

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

A
AREVA

PRISE EN COMPTE DES INCERTITUDES DANS LA SURVEILLANCE DE LA CONTAMINATION INTERNE

*E. Davesne¹, P. Casanova², E. Chojnacki¹, F. Paquet¹,
E. Blanchardon¹*

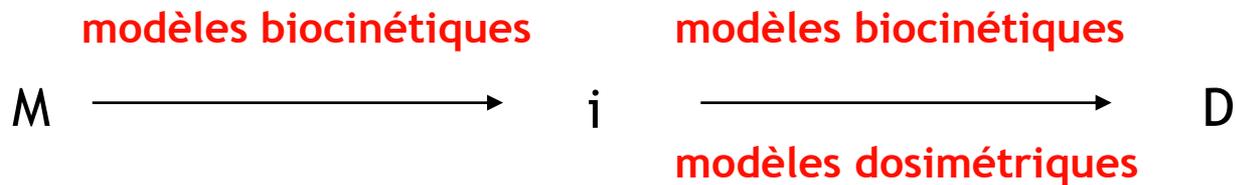
17 Juin 2009

¹ IRSN

² AREVA NC

CONTEXTE

- Recommandations de la CIPR : limite de dose annuelle + contraintes de dose
- Programme de surveillance = technique de mesure (LD) + période de surveillance (T)
- Mesure interprétée en incorporation et dose



- Dose Minimale Détectable = évaluation de la qualité du programme¹

$$DMD = \frac{LD}{B(T)} \times e(50)$$

← coefficient de dose (DPUI)

fonction biologique
(prédiction du modèle pour 1 Bq incorporé)

¹ Carbaugh 2003

INCERTITUDES

■ Conditions d'exposition:

■ Date(s) de contamination

➤ *Incorporation(s) aiguë(s) ? Quel jour ? Contamination chronique ?*

■ Propriétés physico-chimiques du contaminant

➤ *Taille des particules? Absorption vers le sang?*

■ Mesure

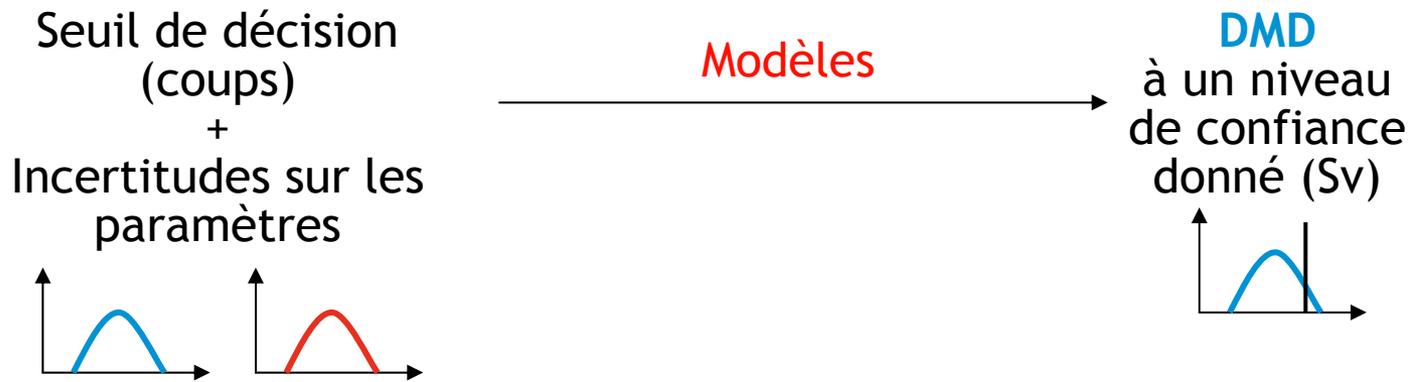
■ Echantillonnage de l'excrétion

■ Erreur de mesure

➤ *Quelle est la précision de la mesure ?*

OBJECTIFS

- La dose minimale détectable est sujette à incertitudes.



Avec quelle confiance pouvons-nous affirmer qu'une contrainte de dose n'est pas dépassée ?

