

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 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 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}U	474	209	265	274	274	0
^{238}U	474	90	384	274	274	0
^{235}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

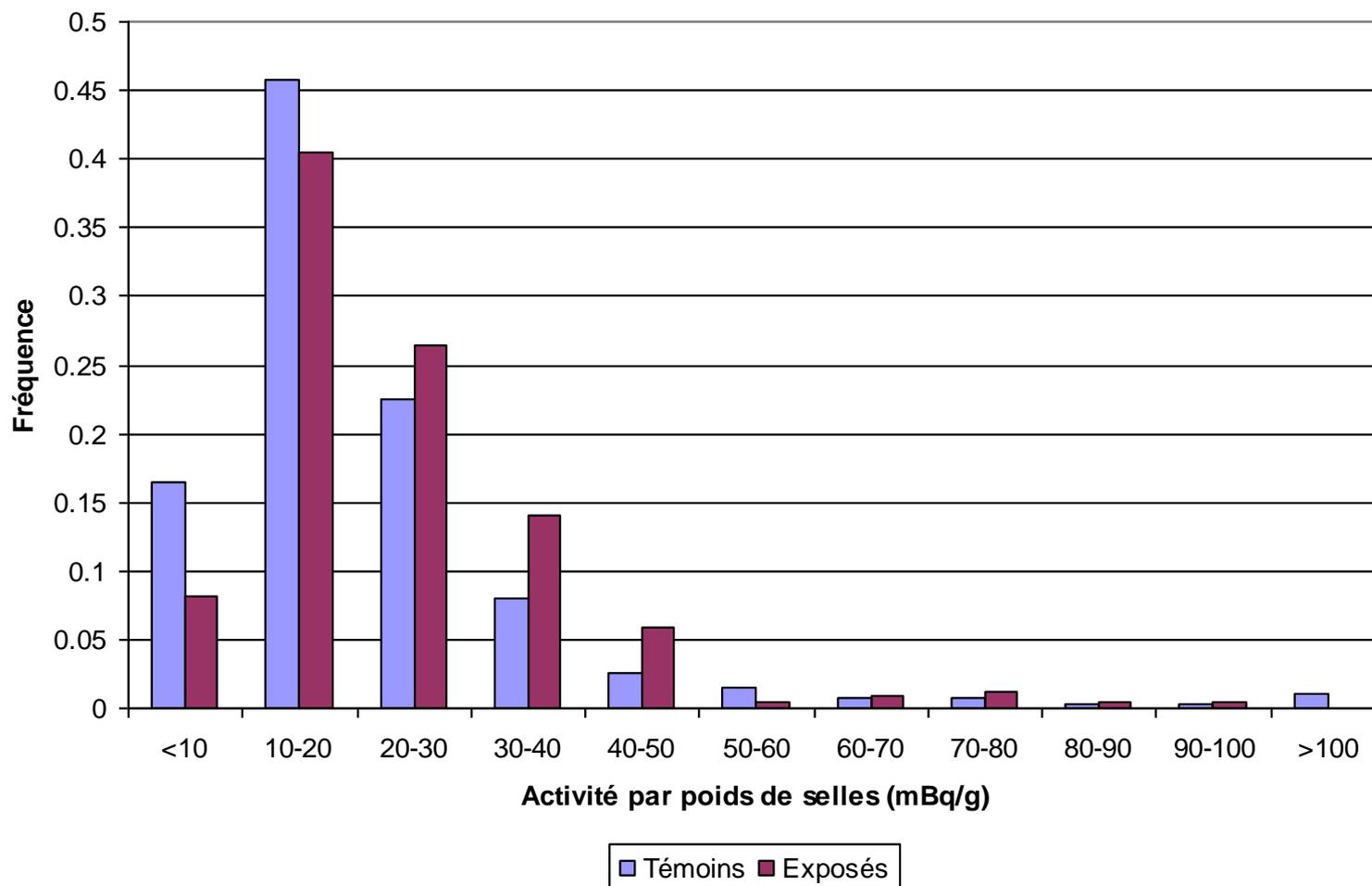
■ Pour la population témoin

- 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}U	201	42	159	842	841	1	
^{238}U	201	24	177	842	842	0	
^{235}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' UO_2 si possible
- Estimer la dose moyenne reçue par un travailleur exposé en supposant une contamination chronique à l' 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}U , ^{238}U et ^{235}U
- Les résultats d'analyses urinaires pour ^{234}U et ^{238}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}U	Selles	9.10^{-7}
	Urines	3.10^{-1}
^{238}U	Selles	8.10^{-2}
	Urines	4.10^{-1}
^{235}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

