

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

Nouvel outil pour le calcul de la dose interne : MODOSE



E. DAVESNE (IRSN)

P. LAROCHE (ORANO)

E. BLANCHARDON (IRSN)

19 juin 2019



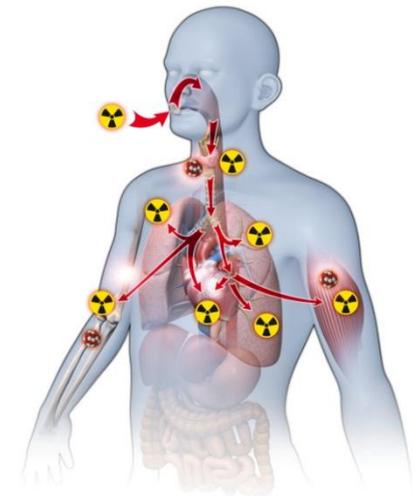
MEMBRE DE

ETSON

EUROPEAN
TECHNICAL SAFETY
ORGANISATIONS
NETWORK

Contexte

- Travailleurs exposés à un risque de contamination interne
 - Code de la Santé Publique + Code du Travail : estimation de l'exposition pour s'assurer du respect des limites de dose réglementaires
- ➔ Nécessité d'obtenir des données de surveillance pour estimer la dose interne



B. Bourgeois / Médiathèque IRSN

Surveillance des travailleurs

L. Zylberman/Graphix-
Images/Médiathèque IRSN



■ Etude de poste pour identifier

- radionucléides, formes chimiques, activités

■ Surveillance d'ambiance : préleveurs d'air, frottis

■ Surveillance de la contamination interne :

➤ Mesures radiotoxicologiques et/ou anthroporadiométriques

O. Seignette / M.
Lafontan / Médiathèque IRSN



Noak / Le bar Floréal /
Médiathèque IRSN

■ Si exposition potentielle significative et continue dans le temps :

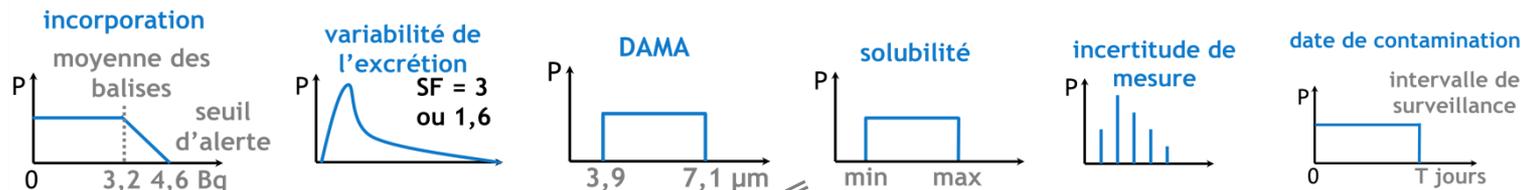
➤ Surveillance de routine : mesures périodiques programmées

➤ Comment choisir une surveillance adaptée (type(s) et fréquence(s) des mesures) ?

Quelle dose la surveillance permet-elle de détecter ?

Objectif : $DMD < 1\text{mSv}$, suivant ISO 20553 et guide SFMT

Incertitudes sur les conditions d'exposition et la mesure



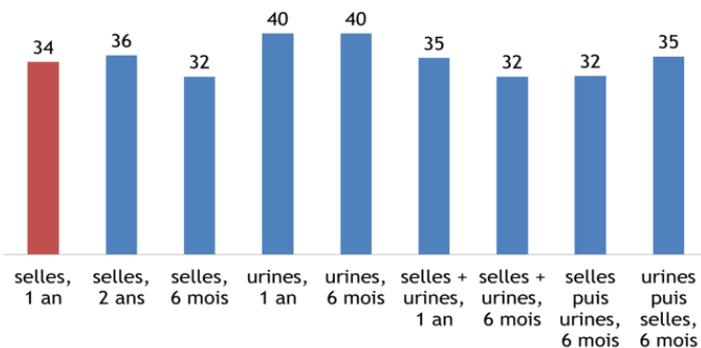
contamination non détectée = mesure < LD

Logiciel MODOSE



Calcul de la Dose Minimale Détectable

DMD (μSv) pour plusieurs programmes



Si le résultat de la mesure < LD, alors, en prenant en compte toutes les sources d'incertitudes, la dose correspondante est < DMD avec un niveau de confiance de 95%.

