



L'IODE DANS TOUS SES ÉTATS

- APPLICATIONS MÉDICALES
- REJETS DANS L'ENVIRONNEMENT
- EXPOSITION DES TRAVAILLEURS
- MODÈLES DE TRANSFERT
- CONSÉQUENCES SANITAIRES
- SITUATIONS D'URGENCE

26&27
MARS 2024

PARIS, MAISON RATP

DES JOURNÉES ORGANISÉES PAR LES SECTIONS
ENVIRONNEMENT ET RECHERCHE & SANTÉ



www.sfrp.asso.fr

INFLUENCE DE LA SPÉCIATION DE L'IODE DANS LES MODÈLES D'ÉVALUATION DOSIMÉTRIQUE DU PUBLIC CAS DU CENTRE DE STOCKAGE DE L'AUBE

SFRP – Journées techniques
« L'iode dans tous ses états »
27 mars 2024
elisabeth.leclerc@andra.fr



Atelier de compactage et installation de conditionnement et de contrôle des colis

DISEF/DSE/SM2S/24-0050

Plan

1. Préambule
2. Rejets atmosphériques
3. Dispersion atmosphérique
4. Transfert aux végétaux et animaux
5. Calculs de dose au public

Préambule

Cas du Centre de stockage de l'Aube (CSA)

- Implanté sur les communes de Soulaines-Dhuys, Ville-aux-Bois et Épothémont dans le département de l'Aube, le Centre de stockage de l'Aube (CSA) est dédié au stockage des déchets radioactifs de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC)
 - Mis en service en 1992, il a pris le relais du Centre de stockage de la Manche
 - Arrêté du 21 août 2006 autorisant l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (ANDRA) à effectuer des rejets d'effluents liquides et gazeux et des prélèvements d'eau pour le centre de stockage de l'Aube (installation nucléaire de base n°149)
 - Rejets atmosphériques à l'émissaire du CSA (cheminée des installations Atelier de compactage des déchets (ACD) et de conditionnement contrôle des colis (ICC)



