Retour d’expérience sur l’impact dosimétrique d’un transport maritime de larges quantités de monazite

29ème congrès de l’ATSR, Septembre 2026
Florian Darras, Orano NPS

Introduction

Monazite : minerai de terre rare contenant du thorium et de l'uranium

Classé comme NORM
Transporté en tant que LSA-I (UN2912)

Dispositions spéciales à prendre en matière de radioprotection

- Préparation de l'expédition
- Opérations de chargement des navires au port
- Tout au long du voyage maritime

Présentation basée sur une expédition maritime d'environ 400 conteneurs





Accent sur la radioprotection et le retour d'expérience dosimétrique

1. **Analyse des données**
2. **Programme de radioprotection**
3. **Mesure sur site**
4. **Retour d'expérience**

Présentation de l'expédition

Cargo :
~ 8 000 tonnes de Monazite-(Ce) dans des big bags (2 tonnes chacun)

Conteneurs :
10 big bags par conteneur ISO de 20 pieds

Navire :
Cargo général, entièrement dédié à la monazite

Voyage :
~ 25 jours





Radioprotection :
- **18 m des quartiers d'habitation**
- **12 m de la salle des machines**

Caractérisation radiologique

Activité par conteneur :
~2 GBq (Th-232 and U-238)

Débits de dose :

- **Contact ~53 µSv/h**
- **1 meter ~20 µSv/h (TI ~6)**

Protection minimale des parois des conteneurs

Utilisé comme base pour les évaluations radiologiques

Données	Indice de transport	Débit de dose gamma maximal (µSv/h)	
		Au contact	À 1 mètre
Minimum	1,1	19,3	3,5
Moyenne	4,9	41,3	16,3
Maximum	10.2	74,3	34
Écart-type	1.1	11,8	3,6
Moyenne plus un écart-type (valeur raisonnablement large)	6	53,1	19,9