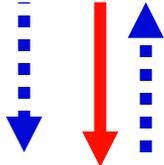
mesure d'ambiance c

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

$i = M / m$ incorporation ←



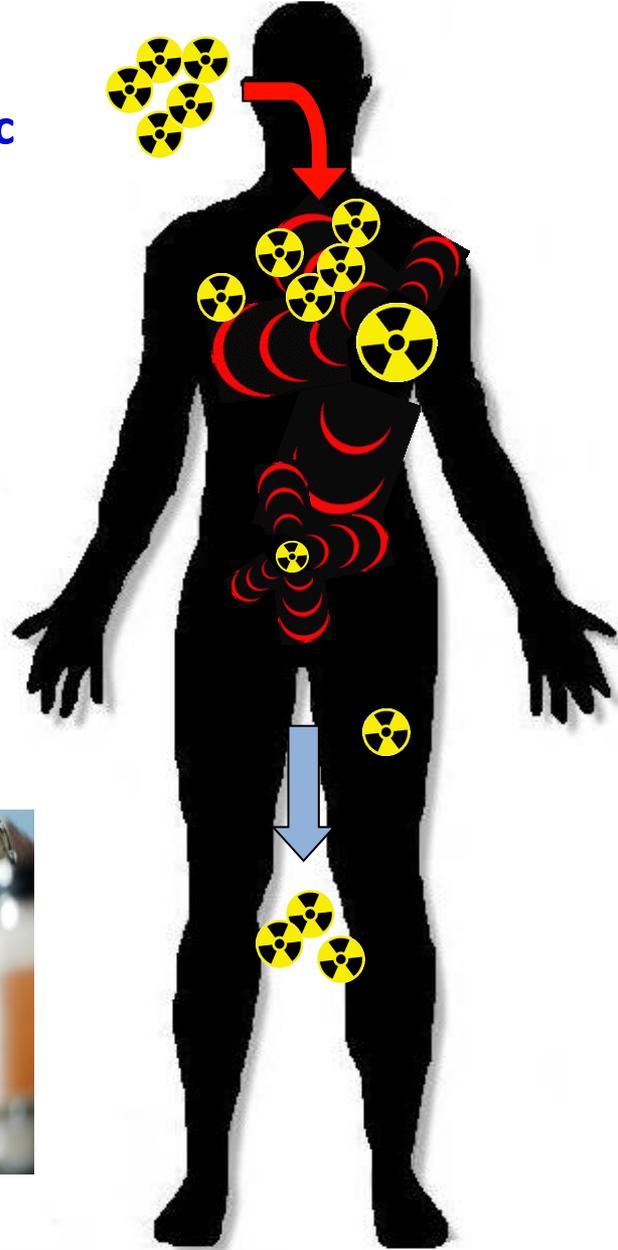
modèle biocinétique m



dépôt d'énergie ← distribution dans les tissus → élimination

