

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



EVALUATION DOSIMÉTRIQUE

Formation enseignants BTS Environnement Nucléaire- Module 2 –Alain PIN (CEA/INSTN/UECO)

www.cea.fr



Rappels sur les effets biologiques des rayonnements ionisants

Rappels sur les grandeurs de protection et grandeurs opérationnelles

Analyse de poste de travail (Evaluation des Doses Prévisionnelles)

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



LES EFFETS BIOLOGIQUES DES RAYONNEMENTS IONISANTS

www.cea.fr



ÉVÈNEMENTS CONDUISANT AUX EFFETS DES RAYONNEMENTS IONISANTS

Les effets des rayonnements ionisants sur la santé sont les conséquences en cascade des interactions entre rayonnements et matière vivante (ionisations, excitations).

T = 0	Irradiation
10^{-15} s	Ionisations, excitations
10^{-5} s	Formation de radicaux, de produits moléculaires
Seconde, minute	Dénaturation et lésions des molécules vitales
Jours, semaines	Morts ou réparations cellulaires, effets précoces sur les organes et l'organisme
Années	Effets tardifs sur l'organisme
Décennies	Effets sur la descendance

les effets des rayonnements sur la santé sont des conséquences tardives (jours, mois, années) de lésions qui ont lieu très rapidement, si ce n'est de manière quasi immédiate;

Effets au niveau de la cellule et de l'ADN

Effets déterministes

Effets stochastiques

Les maladies professionnelles imputables aux R.I.

Les grandeurs de protection

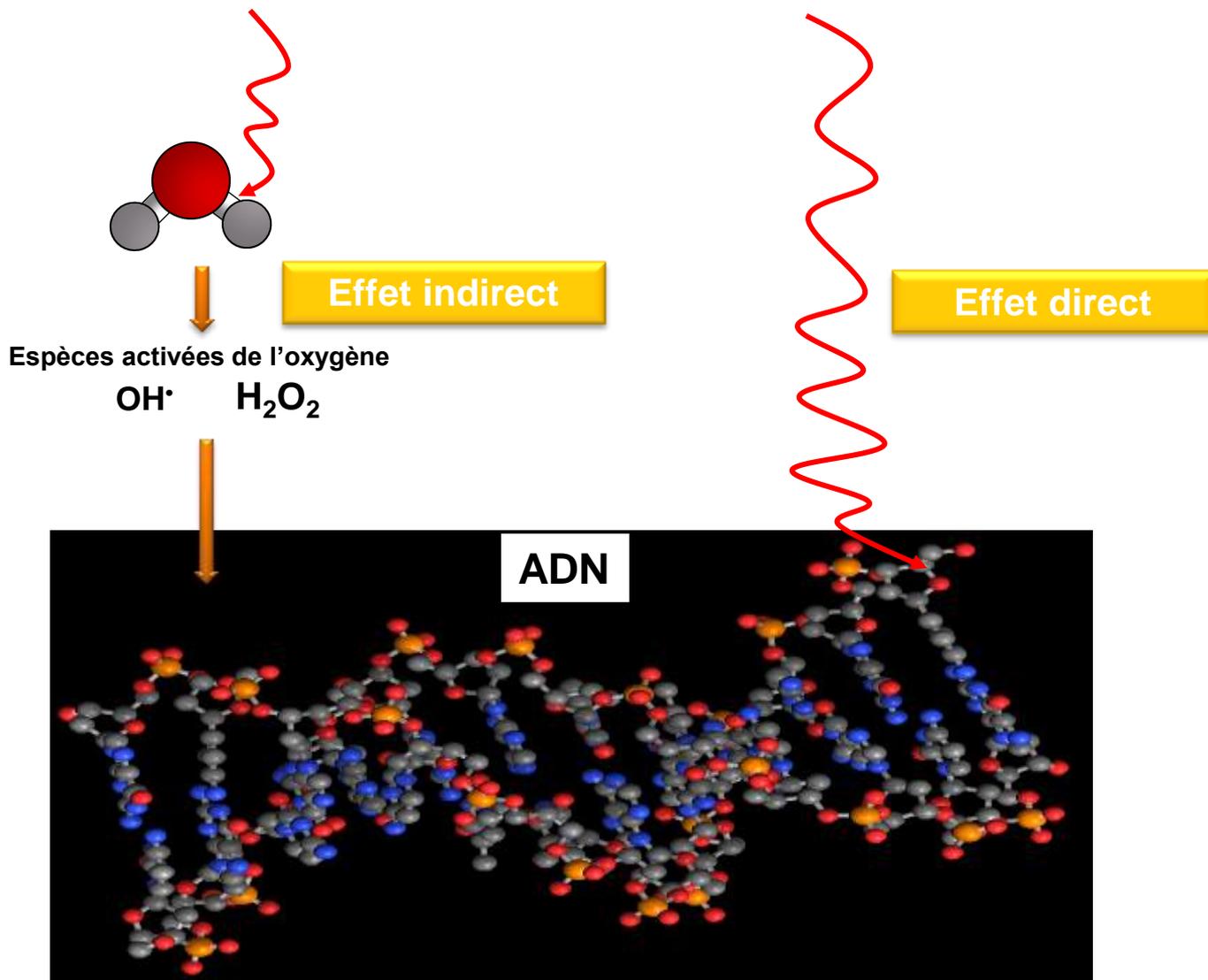
On peut considérer que :

- L'organisme est un assemblage d'unités fondamentales : **les cellules**,
- Les milieux biologiques sont constitués de **80% d'eau** et on peut considérer que la cellule est une solution aqueuse de macromolécules.

Deux mécanismes d'attaque fondamentaux :

- Une **attaque directe des macromolécules**. C'est l'effet direct des rayonnements,
- Une **attaque de l'eau**, aboutissant à sa radiolyse avec la création d'espèces intermédiaires qui interagiront avec les macromolécules. C'est l'effet indirect.

Rayonnements ionisants



Espèces activées de l'oxygène



ADN

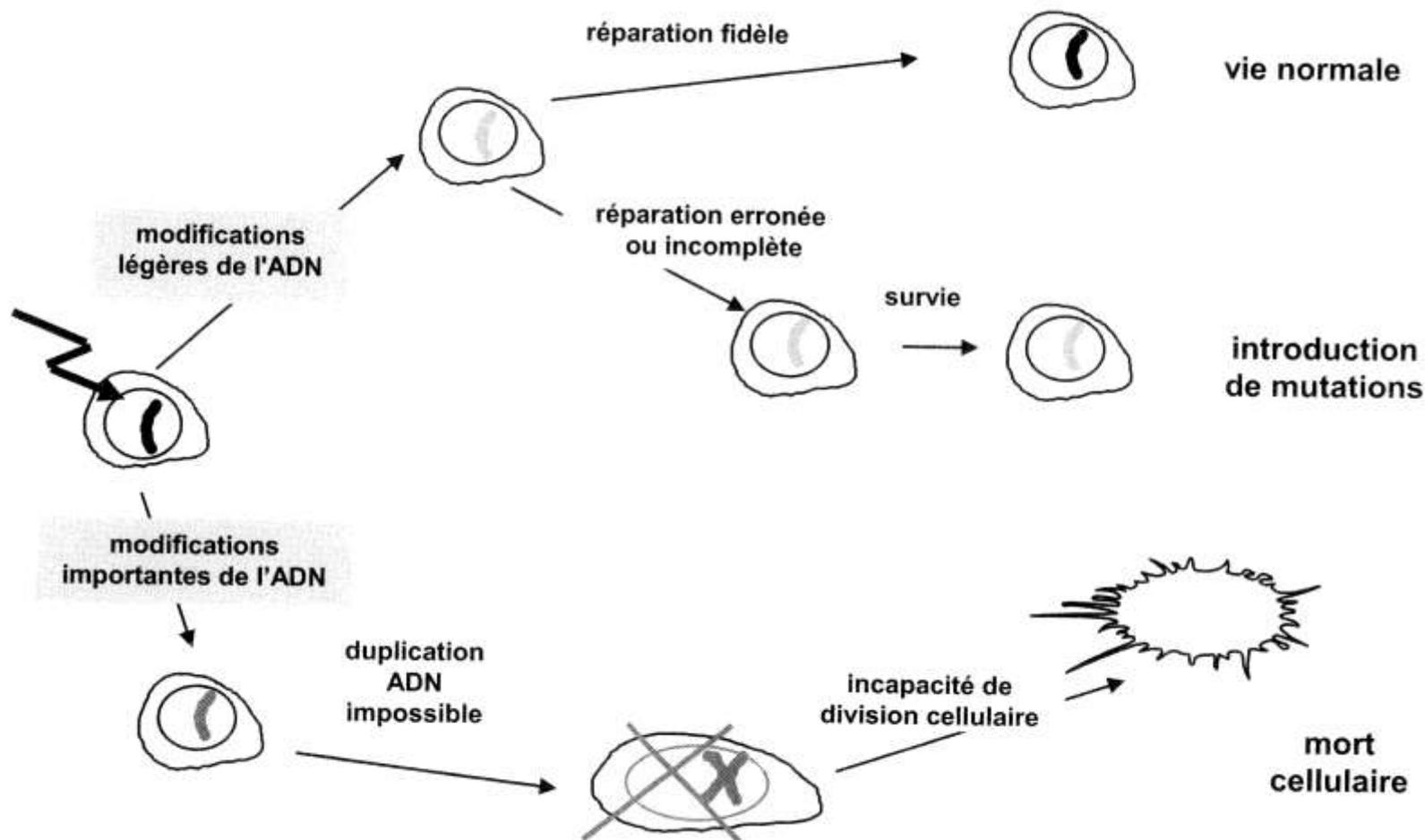
Quelques ordres de grandeur :

Par GRAY et par NOYAU

rupture simple brin 500 à 1 000

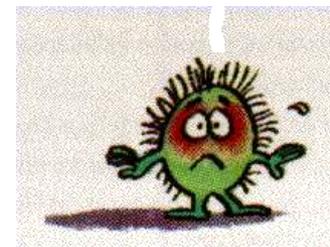
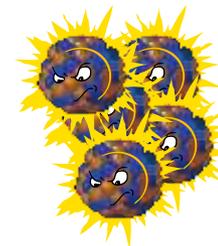
rupture double brin ~ 40

DEVENIR CELLULAIRE SUITE À MODIFICATIONS ADN



QUELS SONT LES EFFETS DE LA RADIOACTIVITE SUR L'ORGANISME ?

Cellule irradiée



Cellule réparée

Cellule détruite

Cellule mutée

Effet nul

En petite quantité

En grande quantité

Non

Mutation viable ?

