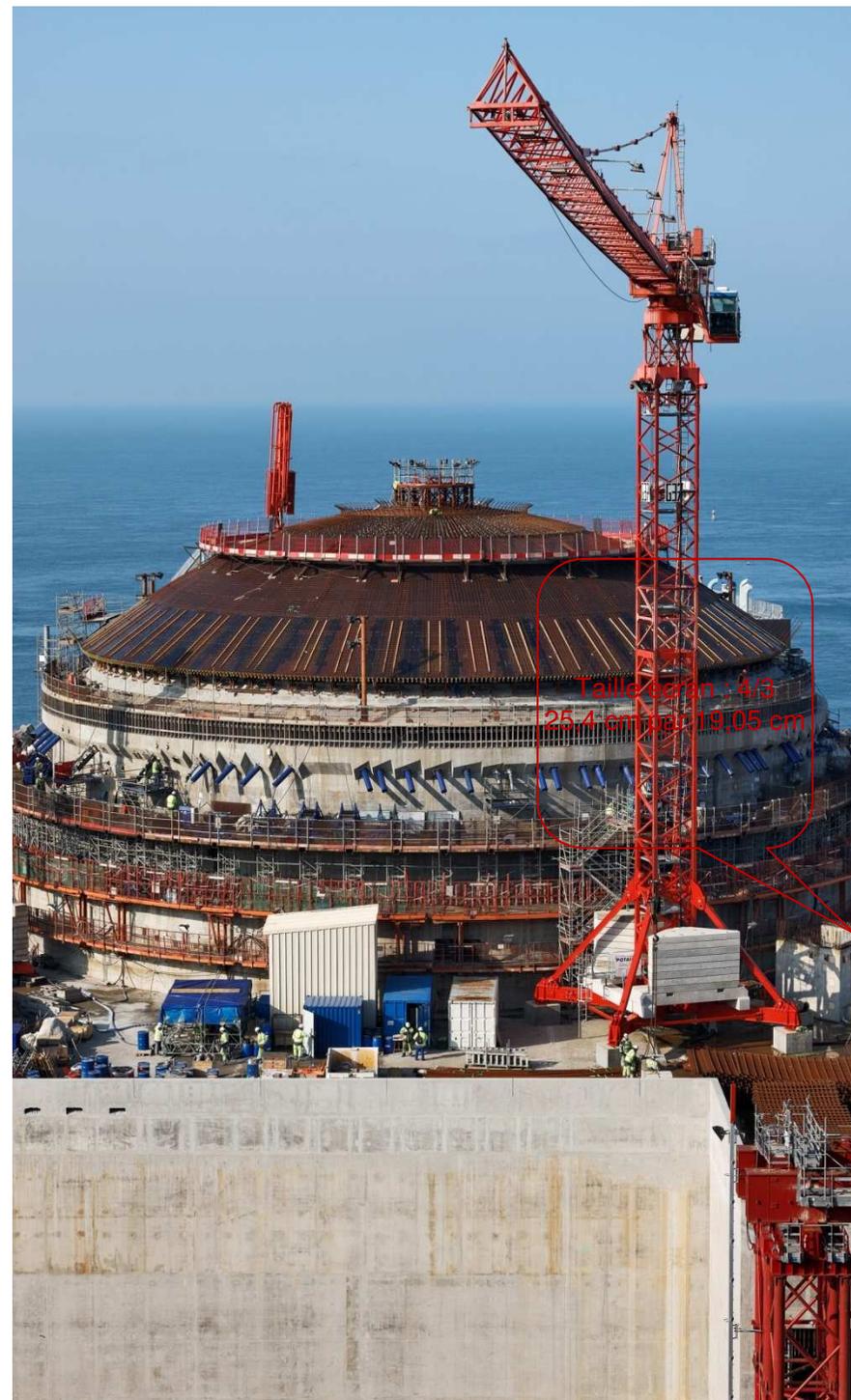


Outils de calcul de propagation des rayonnements pour la conception des réacteurs - Application aux EPR

