



Etude de l'exposition externe au xénon-133 pour l'ensemble du parc en exploitation

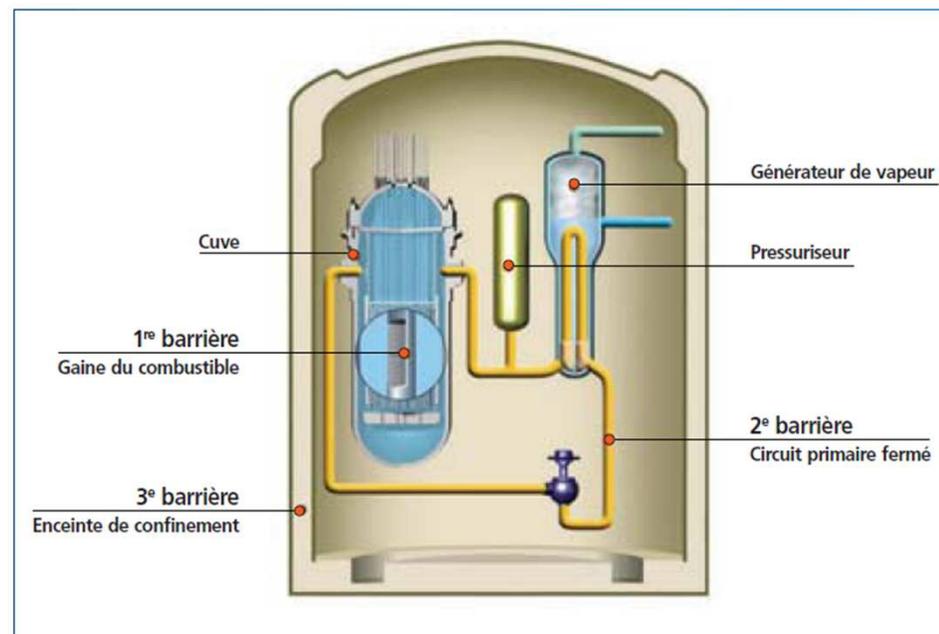
A. Périer, G. Le Meur, E. Courageot, C. Monier,
D. Thers, B. Le-Guen, S. Blond, G. Cordier,
E. Gaillard-Lecanu

SFRP, 25 & 26 Mars 2014



CONTEXTE

- **Produits de fission**
 - Dans la gaine du combustible
 - Dans le circuit primaire en cas de défaut de gaine du combustible
- **Arrêt de tranche**
 - Critères radiochimiques
 - Ouverture du circuit primaire
 - Si fuite de gaine : Dilution potentielle des produits de fission dans l'air du BR
- **Surveillance de la contamination de l'air**
 - Chaînes KRT
 - Balises gaz
- **^{133}Xe**
 - Dans l'air du BR
 - Demi-vie de 5.2 j
 - Émission de photons de 31.6 keV et de 81.0 keV, et d'électrons
- **Scénario d'exposition**
 - Personnel au niveau du plancher piscine lors d'un arrêt de tranche



Source EDF

- **3 barrières de confinement**
 - Gaine du combustible (1^{ère} barrière),
 - Enveloppe du circuit primaire (2^{ème} barrière),
 - Enceinte du Bâtiment Réacteur (BR) (3^{ème} barrière)

EXPOSITION AU XÉNON-133

▪ Etat de l'art

- Gaz rares radioactifs : exposition externe (ICRP 30)
- Dans un nuage semi-infini de ^{133}Xe : $\dot{E} = 5.0 \mu\text{Sv.h}^{-1}.\text{MBq}^{-1}.\text{m}^3$ (ICRP 68)
- Etudes existantes effectuées dans un nuage semi-infini de ^{133}Xe

▪ Problématiques

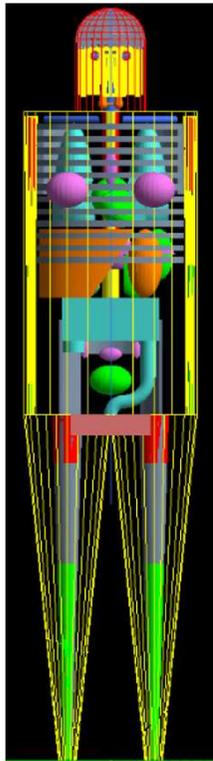
- Etudier l'exposition externe au ^{133}Xe dans un BR (configuration réaliste)
- Etudier l'impact du changement de la limite dosimétrique au cristallin

