

# Chapitre 11 : Radioprotection

# **Radioprotection des travailleurs (1)**

Pr. Jean-Philippe VUILLEZ

# Plan du cours

- Réglementation
  - Valeurs limites d'exposition professionnelle
  - Évaluation des risques et classement des travailleurs
  - Zonage
  - Surveillance des travailleurs
- Surveillance
  - Dosimétrie passive et active
  - Exposition externe
  - Exposition interne
- Moyens de protection contre les rayonnements

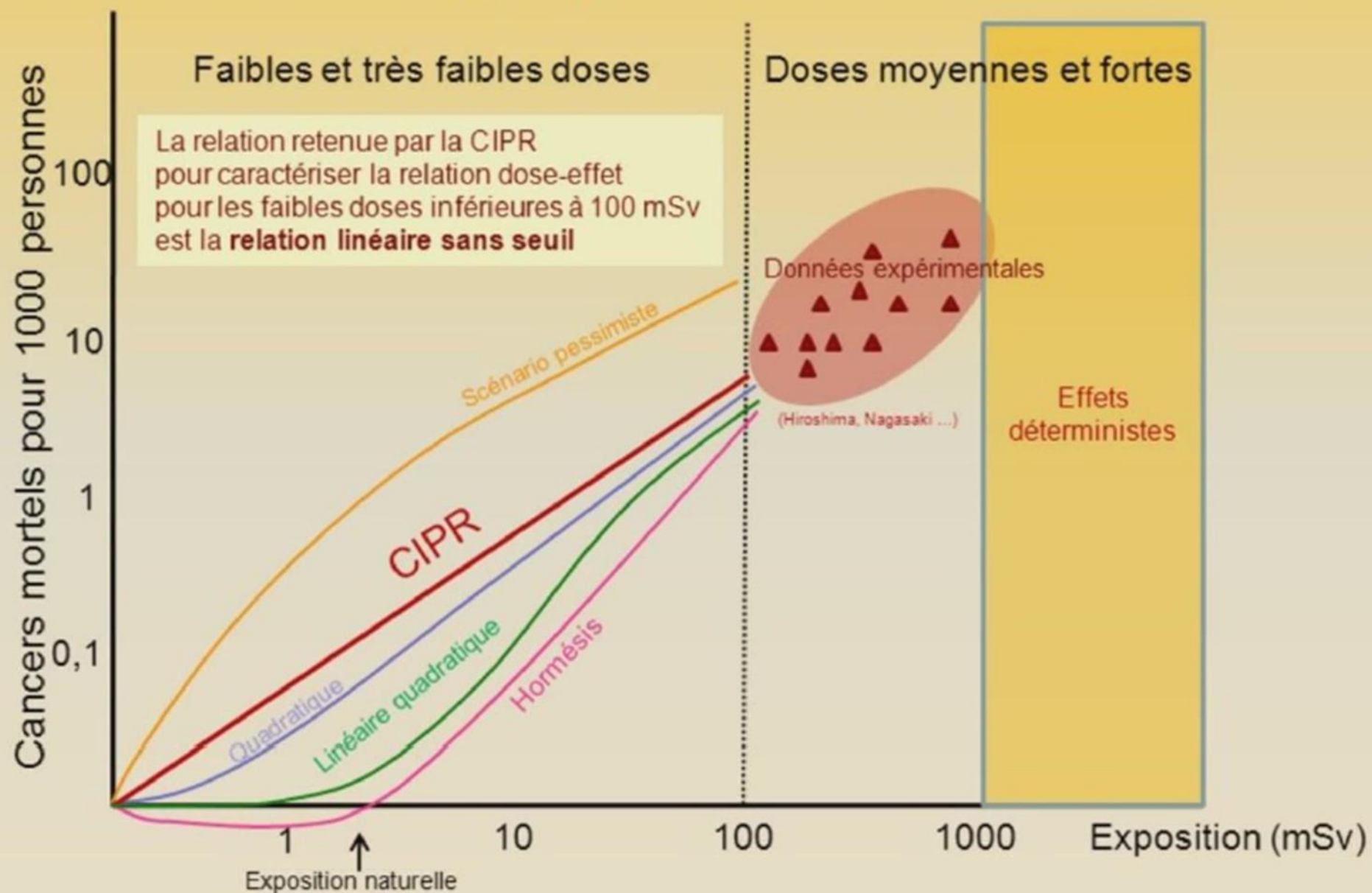
# Objectifs pédagogiques du cours

- Comprendre qu'on limite le risque pour prévenir tout danger
  - Les principes de radioprotection reposent sur cette volonté de réduction de risque, pas sur des données scientifiques de dangerosité
- Connaître le sens, et la façon dont elles sont fixées, des limites réglementaires d'exposition
- Connaître les grands principes des moyens de radioprotection :
  - Vis-à-vis de l'exposition aux rayons X et gamma
  - Vis-à-vis de la radiocontamination

# Radioprotection des travailleurs

## (Code du Travail + Code de la Santé Publique)

- Effets déterministes : doivent être évités à 100 %
- Effets stochastiques : attitude préventive de principe
  - Justification
  - Optimisation
  - Limitation
- Seuil de prévention  $\neq$  seuil de dangerosité



## Valeurs limites d'exposition professionnelle

En application du principe de limitation des doses, des valeurs limites réglementaires pour les travailleurs exposés aux rayonnements ionisants sont fixées aux articles **R. 4451-6 à R. 4451-8 du Code du travail**. Dans toutes les circonstances (hormis les situations d'urgence et les expositions durables), ces valeurs « absolues » sont des limites à ne pas dépasser : leur respect impératif est apprécié au vu des doses effectivement reçues par chaque travailleur.

### Article R4451-6

Modifié par Décret n°2018-437 du 4 juin 2018 art. 1

L'exposition d'un travailleur aux rayonnements ionisants ne dépasse pas :

