

**Projet SP2 - DESIR**  
**Séminaire technique DESIR**  
**Caen, 05-06 février 2026**

**Contrainte radiologique d'exploitation**  
**(problématique bêta)**

- ❑ Salle d'expériences ouverte = présence concomitante travailleurs et ions radioactifs
- ❑ Parfois ions avec bêta d'énergie ↗ ( $> 2$  MeV)

| Rn               | $T_{1/2}$    | Principales émissions $\beta$                                                                                  | Principales émissions $\gamma$                         |
|------------------|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| $^{80}\text{Rb}$ | $34 \pm 4$ s | ( $\beta^+$ ) $E_{\text{max}}$ : $\sim 4,7$ MeV (73%)<br>( $\beta^+$ ) $E_{\text{max}}$ : $\sim 4,1$ MeV (21%) | $\sim 617$ keV (25 %)   $\gamma^\pm$ (511 keV) (196 %) |
| $^8\text{Li}$    | 840 ms       | ( $\beta^-$ ) $E_{\text{max}}$ : $\sim 13$ MeV (100%)                                                          |                                                        |

- ❑ Enceinte à vide en acier (2 mm) =  $-dE \sim 2$  MeV pour  $e^\pm$
- ❑ Possible  $T_{1/2} > 1\text{h}$  (voire  $> 1\text{j}$ ) = rémanence
- ❑ Vaste domaine d'activité possible demandé (jusqu'à  $\sim 10^9$  Bq) = ne pas être bloqué « demain »

↪ champs mixtes  $\beta - \gamma X (+n)$  dans zone de travail possible

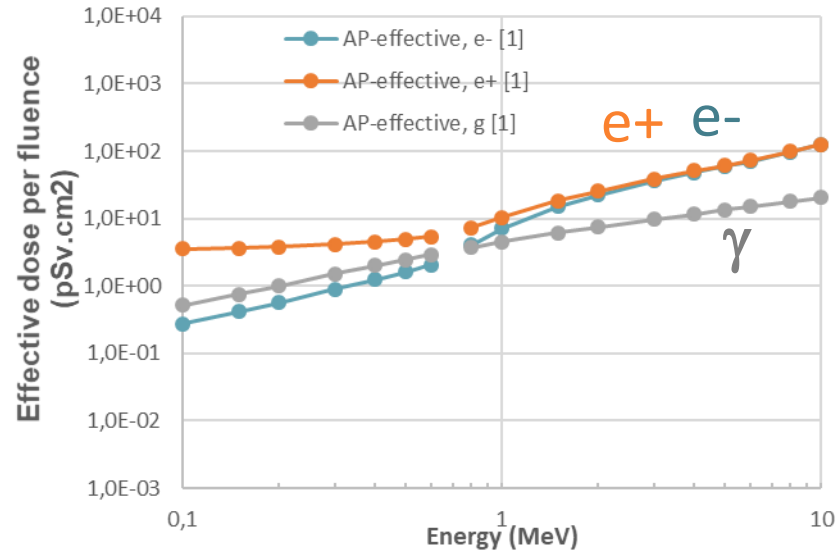
# Problématique (exposition)

