

SCAR

Un outil de création d'abaques de DED
gamma et neutron pour géométrie réaliste

Antoine Blanc et Jérémie Herbreteau (Orano Projets)

7^e journées scientifiques francophones de la SFRP

10/03/2023



Les projets dans l'industrie nucléaire

Dans les premières phases d'un projet, forte variabilité des données d'entrée

- **Retours d'essais sur la faisabilité technique, optimisation des coûts**

Chaque évolution (mécanique, procédé) définit un nouveau terme source

- **Géométrie, localisation, composition isotopique, forme physico-chimique**

... qui impose de nouvelles contraintes RP et impacte la faisabilité du projet

- **Épaisseur de protections radiologiques, distance entre les équipements et les opérateurs**

Rôle de l'ingénieur calcul → Évaluer l'impact de ces contraintes comme une aide à la prise de décision

- **Fournir des résultats dans des délais très courts, traiter une multitudes de combinaisons de paramètres**

Abaques de DED = bon compromis temps de calculs / précision des résultats

Les abaques de DED

Les codes de calculs historique fournissent des abaques de DED pour des géométries de sources abstraites enveloppes de la réalité :

- **point, ligne infinie et massif semi-infini**

Ces modélisations pénalisantes ne sont pas toujours pertinentes et peuvent amener à écarter une solution pourtant faisable.

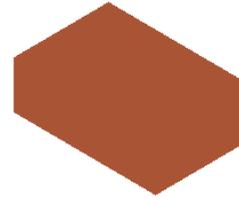
Chez Orano Projets, nous avons choisi de développer SCAR

- **Un outil de création d'abaques de DED gamma et neutron à l'aide du code de calcul MCNP6**

SCAR

Les fonctionnalités

- **Géométrie réaliste (sphère, cylindre, pavé)**



- **Définition de matériau pour la source et la protection**
- **Définition de spectre d'émission gamma et neutron (raie, groupe, continu)**
- **Plusieurs réponses disponibles (DED, Débit de dose, DDE extrémités et cristallins)**

SCAR

Une sortie au format Excel pour l'exploitation des résultats

1	A		B	C	D	E				F			G			H			I			J			K			L			M			N			O		
	Caractéristiques									DED (µSv/h) à 5 cm de la protection			DED (µSv/h) à 100 cm de la protection			Neutron			Gamma			Total			Neutron			Gamma			Total								
	Géométrie	SPHERE				Epaisseur de protection (cm)	DED	erreur	DED	erreur	Total	DED	erreur	DED	erreur	Total	DED	erreur	DED	erreur	Total	DED	erreur	DED	erreur	Total	DED	erreur	DED	erreur	Total								
2	Rayon (cm)	10				0	2.97E-04	0.3%	1.54E-06	1.1%	2.98E-04	4.93E-06	0.3%	2.64E-08	1.1%	4.96E-06																							
3	Matériau de la source	EAU				3	1.11E-04	0.5%	2.84E-06	0.6%	1.14E-04	2.57E-06	0.5%	6.53E-08	0.6%	2.63E-06																							
4	Densité de la source	1				6	4.60E-05	0.7%	3.13E-06	0.5%	4.91E-05	1.37E-06	0.7%	9.23E-08	0.5%	1.46E-06																							
5	Emission neutronique (n/s)	1				9	2.03E-05	1.0%	2.80E-06	0.5%	2.31E-05	7.49E-07	1.0%	1.03E-07	0.5%	8.51E-07																							
6	Matériau de la protection	CH2				12	9.39E-06	1.2%	2.29E-06	0.4%	1.17E-05	4.14E-07	1.3%	1.01E-07	0.4%	5.15E-07																							
7	Spectre neutron	FS-CM244				15	4.58E-06	1.4%	1.82E-06	0.4%	6.39E-06	2.36E-07	1.4%	9.49E-08	0.4%	3.31E-07																							
8	Type spectre	Fission WATT				18	2.17E-06	1.7%	1.42E-06	0.4%	3.59E-06	1.28E-07	1.7%	8.62E-08	0.4%	2.14E-07																							
9						21	1.17E-06	1.9%	1.10E-06	0.4%	2.27E-06	7.77E-08	1.9%	7.60E-08	0.4%	1.54E-07																							
10	Coefficients du spectre	Valeur				24	6.15E-07	2.3%	8.66E-07	0.4%	1.48E-06	4.58E-08	2.3%	6.73E-08	0.4%	1.13E-07																							
11	a	0.902523				27	3.28E-07	2.7%	6.87E-07	0.5%	1.01E-06	2.70E-08	2.7%	5.94E-08	0.5%	8.63E-08																							
12	b	3.72033				30	1.85E-07	2.8%	5.44E-07	0.5%	7.30E-07	1.67E-08	2.8%	5.18E-08	0.5%	6.85E-08																							
13						33	1.09E-07	3.2%	4.39E-07	0.5%	5.48E-07	1.07E-08	3.2%	4.56E-08	0.5%	5.62E-08																							
14						36	6.15E-08	3.5%	3.57E-07	0.5%	4.19E-07	6.48E-09	3.5%	4.02E-08	0.5%	4.67E-08																							
15						39	3.51E-08	3.8%	2.90E-07	0.5%	3.25E-07	3.99E-09	3.8%	3.51E-08	0.5%	3.91E-08																							
16						42	2.01E-08	3.8%	2.36E-07	0.5%	2.56E-07	2.43E-09	3.8%	3.05E-08	0.5%	3.29E-08																							
17						45	1.32E-08	4.5%	1.91E-07	0.5%	2.04E-07	1.70E-09	4.5%	2.63E-08	0.6%	2.80E-08																							
18						48	7.65E-09	4.9%	1.60E-07	0.6%	1.68E-07	1.04E-09	4.9%	2.35E-08	0.6%	2.45E-08																							
19						50	5.53E-09	4.8%	1.39E-07	0.6%	1.44E-07	7.83E-10	4.8%	2.10E-08	0.6%	2.18E-08																							

Une sortie au format CSV pour l'enrichissement de la base de données

```
PAVE,30.00,20.00,10.00,AIR@1.29e-3,NEUTRON,SPECTRE_027@RAIE@0.1#1@0.2#1@0.3#1@0.4#1@0.5#1,BORE,3.0,4,50,NEUTRON,3.47542e-05,0.0242
PAVE,30.00,20.00,10.00,AIR@1.29e-3,NEUTRON,SPECTRE_027@RAIE@0.1#1@0.2#1@0.3#1@0.4#1@0.5#1,BORE,3.0,4,50,PHOTON,1.65994e-07,0.0370
PAVE,30.00,20.00,10.00,AIR@1.29e-3,NEUTRON,SPECTRE_027@RAIE@0.1#1@0.2#1@0.3#1@0.4#1@0.5#1,BORE,3.0,4,100,NEUTRON,1.01075e-05,0.0240
PAVE,30.00,20.00,10.00,AIR@1.29e-3,NEUTRON,SPECTRE_027@RAIE@0.1#1@0.2#1@0.3#1@0.4#1@0.5#1,BORE,3.0,4,100,PHOTON,4.54392e-08,0.0377
PAVE,30.00,20.00,10.00,AIR@1.29e-3,NEUTRON,SPECTRE_027@RAIE@0.1#1@0.2#1@0.3#1@0.4#1@0.5#1,BORE,6.0,4,5,NEUTRON,1.96762e-04,0.0458
PAVE,30.00,20.00,10.00,AIR@1.29e-3,NEUTRON,SPECTRE_027@RAIE@0.1#1@0.2#1@0.3#1@0.4#1@0.5#1,BORE,6.0,4,5,PHOTON,3.45188e-06,0.0388
PAVE,30.00,20.00,10.00,AIR@1.29e-3,NEUTRON,SPECTRE_027@RAIE@0.1#1@0.2#1@0.3#1@0.4#1@0.5#1,BORE,6.0,4,50,NEUTRON,1.25557e-05,0.0369
```

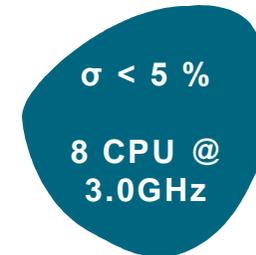
SCAR - Performances

Biaisage automatique et évolutif

- **Échantillonnage de la source**
- **Propagation des particules**

Temps de calcul pour générer un abaque de DED

- 1** Spectre : gamma ^{137}Cs
Matrice : CSD-V (volume = 133 L, d = 2.75)
Protection : Béton de 0 à 200 cm par pas de 5 cm
DED au contact
Durée : 10 minutes (15 s / calcul)
- 2** Spectre : gamma ^{241}Am
Matrice : Boite PuO_2 (volume = 12 L, d = 2.95)
Protection : béton de 0 à 100 cm par pas de 5 cm
DED contact et 1 m
Durée : 42 minutes (2 min / calcul)



SCAR - Exemples d'utilisation

Reprise et conditionnement des déchets (RCD) UNGG entreposés à La Hague

- **Déchets entreposés depuis + de 50 ans**
 - Historique d'irradiation et d'entreposage, mesures, ...
 - Caractérisation radiologique des déchets bien connue
- **Plusieurs scénarios de RCD étudiés par le passé**
 - abaques de DED disponibles
 - code historique, sources : SP / SLI / MSI
- **Récemment, étude d'un nouveau scénario de RCD**
 - souhait de minimiser les coûts ingénieurs
 - récupération des abaques existants

Reprise des déchets UNGG

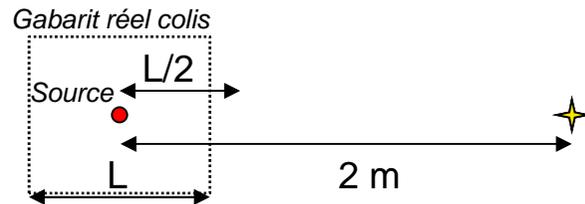
A partir des abaques de DED pour une source ponctuelle :

- **Prédimensionnement des protections radiologiques (acier, plomb) pour les paniers et colis de déchets et des voiles bétons du nouveau bâtiment**
- **Quelques problèmes surviennent :**
 - Pour les paniers et colis de stockage : gabarit fixe → ajout de protection par l'intérieur
si protection ↗ volume de déchet ↘ donc ↘ cadence de reprise
↗ du nombre de colis et du coût du stockage
 - Charge au sol des équipements et épaisseurs des voiles béton élevées → coût M&T trop important

Reprise des déchets UNGG

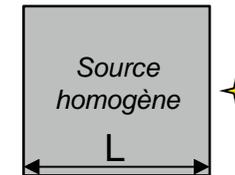
Quelques éléments d'analyses

- **Abaques avec une source ponctuelle**



- DED au contact = valeur de l'abaque x $\left(\frac{2}{L}\right)^2$
- Air entre la source et le point de calcul
→ aucune atténuation des rayonnements considérée

- **Abaques avec une source pavé**



- Dilution de l'activité dans le volume
- Auto-atténuation des rayonnements dans la source
- Pas d'artefact numérique DED = f(d)

Il est donc décider d'établir de nouveaux abaques à partir de géométrie réaliste pour l'ensemble des équipements

- **Réduction des épaisseurs de protections pour les paniers, les colis et les voiles bétons**
- **Gain sur les masses de protection de 23 % à 50 % suivant le type de colis**

Essai réel d'une résine

Essai de performance d'une résine de filtration du césium

- **Résine développée par un fournisseur sur des solutions inactives**

- Performance prometteuse pour les effluents de la Hague
- Besoin d'essai à plus grande échelle pour vérifier les essais « sur paillasse »

- **Effluents contenant essentiellement du ^{137}Cs**

- Une source volumique (cuve de rétention)
- Une source pseudo-ponctuelle (capsule de résine)

- **Projet utilisé pour valider les performances de SCAR**

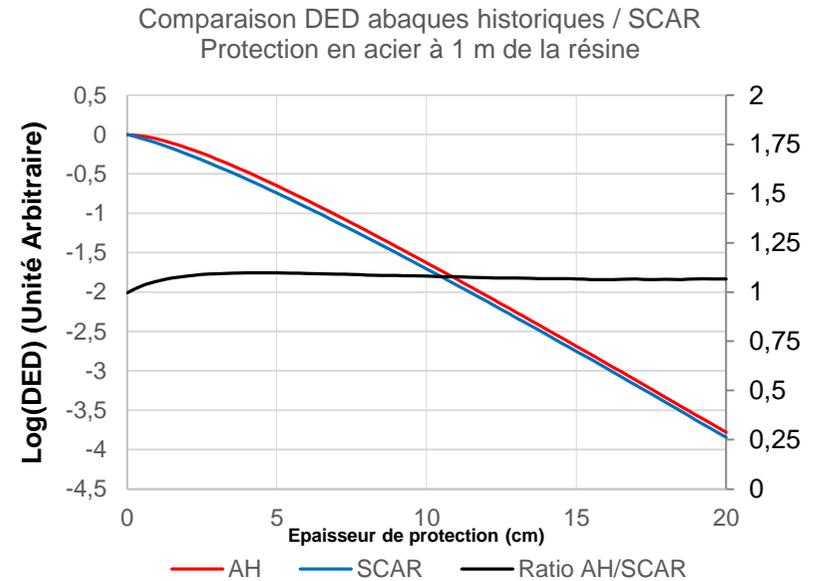
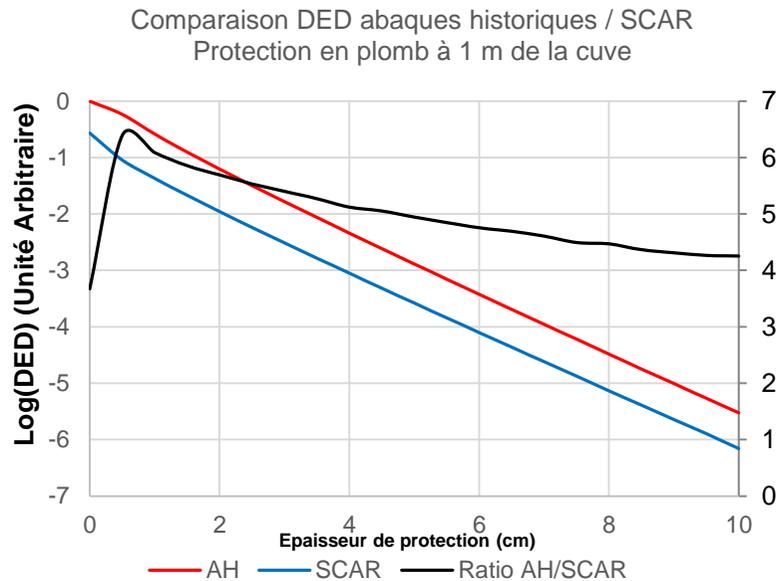
- Validation en situation réelle (justesse et performance)
- Comparaison aux abaques historiques

Version « sur paillasse » du montage

Essai réel d'une résine

Comparaison Abaques Historique (AH) / SCAR

- **Prédimensionnement des protections radiologiques (acier ou plomb) pour la résine (droite) et la cuve de rétention de 1500 L (à droite)**



Essai réel d'une résine

Comparaison Abaques Historique (AH) / SCAR

- **Performance sur le dimensionnement**

- Pas de différence pour une source ponctuelle → cohérence avec les abaques historiques
- Gain significatif pour les sources étendues : dans notre cas : 4 cm d'acier ou 1 cm de plomb de gagné

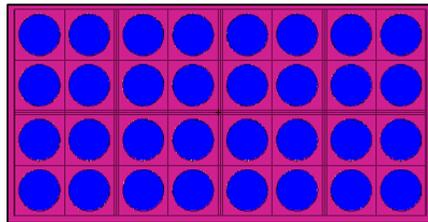
- **Performance sur le cout total**

- Temps ingénieur SCAR : environ 2h (à partir de la documentation seule : pas de formation préalable)
- Temps de calcul total (2 géométries et 3 matériaux) : 45 min sur 4 CPU avec $\sigma < 1,3 \%$
- Cout largement rentabilité par la diminution des épaisseurs de protection

Perspectives

Version 2.0 Beta en cours de développement

- **Intégration de nouvelles géométries (dont l'import de géométrie « utilisateur » quelconque)**



Entreposage de colis



Source hétérogène

- **Intégration des codes de calculs TRIPOLI et NARMER**
- **Mise en œuvre d'algorithmes d'apprentissage machine sur la base de données existante**
 - Mettre à disposition d'utilisateurs novices un outil présentant instantanément des approximations de DED pour une configuration nouvelle donnée

