



La question du tritium dans les réacteurs à fusion

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

DR L. LEBARON-JACOBS

**DIRECTION DE LA RECHERCHE FONDAMENTALE
INSTITUT FRANÇOIS JACOB/ PROSITON
CEA**

Congrès de l'ATSR - 19 septembre 2024

- **2002:** *Médecins du travail (Alain Miele - Cadarache): suivi des travailleurs d'ITER (???)*
- **Décembre 2003:** rapport ENEA (Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente) de Luigi Di Pace / *Recommandations sur la conduite des expériences à mener (taille, activité, dissolution des particules tritiées, cinétiques longues)*
- **2004:** *réunion DSV/HC (CAD): problématique tritium/ITER*
- **2007:** experts Art 31 EURATOM: **EU Scientific Seminar "Emerging issues on tritium and low energy beta emitters"** Radiation Protection Series, N° RP 152
- **2007: Reviews of risks from tritium (HPA, UK)**
- **2008:** *Mise en place d'un projet commun DSV/DSM sur la radiotoxicologie des particules métalliques tritiées émises par ITER (ANR, PTTTox, Initiative d'Excellence AMIDEX, NFRP-14/Horizon 2020: projet TRANSAT)*
- **2008-2010: Livre Blanc ASN**
- **2009:** *Journées "Tritium" SFRP (Radioprotection)*

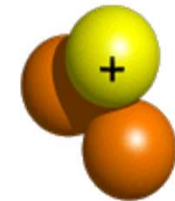


- **2010:** Le tritium : actualités d'aujourd'hui et de demain (S. Gazal, J.C.Amiard)
- **2009-2011:** GT-CEA « Tritium » / actions prioritaires à mener
- **2012:** Séminaire sur le tritium- Ecole de Giens (CEA/Programme TransTox)
- **2011-2019:** International conferences on Tritium (Nara, 2011; Nice, 2013; Charleston, 2016 et Busan, 2019)
- **2016:** Monographie « Tritium » UNSCEAR
- **2022:** experts Art 31 **EU Scientific Seminar "Radiological protection considerations for fusion reactors"** Radiation Protection Series, N° RP 200
- **2023-2026 :** **projet européen TITANS** (Tritium Impact and Transfer in Advanced Nuclear reactorS)

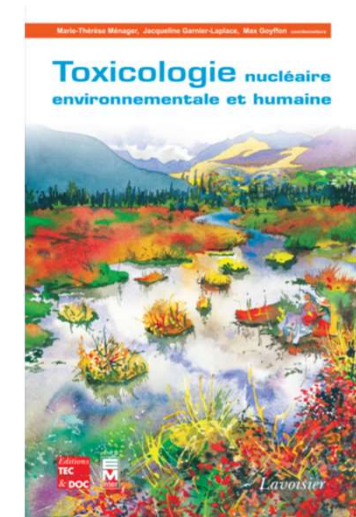


- Origines **naturelles** et **artificielles**
- Isotope radioactif ^3H de l'hydrogène ^1H
- **Emetteur β^-** ($E_{\text{max}} = 18,6 \text{ keV}$ - $E_{\text{moy}} = 5,68 \text{ keV}$)
- Période = **12,3 ans**
- $A_{\text{sp}} = 3,56 \cdot 10^{14} \text{ Bq.g}^{-1}$ ou **356 TBq.g $^{-1}$**
- **Parcours** dans l'eau < taille d'une cellule
(max : 6 mm - **moyen 0,56 mm**)
- **Forte densité d'ionisation**, mais peu de cellules
lésées ($\text{TLE}_{3\text{H}}: 11,5 \text{ keV/mm}$ / $\text{TLE}_{\text{Co}} = 0,3 \text{ keV/mm}$)

