



OCDE : Outil de Calcul de la Date d'Evacuation au plus tôt des emballages de transport

7èmes Journées Scientifiques Francophones de la Société Française de RadioProtection, SFRP // 9-10 mars 2023

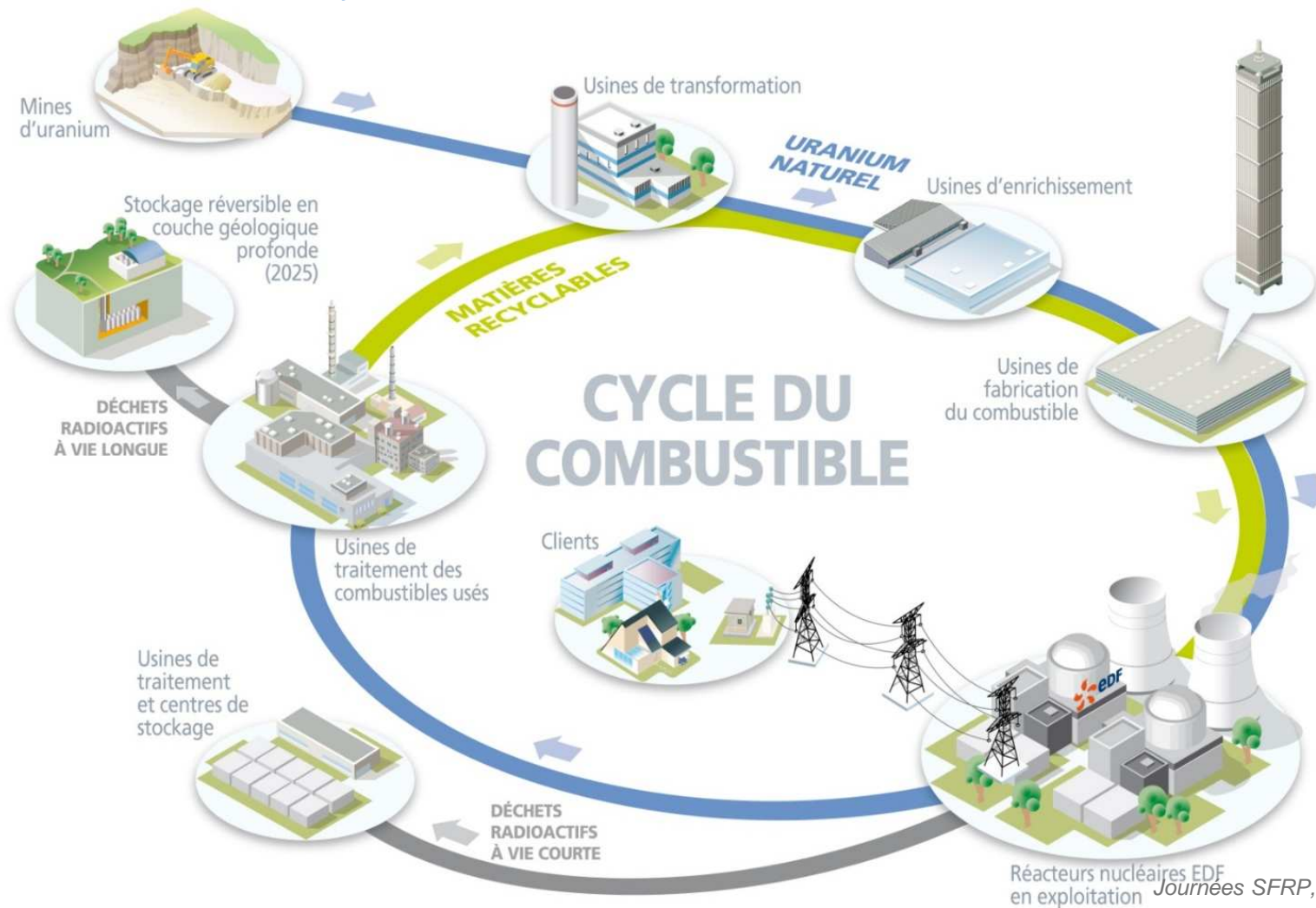
Fabrice Hoareau, Julien Fallon, Ludovic Idoux (EDF R&D / PERICLES / Groupe Sûreté et Physique du Cycle)

Florian Thibaud, David Lemasson (EDF / DCN / Pôle Aval du cycle Durable)



- 1.** Quelques éléments sur le cycle du combustible
- 2.** Contexte de la problématique d'évacuation
- 3.** Présentation générale du code OCDE
- 4.** Principales fonctionnalités du code OCDE
- 5.** Conclusions & Perspectives

1. Quelques éléments sur le cycle du combustible

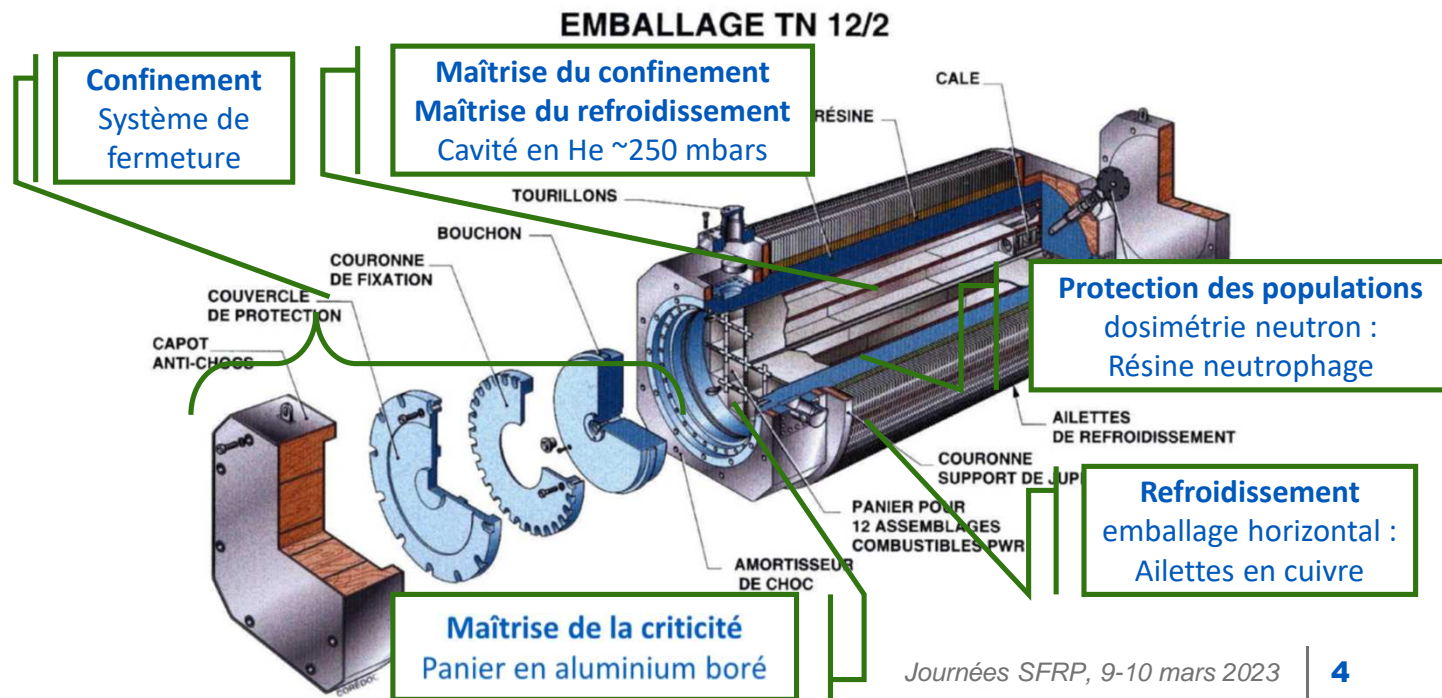


2. Contexte de la problématique d'évacuation

- ❑ Les combustibles irradiés sont transportés par Orano NPS depuis les CNPE jusqu'au site de La Hague après environ un an de refroidissement dans les piscines combustibles « BK » (environ 3 ans pour les MOX).
- ❑ Le transport se fait sur route ou sur rail dans des emballages agréés par l'ASN. Les emballages ont la capacité de transporter jusqu'à 12 assemblages REP 17x17.



Transport sur rail avant fermeture de la canopée



2. Contexte de la problématique d'évacuation

- Afin d'assurer un équilibre entre la réception de combustible neuf et l'évacuation de combustible utilisé, EDF réalise environ 200 évacuations de combustible utilisé par an grâce à la flotte d'emballages Orano NPS suivante :
- TN12-2A : chargés de 12 assemblages combustibles (AC) UOX
- TN12-2B : chargés avec au maximum 4 AC MOX au centre et 8 AC UOX ou 12 AC UOX
- TN13-2B : chargés de 12 AC UOX
- TN112 : chargé de 12 AC MOX



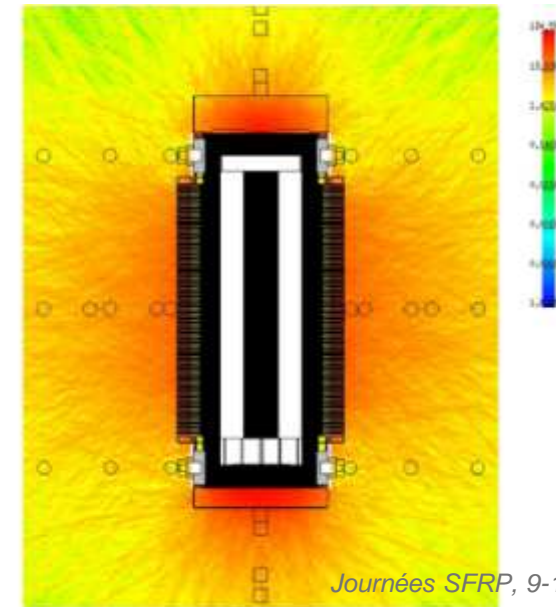
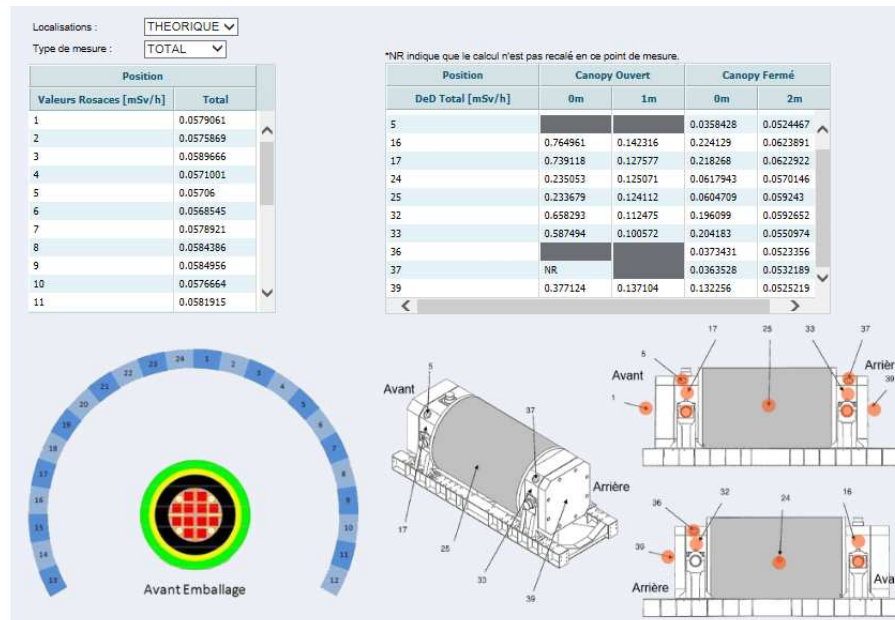
2. Contexte de la problématique d'évacuation

- ❑ Une évacuation représente 1 semaine d'utilisation du BK.
- ❑ Le chargement de l'emballage de transport doit respecter des contraintes réglementaires, en termes notamment de puissance résiduelle et de radioprotection. Ces fonctions sont décroissantes du temps de refroidissement en piscine.
- ➔ Le risque industriel est l'encombrement des BK.
- ❑ EDF, en tant qu'expéditeur responsable, a souhaité être apte à calculer rapidement une date d'évacuation optimale en intégrant les exigences réglementaires et l'ensemble des caractéristiques des assemblages en piscine.
- ❑ Orano NPS détermine la date de transportabilité des assemblages usés, sur proposition d'EDF d'un lot d'assemblages usés et d'une date d'évacuabilité.
- ➔ Besoin EDF : Disposer d'un outil fiable, rapide et précis de calcul de la date d'évacuation des AC au plus tôt.



3. Présentation Générale du code OCDE

- ❑ OCDE, pour « Outil de Calcul de la Date d'Evacuation », est un outil développé au plus près de la physique du transport, offrant une grande modularité fonctionnelle.
- ❑ OCDE s'appuie sur les données technologiques issues des dossiers de sûreté et sur une méthode validée sur des calculs de référence (puissance résiduelle et Débit d'équivalent de Dose autour de l'emballage).
- ❑ L'outil est enrichi du REX des évacuations annuellement. À ce jour, plus de 900 évacuations ayant eu lieu de 2012 à 2019 sont prises en compte.
- ❑ L'utilisateur DCN dispose d'une IHM et d'un accès à une BDD flux et stocks d'assemblages d'EDF



3. Présentation Générale du code OCDE

➤ Méthode de calcul basée sur des outils qualifiés et un REX de centaines d'évacuations

❑ Code STRAPONTIN

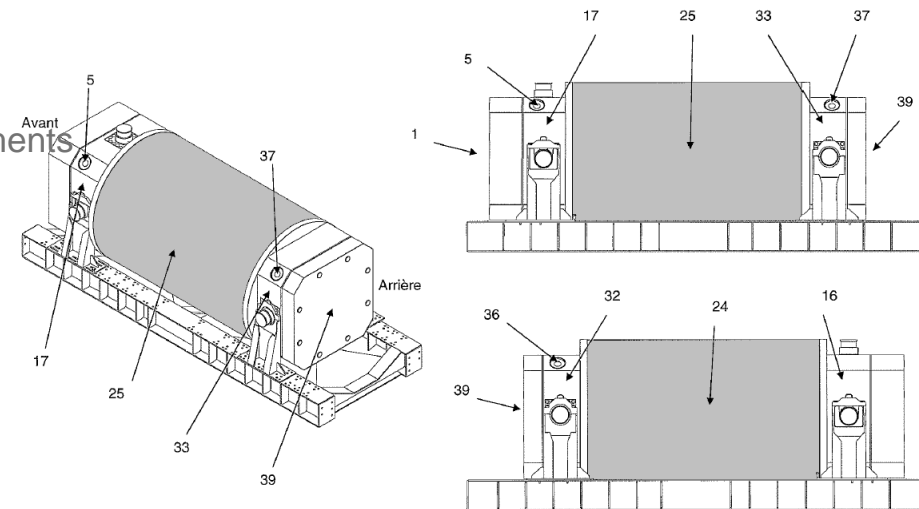
- Calcul rapide de la composition isotopique du combustible, de la **puissance résiduelle**, de l'activité et du **terme source neutron et gamma** émis par les assemblages irradiés
- Validé par rapport aux codes de référence APOLLO2/DARWIN développés au CEA
- Développé et maintenu par EDF R&D / PERICLES

❑ Code TRIPOLI-4

- Référence Monte-Carlo CEA et EDF de transport des rayonnements
- Fonctionnalité « bandes de Green »

❑ REX

- Mesures de DED neutron et gamma lors d'~ 900 évacuations



3. Présentation Générale du code OCDE

➤ **Principe du calcul d'une date d'évacuation au plus tôt:**

1. Calcul de la puissance résiduelle (PR) et du débit d'équivalent de dose (DED) pour une date d'évacuation donnée
2. Test de différentes dates d'évacuation (par un algorithme optimisé)
3. Détermination de la date d'évacuation optimale lorsque les critères de PR et de DED en transport sont respectés

➔ **Besoins de méthodes industrielles pour calculer rapidement (quelques secondes) et précisément la PR et le DED**

3. Présentation Générale du code OCDE

Principe de la méthode de calcul de la Puissance Résiduelle (PR)

Code STRAPONTIN

- Calcul simplifié de la PR à partir de 214 produits de fission et 26 noyaux lourds, validé par rapport à DARWIN

Incertitudes associées prises en compte a priori pour pouvoir s'attribuer des marges nécessaires :

- Incertitude sur l'historique d'irradiation et l'irradiation moyenne de l'assemblage
- Incertitude sur les données nucléaires de base (incertitude du code STRAPONTIN évaluée par propagation des incertitudes)

3. Présentation Générale du code OCDE

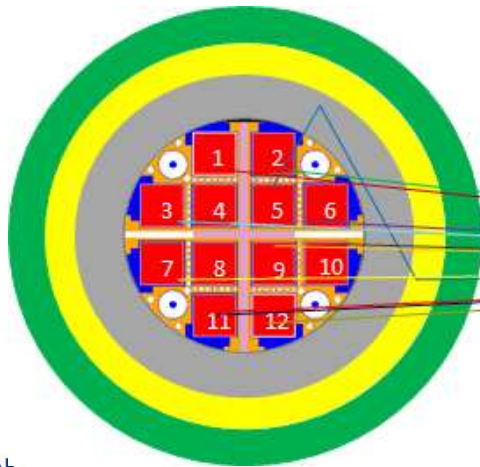
➤ Principe de la méthode de calcul : calcul du Débit d'Equivalent de Dose (DED)

❑ Code STRAPONTIN

- Calcul des **termes sources neutron et gamma**

❑ Code TRIPOLI-4

- Base de jeux de données pour tous les couples emballages/paniers
- Calcul de « **matrices d'importance** » avec la fonctionnalité « **bandes de Green** » de TRIPOLI-4
 - Donnent la contribution unitaire au DED de chaque source à chaque détecteur
 - Méthodologie mise en place avec l'appui du CEA



$$DED_k = \left[\sum_{i \in \text{sources}} (DED_{i \rightarrow k} \times S_i) \right]$$

DED élémentaire produit par 1 source i (emplacement, type de radiation et niveau d'énergie) au détecteur k => Importance

3. Présentation Générale du code OCDE

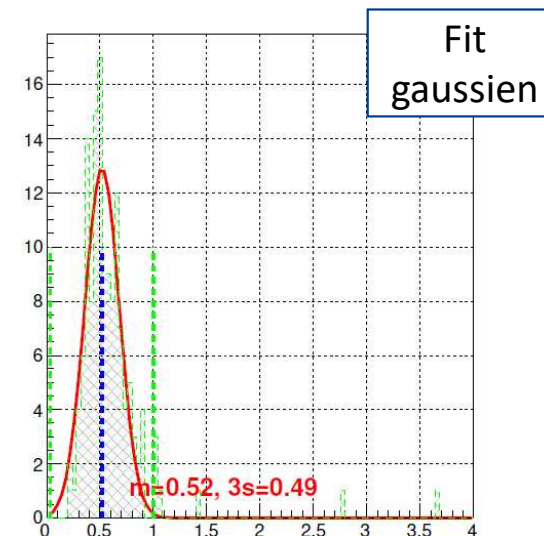
➤ Principe de la méthode de calcul : calcul du Débit d'Equivalent de Dose (DED)

❑ Calcul du DED

- Multiplication des **termes sources** par les **matrices d'importance**
- Grace aux **matrices d'importance**, OCDE permet le calcul de DED pour n'importe quel chargement en **1 seconde** (contre plusieurs jours avec un calcul explicite TRIPOLI-4 sur ~1000 cœurs)
- **Une date d'évacuation au plus tôt est obtenue en 3 secondes**

❑ Recalage du DED

- Prise en compte de la réponse des détecteurs
 - REX de plus de 900 évacuations
 - OCDE doit couvrir les mesures et leur dispersion
- Calculs corrigés de M/C moyen + 3σ



4. Principales fonctionnalités du code OCDE

- ❑ **Calcul de la date d'évacuation au plus tôt**
- ❑ **Mode « Piscine »** : Création des lots de 12 assemblages à partir de l'inventaire d'une piscine BK selon les critères de l'emballage choisi, associés à un planning d'évacuation au plus tôt.
- ❑ **Fonction d'optimisation du DED d'un plan de chargement dans l'emballage de transport via l'implémentation de 2 méthodes** : ordre de remplissage fixe (du moins actif au plus actif) ou permutation des assemblages pour trouver un minimum local de DeD à 2m
- ❑ **Intégration de la géométrie de la future flotte d'emballage de transport TNG3-L/S**
- ❑ **Méthode des inéquations pour les TNG3-L/S** : exigence réglementaire relative au contenu enveloppe transportable par vérification rapide du respect du critère de chargement limite en terme de rayonnement
- ❑ **Gestion des emballages partiellement remplis**

5. Conclusions & Perspectives

- ❑ OCDE est un **code de calcul rapide et précis incluant des marges industrielles permettant d'évaluer la date d'évacuation au plus tôt d'un emballage de transport.**
- ❑ OCDE contribue à l'**enjeu stratégique de limiter l'encombrement des BK** et à l'**obligation réglementaire d'expéditeur responsable.**
- ❑ **L'outil est mis en exploitation à la DCN.**
- ❑ Développé depuis 10 ans, **OCDE, code sous AQ**, intègre notamment :
 - **L'ensemble de la flotte d'emballages et de la future flotte (TNG3)**
 - **La comparaison au REX, la validation et une démarche de réduction des marges et incertitudes.**
- ❑ **Perspectives :**
 - Amélioration continue des modèles physiques (sources, modèles TRIPOLI-4, etc.)
 - Méthodes innovantes d'assimilation du REX



MERCI