❑ Illustration avec 1 GBq de  $^{80}\text{Rb}$  derrière 2 mm acier

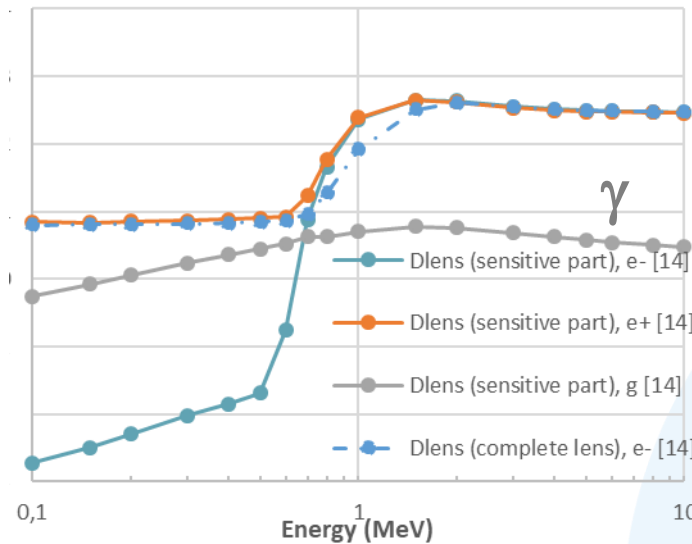
| Cible de l'exposition  | GP                | Distance (cm) | Ryt   | MCNP6                                 | GEANT4    | Temps pour atteindre la VLEP | contribution à l'exposition (MCNP6) |     |
|------------------------|-------------------|---------------|-------|---------------------------------------|-----------|------------------------------|-------------------------------------|-----|
|                        |                   |               |       | mSv /h/GBq<br>(à l'état stationnaire) |           |                              | e <sup>±</sup>                      | X,γ |
| Cristallin             | H <sub>lens</sub> | 30            | γ/β/e | ~ 1,7                                 | ~ 1,9     | ~ 10 h                       | 50%                                 | 50% |
| Extrémités (peau)      | H <sub>LSD</sub>  | contact       | γ/β/e | ~ 7,0 E+3                             | ~ 7,3 E+3 | ~ 260 s                      | 81%                                 | 19% |
| Peau (surface dénudée) |                   | 30            |       | ~ 2,8                                 | ~ 2,8     | ~ 178 h                      | 88%                                 | 12% |
| Corps entier           | E <sub>ext</sub>  | 37            | γ     | ~ 0,5                                 | ~ 0,5     | ~ 40 h                       | /                                   | 94% |

- Avec  $E_{\beta\text{max}} \sim 4,7 \text{ MeV}$  :
  - 👉 reste ~ 1% dose  $\beta$  derrière 2 mm acier ( $\pm 15\%$  selon nuance acier)
  - 👉 **attention en cas d'ouverture d'enceinte si rémanence !!**
- Si  $A(t)$  = **limite domaine d'activité** => **situation dangereuse**
- **$\beta$  gouverne la dose** des « tissus » superficiels
- **Cristallin = organe le plus exposé**
- La **dose efficace** n'est plus l'indicateur pertinent du risque

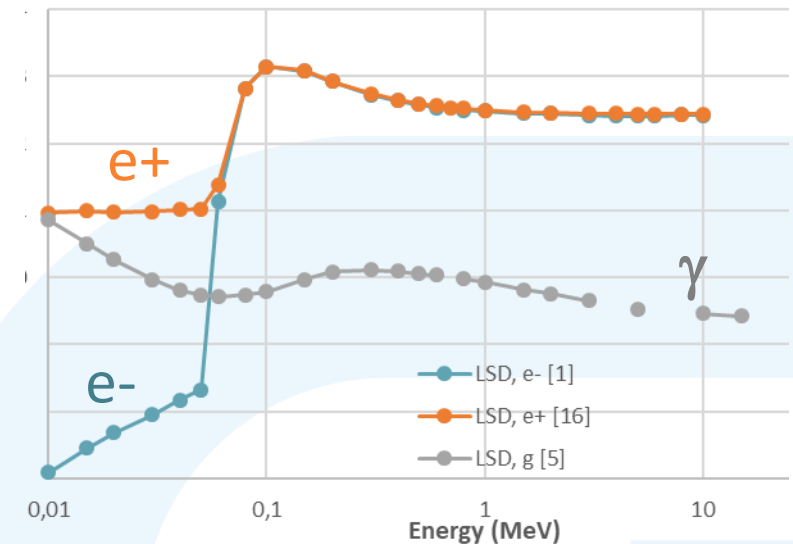
## □ Comprendre brièvement le problème posé par les $e^\pm$



Dose efficace



Dose absorbée par cristallin  
(volume sensible)



Dose absorbée par peau localisée  
(volume sensible)

- [1] ICRP 2010 Conversion coefficients for radiological protection quantities for external radiation exposures ICRP Publication 116 (Oxford: International Commission of Radiological Protection)
- [5] ICRP Final Draft (juillet 2017) – non référencé. ICRU and ICRP Draft Joint Report Operational Quantities for External Radiation Exposure. <https://www.icrp.org/consultations.asp>
- [14] Behrens R. Compilation of conversion coefficients for the dose to the lens of the eye. Radiat Prot Dosimetry 174, 348-370 (2017). doi: 10.1093/rpd/ncw194. PMID: 27542816; PMCID: PMC5423102. [https://www.researchgate.net/publication/306327594\\_Compilation\\_of\\_conversion\\_coefficients\\_for\\_the\\_dose\\_to\\_the\\_lens\\_of\\_the\\_eye](https://www.researchgate.net/publication/306327594_Compilation_of_conversion_coefficients_for_the_dose_to_the_lens_of_the_eye)
- [16] Bourgeois L. and Antoni R., Fluence to local skin absorbed dose and dose equivalent conversion coefficients for monoenergetic positrons using Monte-Carlo code MCNP6. Appl Radiat Isot. 107, 372-376 (2016). doi: 10.1016/j.apradiso.2015.11.029. Epub 2015 Nov 19. PMID: 26623930.

