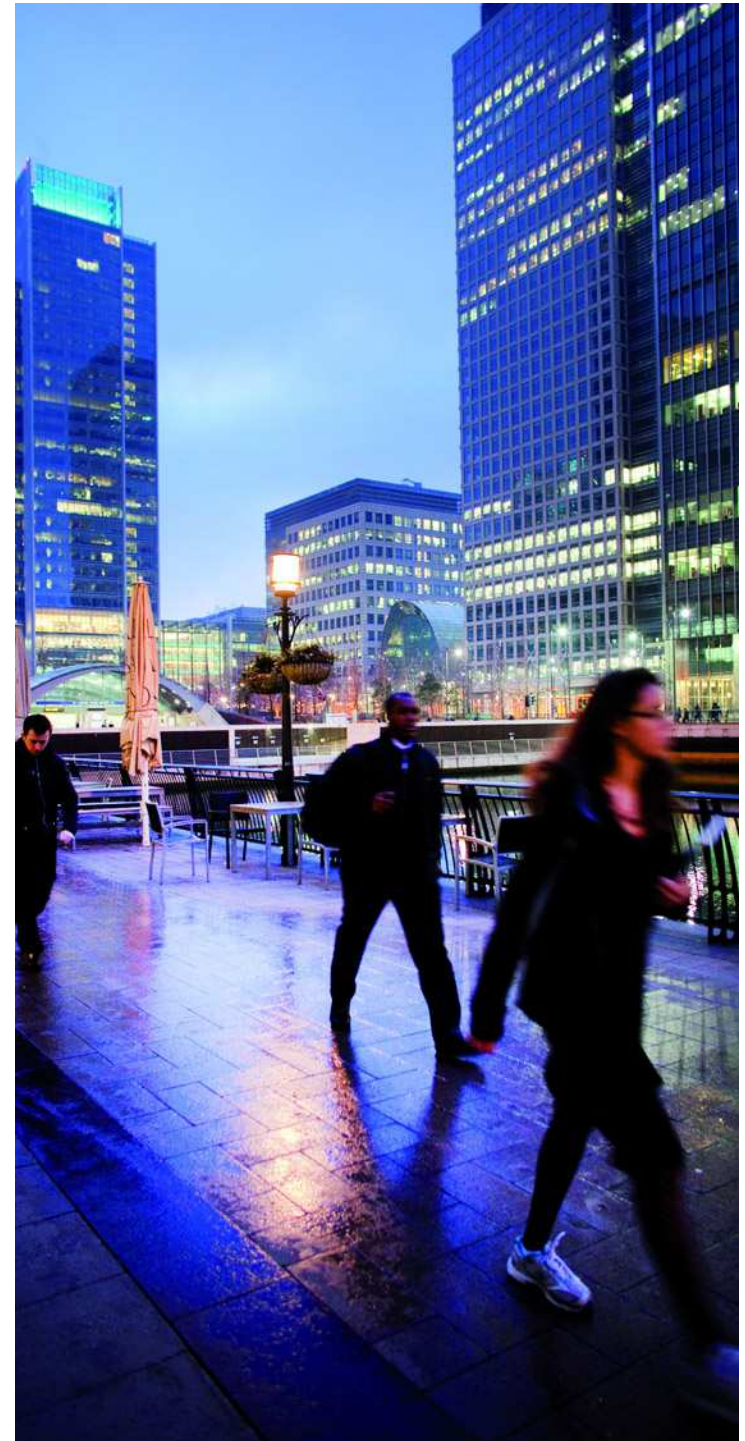




# EXPOSITION AU XENON-133 DANS UN BATIMENT REACTEUR

**A. PERIER, E. GAILLARD-LECANU,  
E. COURAGEOT, C. MONIER, G. LE-MEUR,  
B. LE-GUEN, S. BLOND (EDF)  
D. THERS (SUBATECH)**

SFRP, 18 Juin 2015



# PRÉSENCE DU XÉNON-133 DANS LE BR

## Réacteur en fonctionnement

- Formation des produits de fission  
⇒ dans la gaine du combustible (1)
- Si défaut de gaine du combustible  
⇒ dans le circuit primaire (2)



