



Développements logiciels Framatome pour une utilisation efficace et fiable des codes Monte Carlo pour les applications industrielles

N. CHAPOUTIER, M. CULIOLI, L. SGANDURRA

SFRP, Fontenay-aux-roses, 9-10 Mars 2023

C1 – Framatome Diffusion limitée – Savoir-faire Framatome
Export Control - AL : N / ECCN : N

Confidentialité



Ce document contient du **Savoir-Faire Framatome**

EXPORT CONTROL

AL = N	ECCN = N
--------	----------

Les biens marqués « AL » différent de « N » sont soumis aux autorisations d'exportation des Etats de l'Union Européenne lors d'une exportation à l'intérieur ou hors de l'Union Européenne.
Les biens marqués « ECCN » différent de « N » ou « EAR99 » sont soumis aux autorisations de réexportation américaine. Avec ou sans marquage « AL :N », « ECCN :N » ou « ECCN:EAR99 », une autorisation d'exportation peut néanmoins être nécessaire en fonction de la destination et de l'utilisation de ces biens.

REGLES DE PROTECTION DE L'INFORMATION



C1 - Ce document et toute information qu'il contient et/ou divulguée dans le cadre de toute discussion en lien avec ce document sont à **diffusion limitée**



C2 : Ce document et toute information qu'il contient et/ou divulguée dans le cadre de toute discussion en lien avec ce document sont **Framatome confidentiels** ; leur divulgation, altération ou disparition sont préjudiciables, avec un impact significatif à fort, pour Framatome.

Les supports, lorsque communiqués, et les informations qu'ils contiennent, sont destinés aux seuls participants à la réunion ou au périmètre désigné dans le pied-de-page.

Chacun s'engage à ne les communiquer et à n'en relater les échanges qu'avec discernement et en mentionnant explicitement « à ne pas rediffuser / à ne pas divulguer ».

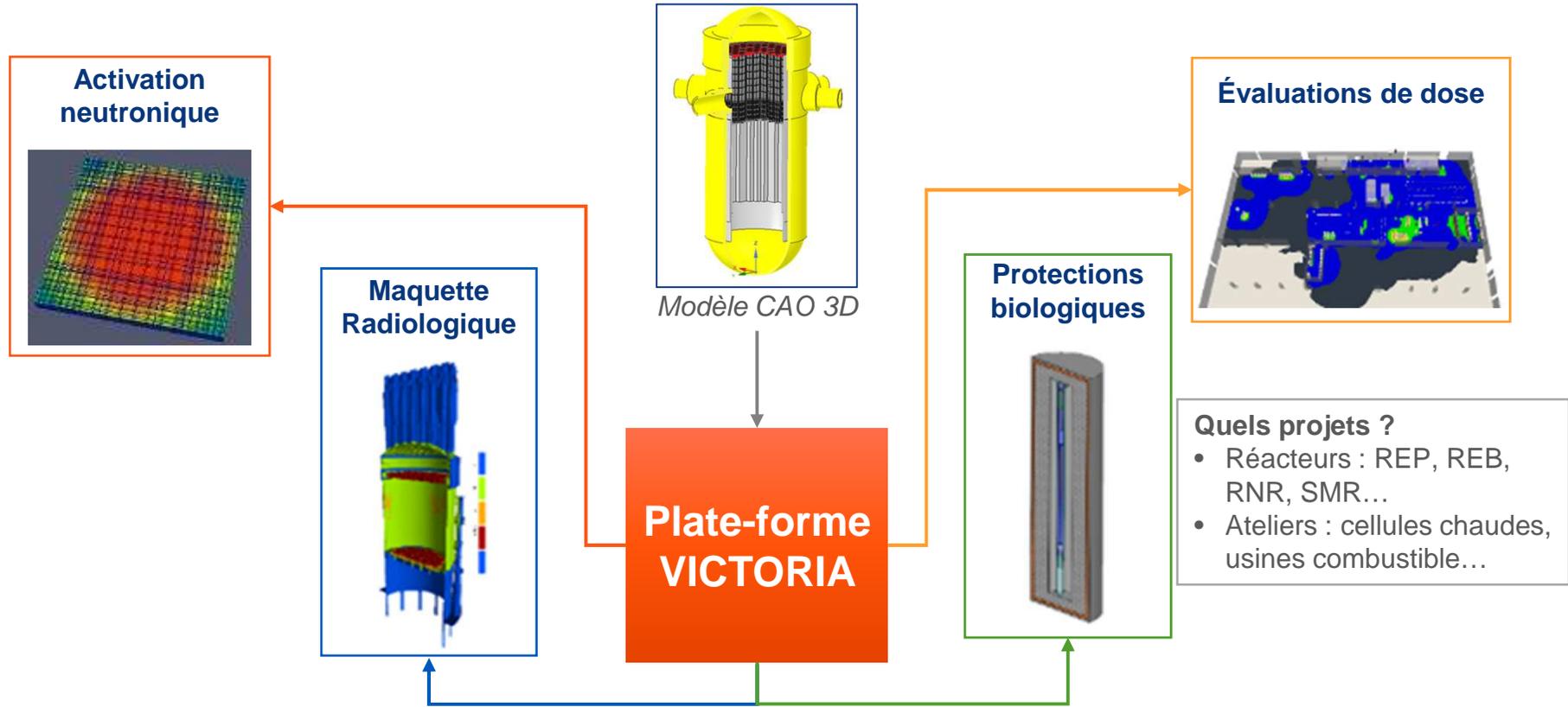


C3 – Ce document et toute information qu'il contient et/ou divulguée dans le cadre de toute discussion en lien avec ce document relèvent du **secret Framatome**.

Chacun s'engage à tenir secrètes les informations tant écrites qu'orales qui y sont exposées. Chaque dépositaire de ce document s'interdit de communiquer à toute personne morale ou physique, y compris au sein de Framatome, sans l'accord du président de séance

Ce document et toute information qu'il contient et/ou divulguée dans le cadre de toute discussion en lien avec ce document sont confidentiels, protégés par les dispositions applicables en matière de propriété intellectuelle et comportent des éléments soumis à la réglementation sur le secret des affaires. 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. 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. - © Framatome – Tous droits réservés