▪ Méthode

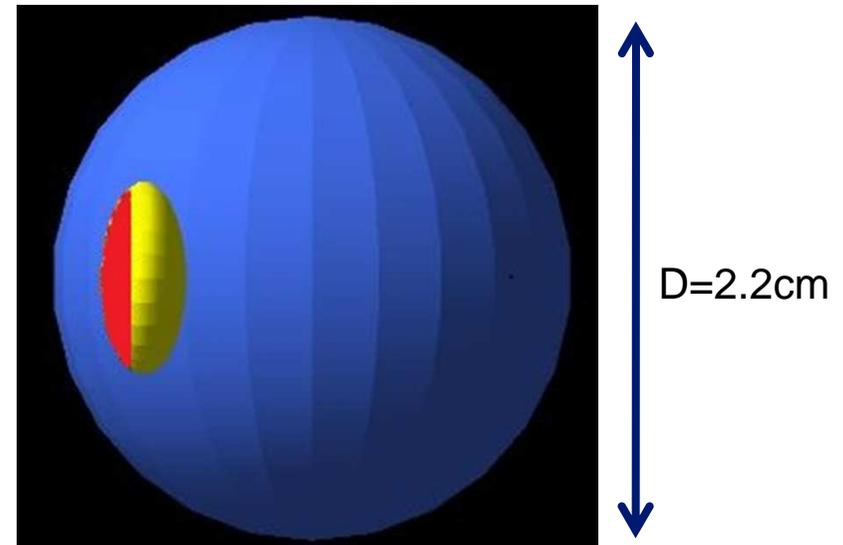
- Modéliser l'exposition externe au ^{133}Xe dans un nuage semi-infini pour comparer avec les études existantes
- Modéliser l'exposition externe au ^{133}Xe dans un BR
- Déterminer l'endroit où l'exposition est maximale
- Estimer les débits de dose (cristallin, corps entier) par modélisation numérique

