

**IRSN**

INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

*Faire avancer la sûreté nucléaire*



# Interprétation des résultats de surveillance individuelle des expositions professionnelles au dioxyde d'uranium : « Proposition de dosimétrie collective »

*E. Davesne, N. Blanchin, E. Chojnacki, L. Touri, M.  
Ruffin, E. Blanchardon*

Congrès National de Radioprotection de la SFRP

Bordeaux-Lac le 13 Juin 2013

# Présentation de l'étude

## ➤ Fabrication de combustible d'uranium

- Exposition des travailleurs à des poussières de  $\text{UO}_2$ 
  - Surveillance par des mesures fécales tous les 6 mois,
  - Surveillance par des mesures urinaires tous les 3 mois
- Présence naturelle d'uranium dans les excréta
  - Urines potentiellement positives pour des personnes non exposées
  - Selles presque toujours positives pour des personnes non exposées
- Comment déterminer si les travailleurs ont été contaminés ?
  - Comparaison de deux populations :
    - Travailleurs exposés à  $\text{UO}_2$  = population **exposée**
    - Travailleurs exposés au MOX sans Pu mesuré = population **témoin**

## ➤ Recueil des données radiotoxicologiques pour ces deux groupes de travailleurs

# Données radiotoxicologiques

## ■ Pour la population exposée

- Recueillies de 2004 à 2011
- Limites de détection données pour chaque isotope de l'U

Isotope	Urines			Selles		
	total	> LD	< LD	total	> LD	< LD
$^{234}\text{U}$	474	209	265	274	274	0
$^{238}\text{U}$	474	90	384	274	274	0
$^{235}\text{U}$	474	0	474	274	95	179

Dans les urines, les LD varient entre 0,1 et 3 mBq pour les 3 isotopes et entre 0,1 et 8 mBq dans les selles

