



27^{ème} congrès de l'ATSR – 20-22
septembre 2022

**Les grandes options de
radioprotection à la conception des
nouveaux modèles de réacteurs : cas
de l'EPR2 et de NUWARD™**



Thomas Jobert (EDF Direction Technique DIPNN)
Thomas.jobert@edf.fr
Sébastien Lavorel (NUWARD™)
Matthieu Longeot, Sébastien Poirrier (EDVANCE)

Les grandes options de radioprotection à la conception des nouveaux modèles de réacteurs : cas de l'EPR2 et de NUWARD™

Les principales caractéristiques de NUWARD™ et EPR2

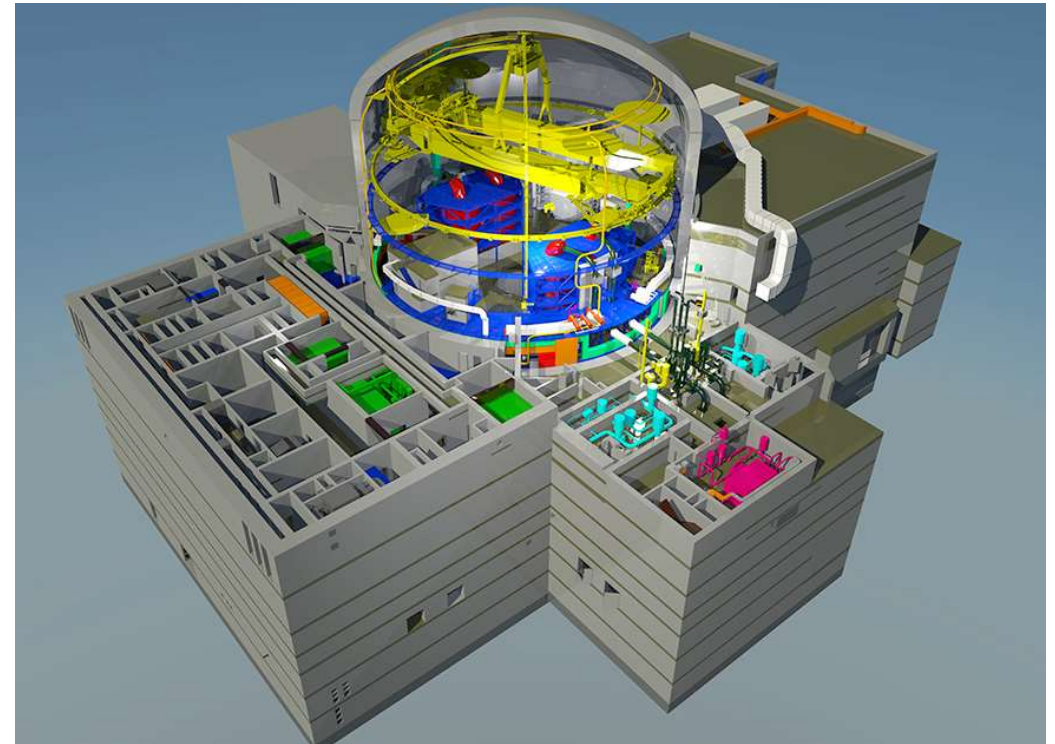
Bases de conception : le référentiel documentaire et sa déclinaison (ex : les objectifs RP, les zonages)

La démarche d'optimisation à la conception

Les grands principes de radioprotection

L'optimisation des interventions "dosantes"

La prise en compte à la conception des situations accidentelles



i. Les principales caractéristiques de NUWARD™ (1/2)



Une puissance nominale de 340 MWe (2 réacteurs intégrés de 540 MWth, combustible UO2 enrichi à moins de 5%).



Design modulaire et standardisé, pour un assemblage en usine et un délai de chantier réduit au maximum.



Sûreté passive pour garantir l'absence de contre-mesures au-delà des limites du site (incl. en postulant une situation accidentelle).



Design international pour satisfaire les exigences de multiples autorités de sûreté sans re-design important.



Cible de 1^{er} béton de la centrale de référence en France en 2030.



Polyvalence by-design pour l'usage en cogénération, production d'hydrogène, désalinisation, capture et valorisation du CO₂.



Optimisation de l'intégration dans le paysage et de l'impact environnemental

NUWARD™, un réacteur de **génération III+** conçu à partir des meilleurs standards de sûreté



EDF se réserve tous les droits sur ce document et sur les informations qu'il contient. Toute reproduction, utilisation ou divulgation à des tiers sans autorisation expresse est strictement interdite

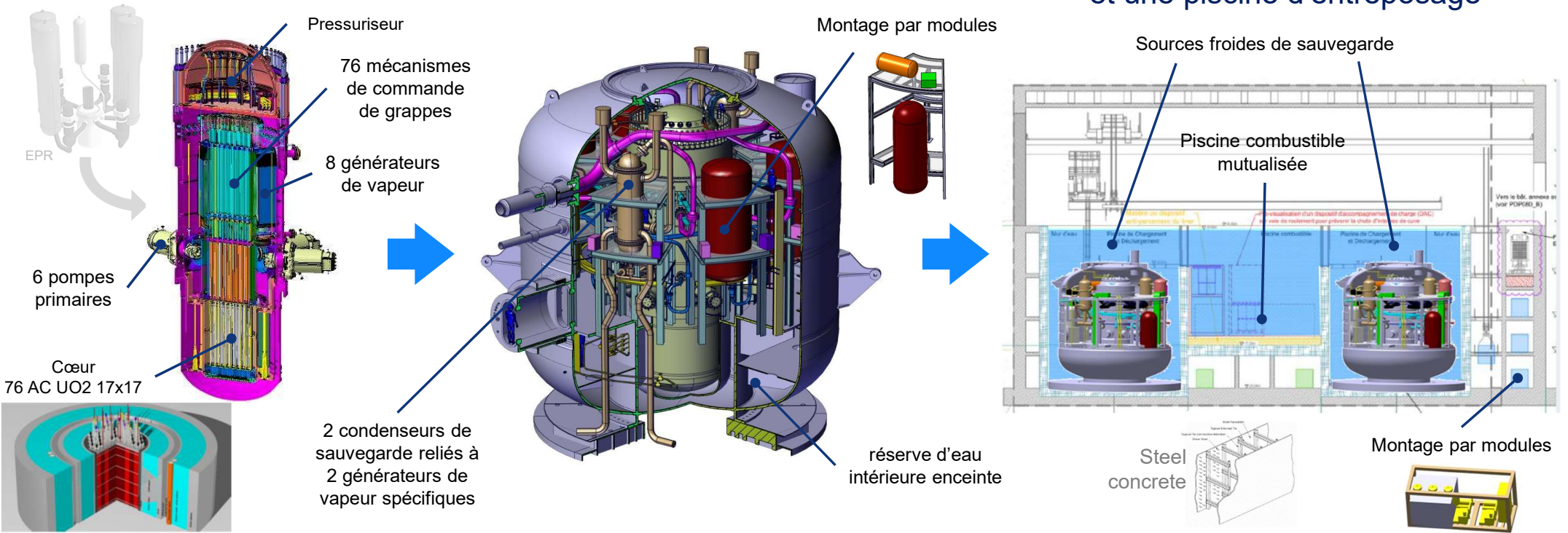
nuward

i. Les principales caractéristiques de NUWARD™ (2/2)

Un réacteur intégré...

