

Dose efficace : peut-on vraiment l'utiliser pour estimer un risque individuel ?

*Pr François Bochud, ICRP (comité 4)
Centre hospitalier universitaire vaudois
Université de Lausanne, Suisse*

**12^{ème} Congrès National SFRP
La Rochelle 18-20 juin 2019**

Le contenu de cette présentation ne reflète pas forcément
le point de vue de l'ICRP



ICRP ref. 4847-4710-3891

08 April 2019

MC Critical Reviewers: K. Applegate, D. Cool, C.-M. Larsson

Annals of the ICRP

ICRP PUBLICATION IXX

The Use of Dose Quantities in Radiological Protection

Editor-in-Chief
C.H. CLEMENT

Associate Editor
H. FUJITA

Authors on behalf of ICRP

J.D. Harrison, M. Balonov, F. Bochud, C. Martin, H-G. Menzel,
P. Ortiz-Lopez, R. Smith-Bindman, J.R. Simmonds, R. Wakeford

*draft (approved for Publication with
adjustments for MC Comments)*



1. Unités du risque radiologique

12^{ème} Congrès National SFRP
La Rochelle 18-20 juin 2019

Avoir la **bonne échelle** compte !

Quel **nucléide décroît** le plus rapidement ?

nucléide 1 $\lambda = 0.1315 \text{ y}^{-1}$

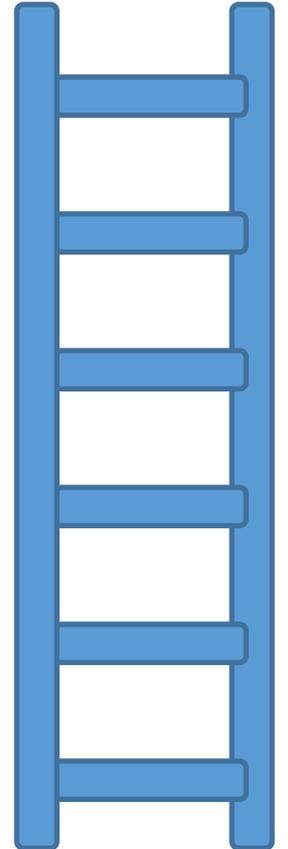
nucléide 2 $\lambda = 0.1155 \text{ h}^{-1}$

^{60}Co

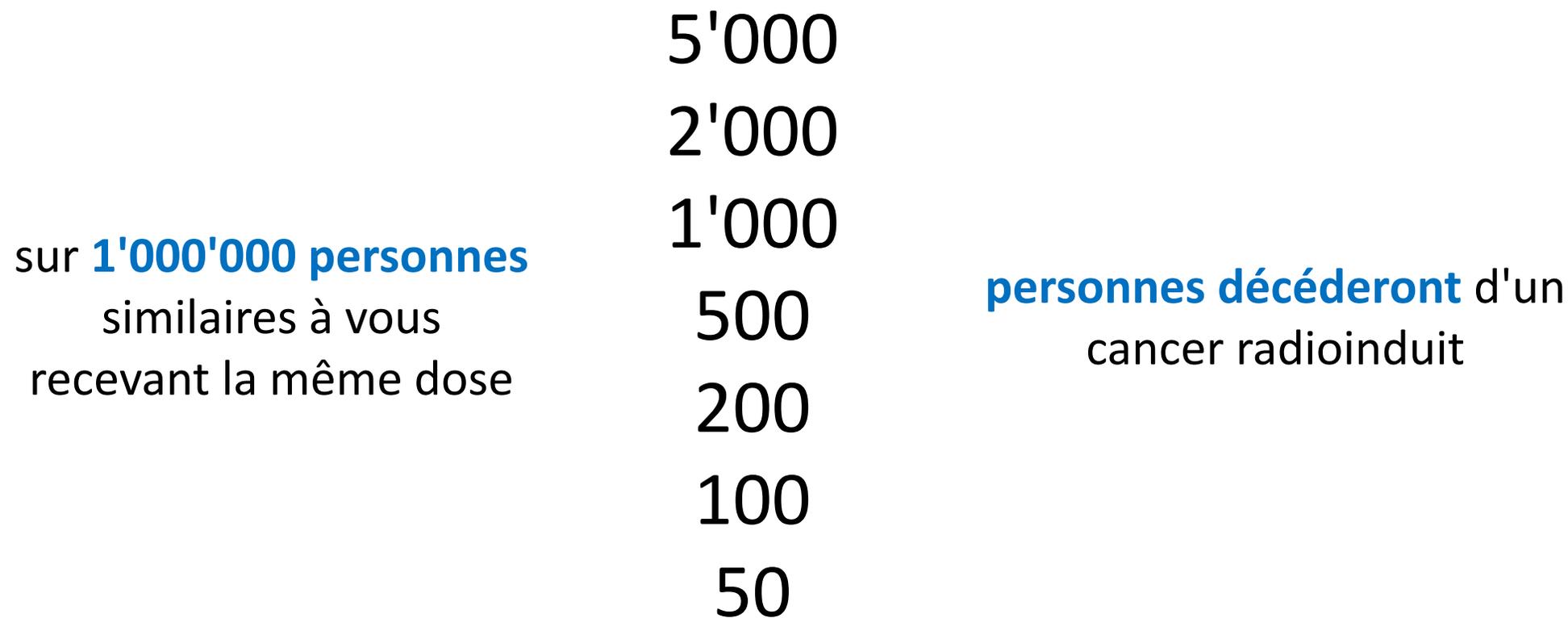
T = 5.27 a

$^{99\text{m}}\text{Tc}$

T = 6 h



Quel est la **probabilité** que vous développiez un **cancer mortel** si tous les organes de votre cage thoracique et de votre abdomen reçoivent **20 mSv** ?



Quel est la **probabilité** que vous développiez un **cancer mortel** si tous les organes de votre cage thoracique et de votre abdomen reçoivent **20 mSv** ?

5'000

2'000 *si vous êtes enfant*

1'000 *si vous avez 30-40 ans*

500 *si vous avez la soixantaine*

200 *si vous avez la septantaine*

100 *si vous avez la huitantaine*

50

sur **1'000'000 personnes**
similaires à vous
recevant la même dose

Quel est la **probabilité** que vous développiez un **cancer mortel** si tous les organes de votre cage thoracique et de votre abdomen reçoivent **20 mSv** ?

sur **1'000'000 personnes**
similaires à vous
recevant la même dose

5'000

2'000

1'000

500

200

100

50

$2 \cdot 10^{-3}$

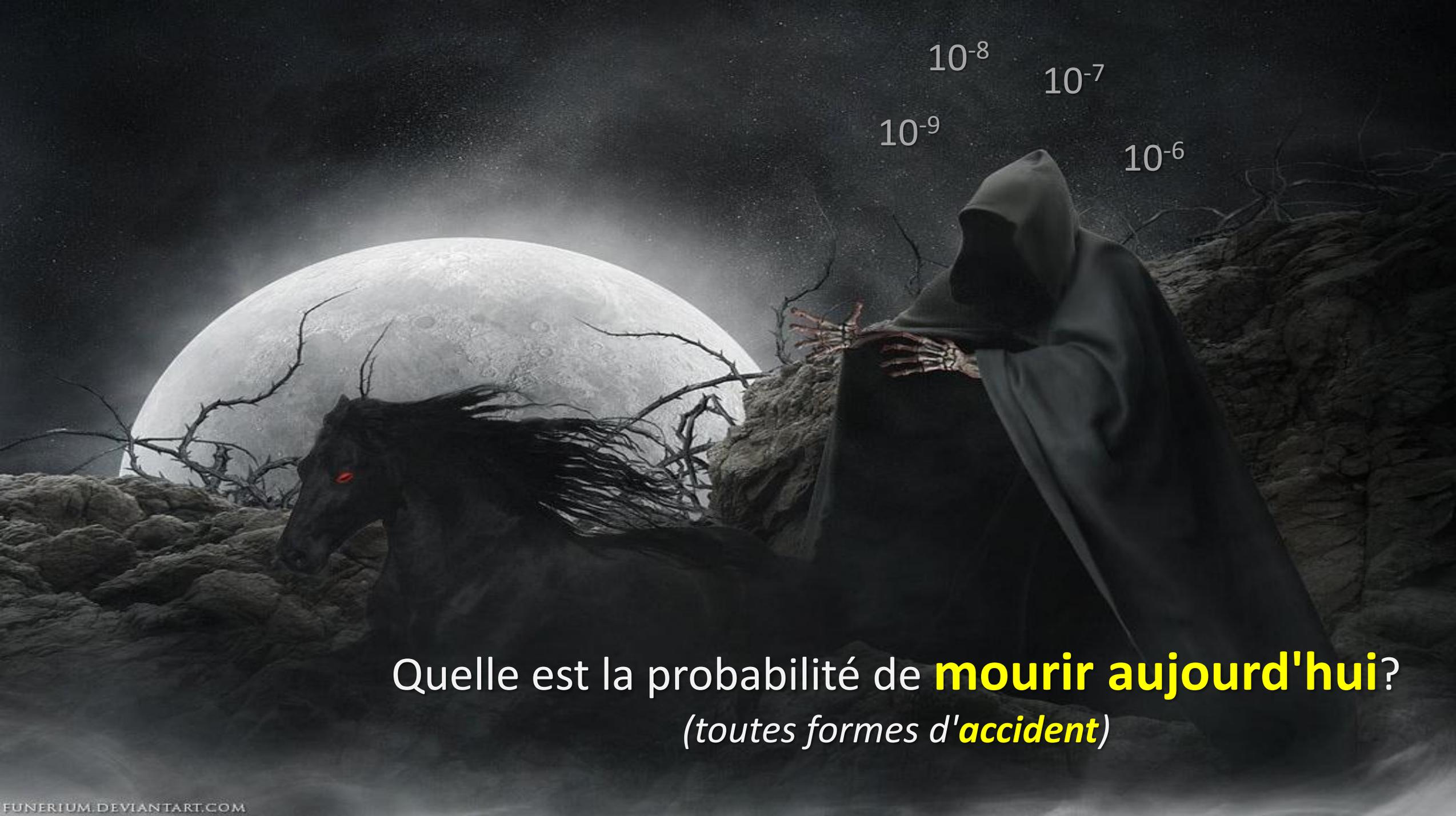
10^{-3}

$5 \cdot 10^{-4}$

$2 \cdot 10^{-4}$

10^{-4}

risque



10^{-8}

10^{-7}

10^{-9}

10^{-6}

Quelle est la probabilité de **mourir aujourd'hui**?
(toutes formes d'**accident**)

Quelle est la probabilité de décéder d'un **accident**
en vivant **24 heures** sur sol français ?

10^{-8}

10^{-7}

10^{-6}

10^{-5}

10^{-4}

10^{-3}

10^{-2}

10^{-1}

Valeurs pour la Suisse (2013)

Cause de décès	Nombre de décès 2013		Taux de mortalité 2013	
	Hommes	Femmes	Hommes	Femmes
Toutes les causes de décès	31257	33704	555.0	371.0
Maladies infectieuses	352	415	6.4	4.8
Tumeurs malignes	9200	7475	167.0	107.0
Gros intestin	584	583	10.3	7.4
Poumons	1960	1208	36.5	19.4
Sein	5	1329	0.1	20.0
Diabète sucré	615	700	10.6	6.8
Démence	1797	4110	28.5	34.5
Appareil circulatoire	9719	11793	164.0	109.0
Cardiopathies, toutes formes	7663	8984	130.0	81.3
Cardiopathies ischémiques	4097	3628	69.9	33.4
Maladies cérébro-vasculaires	1465	2238	24.3	21.5
Appareil respiratoire, toute formes	2167	1949	36.4	20.4
Cirrhose du foie alcoolique	319	121	6.5	2.3
Accidents et morts violentes	2177	1642	44.0	21.0
Accidents, toutes formes	1312	1285	25.3	13.7
Suicides	786	284	16.9	6.0

$$\frac{2597}{8 \cdot 10^6 \cdot 365} = 0.89 \cdot 10^{-6}$$

mort par jour et
par habitant

$$1312 + 1285 = 2597 \text{ personnes}$$

Probabilité de mourir par jour (cause non-naturelle)

Death from	Context	Time period	N deaths	N population	10 ⁻⁶	Reference
Non-natural cause	England and Wales	2012	17,462	56,567,000	0.8 per day	ONS Deaths Table 5.19.
Non-natural cause (excluding suicide)	England and Wales	2012	12,955	56,567,000	0.6 per day	ONS Suicides
Non-natural cause	US	2010	180,000	308,500,000	1.6 per day	CDC Deaths Table 18
Non-natural cause (excluding suicide)	US	2010	142,000	308,500,000	1.3 per day	CDC Deaths Table 18.