# Données radiotoxicologiques

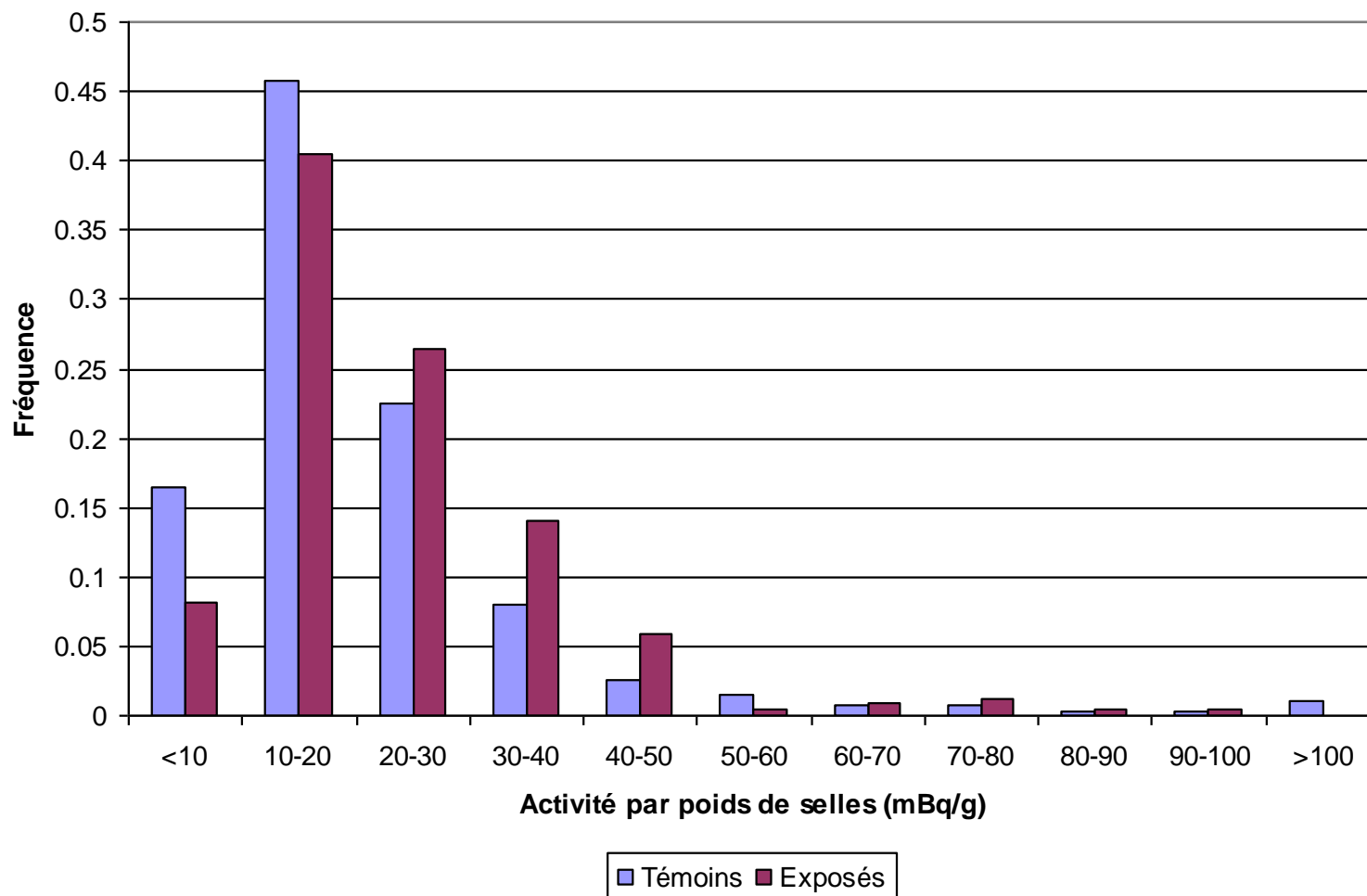
## ■ Pour la population témoin

- Recueillies de 2001 à 2010
- Limites de détection données
  - pour l'U total  $\Rightarrow$  transformation en limite par isotopes (31 analyses urinaires)
  - pour chaque isotope de l'U

Nombre de résultats	Urines			Selles			
	Isotope	total	> LD	< LD	total	> LD	< LD
	$^{234}\text{U}$	201	42	159	842	841	1
	$^{238}\text{U}$	201	24	177	842	842	0
	$^{235}\text{U}$	200	1	199	842	196	646

Dans les urines, les LD varient entre 0,1 et 3 mBq pour les 3 isotopes et entre 0,1 et 9 mBq dans les selles

# Comparaison des populations



➔ Il est difficile de différencier les deux populations

# Objectifs de l'étude

- Mettre en évidence une éventuelle différence significative entre les travailleurs exposés ou témoins en comparant les résultats d'analyses en termes d'activité totale et de rapports isotopiques  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$
- Estimer la dose individuelle reçue par un travailleur exposé en supposant une contamination chronique à l' $\text{UO}_2$  si possible
- Estimer la dose moyenne reçue par un travailleur exposé en supposant une contamination chronique à l' $\text{UO}_2$

# Plan

1. Présentation de l'étude
2. Comparaison des populations
3. Tentative de dosimétrie individuelle
