

The logo for Framatome, featuring the word "framatom" in a bold, white, sans-serif font, followed by a stylized white diamond shape, and then the word "e" in a smaller, white, sans-serif font.

framatome

L'EPR et ses concurrents

Jean-Luc Jacoud

SFEN RAL - 15/10/2025

C1 – Framatome Diffusion Limitée
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.

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

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 ».



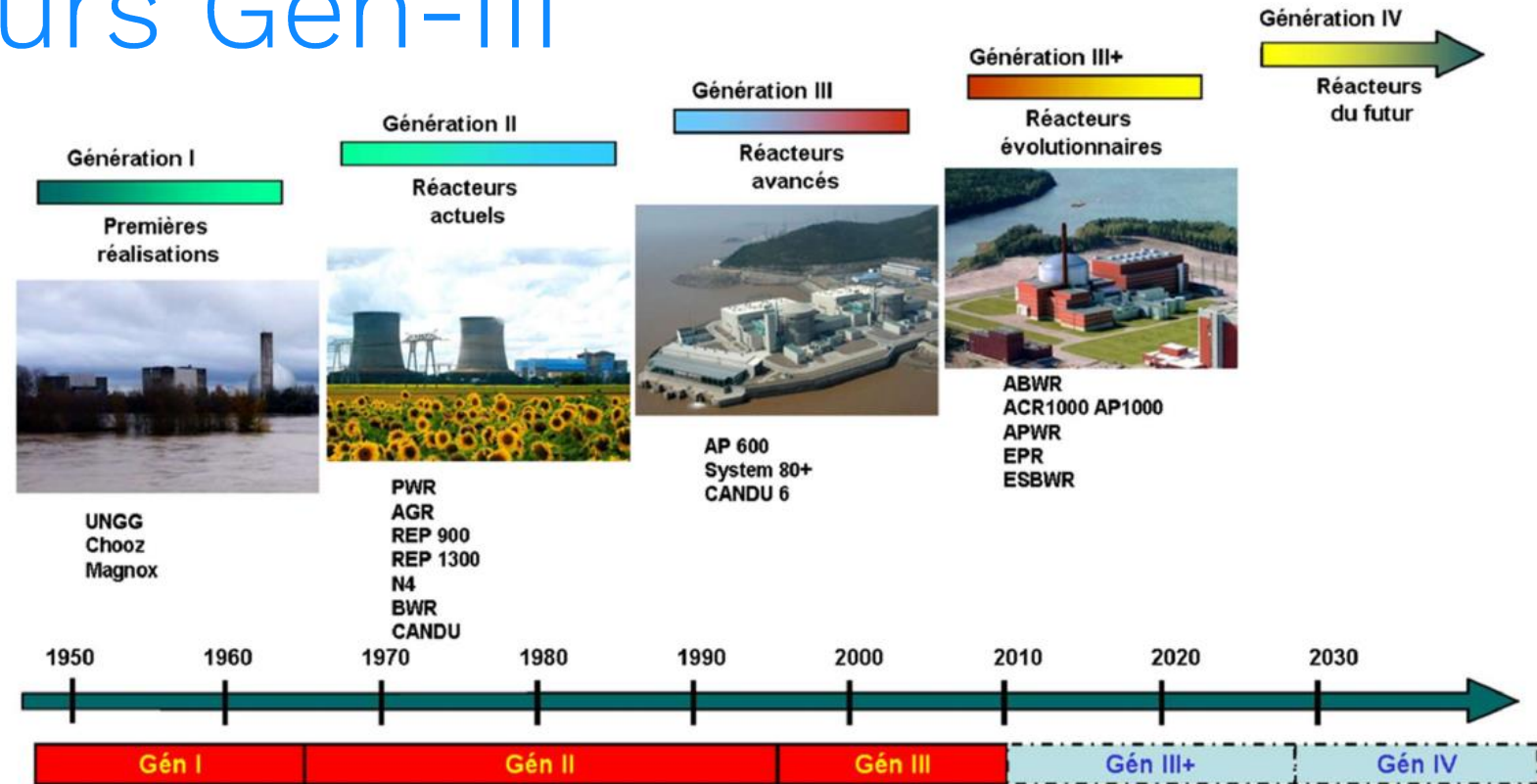
C3 – Ce document et toute information qu'il contient et/ou divulguée dans le cadre de toute discussion en lien avec ce document relèvent du **secret Framatome**.

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

Sommaire

1. Les Réacteurs de troisième génération
2. EPR
3. AP1000
4. VVER (AES-2006 / VVER-TOI)
5. HUALONG-One (HPR1000)
6. APR1400
7. Et les autres ???
8. Tendances
9. Conclusions

