



**Etude de la cinétique
anthropogammamétrique
après contamination interne
par radionucléides émetteurs
gamma en INB**

**Mathieu SAILLY,
Isabelle LECOUTEULX**

***CADORmed*
Bernard LANDRY**



Introduction :

Justification des mesures in vivo

> Article 15 de l'arrêté du 17 juillet 2013 : « Le médecin du travail détermine la dose efficace engagée »



Evaluation de dose basée sur les mesures in vitro / 0.5 mSv

2008

Accréditation des
mesures corps
entier
COFRAC



Mesures in vitro



2013

Réglementation
française



2014

CADOR
outil
interne
Excel.



2015

Début de la
thèse de
médecine
Mathieu Saily



2018

Groupe de travail
calcul de dose

Nouvelles modalités d'estimation de la dose interne

< 0,1 mSv

- Pas d'investigation supplémentaires

0,1 à 0,5 mSv

- mesures corps entier

THÈSE

> 0,5 mSv

- mesures corps entier + analyses radio-toxicologiques

Matériel et méthode: Collecte des données

Première étape :

CNPE de Paluel

analyse exhaustive des cas de contaminations internes entre 2008 et 2016

Plus de 200 spectres analysés
36 cas contamination

Deuxième étape:

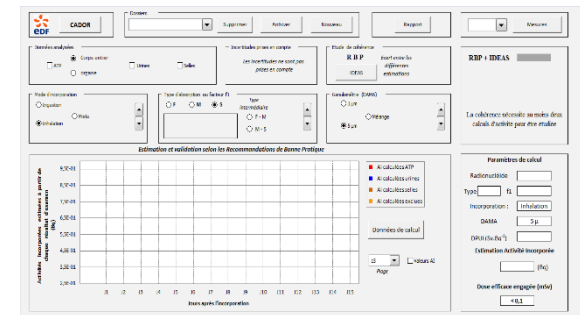
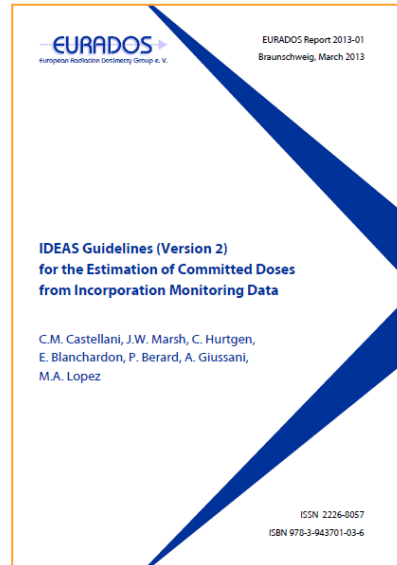
Extension de l'étude à 14

autres CNPE, Cas de contamination avec au moins 4 mesures corps entier

Plus de 800 spectres analyses 113 cas de contamination



Matériel et méthode: Etude de la cinétique / validation des modèles



RECOMMANDATIONS DE BONNE PRATIQUE

- Utilisation de la moyenne géométrique
- Cohérence acceptable si l'écart entre les différentes estimations est $<$ facteur 3
- Les incertitudes ne sont pas prises en compte

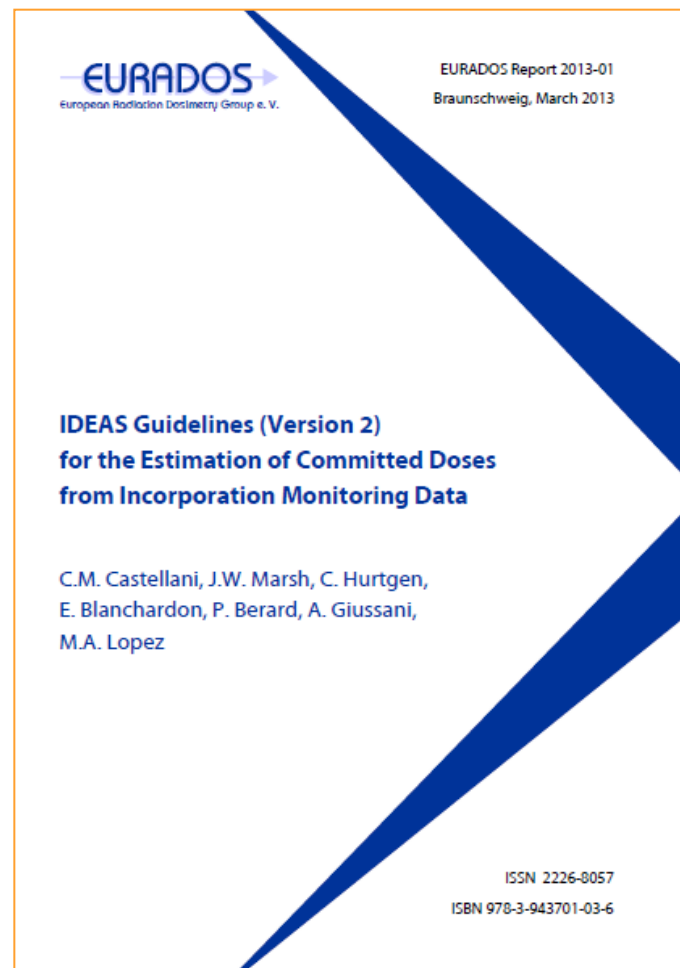
RECOMMANDATIONS DE BONNE PRATIQUE

SURVEILLANCE MÉDICO-PROFESSIONNELLE
DE L'EXPOSITION INTERNE AUX RADIONUCLÉIDES
EN INSTALLATIONS NUCLÉAIRES DE BASE

JUILLET 2011

EURADOS IDEAS GUIDELINES

- Les incertitudes sont estimées : Scattering Factors
- Utilisation de la méthode du maximum de vraisemblance
- Etude de la cohérence par le test du χ^2