Environ **1 x 10⁻⁶** par jour

La probabilité de décéder d'un accident
dans la population générale d'un pays riche est environ
 10^{-6} par jour



$10^{-6} = 1 \text{ MicroMort}$



2. Place du risque en radioprotection

12^{ème} Congrès National SFRP
La Rochelle 18-20 juin 2019

Principes de base de la radioprotection **JOLi**

Justification

Toute décision qui modifie la situation d'exposition aux rayonnements doit faire **plus de bien que de mal**

risque < bénéfice

Optimisation

La probabilité d'occurrence des expositions, le nombre de personnes exposées et l'ampleur de leurs doses individuelles doivent tous être maintenus **aussi faible** qu'il est **raisonnablement possible**, compte tenu des facteurs économiques et sociétaux

**risque
raisonnable**

Limitation

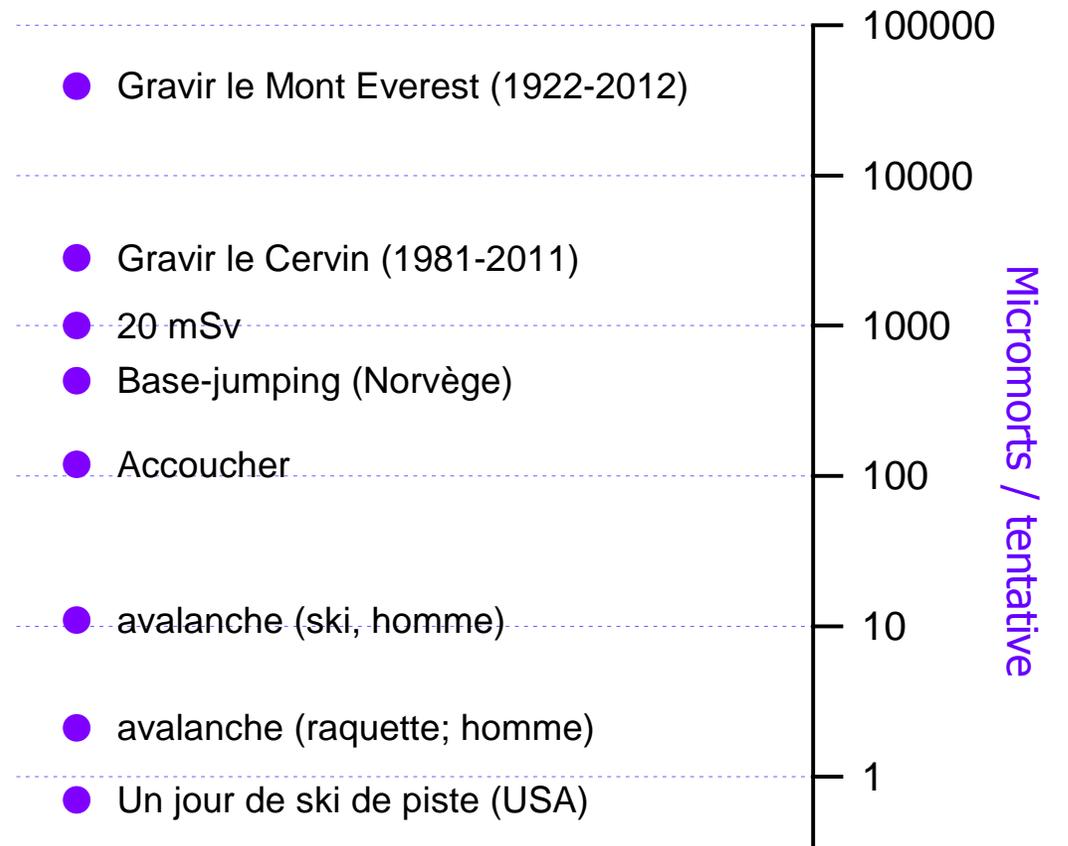
La **dose** totale **reçue par un individu** quel qu'il soit, due à des sources réglementées dans les situations d'exposition planifiée, autres que l'exposition médicale de patients, ne doit **pas dépasser les limites** appropriées recommandées au niveau international

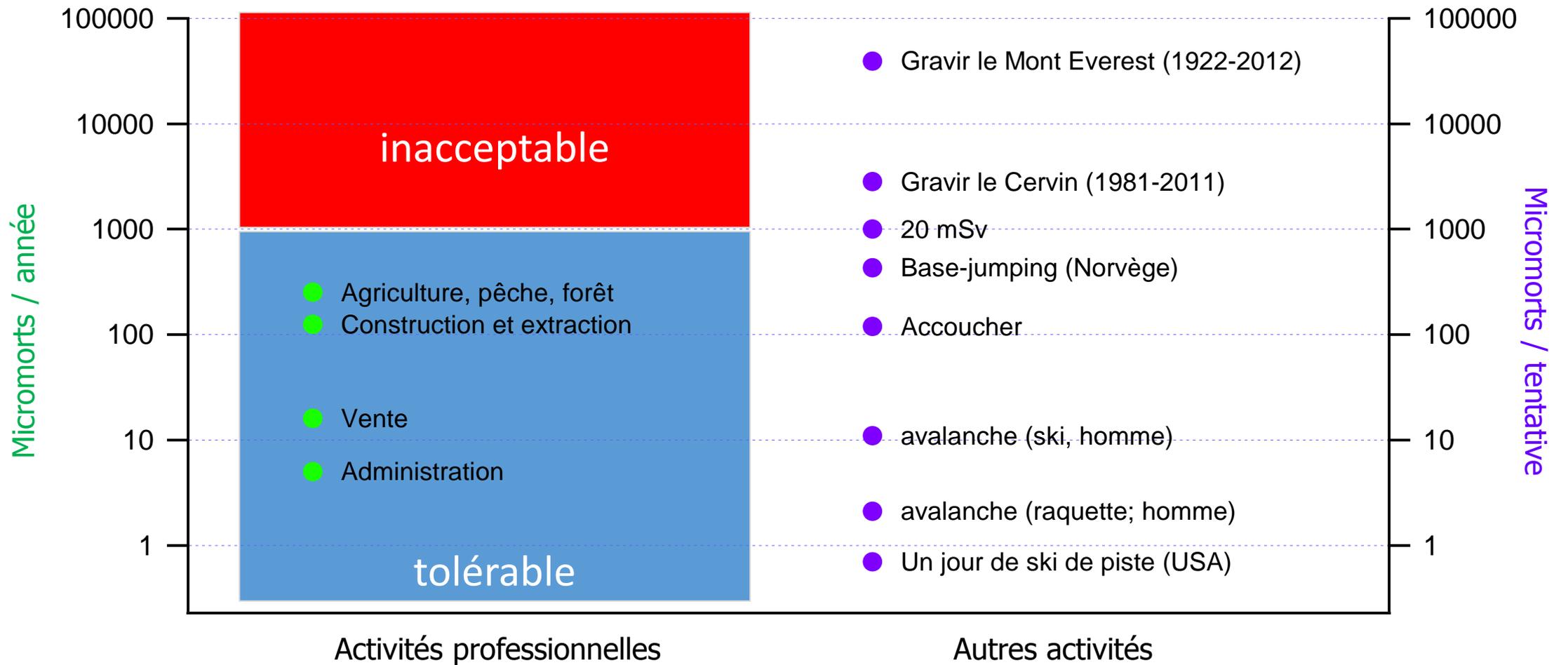
risque < limite

Pour les professionnels,

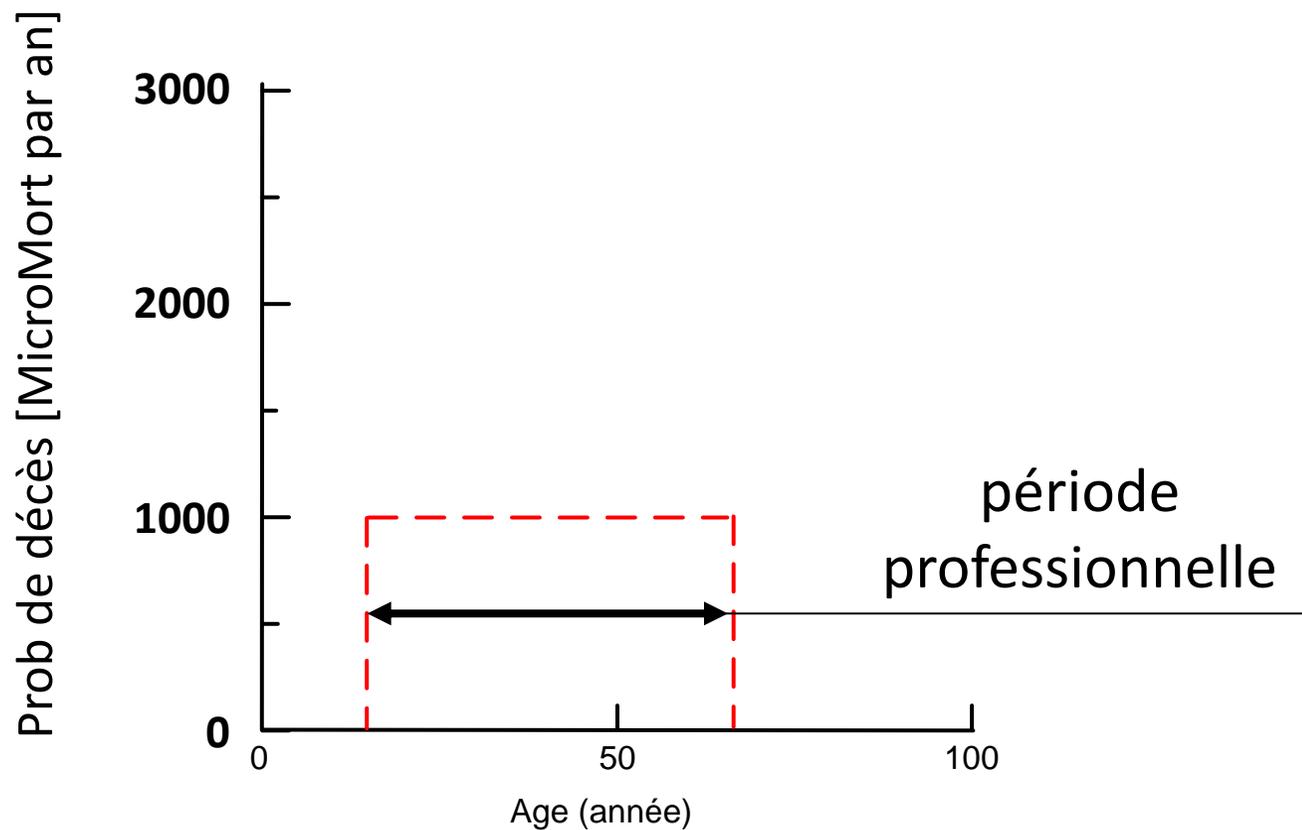
1'000 micromorts/a
(20 mSv)

est **inacceptable** !