1° Pour l'organisme entier, la valeur limite d'exposition de 20 millisieverts sur douze mois consécutifs, évaluée à partir de la dose efficace ;

2° Pour les organes ou les tissus, les valeurs limites d'exposition, évaluées à partir des doses équivalentes correspondantes, suivantes :

a) 500 millisieverts sur douze mois consécutifs, pour les extrémités et la peau. Pour la peau, cette limite s'applique à la dose moyenne sur toute surface de 1 cm<sup>2</sup>, quelle que soit la surface exposée ;

b) 20 millisieverts sur douze mois consécutifs, pour le cristallin.

NOTA : Conformément aux dispositions de l'article 7 du décret n° 2018-437 du 4 juin 2018, ces dispositions entrent en vigueur le 1er juillet 2018 à l'exception de la valeur limite de dose fixée pour le cristallin au 2° qui entre en vigueur le 1er juillet 2023.

Du 1er juillet 2018 au 30 juin 2023, la valeur limite cumulée pour le cristallin est fixée à 100 millisieverts, pour autant que la dose reçue au cours d'une année ne dépasse pas 50 millisieverts.

**VALEURS LIMITES D'EXPOSITION EN MILLISIEVERT/AN (MSV SUR 12 MOIS CONSÉCUTIFS)**

	<b>Corps entier</b> <i>(dose efficace)</i>	<b>Extrémités : mains, avant-bras, pieds, chevilles</b> <i>(dose équivalente)</i>	<b>Peau</b> <i>(dose équivalente sur tout cm<sup>2</sup>)</i>	<b>Cristallin*</b> <i>(dose équivalente)</i>
<b>Travailleurs</b>	20 mSv	500 mSv	500 mSv	100 mSv / 20 mSv
<b>Jeunes travailleurs</b> (entre 16 et 18 ans, sous réserve d'y être autorisés pour les besoins de leur formation)	6 mSv	150 mSv	150 mSv	15 mSv
<b>Femmes enceintes</b>	inférieure à 1 mSv (dose équivalente à l'enfant à naître), de la déclaration de la grossesse à l'accouchement			
<b>Femme allaitant</b>	interdiction de les maintenir ou de les affecter à un poste entraînant un risque d'exposition interne			

**NOTE**

\* VLE au cristallin

Du 1<sup>er</sup> juillet 2018 au 30 juin 2023 : la VLE cumulée pour le cristallin est fixée à 100 mSv pour ces 5 années cumulées, pour autant que la dose reçue au cours d'une année ne dépasse pas 50 mSv.