Les réacteurs Gen-III

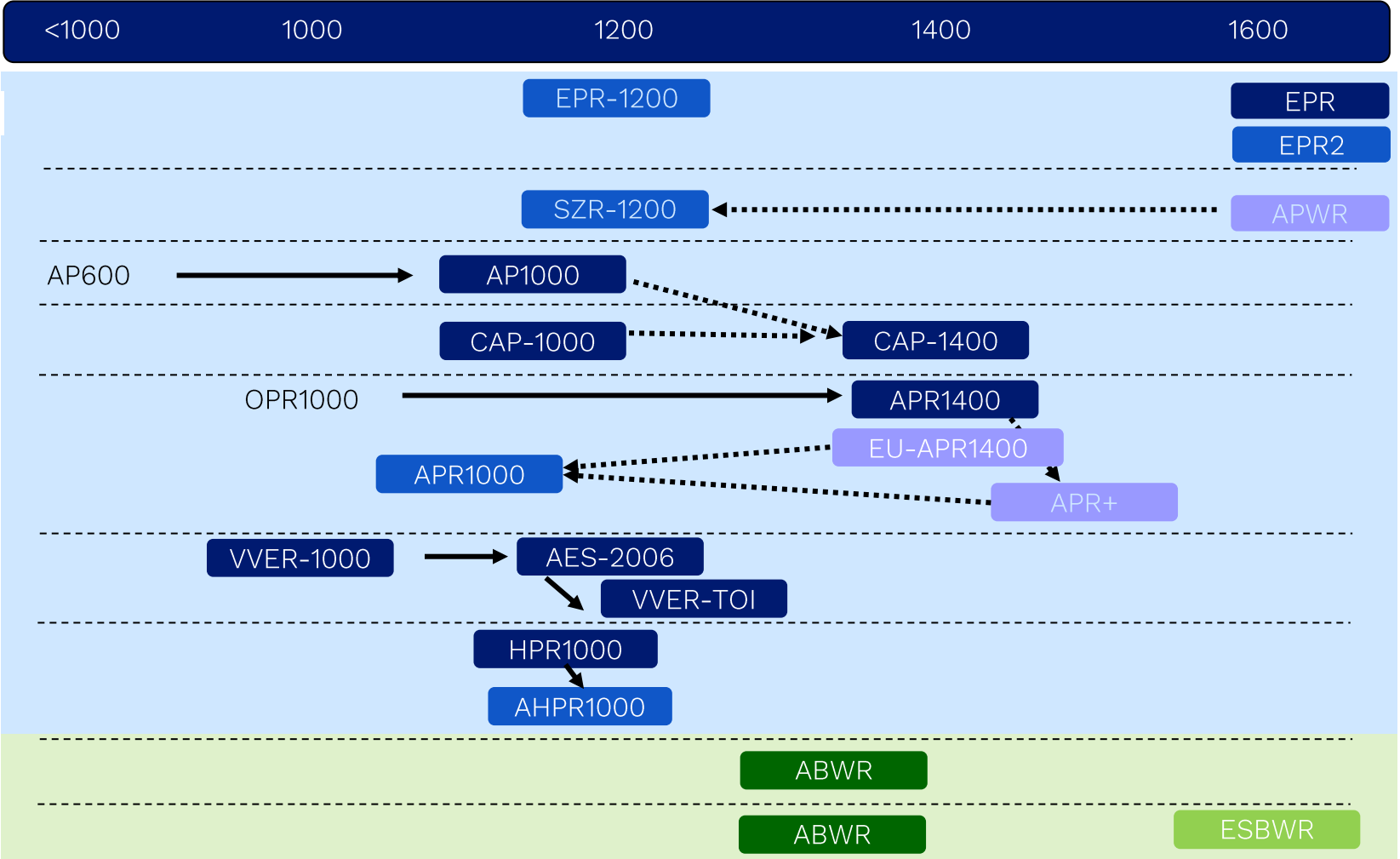


- **Gen III+ = Gen III**

- Après TMI puis Tchernobyl puis « 11 septembre 2001 »

- → Sureté renforcée (probabilité de fusion du cœur < 10⁻⁵)
 - Prise en compte de l'accident grave dès la conception
 - Protection renforcée vis-à-vis des agressions externes
 - Performances économiques
 - ↗ coûts, ↗ disponibilité, ↗ flexibilité, ↗ durée de fonctionnement > 60

Puissance (MWe)

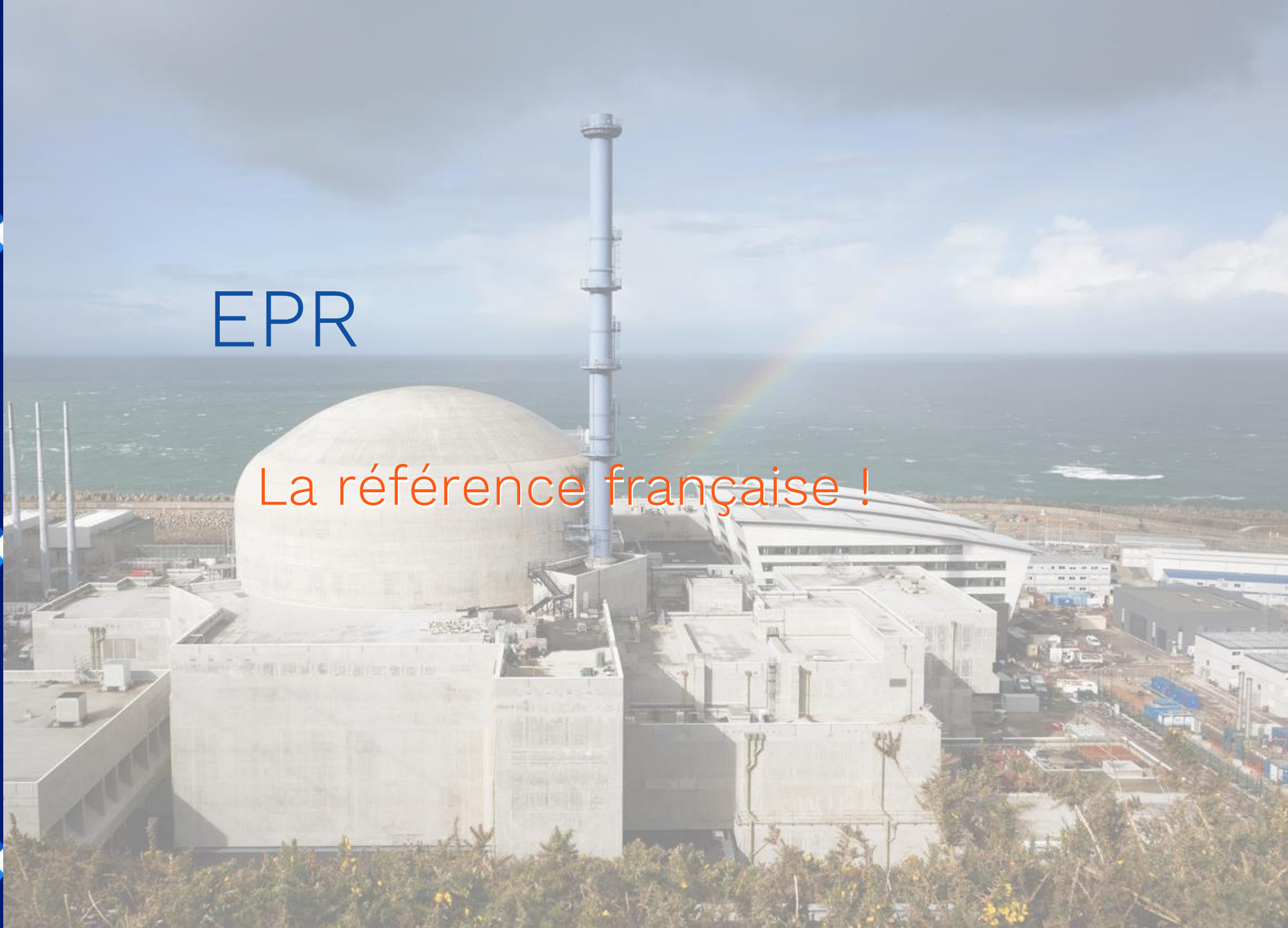


- Réacteur à eau pressurisée (REP)
- En fonctionnement / en construction
 - En développement
 - Suspendu / Abandonné
- Réacteur à eau bouillante (REB)
- En fonctionnement / en construction
 - En développement
 - Suspendu / abandonné



EPR

La référence française !

