FAIBLES DOSES DE RAYONNEMENTS IONISANTS ET EFFETS SANITAIRES

Irène SARI-MINODIER

Maitre de conférences-Praticien Hospitalier en médecine et santé au travail

Médecin coordonnateur du service universitaire de médecine de prévention des personnels

Membre de l'Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie Marine et Continentale (IMBE) – Equipe SANTES (SANtés et Toxicologie EnvironnementaleS)

Membre de la plateforme hospitalière CREER (Couple Reproduction Enfant Environnement et Risque)

Aix*Marseille université
Socialement engagée

Hôpitaux Universitaires de Marseille | ap-hm

SOMETRAV PACA - 30 janvier 2024

RADIOBIOLOGIE

Action des RI au niveau moléculaire

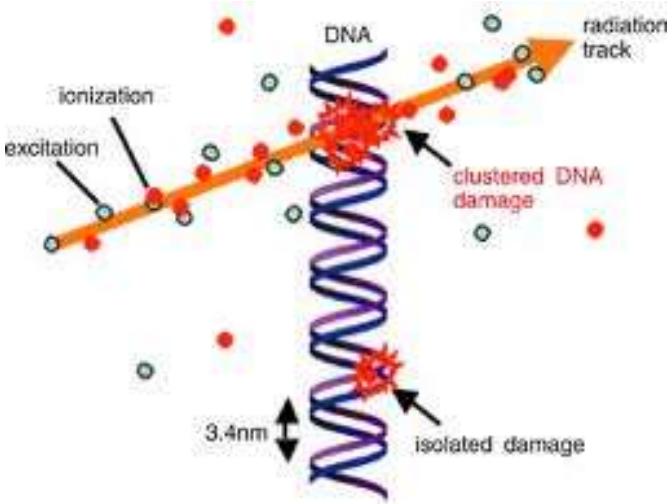
- **2 molécules d ’importance particulière**
  - H_2O (70% du poids du corps)
  - ADN

- **2 types d ’effet**
  - **effet direct** : énergie directement transférée à la molécule *(ionisation/excitation → excédent d’énergie → rupture liaison covalente)*
  - **effet indirect** par radiolyse de l ’eau → stress oxydant

Lésions de l 'ADN dues au métabolisme cellulaire normal
(stress oxydant naturel, moyenne des altérations par cellule et par jour)
et à une irradiation de 1 Gy

Types de lésions	Naturel	+1Gy	Rapport 1Gy/naturel
Cassures simple brin	20 000 à 40 000	1 000	1/30
Cassures double brin	très faible	40	très fort >40
Lésions de bases	20 000	2 000	1/10
Autres lésions	5 000	200	1/25
Total	~ 50 000	~ 3 000	~ 1/20

Lésions complexes = dommages multiples <u>localisés</u> (*locally multiply damaged sites*)



Les lésions de l ’ADN radio-induites

- Effet initial proportionnel à la dose
- Distribution au hasard sur tout le génome

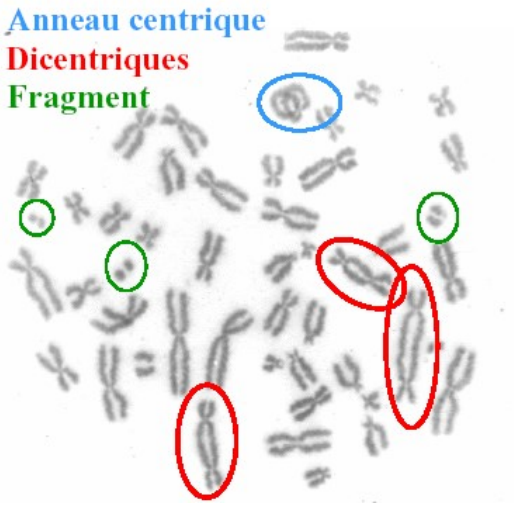
- Mais les **conséquences des lésions sont variables** selon :
  - le type des lésions
  - le site des lésions (cibles critiques sur l’ADN)
  - **les réponses de la cellule** :
    - arrêt du cycle cellulaire
    - réparation des lésions de l’ADN
    - mort cellulaire