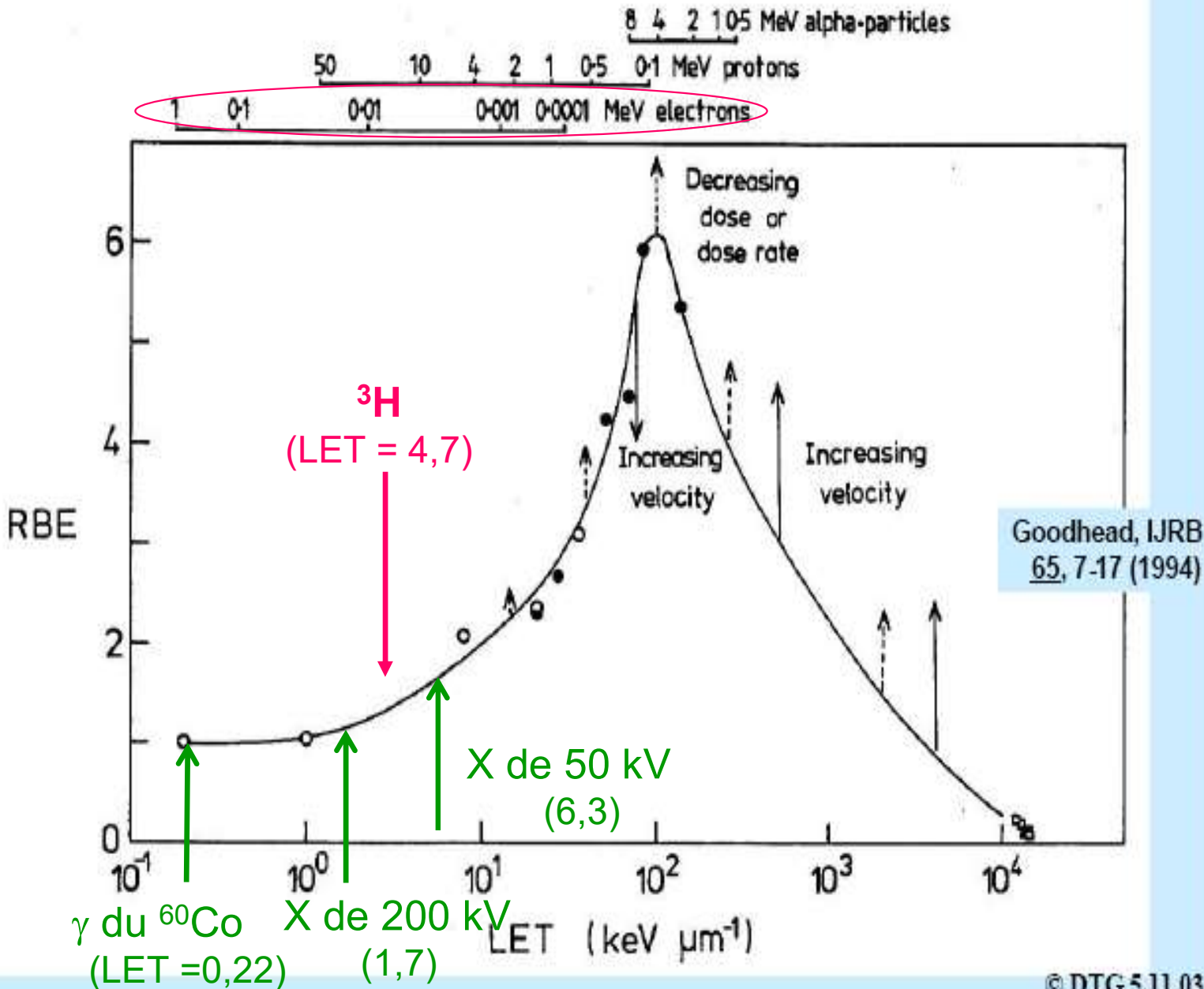
Tritium



1 proton
2 neutrons



Relative Biological Effectiveness for Cell Inactivation by Ionizing Radiations



Le pouvoir d'arrêt des électrons augmente à mesure que leur énergie diminue

→ Les électrons de faible énergie ont des densités d'ionisation supérieures aux électrons de plus forte énergie et aux électrons mis en mouvement par l'interaction des photons X ou γ avec la matière

Origine naturelle :

- ✓ Produit dans la haute atmosphère
- ✓ $\approx 200 \text{ g.an}^{-1}$ (70 000 TBq)



Origines artificielles :

Actuelles :

- ▶ Rémanence des essais nucléaires atmosphériques (650 kg entre 1952 et 1963 d'où environ 16 kg en 2020 à 90 % océan, 10 % eaux de surface et 1 % atmosphère)
- ▶ France : centrales nucléaires rejet liquide global d'environ 3 g/an
- ▶ Autres installations (retraitement, applications médicales, recherche): La Hague rejet liquide de l'ordre de 30 g/an

