

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

A
AREVA

Développement d'un système expert pour la prise en compte des incertitudes dans la surveillance de la contamination interne

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

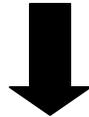
29 avril 2010

¹ IRSN

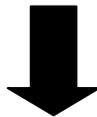
² AREVA NC

LA DOSIMETRIE INTERNE

Incorporation du radionucléide



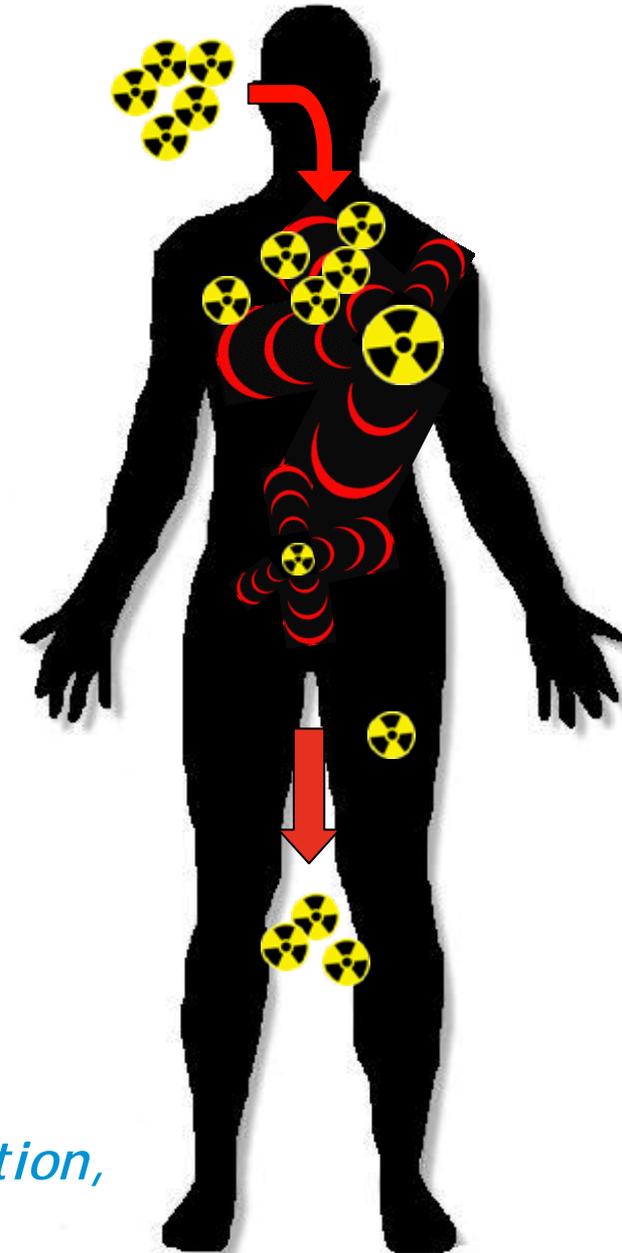
Répartition entre les différents organes
(modèle biocinétique)



Dépôt de l'énergie émise
(dose)



Élimination du radionucléide
(modèle biocinétique)



*Comment, à partir d'une mesure de l'excrétion,
estime-t-on la dose ?*

INTERPRETATION DES MESURES

- Les modèles prédisent pour une incorporation de 1 Bq :
 - l'activité présente dans chaque organe, $m_{retention}(t)$.
 - l'excrétion urinaire et fécale journalière de l'activité incorporée, $m_{excretion}(t)$,
 - la dose efficace engagée, e
- Ils permettent ainsi d'interpréter les mesures individuelles M et de calculer la dose d résultant de la contamination:

Mesure pour i Bq incorporés

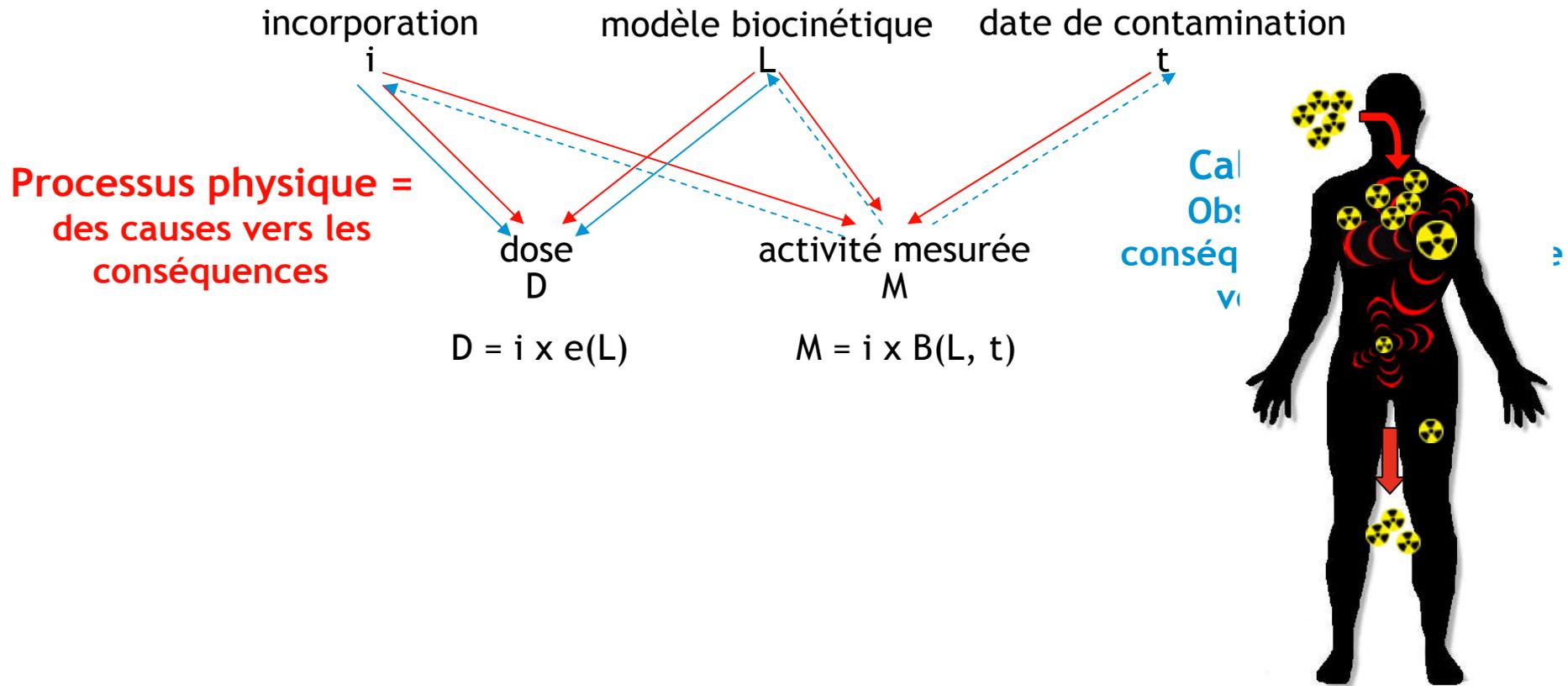
$$i = \frac{M}{m(t)}$$

Mesure pour 1 Bq incorporé

$$d = i \times e$$

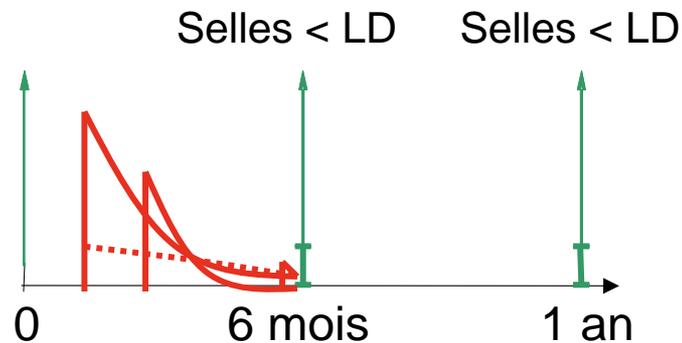
Dose efficace engagée
pour 1 Bq incorporé

CALCUL DE LA DOSE



PROBLEMATIQUE DE LA SURVEILLANCE

■ M. X réalisant la purification du Pu à La Hague :



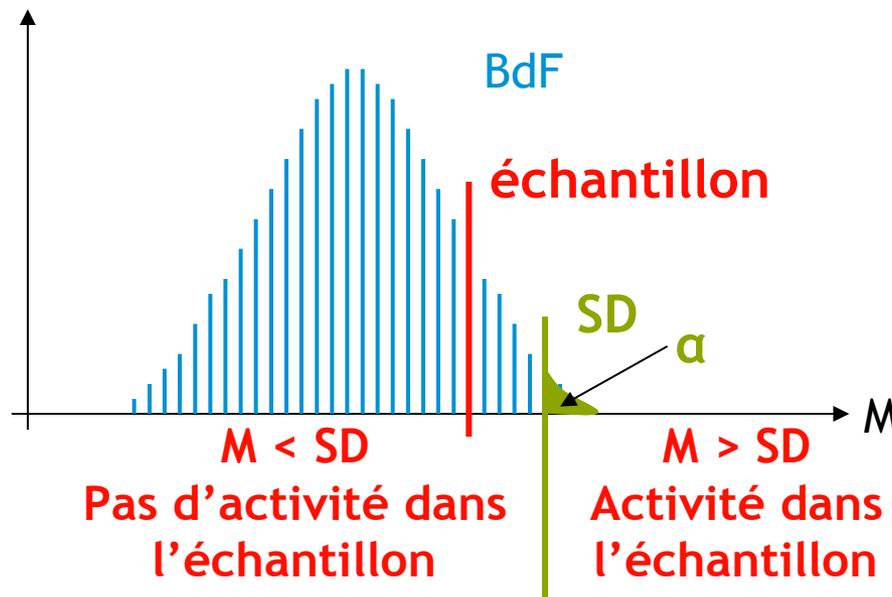
Peut-on conclure que M. X n'a pas été contaminé durant l'année ?

■ Pas si simple car cela dépend de :

- la date de contamination
- le modèle biocinétique
- la précision et de la sensibilité de la mesure

PROBLEMATIQUE DE LA MESURE

■ Présence de bruit de fond variable

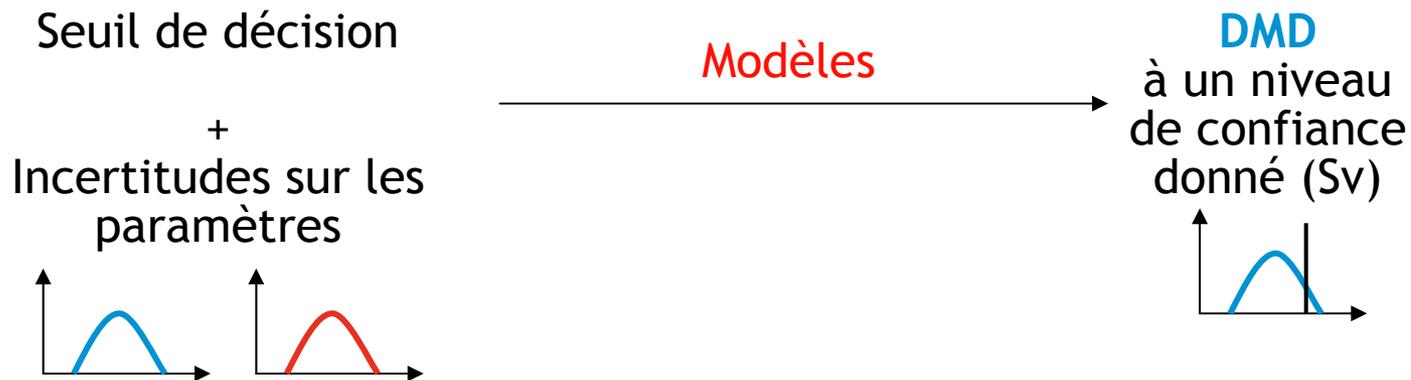


- Est-ce que ce résultat induit la présence ou non d'activité dans l'échantillon ?
- Construction d'un seuil de décision qui permet d'assurer qu'une mesure est positive avec une probabilité α de se tromper

OBJECTIFS

Quelle est la sensibilité du programme de surveillance en tenant compte des incertitudes ?

*⇒ Développement d'un système expert pour déterminer le meilleur programme :
le - contraignant, le + sensible*



Comment calculer la DMD ?