...dans une enceinte métallique immergée dans un bassin d'eau

... installé dans un flot nucléaire comprenant 2 réacteurs de 170MWe et une piscine d'entreposage



Une centrale de 340 MWe comprenant 2 réacteurs intégrés



EDF se réserve tous les droits sur ce document et sur les informations qu'il contient. Toute reproduction, utilisation ou divulgation à des tiers sans autorisation expresse est strictement interdite

nuward

ii. Les principales caractéristiques d'un EPR2



Qu'est-ce qu'un EPR2 ?

Un EPR, dans sa version optimisée, pour améliorer sa compétitivité :

Des points communs

Une même puissance (1670 MWe)

Une paire d'EPR2 produit chaque année l'équivalent de la consommation de 50% d'une région comme l'Île-de-France

Des matériels et équipements techniques semblables pour limiter les risques industriels

Des performances de sûreté parmi les plus élevées au monde

Des performances environnementales (rejets, 30% de MOX, etc.) toujours plus optimisées

... et des différences

Un design simplifié pour faciliter la construction

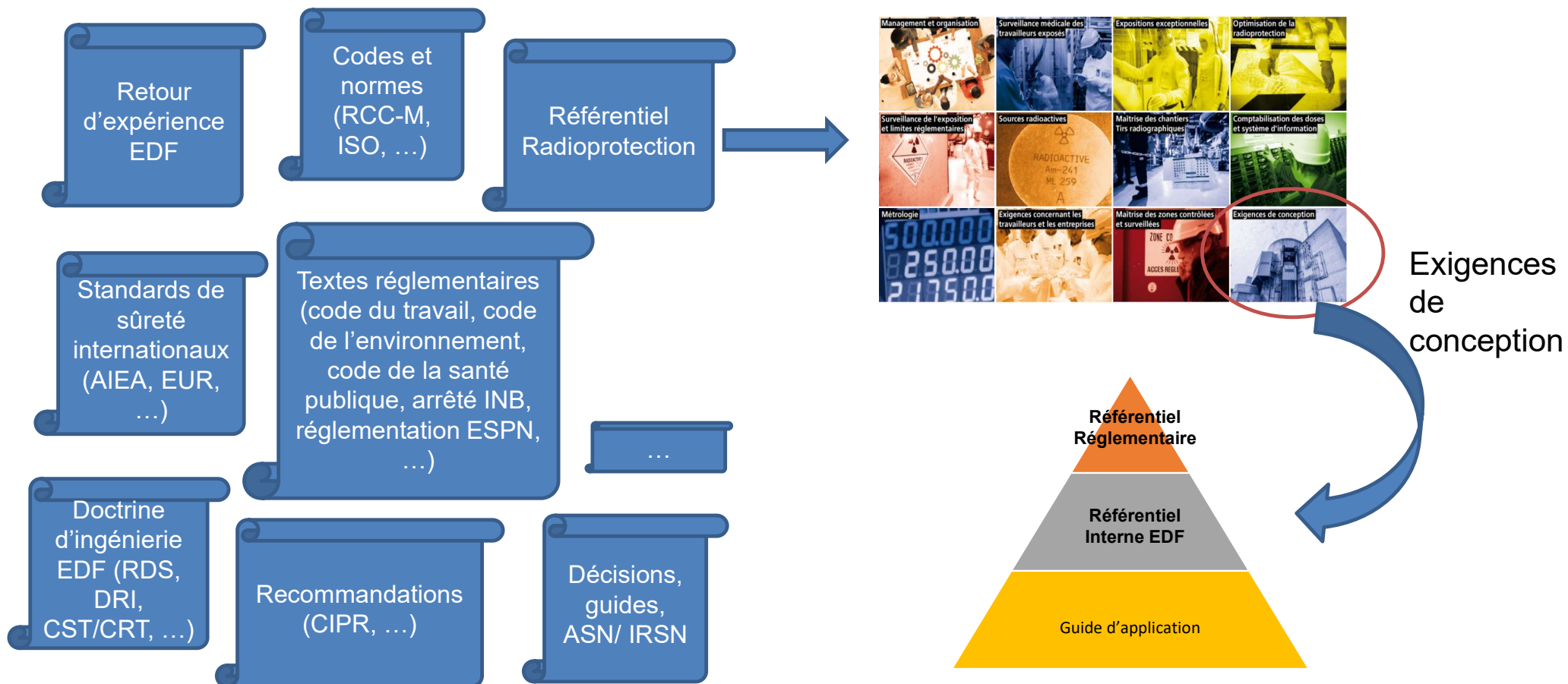
Des modifications d'options suite au retour d'expérience des exploitants

- suppression de l'option maintenance en puissance (3 trains de sauvegarde)
- abandon de l'option entrée dans le BR en puissance générant la suppression du « 2 rooms concept »

Une absence de double enceinte de confinement (enceinte + liner)