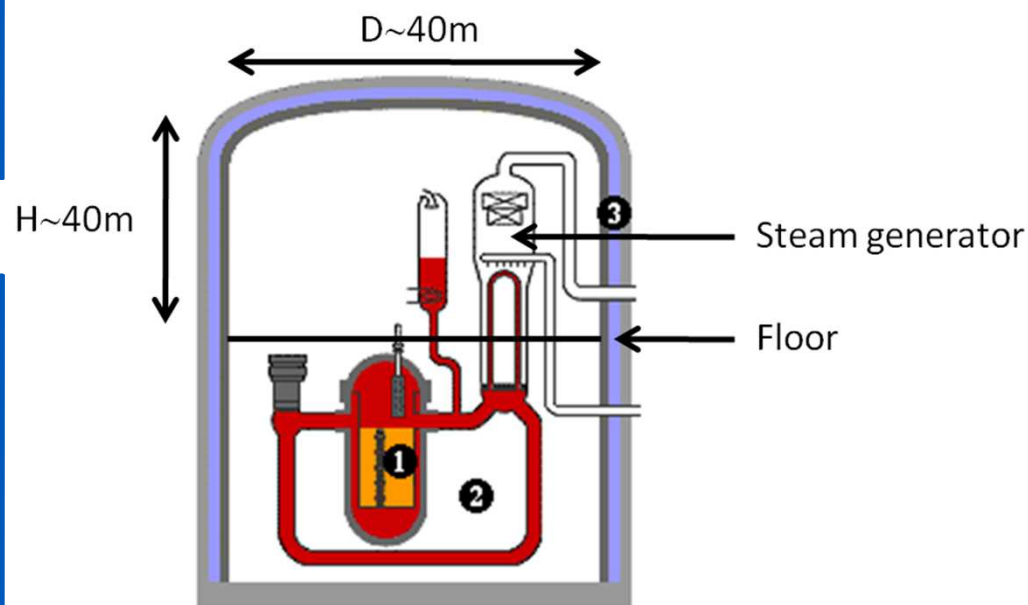
## Arrêt de tranche : Déchargement du combustible

- Respect des critères sur le  $^{133}\text{Xe}$
- Ouverture du circuit primaire
- Dilution potentielle des produits de fission dans l'air (si fuite de gaine)  
⇒ Dans l'enceinte du BR (3)



## Quelques jours après l'arrêt du réacteur

- Principal gaz rare radioactif :  $^{133}\text{Xe}$  ( $T_{1/2} = 5.2 \text{ j}$ )
- Intervention du personnel au niveau du plancher piscine du bâtiment réacteur



# LIMITES ET EVALUATION DE L'EXPOSITION

## Pour toute exposition

- Législation française : Code du Travail, Code de la Santé Publique

Recommandations ICRP	Publication 60	Publication 103
Directives Euratom	96/29/Euratom	2013/59/Euratom
Dose efficace (externe, interne)	20 mSv/an	20 mSv/an
Dose équivalente au cristallin	150 mSv/an	20 mSv/an

## Pour une exposition au $^{133}\text{Xe}$

- Exposition externe majoritaire (ICRP30)
- Critère de radioprotection (ICRP68) :  $\dot{E}=5 \mu\text{Sv.h}^{-1}$  (1 MBq.m<sup>-3</sup>)

## Moyens de mesure

- Mesure de la dose avec des dosimètres individuels
- Mesure de l'activité volumique avec des balises (MBq.m<sup>-3</sup>)

# OBJECTIFS ET PROBLÉMATIQUES

## Objectifs

- Actualiser les données sur les modes d'exposition au  $^{133}\text{Xe}$  dans des conditions réalistes (dans un BR)
- Comprendre les mécanismes de l'exposition au  $^{133}\text{Xe}$
- Etudier l'impact du changement de la limite dosimétrique au cristallin avec la directive 2013/59/Euratom

## Problématiques

- Développer des outils pour évaluer les modes d'exposition au  $^{133}\text{Xe}$ 
  - Exposition externe
  - Exposition des poumons et des voies respiratoires
  - Exposition interne