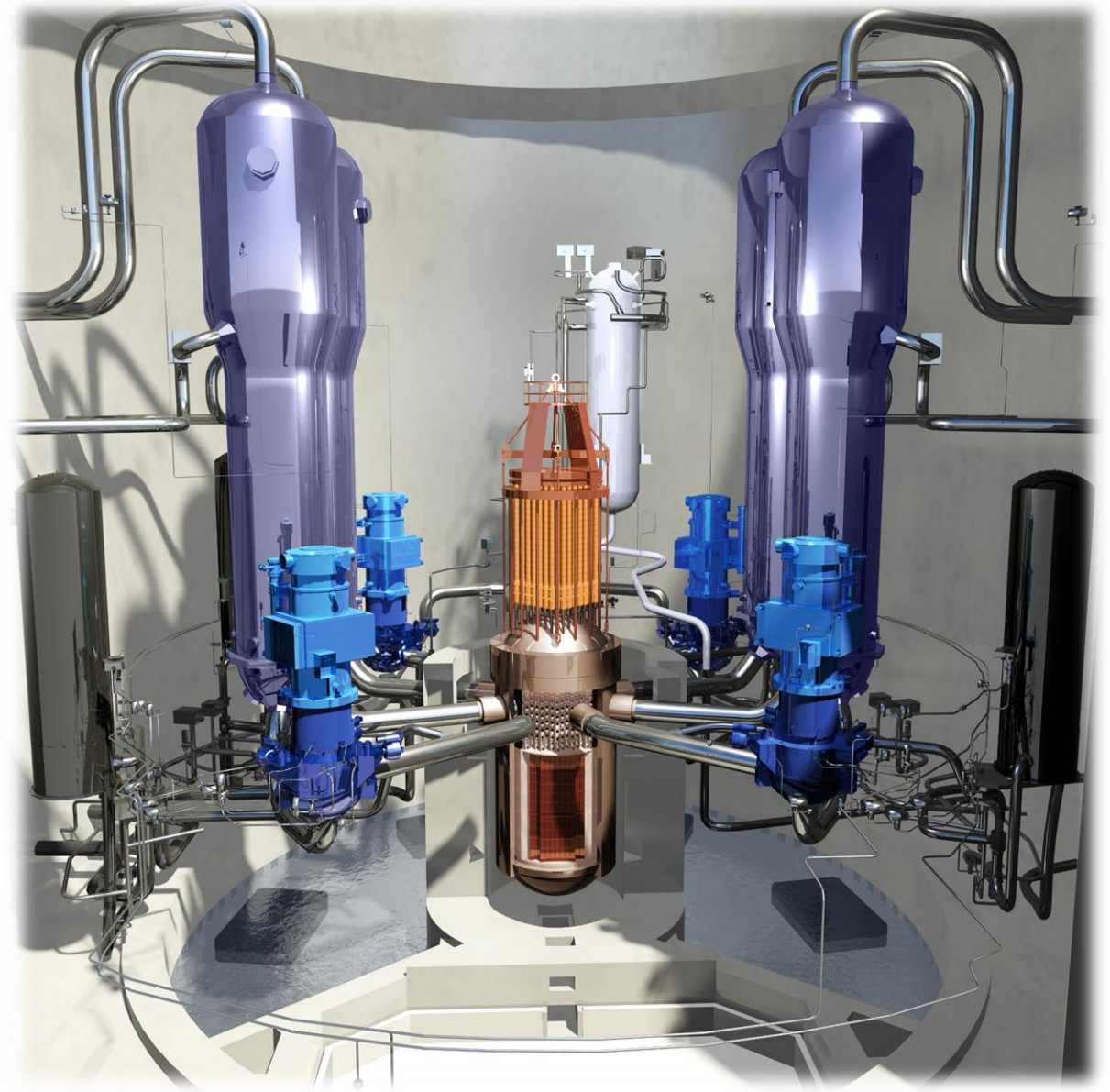


EPR – Quelques caractéristiques

- Développé à partir des années 90 dans le cadre d'une coopération franco-allemande avec l'objectif de
 - Développer le standard de troisième génération pour le renouvellement des parcs nucléaires français et allemand
 - Permettant de répondre aux exigences de sûreté françaises et allemandes.
- Gamme de **puissance : forte** → ~1600-1650 MWe
- Mise sur
 - **Une conception évolutionnaire sur la base de solutions éprouvées**
 - Permettant de s'appuyer sur le REX existant (demande AS)

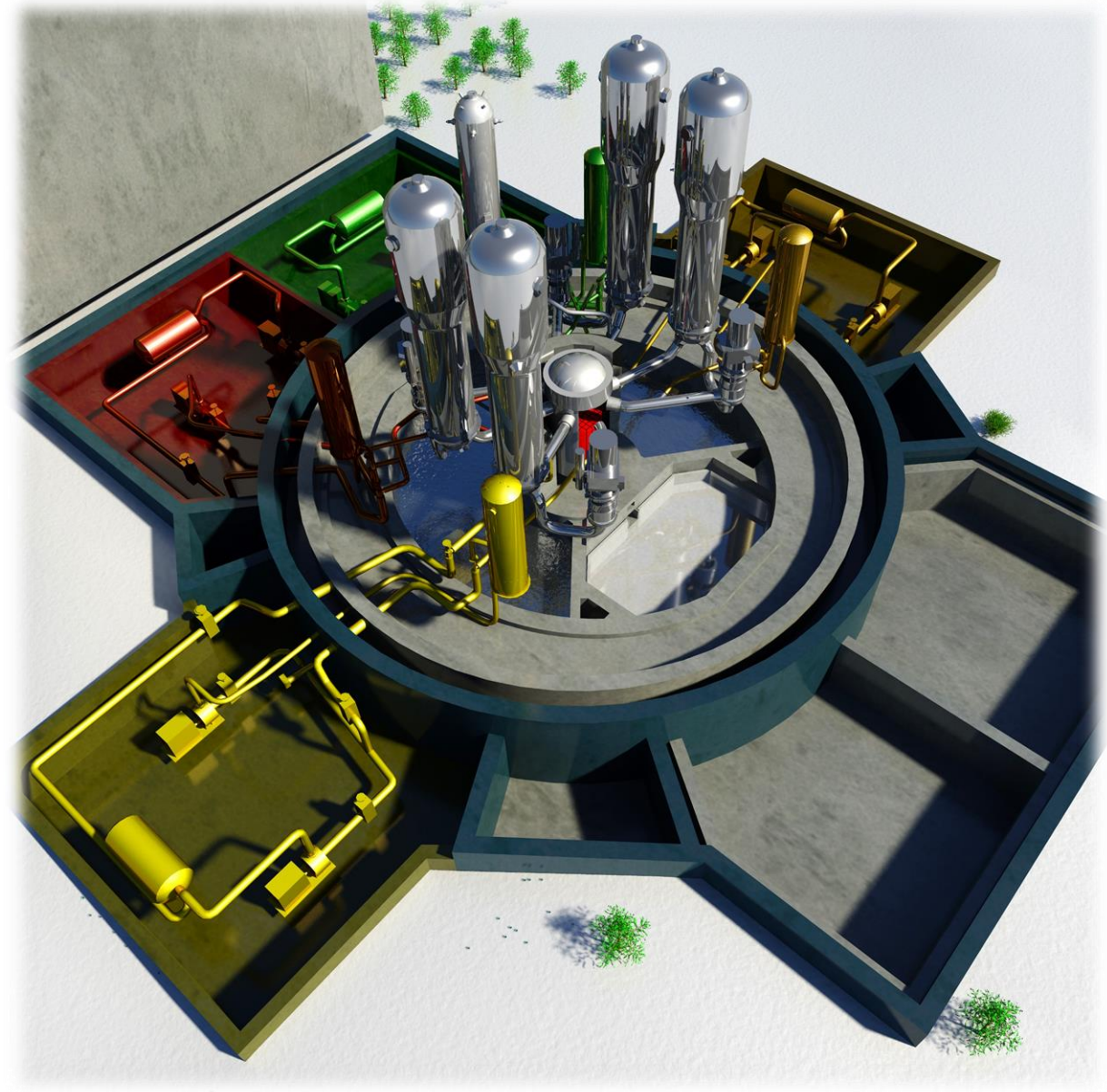
EPR – la chaudière

- **Cœur** : 241 assemblages 17x17 de 14 pieds
 - Puissance : 4300 – 4590 MWth
 - 89 grappes de crayons absorbants
 - Réflecteur lourd
- **Circuit primaire 4 boucles de type « parc »**
 - ↗ Taille des principaux composants
 - Moins de forgés
 - moins de soudures
 - Des forgés plus gros



