RADIOPROTECTION ET NATUREL RENFORCE

Sylvain BERNHARD

- A L G A D E -

Les expositions professionnelles liées à la radioactivité naturelle

Le contexte réglementaire

Titre VII de la Directive 96/29/Euratom du 13 mai 1996

Article R1333-13 du code de la santé publique
Article R231-114 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" avant mai 2007

Article R1333-15 du code de la santé publique
Article R231-114 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 en projet

- Lieux souterrains
- Mesures d'activité volumique du radon 222 aux postes de travail
- Evaluation des doses si nécessaire

Les 10 activités professionnelles concernées par l'arrêté du 25 mai 2005

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**

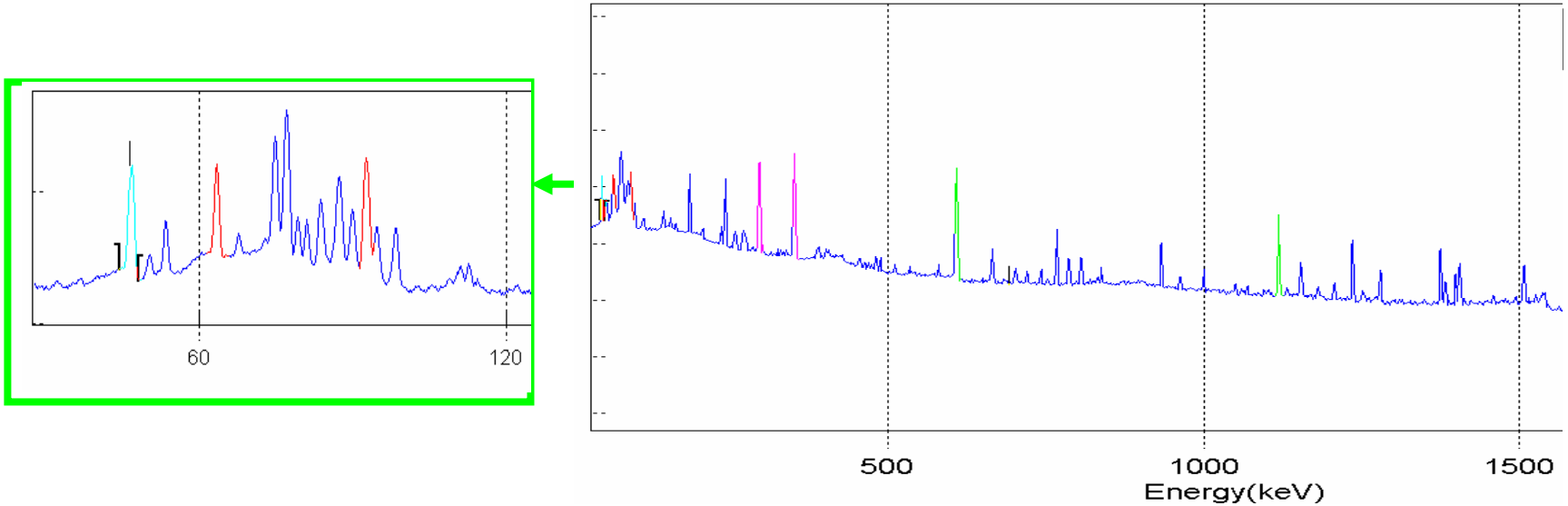
Détection de la présence de radionucléides dans les matières utilisées

