

LA RADIOACTIVITE NATURELLE RENFORCEE

CAS DE LA MESURE DU RADON

Sylvain BERNHARD - Marion DESRAY

- ALGADE -

Membre de l'**UPRAD**, Union Nationale des Professionnels du Radon

LES EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES LIEES A LA RADIOACTIVITE NATURELLE

DIRECTIVE EUROPEENNE 96/29 EURATOM

Le **titre VII** de la directive présente les dispositions à prendre pour la protection sanitaire de la population et des travailleurs dans le cas de l'augmentation notable de l'exposition due aux sources naturelles de rayonnement.

Transposition du Titre VII de la Directive 96/29/Euratom dans la réglementation française

Article L1333-10 du code de la santé publique
 Article R1333-13 du code de la santé publique
 Articles R4457-1 à 5 du code du travail

Activités professionnelles mettant en œuvre des matières premières contenant naturellement des radionucléides non utilisés en raison de leurs propriétés radioactives (NORM : Naturally Occuring Radioactive Material)

Arrêté d'application du 25 mai 2005
 (Ministère chargé de la santé)

- 10 activités professionnelles concernées
- Estimation des doses "Travailleurs" et des doses "Population"
- Comparaison dose efficace / 1 mSv

Article R1333-15 du code de la santé publique
 Article R4457-6 à 9 du code du travail

Activités professionnelles où, en raison de la situation de leurs lieux de travail, les travailleurs sont exposés au radon 222 et à ses descendants

Arrêté d'application du 7 août 2008
 (Ministère du travail)

- 31 départements prioritaires
- Lieux souterrains de 7 activités ou catégories d'activités professionnelles
- Etablissements thermaux
- Mesures d'activité volumique du radon 222 aux postes de travail au moins tous les 5 ans
- Comparaison résultats / niveaux d'actions 400 Bq.m⁻³ ou 1000 Bq.m⁻³

Les 10 activités professionnelles concernées par l'arrêté du 25 mai 2005 mettant en œuvre des matières premières contenant des radionucléides non utilisés en raison de leurs propriétés radioactives

1. La combustion de charbon en centrales thermiques
2. Le traitement des minerais d'étain, d'aluminium, de cuivre, de titane, de niobium, de bismuth et de thorium
3. La production de céramiques réfractaires et les activités de verrerie, fonderie, sidérurgie et métallurgie en mettant en œuvre
4. La production ou l'utilisation de composés comprenant du thorium
5. La production de zircon et de baddaleyite, et les activités de fonderie et de métallurgie en mettant en œuvre
6. La production d'engrais phosphatés et la fabrication d'acide phosphorique
7. Le traitement du dioxyde de titane
8. Le traitement des terres rares et la production de pigments en contenant
9. Le traitement d'eau souterraine par filtration destinée à la production
 - d'eaux destinées à la consommation humaine
 - d'eaux minérales
10. Les établissements thermaux

Les activités ou catégories d'activités professionnelles concernées par l'arrêté du 7 août 2008 relatif à la gestion du risque lié au radon dans les lieux de travail

→ Exercées au moins 1 heure par jour dans des lieux souterrains

1. Entretien et surveillance de voies de circulation, d'aires de stationnement
2. Entretien, conduite et surveillance de matériels roulants ou de véhicules
3. Manutention et approvisionnement de marchandises ou de matériels
4. Activités hôtelières et de restauration
5. Entretien et organisation de visite de lieux à vocation touristique, culturelle ou scientifique
6. Maintenance d'ouvrage de bâtiment et de génie civil ainsi que leurs équipements
7. Activités professionnelles exercées dans les établissements publics visés à l'article R1333-15 du code de la santé :
 - établissements d'enseignement
 - établissements sanitaires et sociaux
 - établissements thermaux
 - établissements pénitentiaires

→ Exercées au moins 1 heure par jour dans les établissements thermaux

LES EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES LIEES A LA RADIOACTIVITE NATURELLE Code de la santé publique – Code du travail



Décisions de l'ASN

Décision n° 2008-DC-0110: Gestion du risque lié au radon dans les lieux souterrains

↪ niveaux d'action : 400 Bq.m⁻³ et 1000 Bq.m⁻³

Décision n° 2009-DC-0134 : Critères d'agrément des organismes habilités à faire des

mesures de l'activité volumique du radon

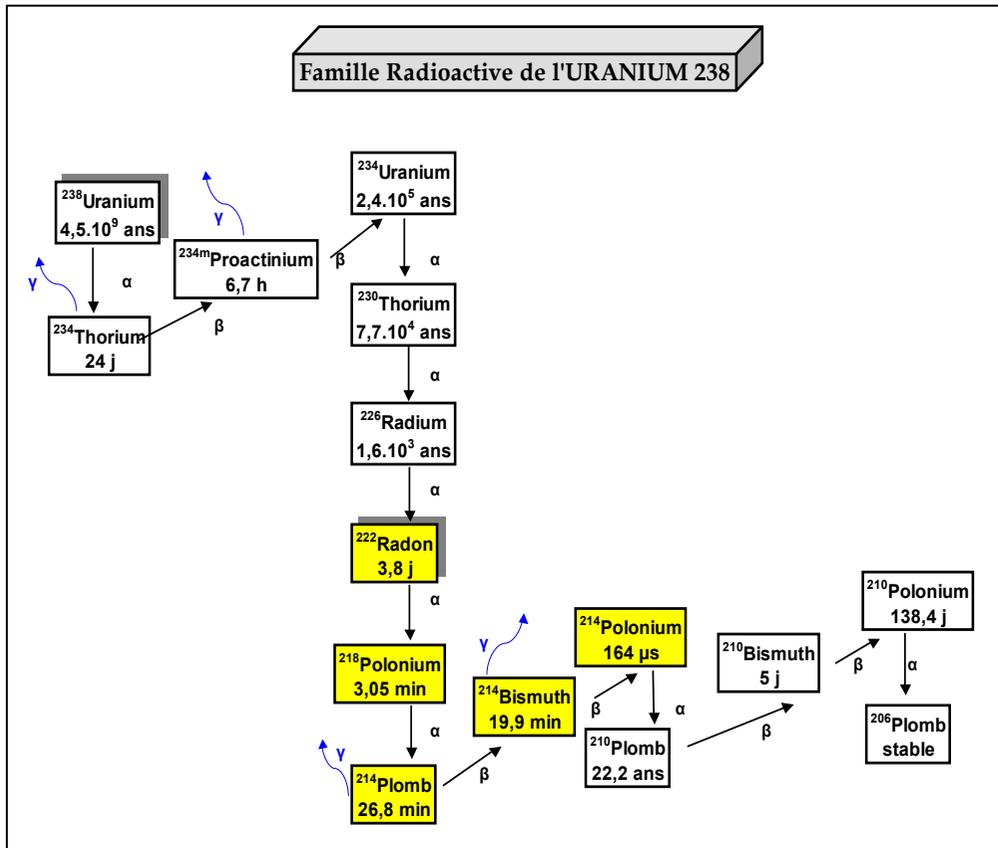
↪ 3 niveaux d'agrément : N1 option A ; N1 option B ; N2

Décision n° 2009-DC-0135 : Méthodologie de mesure de l'activité volumique du radon