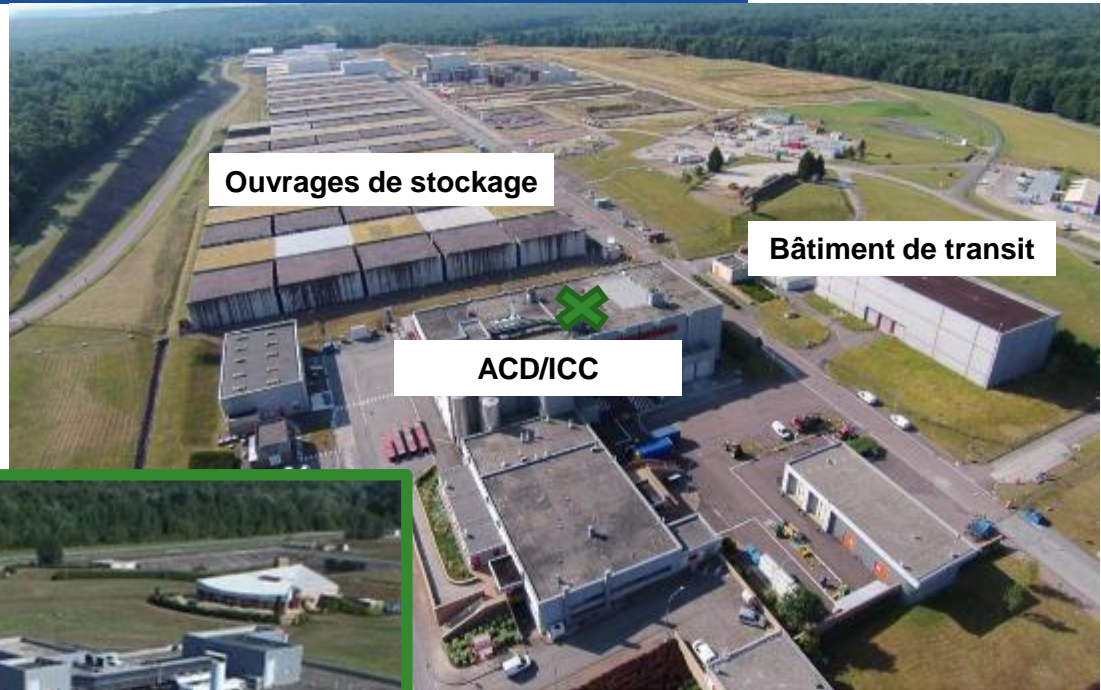
DISEF/DSE/SM2S/24-0050

Valeurs limites

Art. 10. – L'activité des effluents radioactifs rejetés à l'atmosphère sous forme gazeuse ou d'aérosols solides ou liquides à la cheminée de l'ACD ne doit pas excéder les limites suivantes :

PARAMÈTRES	ACTIVITÉ ANNUELLE rejetée (en GBq/an)
Tritium.....	50
Carbone 14.....	5
Iodes.....	$2 \cdot 10^4$
Autres émetteurs bêta-gamma.....	$2 \cdot 10^4$
Emetteurs alpha.....	$2 \cdot 10^4$

Préambule



Préambule

Etapes de l'évaluation d'impact dosimétrique lié aux

Rejets
atmosphériques

Dispersion
atmosphérique

Transferts dans la
biosphère

Calculs de doses
efficaces

Forme
chimique ?

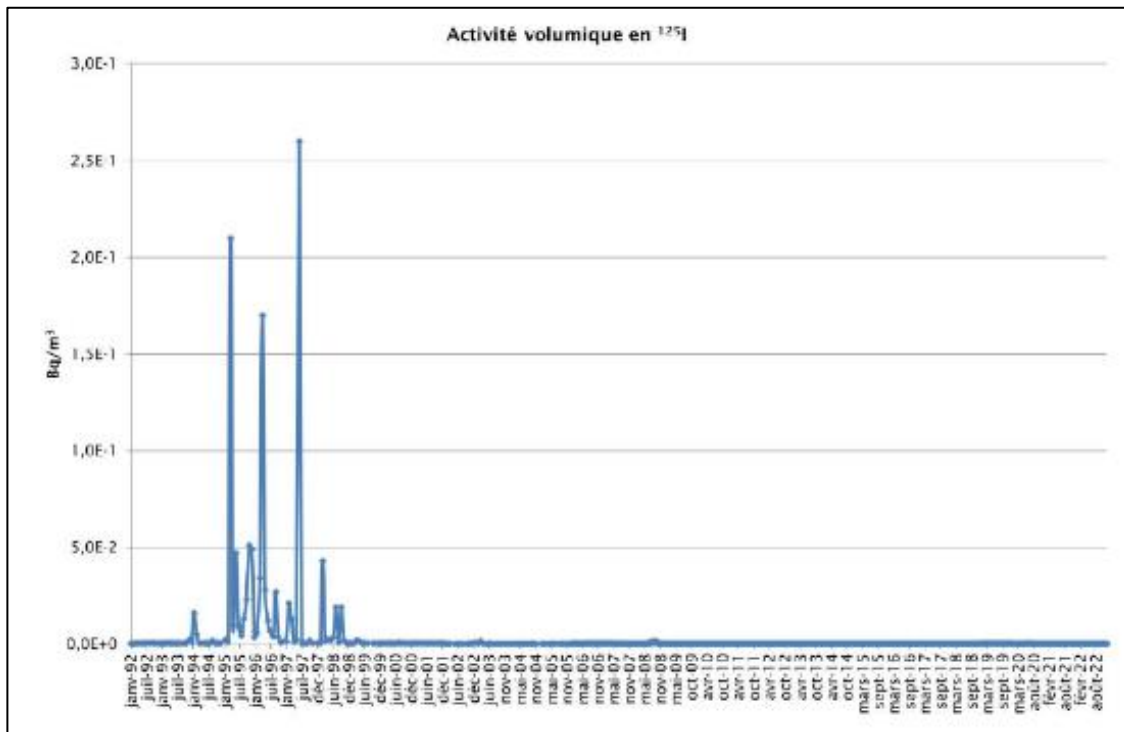
/an)