1^{er} et 2 février 2018

Journées Codes de calculs en radioprotection de la SFRP

Matthieu Longeot, EDF
Paul Lefèvre, Fanny Le Bruchec, Framatome



INTRODUCTION

- **Radioprotection à la conception des EPR au sein du Groupe EDF:**
 - ◆ **Optimisations en termes de:**
 - choix de matériaux,
 - d'installation en 3D de systèmes avec fluides radioactifs,
 - de dimensionnement de protections biologiques fixes
 - ◆ **Considérer différents états de tranches:**
arrêt de tranche; tranche en puissance
 - ◆ **Géométrie complexe à modéliser à partir de CAO 3D** avec grand nombre de sources et de points de calcul
 - ◆ **Transport de rayonnements gamma et neutron sur de longue distance**
 - ◆ **Collaboration étroite entre les ingénieur radioprotection et diverses disciplines (installation générale, génie civil, sûreté, ventilation) pour assurer la conformité et la cohérence des exigences radioprotection avec la conception**

- **Besoins pour les concepteurs à EDF et Framatome**
 - ◆ Outils de **prétraitement** (interface avec la CAO) et **posttraitement** (visu cartographie);
 - ◆ Diverses codes/méthodes de calculs de radioprotection

INTRODUCTION (2/2)

- **Quelques spécificités de la conception des EPRs du Groupe EDF**
 - ◆ Assurer que l'**accessibilité** des opérateurs pour interventions en **condition accidentelle** (au titre de la sûreté) **peut se faire sous ambiance radiologique acceptable**
 - ◆ **Dosimétrie collective** aussi basse que les meilleures tranches:
 - > **0,35 H.Sv/an/réacteur moyennée sur 10 ans** (grâce à l'optimisation ALARA des 7 interventions à fort enjeu RP)

- **Outre les exigences RP réglementaires, le Groupe EDF définit des exigences/objectifs RP pour chacun de ces Projets**
 - ◆ **Intervention dans le BR tranche en fonctionnement** quelques jours avant et après l'arrêt pour plus de disponibilité de la tranche.
 - ◆ **Exigences de zonage RP** (débit de dose, propreté/déchets et risque iode/aérosols)

- **Focus de la présentation: l'utilisation de codes de calculs pour:**
 - ◆ Vérification du **zonage radiologique** au stade « étude détaillée »;
 - ◆ Dimensionner/optimiser le **rebouchage des trémies**

-> utilisation pour les études RP par EDF et Framatome pour l' « îlot nucléaire en arrêt de tranche » et le « Bâtiment réacteur tranche en puissance » respectivement

PANTHERE pour la vérification du DED

Ilot nucléaire de l'EPR en arrêt de tranche

- Le code de calcul EDF **PANTHERE** intègre le solveur **NARMER** du CEA
 - ◆ Logiciel 3D de calcul de DED **gamma** dans installations industrielles complexes
- Méthode de calcul de DED: atténuation en ligne droite avec build-up
 - ◆ Le DED pour une source mono-énergétique d'activité A ($\gamma/(\text{cm}^3/\text{s})$) dans un volume V_s est calculé comme suit:

$$\text{DED}(E) = k(E) * \iiint_{V_s} BU(E, \mu(E)x) * \frac{e^{-\mu(E)x}}{4\pi d^2} * A(E) * dV$$

avec:

- $k(E)$: le facteur de conversion "flux gamma" - dose (**CIPR pub. 74**);
- $\mu(E)$: coefficient d'atténuation linéique
- x : l'épaisseur d'écran traversée par le rayon γ en ligne droite
- d : la distance entre le point et la source.
- BU : le facteur de build-up pour prise en compte du flux diffusé:
 - tabulé pour: a) tous les éléments simples ($Z=1$ à 98); pour 195 groupes d'énergie entre 15 keV et 10 MeV.
 - écrans multi-couches calculés à l'aide de la formule "**CEA/SERMA**".

