

Faire avancer la sûreté nucléaire

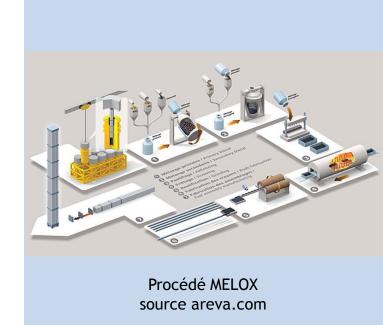


Prise en compte des incertitudes dans les protocoles de surveillance de la contamination interne

E. DAVESNE, E. BLANCHARDON

IRSN/PRP-HOM/SDI/LEDI

6 octobre 2015



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





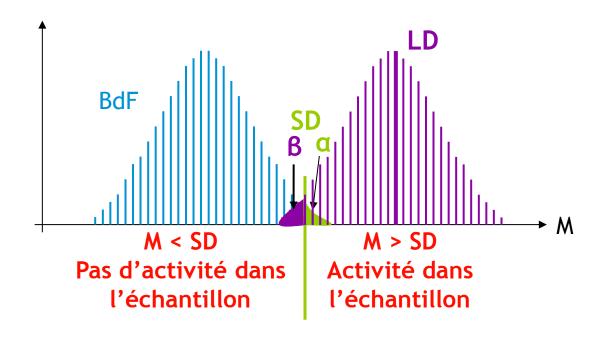


Interprétation d'une mesure d'activité

- Dans le cadre d'une surveillance d'un travailleur, je reçois un résultat de mesure radiotoxicologique ou anthroporadiométrique
 - Comment l'interpréter ?
- 1. La mesure est rendue comme « < LD »
 - Que cela signifie-t-il ?

LD, sensibilité de la mesure

Présence de bruit de fond variable (variabilité de Poisson)



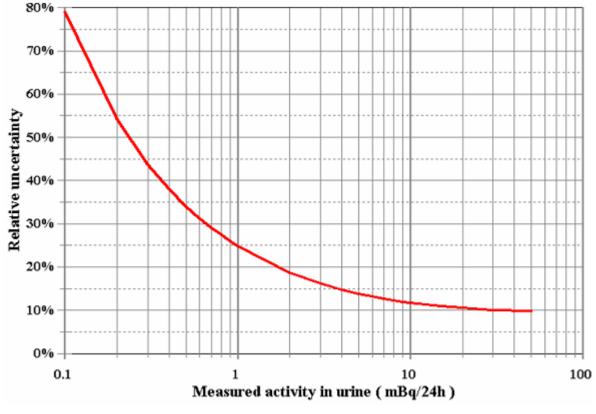
- La LD quantifie la sensibilité de la mesure d'activité.
- Du fait de la LD, des contaminations très faibles peuvent passer inaperçues.

Interprétation d'une mesure d'activité

- Dans le cadre d'une surveillance d'un travailleur, je reçois un résultat de mesure radiotoxicologique ou anthroporadiométrique
- 1. La mesure est rendue comme « < LD »
 - Dépend de la sensibilité de la mesure
- 2. La mesure est rendue comme « 1 mBq/j en ²³⁹Pu »
 - Quelle est la précision de la mesure ?

Précision de la mesure

Incertitudes dues à la préparation des échantillons (traitement chimique) et à la mesure de la radioactivité (variabilité de Poisson)