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



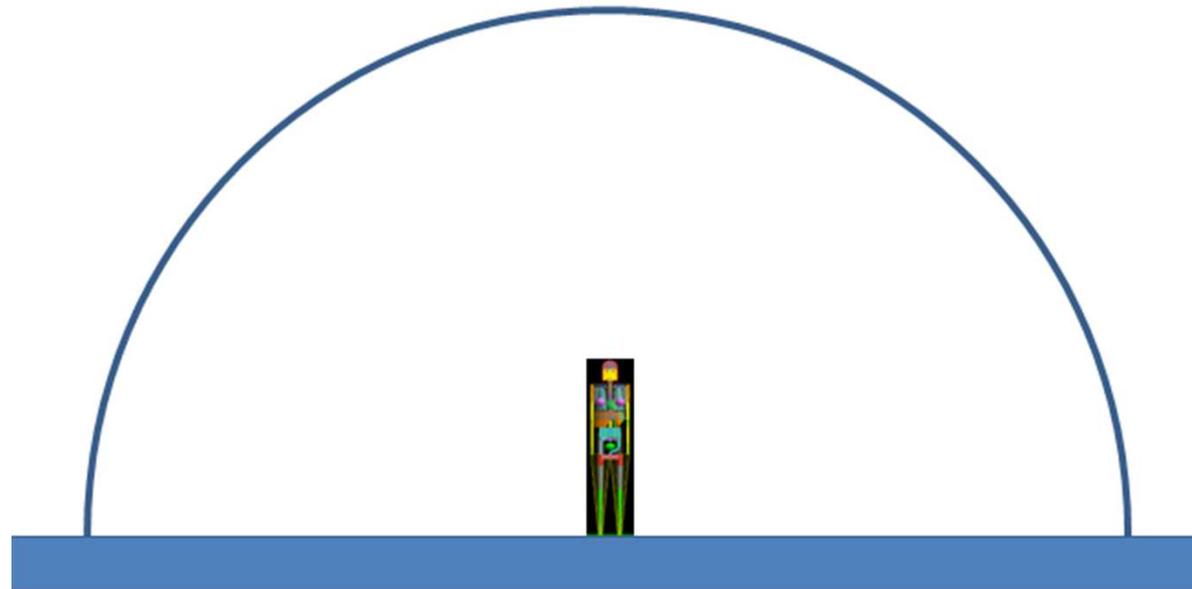
Fantôme MIRD



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

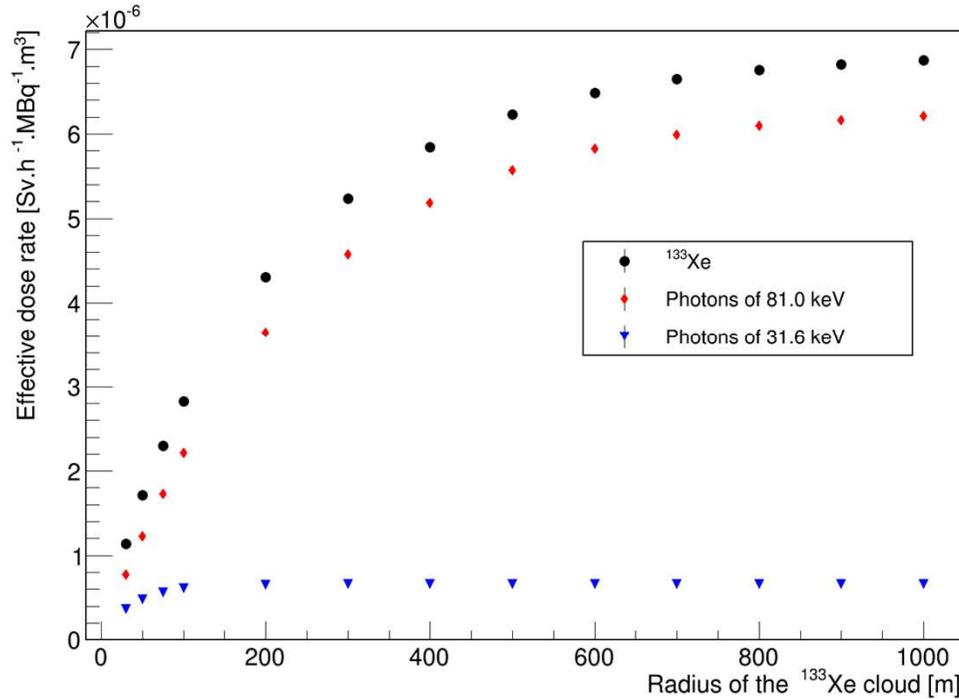
EXPOSITION DANS UN NUAGE SEMI-INFINI

- Valider le modèle par une comparaison avec les données de référence dans un nuage semi-infini de ^{133}Xe
- Simulations GEANT4
 - Sans BR
 - Sources : Photons de 31.6 keV (46.9%) et 81.0 keV (37.3%)
 - Extrapolation des débits de dose efficace $\dot{E}_{31.6 \text{ keV}}$ et $\dot{E}_{81.0 \text{ keV}}$



EXPOSITION DANS UN NUAGE SEMI-INFINI

EFFECTIVE DOSE RATE



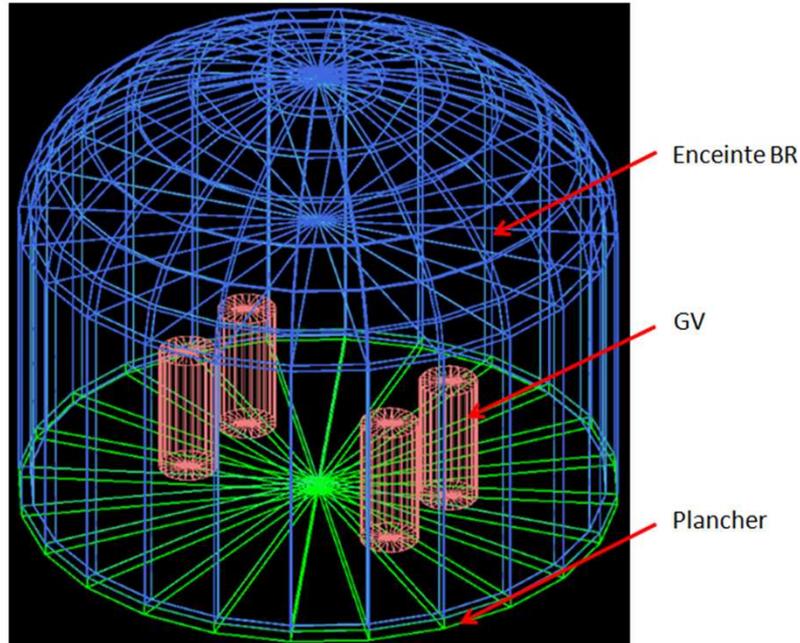
Source	\dot{E} ($\mu\text{Sv.h}^{-1}.\text{MBq}^{-1}.\text{m}^3$)
¹³³ Xe	6.87 ± 0.03
Photons 31.6 keV	0.66 ± 0.01
Photons 81.0 keV	6.21 ± 0.03