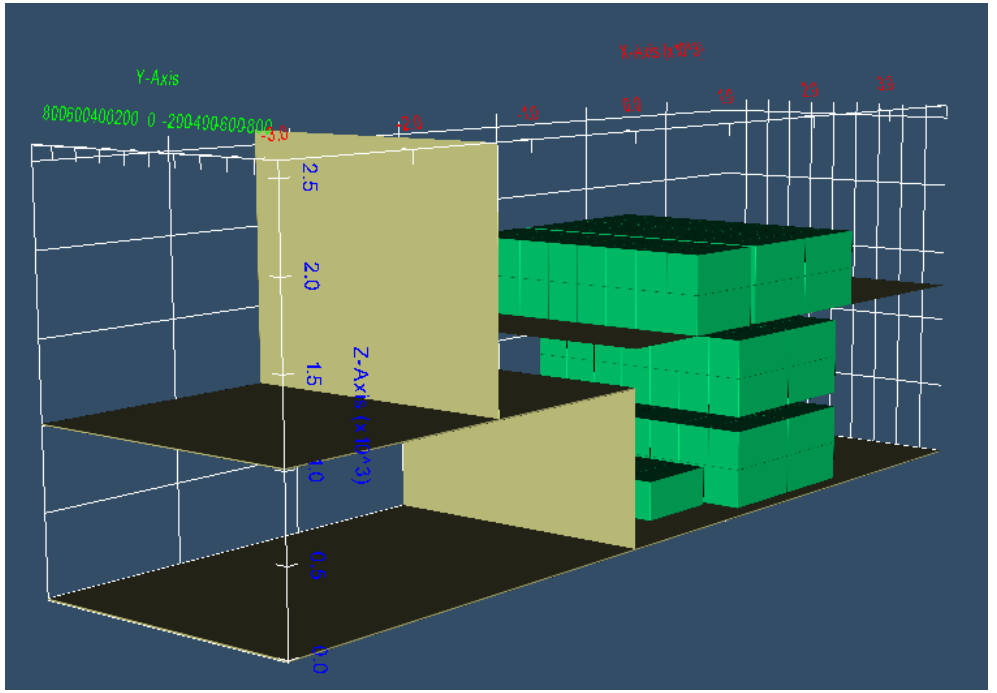
Simulation du débit de dose

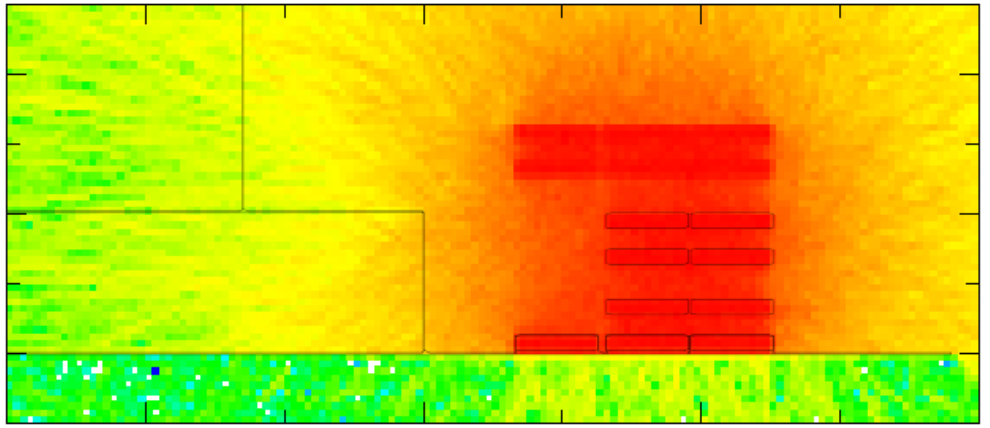
PHITS (JAEA) utilisé pour la modélisation du débit de dose

Modèle de navire simplifié avec 109 conteneurs
Terme source : ~3 GBq/conteneur

Cartes de dose générées pour l'hébergement, la salle des machines et le pont

Résultats utilisés pour estimer les scénarios d'exposition de l'équipage





Zone	Emplacement	Débit de dose (µSv/h)
Salle des commodités & machines	Niveau inférieur	4
	Plate-forme supérieure	5
	Étage supérieur	3
Locaux d'habitation	Poop deck	1
	A deck	0,8
	B deck	0,4
	Au-dessous	0,2

Scénarios d'estimation de dose



A. Chargement / déchargement	B. Zones de vie / travail	C. Rondes de routine	D. Salle des machines	Total :
• 3 min / conteneur • 2 mètres • 400 conteneurs • 3 personnes • 160 µSv	• 8h/jour dans les logements • 8h/jour decks inférieurs • 8h/jour decks supérieurs • 360 µSv	• 15min/jour • 2 mètres • 2 personnes • 38 µSv	• 5h/jour dans la salle des machines • Sinon comme dans le scénario B • 735 µSv	• Équipage hors moteur **~558 µSv** • Équipage moteur **~735 µSv**

Évaluations basées sur des débits de dose estimés autour des conteneurs et des modèles de calcul prudents intégrant des marges de sécurité
→ des mesures de vérification supplémentaires ont été prévues pour soutenir et valider les hypothèses

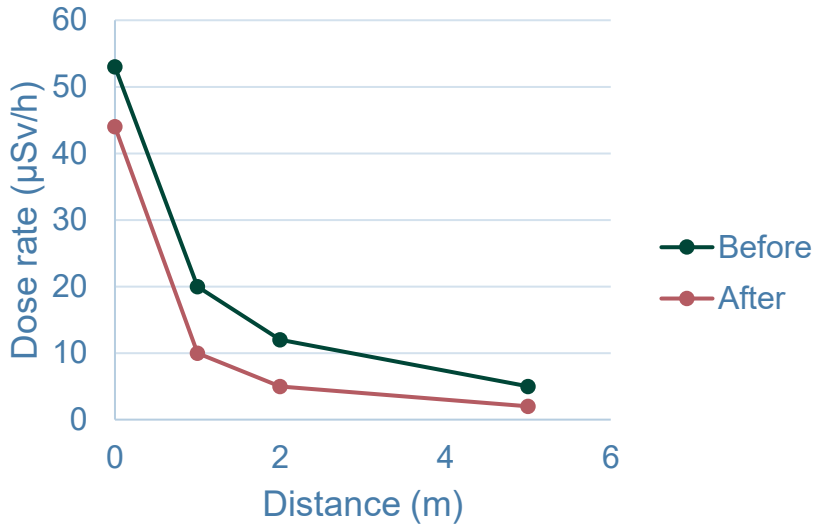
Mesures sur les conteneurs

Surveillance du débit de dose avant départ au port
Mesures sur 9 conteneurs avec un TI élevé