↪ normes NF M60-761 et suivantes ; norme NF M60-771

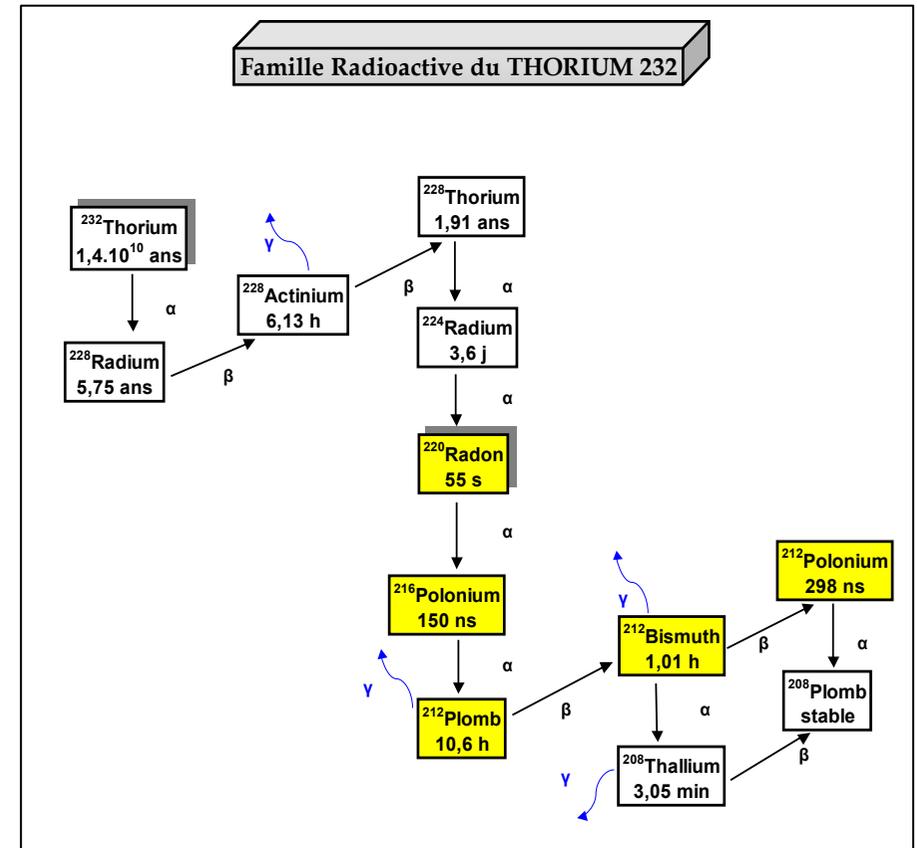
↪ guides IRSN

LES RADIONUCLÉIDES NATURELS



$^{222}_{86}\text{Rn}$

Période : 3,8 jours
 Emission alpha : 4,8 MeV
 1 Bq : 476 190 atomes



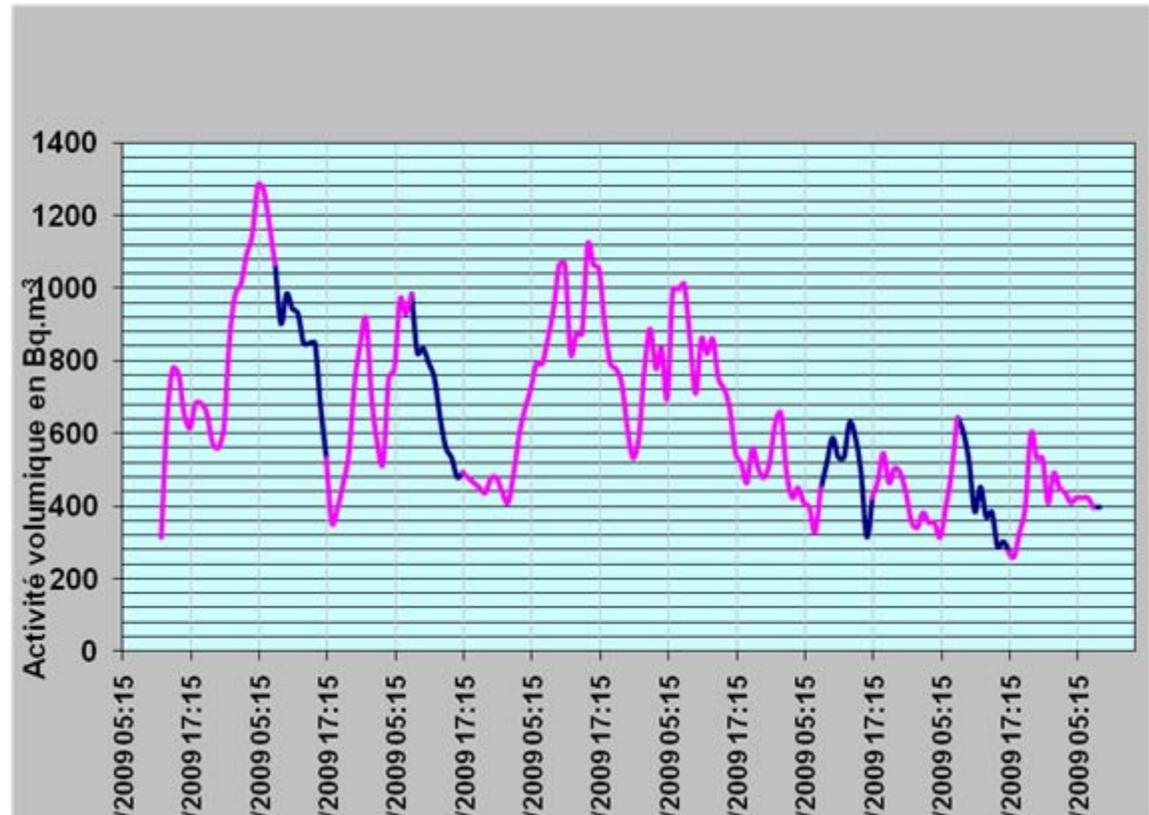
$^{220}_{86}\text{Rn}$

Période : 55,6 s
 Emission alpha : 5,7 MeV
 1 Bq : 80 atomes

Problématique associée à la mesure du radon

Grande variabilité
 de l'activité volumique
 dans l'espace et dans le temps

liée

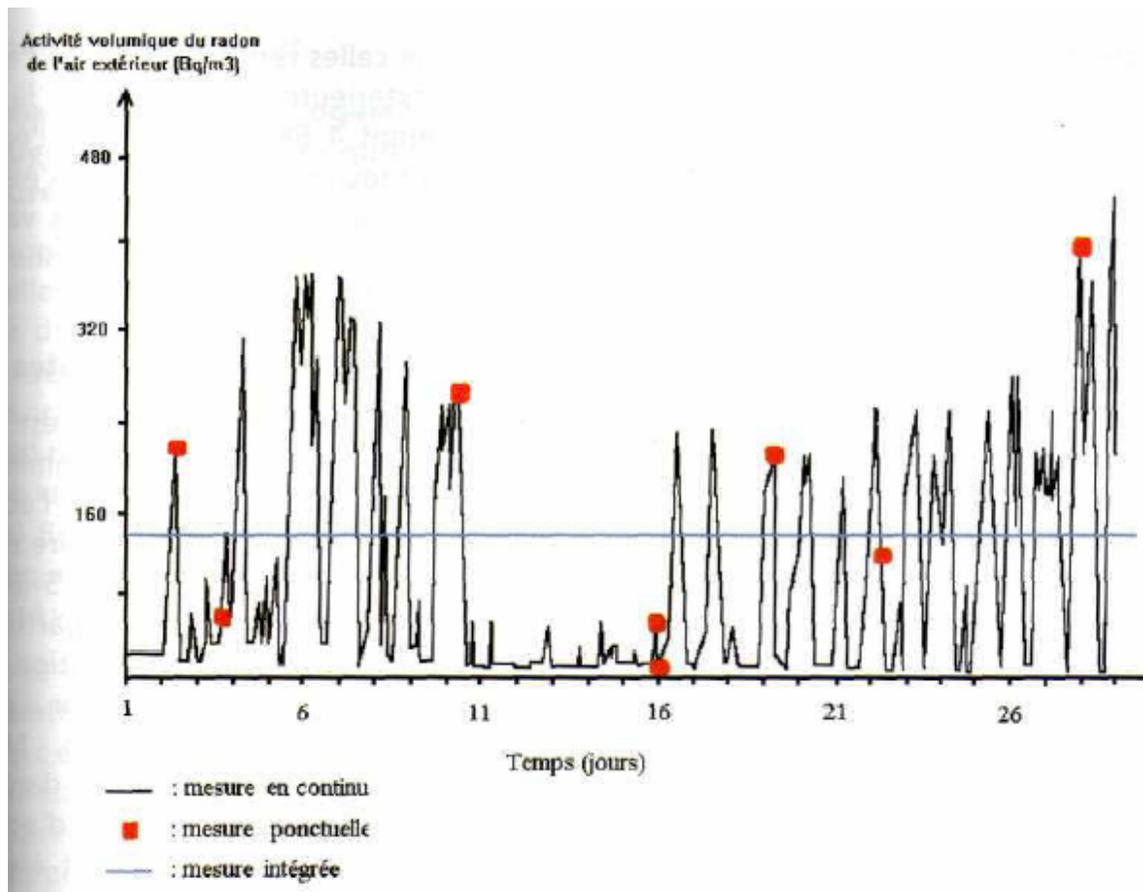


- au contexte local : géologie ; nature du sol ; climat ; topographie, météorologie
- au contexte constructif des installations : interface sol/bâtiment ; isolation ; ventilation
- au mode de vie des occupants : ouverture des portes et fenêtres ; temps de séjour ; chauffage

Mesure du radon dans les lieux de travail

Type de mesures

Objectifs



1^{ère} phase : Dépistage

2^e phase : Recherche et caractérisation des sources

3^e phase : Suivi dosimétrique des travailleurs

- Mesure du radon -

1^{ère} phase : DEPISTAGE

Objectif Savoir si tout ou partie du lieu est concerné par un dépassement de l'un des niveaux d'action afin d'entreprendre, s'il le faut, des actions de remédiation.

Mesure • Réaliser des mesures intégrées de l'activité volumique du radon 222 conformes à la norme NF M60-766, représentatives d'activités volumiques moyennes annuelles.