Oui

Effets immédiats

Effets différés

Effets déterministes

Effets stochastiques

**LES EFFETS
DÉTERMINISTES
(RÉACTIONS
TISSULAIRES)**

Les effets déterministes

↪ Effets qui **apparaissent avec certitude** ;

↪ Doses **seuils** ;

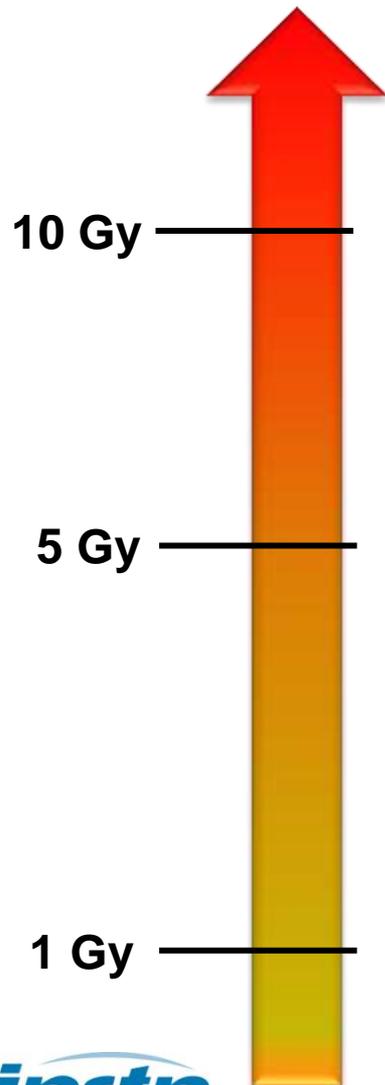
↪ **Gravité** fonction de la dose

↪ **Précocité** d'apparition.



(personne ayant récupéré à la main
une source de très haute activité)

IRRADIATION LOCALISÉE AU NIVEAU DE LA PEAU



10 Gy

Epidermite exsudative avec ulcération.

5 Gy

Erythème (coup de soleil) et desquamation de la partie supérieure de l'épiderme.

1 Gy

Mort des cellules basales sans lésions observables à part atrophie de la peau.

Accident de Yanango 1999 (Pérou) :

peau (1cm) :	10000
tissus mous (2 cm) :	2500
tissus mous (5 cm) :	400
fémur et artère fémorale (7 cm) :	140
gonades (18 cm) :	23
rectum (20 cm) :	18



3 mai 1999



18 octobre 1999



14 décembre 1999



1 mars 1999



15 mars 1999



19 mars 1999



21 février 1999



23 février 1999



Cataracte

Le seuil d'apparition de la cataracte a été abaissé à :
0,5 Gy par la CIPR (contre 5 Gy auparavant)

(Séoul – 2011)

Organes sexuels	Homme	Femme
	Dose seuil (Gy)	Dose seuil (Gy)
Stérilité provisoire	0,15	
Stérilité définitive	3,5 à 6	2,5 à 6

Spermatozoïdes : durée de vie moyenne 72 heures. Ils sont produits continuellement au cours de la vie.

Ovocytes : La femme adulte dispose à la naissance.

Les **effets varient** en fonction du **stade de développement**.

Jusqu'au 10ème jour de grossesse :

Loi du « **tout ou rien** » (Mort de l'œuf ou développement normal).

Du 10ème jour à la fin du 2ème mois de grossesse :

Dans cette période, il y a risque de **malformation** corporelle (œil, squelette de la 3ème à la 10ème semaine).

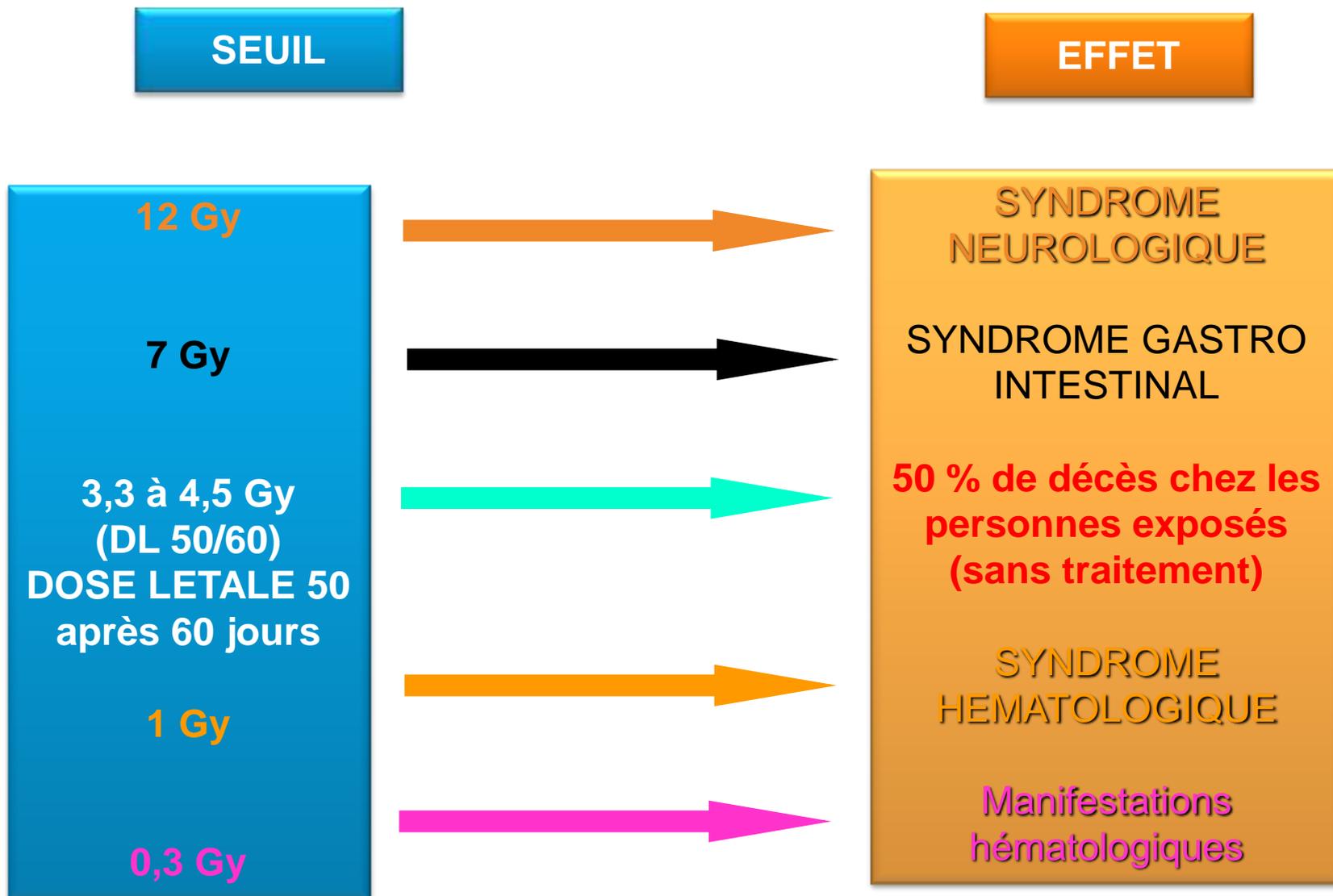
Du début du 3ème mois à la fin de la grossesse :

Risque de retard mental et de microcéphalie (principalement entre la 8ème et 16ème semaine).

Ensuite, les risques diminuent (une augmentation potentielle des cancers de l'enfant et du jeune adulte est suggérée par certaines données).

Déclarer sa grossesse le plus tôt possible au médecin du travail.

Exposition globale de courte durée



LES EFFETS STOCHASTIQUES

Les effets stochastiques (aléatoires)

(effets génétiques, cancers)

↪ **Probabilité** d'apparition fonction de la dose ;

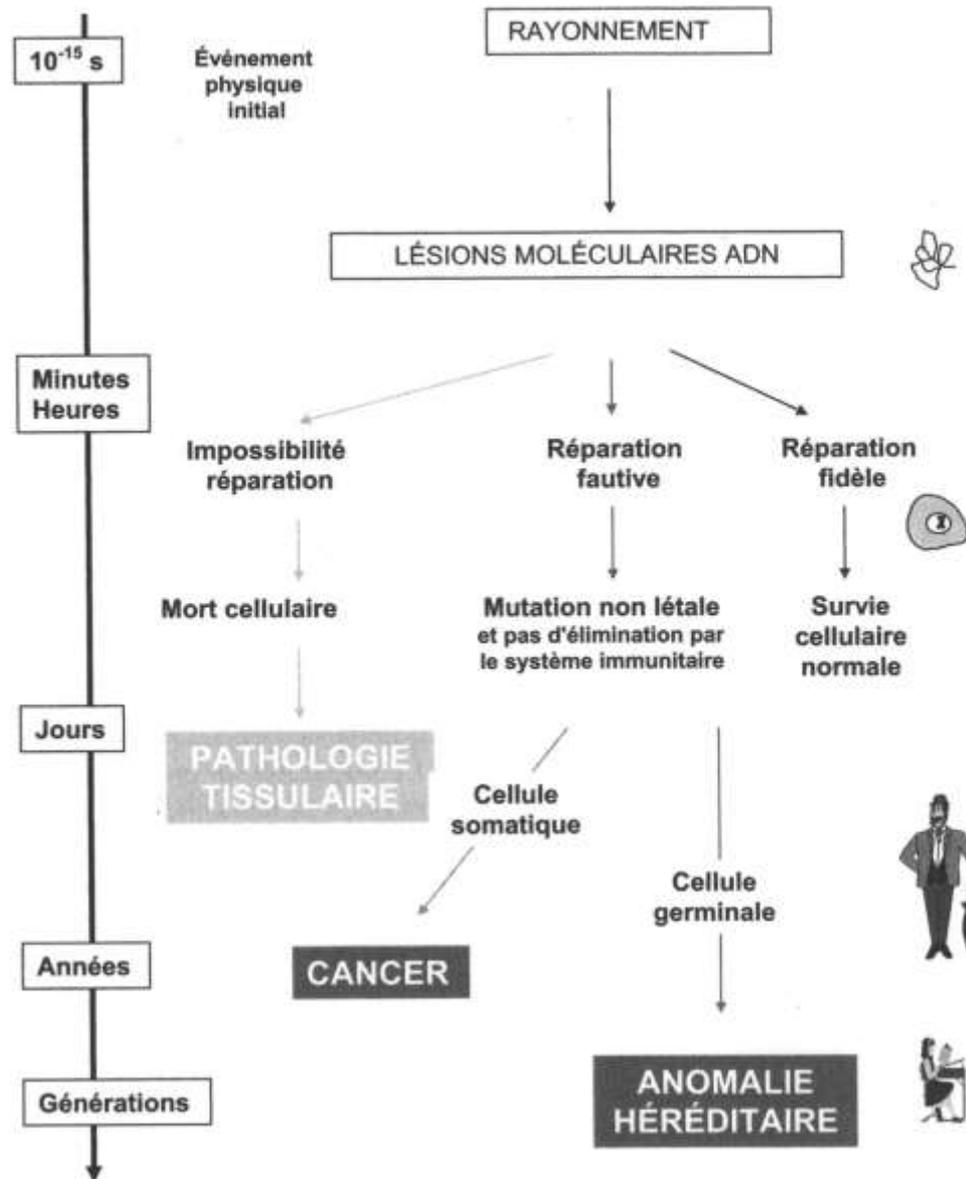
↪ **Pas de dose seuil** ;

↪ **Gravité indépendante** de la dose ;