Une construction par paire pour bénéficier de l'effet de série

1. Bases de la conception : le référentiel documentaire



2. Les Objectifs RP de conception

- **Objectif de dosimétrie collective**
 - EPR2 : 0,35 H.Sv/an/tranche

- **Objectif de propreté radiologique**
 - EPR2, NUWARD : mode EVEREST

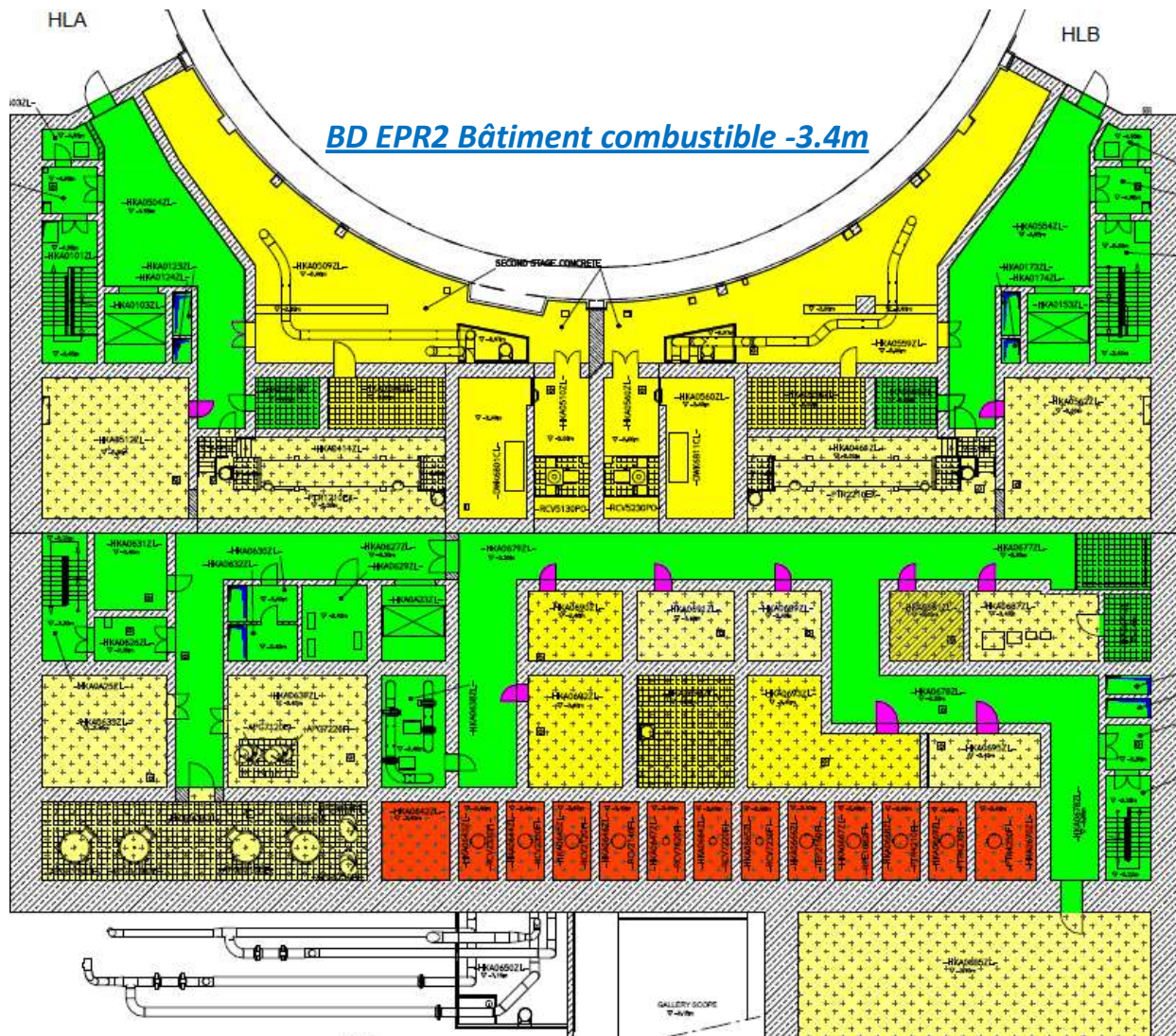
- **Objectifs de débits dose dans les locaux**
 - Exemples EPR2 :
 - Zones de passages fréquents (couloirs, par ex) et laboratoires pour échantillonnage : **10 μ Sv/h**
 - Bords des piscines, accès aux zones de travail : **25 μ Sv/h**
 - Zones du BR d'accès exceptionnel (sûreté) : **2 mSv/h** (pré-dimensionnement)



