

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire



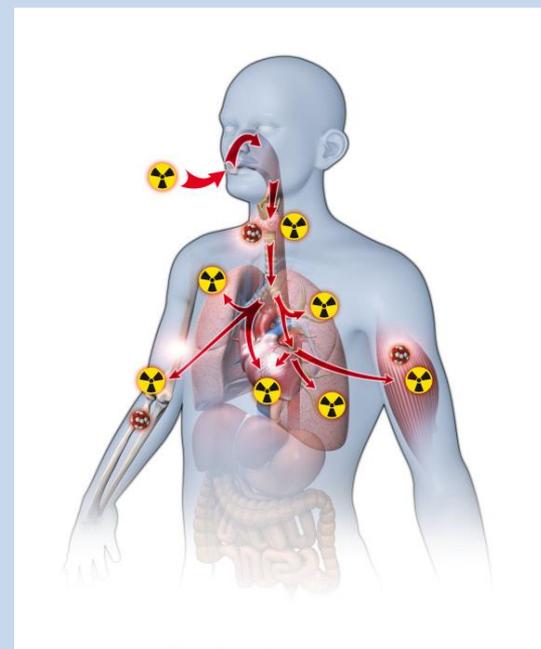
New Areva
devient **Orano**

Développement d'un outil pour la prise en compte des incertitudes dans les protocoles de surveillance de la contamination interne

Estelle DAVESNE
Pierre LAROCHE
Eric BLANCHARDON

2 février 2018

Codes de calcul en
Radioprotection, Radiophysique
et Dosimétrie



Plan

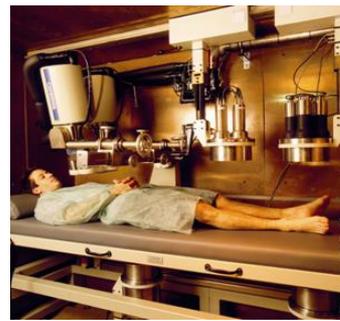
1. Présentation générale du logiciel OPSCI
2. Estimation de la dose
3. Optimisation du programme de surveillance de routine
 1. Surveillance de routine
 2. Surveillance spéciale
4. Conclusion et perspectives

Plan

1. Présentation générale du logiciel OPSCI
2. Estimation de la dose
3. Optimisation du programme de surveillance de routine
 1. Surveillance de routine
 2. Surveillance spéciale
4. Conclusion et perspectives

Surveillance des travailleurs

- Etude de poste pour identifier
 - radionucléides, formes chimiques, activités
- Surveillance d'ambiance : préleveurs d'air, frottis
- Si exposition potentielle significative et continue dans le temps :
 - Surveillance de routine : mesures périodiques programmées
- Si exposition incidentelle :
 - Surveillance spéciale : mesures suite à un événement anormal
- Surveillance de la contamination interne :
 - Mesures radiotoxicologiques et/ou anthroporadiométriques



Prise en compte des incertitudes

■ Pour une évaluation de dose réglementaire

- Utilisation d'hypothèses par défaut

1. La mesure est rendue comme « < LD »:

➤ Absence de contamination

2. La mesure est rendue comme « 1 mBq/j en ^{239}Pu »

➤ Quelle est la précision de la mesure ?

➤ Incertitude non prise en compte

➤ Quelle pourrait être la date de contamination ?

➤ Le milieu de l'intervalle

➤ Quel matériel contaminant ?

➤ Composé de Type M avec un diamètre médian de 5 μm

Prise en compte des incertitudes

■ Utilisation d'hypothèses par défaut

- Méthode perfectible
- Incertitudes potentiellement importantes

■ Intérêt d'intégrer les incertitudes dans les protocoles de surveillance

- Pour s'assurer du non-dépassement des limites de dose pour toutes les expositions

➤ Développement de méthodes pour prendre en compte les incertitudes dans la surveillance de routine et spécial

➤ Logiciel OPSCI

Logiciel

OPSCI Optimisation des Programmes de Surveillance de la Contamination Interne

Objectifs :

- évaluer les doses dans le cadre d'une surveillance spéciale
- permettre de choisir le programme de surveillance le mieux adapté à l'exposition des travailleurs en faisant un compromis entre la sensibilité du programme en terme de dose et les contraintes pratiques de ce programme.

Copropriété entre l'IRSN et AREVA (maintenant ORANO)

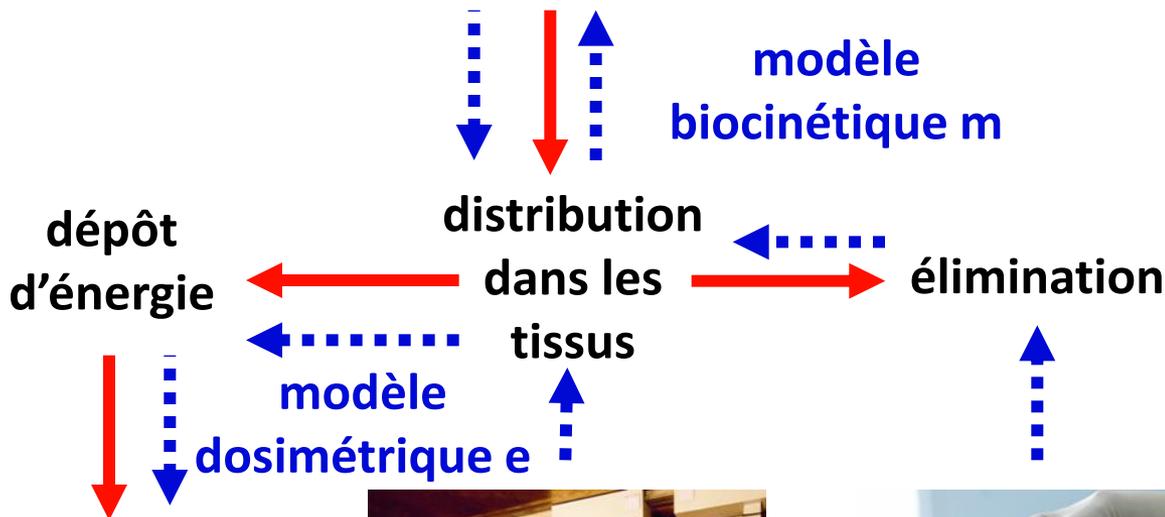
Déposé à l'Agence de Protection des Programmes

Plan

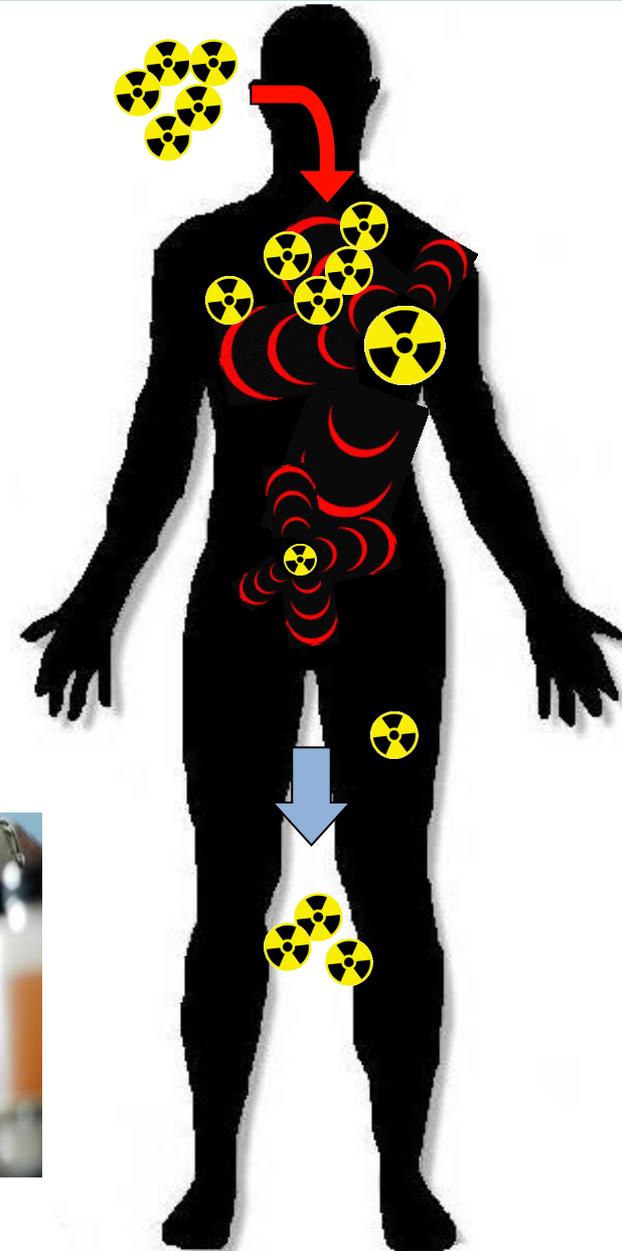
1. Présentation générale du logiciel OPSCI
2. Estimation de la dose
3. Optimisation du programme de surveillance de routine
 1. Surveillance de routine
 2. Surveillance spéciale
4. Conclusion et perspectives

