

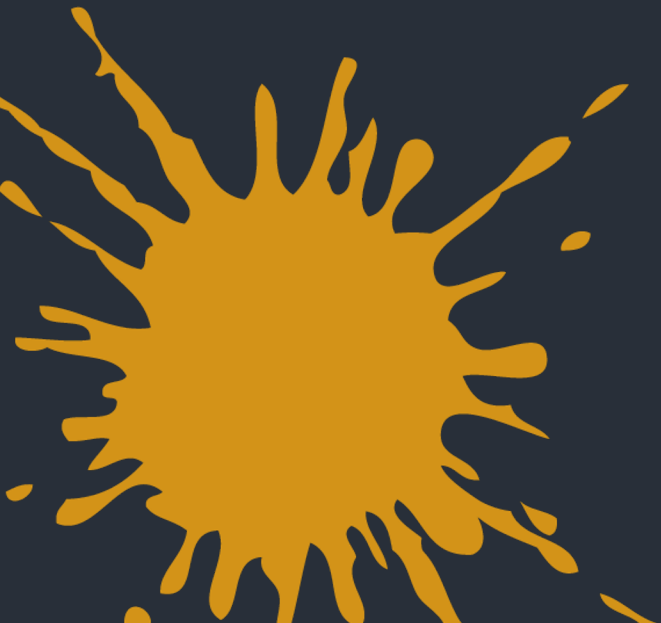
Gestion d'une contamination corporelle du travailleur

au ^{99m}Tc et ^{18}F



**Radioactivité, quand
on t'a dans la peau!**

C. Moubarik
Journée radioprotection du 10
mars 2023

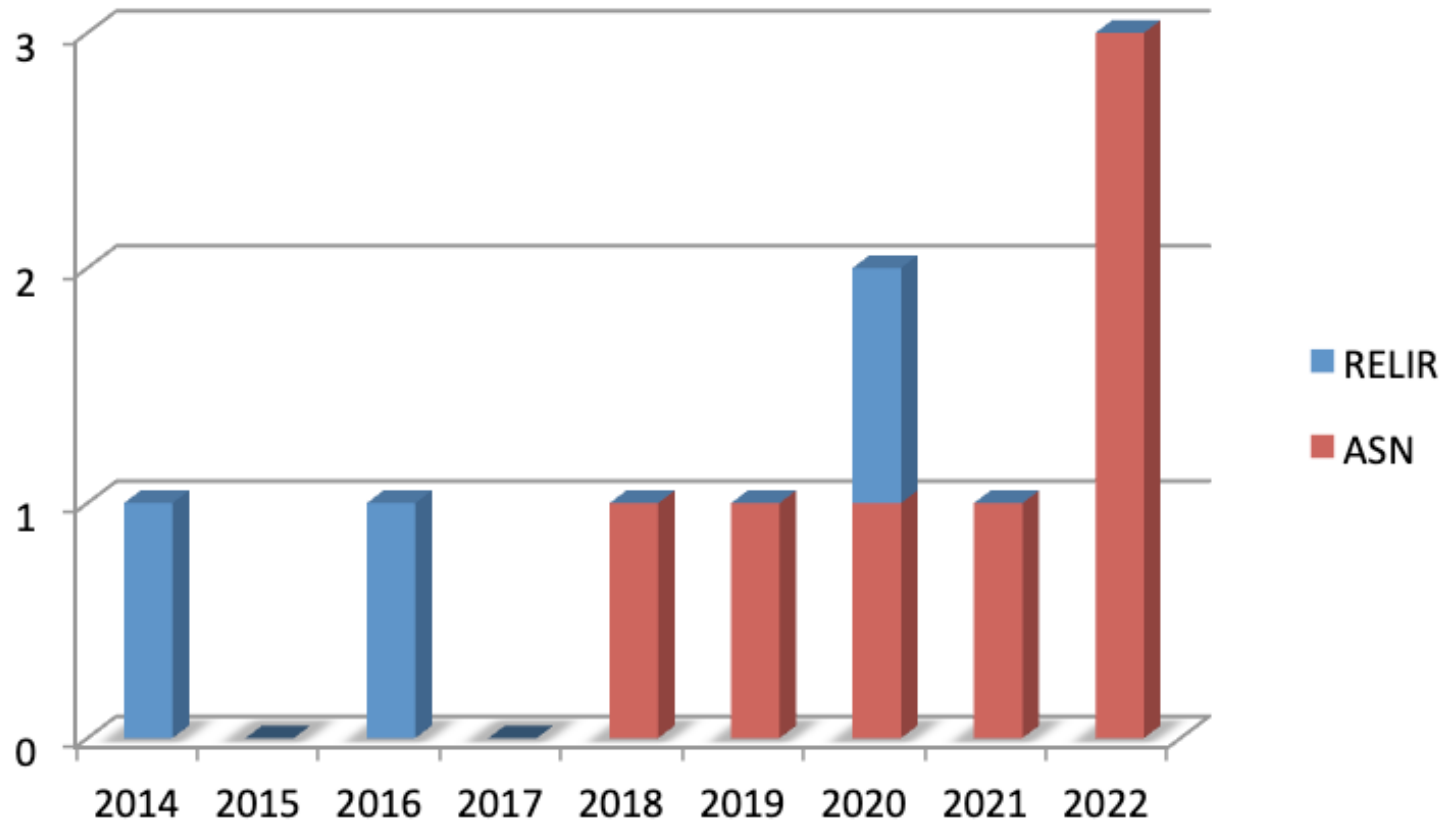


CONTEXTE (1/3)



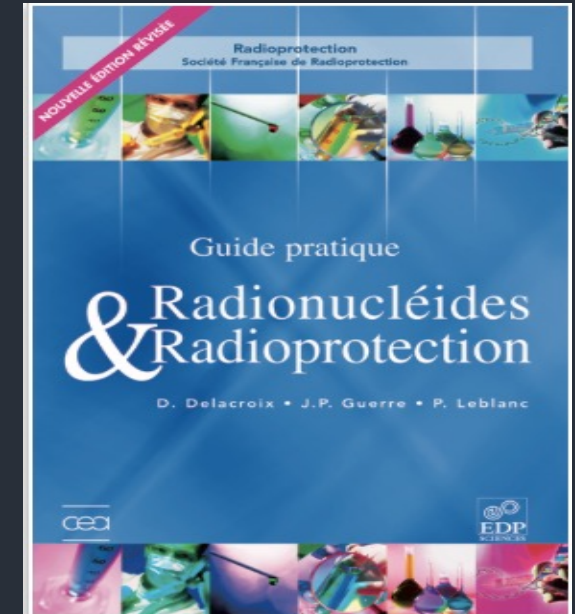
Les contaminations corporelles certainement très « sous » déclarées!

Nb de contaminations corporelles en médecine nucléaire déclarées



CONTEXTE (2/3)

Déterminer la dose à la peau lors d'une contamination à la peau



- Grande différence selon que la contamination soit en dépôt uniforme ou en goutte (projection)
- Dosimétrie évaluée correspond-elle réellement à la dosimétrie réelle?

IRSN
INSTITUT
DE
RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

inrs
Institut National de Recherche et de Sécurité

octobre 2009
ED 4301

RADIOPROTECTION : RADIONUCLÉIDES

$^{99}_{43}\text{Tc}^m$

Technétium-99m

- ▷ Émetteur X et gamma (raie principale = 141 keV)
- ▷ Période physique = 6 heures
- ▷ Période effective = 4 à 6 heures (en fonction de l'organe concerné)
- ▷ Organes cibles = thyroïde, foie et tractus gastro-intestinal
- ▷ Surveillance du poste de travail : mesures de débit de dose ambiant (radiamètre) et de contamination surfacique (contaminamètre, sondes X ou γ)
- ▷ Surveillance individuelle de l'exposition externe : dosimétrie passive (poitrine et extrémités), dosimétrie opérationnelle
- ▷ Surveillance individuelle de l'exposition interne : analyse radiotoxologique des urines ou des fèces, ou anthroporadiométrie

Cette fiche fait partie d'une série qui se rapporte à l'utilisation de radionucléides en sources non scellées.