La cellule réagit à l’agression dans les minutes qui suivent l’irradiation

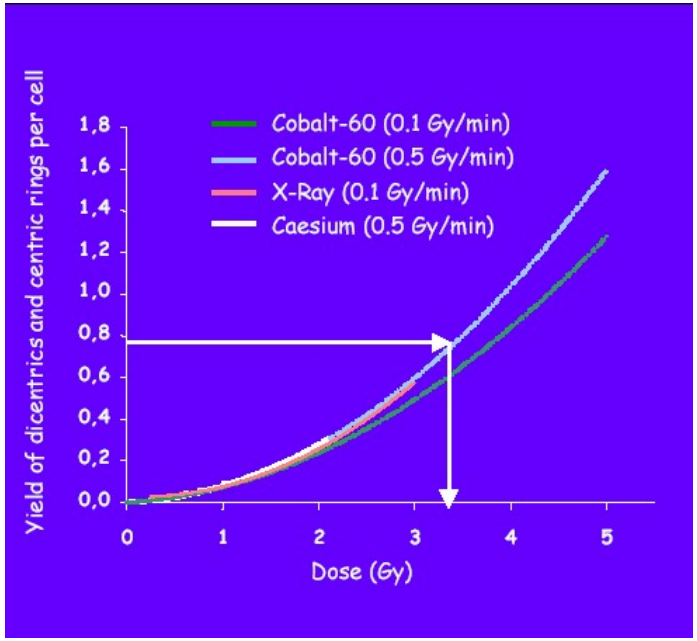
Dosimétrie biologique

(laboratoire dosimétrie biologique IRSN)

Dose corps entier



Courbe dose - effet

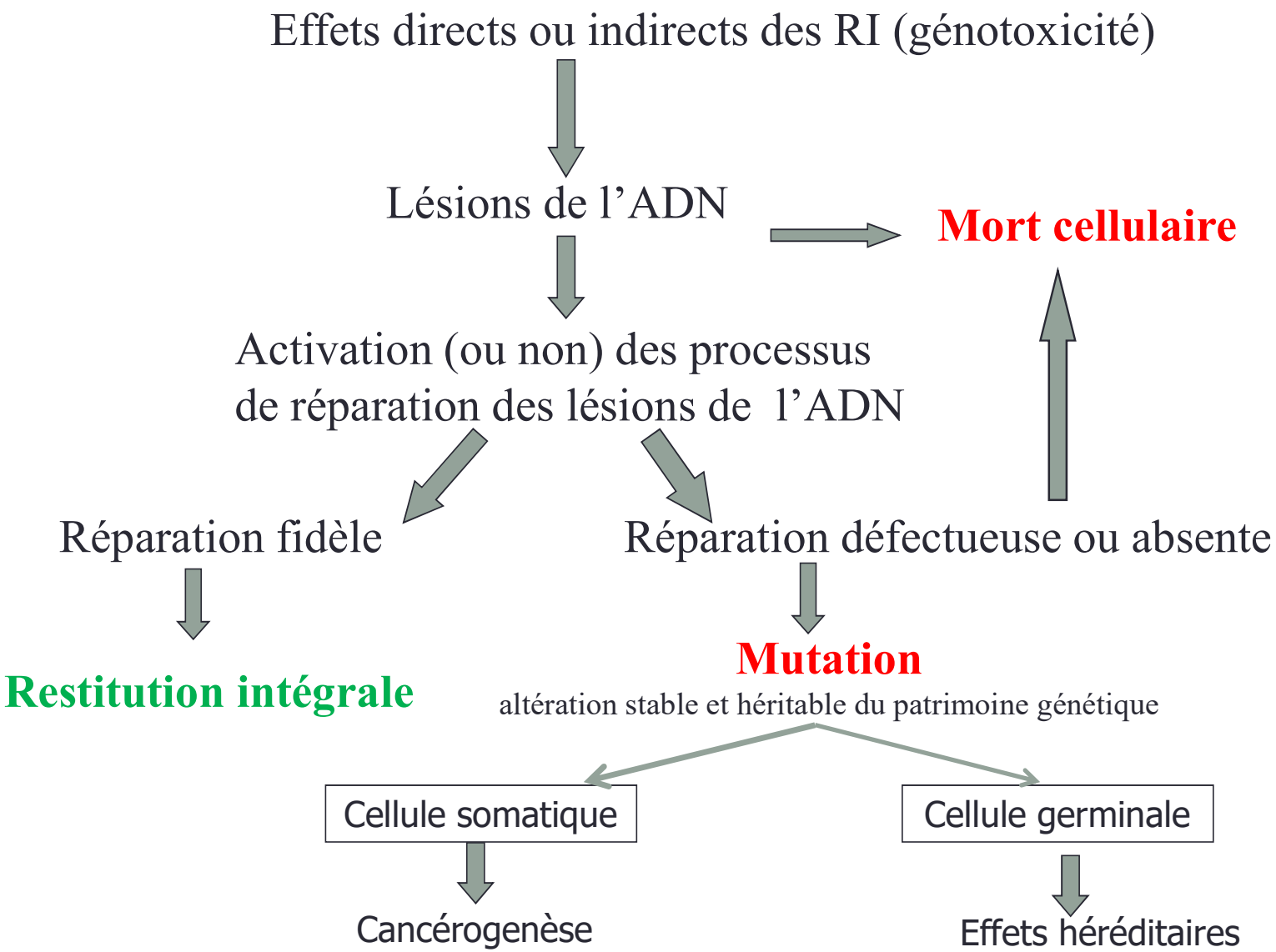


- Spécificité du dicentrique

bruit de fond : 1 dicentrique pour 1000 cellules observées (IRSN)

variabilité d 'un pays à l 'autre

- Sensibilité : dose minimale décelable 0,1 Gy soit 3 dicentiques pour 500 cellules