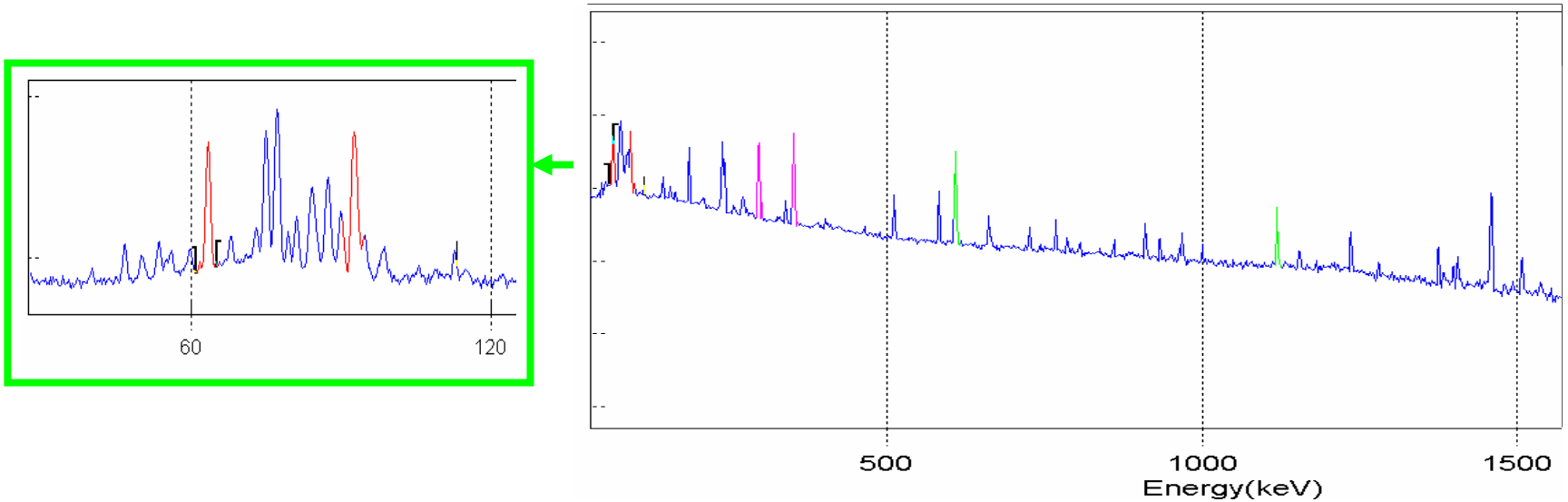
↓

Caractérisation radiologique
(Matières premières, produits finis, déchets)

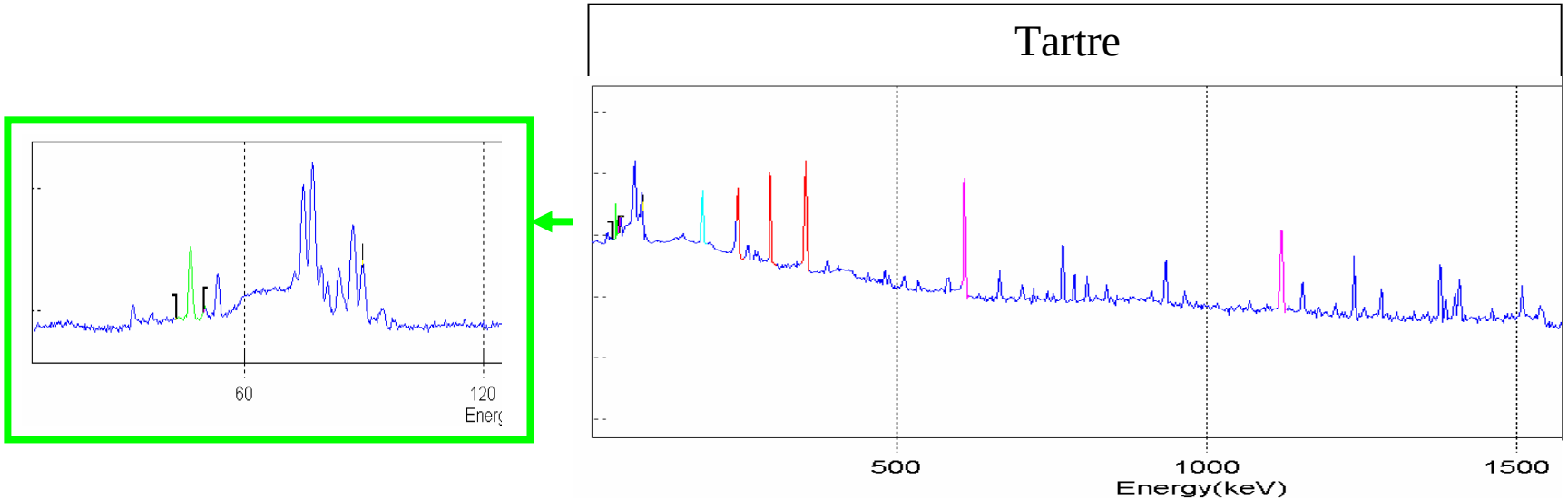
- **Analyse par spectrométrie gamma**
- **Qualification des radionucléides :**
  - ⇨ **chaînes de l'uranium 238 et 235**
  - ⇨ **chaîne du thorium 232**
  - ⇨ **potassium 40**
- **Quantification : activité massique en becquerels par gramme ($Bq.g^{-1}$)**

