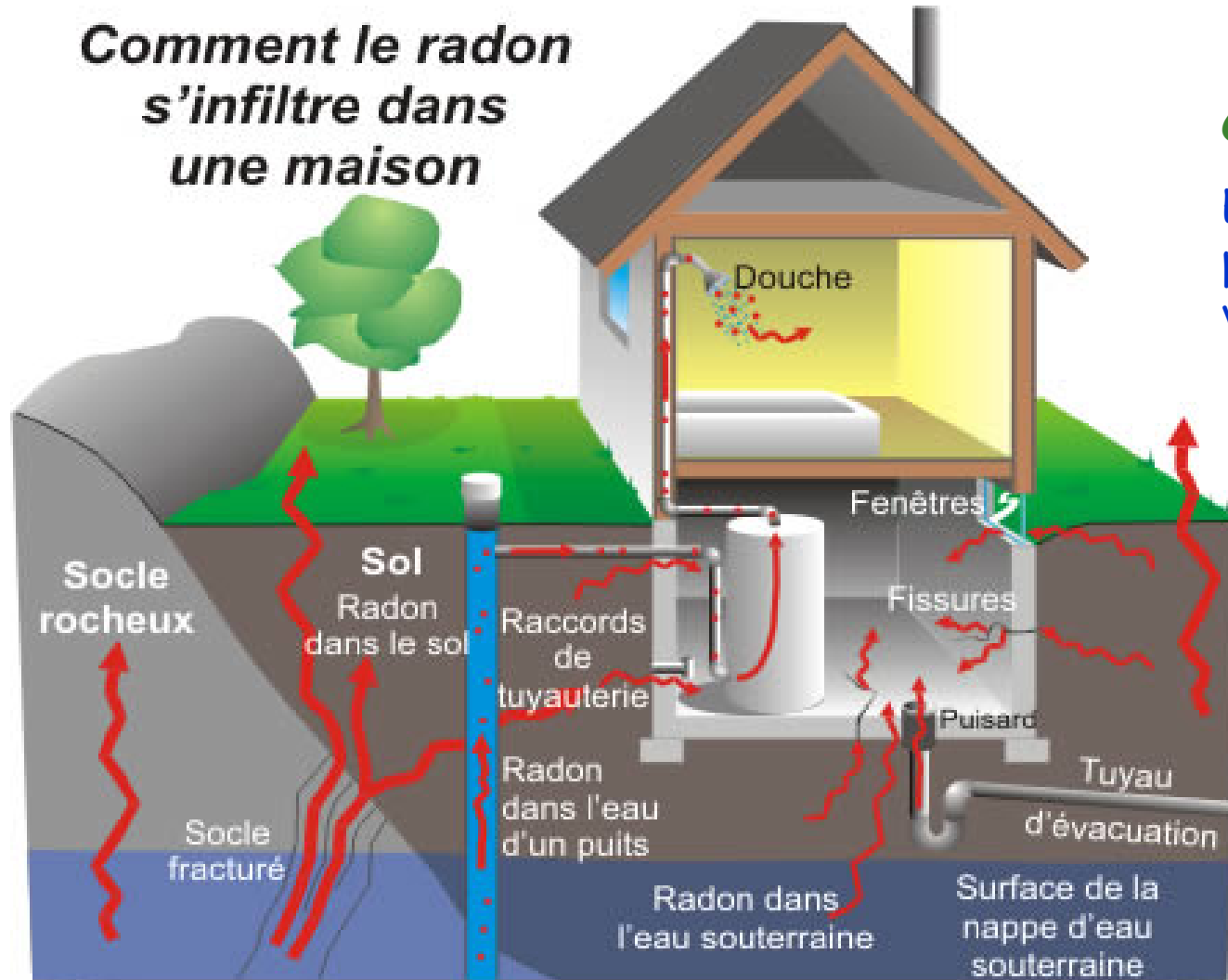
sols granitiques : Bretagne



sols sédimentaires : Région Parisienne

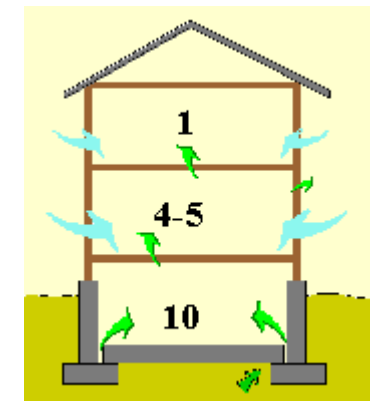


Comment le radon s'infiltré dans une maison



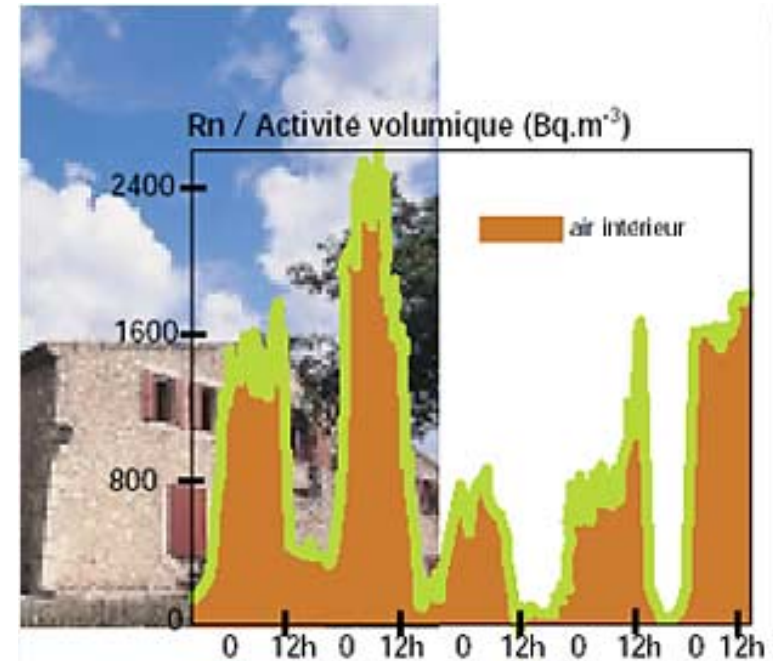
