



EFFETS BIOLOGIQUES DES RAYONNEMENTS IONISANTS

Aurélien Bouëtté
Expert en Physique Médicale
Direction de la santé – Division de la radioprotection

FHL - Formation ATM RX – 19/01/2018

introduction



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG



Dr. Antoine Béchère (1856-1939). Atteint de radiodermite, il du subir l'amputation de quatre doigts.



Perte des cheveux suite à scanner de perfusion cérébrale avec doses estimées entre 3 et 4 Gy, 2009
<http://www.slideshare.net/sabmomo75/radiation-accident>



Radiodermite chronique du pouce chez un radiologue de 56 ans ayant effectué beaucoup de scopies durant sa carrière, avec atrophie de la peau et ongle
<http://www.atlasdermatologieprofessionnelle.com>



Cardiologie interventionnelle : radionécrose, cutanée avec dose à la peau estimée variant entre 35Gy et 60Gy (2011), IRSN

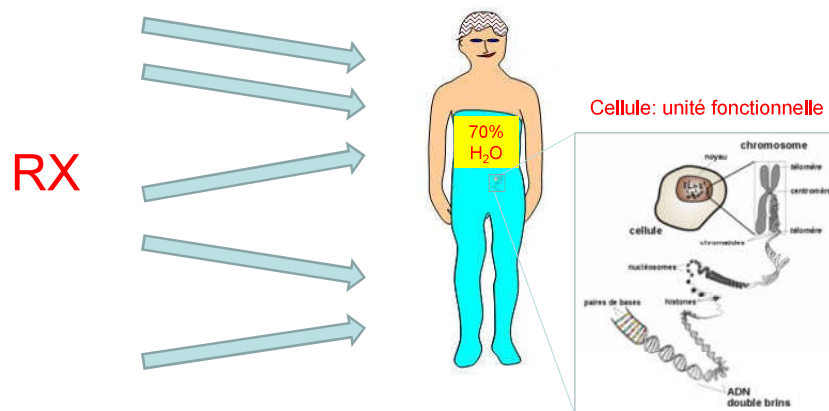
2

Introduction



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG

- Quels sont les effets des rayons X sur le corps humain ?



3



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG

- EFFETS A DIFFERENTES ECHELLES
- EFFETS DETERMINISTES
- EFFETS STOCHASTIQUES
- EFFETS SUR L'EMBRYON ET LE FŒTUS

4

➤ EFFETS A DIFFERENTES ECHELLES

- Echelle atomique
- Echelle moléculaire
- Echelle cellulaire
- Echelle tissulaire
- Echelle organisme