4. Estimation de la dose collective
5. Conclusion

# Comparaison des populations

## ➤ Y-a-t-il une différence entre les deux populations ?

### ■ Si oui,

- Le groupe exposé est contaminé professionnellement.

### ■ Comment le savoir ?

- Regarder si l'écart entre les deux populations peut s'expliquer par la variabilité des résultats au sein d'un même groupe.

### ■ Données utilisées

- Les résultats d'analyses fécales pour les isotopes  $^{234}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  et  $^{235}\text{U}$
- Les résultats d'analyses urinaires pour  $^{234}\text{U}$  et  $^{238}\text{U}$
- Les rapports isotopiques  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  pour l'ensemble des analyses



# Résultats du test de WILCOXON

➔ Y-a-t-il une différence entre les populations ?

Isotope	Analyse	Probabilité
$^{234}\text{U}$	Selles	$9.10^{-7}$
	Urines	$3.10^{-1}$
$^{238}\text{U}$	Selles	$8.10^{-2}$
	Urines	$4.10^{-1}$
$^{235}\text{U}$	Selles	$3.10^{-1}$

Probabilité que les distributions des résultats d'analyse pour les deux population témoin soient les mêmes

**Pour les ratios isotopiques, P est nulle.**

➔ La comparaison des résultats d'analyses permet de conclure que les deux populations sont statistiquement différentes. Cette différence peut être due à une contamination professionnelle.

➔ Comment déterminer la dose ?

