

L'EPR

(Evolutionary Power Reactor)

Jean-Pierre PY

22 octobre 2007

SOMMAIRE

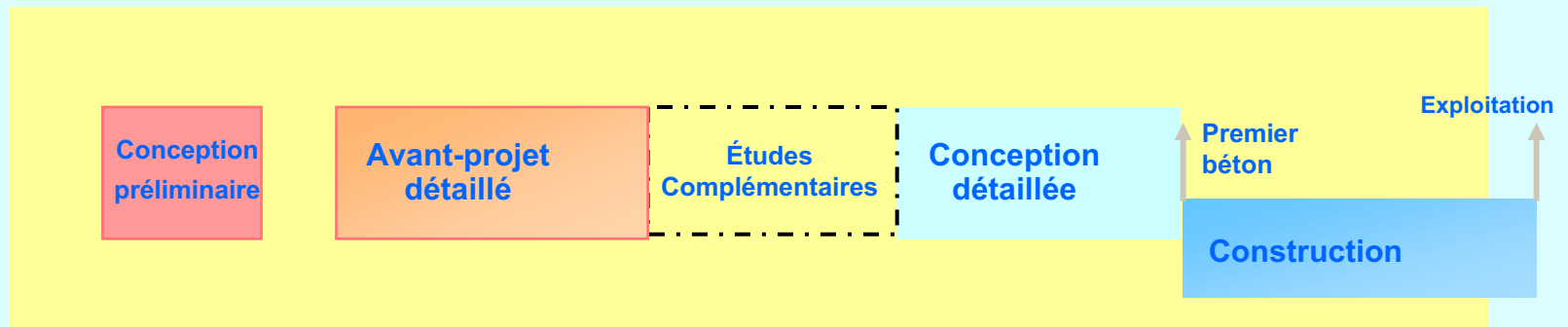
- **Historique**
- **Objectifs de développement**
 - Objectifs de sûreté
 - Objectifs technico-économiques
- **Conception de l'EPR**
 - Cœur et combustible
 - Systèmes de sûreté
 - Équipements de la chaudière
- **Installation Générale**

PRINCIPALES ETAPES DU DÉVELOPPEMENT de l'EPR

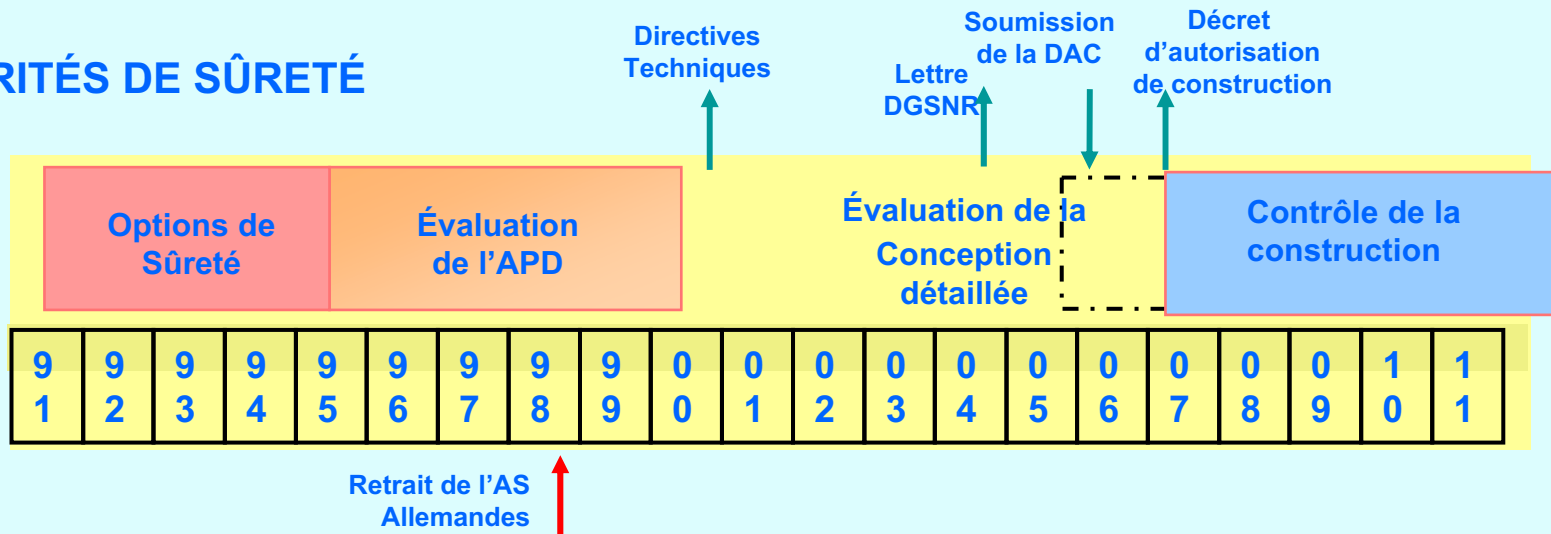
- 1992 :** **Lancement du projet** entre Framatome, Siemens, EDF et les électriciens Allemands
- 1993 : Recommandations communes des autorités de sûreté Française et Allemande relatives aux futurs réacteurs nucléaires
- 95/99 : Déroulement de l'Avant-Projet Détaillé de l'îlot nucléaire
- 2000 : Émission des conclusions favorables de l'autorité de sûreté sur le projet
- 2003 :** **Choix de l'EPR par l'électricien finlandais TVO (18.12)**, après compétition avec l'ABWR de G.E. (USA) et le VVER 1000 d'Atom Energo Stroy (Russie)
- 2004 : Lettre d'approbation des orientations de sûreté de l'EPR par la DGSNR - Décision d'EDF de construire un 1^{er} EPR en France à Flamanville
- 2005 : Ouverture du débat public EPR à Cherbourg (21 débats durant 4 mois) - Autorisation de construire Olkiluoto 3 par le gouvernement Finlandais - Soumission par AREVA de la demande de certification de l'EPR par l'US-NRC
- 2006 : Décision du Conseil d'administration d'EDF de poursuivre le projet Flamanville
- 2007 :** **Décret d'Autorisation de Création de Flamanville 3 (11.04)**
Début de construction de la centrale en décembre.

Chronologie du développement du 1^{er} EPR en France

INDUSTRIELS (EDF Architecte ensemble, AREVA NP)



AUTORITÉS DE SÛRETÉ



9	9	9	9	9	9	9	9	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1

SOMMAIRE

- Historique
- **Objectifs de développement**
 - Objectifs de sûreté
 - Objectifs technico-économiques
- Conception de l'EPR
 - Cœur et combustible
 - Systèmes de sûreté
 - Équipements de la chaudière
- Installation Générale

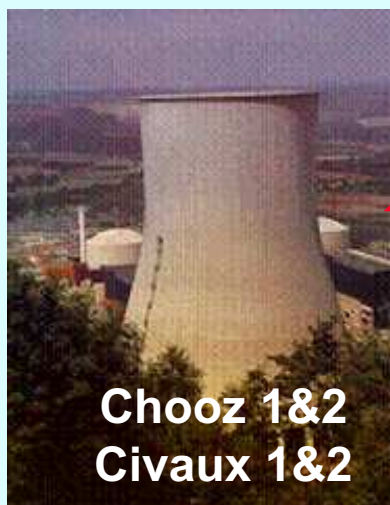
Objectifs communs des autorités de sûreté

- Conception " **évolutionnaire** " plutôt que révolutionnaire
- Améliorations **significatives de sûreté** :
 - ◆ Réduire la probabilité d'apparition des accidents et celle d'un "accident grave⁽¹⁾ ", bien que cette dernière soit déjà très faible
 - ◆ Prendre en compte l'accident grave **à la conception** et améliorer le **confinement** des produits radioactifs
 - ◆ Renforcer la protection contre les **agressions internes et externes**
- Amélioration des **conditions d'exploitation**
 - ◆ Protection contre les rayonnements
 - ◆ Gestion des effluents et déchets
 - ◆ Amélioration des pratiques de maintenance
 - ◆ Réduction des risques d'erreurs humaines

(1) Évènement entraînant un endommagement avancé du combustible

EPR : un dessin évolutionnaire fondé sur l'expérience des réacteurs les plus récents

	N4 AREVA NP	EPR	KONVOI Siemens
<i>Puissance thermique, MWth</i>	4250	4300-4590	3850
<i>Puissance électrique, MWe</i>	~1475	~1600 - 1650	~1400
<i>Rendement, %</i>	34	36-37	35
<i>Nb de boucles primaires</i>	4	4	4
<i>Nb d'ass. de combustible</i>	205	241	193
<i>Durée de vie, ans</i>	40	60	40