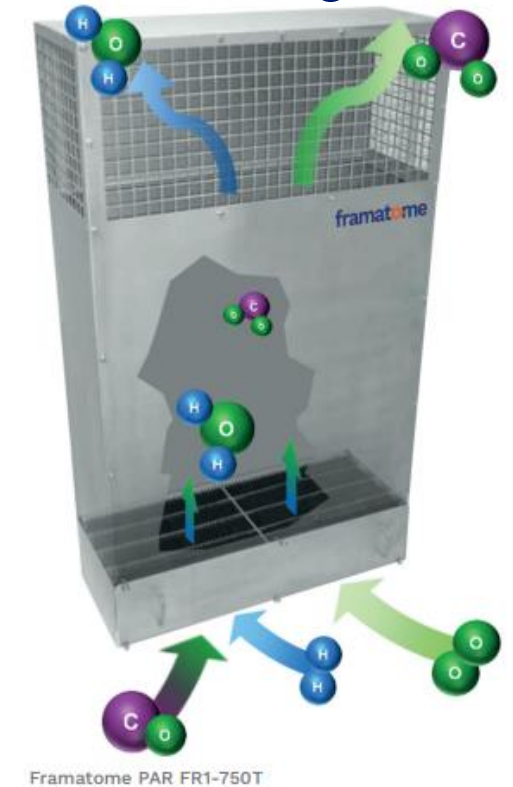
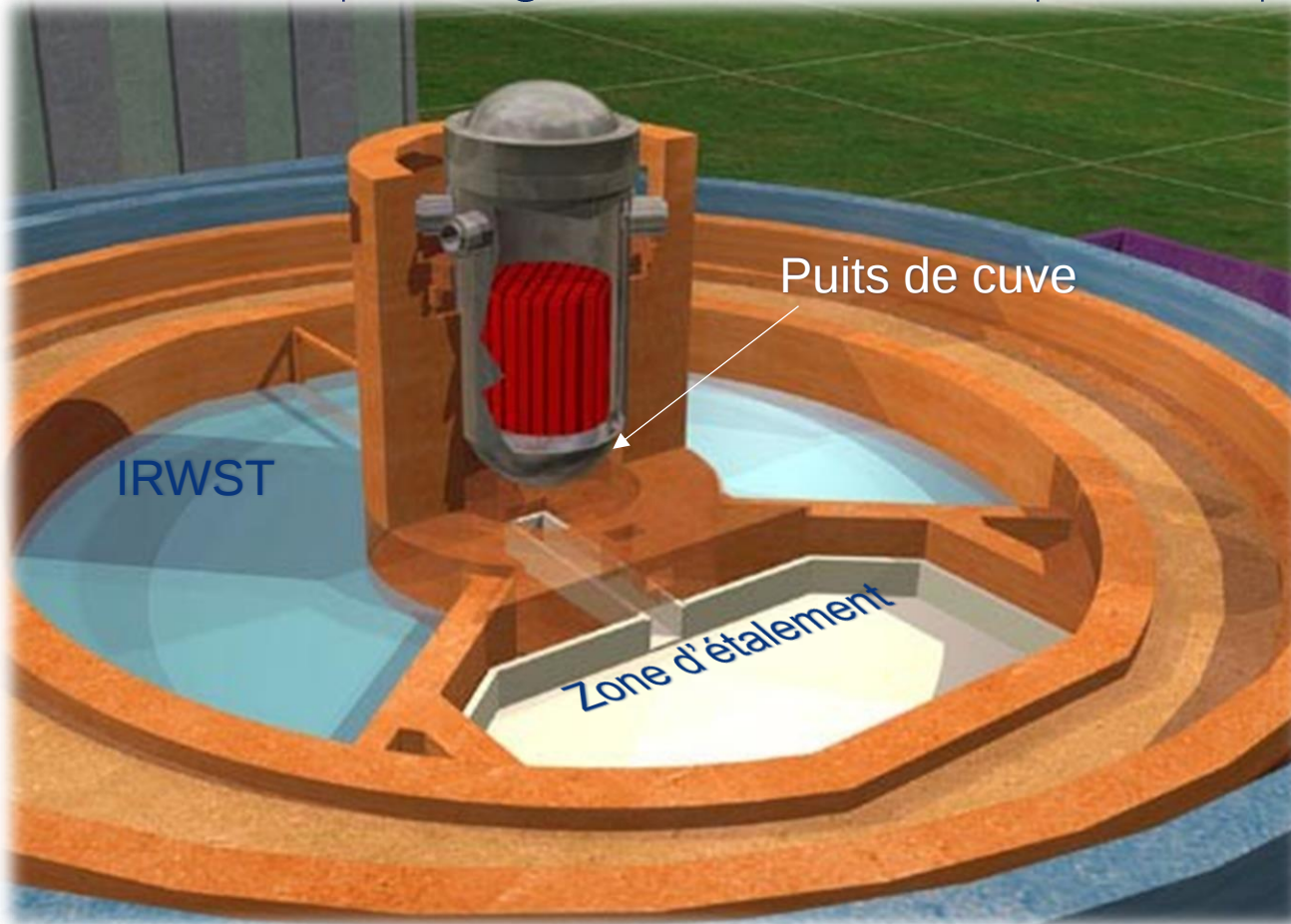
EPR – La sûreté

- Sûreté basée principalement sur des **systèmes actifs**
 - Redondance renforcée
 - Diversité renforcée
 - Meilleure séparation physique
 - Délai de grâce porté à 30 minutes