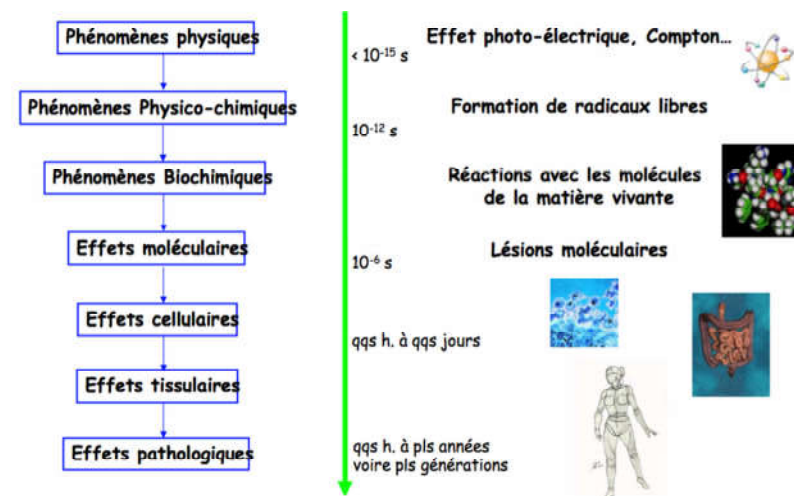
➤ EFFETS DETERMINISTES

➤ EFFETS STOCHASTIQUES

➤ EFFETS SUR L'EMBRYON ET LE FŒTUS

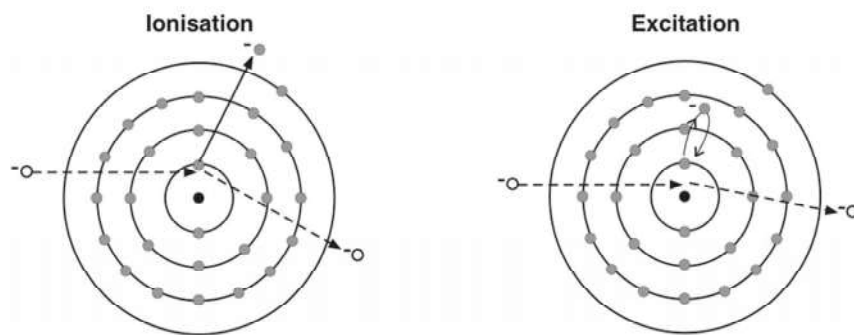
5

Echelles d'espaces et de temps



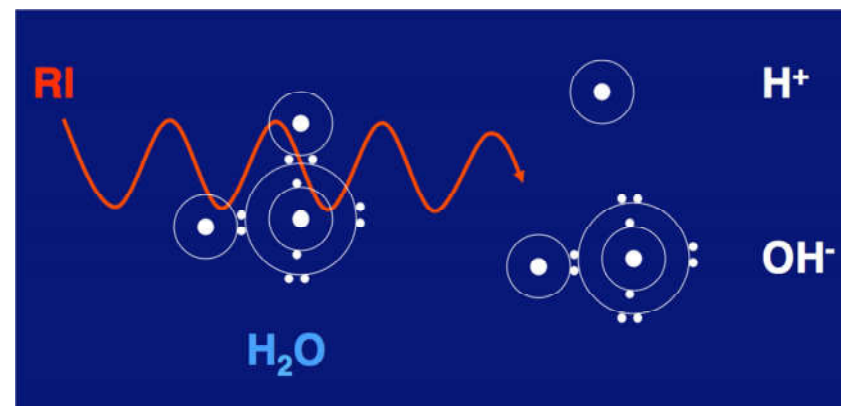
6

Echelle atomique : ionisation et excitation



Dans les 2 cas l'atome se retrouve dans un état instable

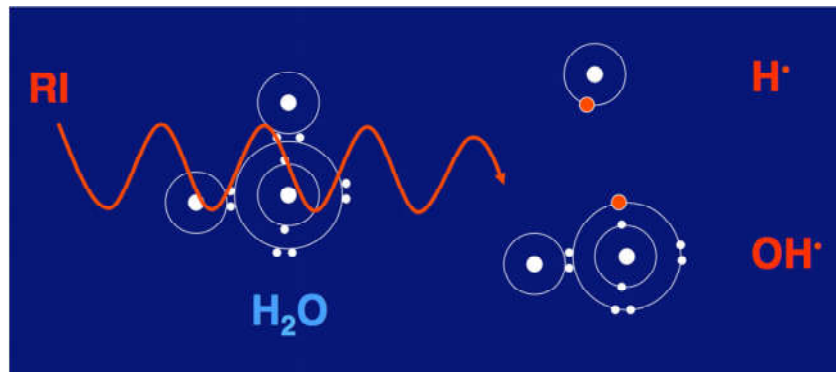
Echelle moléculaire : ionisation



Echelle moléculaire : Créations de radicaux libres



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG



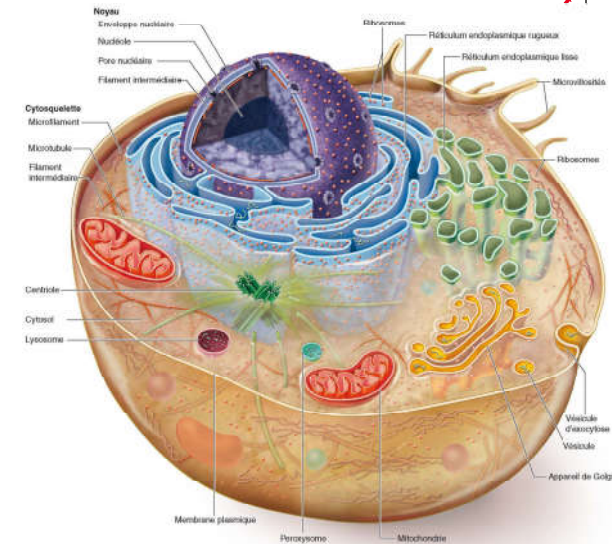
Un radical libre est une molécule possédant un ou plusieurs électrons non appariés.
Ces molécules sont très instables et chimiquement très réactives.

Source: Cordoliani

Echelle cellulaire



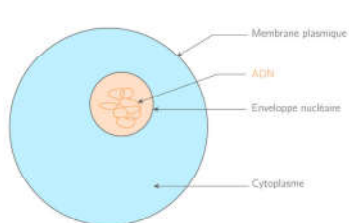
LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG



Echelle cellulaire

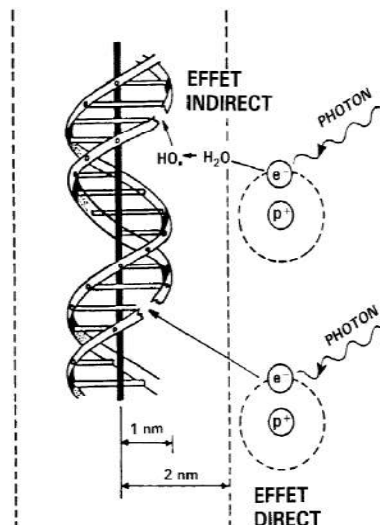


LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG



Effets sur différentes
molécules de la cellule

- Agents métaboliques
- Macromolécules comme ADN, ARN, enzymes...



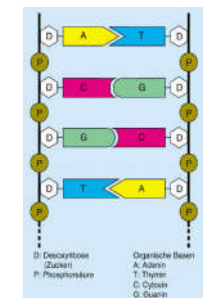
Echelle cellulaire



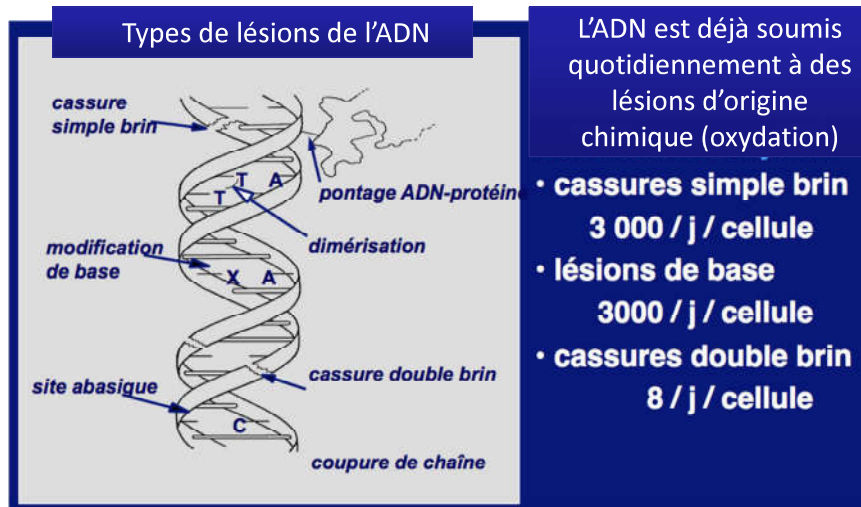
LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG

Cible principale :
ADN cellulaire

Effet direct
Effet indirect :
radicaux libres



Les lésions les plus importantes sont celles de l'ADN.
L'ADN contient le code génétique permettant le développement,
le fonctionnement et la reproduction de l'organisme.



