Transport des substances radioactives du cycle du combustible par voie ferrée

Analyse de l’exposition radiologique potentielle du public dans les gares ferroviaires de voyageurs en France

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

Toutes les images : Copyright ORANO

Contexte et objectifs

Le transport de matières radioactives est essentiel pour le cycle du combustible nucléaire

Ces substances radioactives sont transportées régulièrement, certains transports étant effectués de manière récurrente par rail

Exposition aux rayonnements ionisants

- Exposition des travailleurs autour du transport directement prise en compte par les employeurs
- Exposition du public prise en compte par les acteurs des transports



Objectif :
Évaluer l'exposition du public dans les gares de voyageurs, en se concentrant sur le transport par rail de combustible usé

Transport ferroviaire dans le cycle du combustible

Le cycle du combustible

- Les transports sont régulièrement effectués à la fois sur l'amont du cycle et sur l'aval du cycle
- Orano est un opérateur international de premier plan dans le fonctionnement du cycle du combustible
- Sa filiale, Orano NPS, organise ou encadre avec succès des transports associés depuis plus de 50 ans

Transports ferroviaires

- Matériaux transportés : uranium naturel, UF4, UF6, combustibles usés, etc.
- Pourquoi mettre l'accent sur le combustible usé ?
  - Débits de dose les plus élevés et convois ferroviaires les plus fréquents
- 150–200 colis de combustible usé transportés chaque année par rail









Quelques ordres de grandeur sur les transports ferroviaires du cycle (valeurs indicatives, pouvant varier)

	Uranium naturel	UF4	UF6	U3O8	Nitrate d'uranyle	Combustibles usés
Nombre / an	40 convois	Quelques convois	20 convois	10 convois	1 convoi par semaine	200 colis
DED 1m	0,01 mSv/h	<< 0,01 mSv/h	0,01 mSv/h (app.) 0,04 mSv/h (enr.)	<< 0,02 mSv/h	0,012 mSv/h (maxi) 0,008 mSv/h (moyenne) 2021	Voir ci-après (0,08 mSv/h)

Cadre réglementaire et sûreté

Exigences

Le SSR-6 de l'AIEA s'applique

Limites de débit de dose autour du moyen de transport :

- 2 mSv/h à la surface du wagon
- 0,1 mSv/h à 2 mètres du wagon

Rappel : pas de mesure à 1m du moyen de transport (mais du colis pour le TI)

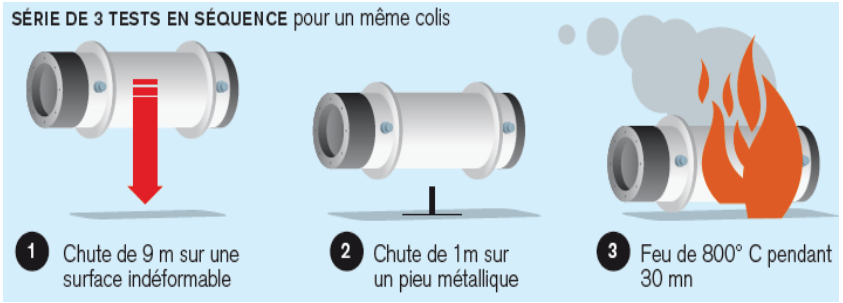


Modèles de colis

TN12/2, TN13/2, TN112, …

Sûreté assurée par le respect des exigences en conception, fabrication, maintenance, utilisation, transport, surveillance, gestion de crise, …





Analyse des gares

Les transports ferroviaires sont en mouvement

- Les arrêts pendant le transport en dehors des gares sont limités
- Les gares de triage sont sécurisées et gardées, l'accès du public est interdit

→ Analyse des arrêts de train dans les gares de voyageurs

Orano et la compagnie ferroviaire française ont analysé les durées d'arrêt en 2022