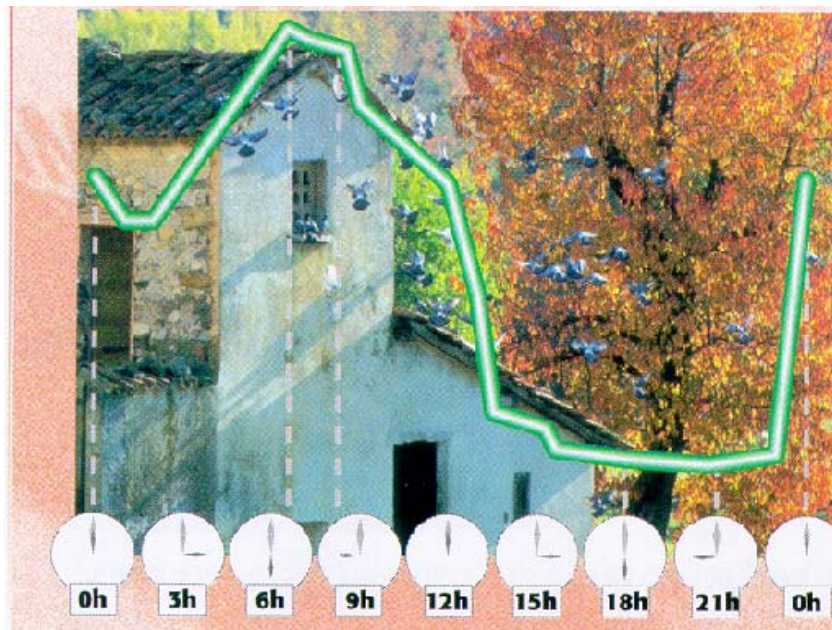
Concentration :

Endroits clos et peu ventilés (cave, vide sanitaire...).



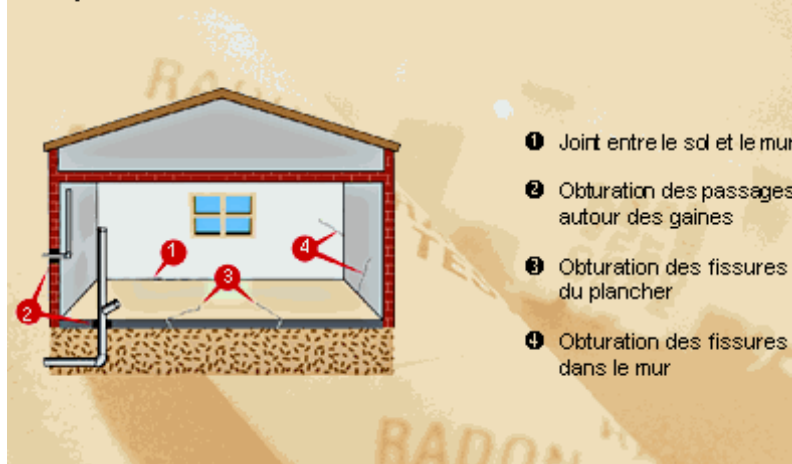
Le Radon dans les habitations

La concentration varie selon l'occupation et les modes de vie des habitants.