OUTIL CADOR


CADOR

Dossiers

Données analysées
☐ ATP
☒ Corps entier
☐ Urines
☐ Selles
☐ organe

Incertitudes prises en compte
Les incertitudes ne sont pas prises en compte

Etude de cohérence
R B P
Ecart entre les différentes estimations

RBP + IDEAS

Mode d'incorporation
☐ Ingestion
☒ Inhalation
☐ Mixte

Type d'absorption ou facteur f1
☐ F
☐ M
☒ S
Type intermédiaire
☐ F - M
☐ M - S

Ganulométrie (DAMA)
☐ 1 µm
☒ 5 µm
☐ Mélange

La cohérence nécessite au moins deux calculs d'activité pour être étudiée

Estimation et validation selon les Recommandations de Bonne Pratique

Activités incorporées estimées à partir de chaque résultat d'examen (Bq)

☒ AI calculées ATP
☐ AI calculées urines
☐ AI calculées selles
☐ AI calculées exclues

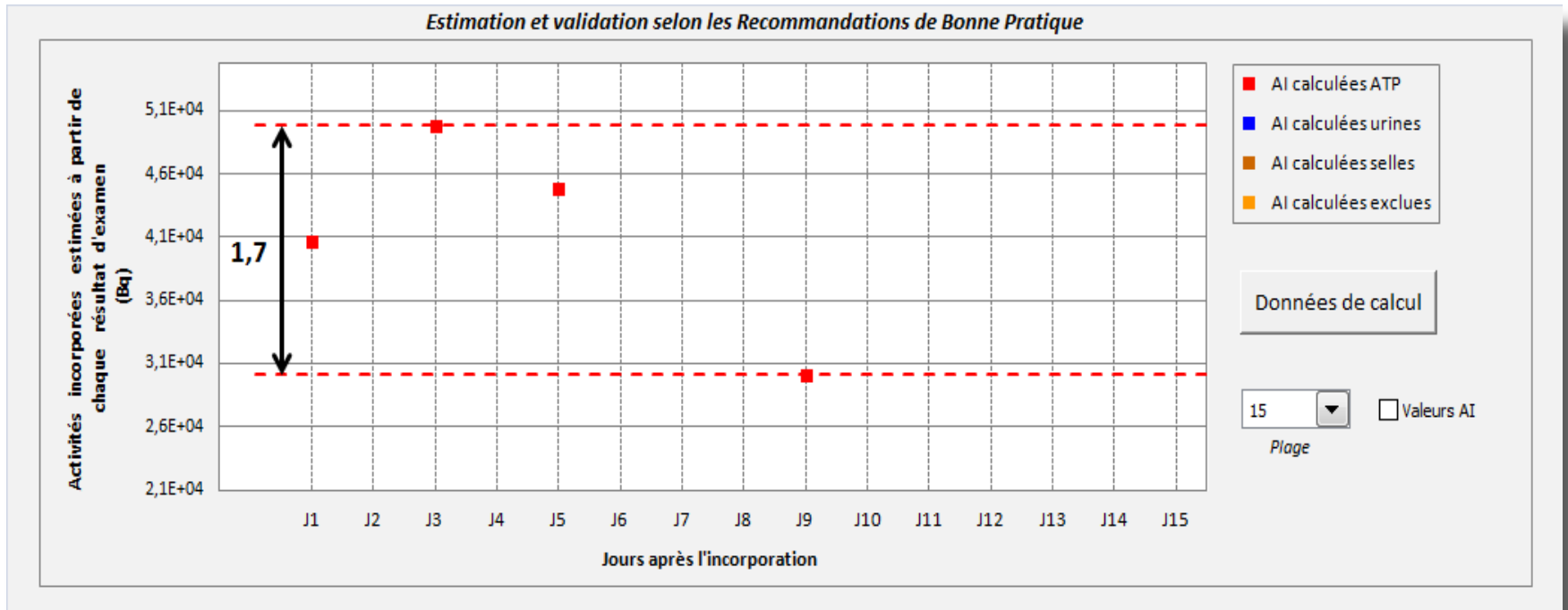
☐ Valeurs AI

J1 J2 J3 J4 J5 J6 J7 J8 J9 J10 J11 J12 J13 J14 J15

Jours après l'incorporation

Paramètres de calcul
Radionucléide
Type f1
Incorporation :
DAMA
DPUI (Sv.Bq⁻¹)
Estimation Activité Incorporée (Bq)
Dose efficace engagée (mSv)