L'objectif n'est pas de se substituer à la réglementation en vigueur, mais d'en faciliter la mise en œuvre en réunissant sur un support unique, pour chaque radionucléide, les informations les plus pertinentes ainsi que les bonnes pratiques de prévention à mettre en œuvre.

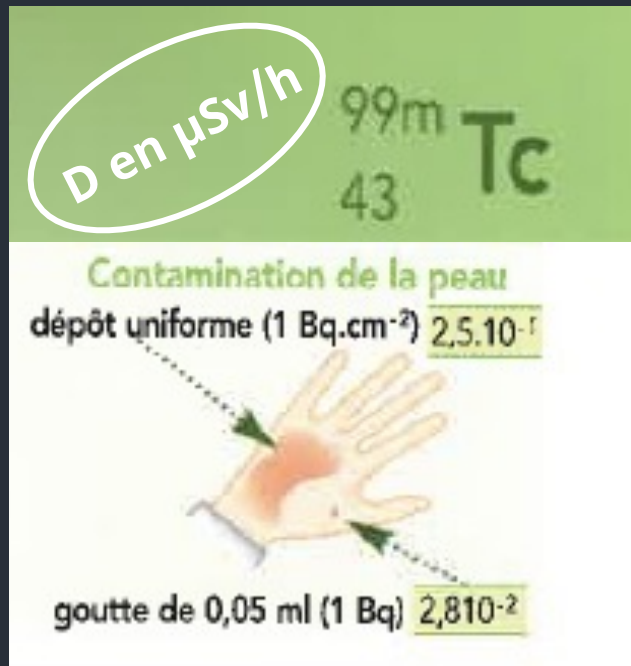
Ces fiches sont réalisées à l'intention des personnes en charge de la radioprotection, utilisateurs, personnes compétentes en radioprotection, médecins du travail.

Sous ces aspects, chaque fiche traite :

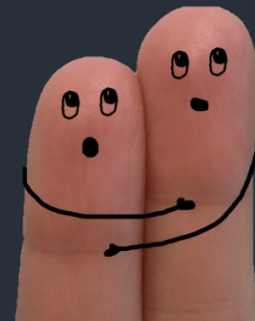
1. des propriétés chimiques, radiophysiques et biologiques,
2. des utilisations principales,
3. des paramètres dosimétriques,

CONTEXTE (3/3)

Ex: Contamination avec une goutte d'osteocis® durant une heure issu d'une seringue contenant 400 MBq dans 1ml.



- 1 goutte=0,05ml contient Acontamination=20 MBq
D= 560 mGy sur 1h
- Ou si considéré comme dépôt uniforme (si surface inconnue on la considèrera à 1 cm^2)
D= 5 Gy sur 1h!!



Objectifs de notre étude (1/2)

1

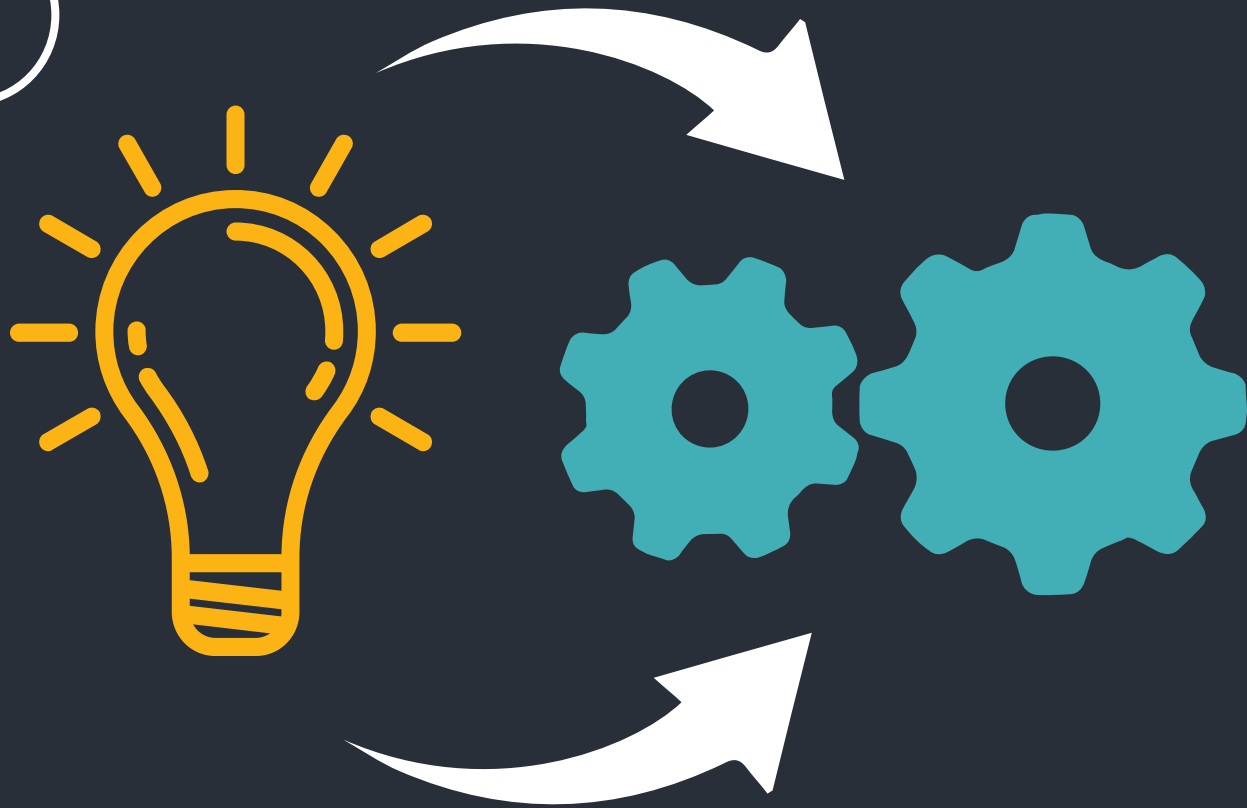


Vérifier si la méthode usuelle ne surévalue pas excèssivement la dosimétrie réelle!



Objectifs de notre étude (2/2)