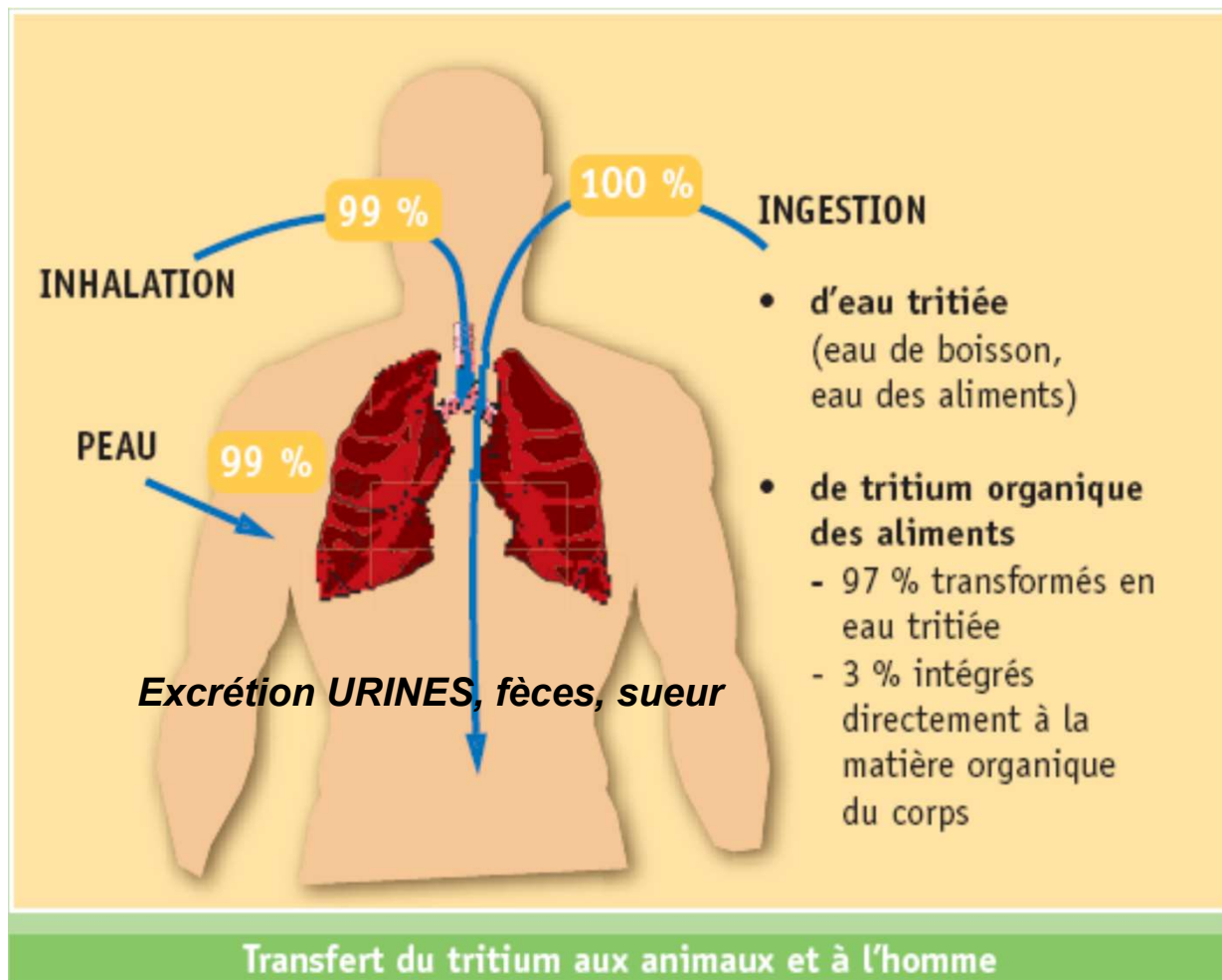
Futures :

- ▶ ITER (Hypothèse rejets: quelques g/an)
- ▶ LMJ (Hypothèse rejets: quelques mg/an)



- **Des formes physicochimiques variées**
 - Gaz : HT, CH₄
 - HTO
 - Tritium Organiquement Lié, Tritium lié à des métaux
- **Mobilité+++ / Présent dans l'environnement à de faibles concentrations**
- **Impact sanitaire:** signification de la dose? Concentrations expérimentales / conditions réelles?