A compter du 1<sup>er</sup> juillet 2023, la VLE au cristallin est fixée à 20 mSv sur 12 mois consécutifs.

**A noter :** ces limites réglementaires de dose ne s'appliquent pas (article R. 4451-2 du Code du travail) :

- aux expositions résultant d'un niveau naturel de rayonnements dû à des radionucléides contenus dans l'organisme humain, au rayonnement cosmique régnant au niveau du sol et aux radionucléides présents dans la croûte terrestre non perturbée ;
- aux expositions subies par les travailleurs du fait des examens médicaux auxquels ils sont soumis ;
- à l'exposition des travailleurs autres que les équipages aériens ou spatiaux, au rayonnement cosmique au cours d'un vol aérien ou spatial .

Lorsqu'un travailleur a subi une exposition qui dépasse les limites réglementaires, l'employeur, appuyé par le conseiller en radioprotection et le médecin du travail, doit immédiatement faire cesser l'exposition et appliquer l'ensemble des règles de gestion prévues par le Code du travail.

## Evaluation des risques

Il est fondamental d'identifier dans un premier temps les risques inhérents à toute activité, ainsi que les événements ou les facteurs qui peuvent conduire à la survenue de ces risques.

En matière de radioprotection, les risques sont :

- un risque d'exposition externe à des rayonnements ionisants ;
- un risque de contamination externe ou interne par des substances radioactives ;
- tous les autres risques associés, et en particulier : risque chimique en cas d'inhalation, d'ingestion ou de contact mais aussi lié à diverses interactions (réactivité, corrosion, incendie, explosion), risques liés au poste de travail, risques liés à l'organisation du travail.

**A noter :** ces limites réglementaires de dose ne s'appliquent pas :

- aux expositions résultant d'un niveau naturel de rayonnement ionisant présent dans l'organisme humain, au rayonnement cosmique présent dans la croûte terrestre non perturbée ;
- aux expositions subies par les travailleurs du fait de leur activité ;
- à l'exposition des travailleurs autres que les équipages à l'exposition des travailleurs autres que les équipages cosmique au cours d'un vol aérien ou spatial .

Lorsqu'un travailleur a subi une exposition qui dépasse les limites réglementaires, le conseiller en radioprotection et le médecin du travail doivent être consultés et appliquer l'ensemble des règles de gestion prévues par le décret n° 2017-1037 du 21 juillet 2017.

En revanche l'exposition au radon sur le lieu de travail est dorénavant intégrée à la dose reçue dans le cadre professionnel

*(nouvelle obligation faite aux employeurs d'intégrer le radon dans leur démarche d'évaluation des risques, depuis le 1er juillet 2018, suite à la transposition de la directive Euratom 59 de 2013)*

## Evaluation des risques

Il est fondamental d'identifier dans un premier temps les risques inhérents à toute activité, ainsi que les événements ou les facteurs qui peuvent conduire à la survenue de ces risques.

En matière de radioprotection, les risques sont :

- un risque d'exposition externe à des rayonnements ionisants ;
- un risque de contamination externe ou interne par des substances radioactives ;
- tous les autres risques associés, et en particulier : risque chimique en cas d'inhalation, d'ingestion ou de contact mais aussi lié à diverses interactions (réactivité, corrosion, incendie, explosion), risques liés au poste de travail, risques liés à l'organisation du travail.

A noter : ces limites réglementaires de dose ne s'appliquent pas (article R. 4451-2 du Code du travail) :

- aux expositions résultant d'un niveau naturel de rayonnements dû à des radionucléides contenus dans l'organisme humain, au rayonnement cosmique régnant au niveau du sol et aux radionucléides présents dans la croûte terrestre non perturbée ;
- aux expositions subies par les travailleurs du fait des examens médicaux auxquels ils sont soumis ;
- à l'exposition des travailleurs autres que les équipages aériens ou spatiaux, au rayonnement cosmique au cours d'un vol aérien ou spatial .