2



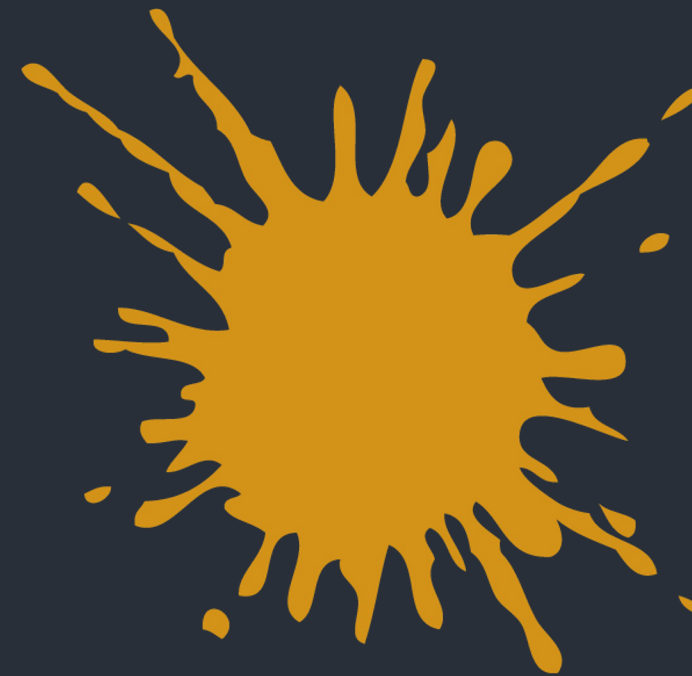
01

Créer un **outil**
d'évaluation de la
dosimétrie

02

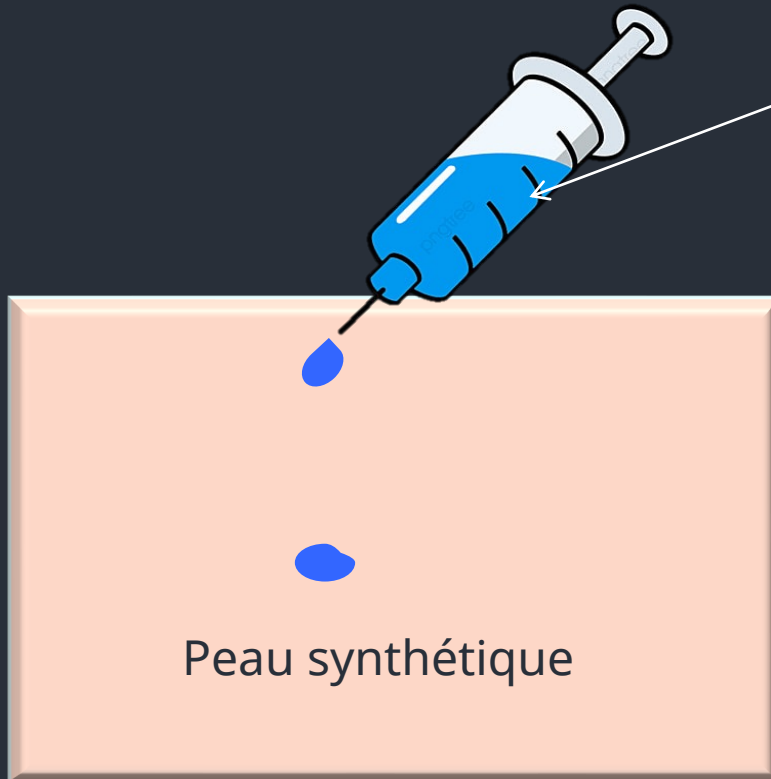
Procédure de gestion
d'une contamination
corporelle d'un agent

Matériels et méthodes



Evaluations dosimétriques *in vitro* (1/5)

Solution de ^{99m}Tc ou de ^{18}F diluée dans une solution d'éthanol coloré (2 essais d'activités volumiques différentes par radioisotope) → activités déposées connues



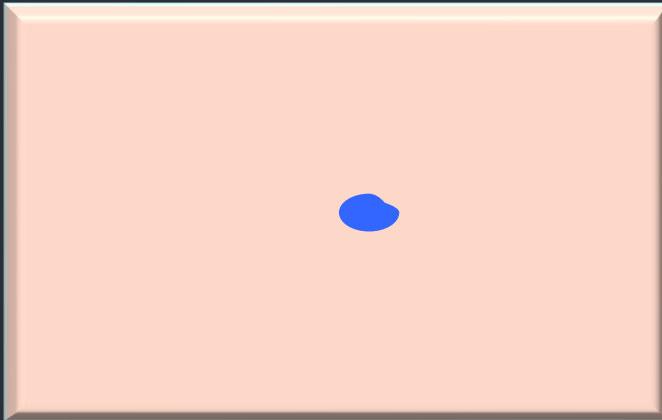
Séchage



La dosimétrie est
corrélée à l'activité
surfactive

Evaluations dosimétriques *in vitro* (2/5)

Mesure en débit et cps au contact de la contamination



Radeye 20



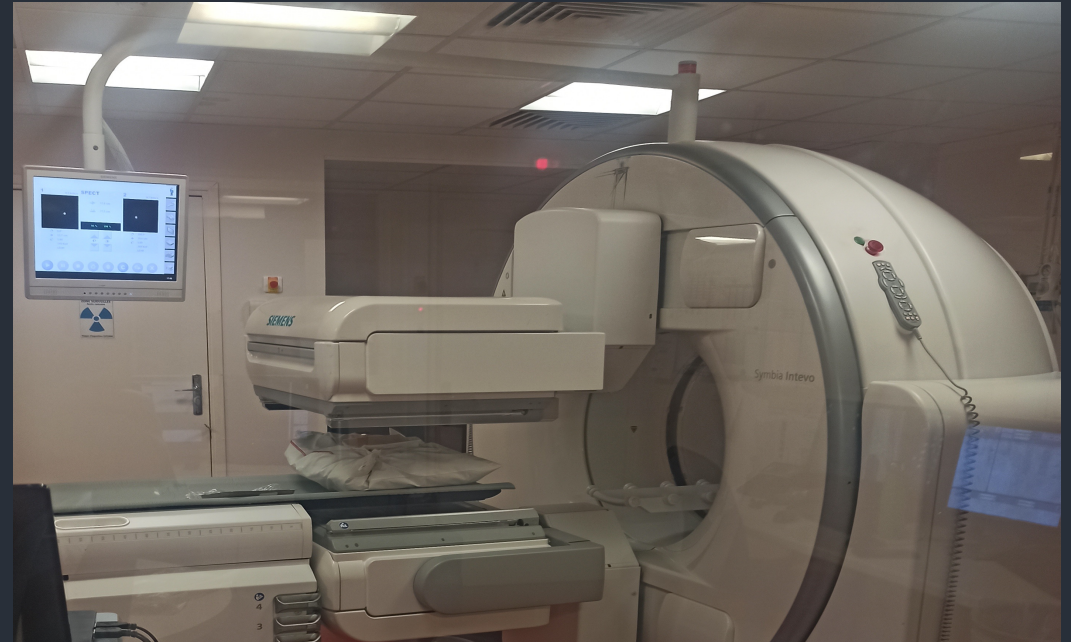
Objectif: créer droite d'étalonnage pour remonter à l'activité à partir d'une mesure au radiamètre en débit ou en cps

Evaluations dosimétriques *in vitro* (3/5)

2 acquisitions réalisées :

- Statique zoom x2
- CE vitesse 60

99mTc



[20]
Min / Max: 16,0 Cnts/44,0 Cnts
Moyenne/DS: 27,1 Cnts/7,06 Cnts
Surface: 2,82 cm²
Somme: 1,3270 kCnts
49 Pixels

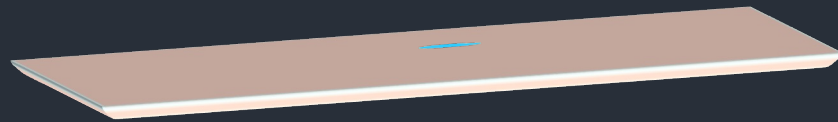
Remonter à partir de
l'image à une activité
surfactive

Quantification images antérieures par ROI:
cps ROI, cps total, surfaces en cm²...
(3 ROI/contamination)