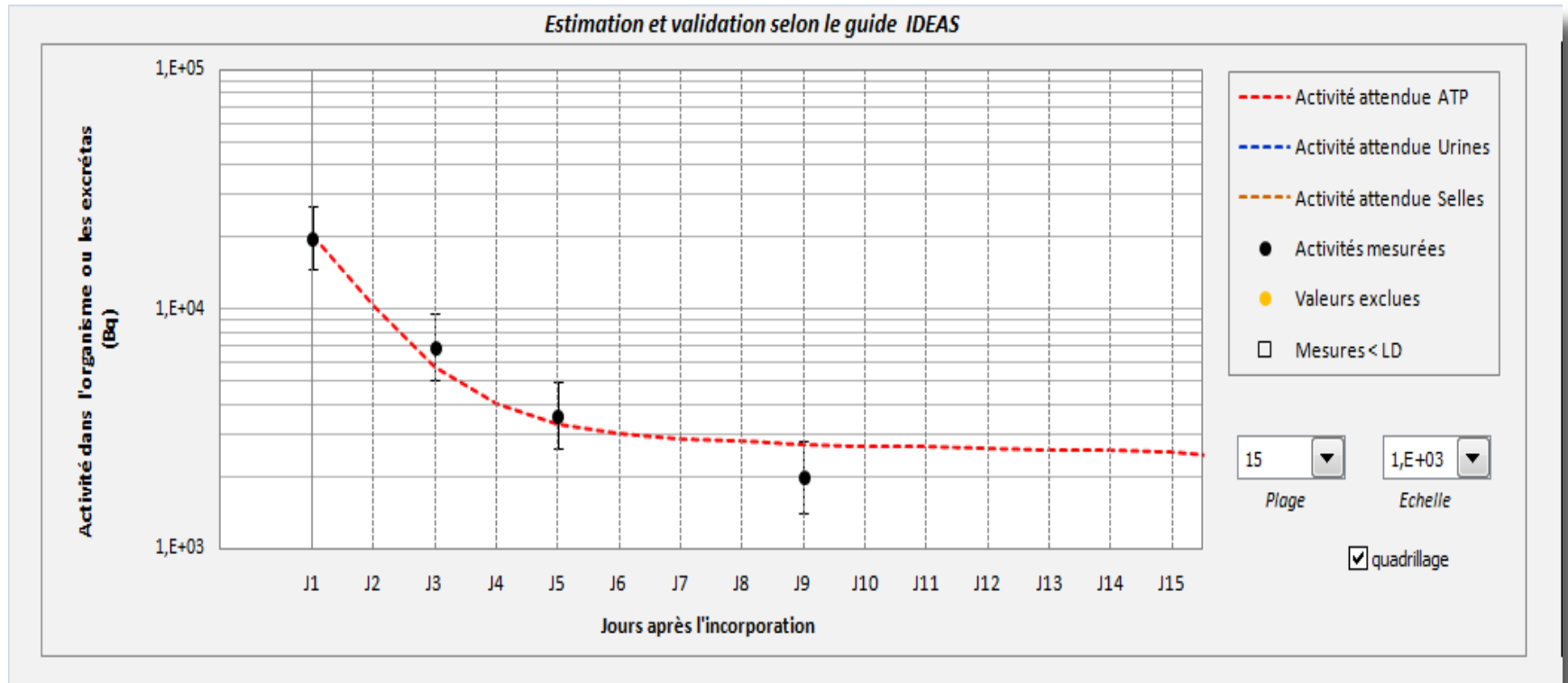
PREMIÈRE ÉTAPE DE VALIDATION



Recommandation n° 61

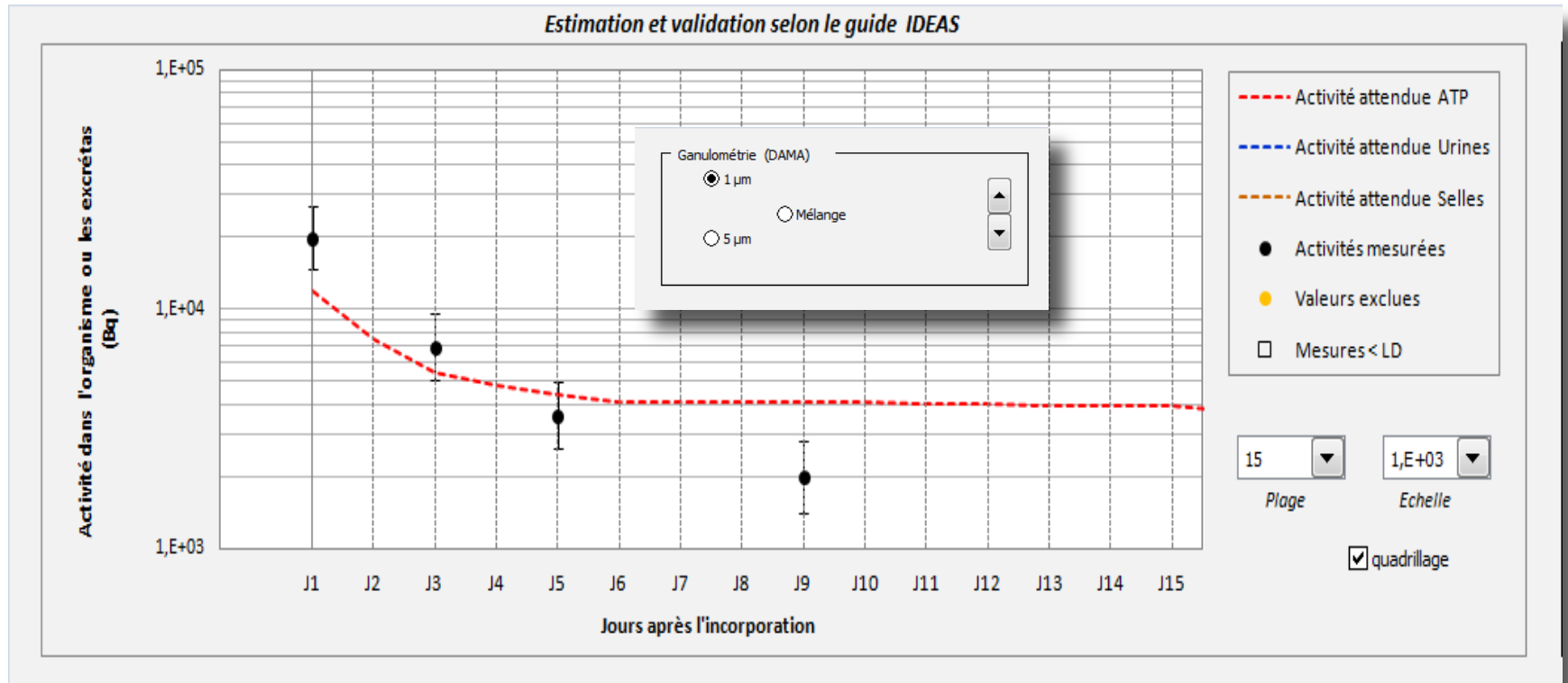
Pas plus d'un facteur 3 entre les différentes estimations

DEUXIÈME ÉTAPE DE VALIDATION



Aspect visuel du graphique avec les activités mesurées et la courbe prévue par le modèle.