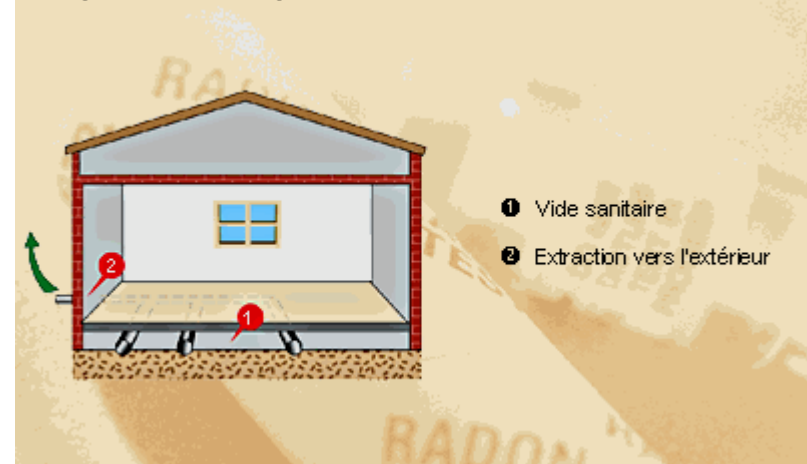


Ventiler les pièces habitées, en ouvrant simplement les fenêtres ou si nécessaire en installant une ventilation mécanique

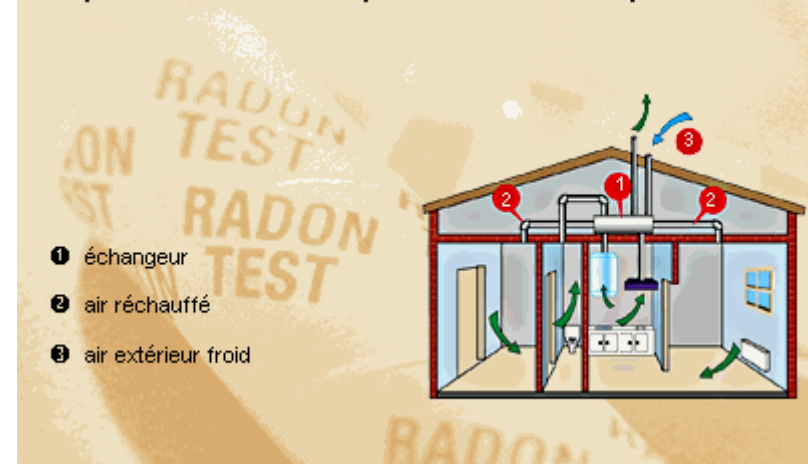
Exemple 1 : étanchéification des voies d'entrée du radon



Exemple 2 : mise en dépression dans le vide sanitaire



Exemple 3 : ventilation mécanique double flux en déséquilibre



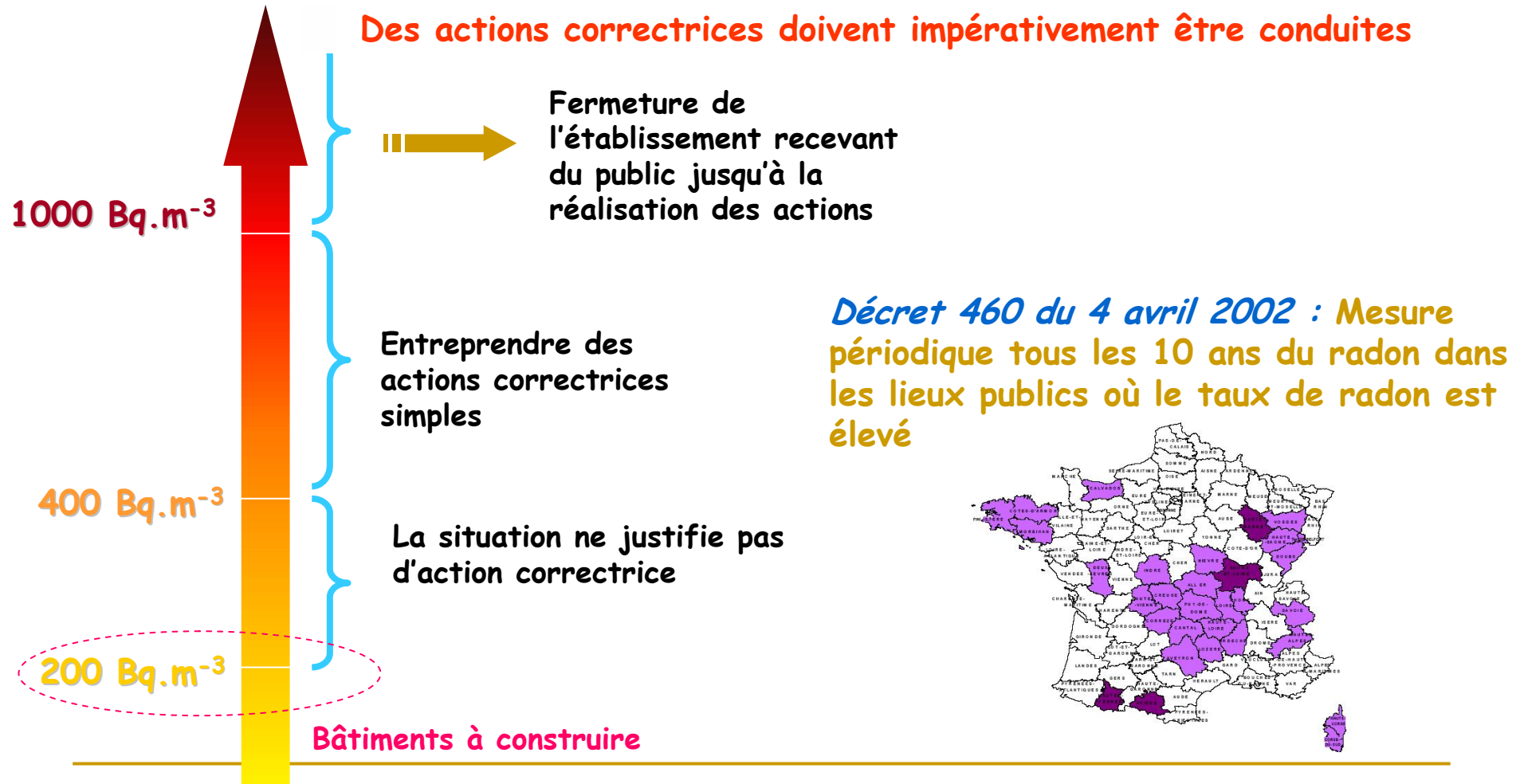
http://auvergne.sante.gouv.fr/environnement/qualite_habitat/techniques_reductions.htm