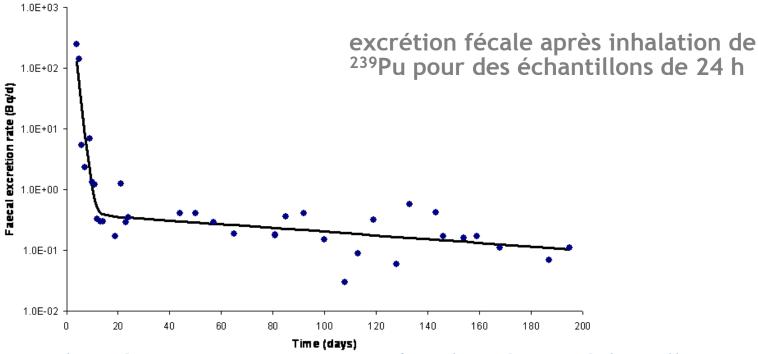


HURTGEN and COSSONNET, 2003

Incertitudes très importantes au niveau du SD et de la LD

Précision de la mesure

Incertitudes dues à la variabilité biologique de l'excrétion



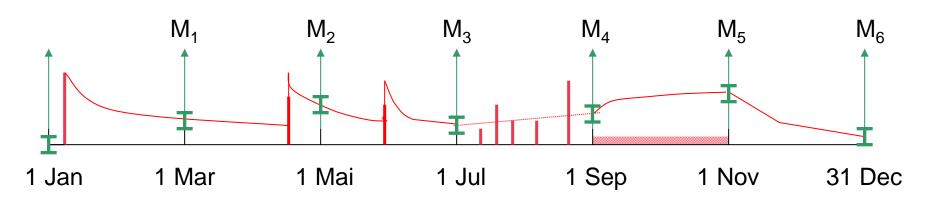
- Incertitudes très importantes peuvent être limitées en échantillonnant longtemps (urines de 24h, selles de 72h)
- Modélisées par une distribution lognormale avec écart-type géométrique défini comme le scattering factor (SF)
 MARSH et al, 2007

Interprétation d'une mesure d'activité

- Dans le cadre d'une surveillance d'un travailleur, je reçois un résultat de mesure radiotoxicologique ou anthroporadiométrique
- 1. La mesure est rendue comme « < LD »
 - Dépend de la sensibilité de la mesure
- 2. La mesure est rendue comme « 1 mBq/j en ²³⁹Pu »
 - Quelle est la précision de la mesure ?
 - Quelle pourrait être la date de contamination ?

Date(s) de contamination

- Incident identifié
 - Date connue
- Résultat d'une surveillance de routine
 - Contamination aigue? A quelle date?
 - Plusieurs contaminations ?
 - Contamination chronique ?
 - Reliquat d'une contamination antérieure ?



Interprétation d'une mesure d'activité

- Dans le cadre d'une surveillance d'un travailleur, je reçois un résultat de mesure radiotoxicologique ou anthroporadiométrique
- 1. La mesure est rendue comme « < LD »
 - Dépend de la sensibilité de la mesure
- 2. La mesure est rendue comme « 1 mBq/j en ²³⁹Pu »
 - Quelle est la précision de la mesure ?
 - Quelle pourrait être la date de contamination ?
 - Quel matériel contaminant ?

Matériel contaminant

- Composition isotopique
- Taille des particules
- Forme chimique

Pour une mesure urinaire de 1 mBq/j à J1 en ²³⁹Pu

DAMA (µm)	Type d'absorption	Dose efficace engagée (mSv)	Ecart relatif
5	Туре М	0.14	Référence
5	Type F	0.061	÷ 2.3
5	Type S	3.6	x 26
1	Type M	0.24	x 1.7
10	Type M	0.10	÷ 1.4

Impact important sur l'estimation dosimétrique

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 ²³⁹Pu »
 - 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 ?
 - **7** Composé de Type M avec un diamètre médian de 5 μm

Prise en compte des incertitudes

- Utilisation d'hypothèses par défaut
 - Méthode peu satisfaisante
 - 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
 - Surveillance de routine
 - Surveillance spéciale