933 passages en station enregistrés dans 34 emplacements d'arrêt

4 près des gares de passagers



Analyse des gares

Arrêts près des gares de passagers

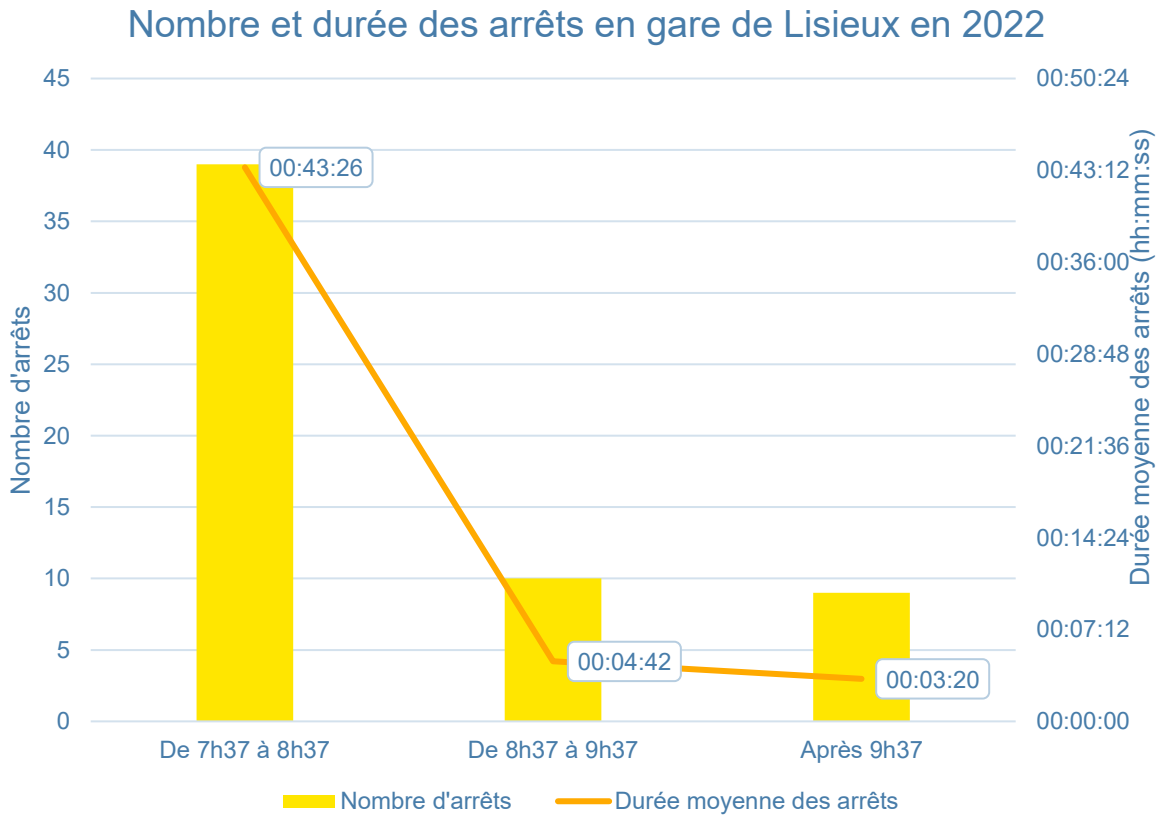
- Château du Loir :
  16 convois, chaque escale durant une minute

- Le Mans :
  32 convois, environ 4 minutes par arrêt

- Lisieux :
  58 convois, avec une quarantaine d'arrêts de 30 à 60 minutes

- Valognes :
  28 convois, environ 25 minutes d'arrêt programmé
  (généralement 10 min)

Focus sur la gare de voyageurs de Lisieux
58 arrêts en 2022
La plupart vers 8h, durant ~45 min



Données radiologiques

Analyse basée sur les transports de combustible usé sur plusieurs années

Plusieurs sources de données :

- Pendant chaque transport, des mesures de débit de dose sont prises sur le site de l'expéditeur, sur le site du destinataire et pendant le transport
- Plusieurs mesures supplémentaires ont été effectuées lors des transports de combustible usé pour déterminer les valeurs de débit de dose à différentes distances