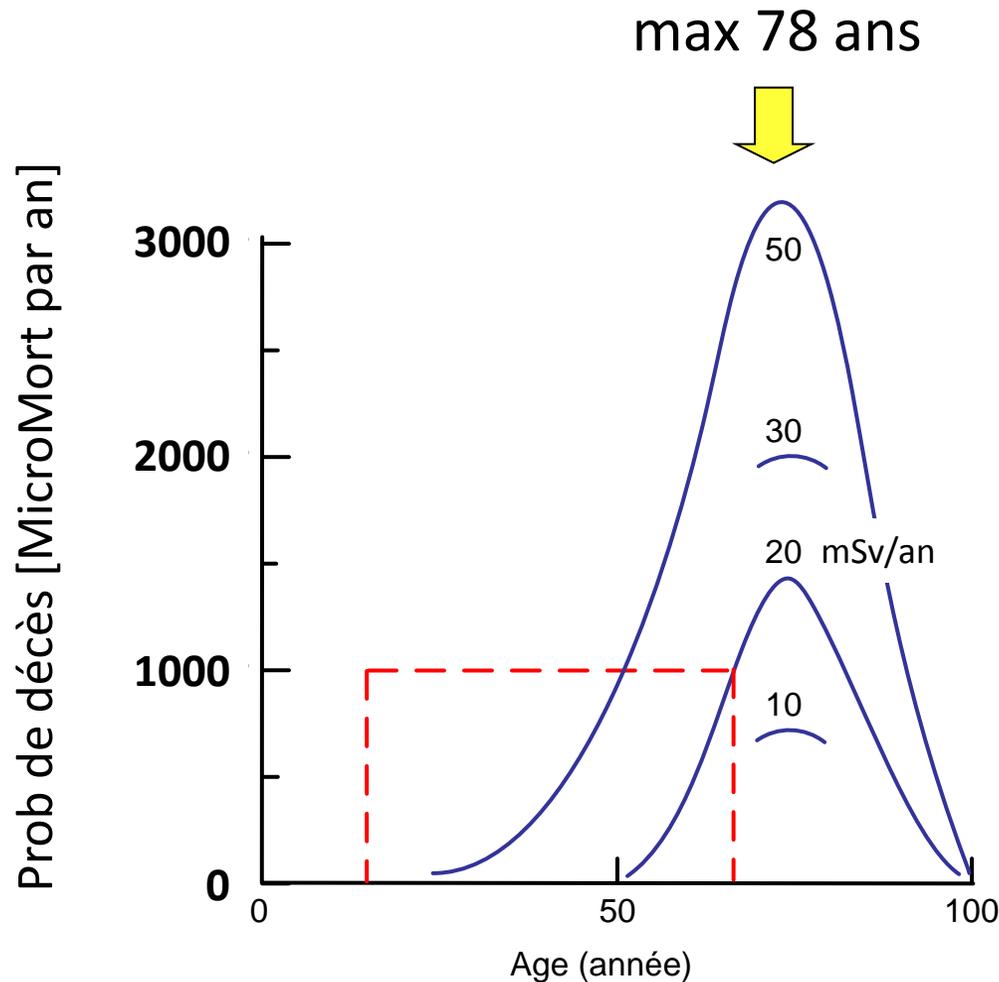




Limite de dose pour les professionnels (effets stochastiques)



Limite de dose pour les professionnels (effets stochastiques)



Irradiation régulière,
pendant toute la période
professionnelle, à une
dose donnée

Limite à 20 mSv/an

(5 mSv/an pour les 16-18 ans)



3. Besoin d'une grandeur simple en médecine (et ailleurs)

12^{ème} Congrès National SFRP
La Rochelle 18-20 juin 2019

Quelle **grandeur mesurable** pour estimer le **risque** d'un patient ?

Pour un clinicien

- associée au **risque**
- **compréhensible**
- suffisamment **simple** pour qu'ils s'en souviennent
- utilisable pour **comparer des modalités** entre elles



Quelle **grandeur mesurable** pour estimer le **risque** d'un patient ?

- doit être **connue avant** l'exposition
- dose généralement faibles :
une **grandeur approximative** de la
procédure est **suffisante**

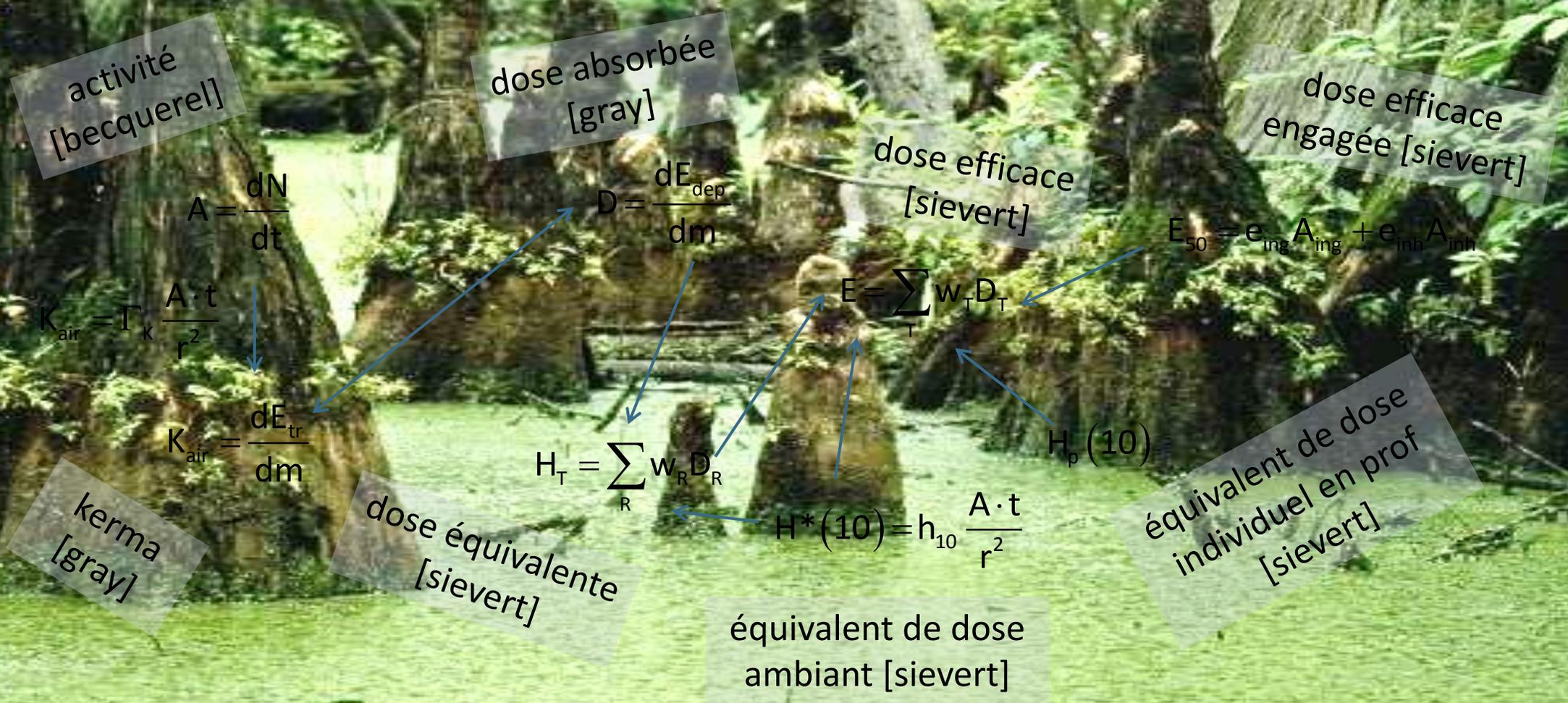




4. Biotope des grandeurs dosimétriques

12^{ème} Congrès National SFRP
La Rochelle 18-20 juin 2019

Pas forcément simple de s'y retrouver



Effets déterministes (réactions tissulaire)

dose absorbée
[gray]

$$D = \frac{dE_{\text{dep}}}{dm}$$

dose équivalente
[sievert]

$$H_T = \sum_R w_R D_R$$

Effets stochastiques (essentiellement cancers)

dose efficace
[sievert]

$$E = \sum_T w_T D_T$$

équivalent de dose
ambient [sievert]

$$H^*(10) = h_{10} \frac{A \cdot t}{r^2}$$

dose efficace
engagée [sievert]

$$E_{50} = e_{\text{ing}} A_{\text{ing}} + e_{\text{inh}} A_{\text{inh}}$$

équivalent de dose
individuel en prof
[sievert]

$$H_p(10)$$

Effets **stochastiques** (essentiellement cancers)

Effets **déterministes** (réactions tissulaire)

*utilisée pour définir une
limite sur une **réaction
tissulaire** ($H_{peau} < 500 \text{ mSv}$)*

dose absorbée
[gray]

$$D = \frac{dE_{\text{dep}}}{dm}$$

dose efficace
[sievert]

$$E = \sum_T w_T D_T$$

$$H_T = \sum_R w_R D_R$$

dose équivalente
[sievert]

*endpoint :
développement de **cancers***

Grandeurs définissant les valeurs limites

Effets **déterministes**
(réactions tissulaire)

dose absorbée (Gy)

$$H_T = \sum_R w_R D_R$$

Les limites pour les **réactions tissulaires**
sont exprimées en **gray**
Pas d'incohérence avec la radiooncologie

Effets **stochastiques**
(essentiellement cancers)

dose efficace (Sv)

$$E = \sum_T w_T \sum_R w_R D_R$$

Le **sievert** est réservé pour les **effets stochastiques** (via la dose efficace)

Grandeurs définissant les valeurs limites

Effets **déterministes**
(réactions tissulaire)

dose absorbée (Gy)

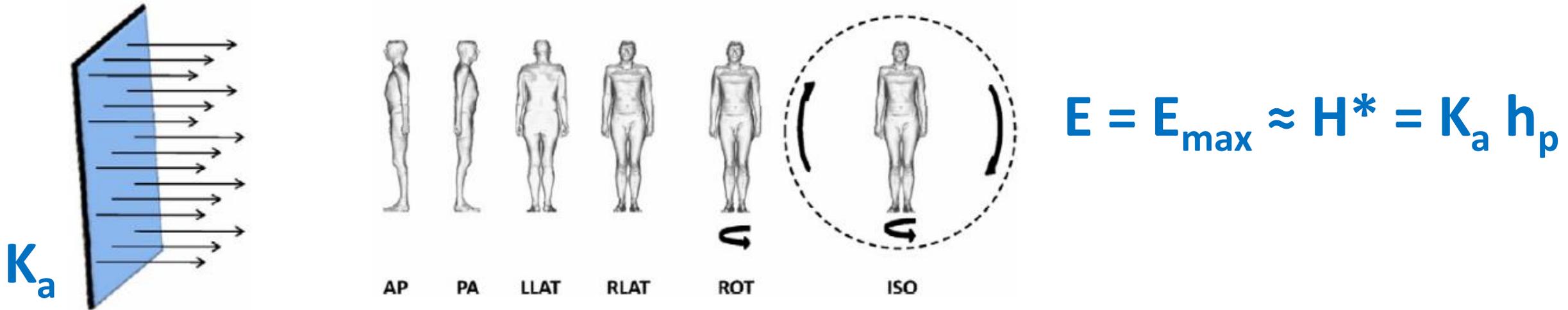
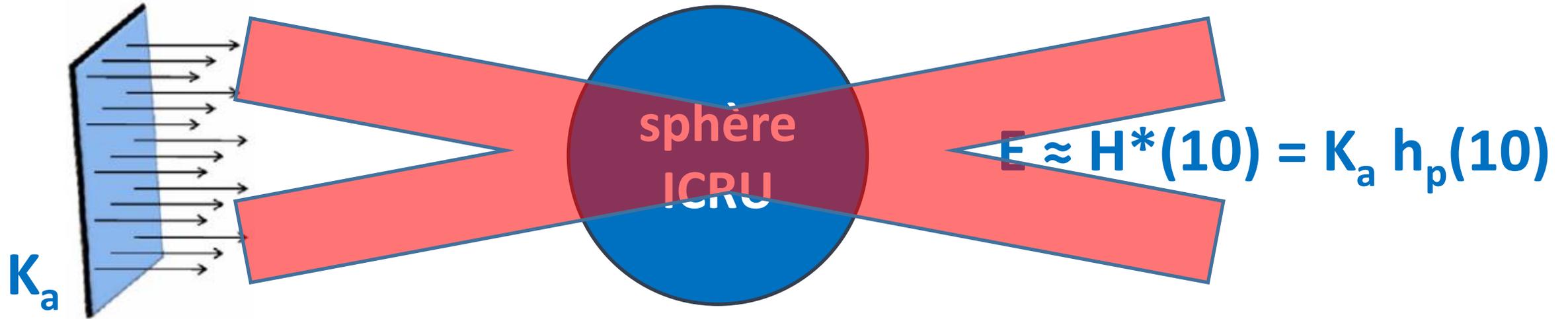
Effets **stochastiques**
(essentiellement cancers)

dose efficace (Sv)