Résultats uniquement avec des erreurs statistiques

Publications	R _{nuage} (m)	Méthodes	Dose rate ($\mu\text{Sv.h}^{-1}.\text{MBq}^{-1}.\text{m}^3$)
Poston & Snyder (1974)	infini	Monte-Carlo	$\dot{E}=6.01$
Piltingsrud & Gels (1985)	1000	Analytique	$\dot{H}_p(10)=7.24$
Eckerman & Ryman (1993)	infini	Monte-Carlo	$\dot{E}=5.62$
Perier (2013)	1000	Monte-Carlo	$\dot{E}=6.87 \pm 0.03$

▪ **Résultat compatible ⇒ Validation de la méthode**

MODÉLISATION DU BÂTIMENT RÉACTEUR



Géométrie du BR (1300 MW)
au-dessus du plancher piscine

■ Géométrie du BR au dessus du plancher piscine

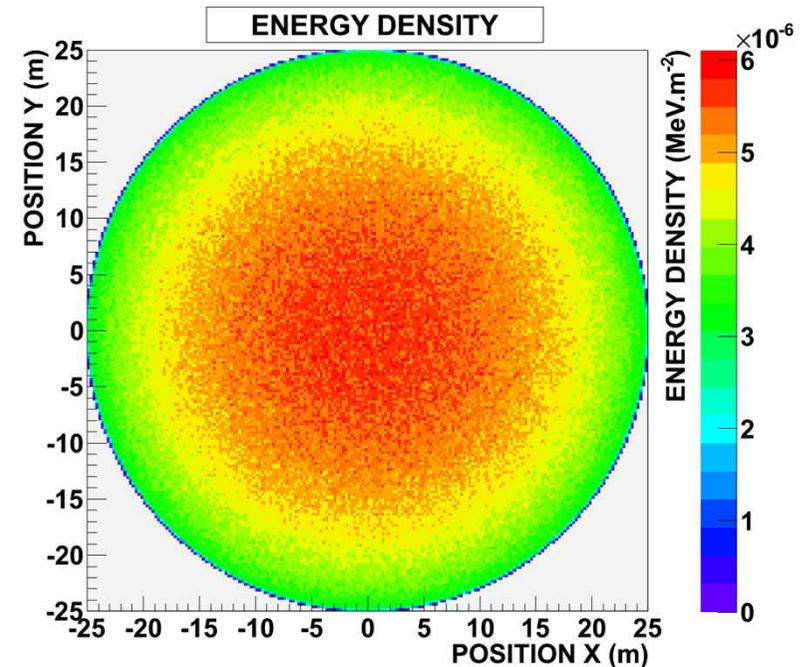
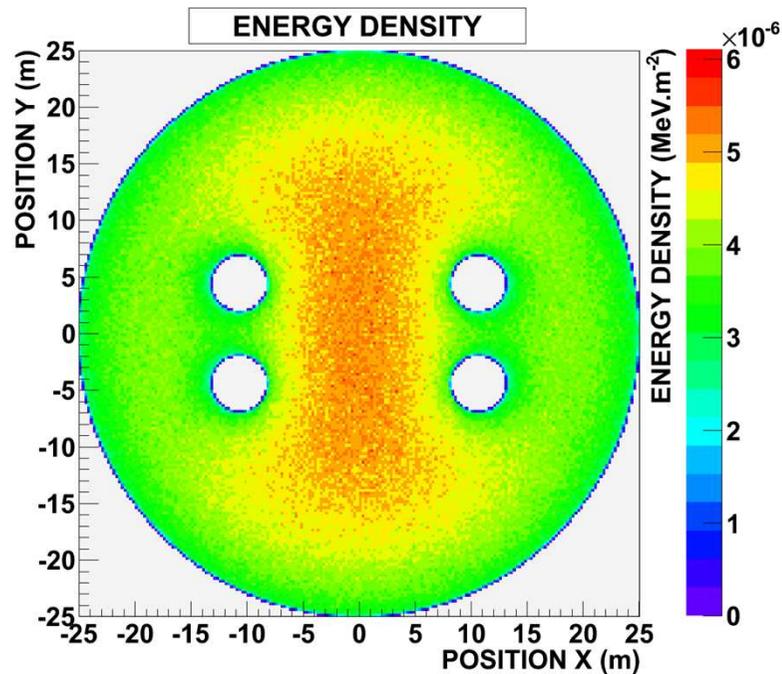
- 1300 MW
- Base cylindrique (D=50 m, H=25 m)
- Dôme (H=14m)
- Générateur de vapeur (D=5 m, H = 11 m)