VICTORIA chez Framatome

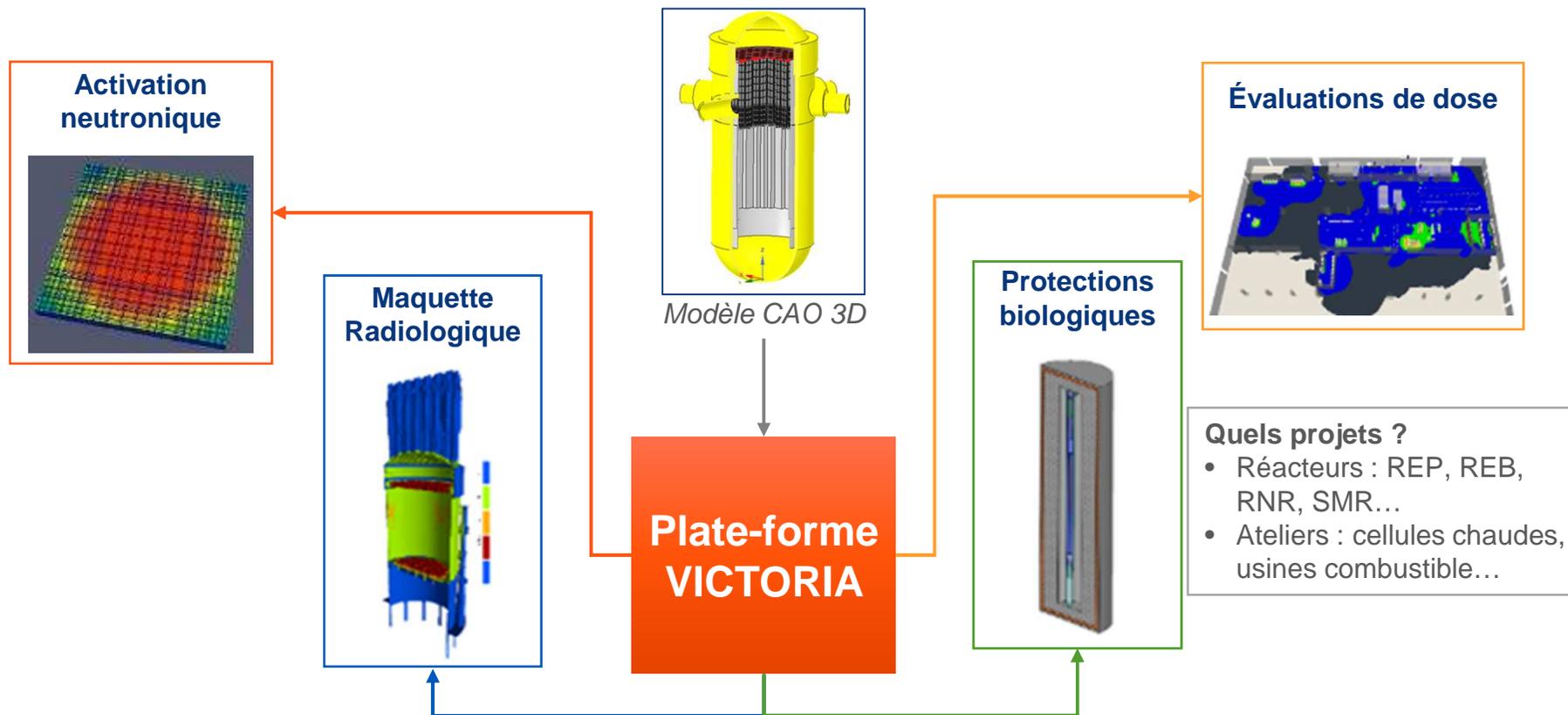


Développements logiciels Framatome autour des codes Monte Carlo – M. CULIOLI – SFRP2023 – 9-10 mars 2023
© Framatome - Tous droits réservés

Plan

1. Améliorations sur la création de jeux de données
2. Calculs d'activation neutronique et Maquette Radiologique
3. Post-traitements des calculs de dose et Réalité Virtuelle
4. Dimensionnement de protections biologiques
5. Conclusion

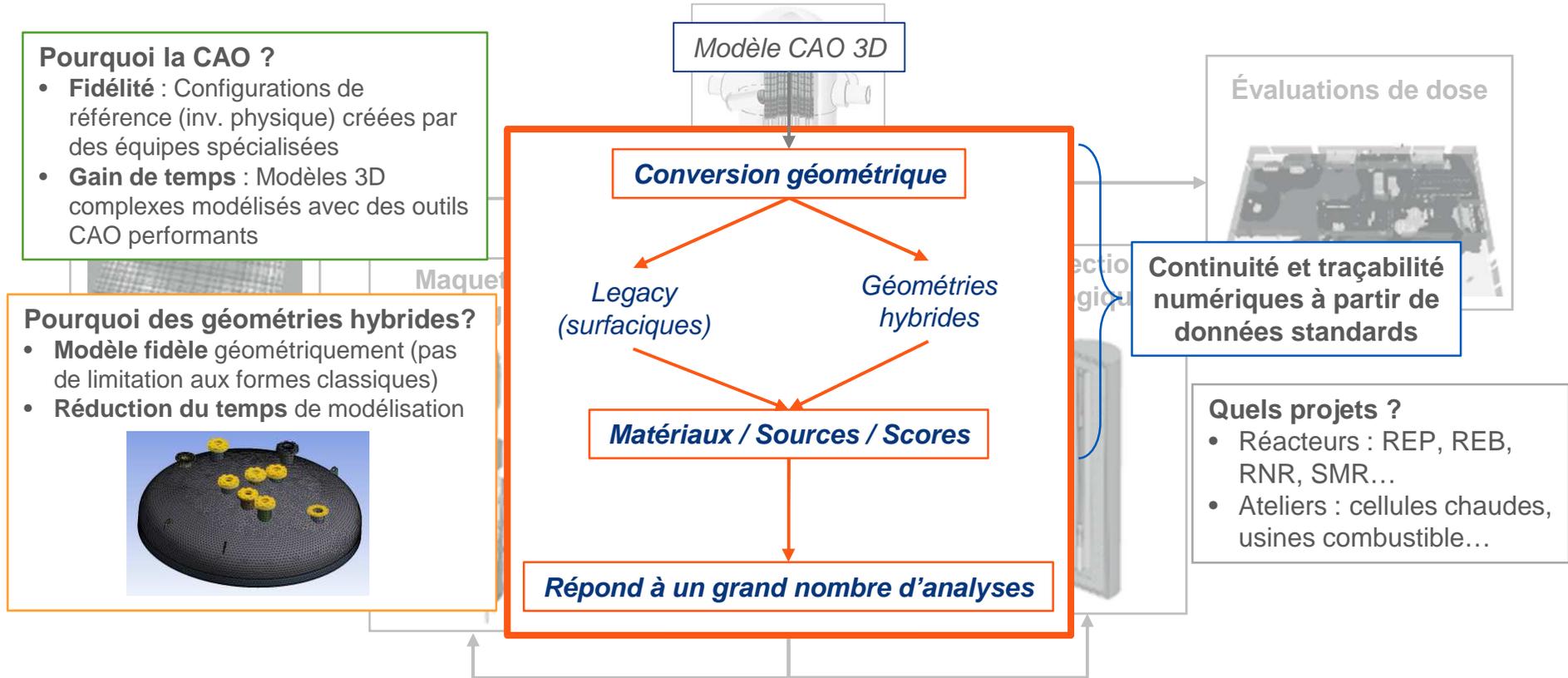
Améliorations sur la création de jeux de données



- Quels projets ?**
- Réacteurs : REP, REB, RNR, SMR...
 - Ateliers : cellules chaudes, usines combustible...