Rejets atmosphériques

Les rejets des effluents radioactifs du centre font l'objet de contrôles réalisés à la cheminée de ventilation nucléaire de l'installation

- rejets en iodes mesurés via des prélèvements continus
 - Prélèvement d'une fraction représentative de l'air rejeté dans la gaine de ventilation et piégée au travers de cartouches à charbon actif (permettant le piégeage des iodes gazeux), fréquence hebdomadaire
 - Analyse spectrométrique gamma des cartouches à charbon actif permettant notamment la mesure de l'activité des iodes 125, 129 et 131
 - Les mesures en iode sont exprimées en prenant en compte la décroissance de l'activité pour les ^{125}I , et ^{131}I avec l'hypothèse d'un flux continu sur la période considérée de prélèvement
 - Depuis le début de l'exploitation, seules mesures potentiellement significatives dues à des déchets hospitaliers qui utilisent ^{131}I et/ou ^{125}I en curiethérapie (le reste correspond à des valeurs de limites de seuils de décision)

Rejets atmosphériques en ^{125}I



Résultats de surveillance depuis le début de l'exploitation du centre

- Les rejets potentiels en iode sur le CSA proviennent du compactage de certains déchets comme le montrent certains rejets historiques dans les années 90
 - A partir de 1999, les déchets des hôpitaux ont été orientés vers Socatri (Tricastin) puis l'usine d'incinération Centraco (Cycle Life sur Marcoule), ce qui a eu comme conséquence l'absence de rejet en iode en sortie de cheminée du CSA
 - Les mesures hebdomadaires sur cartouches de charbon actif ne font apparaître aucune activité significative 100 % < Limite de détection (LD) après 1999