Effets directs ou indirects des RI (génotoxicité)
Lésions de l'ADN
Mort cellulaire
Activation (ou non) des processus
de réparation des lésions de l'ADN
Réparation fidèle
Réparation défectueuse ou absente
Restitution intégrale
Mutation
altération stable et héritable du patrimoine génétique
Cellule somatique
Cellule germinale
Cancérogenèse
Effets héréditaires

Réponse radioadaptative

Phénomène de radioadaptation ou hormesis
(du grec Horme = stimuler) (1)

- Effet de stimulation dû à un agent physique ou chimique utilisé à faible dose, alors que des doses plus élevées de ces mêmes agents auraient un effet délétère (*mithridatisation* pour les toxiques chimiques)
- Observations expérimentales :
  - les cellules préalablement traitées par de faibles doses de RI présentent moins de dommages génétiques après exposition à de fortes doses que des cellules non préalablement irradiées

Phénomène de radioadaptation ou hormesis
(du grec Horme = stimuler) (2)

- Hypothèse explicative : « mise en alerte » des systèmes de défense
  - induction des systèmes de détoxification radicalaire
  - induction des systèmes de réparation de l ’ADN
- **Mais** ce phénomène fait l’objet de <u>controverses</u>
  - à ce jour, pas d ’extrapolation possible à d ’éventuels effets protecteurs des faibles doses de RI vis-à-vis du risque cancérogène chez l ’homme

Effets non ciblés et effets retardés

Effets non ciblés/ effets retardés

- **Instabilité génomique radioinduite**
  - Réarrangements chromosomiques, micronoyaux, aneuploidie, apparition de mutations tardives (avec spectre différents), amplification de gènes, mort cellulaire

    = clones instables observés dans la descendance des cellules irradiées qui ont ou n'ont pas été directement touchées par un dépôt d'énergie du rayonnement

- **Effet "bystander" ou effet de voisinage :**
  - Observé dans les cellules non directement touchées ou non traversées par le rayonnement et impliquant l'émission de signaux par les cellules irradiées (métabolisme oxydatif, communications via les jonctions intercellulaires, sécrétion de substances médiatrices solubles telles que cytokines pro-inflammatoires : IL-8, TNF-α, TGF-β…)

- Effets non ciblés → amplification de l'effet pour une dose donnée, par l'augmentation du nombre de cellules impactés
- Beaucoup de données disponibles
- Mais controverses quant à la relation entre effets non ciblés et effets sur la santé
- Intérêt de ces recherches pour éclairer les mécanismes d'action des faibles doses de rayonnements

RADIOPATHOLOGIE

Effets des RI sur les tissus et sur l'organisme

- Effets **déterministes** ou obligatoires
- Effets **stochastiques** ou aléatoires :

  ⇒ cancers radio-induits (cellules somatiques)

  ⇒ effets génétiques ou héréditaires (cellules germinales)

Modulés par la radiosensibilité individuelle

Effets déterministes

- liés à la **mort cellulaire**
- effets précoces ou à moyen terme (quelques heures à quelques mois)
- **effet à seuil**
- caractère obligatoire : apparaissent chez tous les sujets ayant reçu une dose suffisante
- généralement réversibles
- gravité proportionnelle à la dose

Effets stochastiques

- liés à la **transformation cellulaire (mutation)**
- effets tardifs (plusieurs années ou dizaines d'années)
- **sans seuil**
- caractère aléatoire : n'apparaissent que chez quelques sujets, même pour doses élevées
- le plus souvent irréversibles spontanément
- gravité indépendante de la dose
- fréquence d'apparition dans la population exposée proportionnelle à la dose

Effets déterministes (1):
Irradiation globale aiguë

- **Tableaux différents en fonction de la dose**

0,2-0,5 Gy	lymphopénie temporaire	**Syndrome hématopoïétique**
1-2 Gy	Signes f^{els}, ↓ GB, ↓ plaq , ↓ GR (moindre)	
> 2 Gy	trt en centre spécialisé	
3,5-4,5 Gy	DL 50-60 (aplasie) sans traitement	
> 6 Gy	décès généralement inévitable	
8-12 Gy	**syndrome digestif dominant**	
> 15 Gy	syndrome neurologique (SNC) avec décès rapide	