DEUXIÈME ÉTAPE DE VALIDATION



L'aspect visuel élimine une granulométrie de 1 µm

TROISIÈME ÉTAPE DE VALIDATION : TEST DU KHI²

Incertitudes prises en compte

☐ Incertitudes de mesure

☒ SFA Guide IDEAS

Etude de cohérence

IDEAS

RBP

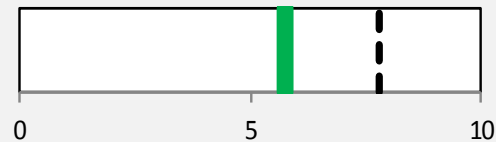
khi² théorique : 7,81

khi² calculé : **5,78**

ddl : **3**

**Les hypothèses du modèle sont
validées au test du khi²**

Test du khi²



SYNTHÈSE RBP ET IDEAS


CADOR

Dossiers
Ex 9 présentation HEIR
Supprimer
Archiver
Nouveau

Rapport

Co 60
Mesures

Données analysées
☒ ATP
E > 100 keV
☒ Corps entier
☐ Urines
☐ Selles
☐ organe

Incertitudes prises en compte
☒ Incertitudes de mesure
☐ SF A Guide IDEAS

Etude de cohérence
IDEAS
RBP
 khi^2 théorique : 7,81
 khi^2 calculé : 4,94
ddl : 3

RBP + IDEAS

Les hypothèses du modèle sont validées au test du khi^2

Test du khi^2

Mode d'incorporation
☐ Ingestion
☒ Inhalation
☐ Mixte

Type d'absorption ou facteur f1
☐ F
☐ M
☒ S
Type intermédiaire
☐ F - M
☐ M - S
Oxydes, Hydroxydes, Halogénures, Nitrates

Ganulométrie (DAMA)
☐ 1 μ m
☒ 5 μ m
☐ Mélange

Estimation et validation selon le guide IDEAS

Activité dans l'organisme ou les excréta (Bq)

Jours après l'incorporation

-- -- -- Activité attendue ATP
-- -- -- Activité attendue Urines
-- -- -- Activité attendue Selles
● Activités mesurées
● Valeurs exclues
□ Mesures < LD

15 Plage 1,E+03 Echelle

☒ quadrillage

Paramètres de calcul
Radionucléide Co 60
Type S f1 5,0E-02
Incorporation : Inhalation
DAMA 5 μ
DPUI (Sv.Bq⁻¹) 1,7E-08
Estimation Activité Incorporée
4,12E+04 (Bq)
Maximum de vraisemblance
Dose efficace engagée (mSv)
0,7

SYNTHESIS RBP + IDEAS

RBP + IDEAS



Cohérence avec les
deux méthodes

RBP + IDEAS



Cohérence avec au
moins une méthode

RBP + IDEAS



Cohérence avec aucune
méthode

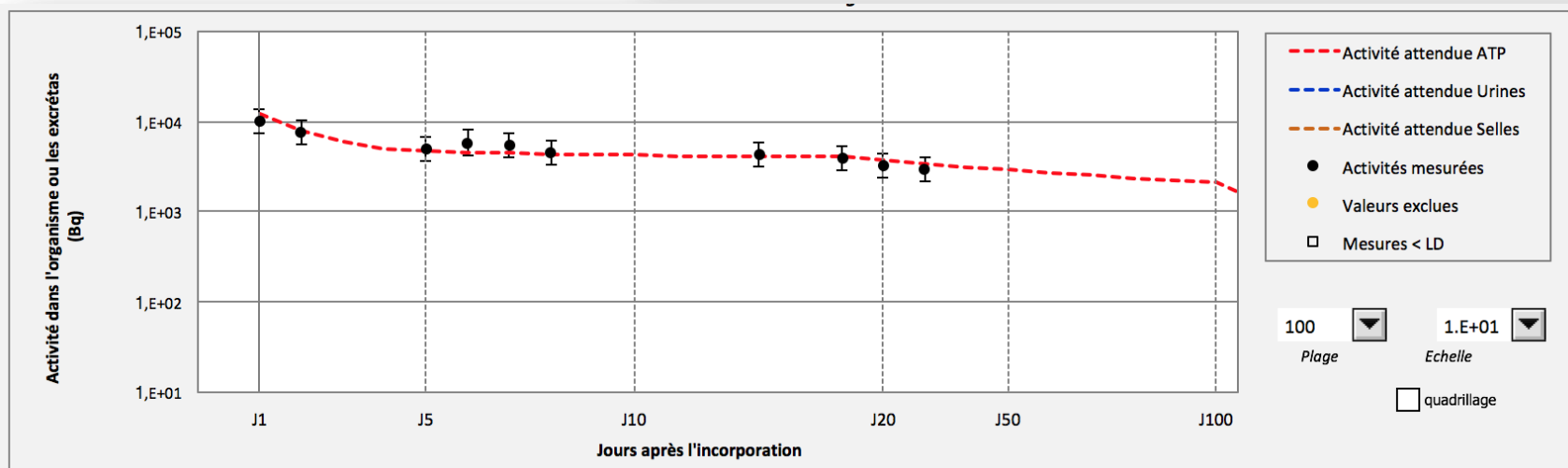
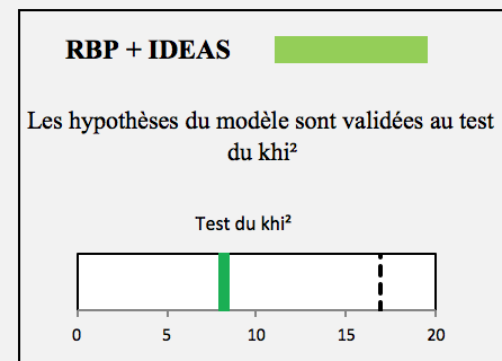
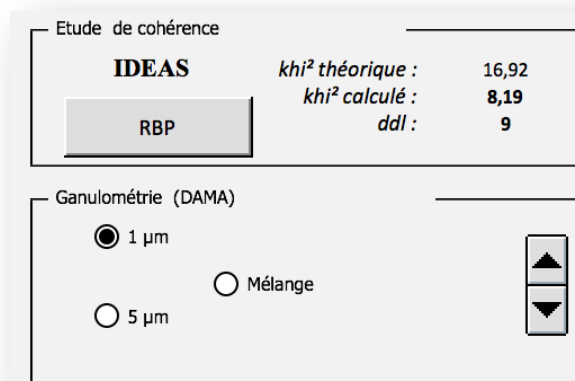
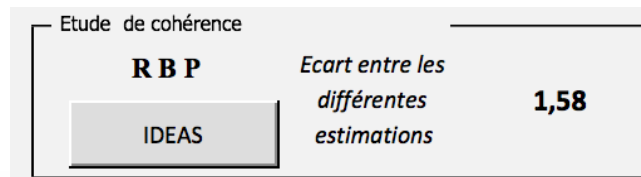
Inhalation Ag 110m