Vérification du zonage DED

Exemple d'un local échangeur dans le BR niv. +1,5m



Vue CAO PDMS
du BR à +1,5m

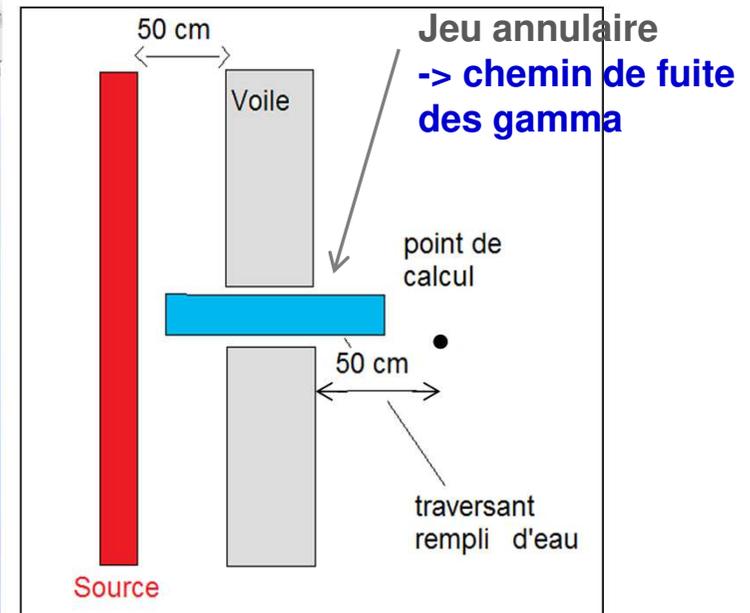
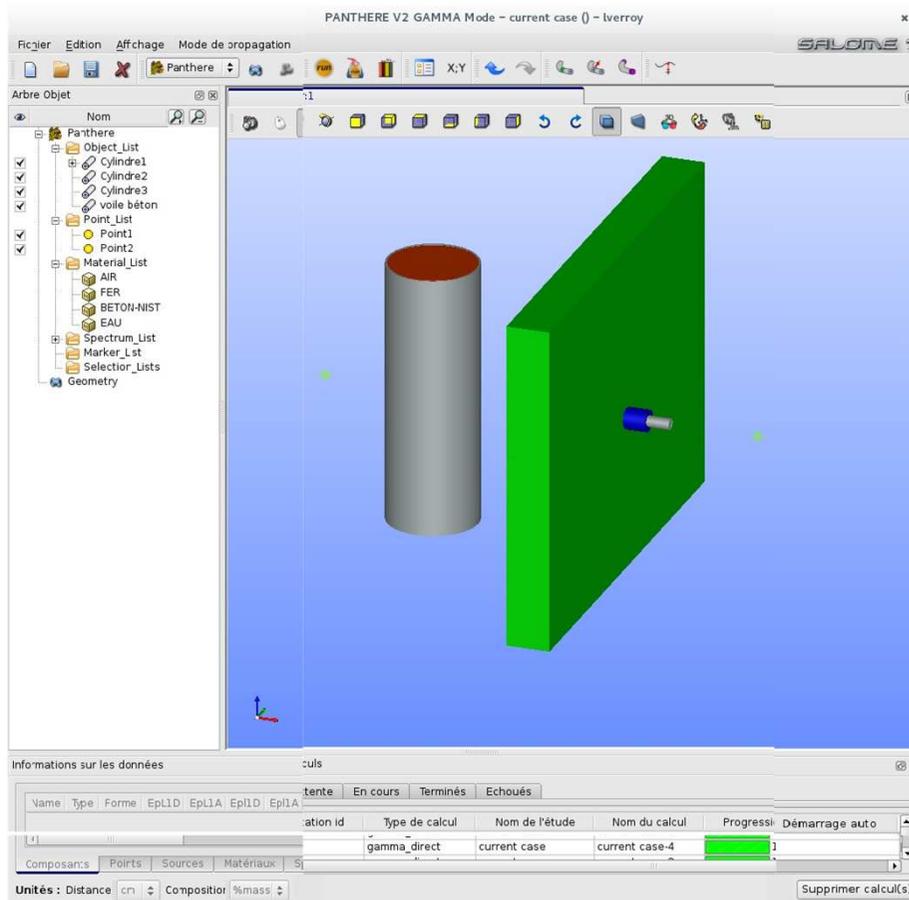
Export/import GC et systèmes via
plugin PDMS « Symba » d'EDF