Rejets atmosphériques en ^{131}I

Résultats de surveillance depuis le début de l'exploitation du centre

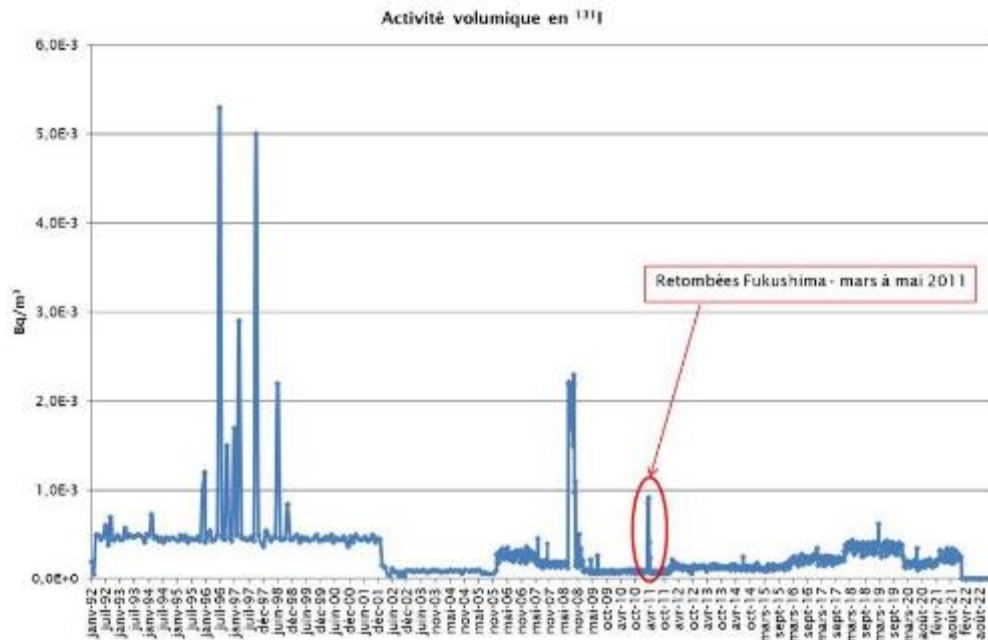


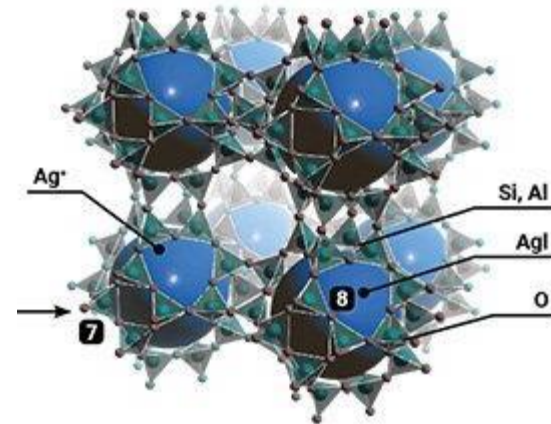
Figure 4-7

Évolution des activités volumiques de l'isotope 131 de l'iode émises à la cheminée de l'ACD depuis 1993

Rejets atmosphériques

Les principales formes d'iode radioactif attendues dans un rejet radioactif atmosphérique provenant du stockage (issues des déchets traités) :

- l'iode élémentaire (I_2 diiode) présent sous forme vapeur/gaz
- l'iode organique, dont une forme courante est l'iodure de méthyle (ICH_3), présent sous forme vapeur/gaz
- l'iode particulaire (aérosols ex: AgI) dont le diamètre des particules est variable (avec possibilité d'agrégation)



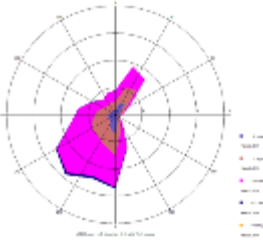
Rejets atmosphériques

Pour les rejets en iode de l'émissaire des installations du CSA

- Plusieurs étages de filtration THE
 - Pas d'aérosols
 - Les mesures actuelles d'activité globale beta sous forme aérosols sont en dessous (ou proches) de la LD
- Les déchets radioactifs stockés sur le centre ne sont pas sous forme organique
 - Pas de forme organique
- Forme élémentaire diiode gaz/vapeur la plus probable



Etude de la validation du caractère conservatif de cette hypothèse de considérer 100 % des rejets sous forme élémentaire



Dispersion atmosphérique

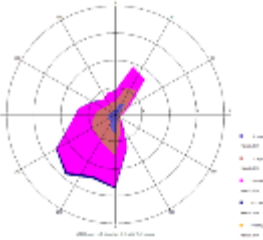
Hypothèses sur les formes chimiques des rejets atmosphériques

o différence des vitesses de dépôt sec

- Iode élémentaire vapeur
 - vitesse de dépôt élevée $\approx 1 \times 10^{-2}$ m/s (2×10^{-2} m/s dans CERES)
- Aérosols/particulaires
 - vitesse de dépôt $= 5 \times 10^{-3}$ m/s
- Iode organique - vapeur
 - vitesse de dépôt $= 1 \times 10^{-4}$ m/s,
 - cette forme d'iode est moins bien retenue par la végétation que la forme moléculaire ou particulaire/aérosol (Source : fiche Iode IRSN)

Forme chimique	Vitesse de dépôt (m/s)	Référence
Gaz-vapeur (I ₂)	2×10^{-2}	<i>Guétat, 2004, Iodes radioactifs et impacts environnemental et sanitaire- Etude bibliographique et quantification, Rapport CEA-R-6065</i>
Aérosol/particule	5×10^{-3}	<i>Sehmel, 1980 (+1967), Particle and gas dry deposition: A review, Atmospheric Environment, Volume 14, Issue 9, 1980, Pages 983-1011</i>
Organique-vapeur (ICH ₃)	1×10^{-4}	<i>Atkins et al., 1967 et Heinemann et al., 1974 in Whitehead, 1984, The distribution and transformation of iodine in the environment</i>

Valeurs CERES



Dispersion atmosphérique

Deux formes de l'iode aérosols et organiques

- **1 radio-isotope de l'iode considéré ^{129}I , contributeur principal à la dose**
 - **Activité volumique (Bq/m^3) - Ville aux Bois**

	CERES-GASCON	
I129-élévap (I2)		2.40E-07
I129-aérosol/particulaire	X 1,4	2.50E-07
I129-organique (ICH3)		3.60E-07