- Méthodologie conforme ou adaptée à la norme NF M60-771 et aux guides IRSN.
- Par organisme agréé de niveau N1 option A ou N1 option B
 N₁A : pour les bâtiments et établissements thermaux
 N₁B : pour les cavités et ouvrages souterrains

- Mesure du radon -

1^{ère} phase : DEPISTAGE - Méthodologie

Choix de l'implantation des dosimètres

- Détermination des zones homogènes
- 1 dosimètre au moins par zone homogène de 200 m²
 2 dosimètres au moins par bâtiment
- Pose du dosimètre dans une pièce occupée au moins 1 heure/jour
- **Pose** → Entre le 15 septembre de l'année n et le 30 avril de l'année n + 1
 ou à une période adaptée dans le cas d'activités professionnelles saisonnières
 → Entre 1m et 2m du sol, avec un espace libre d'au moins 20 cm autour du dosimètre, en sécurité, loin de toute source de chaleur
- **Dépose** → Après un minimum de 2 mois d'exposition
 → Envoi des dosimètres au laboratoire pour traitement

- Mesure du radon -

1^{ère} phase : DEPISTAGE

Mesure intégrée sur 2 mois minimum avec un **dosimètre passif**

Détecteur à
électret



ou

Détecteur Solide de Traces Nucléaires
DSTN



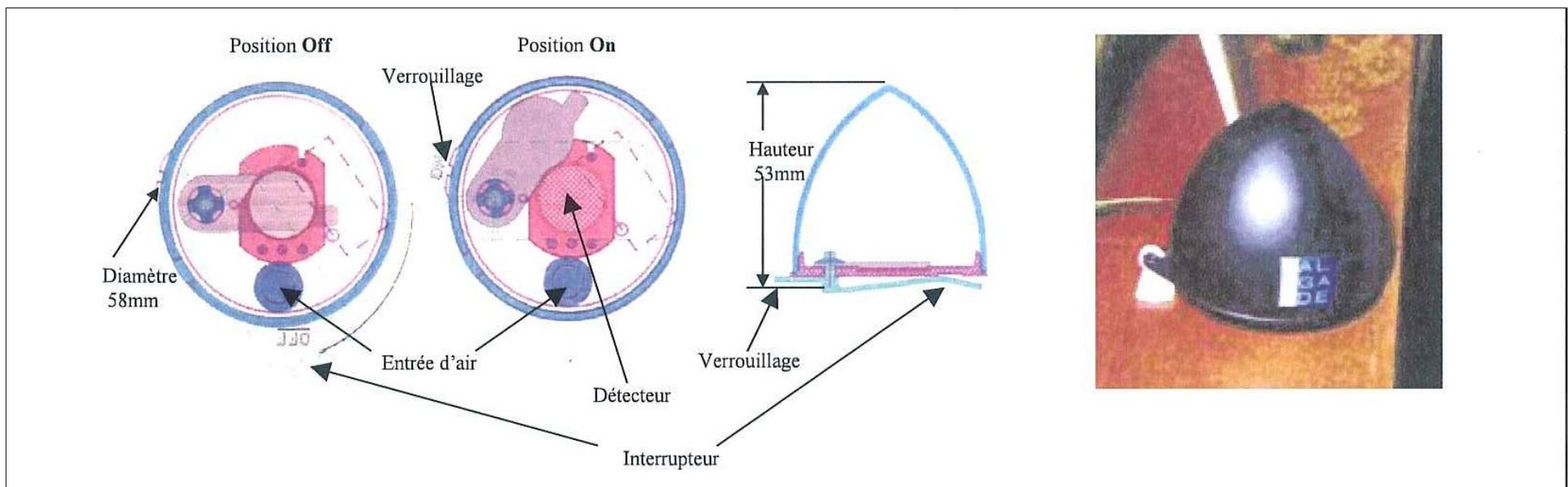
- Mesure du radon -

1^{ère} phase : DEPISTAGE

Dosimètre DPR2 d'ALGADE

Détecteur DSTN : nitrate de cellulose LR 115

Dosimètre fermé



Analyse au laboratoire du nombre de traces dues aux rayonnements alpha révélées sur le nitrate de cellulose