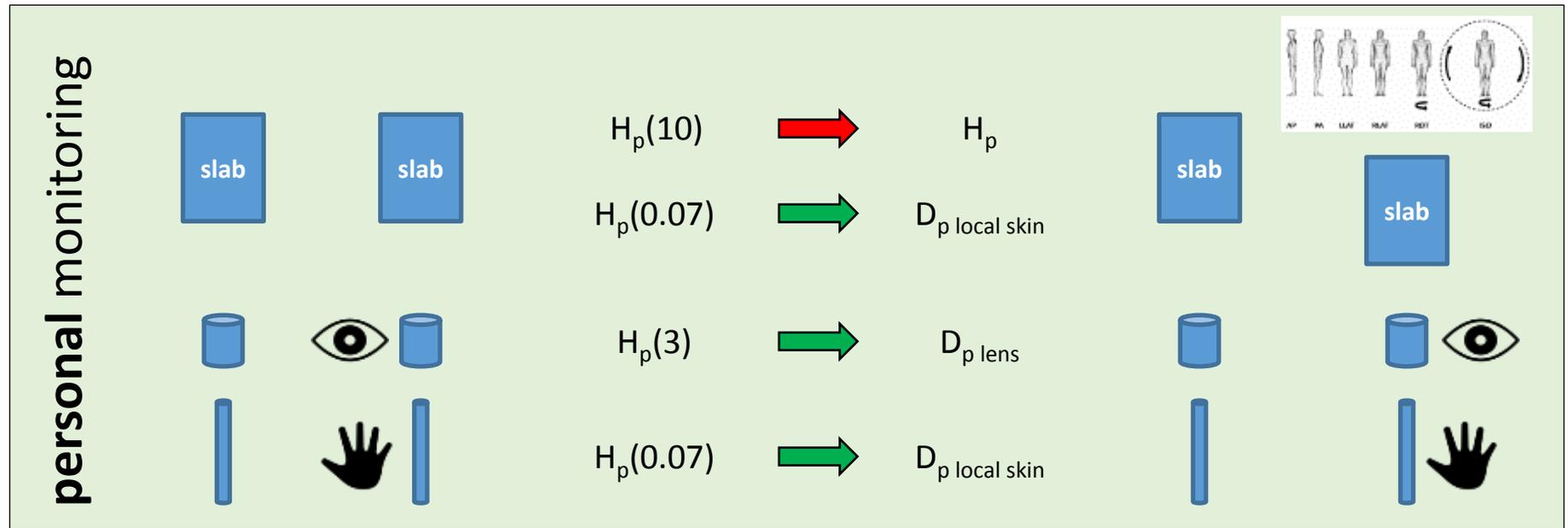
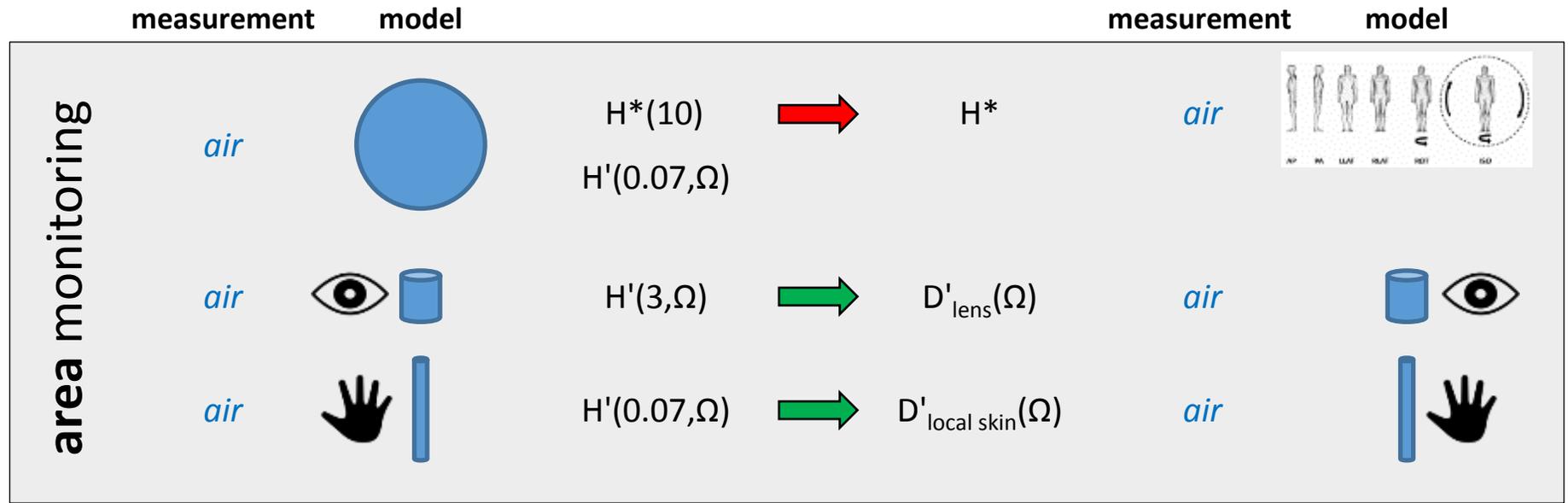
$$E = \sum_T w_T \sum_R w_R D_R$$

Clarification de la communication !

Grandeur opérationnelle pour définir E



Grandeurs opérationnelles



stochastic effect
in Sv

tissue effect
in Gy

Définition de la **dose efficace**



$$E = \sum_T w_T \sum_R w_R D_R$$

ICRP-110 Fantômes voxel de référence

Définition de la **dose efficace**

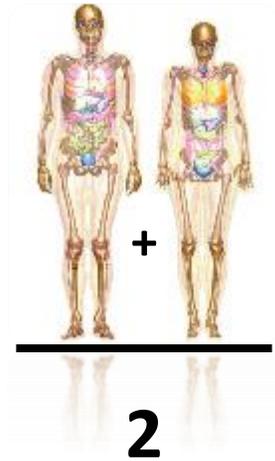
$$M \left(\sum_R w_R D_R \right)$$



$$F \left(\sum_R w_R D_R \right)$$

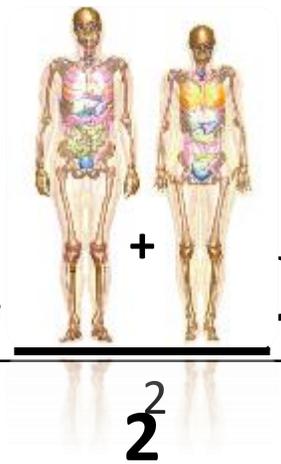
Définition de la **dose efficace**

$$M \left(\sum_R w_R D_R \right)$$



$$F \left(\sum_R w_R D_R \right)$$

Définition de la **dose efficace**

$$E = \sum_T w_T \frac{\left(\sum_R w_R D_R \right)^M}{2^2}$$


The diagram shows two human figures, one male and one female, standing side-by-side. They are positioned above a horizontal line, with a large '2' below the line, indicating the denominator of the formula. The figures are colored to show internal organs, with the male figure on the left and the female figure on the right. A plus sign is placed between the two figures, suggesting they are being summed or compared.

$$\left(\sum_R w_R D_R \right)^M$$
$$\left(\sum_R w_R D_R \right)^F$$

Définition de la **dose efficace**

uniquement **3 valeurs de w_R**

Les incertitudes sont explicitement assumées

$$E = \sum_T w_T \frac{\left(\sum_R^M w_R D_R \right) + \left(\sum_R^F w_R D_R \right)}{2}$$

uniquement **4 valeurs de w_T**

Les incertitudes sont explicitement assumées

Tissue	w_T	$\sum w_T$
Active bone marrow, breast, colon, lung, stomach, remainder tissues*	0.12	0.72
Gonads	0.08	0.08
Urinary bladder, oesophagus, liver, thyroid	0.04	0.16
Bone endosteum, brain, salivary glands, skin	0.01	0.04

Gamme de validité de la **dose efficace**

ok jusqu'à **1 Sv** ou plus mais...

Réaction tissulaires

pour $E =$ quelques 100 mSv ?

si exposition **uniforme** :
pas de réaction tissulaire

si **un seul organe sensible** est
concerné, réaction tissulaire possible
*(concentration d'un radionucléide, exposition
de la peau en scopie ou en CT)*

DDREF = 2 ?

en général **oui**, **DDREF = 2**

pas si $D(\text{organe}) > 100 \text{ mGy}$ pour débit $> 5 \text{ mGy/h}$
DDREF = 1

Buts premiers de la **dose efficace**

Gestion du risque stochastique à basse dose **gestion ≠ estimation**

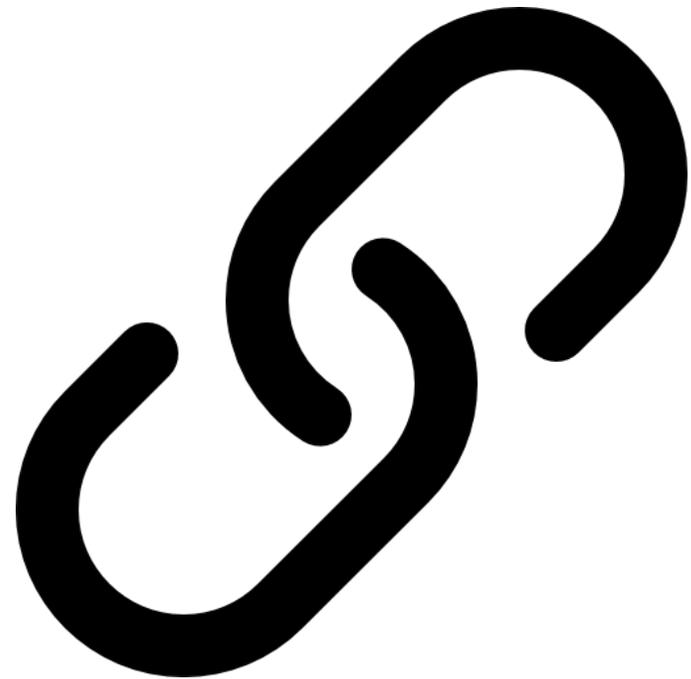
Planifier la dose aux professionnels (et au public)

Optimiser les situations d'exposition

Fixer une valeur **limite** pour les effets stochastiques

Pour une **personne de référence**
recevant une **dose au corps entier**
(pas pour un individu)