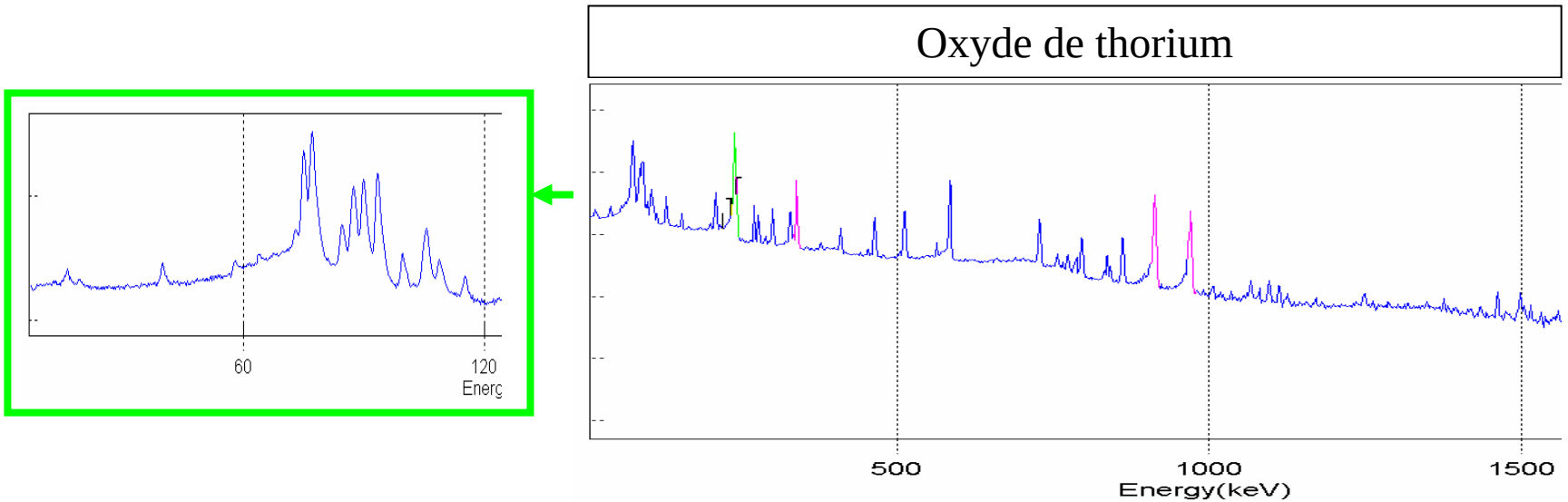
Exemple de spectre d'analyse





Exemple de spectre d'analyse

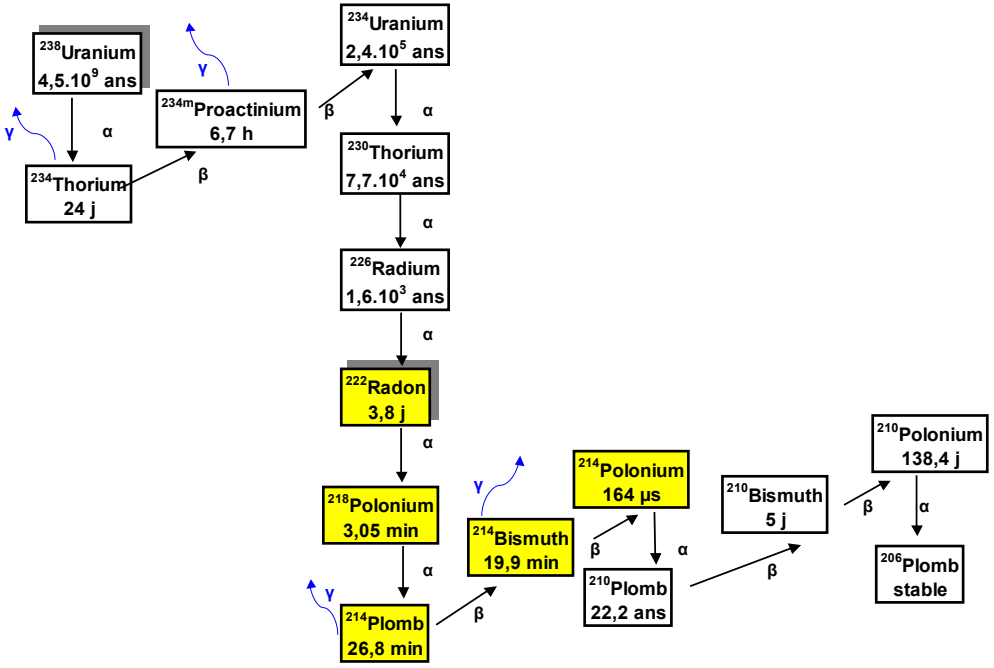




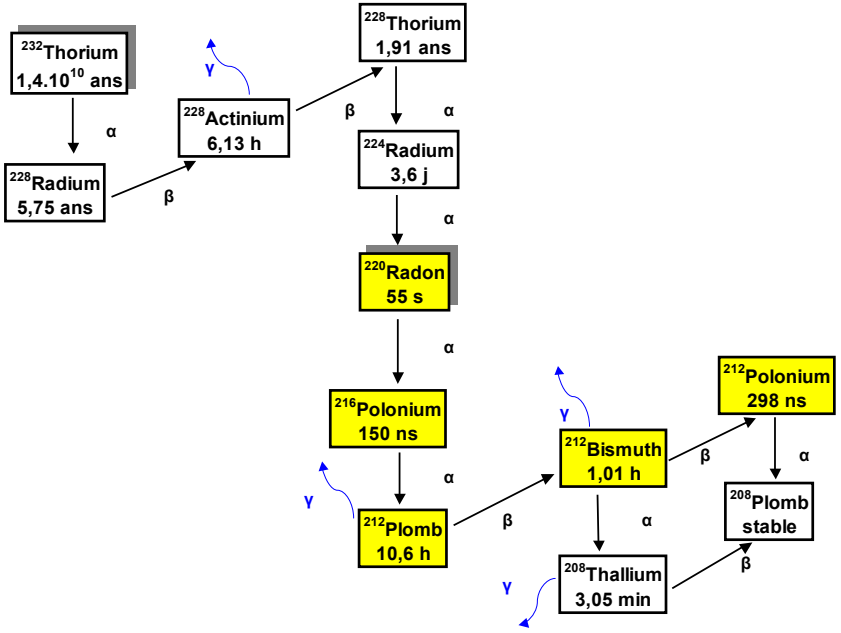
Exemples d'activités massiques mesurées par ALGADE dans des industries en France

Produit	Industrie	Activité massique en Bq.g^{-1} de matière sèche				
		Famille de l'uranium 238			Famille du thorium 232	
		U238	Ra226	Pb210	Th232	Ra228
Matières premières						
Sable de zircon	Réfractaires, Abrasifs, fonderies...	1 à 5	1 à 5	1 à 5	0,1 à 1	0,1 à 1
Phosphate	Engrais	1,6	1,6	1,6	< 0,1	< 0,1
Monazite	Terres rares	30	30	30	240	240
Ilmenite	Dioxyde de titane	< 0,1	< 0,1	< 0,10	0,10	0,10
Mélange minerais	Métallurgie	0,5	0,5	0,5	3	3
Produits finis						
Superphosphates	Engrais	2,7	0,35	0,60	< 0,1	< 0,1
Manchons d'éclairage		-	-	-	342	342
Billes	Abrasifs	3	3	0,6	0,8	0,8
Fibres céramiques	Réfractaires	0,6	0,6	0,6	0,13	0,16
Déchets						
Tartres tuyauteries	Engrais	< 1	1600	400	< 0,1	< 0,1
Toiles de filtres	Engrais	4	238	25	< 0,6	< 0,6
Phosphogypses	Engrais	0,10	1	1	< 0,1	< 0,1
Tartres tuyauteries	Dioxyde de titane	10	250	38	500	540
Fines de dépoussiéreurs	Réfractaires	< 0,5	< 0,5	138	< 0,1	< 0,1
Résidus traitement bauxite	Métallurgie	0,2	0,2	0,1	0,34	0,39
Résidus fabrication	Réfractaires	3	3	3	0,9	0,9
Résidus fabrication	Terres rares	4	200	200	20	200
Résidus fabrication	Métallurgie	80	66	66	12	12
Résidus	Traitement d'eaux	< 1	43	2	17	48

Famille Radioactive de l'URANIUM 238



Famille Radioactive du THORIUM 232



Les principaux risques radiologiques liés aux chaînes de l'uranium et du thorium

Expositions externes

Emetteurs γ des chaînes de l'uranium et du thorium

(Bi214; Pb214 ; Tl208 ; Ac228 ; Pb212...)