EPR – La sûreté

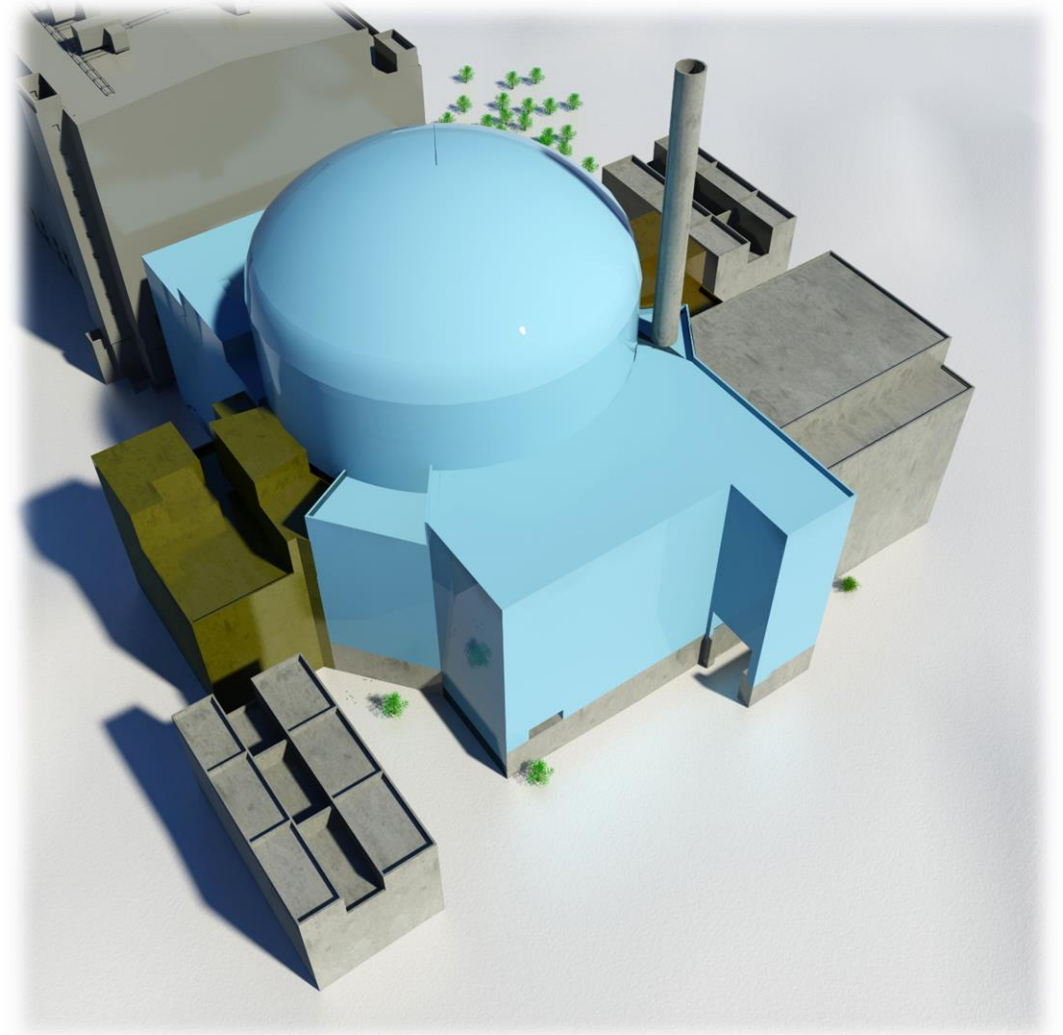
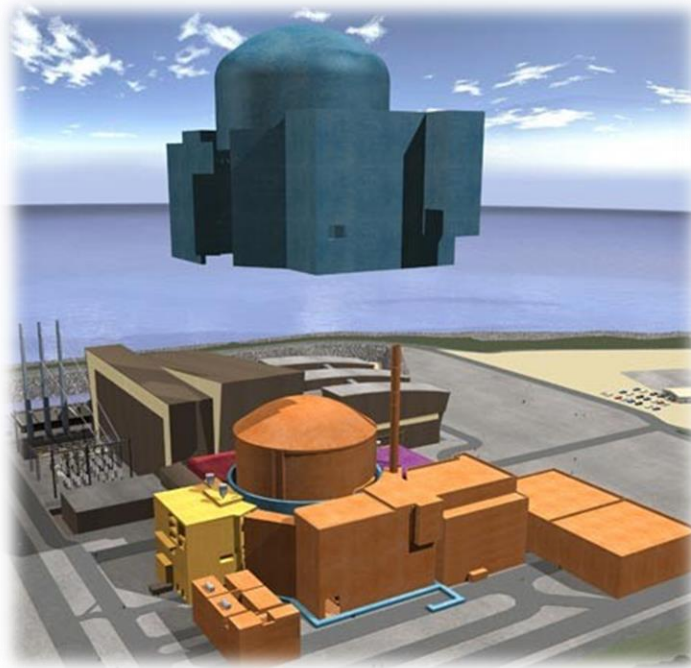
- Pour **l'accident grave** : Rétention et refroidissement du corium hors cuve → récupérateur de corium
 - Approche déterministe
 - Passif pour la gestion à court terme, puis actif pour la gestion du refroidissement à long terme