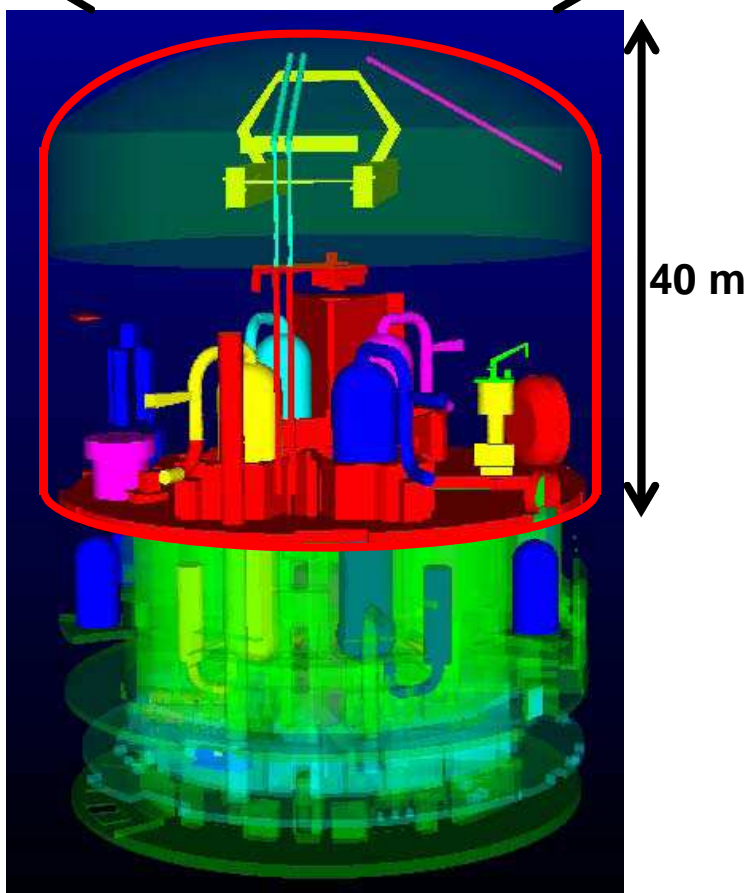
# BÂTIMENT RÉACTEUR

- Diamètre ~ 40 m
- Hauteur ~ 40 m

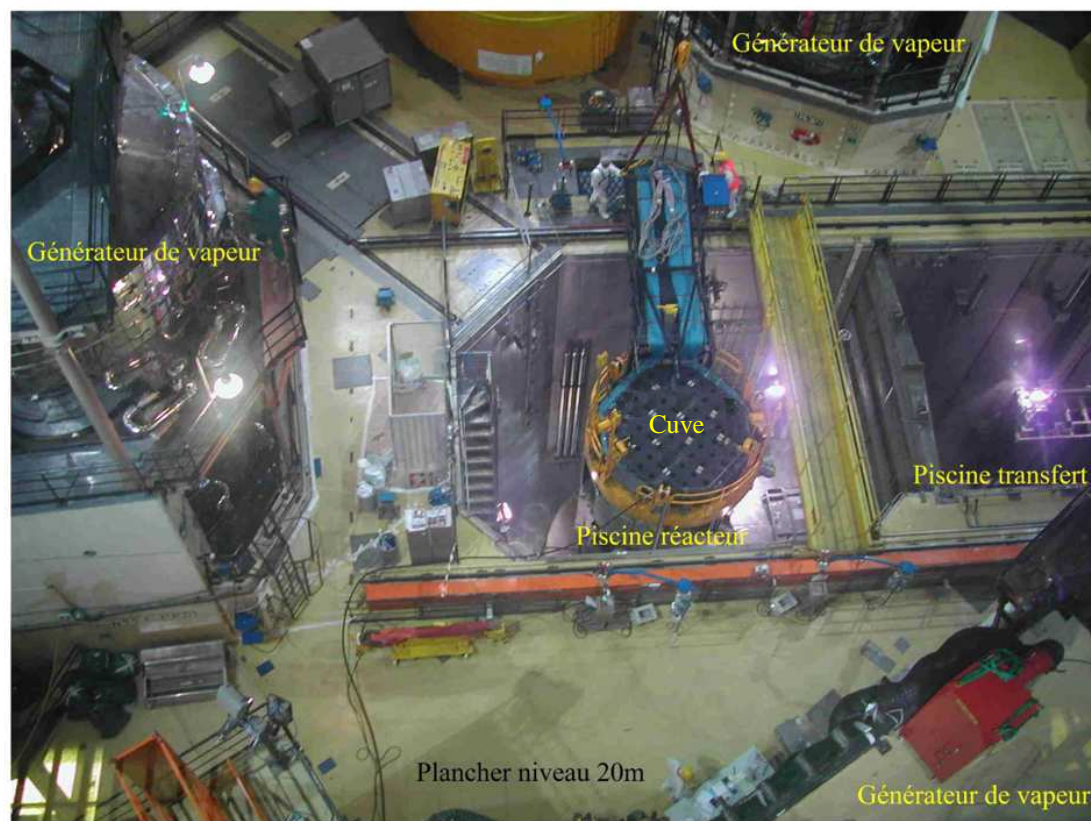
40 m



- Volume intérieur :  $68.5 \times 10^3 \text{ m}^3$
- Environnement avec plusieurs éléments  
⇒ Configuration complexe



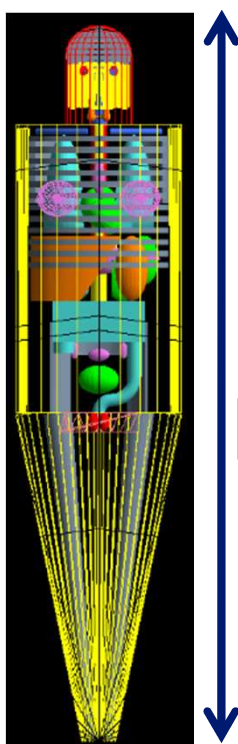
[Source EDF R&amp;D – STEP]