Principe

$$i = M / m \text{ incorporation}$$



$$d = i \times e$$



mesure in vivo / in vitro M

Estimer l'incorporation : 1 mesure

$$\text{incorporation (Bq)} = \frac{\text{Mesure } \textbf{observée} \text{ t jours après la contamination (Bq ou Bq.j}^{-1}\text{)}}{\text{Mesure } \textbf{théorique} \text{ pour 1 Bq incorporé t jours après la contamination (Bq.Bq incorporé}^{-1} \text{ ou Bq.j}^{-1} \cdot \text{Bq incorporé}^{-1}\text{)}}$$


■ obtenue par les modèles biocinétiques.

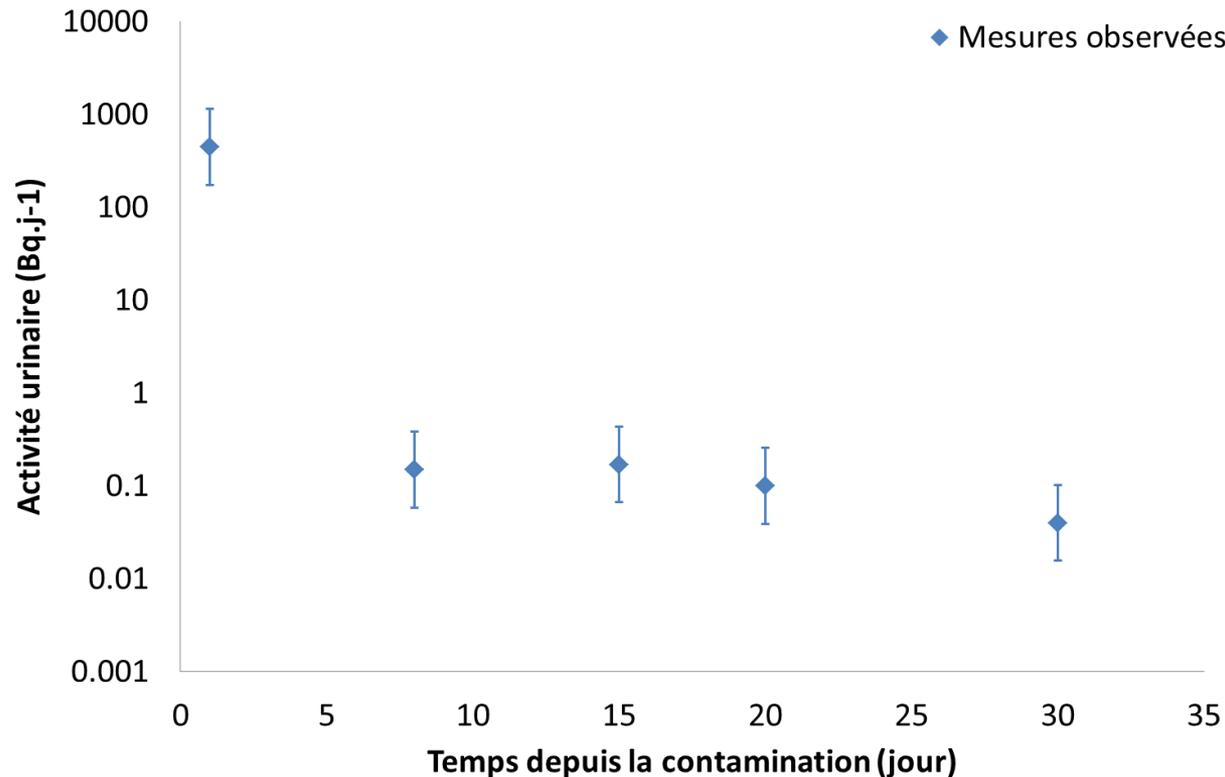
■ dépend :

- du radionucléide,
- de la voie d'entrée,
- du rythme d'incorporation,
- du délai entre la contamination et la mesure,
- de la forme physico-chimique,
- de la quantité mesurée (urine, selles, poumons...).

■ précalculée par la CIPR

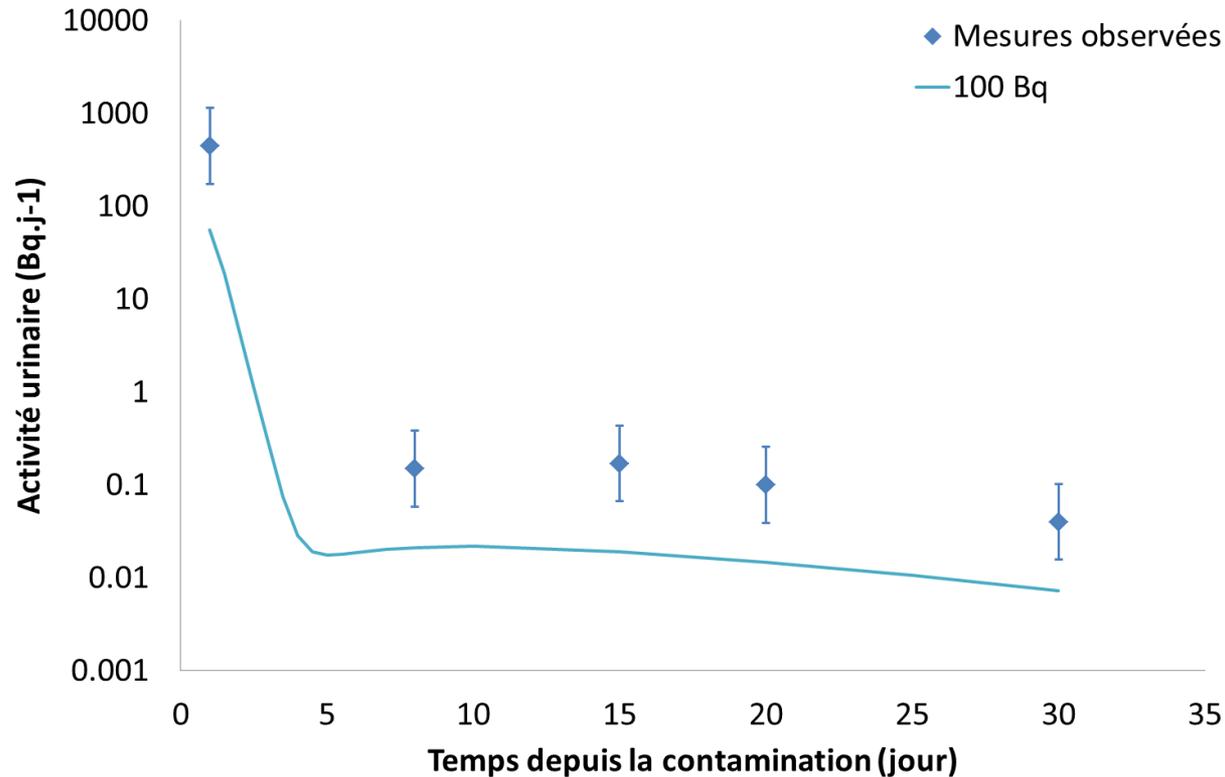
Estimer l'incorporation : plus d'1 mesure

- Recherche, par la **méthode du maximum de vraisemblance**, de l'incorporation qui est la plus cohérente avec les données