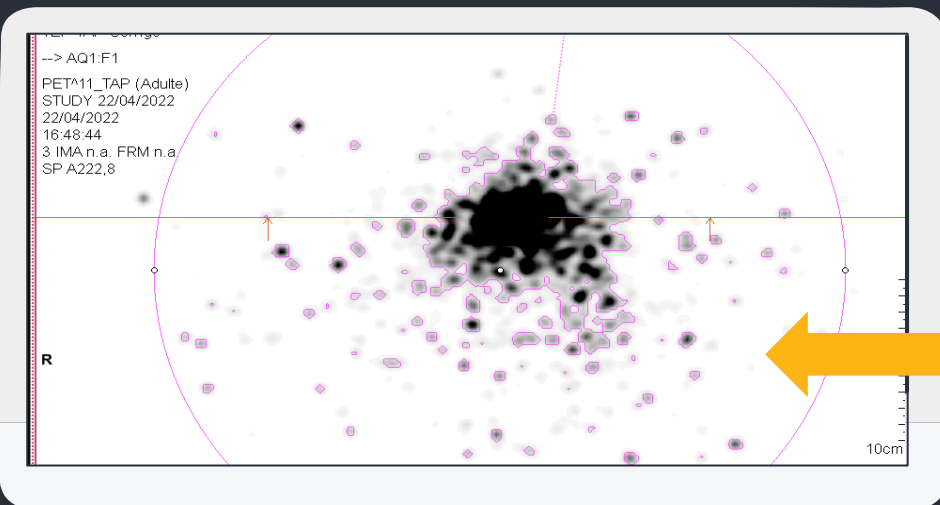
Evaluations dosimétriques *in vitro* (4/5)

1 acquisition TEP réalisée (vitesse 2,5)

^{18}F



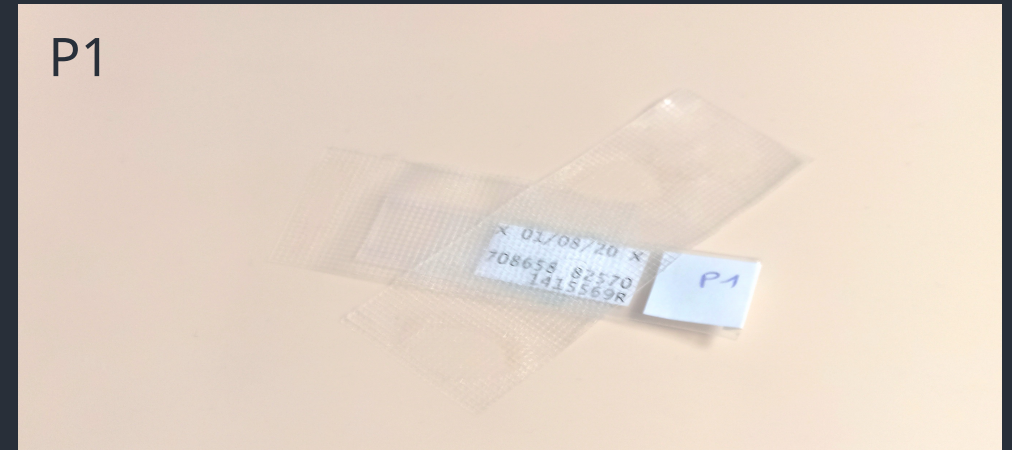
Activité volumique du
VOI corrélée à
l'activité surfacique?



Concentration moyenne en KBq/ml, concentration max, volumes en ml (3 VOI/ contamination à différents seuil: sans seuil, seuil 0,01KBq, seuil 40%)

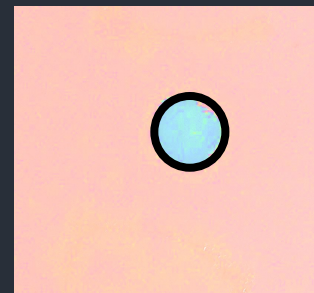
Evaluations dosimétriques *in vitro* (5/5)

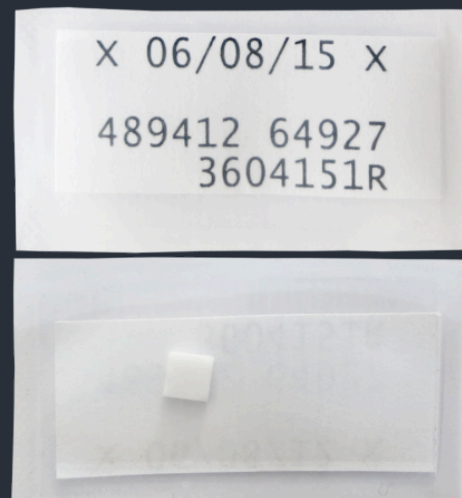
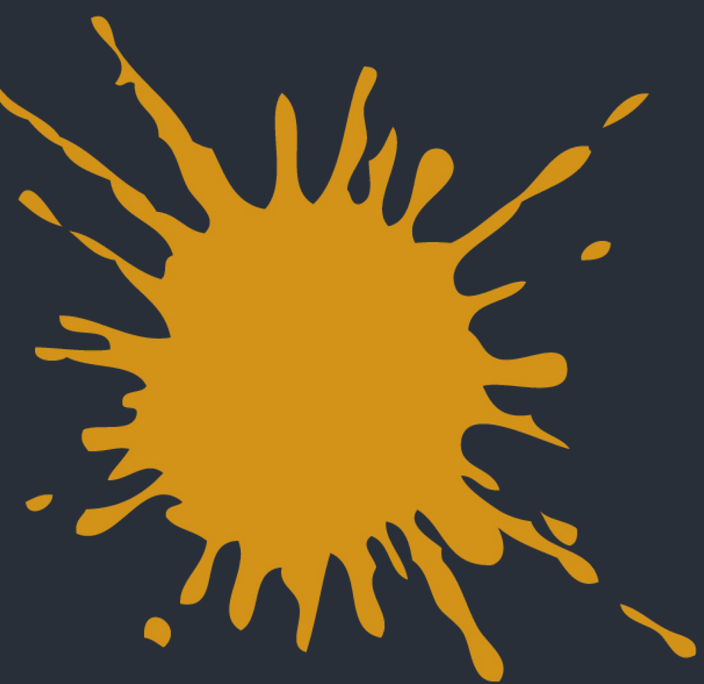
- ✓ Pastilles TLD placées sur les contaminations entre 2 et 4 jours (jusqu'à absence de radioactivité) → envoi pour lecture



- ✓ Mesure de la surface réelle de contamination après décroissance totale

Surfaces réelles des
contaminations
connues!





Résultats

Evaluations dosimétriques *in vitro* (1/6)



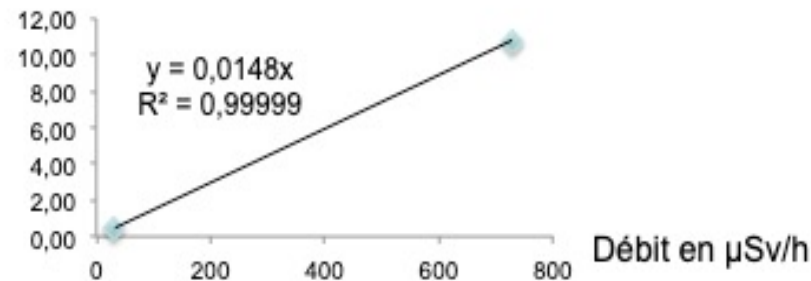
Mesure de la contamination en cps ou débit??

1

^{99m}Tc

Activité ^{99m}Tc en MBq = $0,0148 \times$ Débit en $\mu\text{Sv/h}$

Activité en MBq

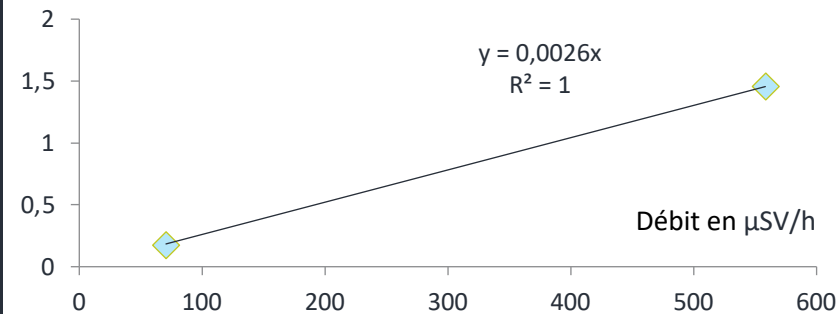


2

^{18}F

Activité ^{18}F en MBq = $0,0026 \times$ Débit en $\mu\text{Sv/h}$

Activité en MBq



Meilleure corrélation à l'activité lors de la mesure en débit!