Expositions internes

- **Inhalation des émetteurs alpha à vie courte : descendants des isotopes 222 et 220 du radon (Po218, Po214, Po212)**
- **Inhalation des émetteurs alpha à vie longue présents dans les poussières en suspension (U238,U234, Th230, Ra226, Po210, Th228, Ra224)**

1. Connaissance du terme source

⇨ Cartographie et contrôle des ambiances de travail

Mesures ponctuelles, en continu ou intégrées

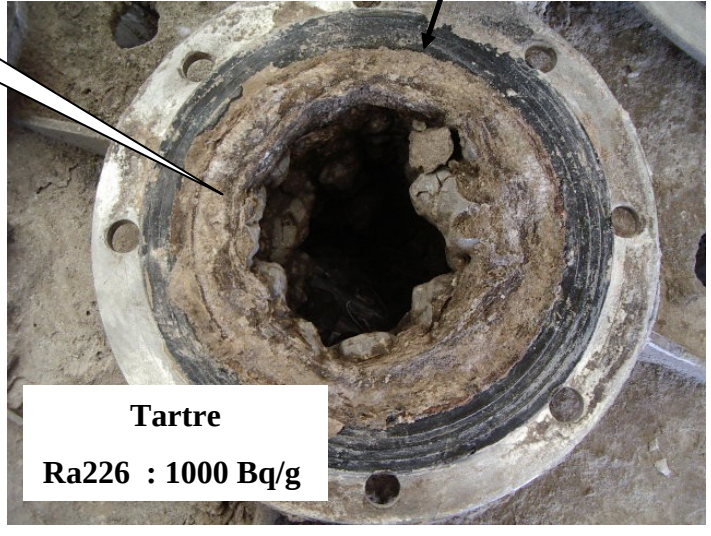
- Débit de dose gamma en $\mu Sv.h^{-1}$
- Concentration en radon en $Bq.m^{-3}$
- Energie alpha potentielle volumique des descendants du radon en $\mu J.m^{-3}$
- Activité volumique des poussières en $Bq.m^{-3}$

⇨ Caractérisation des postes de travail les plus exposés

- Temps d'exposition
- Configurations géographiques
- Conditions physiques (empoussièrement, ventilation…)

Débit de dose 1 µSv/h

Débit de dose 150 µSv/h



2. Les estimations des doses reçues par les travailleurs

Réf. : Arrêté du 1er septembre 2003 : définition des modalités de calcul des doses

➔ **Modélisation** : calculs en fonction de scénarios réalistes d'exposition

- Doses externes : logiciel de calcul type MICROSHIELD
- Doses internes dues à l'inhalation de poussières

$$E_{inhalation} = \sum_i C_i . e . t . d . h_i$$

Avec :

C_i = activité massique des poussières pour le radionucléide i ($Bq.g^{-1}$)

e = empoussièrement en $g.m^{-3}$ d'air

t = temps de présence de l'agent (h)

d = débit d'inhalation de l'agent ($m^3.h^{-1}$)

h_i = dose efficace engagée par unité d'incorporation par inhalation du radionucléide i ($Sv.Bq^{-1}$)

Exemple d'évaluation des doses internes dues à l'inhalation de poussières

Terme source : sable de zircon

	matières premières Sable Zr	facteur de conversion µSv/Bq AMAD 5 µm			'débit d'exposition' µSv/h	
caractéristiques radiologiques	Bq/g m.s.	Fast	Medium	Slow	facteur par défaut	facteur max
U238	3	0.58	1.5	5.7	5.40E-03	2.05E-02
U234	3	0.64	2.1	6.8	7.56E-03	2.45E-02
Th230	2		28	7.2	1.73E-02	6.72E-02
Ra226	2		2.2		5.28E-03	5.28E-03
Pb210	2	1.1			2.64E-03	2.64E-03
Po210	2	0.71	2.2		5.28E-03	5.28E-03
Ac227	0.1	630	150	47	5.64E-03	7.56E-02
Th232	0.7		29	12	1.01E-02	1.01E-02
Ra228	0.9		1.7		1.84E-03	1.84E-03
Th228	0.9		23	32	3.46E-02	3.46E-02
K40	1	3.00E-03			3.60E-06	
				somme	9.56E-02	2.47E-01

