

## L'accident aux réacteurs nucléaires de Fukushima: mise en perspective environnementale.

### Auteur

- François Caron, Professeur, École de l'Environnement, Faculté des sciences, génies et architecture, Université Laurentienne, fcaron@laurentienne.ca

### 1. Introduction et mise en contexte

Le 11 mars 2011 a marqué l'histoire alors qu'est survenu le deuxième accident de niveau de gravité 7 sur l'échelle internationale des incidents nucléaires et radiologiques. L'accident est une conséquence indirecte d'un des plus importants séismes jamais enregistrés, lequel a engendré un tsunami qui a déferlé sur les côtes des pays du Pacifique, notamment au Japon. Le tsunami a frappé, entre autres, la station nucléaire de Fukushima Daiichi, située à 260 km au nord de Tokyo. Les réacteurs en tant que tels ont subi un arrêt automatique suivant le tremblement de terre, et n'ont pas été endommagés par le tsunami. Cependant, en raison de pannes multiples ayant ensuite affecté la station, il est devenu impossible de refroidir le cœur des réacteurs et les piscines de désactivation du combustible irradié, ce qui a causé des fuites radioactives importantes par des décharges de gaz radioactifs, et la production de gaz hydrogène. Des incendies ont répandu de la radioactivité sur une échelle planétaire (1, 2).

Les contaminants de cet accident sont surtout des éléments chimiques gazeux (Kr-85, Xe-133), en plus d'autres éléments facilement volatilisables (I-131, Cs-137) à la sortie des réacteurs. Au point de vue d'impact environnemental, ces gaz nobles  $^{85}\text{Kr}$  ( $t_{1/2}=10.7\text{a}$ ) et  $^{133}\text{Xe}$  ( $t_{1/2}=5.3\text{j}$ ) sont considérés importants seulement à court terme en raison, entre autres, parce qu'ils sont inertes, et surtout la demi-vie du  $^{133}\text{Xe}$  est courte. L'Iode-131 ( $t_{1/2}=8.04\text{j}$ ) pose plus de problèmes à court terme en raison de son potentiel d'accumulation dans la glande thyroïde chez les humains. À plus long terme, le  $^{137}\text{Cs}$  ( $t_{1/2}=30.1\text{ a}$ ) peut se déplacer dans l'air et se déposer à des distances lointaines. D'autres éléments tels les actinides (U, Pu, Np) peuvent causer des préoccupations s'ils sont volatilisés ou entraînés, comme par exemple, pour l'accident de Tchernobyl.

Les estimés des émissions et les conséquences sont très bien documentés (2-4). Cependant, ces estimés sont en unités de radioactivité (Becquerels, Bq), lesquelles sont difficiles à comparer avec des unités conventionnelles (masse). Le but premier de ce travail est de convertir ces quantités sous forme de masse pour faciliter les comparaisons. Un second but est de comparer ces émissions de Fukushima avec: (1) une station de type CANDU; (2) les accidents notables de Three Mile Island (TMI; 1978) et de Tchernobyl (1986).

### 2. Méthode

Les tableaux d'émissions d'accidents à des réacteurs sont disponibles dans plusieurs sources (2-4). Les émissions de la station de Bruce (Tiverton, ON), la plus puissante au monde en 2014, sont documentées et soumises à la Commission de Contrôle de la Sécurité Nucléaire (CCSN; 5). Ces émissions sont strictement contrôlées et surveillées, et font partie de l'opération normale des réacteurs, soit 8 unités de type CANDU (classe 900 MWe). Après sélection de radioéléments clés, les émissions sont converties en masse en utilisant les relations suivantes (6):

$$\text{Masse} = \text{Activité (Bq)} / \text{SA (Bq/g)} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$\text{Où} \quad \text{SA} = N_0 \times \lambda / A \quad (\text{Eq.2})$$

Les abréviations sont: Activités en Bq (désintégration par seconde), SA: activité spécifique (Bq/g),  $N_0$ : nombre d'Avogadro (particules/mole),  $\lambda$ : constante de désintégration ( $\text{temps}^{-1}$ ), et A, masse

atomique (g/mole). Les activités en Bq sont facilement converties en utilisant les paramètres connus des radioisotopes en utilisant ces deux relations.

### 3. Résultats

Le Tableau I indique les émissions de la station de Bruce pour toute l'année 2014, sous forme d'unités de radioactivité et de masse. On peut facilement voir que ces quantités, selon des unités de masse, sont basses, surtout pour des projets d'échelle industrielle tel que Bruce.

Tableau I: Émissions de la station de Bruce Power

Item	Emission (TBq)	Masse (grammes)
$^3\text{H}$ (sous forme de $^3\text{H}_2\text{O}$ )	751	15.3
$^{14}\text{C}$ (sous forme de $^{14}\text{CO}_2$ )	1.64	32.6
$^{131}\text{I}$	0.0004	0.1
$^{133}\text{Xe}$	53	8

Noter: temps de demi-vies:  $^3\text{H}$ ,  $t_{1/2} = 12.3$  a;  $^{14}\text{C}$ :  $t_{1/2} = 5730$  a. 1 TBq =  $10^{12}$  Bq

Le Tableau II compare les émissions des deux accidents les plus notables, Tchernobyl et Fukushima. En comparaison, l'accident de TMI de Harrisburg, PA, a émis 1.75 PBq de  $^{85}\text{Kr}$ , soit environ 120 g de ce contaminant, et 500 PBq de  $^{133}\text{Xe}$ , ou une masse de 72 g.

