





ALARA à la conception de l'EPR™

Patrick Jolivet

Ingénieur d'études chimie des fluides et radioprotection
Expert AREVA

5èmes Journées SFRP, Saint-Malo, 29 septembre 2010



Qu'est-ce que l'EPR™ ?

- ▶ Réacteur nucléaire à eau pressurisée de génération III+
 - ◆ Quatre unités en cours construction
- ▶ « Basic Design » commencé en 1995
 - ◆ Conception et évaluation de sûreté commune franco-allemande



OLKILUOTO, FINLANDE

Quelques caractéristiques « évolutionnaires » de l'EPR™



- ▶ **Durée de vie de 60 ans et disponibilité élevée**
- ▶ **Accès du bâtiment réacteur en fonctionnement en puissance**
 - ◆ Limiter les durées d'arrêt
- ▶ **Meilleur rendement neutronique et gestions combustibles optimisées**
 - ◆ Réflecteur lourd autour du cœur
 - Moins d'activation des structures et du béton du puits de cuve
 - ◆ Limitation des rejets liquides et gazeux en produits de fission à puissance comparable
- ▶ **Radioprotection en situation normale et post-accidentelle**
 - ◆ Viser une dosimétrie collective aussi basse que les meilleures tranches
 - ◆ Réduire les conséquences radiologiques et sur les populations en cas de rejets
 - ◆ Accessibilité d'intervenants pour maintenance post-accidentelle dans des conditions radiologiques acceptables



Certaines « évolutions » sont en fait de petites « révolutions », notamment concernant la prise en compte d'une démarche radioprotection systématique à la conception

Réglementation radioprotection et autres textes applicables

▶ Directive Européenne 96/29

- ◆ Optimisation des doses selon la démarche ALARA
- ◆ *Limites réglementaires de dosimétrie individuelle*

▶ European Utility Requirements (EUR)

- ◆ Choix de matériaux à faible relâchement
- ◆ Limitation des éléments activables dans les matériaux en contact avec le circuit primaire
- ◆ ...

▶ Valeurs contractuelles de dosimétrie collective

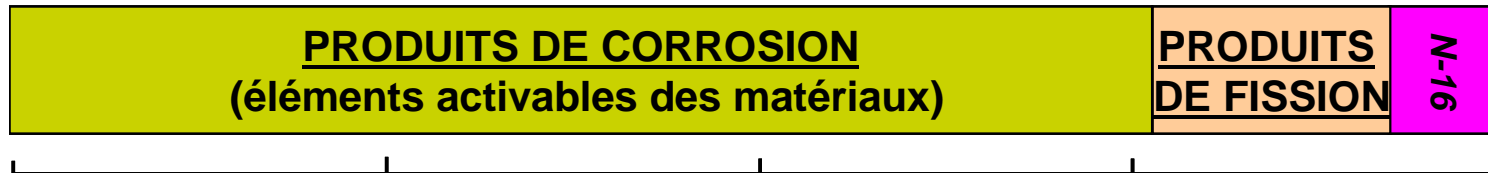
- ◆ **Revue à la baisse au cours des différentes étapes de conception**
 - Basic Design 1995: 0.75 h-Sv/tranche
 - Phase d'optimisation 1999: 0.50 h-Sv/tranche
 - Objectif EDF pour Flamanville 3: 0.35 h-Sv/tranche
- ◆ **Valeur moyenne sur 60 ans de durée de vie**
 - Défi qui impose de fiabiliser sur l'EPR™ les performances des meilleures tranches

▶ Guides internes de conception radioprotection dès 1995

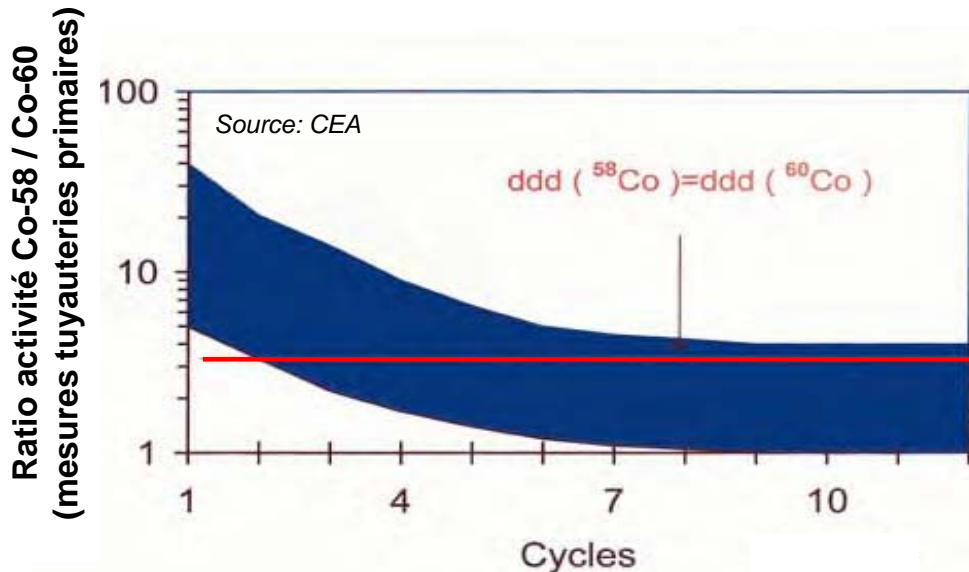
- ◆ Démarche des Allemands pour les tranches KONVOI
- ◆ Itérations lors des différentes étapes de conception