- Mesure du radon -

1^{ère} phase : DEPISTAGE – Analyse des détecteurs

Cas des Détecteurs Solides de Traces Nucléaires DSTN



Développement dans un bain de soude

Lecture du nombre de traces

Résultat exprimé en Bq.m⁻³

- Mesure du radon -

1^{ère} phase : DEPISTAGE – Exploitation des résultats

Résultats du laboratoire en Bq.m⁻³

Calcul de l'activité volumique moyenne "A_{Rn}" par zone homogène

Comparaison aux niveaux d'action

A_{Rn} < 400 Bq.m⁻³

Mesure tous les 5 ans

A_{Rn} > 400 Bq.m⁻³

L'employeur met en œuvre les actions techniques et organisationnelles pour réduire l'exposition des travailleurs aussi bas que raisonnablement possible

400 Bq.m⁻³ < A_{Rn} < 1000 Bq.m⁻³

Mesure tous les ans

A_{Rn} > 1000 Bq.m⁻³

L'employeur est soumis aux dispositions des chapitres I à VI du code du travail

Suivi dosimétrique

- Mesure du radon -

2e phase : RECHERCHE ET CARACTERISATION DES SOURCES ET VOIES DE TRANSFERT

Plusieurs types de mesures pour aider à la mise en œuvre des actions nécessaires pour réduire l'exposition des travailleurs

Mesures ponctuelles de l'activité volumique du radon 222 (norme NF M60-769)

Mesures en continu de l'activité volumique du radon 222 (norme NF M60-767)

Mesures du flux d'exhalation surfacique du radon 222 (norme NF M60-768)

Rn

Mesures ponctuelles des descendants à vie courte du radon 222 (norme NF M60-765)

Mesures du radon 222 dans l'eau (norme NF M60-761)

- Mesure du radon -

2e phase : RECHERCHE ET CARACTERISATION DES SOURCES ET VOIES DE TRANSFERT

MESURES PONCTUELLES

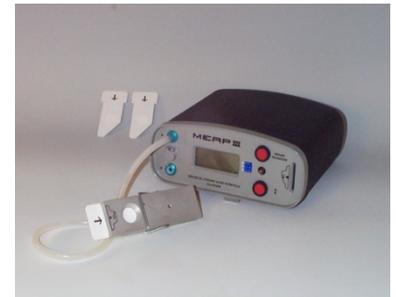
—————> Cartographie – Recherche des sources - Prévention

Activité volumique du radon 222 • Energie alpha potentielle volumique des descendants à vie courte du radon



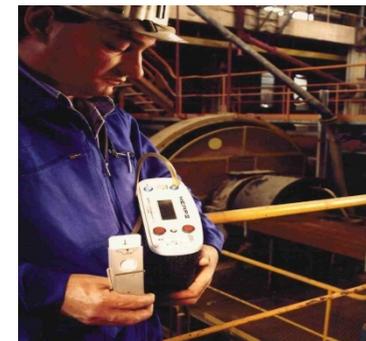
- Fioles scintillantes avec sulfure de zinc
- Ensemble de rinçage et mesure sous vide
- Compteur alpha
- Détecteurs par scintillation
- **Résultat en Bq.m⁻³**

- Prélèvement sur filtre
- Comptage de l'activité sur le filtre
- **Résultat en μJ.m⁻³**



Facteur d'équilibre du Radon 222

$$FE = \frac{EAP(\mu J.m^{-3})}{C_{Rn222}(Bq.m^{-3})} \times 178$$



Pour 1 Bq de radon 222 à l'équilibre, on a EAP Rn222 = 5,6.10⁻³ μJ.m⁻³

- **Mesure du radon** -

2^e phase : RECHERCHE ET CARACTERISATION DES SOURCES ET VOIES DE TRANSFERT

MESURES EN CONTINU



- Cartographie
- Suivi des évolutions dans le temps
- Suivi des régimes de ventilation
- Prévention des risques (alarme)

A l'intérieur des locaux

Dans l'ambiance



chambre d'ionisation



Emissions alpha enregistrées par
 détecteurs silicium



Porté par les agents



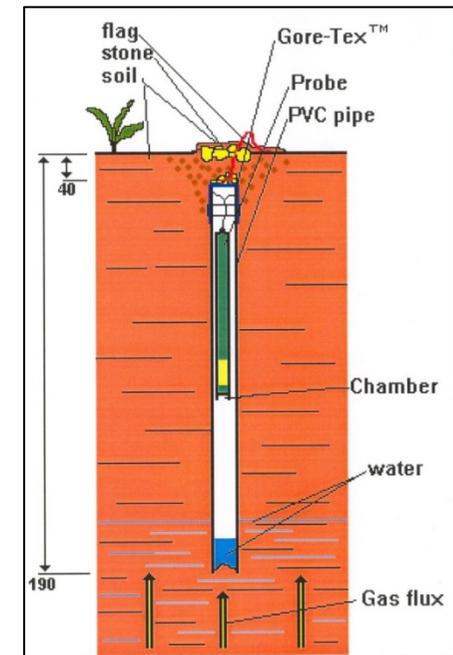
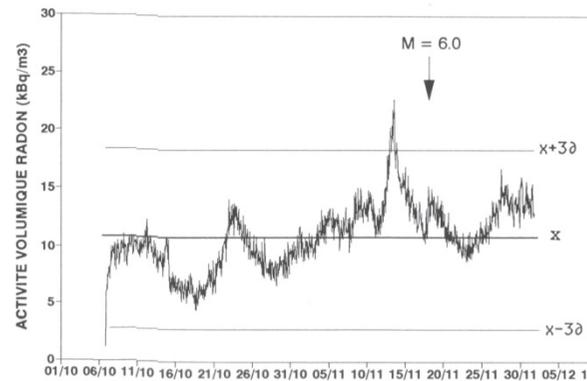
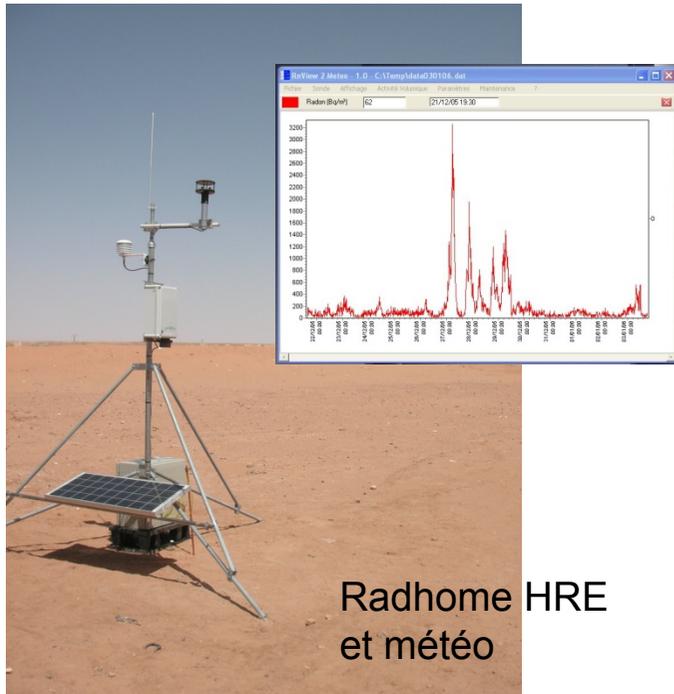
- **Mesure du radon** -

2^e phase : RECHERCHE ET CARACTERISATION DES SOURCES ET VOIES DE TRANSFERT

MESURES EN CONTINU

Cartographie
 Suivi des évolutions dans le temps
 Suivi des régimes de ventilation
 Prévention des risques (alarme)

