

EVALUATION DES DOSES POUR DES EXPERIMENTS DE FUSION DE
GRANDE ECHELLE AVEC MACHINES DU TYPE TOKAMAK

F. Lucci, S. Merolli, M. Samuelli
Comitato Nazionale per la Ricerca e lo Sviluppo dell' Energia
Nucleare e delle Energie Alternative (ENEA)
Centro Ricerche Energia di Frascati, Frascati

Les appareils du type Tokamak employés jusqu' à présent pour la recherche sur la fusion contrôlée n'ont pas entraîné des risques radiologiques très importants. Les problèmes les plus remarquables ont été en effet posés par les rayonnements X durs associés au ralentissement des électrons découplés produits dans la décharge, qui sont toutefois à régarder comme un risque exceptionnel.

Plusieurs machines d' une nouvelle génération sont à présent en cours de project, de construction ou de première exploitation qui sont conçues pour approcher la limite du breakeven ou même, dans le cas du Jet et faisant les hypothèses les plus optimistes, pour atteindre l' ignition. Ces machines entraînent des risques radiologiques beaucoup plus remarquables liés au grand nombre de neutrons produits et, par conséquent, à des niveaux d' activation induite assez élevés. De plus, quelques-unes des dites machines (Jet, Tfr) ont été conçues pour fonctionner soit en deutérium (DD) soit avec des mélanges deutérium-tritium (DT), tandis qu' on va étudier la possibilité d' effectuer un nombre limité de décharges DT aussi pour des autres machines (FTU). Dans ces derniers cas on doit considérer aussi si les problèmes liés à la nature radioactive du tritium.

Le tableau 1 montre les caractéristiques les plus importantes de quelques Tokamaks représentatifs de cette génération, y compris le "Frascati Tokamak Upgrade" (FTU), dont on va commencer la construction chez le Centre de Frascati⁽¹⁾.

Les niveaux d' irradiation externe par le rayonnement instantané (neutrons thermonucléaires et gammas associés) ont été limités à des valeurs plutôt basses à cause de la présence de quelques maisons à proximité de l' emplacement de la machine. Les épaisseurs adoptées pour l' enceinte de protection en béton sont de 220 cm pour les murs latéraux et 150 cm pour le toit. On a estimé que le débit d' équivalent de dose à la distance de 60 m du tore ne dépasse pas quelques dixièmes de mSv/an en faisant des hypothèses sévères sur le rythme de fonctionnement (plasmas DT, 1000 chocs/an, $6 \cdot 10^{17}$ neutrons/choc). Les débits de dose dans les milieux de travail à proximité de la Salle FTU ne dépassent pas quelques mSv/an. Dans ces évaluations on a tenu compte des contributions soit des gammas de capture que des neutrons transmis par effet de ciel. On peut naturellement négliger tout risque d' irradiation externe au dehors de l' enceinte de protection dans le cas du fonctionnement DD.

Tableau 1 - Caractéristiques principales de quelques Tokamaks (R et a: rajons majeur et mineur; B: champ toroïdal; I: courant plasma; Y_{DD} et Y_{DT} nombre de neutrons par décharge en DD ou en DT).

Organisation	R(m)	a(m)	B(T)	I(MA)	Y_{DD}	Y_{DT}
JET Euratom Cee	2.95	1.25x2.1	3.5	4.8	$5 \cdot 10^{17}$	$1 \cdot 10^{20}$
TFTR DOE USA	2.48	0.85	5.2	2.5	$1 \cdot 10^{17}$	$2 \cdot 10^{19}$
FTU ENEA Italie	0.9	0.3	8.0	1.6	$6 \cdot 10^{16}$	$8 \cdot 10^{18}$ (*)
TS CEA France	2.15	0.7	4.5	1.7	$2 \cdot 10^{17}$	

(*) possibilité à l' étude

Le niveau de la radioactivité induite par les neutrons de fusion dans les structures de la machine ont été calculés par un code simplifié qui utilise les fluxes de neutrons thermiques évalués par un model semi-empirique et les fluxes de neutrons rapides tirés d'un calcul monodimensionnel de transport (2). On a calculé le débit d'équivalent de dose à l' intérieur de la chambre à vide, sur l' axe du plasma, et à l' extérieur du tore à 30 cm du cryostat.

La fig. 1 montre la décroissance du débit d' équivalent de dose en fonction du temps de refroidissement pour deux temps de fonctionnement (1 an et 5 ans), soit dans le cas DD que dans celui DT. Pour le premier on a adopté un cycle annuel de fonctionnement qui prévoit 3000 chocs/an, divisés en deux séries chacune de 1500 chocs (30 chocs par jour, 5 jours par semaine pendant 10 semaines) séparées par un arrêt de 16 semaines. Pour le cas DT on a prévu 1000 chocs/an, également divisés en deux séries de 500 chocs (25 chocs/jour, 4 jours/semaine pendant 5 semaines) avec un arrêt de 21 semaines interposé. Il faut remarquer qu' on a considéré pour ces calculs une production moyenne de neutrons inférieure d' un facteur 10 aux valeurs maxima indiquées au tableau 1: le débit de dose à la suite d' une série de chocs de très bonne qualité pourrait donc être majeur d' un facteur 10. Les valeurs relatives à des temps de refroidissement assez longs sont toutefois toujours correctes.

Le tableau 2 montre, pour les mêmes cas et les mêmes points d' observation, les débits de dose résiduels après un temps de refroidissement d' un année. La contribution des principaux radionuclides à période longue est aussi indiquée. On peut noter que, surtout dans le cas DT, le ^{60}Co est très important.