Utilisation de MODOSE

MODOSE v1 - Surveillance de routine

Fichier Mélange Biocinetique Aide

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

Délai depuis incorporation (j)	DAMA (micron)	Incorporation (Bq)	Dose (Sv)
Distribution <input type="text" value="Aucune"/>	Distribution <input type="text" value="Aucune"/>	Distribution <input type="text" value="Uniforme"/>	Minimum <input type="text" value="0"/>
Valeur <input type="text" value="0"/>	Valeur <input type="text" value="0"/>	Minimum <input type="text" value="0"/>	Maximum <input type="text" value="1000"/>
		Maximum <input type="text" value="1000"/>	

+ Ajouter mesure

Radionucléide	Type de mesure	Intervalle	Seuil de décision	Unités	Modèle	Moyenne	Écart-Type	SF	Fichier discretisation	Dose Min. Détectable (mSv)
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/> <input type="checkbox"/> Alternée	<input type="text"/>	<input type="text" value="Bq"/>	<input type="text" value="Normal"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Méthodes

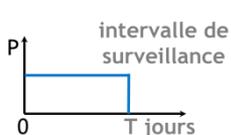
WeLMoS

Réseau Bayésien

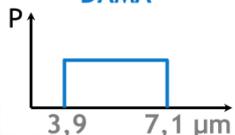
Calculer

Utilisation de MODOSE

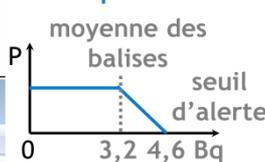
date de contamination



DAMA



incorporation



Fichier Mélange Biocinetique Aide



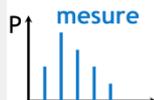
Voie d'incorporation Inhalation Rythme d'incorporation Aiguë Fichier solubilité Pu_type_M_S_sol.bt

Délai depuis incorporation (j) Distribution Unifome Minimum 0 Maximum 180	DAMA (micron) Distribution Unifome Minimum 3.9 Maximum 7.1	Incorporation (Bq) Distribution Trapèze 1er seuil 3.2 2ème seuil 4.6	Dose (Sv) Minimum 0 Maximum 0.1
--	---	---	---------------------------------------

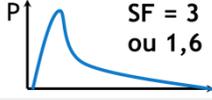
solubilité



incertitude de mesure



variabilité de l'excrétion



Radionucléide	Type de mesure	Intervalle	Seuil de décision	Unités	Temps de comptage (h)	Bruit moyen	Rendement d'émission (%)	Efficacité de détection (%)	Rendement chimique (%)	Modèle	SF
Pu-239	Selles	6 mois <input type="checkbox"/> Alternée	<5	Coups	48	1.5	100	32	91.5	Poisson	3.
Pu-239	Urine	6 mois <input type="checkbox"/> Alternée	<5	Coups	48	1.5	100	32	91.5	Poisson	1.6

Radionucléide

Types de mesure et intervalle de surveillance

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

MODOSE

orano

Méthodes

WeLMoS

Réseau Bayésien

Calculer

Plus petite activité détectable

Temps de comptage, bruit de fond, rendements d'émission et chimique, efficacité de détection, incertitudes de mesure

Surveillance des travailleurs

L. Zylberman/Graphix-
Images/Médiathèque IRSN



Etude de poste pour identifier

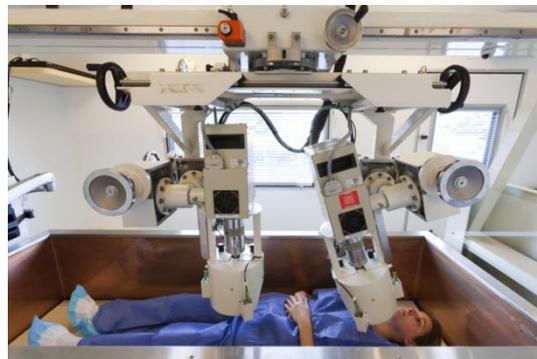
- radionucléides, formes chimiques, activités

Surveillance d'ambiance : préleveurs d'air, frottis

Surveillance de la contamination interne :

➤ Mesures radiotoxicologiques et/ou anthroporadiométriques

O. Seignette/M.
Lafontan/Médiathèque IRSN



Noak/Le bar Floréal/
Médiathèque IRSN

Si exposition accidentelle :

➤ Surveillance spéciale : mesures suite à un événement anormal

➤ Comment estimer la dose à partir des mesures ?

➤ Quelle surveillance mettre en place ?