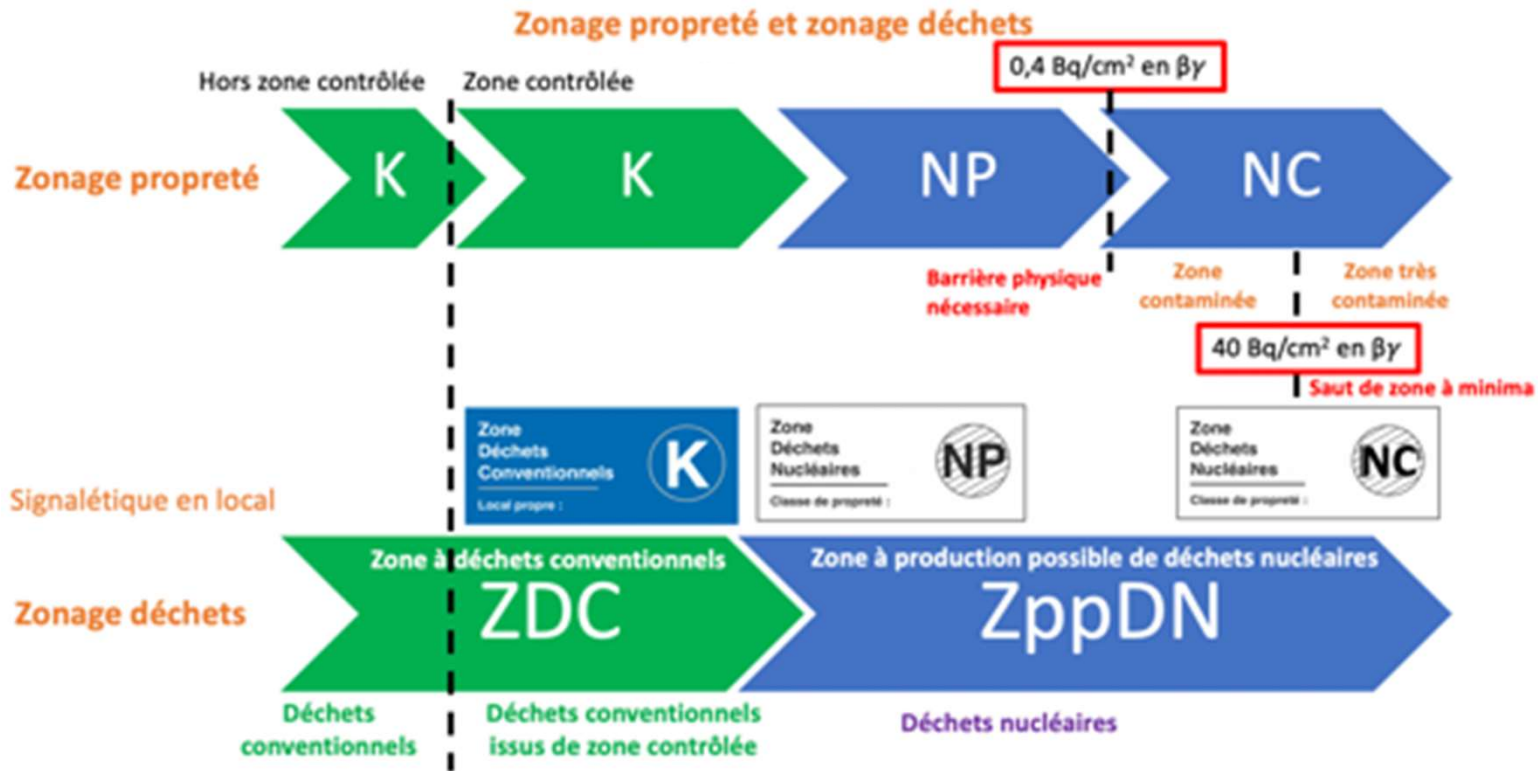
3. Le zonage radiologique de conception

RADIATION PROTECTION ROOM CLASSIFICATION												
SUBZONE		GREEN ZONE		CLEAR YELLOW ZONE		DARK YELLOW ZONE		ORANGE ZONE			RED ZONE	
DOSE RATE		10 μSv/h	25 μSv/h	0.1 mSv/h	0.2 mSv/h	1 mSv/h	2 mSv/h	10 mSv/h	30 mSv/h	0.1 Sv/h	0.3 Sv/h	
Rooms with no iodine risk	No aerosol risk or non-fixed contamination	A	2.5A	B1	2B1	C1	2C1	D1	3D1	E1	3E1	F1
	Aerosol risk	--	+B2	+2B2	+C2	+2C2	+D2	+3D2	+E2	+3E2	+F2	
	Iodine risk	--	B3	2B3	C3	2C3	D3	3D3	E3	3E3	F3	
Access		Regulated work area		Regulated stay area				Limited stay area				

- **Données d'entrée :**
Les « termes sources » de dimensionnement, basés sur :
 - Le REX EDF (mesures d'activités volumiques, surfaciques, ...),
 - Des calculs d'activation des structures, systèmes et composants,
 - Les performances des systèmes, leurs modes de fonctionnement et d'exploitation (calculs)
- **Calculs de propagation des rayonnements**



4. Le zonage Déchets / Propreté radiologique

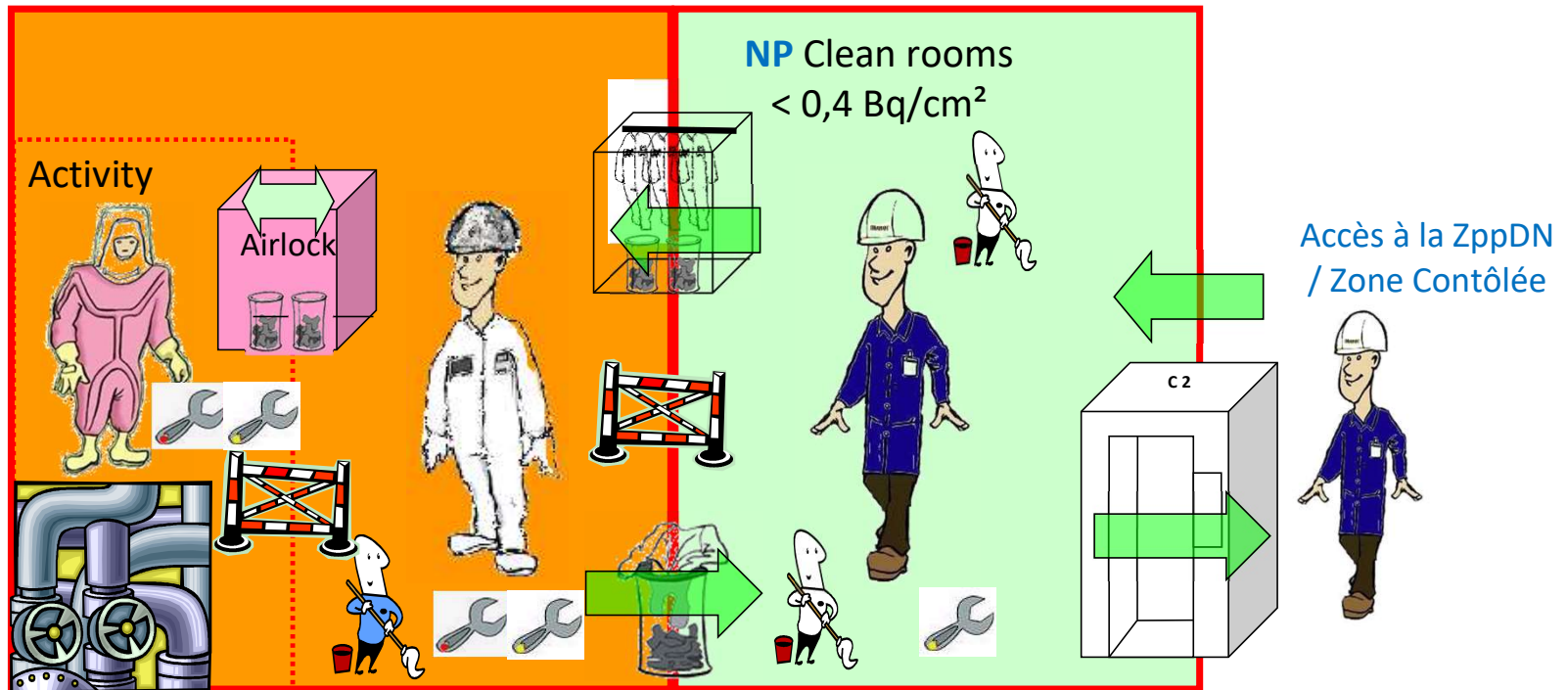


Eviter un zonage en « tâches de léopard »