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

MODELISATION MATHEMATIQUE

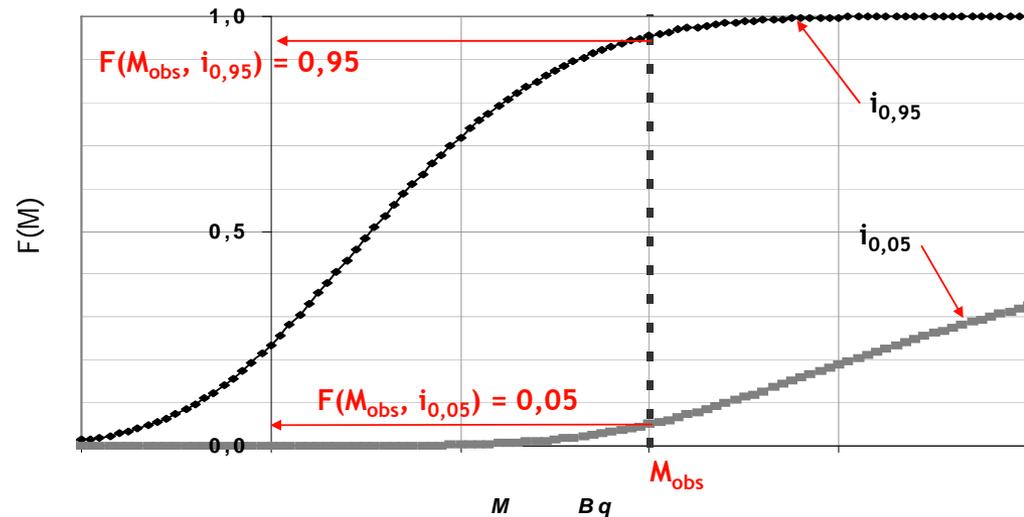
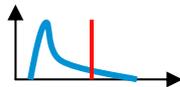
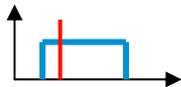
METHODE CLASSIQUE¹

- Approche fréquentiste
- Incorporation = fixe mais inconnue

$$M_i = i_0 \times B(t_i, x_i) \pm \Delta M_i$$

date de contamination,
paramètre biocinétique

erreur de mesure



- Calcul des niveaux de confiance de l'incorporation

¹ Molokanov et al 2009

METHODE WELMOS¹

- Approche Bayésienne
- Incorporation = variable aléatoire

$$P(i|M_{\text{obs}}) = C \times L(M_{\text{obs}} | i) \times P(i)$$

The diagram illustrates the Bayesian formula $P(i|M_{\text{obs}}) = C \times L(M_{\text{obs}} | i) \times P(i)$. Three arrows point from descriptive text below to the corresponding terms in the formula above:

- An arrow points from "Probabilité *a posteriori* de l'incorporation" to $P(i|M_{\text{obs}})$.
- An arrow points from "Connaissance apportée par la mesure" to $L(M_{\text{obs}} | i)$.
- An arrow points from "Probabilité *a priori* de l'incorporation" to $P(i)$.

- Calcul de la probabilité *a posteriori* de la dose
- Méthode bien adaptée au calcul de dose post-incidentel

¹ Puncher and Birchall 2008

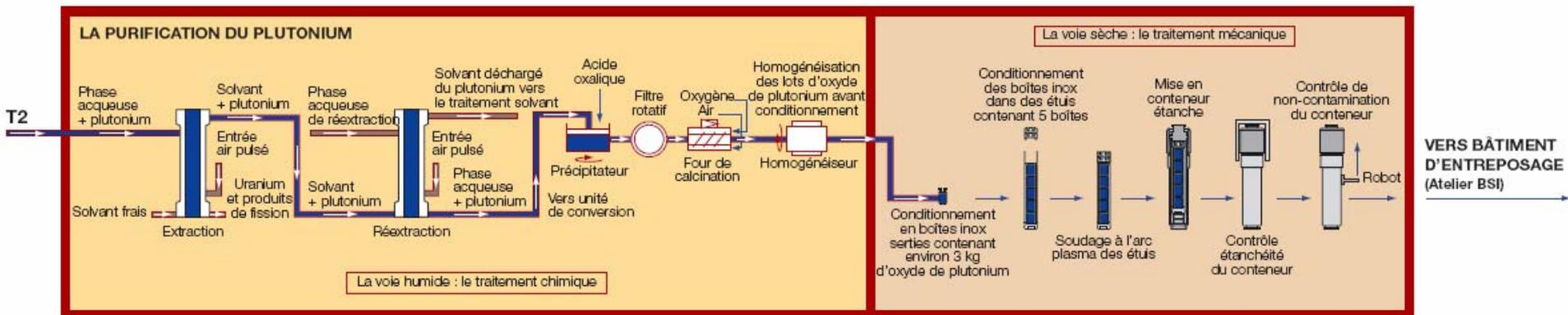
IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