Tableau II: comparaison des émissions des accidents de Tchernobyl et Fukushima.

Item	Tchernobyl		Fukushima	
	Emission (PBq)	Masse (kilogrammes)	Emission (PBq)	Masse (kilogrammes)
$^{85}\text{Kr}$	33	2.3	32.6	2.2
$^{131}\text{I}$	1760	0.4	400	0.09
$^{133}\text{Xe}$	6500	0.94	12000	1.7
$^{137}\text{Cs}$	85	26.6	20	6.2
$^{239}\text{Np}$	400	0.05	0.076	0.00001
$^{239}\text{Pu}$	0.013	5.7	0.0000032	0.0014
$^{240}\text{Pu}$	0.018	2.1	0.0000032	0.0004

Noter: 1 PBq =  $10^{15}$  Bq

### 4. Discussion

L'on peut constater que ces émissions, rapportées sous forme d'unités de radioactivité (Bq), ne donnent pas nécessairement un point de comparaison sous forme de quantités conventionnelles, pour fins de communication des risques. Cette mise en perspective montre que ces quantités sont

en grammes ou kilogrammes, et non pas de tonnes, milliers ou millions de tonnes. Cette nouvelle perspective est importante, car la perception publique pourrait faire croire à des quantités énormes, au point de vue de masse, ce qui n'est pas le cas.

Le radio-contaminant clé de Fukushima est le  $^{137}\text{Cs}$ : celui-ci sera mesurable pendant plusieurs décennies. Étant donné que le césium stable existe déjà dans la nature, son cyclage environnemental entraînera le  $^{137}\text{Cs}$ . Afin de minimiser les conséquences, des réseaux de surveillance et de radioprotection sont en place pour gérer les doses directes à la population et dans les produits d'agriculture (2). Il y a eu également de la remédiation des sols (2).

Ces émissions, en comparaison graphique sur une même échelle, sont présentées dans la Figure 1. Les plus importantes différences sont: (1), les émissions initiales de  $^{133}\text{Xe}$  étaient plus élevées pour Fukushima, par rapport à Tchernobyl (~2x), mais sans conséquence à long terme étant donné sa courte demi-vie (5j); et (2) les émissions de  $^{137}\text{Cs}$  (6x) et surtout Np+Pu (>1000) étaient plus importantes pour Tchernobyl.

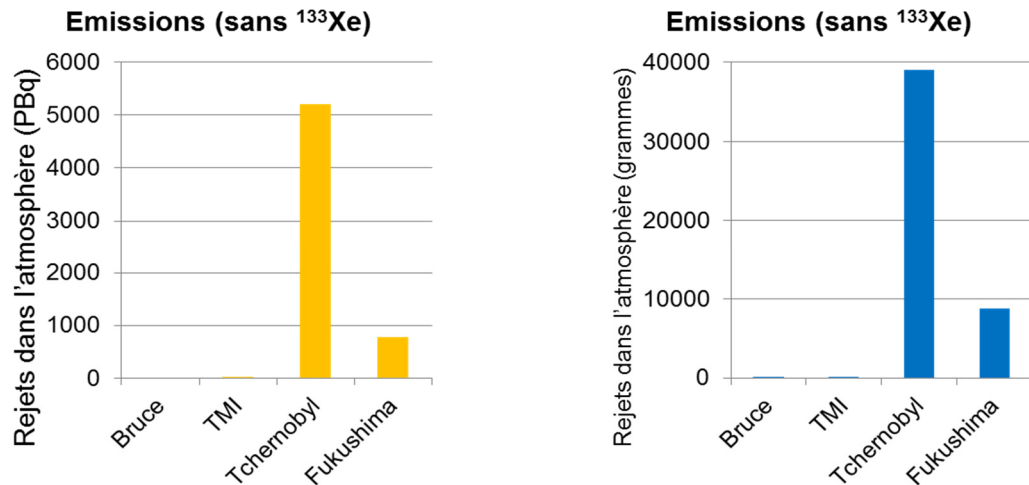


Figure 1: Mise en graphique des émissions des réacteurs. A gauche, unités de radioactivité; à droite, sous forme de masse.

## 5. Conclusions:

La mise en perspective de la radioactivité avec un calcul simple permet de mieux comparer les émissions radioactives de réacteurs, sous forme de masses. Ces unités mettent en valeur une perspective plus abordable pour fin de communication des risques. Ceci ne diminue pas l'ampleur des conséquences, documentées séparément. La communication présente ne donne qu'une perspective différente. *Cet article a été produit et soumis intentionnellement le 11 mars, qui est le 5e anniversaire de l'accident de Fukushima. Je soumetts cet article en pensant respectueusement aux victimes du tsunami, aux personnes manquantes et déplacées.*

## 6. Bibliographie sélective

- World Nuclear Association (2016). *Fukushima Accident*, mis à jour Mars 2016. <http://www.world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/fukushima-accident.aspx>

- IAEA (2015a). *The Fukushima Daiichi accident. Technical volume 4: Radiological consequences*, International Atomic Energy Agency, Vienna.
- IAEA (2015b). *Report by the Director General on The Fukushima Daiichi Accident*, STI/PUB/1710, International Atomic Energy Agency, Vienna.
- Steinhauser et al., (2014). *Sci. Tot. Environ*, Vol. **470-471**, p. 800.
- Bruce Power (2015). *2014 Environmental Monitoring Program report* B-REP-07000-00007.
- Ehmann, W.D. and Vance, D.E. (1991). *Radiochemistry and nuclear methods of analysis*. J. Wiley and Sons, NY.