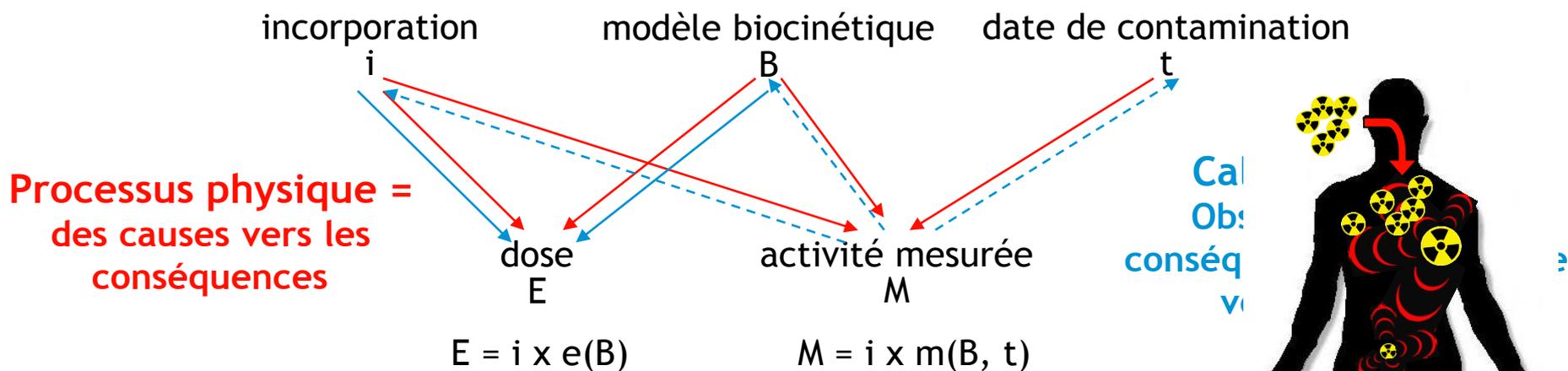
modèle dosimétrique e

dose $d = i \times e$



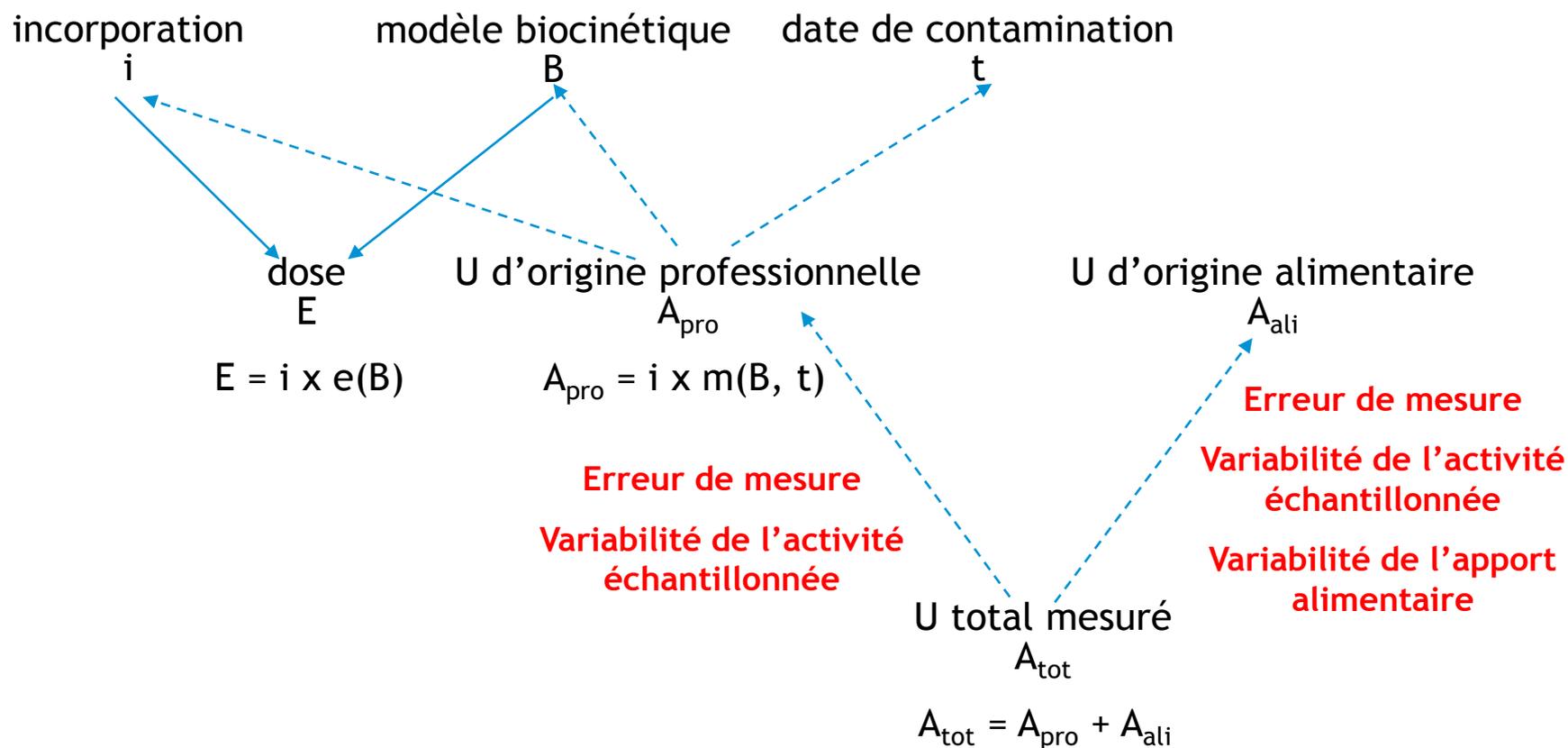
mesure in vivo / in vitro M

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

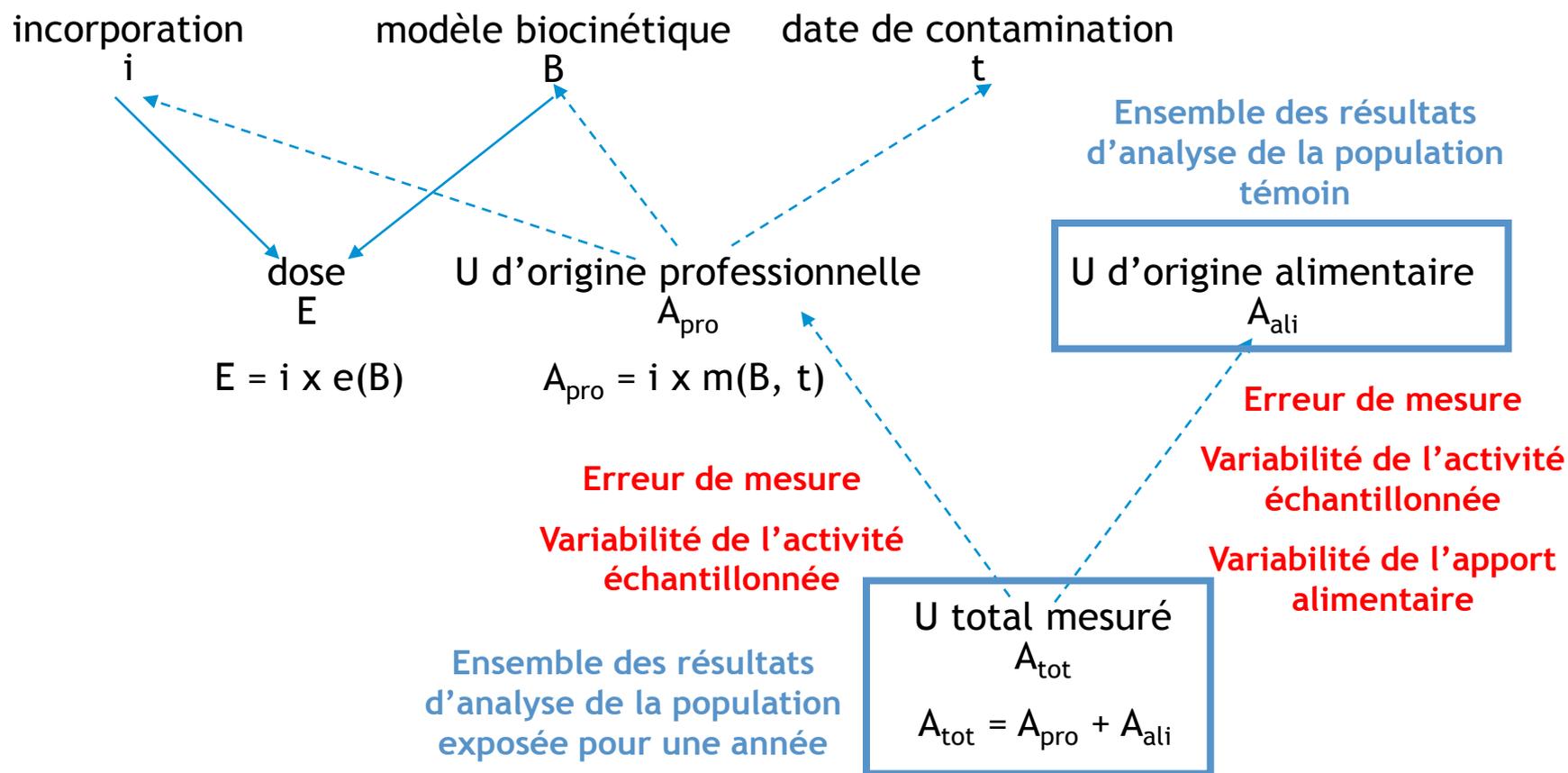
- Estimation de la variabilité individuelle de l'apport alimentaire grâce aux données du groupe témoin
- Pour les selles :
 - Apport alimentaire médian = 40 mBq
 - Variabilité moyenne = 30 mBq
 - Variabilité maximale = 530 mBq
 - 20 % des individus ont une variabilité > 50 mBq