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

MODELISATION DES INCERTITUDES

INCERTITUDES

■ Conditions d'exposition:

■ Date(s) de contamination

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

■ Modèle biocinétique

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

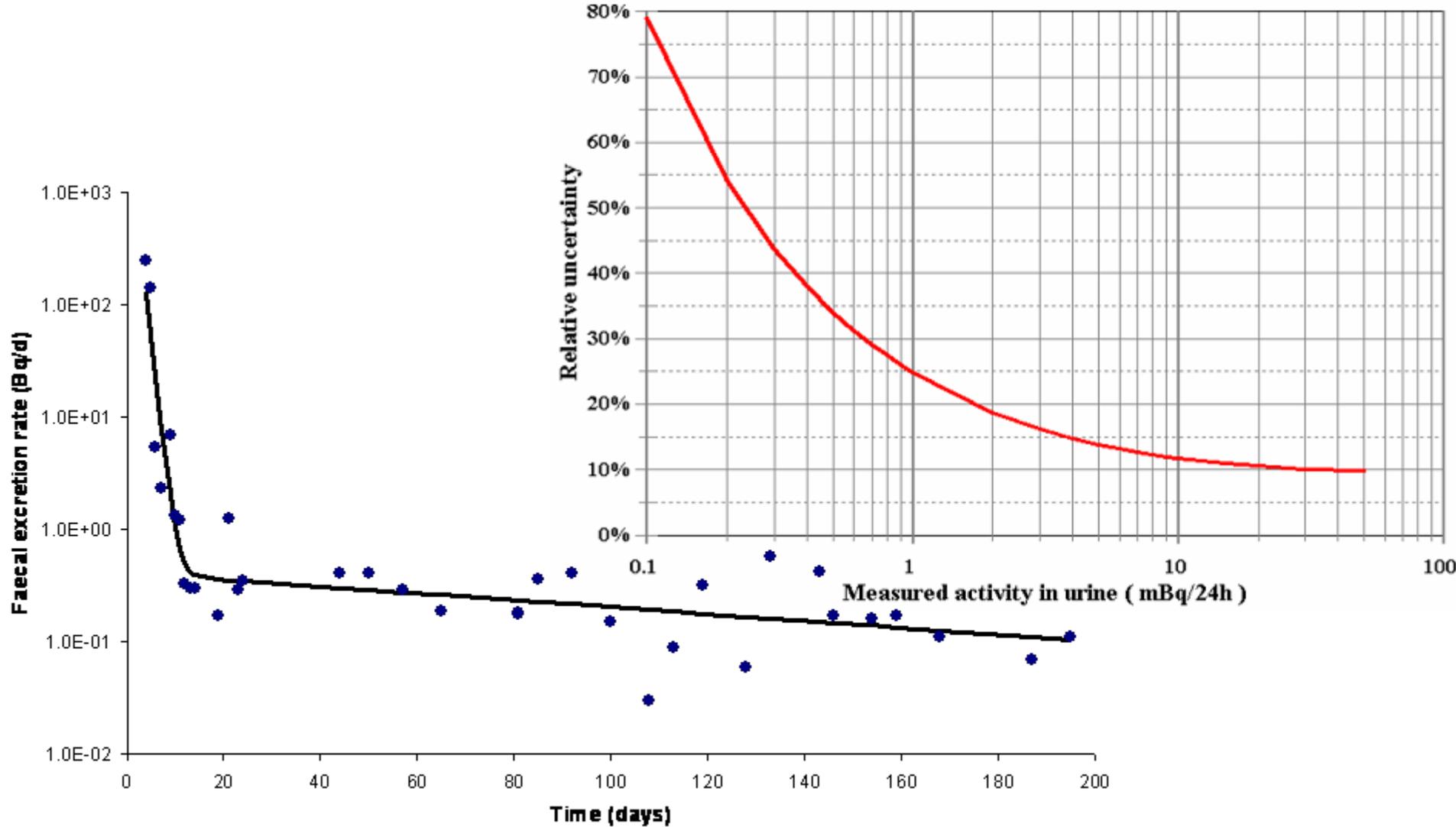
■ Mesure

■ Echantillonnage de l'excrétion

■ Erreur de mesure

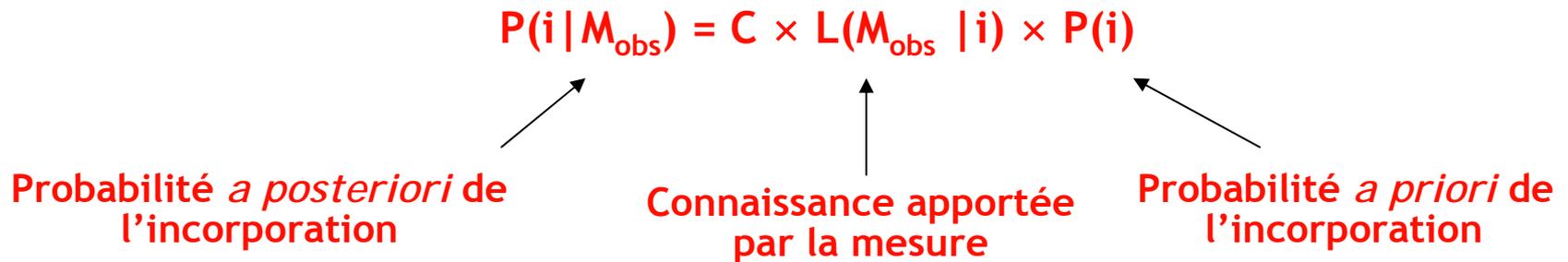
➤ *Quelle est la précision de la mesure ?*