A l'extérieur des installations



Dans les sols

- Mesure du radon -

2^e phase : RECHERCHE ET CARACTERISATION DES SOURCES ET VOIES DE TRANSFERT

Estimation des flux surfaciques d'exhalation du radon 222

Méthode d'accumulation du radon selon la norme NF M 60 -768



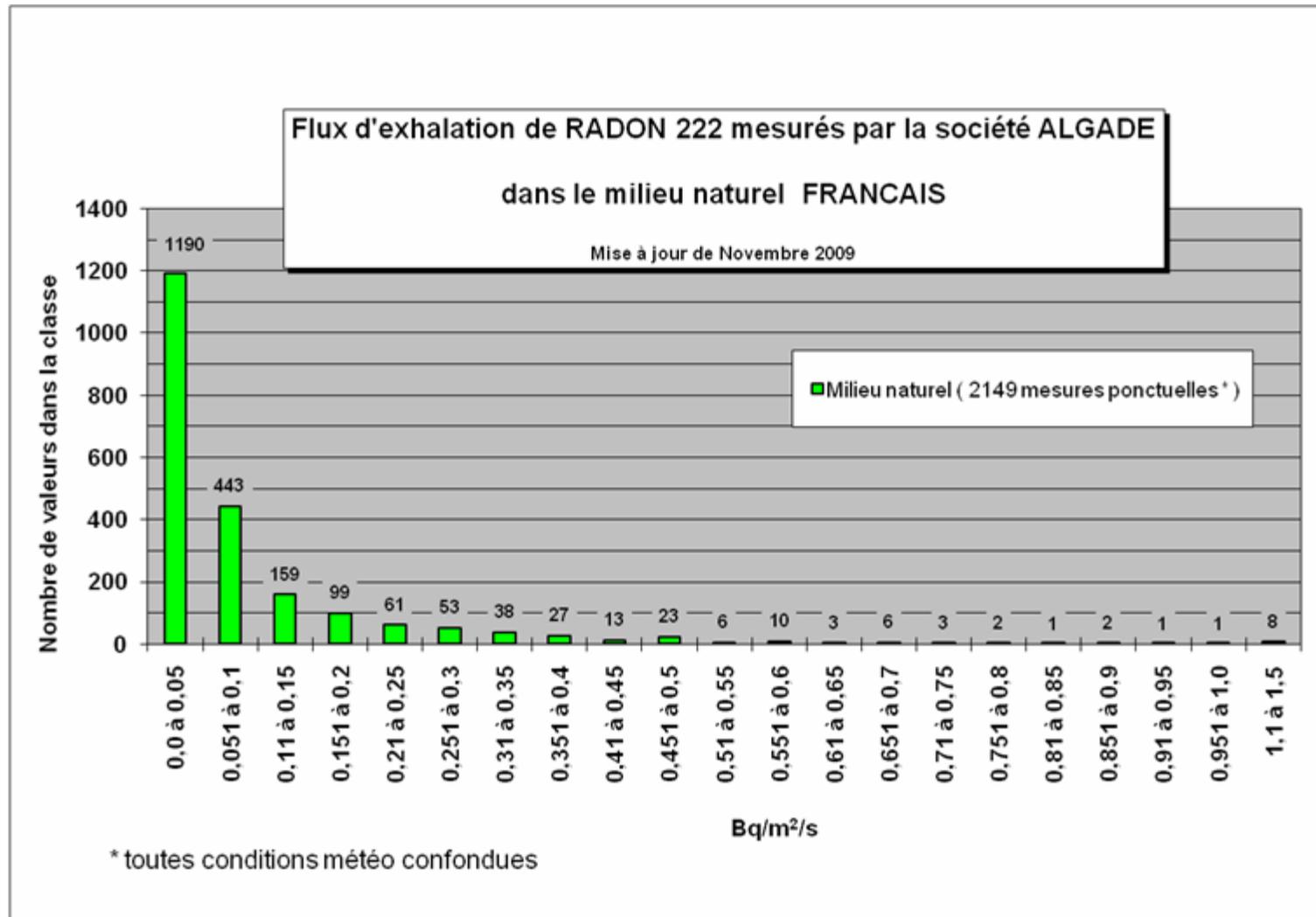
Volumes d'accumulation pour
 mesures ponctuelles ou en
 continu du ²²²Rn



Résultats en Bq.m⁻².s⁻¹

- Mesure du radon -

2e phase : RECHERCHE ET CARACTERISATION DES SOURCES ET VOIES DE TRANSFERT



- Mesure du radon -

3e phase : SUIVI DOSIMETRIQUE DES TRAVAILLEURS

EXPOSITION INTERNE



**INHALATION DU GAZ RADON
 ET SES PRODUITS DE FILIATION**

Irradiation de l'épithélium bronchique due aux descendants à vie courte du radon

Émetteurs alpha

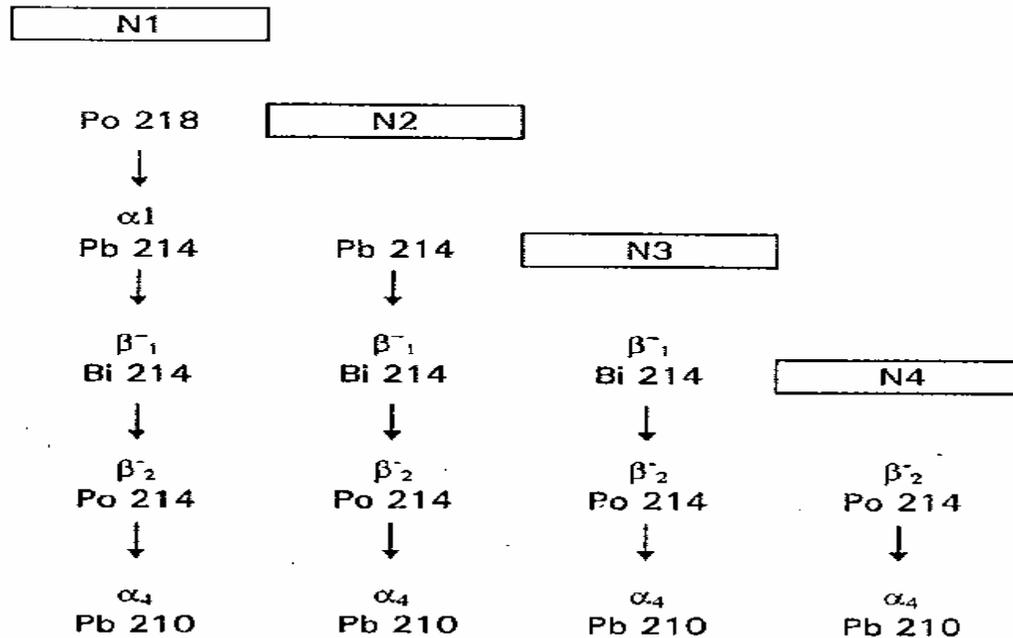
Energie des émetteurs alpha suffisante pour induire des cassures au niveau de l'ADN