Evaluations dosimétriques *in vitro* (4/6)

Déterminer la surface de la contamination sur gamma caméra?



^{99m}Tc

Surfaces réelles:

P1=1,7cm²

P2=0,8cm²

• Statique Zoom :

P1= 3,4cm²

P2= 2,2cm²

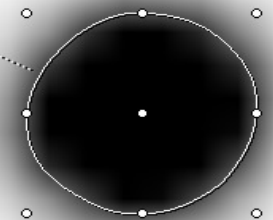
• CE:

P1= 2,8cm²

P2= 1,6cm²

[6]
Min / Max: 727,0 Cnts/2,1430 kCnts
Moyenne/DS: 1,3021 kCnts/438,7 Cnts
Surface: 1,83 cm²
Somme: 39,063 kCnts
30 Pixels

R



Evaluations dosimétriques *in vitro* (3/4)

^{99m}Tc

Protocole d'acquisition optimal en scintigraphie?

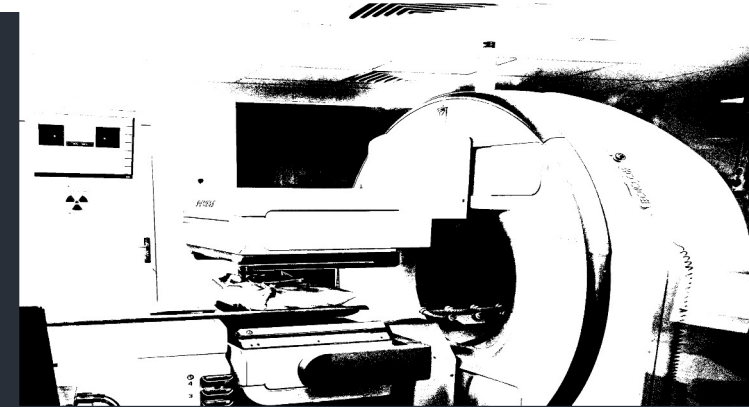
Statique zoomx2

As en $\text{MBq}/\text{cm}^2 = (0,0002 \times \text{nb de cps total}) / \text{surface estimée sur image statique}$

Acquisition CE

As en $\text{MBq}/\text{cm}^2 = (0,0004 \times \text{nb de cps total}) / \text{surface estimée sur image CE}$

La dosimétrie de la peau est fonction de l'activité surfacique de la contamination



Evaluations dosimétriques *in vitro* (5/6)

¹⁸F

Paramètre d'imagerie optimal en TEP?



Concentration moyenne du VOI 40%

$As \text{ (kBq/cm}^2\text{)} = 3 \times \text{Concentration moyenne en kBq/ml}$

Concentration max VOI quelque soit le seuil

$As \text{ (kBq/cm}^2\text{)} = 1,4 \times \text{Concentration max en kBq/ml}$

**Pas utilisable pour
travailleur à cause du
scanner!!**

Détermination Activité surfacique

□ Evaluation activité

Mesure débit contact max à l'aide d'un radiamètre

□ Evaluation surface

- Si ^{99m}Tc : acquisition statique si contamination très localisée ou CE
(surface réelle= surface image face antérieure/2)
- Si ^{18}F : acquisition CE sur gamma camera (beaucoup moins précis que pour ^{99m}Tc !)
(surface réelle= surface image face postérieure/16)

Rq: en cas de projection l'activité surfacique peut être évaluée en fonction de l'activité volumique de la solution

Evaluation de la méthode « Delacroix »

- ❑ Comparaison résultats pastilles TLD avec calculs théoriques « Delacroix »

Pastille TLD	Activité en MBq	Surface réelle en cm ²	As en MBq/cm ²	Dosimétrie en mGy pastille TLD (D0)	Dosimétrie évaluée par méthode Delacroix en mGy (D1)	D1/D0
P1 (99mTc)	0,5	1,7	0,29	5	597	120
P2 (99mTc)	10,4	0,8	13	157	28131	179
F1 (18F)	1,14	1,4	0,81	209	4080	20
F2 (18F)	0,13	1,7	0,08	24	385	16

Très grands écarts avec les évaluations théoriques en particulier pour le ^{99m}Tc!

DISCUSSION 18F


❑ Les pastilles TLD mesurent-elles les rayonnements β ?

La pastille TLD de LANDAUER® est idéale pour réaliser des mesures de doses cliniques sur des patients ou des fantômes. Elle est en général utilisée pour réaliser des études de postes ou pour contrôler vos équipements.

Type de rayonnement mesuré	Gamme de mesure	Valeur minimale	Valeur maximale
Photons	De 15 keV à 1 MeV	0,10 mSv	10 Sv
Bêta	De 250 keV à 1 MeV	0,10 mSv	10 Sv

Les pastilles à base de fluorure de lithium sont sensibles aux neutrons. Un équivalent de dose individuel $H_p(10) = 1$ mSv en neutrons thermiques induit un équivalent de dose individuel $H_p(0.07)$ de 10 mSv. Un équivalent de dose individuel $H_p(10) = 1$ mSv avec une source de ^{252}Cf modérée à l'eau lourde induit un équivalent de dose individuel $H_p(0.07)$ de 0.6 mSv.

Fluor-18



▷ Émissions :

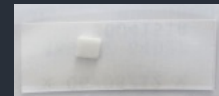
- β^* : $E_{\text{moyenne}} = 250$ keV ; $E_{\text{max}} = 634$ keV
- γ (photons d'annihilation) : 511 keV

▷ Période physique : 110 minutes

▷ Seuils d'exemption : 10^6 Bq, 10 Bq/g

➤ Pourtant si mesure d'une contamination en cps de ^{18}F , on observe une diminution du nombre de cps de 30% lors de la présence du film plastique sur la sonde comparativement à une mesure réalisée sans protection

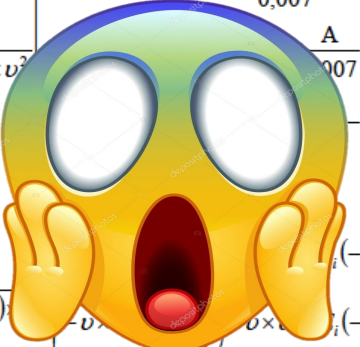
→ Pastille TLD dans un sachet plastique sous estimation des β



Discussion 18F

Article L. Bourgois 2011

ESTIMATION DE LA DOSE EXTRÉMITÉ DUE À UNE CONTAMINATION



$$H_{\text{peau}} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{k}{(0,193 - 0,007) \times \nu^2} \left[-\nu - \nu \times e^1 \times E_i(-1) + \frac{C}{0,007} + \nu \times e^1 \times E_i\left(-\frac{\nu \times 0,007}{C}\right) \right] \\ \frac{A}{0,007} + \nu \times e^1 \times \text{Ln}(\text{Max}) \\ - \nu \times e^1 \times \text{Ln}\left(\frac{C}{\nu}\right) \\ \frac{k}{(0,193 - 0,007)} \left[\nu \times (-\nu \times \text{Max}) + \frac{A}{\text{Max}} \right] \\ \nu \times e^1 \times \text{Ln}\left(\frac{C}{\nu}\right) - \frac{A \times C}{\nu} \end{array} \right. \quad (5)$$

si $C/\nu < 0,007 < R$

$$E_i(a) = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{a^i}{i \times i!}$$

Max = R si $R < 0,193$ sinon Max = 0,193

Estimation de la dose extrémité due à une contamination par un radionucléide émetteur β : l'équivalent de dose est-il un bon estimateur de la grandeur de protection ?