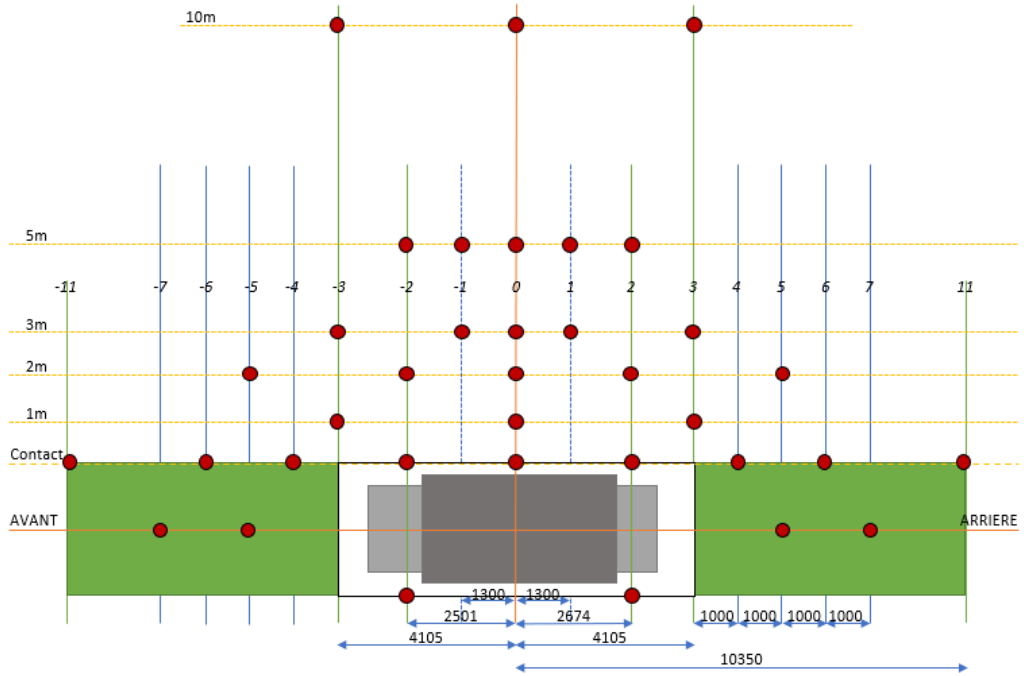
Données radiologiques
Analyse des relevés lors de chaque transport

Année	Nombre de transports	Indice de transport (TI)		Débit de dose (mSv/h) (moyenne)		
		Moyenne	Moyenne + 2σ	Contact (du colis)	1 mètre (du colis)	2 mètres (du moyen de transport)
2019	174	8	11,3	0,406	0,080	0,035
2020	178	7,7	11,6	0,413	0,077	0,033
2021	197	7,4	11,5	0,397	0,074	0,033
2022	140	7,9	12,3	0,436	0,079	0,036
2023	143	7,5	11,4	0,418	0,075	0,032
Moyenne	166	7,7	11,6	0,414	0,077	0,034

Valeurs stables, indice de transport moyen d’environ 8

Données radiologiques
Campagne de mesure détaillée spécifique

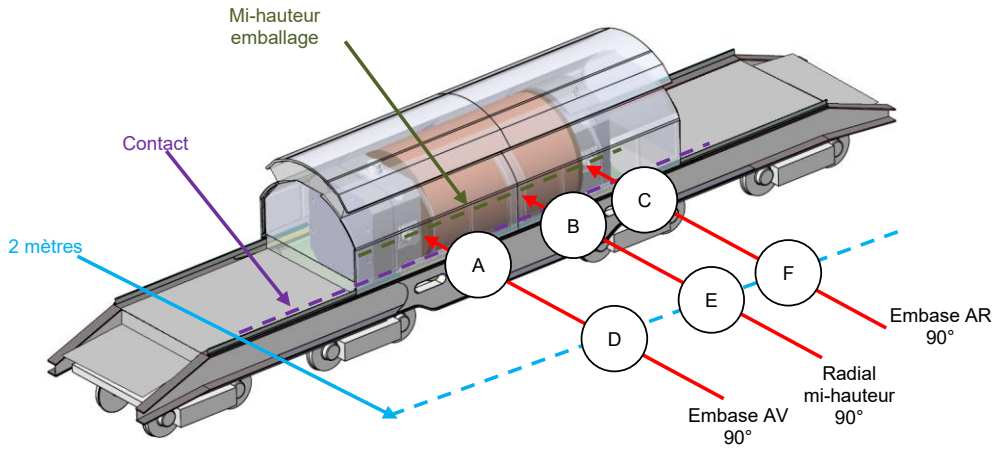
Distance par rapport au wagon (en mètres)	0	1	2	5	10	20
Débit de dose maximal mesuré sur le wagon (mSv/h)	0,113	0,056	0,030	0,010	0,004	0,002