➤ 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

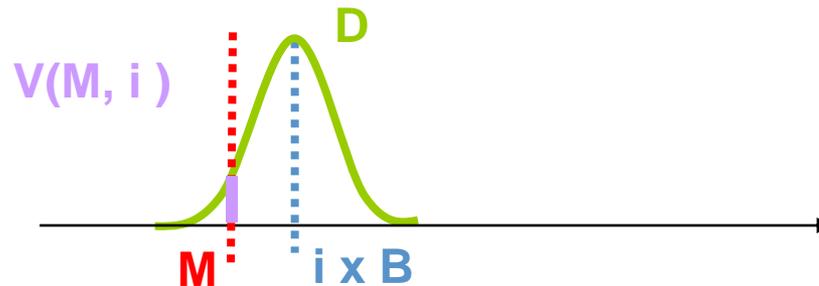
Données :

- 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

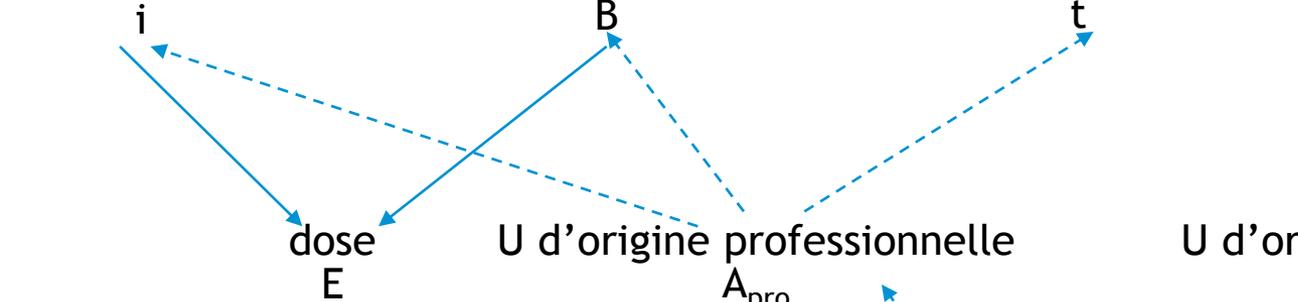
Méthode

- 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

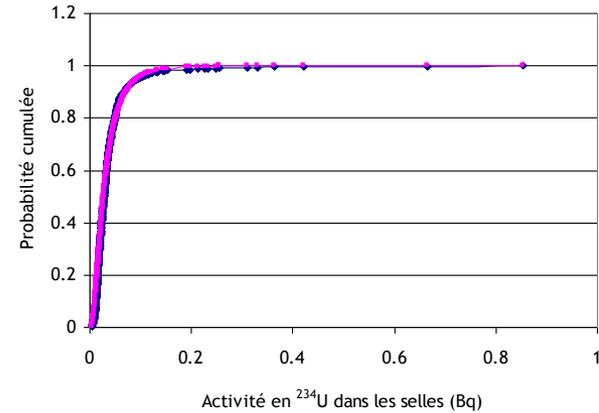
incorporation i modèle biocinétique B date de contamination t



$$E = i \times e(B)$$

$$A_{pro} = i \times m(B, t)$$

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



Erreur de mesure
Variabilité de l'activité échantillonnée

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

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

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 ⁻¹)	Dose efficace engagée sur 50 ans (mSv)
²³⁴ U	9,5	0,20	0,04	0,073
²³⁸ U	3,8	0,065	0,01	0,021
²³⁵ 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