L. BOURGOIS¹

Equivalent dose rates and dose equivalent rate for a surface contamination of 1 Bq.cm² for different radionuclides (only β emissions are taken into account).

radionucléide	$H_p(0,07)$ (Sv/h/Bq/cm ²)	H_{peau} (Sv/h/Bq/cm ²)	$H_p(0,07)/H_{\text{peau}}$
¹⁸ F	$2,2 \times 10^{-6}$	$2,4 \times 10^{-7}$	9
⁹⁰ Y	$2,5 \times 10^{-6}$	1×10^{-6}	2,5
³² P	$2,6 \times 10^{-6}$	$7,8 \times 10^{-7}$	3,3
¹⁰ Be	$2,5 \times 10^{-6}$	$1,8 \times 10^{-7}$	15

surfacique de 1 Bq.cm⁻². À noter que les résultats ne prennent en compte que les émissions β des différents radionucléides. Les doses dues aux photons sont négligeables par rapport aux doses β dans ce type de configuration.

Contamination	Hp peau en mSv (Bourgois)	TLD en mSv	Hp(0,07) en mSv (ICRP 96)	Méthode Delacroix en mSv
F1	515	209	4224	4080
F2	49	24	446	385

Surestimation d'un rapport d'environ 8,5

Discussion 18F

□ Article L. Bourgois

Ceci s'explique parfaitement par la manière de calculer la dose équivalente à la peau proposée par l'ICRP (1996). En effet le calcul de la dose équivalente à la peau c'est-à-dire la dose moyenne entre 0,007 cm et 0,193 cm serait de l'ordre de l'équivalent de dose sous une épaisseur de tissus de 0,007 cm si la dose entre 0,007 cm et 0,193 cm de tissus était constante. Or, de part l'atténuation des électrons par les tissus, celle-ci varie de façon colossale comme cela est illustré, par exemple, par la figure 1.

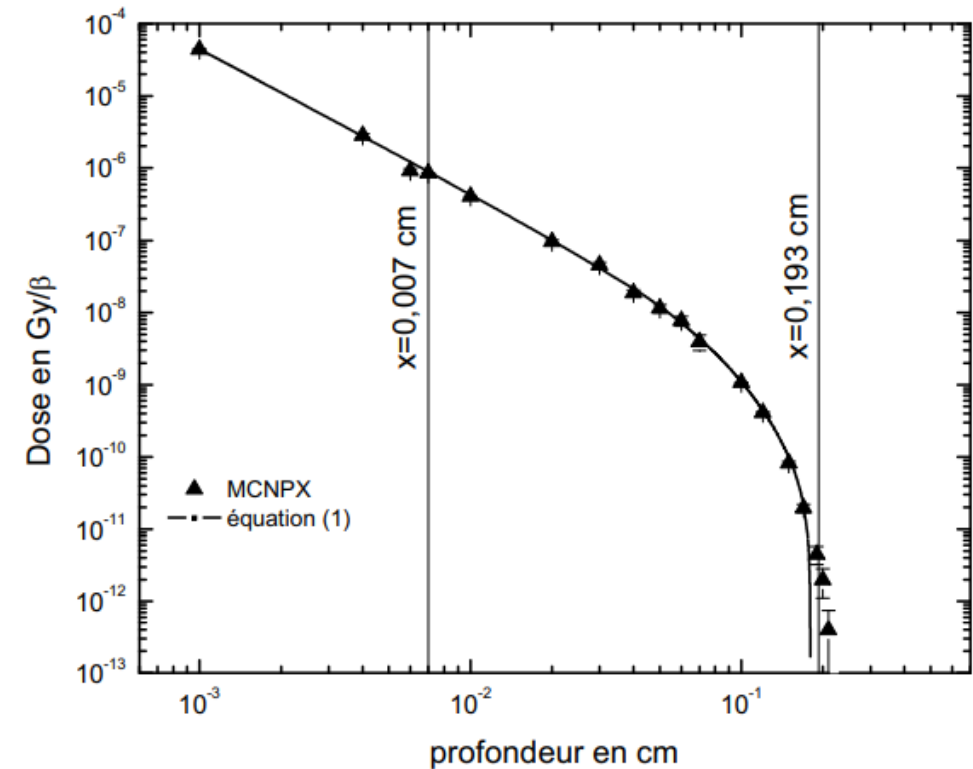
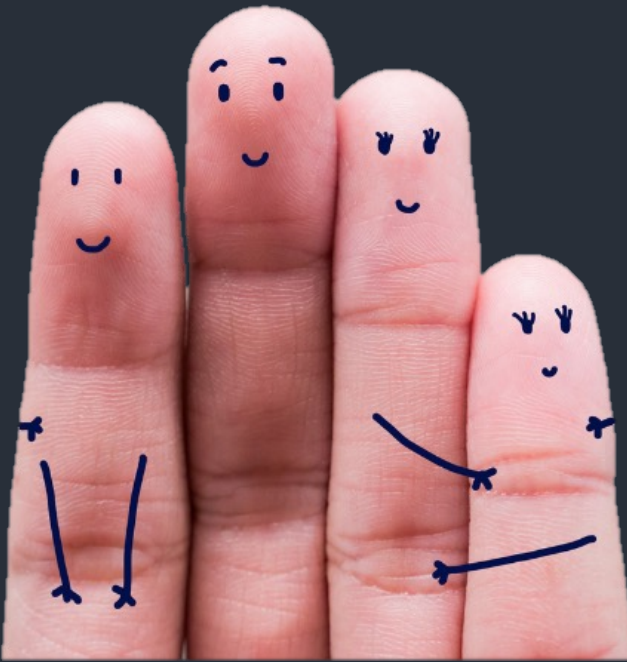


Figure 1 – Comparaison des doses β en fonction de la profondeur de tissus dues au ^{18}F calculées par l'expression analytique (1) et par le code Monte-Carlo MCNPX.

β doses comparison depending on the depth of tissue due to ^{18}F calculated by the analytical expression (1) and by Monte-Carlo code MCNPX.

Discussion ^{99m}Tc

- Electrons certainement totalement arrêtés par le film plastique

Type de rayonnement mesuré	Gamme de mesure	Valeur minimale	Valeur maximale
Photons	De 15 keV à 1 MeV	0,10 mSv	10 Sv
Bêta	De 250 keV à 1 MeV	0,10 mSv	10 Sv

- Données expérimentales Delacroix basées sur une contamination homogène d'1Bq sur 1cm²

Technétium - 99m

Principales émissions

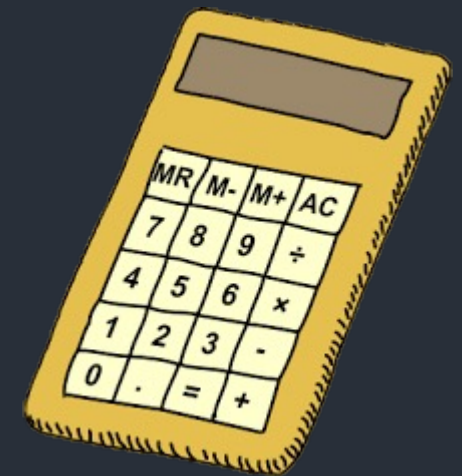
	Gamma / X		Beta (E _{max})		Electrons		Alpha	
	E (keV)	%	E (keV)	%	E (keV)	%	E (keV)	%
E1	18	6			120	9		
E2	21	1			138	1		
E3	141	89						
% omis		1				1		

On remarque que si la grandeur opérationnelle surestime toujours la grandeur de protection, le rapport entre celles-ci est trop important pour en être un estimateur correct. Il est constaté que ce rapport peut aller de 2 pour des spectres d'énergie maximale de 3 MeV à 90 pour des spectres d'énergie maximale de 150 keV.