**Dessin évolutionnaire
conserve les références**

**Solide retour
d'expérience
avec d'excellentes
performances**



Améliorations significatives de sûreté

- Augmentation des marges cœur (241 A.C., instrumentation interne fixe)
- Simplification des systèmes de sûreté (4 trains, combinaison redondance/diversification, séparation physique systématique)
- Augmentation des délais d'action de l'opérateur en accident (*augmentation des volumes d'eau dans le pressuriseur et côté secondaire des GV*)
- Amélioration de l'Interface homme-machine sur la base du retour d'expérience
- Évaluation systématique de la conception des systèmes par des études probabilistes de sûreté dès la conception
- Considération systématique des états d'arrêt pour les analyses de risque et les études d'accident
- Amélioration des choix de conception des composants primaires

Approche accidents graves pour la conception de l'EPR



- La conception du réacteur doit **pratiquement éliminer** toutes les situations qui conduiraient à des rejets importants,
- La fonction confinement doit être assurée **à court et long termes** (absence de fuite directe vers l'extérieur),
- La **stabilisation du corium** (cœur fondu) doit être obtenue rapidement et son refroidissement assuré sur une longue durée,
- Dans les situations avec fusion du cœur, les mesures d'évacuation ou de confinement des populations doivent être **limitées dans l'espace et dans le temps**,
- Les actions d'urgence externes doivent se limiter à la **stricte périphérie du site**.

Renforcement de la protection contre les agressions internes et externes

Agressions à prendre en compte :

- **Séismes,**
- **Incendies et explosions,**
- **Inondations internes et externes,**
- **écrasement d'avion**

Amélioration des conditions d'exploitation

- Dosimétrie annuelle globale : **divisée par 2** 
- Réduction des rejets liquides de **10 %**, gazeux de **50 %** 
- Réduction des matières irradiées de **20 à 30%**
- Augmentation des délais d'action de l'opérateur en accident
- Amélioration de l'Interface homme-machine

Objectifs économiques

- Compétitivité avec les centrales à combustibles fossiles
- Économie d'échelle \Rightarrow puissance de 4500 MWt, soit ~ 1630 MWe nets,
- Disponibilité moyenne élevée : 90 à 92%
- Durée de vie de conception : 60 ans
- Rendement global ($P_{\text{él}}/P_{\text{coeur}}$) : ~ 37 %
- Meilleure utilisation du combustible
- Améliorations des conditions d'exploitation



SOMMAIRE

- Historique
- Objectifs de développement
 - Objectifs de sûreté
 - Objectifs technico-économiques
- **Conception de l'EPR**
 - **Cœur et combustible**
 - Systèmes de sûreté
 - Équipements de la chaudière
- Installation Générale

Conception cœur

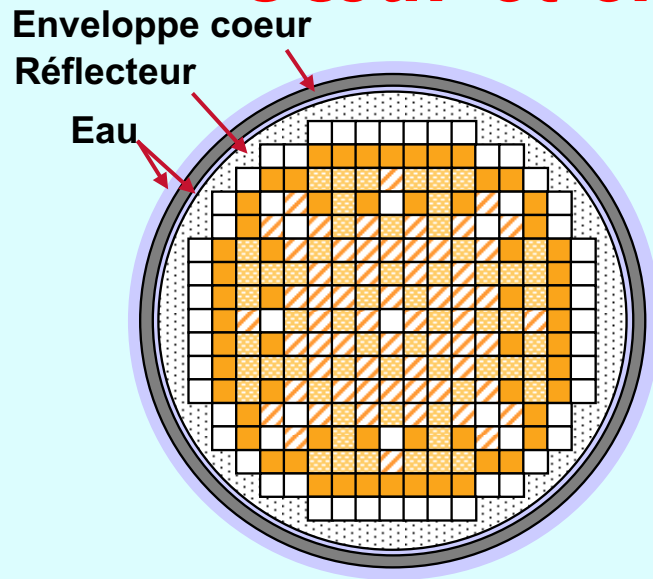
Caractéristiques générales

- **Objectifs retenus :**
 - ◆ **Minimisation du coût de cycle du combustible**
 - ◆ **Capacité à recycler du Pu (jusqu'à **50%** d'assemblage MOX)**
 - ◆ **Flexibilité (longueurs de campagne, gestions)**

- **Taille du cœur accrue de **17 %** ⁽¹⁾ permettant d'obtenir :**
 - ◆ **un fractionnement élevé des recharges (1/6 cœur, 12 mois)**
 - ◆ **un taux d'épuisement de décharge élevé (> 60 000 MWj/t)**
 - ◆ **une puissance linéique faible autorisant un accroissement des marges coeur**

(1) par rapport à N4 (241 éléments de combustible au lieu de 205)

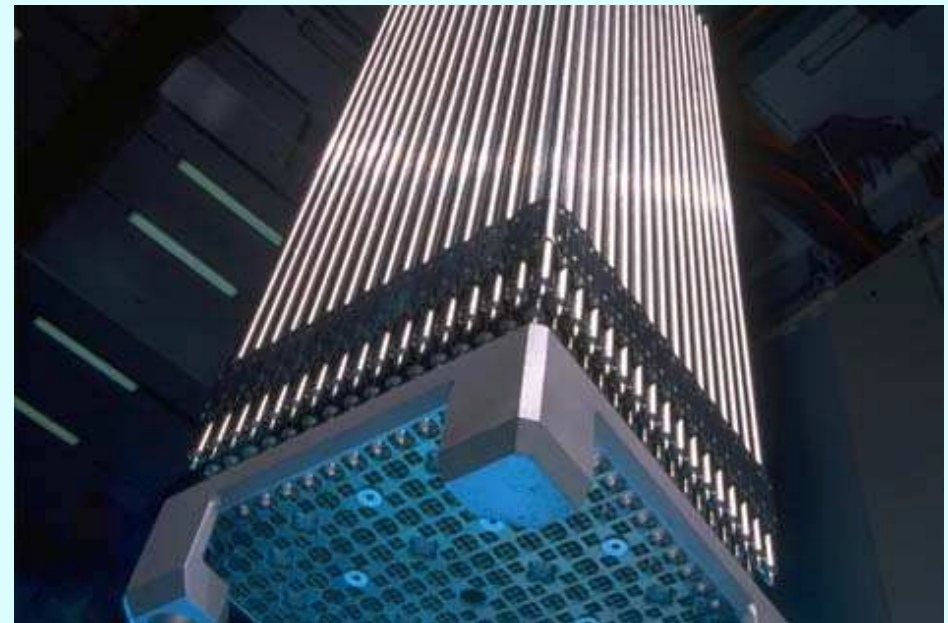
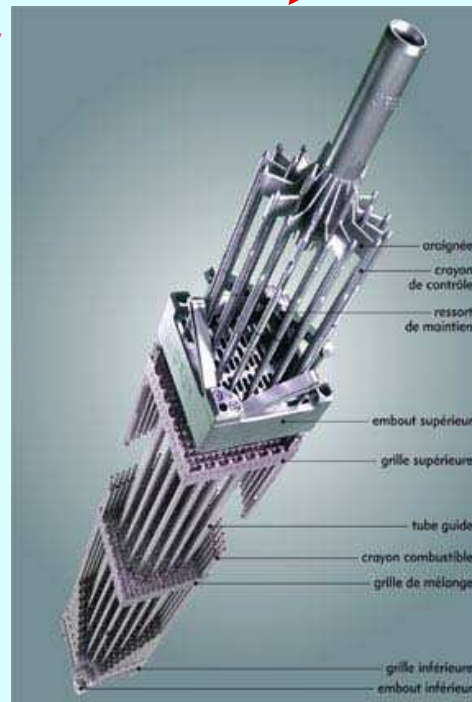
Cœur et éléments de combustible