Vue PANTHERE après ajout
des termes sources systèmes
et points de calculs

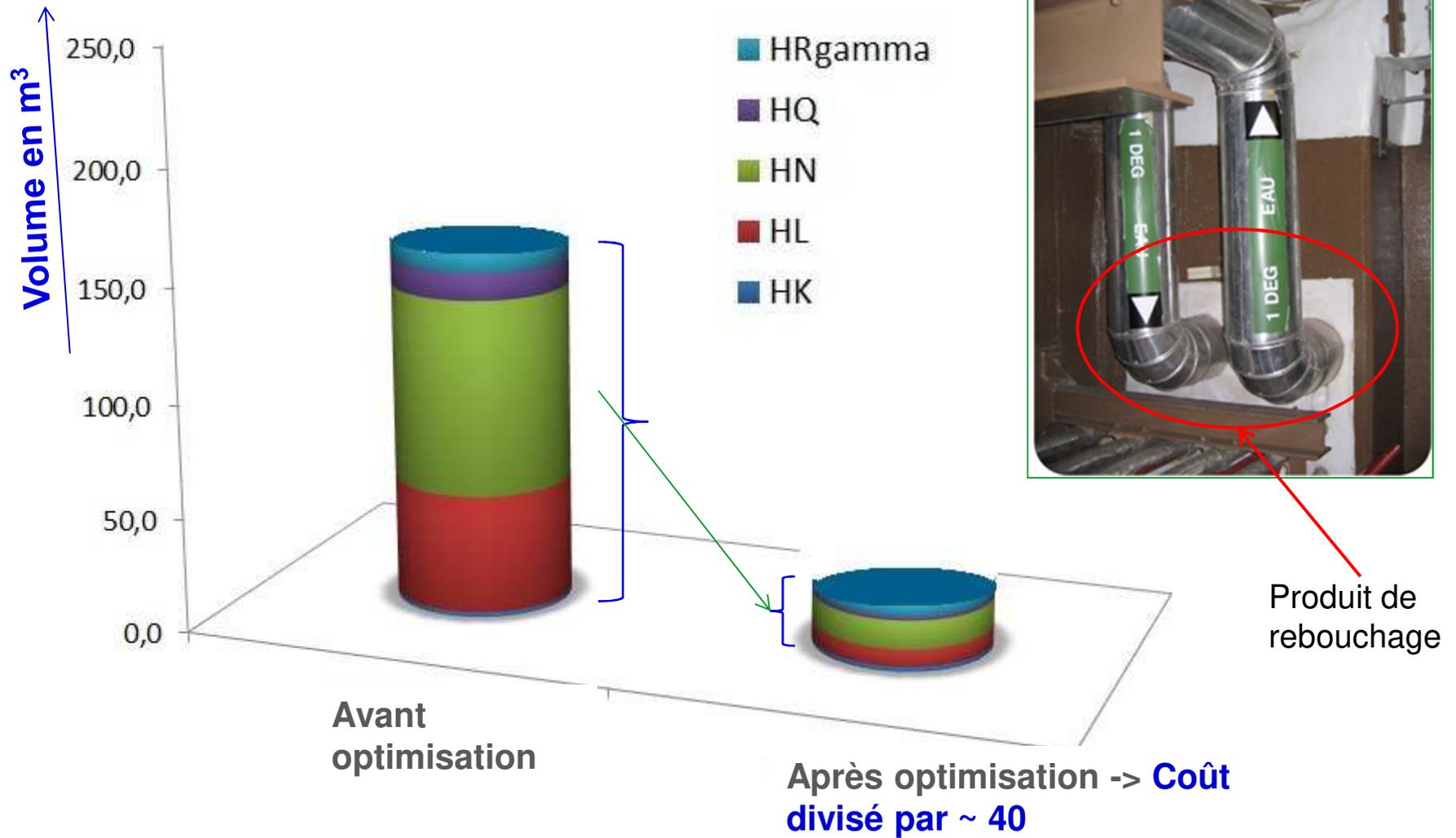
- Points de calcul positionnés dans les zones accessibles, proche des équipements dosants, ou derrière une porte.