Conseil Supérieur
d'Hygiène Publique

Circulaire DGS/DGUHC 99-46 du 27 janvier 1999
(Préfets, DRASS, DRE)



Organisation du risque de la gestion du risque lié au radon

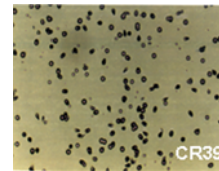
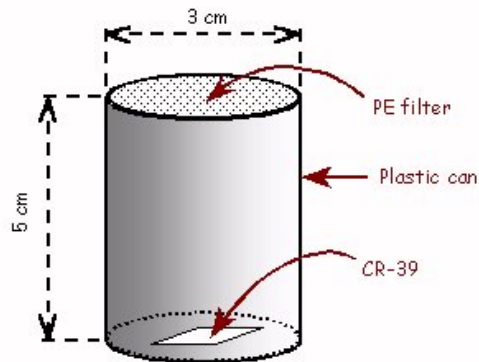


- ☞ Piégeage du radon sur charbon actif puis mesure par SL ou spectrométrie gamma
- ☞ Emanométrie
- ☞ Détecteur semi conducteur en regard d'un volume d'air connu
- ☞ Détecteurs Solides de Traces Nucléaires
- ☞ Détermination de l'énergie alpha potentielle volumique
- ☞ Chambre d'ionisation

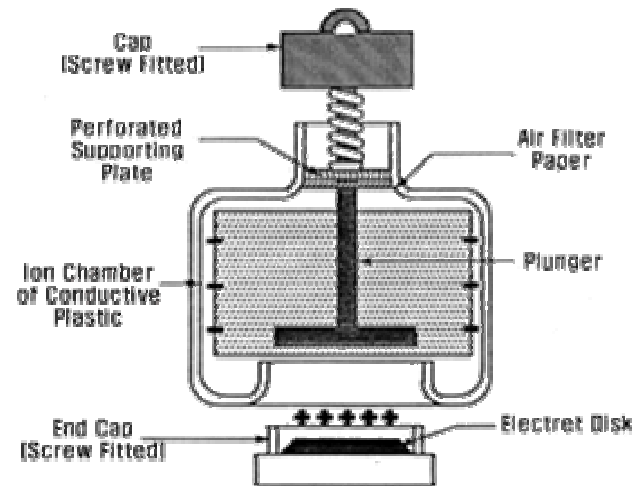
Normes AFNOR

- ❖ M60-764 : mesure intégrée de l'EAP des descendants du radon
- ❖ M60-765 : mesure instantanée de l'EAP des descendants du radon
- ❖ M60-766 : mesure intégrée de l'activité volumique du radon gaz
- ❖ M60-767 : mesure en continu de l'activité volumique du radon gaz

