

L'uranium, propriétés et toxicité



H.Métivier

Directeur de recherches

Membre du Comité 2 de la CI PR

L'uranium sous forme appauvrie
SFRP, Paris 27 novembre 2001

Uranium

${}_{92}\text{U}$, Masse atomique 238.03

${}^{234}\text{U}$	0.005%
${}^{235}\text{U}$	0.711%
${}^{238}\text{U}$	99.284%



Uranium

- Découvert dans la pechblende
Martin Klaproth en 1789



- Les propriétés radioactives des
sels d'uranium furent découvertes
en 1896 par Henri Becquerel

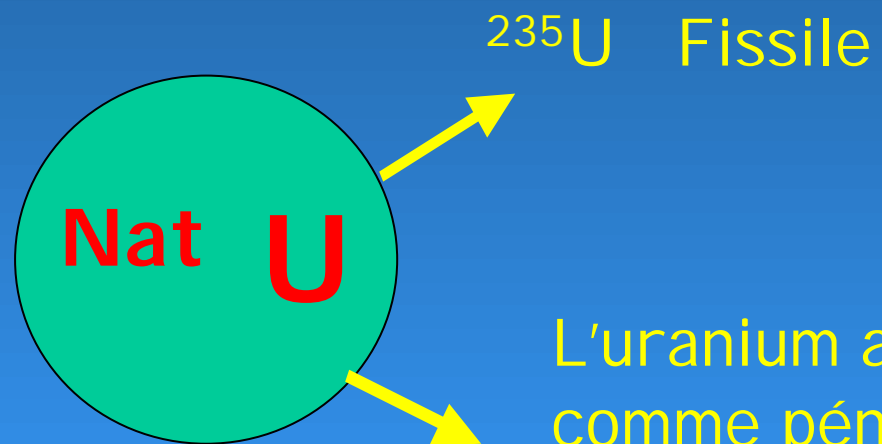
Uranium

-Élément ubiquiste dans les sols et les roches de la croûte terrestre, 2mg/kg (1 à 5 mg/kg), 4 mg/kg = 63 Bq/kg dans le granite



-Plus abondant que l'argent, aussi abondant que le molybdène et l'arsenic, quatre fois moins abondant que le thorium Présent dans l'eau de mer (85 mBq/l – 3.2 µg/l)

Uranium



Fuel pour les réacteurs nucléaires
Armes atomiques

L'uranium appauvri (DU) est utilisé comme pénétrateur dans certaines armes, comme ballast dans les bateaux et avions



HM



Uranium, comparaison avec d'autres éléments

		densité g/cm ³	Point de fusion °C	Point d'ébullition °C	Dureté Wickers
Uranium	⁹² U	18.95	1130	3850	250
Tungstene	⁷⁴ W	19.30	3400	5700	500
Gold	⁷⁹ Au	19.32	1060	2950	60
Platinum	⁷⁸ Pt	21.45	1770	3830	100
Iridium	⁷⁷ Ir	22.42	2440	4400	650
Osmium	⁷⁶ Os	22.57	3030	5010	1000



Uranium, faiblement radioactif

U Naturel

	Période radioactive	% of activité
234	$2.5 \cdot 10^5$ y	48.9
235	$7.1 \cdot 10^8$ Y	2.2
238	$4.5 \cdot 10^9$ y	48.9