PANTHERE et MCNP utilisés pour l'optimisation du rebouchage des trémies de l'EPR en arrêt de tranche

- Etudes de milliers de trémies tous bâtiments confondus => études paramétriques
- Modèle simplifié pour le calcul du DED additionnel au travers de la trémie et l'optimisation du rebouchage « requis gamma »

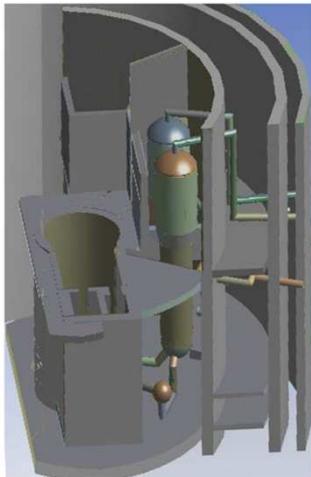


Economie en termes de réduction de produit de rebouchage



Simulation MCNP pour le design du BR de l'EPR tranche en puissance

- Rappel synthétique de la méthodologie suivie pour les études RP du BR de l'EPR

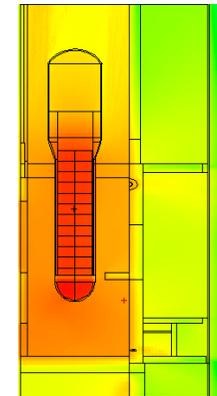
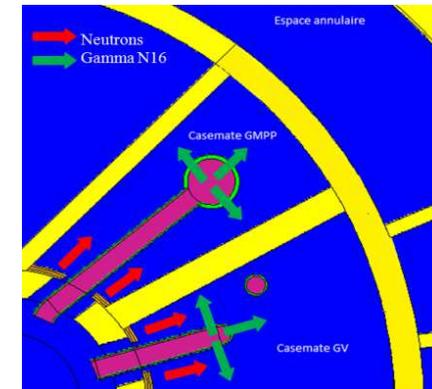


1) Définition du modèle de calcul MCNP à partir d'un modèle de CAO (e.g. PDMS)

2) Identification et définition des sources (γ et neutron)

3) Propagation des rayonnements dans le BR (Méthodes de réduction de la variance)

4) Obtention des résultats en DED (ICRP74) dans les zones d'intérêt pour les contributions : neutron, gamma, n-gamma



C.f. Simulation avancée en propagation des rayonnements pour la conception des réacteurs - Application à l'EPR
@ Journée SFEN - Méthodes et outils de calcul en propagation des rayonnements
14 juin 2007 – F. BIAGI – JL. BAROU – P. JOLIVET (AREVA NP)

Simulation MCNP pour le design du BR de l'EPR tranche en puissance

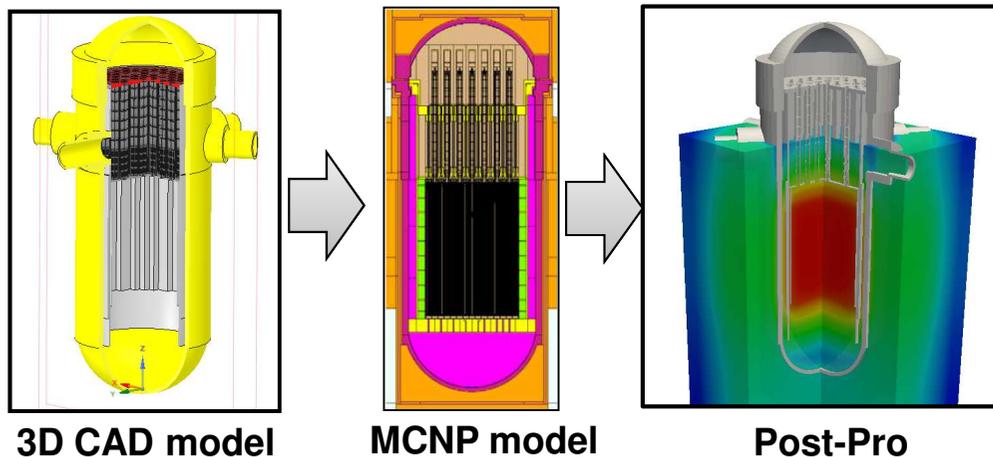
- **Suivi de l'état de l'art en matière de calcul de propagation: utilisation de MCNP4, puis MCNP5**