Les niveaux d' irradiation envisagés montrent que, dans le cas DD l' exploitation de la machine FTU peut causer un' irradiation significative du seul personnel chargé d' effectuer des intervention sur la machine immédiatement après des séries prolonguées de chocs de bonne qualité ou pendant des longues périodes. On estime que les doses reçues par ces personnes puissent être limitées au dessous de 8 mSv/an simplement au moyen d' une bonne organisation du travail. Une valeur maximum pour la dose collective peut être situé environ 0.3 homme.Sv/an.

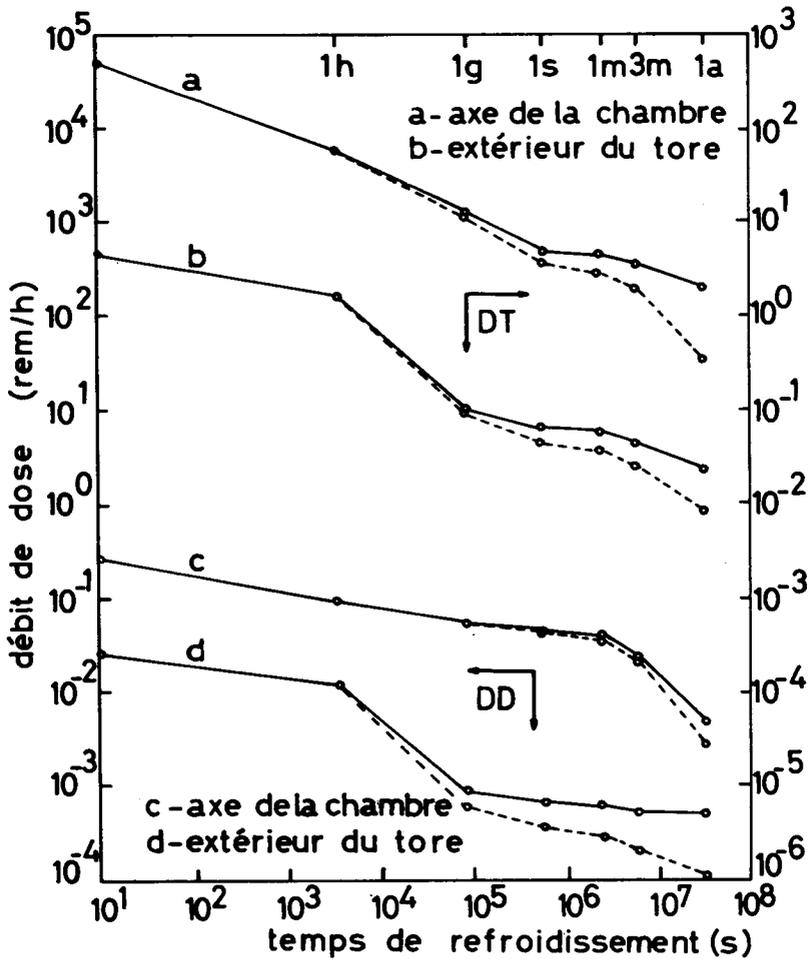


Fig. 1 - Débit d' équivalent de dose calculé à l' intérieur de la chambre à vide et à l' extérieur du tore pour deux temps de fonctionnement: 1 an (trait haché) et 5 ans (trait continu).

Tableau 2 - Débit de dose et contribution des radionuclides les plus importants (temp de refroidissement: 1 an).

	Temp Fonct. (ans)	Débit de dose (mSv/h)	Contribution (%)		
			⁶⁰ Co	⁵⁴ Mn	⁵⁸ Co
fonctionnement DD					
Axe de la chambre à vide	1	0.027	7	35	57
" " " " " "	5	0.048	19	37	43
Extérieur du tore	1	0.0011	84	11	5
" " "	5	0.0038	93	5	1.5
fonctionnement DT					
Axe de la chambre à vide	1	6.2	69	16	13
" " " " " "	5	20.	86	8	5
Extérieur du tore	1	0.081	51	35	13
" " "	5	0.23	74	21	5

Pour le fonctionnement DT, si l'on veut respecter une limite pratique de 10 mSv/an, il faut envisager certainement l'installation d'appareillages pour la manipulation éloignée et il est aussi prévisible une augmentation du nombre des travailleurs exposés. La dose collective pour tous ces travailleurs est moins que 1 homme.Sv/an.

Quant aux problèmes propres du tritium, on estime que les quantités maxima à considérer présentes en forme gazeuse sont: 400 Ci dans la Salle FTU et 6000 Ci dans le local de manipulation. Une étude préliminaire sur les conséquences radiologiques des rejets de tritium compte tenu des caractéristiques météorologiques du site de Frascati a été déjà effectuée(3). En adoptant une hauteur de la cheminée de 12 m, on trouve des doses qui ne dépassent pas 0.8 uSv à 100 m de distance, pour des rejets continus de 10 Ci/an. Si l'on suppose un rejet accidentel de tous les 400 Ci de tritium présents dans la Salle FTU, on a une dose par inhalation et absorption au travers de la peau d'environ 0.13 mSv à 200 m de distance. Ces niveaux se réduisent 10 fois à 1.5 - 2 km. Il faut aussi remarquer que les doses d'ingestion sont beaucoup plus faibles, sauf le cas d'une forte pluie pendant le rejet et de la consommation directe de l'eau de pluie. Même dans ce cas extrême on trouve des doses d'ingestion confrontables avec celles directes.

REFERENCES

- (1) "Frascati Tokamak Upgrade", Associazione Euratom-ENEA sulla fusione, Rapports 82.49 et 82.59 (1982)
- (2) E. Pedretti et C. Di Nicola, Communication privée (1983)
- (3) P. Cagnetti et V. Ferrara, Communication privée (1982)