Contamination	Hp0,07 peau /90 en mSv (hypothèse)	TLD en mSv	Méthode Delacroix en mSv
P1	7	5	597
P2	313	157	28131

Surestimation possible d'un rapport de 90

Calcul de dose équivalente



Exemple d'une contamination corporelle par projection



Projection d'une seringue de traceur osseux (90MBq/0,3ml) lors de l'injection d'un jeune enfant au niveau du décolleté, bras, mains et cheveux d'un MER

→ passage sous caméra après décontamination (acquisition CE vitesse 60)

1) AVANT DECONTAMINATION

Selon étude TLD du CHIAP

Récupérer les valeurs de l'activité et volume de la seringue sur venus

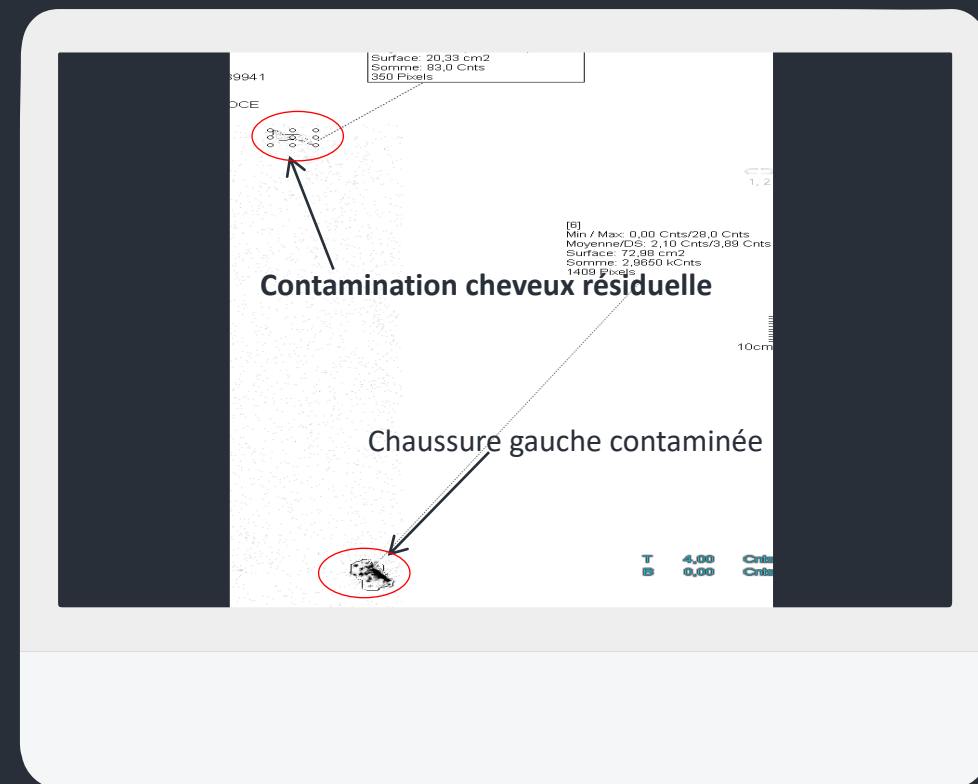
RADIOISOTOPE	Activité en MBq	Volume en ml	Heure préparation seringue	Heure de contamination (t0)	Activité en MBq à t0	Heure de décontamination	Délai en mn avant décontamination	D en mSv avant décontamination
99mTc	94	0,3	11:16	11:35	90,62	12:00	25,00	6,9

1) AVANT DECONTAMINATION

Selon méthode Delacroix (gouttes)

Récupérer les valeurs de l'activité et volume de la seringue sur venus

RADIOISOTOPE	Activité en MBq	Volume en ml	Heure préparation seringue	Heure de contamination (t0)	Activité en MBq à t0	Heure de décontamination	Délai en mn avant décontamination	D en mSv avant décontamination
99mTc	94	0,3	11:16	11:35	15,10	12:00	25,00	172,05



Décontamination efficace!

Code du travail

> Article R4451-6

Version en vigueur depuis le 01 juillet 2018

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

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

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

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

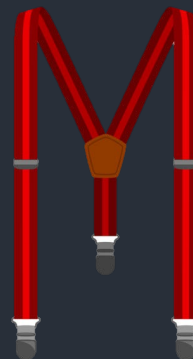
a) 500 millisieverts sur douze mois consécutifs, pour les extrémités et la peau. Pour la peau, cette limite s'applique à la dose moyenne sur toute surface de 1 cm², quelle que soit la surface exposée ;

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

- La réglementation ne mentionne pas le modèle de peau à utiliser!!!
- Valeur limite à la peau= Dose équivalente s'appliquant à la dose moyenne sur une surface d'1cm²

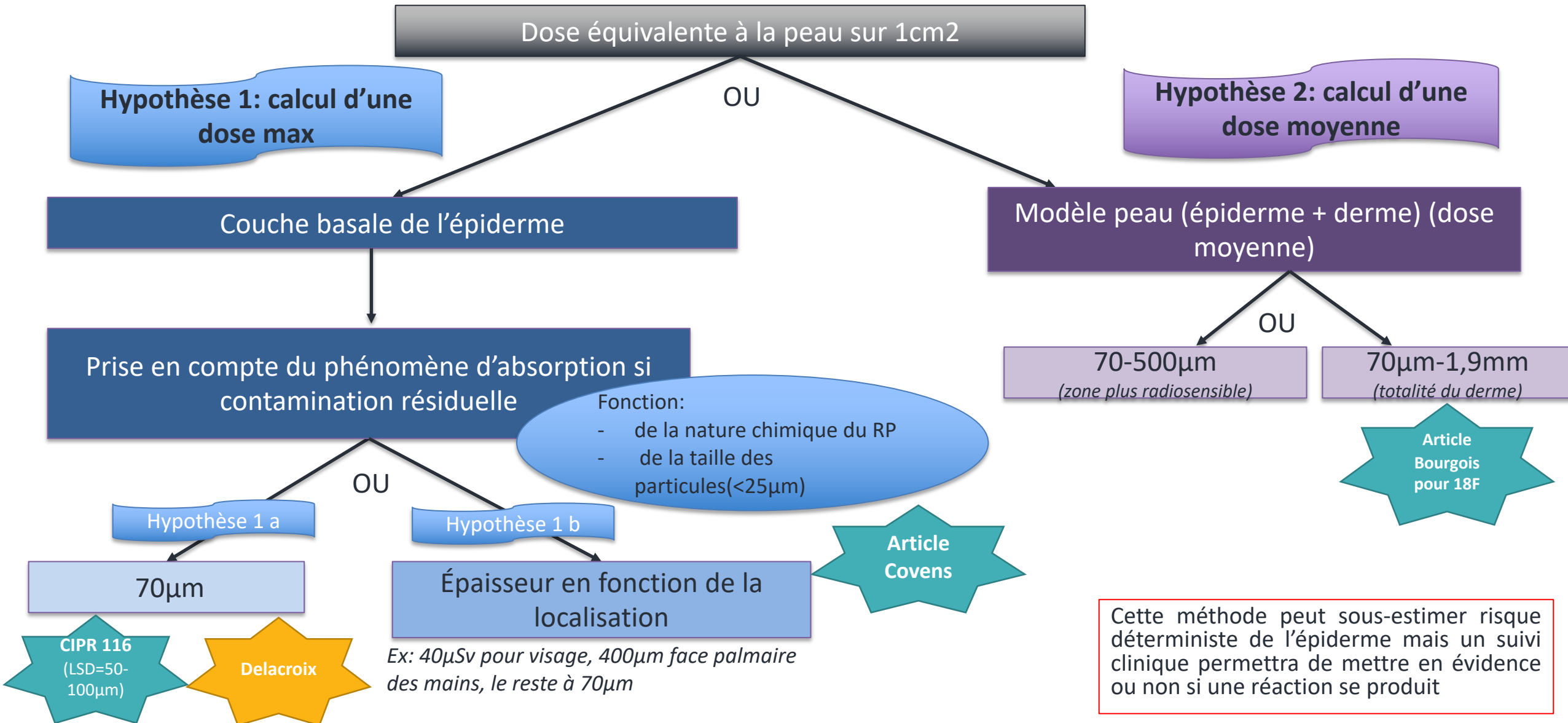
Surestimation du risque?