Lorsqu'un travailleur a subi une exposition qui dépasse les limites réglementaires, l'employeur, appuyé par le conseiller en radioprotection et le médecin du travail, doit immédiatement faire cesser l'exposition et appliquer l'ensemble des règles de gestion prévues par le Code du travail.

## Evaluation des risques

Il est fondamental d'identifier dans un premier temps les risques inhérents à toute activité, ainsi que les événements ou les facteurs qui peuvent conduire à la survenue de ces risques.

En matière de radioprotection, les risques sont :

- un risque d'exposition externe à des rayonnements ionisants ;
- un risque de contamination externe ou interne par des substances radioactives ;
- tous les autres risques associés, et en particulier : risque chimique en cas d'inhalation, d'ingestion ou de contact mais aussi lié à diverses interactions (réactivité, corrosion, incendie, explosion), risques liés au poste de travail, risques liés à l'organisation du travail.

## Etude de poste +++

### Evaluation individuelle de l'exposition aux rayonnements ionisants

Une évaluation individuelle de l'exposition aux rayonnements ionisants doit être réalisée avant l'affectation à un poste de travail.

Cette évaluation est réalisée sur la base d'une **étude de poste** afin d'estimer la dose efficace et les doses équivalentes que le travailleur est susceptible de recevoir sur les 12 mois consécutifs à venir en tenant compte des incidents raisonnablement prévisibles inhérents au poste de travail et des expositions potentielles.

Les résultats de cette évaluation permettent de définir les modalités de classement, de formation et de suivi du travailleur (suivi dosimétrique et suivi individuel de l'état de santé).

### Classement des travailleurs

Les travailleurs exposés sont classés en deux catégories. Ce classement se fait sur la base de l'évaluation individuelle préalable.

Selon l'article R. 4451-57 du Code du travail, sont classés par l'employeur en **catégorie A**, les travailleurs susceptibles de recevoir sur 12 mois consécutifs :

- une dose efficace supérieure à 6 mSv,
- et/ou une dose équivalente supérieure à 150 mSv pour la peau et/ou les extrémités.

Sont classés en **catégorie B**, tous les autres travailleurs susceptibles de recevoir sur 12 mois consécutifs :

- une dose efficace supérieure à 1 mSv,
- et/ou une dose équivalente supérieure à 15 mSv pour le cristallin et/ou à 50 mSv pour la peau et/ou les extrémités.

**A noter :** Les valeurs limites d'exposition professionnelle ne doivent pas être confondues avec les valeurs limites réglementaires déterminant le classement.

## Identification et délimitation des zones

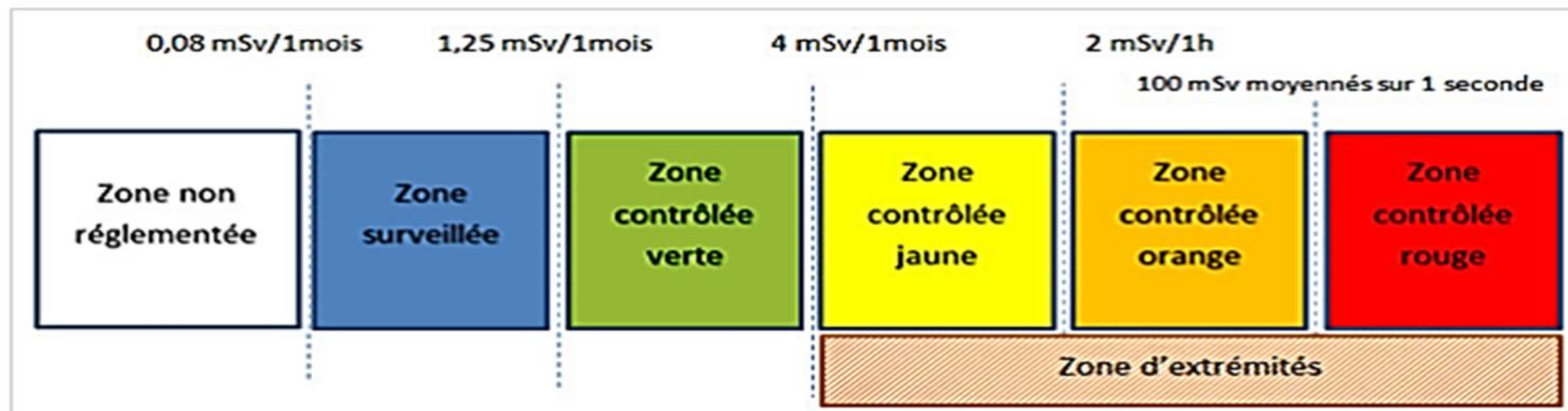
Le danger est lié à la présence de sources de rayonnements ionisants (générateurs de rayons X ou radionucléides).