Effets déterministes (2):
Irradiations aiguës localisées

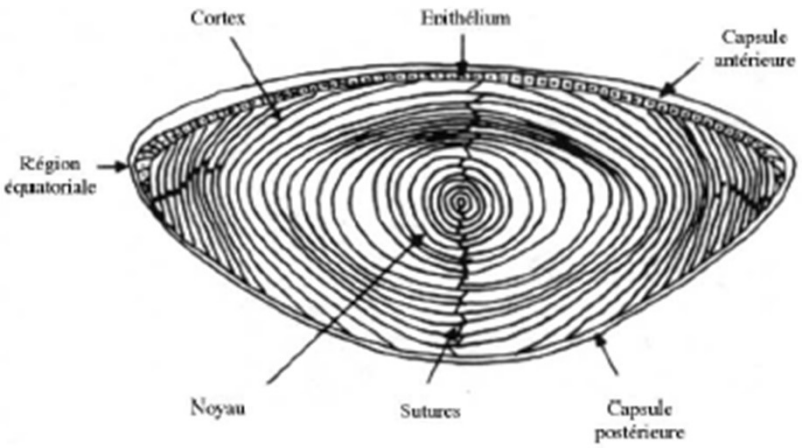
- Valeurs indicatives pour irradiation unique à fort débit de dose, par rayonnements gamma ou X

Peau	érythème	1Gy à quelques Gy
	brûlure	10 Gy
Testicules	baisse temporaire spz	0,15 Gy
	stérilité définitive	3,5 à 6 Gy
Ovaires	risque stérilité	2,5 Gy
Œil	opacité détectable	0,5 Gy
Poumons	fibrose	25 Gy (en 15j ou moins)

Cataracte radio-induite

- Le plus souvent sous-capsulaire postérieure ou corticale postérieure
- **Etude O'CLOC (IRSN)**

risque d'opacités sous capsulaires postérieures près de 4 fois plus élevé chez les cardiologues interventionnels par rapport au groupe témoin non exposé (17 % versus 5 %) (Jacob et al., 2013)



- **Latence : de 2 à 50 ans**

Effets stochastiques (1) :

Différents domaines d'enquêtes épidémiologiques pour la mise en évidence des cancers radio-induits

- **Expositions militaires ou accidentelles** : Hiroshima et Nagasaki + +, Tchernobyl, Fukushima
- **Expositions médicales** : spondylarthrite ankylosante, curiethérapie, radiothérapie, examens radiologiques
- **Expositions professionnelles** : mineurs uranium, peintres cadrans lumineux, radiologues, industrie nucléaire…
- **Expositions naturelles élevées** : Kérala, Brésil…

Données épidémiologiques en synthèse

- **Augmentation significative du risque de cancer en cas de doses supérieures à 100 mSv.**
  - *Pas de démonstration d'excès de cancer pour des doses < 100 mSv*
- Plus récemment, des études épidémiologiques chez des sujets exposés dans le cadre médical pendant leur enfance (tomodensitométrie pédiatrique) ont semblé indiquer que le risque de cancer pouvait augmenter même à des doses plus faibles (entre 50 et 100 mSv).
- Etude INWORKS : augmentation du risque de cancers solides proportionnellement à la dose même pour des **doses cumulées faibles inférieures à 100 mGy**

Définition des faibles doses : < 100 mGy
Faible débit de dose < 5 mGy/heure

Volume 100 des monographies du CIRC : mise à jour des évaluations concernant plus de 100 agents classés cancérogènes pour l'homme. Vol D. Rayonnements (juin 2009)

Type de rayonnements	Principales populations étudiées	Localisations cancéreuses (et types de tumeurs) sur la base d'indications suffisantes
Emetteurs de particules alpha et de particules bêta		
Radon-222 et produits de désintégration	Population générale (exposition domestique), mineurs de fond	Poumon
Radium-224 et produits de désintégration	Sujets malades	Os
Radium-226, radium-228 et produits de désintégration	Peintres de cadrans au radium	Os, sinus de la face et apophyse mastoïde (seulement pour le radium-226)
Thorium-232 et produits de désintégration	Sujets malades	Foie, voies biliaires extra-hépatiques, leucémie (sauf LLC)
Plutonium	Ouvriers dans les usines de production du plutonium	Poumon, foie, os
Phosphore-32	Sujets malades	Leucémie aiguë
Produits de fission, dont le strontium-90	Population générale, à la suite d'un accident de réacteur nucléaire	Tumeurs solides, leucémie
Radioiodes, y compris iode-131	Enfants et adolescents, à la suite d'un accident de réacteur nucléaire	Thyroïde
Rayons X ou rayons gamma		
	Survivants des bombardements atomiques, malades, exposition *in utero* (descendance de malades enceintes et de survivants des bombardements atomiques)	Glande salivaire, œsophage, estomac, côlon, poumon, os, peau (carcinome baso-cellulaire), sein chez la femme, vessie, cerveau et SNC, leucémie (sauf LLC), thyroïde, rein (survivants des bombardements atomiques, malades) ; localisations multiples (exposition *in utero*)

Cancer thyroïde

- **Tchernobyl (1986)** : nette augmentation du risque de cancer de la thyroïde suite à l'exposition aux iodes radioactifs, en particulier ^{131}I, pendant l'enfance et l'adolescence.