APPLICATION DES METHODES

GROUPE DE TRAVAILLEURS ETUDIE

■ Purification et expédition du Pu (AREVA NC, La Hague)



■ Risque de contamination par des composés insolubles (PuO_2)

■ Intervention en boîtes à gants 1 à 2 fois par semaine

⇒ Surveillance par des mesures de selles tous les 6 mois

⇒ Scénario : incorporation aiguë à $0 < t < 180$ j

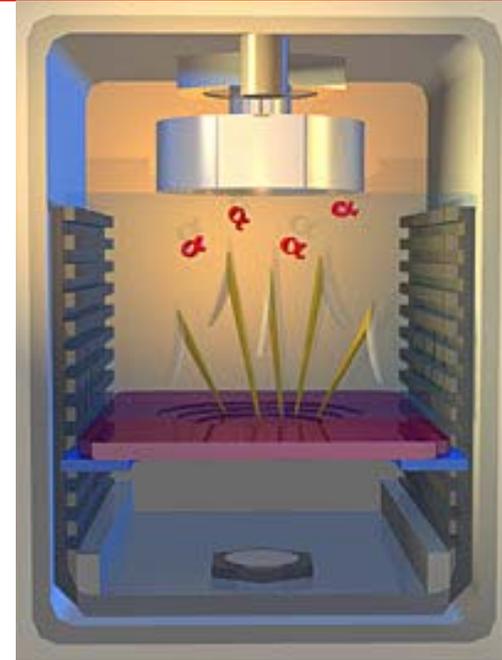
SPECTROMETRIE ALPHA

- Temps de comptage des échantillons :
 - 48 h
- Détermination du bruit de fond moyen :
 - 2,2 coups par 48 h

⇒ $SD = 4,2$ coups par 48 h

⇒ Erreur de mesure : Poisson

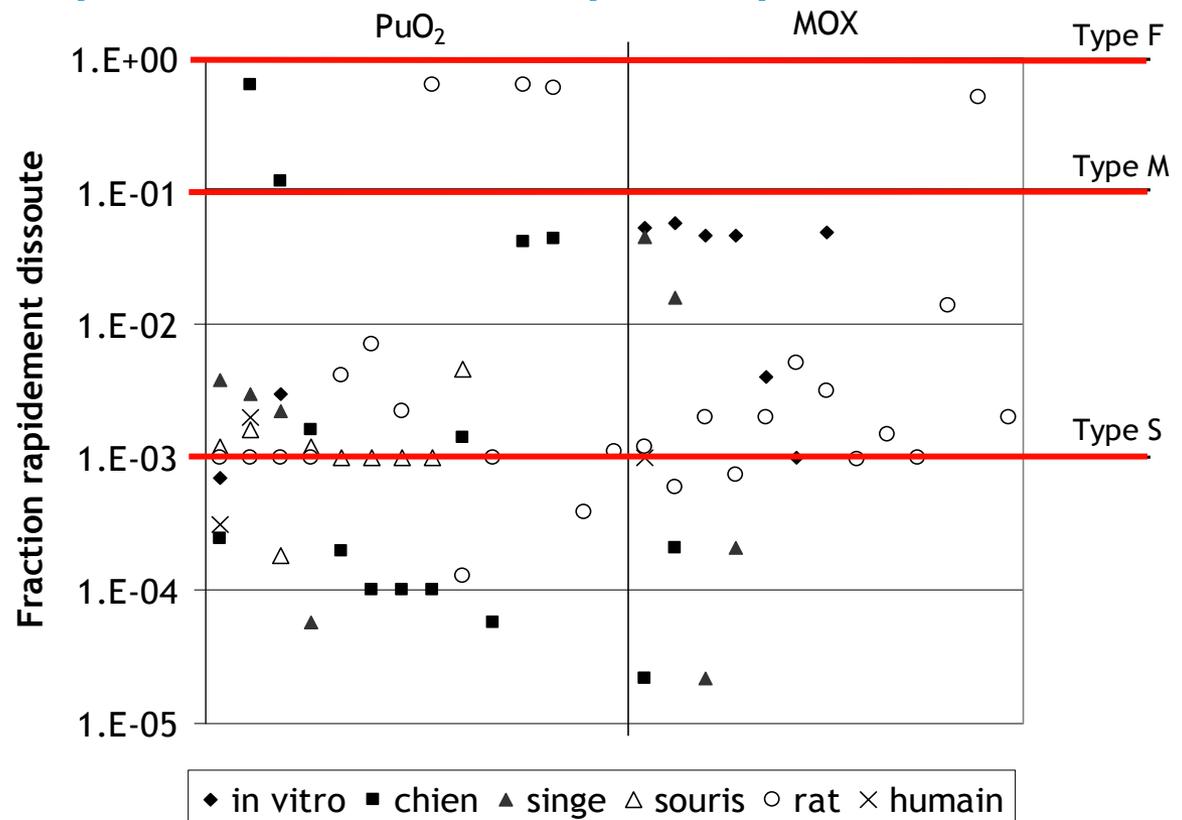
⇒ Erreur d'échantillonnage : lognormale ($\mu_g = 1$, $SF = 3$)