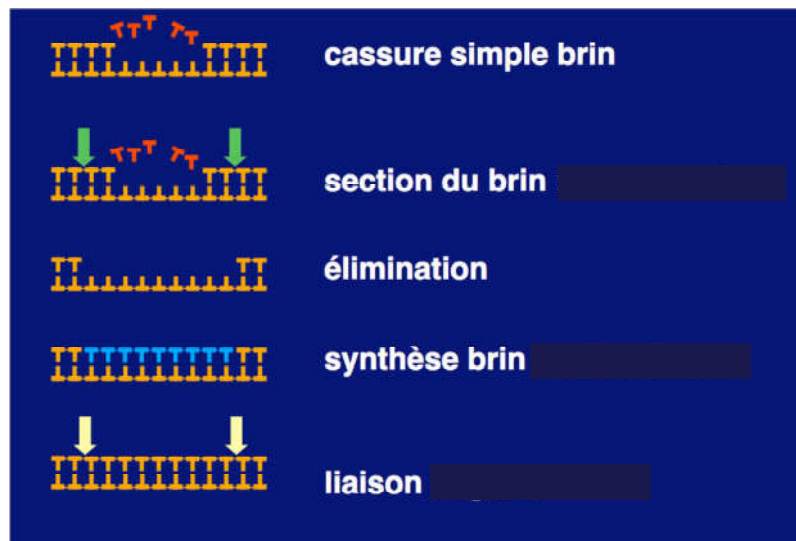
Source: Cordolani 13



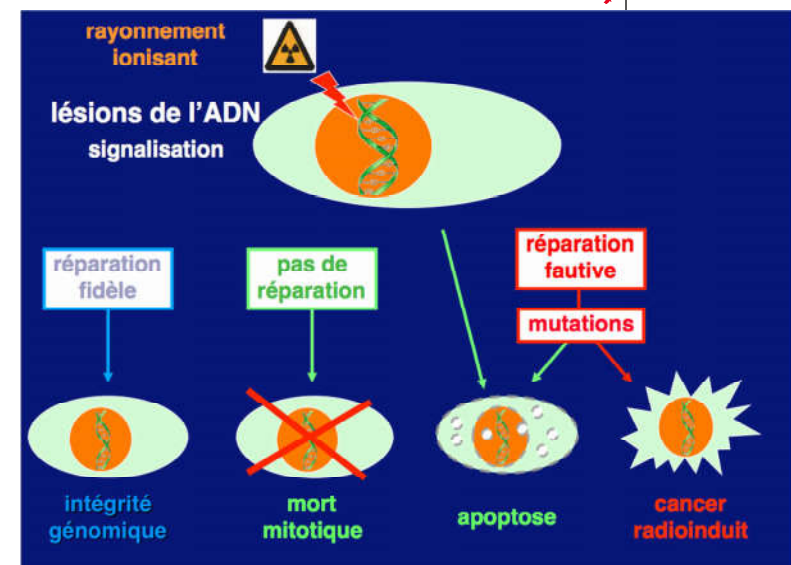
Des mécanismes de réparation de l'ADN permettent de restaurer la viabilité des cellules

- Exemple 1: rupture de chaîne simple --> réparation par excision-resynthèse (très efficace car 1 brin ADN intact)
- Exemple 2: rupture de chaîne double --> réparation souvent fautive (car pas de brin d'ADN intact permettant la synthèse des bases correctes)

Une réparation imparfaite de l'ADN se traduit par une mutation, qui risque de générer un cancer.



Source: Cordolani



Source: Cordolani



Effets déterministes

- apparition systématique après seuil de dose
- sévérité croissante avec dose
- apparition rapide

Effets stochastiques

- pas de seuil de dose prouvé
- apparition aléatoire, probabilité augmente avec dose
- apparition tardive

- EFFETS A DIFFERENTES ECHELLES
- EFFETS DETERMINISTES
- EFFETS STOCHASTIQUES
- EFFETS SUR L'EMBRYON ET LE FŒTUS

Effets déterministes



Les effets déterministes (non-aléatoires)

- il existe un **seuil de dose** minimal pour apparition
- la **gravité** de l'effet augmente avec la dose
- l'effet apparaît chez **tous** sujets irradiés (éventuellement avec une faible variation individuelle de radiosensibilité)

Exemples: mort, syndrome médullaire, intestinal, radiodermite précoce et tardive, cataracte,

Effets corps entier



irradiation aiguë globale

D_{L50} # 4 Sv chez l'homme

- **prodromes**

nausées, vomissements, diarrhée, fatigue, maux

- **latence**

- **2 à 4 Sv syndrome hématopoïétique**

lymphopénie, leucopénie, thrombopénie, anémie

- **> 8 Sv syndrome gastrointestinal**

vomissements, diarrhée, hémorragie digestive, mort

- **> 20 Sv syndrome nerveux**

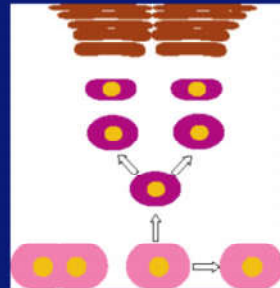
convulsion, coma, mort



effets tissulaires d'une irradiation aiguë

- différés
- trois compartiments cellulaires

cellules différenciées
maturation & différenciation
cellules souches

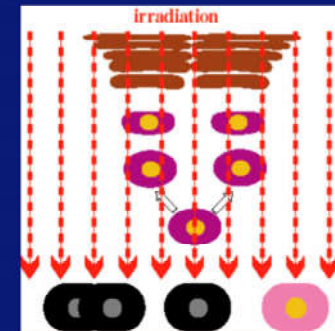


Source: Cordani



radiosensibilité des compartiments cellulaires

résistance
sensibilité moindre
vulnérabilité des cellules souches

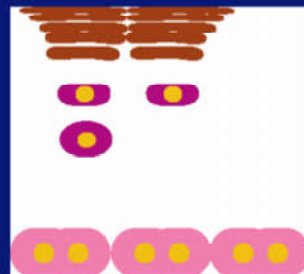


Source: Cordani



devenir des compartiments cellulaires

élimination naturelle
disparition progressive
priorité de reconstitution des cellules souches