25 Bq/mg

U Naturel et filiation: **50,4 Bq/mg to 100 Bq/mg**

Uranium Enrichi, plus radioactif

% de
l'activité

90%	234	98%	
	235	2%	
	238	< 0.1%	2475 Bq/mg

3%	234	80%	
	235	4%	
	238	16%	63 Bq/mg



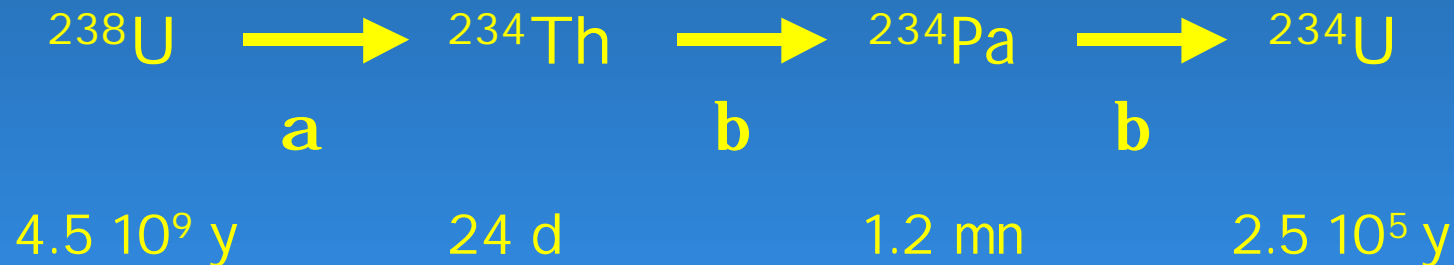
HM

Uranium appauvri, moins radioactif

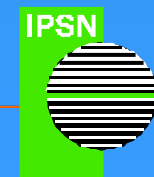
		% de l'activité	
0.2%	234	15%	
	235	1%	
	238	84%	15 Bq/mg
0.3%	234	19%	
	235	2%	
	238	79%	16 Bq/mg



Uranium appauvri à l'équilibre



- L'équilibre est atteint en 1-2 mois
- Radioactivité spécifique à l'équilibre: **41.5 Bq/mg**



Uranium (Bq/mg)