■ Modèle inhalation 1 µm type S

- RBP
- Test du khi²:

Modèle validé

- Aspect de la courbe :



Inhalation Co60

■ 1 μm Type S Inhalation Model

- RBP :
- Test du χ^2

Modèle validé

- Aspect de la courbe:

Etude de cohérence

R B P

IDEAS

Ecart entre les
différentes
estimations

2,76

Etude de cohérence

IDEAS

RBP

χ^2 théorique : 12,59
 χ^2 calculé : 30,76
ddl : 6

Ganulométrie (DAMA)

☒ 1 μm

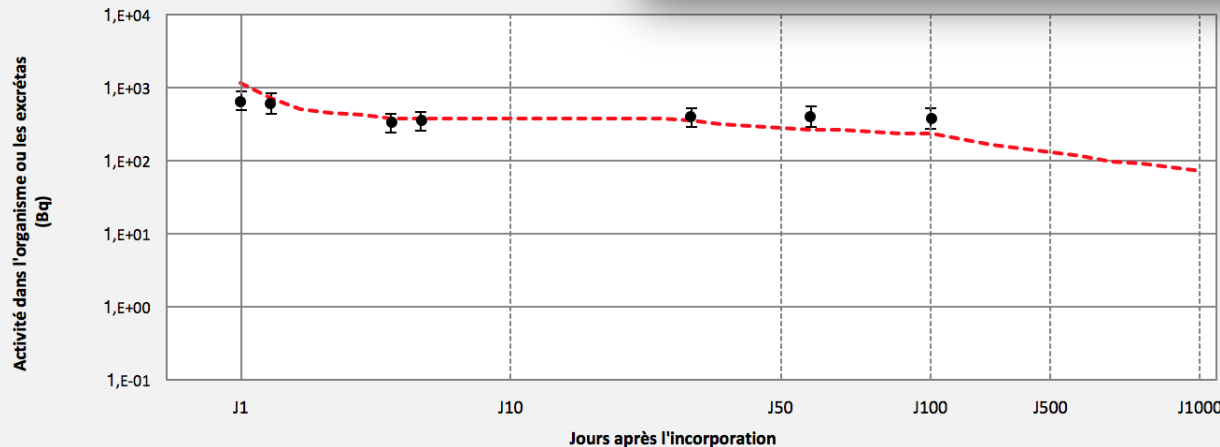
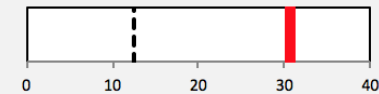
☐ Mélange

☐ 5 μm

RBP + IDEAS

Les hypothèses du modèle ne sont pas validées
au test du χ^2

Test du χ^2



- Activité attendue ATP
- Activité attendue Urines
- Activité attendue Selles
- Activités mesurées
- Valeurs exclues
- Mesures < LD