- Notions d'1cm² : CIPR 35 préconisait une dose moyennée sur 100cm² → notion de 1 cm² à partir de la CIPR 103
- VLE de 0,5Gy: notion d'1 Sv sur 1 cm² dans CIPR 59 → 0,5 Gy dans la CIPR 60 sans explication.
 - Risque déterministe apparaît plutôt autour de 1-2 Gy= notion d'ED1= dose estimée pour 1% d'incidence!
- VLE unique qq soit le type d'émission: Risque dépend du type d'émission → 1Gy pour rayonnement γ mais risque déterministe de l'ordre de 10 Gy pour les β d'énergie moyenne et haute et de 100 Gy pour des β <0,25MeV (CIPR 118)!



LES BRETELLES ET LA CEINTURE, ÇA RASSURE. MAIS...
GARE À VOUS SI VOUS AVEZ DES BESOINS
FRÉQUENTS ET... PRESSANTS !

Bibliographie dose équivalente peau



Groupe thématique SoFRa Radioprotection

☐ Pilotes: Eves Camps et Chahrazad Moubarik (RP,CRP)

☐ Membres:

- Atekka Chabanse (RP et CRP)
- Charlotte Doran (qualificatrice, CRP)
- Olivier Cougnenc (RP, CRP)
- Nina Ranjit (RP)
- Jérôme Schmitt (formateur CRP)
- Benjamin Serrano (Physicien, CRP)
- Christelle Huet (IRSN)
- Stéphanie Grégoire (médecin du travail)



Recommandation gestion d'une
contamination radioactive corporelle

EXEMPLE 2: une contamination non prise en charge

- Projection lors de l'injection d'une seringue de traceur osseux (590MBq/0,36ml) au niveau du pied droit du patient
- Pas de réelle décontamination mais juste gouttes absorbées à l'aide d'un essuie main



RADIOISOTOPE	Activité en MBq	Volume en ml	Heure préparation seringue	Heure de contamination (t0)	Activité en MBq à t0	Heure de décontamination	Délai en mn avant décontamination	D en mSv avant décontamination
99mTc	590	0,36	09:20	09:25	584,35	09:35	10,00	14,47

2) APRES DECONTAMINATION

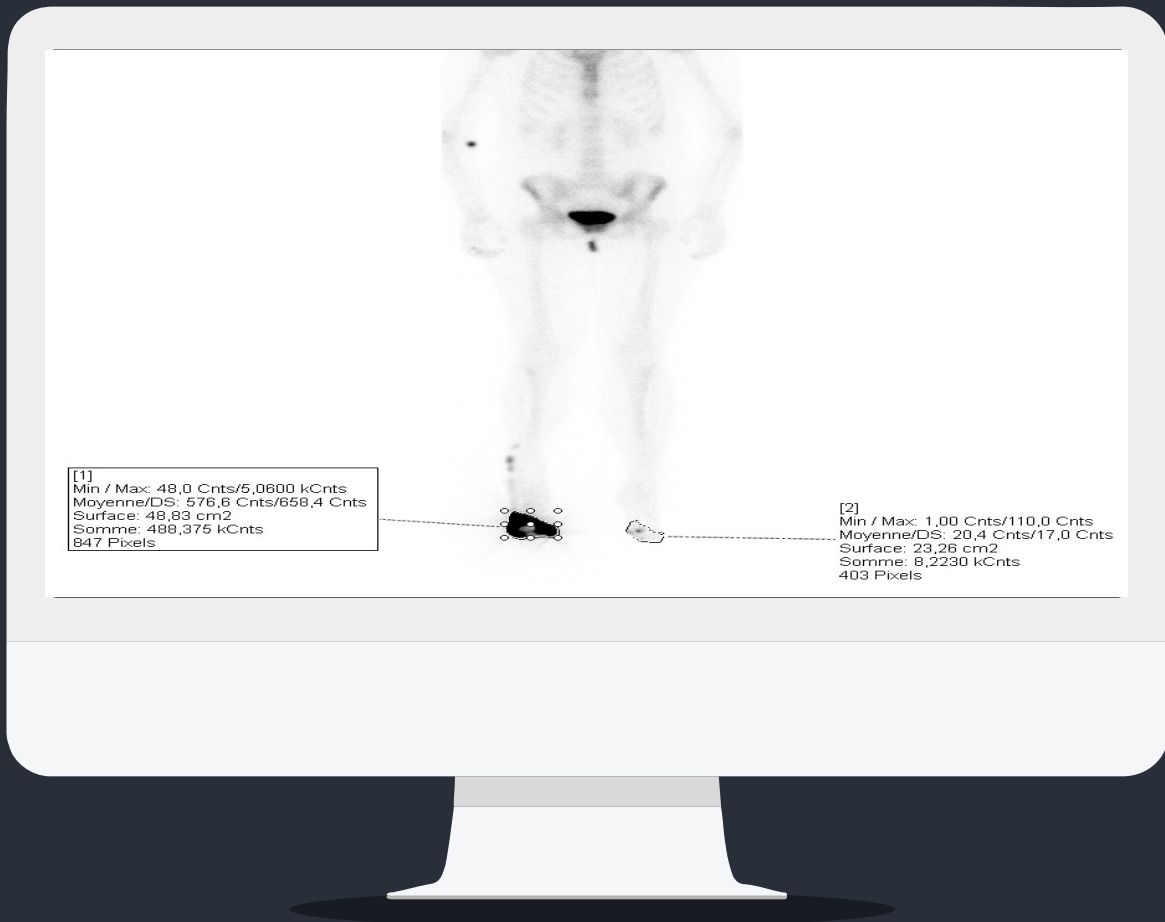
Selon étude TLD du CHIAP

Si 99mTc, faire acquisition CE

Réaliser un ROI autoisocontour afin de relever la concentration maximale du ROI de la contamination et réaliser un ROI cercle sur le membre opposé=BDF

RADIOISOTOPE	Vitesse d'acquisition	Conc max ROI zone contaminée	Conc max ROI BDF	Heure de acquisition	Evaluation conc max ROI juste après décontamination à vit 60	D en mSv après décontamination
99mTc	20	5060	110	12:37	2342,46	231,43

Dosimétrie totale peau en mSV
245,90



1) AVANT DECONTAMINATION

Récupérer les valeurs de l'activité et volume de la seringue sur venus

Selon méthode Delacroix

RADIOISOTOPE	Activité en MBq	Volume en ml	Heure préparation seringue	Heure de contamination (t0)	Activité en MBq à t0	Heure de décontamination	Délai en mn avant décontamination	D en mSv avant décontamination
99mTc	590	0,36	09:20	09:25	81,16	09:35	10,00	375,13

2) APRES DECONTAMINATION

dosi selon delacroix goutte

Si 99mTc, faire acquisition CE

Réaliser un ROI autoisocontour de la contamination et réaliser un ROI cercle sur le membre opposé=BDF

RADIOISOTOPE	Vitesse d'acquisition	somme cps total en cps	Surface en cm ²	somme cps total	surface BDF en cm ²	Heure de acquisition	Evaluation conc max ROI juste après décontamination à vit 60	As en MBq/cm ² après décontamination	D en mSv après décontamination
99mTc	20	488375	48,83	8223	23,26	12:37	222941,35	3,65	7930,58

Dosimétrie totale peau en mSV
8305,71