❑ La vérification réglementaire relève du domaine de la confiance

⇒ mesurage implique raccordement à étalon ou champs de ryt de référence

- Pour dosimétrie  $\beta$  :

- ISO 6980 d'application obligatoire, spécifie exigences pour étalonnage

- $E_{\beta\max}$  : 3,6 MeV ... mais dans la pratique  $E_{\beta\max} = 2,3$  MeV (90Y) !!

⇒ domaine en énergie insuffisant

❑ Dans la vie, en général ...

- Émetteur  $\beta$  « pur » +  $E_{\beta\max} \leq 2,3$  MeV + écrantage = pas de Pb de mesurage

- Quasi-totalité des radiamètres/balises «  $\beta$ - $\gamma$  » étalonnés pour ...  $\gamma$  !!

⇒ Mesurage/surveillance dose  $\beta$  n'est pas un acte ordinaire

Q

u'est-ce que c'est ? leur demande un huissier à la voix déplaisante.

- Nous devons obtenir le laissez-passer A 38. L'huissier porte sa main en cornet à son oreille :
- Immatriculer une galère ? Non, on vous a mal dirigés. Il faut aller au port.
- Non, nous ne voulons pas immatriculer une galère. Nous voulons le laissez-passer A 38.
- Le port ? Vous le trouverez au bas de la ville. C'est au bord de la mer...
- Mais nous ne voulons pas le port ! Nous voulons le laissez-passer A 38 !!

- Héé ??

- Le laissez-passer A 38 !!!

- Ah, ne criez pas, hein ?? En voilà des manières ! Où vous croyez-vous, par Jupiter ! Adressez-vous au guichet 1, couloir de gauche, dernière porte à droite.

Nos amis s'exécutent et finissent par s'apercevoir que dans ledit couloir, à gauche, il n'y a pas de porte, à droite.

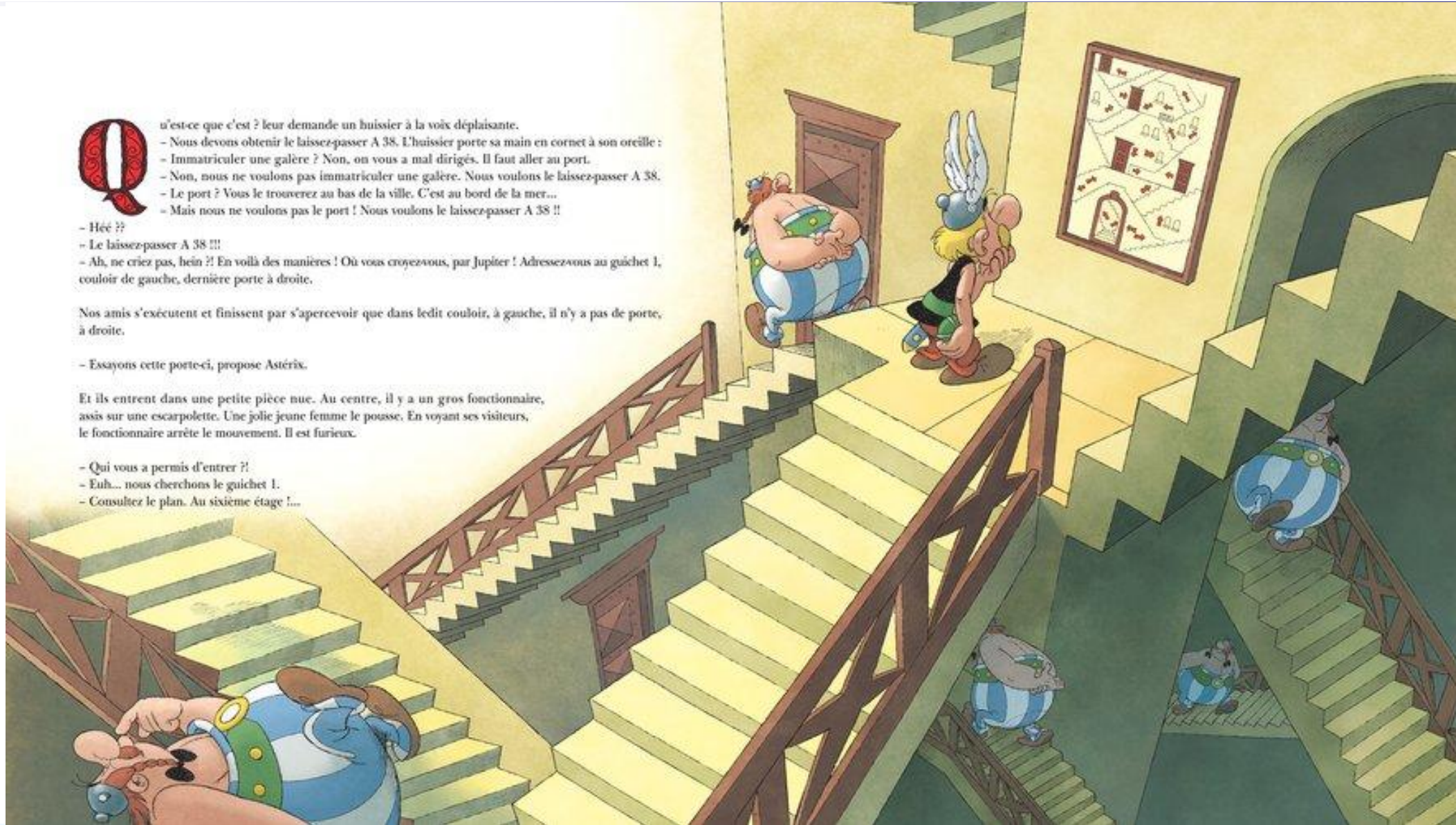
- Essayons cette porte-ci, propose Astérix.