Des recombineurs
catalytiques d'H₂

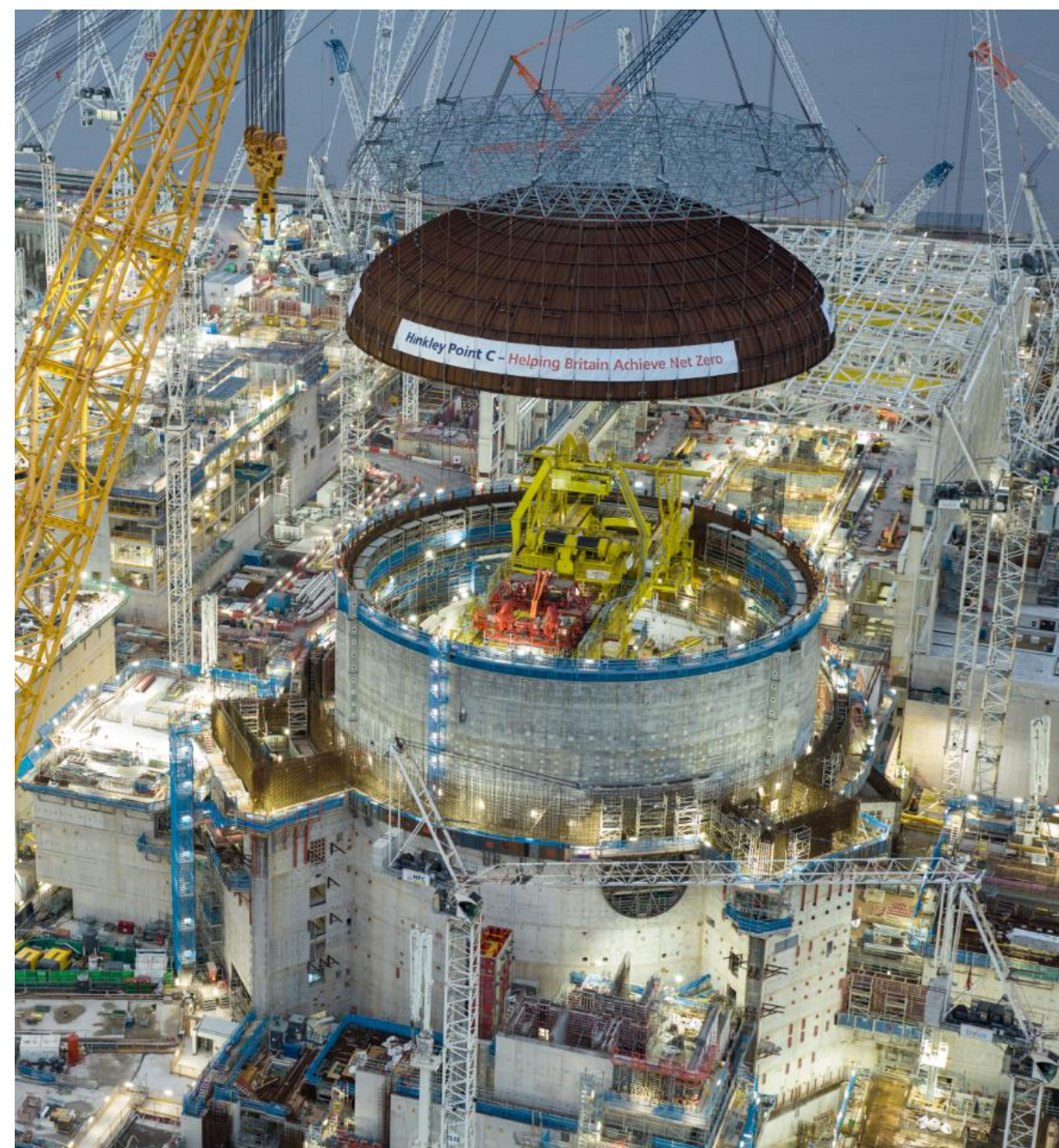
EPR – La sûreté

- Pour la **protection contre les agressions externes**
 - Une « coque avion » sur
 - Le bâtiment réacteur (double enceinte)
 - Le bâtiment combustible
 - 2 des bâtiments de sauvegarde
 - + Séparation physique



EPR – Le bilan

- **En production**
 - Finlande : OL3
 - Chine : Taishan 1&2
 - France : Flamanville 3
- **En construction**
 - Royaume-Uni : Hinkley Point C
- **En projet**
 - France (EPR2),
 - Royaume Uni : Sizewell C (EPR)
- **Prospects**
 - Inde, Pays-Bas, Finlande, Suède, Pologne, Slovénie, Canada



AP1000

Le modèle innovant !



AP1000 – Quelques caractéristiques

- Développé après **TMI** dans le cadre du programme **ALWR** avec le double objectif de
 - réduire la dépendance à l'opérateur 
 - et de réduire les coûts d'investissement 
- Gamme de **puissance : Moyenne** → ~1100 MWe
- Mise sur
 - **l'innovation** 
 - ... et le caractère éprouvé des solutions mises en place 

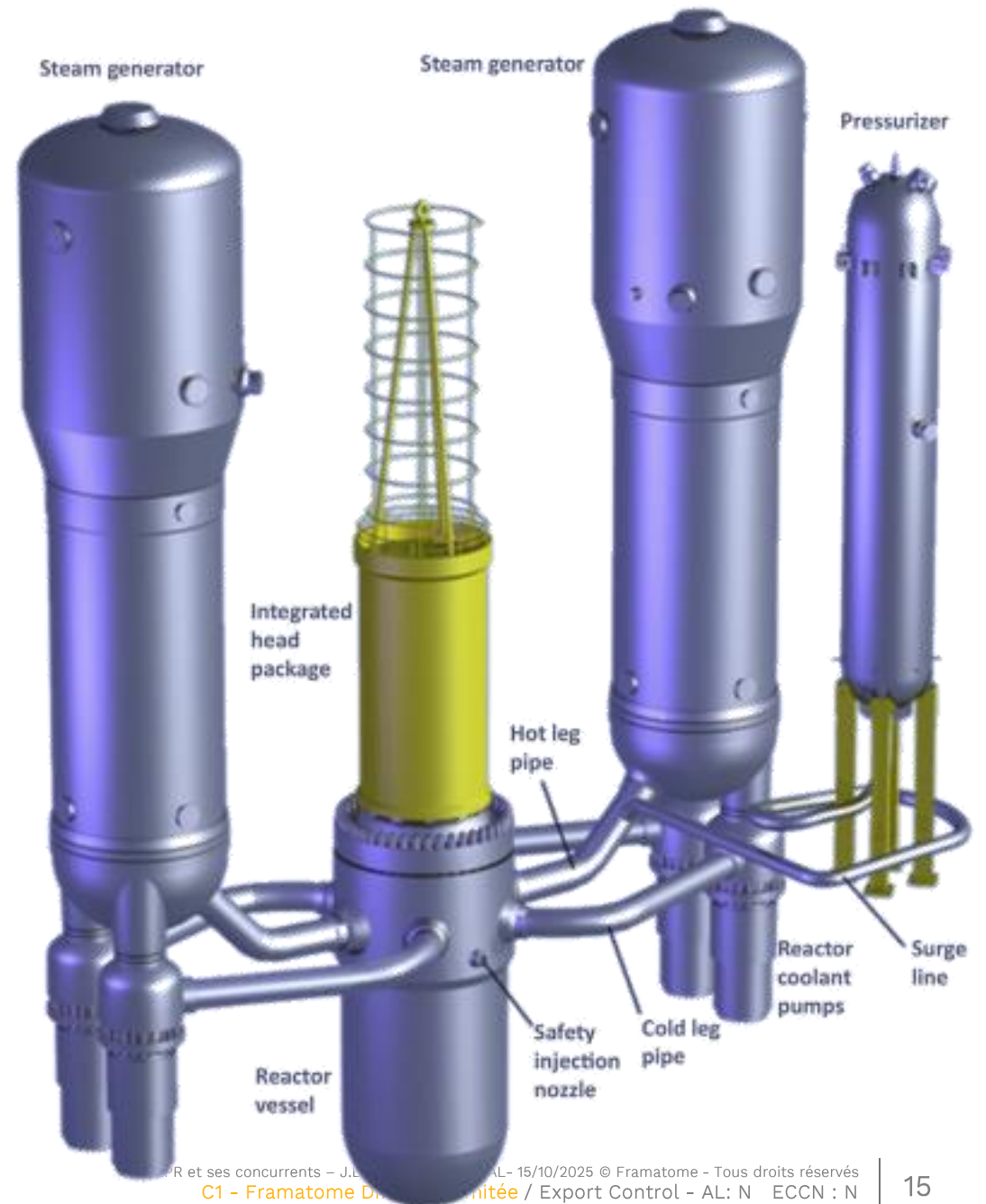
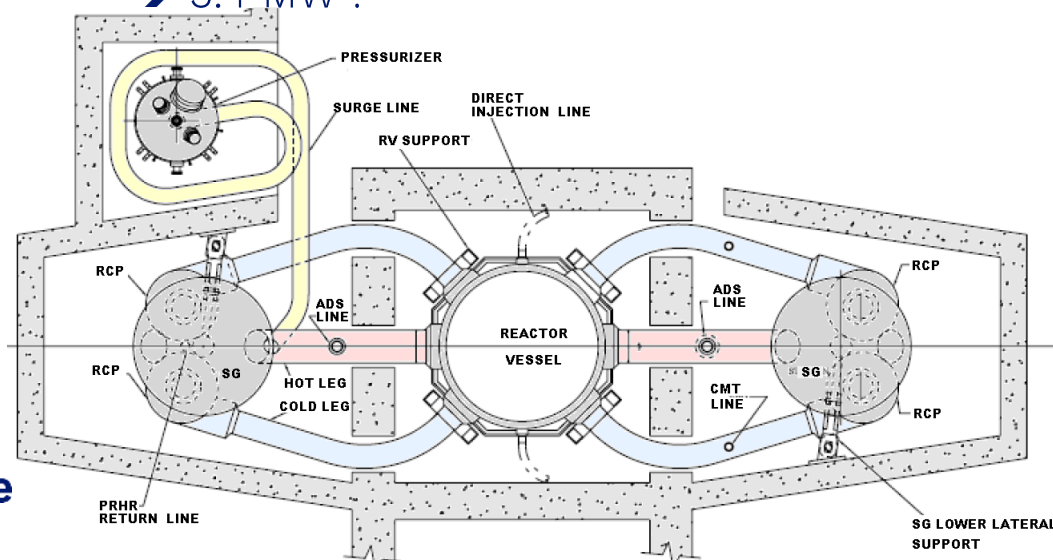
AP1000 – la chaudière