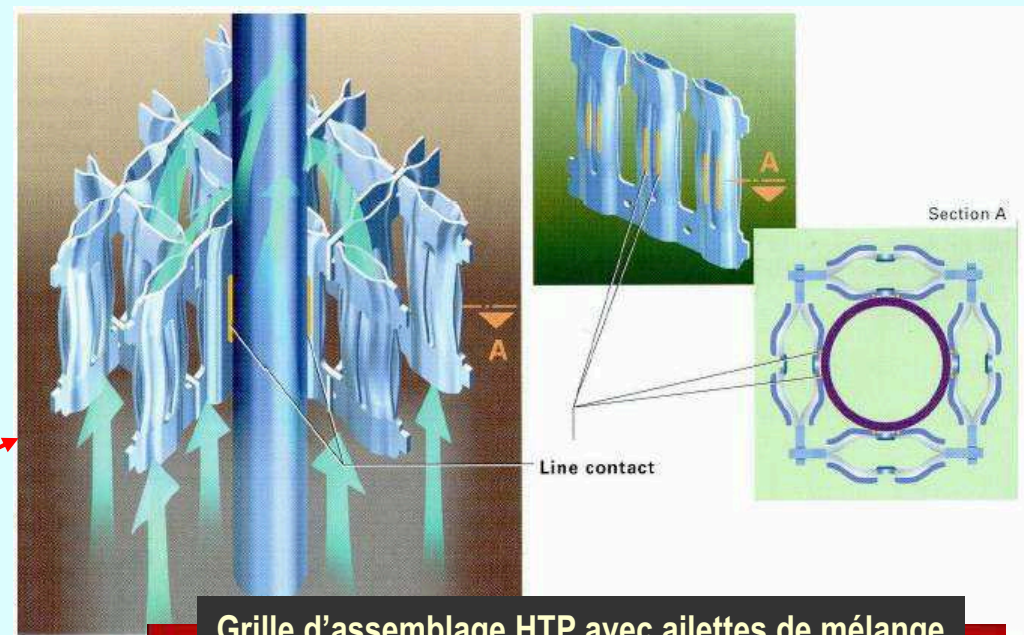
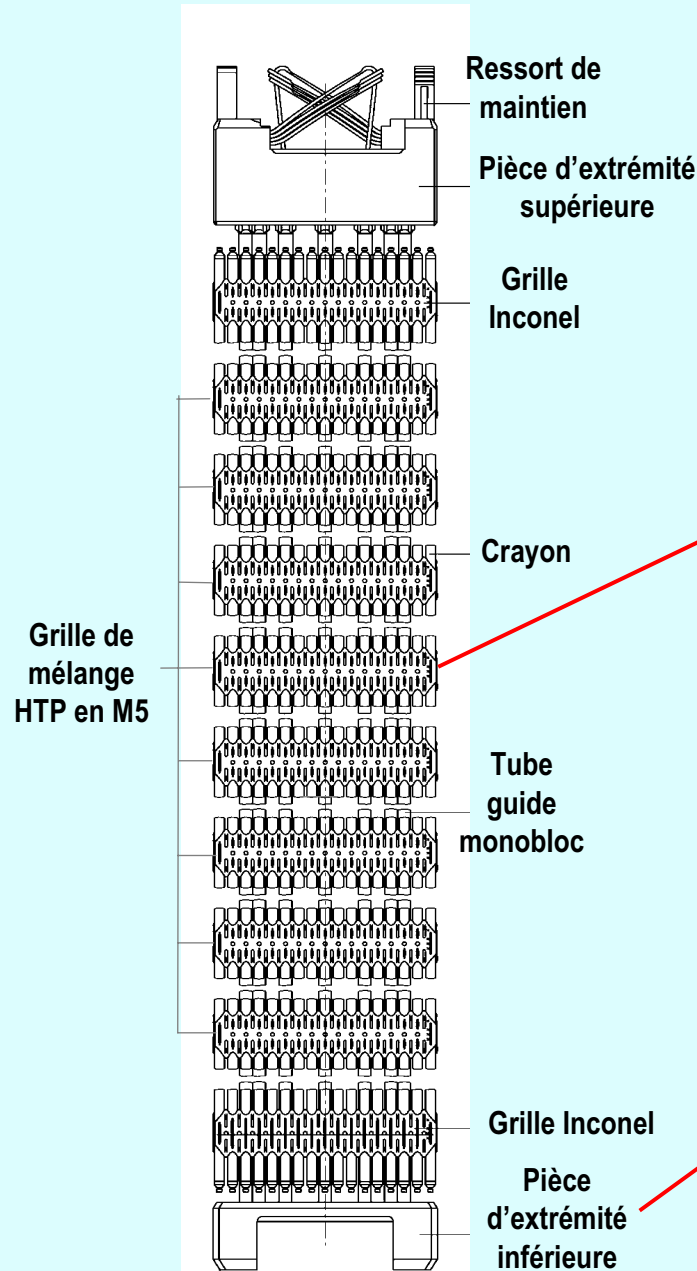
L'EPR comporte 241 éléments (ou assemblages) de combustible

Les assemblages sont constitués de 17x17 crayons ou tubes, appelés aussi "gaines", contenant un empilement de pastilles d'UO₂

Les 241 assemblages.



Vue d'ensemble d'un assemblage "HTP"







Grille d'assemblage HTP avec ailettes de mélange



SOMMAIRE

- Historique
- Objectifs de développement
 - Objectifs de sûreté
 - Objectifs technico-économiques
- Conception de l'EPR
 - Cœur et combustible
 - **Systemes de sûreté**
 - Équipements de la chaudière
- Installation Générale

Organisation des systèmes

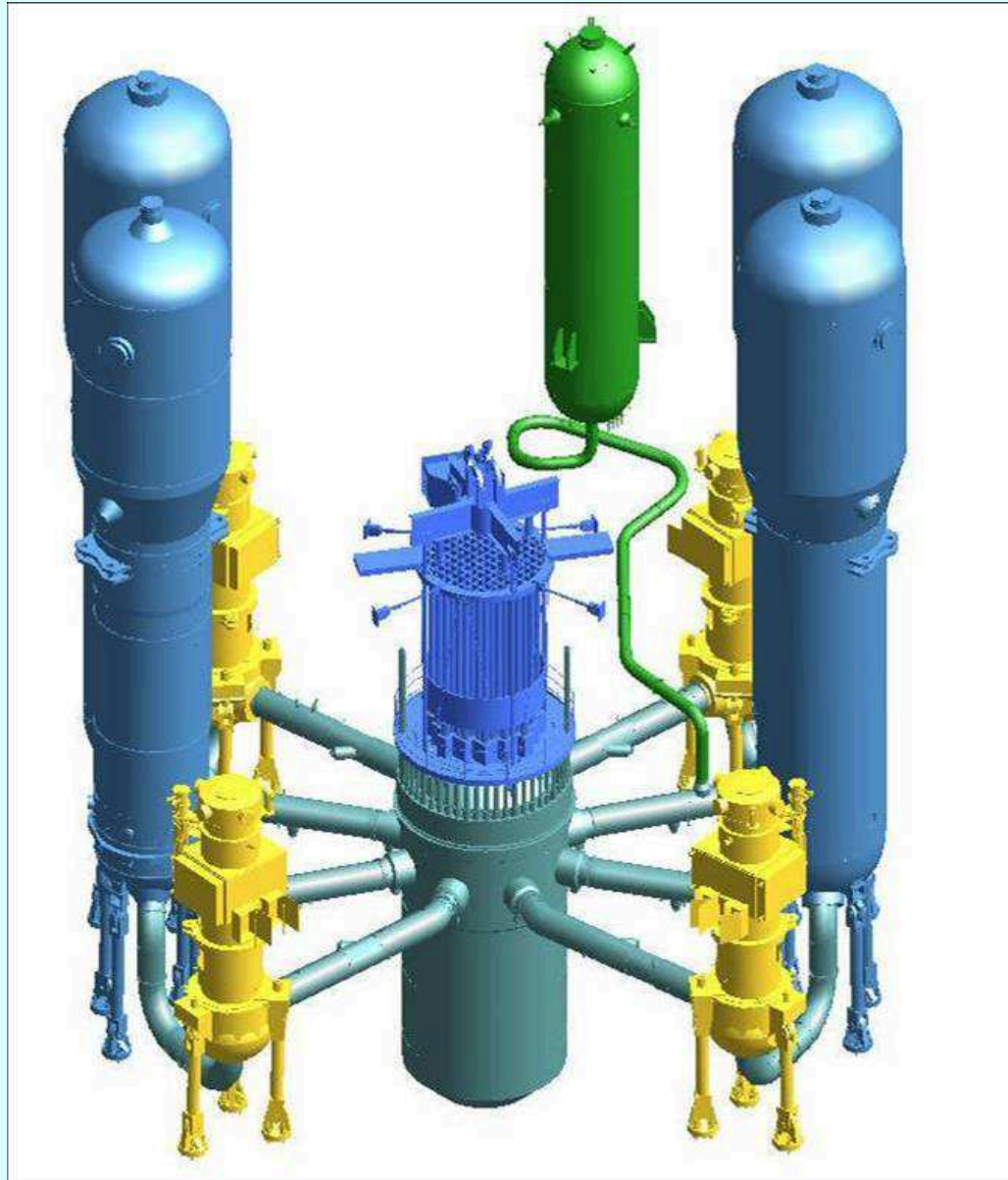
- Séparation en "trains"⁽¹⁾ afin **d'éliminer les collecteurs communs** (parité avec le nombre de boucles primaires) 
- **Absence de collecteurs** entre les différents trains, sauf s'ils sont utiles d'un point de vue probabiliste 
- Disposition radiale des bâtiments (trains séparés, plus courtes longueurs de tuyauterie) 
- Séparation en "divisions"⁽²⁾ afin de prévenir les défaillances de mode commun dues à des **événements d'origine interne**⁽³⁾ 