❖ DSTN : LR115, CR39

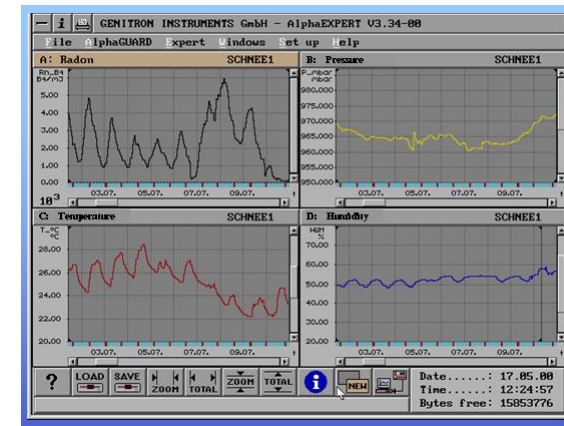
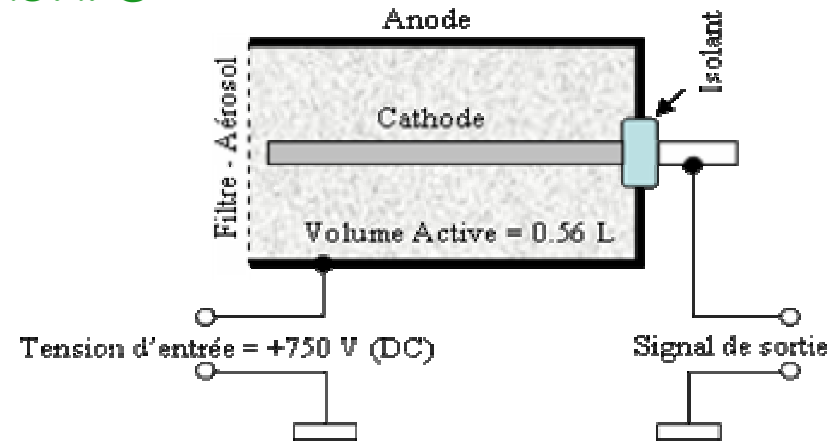


❖ Chambre d'ionisation Electret : Disque en Téflon chargé positivement

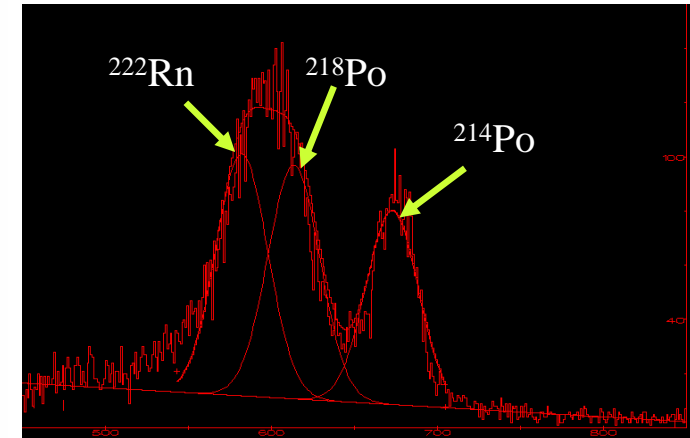
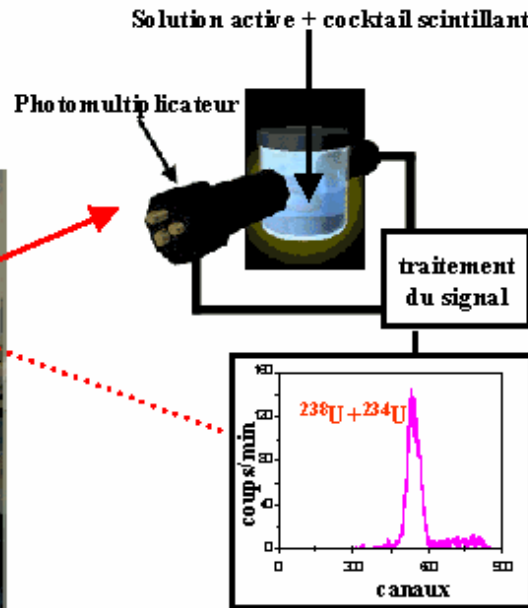