1000

Plage

1.E-01

Echelle

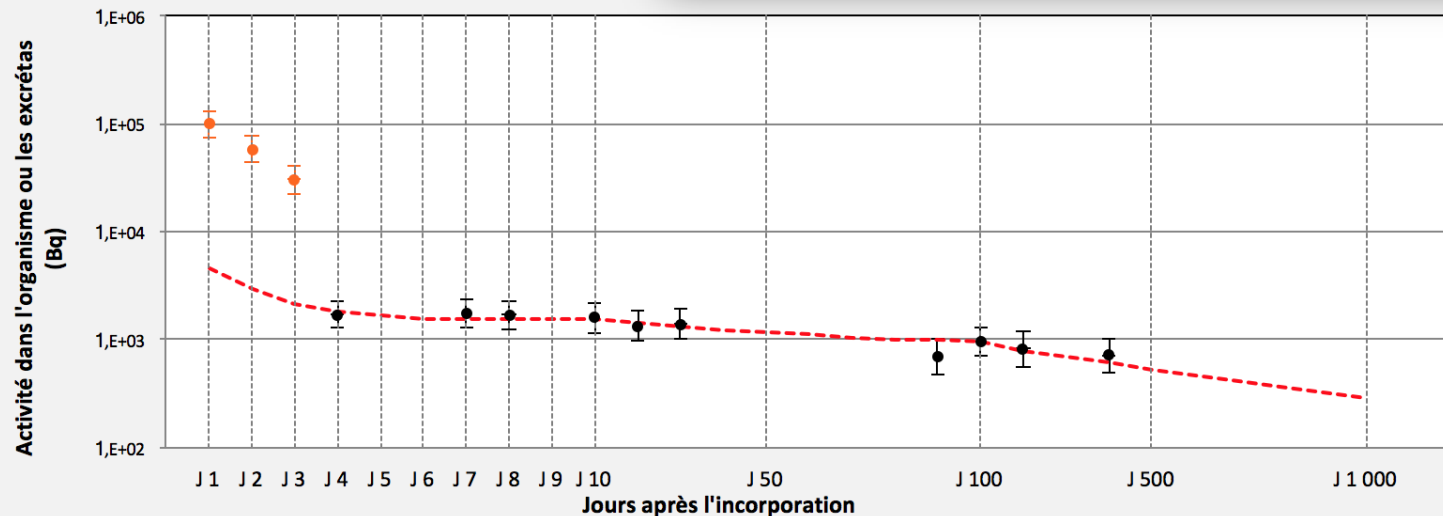
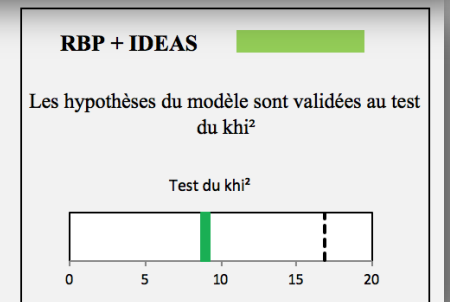
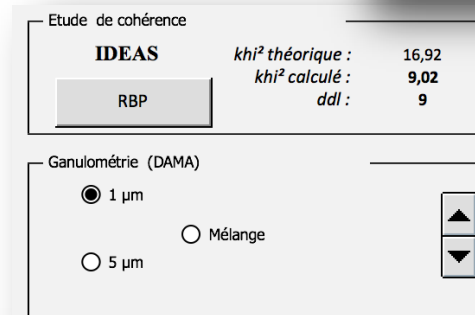
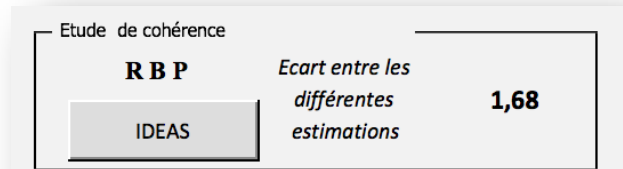
☐ quadrillage

- Dans cet exemple, le DAMA est plus petit que 1 μm .

Inhalation + particule chaudes de Co 60

- 1 μm Type S Co60 + Hot particles
 - RGP :
 - Test du χ^2
 - Exclusion des 3 premières mesures

Modèle validé



Ingestion Co58

- F=0.01 Ingestion model

- RGP
- Test du khi²

Modèle validé

Etude de cohérence

R B P

Ecart entre les
différentes
estimations

1,83

IDEAS

Etude de cohérence

IDEAS

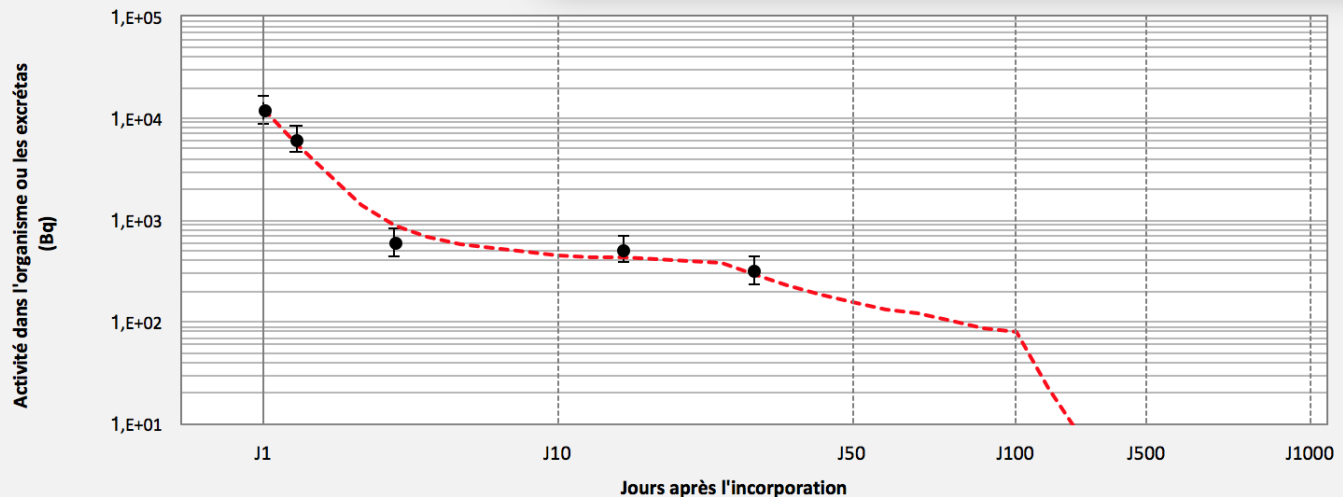
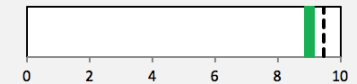
khi² théorique : 9,49
khi² calculé : 9,04
ddl : 4

RBP

RBP + IDEAS

Les hypothèses du modèle sont validées au test du khi²

Test du khi²



Resultats

Au total, 66 cas de contamination interne identifiés *

* Quelques cas n'ont pas été retenus car ils correspondaient à des particules chaudes (21 cas).