(1) "Train" désigne une partie redondante d'un système

(2) "Division" désigne un bâtiment ou une partie de celui-ci abritant un train

(3) Tels qu'incendie, inondation

Équipements de la chaudière



La cuve du réacteur

➤ Quatre évolutions majeures :

- ◆ **Virole porte tubulures et bride **monobloc** :**
 - Réduction des temps d'inspection
 - Axe des tubulures rehaussé par rapport au cœur ⁽¹⁾

- ◆ **Suppression des **tubulures de fond de cuve** :**
 - Facilité d'installation puits de cuve et zone d'étalement du corium
 - Réduction du risque de réparation en zone difficile d'accès

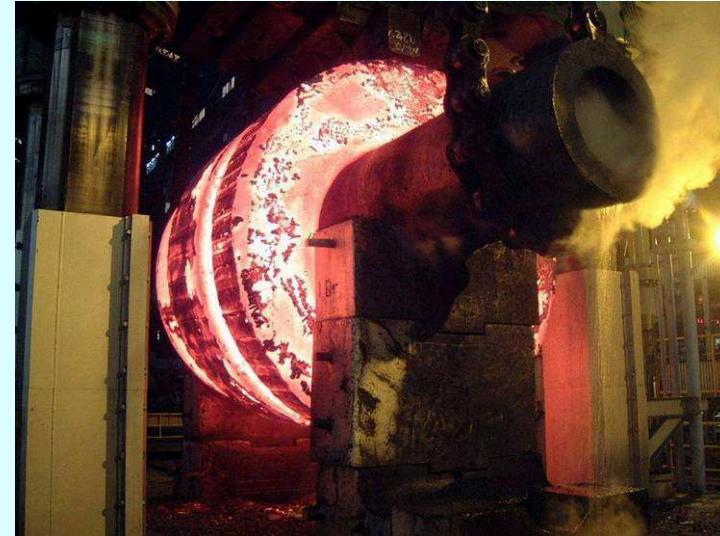
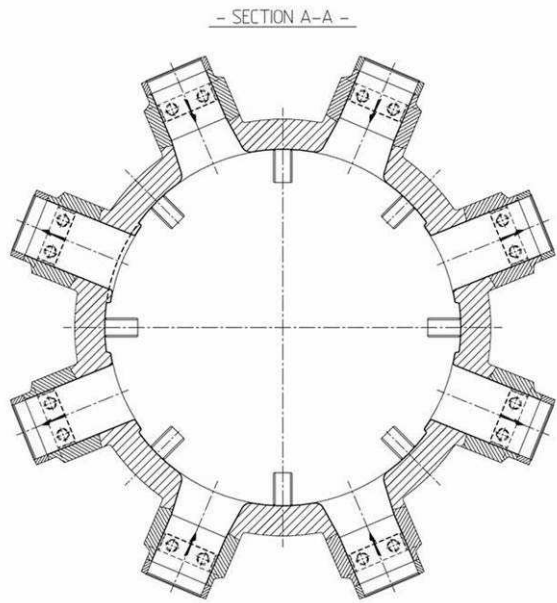
- ◆ **Réduction de la fluence** neutronique dans la zone du cœur ⁽²⁾

- ◆ **Remplacement** systématique de l'alliage **600 par le 690**

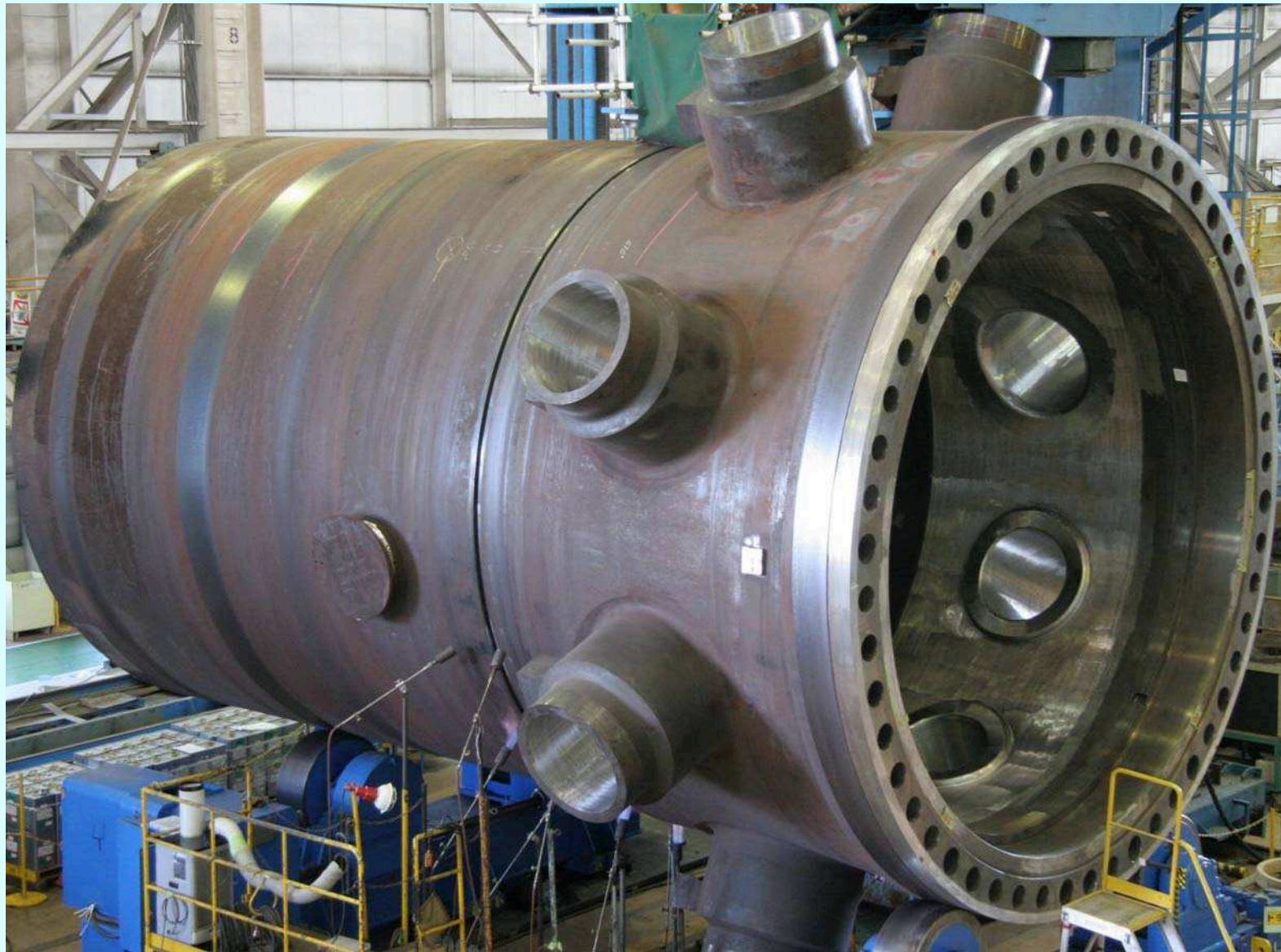
(1) Afin d'abaisser la température du combustible en cas de brèches primaires