Cas d'exposition aux poussières de sable de Zircon / AMAD 5 µm

* *facteur de conversion max*

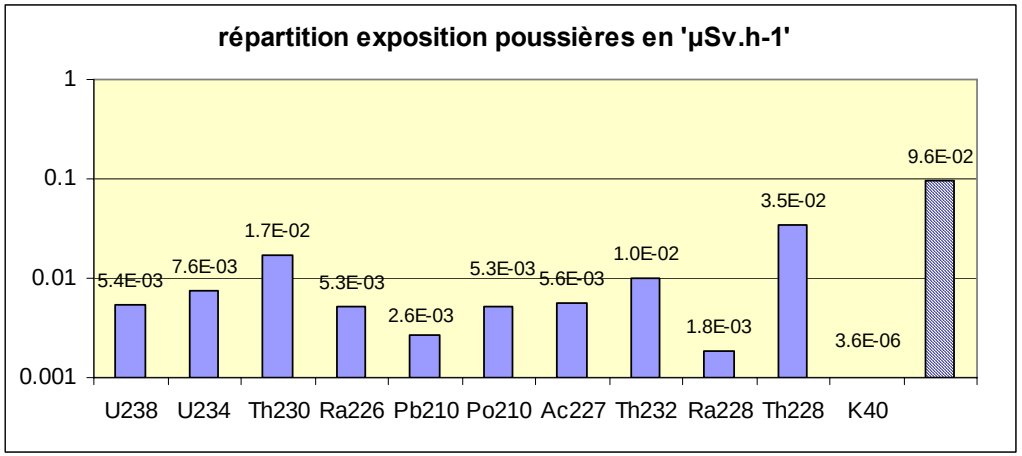
** *facteur de conversion recommandé par défaut en fonction de la clairance pulmonaire*

Base de calcul : indice d'empoussiérage 1 mg/m3 ; débit d'inhalation standard travailleur 1,2 m3/h ; facteurs de conversion issus de l'arrêté de septembre 2003

Exemple d'évaluation des doses internes dues à l'inhalation de poussières

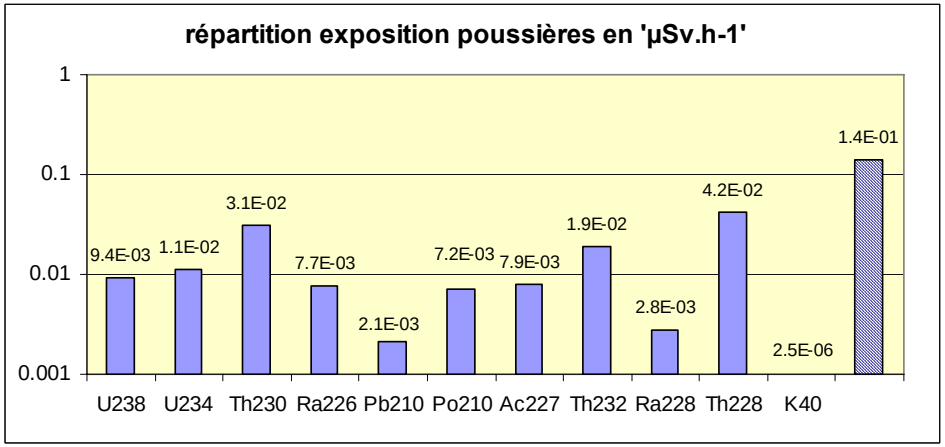
Terme source : sable de zircon

AMAD 5 µm



temps en h	exposition poussières en µSv	
	facteur par défaut	facteur max
100	10	25
500	48	124
1000	96	247
1500	143	371

AMAD 1 µm



temps en h	exposition poussières en µSv	
	facteur par défaut	facteur max
100	14	30
500	70	149
1000	141	299
1500	211	448

Cas des expositions au radon et ses descendants à vie courte

- Atmosphères confinées ?
- Présence de radium 226 ou de radium 228 ?

↓

➔ **<u>Indicateur du risque potentiel</u>**
Activité volumique du radon 222 en Bq.m^{-3} Comparaison avec la valeur de 400 Bq.m^{-3}

Quid du radon 220 dans le cas de présence de thorium ?

➔ **<u>Actions de prévention</u>**
Activité volumique < 400 Bq.m^{-3} pour le radon 222