Plan

- 1. Dose interne et incertitudes
- 2. Surveillance de routine

Application: Installation MELOX à Marcoule

- 3. Surveillance spéciale
- 4. Conclusion

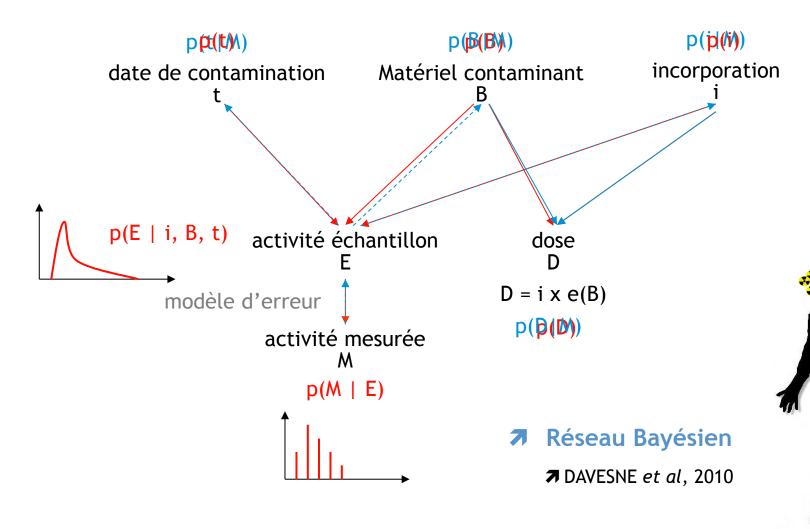


Norme ISO 20553

Les exigences générales suivantes doivent être observées lors de la spécification d'un programme de surveillance systématique:

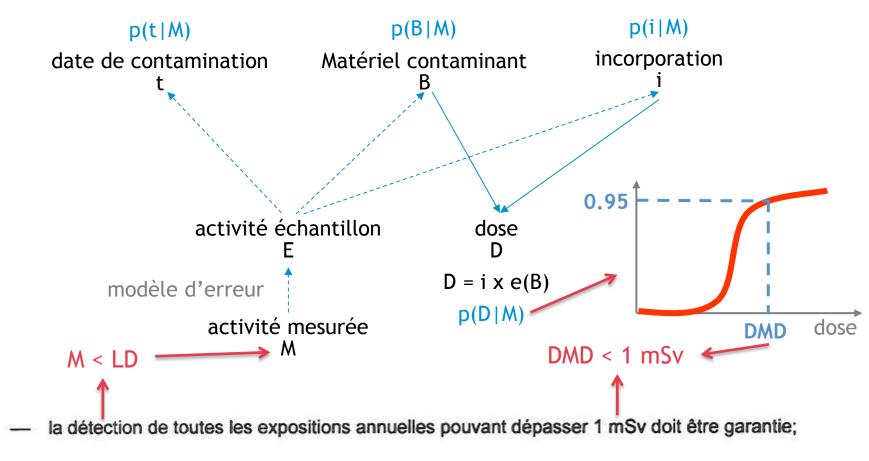
- les conséquences de la méconnaissance de l'intervalle de temps entre l'incorporation et l'examen doivent être limitées
 - sur la moyenne des intervalles de surveillance, les doses ne sont pas sous-estimées, et
 - la sous-estimation maximale de la dose trois;
- la détection de toutes les expositions annuelles pouvant dépasser 1 mSv doit être garantie;
 - NOTE Pour quelques radionucléides, cette exigence ne peut être remplie que pour la surveillance aux postes de travail.
- au moins deux examens doivent être effectués chaque année.
 - Prise en compte des incertitudes sur la date de contamination mais pour les autres sources d'incertitudes ?

Prise en compte des incertitudes





Dose minimale détectable (DMD)



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

Application logicielle:

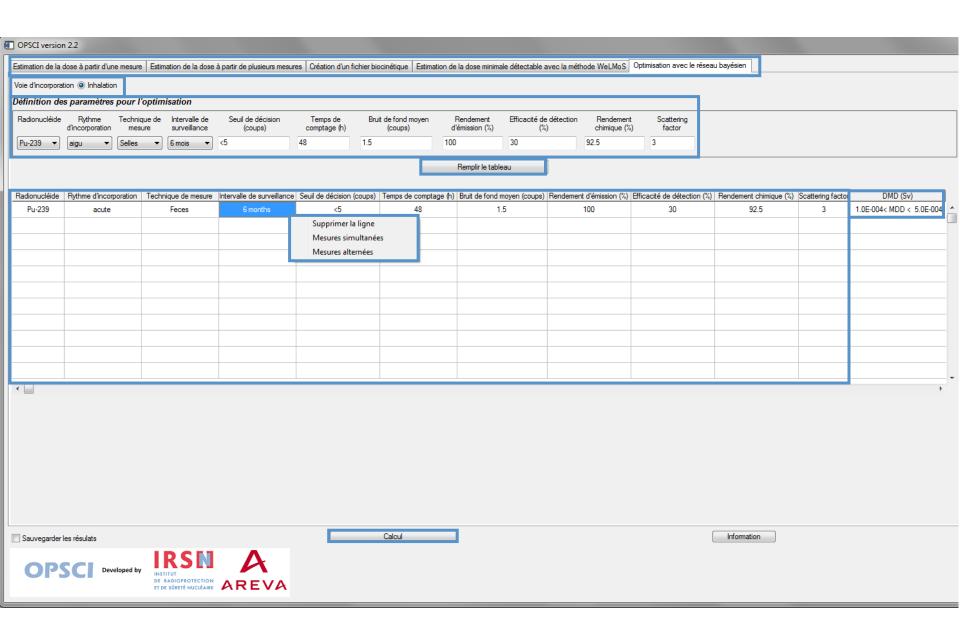
OPSCI

Optimisation des Programmes de Surveillance de la Contamination Interne

- Copropriété entre l'IRSN et AREVA
- 4 modules
 - 1. Calculer la dose efficace pour une seule mesure
 - 2. Calculer la dose efficace pour plusieurs radionucléides
 - 3. Estimer la dose minimale détectable pour un programme de surveillance
 - 4. Comparer plusieurs programmes

DE RADIOPROTECTION AREVA

Surveillance de routine



Plan

- 1. Dose interne et incertitudes
- 2. Surveillance de routine

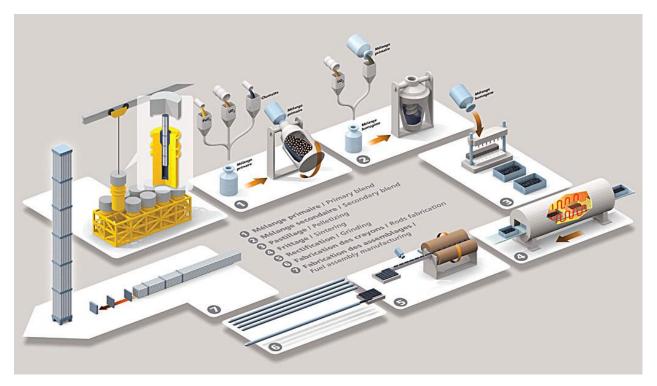
Application: Installation MELOX à Marcoule

- 3. Surveillance spéciale
- 4. Conclusion



Groupe de travailleurs étudié

Fabrication du combustible MOX selon le procédé MIMAS

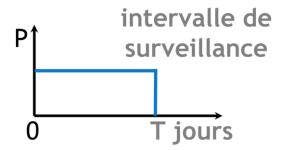


- Risque de contamination par des composés insolubles (PuO_2 et UO_2)
 - ⇒ Surveillance par des mesures de selles tous les ans