[Source EDF R&amp;D – STEP]

# MODÉLISATION DU FANTÔME

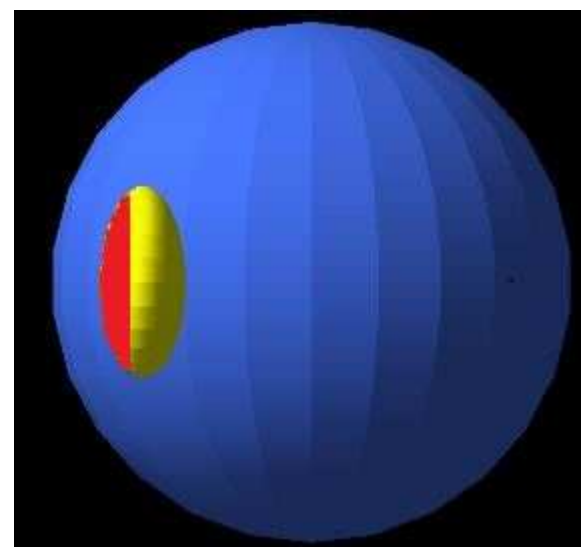
- **GEANT4** : Code de calcul Monte-Carlo pour simuler l'interaction des rayonnements ionisants avec la matière
- **Fantôme MIRD** :
  - Constitué de 70 volumes
  - Adaptation de la géométrie : glandes salivaires, oeil, cristallin et sa partie radiosensible