moyenne sur
l'**âge**, le **sexe**, les **organes**

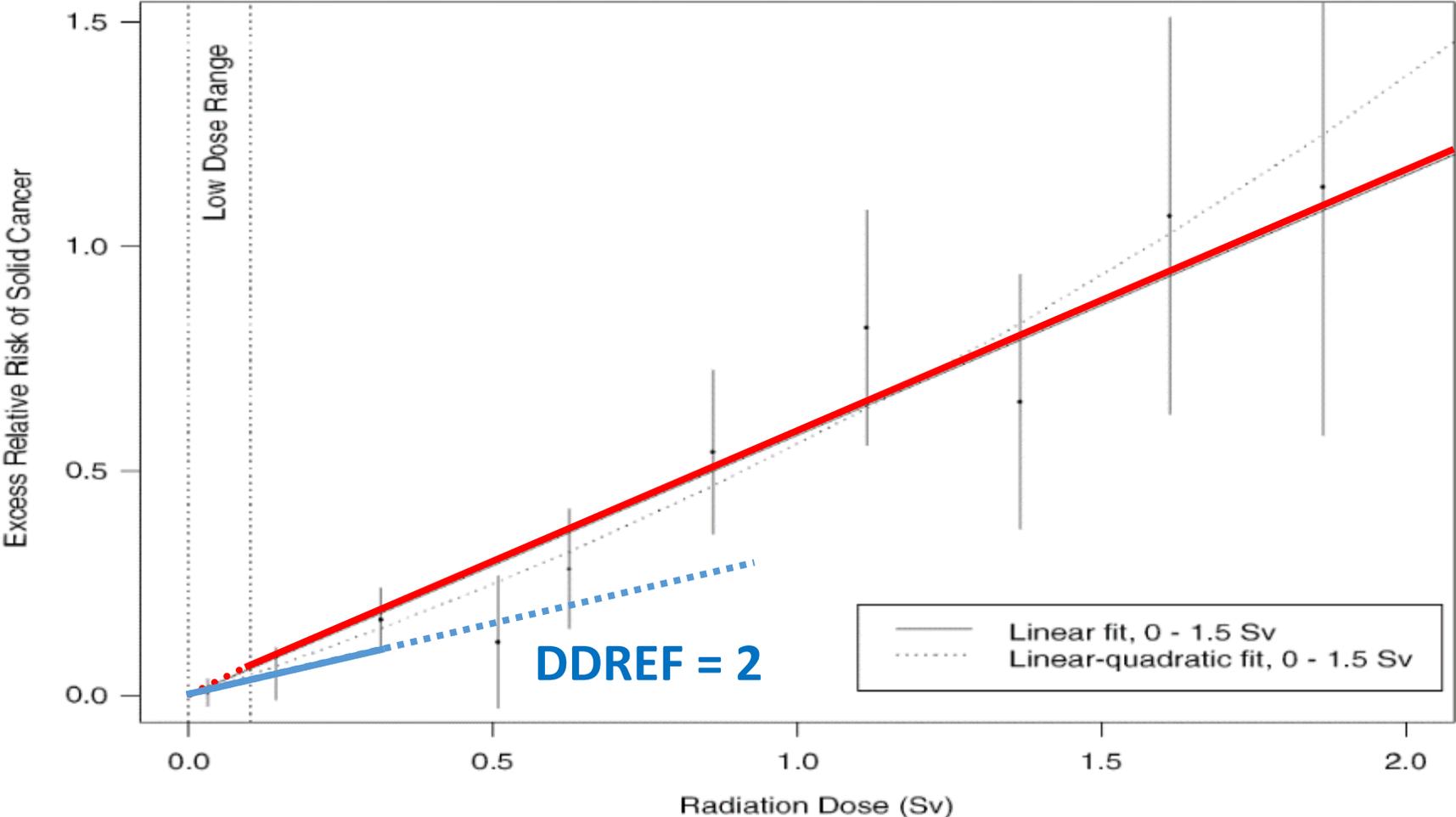


5. Lien entre le risque et la dose efficace

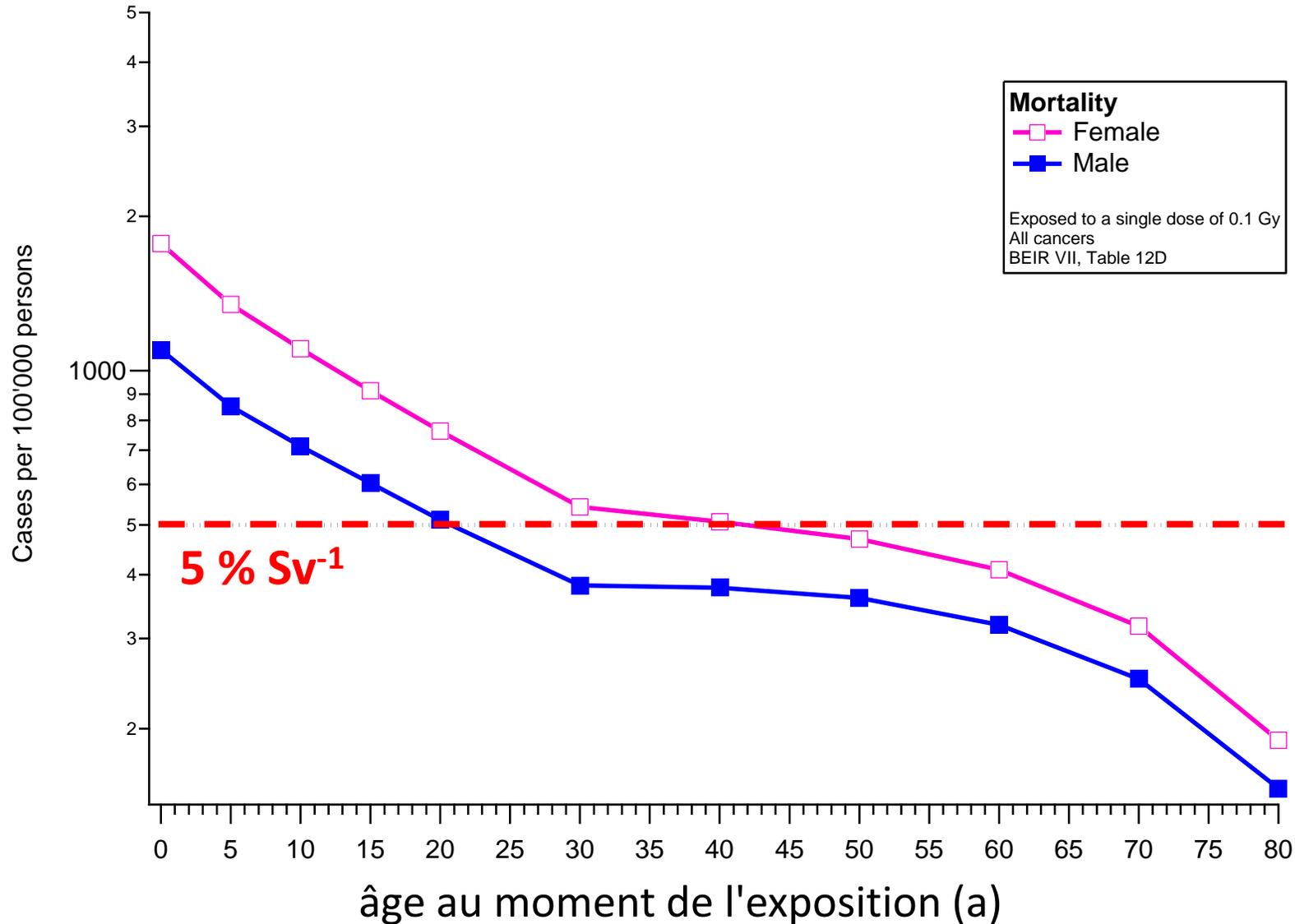
12^{ème} Congrès National SFRP

La Rochelle 18-20 juin 2019

Modèle linéaire sans seuil: extrapolation à basse dose



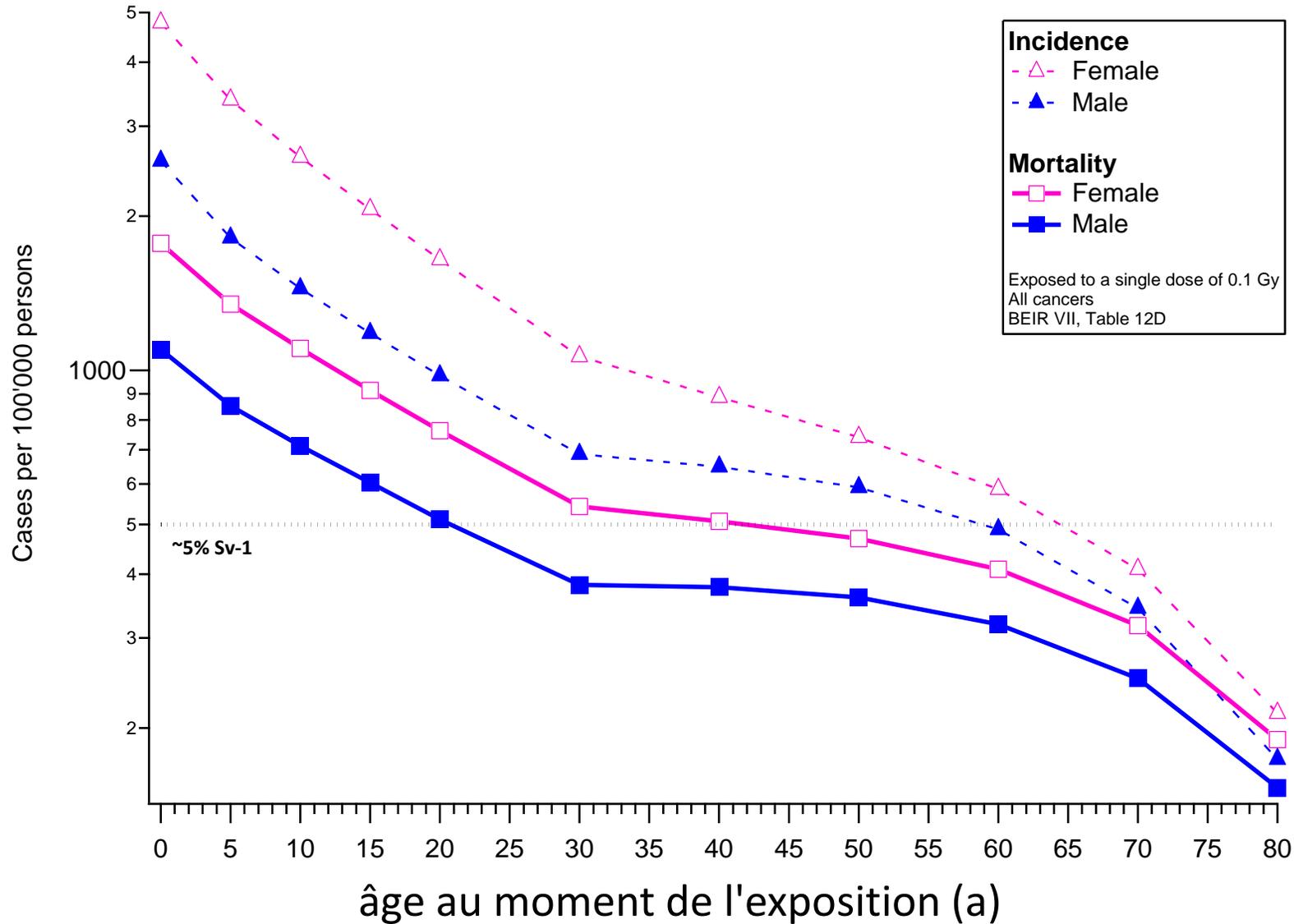
Risque pour une exposition uniforme de 0.1 Gy