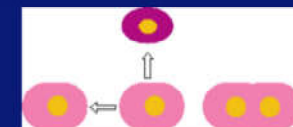


Source: Cordani



disparition des cellules différenciées acmé des symptômes

reprise de maturation
reconstitution des cellules souches





organes et tissus

radiosensibilité

- moins différencié
- renouvellement rapide
- grand nombre de mitoses programmé

- tissus embryonnaires
- tissus hématopoïétiques
- gonades
- épiderme
- muqueuse intestinale
- tissu conjonctif
- tissu musculaire
- tissu nerveux
- à part : cristallin



- **Système digestif** : tissu à renouvellement rapide donc sensible
D > 7 Gy : dénudation des villosités intestinales
- **Moelle osseuse** : Grande sensibilité
D > 2.5 Gy : atteinte hématologique
- **Gonades** : Homme : D > 0,15 Gy : stérilité transitoire
D > 4 à 6 Gy : stérilité définitive
Femmes : D > 3 Gy : stérilité transitoire
D > 6 Gy : stérilité définitive
- **Peau** : tissu en perpétuel renouvellement, donc très sensible
D > 3 Gy : effets croissants avec la dose
D > 1,5 Gy / an, chronique : lésions vasculaires
- **Cristallin** : l'un des tissus les plus sensibles de l'organisme
D > 2 Gy : cataracte
D > 0.15 Gy / an, chronique : cataractes possibles



Effet	Seuil de dose (Gy)	Minutes scopie à 0.02 Gy/min	Minutes scopie à 0.2 Gy/min
Erythème transitoire	3	100	10
Epilation permanente	7	350	35
Désquamation sèche	14	700	70
Nécrosis du derme	18	900	90
Télangiectasie	10	500	50



Effets sur la peau : cardiologie



Radiologie
interventionnelle
15-20 Gy

A 52-YEAR-OLD MAN UNDERWENT AN ABLATIVE PROCEDURE FOR SUPRA-ventricular arrhythmias, and a painful ulceration developed on the posterior surface of his right arm four months later. His arm had accidentally been positioned within the radiation field during the 10-hour procedure. The estimated dose of radiation was in the range of 1500 to 2000 cGy. After plastic surgery, the patient's ulceration healed, and his pain resolved. Soft-tissue injury can result from prolonged exposure to radiation during interventional fluoroscopic procedures. In contrast to injury from therapeutic irradiation, tissue injury sustained during fluoroscopy is often unrecognized or undertreated.

Massachusetts Medical Society

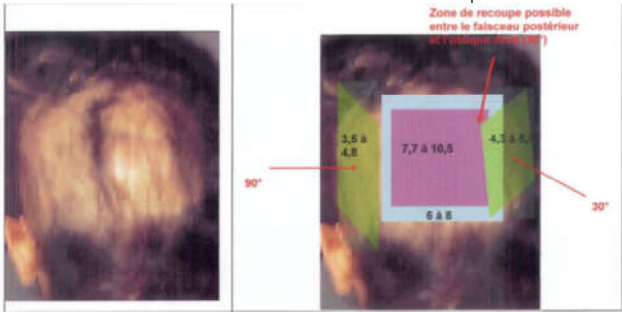
THE NEW ENGLAND JOURNAL OF MEDICINE

IMAGES IN CLINICAL MEDICINE

Radiation Injury from a Fluoroscopic Procedure

Effets sur la peau : neuroradiologie

Neuroradiologie
Interventionnelle
3-10 Gy



Scanner de perfusion cérébrale
3-4 Gy



Shope T. Radiation-induced skin injuries from fluoroscopy. FDA/CDRH, 1995

Effets sur la peau : délai apparition

Tableau 7 : Signes cliniques, seuils et délais d'apparition des effets cutanés après exposition aux rayonnements ionisants (X, gamma). Ces valeurs sont indicatives, elles peuvent varier notamment en fonction du volume de tissu irradié et en fonction de la radiosensibilité du patient

Signes cliniques	Seuil d'apparition (Gy)	Délai d'apparition
Dépilation temporaire	3-5	3-8 semaines
Erythème	4-5	3-8 semaines
Dépilation définitive	16	3-8 semaines
Desquamation sèche	10-20	4-8 semaines
Desquamation humide	20-24	4-8 semaines
Nécrose du derme	25	>10 semaines

Source : IRSN – Reconstitutions dosimétriques en neuroradiologie interventionnelle au CHU de Strasbourg, 2009

Exemple: Peau - effet précoce

Radiodermite sévère précoce
6,5 h. Exposition locale source Iridium-192



day 2: early blister, erythema



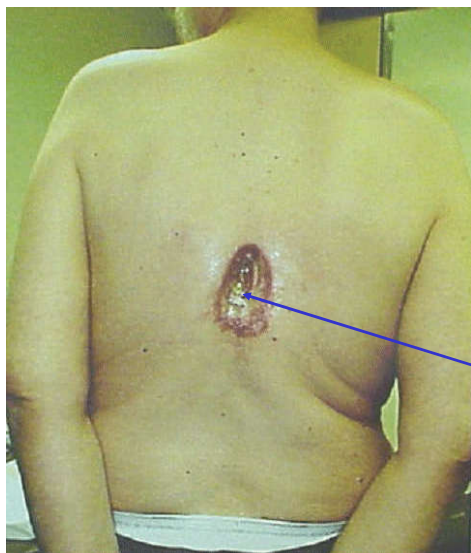
day 9: extended erosion, inflammation

Turai e.a., BMJ 2004, 328: 568-572

Exemple: effet tardif



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG



Example of chronic skin injury due to cumulative skin dose of ~20,000 mGy (20 Gy) from coronary angiography and x2 angioplasties