Naturel	Enrichi		Appauvri	
	90%	3%	0.2%	0.3
25	2475	63	15	16

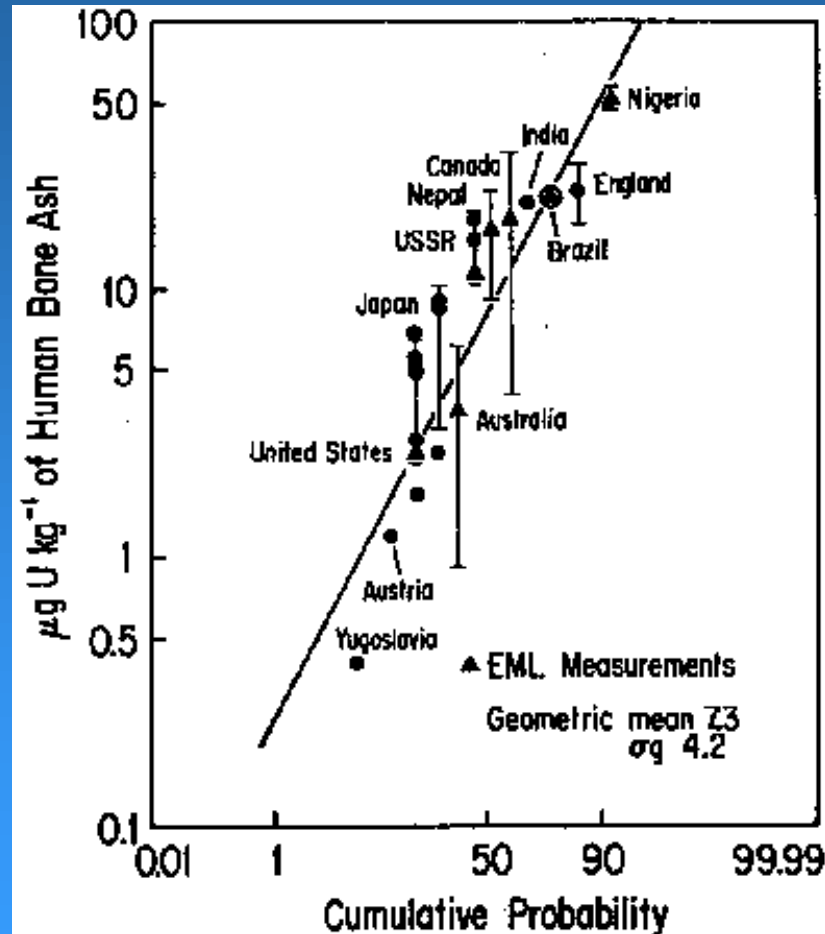


Devenir biologique de l'uranium

- L'uranium soluble est absorbé dans le sang, d'où il est filtré par les reins et éliminé dans les urines
- L'uranium dans le sang se dépose également au niveau de l'os d'abord sur sa surface puis dans son volume mais aussi dans le foie
- Il s'élimine avec une période $T_{1/2} = 20$ ans pour la zone corticale, 3 ans pour la zone trabéculaire de l'os et 10 ans pour le foie



L'uranium dans l'organisme

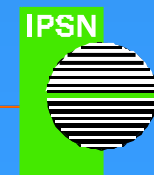


- Le contenu normal est de 90-150 μg chez l'homme à l'équilibre avec un apport journalier de 1 to 1.9 $\mu\text{g/J}$ à partir de l'alimentation et de l'eau.

- 66% l'os, 8% dans les reins, 6% dans les muscles, moins de 1% dans le foie et les poumons

Toxicité de l'uranium

- **GMELIN** en 1824 le décrit comme un faible poison après ingestion
- **LE CONTE** en 1853 décrit pour la première fois une atteinte rénale après ingestion chez le chien



Toxicité de l'uranium

- La solubilité est le facteur prépondérant pour connaître l'organe cible et prédire sa toxicité.
- La CIPR décrit trois classes de solubilité
 - F: Fastly soluble
 - M: Moderatly soluble
 - S: Slowly soluble



L'uranium toxique chimique pour le rein



Enrichi à moins de 7%

- La toxicité rénale peut être observée 24 heures après intoxication aiguë (glycosurie albuminurie, tubulaires enzymes (LDH, NAG) excrétion urinaire de β -2 micro globuline par rapport à l'excrétion de créatinine
- Une exposition forte cause une atteinte rénale (1 to 3 mg/kg de poids corporel)
- L'atteinte des tubules proximaux conduisant à une néphrite peut découler d'une incorporation de 3 $\mu\text{g/g}$ de rein chez l'homme.

Uranium, Autres effets

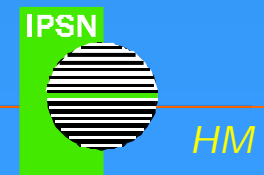
- **De fortes doses** peuvent entraîner des effets vasculaires et des effets mineurs au niveau du foie et des muscles
- Les effets sur le système nerveux sont comparables à ceux d'autres poisons métalliques (Hg, Cd, Pb)
- L'uranium peut augmenter la perméabilité cutanée



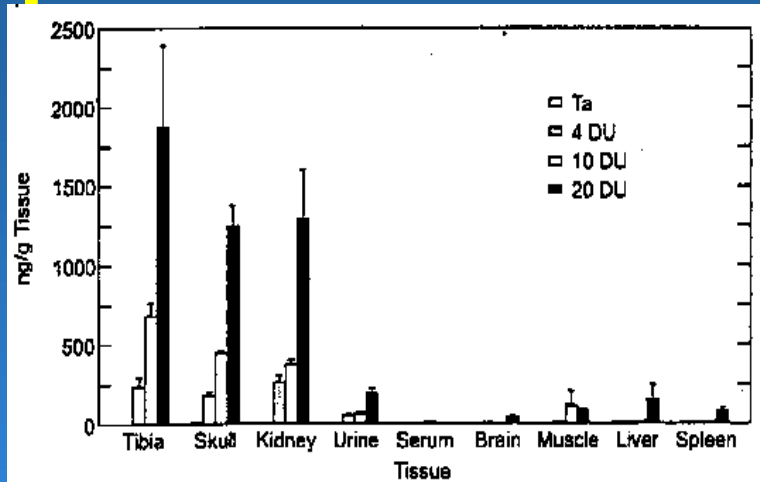
Uranium, autres effets

- l'implantation sous-cutanée d'uranium appauvri (fragments de 1 à 2 mm) conduit à un dépôt au niveau du rein, du foie, des testicules et du cerveau.
- Ce dépôt augmente avec le temps
- Certaines modifications des paramètres électrophysiologiques peuvent être observées au niveau du cerveau.