# Plan

1. Présentation de l'étude
2. Comparaison des populations
3. Tentative de dosimétrie individuelle
4. Estimation de la dose collective
5. Conclusion

# Dosimétrie interne

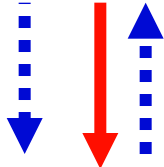
mesure d'ambiance c

$$i = c \times b \times t$$

$i = M / m$  incorporation ← .....



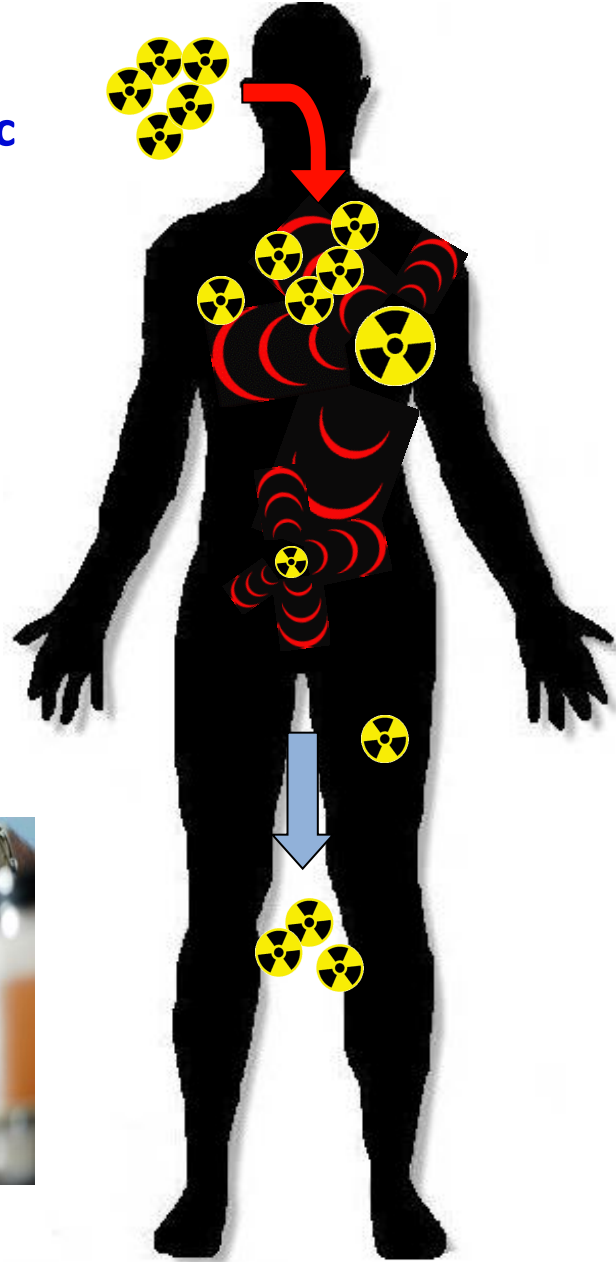