Estimation de la dose interne



Courbe de rétention/excrétion
= mesure pour 1 Bq
incorporé, en fonction du
temps après incorporation

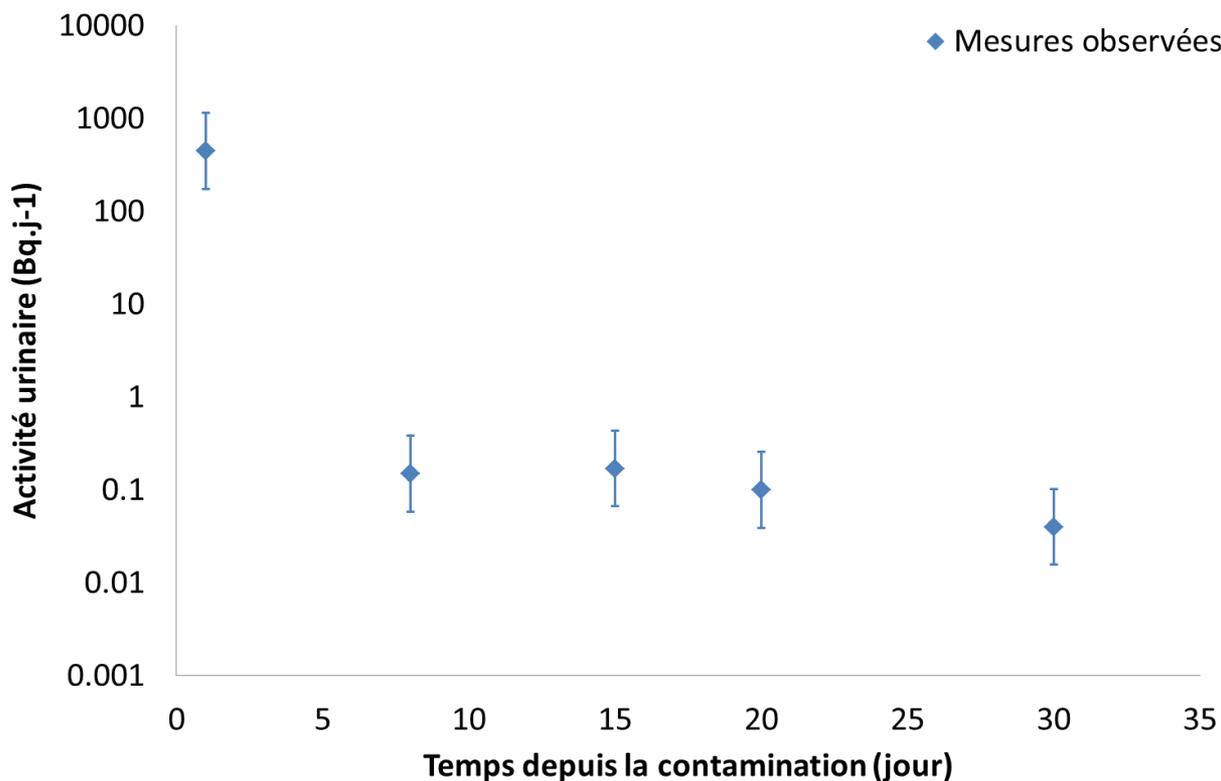
DPUI = dose pour 1 Bq
incorporé

Incorporation = nb de
Bq incorporés

Dose interne

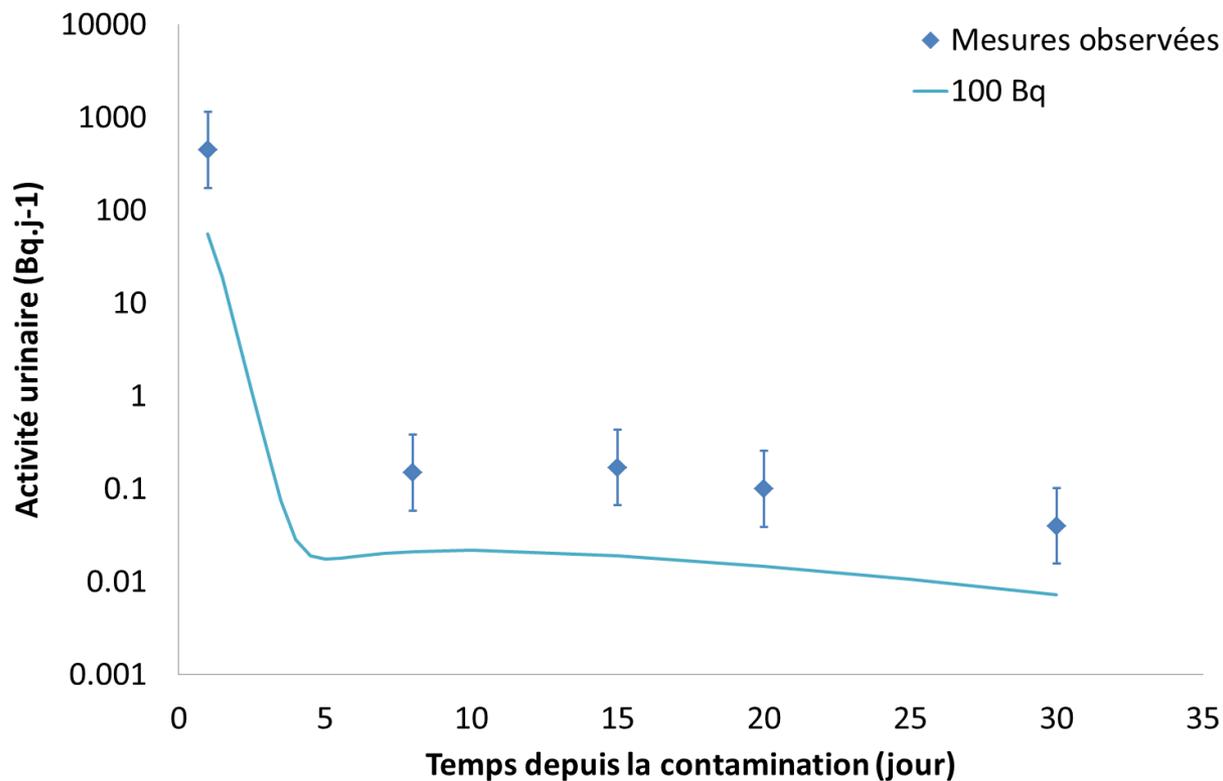
Estimer l'incorporation : plus d'1 mesure