(2) Afin d'accroître les marges vis-à-vis de la fragilisation sous irradiation

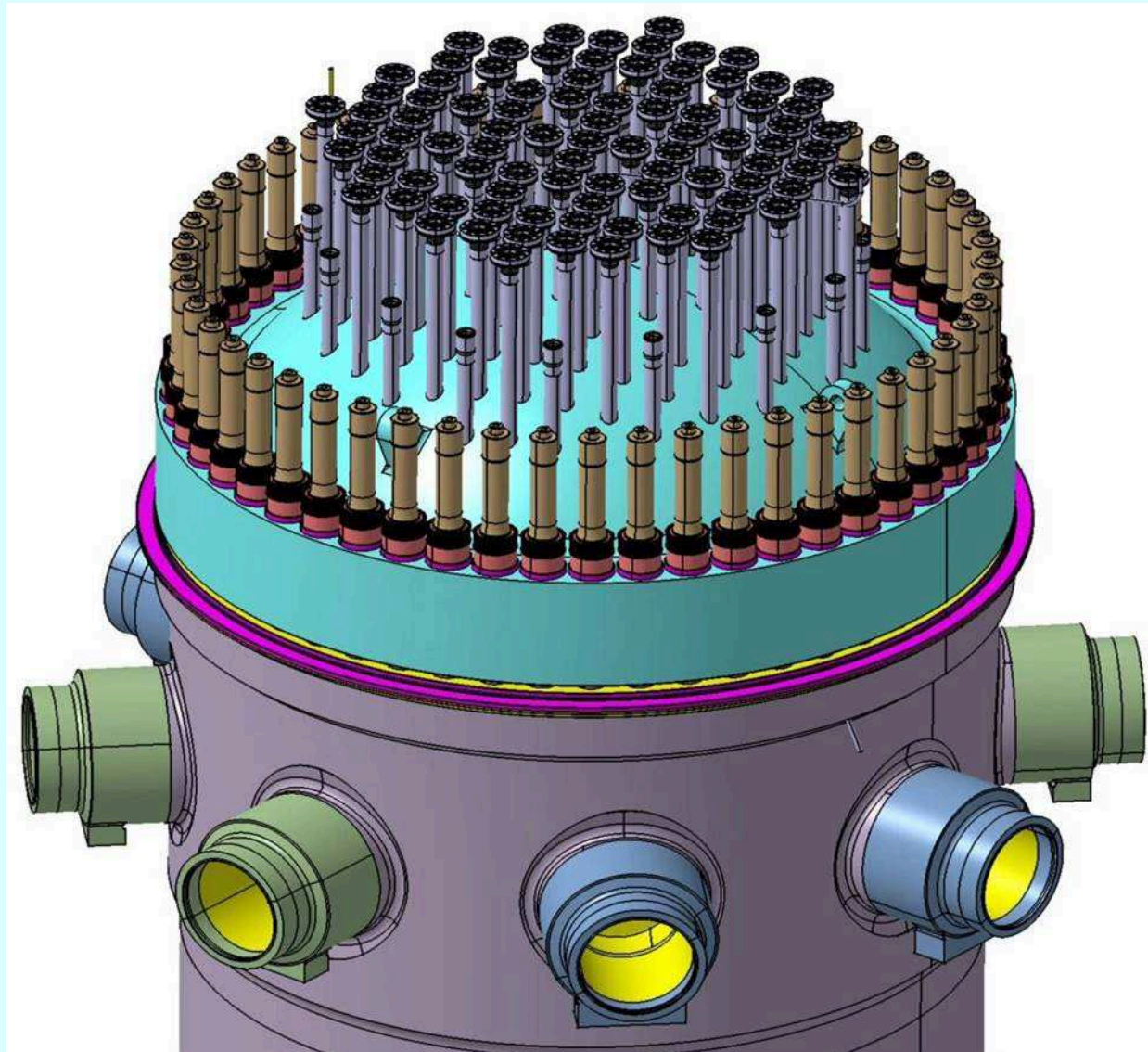
La cuve du réacteur Virole porte tubulures



Réalisation du joint final de la cuve OL3



Couvercle de cuve ***Traversées d'instrumentation***



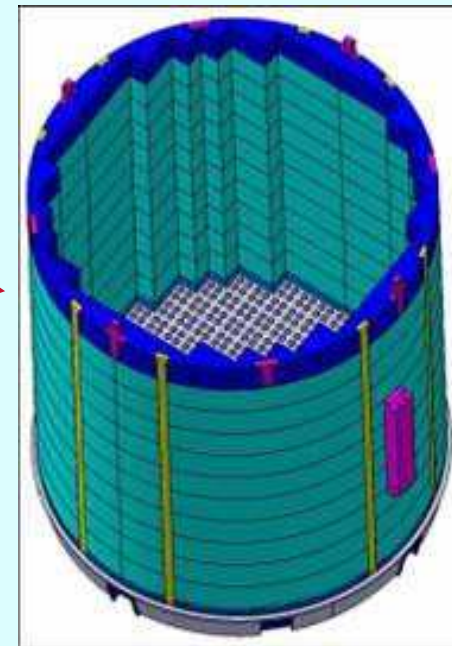
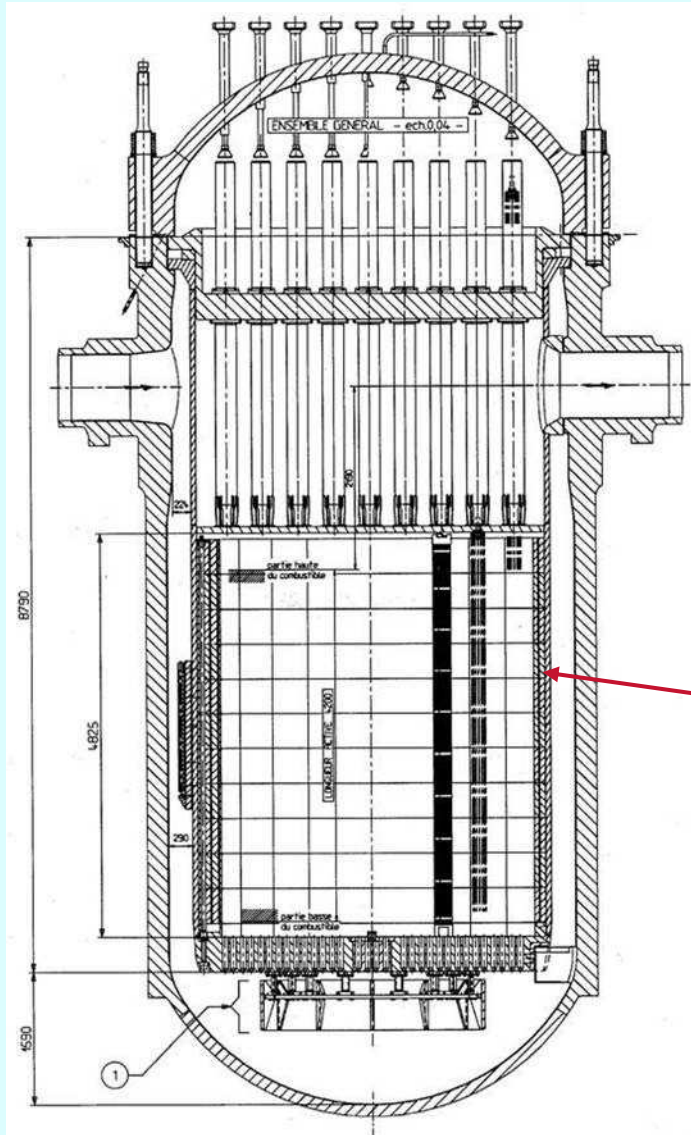
Les équipements internes de la cuve

- **Architecture d'ensemble reprenant les bases du N4**
- **Deux évolutions majeures :**
 - ◆ Introduction de **l'instrumentation du cœur par le couvercle**
 - ◆ Nouveau dispositif de **distribution du débit en fond de cuve**
- **Un composant innovant : le **réflecteur de neutrons** introduit à la fois pour :**
 - ◆ Gagner sur le **coût de cycle**
 - ◆ Améliorer le **comportement mécanique** sur 60 ans