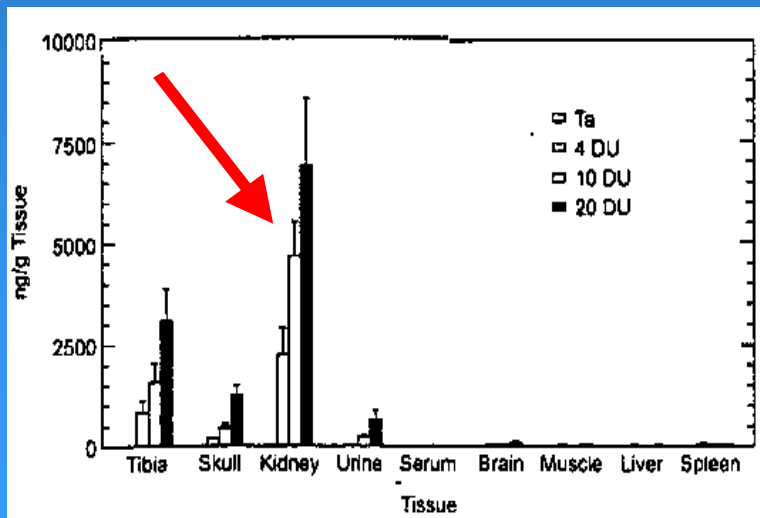
Source AFFRI



Implantation sous-cutanée d'uranium appauvri



30 jours après l'implantation de fragments



6 mois après l'implantation de fragments

Le rein reste l'organe cible

D'après T.C.Pellmar *et al*, AFFRI 1998



HM

Uranium, autres effets

Études *In Vitro*

Bactéries → effets génétiques → Mutagenèse

Ostéoblastes humains → transformations cellulaires

Études *In Vivo*

Effets tératogènes chez le rat (exposition aiguë)

Source AFFRI



HM

Radiotoxicologie de l'uranium

DPUI Sv/Bq

F

S

NatU	$6.1 \cdot 10^{-7}$	$6.25 \cdot 10^{-6}$
------	---------------------	----------------------

UA 0.2%	$5.94 \cdot 10^{-7}$	$5.95 \cdot 10^{-6}$
---------	----------------------	----------------------

UA 0.3%	$5.94 \cdot 10^{-7}$	$5.96 \cdot 10^{-6}$
---------	----------------------	----------------------

UE 3%	$6.29 \cdot 10^{-7}$	$6.6 \cdot 10^{-6}$
-------	----------------------	---------------------

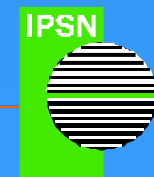
UE 30%	$6.37 \cdot 10^{-7}$	$6.74 \cdot 10^{-6}$
--------	----------------------	----------------------

UE 90%	$6.39 \cdot 10^{-7}$	$6.79 \cdot 10^{-6}$
--------	----------------------	----------------------



Uranium, Niveau de tolérance

Le seuil de toxicité rénale par toxicité chimique est estimé à 70 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de poids corporel ou 16.3 $\mu\text{g}/\text{g}$ de rein