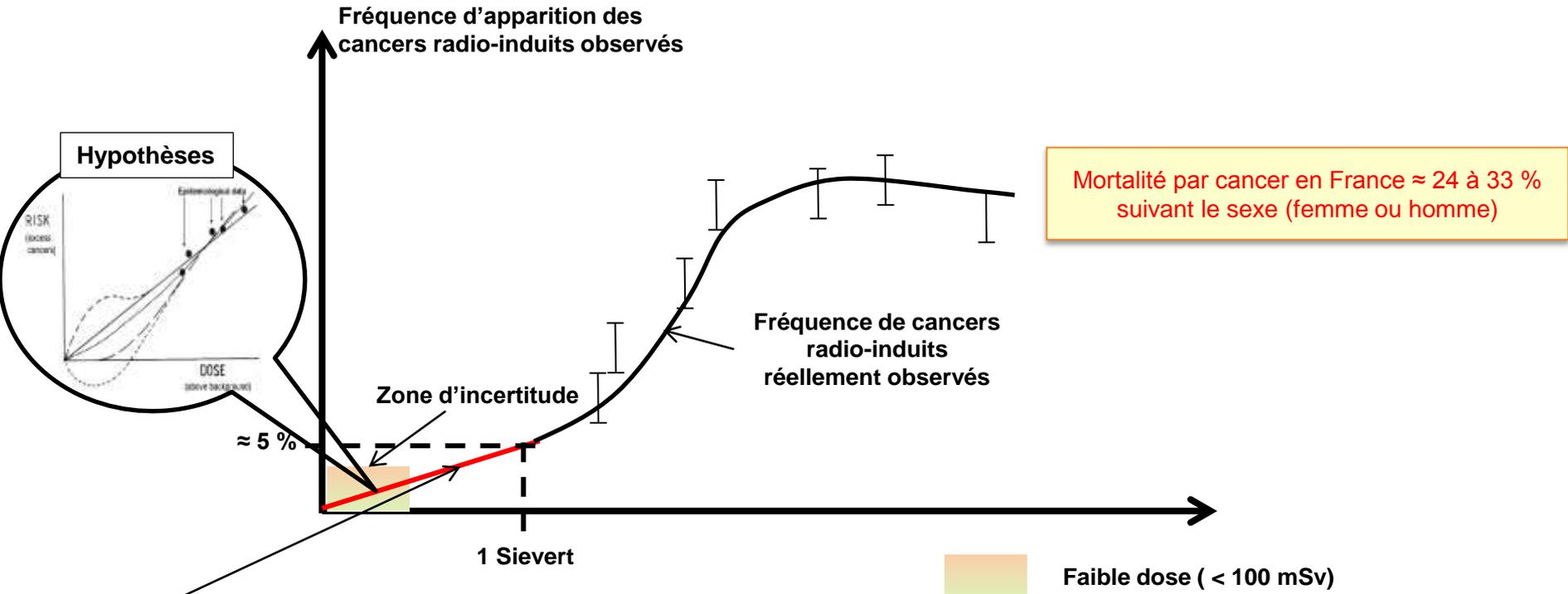
↪ **Temps de latence important.**



RÉCAPITULATIF DE LA GENÈSE DES EFFETS BIOLOGIQUES



LES EFFETS STOCHASTIQUES (ALÉATOIRES) : CANCERS, EFFETS GÉNÉTIQUES



Relation linéaire sans seuil (hypothèse retenue)
=
Hypothèse la plus prudente en l'absence de certitudes

Coefficient de risque nominal pour les travailleurs (cancers mortel et non mortels) :	$4,8 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ (CIPR 60)
	$4,1 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ (CIPR 103)
Coefficient de risque nominal pour les travailleurs (effets héréditaires graves) :	$0,8 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ (CIPR 60)
	$0,1 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ (CIPR 103)

**LES MALADIES
PROFESSIONNELLES
IMPUTABLES AUX
RAYONNEMENTS
IONISANTS**

« Est présumée d'origine professionnelle toute maladie désignée dans un tableau de maladies professionnelles et contractée dans les conditions mentionnées dans ce tableau. »

Si une ou plusieurs conditions ne sont pas remplies, la maladie telle qu'elle est désignée dans un des tableaux, peut-être reconnue d'origine professionnelle, lorsqu'il est établi qu'elle est directement causée par le travail habituel de la victime.

Peut être également reconnue d'origine professionnelle, **une maladie caractérisée, non désignée dans un tableau**, lorsqu'il est établi qu'elle est essentiellement et directement causée par le travail habituel de la victime, et qu'elle entraîne le décès de celle-ci ou une incapacité permanente...

Dans ces 2 derniers cas, la Caisse Primaire d'Assurance Maladie (CPAM) reconnaît l'origine professionnelle de la maladie après **avis motivé d'un Comité Régional de reconnaissance des Maladies Professionnelles**.

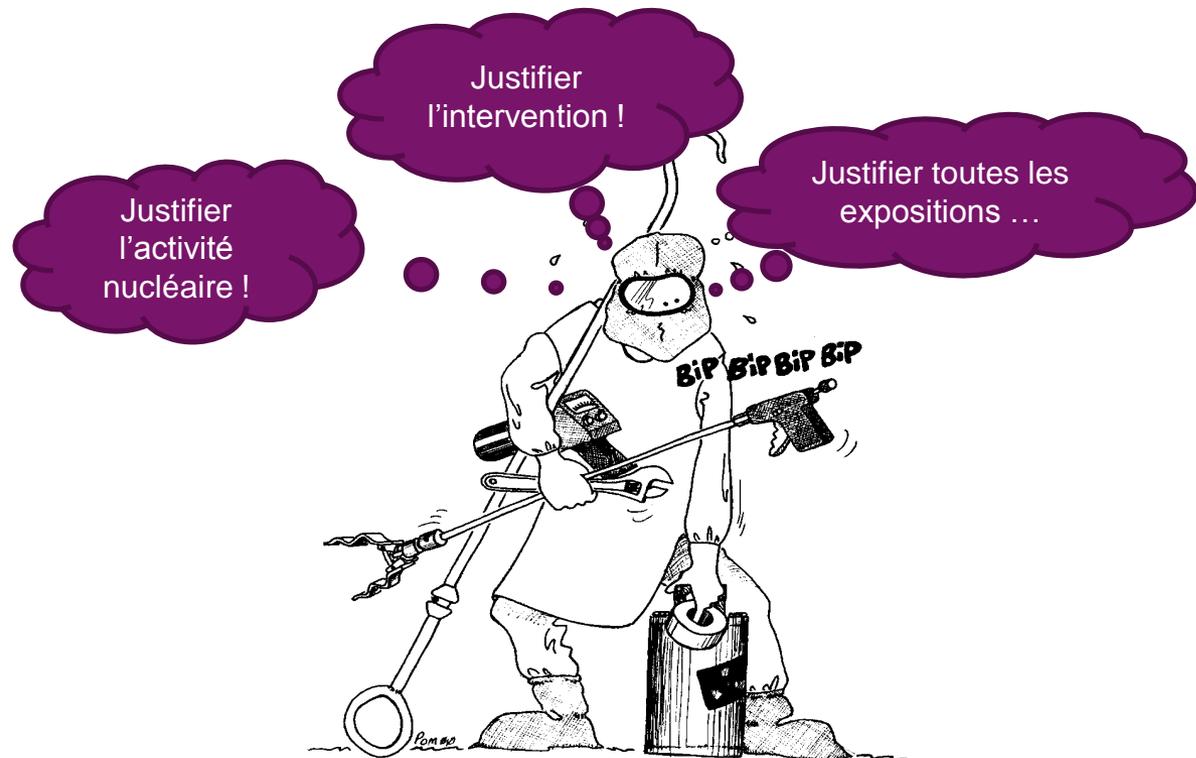
EXEMPLE : TABLEAU N°6

Désignation des maladies	Délai de prise en charge	Liste INDICATIVE des principaux travaux susceptibles de provoquer ces maladies
Anémie, leucopénie, thrombopénie ou syndrome hémorragique consécutifs à une irradiation aiguë.	30 jours	Tous travaux exposant à l'action des rayons X ou des substances radioactives naturelles ou artificielles, ou à toute autre source d'émission corpusculaire, notamment :
Anémie, leucopénie, thrombopénie ou syndrome hémorragique consécutifs à une irradiation chronique.	1 an	— extraction et traitement des minerais radioactifs ;
Blépharite ou conjonctivite.	7 jours	— préparation des substances radioactives ;
Kératite.	1 an	— préparation de produits chimiques et pharmaceutiques radioactifs ;
Cataracte.	10 ans	— préparation et application de produits luminescents radifères ;
Radiodermites aiguës.	60 jours	— recherches ou mesures sur les substances radioactives et les rayons X dans les laboratoires ;
Radiodermites chroniques.	10 ans	— fabrication d'appareils pour radiothérapie et d'appareils à rayons X
Radio-épithélite aiguë des muqueuses.	60 jours	— travaux exposant les travailleurs au rayonnement dans les hôpitaux, les sanatoriums, les cliniques, les dispensaires, les cabinets médicaux, les cabinets dentaires et radiologiques, dans les maisons de santé et les centres anticancéreux ;
Radiolésions chroniques des muqueuses.	5 ans	— travaux dans toutes les industries ou commerces utilisant les rayons X, les substances radioactives, les substances ou dispositifs émetteurs des rayonnements indiqués ci-dessus.
Radionécrose osseuse.	30 ans	
Leucémies.	30 ans	
Cancer broncho-pulmonaire primitif par inhalation.	30 ans	
Sarcome osseux.	50 ans	

LES PRINCIPES FONDAMENTAUX DE RADIOPROTECTION

LES PRINCIPES DE RADIOPROTECTION : JUSTIFICATION

Une **activité nucléaire** ou **une intervention** ne peut être entreprise ou exercée que **si elle est justifiée par les avantages qu'elle procure**, notamment en matière sanitaire, sociale, économique ou scientifique, **rapportés aux risques** inhérents à l'exposition aux rayonnements ionisants auxquels elle est susceptible de soumettre les personnes (art. L1333-1 du code de la santé publique).



L'exposition des personnes aux rayonnements ionisants résultant d'une de ces activités ou interventions doit être maintenue au niveau le plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre, compte tenu de l'état des techniques, des facteurs économiques et sociaux [...] (art. L1333-1 du Code de la santé publique).

Différentes mesures d'optimisation

1. Action sur les sources

2. Protection, aménagement du poste de travail

3. Préparation du travail

4. Planification du travail

5. Organisation du travail

6. Outillage

7. Formation et compétences

L'exposition d'une personne aux rayonnements ionisants résultant d'une de ces activités ne peut porter la somme des doses reçues au-delà des limites fixées par voie réglementaire, sauf lorsque cette personne est l'objet d'une exposition à des fins médicales ou de recherche biomédicale (Article L1333-1 du Code de la santé publique).

Les limites sont précisées dans le code du travail aux articles R4451-12 à R4451-17.

Parmi celles-ci, on peut rappeler en particulier que :

- La somme des **doses efficaces** reçues par exposition externe et interne ne doit pas dépasser **20 mSv** sur douze mois consécutifs,
- Pour les **mains, les avant-bras, les pieds et les chevilles**, l'exposition reçue au cours de douze mois consécutifs ne peut dépasser **500 mSv** ;
- Pour la **peau**, l'exposition reçue au cours de douze mois consécutifs ne peut dépasser **500 mSv**. Cette limite s'applique à la dose moyenne sur toute surface de 1 cm², **quelle que soit la surface exposée** ;
- Pour **le cristallin** l'exposition reçue au cours de douze mois consécutifs ne peut dépasser **150 mSv**.