Et ils entrent dans une petite pièce nue. Au centre, il y a un gros fonctionnaire, assis sur une escarpolette. Une jolie jeune femme le pousse. En voyant ses visiteurs, le fonctionnaire arrête le mouvement. Il est furieux.

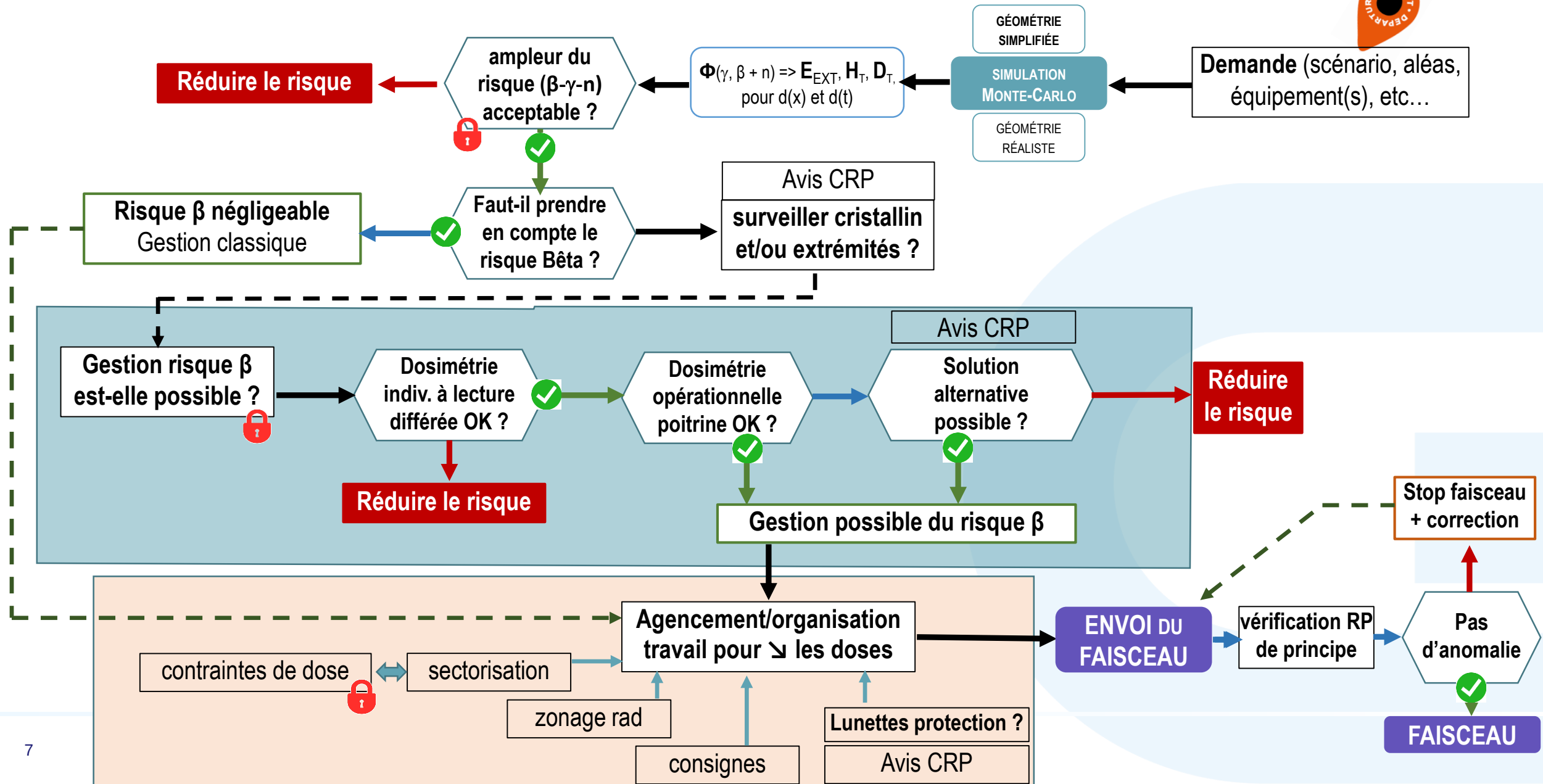
- Qui vous a permis d'entrer ??