- **Cœur** : 157 assemblages 17x17 de 14 pieds
 - Puissance : 3400 MWth
 - 69 grappes de crayons absorbants

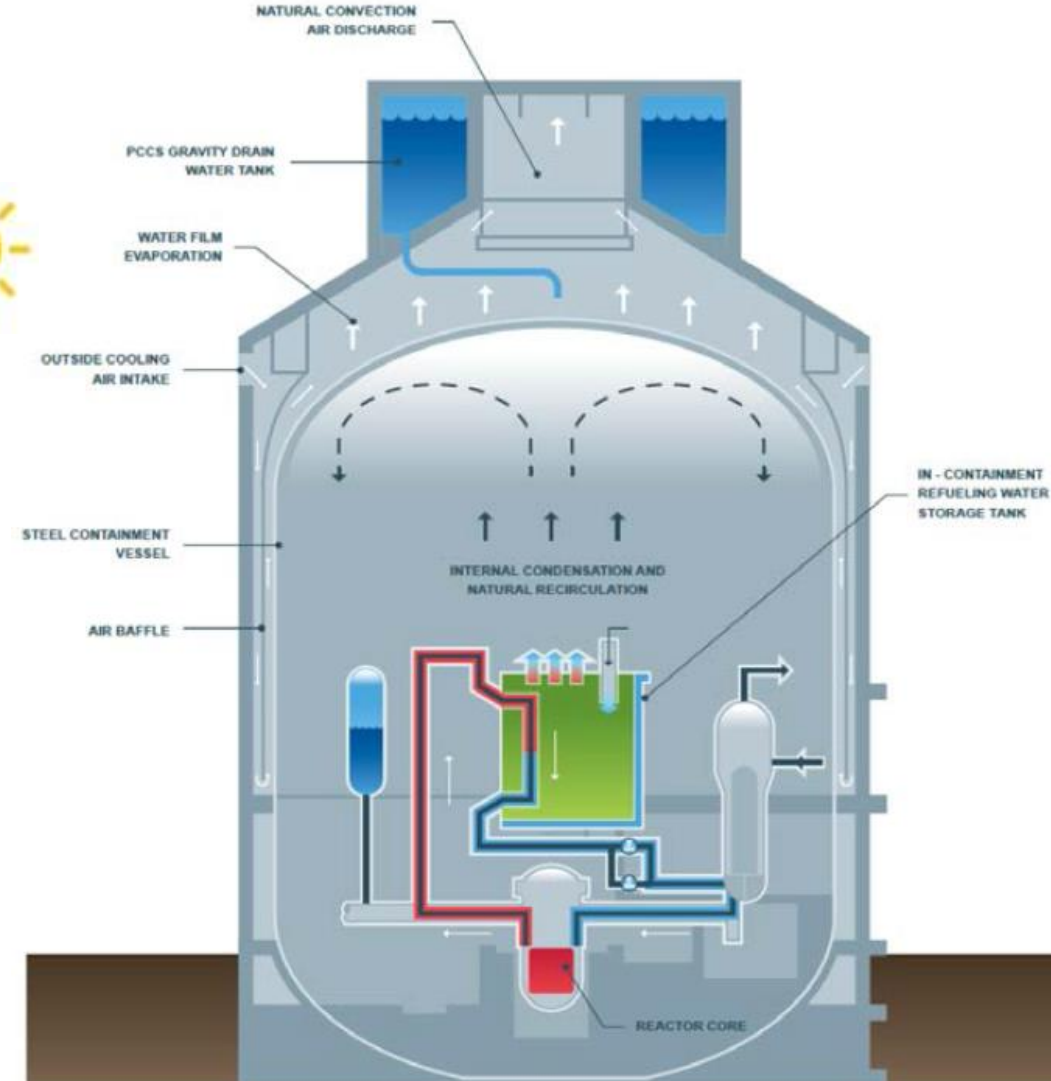
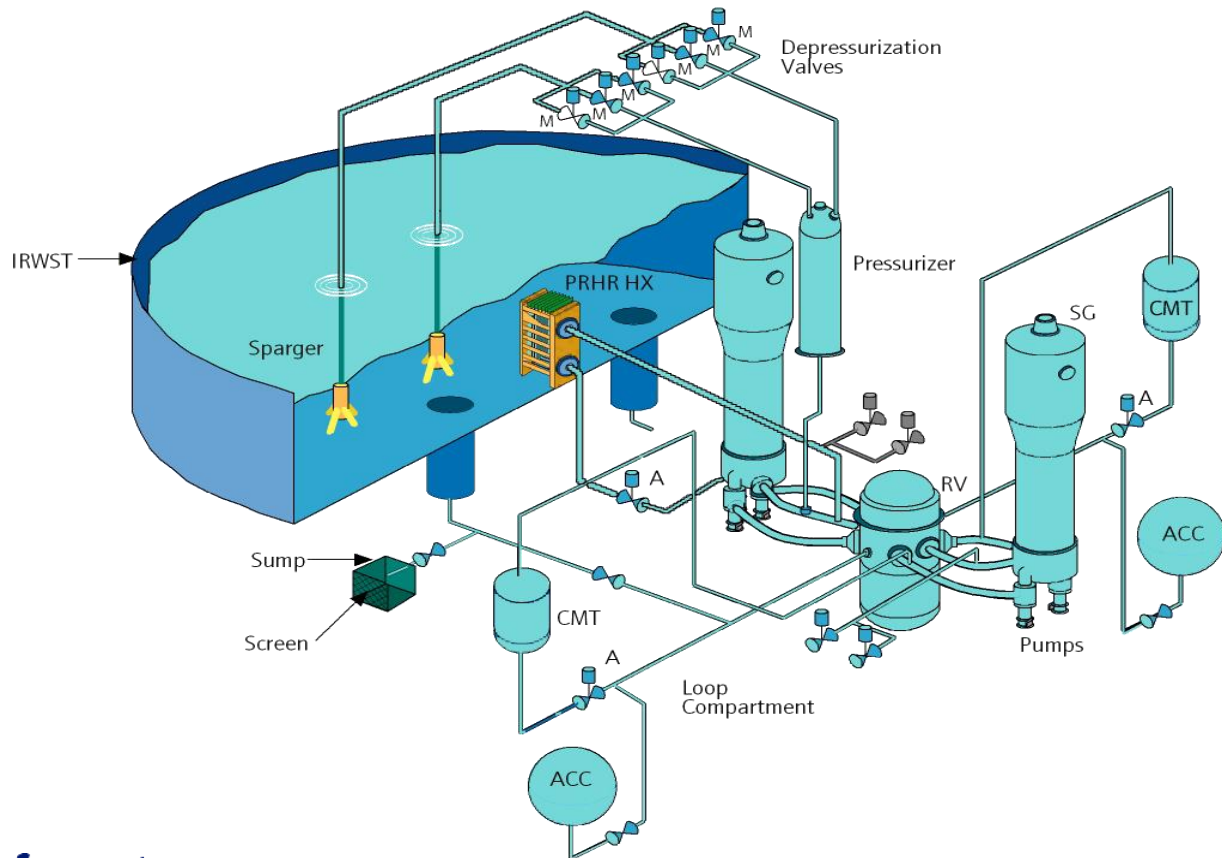