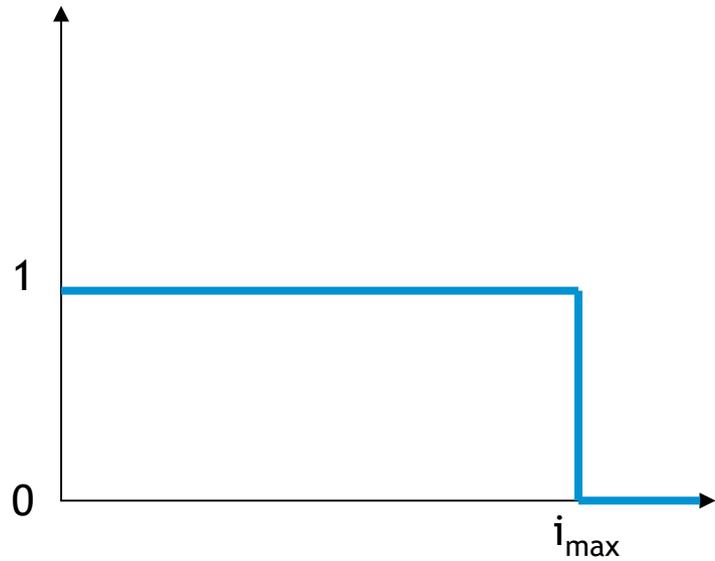
FORME PHYSICO-CHEMIQUE

- Distribution granulométrique des poudres de PuO_2
- Détermination des paramètres d'absorption pulmonaire pour le PuO_2 :

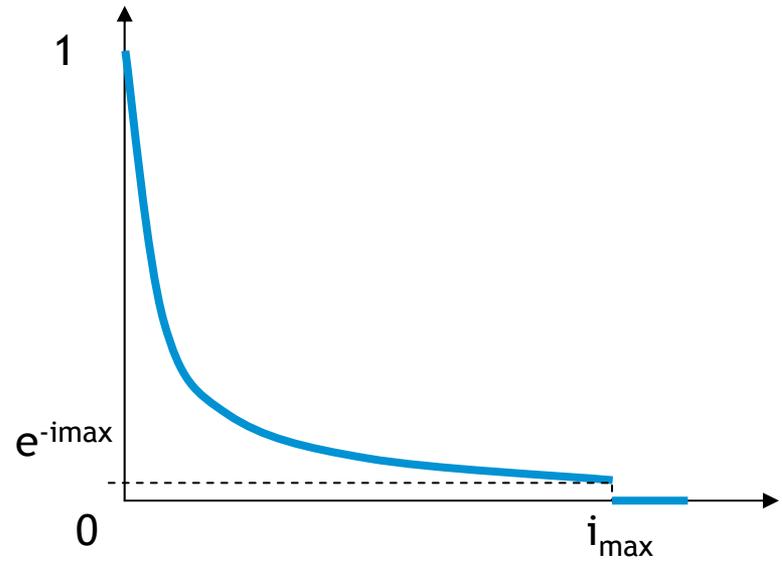
⇒ L'absorption du PuO_2 peut varier d'un facteur 10^4