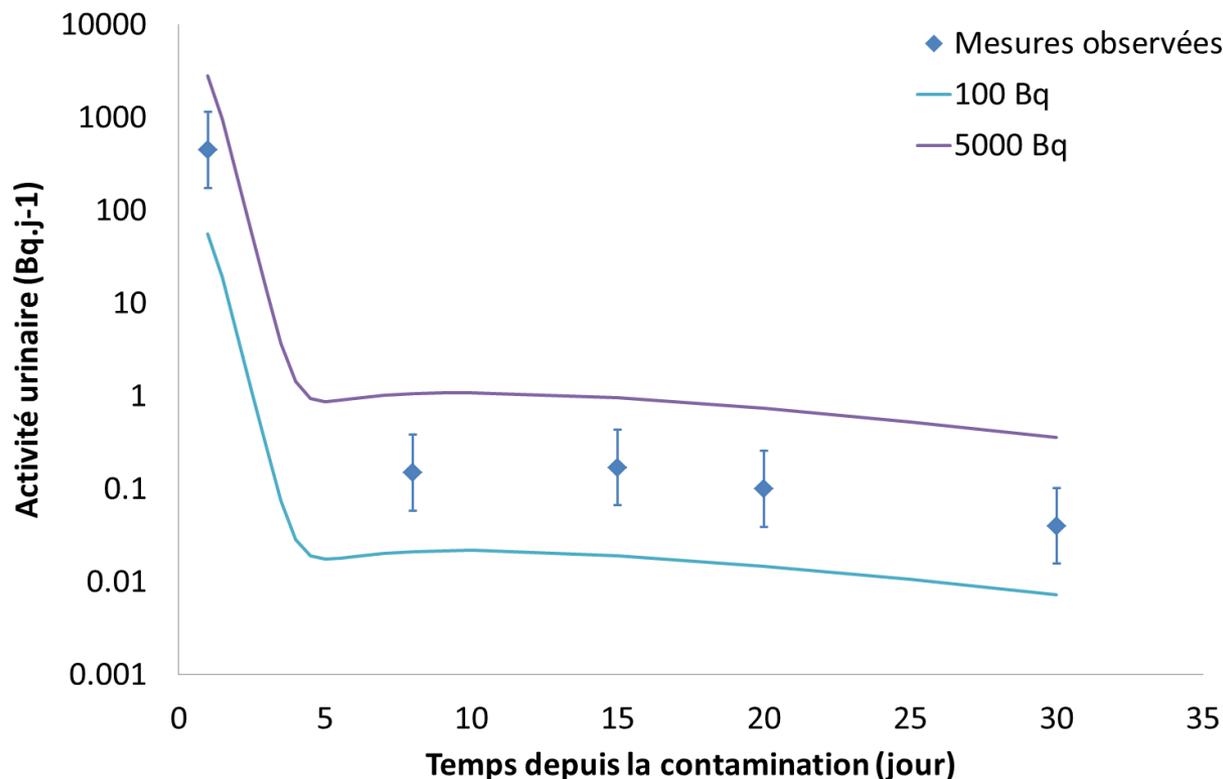
Estimer l'incorporation : plus d'1 mesure

- Recherche, par la **méthode du maximum de vraisemblance**, de l'incorporation qui est la plus cohérente avec les données



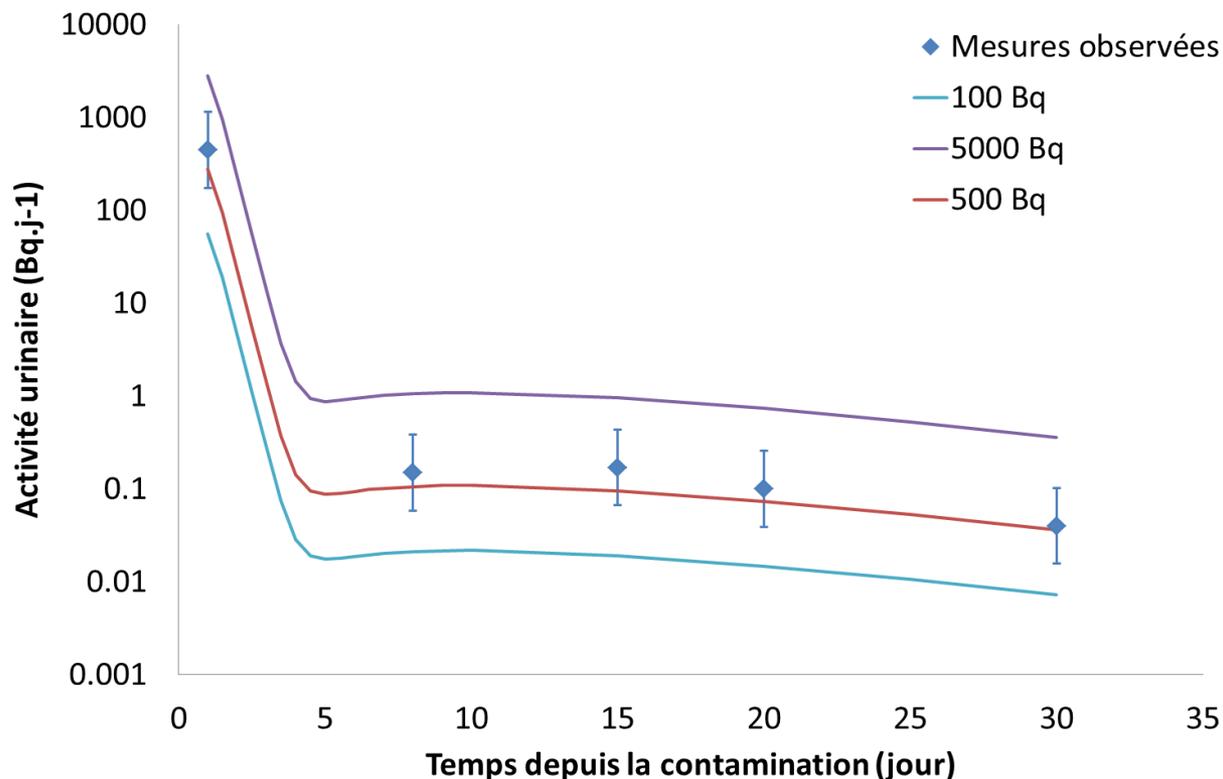
Estimer l'incorporation : plus d'1 mesure

- Recherche, par la **méthode du maximum de vraisemblance**, de l'incorporation qui est la plus cohérente avec les données



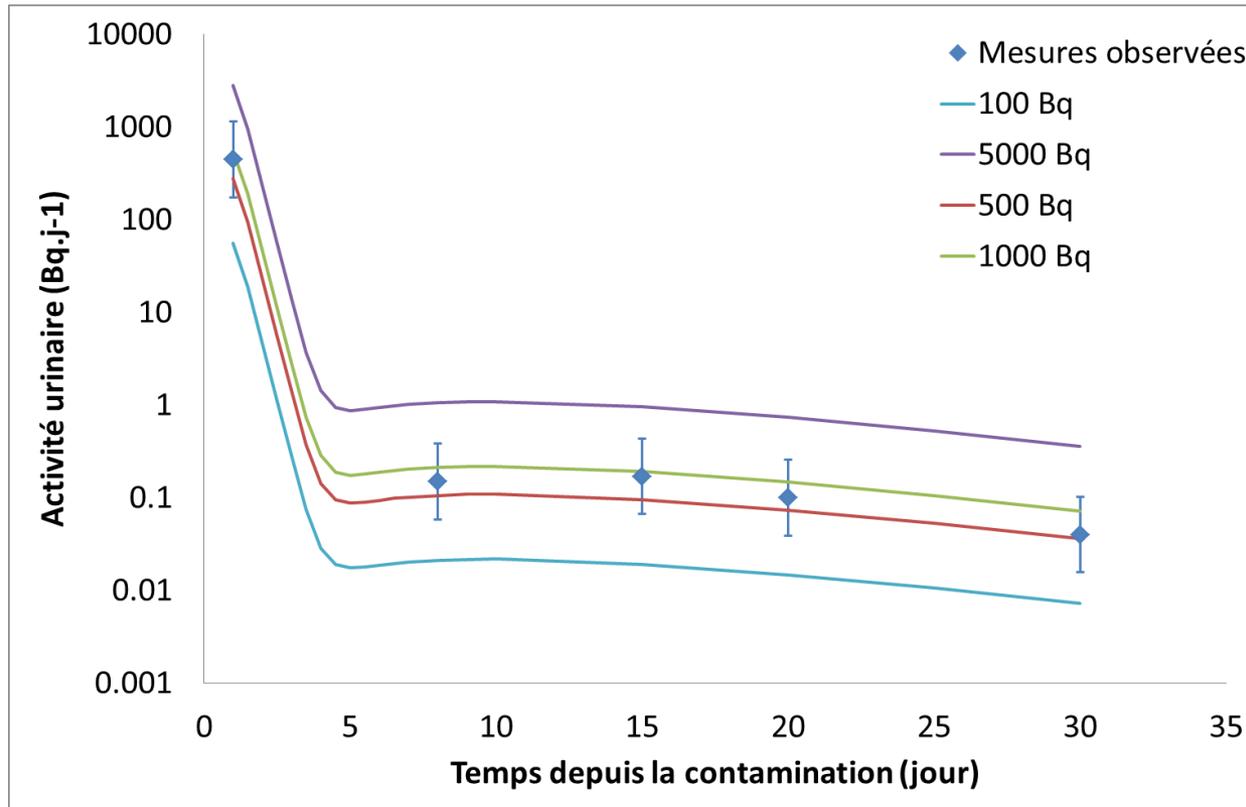
Estimer l'incorporation : plus d'1 mesure