Pas de transfert du HT



Pas d'accumulation significative de tritium chez l'homme:

➤ 90,8 % du tritium incorporé: période biologique ~ 9,6 j (en fonction des apports hydriques)

➤ < 9 %: période biologique entre 0,75 j et 22 j (composés organiques de renouvellement rapide)

➤ < 1%: période biologique ~450 j (composés organiques de renouvellement lent)

Excrétion urinaire et fécale:

HTO ++ (99%), TOL

Faut-il modifier le modèle biocinétique ?

Nombreuses incertitudes sur la période biologique du TOL

Hodgson *et al.* (2005): tritium ingéré sous forme de TOL présent dans les poissons se retrouve dans l'organisme à 30% sous forme d'OBT avec une période biologique de 25 jours (respectivement 3% et 40 jours dans le modèle CIPR).

⇒ augmenter le coefficient de dose pour TOL recommandé par la CIPR de $4,2 \cdot 10^{-11}$ à $6 \cdot 10^{-11}$ Sv/Bq

Kotzer et Trivedi (2001): dose reçue par la population vivant dans l'environnement d'un réacteur de recherche fonctionnant à l'eau lourde (Chalk River)

⇒ résulte essentiellement de l'incorporation d'HTO et non de TOL au travers de la chaîne alimentaire

Taylor (2008): cinétique propre de rétention et d'excrétion de 10 molécules marquées incorporées

⇒ doses < 20% (a minima) par rapport à celles calculées à partir du modèle CIPR pour le TOL



Modèle « par défaut » de la CIPR est toujours majorant, donc garantit la robustesse du système de radioprotection

Effets du tritium chez l'Homme

Etude de Hunt et al. (2009): excrétion urinaire d'HTO et TOL chez 5 volontaires ayant consommé des poissons plats (*Solea solea*) de la baie de Cardiff et contenant du TOL (3 à 6 kBq sur 100 jours)

⇒ Période biologique: 4 à 11 j (hydrolyse rapide des TOL)

⇒ Coefficient de dose à utiliser avec précaution



Etudes épidémiologiques

- **USA:** Schubauer-Berigan *et al.* (2007) and Richardson & Wing (2007)
leucémie/travailleurs: **pas de conclusion** possible au sujet du risque leucémogène lié à une exposition au tritium. Analyses en termes de dose totale
- **Canada:** Wanigaratne S. *et al.* (2013): augmentation significative du nombre de cas de cancer du poumon **sans lien avec une exposition au tritium**
- **UK:** Atkinson *et al.* (2007): **absence de relation** entre augmentation du nombre de cancers de la prostate chez travailleurs et la dose tritium (pas de dose spécifique tritium).

Si le réacteur thermonucléaire contrôlé est un jour développé, nous passerons par le tritium sur le chemin de la libération de l'énergie de fusion. Je pense que cela signifie que nous devrions réfléchir aux problèmes qui pourraient survenir lorsque nous utiliserons le tritium dans des quantités qui font paraître nos activités actuelles minuscules... Par conséquent, nous devons arriver à comprendre comment vivre avec le tritium et le comprendre vraiment ».



Willard F. Libby*, "History of Tritium"

Tritium. Conference held at Las Vegas, Nevada, August 28 – September 3, 1971.

A. A. Moghissi & M. W. Carter (eds.), Messenger Graphics, Las Vegas, NV (1973) pp 3-11.

*W. F. Libby est un physico-chimiste qui a mené les premières recherches sur le tritium et découvert la présence naturelle de tritium dans l'environnement (et utilisé le tritium pour déterminer l'âge des vins millésimés !) Il a reçu le prix Nobel de chimie en 1960.