$H = 1.7 \text{ m}$

$m_{\text{MIRD}} = 70 \text{ kg}$

Fantôme MIRD



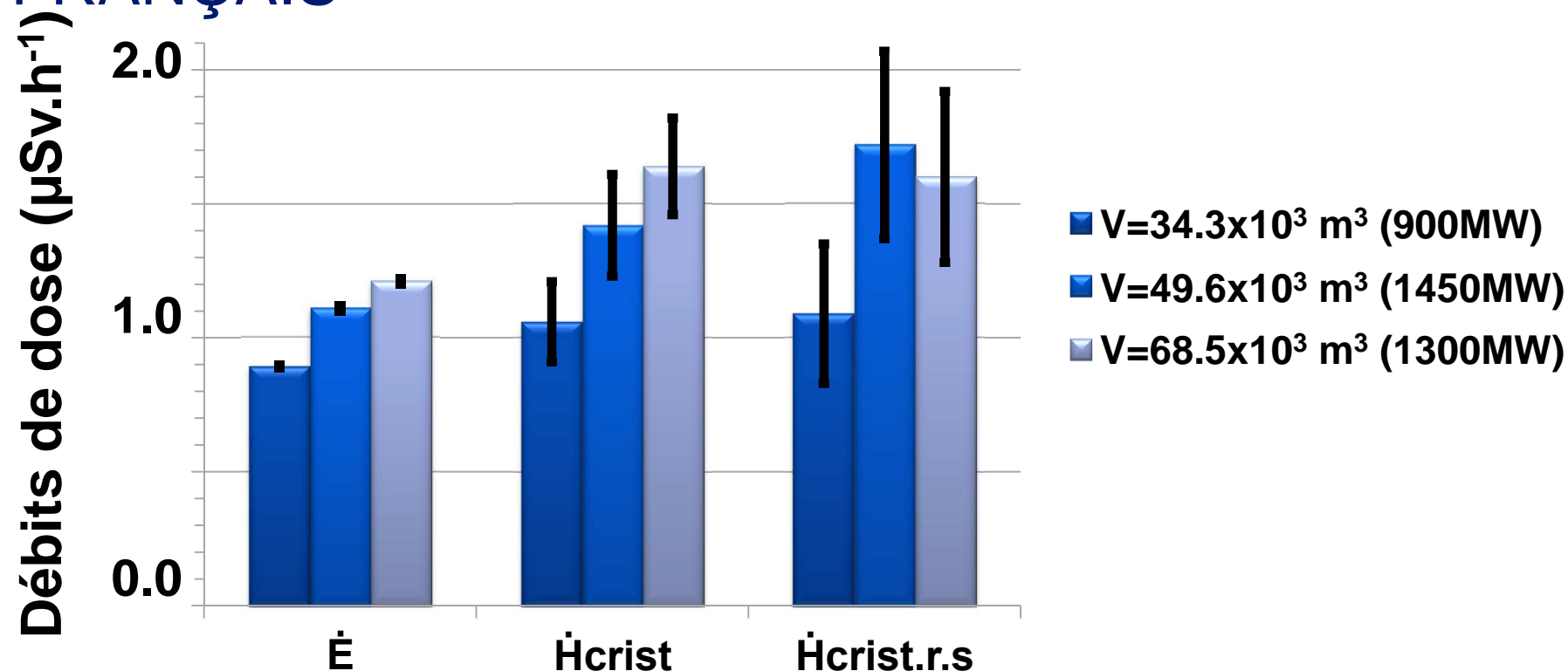
$D = 2.2 \text{ cm}$

$m_{\text{œil}} = 8 \text{ g}$

$m_{\text{crist}} = 0.13 \text{ g}$

Vue longitudinale de l'œil, du cristallin et de sa partie radiosensible

# DÉBITS DE DOSE DANS LE PARC NUCLÉAIRE FRANÇAIS



- Débits de dose efficace dans le BR de 1300 MW ( $A=1 \text{ MBq}\cdot\text{m}^{-3}$ )

- $\dot{E} = 1.21 \times 10^{-6} \pm 0.01 \times 10^{-6} \text{ Sv}\cdot\text{h}^{-1}$
- $\dot{E} < 5.0 \times 10^{-6} \text{ Sv}\cdot\text{h}^{-1}$

- Débits de dose équivalente au cristallin dans le BR de 1300 MW ( $A=1 \text{ MBq}\cdot\text{m}^{-3}$ )

- $\dot{H}_{\text{crist}} = 1.64 \times 10^{-6} \pm 0.18 \times 10^{-6} \text{ Sv}\cdot\text{h}^{-1}$
- $\dot{H}_{\text{crist.rad.sens}} = 1.60 \times 10^{-6} \pm 0.32 \times 10^{-6} \text{ Sv}\cdot\text{h}^{-1}$