VARIABILITE DE L'EXCRETION ET ECHANTILLONAGE



PRINCIPES DES METHODES

- Approche Bayésienne
- Paramètre = variable aléatoire

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


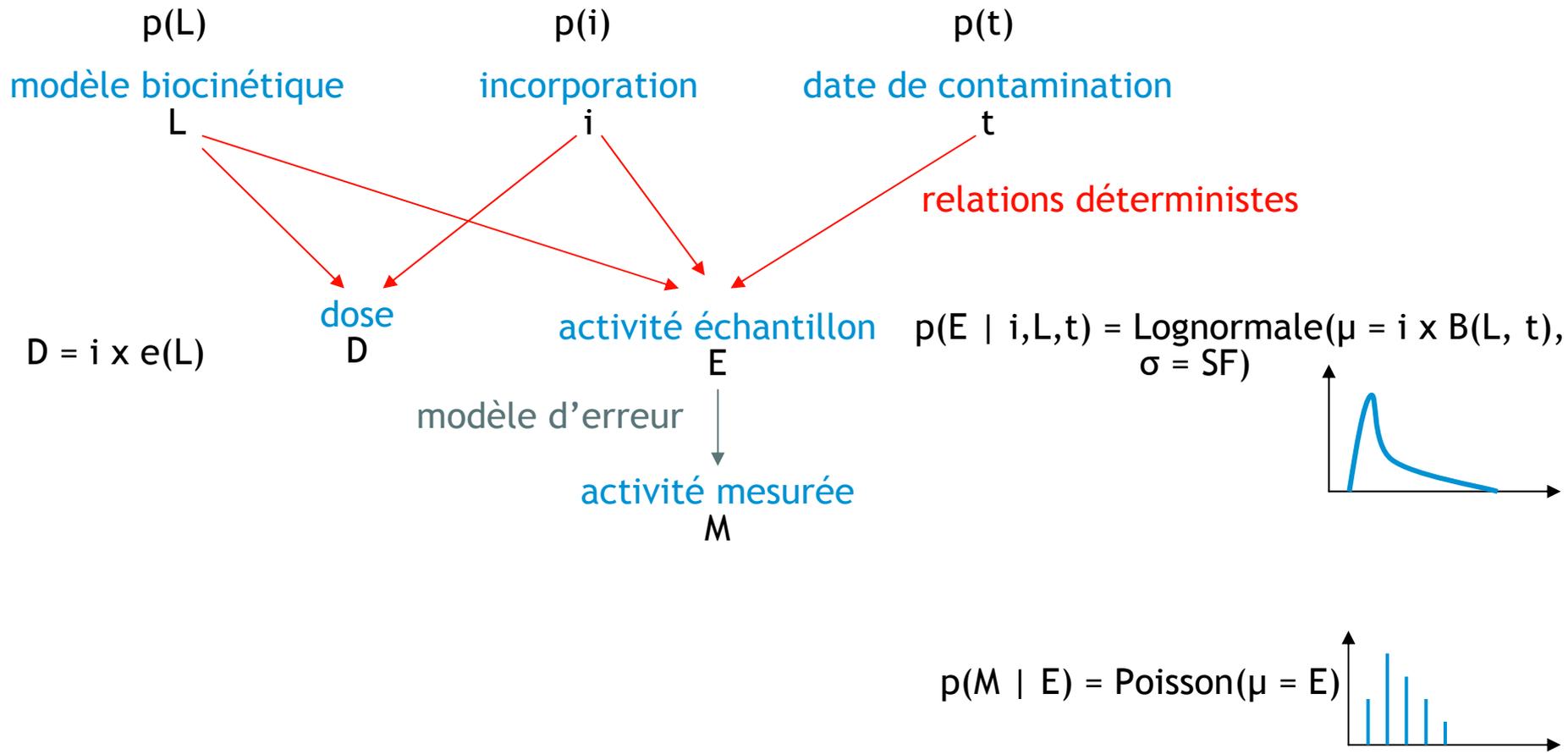
Probabilité *a posteriori* de l'incorporation

Connaissance apportée par la mesure

Probabilité *a priori* de l'incorporation

- Calcul de la probabilité *a posteriori* de la dose
- Réseau Bayésien = discrétisation des variables

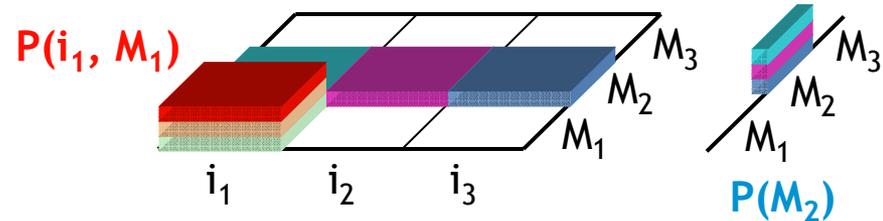
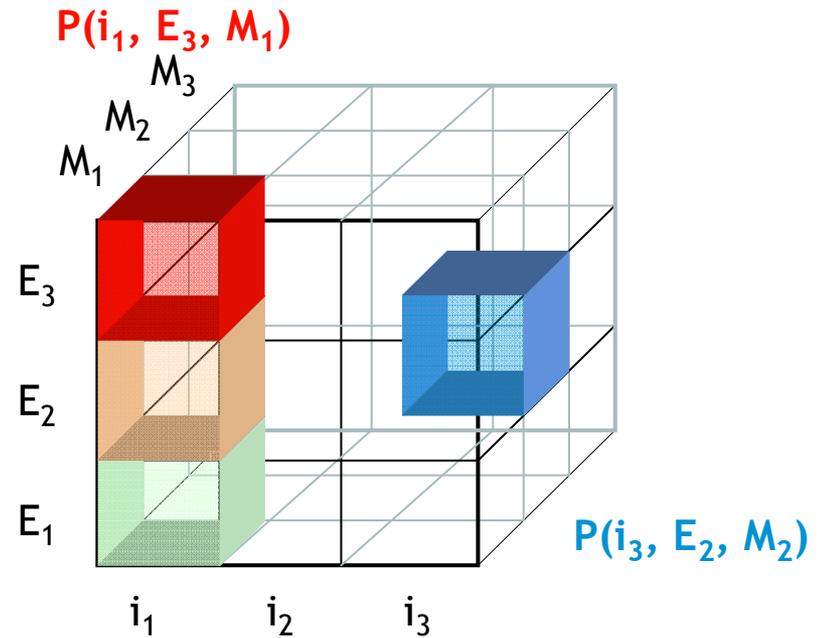
RESEAU BAYESIEN DE L'ETUDE



FONCTIONNEMENT DU RESEAU BAYESIEN

Réseau	Hypothèses	Discrétisation
i	$P(i)$	i_1, i_2, i_3
E	$P(E i)$	E_1, E_2, E_3
M	$P(M E)$	M_1, M_2, M_3

On cherche $P(i|M = M_{obs})$



- ↑ mise à jour
initialisation ↓
- Calcul de $P(i_j, E_k, M_l)$

$$P(i_j, E_k, M_l) = P(M_l|E_k) \times P(E_k|i_j) \times P(i_j)$$
 - Calcul de $P(i_j, M_l)$

$$P(i_j, M_l) = \sum P(i_j, E_k, M_l) \text{ pour tous les } k$$
 - Calcul de $P(M_{obs})$
 - Calcul de $P(i_j | M = M_{obs})$

$$P(i_j | M = M_{obs}) = P(i_j, M_{obs}) / P(M_{obs})$$

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

LOGICIEL OPSCI

FONCTIONNALITES

■ Définition des paramètres d'entrée

- Conditions d'exposition
- Mesure

■ Module « Calcul de dose »

- Calcul déterministe de la dose résultant d'une contamination interne conformément à la réglementation française et aux modèles de la CIPR

■ Module « Evaluation du programme de surveillance »

- Prise en compte des incertitudes
- Calcul de la distribution a posteriori de l'incorporation et de la dose
- Détermination de la Dose Minimale Détectable = critère de sensibilité du programme

■ Module « Optimisation du programme de surveillance »