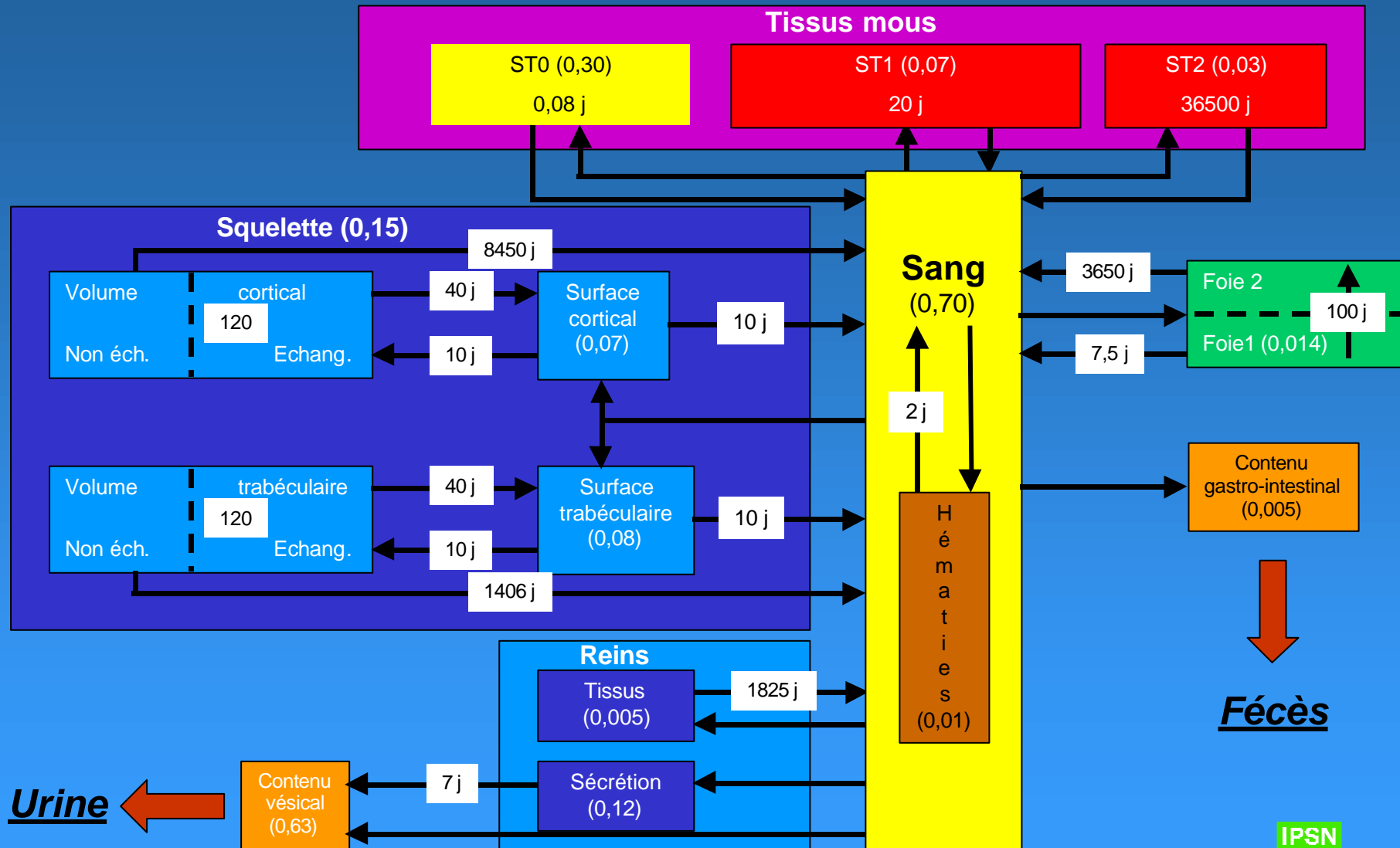


Protection des travailleurs (CIPR)

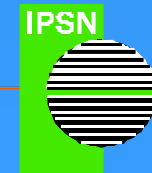
- Le rein est l'organe critique
- Toxicité chimique: 3 mg/g rein
- Radiotoxicité de l'uranium enrichi à plus de 7% en ^{235}U excède la toxicité chimique
- Radiotoxicité: 20 mSv/y, Dose effective (Poumon et os sont les organes critiques)



Uranium : modèle systémique de la CIPR (Adulte)



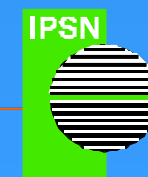
SANG + STO = 1 avec une période sanguine de 28 minutes
 Organe (0.xx) = fraction transférée du sang à l'organe