- **Mise en place de post-traitement de plus en plus performant :**
 - ◆ Visualisation des résultats de manière ponctuelle (Tally 4 ou 5), puis
 - ◆ Visualisation des résultats en 3D (MESH tally) => Analyse approfondie des chemins de fuite

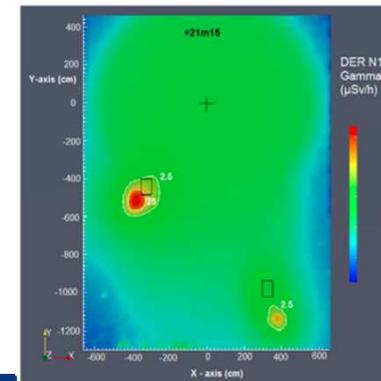
- **Accélération des calculs**
 - ◆ Mise en œuvre de techniques de biaisage manuelles (importance), puis semi automatique (Weight Windows) puis maintenant technique hybride automatique : méthodes CADIS ou Forward Weighted-CADIS
 - ◆ Montée en puissance de la parallélisation des calculs

Simulation MCNP pour le design du BR de l'EPR tranche en puissance

- Depuis quelques années, FRAMATOME développe une plateforme de Pré/Post traitement : VICTORIA
 - ◆ Permet la mise en données d'une géométrie CAO pour les codes MCNP, NARMER, TRIPOLI
 - ◆ Permet de faciliter la saisie des inputs (sources, matériaux, tallies,...) grâce à une IHM intuitive
 - ◆ Permet de la visualisation des résultats directement dans la géométrie étudiée



Exemple : Modification des dalles piscines pour la mise en place de l'instrumentation en piscine => Dimensionnement de protections additionnels en tenant compte de l'installation sur site

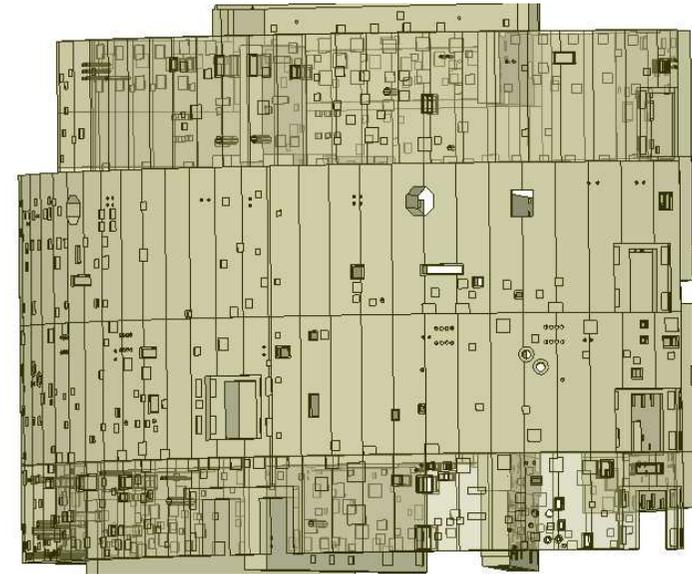


Simulation MCNP pour l'optimisation du rebouchage des trémies du BR de l'EPR

■ Contexte/problématique :

- ◆ Le bâtiment réacteur de l'EPR est accessible tranche en fonctionnement (zone de service)
- ◆ Passage de nombreuses tuyauteries à travers les murs du bâtiment réacteur => plusieurs centaines de petites ouvertures (trémies) situées loin des sources, grande variété de configurations géométriques et de traversants
- ◆ Nécessité d'étudier à la fois la propagation des rayonnements γ mais également neutron
- ◆ Contrainte projet forte (lancement des contrats de rebouchage)