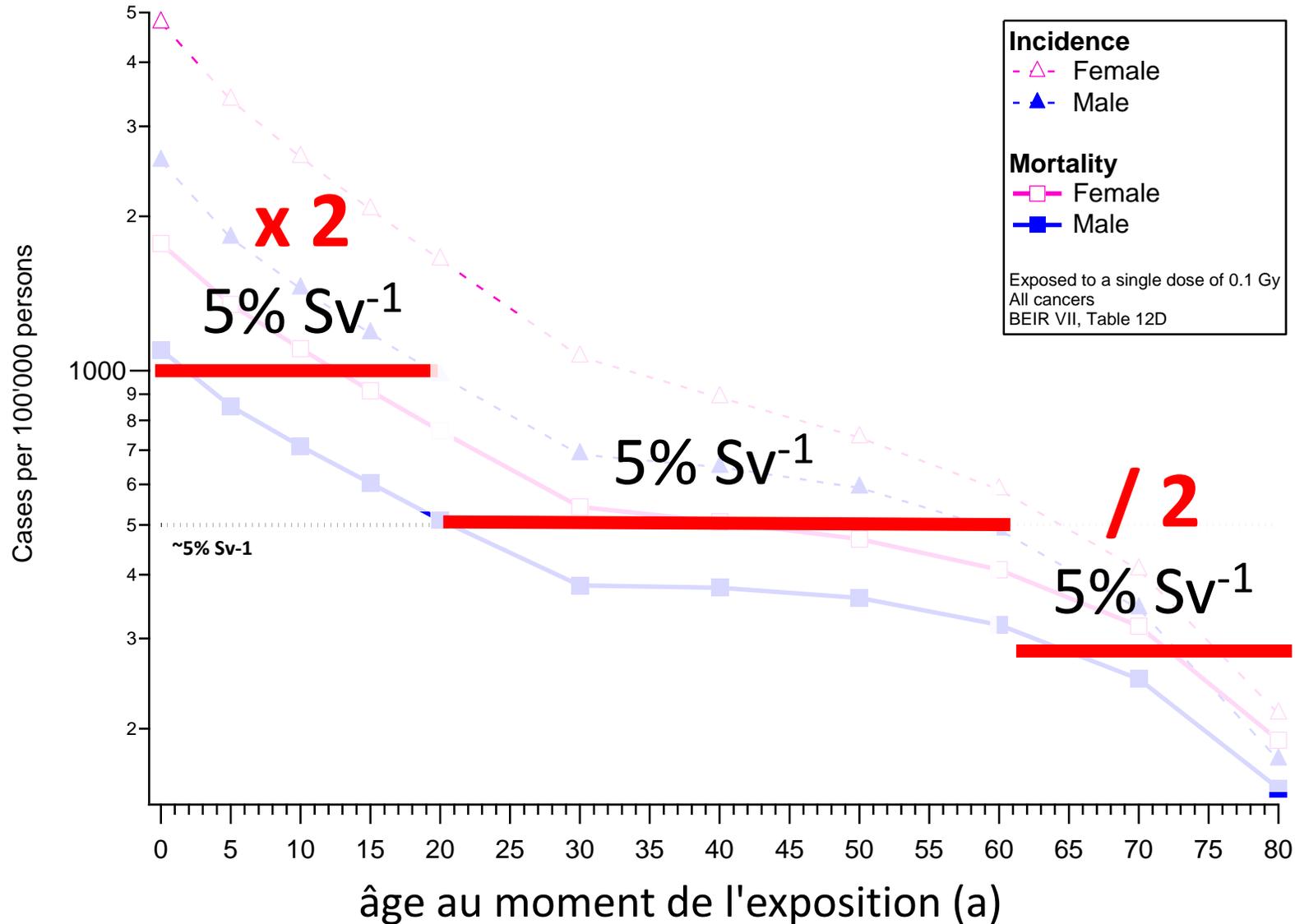
détriment selon E
≈ cancers mortels

5 % Sv⁻¹

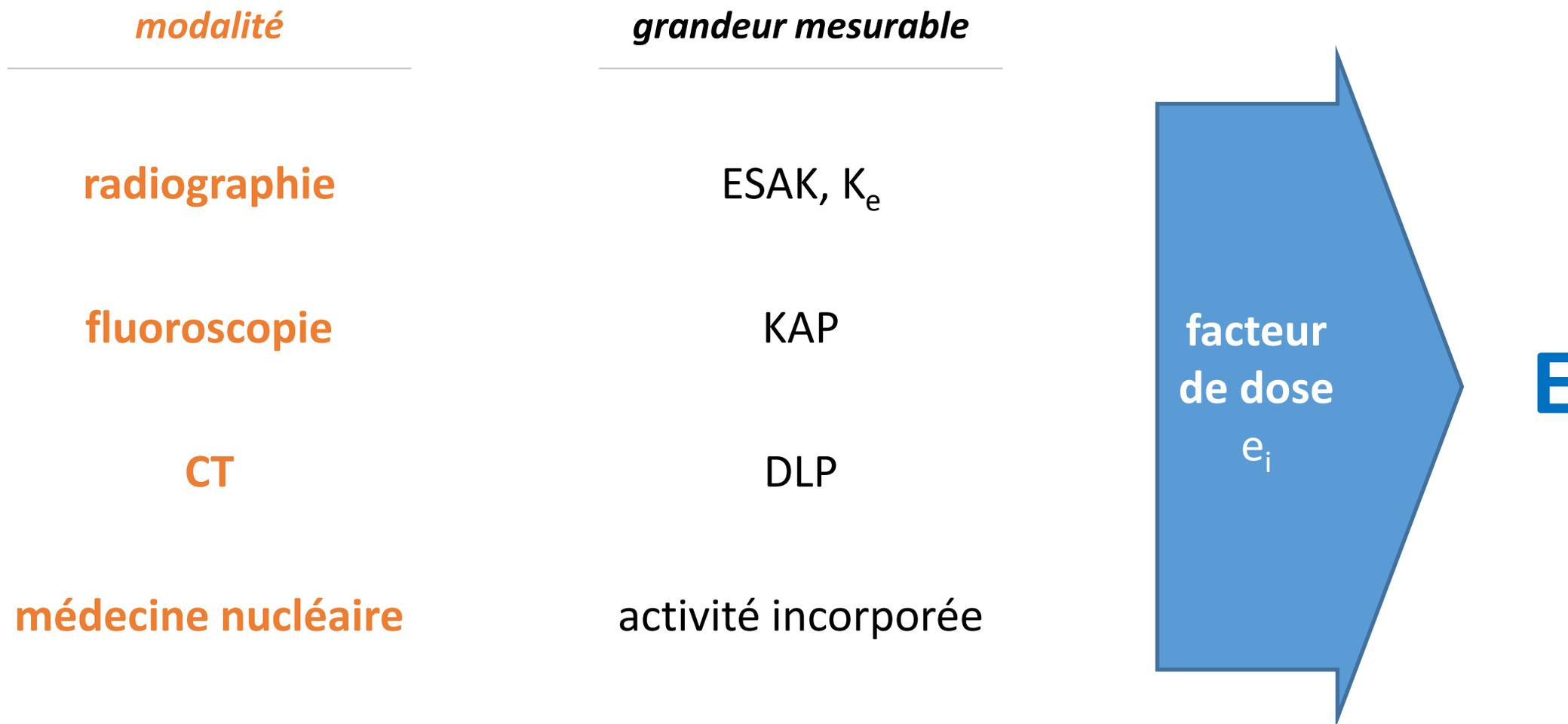
Risque pour une exposition uniforme de 0.1 Gy



Risque pour une exposition uniforme de 0.1 Gy



Estimation de E en **médecine**



Exemples de doses efficaces

	Procedure	UK ^a	USA ^b	Russian Federation ^c
radiographie	Chest PA	0.01	0.03	0.1
	Chest Lat	0.04	0.07	0.18
	Lumbar spine AP	0.39	2.0	0.6
	Lumbar spine Lat	0.21	2.0	0.6
	Abdomen AP	0.43	0.7	1.0
	Pelvis AP	0.28	1.25	0.7
	scopie	Coronary angiography	3.9	15
Femoral angiography		2.3	7	5-10
CT	CT Head	1.8	2.1	1.8
	CT Chest	14	11	6.3
	CT Abdomen	16		9
	CT Abdomen + Pelvis	13	17	
	CT Chest+Abdomen+Pelvis	19	29	25
NUC	Bone scan: Tc-99m	3	5	3
	PET tumour imaging (F-18 FDG)	7	10	5

Domaine d'**utilisation de E** en **médecine**

Largement utilisé

Guidelines et **justification** de procédures

Choix de technique d'imagerie

Optimisation des techniques

Doses lors de travaux de **recherche**

Rapport d'**incident**

Efficacité d'examens de **dépistage**

Exposition des **aidants** (carers)

Formation des cliniciens

Jamais ou peu utilisé

Comparaison ou établissement de **niveau de référence diagnostic**

Rapports de **procédures médicales**

Passeport dosimétrique

Dose lorsqu'**un seul organe** est **concerné**

Domaine d'**utilisation de E** en **médecine**

Beaucoup **utilisée par les praticiens** pour estimer :

*le **risque générique** d'une
procédure*

*le **risque individuel** encouru par
un patient*

nécessité de clarifier la situation par l'ICRP





6. Comment estimer au mieux le risque ?

12^{ème} Congrès National SFRP
La Rochelle 18-20 juin 2019

Estimation idéale du risque

- Devrait prendre en compte
 - la **dose absorbée** de **chaque organe/tissu**
 - la **radiosensibilité** spécifique de **chaque organe/tissu**
 - l'**âge**
 - le **sexe**
 - la **stature**

... mais cela reste une
approximation !

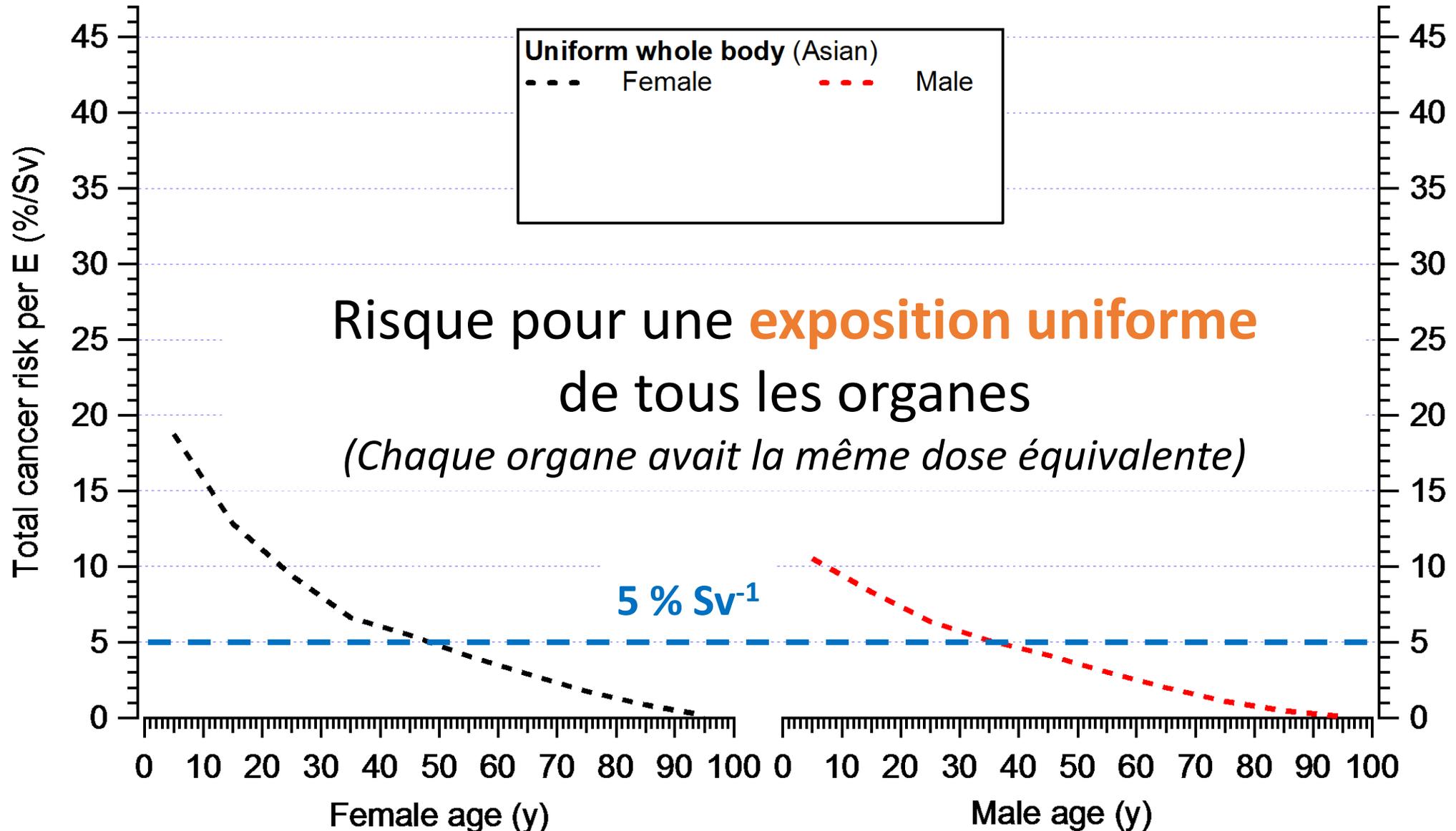


Prise en compte de la **radiosensibilité spécifique** de chaque **organe/tissu** pour une population donnée