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



COMMENT ÉVALUER LES RISQUES ?

www.cea.fr



LES GRANDEURS DE PROTECTION

DOSE ABSORBÉE (D)

$$D = \frac{d\bar{E}}{dm}$$

UNITE : Le Gray (Gy)

$d\bar{E}$ est l'énergie moyenne communiquée par le rayonnement ionisant à la matière dans un élément de volume

dm est la masse de matière contenue dans cet élément de volume

le terme « dose absorbée » désigne la dose moyenne reçue par un organe ou un tissu

DOSE EQUIVALENTE à l'organe

$$H_T = \sum_R D_{T,R} W_R$$

UNITE : Le Sievert (Sv)

H_T = dose équivalente dans le tissu T

W_R = facteur de pondération du rayonnement

$D_{T,R}$ = dose absorbée moyenne dans le tissu ou l'organe T, due au rayonnement R

$W_R = 1$ pour les photons quelque soit l'énergie et pour les électrons.

$W_R = 2$ pour les protons quelle que soit leur énergie.

W_R varie de 5 à 20 pour les neutrons (des formules empiriques sont préconisées plutôt que les valeurs discrètes. l'utilisation d'une fonction continue est recommandée en remplacement d'une fonction en marche d'escalier).

$W_R = 20$ pour les α , fragments de fission, noyaux lourds

DOSE EFFICACE

$$E = \sum_T H_T W_T$$

UNITE : Le Sievert (Sv)

Valeurs du facteur de pondération en fonction de l'organe *
ou du tissu (CIPR publication 26 de 1977, 60 de 1991 et 103 de 2007).

Organe ou tissu	w _T		
	CIPR 26 (1977)	CIPR 60 (1991)	CIPR 103 (2007)
Sein	0,25	0,20	0,08
Colon	0,12	0,12	0,12
Estomac		0,12	0,12
Moelle osseuse (rouge)	0,12	0,12	0,12
Poumon		0,12	0,12
Thyroïde		0,05	0,04
Esophage		0,05	0,04
Stomac		0,05	0,01
Intestin grêle		0,05	0,04
Intestin épais		0,05	0,01
Glandes surrénales			0,01
Cerveau			0,01
Reste de l'organisme	0,30 *	0,05 **	0,12 ***

CIPR 26
6 facteurs de pondérations spécifiés

CIPR 60
12 facteurs de pondérations spécifiés

CIPR 103
14 facteurs de pondérations spécifiés

* Incluant les 5 organes les plus irradiés avec une pondération de 0,06 chacun.

** Incluant 10 organes : la glande surrénale, le cerveau, le gros intestin, l'intestin grêle, les reins, les muscles, le pancréas, la rate, le thymus et l'utérus.

*** Incluant 15 organes : Tissus adipeux, la glande surrénale, le tissu conjonctif, les voies aériennes extra thoraciques (fosse nasale, larynx, pharynx et bouche), le muscle cardiaque, les reins, la vésicule biliaire, les ganglions lymphatiques, les muscles, le pancréas, la prostate, la rate, le thymus, l'utérus et son col.

**DOSE EQUIVALENTE
ENGAGEE**

UNITE : Le sievert (Sv)

**DOSE EFFICACE
ENGAGEE**

$$H_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0 + \tau} H_T(t).dt$$

$$E(\tau) = \sum_T W_T \cdot H_T(\tau)$$

$H_T(t)$ est le débit de dose équivalente à l'organe ou le tissu T au moment t

τ (en années) est la période sur laquelle l'intégration est effectuée

la durée d'exposition à prendre en compte correspond à la durée nécessaire à l'élimination complète du produit radioactif ou à défaut, de **50 ans pour les adultes** et de **70 ans (cas des enfants)**

Estimation de la dose efficace engagée (DPUI)

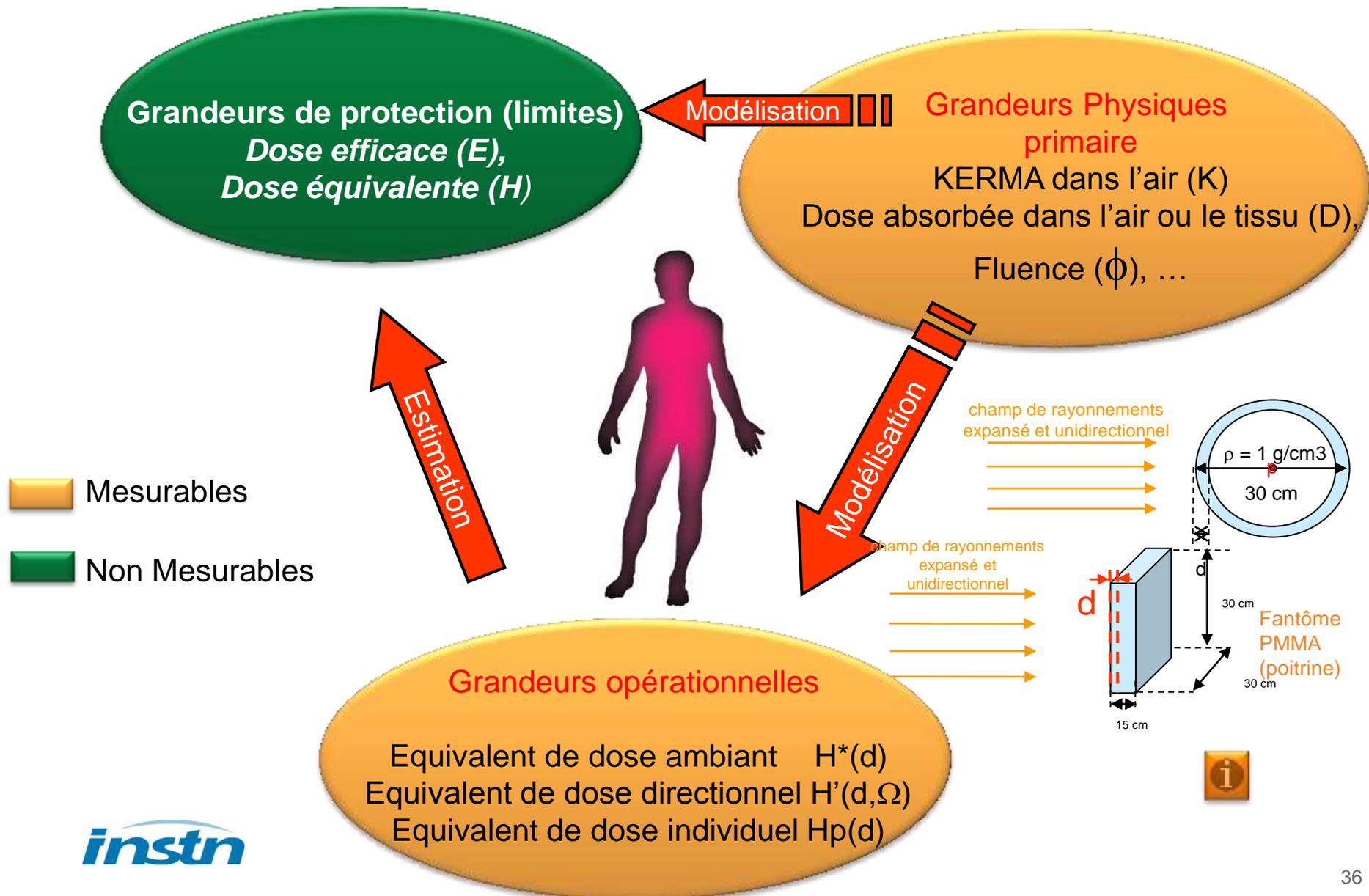
$$E = \sum_j h(g)_{j,\text{inhalation}} \cdot A_{\text{inhalée}} + \sum_j h(g)_{j,\text{ingestion}} \cdot A_{\text{ingestion}}$$

$h(g)$ (Sv.Bq⁻¹): dose efficace engagée par unité d'incorporation (**DPUI**), par inhalation, ou par ingestion du radionucléide j , pour un individu d'âge g

A : activité ingérée ou inhalée (Bq)

LES GRANDEURS OPÉRATIONNELLES

LES GRANDEURS UTILISÉES DANS LA PROTECTION CONTRE LES RAYONNEMENTS IONISANTS



LES GRANDEURS OPÉRATIONNELLES

Le concept de base retenu est celui de **l'équivalent de dose en un point, dans une sphère réceptrice** (sphère ICRU), et ramené aux conditions d'utilisation des appareils :

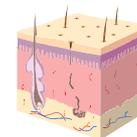
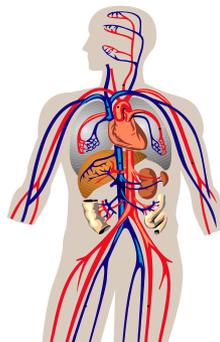
- La surveillance des zones de travail et de l'environnement (dosimétrie de zone ou d'ambiance).
- La surveillance individuelle (dosimétrie individuelle).

L'ICRU a défini des **épaisseurs de tissus de référence** (d en mm) pour l'évaluation des risques associée à une exposition aux rayonnements ionisants :



Cristallins
d = 3 mm

Organes profonds
d = 10 mm

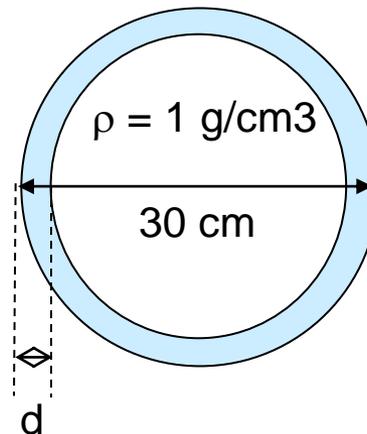


Couche basale de la peau
d = 0,07 mm

Équivalent de dose ambient, $H^*(d)$:

Équivalent de dose en un point d'un champ de rayonnement qui serait produit par le champ expansé et unidirectionnel correspondant dans la sphère de l'ICRU à une profondeur « d » sur le rayon opposé à la direction du champ unidirectionnel. L'unité de l'équivalent de dose ambient est le sievert (Sv).