- Recherche, par la **méthode du maximum de vraisemblance**, de l'incorporation qui est la plus cohérente avec les données



Estimer l'incorporation : plus d'1 mesure

- Recherche, par la **méthode du maximum de vraisemblance**, de l'incorporation qui est la plus cohérente avec les données



Estimation de la dose

$$\text{Dose efficace engagée (Sv)} = \frac{\text{dose efficace engagée}}{\text{reçue pour 1 Bq incorporé}} \times \text{incorporation (Bq)}$$

(Sv.Bq incorporé⁻¹)



■ obtenue par les modèles dosimétriques.

■ DPUI, e_{50} , coefficient de dose...

■ dépend :

- du radionucléide,
- de la voie d'entrée,
- du rythme d'incorporation,
- de la forme physico-chimique.

■ précalculée par la CIPR

OPSCI Version 3.0



Surveillance post-incidentelle

OPSCI v3 - Surveillance Spéciale

Fichier Mélange Biocinetique Aide

Personne exposée: **Travailleur**

Exprimer le temps comme: Date Temps (j) depuis le début de la contamination

Incorporation 1

Voie d'incorporation: **Inhalation** Rythme d'incorporation: **Aigu** Date: **20/10/2006**

Radionucléide: **Pu-239** Pu-238 Am-241 Cm-244 Cs-137 Sr-90

Radionucléide: **Pu-239** DAMA (micron): **5.00** Type d'absorption: **M**

Urine Anthroporadiométrie **Corps entier**

Date	Periode de recueil (j)	Activité mesurée (Bq/j)	SF	Activité corrigée suite au DTPA (Bq/d)
<input checked="" type="checkbox"/> 21/10/2006	1.00	6.80E-001	2.00	1.36E-002
<input checked="" type="checkbox"/> 23/10/2006	1.00	1.60E-001	2.00	3.20E-003
<input checked="" type="checkbox"/> 28/10/2006	1.00	3.60E-002	2.00	7.20E-004

Date	Periode de recueil (j)	Activité mesurée (Bq/j)	SF	Activité corrigée suite au DTPA (Bq/d)
<input checked="" type="checkbox"/> 22/10/2006	1.00	6.00E+000	5.00	1.60E+001
<input checked="" type="checkbox"/> 23/10/2006	1.00	6.00E+000	5.00	1.60E+001
<input checked="" type="checkbox"/> 24/10/2006	1.00	7.00E-001	5.00	1.07E+001

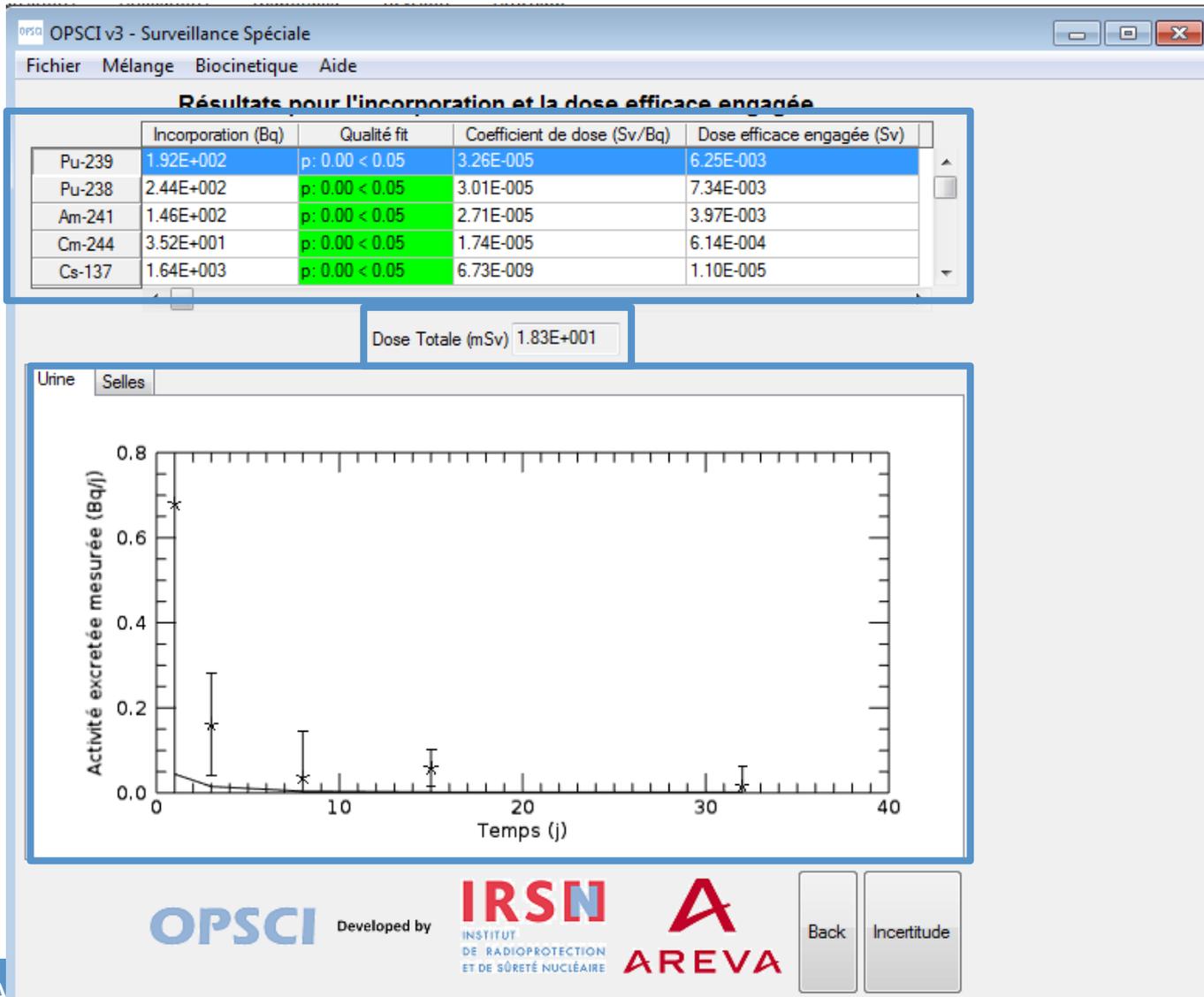
DTPA

Date	Facteur d'efficacité
<input checked="" type="checkbox"/> 20/10/2006	Urine 50.00
<input checked="" type="checkbox"/> 21/10/2006	Selles 1.00
<input checked="" type="checkbox"/> 22/10/2006	

Calcul Dose

OPSCI Developed by IRSN INSTITUTE DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE AREVA