2024, colis avec un TI de 13 (mesure au départ)

Données radiologiques
Campagne de mesures additionnelles

Débits de dose sur le wagon (mSv/h)	Wagon isolé	2 wagons accolés	3 wagons accolés	Moyenne générale
Contact	0,064	0,042	0,055	0,054
2m	0,017	0,025	0,022	0,021
5m	0,009	0,013	0,010	0,010
10m	0,004	0,006	0,004	0,005
15m	0,0020	0,0013	0,0027	0,0021



En parallèle, intégration dans les données d'une campagne de mesure SNCF de 2013

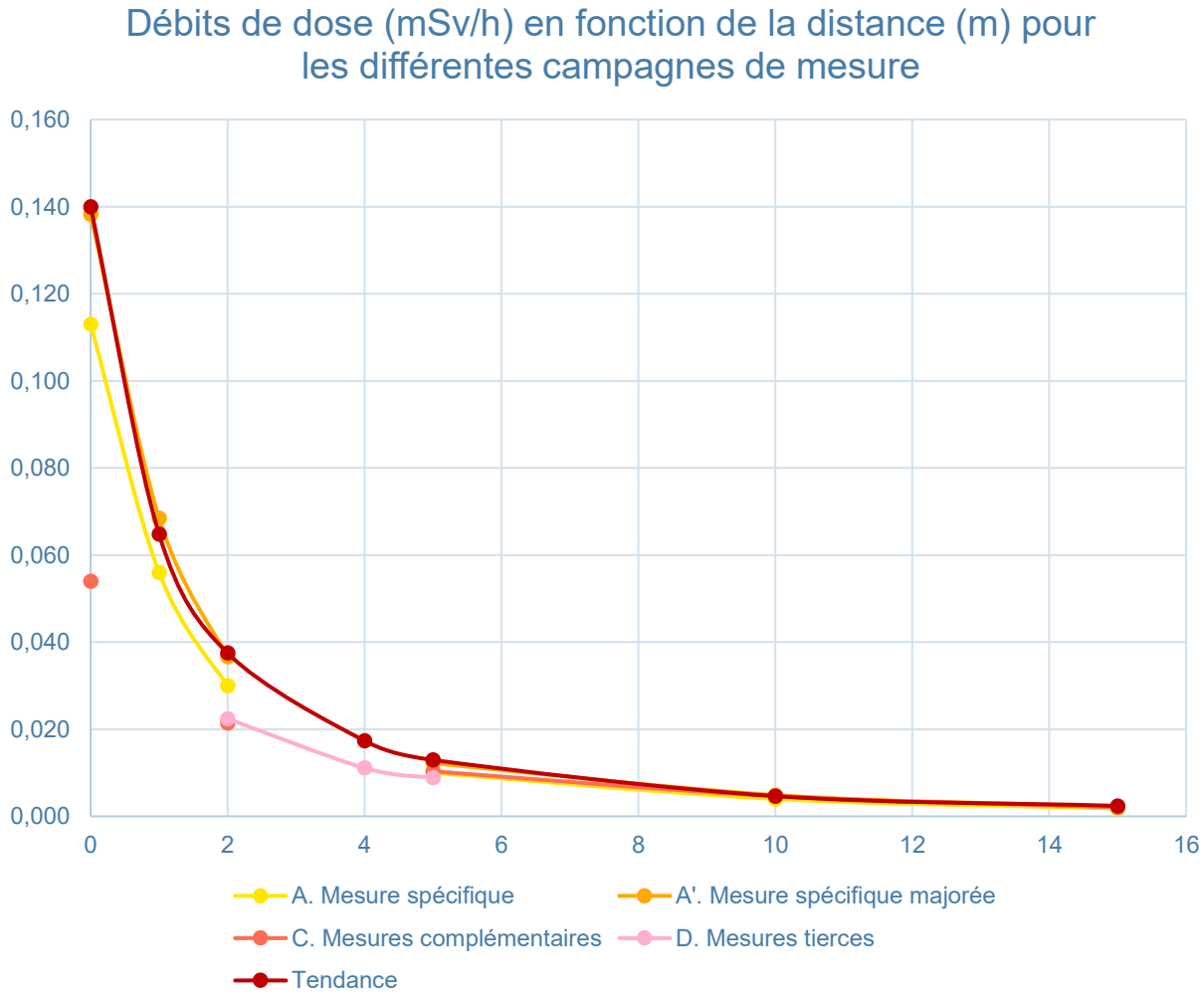
orano

Données radiologiques
Synthèse

Utilisation de la courbe de tendance

Ou éventuellement de débits de dose majorés (courbe tendance ajustée pour attendre le critère à 2m du wagon)