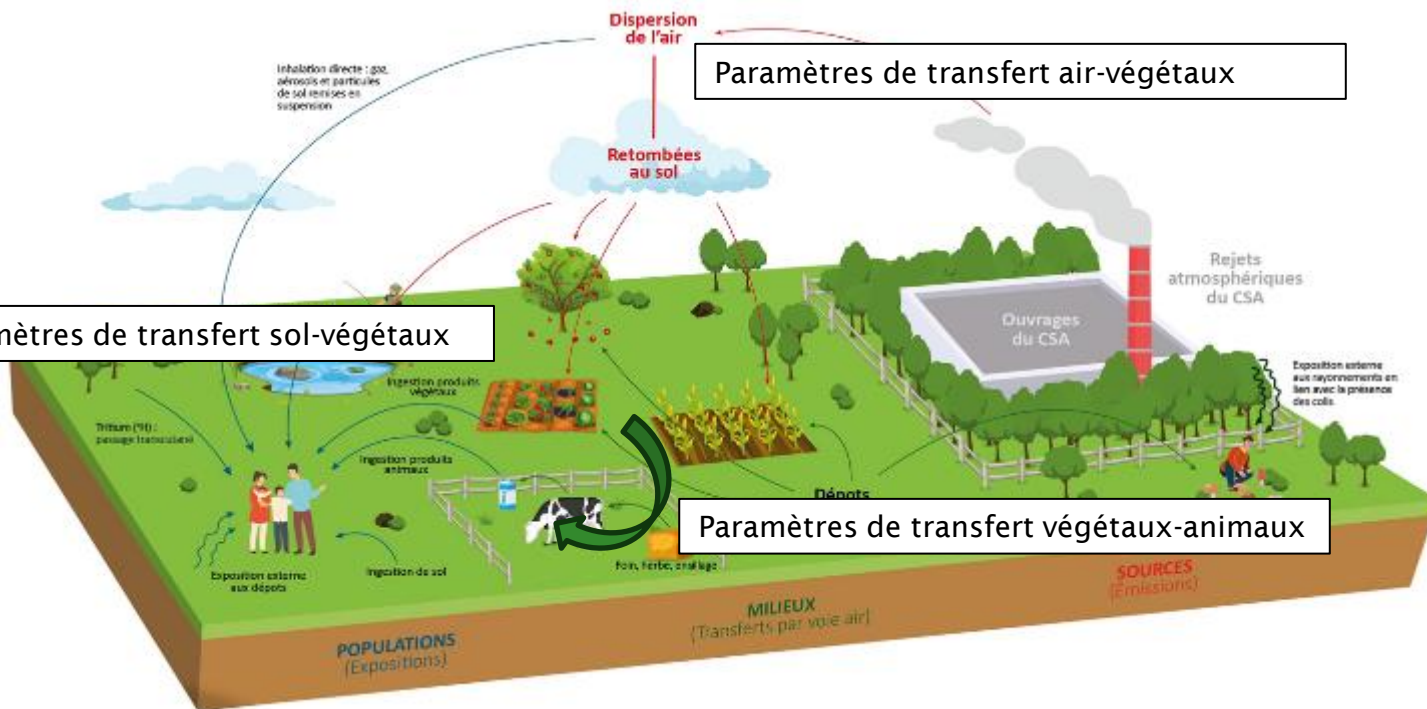
- Flux de dépôts ($\text{Bq}/\text{m}^2/\text{s}$)

	GASCON	
I129-élévap	5.30E-09	X 140
I129-aéro	1.90E-09	
I129-org	3.70E-11	

NB: les dépôts chroniques au sol entraînent une légère accumulation de l'activité dans le sol au cours du temps (x 2 en 50 ans)

Transfert dans la biosphère

Schéma des voies de transfert et d'exposition aux rejets atmosphériques



Transfert dans la biosphère

L'iode est un élément important du point de vue radiotoxicologique en raison de sa grande mobilité dans l'environnement, de sa bonne assimilation dans l'organisme