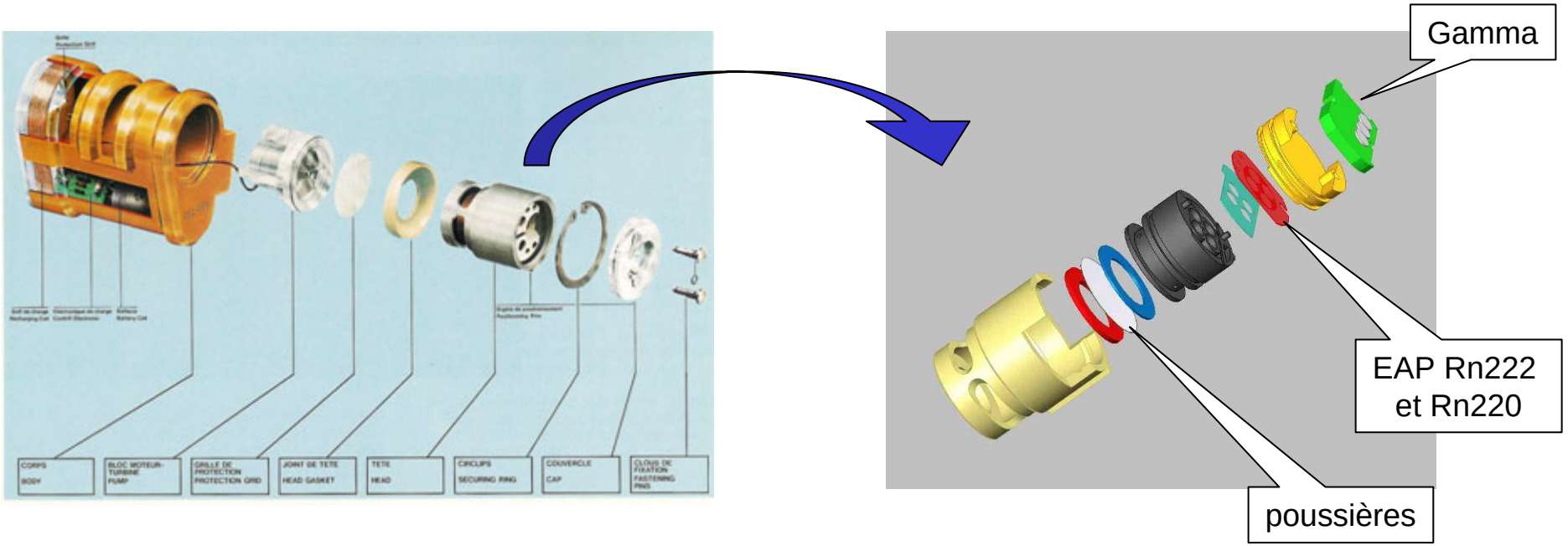
➔ **<u>Evaluation des doses si activité > 400 Bq.m^{-3}</u>**
- **Modélisation : connaître le facteur d'équilibre du radon 222**
- **Mesures avec dosimètres portés par les agents**
  - **Exposition aux descendants à vie courte du radon 222 et du radon 220 : énergie alpha potentielle en mJ.m^{-3}.h**
  - **Facteur de conversion : dose efficace / exposition à l'énergie alpha potentielle ***

1,4 mSv / mJ.m^{-3}.h pour descendants du radon 222
0,5 mSv/mJ.m^{-3}.h pour descendants du radon 220

**** (Annexe III de l'arrêté du 1er septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces)***

➔ Suivi dosimétrique des agents les plus exposés aux 3 risques "gamma", "radon", "poussières"

- **Utilisation du système intégré de dosimétrie porté par les agents**



- **Campagne de mesures intégrées sur des périodes de 2 ou 3 mois. Plusieurs périodes de mesures sur 6 mois ou 1 an**

Cas particulier du radon 222 dans les lieux de travail souterrains

Activité volumique en Bq.m^{-3} ?

Efficacité de la ventilation ?

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

→ Objectif : activité volumique en radon 222 < 400 Bq.m^{-3}

→ Si > 400 Bq.m^{-3} : évaluation des doses

500 Bq.m-3 de radon 222 ↔ **1000 heures d'exposition**

↓

DOSE EFFICACE

Bonne ventilation (FE = 0,2)	**: 0,78 mSv**
Mauvaise ventilation (FE = 0,5)	**: 2 mSv**
Très mauvaise ventilation (FE = 0,8)	**: 3,2 mSv**

Résultats des campagnes d'évaluation de dose efficace annuelle effectuées par ALGADE en France