Développements logiciels Framatome autour des codes Monte Carlo – M. CULIOLI – SFRP2023 – 9-10 mars 2023
© Framatome - Tous droits réservés

Améliorations sur la création de jeux de données



Pourquoi la CAO ?

- **Fidélité** : Configurations de référence (inv. physique) créées par des équipes spécialisées
- **Gain de temps** : Modèles 3D complexes modélisés avec des outils CAO performants

Pourquoi des géométries hybrides?

- **Modèle fidèle** géométriquement (pas de limitation aux formes classiques)
- **Réduction du temps** de modélisation



Continuité et traçabilité numériques à partir de données standards

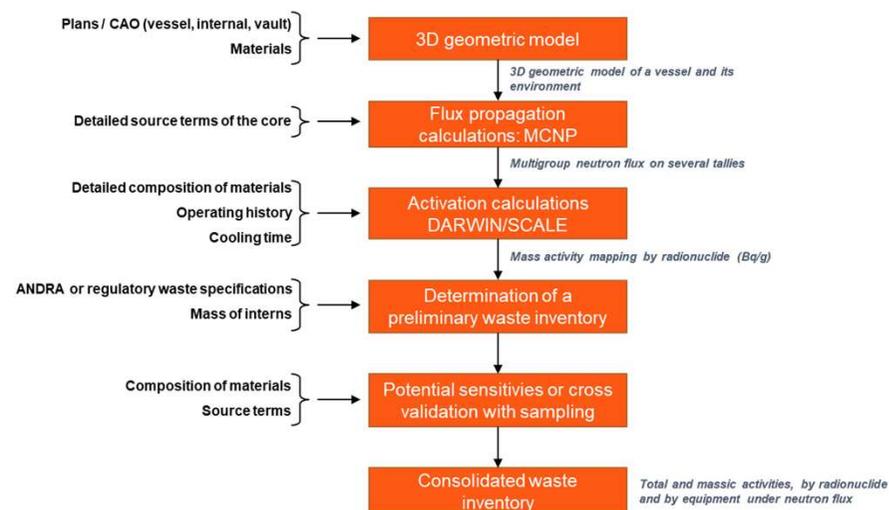
Quels projets ?

- Réacteurs : REP, REB, RNR, SMR...
- Ateliers : cellules chaudes, usines combustible...

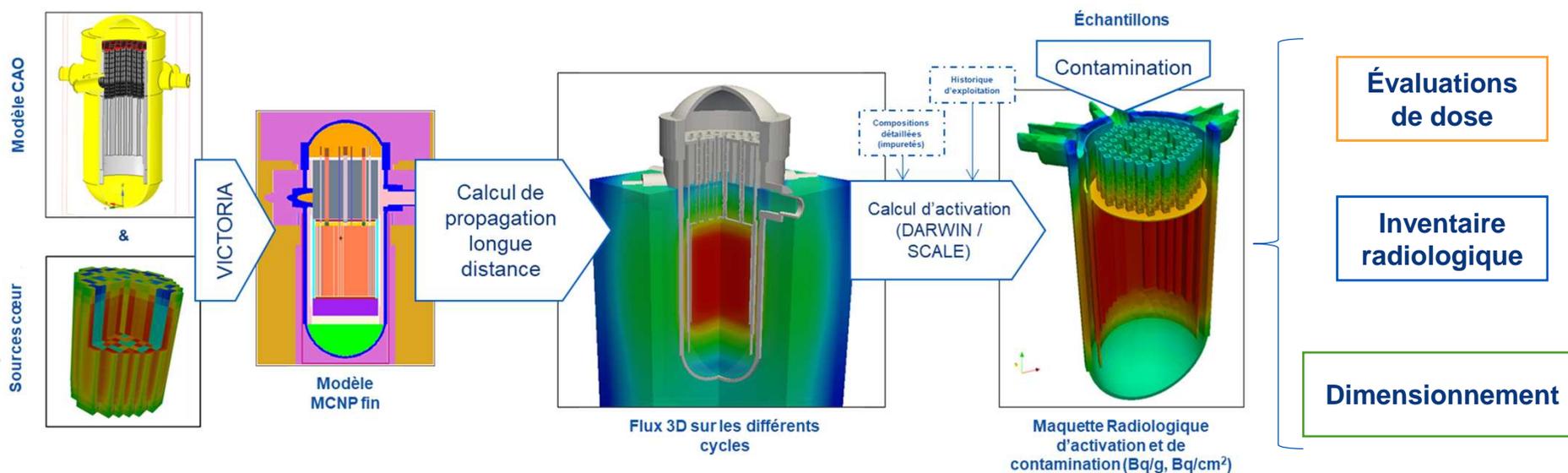
2. Calculs d'activation neutronique et Maquette Radiologique

Calculs d'activation neutronique et Maquette Radiologique

- Chaînage associé aux **activités** nécessitant la connaissance de l'**inventaire radiologique** (démantèlement, maintenance, conception)
(et évaluation de DED à l'arrêt / dimensionnements de protections biologiques)
 - Puis : classification déchets, plan colisage, calcul de dose gamma (démarche ALARA), analyses de sûreté
- **Calculs d'activation / d'évolution**
 - Proportionnel au nombre de scores / de mailles
 - Grand nombre de calculs qui peuvent être prohibitifs
 - **Algorithme d'apprentissage** pour générer un **modèle de substitution** aux calculs d'activation
 - Diminution du **temps de calcul** pour des inventaires précis à quelques **heures** (~~semaines~~)