- Euh... nous cherchons le guichet 1.

- Consultez le plan. Au sixième étage !...



# Logigramme simplifié radioprotection



# Quelles sont les conditions d'accès à l'aire ?

|                                                  |                                                                                        | Position de référence                                                                                    |                                                         |                                                                      |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
|                                                  | Critère en dose<br>tenant compte $\sum X_{\gamma,n,e\pm}$<br>et de l'heure pénalisante | Si équipement<br>accessible                                                                              | Si barrière<br>incontournable autour<br>de l'équipement | Si intervention dans un<br>équipement<br>(ouverture de l'équipement) |
|                                                  |                                                                                        | <i>par rapport à la plus proche surface accessible de<br/>l'équipement ou barrière selon cas examiné</i> |                                                         |                                                                      |
| <b>E<sub>EXT + INT</sub></b><br>« corps entier » | <b>&lt; 2 mSv/h sur 1h</b><br>(ou à défaut < 2 mSv/h)                                  | à 30cm                                                                                                   | Au pseudo<br>contact                                    | A définir selon mode<br>opératoire                                   |
| <b>H<sub>LENS</sub></b><br>« cristallin »        | <b>&lt; 2 mSv sur 1h</b><br>(ou à défaut < 2 mSv/h)                                    |                                                                                                          |                                                         |                                                                      |
| <b>H<sub>LSD</sub></b><br>« peau »               | <b>&lt; 50 mSv sur 1h</b><br>(ou à défaut < 50 mSv/h)                                  | Au pseudo<br>contact                                                                                     |                                                         |                                                                      |



□ Postulat :

**Pas de risque bêta si,**

- dans les conditions normale d'exploitation tenant compte des aléas (dimensionnement enveloppe), **l'ampleur du risque dû aux  $e^+, e^-$ :**
  - 1. ne justifie pas d'optimisation de la radioprotection**
    - (la priorité porte sur les autres risques radiologiques)
  - 2. permet de s'affranchir d'une surveillance** spécifique du rayonnement « bêta »
    - (ne conduirait pas à classer un travailleur s'il n'y a que ce risque radiologique)

# Concrètement, pas de risque $\beta$ si ...

**80Rb**

| critère                                                                                  | désintégrations/s de $^{80}\text{Rb}$ (à l'état stationnaire) |                                    |                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------|
|                                                                                          | Equipement sans barrière                                      | Equipement avec barrière à 70cm    |                                                |
|                                                                                          |                                                               | Dans l'aire délimitée par barrière | A l'extérieur de l'aire délimitée par barrière |
| $D_{\text{peau},e\pm}$<br>(à 30cm équipement ou barrière selon cas de figure)            | $\leq 1,3\text{E}+06$                                         |                                    | $\leq 9,7\text{E}+06$                          |
| $D_{\text{local\_skin},e\pm}$<br>(au contact équipement ou barrière selon cas de figure) | $< 8,3\text{E}+04$                                            | $\leq 6,7\text{E}+06$              | $< 5,5\text{E}+07$                             |
|                                                                                          |                                                               | $< 4,1\text{E}+05$                 |                                                |