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



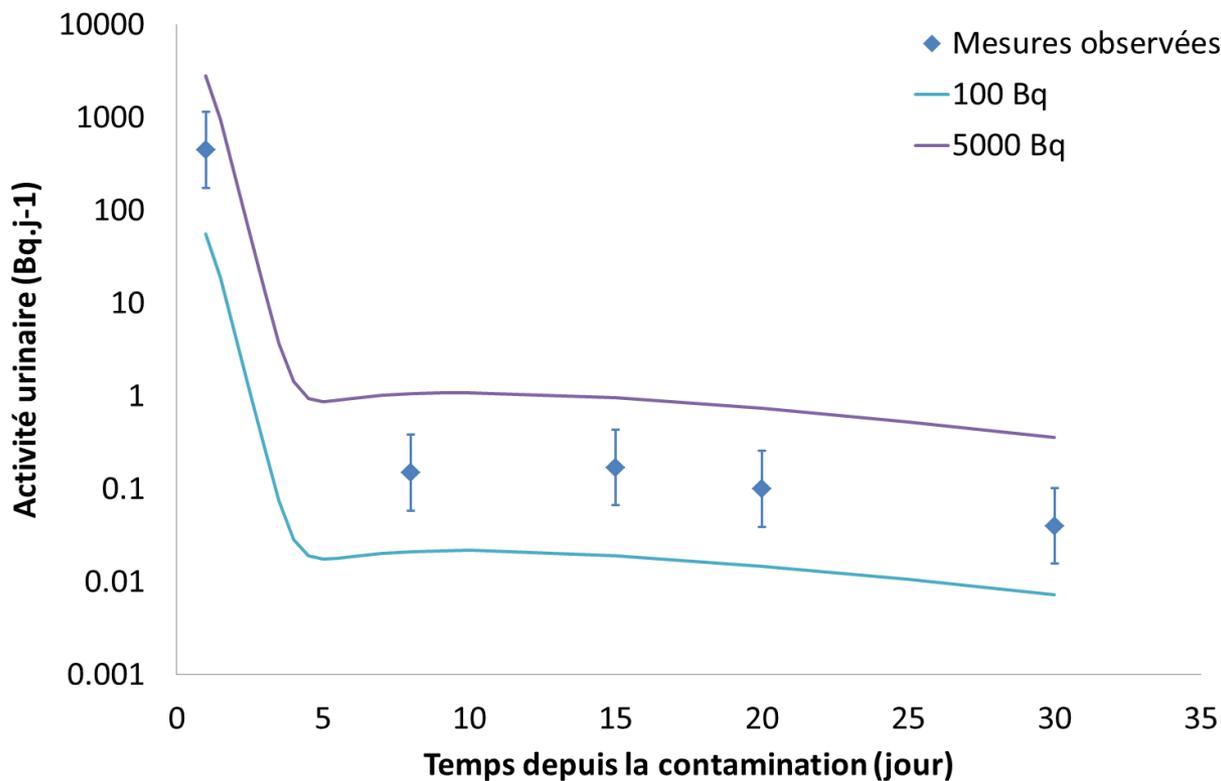
Estimer l'incorporation : plus d'1 mesure