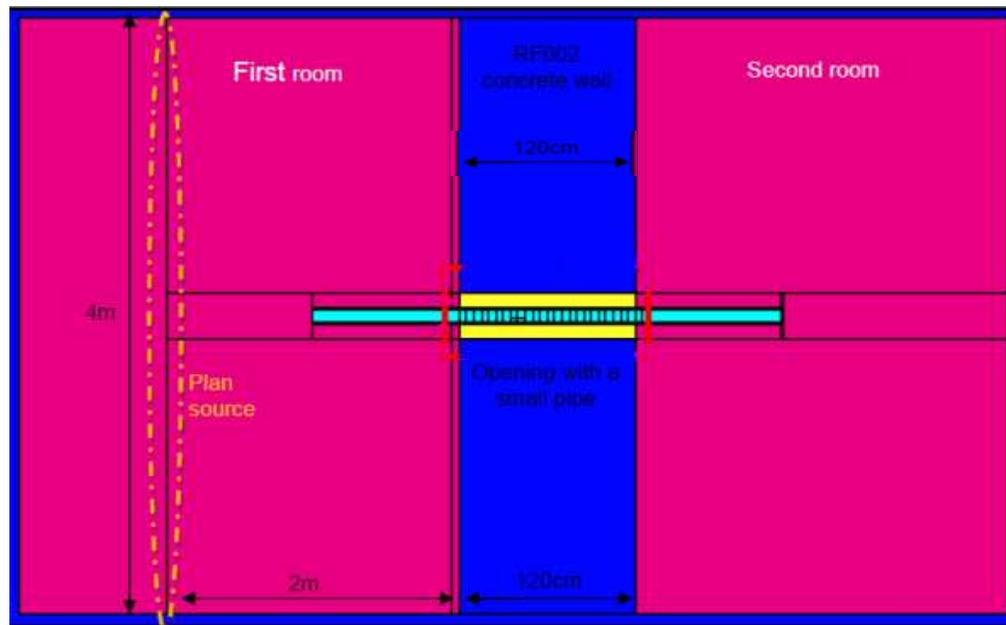
➔ Utilisation d'un modèle MCNP complet du BR et propagation à travers l'ensemble des trémies non-envisageable pour cette application « industrielle » malgré l'usage des meilleurs techniques disponibles (méthode CADIS)



Exemple de traversées sur un voile du bâtiment réacteur

Simulation MCNP pour l'optimisation du rebouchage des trémies du BR de l'EPR

- Approche retenue : utilisation conjointe de 2 modèles MCNP
 - ◆ d'une part du modèle BR complet appelé « modèle de référence » (i.e. utilisé pour les études de design) réalisant la propagation dans l'ensemble du bâtiment
 - ◆ et d'autre part d'un modèle simplifié simulant la propagation à travers différents types de trémies en regard d'une source surfacique virtuelle



Simulation MCNP pour l'optimisation du rebouchage des trémies du BR de l'EPR

■ Principe de l'étude paramétrique

- ◆ Les trémies sont regroupées par familles présentant des caractéristiques proches
- ◆ Le choix des caractéristiques pertinentes (principalement diamètre de la tuyauterie et jeu annulaire) pour cette définition est réalisée sur la base de sensibilités préliminaires
- ◆ Des calculs sont réalisés avec le modèle simplifié pour les différentes contributions (neutron, gamma, n-gamma) et l'ensemble des familles de trémie

➔ Définition de « fonction de transfert normalisées » en flux/débit de dose pour chaque famille de trémie et chaque contribution

- ◆ En fonction de la localisation effective de la trémie dans le bâtiment réacteur, attribution d'un flux ou d'un débit de dose (découplé ou issu de calculs MCNP avec modèle complet) correspondant à l'entrée de la trémie