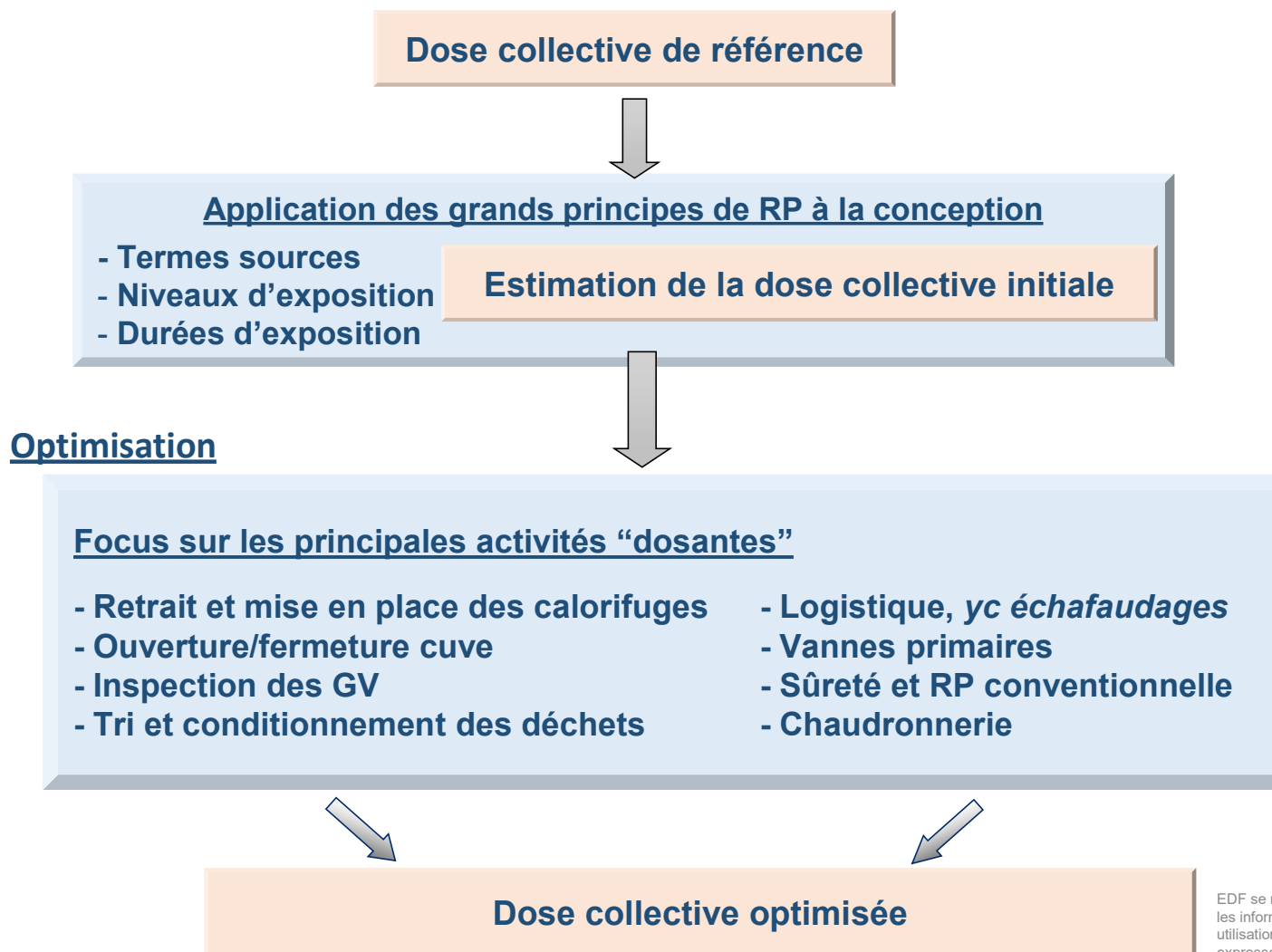


4. Le zonage Déchets / Propreté radiologique

- Objectif de propreté radiologique pour EPR2 et NUWARD : le mode EVEREST



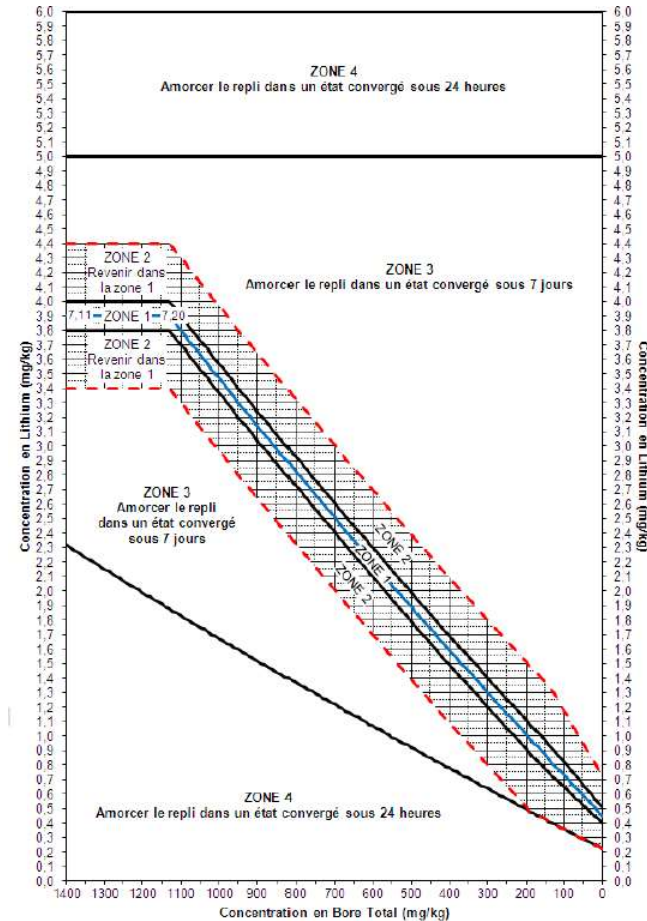
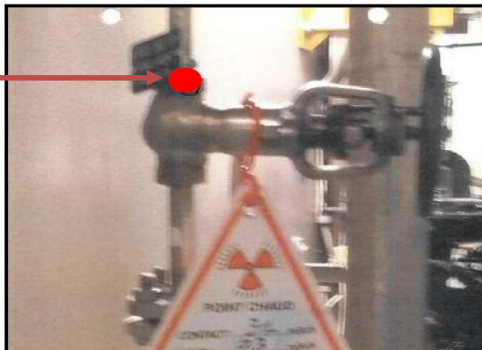
5. La démarche d'optimisation



6. Les grands principes de conception (1/3)

- **Maitrise du TS (Co-58 & Co-60, notamment)**
 - Optimisation des matériaux (limitation des surfaces stellitées, des teneurs en Co-59, limitation de l'emploi de l'Ag, suppression du Sb, matériau des GV innovant, ...)
 - Optimisation du conditionnement chimique en vue de limiter les phénomènes de corrosion/relâchement des produits de corrosion (pH, teneur en H₂, injection de zinc, passivation des surfaces, ...)
 - Réduction des dépôts et points chauds (électropolissage des BAE GV ; limitation des SW, ...)
 - Décontaminabilité des équipements (conception) et des surfaces (peintures, ...)