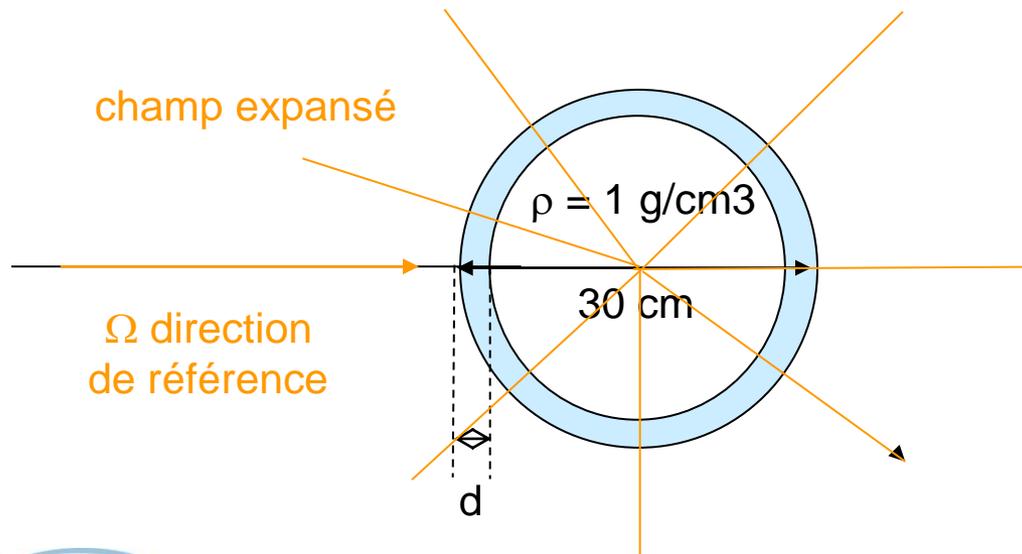
champ de rayonnements
expansé et unidirectionnel



Équivalent de dose en 1 point
donné dans la sphère ICRU
(76,2 % O, 11,1 % C, 10,1 % H, 2,6 % N)

Équivalent de dose directionnel, $H'(d, \Omega)$

Équivalent de dose en un point dans un champ de rayonnement qui serait produit par le champ expansé correspondant dans la sphère de l'ICRU à une profondeur d , sur un rayon dans une direction donnée, Ω . L'unité de l'équivalent de dose directionnel est le sievert (Sv).

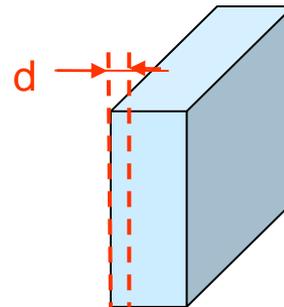


Équivalent de dose en 1 point donné dans la sphère ICRU
(76,2 % O, 11,1 % C, 10,1 % H, 2,6 % N)

Équivalent de dose individuel, $H_p(d)$:

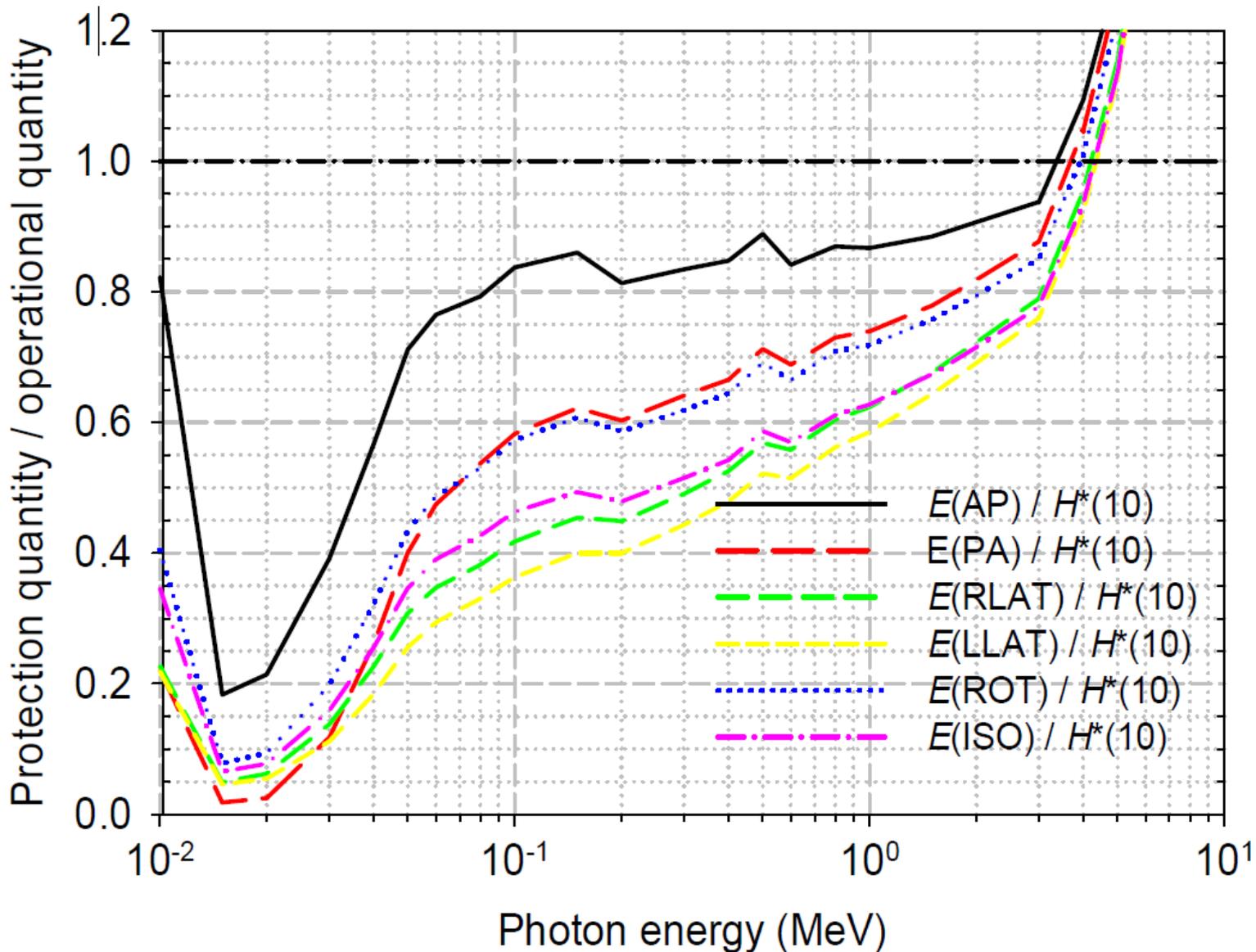
Equivalent de dose dans les tissus mous à une profondeur appropriée d , en dessous d'un point spécifié sur le corps humain. L'unité de l'équivalent de dose individuel est le sievert (Sv). Le point spécifié est habituellement donné par la position où l'individu porte son dosimètre.