- Définition des programmes de surveillance à évaluer
- Définition de la discrétisation des variables
- Calcul de l'intervalle de la DMD pour chaque programme par le réseau Bayésien

OPSCI : Module «Evaluation du programme »

OPSCI

Radionuclide: Pu-239 Entrance route: Inhalation Ingestion Injection

Dose Calculation Several measurements Uncertainty calculation Optimisation

Sample size: 10000

Bio cal: Type F Type M Type S

Absolute error constant Relative error constant Poisson error model

Counting time (hour): 48

Background mean (count): 2.2

Emission yield (%): 100

Intake prior: flat

Variables	Distributions	Value	Minimum	Maximum	Mode	Mean	Sigma	Parameter	n	p
Time since intake (day)	uniform		0	180						
Measurement error										
Scattering factor	lognormal					1	3			
AMAD (micron)	uniform		1	10						
sr (per day)	specified									
fr	specified									
ss (per day)	specified									
f1	specified									
Detection efficiency (%)	fixed	32.5								
Chemical yield (%)	fixed	86								

Sampling function Intake function Dose function

Classical method (red)		WELMOS method (green)	
50th percentile (Sv)	6.25e-005	50th percentile (Sv)	4.39e-004
95th percentile (Sv)	2.37e-004	95th percentile (Sv)	1.25e-002

Logarithmic calculation Save the results Biokinetic file Calculation

OPSCI : Module « Optimisation du programme »

OPSCI

Radionuclide: C-11
Entrance route: Inhalation Ingestion Injection

Dose Calculation | Several measurements | Uncertainty calculation | **Optimisation**

Definition of parameters for optimisation

Radionuclide	Intake pattern	Measurement type	Interval	Measurement result (count)	Counting time (h)	Mean background (count)	Emission yield (%)	Detection efficiency (%)	Chemical yield (%)	Scattering factor
Pu-239	acute	Urine	6 months	5	48	2.2	100	32.5	86	3

Fill table

Radionuclide	Pattern	Measurement type	Interval	Measurement result (count)	Counting time (h)	Mean background (count)	Emission yield (%)	Detection efficiency (%)	Chemical yield (%)	Scattering factor	MDD (S)
Pu-239	acute	Feces	6 months	5	48	2.2	100	32.5	86	3	
Pu-239	acute	Urine	6 months	5	48	2.2	100	32.5	86	3	

Context menu options:

- Delete the row
- Simultaneous measures
- Alternated measures

Logarithmic calculation Save the results Biokinetic file Calculation

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

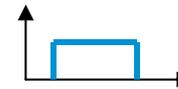
APPLICATION AUX TRAVAILLEURS REALISANT LA PURIFICATION DU PU A AREVA NC LA HAGUE

MODELISATION

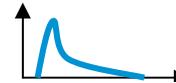
- Inhalation supposée de PuO₂ surveillée par des mesures de selles tous les 6 mois

- Lois de probabilités des paramètres incertains :

- Date de contamination : uniforme dans [0, 180 j]



- Variabilité de l'excrétion : lognormale ($\mu_g = 1$, SF = 3)

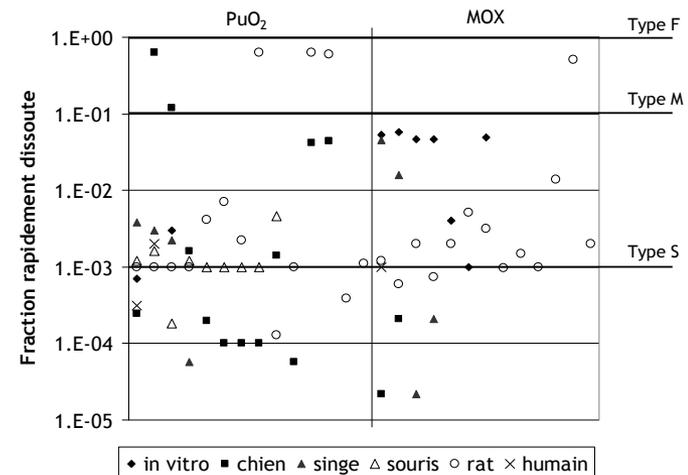


- DAMA : uniforme dans [1, 10 μm]



- Absorption vers le sang : variable

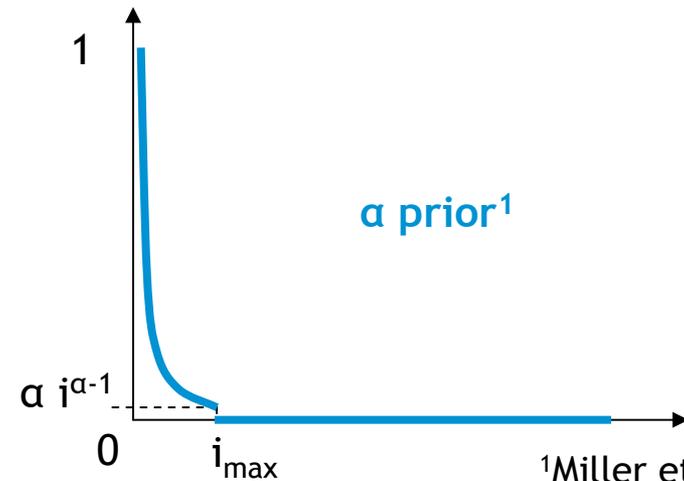
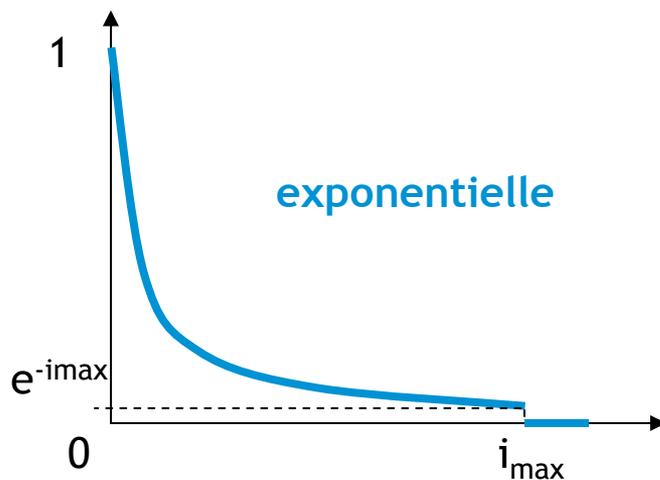
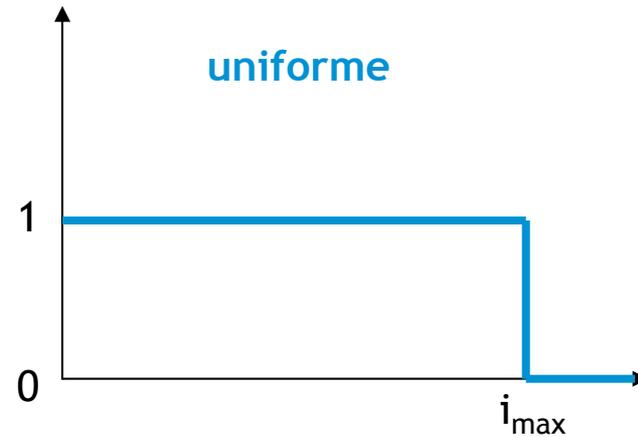
- Erreur de mesure : Poisson