Démarche ALARA: sur quoi faire porter l'effort ?

- Contributions estimées à la dose collective en configuration EPR™



100%
 >> La contamination en produits de corrosion représente plus de $\frac{3}{4}$ de la dosimétrie.
 La sélection des matériaux constitue un aspect essentiel pour réduire les doses



- Sur le long terme (60 ans) ?

Contribution majoritaire du **Cobalt-58** en début de vie

Source: Nickel

Contribution majoritaire du **Cobalt-60** après quelques cycles

Source: Cobalt

>> Réduire l'inventaire en Cobalt

Description des sources radioactives

► Sources réalistes utilisées pour la conception radioprotection

◆ Produits de corrosion déposés (contamination fixe des équipements)

- Choix des matériaux
- Protections biologiques autour des équipements concernés
- Limitation des débits de dose dans les locaux

◆ Produits de corrosion véhiculés par les systèmes fluides

- Protections biologiques autour des systèmes de traitement d'effluents
- Spécifications radiochimiques des fluides

◆ Produits de fission véhiculés par les systèmes fluides

- Protections biologiques autour des systèmes de traitement d'effluents
- Dimensionnement de la ventilation afin de supprimer le risque d'exposition par inhalation de gaz radioactifs lors de l'accès du bâtiment réacteur en puissance

◆ Neutrons, rayonnement gamma du cœur et produits d'activation de l'eau (N-16)

- Limitation du risque d'irradiation pendant l'accès du bâtiment réacteur en puissance

◆ Manutention des assemblages de combustible

- Dimensionnement des murs de piscine et des hauteurs d'eau
- Dimensionnement des protections biologiques autour du tube de transfert

◆ Sources en situation post-accidentelles

- Définies en fonction de l'inventaire cœur, des scénarios retenus par la sûreté et du référentiel méthodologique applicable

Comment limiter les sources radioactives ?

- ▶ **Choix de matériaux résistants à la corrosion en milieu primaire et présentant un faible relâchement**
 - ◆ Aciers inoxydables
 - ◆ Alliages base Nickel
- ▶ **Limitation de la corrosion généralisée en milieu primaire et du transport des produits de corrosion par une spécification chimique optimisée du fluide primaire**
 - ◆ pH, taux d'hydrogène
 - ◆ Mise à l'arrêt à froid
- ▶ **Limitation de l'usure des revêtements à base Cobalt**
 - ◆ Conception mécanique appropriée
 - ◆ Recherche de solutions alternatives sans Cobalt ou optimisation des surfaces
- ▶ **Système de purification du circuit primaire performant**
 - ◆ Débit et efficacité
 - ◆ Dégazage
- ▶ **Fabrication industrielle**
 - ◆ Fiabilisation de la gamme de fabrication des tubes GV
 - ◆ Eviter les zones de rétention des produits de corrosion

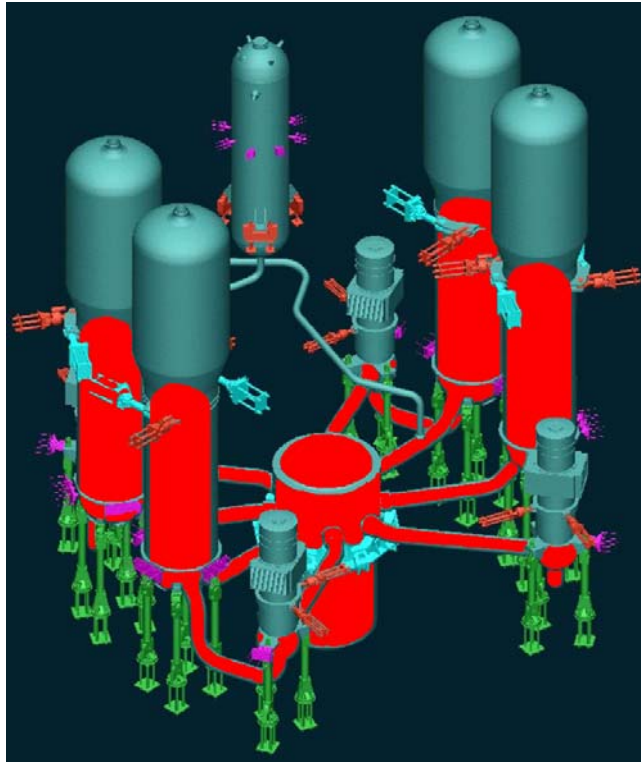
Etudes de radioprotection ALARA à la conception