$H_{\text{lens},e\pm}$  représenterait (au plus) 3,4% de la VLEP sur 2000 h

**8Li**

| critère                                                                                  | désintégrations/s de $^8\text{Li}$ à l'état stationnaire |                                    |                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------|
|                                                                                          | Equipement sans barrière                                 | Equipement avec barrière à 70cm    |                                                |
|                                                                                          |                                                          | Dans l'aire délimitée par barrière | A l'extérieur de l'aire délimitée par barrière |
| $D_{\text{peau},e\pm}$<br>(à 30cm équipement ou barrière selon cas de figure)            | $\leq 2,4\text{E}+04$                                    |                                    | $\leq 1,4\text{E}+05$                          |
| $D_{\text{local\_skin},e\pm}$<br>(au contact équipement ou barrière selon cas de figure) | $< 3,1\text{E}+03$                                       | $\leq 1,2\text{E}+05$              | $< 1,9\text{E}+06$                             |
|                                                                                          |                                                          | $< 1,5\text{E}+04$                 |                                                |

$H_{\text{lens},e\pm}$  représenterait (au plus) 5,7 % de la VLEP avec 2000h

## ❑ Postulats :

**Les moyens légaux de dosimétrie externe sont adaptés**

**Le moyen de dosimétrie opérationnel est adapté et peut donner l'alerte en cas d'anomalie ou il existe une alternative fiable**

- Est adapté si le champs de rayonnements émergeant (ou ambiant) à surveiller :
  - 1. Respecte l'étendue d'étalonnage en énergie  $\Rightarrow E_{\beta_{\max}} \leq 2,3 \text{ MeV}$**
  - 2. Ou le poids dosimétrique de la « queue » de distribution n'impacte pas la confiance des acteurs dans le résultat**
- Extrait réponse CEA dosimétrie (ex. IRSN) :

*« Notre laboratoire a pu caractériser et donc accréditer ses dosimètres au mieux à l'aide d'une source bêta de  $^{90}\text{Sr}$  ( $E_{\max} : 2,2 \text{ MeV}$ ). Au delà la réponse aux rayonnements bêta des détecteurs que nous proposons n'est pas connue. C'est probablement le cas aussi d'autres laboratoires de dosimétrie ».*



# Contraintes de dose

❑ Postulats :