- M_{obs} = seuil de décision

- Probabilités *a priori* de l'incorporation : uniforme, exponentielle, alpha-prior

PROBABILITES A PRIORI DE L'INCORPORATION



¹Miller et al, 2001

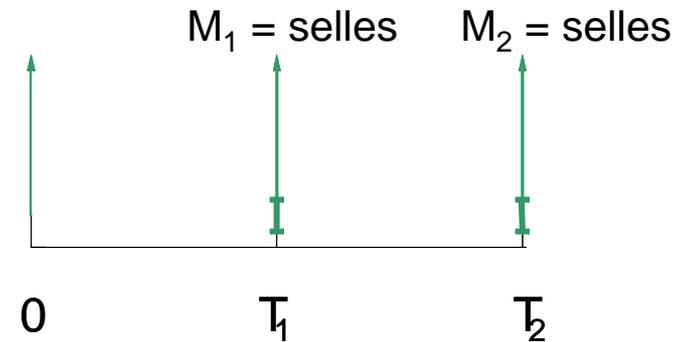
OPTIMISATION

Objectif : définir le programme de surveillance le - contraignant et le + sensible

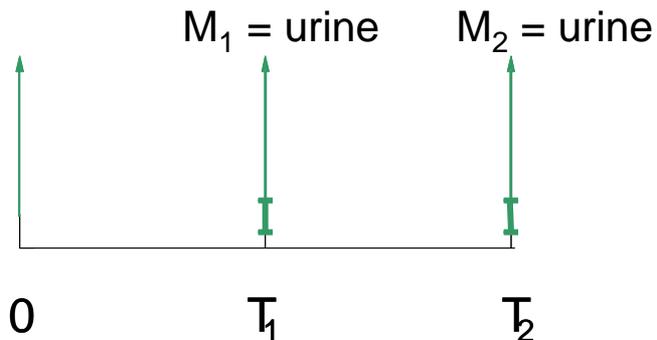
Selles, $T = 360$ jours



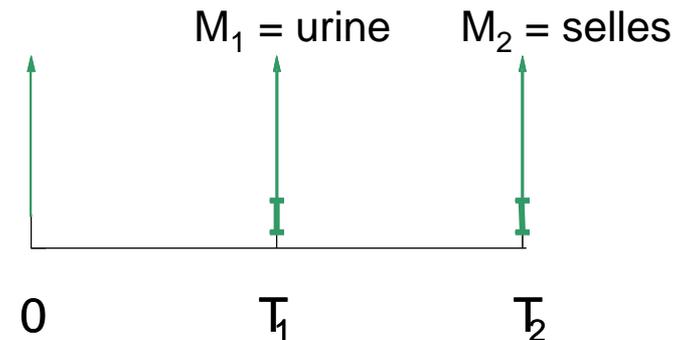
Selles, $T = 180$ jours



Urines, $T = 180$ jours

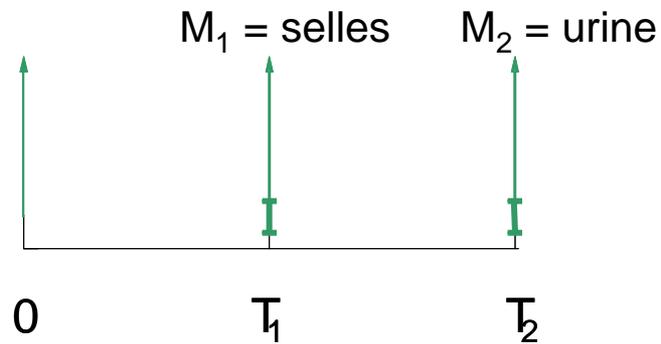


Urine puis selles, $T = 180$ jours

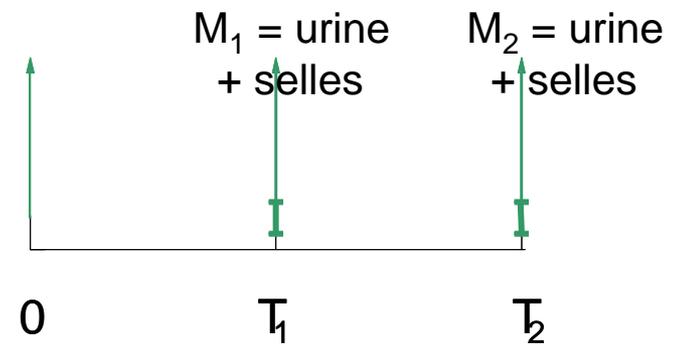


PROGRAMMES TESTES

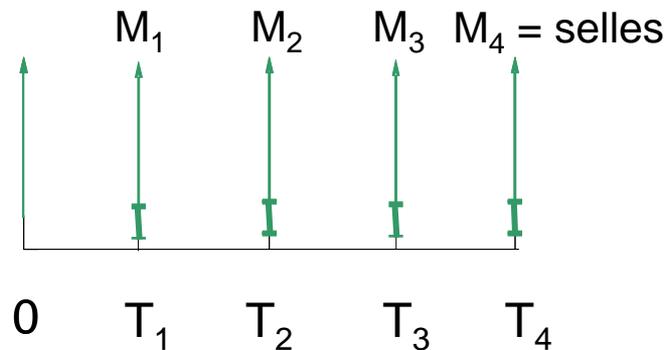