champ de rayonnements
expansé et unidirectionnel

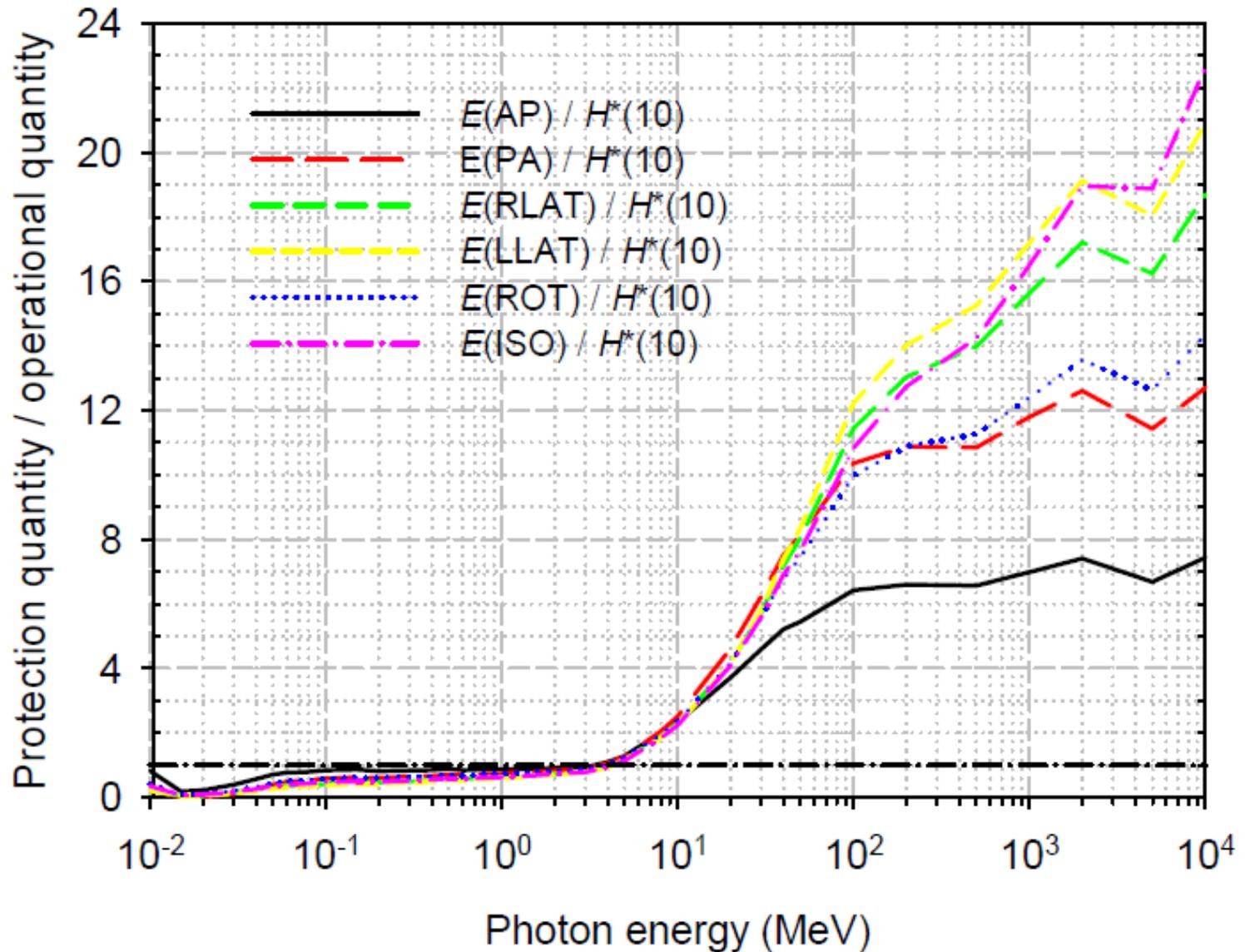


Fantôme PMMA (poitrine)
30 x 30 x 15

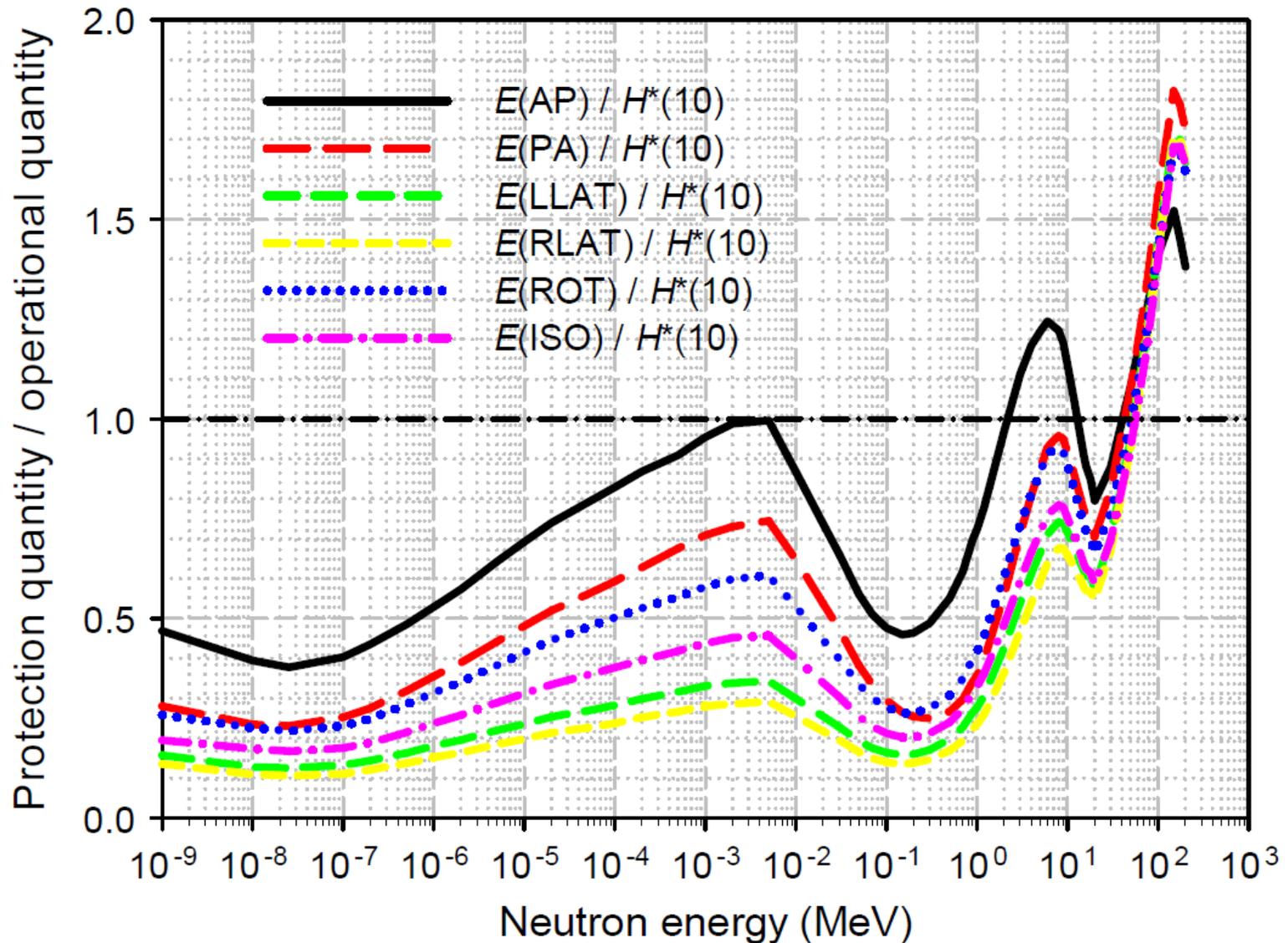
RAPPORT DE LA DOSE EFFICACE À L'ÉQUIVALENT DE DOSE EN FONCTION DE L'ÉNERGIE DES PHOTONS (CIPR 116)



RAPPORT DE LA DOSE EFFICACE À L'ÉQUIVALENT DE DOSE EN FONCTION DE L'ÉNERGIE DES PHOTONS (CIPR 116)



RAPPORT DE LA DOSE EFFICACE À L'ÉQUIVALENT DE DOSE EN FONCTION DE L'ÉNERGIE DES NEUTRONS (CIPR 116)



LIEN GRANDEURS OPÉRATIONNELLES – GRANDEURS DE PROTECTION (EN RÉSUMÉ)

	Pouvoir de pénétration du rayonnement	Grandeurs opérationnelles	Grandeurs de protection
Dosimétrie de zone ou d'ambiance	Fort	Equivalent de dose ambiant $H^*(10)$ (Isotrope)	Dose efficace E
	Faible	Equivalent de dose directionnel $H'(0,07)$ (Isodirectionnelle)	Dose équivalente H_T
Dosimétrie individuelle	Fort	Equivalent de dose individuel $H_p(10)$ (Isodirectionnelle)	Dose efficace E
	Faible	Equivalent de dose individuel $H_p(0,07)$ (Isodirectionnelle)	Dose équivalente H_T

	Effets biologiques	Evaluation des risques biologiques			
		Grandeurs de protection	Rayonnements	Grandeurs opérationnelles	Rayonnements
Faibles Doses	Effets stochastiques (ou effets aléatoires)	Dose équivalente (sievert) Notée H (Sv)	Tous les rayonnements	Equivalent de dose directionnel Notée H'(d,Ω) Equivalent de dose individuel Notée Hp(d) (sievert)	Faiblement pénétrant (électrons, bêta)
		Dose efficace (sievert) Notée E (Sv)		Equivalent de dose ambiant Notée H*(d) Equivalent de dose individuel Notée Hp(d) (sievert)	Fortement pénétrant (gamma, neutron)
		Dose efficace engagée (sievert) Notée E(τ) (Sv)		Pas de grandeurs définies dans la réglementation	Tous les rayonnements
Fortes Doses	Effets déterministes ou réactions tissulaires (CIPR 103)	Dose absorbée (gray) Notée D (Gy)	Gamma, X et électrons	Grandeurs physiques primaires	Fonction du rayonnement
		Dose absorbée pondérée par EBR (gray) Notée EBR•D (Gy)	Alpha et neutrons		

EBR : Effet Biologique Relatif

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



ANALYSE DE POSTE DE TRAVAIL

EVALUATION DES DOSES PRÉVISIONNELLES

www.cea.fr



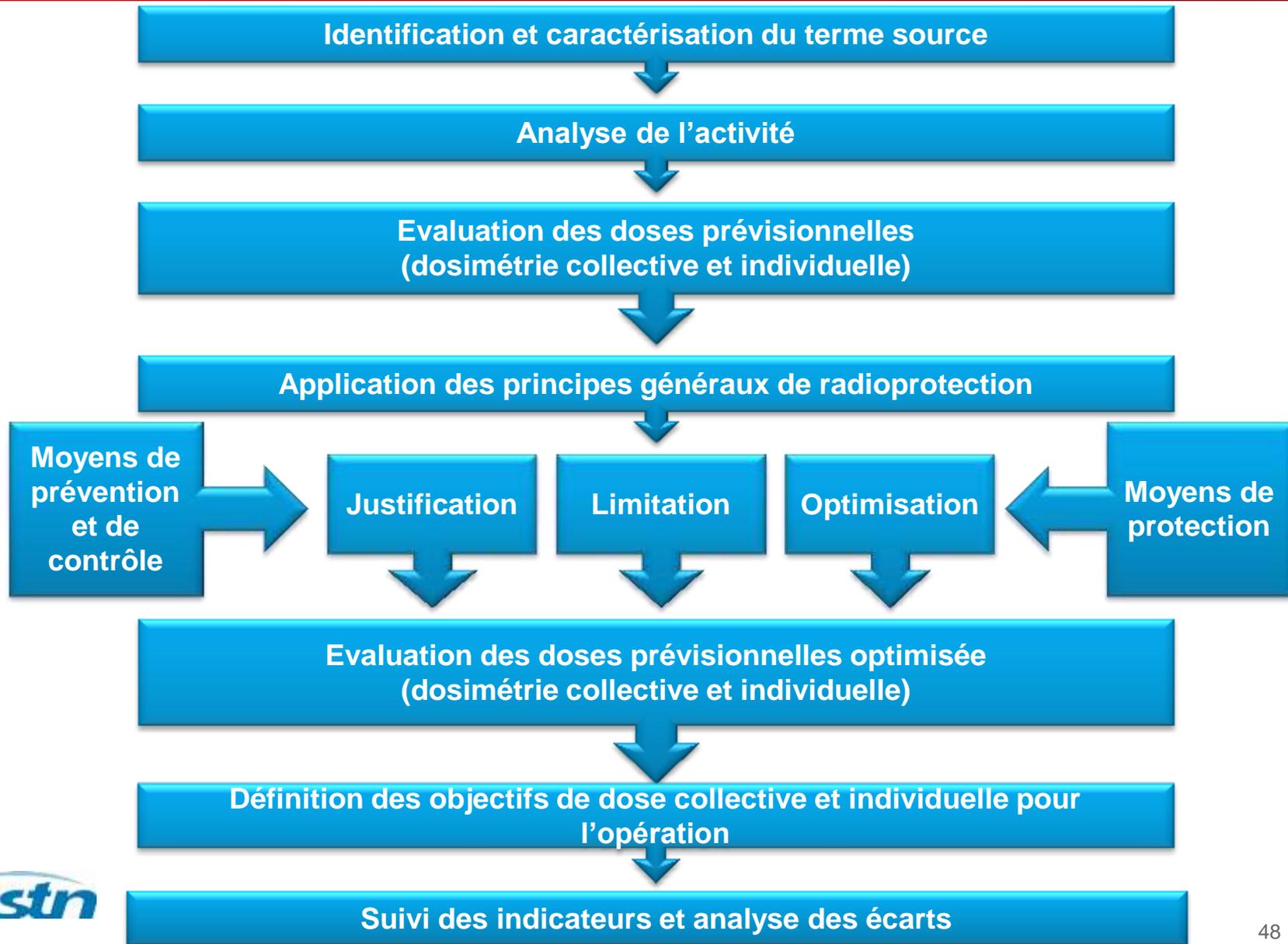
Article R4451-11 du Code du travail :

Dans le cadre de l'évaluation des risques, **l'employeur**, en collaboration, le cas échéant, avec le chef de l'entreprise extérieure ou le travailleur non salarié, **procède à une analyse des postes de travail** qui est renouvelée périodiquement et à l'occasion de toute modification des conditions pouvant affecter la santé et la sécurité des travailleurs.

Lors d'une opération se déroulant dans la zone contrôlée [...], l'employeur :

- 1° **Fait procéder à une évaluation prévisionnelle de la dose collective et des doses individuelles** que les travailleurs sont susceptibles de recevoir lors de l'opération ;
- 2° **Fait définir par la personne compétente en radioprotection [...]** des **objectifs de dose collective et individuelle pour l'opération** fixés au niveau le plus bas possible compte tenu de l'état des techniques et de la nature de l'opération à réaliser et, en tout état de cause, à un niveau ne dépassant pas les valeurs limites [...]
- 3° **Fait mesurer et analyser les doses de rayonnement effectivement reçues au cours de l'opération [...]**.

LES ÉTAPES DE L'ANALYSE



IDENTIFICATION ET CARACTÉRISATION DU TERME SOURCE

- Caractéristiques des sources de rayonnements ionisants :
 - ❑ radionucléides :
 - Nature et énergie des rayonnements émis,
 - Dose par unité d'incorporation (LDCA, RCA, RAI, ...).
 - ❑ Générateurs électriques de rayonnements (générateurs X, accélérateur de particules) :
 - Nature et énergie des rayonnements,
 - Pour les générateurs X : tension, intensité, nature de l'anticathode, caractéristiques du foyer, filtration),
 - Pour les accélérateurs : Type d'appareil, nature des cibles, réactions nucléaires envisageables, ...
- Evaluation des sources de danger en exposition interne et externe :
 - par modélisation / calculs (éventuellement),
 - par mesures (Cartographie des lieux, ...).