- projet transdisciplinaire
- experts internationaux en sciences des matériaux, en ingénierie des procédés, en biologie, en sciences de l'environnement et en modélisation
- durée: 3 ans
- 21 partenaires de 8 pays



Le projet TITANS vise à développer des méthodes pour atténuer les rejets de tritium dans l'environnement par l'amélioration :

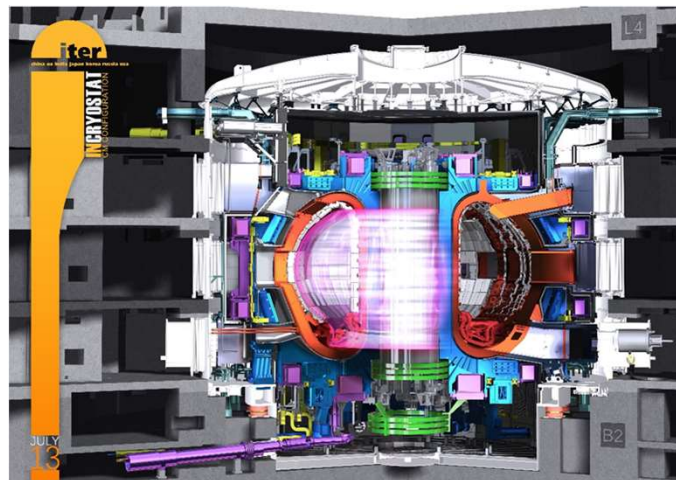
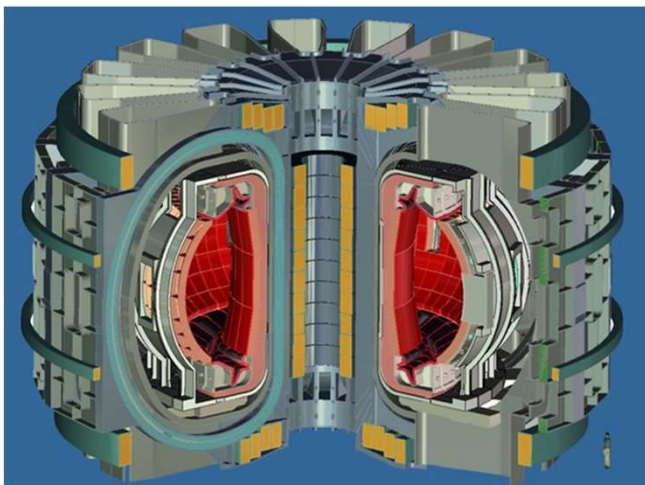
- des **barrières pour minimiser la perméation** du tritium à la source grâce à des traitements de surface
- **innovation des modèles d'inventaire du tritium** pour mieux comprendre les transferts dans l'environnement, **faciliter la planification des stratégies d'atténuation des fuites de tritium** pendant la phase de conception et d'étude des futurs réacteurs nucléaires
- de la **récupération du tritium et de sa réutilisation** dans les activités de fusion/fission nucléaire (contribuant au modèle circulaire)
- de la **gestion des déchets tritiés**, en particulier la conceptualisation d'une installation mobile de détritiation
- des **connaissances sur les effets du tritium sur la santé et sur la gestion du tritium dans le cadre des activités de démantèlement.**



■ Problèmes de protection radiologique:

- tritium (EBR des particules β de faible énergie, tritium lié à des éléments organiques, etc.)
- durées de fonctionnement plus longues et puissance plus élevée dans les futurs réacteurs de fusion (DEMO) ➔ exposition plus forte des travailleurs et du public par rapport à ITER

DEMO
jusqu'à 2
GW



ITER 0,5 GW

■ Problèmes de protection radiologique:

- maintenance et démantèlement des réacteurs de fusion: manipulation, caractérisation et élimination des matières radioactives contenant du tritium et des produits d'activation neutronique
- défis posés par la manipulation du tritium, la présence de radionucléides provenant de l'activation neutronique des impuretés dans les matériaux de structure

- Après le démantèlement des installations, forte probabilité d'importants volumes de déchets tritiés, dont la caractérisation est problématique + matériaux nouveaux
- Rejets accidentels: scénarii d'accident supplémentaires à envisager pour DEMO en raison de sa complexité accrue par rapport à ITER
- Quantités de tritium de l'ordre du kilogramme dans les futurs réacteurs de fusion commerciaux
- Identifier des techniques de détection du tritium, méthodologies de caractérisation et techniques de protection

Nouvelle directrice de la DG-ENER (Lenka Budinova) :

EC has engaged in dialogue on regulatory approach to fusion through:

- Consultation of ENSREG (and through ENSREG other relevant stakeholders e.g., WENRA, HERCA, and Technical and Scientific Support Organizations) (Fusion is included in ENSREG WP 2024 2026)*
- Consultation and participation, when possible, in the drafting of IAEA documents*
- Consultation of other relevant international partners (e.g., the US, Japan).*

Merci de votre attention!