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



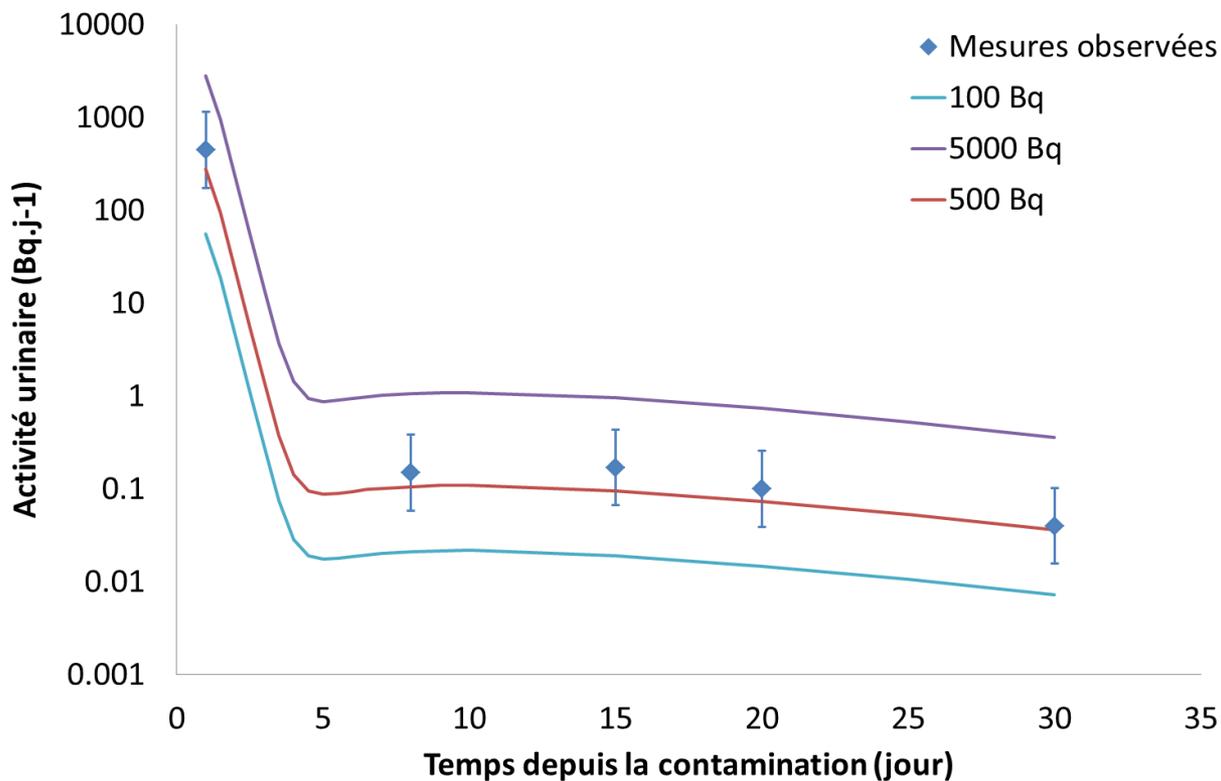
Estimer l'incorporation : plus d'1 mesure