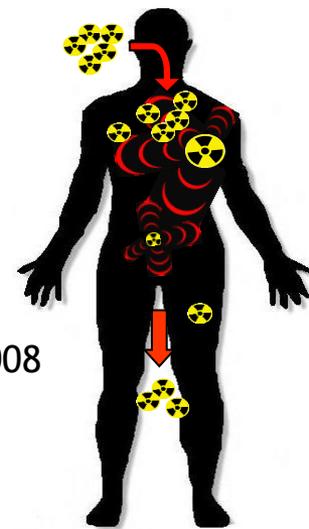
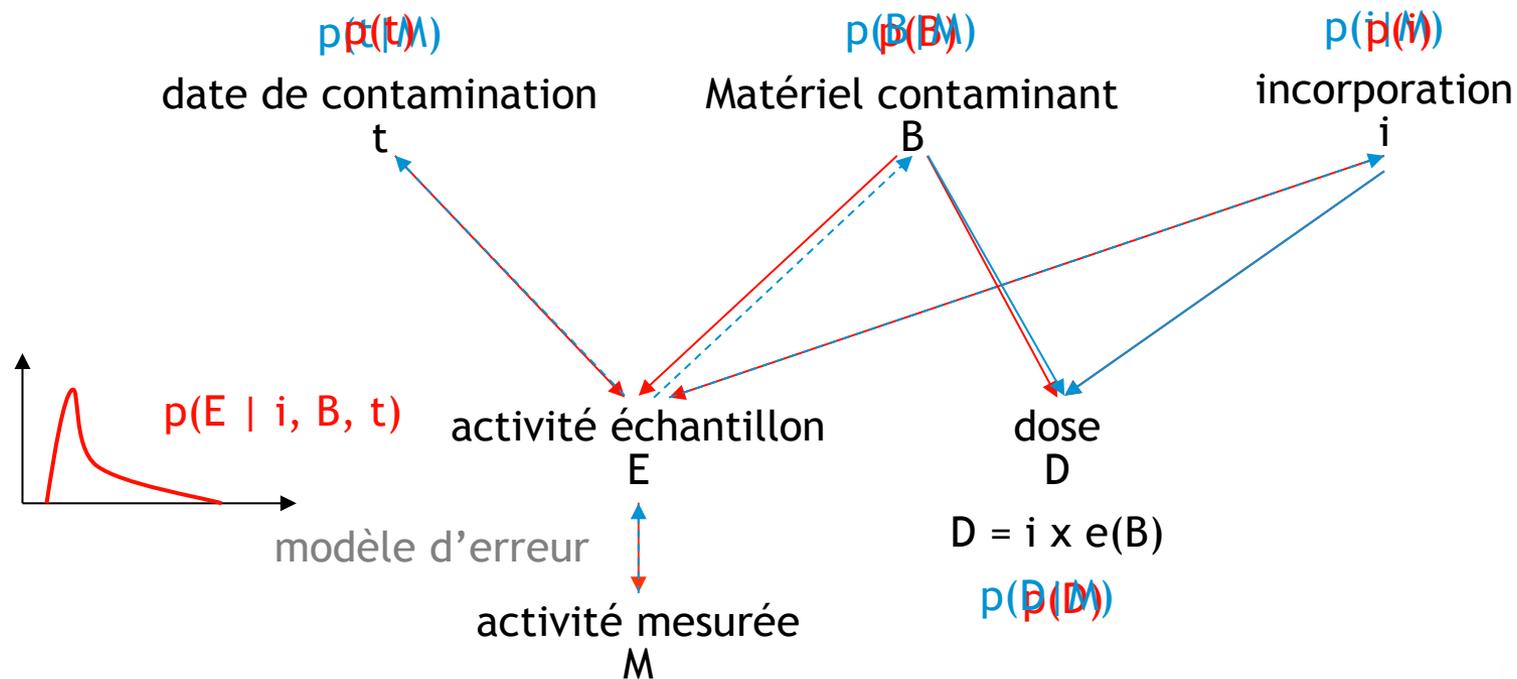
Estimation dose post-incidentelle



Plan

1. Présentation générale du logiciel OPSCI
2. Estimation de la dose
3. Optimisation du programme de surveillance de routine
 1. Surveillance de routine
 2. Surveillance spéciale
4. Conclusion et perspectives

Prise en compte des incertitudes



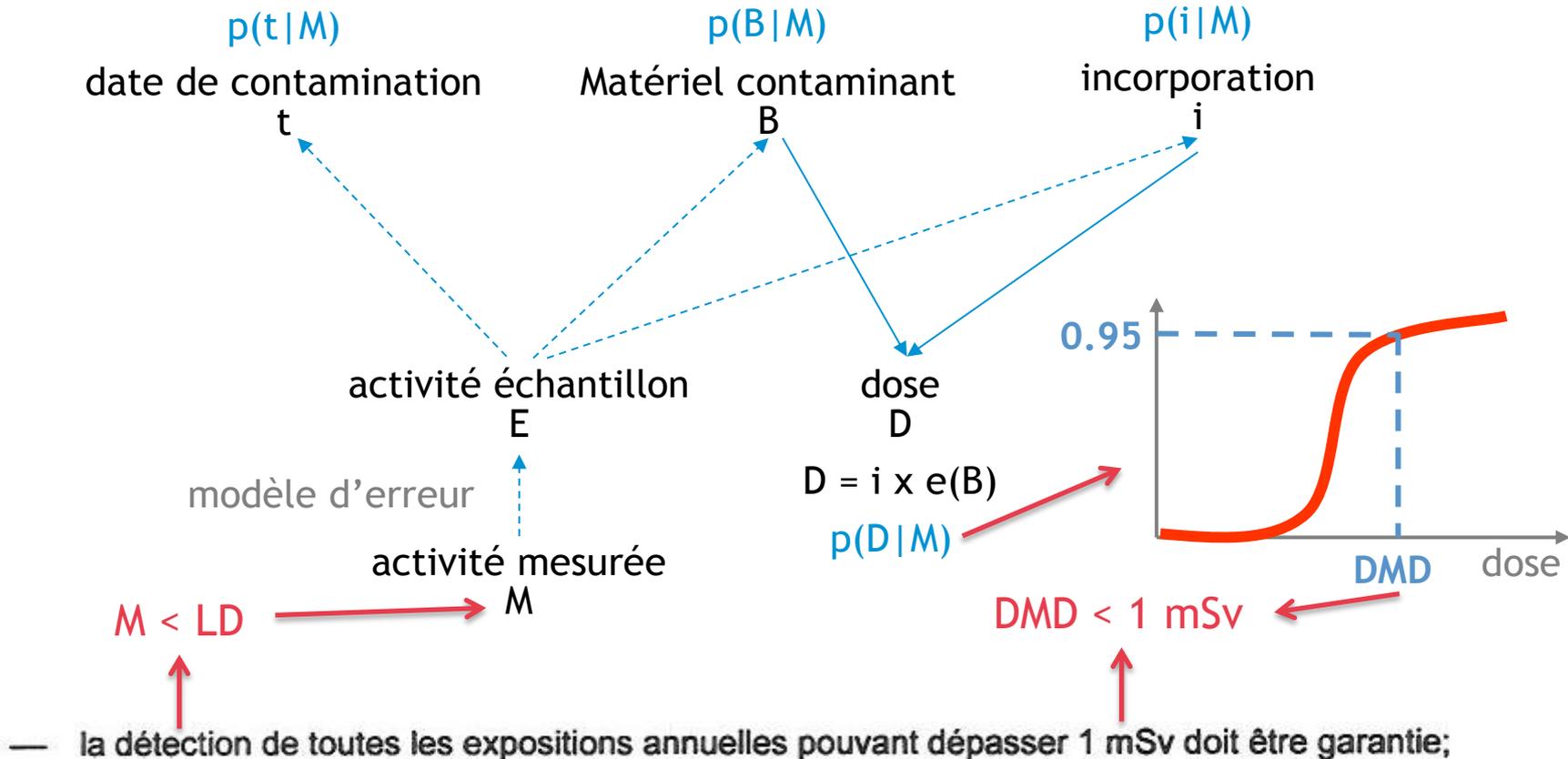
➔ **Méthode WeLMos**

➔ Puncher and Birchall, 2008

➔ **Réseau Bayésien**

➔ DAVESNE *et al*, 2010

Dose minimale détectable (DMD)



— la détection de toutes les expositions annuelles pouvant dépasser 1 mSv doit être garantie;

Si mesure < LD alors, on peut assurer que dans tous les scénarios possibles la dose < DMD avec un niveau de confiance de 95 %

OPSCI Version 3.0



Surveillance de routine

OPSCI v3 - Surveillance de Routine

Fichier Mélange Biocinetique Aide

Voie d'incorporation Rythme d'incorporation Fichier solubilité Taille échantillon

Temps depuis incorporation (j)	DAMA (micron)	Incorporation (Bq)	Dose (Sv)
Distribution <input type="text" value="Uniforme"/>	Distribution <input type="text" value="Uniforme"/>	Distribution <input type="text" value="Normale"/>	Minimum <input type="text" value="0.00"/>
Minimum <input type="text" value="0.00"/>	Minimum <input type="text" value="1.00"/>	1er seuil <input type="text" value="4.00"/>	Maximum <input type="text" value="0.01"/>
Maximum <input type="text" value="180.00"/>	Maximum <input type="text" value="10.00"/>		