Risque de cancer pulmonaire

Indicateur: Energie alpha potentielle des descendants à vie courte du radon

EAP Rn222 ou EAP Rn220

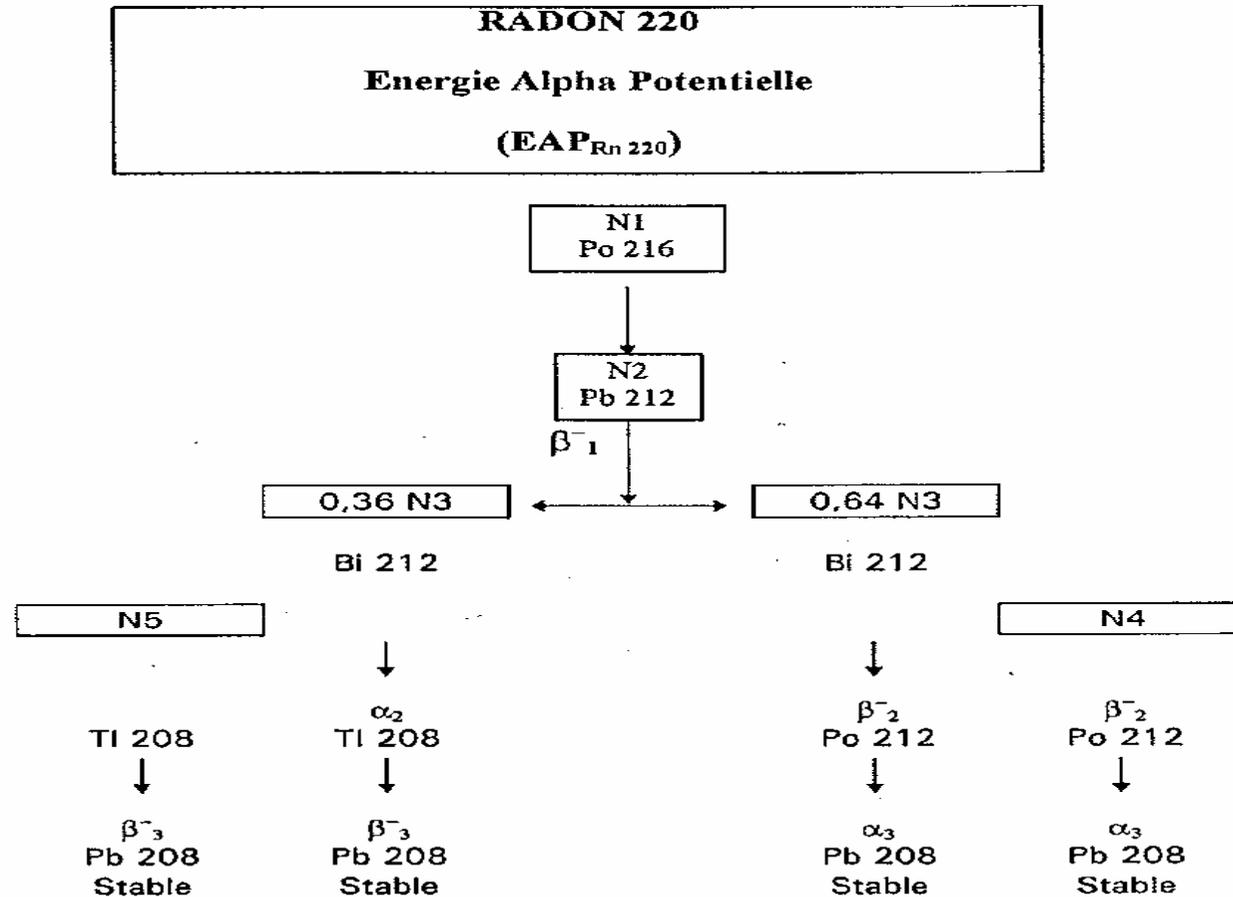
RADON 222
Energie Alpha Potentielle
(EAP_{Rn 222})



N1, N2, N3, N4, respectivement nombre d'atomes de Po 218, Pb 214, Bi 214, Po 214, sont les nombres d'atomes dans l'air qui sont inhalés ou prélevés sur un filtre. N4 est négligeable devant N3.

$$EAP = N1 (\alpha_1 + \alpha_4) + N2 \alpha_4 + N3 \alpha_4$$

avec $\alpha_1 = 6 \text{ MeV}$, $\alpha_4 = 7,7 \text{ MeV}$, $1 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$.



N1, N2, N3, N4, N5 respectivement nombre d'atomes de Po 216, Pb 212, Bi 212, Po 212, Tl 208, sont les nombres d'atomes dans l'air qui est inhalé ou prélevé sur un filtre.

N4 est négligeable devant N2. N3, le thallium 208 ne contient pas d'énergie alpha potentielle.

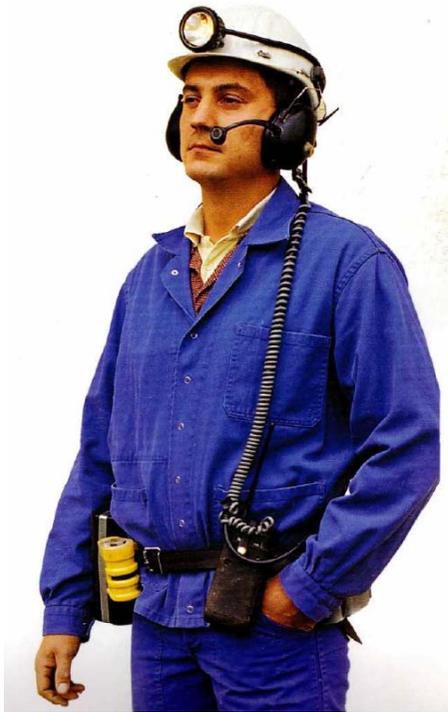
$$EAP = (\alpha_1 + 0,36 \alpha_2 + 0,64 \alpha_3) N1 + (0,36 \alpha_2 + 0,64 \alpha_3) N2 + (0,36 \alpha_2 + 0,64 \alpha_3) N3$$

avec $\alpha_1 = 6,8 \text{ MeV}$, $\alpha_2 = 6,1 \text{ MeV}$, $\alpha_3 = 8,8 \text{ MeV}$, $1 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$.