**Il doit exister une volonté tangible de réduire au minimum les risques (R4451-5 du CT)**

**Ne pas obérer la possibilité de poursuivre le travail (de recherche) sous RI**

**Ne pas classer le travailleur en catégorie A au sens du R4451-57 du CT ;**

**En présence de bêtas « durs », il existe une relation entre  $E_{ext}$ ,  $H_{lens}$  et  $H_{LSD}$**

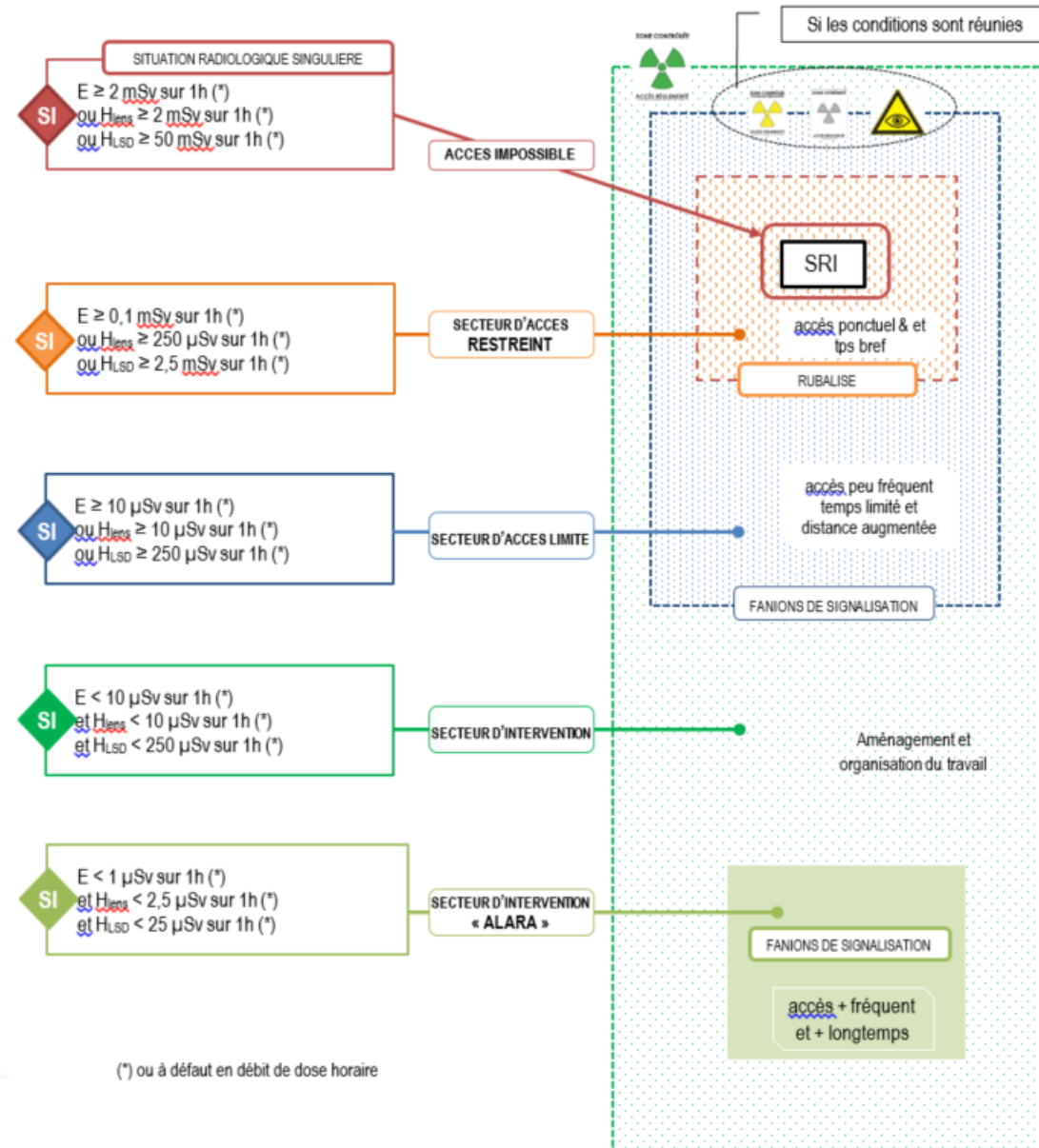
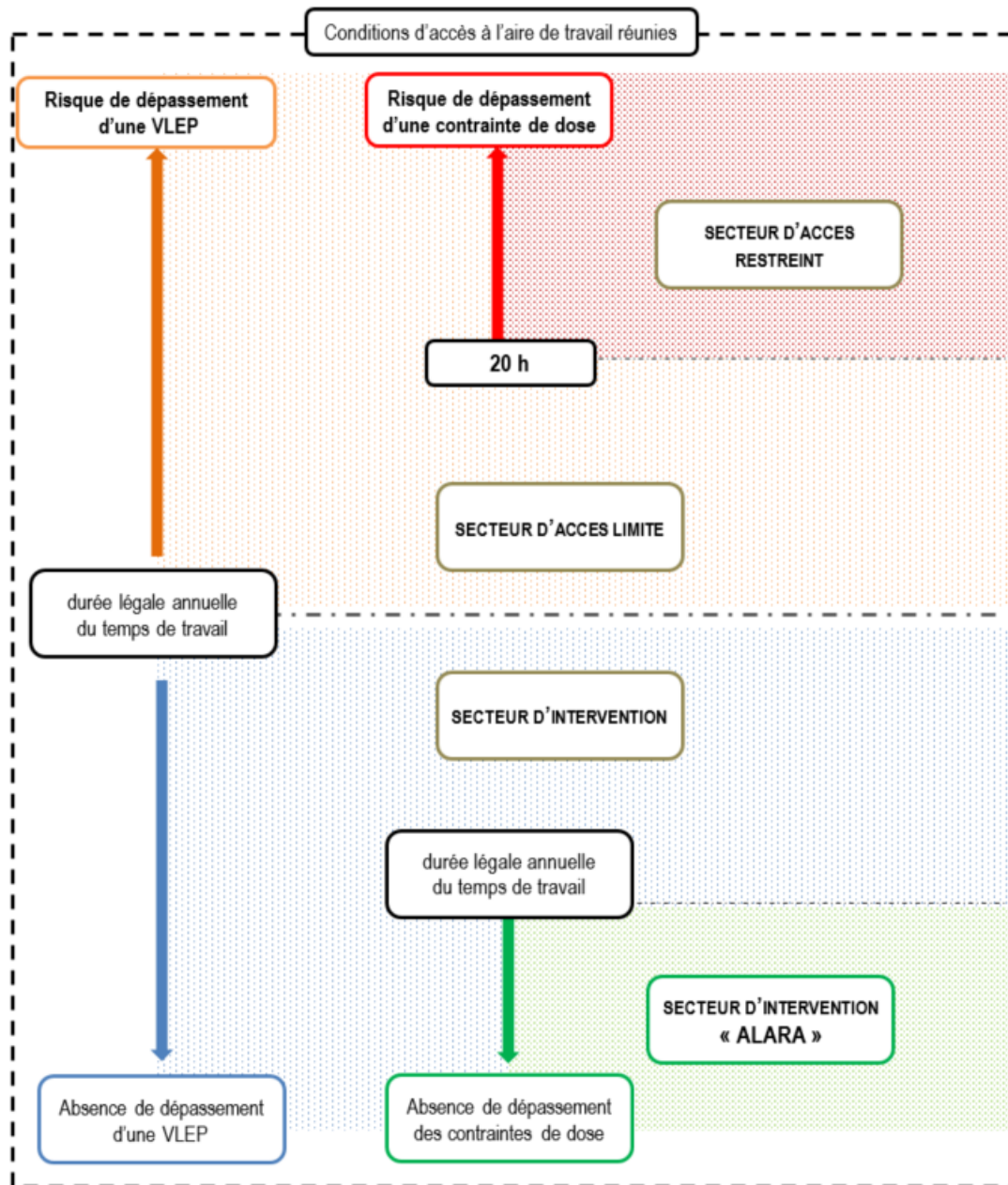
**Prendre en compte l'évolution de la connaissance... CIPR 116 & effets tissulaires**