  - Pourquoi ce risque accru ? quantité de lait ingéré supérieure parmi les enfants et/ou dose dans la thyroïde supérieure par unité d'ingestion d' ^{131}I provenant du lait et/ou plus forte sensibilité par unité de dose dans la thyroïde

- **Fukushima (2011) :** dépistage systématique du cancer de la thyroïde chez les jeunes âgés de moins de 18 ans au moment de l'accident. Encore trop tôt pour se prononcer sur une éventuelle augmentation due à l'accident de Fukushima Daiichi

Cancer thyroïde en France

- **Evolution des cancers de la thyroïde en France** (*Lapôtre-Ledoux et al. BEH 2023*)
  - Augmentation importante de l'incidence entre 1990 et 2013, puis stabilisation entre 2013 et 2015, suivie d'une décroissance très marquée de 2016 à 2018 (observée dans de nombreux pays).
  - Dépistage et amélioration des techniques diagnostiques → détection de formes infracliniques et sur-diagnostic
  - Puis adaptation des recommandations préconisant davantage une surveillance par imagerie avant la biopsie + modification de la classification anapath en 2017 (reclassement en tumeurs non invasives de certaines tumeurs auparavant considérées comme malignes) → diminution de l'incidence

- **Risque de cancer de la thyroïde attribuable aux retombées radioactives de l'accident de Tchernobyl en France** (doses de l'ordre de 100 fois moins que celles reçues par les enfants de Biélorussie)
  - En 2020, étude IRSN/InVS : estimation du nombre théorique de cancers de la thyroïde sur la période 1991-2015 attribuables aux retombées radioactives de l'accident de Tchernobyl parmi les 2,3 millions d'enfants de moins de 15 ans résidant dans l'Est de la France en 1986 = entre 7 et 55 cas en excès.
  - Cette estimation du même ordre de grandeur que l'incertitude associée au nombre attendu de cancers de la thyroïde en l'absence d'exposition accidentelle à l'iode 131 au sein de cette population (889 ± 60 cas spontanés).
  - Conclusion : un tel excès de cas serait très difficilement détectable par une étude épidémiologique (*Rogel et al. BEH 2016)*

Etude épidémiologique INWORKS sur le risque de cancer chez les travailleurs de l'industrie nucléaire

- **Objectif** : quantifier les risques sanitaires potentiellement associés à une exposition répétée à de faibles doses de RI.
- Etude coordonnée par le CIRC
- Cohortes de travailleurs français, américains et britanniques employés dans l'industrie nucléaire et surveillés par dosimètres individuels : près de 310 000 travailleurs
- Suivi de 35 ans en moyenne sur la période 1944-2016
- **Derniers résultats publiés en aout 2023** (Richardson et al., BMJ 2023) :
  - Dose moyenne reçue par les travailleurs : 18 mGy cumulés sur la durée de l'activité professionnelle.
  - Au total, 103 553 décès ont été enregistrés dans la cohorte, dont 28 089 par cancers solides.
  - Le risque de cancers solides augmente proportionnellement à la dose reçue, d'environ 5,2 % (intervalle de confiance IC à 90 % : 2,7 à 7,7 %) pour une augmentation de la dose cumulée absorbée au côlon de 100 mGy
  - Cette augmentation du risque de cancers solides proportionnellement à la dose reçue reste significative lorsque l'on restreint l'analyse à des **doses cumulées faibles inférieures à 100 mGy.**

Effets stochastiques (2) :
effets génétiques ou héréditaires

- Évènements initiaux : lésions irréversibles de l ’ADN (**cellule germinale**) transmissibles à la descendance de l’individu irradié
- Effets héréditaires mis en évidence par l’expérimentation animale
- Données humaines ?
  - **absence de preuve directe humaine** qu’une exposition des parents aux RI entraîne un excès d’affections héréditaires chez les enfants (absence d’effets observables chez descendants des survivants Hiroshima et Nagasaki et d’individus traités par radiothérapie dans l’enfance)