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



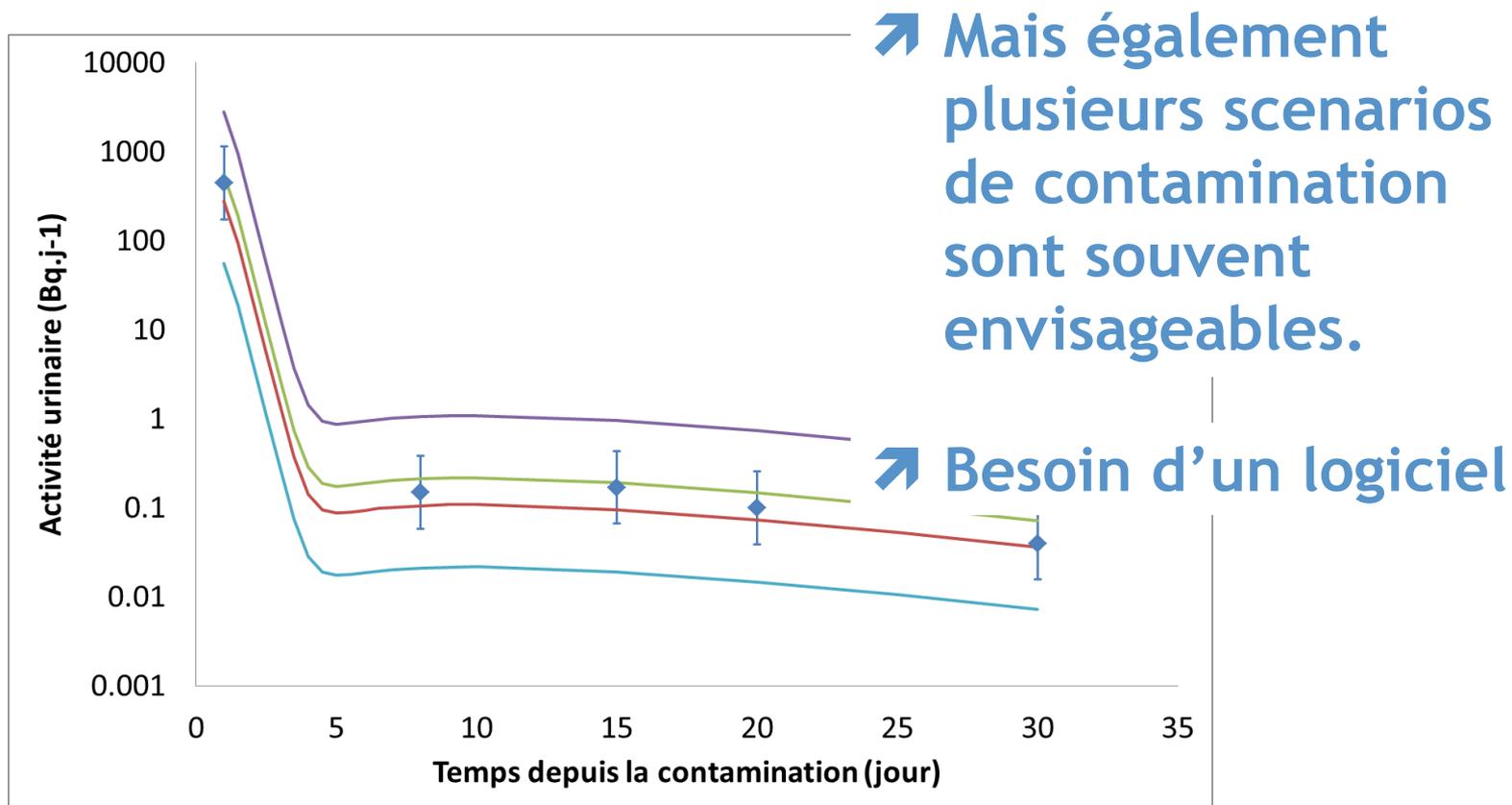
Estimer l'incorporation : plus d'1 mesure

- 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

MIDOSE v1 - Surveillance spéciale

Fichier Mélange Biocinetique Aide

Personne exposée
Travailleur

Exprimer le temps en fonction de :
 Date de contamination
 Délai (j) depuis le début de la contamination

Unité de temps = Date ?
Jour ?

Radionucléide I-131

Différentes contaminations pour le RN
Voie de contamination Aiguë ? Chronique Date de la contamination

Incorporation 1 Incorporation 2 Incorporation 3

DAMA Absorption/ forme chimique

Voie d'incorporation Rythme d'incorporation Date DAMA (micron) Absorption

Inhalation Aiguë 11/09/2014 5. vapeur SR-1, f1 = 1 : vapeur d'iode élémentaire I2, forme gazeuse non spécifiée

Urine Mesures anthropo

- Date,
- Valeur,
- SF

Anthroporadiométrie Thyroïde

	Date	Activité mesurée (Bq)	SF	
<input checked="" type="checkbox"/>	18/09/2014	5.10E+002	1.168	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	02/10/2014	1.70E+002	1.169	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	16/10/2014	2.45E+004	1.168	<input checked="" type="checkbox"/>