$$A_{Rn} = \frac{(V_I - V_F)}{CF \times t} - B_\gamma$$

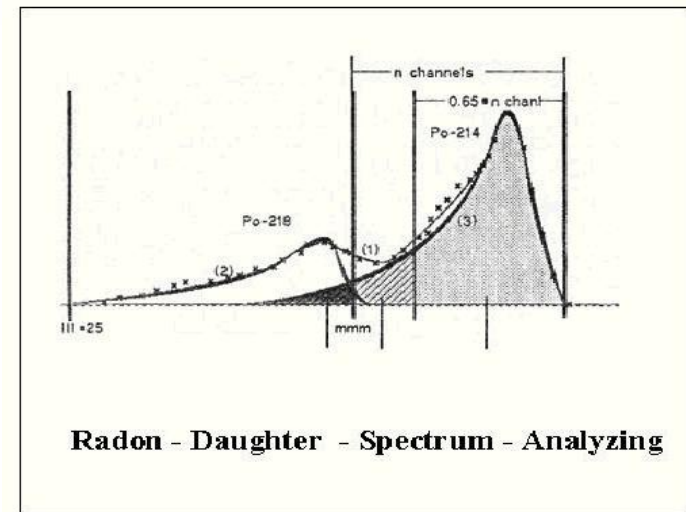
❖ Chambre d'ionisation : ALPHAGARD



Scintillation liquide

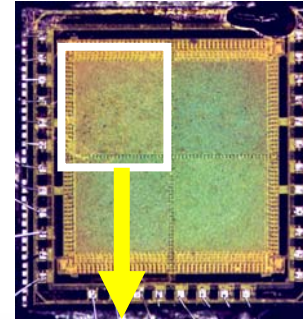


Emanométrie

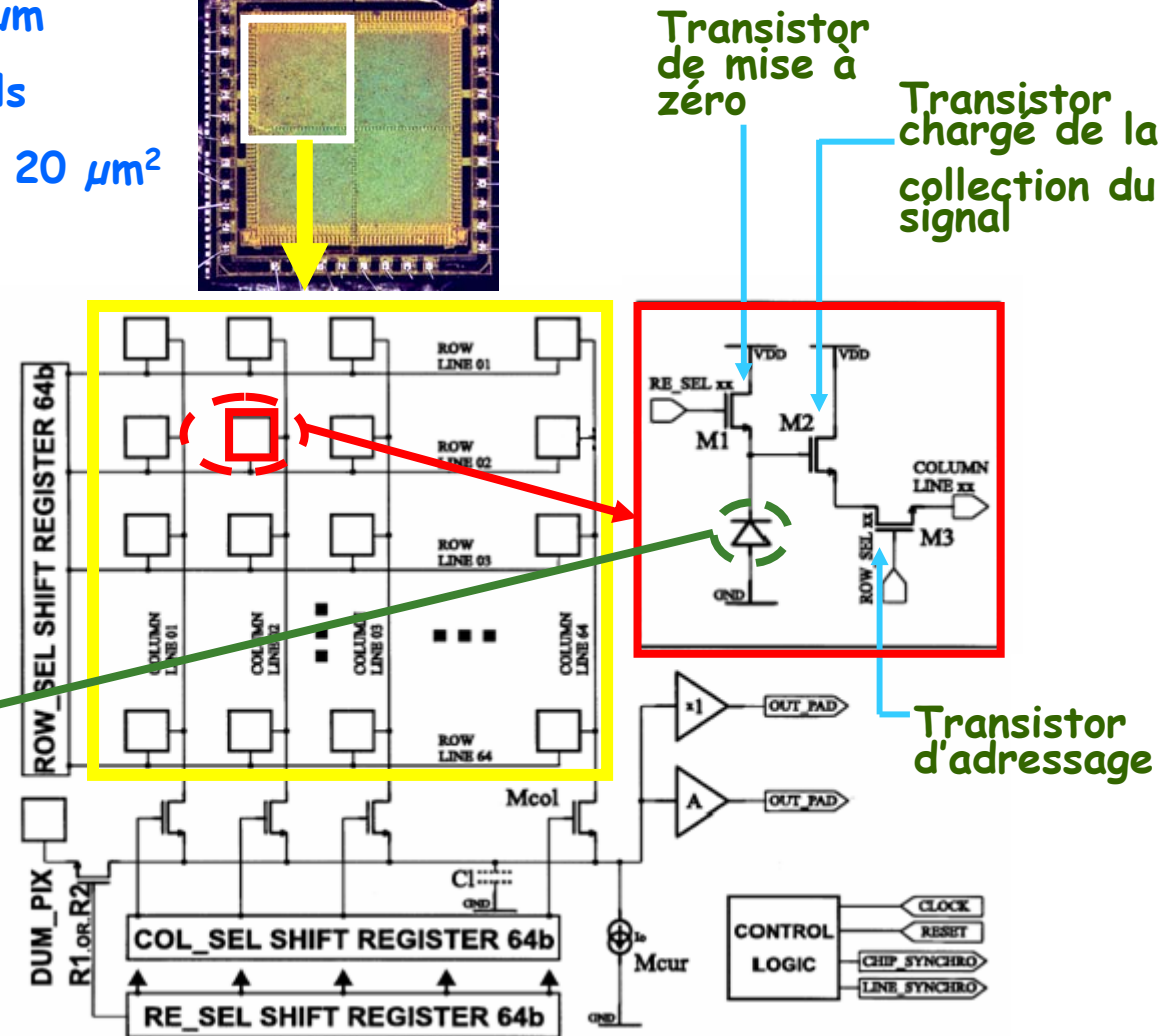
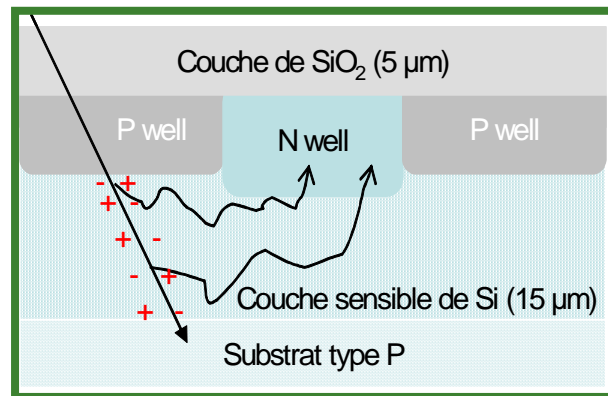