Le réflecteur de neutrons

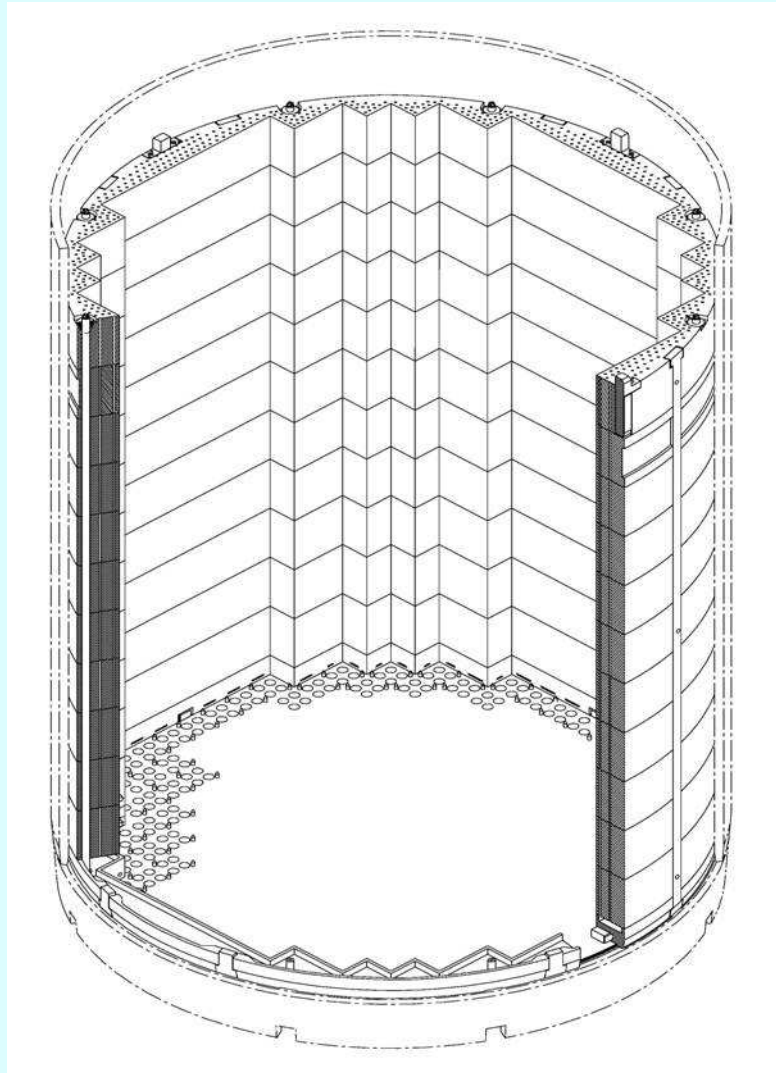
➤ Baffle de coeur conventionnel remplacé par un réflecteur massif permettant :

- ◆ Un meilleur comportement mécanique à long terme (suppression des vis de cloisonnement)
- ◆ Une réduction des fuites neutroniques, ce qui :
 - Réduit le coût de cycle de 2 à 3 % (amélioration de l'économie de neutrons)
 - Réduit la fluence sur les parois de cuve (**durée de vie 60 ans**)



Internes de cuve EPR

Vue éclatée du réflecteur de neutrons



Les générateurs de vapeur

- Dérivent des GV à économiseur axial du N4
- Quatre évolutions principales :
 - ◆ Augmentation de la **surface d'échange** de 9% (650 m²) pour accroître la pression vapeur (77 bar)
 - ◆ Réduction du **nombre des séparateurs** ⁽¹⁾ sans perte de performances
 - ◆ Augmentation de la **masse d'eau et du volume libre** côté secondaire pour :
 - Disposer d'un plus long délai avant assèchement du GV en cas de perte d'eau alimentaire
 - Éviter les rejets liquides hors de l'enceinte lors d'un accident RTGV ⁽²⁾
 - ◆ **Limitation de la stratification thermique** dans la tubulure d'eau alimentaire par son implantation dans la virole tronconique