# BIOCINÉTIQUE DU XÉNON-133

Modèle compartimenté : Peterman et Perkins, Radiation Protection Dosimetry, 1988

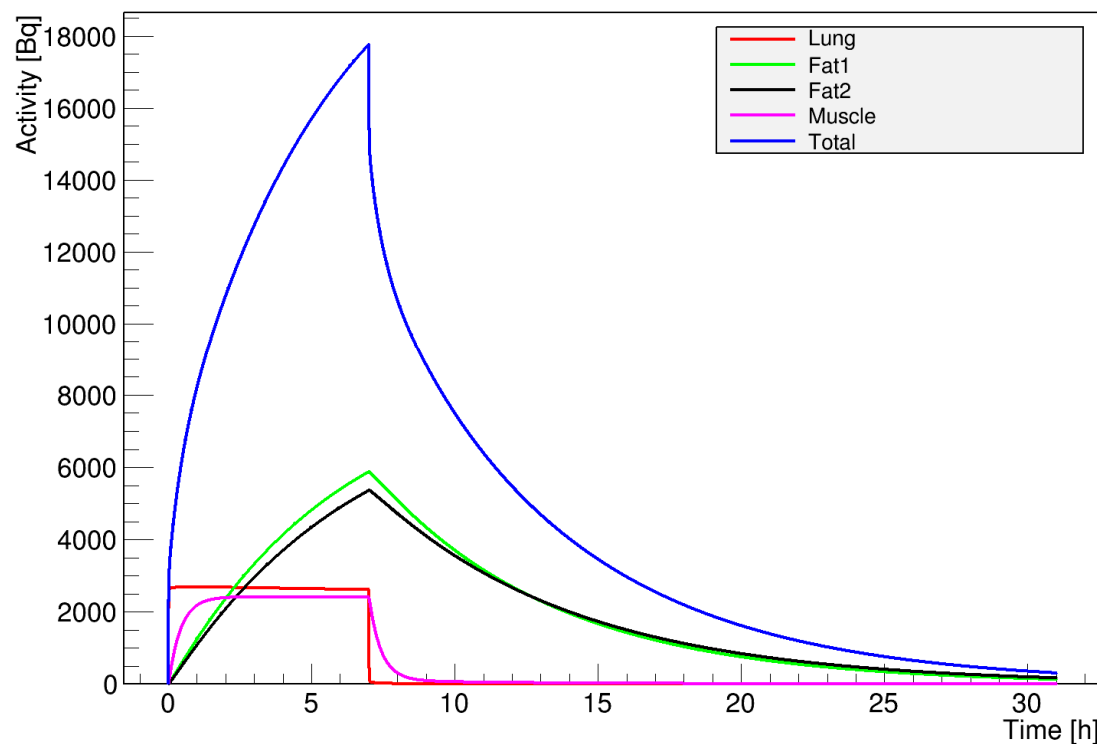
## Assimilation

- $V1=70 \times 10^3 \text{ m}^3$  (environnement)
- $C1(t=0)=1 \text{ MBq.m}^{-3}$  (environnement)
- $T=7 \text{ h}$  (majorant une journée de travail)

## Elimination

- $V1=400 \text{ m}^3$  (environnement)
- $C1(t=0)=0 \text{ MBq.m}^{-3}$  (environnement)
- $T=24 \text{ h}$  (1% de l'activité initiale inhalée)