PROBABILITES A PRIORI DE L'INCORPORATION



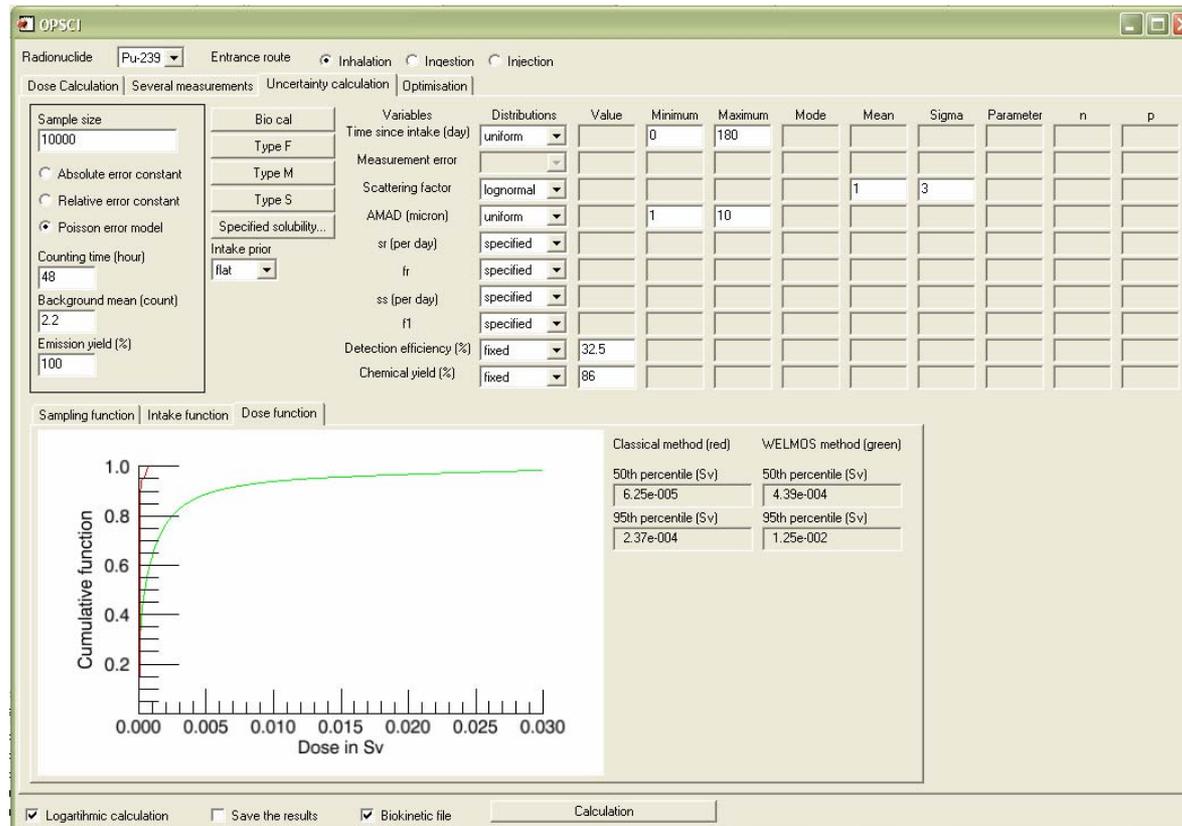
Uniforme



Exponentielle

OPSCI

- Calcul déterministe de la dose à partir d'une ou plusieurs mesures
- Calcul de la DMD et de l'IMD pour un programme de surveillance donné en prenant en compte les incertitudes des paramètres d'exposition



RESULTATS ET DISCUSSION

■ Incorporation (Bq)

Méthode	50ème percentile	95ème percentile
classique	0.37	6.6
WELMOS $P(i) = 1$	5.0	72
WELMOS $P(i) = e^{-i}$	0.56	2.4