- **Mesure du radon** -

3e phase : SUIVI DOSIMETRIQUE DES TRAVAILLEURS

Utilisation du dosimètre alpha individuel porté par les agents

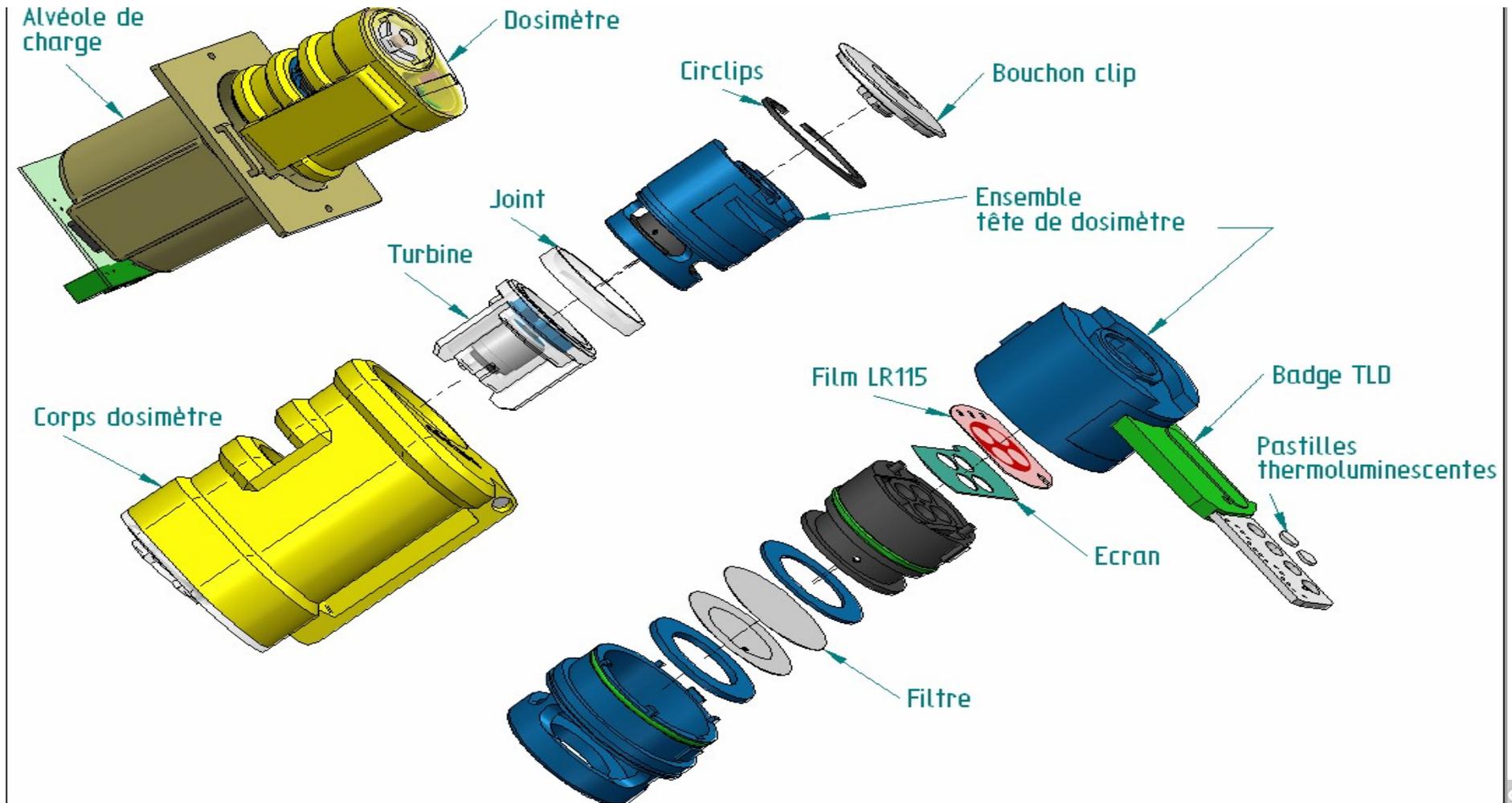


Mesure intégrée mensuelle ou trimestrielle

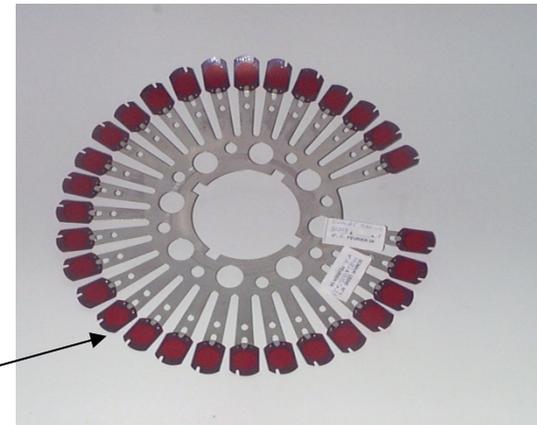
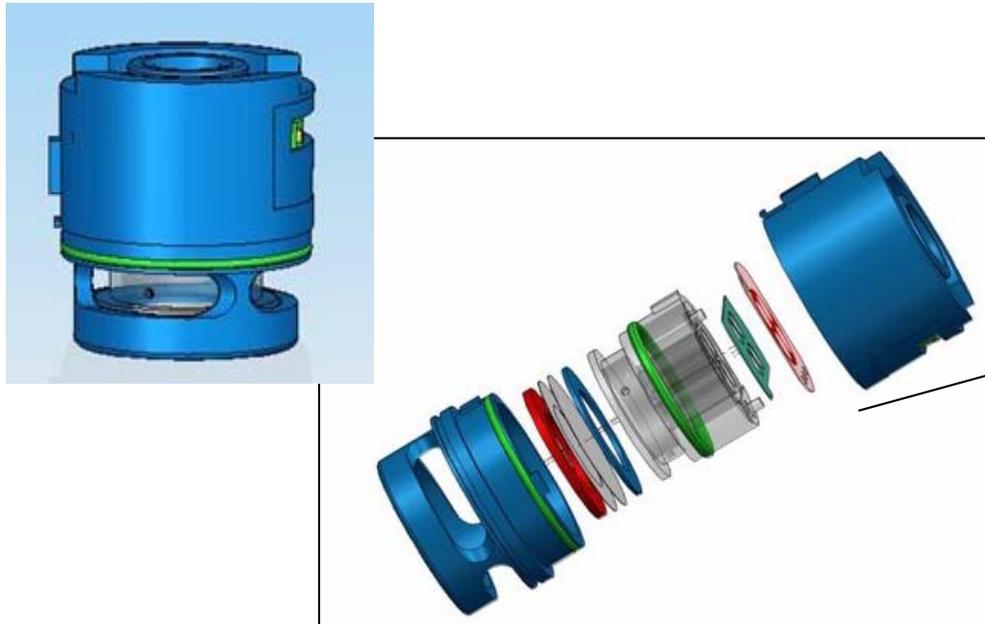
- Mesure du radon -

3e phase : SUIVI DOSIMETRIQUE DES TRAVAILLEURS

Le dosimètre alpha individuel d'ALGADE



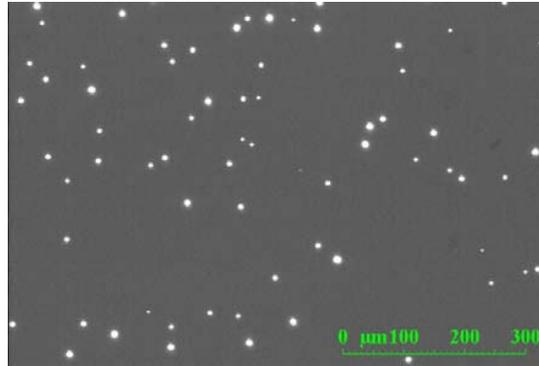
TRAITEMENT DES FILMS LR115 (1)



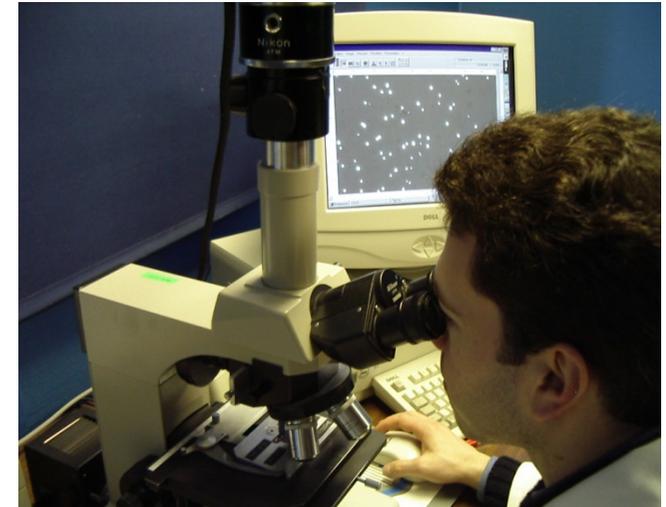
- Réception
- Conditionnement
- Développement