Débit de dose au contact :
~43 µSv/h, doors ~17 µSv/h

Des débits de dose à 1 mètre inférieurs aux prévisions

Distance	Débit de dose moyen (µSv/h)
Contact	44
1 mètre	10
2 mètres	5
5 mètres	2



Estimation révisée : ~6 µSv/h à 2 mètres
La légère correction garantit une estimation plus réaliste mais toujours prudente

Mesures dans certaines zones de navire

Dosimètres à lecture différée

- Dosimètres placés dans des emplacements clés du navire
- Dose cumulative mesurée sur un voyage de 25 jours
- Dosimètres de contrôle utilisés pour détecter les anomalies

Mesures avec radiamètre

- Dans les emplacements clés du navire

Les estimations du débit de dose calculé semblent conservatrices, mais restent raisonnables, bien qu'occasionnellement significatives



Point	Zone		Dosimètre à lecture différée		Radia-mètre	Estimation
	Global	Détail	Dose lue (mSv)	Dose calculée (µSv/h)	Débit de dose mesuré (µSv/h)	Débit de dose (µSv/h)
1	Pont D	Pont	0,17	0,28	0,25	0,2
5	Pont supérieur	Cabine du chef mécanicien	0,12	0,20	0,22	3
8	Plate-forme supérieure	Salle de contrôle des moteurs	0,63	1,05	1,5	5
11		Entre les cales 2 et 3	4,71	7,85	17,8	20
12	Plateforme inférieure	Soute	0,21	0,35	1,9	4

Évaluation de la dose mise à jour

Révisé sur la base de mesures réelles

Équipage hors moteur :
(558 µSv →) **299 µSv**

Équipage moteur :
(735 µSv →) **513 µSv**

Zone	Emplacement	Débit de dose (µSv/h)	
		Précédent	Mis à jour
Salle des produits et des moteurs	Niveau inférieur	4	3
	Plate-forme supérieure	5	3
	Étage supérieur	3	0,5
Locaux d'habitation	Poop deck	1	0,5
	A deck	0,8	0,1
	B deck	0,4	0,1
	Au-dessous	0,2	0,4

Toutes les valeurs sont inférieures à la limite réglementaire de 5 mSv/an

Démontre la nature conservatrice des estimations initiales

Et donc…

Principaux points à retenir

- La modélisation conservatrice garantit une marge de sécurité
- Les mesures sur le terrain affinent les évaluations
- La radioprotection doit être adaptée à chaque voyage
- Les transports futurs nécessitent des évaluations dédiées

Conclusion

- Le transport de la monazite implique de réels défis radiologiques
- La combinaison de la modélisation, de la mesure et de la planification est essentielle
- Le retour d'expérience aide l'optimisation des programmes de radioprotection
- Le soutien des experts en radioprotection est essentiel, peut être fourni via les organisateurs de transport de classe 7

Mise en garde :
Les conclusions présentées dans ce document sont spécifiques à un seul voyage bien défini impliquant un type particulier de monazite. Ils ne sont valables que dans les conditions exactes décrites — à savoir, la mise en œuvre de distances de séparation de 12 mètres depuis la salle des machines et de 18 mètres depuis les quartiers d'habitation. Bien que les doses absorbées estimées restent dans les limites réglementaires, elles ne sont pas nulles et ne doivent pas être négligées. Toute opération de transport future, même avec des matériaux similaires, doit faire l'objet d'une évaluation radiologique dédiée afin de garantir la conformité continue et la protection adéquate de l'équipage.
Il est également réitéré qu'il incombe à la compagnie maritime de consolider l'absorption annuelle totale de la dose pour chaque membre d'équipage. Cela doit être basé sur le nombre et le type de voyages effectués tout au long de l'année, y compris ceux impliquant des matières de classe 7.

orano

Donnons toute sa valeur au nucléaire