modèle biocinétique m



dépôt d'énergie ← distribution dans les tissus → élimination

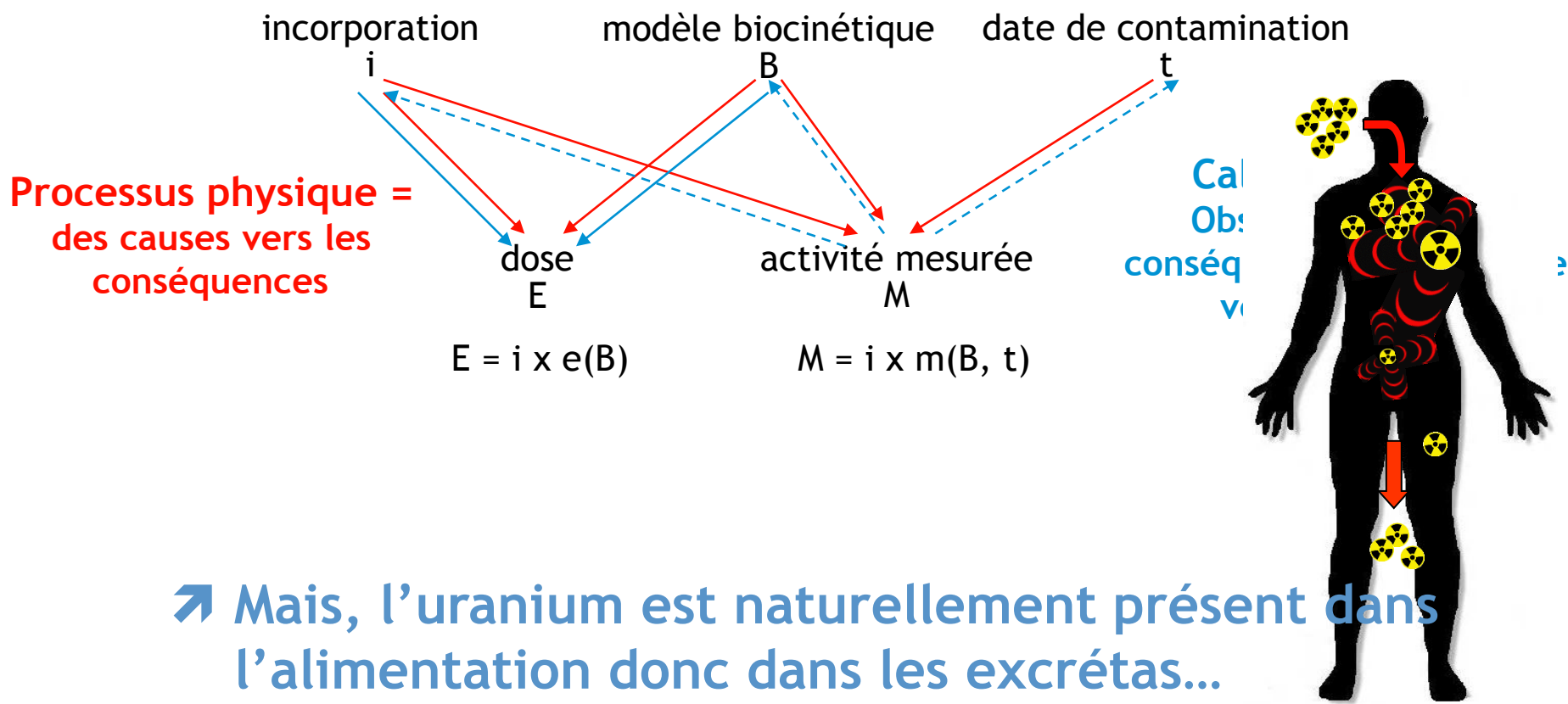
modèle dosimétrique e

dose  $d = i \times e$



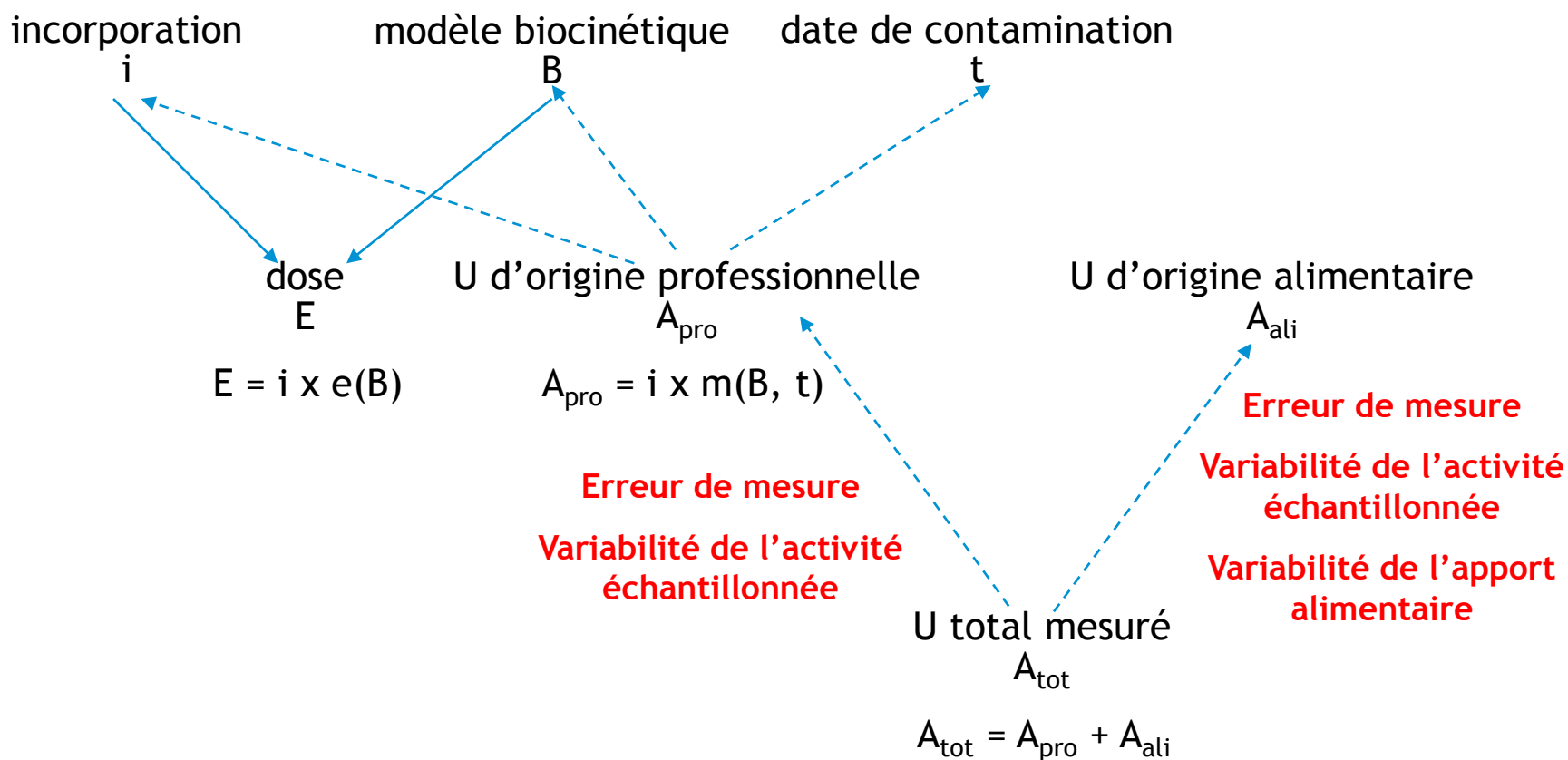
mesure in vivo / in vitro M

# Calcul de la dose



➔ Mais, l'uranium est naturellement présent dans l'alimentation donc dans les excréta...