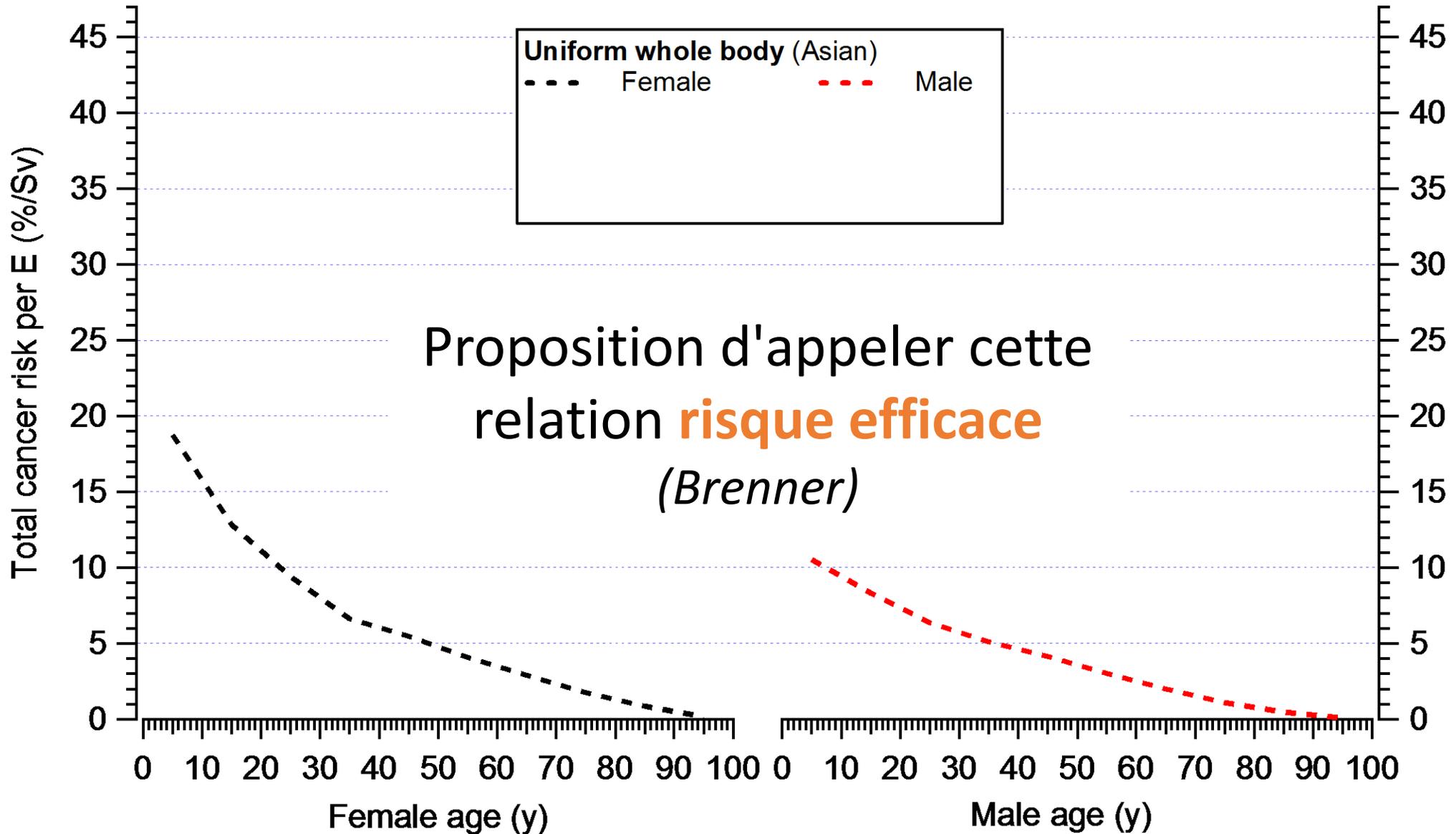
	Age at exposure (y)									
Organ	0-9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99
Males										
Lung	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.8	0.7	0.4	0.2	0.04
Stomach	1.6	1.3	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2	0.1	0.03	0.0
Colon	1.9	1.5	1.2	0.9	0.7	0.5	0.3	0.1	0.04	0.01
RBM	1.3	1.3	0.8	0.7	0.7	0.5	0.3	0.1	0.07	0.02
Bladder	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.09	0.04	0.01
Liver	1.1	0.8	0.7	0.5	0.4	0.2	0.1	0.05	0.01	0.0
Thyroid	0.3	0.1	0.06	0.02	0.01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Oesophagus	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.09	0.06	0.01
Other	2.9	1.9	1.3	0.9	0.6	0.3	0.2	0.07	0.02	0.0
All cancers	10.5	8.3	6.4	5.1	4.1	3.0	2.0	1.1	0.5	0.09

Estimates of lifetime attributable risks of cancer incidence per absorbed dose (cases per 100 per Gy) from uniform external exposure to gamma rays for the ICRP (2007a) Asian male composite population.