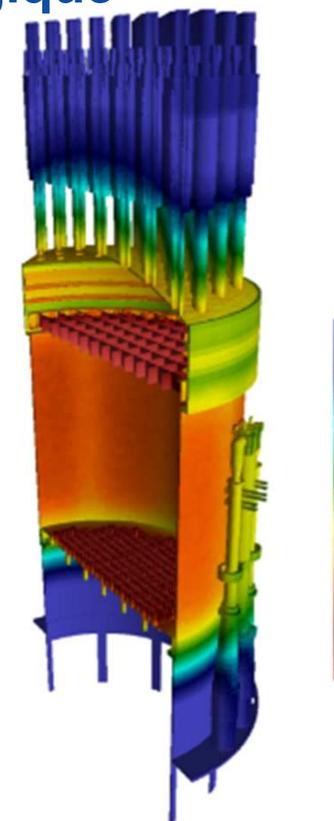


Calculs d'activation neutronique et Maquette Radiologique



Calculs d'activation neutronique et Maquette Radiologique

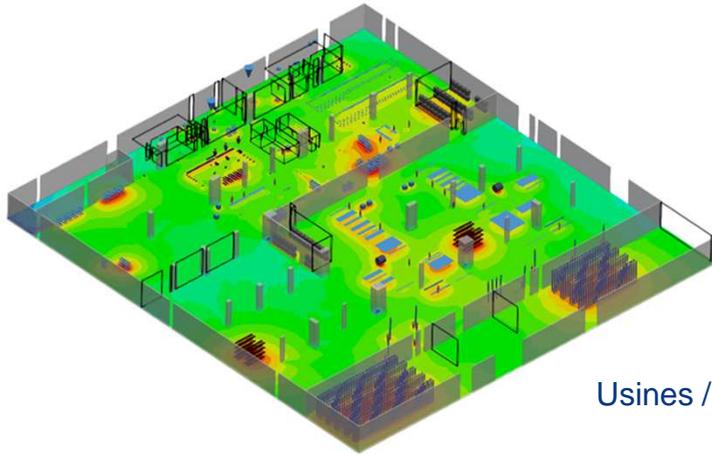
- Données
 - Une **unique** maquette radiologique comme **base de données** pour toutes les équipes du projet
 - **Flexibilité** et **efficacité** : accès direct à l'inventaire radiologique de tout ou partie des internes et de la cuve
- Méthode
 - Couplage **avancé** entre le **calcul Monte Carlo** et le **calcul d'évolution** (maillages fins)
 - **Précision** : réduit les conservatismes → **réduit les coûts**
 - **Gain de temps** : évite les approximations / interpolations
 - **Évite le surclassement** des déchets et **optimise** le colisage des déchets
 - Meilleure estimation du **terme source gamma** (gradient d'activité vs. homogénéisation / interpolation)
 - Dimensionnement de protections biologiques optimisées avec réduction de plusieurs dizaines de tonnes d'acier
- Utilisation simplifiée : outil visuel 3D



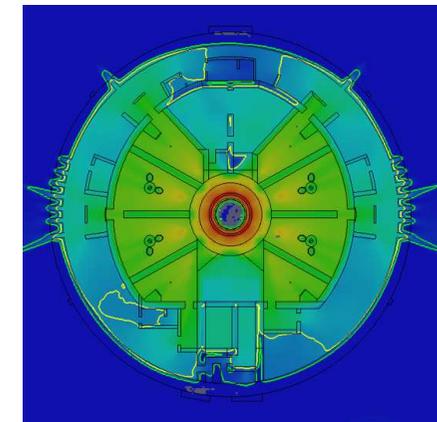
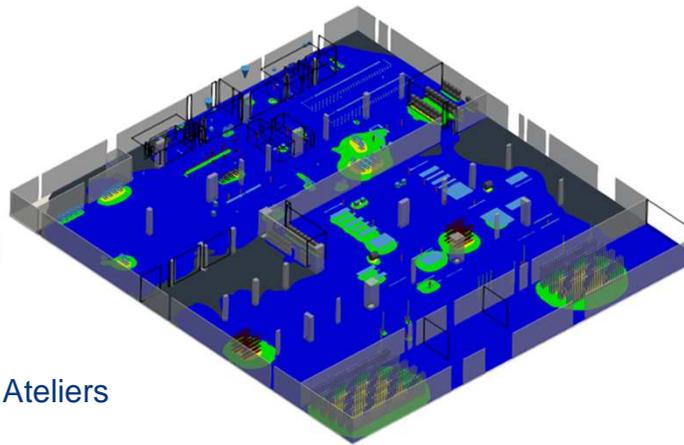
3. Post-traitements des calculs de dose et Réalité Virtuelle

Post-traitements des calculs de dose et Réalité Virtuelle

- Évaluation de dose à **grande échelle**
 - Réacteurs, usines, site nucléaire (au-delà de la limite de site)
- Les améliorations portent sur la mise en valeur des résultats via des **post-traitements avancés** et **immersifs**



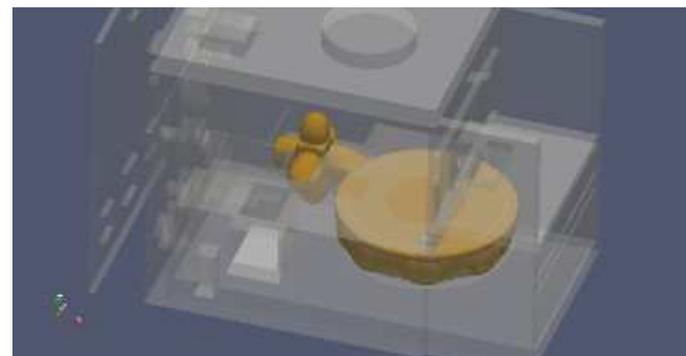
Usines / Ateliers



Réacteurs

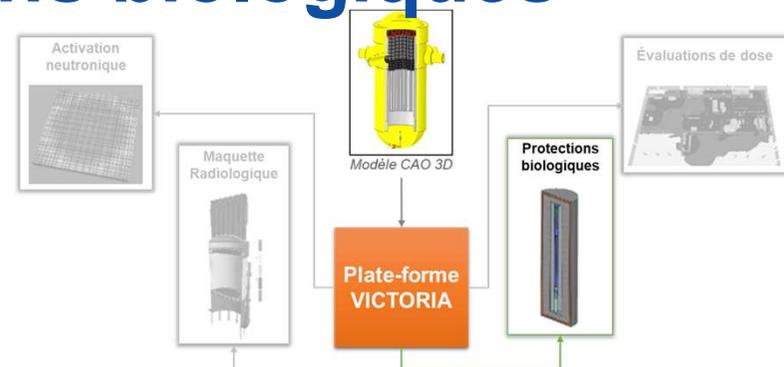
Post-traitements des calculs de dose et Réalité Virtuelle

- Outil de visualisation 3D pour créer des cartographies de dose
 - **Zonage radiologique** équivalent issu des calculs de DED
 - Visualisation de courbes / surfaces iso-dose
- Résultats transposables dans un **environnement de réalité virtuelle**
 - Compréhension facilitée des résultats, en particulier pour un **auditoire multi-métier**
 - **Détections de points sensibles au plus tôt** dans le projet grâce à une vision globale
 - Aide à la découverte de solutions efficaces
 - Présentation interactive et immersive