Selles DTPA

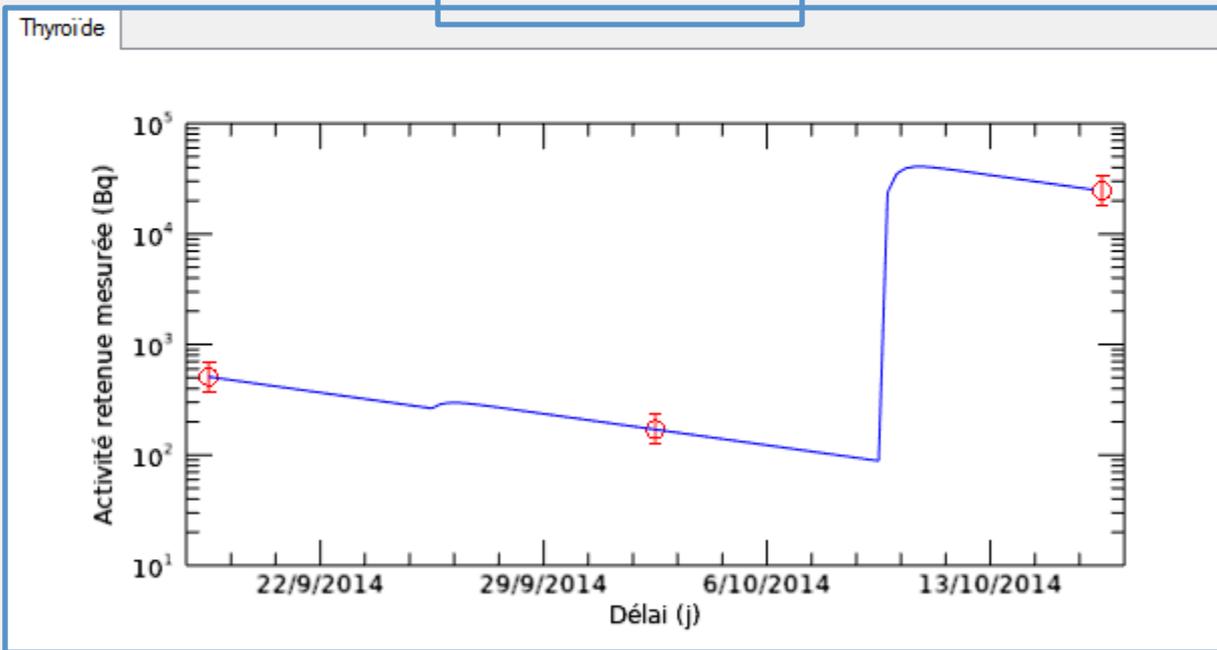


Résultats pour l'incorporation et la dose efficace engagée

	Incorporation (Bq)	Qualité du fit	Coefficient de dose (Sv/Bq)	Dose efficace engagée
I-131 (Incorporation 1)	3.66E+003	P: 1.0000 > 0.05	1.98E-008	7.24E-005
I-131 (Incorporation 2)	2.35E+002	P: 1.0000 > 0.05	1.98E-008	4.65E-006
I-131 (Incorporation 3)	1.75E+005	P: 1.0000 > 0.05	1.98E-008	3.47E-003

Dose Totale (mSv) 3.55E+000

Dose efficace totale



Pour chaque RN

- Incorporation (Bq),
- Qualité de l'ajustement, DPUI,
- Dose efficace

Mesures en rouge
Prédictions du modèle en bleu



Back

Incertitude

MIODOSE v1 - Surveillance spéciale

Fichier Mélange Biocinétique Aide

Personne exposée: Travailleur

Exprimer le temps en fonction de : Date de contamination Délai (j) depuis le début de la contamination

TECHREC, Ex. 4 Pu-239 Am-241

Radionucléide: TECHREC, E

Possibilité de créer des mélanges de RN

Modèle plaie

Incorporation 1

Voie d'incorporation: Blessure Rythme d'incorporation: Aiguë Délai (j): 0 DAMA (micron): 5 Absorption: Strong

Urine Anthroporadiométrie Corps entier

	Délai (j)	Période de recueil (j)	Activité mesurée (Bq/j)	SF	Activité corrigée suite au DTPA (Bq/d)
<input checked="" type="checkbox"/>	1	1	7.46E+000	2	1.66E-001
<input checked="" type="checkbox"/>	2	1	1.34E+000	2	
<input checked="" type="checkbox"/>	3	1	9.41E-001	2	

Mesures urinaires
Mesures fécales
Outil de normalisation

	Délai (j)	Période de recueil (j)	Activité mesurée (Bq/j)	SF	Activité corrigée suite au DTPA (Bq/d)
<input checked="" type="checkbox"/>	1	1	9.20E-003	5	9.20E-003
<input checked="" type="checkbox"/>	2	1	7.40E-003	5	7.40E-003
<input checked="" type="checkbox"/>	3	1	2.44E-002	5	2.44E-002

DTPA

	Délai (j)	Facteur d'efficacité
<input checked="" type="checkbox"/>	0	Urine 45.
<input checked="" type="checkbox"/>	1	Selles 1.
<input checked="" type="checkbox"/>	4	