MIMOSA (Minimun Ionizing MOS Active pixel)

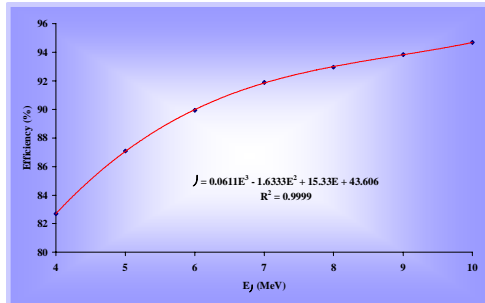
- ✓ Couche épitaxiale : 15 μm
- ✓ 4 pages : 64 x 64 pixels
- ✓ Surface du pixel : 20 x 20 μm^2
- ✓ Alimentation : 5 V



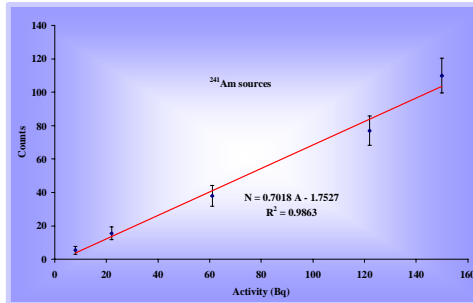
Principe de détection:



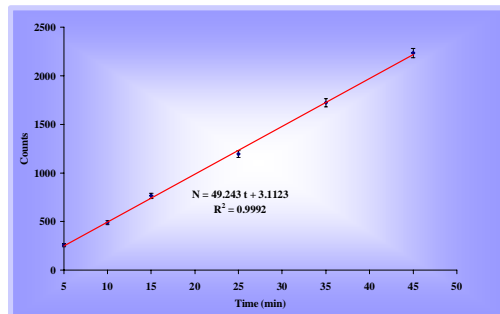
Dosimétrie active par CMOS



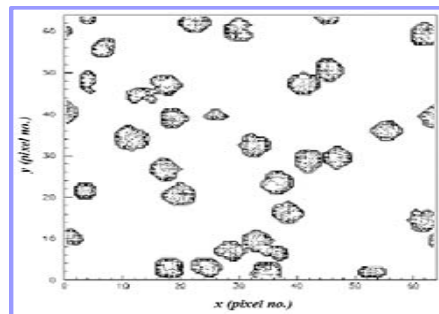
Simulation of detection efficiency for α -particle



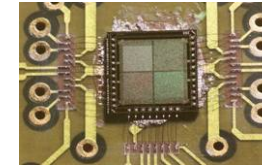
Test of CMOS response depending on the ^{241}Am source activity



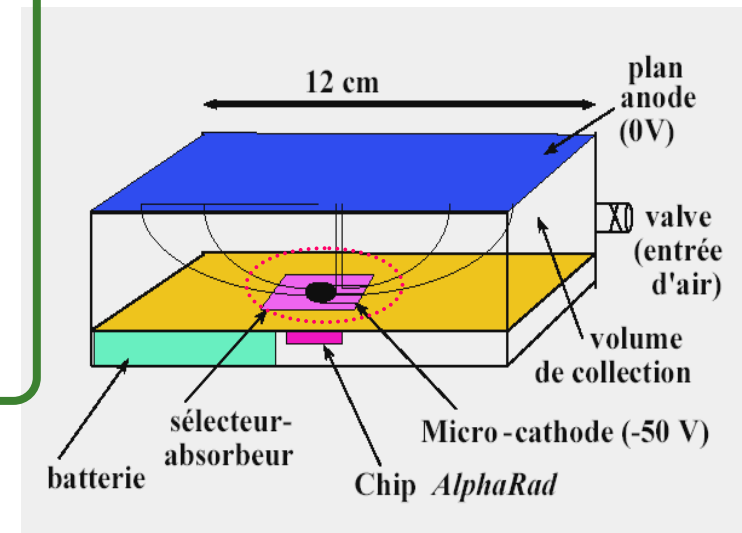
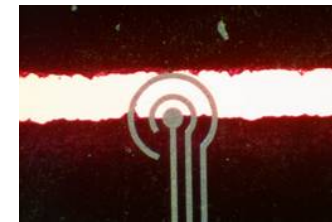
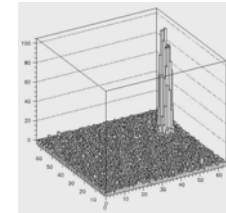
Test of the CMOS response according to the exposition time for an ^{241}Am source



Display of cumulated sampling of α -particle events registered by the CMOS over 75 h