21 months after first procedure, base of ulcer exposes spinous process

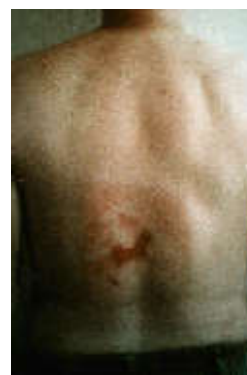
Exemples - SOURCE: ICRP

Exemple : évolution



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG

Radiodermite après multiples angiographie et angioplastie



> 6-8 semaines
Rougeurs



16-18 semaines
Ulcérations
localisées



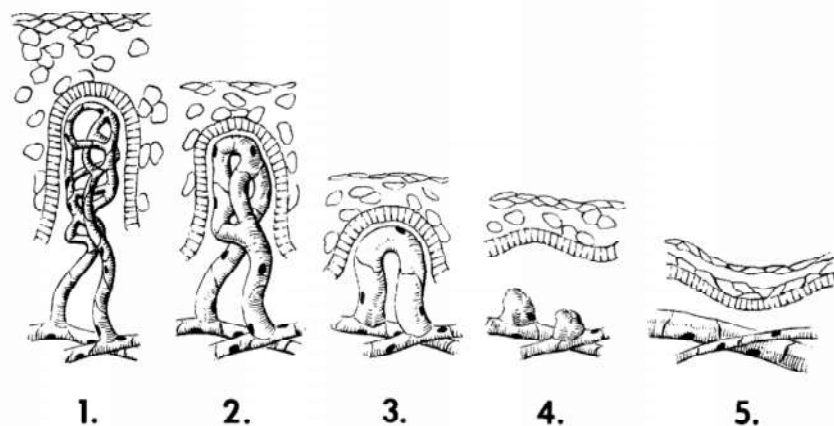
18-21 mois
Nécroses tissulaires

Shope T. Radiation-induced skin injuries from fluoroscopy. FDA/CDRH, 1995

Exemple: Peau - évolution



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG



Source: M. van Eijkeren
Dpt. Of Radiation Oncology
Ghent University Hospital

Exemple: Peau - effet tardif



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG



Source: M. van Eijkeren
Dpt. Of Radiation Oncology
Ghent University Hospital

Exemple: Peau - effet tardif



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG

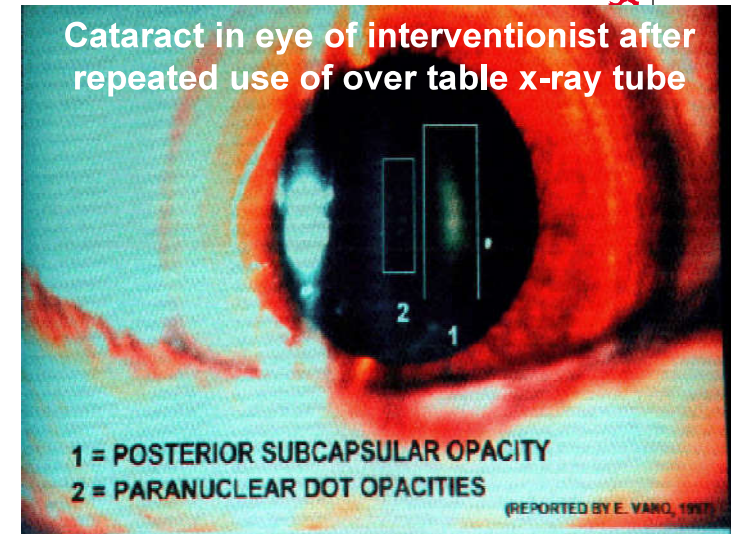


Shane Chapman M. Medscape Dermatology 2(2), 2001

Effet sur le cristallin : cataracte



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG



Exemples - SOURCE: ICRP

- EFFETS A DIFFERENTES ECHELLES
- EFFETS DETERMINISTES
- EFFETS STOCHASTIQUE
- EFFETS SUR L'EMBRYON ET LE FŒTUS



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG

Effets stochastiques



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG

Les effets aléatoires (stochastiques) :

- probabilité d'apparition augmentant avec la dose
- gravité indépendante de la dose
- effets tardifs (plusieurs années)

Principaux effets : **cancérogenèse**, effets génétiques

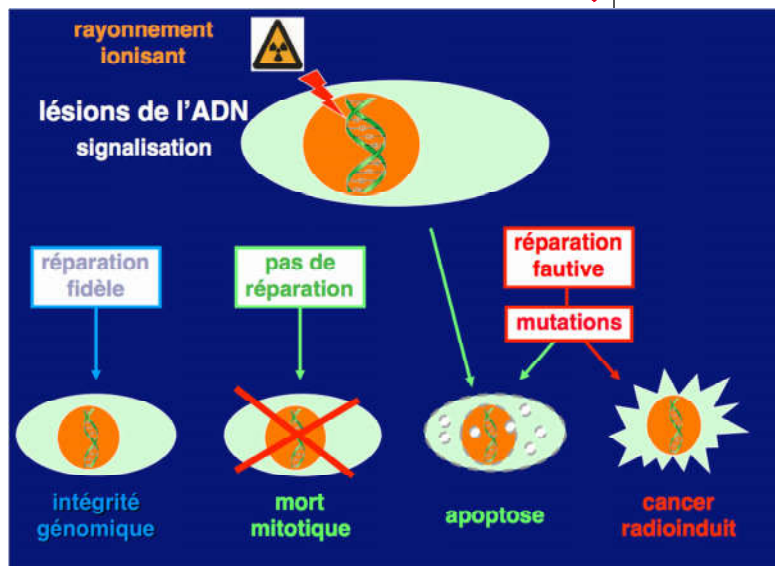
Incertitudes scientifique :