- Dans l'environnement, les isotopes de l'iode suivent les processus de transfert habituels
 - dispersion au sein du milieu récepteur, dépôt, captation par les organes aériens des végétaux, absorption racinaire, ingestion par l'animal
 - ingéré par les animaux en période de lactation, l'iode se retrouve rapidement dans le lait (quelques heures après l'ingestion, le maximum apparaissant au bout de trois jours)
 - Processus de volatilisation depuis le sol
- Les voies d'atteinte majeures sont liées à la consommation de produits alimentaires (lait, légumes)

Code de calcul opérationnel = modèle à l'équilibre entre compartiments de la biosphère

- **Pas de différence sur facteurs de transfert entre formes chimiques (IAEA TRS472, 2010)**

Sources:

- *fiche radionucléide santé 1311 (IRSN)*
- *Guétat 2004*
- *Thiry Y*

Calculs dosimétriques

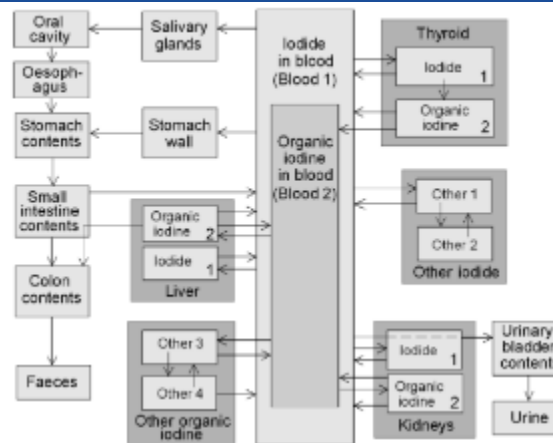
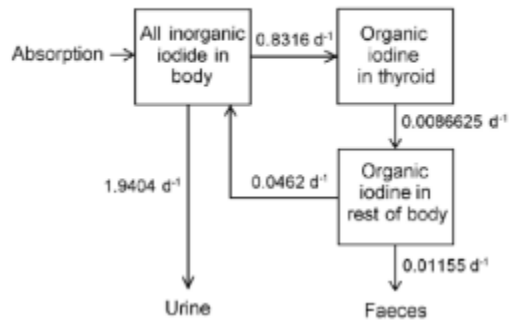


Figure 5-2. Structure of the biokinetic model for systemic iodine used in this report

Dose par unité d'incorporation (DPUI)

- La forme chimique influe sur le transfert dans le compartiment systémique (les différents organes)

- Evolution du modèle biocinétique de l'iode de la CIPR 1997-2017

L'ancien modèle (ICRP 1994, 1997)

Trois compartiments :

- iode inorganique circulant
- iode organique thyroïdal
- iode organique extrathyroïdal

Le nouveau modèle (ICRP, 2017)

Calculs dosimétriques

Inhalation

Arrêté du 16 novembre 2023 définissant les modalités de calcul des doses efficace et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants

○ Tableau 1.2. – Doses efficaces engagées par unité d'activité incorporée par inhalation d'aérosols, en Sv.Bq⁻¹, applicables à la population

- Les abréviations suivantes sont utilisées. F : clairance pulmonaire rapide ; M : clairance pulmonaire moyenne ; S : clairance pulmonaire lente ; * : type d'absorption par défaut recommandé pour les aérosols lorsqu'aucune information spécifique n'est disponible (cf. publication 71 de la CIPR)

I-129	F*	7,2.10 ⁻⁸	8,8.10 ⁻⁸	6,1.10 ⁻⁸	6,7.10 ⁻⁸	4,8.10 ⁻⁸	3,6.10 ⁻⁸
	M	3,6.10 ⁻⁸	3,3.10 ⁻⁸	2,4.10 ⁻⁸	2,4.10 ⁻⁸	1,9.10 ⁻⁸	1,5.10 ⁻⁸
	S	2,9.10 ⁻⁸	2,6.10 ⁻⁸	1,8.10 ⁻⁸	1,3.10 ⁻⁸	1,1.10 ⁻⁸	9,8.10 ⁻⁸

○ Tableau 2.1. – Doses efficaces engagées par unité d'activité incorporée par inhalation de gaz et vapeurs solubles ou réactifs, en Sv.Bq⁻¹