Développements logiciels Framatome autour des codes Monte Carlo – M. CULIOLI – SFRP2023 – 9-10 mars 2023
© Framatome - Tous droits réservés

4. Dimensionnement de protections biologiques



Développements logiciels Framatome autour des codes Monte Carlo – M. CULIOLI – SFRP2023 – 9-10 mars 2023
© Framatome - Tous droits réservés

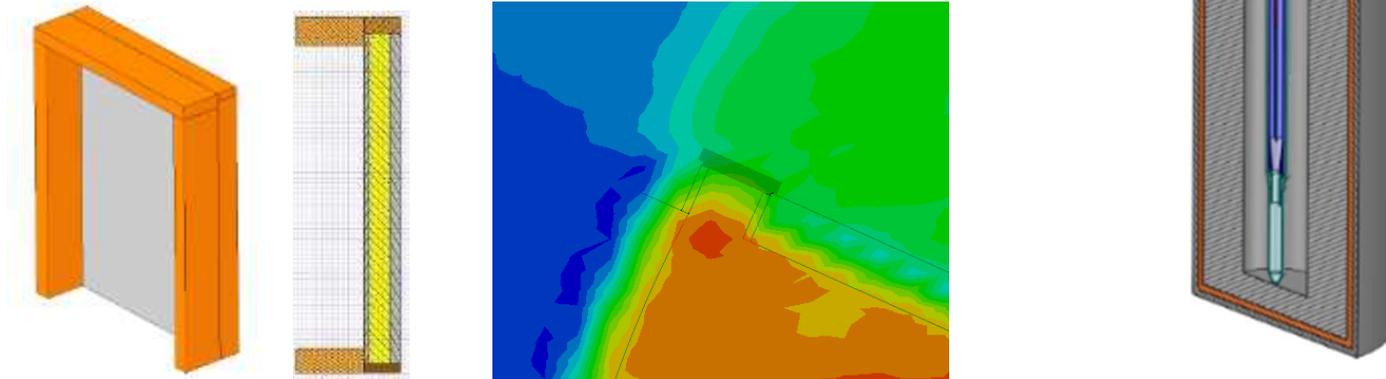
C1 - Framatome Diffusion limitée / Savoir-Faire Framatome / Export Control - AL: N ECCN : N

Dimensionnement de protections biologiques

Séquence classique

- Calculs qui peuvent être **itératifs** et **chronophages**
 - Pré-calculs déterministes ou abaqués
- Optimisations qui s'appuient fortement sur **l'expérience et le jugement ingénieur**

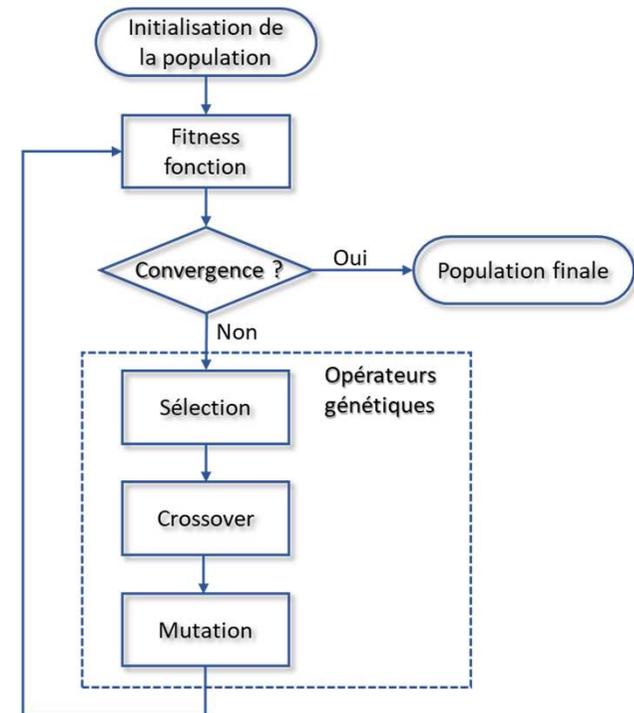
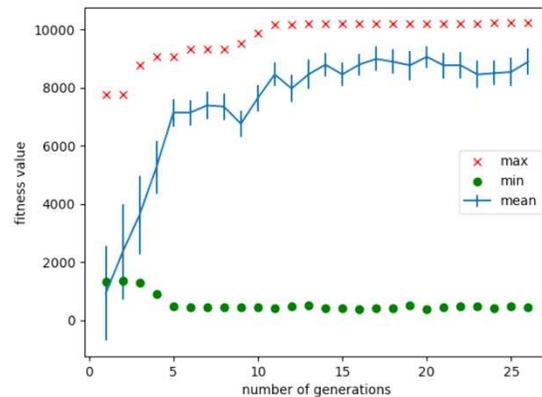
→ Intérêt d'optimiser les étapes itératives par la machine et de l'intelligence artificielle



Dimensionnement de protections biologiques

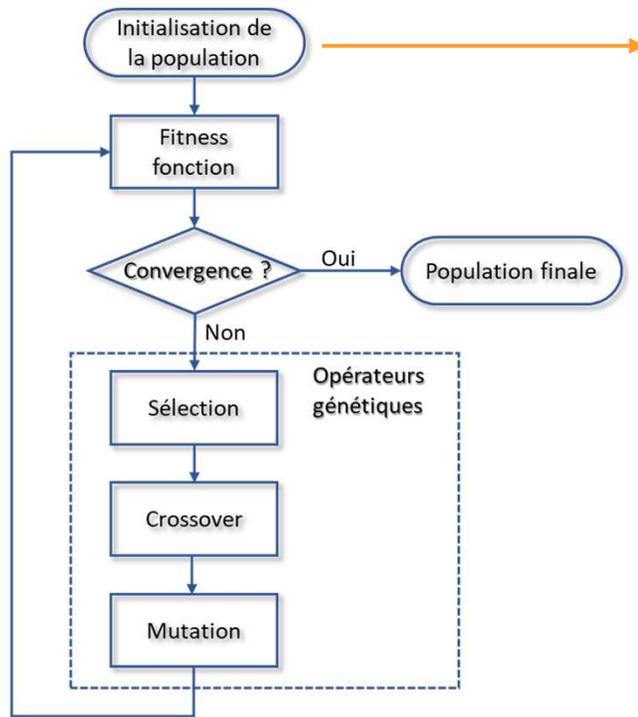
Séquence automatique

- Dimensionnement **automatique** de protections biologiques à l'aide d'un algorithme génétique
 - Intègre des requis utilisateurs (DED cible)
 - Paramétrisation de l'espace des phases (position, matériaux)
 - Optimisation d'une **fonction objectif** pouvant combiner la minimisation des dose, masse, volume et coût