# Calcul de la dose pour l'uranium



# Estimation individuelle

## ➤ Méthode : retrancher la composante alimentaire du résultat de mesure

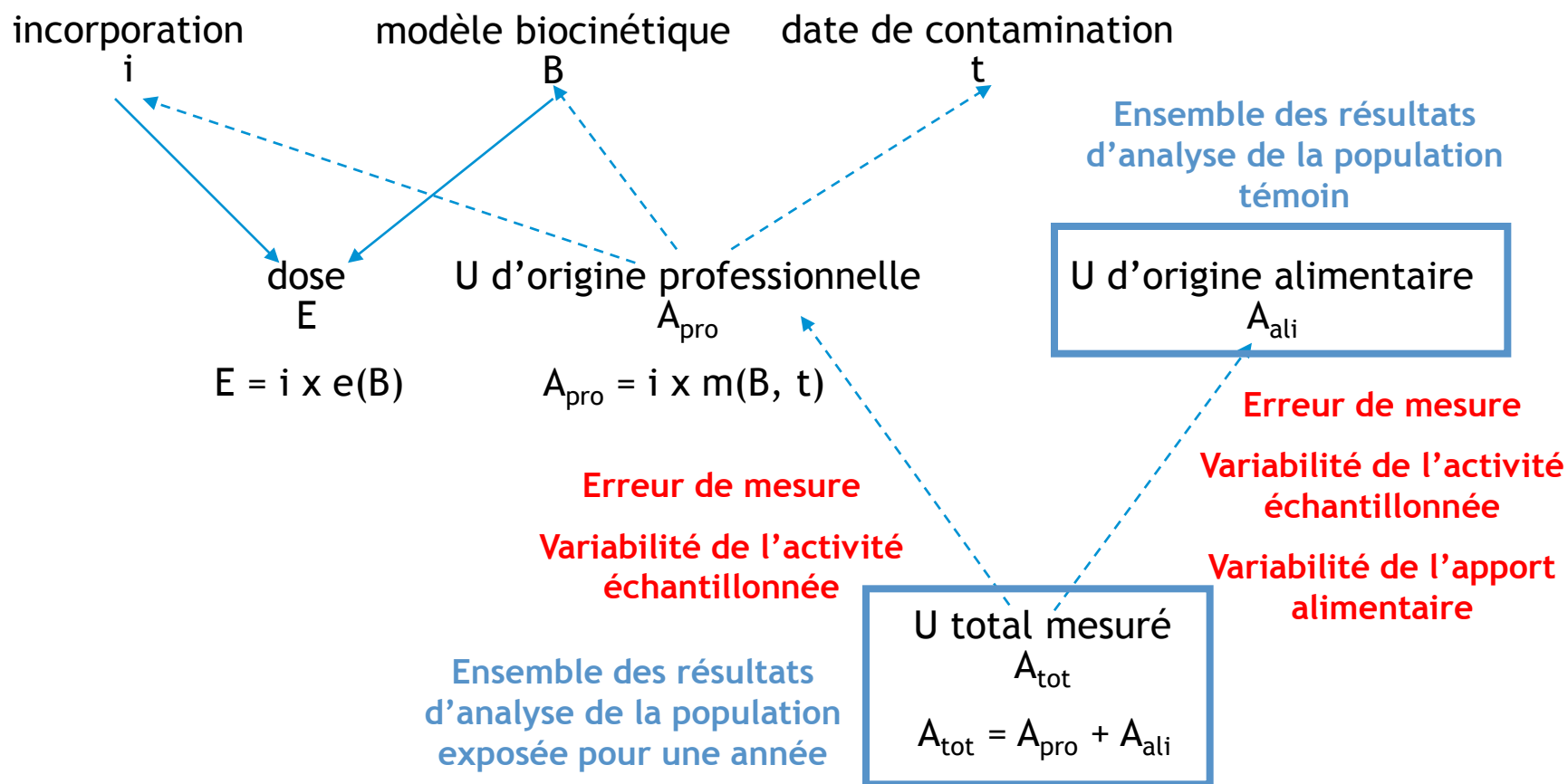
- Estimation de la variabilité individuelle de l'apport alimentaire grâce aux données du groupe témoin
- Pour les selles :
  - Apport alimentaire médian = 40 mBq
  - Variabilité moyenne = 30 mBq
  - Variabilité maximale = 530 mBq
  - 20 % des individus ont une variabilité > 50 mBq

## ➤ Estimation dosimétrique individuelle non pertinente

# Plan

1. Présentation de l'étude
2. Comparaison des populations
3. Tentative de dosimétrie individuelle
4. Estimation de la dose collective
5. Conclusion

# Calcul de la dose collective



➔ Recherche de l'incorporation la mieux en accord avec les données



# Principe du maximum de vraisemblance

$i$   
 $D$  ↓  
 $M$

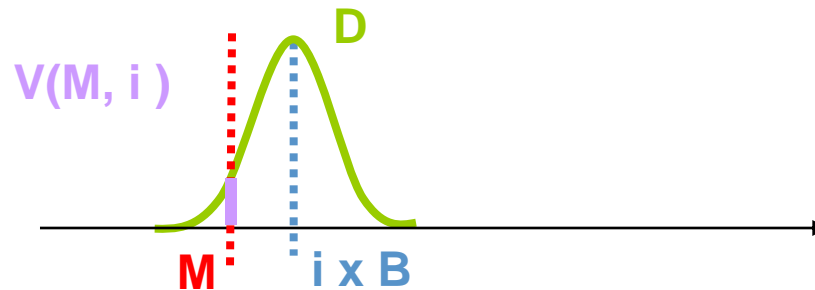
## Données :

- Mesures  $M_1, M_2, \dots, M_k, \dots, M_N$
- Distribution  $D$  modélisant la variabilité des mesures et dépendant de  $i$