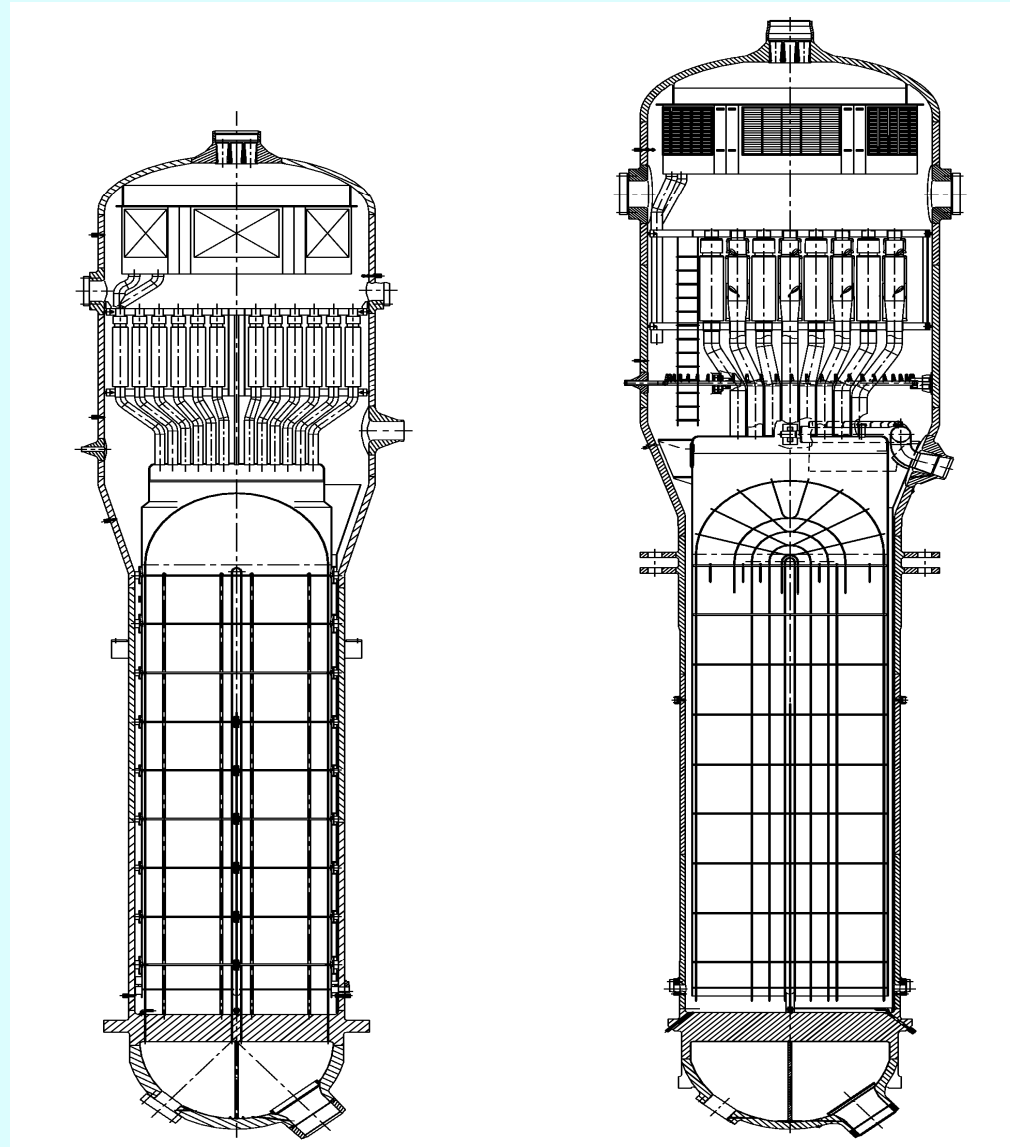
(1) 53 au lieu de 130

(2) Rupture de tube de générateur de vapeur

Vues comparées des GV EPR et N4

N4

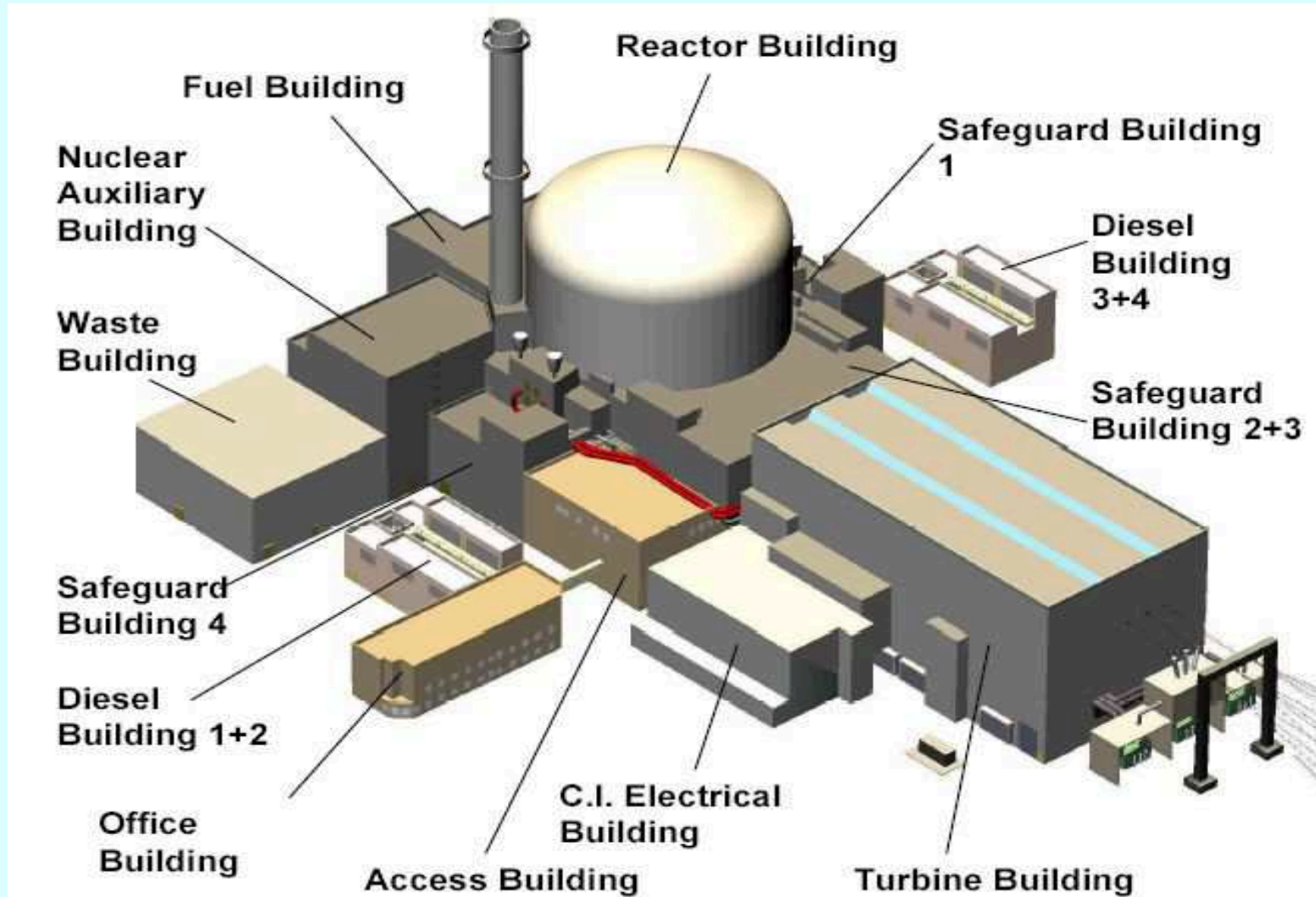
EPR



SOMMAIRE

- Historique
- Objectifs de développement
 - Objectifs de sûreté
 - Objectifs technico-économiques
- Conception de l'EPR
 - Cœur et combustible
 - Systèmes de sûreté
 - Équipements de la chaudière
- **Installation Générale**

Vue d'ensemble de l'EPR

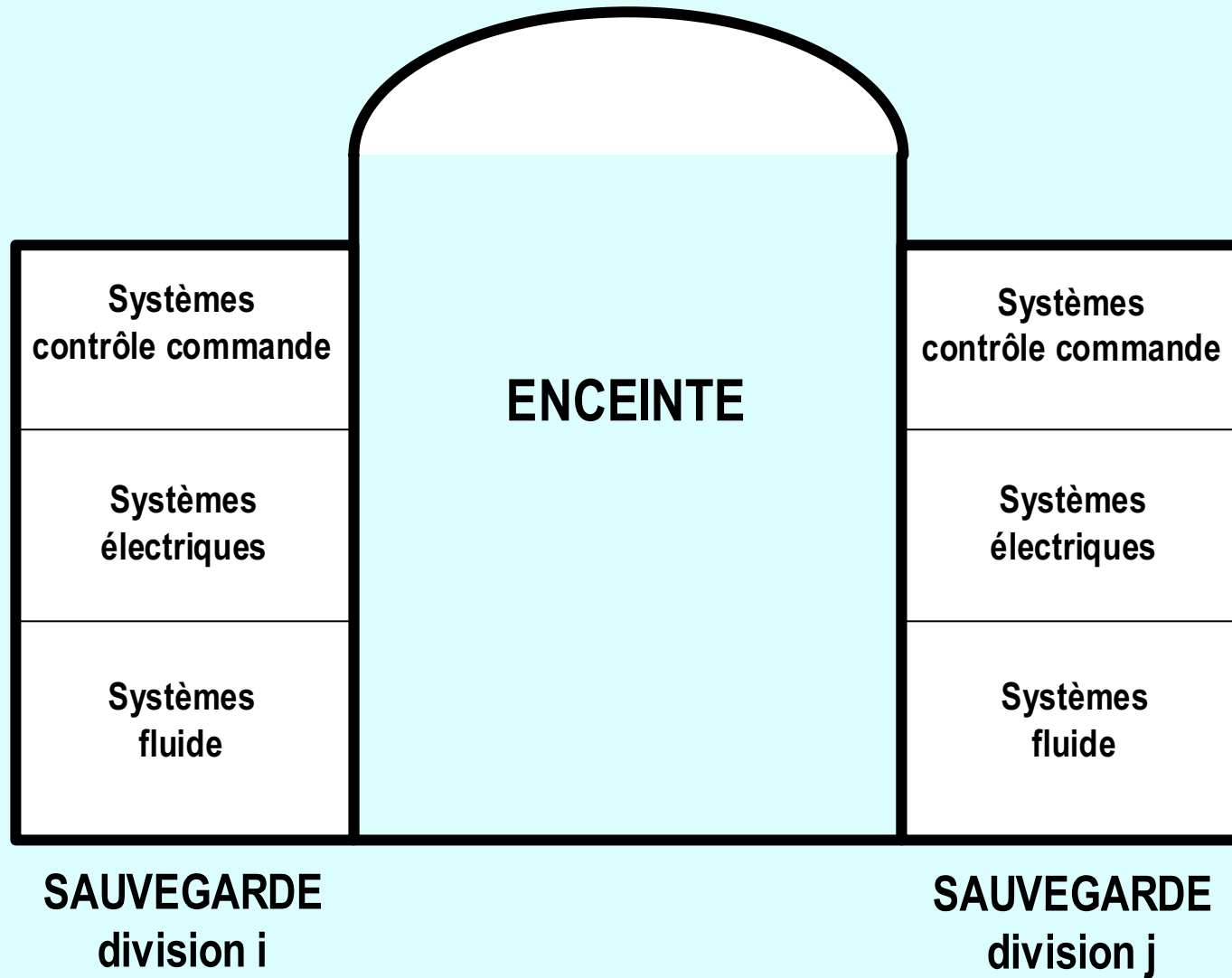


Protection contre l'écrasement d'avion

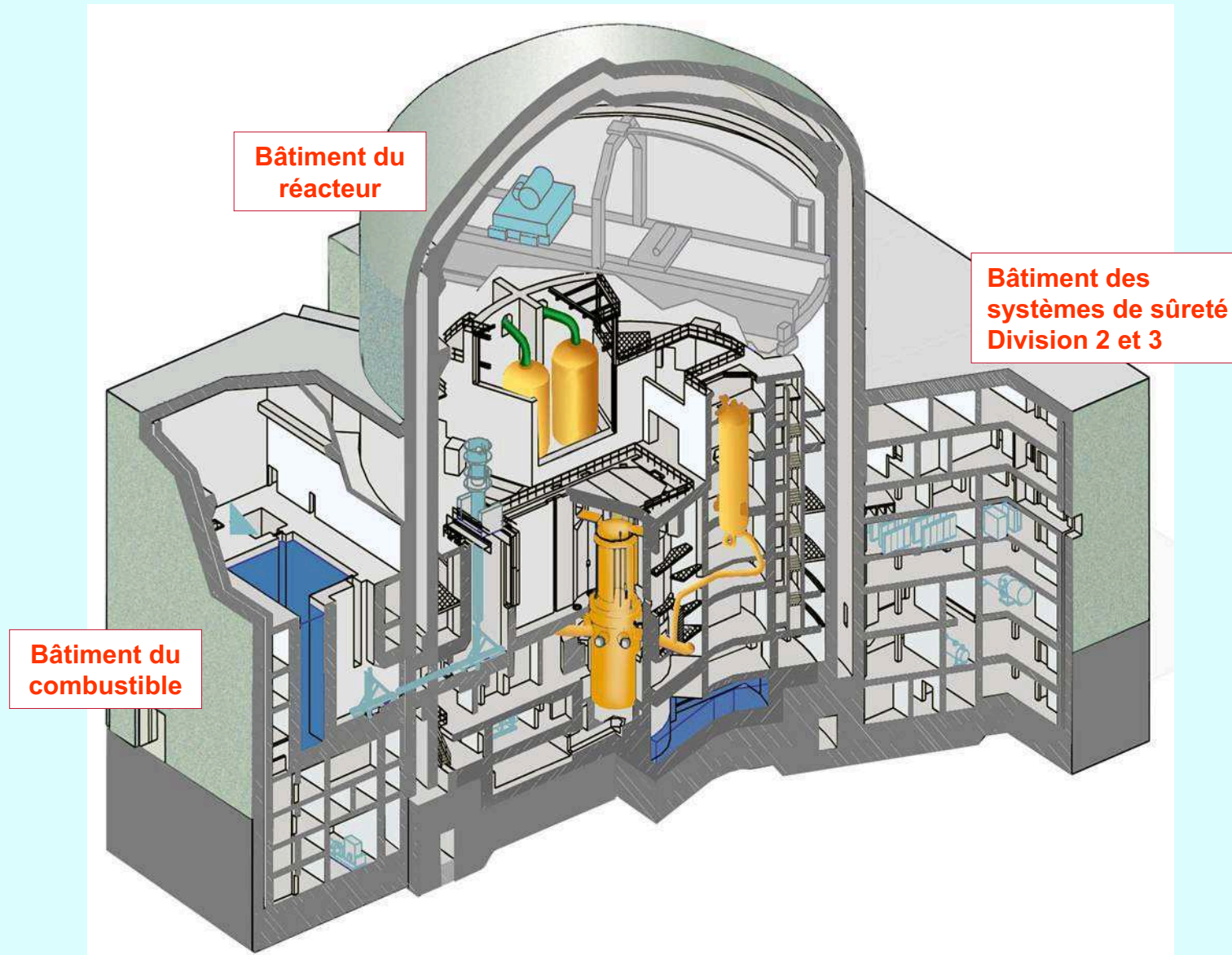
- Une **épaisse coque protectrice** en béton armé protège les murs et structures internes des impacts directs et des ébranlement induits
- Les bâtiments **réacteur, combustible et de sauvegarde 2 et 3** (abritant la salle de commande) sont **protégés**
- Les bâtiments de **sauvegarde 1 et 4** sont **séparés géographiquement**, pour ne pas être impactés simultanément
- La conception des ouvertures et des prises d'air évite l'introduction de **kérosène** à l'intérieur des bâtiments
- Les portes extérieures **résistent au feu**
- Les bâtiments sont conçus pour supporter les **ondes de pression** résultant d'une explosion