- pas de dose seuil connue
- relation dose-effet mal connue aux faibles doses

Effets lésions ADN sur la cellule



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG

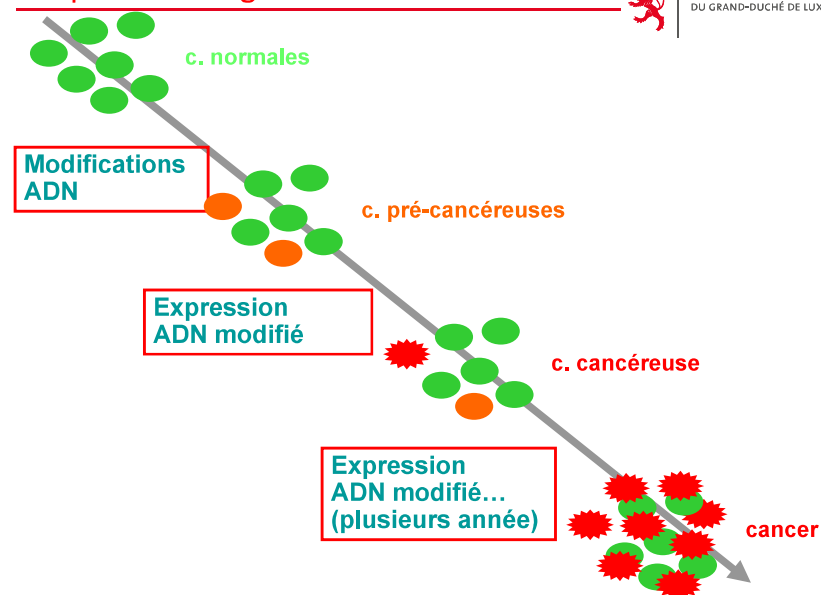


Source: Cordoliani

Etapes cancérogène



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG



Source: Cordoliani

Effets des faibles doses



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG

- Données scientifiques (exemples) :
 - Life span study (survivants Hiroshima - Nagasaki)
 - Irradiations médicales (radioscopie pour suivi tuberculose)
 - Etudes épidémiologiques rétrospectives sur enfants ayant eu des examens scanners
- Pour des doses supérieures à 100 mSv :
 - Preuves scientifiques d'excès du risque d'apparition de cancer
- Pour des doses inférieures à 100mSv :
 - Certaines études ne mettent aucun effet en évidence
 - Certaines d'études (surtout celles sur des enfants exposés) montrent une légère augmentation du risque

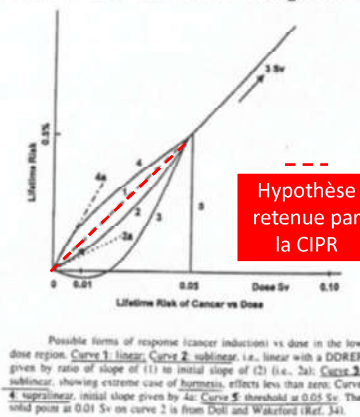
Effets des faibles doses



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG

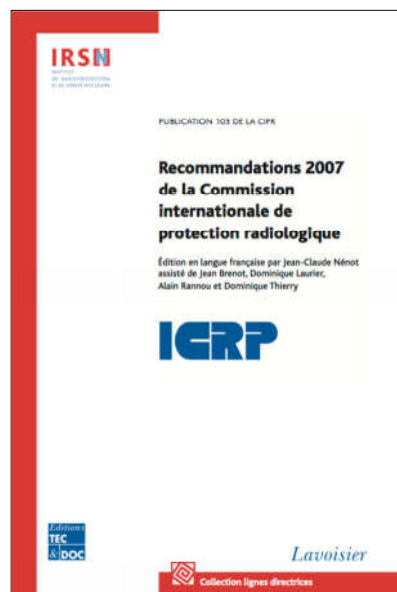
Extrapolation aux faibles doses d'après l'étude des survivants d'Hiroshima- Nagasaki

Les différentes
relations fréquence
dose, $P = f(D)$
en dessous de
50 mSv



Hypothèse retenue = relation linéaire sans seuil => principe ALARA

Source: Gambini



Incidence des cancers, mortalité

Quelques données sur les cancers en dehors de l'exposition aux RI

probabilité de survenue de cancer dans la vie d'un individu : 30 %
 découverte de 5 à 6 cancers par an pour 1000 habitants
 mortalité par cancer en France : 2 à 3 pers/ an / 1000 habitants
L'exposition aux rayonnements ionisants augmente-t-elle cette incidence et cette mortalité?

Population exposée	Facteur de risque (Sv ⁻¹ .homme ⁻¹)					
	Cancers		Effets héréditaires		Détriment	
	mortels et non mortels	mortels				
	CIPR 103 2007	CIPR 60 1990	CIPR 103 2007	CIPR 60 1990	CIPR 103 2007	CIPR 60 1990
Tous les âges*	5,5.10 ⁻²	6,0.10 ⁻²	0,2.10 ⁻²	1,3.10 ⁻²	5,7.10 ⁻²	7,3.10 ⁻²
18 à 65 ans	4,1.10 ⁻²	4,8.10 ⁻²	0,1.10 ⁻²	0,8.10 ⁻²	4,2.10 ⁻²	5,6.10 ⁻²

*avant 10 ans, multiplier par 3; après 60 ans, diviser par 5

Source: Gambini

Grandeurs utilisées en radioprotection



Le risque d'effet stochastique pour l'organisme varie en fonction des tissus exposés, du type de rayonnement, et des doses absorbées.

La dose absorbée (en Gray) est une grandeur physique : c'est l'énergie absorbée par masse de tissu (1 Gy = 1 J/Kg)

La dose efficace (en Sievert) est une unité créée pour la radioprotection pour traduire le risque d'effet stochastique.

Pour calculer la dose efficace E , d'abord on évalue la dose absorbée D par chaque tissu et rayonnement, et on calcule la dose équivalente H pour chaque tissu.