- ▶ **Application du retour d'expérience des meilleures tranches des parcs en exploitation**
 - ◆ Tranches Françaises de type N4
 - ◆ Tranches Allemandes de type KONVOI
- ▶ **Limiter les sources d'exposition selon ALARA**
 - ◆ **Prise en compte des coûts ou des surcoûts**
 - Utilisation d'alliages de substitution des revêtements durs à base Cobalt (Stellite™)
 - Epaisseurs de murs de béton
 - ...
 - ◆ **Analyse de la faisabilité industrielle**
 - Limitation du cobalt résiduel dans les matériaux
 - Limitation du nombre de soudures à inspecter sur les équipements
 - Qualification sur 60 ans de revêtements durs sans Cobalt
- ▶ **Guides de radioprotection pour la conception systèmes, composants et installation générale**
- ▶ **Adaptation du retour d'expérience à la configuration de l'EPR™**
 - ◆ **Nécessité de disposer d'une palette d'outils de calculs**

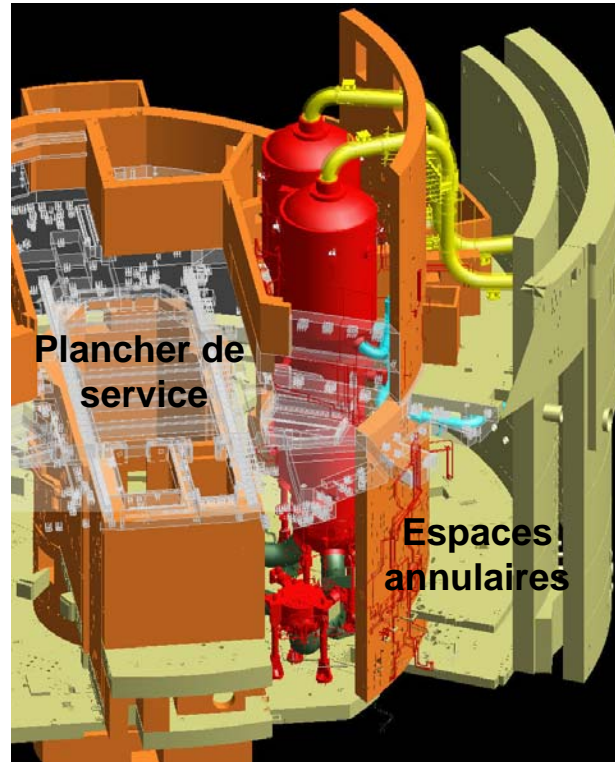
Vérification du dimensionnement des protections biologiques