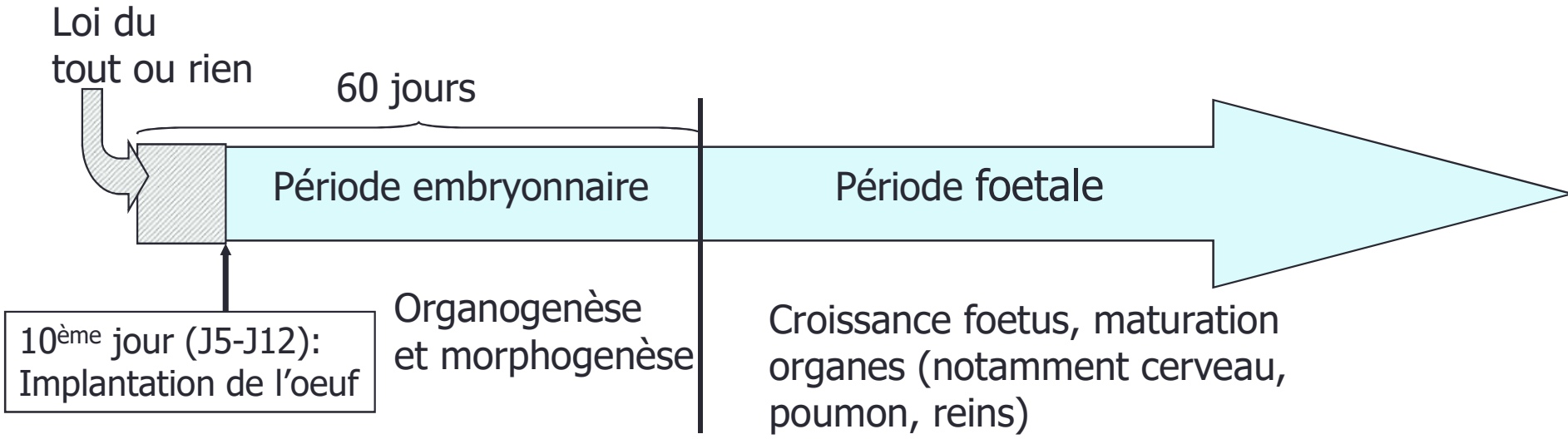
CAS PARTICULIER DE L'EXPOSITION DE LA FEMME ENCEINTE

Cas de l'irradiation durant la grossesse

- Tissus embryonnaires et foetaux particulièrement sensibles (activité mitotique élevée)

- Différents effets
  - Mort embryonnaire ou foetale
  - Malformations diverses (particulièrement SNC : microcéphalie)
  - **Retard mental**, diminution QI, (épilepsie?)
  - Retard de croissance
  - Effets cardio-vasculaires (HTA, données discordantes) ?
  - Augmentation de l'incidence de certains cancers et leucémies

Etapes du développement pré-natal et radiosensibilité



Radiosensibilité maxi : organogenèse et début de maturation foetale (jusqu'à 16ème semaine environ)

Grossesse et effets déterministes

Dépendent de la dose et du stade de la grossesse

- **Stade pré-implantation** (10 jours): « tout ou rien »
- **Stade d'organogenèse** :
  - La CIPR 103 suggère un quasi-seuil pour les effets malformatifs autour de **100 mGy**
- **Stade fœtal (à partir du 60ème jour)** :
  - fréquence et gravité des malformations diminuent
  - retard de croissance (période la plus à risque : 7-16 semaines)
  - **maldéveloppement du SNC : risque maxi entre 8ème et 16ème semaine** post-conception (sensibilité maxi des neuroblastes, précurseurs des neurones) ; pas de retard mental observés au-delà de la 26ème sem
  - CIPR 103 : valeur seuil de **300 mGy** pour retard mental sévère (si irradiation durant période 8-15 sem)
    - estime comme probable qu'une exposition <100 mGy n'ait pas d'effet significatif sur le QI

Grossesse et effets stochastiques

- Augmentation du risque de cancer (dans l'enfance et la vie entière), même pour des doses <100 mGy (10 mGy)
- Tous types de cancers
  - dans l'enfance, principalement leucémies, tumeurs cérébrales et lymphomes
  - risque leucémogène maxi pour irradiation en fin de grossesse (passage de l'hématopoïèse foetale du foie à la moelle osseuse)
- CIPR 103 recommande de considérer que le risque de cancer pour la vie entière, consécutif à une exposition ***in utero***, est similaire à celui suivant une exposition dans la **petite enfance**, c'est-à-dire 3 fois celui de la population générale

RADIOPROTECTION

Trois principes fondamentaux de radioprotection (CIPR)

Code de la santé publique (L. 1333-2)

Les activités nucléaires satisfont aux principes suivants :

1° **Le principe de justification** : une activité nucléaire ne peut être entreprise ou exercée que si elle est **justifiée par les avantages** qu'elle procure sur le plan individuel ou collectif, 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 ;

2° **Le principe d'optimisation** : le niveau de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants résultant d'une de ces activités, la probabilité de la survenue de cette exposition et le nombre de personnes exposées doivent être maintenus au niveau **le plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre** *(principe ALARA As Low As Reasonably Achievable)* compte tenu de l'état des connaissances techniques, des facteurs économiques et sociétaux et, le cas échéant, de l'objectif médical recherché ;