La dose équivalente H



A même doses absorbées, le risque varie en fonction du type de rayonnements. La dose équivalente (en Sievert) reçue par un tissu traduit le risque associé à une dose absorbée, en fonction du type de rayonnement.

On définit la dose équivalente H_T pour le tissu T ayant reçu des doses absorbées $D_{T,R}$ par exposition aux rayonnements de type R :

$$H_T = \text{SOMME} (D_{T,R} \times W_R)$$

Le facteur de pondération W_R caractérise la nocivité relative des différents type de rayons

$w_R = 1$ pour rayons X, rayons gamma, rayons beta

w_R est plus élevé pour d'autres type de particules (alpha, neutrons...)

La dose Efficace E



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG

A mêmes doses équivalentes, le risque pour un individu varie en fonction des tissus exposés. La dose efficace traduit le risque global pour un individu en fonction des tissus exposés.

On définit la dose efficace E pour la personne ayant reçu des doses absorbées H_T aux différents tissus T par :

$$E = \text{SOMME} (H_T \times W_T)$$

Le facteur de pondération W_T caractérise la sensibilité relative des différents tissus.

49

Le facteur pondération tissulaire W_T



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG

Les différents organes ont une radiosensibilité différente (en termes de risque de cancer ou d'affections héréditaires).

Pour en tenir compte des organes exposés dans l'estimation du risque on utilise un facteur de pondération tissulaire w_T qui caractérise la radiosensibilité relative des différents organes

Évolution de W_T

	1977 Publication 26	1991 Publication 60	2007 Publication 103
Vessie		0,05	0,04
Moelle osseuse	0,12	0,12	0,12
Surface de l'os	0,03	0,01	0,01
Sein	0,15	0,05	0,12
Côlon		0,12	0,12
Foie		0,05	0,04
Poumon	0,12	0,12	0,12
Oesophage		0,05	0,04
Peau		0,01	0,01
Cerveau			0,01
Glandes salivaires			0,01
Estomac		0,12	0,12
Thyroïde	0,03	0,05	0,04
Autres	0,30	0,05	0,12
Gonades ¹	0,25	0,20	0,08
Total	1,00	1,00	1,00

Source: Gambini

Calcul dose efficace en radiologie



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG

Ex : radiographie pulmonaire :

On évalue les doses absorbées D suivantes :

$D_{\text{poumons}} = 0,1 \text{ mGy}$; $D_{\text{sein}} = 0,3 \text{ mGy}$; $D_{\text{thyroïde}} = 0,1 \text{ mGy}$

Quelle est dose efficace reçue le patient ?

Solution :



Quelques ordres de grandeurs



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG

DOSES EFFICACES TYPES			
RADIOLOGIE CONVENTIONNELLE		SCANNOGRAPHIE	
Thorax face	0,05 mSv	Thorax IV-	6 mSv
Abdomen sans préparation	1,6 mSv	Abdomen IV-	10 mSv
Crâne (1ou 2 incidences)	0,04 mSv	Crâne IV-	1,6 mSv
Radiographie du membre inférieur	0,003 mSv	Scanner membre inférieur IV-	0,2 mSv
Téléradiographie de la rachis corps entier	1,5 mSv	Rachis 2 segments IV-	13 mSv

Exemples – extraits rapport EXPRI, IRSN, 2014.



L'indication de la dose efficace est synonyme de l'indication du RISQUE.

Pour une même dose efficace (p.ex. 10 mSv), le risque dû au rayonnement est indépendant du fait qu'une personne ait subi une exposition partielle (p.ex. du crâne, du cou et du thorax) ou une exposition du corps entier.

La définition du risque dû au rayonnement comprend

- le risque de mourir d'un cancer radioinduit
- le risque de développer un cancer radioinduit
- le risque de produire des effets génétiques sur l'ensemble des générations

Dans la formule de calcul de la dose efficace, on tient compte de la sensibilité relative des différents organes de produire un des effets ci-dessus (facteur de pondération tissulaire), du type du rayonnement (facteur de pondération selon le type de rayon) et de la distribution de dose absorbée.

La dose efficace est une grandeur déterminée par calcul et qui tient compte :

- du type et de l'énergie du rayonnement
- du fait qu'il y a eu exposition externe ou interne
- du fait qu'une partie du corps ou le corps entier a été exposé

Selon les dernières recommandations internationales, le risque de cancer mortel est estimé à 5%/Sv et celui des risques héréditaires à 0.2%/Sv à des faibles doses.



- EFFETS A DIFFERENTES ECHELLES
- EFFETS DETERMINISTES
- EFFETS STOCHASTIQUES
- EFFETS SUR L'EMBRYON ET LE FŒTUS



Pas démontrés à ce jour.

La CIPR a tout de même adopté des valeurs du facteur du risque

Des effets génétiques sont mis en évidence chez les animaux, les insectes et les plantes, mais aucun effet de cette nature n'a pu être démontré dans l'espèce humaine



Population exposée	Facteur de risque (Sv ⁻¹ homme ⁻¹)					
	Cancers		Effets héréditaires		Détriment	
	mortels et non mortels	mortels				
	CIPR 103 2007	CIPR 60 1990	CIPR 103 2007	CIPR 60 1990	CIPR 103 2007	CIPR 60 1990
Tous les âges*	5,5.10 ⁻²	6,0.10 ⁻²	0,2.10 ⁻²	1,3.10 ⁻²	5,7.10 ⁻²	7,3.10 ⁻²
18 à 65 ans	4,1.10 ⁻²	4,8.10 ⁻²	0,1.10 ⁻²	0,8.10 ⁻²	4,2.10 ⁻²	5,6.10 ⁻²

Effets tératogènes



On appelle effets tératogène des rayonnements ionisants les anomalies ou malformation provoquées sur l'embryon ou le fœtus au cours de la grossesse.