Evaluation des risques

Objectif de l'analyse d'activité :

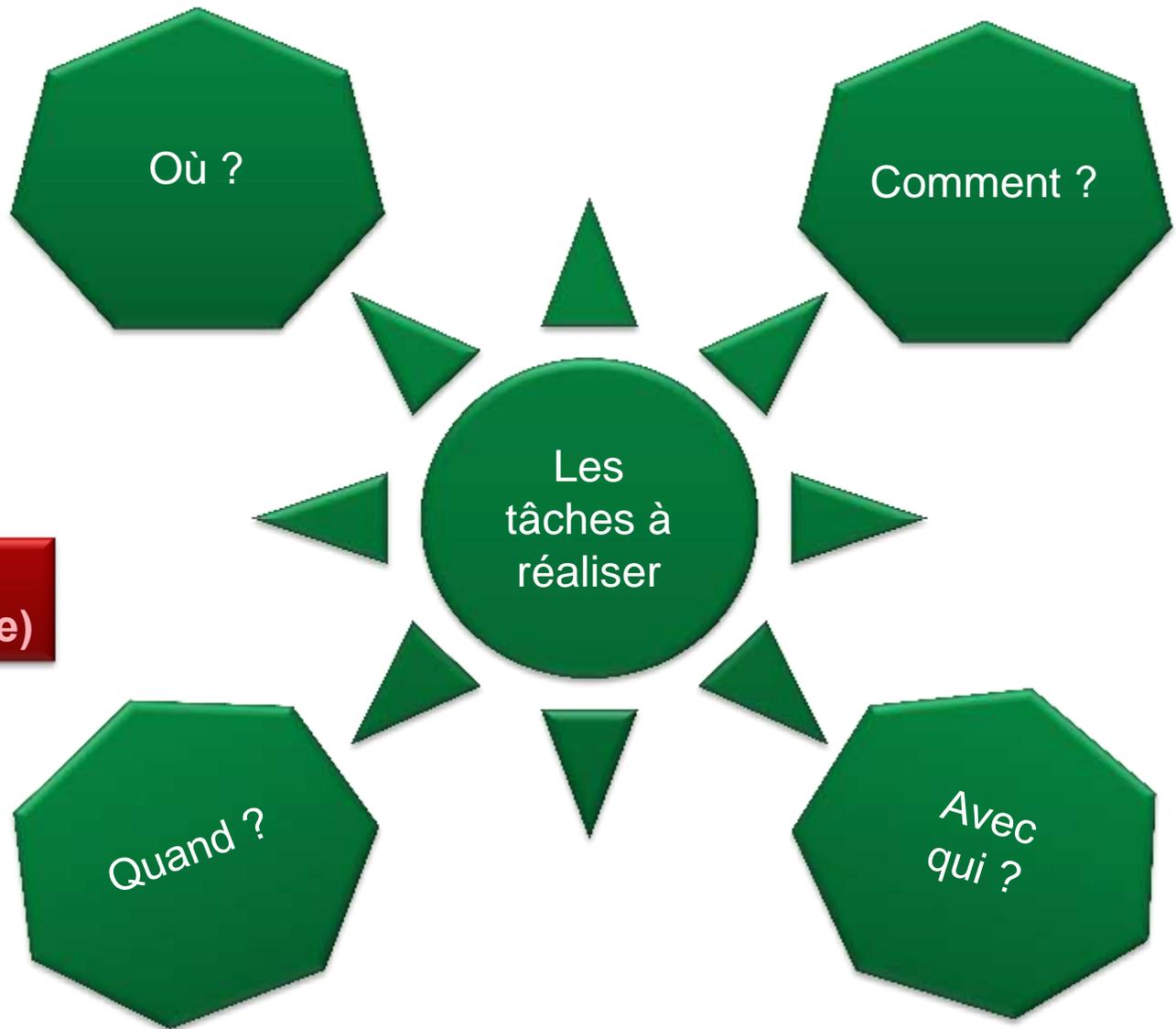
Permettre de prendre en compte l'activité dans son environnement technique, organisationnel et humain



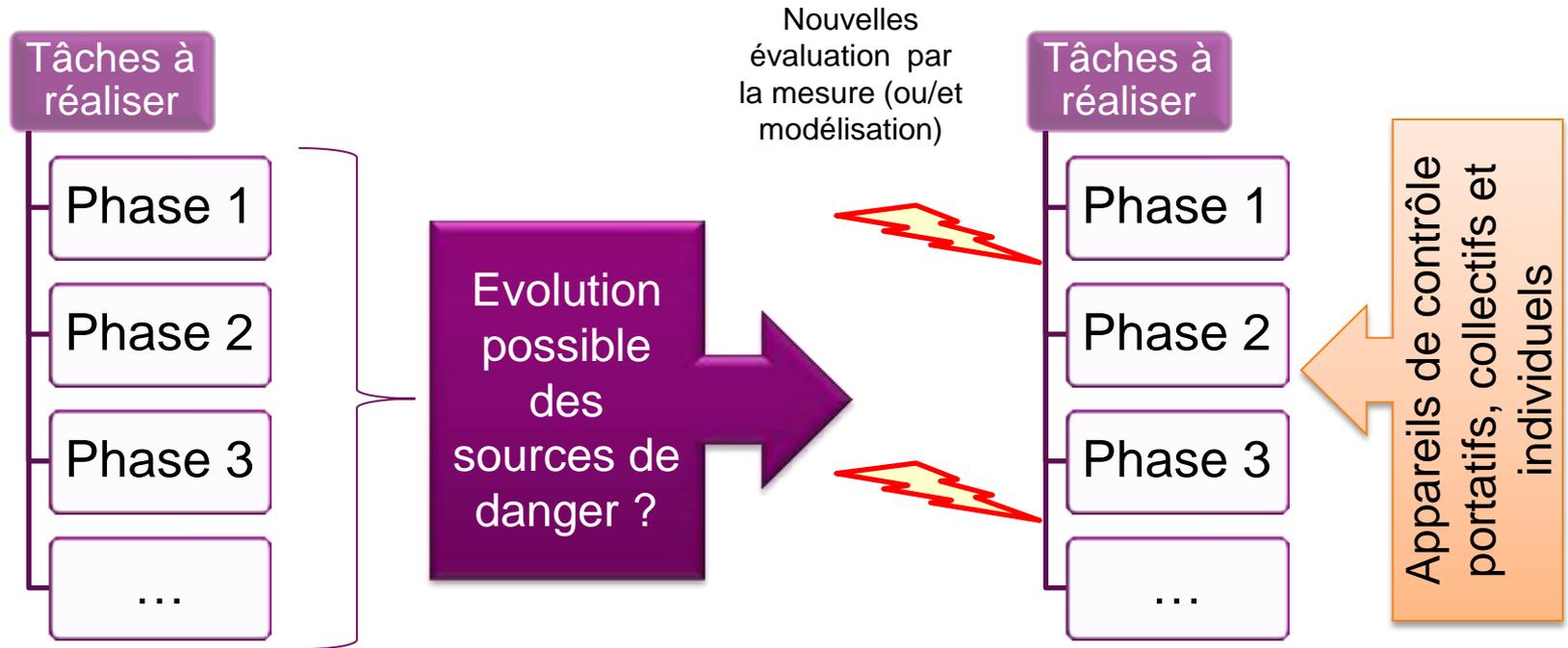
Identification des conditions d'exposition aux sources de danger



R.Ex.
(Retour d'Expérience)



ANALYSE DE L'ACTIVITÉ



EVALUATION DES DOSES PRÉVISIONNELLES (EDP)

Evaluation de la dose collective

Dose collective : Somme des doses efficaces reçues par chaque intervenants. Elle s'exprime en Homme.Sievert (H.Sv et sous multiples)

Mise en œuvre du principe d'optimisation

Evaluation des doses individuelles

Doses individuelles : Doses reçues par chaque intervenant individuellement. Elle s'exprime en Sievert (Sv et sous multiples). Il s'agit de déterminer la dose efficace et la dose équivalente.

Mise en œuvre du principe de limitation

Mise en œuvre du principe de justification

EVALUATION PRÉVISIONNELLE INITIALE

FICHE DE PREVISIONNEL DOSIMETRIQUE (technique)																					
Site		CHNE																			
Libellé intervention		Intervention en sur BAE GV - contrôle tubes par oscurité de Foucault																			
Date		Pendant l'arrêt de tranchée																			
Dose collective initiale		10,30 H.mSv																			
Dose Individuelle totale		Hp(10)	Hp(0,1)	Hp(0,07)																	
Intervenant A		0,2 mSv	0,0 mSv	0,0 mSv																	
Intervenant B		0,4 mSv	0,0 mSv	0,0 mSv																	
Intervenant C		0,2 mSv	0,0 mSv	0,0 mSv																	
Intervenant D		0,2 mSv	0,0 mSv	0,0 mSv																	
Intervenant E		0,2 mSv	0,0 mSv	0,0 mSv																	
Intervenant F		0,2 mSv	0,0 mSv	0,0 mSv																	
Intervenant G		0,6 mSv	0,0 mSv	0,0 mSv																	
Intervenant H		2,3 mSv	0,0 mSv	0,0 mSv																	
Intervenant I		2,3 mSv	0,0 mSv	0,0 mSv																	
Intervenant J		0,6 mSv	0,0 mSv	0,0 mSv																	
Phase de travaux (Mode opératoire)	Intervenant										Durée d'exposition (en heures)			Débit d'équivalent de dose (mSv/h)			Dose efficace individuelle (mSv)			Nombre d'intervenants	Dose collective (H.mSv)
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	OE	Cristallin	Pesanteur	Hp(10)	Hp(0,1)	Hp(0,07)	Hp(10)	Hp(0,1)	Hp(0,07)		
Montage sur GV	X		X		X		X				4			0,10 mSv/h			0,4 mSv	0,0 mSv	0,0 mSv	4	1,6
Assistance habillage / déshabillage																	0,0 mSv	0,0 mSv	0,0 mSv	0	0
Cartographie BAE GV avant intervention																	0,0 mSv	0,0 mSv	0,0 mSv	0	0
Ouverture des temporis		X		X		X					3			0,10 mSv/h			0,3 mSv	0,0 mSv	0,0 mSv	3	0,9
Cartographie BAE GV ap dépôt temporis et sur dépôt Presses-joints																	0,0 mSv	0,0 mSv	0,0 mSv	0	0
Dépôt des presses-joints							X	X			1			2,30 mSv/h			2,3 mSv	0,0 mSv	0,0 mSv	2	4,6
Cartographie BAE GV																	0,0 mSv	0,0 mSv	0,0 mSv	0	0
Pose bases lourdes (sur dans BAE GV)																	0,0 mSv	0,0 mSv	0,0 mSv	0	0