■ Scénarios d'exposition ⇒ Déterminer le scénario le plus pénalisant

- Géométrie intérieure du BR
- Position du fantôme

SCÉNARIO D'EXPOSITION DANS LE BR

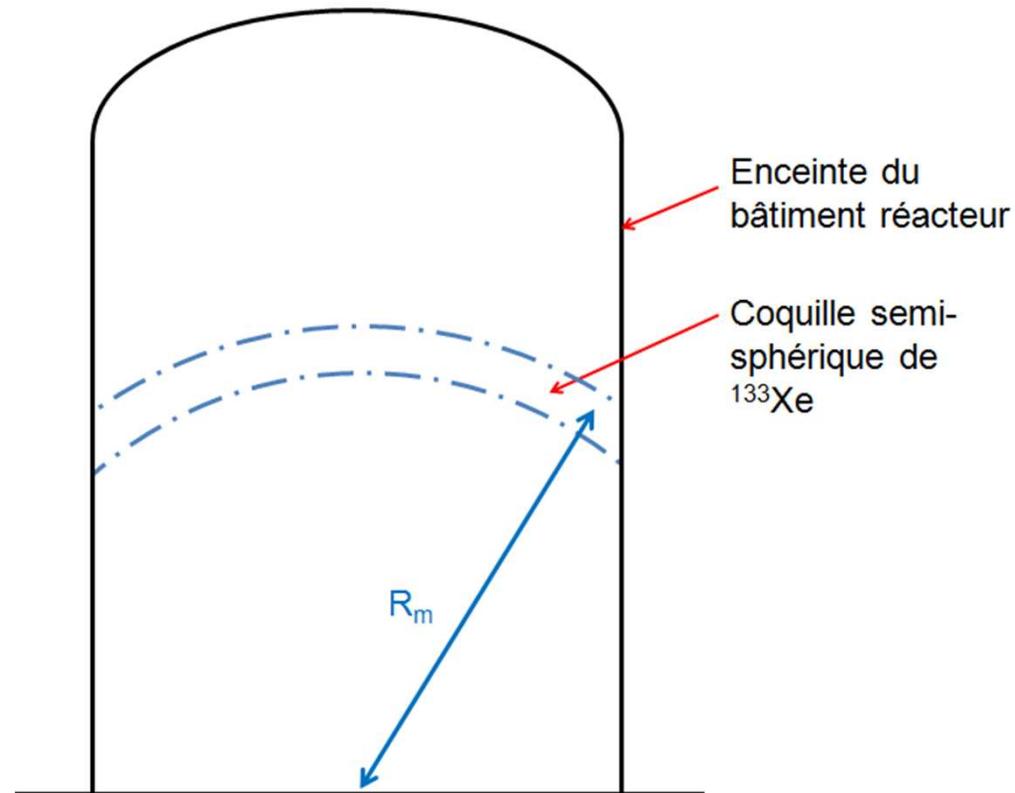
- Influence des générateurs de vapeur
 - Densité d'énergie maximale au milieu du plancher piscine
 - Diminution de la densité d'énergie avec les générateurs de vapeur



Densités d'énergie des photons sur une surface située à 1 m de hauteur du plancher piscine - 5×10^8 désintégrations de ^{133}Xe