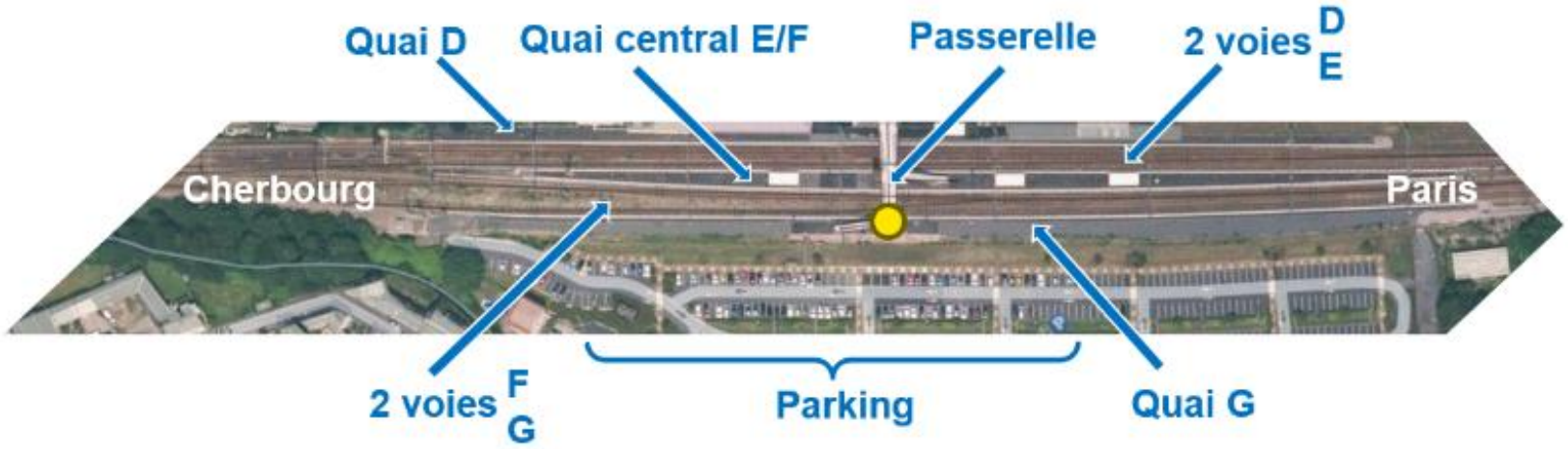
Débits de dose (mSv/h)	Distance par rapport au wagon (m)						
	0	1	2	4	5	10	15
Débits de dose péna-lisants (tendance)	0,140	0,065	0,038	0,017	0,013	0,005	0,002
Débits de dose majorés	0,375	0,174	0,100	0,047	0,035	0,012	0,006



Scénarios d’exposition en gare de passagers

Retour à Lisieux





Scénarios d'exposition en gare de passagers

Situation la plus couramment rencontrée

- Présence d'un convoi avec un seul wagon de combustible usé
- S'arrêtant vers 8h
- Environ 45 minutes

Les scénarios d'exposition prennent en compte :