## Objectif : ajuster $i$ pour modéliser au mieux les mesures

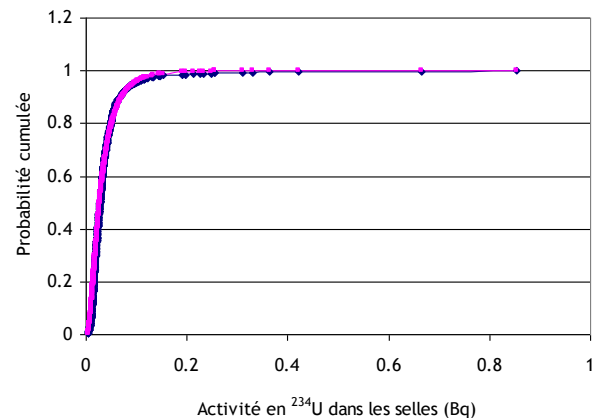
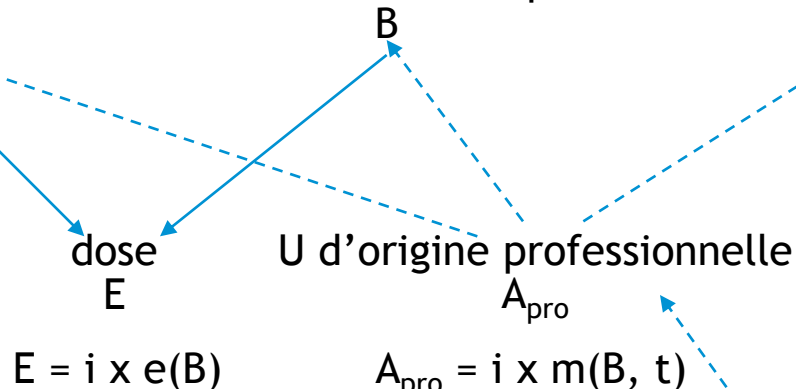
## Méthode

- Si une seule mesure :
  - Calcul de la vraisemblance  $V(M, i) = D(M, \text{moyenne} = i \times B, \text{écart-type})$
  - $i$  est modifié jusqu'à ce que  $V$  soit maximale.



# Calcul de dose collective

incorporation  $i$       modèle biocinétique  $B$       date de contamination  $t$



**Erreur de mesure**  
**Variabilité de l'activité échantillonnée**

**Erreur de mesure**  
**Variabilité de l'activité échantillonnée**  
**Variabilité de l'apport alimentaire**

U total mesuré  $A_{tot}$

$$A_{tot} = A_{pro} + A_{ali}$$

$$V(i, A_{tot}) = \prod_{j=1}^N \sum_{l=1}^P V(i, A_{tot}^j | A_{ali}^l) \times V(A_{ali}^l)$$

# Résultats

## ➤ Doses collectives annuelles pour la population exposée de 2004 à 2011

Isotope	Contamination aigue		Contamination chronique	
	Incorporation annuelle (Bq)	Dose efficace engagée sur 50 ans (mSv)	Incorporation annuelle journalière (Bq.j <sup>-1</sup> )	Dose efficace engagée sur 50 ans (mSv)
<sup>234</sup> U	9,5	0,20	0,04	0,073
<sup>238</sup> U	3,8	0,065	0,01	0,021
<sup>235</sup> U	1,1	0,020	0,006	0,0020
Total		0,28		0,096

# Plan

1. Présentation de l'étude
2. Comparaison des populations
3. Tentative de dosimétrie individuelle
4. Estimation de la dose collective
5. Conclusion

# Conclusion

## ➤ Les objectifs de cette étude ont été remplis :

- Une différence significative entre les résultats d'analyse de la population exposée et de la population dite « témoin » a été identifiée.
  - ⇒ Une contamination professionnelle du groupe exposé est suspectée.
- Une méthode novatrice a été développée pour estimer la dose collective reçue par ce groupe en se basant sur l'ensemble des résultats de mesure de cette population et également de la population témoin.
- Une feuille de calcul avec une macro a été créée et permettra l'estimation des doses pour les années à venir.

# Conclusion

## ➤ Discussion des résultats :

- Les doses efficaces engagées sont :
  - Inférieures à 0,5 mSv en supposant une contamination aiguë,
  - Inférieures à 0,2 mSv pour une contamination chronique
- Une contamination chronique est plus réaliste considérant qu'aucune montée atmosphérique n'a été identifiée.
- Avoir calculé les doses suivant les deux scénarios de contamination permet de quantifier leur impact dosimétrique.
- Le recueil des résultats d'analyse d'une population témoin pour modéliser la variabilité de l'excrétion de l'uranium d'origine alimentaire a été déterminant pour mener cette étude.

Merci pour votre attention