Radionucléide	Type de mesure	Intervalle	Seuil de décision	Unités	Temps de comptage (h)	Bruit moyen	Rendement d'émission (%)	Efficacité de détection (%)	Rendement chimique (%)	Mo
<input type="text" value="Pu-239"/>	<input type="text" value="Selles"/>	<input type="text" value="6 mois"/> <input type="checkbox"/> Alternée	<input type="text" value="<5"/>	<input type="text" value="Coups"/>	<input type="text" value="48"/>	<input type="text" value="0-3"/>	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="25-35"/>	<input type="text" value="85-100"/>	<input type="text" value="Poisso"/>

Dose Minimale Détectable (mSv)

OPSCI Developed by



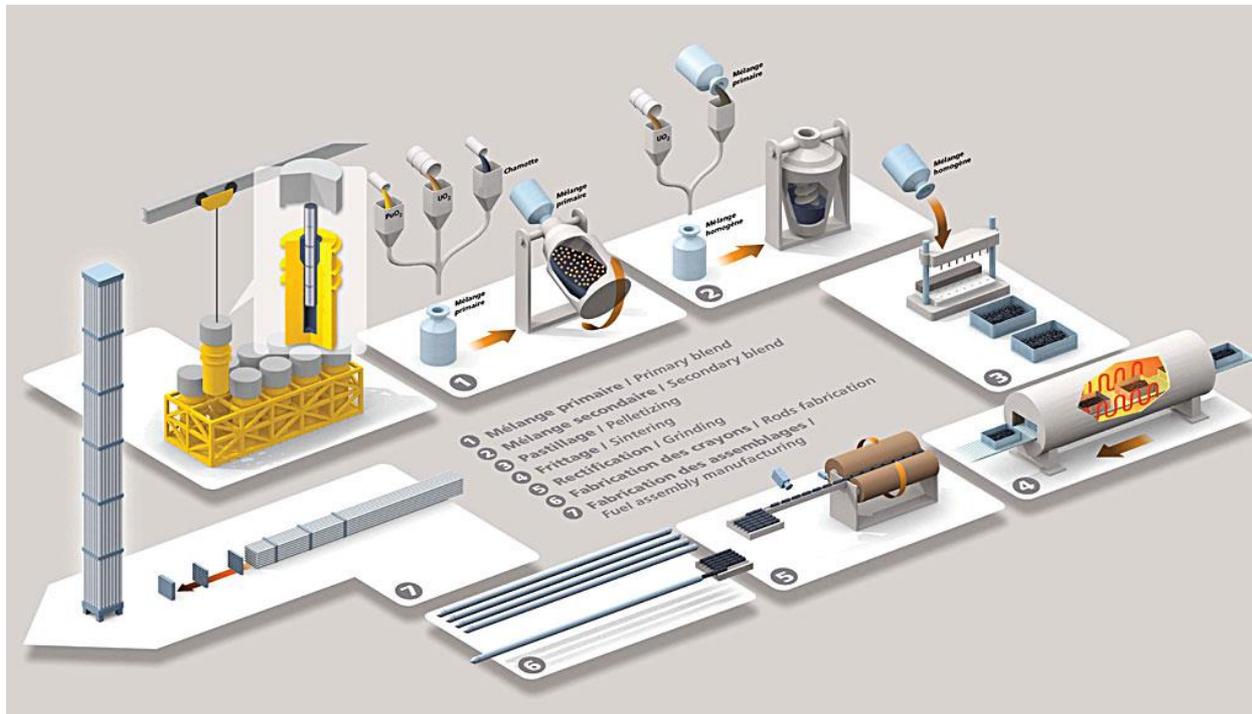

Méthodes

WeLMoS

Réseau Bayésien

Groupe de travailleurs étudié

Fabrication du combustible MOX selon le procédé MIMAS



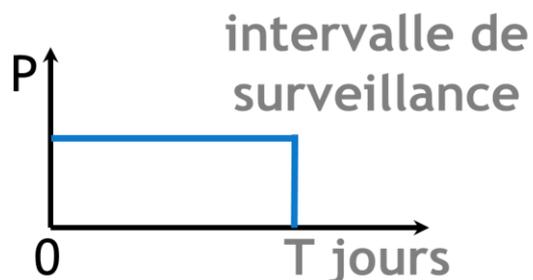
Risque de contamination par des composés insolubles (PuO_2 et UO_2)

⇒ **Surveillance par des mesures de selles tous les ans**

Recueil d'information et modélisation

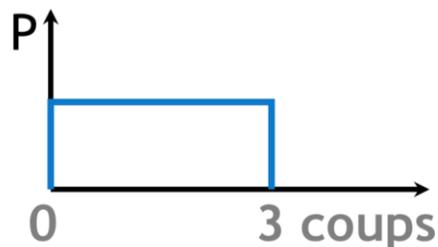
- Auprès du service de santé au travail

date de contamination

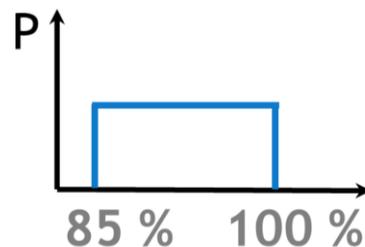


- Auprès du laboratoire d'analyse médicale

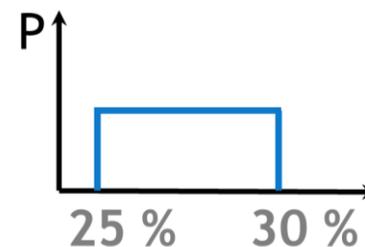
bruit de fond



rendement chimique



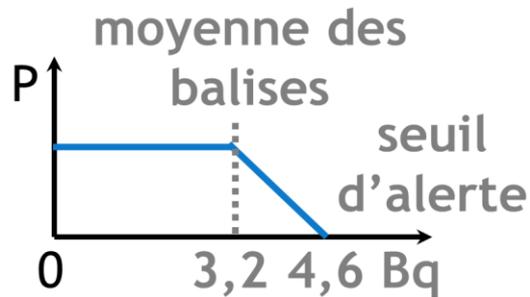
efficacité de détection



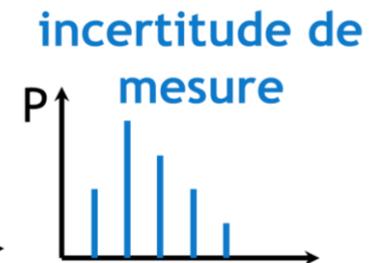
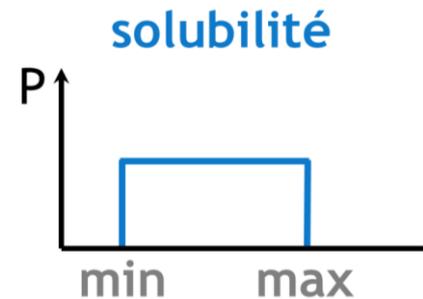
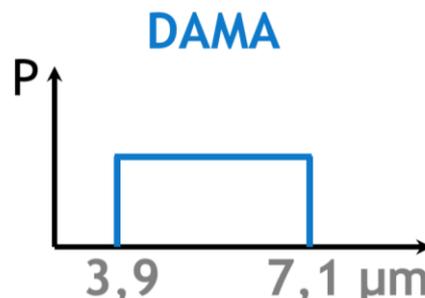
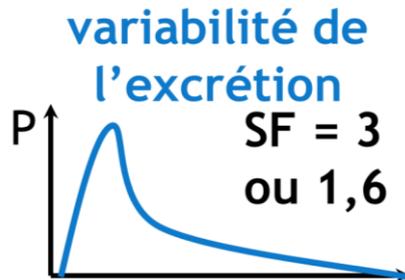
Recueil d'information et modélisation