- Iode élémentaire
- Iodure de méthyle

Radionucléide	Age ≤ 1 an	1-2 ans	2-7 ans	7-12 ans	12-17 ans	> 17 ans
	(Sv/Bq)	(Sv/Bq)	(Sv/Bq)	(Sv/Bq)	(Sv/Bq)	(Sv/Bq)
Iodure de méthyl-129	1.30E-07	1.50E-07	1.20E-07	1.30E-07	9.90E-08	7.40E-08
Iode-129 élémentaire	1.70E-07	2.00E-07	1.60E-07	1.70E-07	1.30E-07	9.60E-08

Facteur 1,3 entre elevap et org et 2,7 entre elevap et aérosol (F) pour une même activité dans l'air

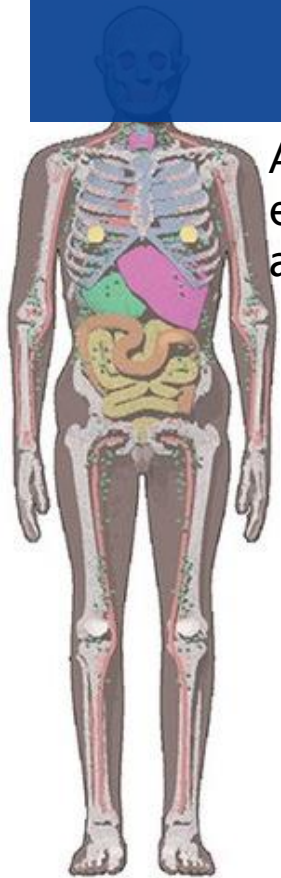
Calculs dosimétriques

Ingestion

Arrêté du 16 novembre 2023 définissant les modalités de calcul des doses efficace et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants

- Pas de distinction de la forme chimique pour les DPUI ingestion
- Légère diminution avec le nouveau modèle biocinétique pour l'iode (ICRP, 2017)

Nucléide	FD ingestion (Sv/Bq)			
	Forme chimique	Adulte	Enfant de 10 ans	Enfant de 1 an
I-125	Tous composés	1,50E-08	3,10E-08	5,70E-08
I-129	Tous composés	1,10E-07	1,90E-07	2,20E-07
I-131	Tous composés	2,20E-08	5,20E-08	1,80E-07



Calculs dosimétriques

Exposition externe

Contribution faible de cette voie d'exposition pour les iodes

- Coefficients de dose très faibles pour les isotopes de l'iode
- Pas dépendants de la forme chimique
- Valeurs issues du Federal Guidance n°12 (US-EPA, 1993)
 - N'est pas modifiée avec les nouvelles références (FG15 et CIPR144)



EDC_Viewer (Ver 3.6) - ICRP Publication 144 External Dose Coefficient

Air Submersion Effective Dose Rate Coefficients (nSv/h per Bq/m³)

I-129 T1/2 = 1.57E+7 y Decay Mode: B-

Adult	15 yr	10 yr	5 yr	1 yr	Newborn	h*	k
8.83E-04	9.97E-04	1.11E-03	1.36E-03	1.46E-03	1.92E-03	5.65E-03	5.04E-03

Note:
h* is the ambient dose equivalent rate coefficient (nSv/h per Bq/m³)
k is the air kerma rate coefficient (nGy/h per Bq/m³)