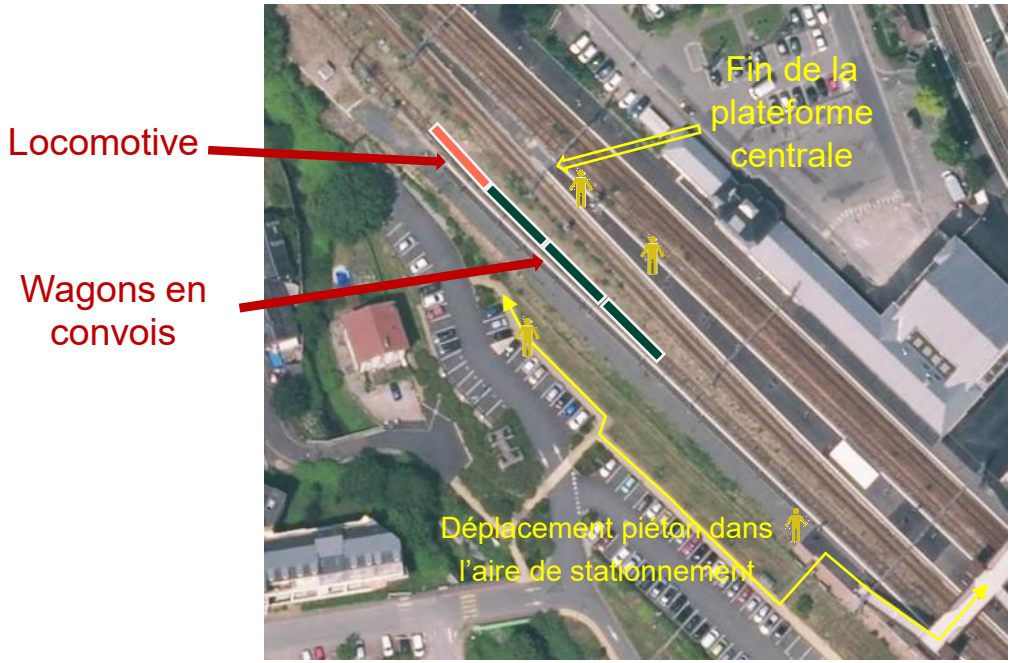
- La même personne prend son train tous les jours
- Elle attend toujours son train dans la position la plus exposée

Trois ensembles de scénarios

- A à C : Scénarios hypothétiques, avec des variations dans le nombre de convois, la durée d'arrêt, les débits de dose
- D : Scénario pour un utilisateur régulier
- E : Scénario exceptionnel

Divers scénarios, avec diverses situations et hypothèses

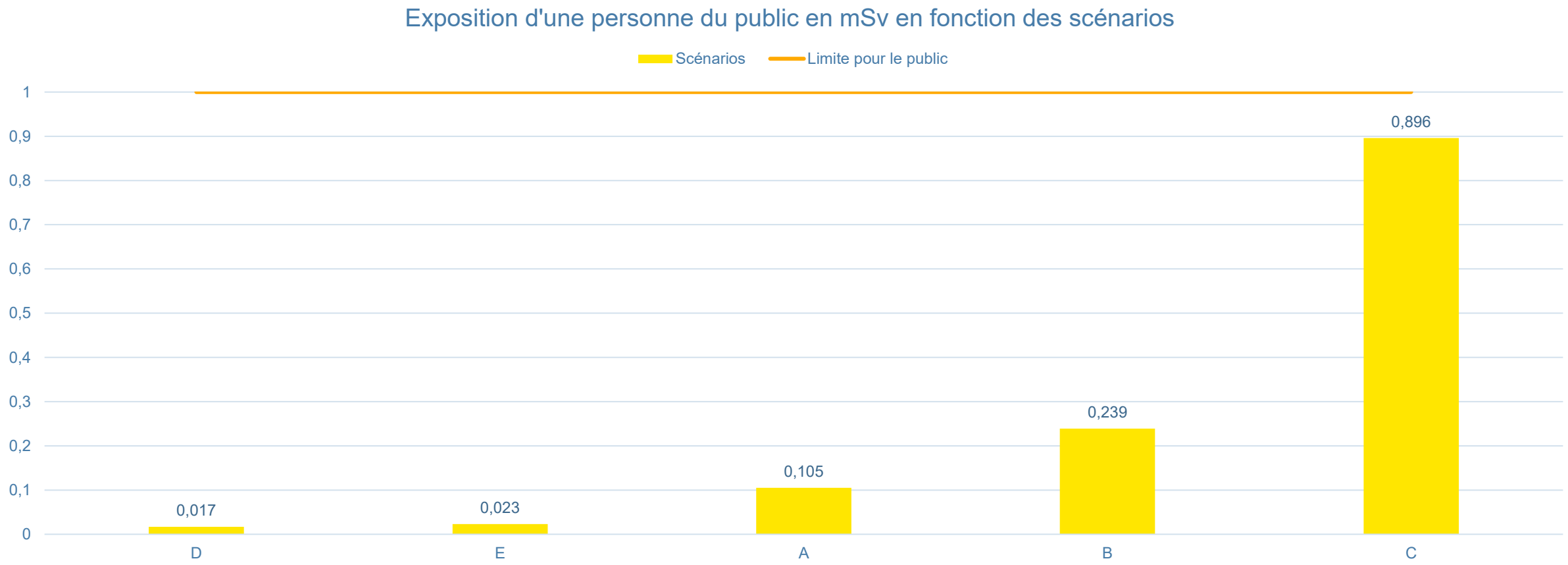




Scénarios détaillés

Scénario	Scénario A	Scénario B	Scénario C	Scénario D	Scénario E
Commentaire	La personne prend son train tous les matins vers 7h30 (exposée à 39 convois)	La personne prend son train tous les jours à une heure variable (exposée à 58 convois)	Pareil que B avec des convois supplémentaires (ratio basé sur 200 transports par an)	Référence considérant un usager régulier	Exceptionnel : quelqu'un attend sur les quais du convoi, ou convoi garé sur une autre voie près d'un usager régulier
Nombre d'événements d'exposition	27x à 15m pour 30min 12x à 5m pour 30min	41x à 15m pour 45min 17x à 5m pour 45min	59x à 15m pour 45min 24x à 5m pendant 45min	27x à 15m pour 15min 12x à 5m pour 5min et à 15m pour 10min	1x à 1 mètre pour 15min et à 5m pour 30min (la personne n'est pas stationnaire)
Source des débits de dose	Données statistiques réelles sur les débits de dose des convois pour une année donnée (les valeurs correspondent aux moyennes)	Débits de dose pénalisants autour des convois	Les débits de dose autour des convois sont ajustés pour que le débit de dose à 2m corresponde au critère réglementaire	Débits de dose pénalisants autour des convois	Débits de dose pénalisants autour des convois
Valeurs de débit de dose	15m : ~0.002 mSv/h 5m : ~0,013 mSv/h	15m : ~0.002 mSv/h 5m : ~0,013 mSv/h	15m : ~0.006 mSv/h 5m : ~0,035 mSv/h	15m : ~0.002 mSv/h 5m : ~0,013 mSv/h	1m : ~0,065 mSv/h 5m : ~0,013 mSv/h
Valeur d'exposition	0,105 mSv	0,239 mSv	0.896 mSv	0,017 mSv	0,023 mSv

Estimations de la dose annuelle par scénario



L'exposition du public lors des arrêts des transports de matières radioactives dans les gares voyageurs reste en dessous de la limite d'exposition publique réglementaire

Conclusion

Vue d'ensemble de l'exposition potentielle du public dans les gares ferroviaires de voyageurs impliquées dans le transport de matières radioactives en France

Le scénario le plus prudent implique le transport de combustible usé

Analyse en 2022

Les arrêts potentiels dans les gares de voyageurs pour ce flux de transport ont identifié une seule gare (gare de voyageurs de Lisieux) comme ayant des arrêts relativement fréquents

Plusieurs scénarios allant du plus réaliste au purement hypothétique et conservateur

L'exposition publique est limitée, toujours en dessous de la limite d'exposition publique réglementaire



Suite à cette analyse menée en 2023 et 2024, les dispositions logistiques pour les transports de combustibles usés ont évolué, et l'arrêt optionnel à la gare de Lisieux n'est plus effectif en 2025. Cependant, le cas analysé ici est retenu comme référence technique, car il représente désormais un scénario encore plus conservateur, non plus associé à un cas réel.

Toutes les images : Copyright ORANO

orano

Donnons toute sa valeur au nucléaire