| Cible exposée                                                | $H_{lens}$ | $H_{LSD}$ |
|--------------------------------------------------------------|------------|-----------|
| Cristallin                                                   | 5 mSv/an   |           |
| Peau localisée (cm <sup>2</sup> le plus exposé) ou extrémité |            | 50 mSv/an |

❑ Outils opérationnels adopté pour aider au respect : **la sectorisation**



# La sectorisation ou comment voir le risque





**PTW**  
THE  
DOSIMETRY  
COMPANY

## Principales caractéristiques

Sert pour la dosimétrie dans une large gamme d'énergie :

- $X\gamma$  : 6 keV à ~ 25 MeV
- $\beta$  : 80 keV à 3 MeV **mais étalonnage jusqu'à 2,3 MeV**

Mesure les rayonnements continus et pulsés

Étalonné pour les grandeurs opérationnelles :

- $H'(0,07)$
- $H^*(10)$

## Uncertainty of measurement:

|                      |     |                       |  | Coefficient of variation |
|----------------------|-----|-----------------------|--|--------------------------|
| Zero eff.            | ... | 0,5 $\mu\text{Sv/h}$  |  | < 35%                    |
| 0,5 $\mu\text{Sv/h}$ | ... | 4 $\mu\text{Sv/h}$    |  | < 15%                    |
| 4 $\mu\text{Sv/h}$   | ... | 20 $\mu\text{Sv/h}$   |  | < 10%                    |
| 20 $\mu\text{Sv/h}$  | ... | 100 $\mu\text{Sv/h}$  |  | < 5%                     |
| 100 $\mu\text{Sv/h}$ | ... | 2000 $\mu\text{Sv/h}$ |  | < 3%                     |
| 1 mSv/h              | ... | 2000 mSv/h            |  | < 3%                     |

Et un très grand remerciement à



Scientific coordinator (DESIR)  
Jean-Charles Thomas



radiation protection service  
Andy BESLIN

Et à toute l'équipe du SPR-GANIL

Et au collège des CRP



**GANIL**  
DESIR

**Merci pour votre attention**