Il convient dans un 1<sup>er</sup> temps d'identifier les sources et les lieux de travail à l'intérieur desquels l'exposition des travailleurs est susceptible de dépasser les niveaux suivants :

- dose efficace de 0,08 millisievert par mois pour l'organisme entier ;
- dose équivalente de 4 millisieverts par mois pour les extrémités ou la peau ;
- concentration d'activité du radon dans l'air, évaluée en dose efficace de 6 millisieverts par an.

L'évaluation des niveaux d'exposition retenus pour identifier ces zones est réalisée en considérant le lieu de travail occupé de manière permanente.

Si dans ces conditions, ces niveaux d'exposition sont dépassés, alors l'employeur délimite des zones selon les critères suivants :



Pour ce qui concerne le risque lié à l'exposition au radon, une zone « radon » est délimitée et correspond à l'espace de travail dans lequel les travailleurs sont susceptibles d'être exposés à une dose efficace supérieure à 6 mSv par an en lien avec le radon, et en considérant une occupation à temps plein.

## SIGNALISATION DU RISQUE RADIOACTIF : PICTOGRAMME, PANNEAUX ET AUTRES ÉLÉMENTS

Pictogramme d'avertissement



Matières radioactives / Rayonnements ionisants

Panneaux de signalisation de zone

Ne sont donnés ici à titre d'exemple que 6 panneaux.

En fonction de la nature du risque à signaler, les messages accompagnant le pictogramme, ainsi que les couleurs, peuvent être intervertis.

**ZONE SURVEILLÉE**



**ACCÈS RÉGLEMENTÉ**

Zone surveillée (bleue)

**ZONE CONTRÔLÉE**



**ACCÈS RÉGLEMENTÉ**

Zone contrôlée verte

**ACCÈS RÉGLEMENTÉ  
ZONE JAUNE**



**RISQUE  
D'IRRADIATION**

Zone contrôlée jaune, risque d'irradiation

**ACCÈS RÉGLEMENTÉ  
ZONE ORANGE**



**DANGER  
DE CONTAMINATION**

Zone contrôlée orange, danger de contamination

## Bandes de balisage



Zone contrôlée rouge, danger d'irradiation et de contamination



Port de protection



## Surveillance de l'exposition individuelle des travailleurs

L'objectif de la surveillance de l'exposition individuelle des travailleurs est de s'assurer que les valeurs limites réglementaires ne soient pas dépassées et de piloter l'optimisation de la radioprotection afin de réduire l'exposition du travailleur à un niveau aussi bas que raisonnablement possible.

### Dosimétrie

La dosimétrie consiste à mesurer les doses reçues par les personnes exposées, c'est-à-dire à attribuer une valeur aux grandeurs telles que « dose équivalente » ou « dose efficace ».

Elle concerne les travailleurs classés ainsi que ceux dont l'exposition est susceptible de dépasser 6mSv/an au titre du risque lié au radon.

Elle permet de vérifier, notamment, que les expositions restent, pour chaque travailleur exposé, de l'ordre de grandeur des doses déterminées lors de l'évaluation individuelle préalable à l'affectation au poste de travail.