Installation générale



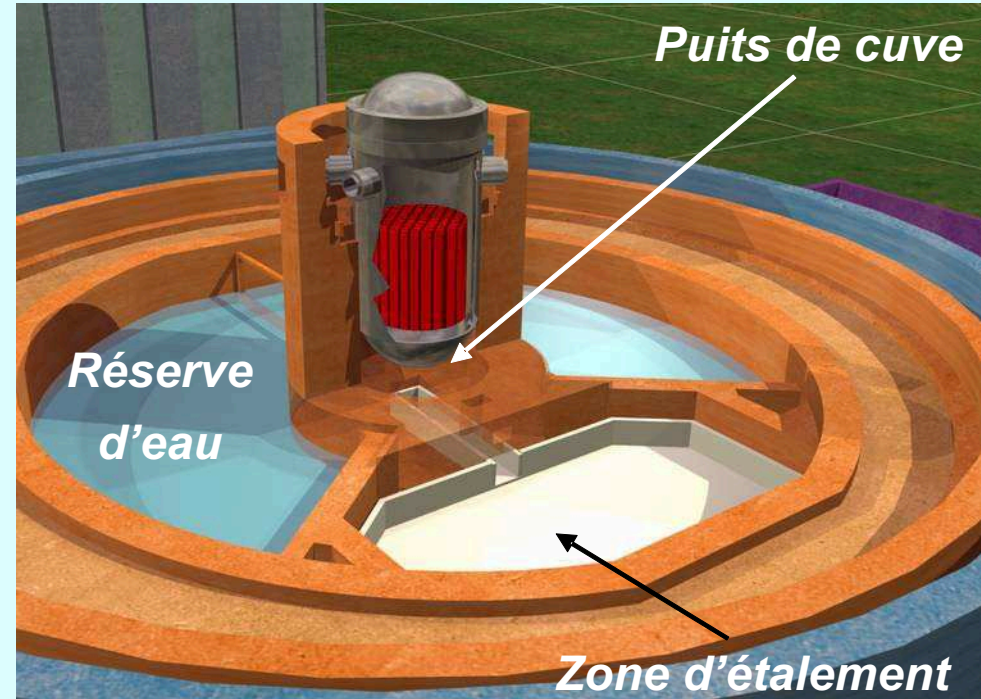
Principaux bâtiments nucléaires de l'EPR



Systeme de rétention du corium

Strategie en cas de défaillance de la cuve :

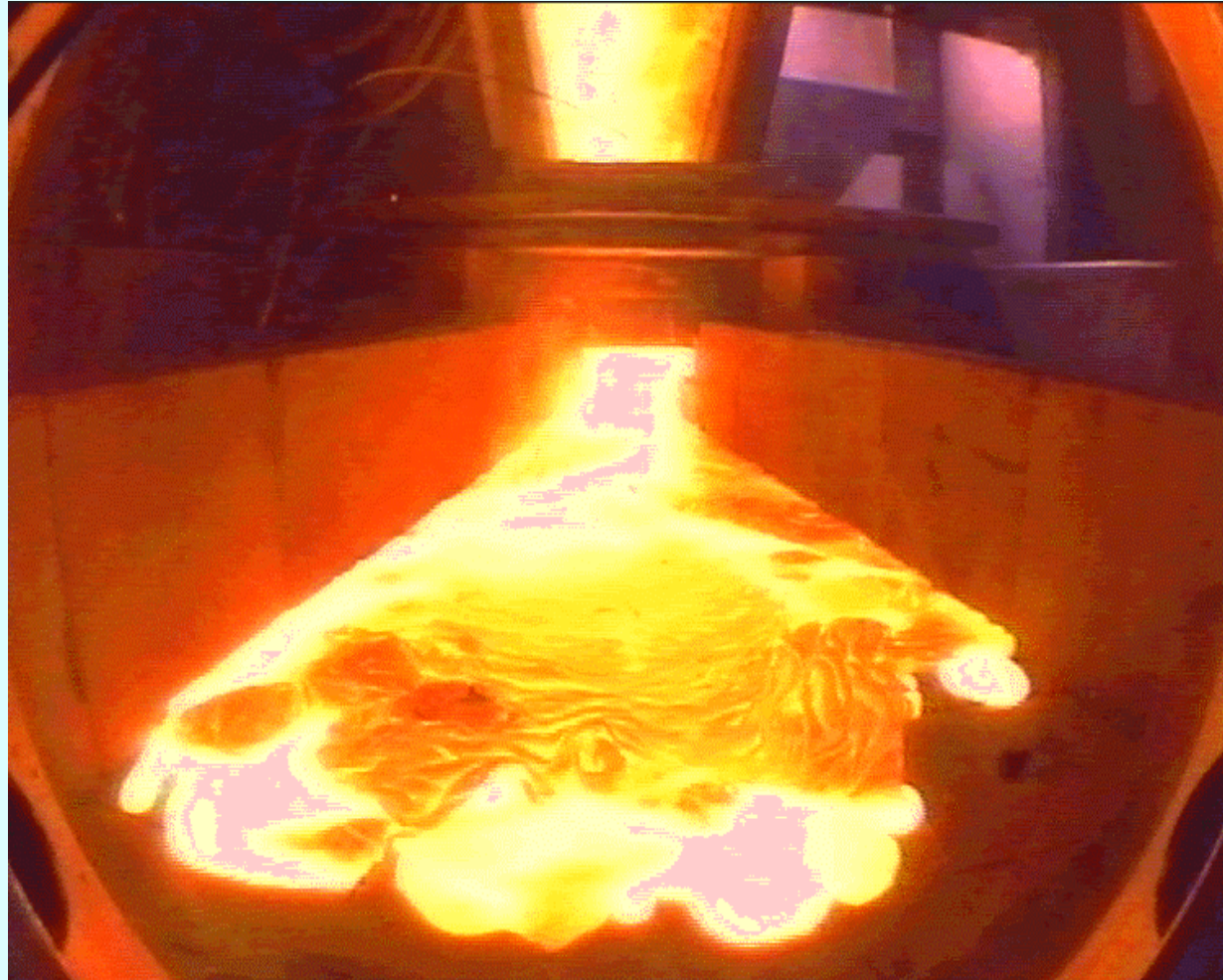
- Empêcher l'interaction corium-beton pour éviter des rejets significatifs et une contamination durable des sols et des eaux souterraines.
- Accumuler le corium et le retenir temporairement dans le puits de cuve après défaillance de la cuve
- Fusion retardée de la porte métallique située au fond du puits de cuve
- Etaler le corium sur une grande surface en dehors du puits de cuve
- Noyer et refroidir la zone d'étalement par de l'eau de l'IRWST



**Toutes les actions sont entièrement passives
(rétention, étalement, noyage, refroidissement)**

Essai d'étalement de corium au CEA VULCANO (véritable UO_2 avec un peu de $Zr O_2$)

Les phénomènes d'étalement du corium ont été abondamment investigués



Ecorché des bâtiments de l'EPR