Ces effets dépendent de la dose et du stade de la grossesse :

- Effets létaux
- Malformations
- Retard de croissance
- Retard mentaux
- Cancers

(source : CIPR 84, grossesse et irradiation médicale)

Jusqu'à 2^{ème} semaine



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG

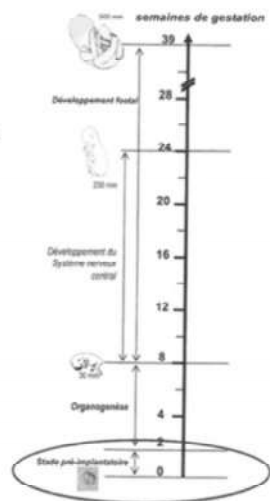
Effets létaux

Au stade pré-implantatoire, l'effet d'une irradiation se traduit par un arrêt ou une poursuite normale de la grossesse. Loi du « tout ou rien ».

Age gestationnel	Dose seuil estimée (mGy)
1-5 jours	100
2-5 sem	250 -500
5-7 sem	500
7-21 sem	> 500
8-15 sem	
16-25 sem	> 1000
25 -fin	

D'après Osei et Faulkner, 2000, Radiography (6) 131-144

Avortement spontané 15%



Source: IRSN / Gambini

2^{ème} à 8^{ème} semaine



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG

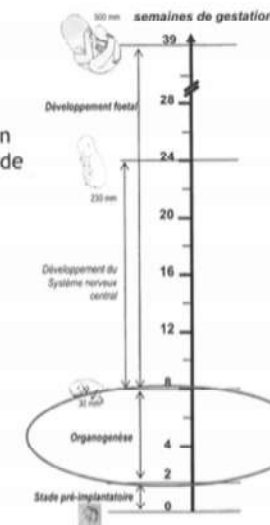
Effets malformatifs (hors SNC)

Pendant la phase d'organogenèse, Phase de prolifération et de différenciation cellulaire intense : l'atteinte d'un groupe de cellules peut entraîner une malformation majeure d'un organe. Dose seuil de 200 mGy

Age gestationnel	Dose seuil estimée (mGy)
1-5 jours	
2-5 sem	200
5-7 sem	500
7-fin	> 500

D'après Osei et Faulkner, 2000, Radiography (6) 131-144

Malformations spontanées 2-4%



Source: IRSN / Gambini

8^{ème} à 15^{ème} semaine



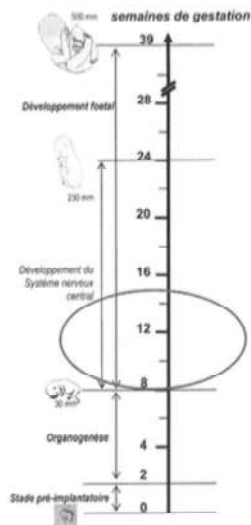
LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG

Effets malformatifs Système nerveux central

Risque de malformations majeures au delà de la période d'organogenèse, au début de la période fœtale

8^{ème} - 15^{ème} semaine

Dose seuil évaluée à 500 mGy.



Source: IRSN / Gambini

8^{ème} à 15^{ème} semaine



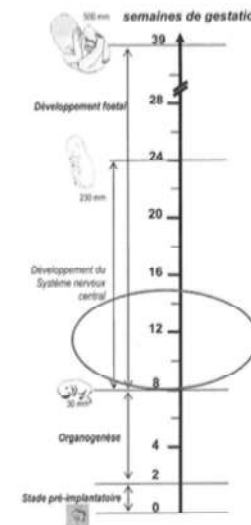
LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG

Effets malformatifs Système nerveux central

Risque de malformations majeures au delà de la période d'organogenèse, au début de la période fœtale

8^{ème} - 15^{ème} semaine

Dose seuil évaluée à 500 mGy.



Source: IRSN / Gambini

Début p



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG

Retards mentaux

Risque de retard mentaux ou diminution de QI jusqu'à 26 semaines.

Dose seuil évaluée à 200 mGy.

Age gestationnel	Dose seuil estimée (mGy)
Jusqu'à 7 sem	Pas d'effets observés
8-15 sem	390-460
16-25 sem	640-700
26-fin	Pas d'effets?

D'après Ossi et Faulkner, 2000, Radiography (R) 131-144

QI < 70 spontané chez 3% des enfants



Source: IRGN / Gambini

Cancers après exposition *in utero*



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG

- ❑ Risque stochastique (aléatoire) qui augmente avec la dose reçue.
- ❑ Théoriquement pas de seuil.
- ❑ Hiroshima: rien - Autres études : augmentation des leucémies chez des enfants ayant reçu plus de 10 mGy *in utero* faisant passer l'incidence de 0,25% à 0,30%.
- ❑ Incidence spontanée des cancers et leucémies de l'enfant entre 0 et 15 ans: 2 à 3 pour 1000.

⇒ Cette incertitude sur le risque cancérogène est la raison majeure pour éviter, dans la mesure du possible, toute exposition *in utero*.

Article de synthèse
Risk of childhood cancer from fetal irradiation
Doll R. and Wakeford R., Br J Radiol, 1997 (70) 130-139.

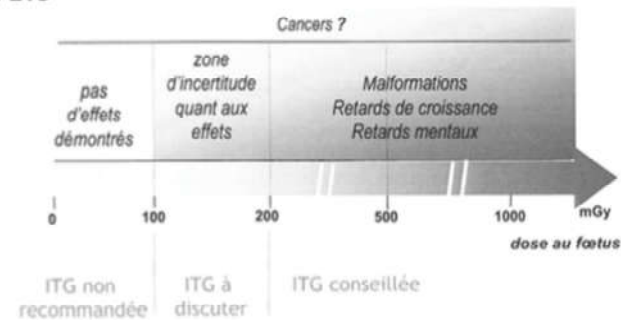
Source: Gambini

Résumé effets selon dose



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG

EFFETS



RECOMMANDATIONS de la CIPR

➤ MERCI DE VOTRE ATTENTION



En cas d'exposition : calcul de la dose absorbée par EPM

aurelien.bouette@ms.etat.lu

Source: IRGN / Gambini