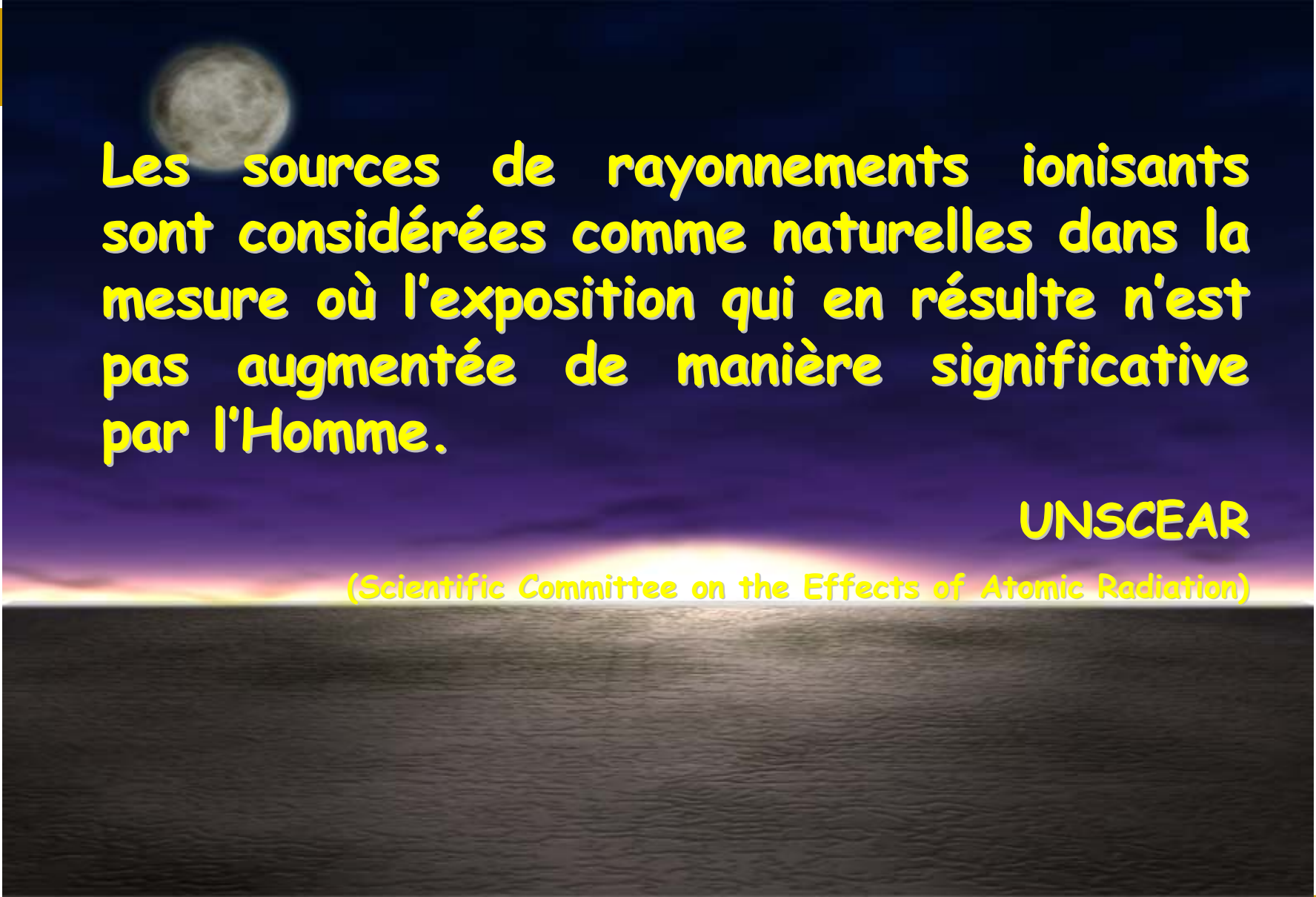


MIMOSA



Radioactivité des sources minérales

Radionucléide (mBq/l)	Evian Cachat	Volvic	Contrex éville	Vittel	Perrier Vergèze	St Yorre Royale	Badoit St Galmier	St Alban
^{226}Ra	40	40	27	29	26	250	240	1800
^{228}Ra	4	42,7	2,9	2,6	500	170		
^{234}U	15	12	19	15	40	130	2500	
^{235}U							44	
^{238}U	15	12		15	40	26	900	305
^{210}Pb	28	28	19	20	18	175	168	1260
^{210}Po	16	16	10	11	10	100	96	720
Dose efficace engagée annuelle (mSv)								
Adulte	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,35	0,32	1,24
Nourrisson	0,35	0,35	0,24	0,26				



Les sources de rayonnements ionisants sont considérées comme naturelles dans la mesure où l'exposition qui en résulte n'est pas augmentée de manière significative par l'Homme.

UNSCEAR

(Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation)