

# La radioprotection à la conception de l'EPR2

Journées SFRP – 9-10 mars 2023

Edvance & Framatome

Benjamin COPPÉRÉ, Nicolas CHAPOUTIER,  
Sébastien POIRRIER, Anne-Claire SCHOLER



# & PROTÉGER LE PATRIMOINE DU GROUPE



## CHARTRE ETHIQUE GROUPE :

Chaque salarié s'engage à traiter de façon responsable les informations qu'il détient dans le cadre de son travail et respecter les règles de sécurité et de confidentialité, en particulier concernant les données sensibles

## BONS REFLEXES :

- Rester discret et vigilant dans les lieux publics
- Pour les documents sensibles, utiliser des moyens de protection adaptés (Security Box)



Cette réunion aborde des sujets **internes**



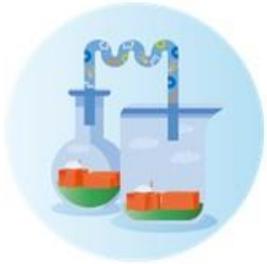
Cette réunion aborde des sujets **restreints** dont la divulgation peut être préjudiciable à EDF : chacun s'engage à n'en communiquer les supports et à n'en relater les échanges qu'avec discernement et en mentionnant explicitement « à ne pas rediffuser / à ne pas divulguer »



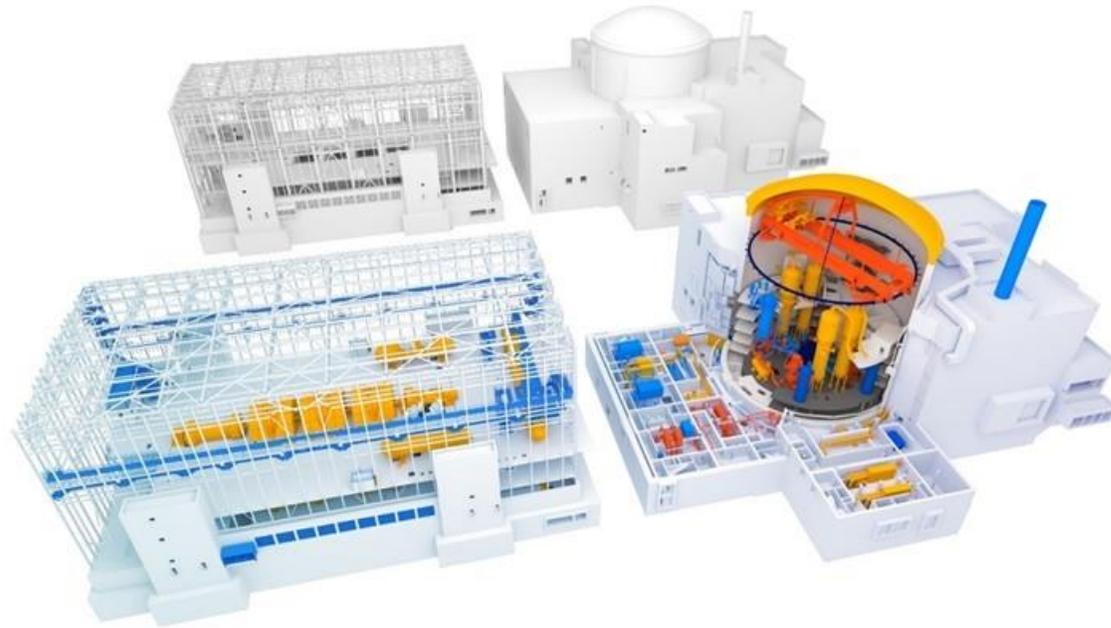
Cette réunion aborde des sujets de nature **confidentielle**, chacun s'engage à tenir secrètes les informations tant écrites qu'orales qui y sont exposées.

Chaque dépositaire de cette présentation s'interdit de la communiquer à quelque tiers que ce soit sans l'accord du président de séance

# Les leviers d'optimisation d'EPR2



**1. S'appuyer sur le REX** des EPR dans le monde ainsi que sur le parc en exploitation



**7. Tout en conservant le niveau de sûreté de l'EPR, parmi les plus élevés au monde**



**2. Améliorer la constructibilité**



**3. Faire appel à la préfabrication en usine et à la modularité**



**4. Industrialiser le produit, s'appuyer sur les bonnes pratiques des autres industries et standardiser**



**5. Digitaliser l'ingénierie nucléaire et optimiser la construction grâce aux maquettes 3D & 4D**



**6. Fonctionner en entreprise étendue et mobiliser le tissu industriel**

# La radioprotection au service de l'optimisation de l'EPR2

## Études de radioprotection en support à l'optimisation de l'EPR2 :

- Exigences/règles de conception **intégrant le REX EPR** (conception/exploitation) **et Parc** (exploitation)
- **Dimensionnement des bâtiments et équipements** (génie civil, portes, protections spécifiques, systèmes) avec **optimisation de la construction et standardisation des solutions**
- **Évaluation des termes sources (REX parc, terme source primaire et déclinaison aux systèmes auxiliaires)**
- **Évaluation des zonages radiologiques dans les locaux de l'installation**
  - Exposition externe, risque iode/aérosol, propreté radiologique / déchets
- **Évaluation de l'exposition des travailleurs** lors des activités/chantiers en exploitation
  - Objectif de **dose collective** commun à celui de l'EPR : 0,35 H.Sv/an/tranche moyennée sur 10 ans, optimisations dès la conception pour les chantiers dosants (matériels, fréquence, ergonomie, etc.) – **démarche ALARA**
- Une **séquence d'études type pour les projets Nouveau Nucléaire (NN)**, en support à la conception globale dès les premières phases et jusqu'au transfert à l'exploitant.

# Le référentiel applicable pour la radioprotection

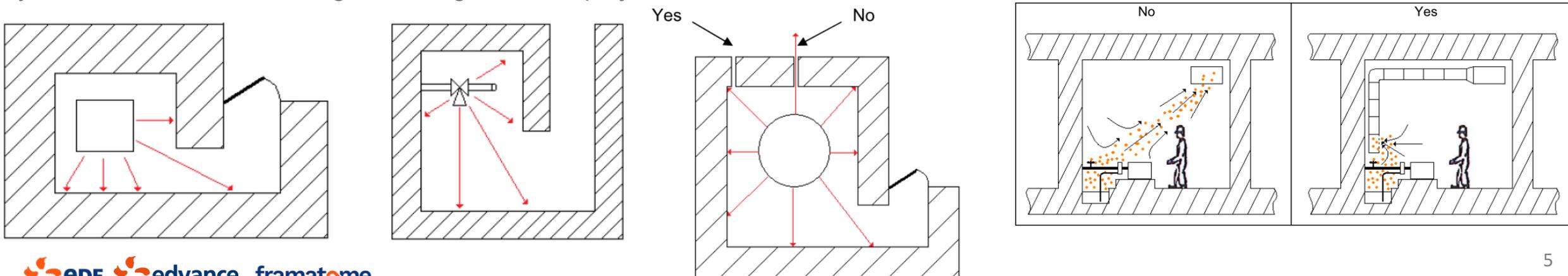
La conception de nouvelles installations doit s'appuyer sur le **référentiel RP de la DPN**, divisé en thèmes dont notamment :

*Exigences de conception, Optimisation du terme source, Propreté radiologique, Métrologie et gestion du matériel RP, Maîtrise opérationnelle des chantiers et des activités d'exploitation, Maîtrise des zones.*

Chaque thème est constitué d'un référentiel réglementaire (**exigences réglementaires**), d'un référentiel managérial (**demandes managériales**) et d'un guide d'application (**déclinaison opérationnelle des exigences**).

Cet ensemble documentaire permet de faire le **lien entre la conception et l'exploitation** pour appréhender les enjeux de radioprotection et les pratiques de l'exploitant en bénéficiant d'éléments de REX des paliers antérieurs.

La cascade des **exigences, recommandations, règles ou bonnes pratiques** vers les projets NN est ensuite faite à travers l'ingénierie système et les collections de guides d'ingénierie du projet

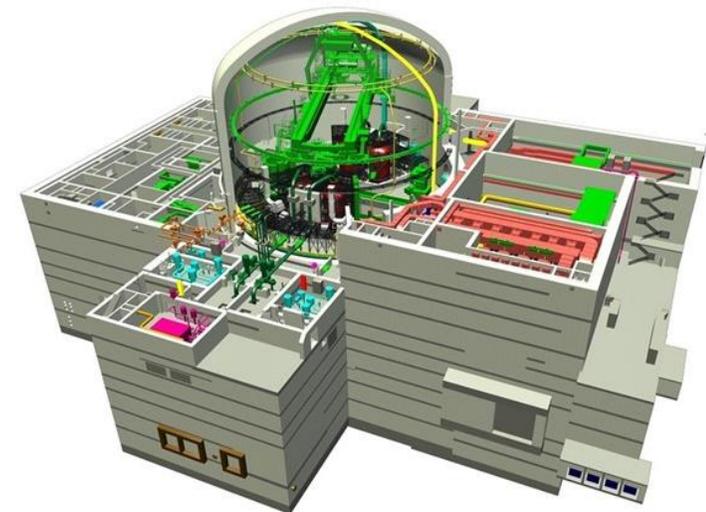
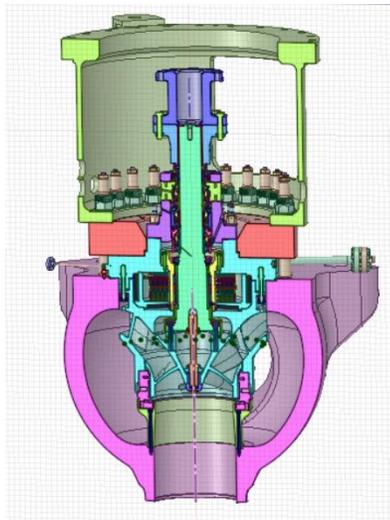


# Digitalisation des processus, outils, méthodes

## Digitalisation des études en exploitant des données d'entrée géométriques aux multiples origines :

- ⇒ **Maquette 3D des bâtiments de l'EPR2** avec sélection de structures d'intérêt (génie civil, structures ayant un rôle d'écran aux rayonnements, etc.), export de données dans un format standard et exploitation (correction de singularités, simplification, découpe)
- ⇒ **Catalogues 3D d'objets standardisés** (par ex. portes neutroniques), en lien avec la transformation de l'ingénierie et l'industrialisation
- ⇒ **Fichiers de conception (CAO) de certains matériels/composants** (par ex. pompe primaire) fournis par les bureaux d'études

Combinaison des modèles géométriques avec les « **termes sources** » d'intérêt : cœur du réacteur, inventaires de radionucléides dans les fluides des systèmes ou déposés sur les parois, assemblage irradié, activation des structures.



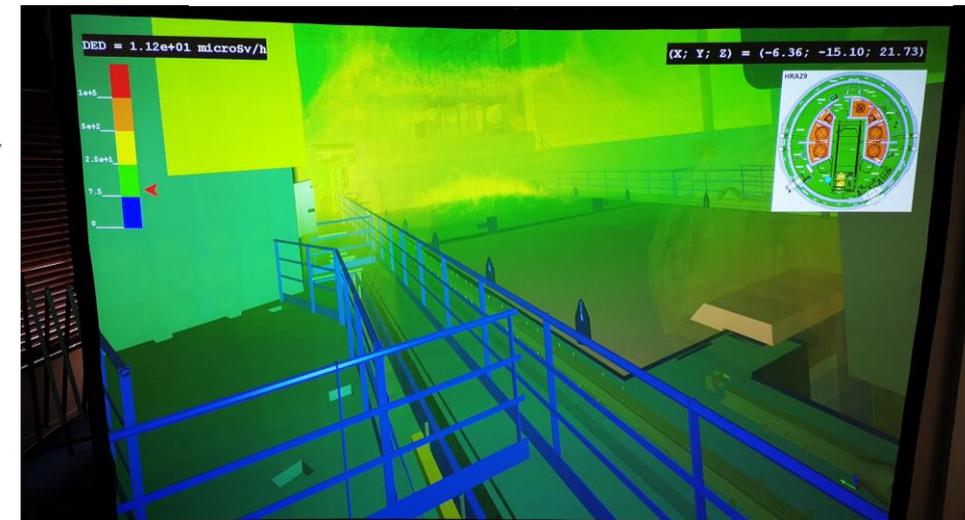
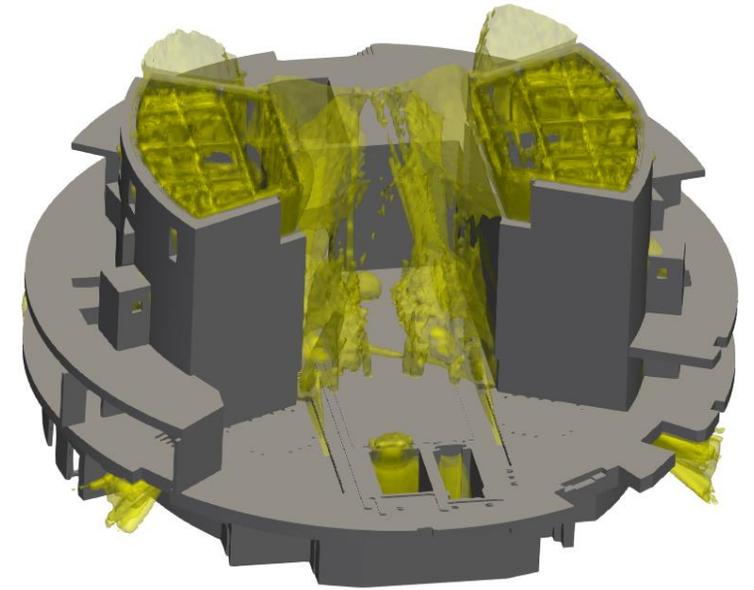
# Digitalisation des processus, outils, méthodes

## Outil Framatome VICTORIA pour les applications de transport de particules

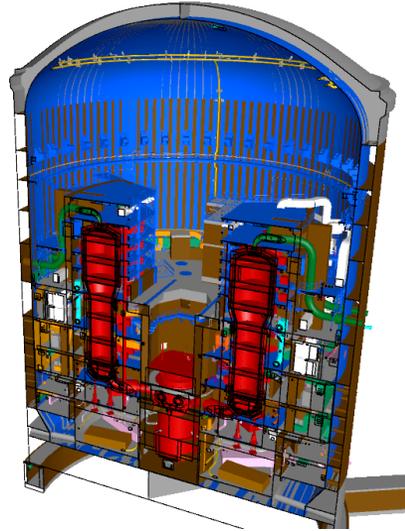
Un environnement unique pour traiter plusieurs analyses : activation, évaluation DED, blindage, inventaire radiologique:

Pour les évaluations de DED:

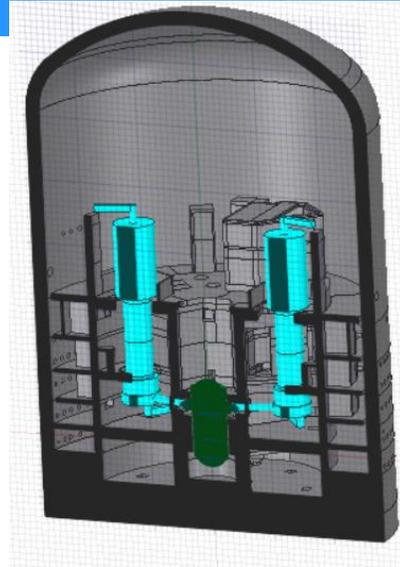
- Propagation des neutrons/gamma/bêta = Etat de l'art des codes de calcul de transport (codes Monte Carlo)
- Utilisation de technique de réduction de variance pour une rapidité des calculs accrue
- Outil visuel 3D pour créer une cartographie de dose (zonage radiologique à partir des calculs de DED ou courbes/surfaces iso-doses)
- Résultats disponibles dans un environnement de réalité virtuelle
- Facilité visuelle d'analyse des résultats pour trouver des solutions efficaces



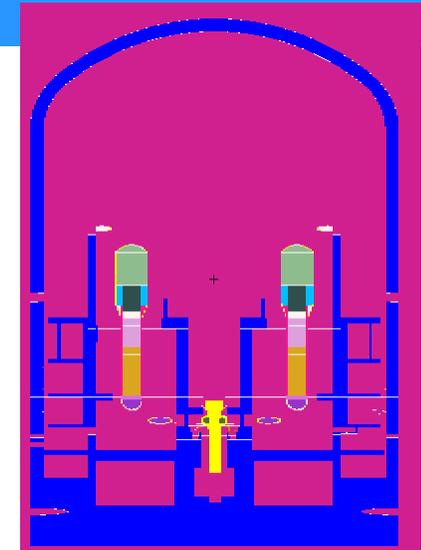
# Digitalisation des processus, outils, méthodes



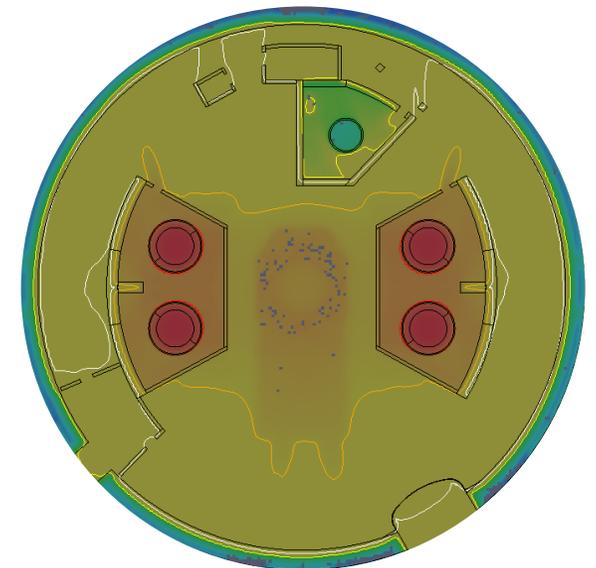
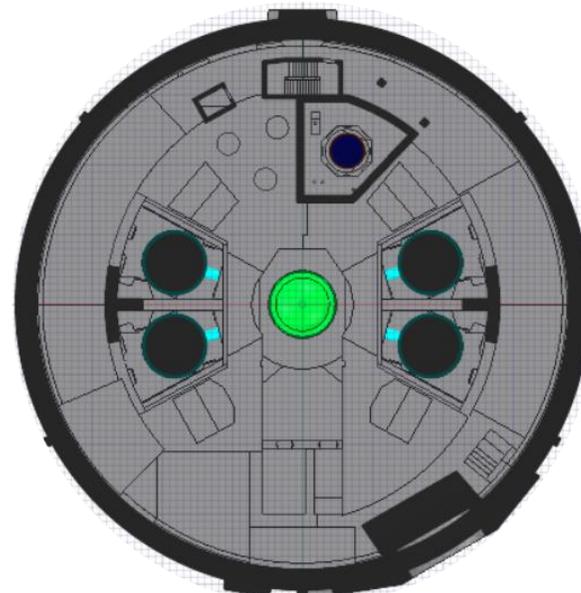
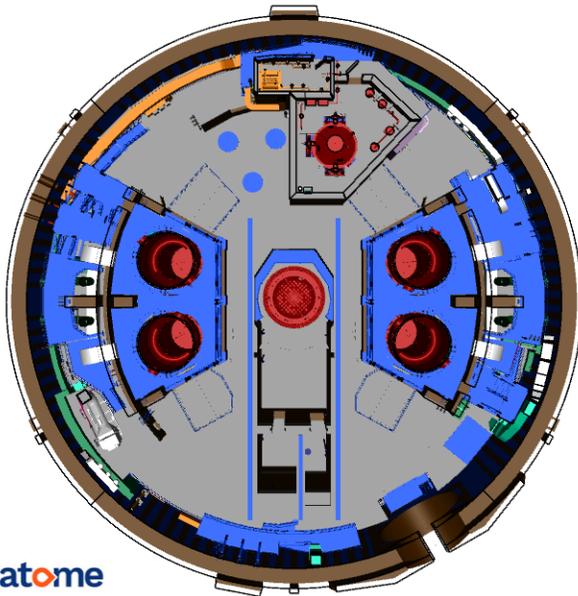
Vue maquette 3D BR EPR2



Modèle BR construit pour la RP



Modèle de calcul MCNP EPR2



# Études de radioprotection EPR/EPR2

- **Calcul d'activité de radionucléides produits dans le cœur du réacteur sous flux neutronique**, notamment pour établir le terme source "azote 16" particulièrement dimensionnant pour un réacteur en fonctionnement
- Études de radioprotection permettant de **caractériser le débit d'équivalent de dose ambiant dans les locaux de l'installation** puis de **proposer des dispositions de radioprotection** (portes spéciales, protections additionnelles, modifications de génie civil) afin de **respecter les objectifs de zonage radiologique**
- Focus spécifique sur le **déchargement des assemblages combustible usés** ainsi que leur évacuation hors du bâtiment combustible, activités particulièrement sensibles du point de vue de la radioprotection

# Calcul d'activité de radionucléides – exemple de l'azote 16

La principale source de rayonnement gamma dans le fluide primaire du réacteur, en fonctionnement, est l'azote 16 ( $^{16}\text{N}$ ) résultant de la réaction d'activation  $^{16}\text{O}(n,p)^{16}\text{N}$  par des neutrons avec  $E > 10$  MeV.

Objectif : calculer l'activité  $^{16}\text{N}$  « à saturation » dans le cœur (activité par gramme d'eau)

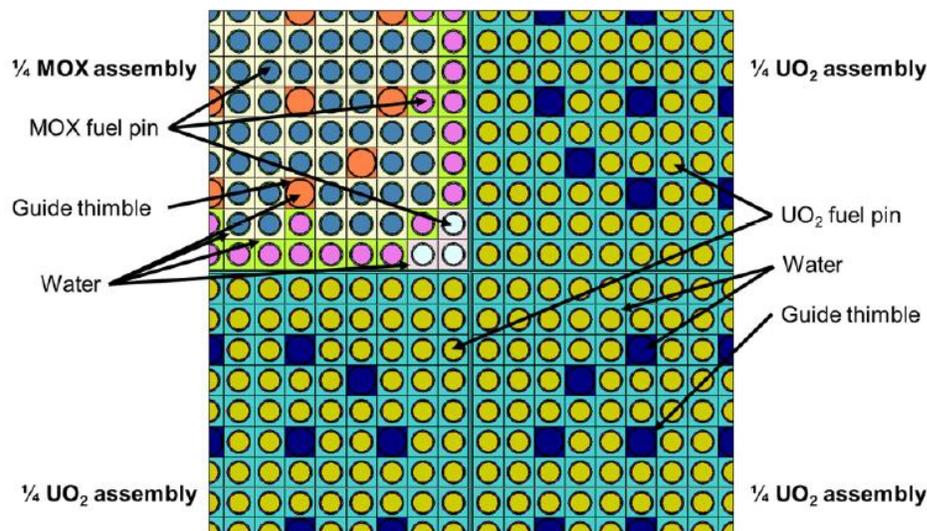
Cette quantité varie au cours de chaque cycle d'irradiation à mesure que le spectre d'énergie neutronique évolue.

Code de calcul : SCALE 6.2.4 (séquence TRITON)

Benchmark SCALE-MCNP réalisé (déterministe énergie discrète vs Monte Carlo énergie continue)

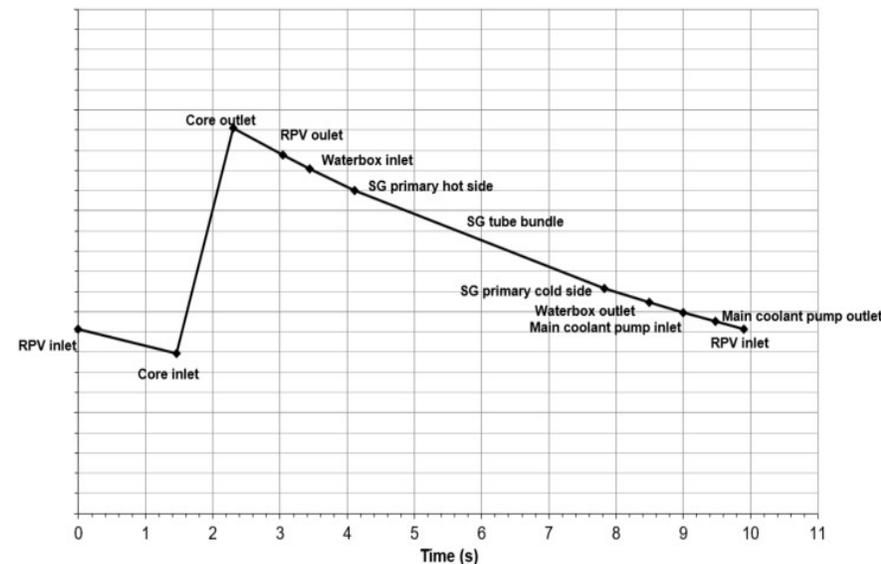
	J	K	L	M	N	P	R	S	T
9	4 J16 4.2 Bgd	2 S08 4.2 Bgd	2 L11 4.2 Bgd	1 L09 4.2 Bgd	1 N04 4.2 Bgd	1 P04 4.2 Bgd	1 R02 4.2 Bgd	1 S01 4.2 Bgd	2 T09 4.2 Bgd
8	2 H02 4.2 Bgd	1 K01 9.54 Bgd	2 L02 4.2 Bgd	2 M02 4.2 Bgd	2 N02 4.2 Bgd	2 P02 9.54 Bgd	2 R02 9.54 Bgd	2 S02 4.2 Bgd	2 T02 9.54 Bgd
7	2 L07 4.2 Bgd	1 K07 4.2 Bgd	1 L07 4.2 Bgd	1 M07 9.54 Bgd	1 N07 4.2 Bgd	1 P07 9.54 Bgd	1 R07 4.2 Bgd	1 S07 9.54 Bgd	1 T07 4.2 Bgd
6	2 H01 4.2 Bgd	2 K12 4.2 Bgd	2 L13 9.54 Bgd	2 M12 4.2 Bgd	2 N12 4.2 Bgd	2 P12 4.2 Bgd	2 R12 4.2 Bgd	2 S12 4.2 Bgd	2 T12 4.2 Bgd
5	1 L03 4.2 Bgd	2 K03 4.2 Bgd	1 L03 4.2 Bgd	1 M03 9.54 Bgd	1 N03 4.2 Bgd	1 P03 9.54 Bgd	1 R03 4.2 Bgd	1 S03 4.2 Bgd	1 T03 4.2 Bgd
4	2 H04 4.2 Bgd	2 K11 9.54 Bgd	2 L11 4.2 Bgd	2 M11 4.2 Bgd	2 N11 4.2 Bgd	2 P11 4.2 Bgd	2 R11 4.2 Bgd	2 S11 4.2 Bgd	2 T11 4.2 Bgd
3	1 L05 4.2 Bgd	2 K05 9.54 Bgd	2 L05 4.2 Bgd	2 M05 4.2 Bgd	2 N05 4.2 Bgd	2 P05 4.2 Bgd	2 R05 4.2 Bgd	2 S05 4.2 Bgd	2 T05 4.2 Bgd
2	1 H05 4.2 Bgd	1 K05 4.2 Bgd	1 L05 4.2 Bgd	1 M05 9.54 Bgd	1 N05 4.2 Bgd	1 P05 4.2 Bgd	1 R05 4.2 Bgd	1 S05 4.2 Bgd	1 T05 4.2 Bgd
1	2 J03 4.2 Bgd	1 K03 9.54 Bgd	1 L03 4.2 Bgd	1 M03 9.54 Bgd	1 N03 4.2 Bgd	1 P03 4.2 Bgd	1 R03 4.2 Bgd	1 S03 4.2 Bgd	1 T03 4.2 Bgd

Plan de chargement EPR2



Modélisation SCALE assemblage MOX

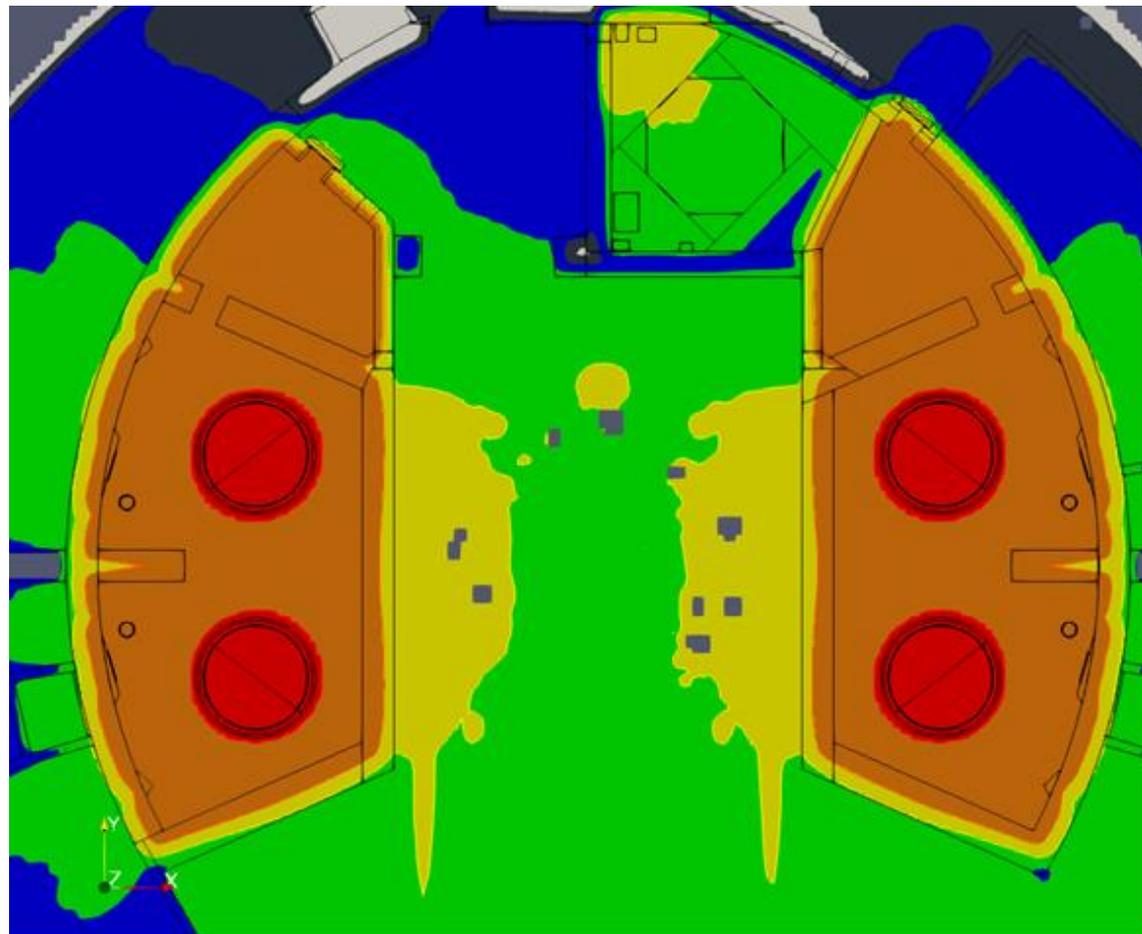
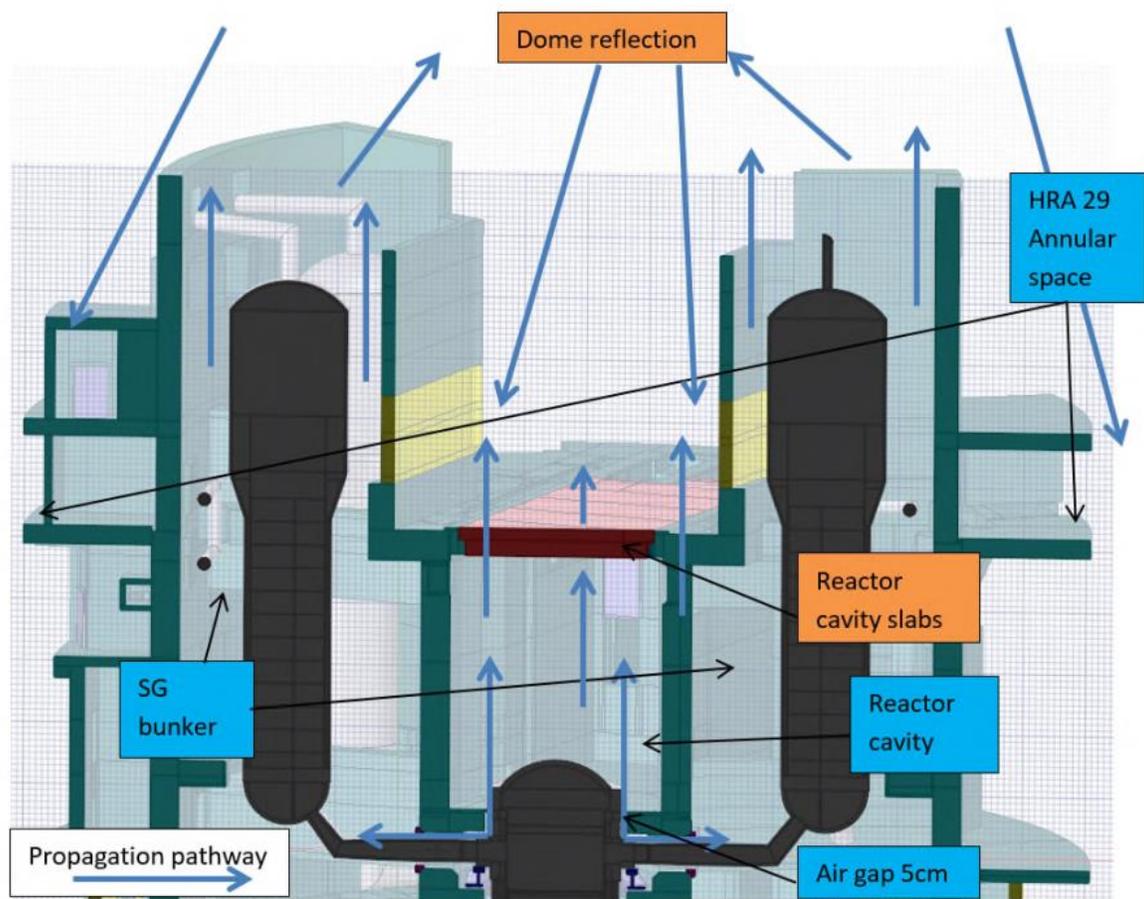
Activité (Bq/Mg)



Courbe  $^{16}\text{N}$  dans le circuit primaire

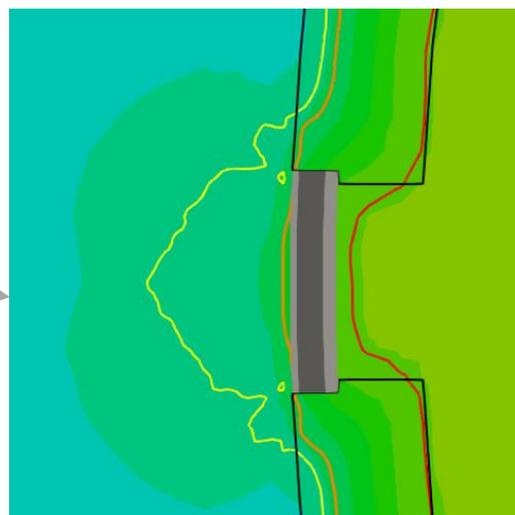
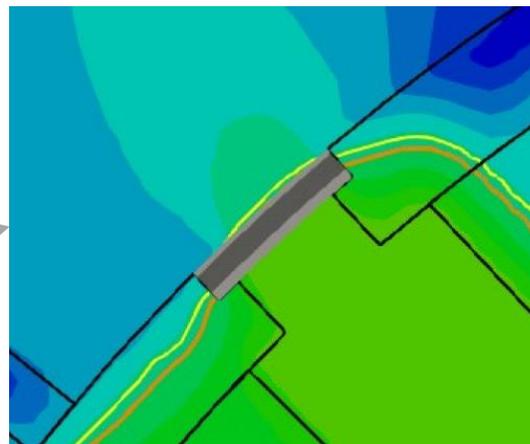
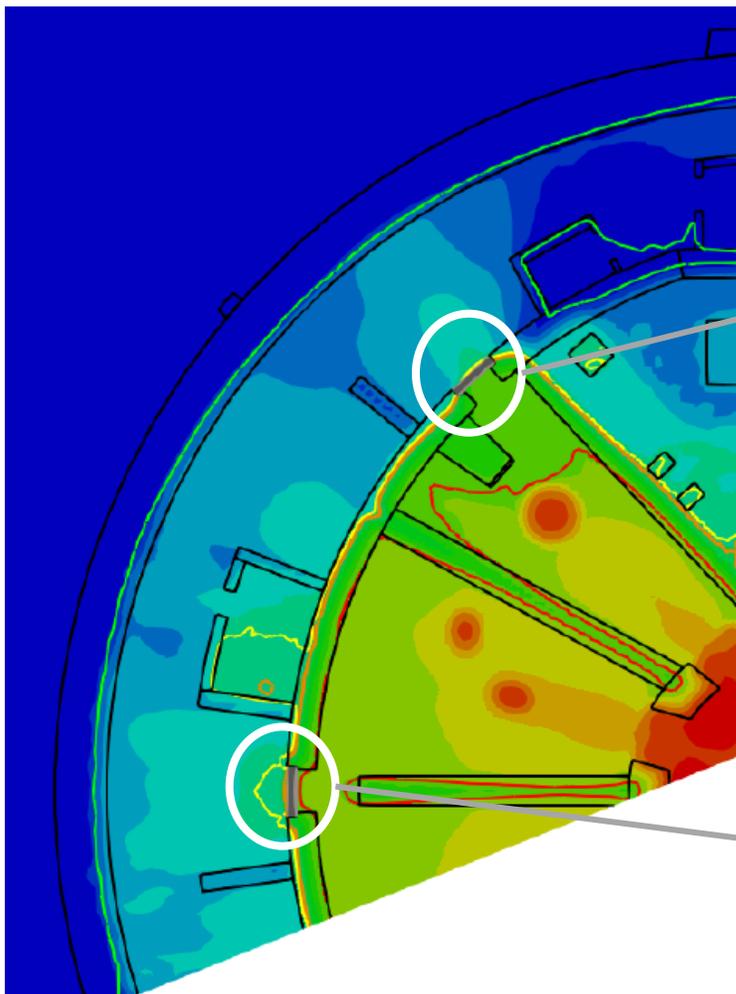
# Calculs de radioprotection dans le bâtiment réacteur

Données de sortie : résultats de DED ambient  $H^*(10)$  en différentes zones à comparer à la classification radiologique souhaitée des locaux – Exemple de l'EPR (2-room concept) au niveau du plancher de service, réacteur en fonctionnement



# Calculs de radioprotection dans le bâtiment réacteur

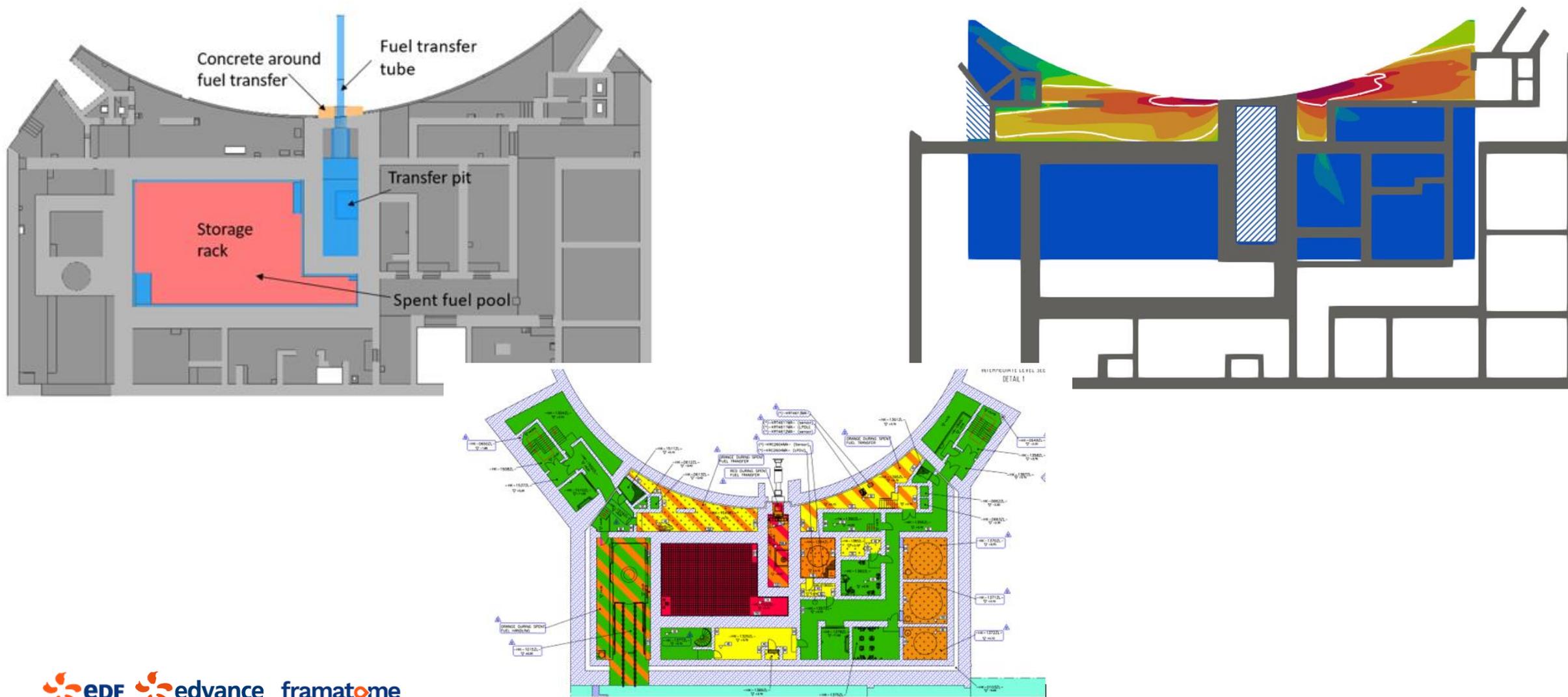
Exemple : dimensionnement de portes neutroniques sur EPR/EPR2 et évaluation par calcul de l'efficacité d'atténuation



Exemple de porte neutronique EPR  
– accès aux Générateurs de Vapeur

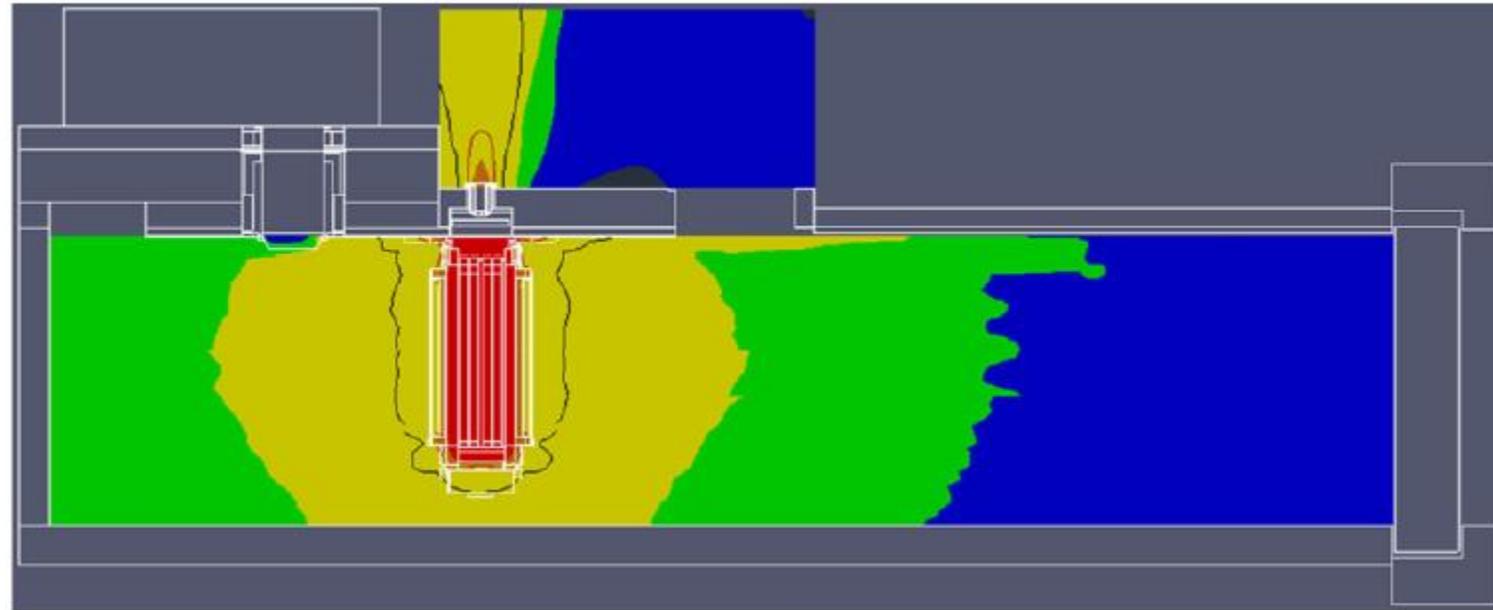
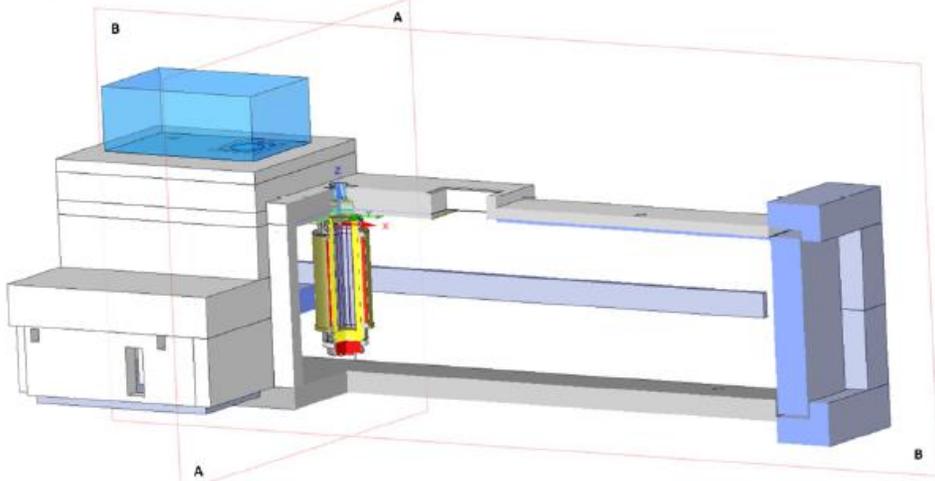
# Calculs de radioprotection dans le bâtiment combustible

Exemple : évaluation du zonage radiologique temporaire lors du transfert d'assemblage combustible irradié (configuration EPR)



# Calculs de radioprotection dans le bâtiment combustible

Exemple : évaluation du zonage radiologique temporaire lors de l'évacuation d'assemblage combustible irradié (configuration **EPR2**)



# Conclusions / perspectives

- Une évolution des codes/outils permettant des **analyses plus précises** (cartes de DED, propagation longue distance avec chemins complexes et fortes atténuations) répondant pleinement aux enjeux de conception en termes de **couverture spatiale des zones d'intérêt** (échelle d'un bâtiment) et de **détail de modélisation** (structures d'intérêt pouvant influencer les champs neutron/gamma)
- Une **transformation numérique des projets** permettant d'envisager des passerelles plus performantes vers les codes de calcul RP
- Des **défis à relever** : chemins de petite dimension dans de grandes géométries, limites des codes/outils
- Autres applications : **calcul beta** pour la dose intégrée par les matériels radiosensibles, ou évaluation de dose extrémités/cristallin
- Amélioration de nos connaissances sur la **quantification des incertitudes** des données nucléaires sur les grandeurs d'intérêt
- **Les études RP contribuent à la réduction des coûts du produit final** en plus de la standardisation des produits (catalogues, industrialisation) : schéma de calcul à l'état de l'art, caractérisation DED plus précise et confiance sur la représentativité

Toute reproduction, modification, transmission à tout tiers ou publication totale ou partielle du document et/ou de son contenu est interdite sans l'accord préalable et écrit de Framatome et Edvance.

Ce document et toute information qu'il contient ne doivent en aucun cas être utilisés à d'autres fins que celles pour lesquelles ils ont été communiqués.

Tout acte de contrefaçon ou tout manquement aux obligations ci-dessus est passible de sanctions disciplinaires et de poursuites judiciaires.

**Merci de votre  
attention**