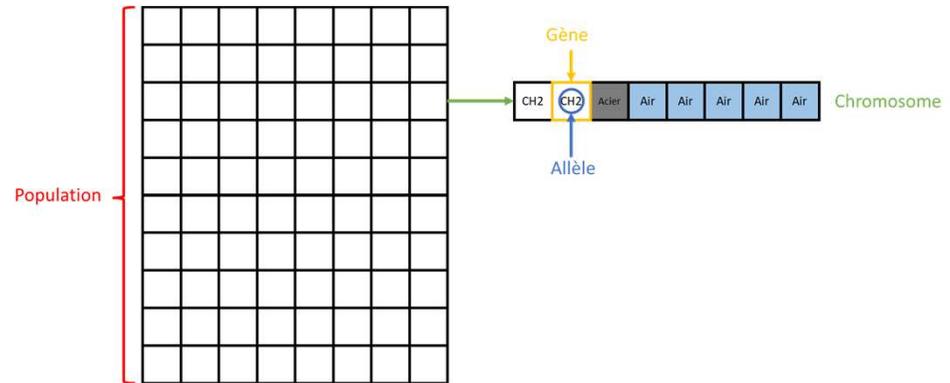


Dimensionnement de protections biologiques

Séquence automatique – Mise en œuvre

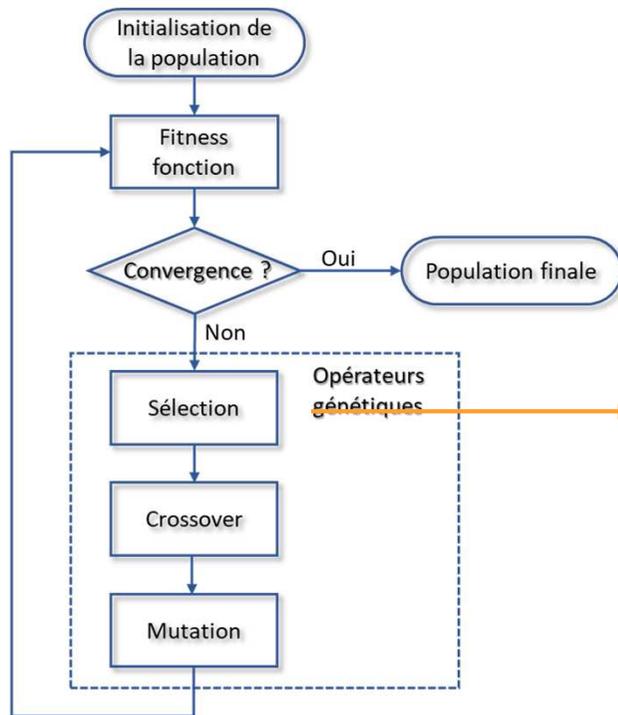


La population représente un ensemble de solutions de protections où les différentes protections sont représentées par des valeurs numériques (chromosomes)



Dimensionnement de protections biologiques

Séquence automatique – Mise en œuvre

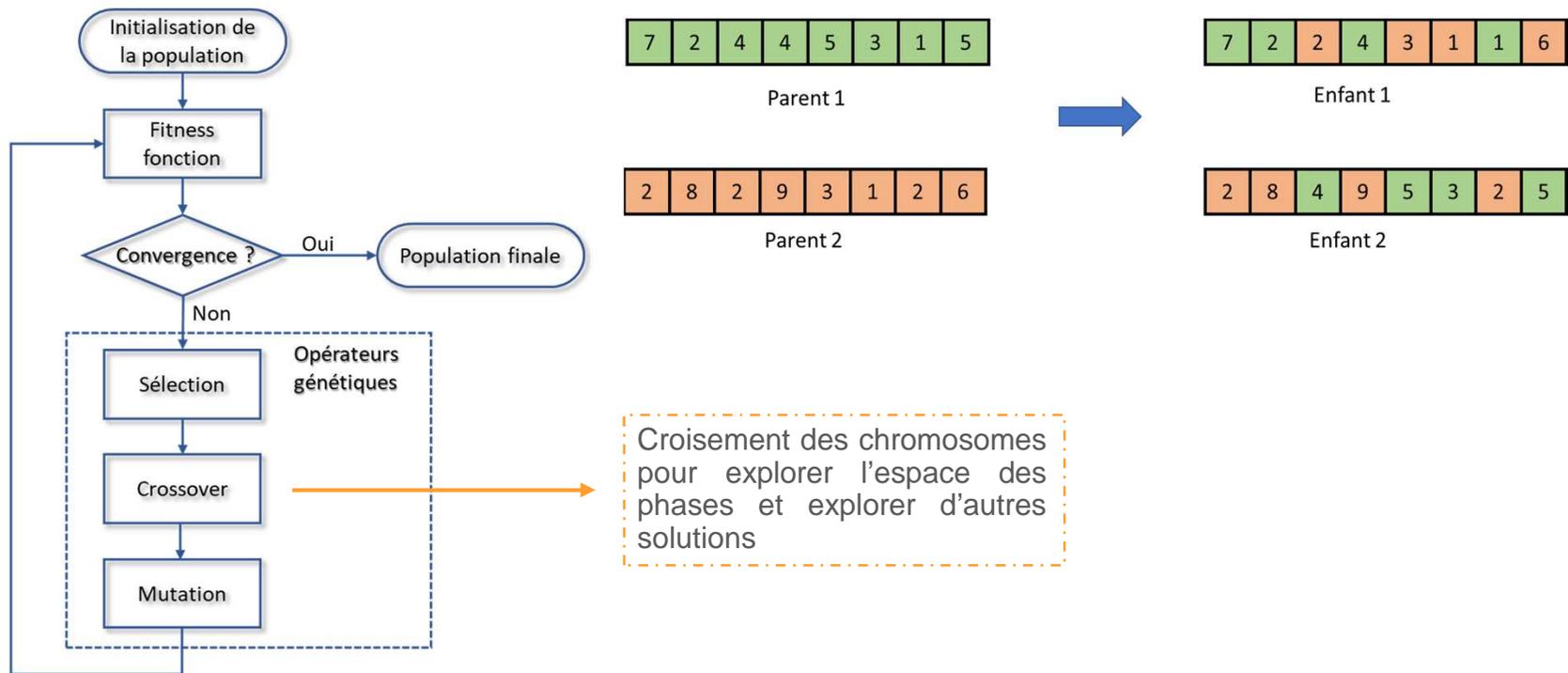


- Chaque protection biologique est associée à un score en fonction de sa qualité
 - Meilleure est la protection, meilleur est le score
 - La sélection se fait en lien avec ce score