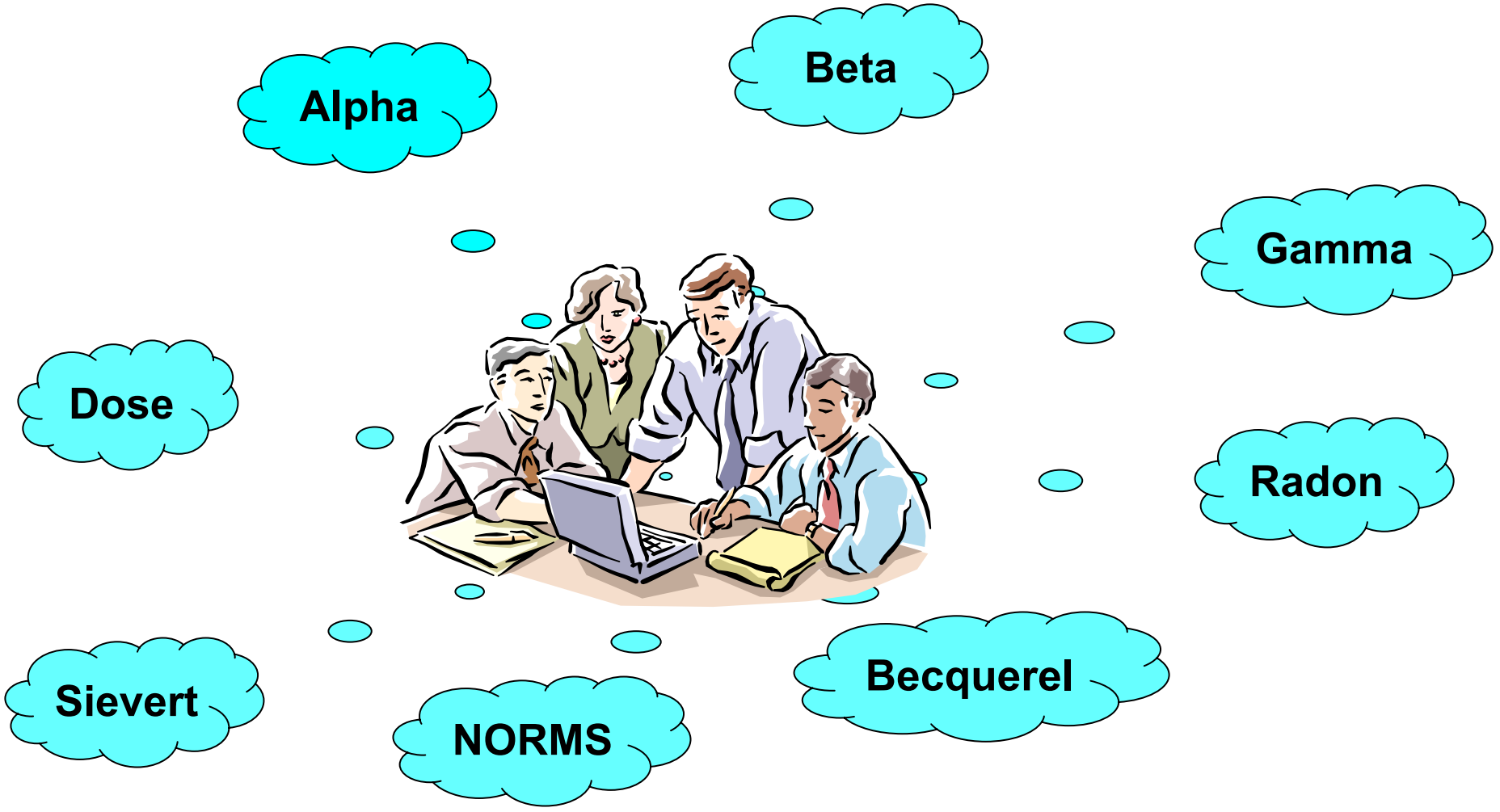
Site Année d'évaluation	Industrie	Dose efficace annuelle* en mSv
1 – 2001	Réfractaires	de 0,09 à 1,3
2 – 2001	Réfractaires	de 0,02 à 1,3
3 – 2002	Minéraux	de 0,6 à 2,4
4 – 2003	Minéraux	de 0,5 à 1,4
5 – 2001	Minéraux	de 0,5 à 2,0
6 – 2001	Engrais	de 0,3 à 3,0
7 – 2003	Terres rares	de 0,2 à 14**
8 – 1999	Colorants – Pigments	de 0,5 à 3,8
9 – 2003	Réfractaires	de 0,02 à 2,0
10 – 2000	Réfractaires	de 1,3 à 2,3
11 – 2003	Réfractaires	de 0,1 à 1,4
12 – 2003	Carrière souterraine (calcaire)	de 1,1 à 1,5
13 – 2005	Dioxyde de titane	de 0,04 à 1,2
14 – 2006	Mines souterraines abandonnées (500 h d'intervention)	de 4 à 17

** Sans protection individuelle

* Contrôles avec dosimètres intégrés portés par les agents

Conclusions : Retour d'expérience en France

- Le "naturel renforcé" peut entraîner des doses efficaces annuelles supérieures à 1 mSv sans dépasser 6 mSv.
- Nécessité d'aménager des postes de travail :
  - → captage des poussières ; capotages ;
  - → ventilation des lieux confinés ;
  - → organisation des stockages de matières ;
  - → gestion des déchets.
- Difficultés métrologiques pour estimer les doses ajoutées et les comparer à la limite de 1 mSv :
  - définir les protocoles de mesures ;
  - utiliser des moyens de mesure adaptés.
- Règles de radioprotection à adapter en fonction des niveaux de risques rencontrés.
- Nécessité de former les intervenants à la radioprotection.



… Je vous remercie de votre attention