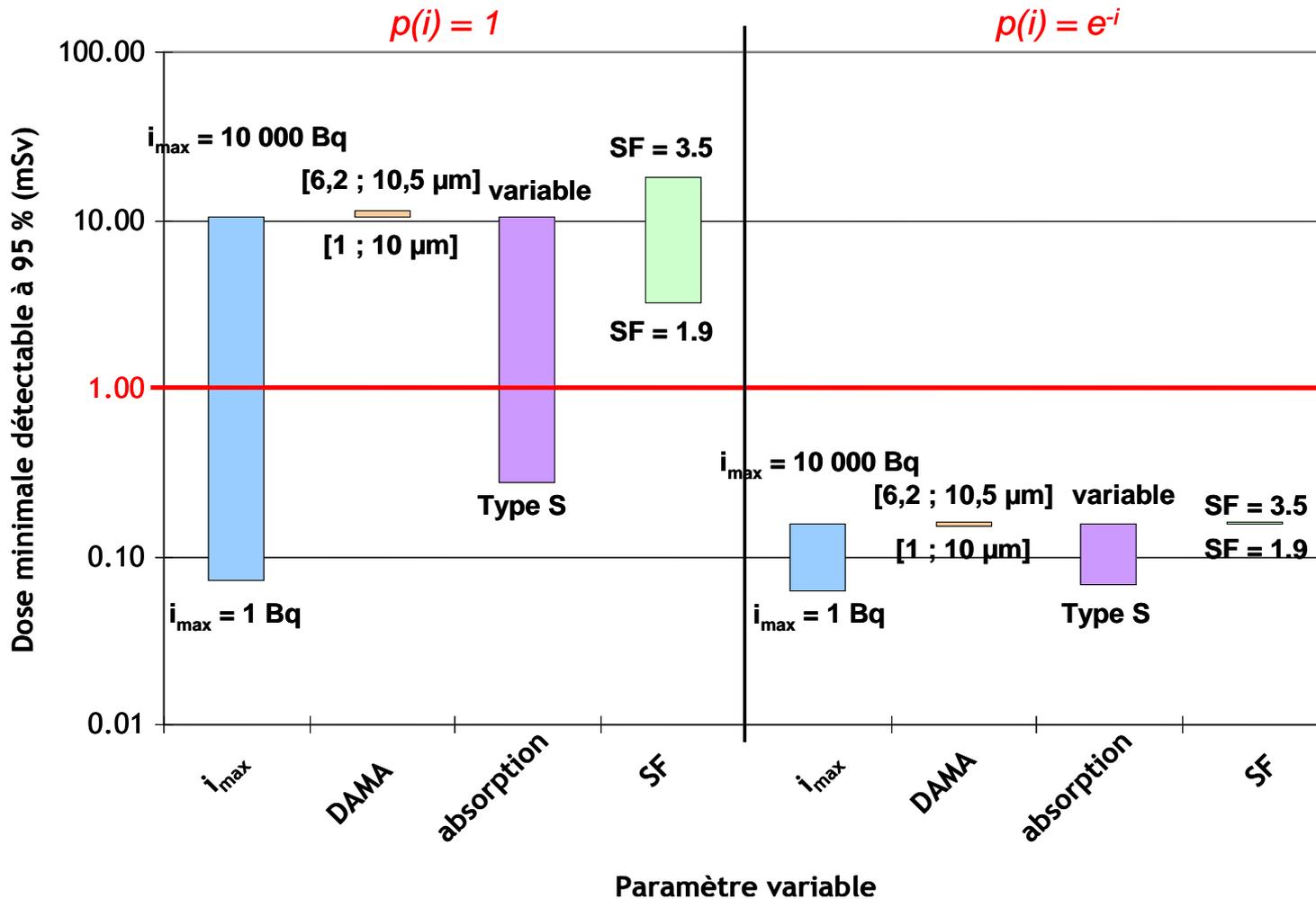
■ Dose (mSv)

Méthode	50ème percentile	95ème percentile
classique	0.07	0.26
WELMOS $P(i) = 1$	0.54	10.5
WELMOS $P(i) = e^{-i}$	0.01	0.16

- Incertitudes relatives importantes sur l'incorporation et la dose
- DMD restent faibles (< 20 mSv voire 1 mSv)
- $P(i) = 1$ entre 0 et 10 kBq trop prudent
- $P(i) = e^{-i}$ peut être plus réaliste.

Pour $0 < i < i_{\max}$, $P(i) = p$
 Pour $i > i_{\max}$, $P(i) = 0$

ETUDE DE SENSIBILITE



Paramètre variable

⇒ Paramètres les plus influents: probabilité a priori, l'absorption, le SF

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

- **Calcul de la dose minimale détectable à un niveau de confiance donné en prenant en compte les incertitudes**
 - ⇒ Méthode générale pour bâtir un programme de surveillance et estimer sa qualité
- **Influence de la probabilité a priori de l'incorporation sur le résultat**
 - ⇒ Etude d'une probabilité a priori adaptée à l'usine AREVA NC La Hague (α -prior¹)
 - ⇒ Meilleure modélisation de l'imprécision (réseaux Bayésiens imprécis)
- **Méthode applicable à tous les programmes de surveillance**
 - ⇒ Etude d'autres installations (préparation du MOX)

¹ Miller et al 2001

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

A
AREVA

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

estelle.davesne@irsn.fr