## Exposition externe

La mesure de l'exposition externe se fait à l'aide de dosimètres portés par les travailleurs. Plusieurs types sont disponibles :

- Dosimètres à lecture différée :
- **Dosimètres thermoluminescents** (appelés aussi TLD) : détectent les rayons X,  $\beta$  et  $\gamma$ . Ils utilisent des matériaux (pastilles extrudées, frittés, poudres) qui, soumis à une irradiation puis chauffés, émettent de la lumière, proportionnellement à la dose reçue. Les TLD sont utilisés pour des dosimétries corps entier ou extrémités ou cristallin. Ils sont plus sensibles que les dosimètres photographiques, et sont réutilisables plusieurs centaines de fois. La lecture, pouvant se faire à l'aide d'un lecteur automatique, se fait en chauffant le matériau. L'émission de lumière entraîne la « remise à zéro » du TLD.  
Les dosimètres TLD (F Li6/F Li7) sont destinés à détecter les neutrons.
- **Dosimètres radio-photoluminescents** (appelés aussi RPL) : sous l'effet du rayonnement les électrons arrachés à la structure de verre du dosimètre sont piégés par les impuretés contenues dans le verre. La lecture se fait sous lumière UV qui désexcite les électrons en émettant une luminescence proportionnelle à la dose reçue.
- **Dosimètres à luminescence optiquement stimulée (OSL)** : sous l'effet d'un rayonnement ionisant, des électrons sont piégés par des impuretés introduites dans la structure cristalline du détecteur ; l'exposition du détecteur à un flash lumineux (laser, diodes) permet la mesure de la luminescence ainsi émise, proportionnelle à la dose de rayonnements ionisants.
- **Dosimètres opérationnels ou actifs**, à lecture directe : permettent le suivi de l'exposition en temps réel et l'optimisation de la dose reçue. Ils doivent être choisis en fonction du type et des caractéristiques des rayonnements à mesurer, et paramétrés. Ces dosimètres électroniques doivent être pourvus d'alarmes sonores et visuelles, qui doivent être activées lors de toute utilisation.

## Exposition interne

L'importance de l'exposition interne liée à la présence d'une substance radioactive dans le corps humain va dépendre non seulement de la période physique du radionucléide, mais également de sa période biologique. La période biologique est le temps nécessaire pour que la moitié de l'activité du radionucléide absorbé soit éliminée par le métabolisme du corps. La grandeur qui caractérise l'exposition interne est la dose équivalente engagée.

Cette exposition interne est difficile à mesurer : on fait appel à plusieurs techniques de mesures qui permettent d'identifier et de quantifier des radioéléments et ainsi d'évaluer la nature et la gravité de l'exposition : dosage d'isotopes dans les urines, le sang, les selles, anthroporadiométrie... Leur mise en œuvre permet de détecter et d'identifier un corps radioactif dans l'organisme. Ces examens sont prescrits par le médecin du travail. Ces analyses doivent être planifiées sans délai, dès qu'il y a suspicion d'exposition interne.

A partir des résultats, est calculée la dose efficace engagée reçue par le travailleur suite à cette incorporation de substances radioactives.

→ Période effective ++++

# Messages essentiels du cours

- La radioprotection des travailleurs s'attache à **éliminer tout danger** lié à l'irradiation, en **réduisant au maximum le risque** d'irradiation.
  - Dans ce contexte toute dose même la plus faible doit être évitée au maximum, même sans être dangereuse
  - Principe de **limitation** en plus des principes de **justification** et d'**optimisation** : **valeurs limites d'exposition**
- La radioprotection des travailleurs impose des **contraintes d'organisation** du travail (études de poste, zonage, aménagements des locaux et outils de travail)
- L'efficacité de la radioprotection des travailleurs est vérifiée par une **surveillance dosimétrique** continue
- On ne se protège pas du tout de la même façon vis-à-vis d'une **irradiation externe** et vis-à-vis d'un **risque de contamination**

# Mentions légales

---

L'ensemble de ce document relève des législations française et internationale sur le droit d'auteur et la propriété intellectuelle. Tous les droits de reproduction de tout ou partie sont réservés pour les textes ainsi que pour l'ensemble des documents iconographiques, photographiques, vidéos et sonores.

Ce document est interdit à la vente ou à la location. Sa diffusion, duplication, mise à disposition du public (sous quelque forme ou support que ce soit), mise en réseau, partielles ou totales, sont strictement réservées à l'Université Grenoble Alpes (UGA).

L'utilisation de ce document est strictement réservée à l'usage privé des étudiants inscrits à l'Université Grenoble Alpes (UGA), et non destinée à une utilisation collective, gratuite ou payante.