DPUI s travailleurs - Sv/Bq

	Type	234	235	238
Inhalation	F	$6.4 \cdot 10^{-7}$	$6.0 \cdot 10^{-7}$	$5.8 \cdot 10^{-7}$
	M	$2.1 \cdot 10^{-6}$	$1.8 \cdot 10^{-6}$	$1.6 \cdot 10^{-6}$
	S	$6.8 \cdot 10^{-6}$	$6.7 \cdot 10^{-6}$	$5.7 \cdot 10^{-6}$
Ingestion	F	$4.9 \cdot 10^{-8}$	$4.6 \cdot 10^{-8}$	$4.4 \cdot 10^{-8}$
	M	$8.3 \cdot 10^{-9}$	$8.3 \cdot 10^{-9}$	$7.6 \cdot 10^{-9}$

Source: Publication 68 de la CIPR (1995)



DPUI s public - Sv/Bq

limite de dose efficace: 1mSv/y

	Type	234	235	238
Inhalation	F	$5.6 \cdot 10^{-7}$	$5.2 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{-7}$
	M	$3.3 \cdot 10^{-6}$	$3.1 \cdot 10^{-6}$	$2.9 \cdot 10^{-6}$
	S	$9.4 \cdot 10^{-6}$	$8.5 \cdot 10^{-6}$	$8.0 \cdot 10^{-6}$
Ingestion	$f_1=0.02$	$4.9 \cdot 10^{-8}$	$4.7 \cdot 10^{-8}$	$4.5 \cdot 10^{-8}$

Source: Publication 72 de la CIPR (1996)



DPUIs Ingestion - public

Eau tritiée	$1.8 \cdot 10^{-11}$ Sv/Bq
^{137}Cs	$1.3 \cdot 10^{-8}$
^{90}Sr	$2.8 \cdot 10^{-8}$
^{238}U	$4.5 \cdot 10^{-8}$
^{232}Th	$2.3 \cdot 10^{-7}$
^{226}Ra	$2.8 \cdot 10^{-7}$
^{239}Pu	$2.5 \cdot 10^{-7}$

Source: Publication 72 de la CI PR (1996)



HM

Uranium Toxicité des composés

		% of ^{235}U	Aigue	Chronique
F	$\text{UF}_6, \text{UO}_2\text{F}_2$	<3%	chimique	chimique
	UO_2Cl_2	>3%	chimique	radiologique
	$\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$			
M	$\text{UF}_4, \text{UC}_4,$	>30%	chimique	radiologique
	UO_3	> 30%	chimique	radiologique
S	UO_2	Tous pourcentages.	radiologique	radiologique
	U_3O_8			

Uranium, formes chimiques produites par des pénétrateurs UA

		aiguë	Chronique
Perforation	UO ₂ 12.5%	Radiol.	Radiol.
	U ₃ O ₈ 75%		
Feux	Phase amorphe 12%	Soluble?	Soluble?
	U ₃ O ₈ 99%	Radiol.	Radiol.

D'après A.F.Eidson, Health Physics, 1994



Uranium dans l'environnement

- Transferabilité dans les sols:

$Ra > U > Th \gg Pu$

- Transferabilité sol - plante:

Comparable au Cs, $1 \cdot 10^{-3}$



Risques Relatifs pour l'uranium de l'environnement (Radiologique)



Ingestion d'eau	1
Produits agricoles	1.10^{-3}
Irradiation externe	1.10^{-4}
Inhal. de poussières	1.10^{-5}
Ingestion de sol	1.10^{-5}

D'après A.B.Wolbarst *et al*, Health Phys. 1998



HM

Uranium, surveillance de l'environnement

Niveau d'action pour la chaîne alimentaire (FAO codex alimentarius) : 10 Bq/kg de sol pour la nourriture

Eau (WHO 1994) : 4 Bq/l pour ^{234}U ou ^{238}U , correspondant à une limite annuelle de 0.1 mSv



Toxicité de l'uranium, résumé

Toxicité aiguë rein

Toxicité subaiguë rein

Toxicité chronique rein



poumon, os (radiotoxicité pour l'uranium enrichi)