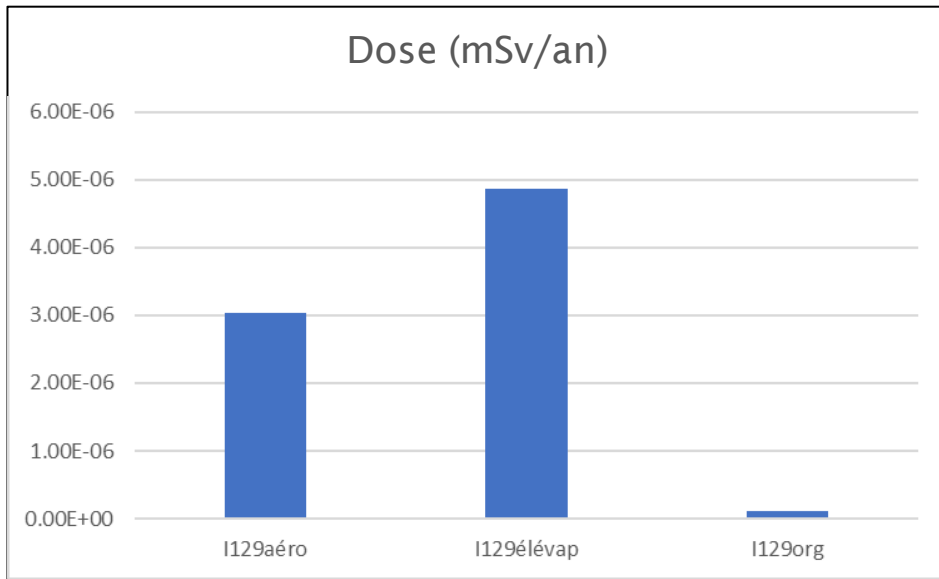
Co-60 T1/2 = 5.2713 y Decay Mode: B-

Adult	15 yr	10 yr	5 yr	1 yr	Newborn	h*	k
4.23E-01	4.45E-01	4.46E-01	4.66E-01	4.79E-01	5.04E-01	7.04E-01	5.78E-01

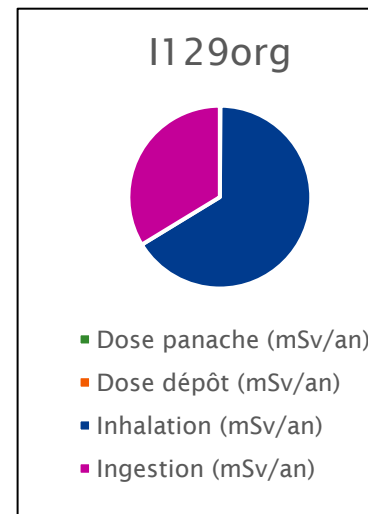
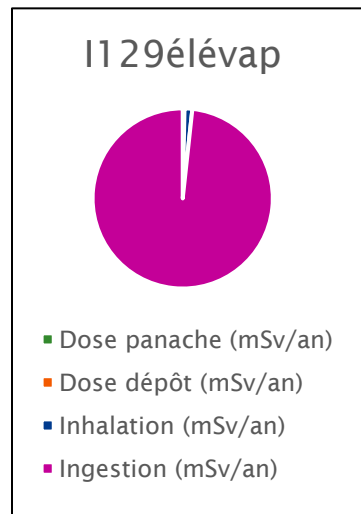
Calculs dosimétriques

Influence de la forme chimique de l'iode sur les calculs de dose

- Dose Forme gaz-vapeur > forme aérosol > forme organique
- Ratio doses gaz-vap/org =20 à 40 dû à la vitesse de dépôt et DPUI inhalation



DISEF/DSE/SM2S/24-0050





Conclusions

Influence de l'hypothèse sur la forme chimique dans les modèles d'évaluation

- Deux paramètres dépendent de la forme chimique

- DPUI Inhalation

- Valeurs réglementaires

- Vitesse de dépôt (dispersion atmosphérique)

- Le dépôt au sol et sur les végétaux = voie majeure dans le calcul d'impact des iodes
- La vitesse de dépôt est influencée par différents paramètres

La forme chimique de l'élément

Le type de surface sur lequel le dépôt a lieu : sol ou végétation

Les conditions météorologiques : pluie, humidité, vitesse du vent et température.

Le paramètre ayant l'influence la plus grande est la présence de pluie (dépôt humide)

Importance du choix de la valeur de ce paramètre

CSA: forme élémentaire vapeur $v = 2 \times 10^{-2}$ m/s, conservative

Sur une même étude expérimentale, les valeurs varient entre 2 et $0,49 \times 10^{-2}$ m/s (ratio=25)

Bah et al., 2020, Measurement and modelling of gaseous elemental iodine (I₂) dry deposition velocity on grass in the environment, Journal of Environmental Radioactivity 219 (2020)

Merci de votre attention