► Accès du bâtiment réacteur en puissance

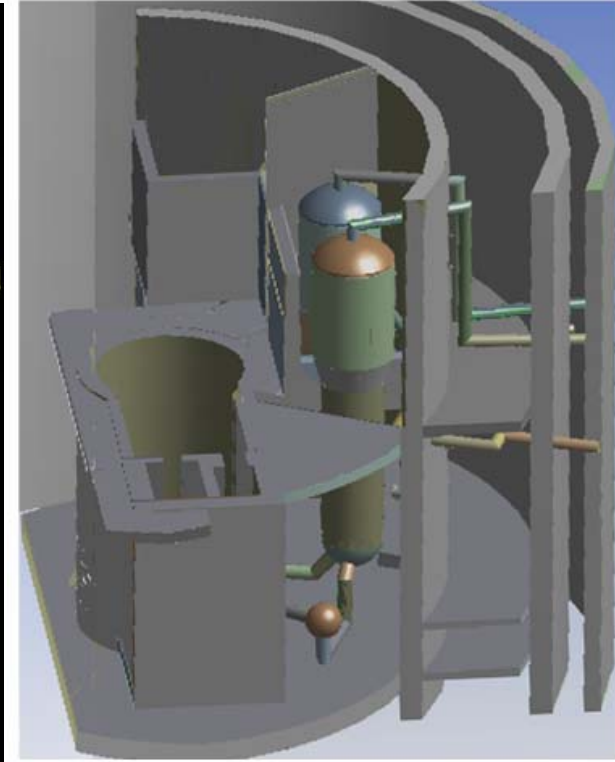
SOURCES N-16 ET NEUTRONS



MAQUETTE 3D CAO



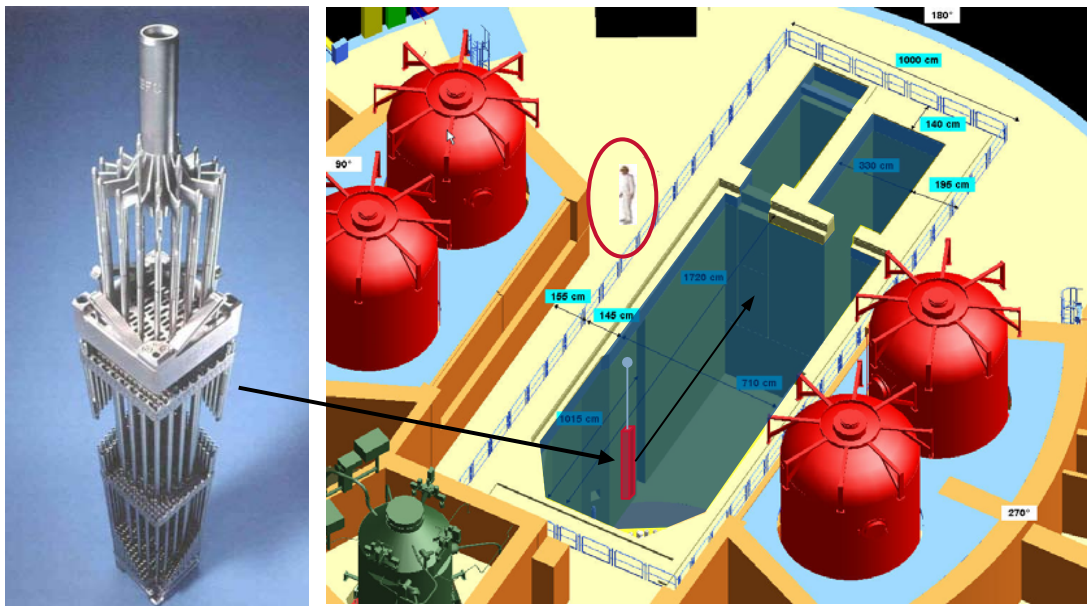
MODELISATION MONTE-CARLO



Dimensionnement des murs, portes RP
et zones singulières pour viser des zones « vertes »

Vérification du dimensionnement des protections biologiques

- Dimensionnement des hauteurs d'eau et des protections biologiques lors de la manutention du combustible et des internes de cuve



Combustible



Lances d'instrumentation



Zones vertes « visées » aux endroits accessibles

Interactions avec d'autres disciplines

- ▶ **RP et installation générale**
 - ◆ Epaisseurs de murs, de portes
 - ◆ Agencement des systèmes dans les locaux
- ▶ **RP et génie civil**
 - ◆ Interaction avec l'installation générale
 - ◆ Qualité du béton (densité, composition)
- ▶ **RP et conception systèmes fluides**
 - ◆ Purification, radiochimie
 - ◆ Procédures fonctionnement normal et arrêt
- ▶ **RP et neutronique**
 - ◆ Sources gamma et neutrons
- ▶ **RP et conception équipement/ matériaux**
 - ◆ Inventaire Cobalt
 - ◆ Eviter les zones de rétention
 - ◆ Faciliter la décontamination
- ▶ **RP et sûreté**
 - ◆ Référentiels applicables
 - ◆ Questions relatives à la certification « Licensing »

Conclusion

- ▶ **La radioprotection de l'EPR™ est un métier très transverse**
- ▶ **L'EPR™ dans sa conception standard bénéficie de dispositions de radioprotection mises en place dès le début du « Basic Design » à travers une démarche ALARA systématique**
 - ◆ Application du retour d'expérience des meilleures tranches
 - ◆ Calculs et justifications en configuration EPR™
 - ◆ Réduction de certains conservatismes inutiles des centrales KONVOI
- ▶ **Les concepteurs prévoient une dosimétrie collective faible en moyenne sur 60 ans, compatible avec les objectifs affichés par les futurs exploitants**
- ▶ **Parmi les projets EPR™ en cours, les différences locales de réglementation ou des exigences particulières des Clients ne remettent pas en cause la conception standard**
 - ◆ Nécessité d'une analyse et d'une instruction au cas par cas

Certification de conformité de l'EPR™ aux exigences des EUR

- ▶ Certification officielle de conformité de l'EPR™ aux exigences EUR délivrée le 15/07/2009



François Hédin (à gauche) remet la certification EUR à Philippe Knoche (AREVA)



Le réacteur satisfait plus de 99% des 4 675 exigences, dont les aspects relatifs à l'optimisation et la réduction des doses



MERCI POUR VOTRE ATTENTION