- Après du service de radioprotection

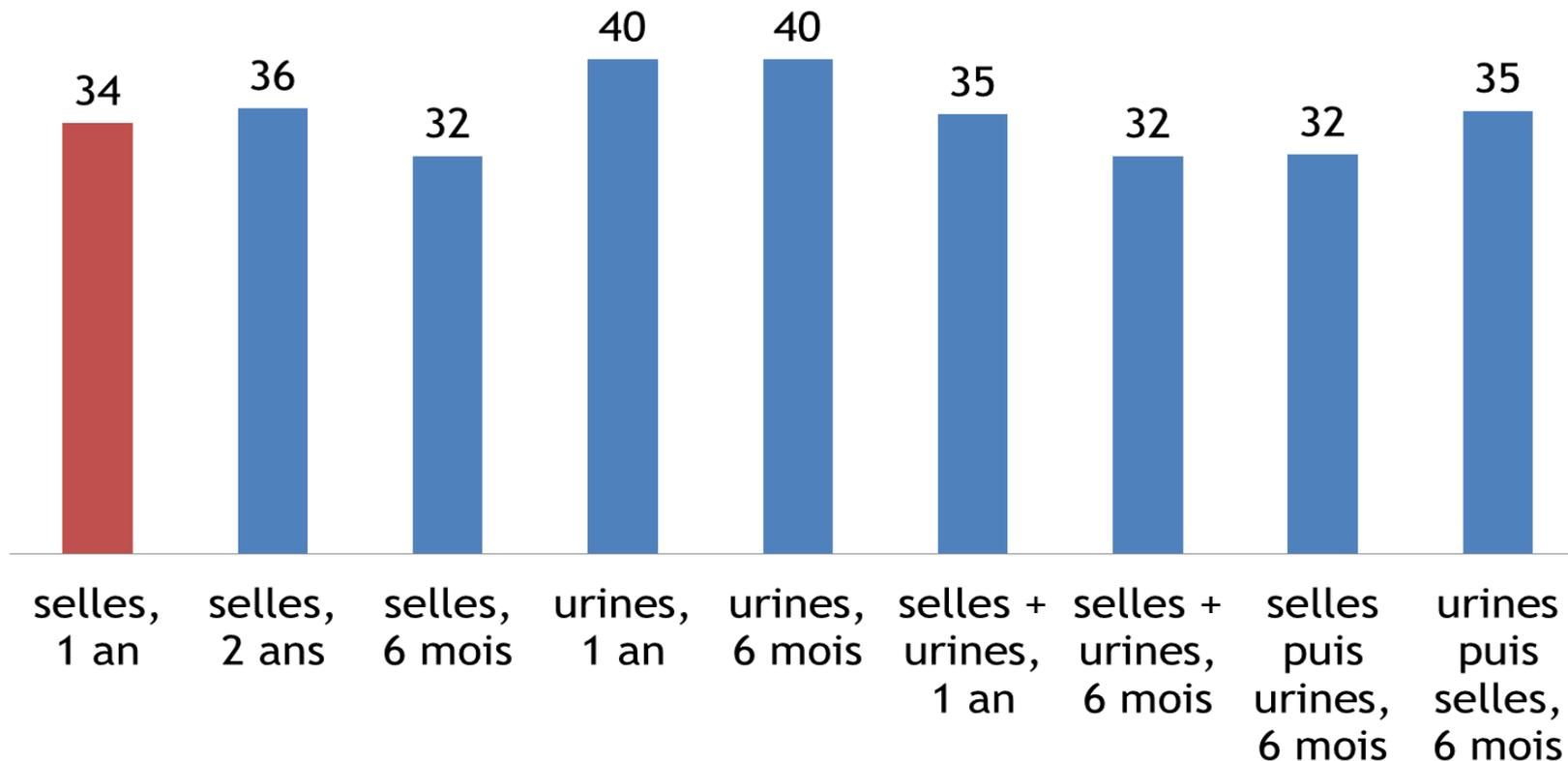
incorporation



- A partir de la littérature



DMD (μSv) pour plusieurs programmes



- Tous les programmes permettent de détecter 1 mSv/an.
- Intérêt de la surveillance d'ambiance
- 1 urine/an est envisageable.

Conclusion de cette étude

- Évaluation et optimisation d'un programme de surveillance
 - Application au programme de surveillance des travailleurs de La Hague et de Melox
 - Collecte de l'information sur les formes physico-chimiques, l'absorption pulmonaire et sur la mesure d'activité
 - Modélisation de l'information par des distributions de probabilité
 - Estimation des DMDs pour les programmes en place et envisagés
- ⇒ Les programmes en place sont des bons compromis.

➤ **Méthode applicable à tous les programmes de surveillance de routine**

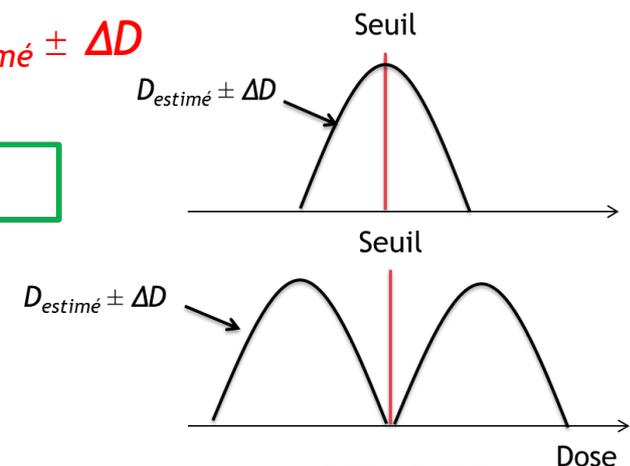
➤ **Qu'en est-il pour la surveillance spéciale ?**

*seuil = limite de dose, niveau d'enregistrement...

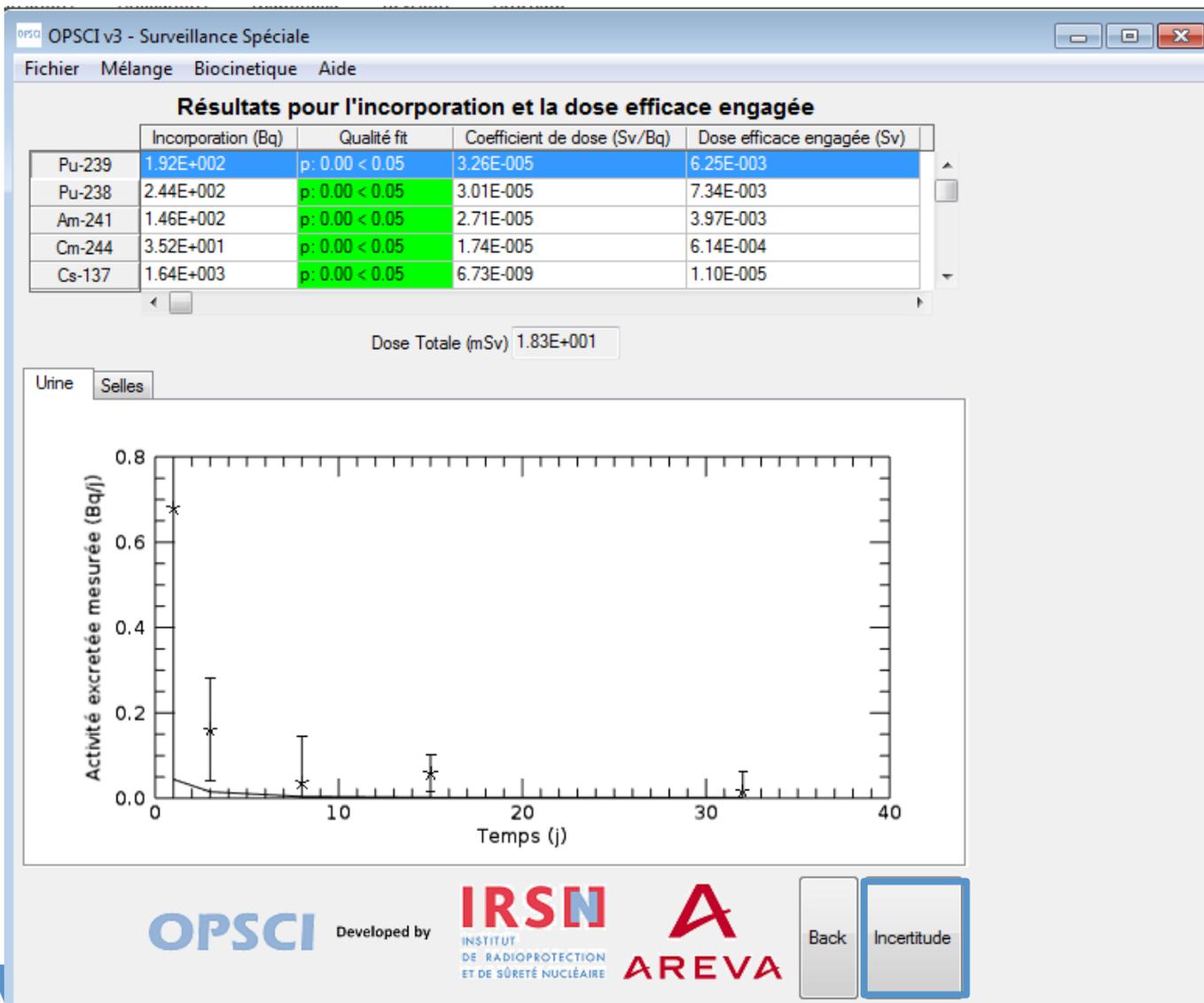
Principe de l'étude

1. Événement de contamination potentielle
2. Nécessité d'évaluer la contamination (réglementaire)
3. Réalisation de mesures radiotoxicologiques
4. Estimation de l'incorporation (i) et de la dose (D) à partir des mesures
5. Estimation de l'incertitude sur la dose $D = D_{estimé} \pm \Delta D$
6. Comparaison de $D \pm \Delta D$ avec le seuil*
7. Rendu de la dose et de son incertitude associée