Point chaud



Coordination B/Li EPR (pH_{300°C} constant = 7,2)

EDF se réserve tous les droits sur ce document et sur les informations qu'il contient. Toute reproduction, utilisation ou divulgation à des tiers sans autorisation expresse est strictement interdite.

afcen

Publication technique de l'AFCCN – Sous-commission RCC-M

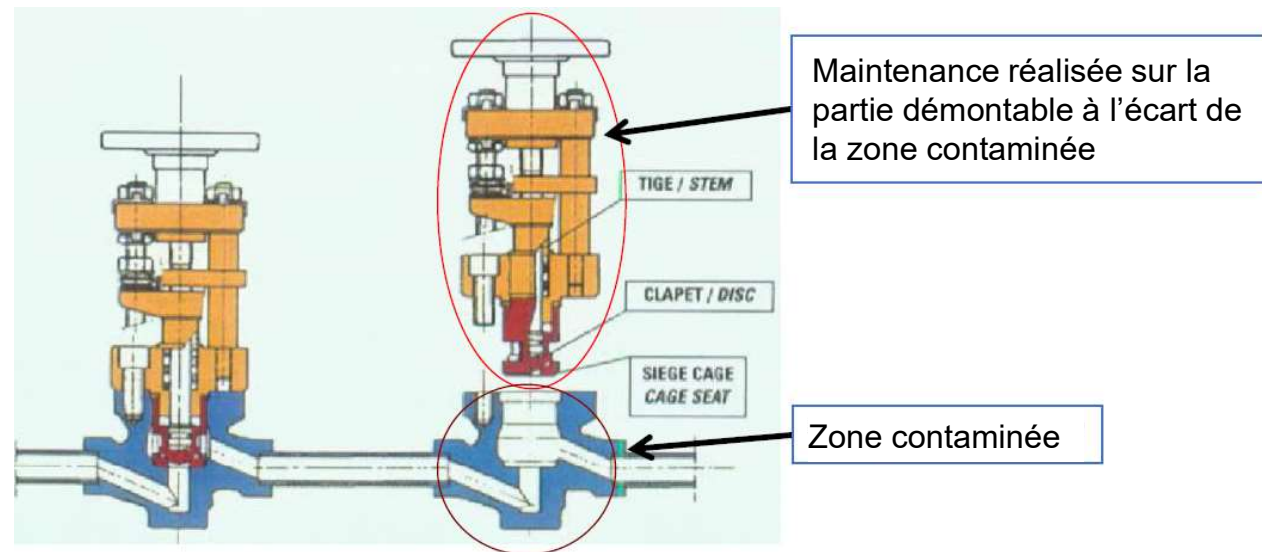
Guide de radioprotection
pour la conception des équipements
sous pression nucléaires
des centrales REP¹
installées en France

RM 13-067/B

6. Les grands principes de conception (3/3)

- **Maitrise du volume de travail exposé**

- Règles d'installation des locaux/équipements pour faciliter la circulation des personnes et la réalisation des opérations de maintenance,
- Installation de plateformes fixes autour des GV (trous d'homme, trous de poing, trous d'œil),
- Optimisation de la géométrie des BAE GV et dispositif de mise en place rapide des tapes GV,
- Choix d'options de design pour limiter les opérations de maintenance en AT (ex : optimisation en temps en nombre des interventions en fond de piscine BR à proximité du couvercle lors des opérations d'ouverture/fermeture cuve),
- Montage/démontage rapide des calorifuges,
- Maintenance rapide des organes de robinetterie :



7. L'optimisation des interventions « dosantes » (1/6)

- Exemple NUWARD™ : optimisation de l'exposition aux rayonnements issus des Assemblages du Combustible