Recueil d'information et modélisation

Auprès du service de santé au travail

date de contamination

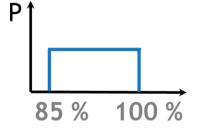


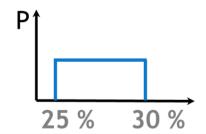
Auprès du laboratoire d'analyse médicale

bruit de fond



rendement chimique efficacité de détection

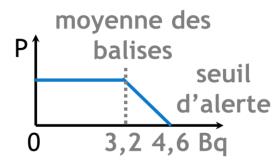




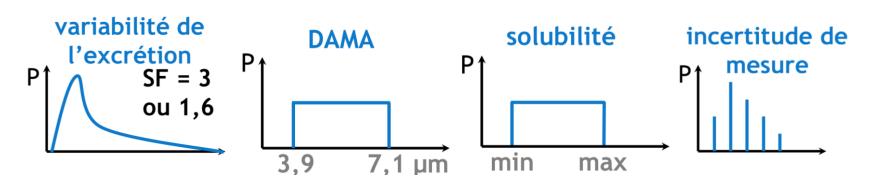
Recueil d'information et modélisation

Auprès du service de radioprotection

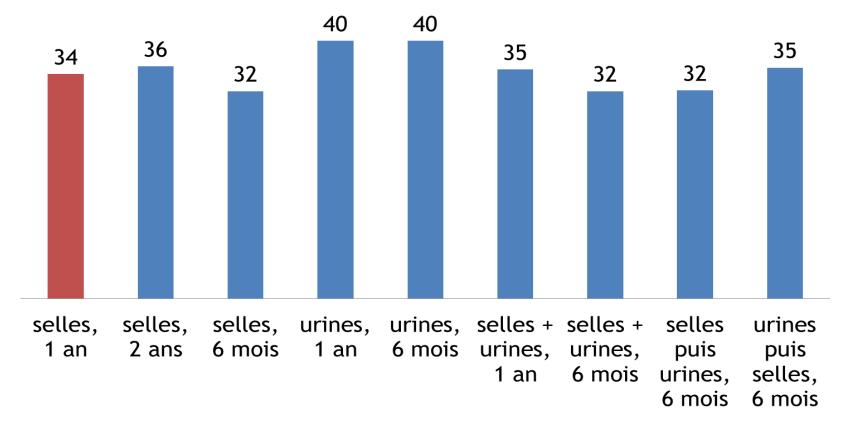
incorporation



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.
 - Logiciel OPSCI déposé à l'APP
- Méthode applicable à tous les programmes de surveillance de routine
- 7 Qu'en est-il pour la surveillance spéciale ?



Plan

- 1. Dose interne et incertitudes
- 2. Surveillance de routine

Application: Installation MELOX à Marcoule

- 3. Surveillance spéciale
- 4. Conclusion

Norme ISO 20553

Les programmes de surveillance spéciale sont mis en place pour quantifier des expositions significatives suite à des événements anormaux réels ou suspectés. C'est pourquoi, en comparaison avec les programmes de surveillance de routine, la date de l'incorporation est généralement mieux connue et d'autres informations peuvent être également disponibles, ce qui permet de réduire les incertitudes dans l'estimation dosimétrique. Dans ces cas, les objectifs de l'estimation de la dose comprennent: l'assistance aux décisions sur les contremesures (par exemple thérapie de décorporation), le respect des obligations légales et l'aide aux décisions dans les améliorations des conditions d'exposition aux postes de travail. Dans la plupart des cas, les programmes de surveillance spéciale sont mis en place individuellement. Dans les cas où il est suspecté que les limites d'exposition puissent être dépassées, il peut être approprié d'augmenter le nombre des examens afin de mieux appréhender les fonctions spécifiques de rétention et d'excrétion et les paramètres pouvant s'écarter des modèles biocinétiques par défaut.

7 Objectif: dimensionner le protocole de surveillance en fonction de la gravité de la situation

Principe

Ajout de mesures

- 1. Evénement anormal réel ou suspecté
- 2. Nécessité d'évaluer la contamination (réglementaire)
- 3. Réalisation de mesures radiotoxicologiques et/ou anthroporadiométrique
- 4. Estimation de l'incorporation (i) et de la dose (D) à partir des mesures
- 5. Estimation des incertitudes sur la dose

$$D = D_{estim\acute{e}e} \pm \Delta D$$

- 7 Réseau Bayésien
 - **↗** VINCENT et al, IM 2015
- 6. Probabilité de dépassement d'une limite de dose
- 7. Rendu de la dose et de son incertitude associée

La suite...