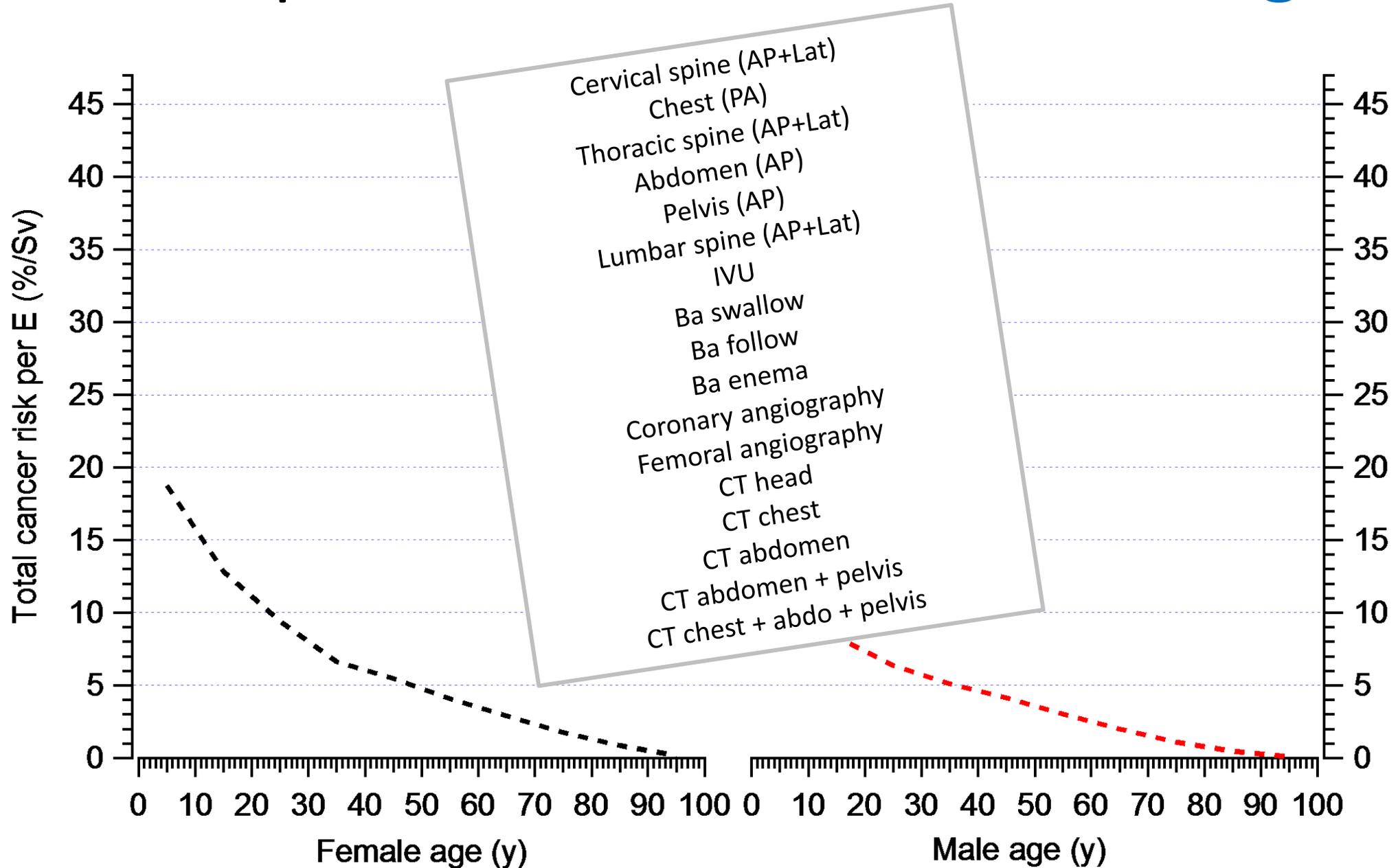
Prise en compte de l'âge et du sexe

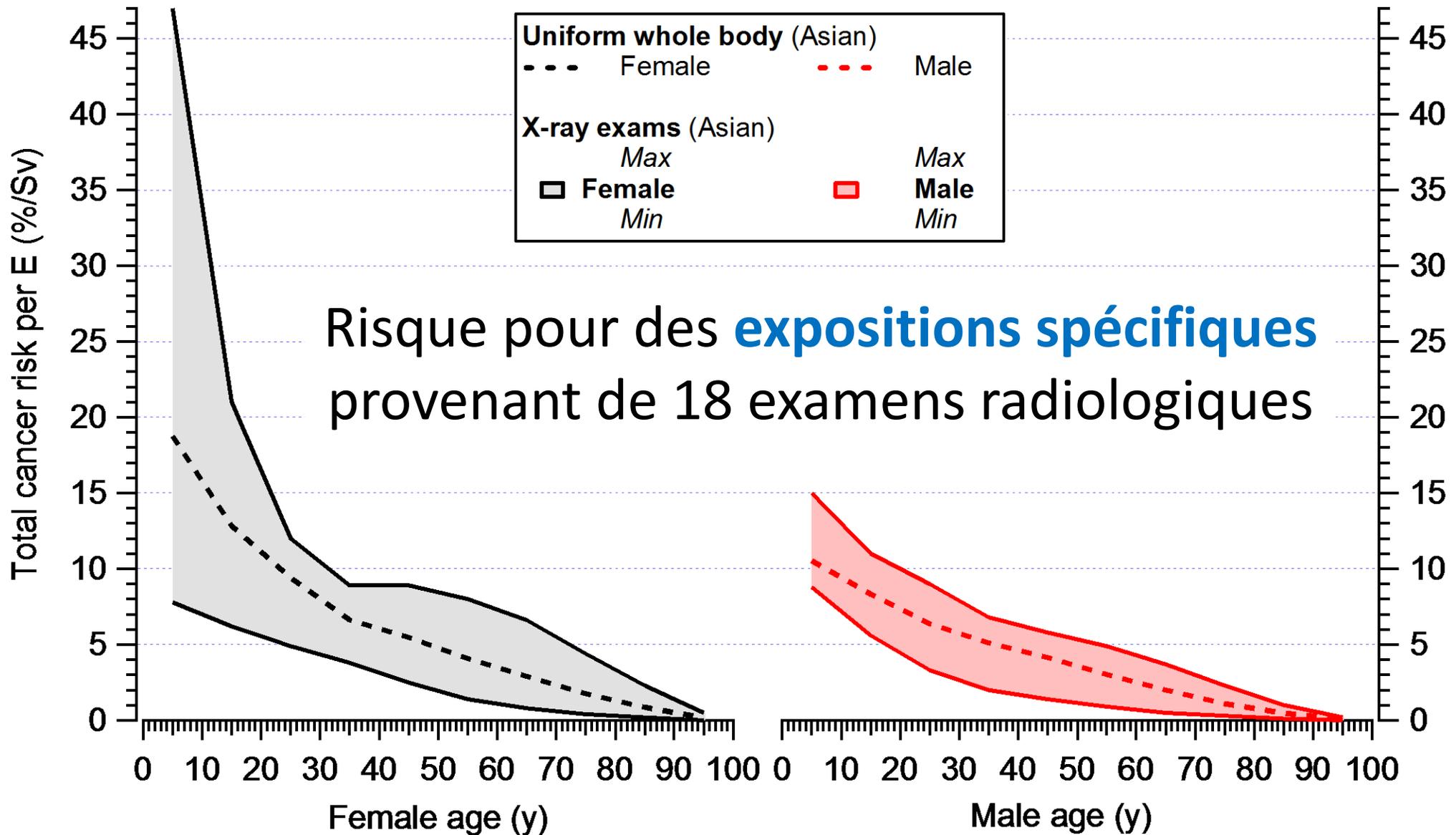


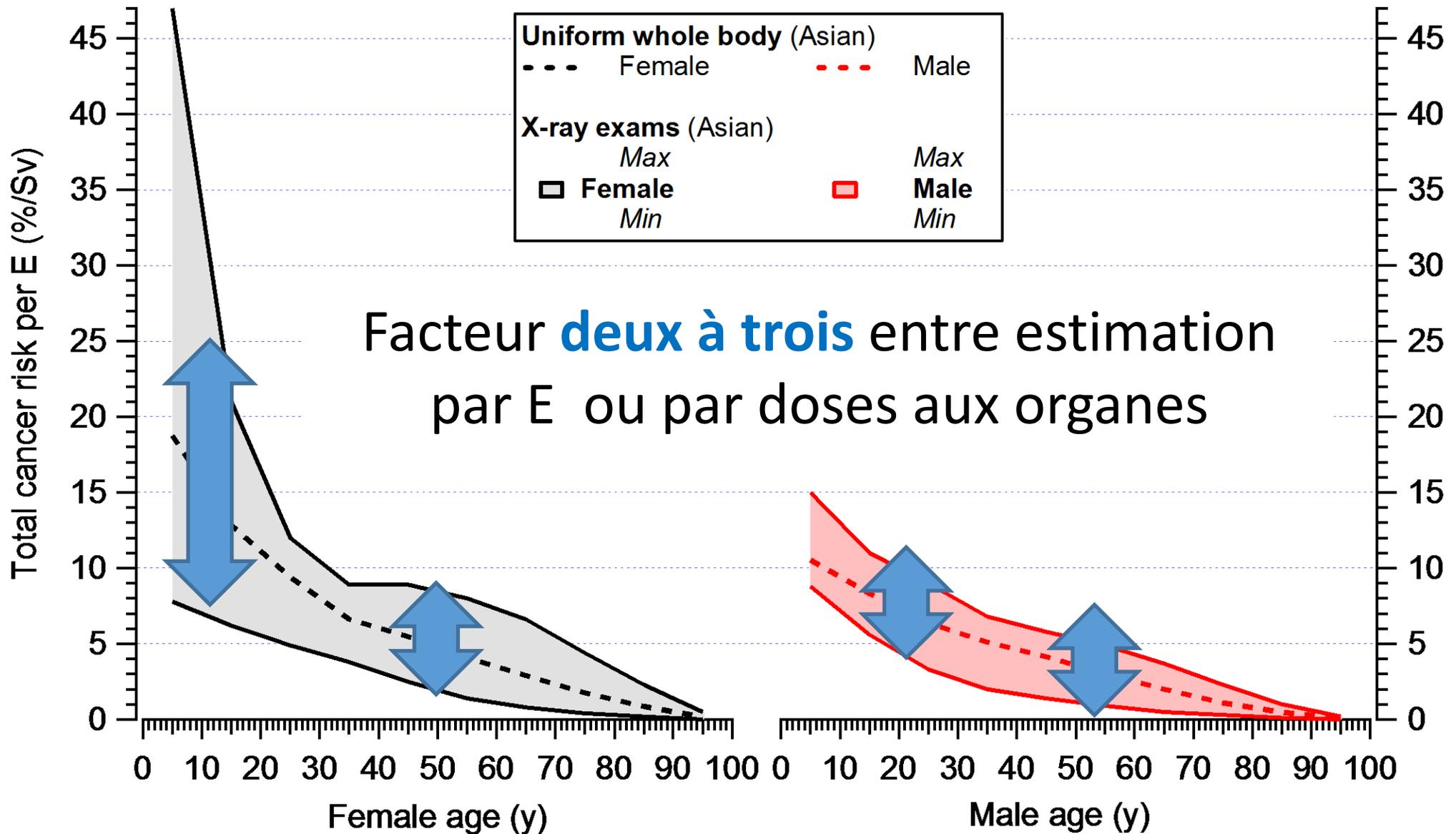
Prise en compte de l'âge et du sexe

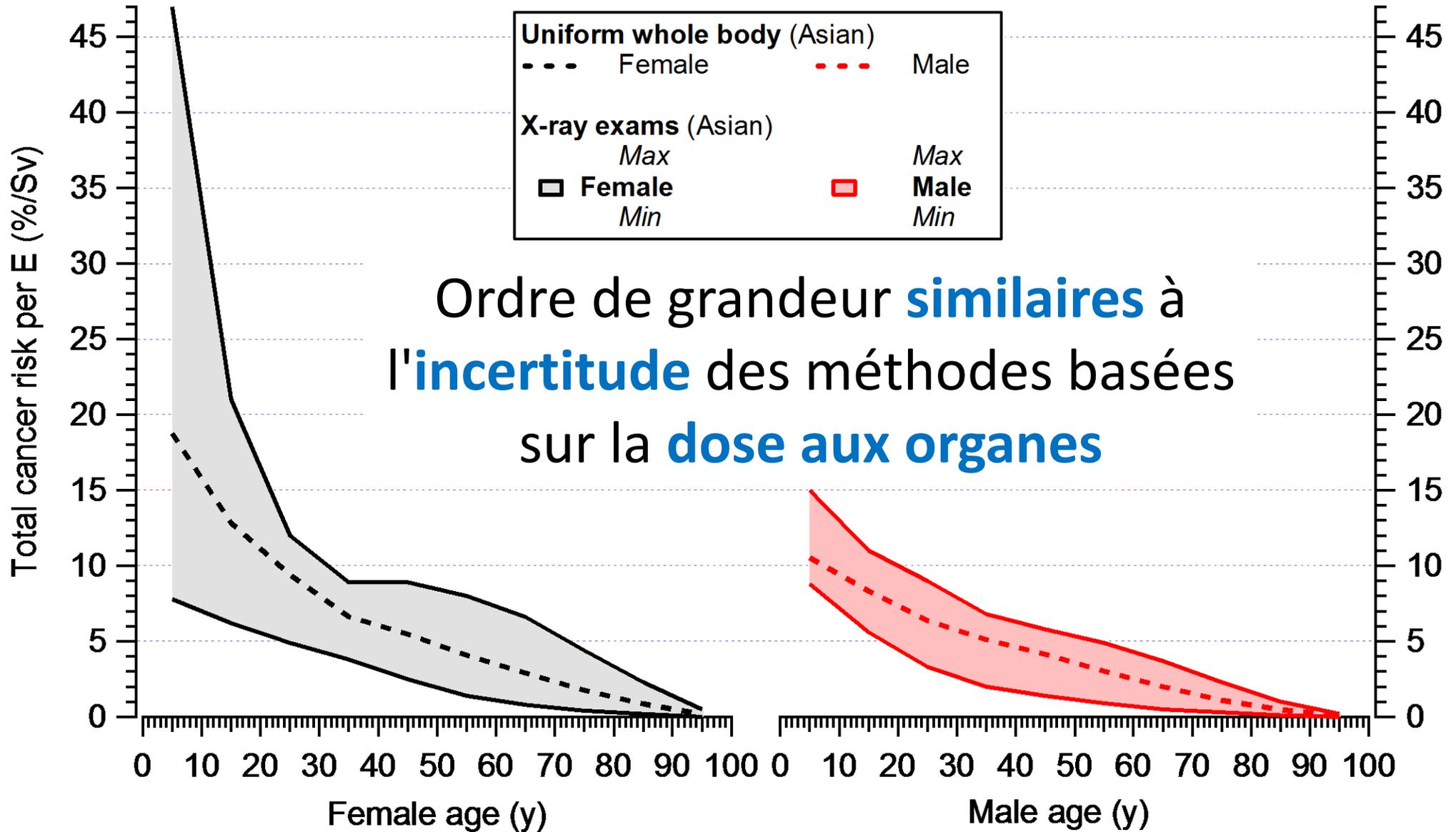


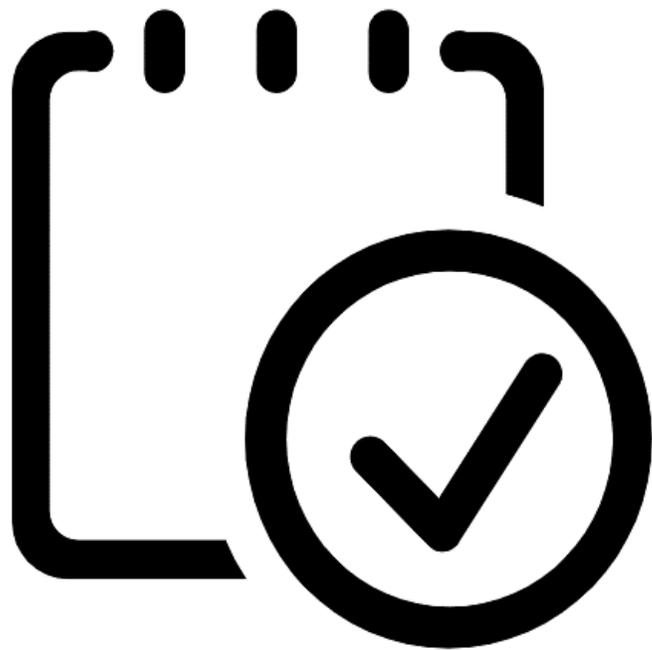
Exemple sur 18 examens de radiologie











7. Conclusion

12^{ème} Congrès National SFRP
La Rochelle 18-20 juin 2019

Peut-on utiliser la **dose efficace**
pour estimer le risque de **tout type d'exposition** ?

Oui, tout le monde le fait depuis longtemps

Oui, si plusieurs organes sont concernés

Non, si un seul organe est concerné
(e.g. thyroïde, sein)

Peut-on utiliser la dose efficace
pour **communiquer un risque** ?

Oui, mais plutôt de manière **qualitative**
avec des **valeurs génériques**

Effective doses (mSv)	Risk of cancer	Proposed term for dose level	Examples of medical radiation procedures within different dose categories ^c
< 0.1	Inferred < 10 ⁻⁵ on LNT model	Negligible	Radiographs of chest, femur, shoulder limbs, neck, and teeth, ^{99m} Tc sentinel node imaging, radionuclide labelling for in vitro counting with ¹⁴ C and ⁵⁷ Co.
0.1–1	Inferred 10 ⁻⁵ – 10 ⁻⁴ on LNT model	Minimal	Radiographs of spine, abdomen, pelvis, head and cervical spine, radionuclide labelling for in vitro counting with ⁵¹ Cr. ^{99m} Tc for imaging lung ventilation and renal imaging.
1–10	Inferred 10 ⁻⁴ – 10 ⁻³ on LNT model	Very low	Barium meals, chest, abdomen, and pelvis, barium enema, ^{99m} Tc myocardial perfusion imaging, ¹⁸ F PET imaging.
10–100	Risk 10 ⁻³ – 10 ⁻² based on LNT model ^b	Low	CT scans of chest, abdomen, and pelvis, CT angiography, CT urography, CT enhancement, interventional radiology, cardiac catheterization, cardiac imaging; multiple procedures to give doses of 10–35 mSv. (10-35 mSv). Renal/visceral angioplasty, Iliac angioplasty, follow-up of endovascular aneurysm repair. (35-100 mSv).
100s	>10 ⁻² based on epidemiology ^b	Moderate	Multiple procedures and follow-up studies.

permet de faire des comparaisons avec l'exposition naturelle

Et si on veut donner une valeur **quantitative** ?

L'estimation du risque à l'aide de la **dose absorbée** et de facteurs de risque **spécifique aux organes/tissus** est la **méthode la plus précise**

Mais les **incertitudes** sont **conséquentes**

L'estimation par la **dose efficace** est **souvent compatible** avec les incertitudes des méthodes précises

Et si on veut donner une valeur **quantitative**
à l'aide de la **dose efficace** ?

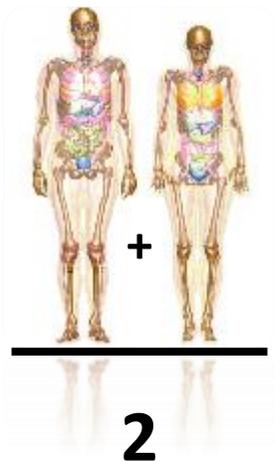
Mise en avant explicite
de l'incertitude

Indicateur approximatif du risque possible
(approximate indicator of possible risk)

$E < 1 \text{ mSv}$: 1 chiffre significatif
(e.g. 0.2 mSv, 10 μSv)

$E \geq 1 \text{ mSv}$: maximum 2 chiffres significatifs
(e.g. 12 mSv)

Estimation simple d'une valeur quantitative ?



ou spécifique
à un sexe

$$\text{Risque} = E(Sv) \times \frac{5}{100}$$

enfants : **x 2**

30-40 ans : **x 1**

>60 ans : **/ 2**

>80 ans : **/ 10**

Merci de votre attention