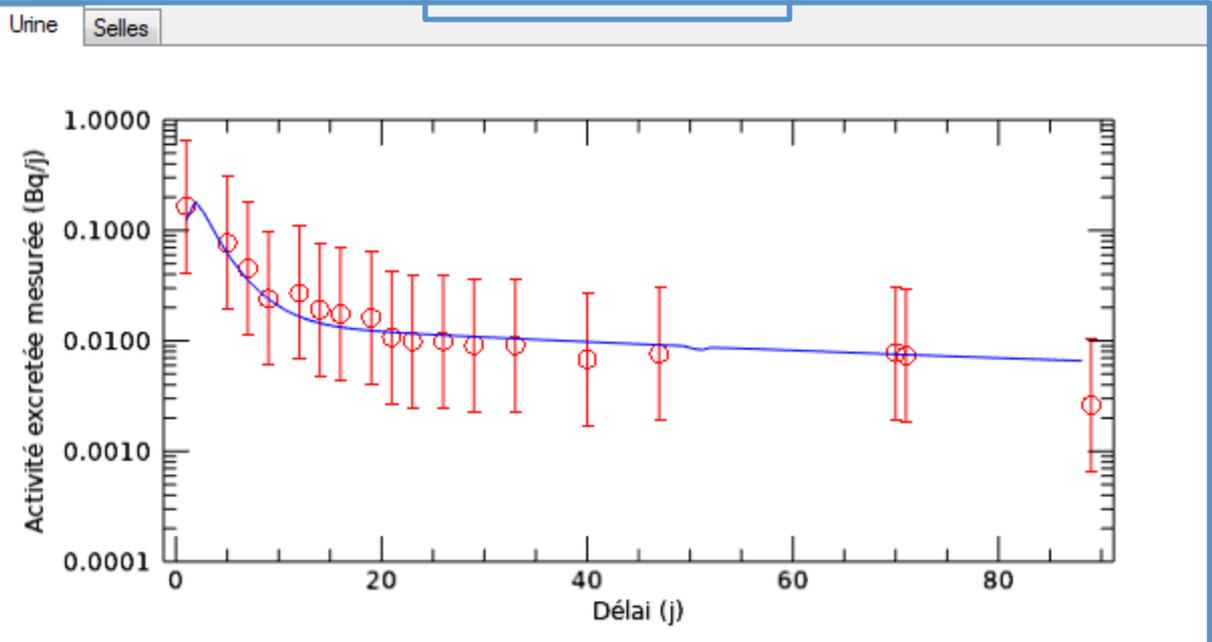
Appliquer

Prise en compte du DTPA
Efficacité personnalisable
Correction automatique
des mesures

Résultats pour l'incorporation et la dose efficace engagée

	Incorporation (Bq)	Qualité du fit	Coefficient de dose (Sv/Bq)	Dose efficace engagée
Pu-238 (Incorporation 1)	6.33E+001	P: 0.9941 > 0.05	4.40E-004	2.78E-002
Pu-241 (Incorporation 1)	1.01E+003		8.02E-006	8.12E-003
Pu-239 (Incorporation 1)	4.83E+001	P: 0.9887 > 0.05	4.87E-004	2.35E-002
Am-241 (Incorporation 1)	4.10E+001	P: 0.9866 > 0.05	3.94E-004	1.62E-002

Dose Totale (mSv) 7.57E+001



Pour les mélanges, affichage des incorporations et des doses de chaque RN

Dose totale

Affichage des mesures et des prédictions du modèle pour le RN traceur du mélange

Validation

■ MODOSE est validé par rapport au logiciel IMBA Professional Plus (PHE, UK)

Test de validation	Dose efficace engagée (mSv) estimée par		Ecart relatif (%)
	IMBA	MODOSE	
Cas 1 de l'intercomparaison EURADOS	0,177	0,178	0.6%
Exemple 3 de EC RP series 188	3,54	3,55	0.2%
Exemple 4 de EC RP series 188	76,8	75,6	-1.6%
Exemple 5 de EC RP series 188	11,3	11,2	-0.9%
Exemple 6 de EC RP series 188	0,0855	0,0857	0.2%

➔ Ces tests permettent de valider MODOSE pour la partie estimation de la dose interne après un événement de contamination.

Conclusion



- Miodose = Monitoring of Internal expOsure and DOSE assessment
- Copropriété entre l'IRSN et Orano (ex-AREVA)
- Miodose est un logiciel opérationnel qui permet :
 - l'optimisation des programmes de surveillance de routine de la contamination interne par la comparaison des doses minimales détectables par différents programmes de surveillance,
 - l'estimation de la dose suivant un incident de contamination ainsi que son incertitude associée,
 - l'optimisation des programmes de surveillance spéciale en comparant l'utilité de réaliser différents types de mesures à différentes dates après l'incident (à venir).



Merci pour votre attention

estelle.davesne@irsn.fr

miodose@irsn.fr