Ajout de mesures



OPSCI Version 3.0



Incertitudes post-incidentelles

OPSCI v3 - Surveillance Spéciale

Fichier Mélange Biocinetique Aide

Temps depuis incorporation (t)	DAMA (micron)	Incorporation (Bq)	Dose	Taille échantillon
Distribution: Aucune	Distribution: Aucune	Distribution: LogNormale	Minimum: 0.01	20
Valeur: 0.00	Valeur: 5.00	Minimum: 500.00	Maximum: 0.04	
		Maximum: 1600.00		
		Moyenne: 1000.00		
		Écart-type: 3.00		

OPSCI Developed by

IRSN INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

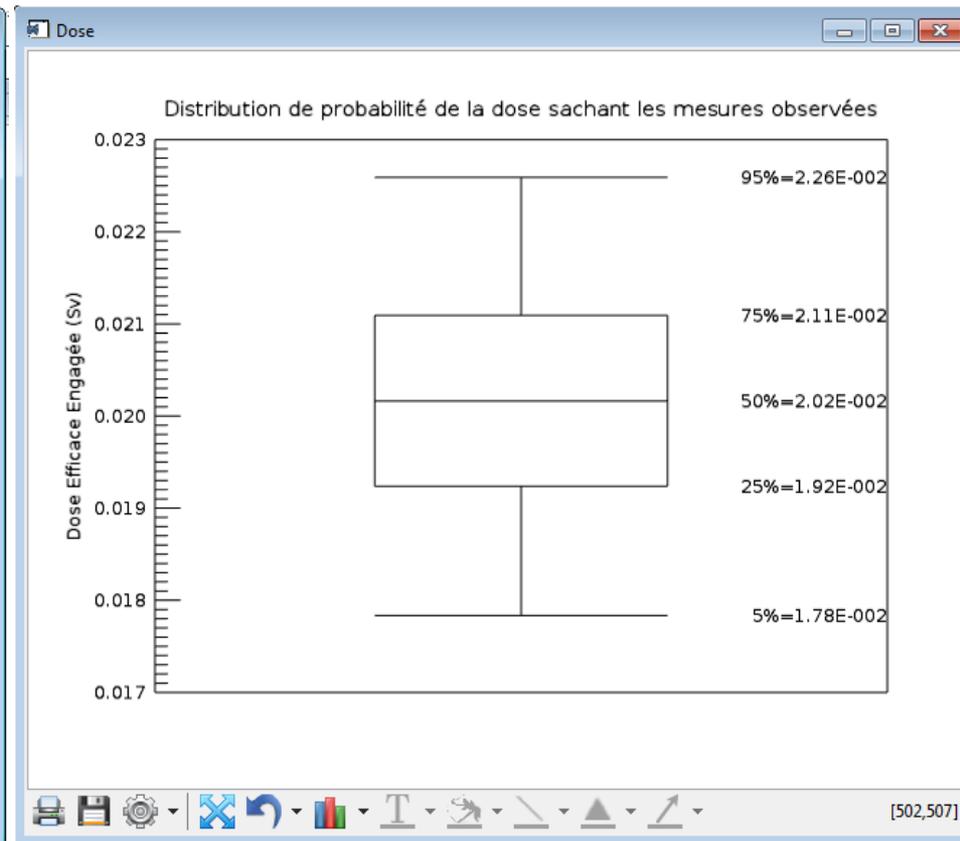
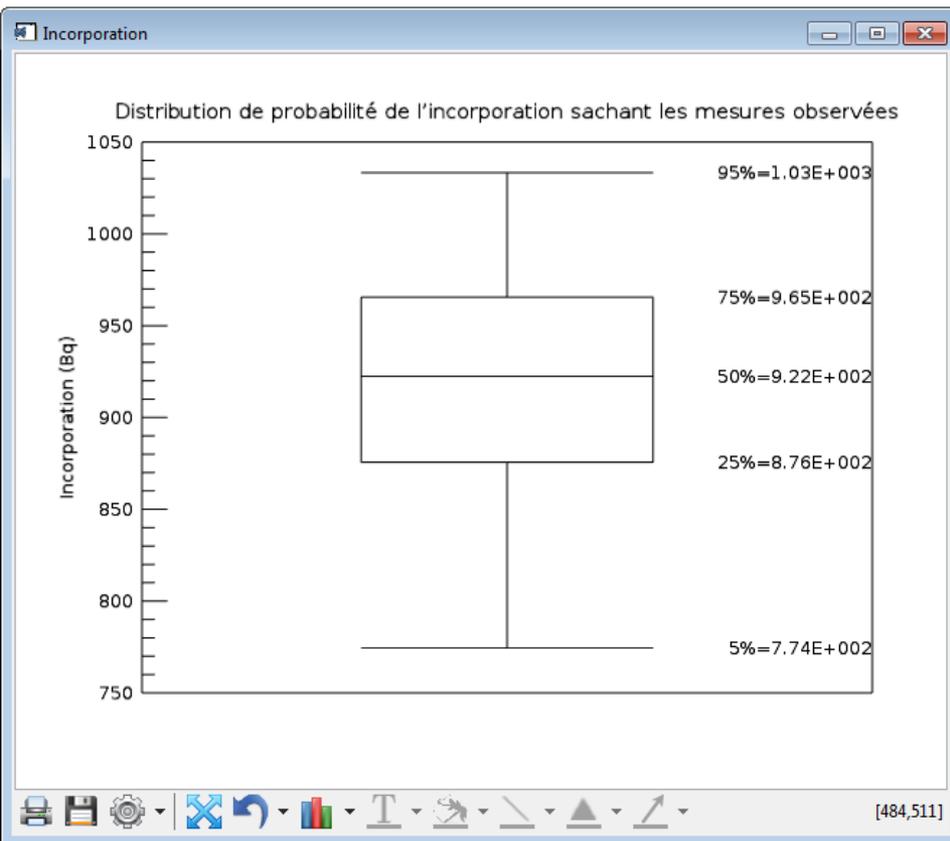
AREVA

Méthodes

- WeLMoS
- Réseau Bayésien

Back Calculer

Incertitudes sur les doses



➔ Optimisation encore à développer et intégrer dans OPSCI

Plan

1. Présentation générale du logiciel OPSCI
2. Estimation de la dose
3. Optimisation du programme de surveillance de routine
 1. Surveillance de routine
 2. Surveillance spéciale
4. Conclusion et perspectives

Conclusion

- Estimation de la dose après un incident de contamination
- Prise en compte des incertitudes dans les protocoles de surveillance
 - de routine
 - spéciale
- Routine : S'assurer de détecter toute contamination correspondant à 1 mSv ou plus en toute circonstance et pour tout travailleur
 - par le calcul de la Dose Minimale Détectable
- Spéciale : dimensionner le protocole de surveillance en fonction de la gravité possible de la situation en intégrant les sources d'information disponibles

Perspectives

- Finalisation de la nouvelle version d'OPSCI
- Intégration du logiciel IRSN-ORANO calculant les coefficients de dose et les fonctions biocinétiques à partir des modèles CIPR
- Changement de nom du logiciel
- Commercialisation prévue avant la fin de l'année

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire



New Areva
devient **Orano**

Merci pour votre attention

estelle.davesne@irsn.fr