- dont 34 cas conduisant à une dose efficace engagée (E_{50}) > 0,1 mSv

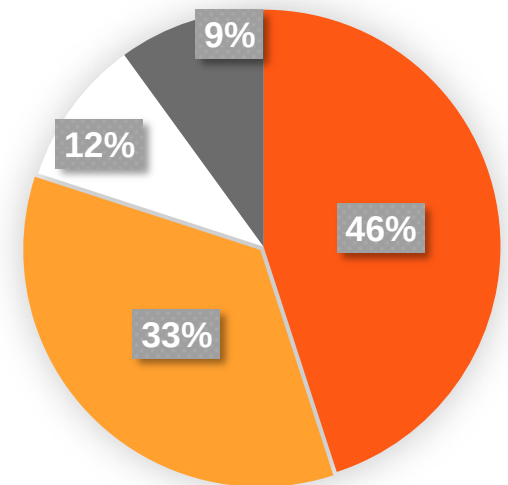
Radionucléides identifiés

- **Cobalt 58** : trouvé dans 55% des cas, isolé ou non.
- **Cobalt 60** : trouvé dans 48% des cas, isolé ou non.
- **Argent110m** : trouvé dans 26% des cas, isolé ou non.
- **Autres** : Césium 137, Antimoine 124, Zirconium-Niobium 95, Chrome 51, Manganese 54.

Resultats

Modèles d'incorporation observés

- Modèle Inhalation dans 91% des cas.
 - **DAMA 5 μm : 46%**
 - DAMA 1 μm : 33%
 - DAMA 5/1 μm + particule chaude: 12%
- Modèle Ingestion dans 9% of cases.
 - $f = 0,05$: 7%



Validation des modèles

- RBP + χ^2 validé dans 79% des cas.
- RGP seulement dans 21% des cas.



CADOR^{med}

CAlcul de DOse Réglementaire

Par le médecin du travail



Type de surveillance

Surveillance de routine

Surveillance spéciale

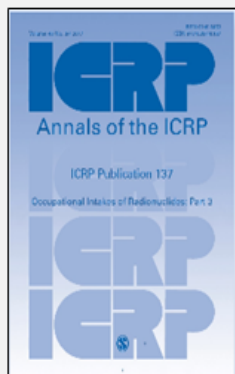
Paramètres de calcul

Limites de Détection

Radionucléides

Facteurs de Dispersion

Options avancées



RECOMMANDATIONS DE BONNE PRATIQUE

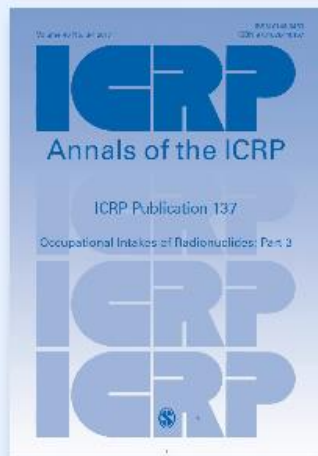
**SURVEILLANCE MEDICOPROFESSIONNELLE
DE L'EXPOSITION INTERNE AUX RADIONUCLÉIDES
EN INSTALLATION NUCLEAIRE DE BASE**

NORME INTERNATIONALE **ISO 20553**

NORME INTERNATIONALE **ISO 27048**



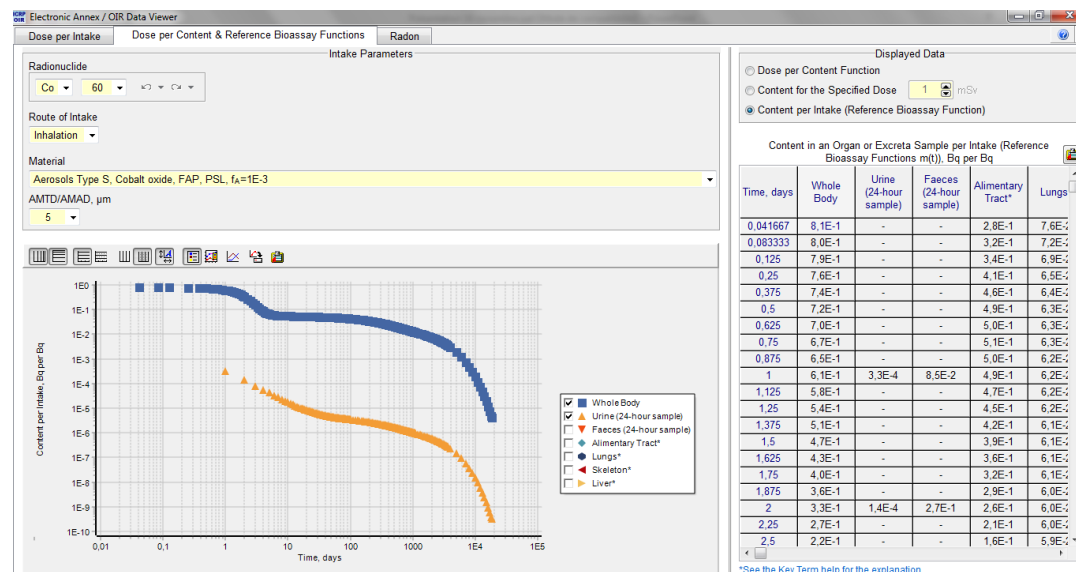
Nouveaux modèles OIR



Buy from SAGE

Other Resources

OIR Data Viewer for P134 and P137 v150618F
2018 June 15



*See the Key Term help for the explanation

Procédure sécurisée de copie OIR



Radionucléide : Sb-115	Modèles biocinétiques												
Forme chimique	Injection	Ingestion	Inhalation										
			0,001 µm	0,003 µm	0,01 µm	0,03 µm	0,1 µm	0,3 µm	1 µm	3 µm	5 µm	10 µm	20 µm
Inhalation, Aerosols Type F, Chloride, tartrate, fA=5E-2, 0.001 µm													
Inhalation, Aerosols Type M, Trioxide, all unspecified forms, fA=													
Inhalation, Aerosols Type S, fA=5E-4, 0.01 µm													
-													
-													
-													
-													
-													