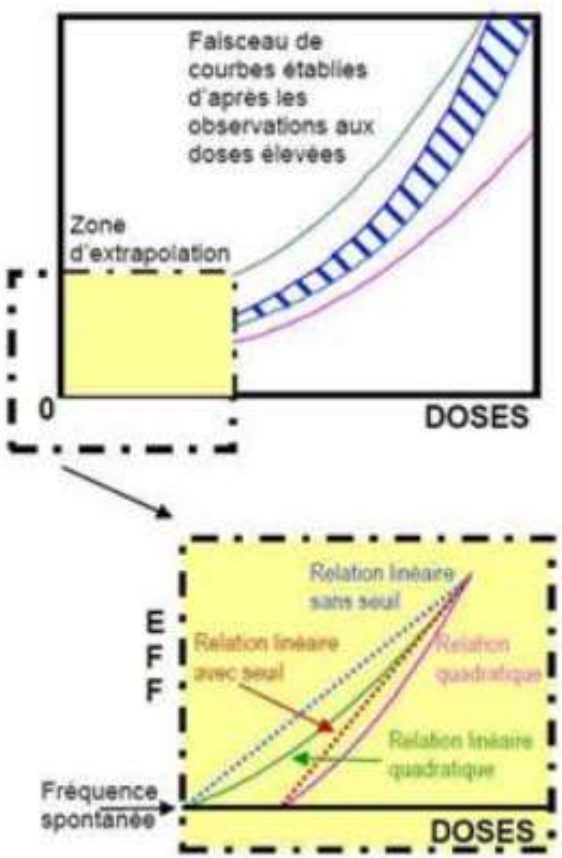
3° **Le principe de limitation** : l'exposition d'une personne aux rayonnements ionisants résultant d'une de ces activités ne peut porter la somme des doses reçues au-delà des **limites fixées par voie réglementaire**, sauf lorsque cette personne est l'objet d'une exposition à des fins médicales ou dans le cadre d'une recherche mentionnée au 1° de l'article L.1121-1.

A articuler avec les 9 principes généraux de prévention en milieu de travail

Les limites de doses ou valeurs limites d'exposition aux RI

- Inscrites dans le CT (pour les travailleurs) et le CSP (pour le public)
- Principe de radioprotection : LIMITATION (+ OPTIMISATION = ALARA)
- Objectifs : - éviter les effets déterministes
  - limiter++ les effets stochastiques
- Dans toutes les circonstances (hormis les situations d'urgence et les expositions durables [*situation de pollution durable de l'environnement*]), ces **valeurs « absolues » sont des limites à ne pas dépasser** : leur **respect impératif est apprécié** au vu des **doses effectivement reçues** par chaque travailleur.

Le modèle linéaire sans seuil



Avis de l'IRSN (2023) sur les Fondements scientifiques de l'utilisation du modèle linéaire sans seuil (LNT) aux faibles doses et débits de dose en radioprotection

- Les résultats actuels, en radiobiologie ou en épidémiologie, ne démontrent pas l'existence d'un seuil de dose en dessous duquel le risque de cancer associé aux rayonnements serait nul.
- Des incertitudes persistent mais un tel seuil de dose, s'il existe, ne pourrait être supérieur à quelques dizaines de mGy.
- L'IRSN considère que les connaissances scientifiques actuellement disponibles ne remettent pas en cause l'utilisation du modèle LNT pour l'évaluation des risques de cancers radio-induits en appui au système de radioprotection. L'utilisation de ce modèle semble raisonnable d'un point de vue scientifique, et aucune autre relation dose-réponse ne semble plus adaptée ou justifiée à des fins de radioprotection.

Notions de doses

- **Dose absorbée (D)**
  - quantité d'énergie communiquée à la matière par unité de masse
  - unité : gray (Gy)
- **Dose équivalente (H_T)**
  - dose absorbée par le tissu ou l'organe T, pondérée suivant le type et la qualité du rayonnement R
  - unité : sievert (Sv)

  $H_T = D.W_R$ W_R= facteur de pondération radiologique ou lié à la nature du rayonnement
- **Dose efficace (E) : risque d'effets tardifs sur l'organisme**
  - somme des doses équivalentes pondérées délivrées aux différents tissus et organes par l'irradiation **interne et externe**
  - unité : sievert (Sv)

  $E = \Sigma H_T W_T$ W_T= facteur de pondération tissulaire

Facteurs de pondération pour les rayonnements (W_R)

Extrait des recommandations 2007 de la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR)-publication 103

Type de rayonnement	Facteur de pondération pour les rayonnements, w_R
Photons	1
Électrons et muons	1
Protons et pions chargés	2
Particules alpha, fragments de fission, ions lourds	20
Neutrons	Une courbe continue en fonction de l'énergie des neutrons (voir la figure B.4 et l'équation B.3.16)

1 : toutes les valeurs concernent les rayonnements incidents sur le corps ou, pour les sources internes, émis à partir de la source.