TRAITEMENT DES FILMS LR115 (2)

- Traces obtenues



- Lecture automatique sur 4 plages de mesure
 Po218, Po214, Po212, Rn222



Résultats exprimés en :

- Exposition individuelle : $\text{mJ.m}^{-3}.\text{h}$
 - Concentration en $\mu\text{J.m}^{-3}$ en fonction du temps de port
- 1 WL = $20.8 \mu\text{J.m}^{-3}$ 1 WLM = $3.56 \text{mJ.m}^{-3}.\text{h}$

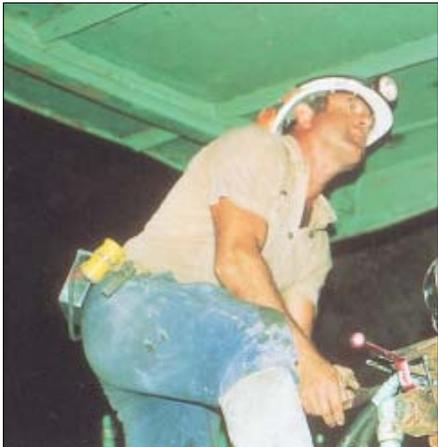
- Mesure du radon -

3e phase : SUIVI DOSIMETRIQUE DES TRAVAILLEURS

- Dosimètre alpha individuel agréé :

Par **décision DEP-DIS-n°0031-2009** du **26 janvier 2009** de l'**ASN**, ALGADE est agréé pour la surveillance de l'exposition interne des travailleurs exposés aux radionucléides naturels des chaînes de l'uranium et du thorium avec le dosimètre alpha individuel jusqu'au 31/01/2012

- Dosimètre alpha individuel utilisé depuis 1983 dans les mines d'uranium :



ce,

au Niger,
 au Gabon,
 en Namibie



..... et également au Canada, en Allemagne, en Tchéquie

- Mesure du radon -

3e phase : SUIVI DOSIMETRIQUE DES TRAVAILLEURS

EVALUATION DES DOSES

Evaluation de l'exposition interne due à l'inhalation des descendants à vie courte des isotopes 222 et 220 du radon



Mesures avec dosimètres alpha individuels

- Mesures intégrées mensuelles ou trimestrielles
- Résultats en $\text{mJ.m}^{-3}.\text{h}$



Calcul de la dose efficace en mSv
avec facteurs de conversion conventionnels $\text{mSv/mJ.m}^{-3}.\text{h}$

CALCUL DES DOSES EFFICACES RESULTANT DES EXPOSITIONS INTERNES

Descendants à vie courte du radon

	<u>Travailleurs</u>	<u>Population</u>
Radon 222	1,4 mSv/mJ.m⁻³.h ou 17 mJ \equiv 20 mSv (débit d'inhalation : 1,2 m ³ .h ⁻¹)	1,1 mSv/mJ.m⁻³.h ou 0,7 mJ \equiv 1 mSv (débit d'inhalation : 0,8 m ³ .h)
Radon 220	0,5 mSv/mJ.m⁻³.h ou 48 mJ \equiv 20 mSv (débit d'inhalation : 1,2 m ³ .h)	

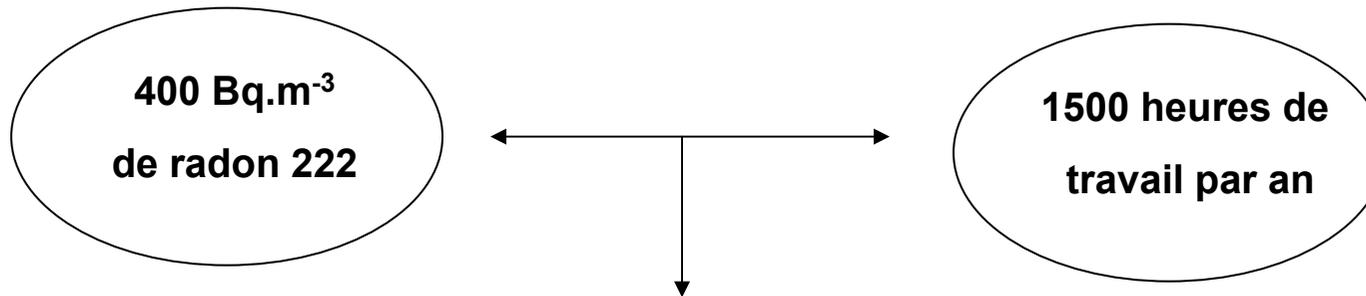
Référence : Directive 96/29/Euratom, Annexe III
 Recommandation n° 65 de la CIPR (septembre 1993)
 Arrêté du 1^{er} septembre 2003 (Ministère de la Santé), Annexe III

- Mesure du radon -

Contrôle des lieux de travail souterrains

Efficacité de la ventilation ?

Facteur d'équilibre radioactif F.E. du radon avec ses descendants ?



DOSE EFFICACE

Très bonne ventilation	: 0,2 mSv
Bonne ventilation	: 1,0 mSv
Mauvaise ventilation	: 2,4 mSv
Très mauvaise ventilation	: 3,8 mSv

- Mesure du radon -

3e phase : SUIVI DOSIMETRIQUE DES TRAVAILLEURS

Limite de dose efficace pour 12 mois consécutifs

- 20 mSv pour les travailleurs exposés
- 1 mSv pour les travailleurs non exposés

Dans le cas d'une **exposition interne liée au radon 222 et ses descendants**, ces valeurs limites annuelles sont atteintes pour un temps d'exposition de **1500 heures**, dans des lieux où l'énergie alpha volumique des descendants du radon 222 est égale à :

• **0,5 $\mu\text{J}\cdot\text{m}^{-3}$ pour 1 mSv**

↓
Bonne ventilation
(F.E. = 0,2)

$$C_{\text{Rn222}} = 445 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$$

↓
Mauvaise ventilation
(F.E. = 0,6)

$$C_{\text{Rn222}} = 148 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$$

• **9,5 $\mu\text{J}\cdot\text{m}^{-3}$ pour 20 mSv**

↓
Bonne ventilation
(F.E. = 0,2)

$$C_{\text{Rn222}} = 6455 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$$

↓
Mauvaise ventilation
(F.E. = 0,6)

$$C_{\text{Rn222}} = 2818 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$$

CONCLUSIONS : De nouvelles échéances pour la mesure du Radon :

→ De nouvelles zones géographiques ?



→ De nouvelles activités industrielles concernées ?

→ Des mesures dans certaines catégories d'immeubles bâtis ?
 Application de l'article 103 de la loi HPST du 21/07/09



→ De nouvelles estimations du risque Radon 222 issues de l'épidémiologie du risque de cancer ?

Pour une exposition de $1 \text{ mJ.m}^{-3}.\text{h}$

→ CIPR 65 : 1,4 mSv

→ CIPR 103 $\approx 3 \text{ mSv} ??$



Jumbo de foration.
 © SML

..... JE VOUS REMERCIE DE VOTRE ATTENTION