- Scénario d'exposition
 - BR sans générateurs de vapeur
 - Au centre du BR

MODÉLISATION DU NUAGE DE XÉNON-133



■ Technique de simulation

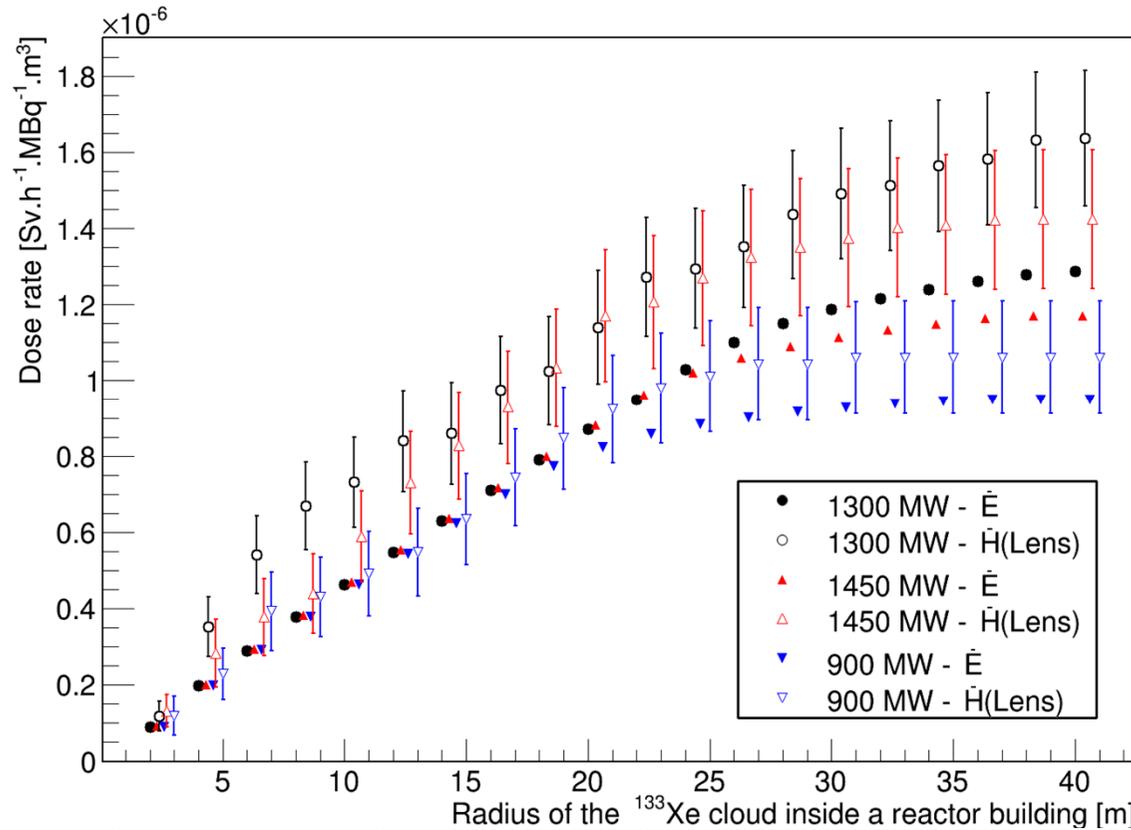
- Volume du nuage de ^{133}Xe dans le BR
 - ⇒ Découpage du nuage en coquilles semi-sphériques
 - ⇒ Somme des contributions dosimétriques de chacune des coquilles

■ Avantage

- Connaître la contribution dosimétrique du nuage de ^{133}Xe

DÉBITS DE DOSE

DOSE RATE INSIDE A REACTOR BUILDING



BR	Vol (m^3)	\dot{E} ($\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$)	\dot{H}_{crist} ($\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$)	$\dot{H}_{\text{crist.rad.sens}}$ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$)
900 MW	34.3×10^3	0.95 ± 0.01	1.06 ± 0.15	1.09 ± 0.27
1450 MW	49.6×10^3	1.17 ± 0.01	1.42 ± 0.19	1.72 ± 0.35
1300 MW	68.5×10^3	1.29 ± 0.01	1.64 ± 0.19	1.60 ± 0.32

Débits de dose exprimés pour une activité volumique de ^{133}Xe égale à $1 \text{ MBq}\cdot\text{m}^{-3}$
(incertitudes uniquement statistiques)

CONCLUSION

■ Exposition au ^{133}Xe

- Dans un nuage de ^{133}Xe : $\dot{E}=5 \mu\text{Sv.h}^{-1}.\text{MBq}^{-1}.\text{m}^3$ (ICRP 68)
- Modélisation validée au sein d'un nuage semi-infini par comparaison avec les données bibliographiques
- Modélisation de l'exposition dans un BR

■ Problématiques

- Etudier l'exposition externe dans un BR avec un scénario conservatif pour une activité volumique de ^{133}Xe égale à 1 MBq.m^{-3}
 - $\dot{E} < 5 \mu\text{Sv.h}^{-1}$
 - $\dot{H}_{\text{crist}} < 5 \mu\text{Sv.h}^{-1}$
- Etudier l'impact du changement de la limite dosimétrique au cristallin
 - $H_{\text{crist}}=150 \text{ mSv/an}$ – prochainement : $H_{\text{crist}}=20 \text{ mSv/an}$

⇒ **Conséquence positive pour les travailleurs**

■ Perspectives

- Etude de la faisabilité d'une validation expérimentale dans un BR
- Validation partielle avec des dosimètres et un générateur de rayons X

MERCI