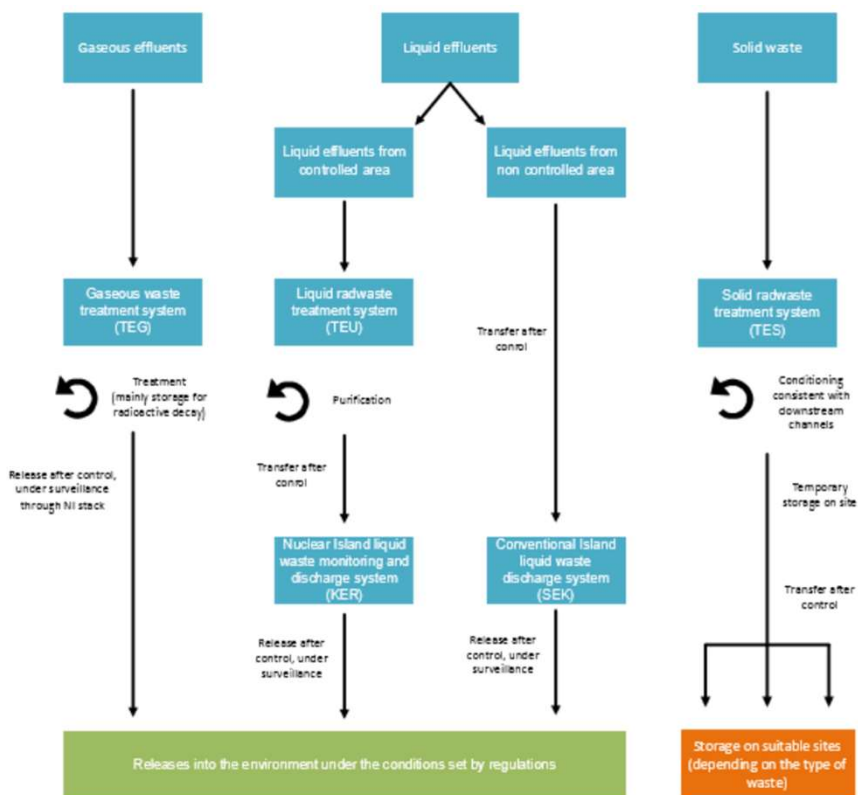
Débits de dose en mSv/h

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	1,7E-04	7,6E-04	2,6E-03	6,1E-03	9,4E-03	9,3E-03	5,8E-03	2,4E-03	7,1E-04	1,5E-04
2	1,9E-05	9,6E-05	2,2E-04	2,3E-04	4,4E-05	6,0E-05	2,5E-04	2,1E-04	8,8E-05	1,7E-05
3	1,4E-07	8,3E-07	1,7E-05	2,4E-05	1,3E-06	3,0E-06	2,5E-05	1,4E-05	7,1E-07	1,4E-07
4	2,1E-08	1,1E-08	1,4E-07	2,6E-06	1,3E-07	2,3E-07	2,8E-06	1,2E-07	1,2E-08	2,0E-08
5	3,3E-10	2,0E-09	1,1E-09	2,8E-07	1,4E-08	2,3E-08	2,3E-07	8,8E-10	1,8E-09	2,5E-10
6	3,4E-12	1,8E-10	1,3E-11	6,7E-09	1,2E-09	2,1E-09	3,0E-09	1,1E-11	2,2E-10	3,0E-12
7	1,1E-13	1,9E-12	1,2E-12	1,2E-10	1,3E-10	2,5E-10	5,9E-11	1,6E-12	1,4E-12	1,9E-13
8	4,4E-14	2,5E-14	3,9E-14	1,8E-12	1,4E-11	2,9E-11	8,6E-13	6,1E-14	2,1E-14	3,1E-14
9	1,5E-15	3,4E-16	2,9E-15	3,5E-14	1,1E-12	3,5E-12	1,3E-14	4,1E-15	2,4E-16	2,5E-15
10	3,4E-17	4,1E-18	1,1E-16	5,8E-16	7,9E-14	3,6E-13	2,3E-16	2,1E-16	3,6E-18	2,3E-17

- 96% de la dosimétrie dans un local adjacent à une piscine de stockage d'assemblage combustible est due aux 8 éléments combustibles les plus proches de la paroi.
- Dimensionnement des piscines basé sur le besoin d'un certain volume d'eau pour garantir une certaine autonomie de l'installation.
- Marges de manœuvre dans l'agencement des locaux pour optimiser les débits de dose.

7. L'optimisation des interventions « dosantes » (2/6)

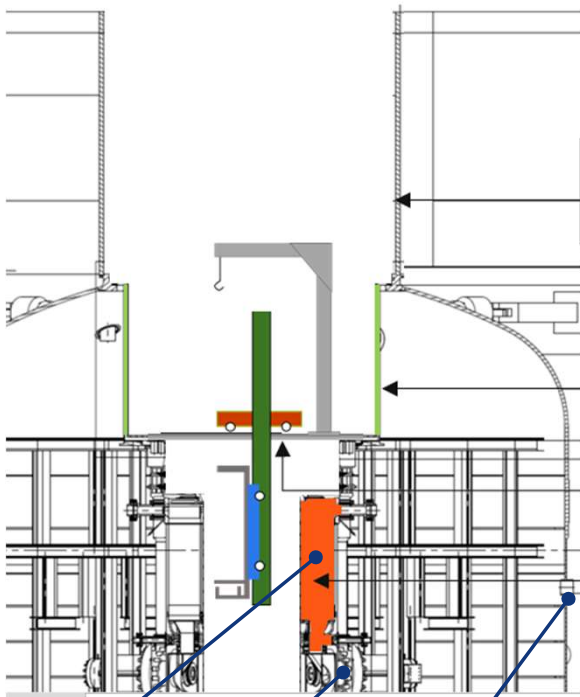
- Exemple NUWARD™ : Cœur sans bore → limitation de la production des effluents et des déchets de procédés



- Cœur plus petit permet une gestion sans bore de la réactivité
- Suppression de la production des effluents nécessaires à la dilution du circuit primaire en cours de cycle
- Limitation importante de la quantité d'effluents à gérer et de la production de déchets de procédés

7. L'optimisation des interventions « dosantes » (3/6)

- **Exemple NUWARD™** : Maintenance en ateliers spécialisés des générateurs de vapeur



générateurs
de vapeur

Cuve du
réacteur

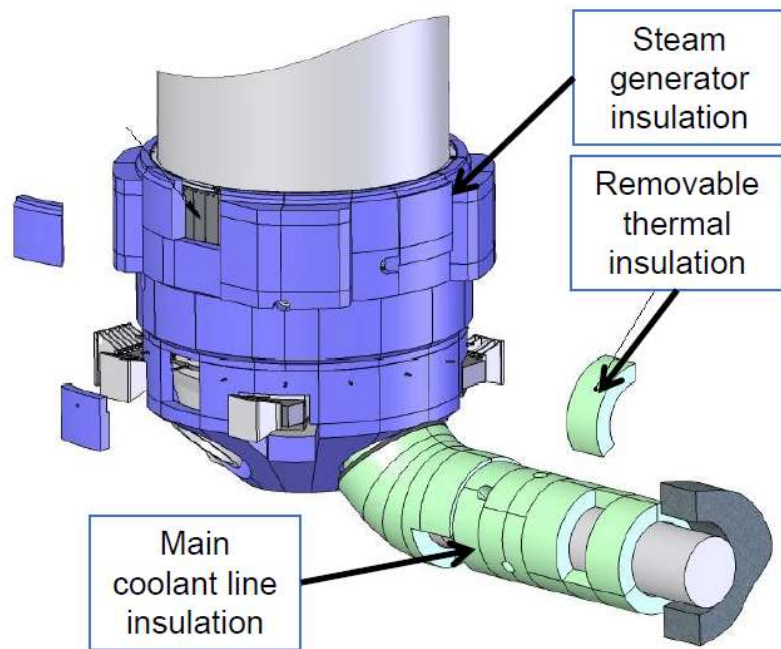
Enceinte de
confinement

- Taille des composants permet des stratégies de retrait des matériels des zones irradiantes et contaminées de manière automatisée
- Mise en containers plombés avant intervention humaine à proximité
- Facilitation de mise en œuvre de procédés de décontamination chimique et mécanique
- Intervention en ateliers spécialisés permettant d'optimiser les protections biologiques par rapport à la réalisation sur site d'intervention.