Concentration de la population suivante autour des meilleurs individus

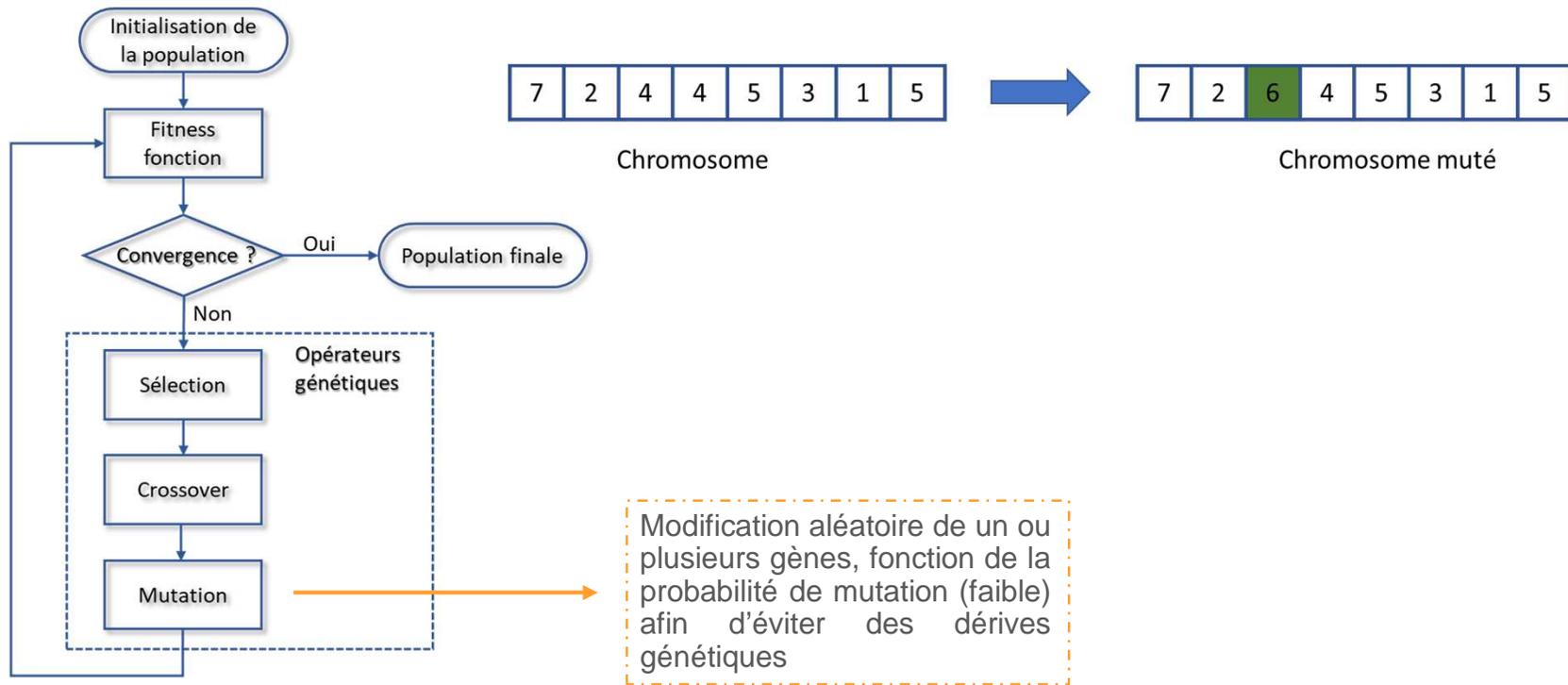
Dimensionnement de protections biologiques

Séquence automatique – Mise en œuvre



Dimensionnement de protections biologiques

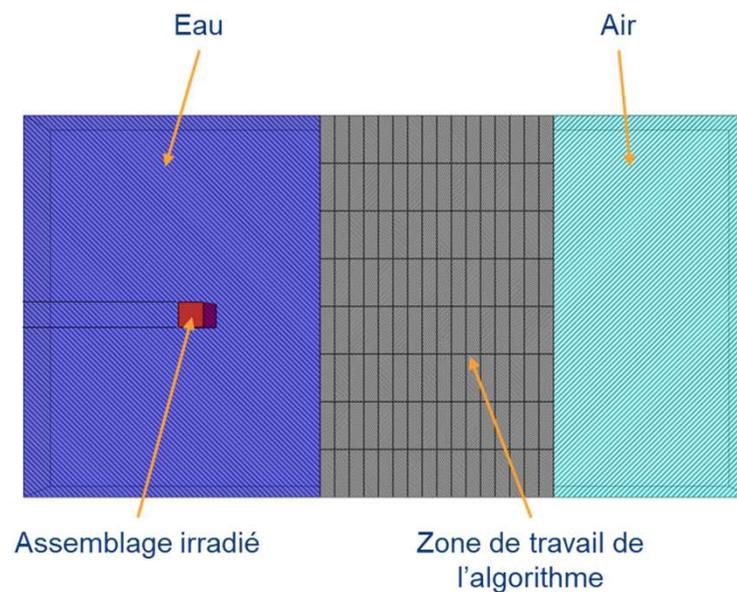
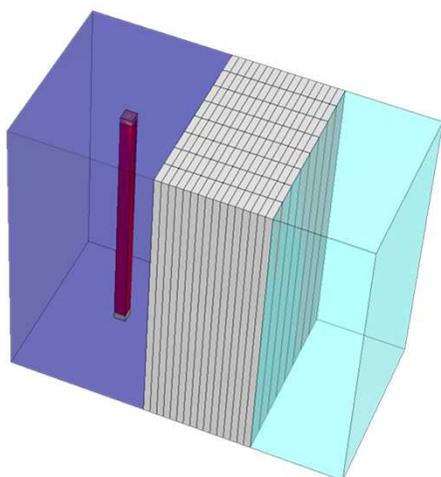
Séquence automatique – Mise en œuvre