Facteurs de pondération pour les tissus (W_T)

Extrait des recommandations 2007 de la CIPR (publication 103)

Organe/tissu	Nombre de tissus	w_T	Contribution totale
Poumon, estomac, côlon, moelle osseuse, sein, reste	6	0,12	0,72
Gonades	1	0,08	0,08
Thyroïde, œsophage, vessie, foie	4	0,04	0,16
Surface de l'os, peau, cerveau, glandes salivaires	4	0,01	0,04

1 : la valeur de w_T pour les gonades s'applique à la moyenne des doses aux testicules et aux ovaires.
2 : la dose au côlon est considérée comme la moyenne pondérée par la masse des doses au gros intestin et à l'intestin grêle, comme dans la formulation de la *Publication 60*.
Les tissus restants spécifiés (14 au total, 13 dans chaque sexe) sont les suivants : la glande surrénale, le tissu extrathoracique (ET), la vésicule biliaire, le cœur, les reins, les ganglions lymphatiques, le muscle, la muqueuse buccale, le pancréas, la prostate (♂), l'intestin grêle (SI), la rate, le thymus, l'utérus/le col de l'utérus (♀).

Décrets, arrêtés, circulaires

TEXTES GÉNÉRAUX

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

Arrêté du 16 novembre 2023 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants

NOR : *ENEP2327278A*

Publics concernés : *tout public.*

Objet : *modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants.*

Entrée en vigueur : *le texte entre en vigueur le 1er janvier 2024.*

Notice : *le présent arrêté fixe les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants.*

Références : *le présent arrêté est pris pour application de l'article R. 1333-24 du code de la santé publique. Le texte du présent arrêté peut être consulté sur le site Légifrance (https://www.legifrance.gouv.fr).*

Le ministre du travail, du plein emploi et de l'insertion, la ministre de la transition énergétique et le ministre de la santé et de la prévention,

Vu la directive 2013/59/Euratom du Conseil du 5 décembre 2013 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants et abrogeant les directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom et 2003/122/Euratom ;

Vu le code de la santé publique, notamment ses articles R. 1333-23 et R. 1333-24 ;

Vu le code du travail, notamment ses articles R. 4451-4 et R. 4451-12 ;

Vu l'avis du Conseil d'orientation des conditions de travail en date du 9 avril 2021 ;

Vu l'avis n° Ares (2022) 4687111 de la Commission européenne en date du 27 juin 2022 ;

Les valeurs limites d'exposition *(en mSv sur 12 mois consécutifs)*

		Exposés professionnellement (CT art. R.4451-6 à 9)			**Non exposés *** (CSP art. R.1333-11)**
		Adultes de plus 18 ans	Femme enceinte	Jeunes de 15 à 18 ans *(si autorisés pour les besoins de leur formation)*	
Dose efficace	Organisme entier	20 mSv		6 mSv	1 mSv
Dose équivalente	Extrémités et peau*	500 mSv		150 mSv	50 mSv
	Cristallin	20 mSv**		15 mSv	15 mSv
Dose équivalente	reçue par l'enfant à naitre		1 mSv entre la déclaration de grossesse et l'accouchement		

* Extrémités : mains, avant-bras, pieds et chevilles. Pour la peau, dose moyenne sur toute surface de 1 cm^2, quelle que soit la surface exposée

** **Pour le cristallin**, nouvelle valeur en vigueur le 1er juillet 2023 (**ancienne valeur 150 mSv**).

*** Limite de dose pour l'exposition de la population à des rayonnements ionisants résultant de l'ensemble des activités nucléaires (hors exposition médicale et expo prof)

Classement des travailleurs

Art. R 4451-57 :
I.-Au regard de la dose évaluée en application du 4° de l'article R. 4451-53, l'employeur classe :
1° En **catégorie A**, tout travailleur susceptible de recevoir, au cours de 12 mois consécutifs :
a) Une dose efficace > 6 mSv, hors exposition au radon lié aux situations mentionnées au 4° de l'article R. 4451-1
b) Une dose équivalente >15 mSv pour le cristallin *(nouveau : décret du 21/06/23)*
c) Une dose équivalente >150 mSv pour la peau et les extrémités

2° En **catégorie B**, tout autre travailleur susceptible de recevoir :
a) Une dose efficace >1 mSv
b) Une dose équivalente >50 mSv pour la peau et les extrémités.

MERCI POUR VOTRE ATTENTION !