7. L'optimisation des interventions « dosantes » (4/6)

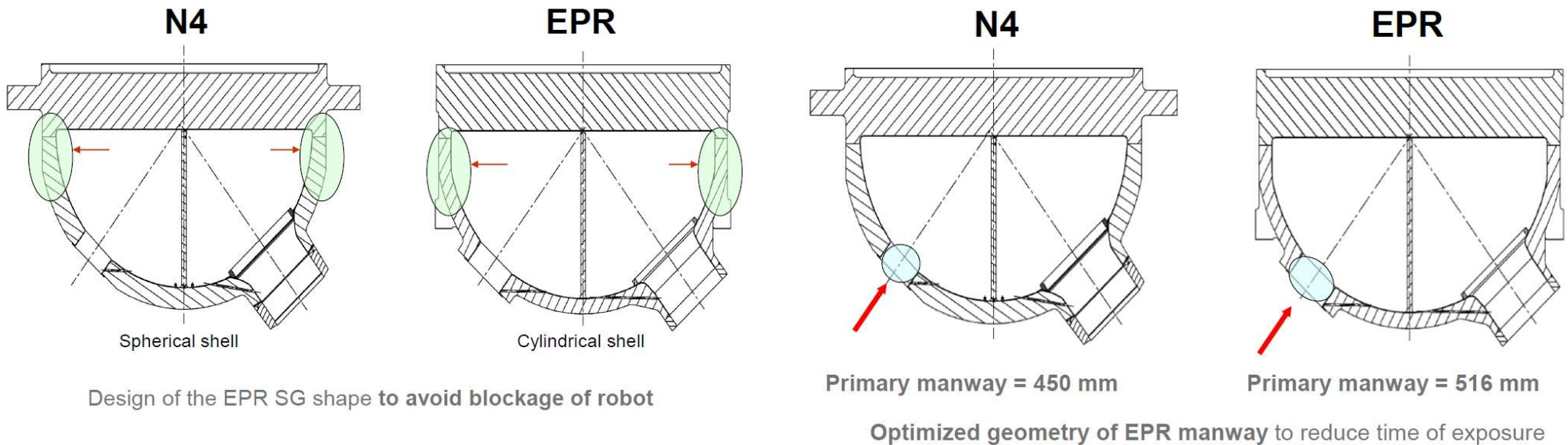
- Exemple EPR2 : Démontage / remontage des calorifuges

Thermal insulation fast mounting (exposure time limitation)



7. L'optimisation des interventions « dosantes » (5/6)

- Exemple EPR2 : Inspection des GV



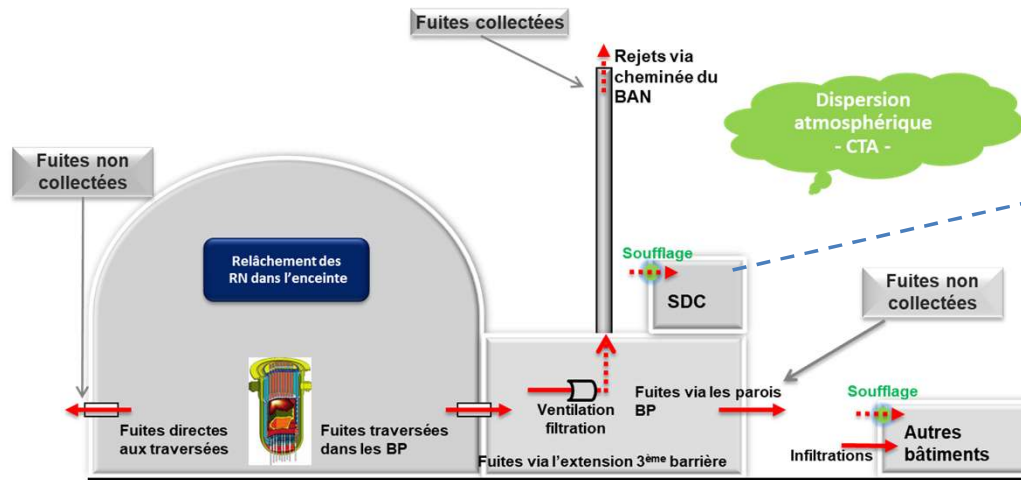
7. L'optimisation des interventions « dosantes » (6/6)

- **Autres exemples EPR2 :**

- Logistique :
 - Montage/démontage rapide des échafaudages,
 - Supports dédiés à l'installation des protections biologiques temporaires,
- Conditionnement des déchets :
 - Tri des déchets à proximité de leurs zones de production,
- Activités à proximité de la cuve en AT :
 - Optimisation des niveaux d'eau (protection biologique) lors des opérations de manutention sous eau des internes de cuve et des AC,
 - Accès possible en fond de piscine via porte dédiée (maîtrise de la propreté radiologique).
- Optimisation de la pose des protections biologiques (CADOR).

8. La RP à la conception pour les situations accidentelles (2/2)

- Etudes d'accessibilité des locaux et d'habitabilité de la salle de commandes
 - La faisabilité des actions opérateur strictement nécessaires à la gestion des situations accidentelles (y compris accidents avec fusion du cœur), ainsi que l'habitabilité de la SDC dans ces situations sont prises en compte à la conception.
 - Les critères d'acceptabilité sont fixés en cohérence avec les niveaux de référence affichés dans le code du travail.



Exemples de dispositions RP :

- Système de ventilation dédié
- Ilot de survie en surpression
- Filtres THE et iodes
- Chaîne de mesure pour passage en filtration iodes
- Ventilation en mode recirculation si nécessaire (isolement de l'extérieur)
- Traitement de surface permettant de limiter les infiltrations d'air

Principes de modélisation des transferts de contamination
(illustration palier 900 MW)

Conclusion : que retenir ?

- **La prise en compte de la RP à la conception des nouveaux modèles de réacteurs, c'est :**
 - **La déclinaison d'un référentiel « documentaire »** (réglementation, référentiel RP EDF, REX d'exploitation, standards internationaux, demandes ASN/IRSN, doctrine d'ingénierie EDF, codes et normes, ...) :
 - Objectifs RP :
 - EPR2 : Même objectif de dose collective que EPR FA3,
 - EPR2, NUWARD™ : mode EVEREST (propreté radiologique),
 - L'application de la réglementation,
 - La mise en œuvre des bonnes pratiques capitalisées (matériaux, conception des systèmes, installation des composants, configuration des locaux, ...), ...
 - **Des innovations :**
 - NUWARD™ : cœur sans bore, matériau des GV, ...
 - EPR2 : réduction des surfaces stellitees de la cuve, $\text{pH}_{300^{\circ}\text{C}}=7,2$ dès le début de cycle, nouvelle géométrie des BAE GV, calorifuges à montage/démontage rapide, ...
 - **Une démarche d'optimisation** des interventions de maintenance les plus « dosantes »
 - **La prise en compte des situations accidentelles**, y compris les accidents avec fusion du cœur



Merci



ANNEXES