Simulation MCNP pour l'optimisation du rebouchage des trémies du BR de l'EPR

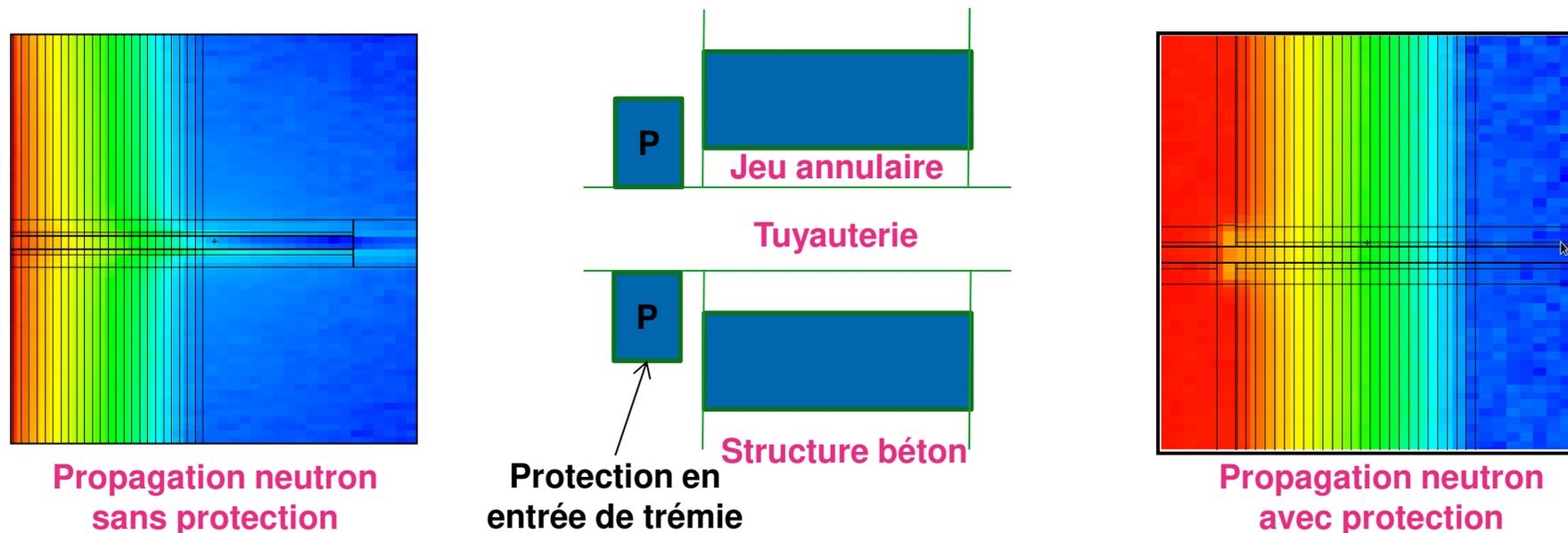
- **Avantages de l'utilisation d'un modèle simplifiée**
 - ◆ Convergence rapide des résultats
 - ◆ Facilite la réalisation d'études de sensibilité => aide pour la définition et l'affinage des familles
 - ◆ Évaluation spatiale de l'atténuation des débits de dose à travers et en sortie des trémies
 - ◆ Permet une évaluation rapide des facteurs d'atténuation associés à différents types de protections complémentaires envisagées

- **Inconvénients de l'utilisation d'un modèle simplifiée**
 - ◆ Découplage important entre la configuration générique du modèle simplifié et la situation réelle (spectre énergétique, "directionnalité" de la source et sa distance à la trémie, dimensions de la tuyauterie, etc...)
 - ◆ Nécessité de retenir des hypothèses enveloppes pour être applicables de manière générique => caractère parfois très pénalisant des résultats
 - ◆ Etape significative de validation des hypothèses et/ou d'adaptations du modèle pour couvrir d'éventuels simplifications

Simulation MCNP pour l'optimisation du rebouchage des trémies du BR de l'EPR

- Les trémies non dédouanées par l'étude paramétrique ont nécessité une attention particulière
 - ◆ Analyse par jugement d'expert des hypothèses retenues au cas par cas

=> Besoin d'interfacer avec les équipes des autres disciplines (Piping, Layout)



Conclusion

- Outils/codes **conviviaux** pour études RP industrielles des EPRs d'Edvance:
 - ◆ IHM et solveur **PANTHERE (+Narmer)** d'EDF : pour cartographie DED gamma en arrêt de tranche ;
 - ◆ **Victoria** de Framatome et **MCNP** -> transport n et γ sur de longues distances et au travers de géométries complexes et hétérogènes

- Optimisation/étude **rebouchage trémies** « γ » et « neutron » :
 - ◆ L'approche paramétrique, et une analyse par jugement d'expert « au cas par cas » des trémies non dédouanées, a permis :
 - de traiter rapidement un grand nombre de trémies ;
 - de diminuer significativement les coûts de rebouchage des trémies de l'EPR FA3, malgré des contraintes projet fortes