- Développement d'une méthode d'aide à la décision permettant de dimensionner le protocole de surveillance en fonction de
 - gravité de la situation
 - surveillance encore nécessaire ?
 - Quelles mesures et quelles dates de prélèvement pour conclure sur le dépassement ou non d'un seuil ?
 - sources d'information disponibles
 - Quelles informations pourraient être ajoutées ?
 - Composition isotopique,
 - Forme chimique,
 - Taille des particules...



Plan

- 1. Dose interne et incertitudes
- 2. Surveillance de routine

Application: Installation MELOX à Marcoule

- 3. Surveillance spéciale
- 4. Conclusion



Conclusion

- 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 de la situation en intégrant les sources d'information disponibles





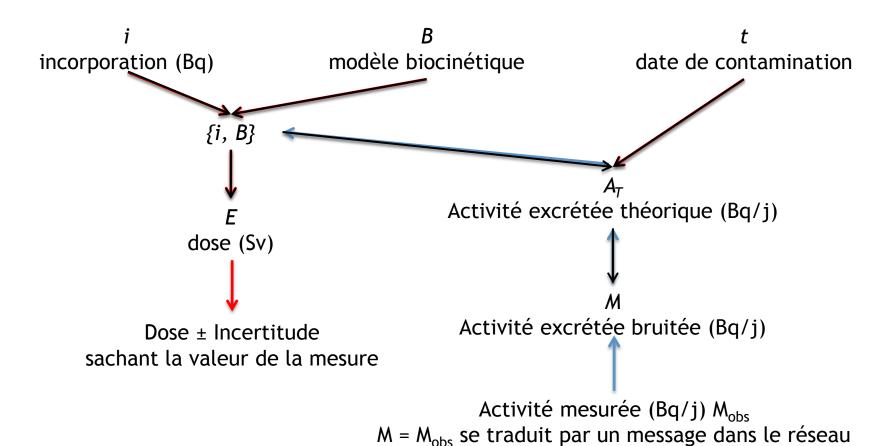


Faire avancer la sûreté nucléaire

Merci pour votre attention

Estimation de la dose et incertitude

Utilisation d'un réseau bayésien

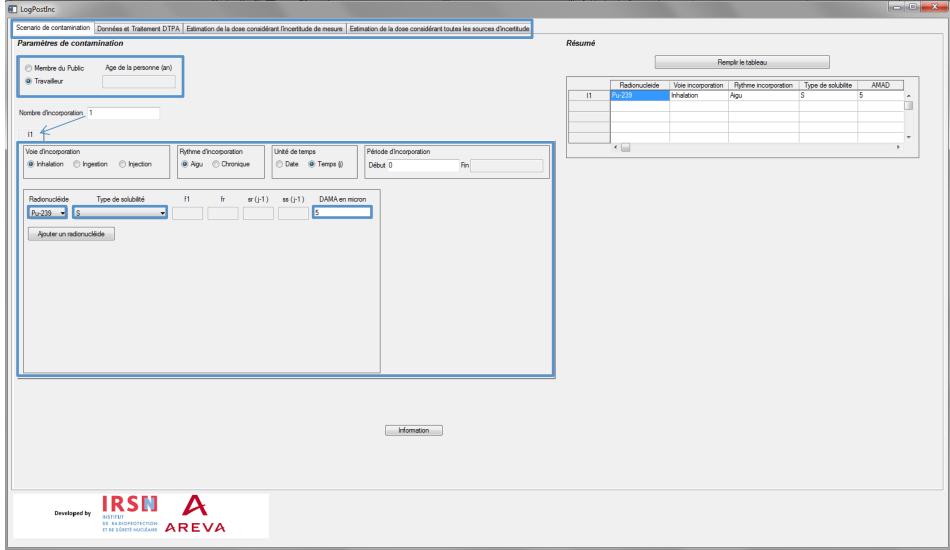


Ce message se propage de proche en proche

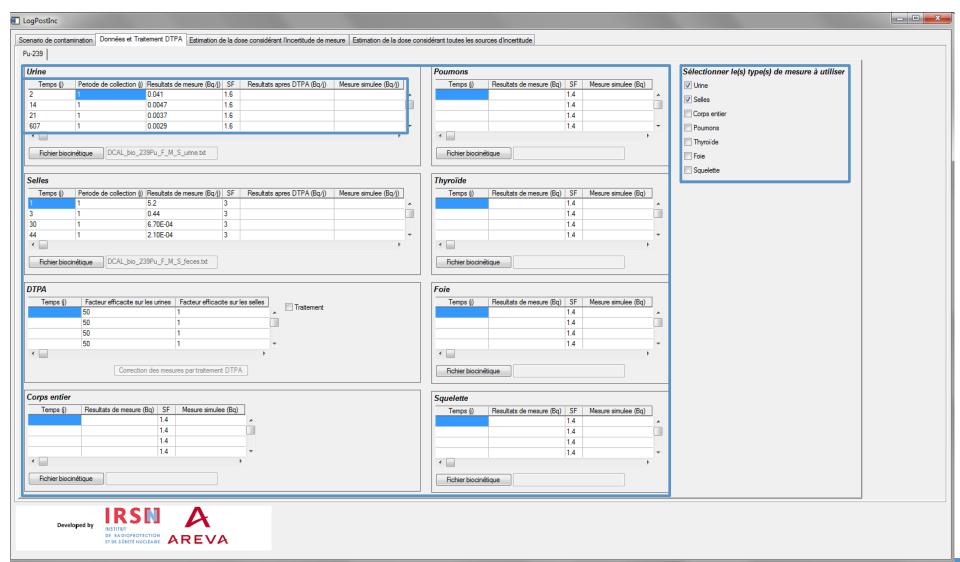
Dosimétrie interne mesure d'ambiance c i = c x b x tmodèle biocinétique m distribution dépôt élimination dans les d'énergie tissus modèle dosimétrique e dose $D = i \times e$



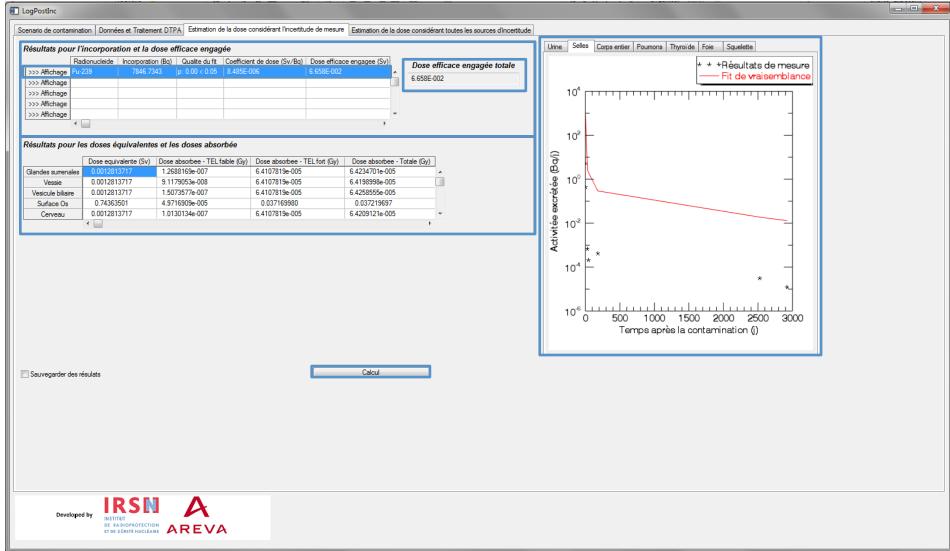
Scenario de contamination



Données et Traitement DTPA



Estimation de la dose



Estimation de la dose et incertitude