Dimensionnement de protections biologiques

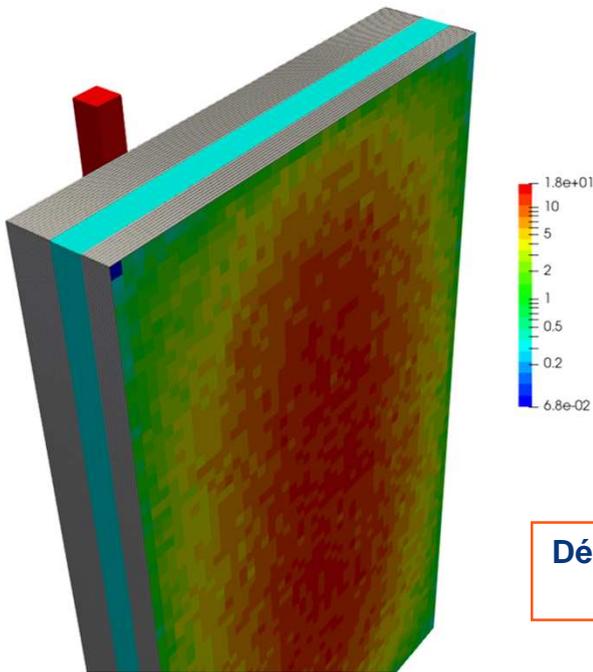
Séquence automatique – Cas pratique

- Exercice de dimensionnement d'une protection biologique face à une source **neutron/gamma**
 - Objectifs : respect d'un **DED cible** au contact + limitations à **3 couches + 2 matériaux** dans la bibliothèque



Dimensionnement de protections biologiques

Séquence automatique – Cas pratique



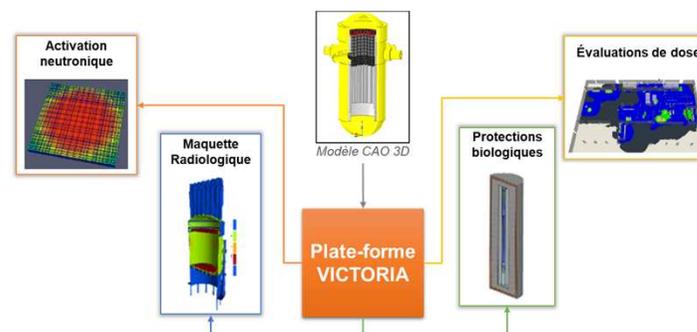
- Résultats
 - Proposition d'une protection biologique qui **respecte** les requis
 - 28 cm acier / 6 cm PEHD / 6 cm acier
 - Protection **cohérente** avec un dimensionnement ingénieur
- Éléments relatifs à la performance
 - ~10 générations
 - ~40 machines à 48 processeurs
 - ~1h de temps machine vs. 2-3 jours de temps ingénieur

Démonstration de l'applicabilité d'algorithmes intelligents aux études RP
→ Suites prévues sur la généralisation à des cas d'études complexes

6. Conclusion

Conclusion

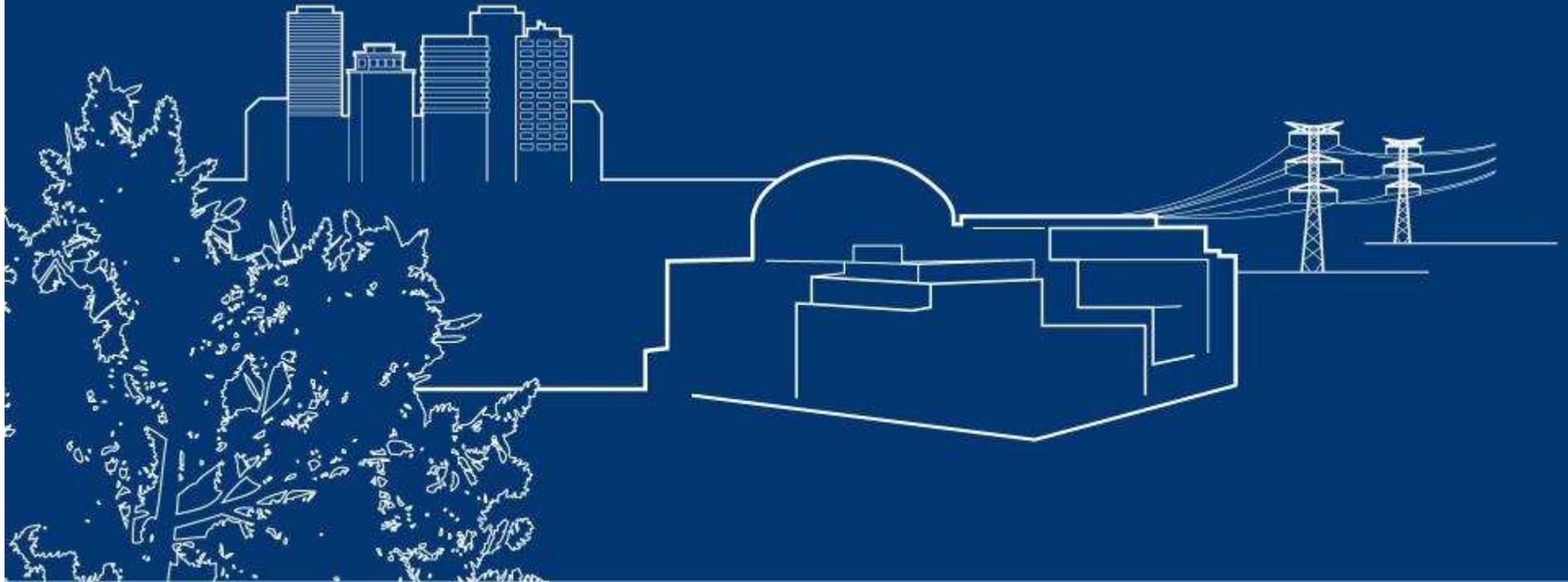
- Framatome dispose d'un **environnement informatique unique** pour répondre à différentes problématiques : calculs d'activation, estimation d'inventaires radiologiques, évaluation de doses, dimensionnement de protections biologiques
 - Intègre des outils **CAO** pour générer des modélisations complexes
 - Format **générique** permettant une **continuité numérique de l'information**
 - Mise en œuvre de techniques hybrides de **réduction de la variance** afin d'améliorer les calculs Monte Carlo
 - Utilise des **algorithmes intelligents**
 - *Pour remplacer des calculs d'activation (calculs sur des semaines → heures)*
 - *Pour dimensionner automatiquement des protections biologiques selon plusieurs contraintes*
 - Outils de **visualisation 3D** pour faciliter l'analyse des résultats
 - Produit des résultats exploitables en **réalité virtuelle**
 - *Compatible avec un auditoire multi-métier*
 - *Détections de points sensibles au plus tôt*



Apporte une réponse efficace et rapide aux différents besoins du projet (anticipation des demandes facilitée par la réalisation de sensibilités et la parallélisation des études)

framatome

Merci



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.

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.