X

Radionucléide Sb-115

[Help](#)

➔

Show the progression

➔

1 - Sélectionner à chaque fois les mêmes paramètres dans CADORMed et OIR

Inhalation ▼
Inhalation, Aerosols Type F, Chloride, tartrate, fA=5E-2 ▼
0.001 µm ▼

2 - Coller les données

Paste the data
Cancel

V - Coller dans la base de données CADORMed

[Paste in Cadormed](#)

Supprimer un radionucléide de la base de données CADORMed

Césium ▼
Cs-137 ▼
Delete

Procédure sécurisée de copie OIR



Radionucléide : Sb-115	Modèles biocinétiques												
Forme chimique	Injection	Ingestion	Inhalation										
			0,001 µm	0,003 µm	0,01 µm	0,03 µm	0,1 µm	0,3 µm	1 µm	3 µm	5 µm	10 µm	20 µm
Inhalation, Aerosols Type F, Chloride, tartrate, fA=5E-2, 0.001 µm													
Inhalation, Aerosols Type M, Trioxide, all unspecified forms, fA=													
Inhalation, Aerosols Type S, fA=5E-4, 0.01 µm													
-													
-													
-													
-													
-													

X

Radionucléide Sb-115

[Help](#)

1 - Sélectionner à chaque fois les mêmes paramètres dans CADORMed et OIR

Inhalation ▼
Inhalation, Aerosols Type F, Chloride, tartrate, fA=5E-2 ▼
0.003 µm ▼

2 - Coller les données

Paste the data
Cancel

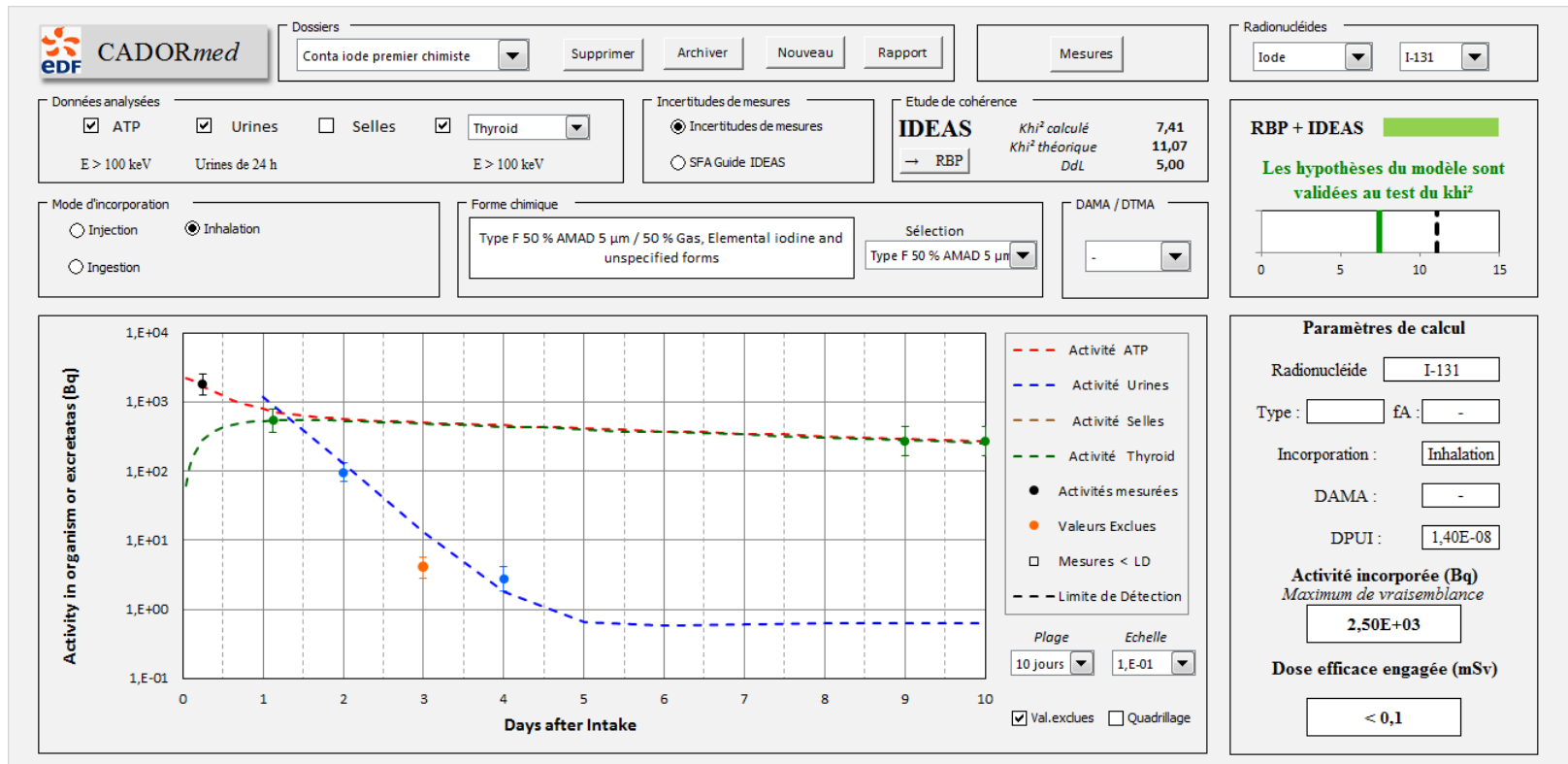
V - Coller dans la base de données CADORMed

[Paste in Cadormed](#)

Supprimer un radionucléide de la base de données CADORMed

Césium ▼
Cs-137 ▼
Delete

Analyses ATP, urines, selles + 1 organe





Merci
de votre attention