Mise en évidence des enjeux dosimétriques

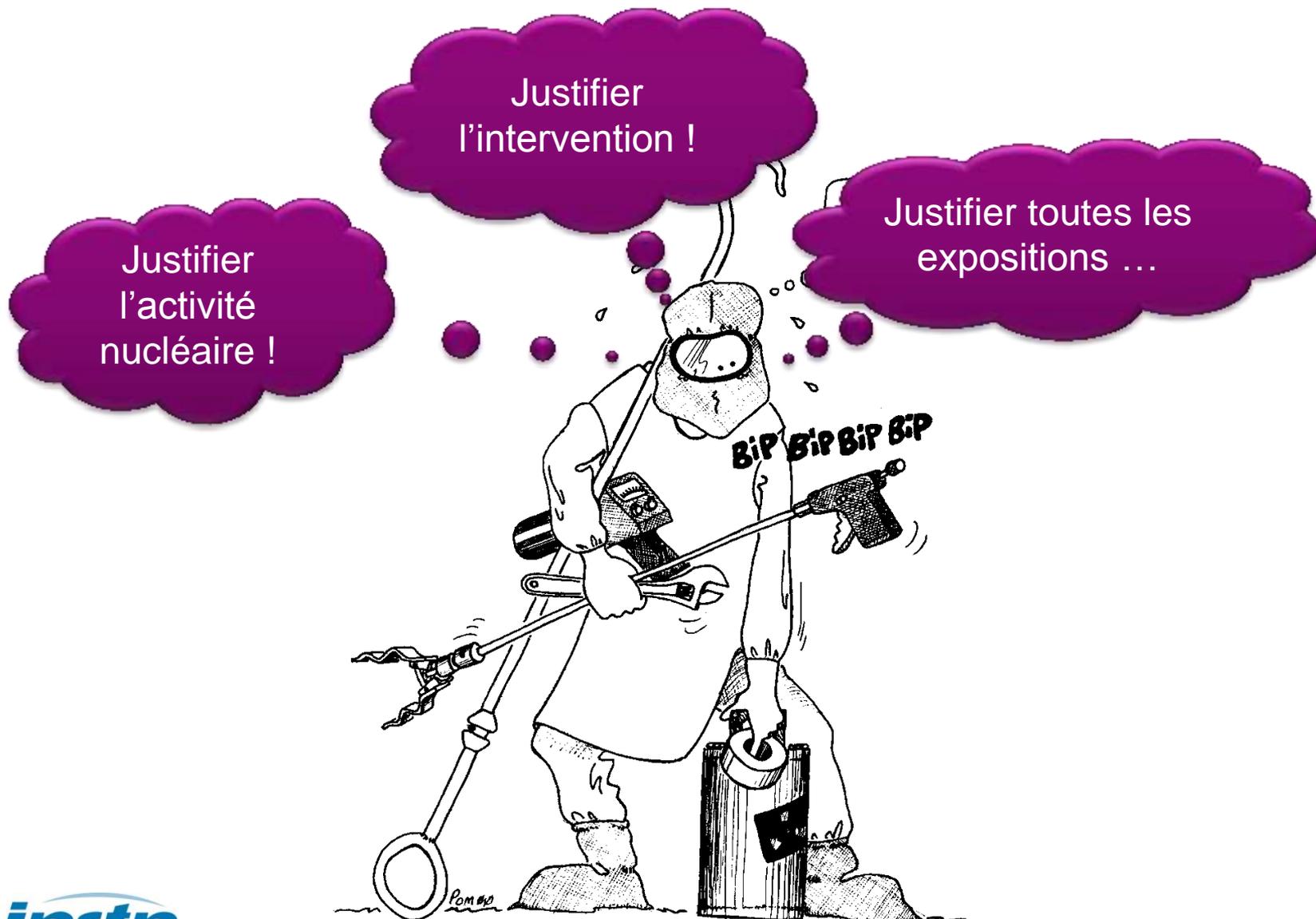
Identification des phases les plus « dosantes » = cibles potentielles d'optimisation prioritaires

Attention au travers de la « théorie du risque enveloppe » ...
Ou, la tentation de prendre systématiquement le Débit d'équivalent de dose le plus élevé !

Quels sont les débits de dose qui nous intéresse ?
⇒ Obligation d'avoir analysé l'activité !

Une activité nucléaire ou une intervention ne peut être entreprise ou exercée que si elle est justifiée par les avantages qu'elle procure, notamment en matière sanitaire, sociale, économique ou scientifique, rapportés aux risques inhérents à l'exposition aux rayonnements ionisants auxquels elle est susceptible de soumettre les personnes (art. L1333-1 du code de la santé publique).

Les risques étant considérés comme proportionnels à la dose, l'évaluation prévisionnelle initiale constitue la base de comparaison vis-à-vis des avantages réels ou potentiels.



MISE EN ŒUVRE DU PRINCIPE D'OPTIMISATION

L'exposition des personnes aux rayonnements ionisants résultant d'une de ces activités ou interventions **doit être maintenue au niveau le plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre**, compte tenu de l'état des techniques, des facteurs économiques et sociaux [...] (art. L1333-1 du Code de la santé publique).



Différentes mesures d'optimisation

1. Action sur les sources
2. Protection, aménagement du poste de travail
3. Préparation du travail
4. Planification du travail
5. Organisation du travail
6. Outillage
7. Formation et compétences



L'exposition d'une personne aux rayonnements ionisants résultant d'une de ces activités ne peut porter la somme des doses reçues au-delà des limites fixées par voie réglementaire, sauf lorsque cette personne est l'objet d'une exposition à des fins médicales ou de recherche biomédicale (Article L1333-1 du Code de la santé publique).

Les limites sont précisées dans le code du travail aux articles R4451-12 à R4451-17.

Parmi celles-ci, on peut rappeler en particulier que :

- La somme des **doses efficaces** reçues par exposition externe et interne ne doit pas dépasser **20 mSv** sur douze mois consécutifs,
- Pour les **mains, les avant-bras, les pieds et les chevilles**, l'exposition reçue au cours de douze mois consécutifs ne peut dépasser **500 mSv** ;
- Pour la **peau**, l'exposition reçue au cours de douze mois consécutifs ne peut dépasser **500 mSv**. Cette limite s'applique à la dose moyenne sur toute surface de 1 cm², **quelle que soit la surface exposée** ;
- Pour **le cristallin** l'exposition reçue au cours de douze mois consécutifs ne peut dépasser **150 mSv**.

MISE EN ŒUVRE DU PRINCIPE DE LIMITATION

Vérifier que le passé dosimétrique individuel est compatible avec l'intervention

Article R4451-71 du Code du travail :

Aux fins de procéder à l'évaluation prévisionnelle et à la définition des objectifs de dose collective et individuelle [...], avant la réalisation d'opérations dans la zone contrôlée ou surveillée, la personne compétente en radioprotection [...] demande communication des doses efficaces reçues sous une forme nominative sur une période de référence n'excédant pas les douze derniers mois.



Article R4451-72 du Code du travail :

Lorsque, notamment au cours ou à la suite d'une opération, la personne compétente en radioprotection estime, au vu des doses efficaces reçues, qu'un travailleur est susceptible de recevoir ultérieurement, eu égard à la nature des travaux qui lui sont confiés, des doses dépassant les valeurs limites fixées [...] elle en informe immédiatement l'employeur et le médecin du travail. Ce dernier en informe alors le travailleur intéressé.

EVALUATION PRÉVISIONNELLE OPTIMISÉE

FICHE DE PREVISIONNEL DOSIMETRIQUE OPTIMISEE																					
Site	CNRE																				
Libellé intervention	Intervention en sur BAE GV - contrôle tubes par courat de Foucault																				
Date	Pendant l'arrêt de tranche																				
Dose collective initiale	10,04 H.mSv																				
Dose individuelle totale		Hp(10)	Hp(0,3)	Hp(0,07)																	
Intervention A		0,5	0	0																	
Intervention B		0,5	0	0																	
Intervention C		0,5	0	0																	
Intervention D		0,5	0	0																	
Intervention E		1,0	0	0																	
Intervention F		0,5	0	0																	
Intervention G		0,5	0	0																	
Intervention H		0,5	0	0																	
Intervention I		0,5	0	0																	
Intervention J		0	0	0																	
Phase de travaux (Mode opératoire)	Intervenant										Durée d'exposition (en heures)			Débit d'équivalent de dose (mSv/h)			Dose efficace individuelle (mSv)			Nombre d'intervenants	Dose collective H.m.Sv
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	OE	Cristallins	Peau/estr.	H*(10)	H*(0,3)	H*(0,07)	Hp(10)	Hp(0,3)	Hp(0,07)		
Assistance habillage / déshabillage	X	X									2			0,05 mSv/h			0,1	0	0	2	0,2
Cartographie BAE GV au interanctin	X										0,5			0,20 mSv/h			0,1	0	0	1	0,1
Nettoyage des tampons	X	X	X								3			0,10 mSv/h			0,3	0	0	3	0,9
BAE GV ap dépose tampons et avt																	0	0	0	0	0
Depose des greses joints							X	X			1			2,30 mSv/h			2,3	0	0	2	4,6
Cartographie BAE GV				X							0,25			0,60 mSv/h			0,15	0	0	1	0,15
Mise en place protection biologique	X			X							1			0,50 mSv/h			0,5	0	0	2	1

Mettre en évidence l'écart sur les doses collectives, l'équité, ...

Jusqu'où doit-on détailler le phasage pour optimiser ... ?



Mettre en évidence le coût dosimétrique de la mise en place des moyens de protection, prévention, alarme, alerte, ...
Arrive t'on a tout justifier ?

Tablier de plomb ou pas tablier ?

DÉFINITIONS DES OBJECTIFS DE DOSE ET IDENTIFICATION D'INDICATEURS

Les objectifs de dose (individuel et collectif) vont permettre de définir des indicateurs de suivi du bon déroulement de l'intervention.



Indicateurs basés essentiellement sur la dosimétrie :

- Seuil de dose individuelle journalière,
- Seuil sur le débit de dose,
- Repère sur la dose collective / phase de l'intervention,

Mais aussi :

- Nombre de contamination corporelle détectée,
- Déclenchement d'alarme sur appareil de contrôle collectif, ...

Un nombre important d'événements associés à ces indicateurs sont révélateurs de problèmes dans le déroulement de l'intervention. Problèmes qui pourront, très certainement, être à l'origine d'une dérive de la dosimétrie à venir.



Il est important de **définir les modalités de suivi** de l'opération dès la phase de conception :

- **Identifier les points importants pour la radioprotection** qui sont des points nécessitant un contrôle et une surveillance renforcée (efficacité des actions impactant les débits d'équivalent de dose, les temps d'exposition, ...),
- **Préciser les modalités de suivi** : niveau et fréquence de collecte de la dose, suivi de l'intervention, identification des dérives compte-tenu de l'évolution des conditions de travail,



L'analyse du retour d'expérience est un des points clefs pour l'amélioration de la démarche d'optimisation en permettant :

- d'éviter les mêmes erreurs,
- Identifier et reconduire les bonnes pratiques.

La pertinence des éléments collectés et analysés lors de la phase de retour d'expérience dépend essentiellement des modalités de suivi radioprotection de l'opération.



L'analyse du retour d'expérience doit être **formalisée** afin quelle puisse être **partagée et valorisée**.

Elle permettra entre autre :

- De valider les modèles dosimétriques utilisés,
- De rendre compte des écarts, des difficultés rencontrés, des corrections apportées et de leur efficacité,
- D'extraire les bonnes pratiques,
- De mieux prendre en compte les pratiques et les contraintes de terrain,
- De mesurer l'efficacité des méthodes d'optimisation adoptées au regard l'opération dans sa globalité.



FIN