Selles puis urine, $T = 180$ jours



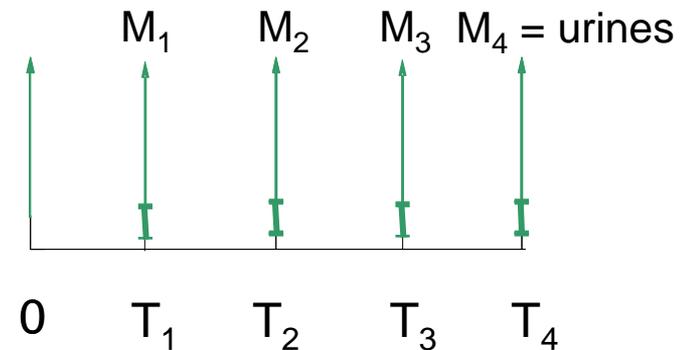
Selles et urine, $T = 180$ jours



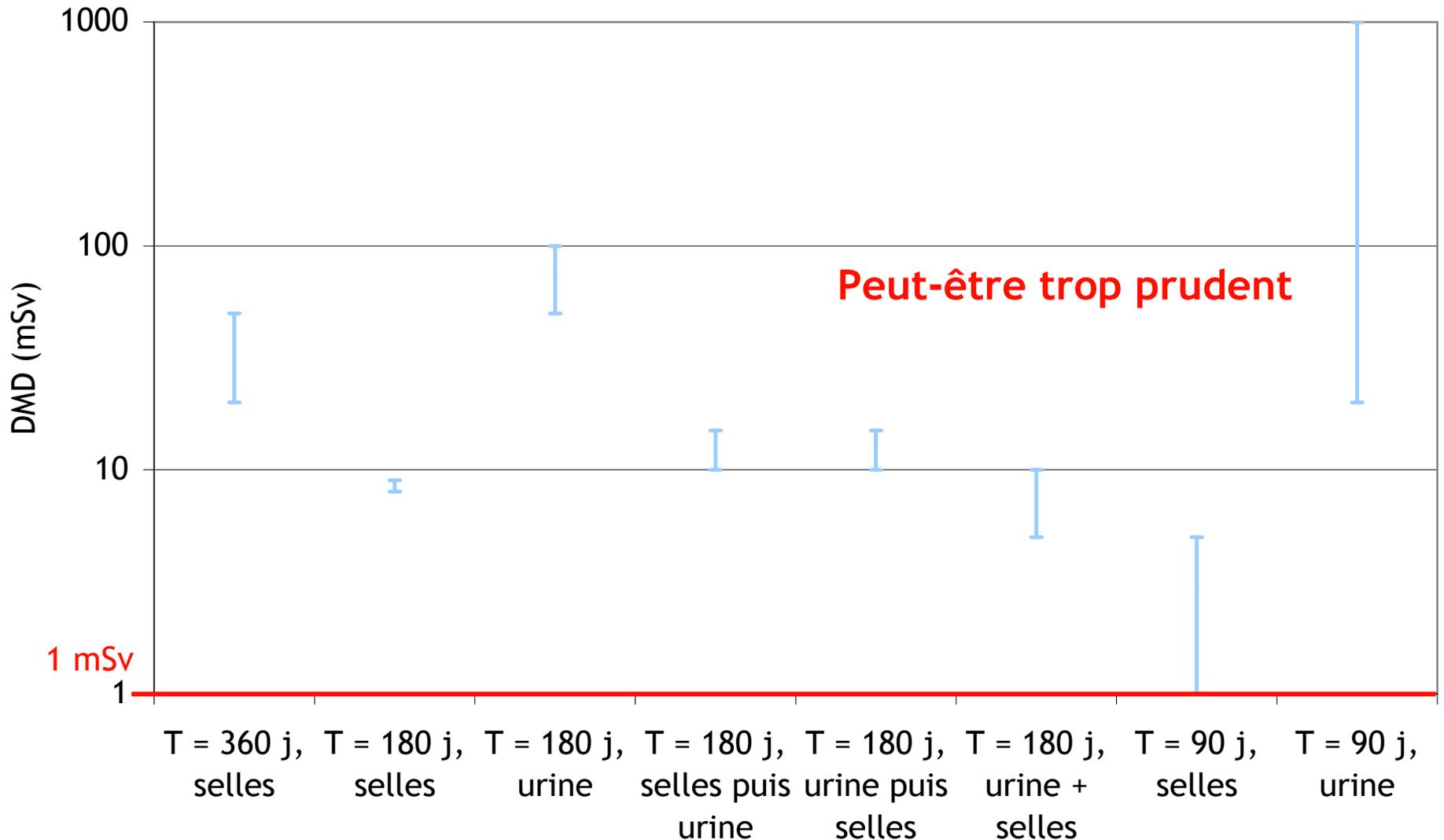
Selles, $T = 90$ jours



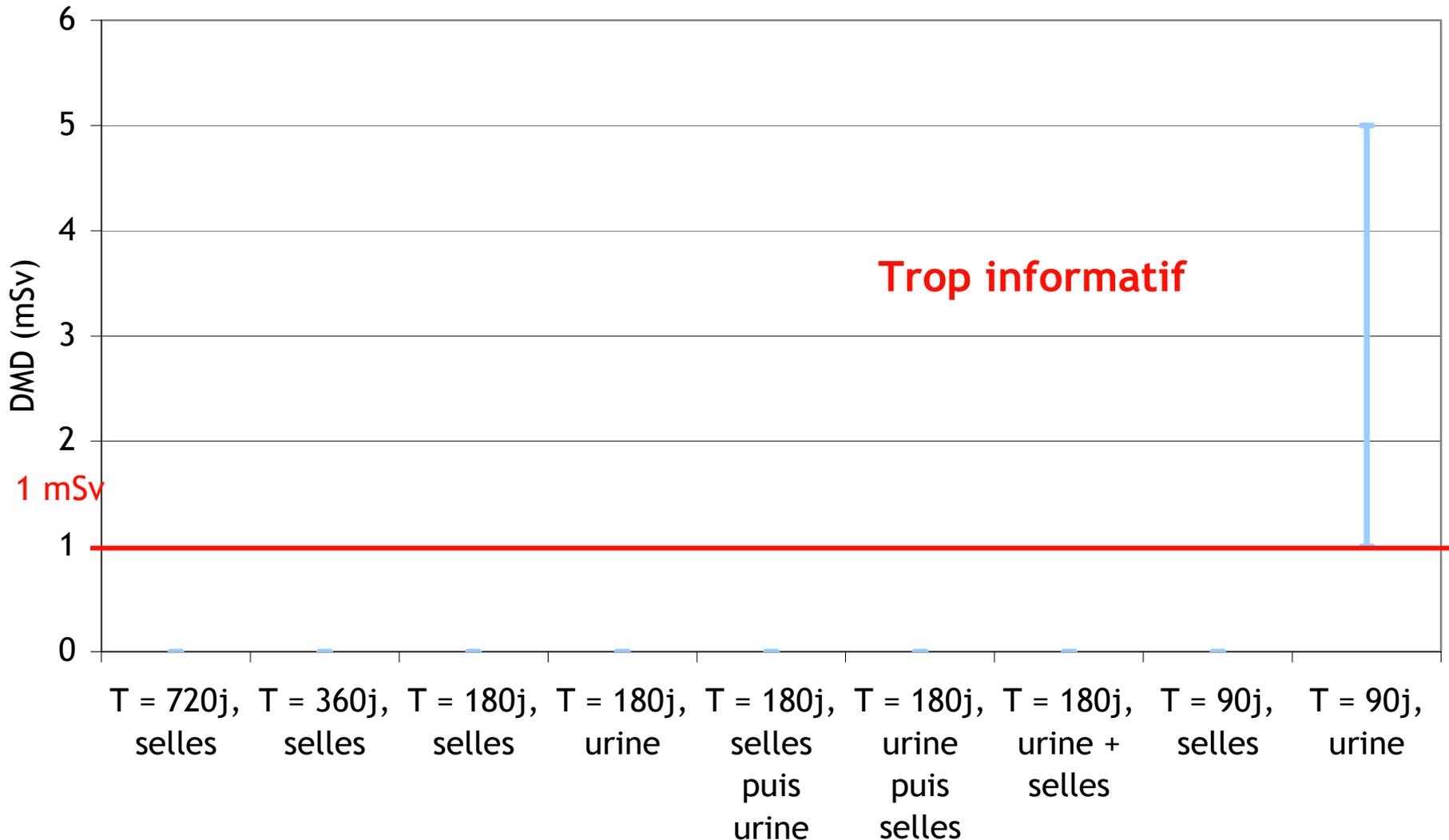
Urines, $T = 90$ jours



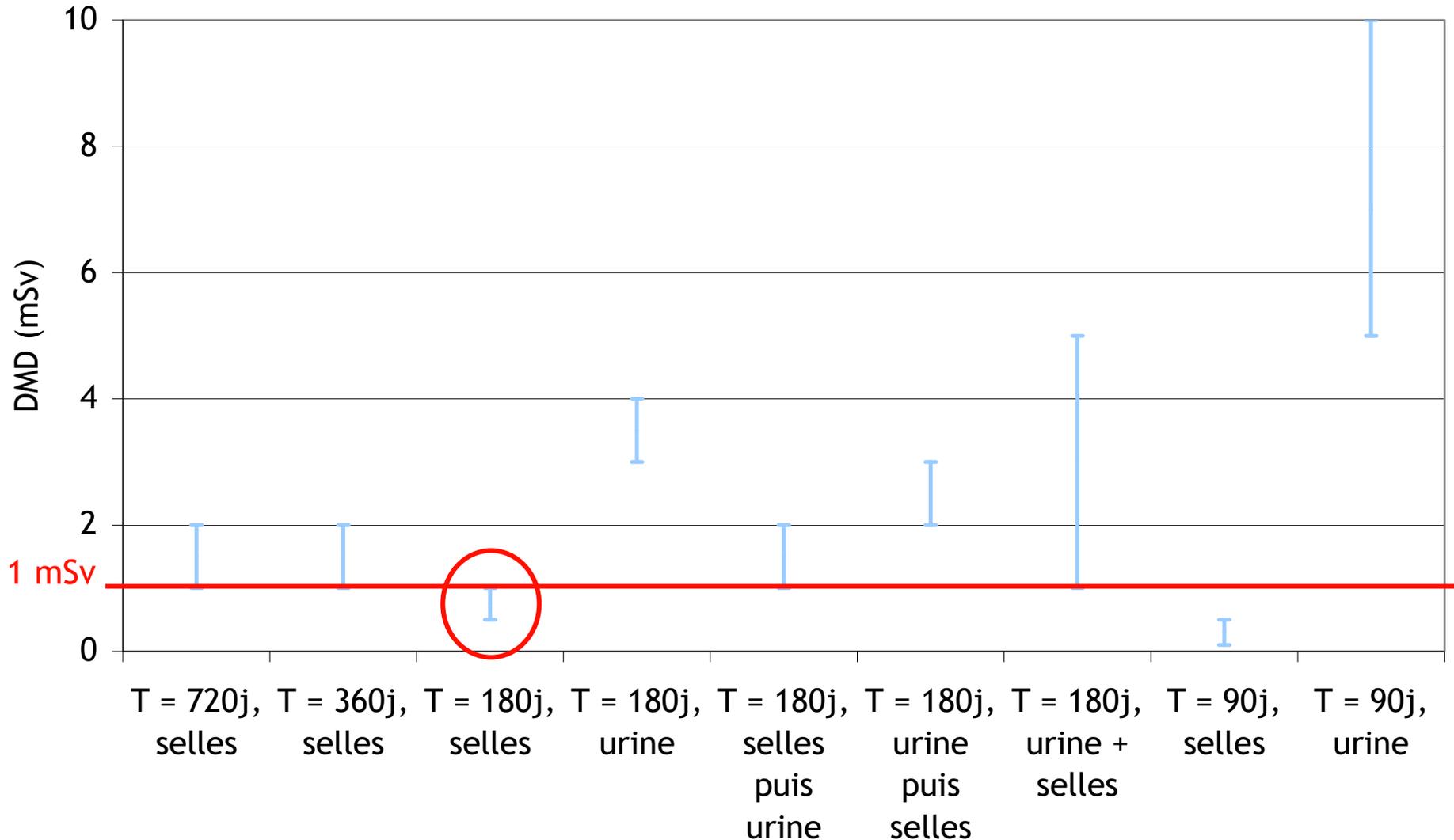
OPTIMISATION POUR P(i) UNIFORME



OPTIMISATION POUR P(i) ALPHA-PRIOR



OPTIMISATION POUR P(i) EXPONENTIELLE



IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

CONCLUSION

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 sensibilité
 - ⇒ Comparé avec la méthode WeLMoS (Puncher et Birchall, 2008)
- **Optimisation du programme de surveillance**
 - ⇒ Méthode pour aider à la conception ou révision d'un programme
- **Influence de la probabilité a priori de l'incorporation sur le résultat**
 - ⇒ Probabilité a priori exponentielle: un choix criticable
 - ⇒ Influence quantifiée par l'utilisation de plusieurs probabilités
 - ⇒ Meilleure modélisation de l'imprécision (réseaux Bayésiens imprécis)
- **Méthode applicable à tous les programmes de surveillance**
 - ⇒ Etude d'autres installations (préparation du MOX, médecine nucléaire)

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

A
AREVA

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

estelle.davesne@irsn.fr