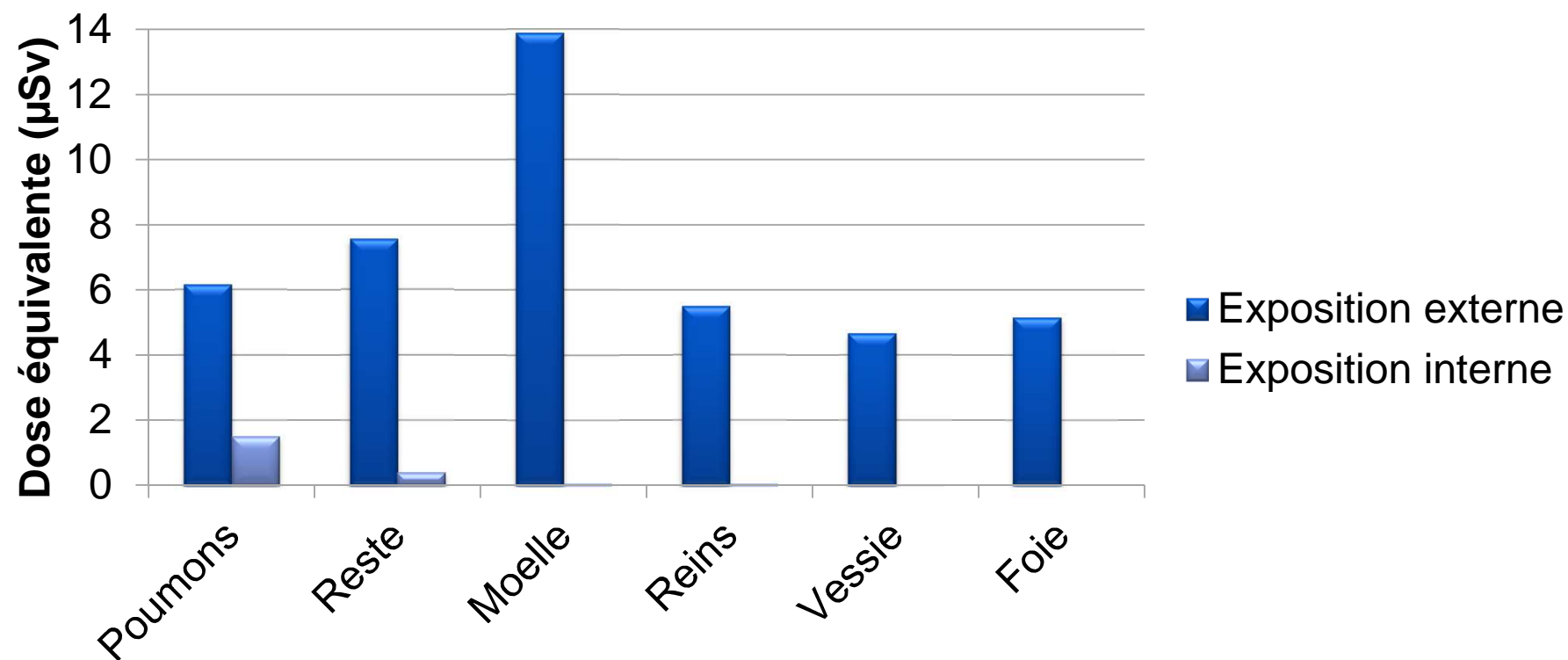
Biokinetic model for  $^{133}\text{Xe}$  in the human body



- 90 % de l'activité dans 4 compartiments :
  - Poumons
  - Muscles
  - Tissus gras
- Fraction de  $^{133}\text{Xe}$  retenue dans les tissus gras



# COMPARAISON DES DOSES EQUIVALENTES DE L'EXPOSITION EXTERNE ET INTERNE



Doses équivalentes pour un temps d'exposition de 7 h dans un bâtiment réacteur de 1300 MW de puissance pendant une durée de 7 h – Activité initiale égale à 1 MBq.m<sup>-3</sup>

- **Poumons** :  $H_{\text{ext}}/H_{\text{int}} = 4$
- **Reste (tissus gras)**:  $H_{\text{ext}}/H_{\text{int}} = 19$
- **Autres organes**:  $H_{\text{ext}}/H_{\text{int}} > 100$

# CONCLUSION

- **Actualiser les données sur l'exposition au  $^{133}\text{Xe}$  dans un contexte industriel**
- **Etudier l'impact du changement des limites dosimétriques**
  - 96/29/Euratom :  $E=20$  mSv/an → 2013/59/Euratom :  $E=20$  mSv/an
  - 96/29/Euratom :  $H_{\text{crist}}=150$  mSv/an → 2013/59/Euratom :  $H_{\text{crist}}=20$  mSv/an
- **Comprendre les mécanismes de l'exposition au  $^{133}\text{Xe}$** 
  - **Expositions dans les bâtiments réacteur du parc nucléaire**
    - $\dot{E} = 1.41 \pm 0.01 \mu\text{Sv.h}^{-1}$
    - $\dot{H}_{\text{cristallin}} = 1.64 \pm 0.18 \mu\text{Sv.h}^{-1}$
  - **Exposition des poumons et des voies respiratoires**
    - Augmentation de 20% du débit de dose efficace

■  **$\dot{E} < 5 \mu\text{Sv.h}^{-1} \Rightarrow$  Critère de radioprotection actuel adapté**