- **Circuit primaire de type CE** avec
 - 2 branches chaudes (2 gros GV)
 - 4 branches froides (4 pompes primaires)
 - Pompes à rotor noyé
 - Montées directement sous les GV
 - ➔ pas de branche en U
 - ➔ 5.4 MW !



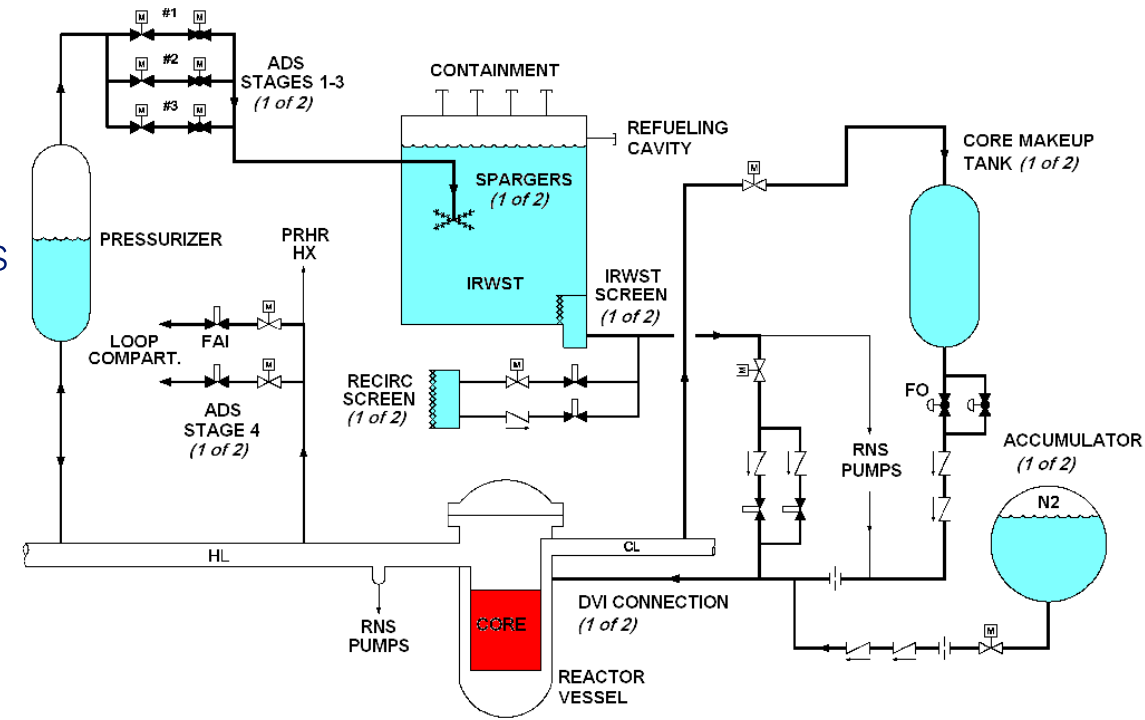
AP1000 – La sûreté

- Démonstration de sûreté basée uniquement sur des **systèmes passifs**
 - 72 heures d'autonomie sans action opérateur



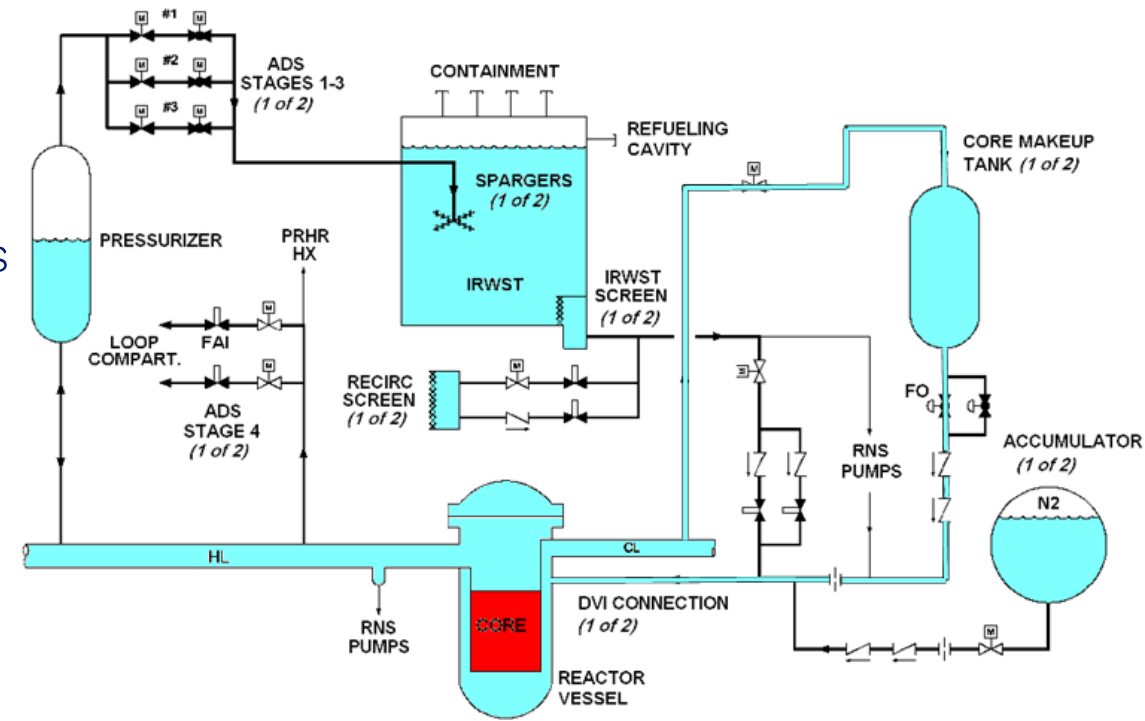
AP1000 – La sûreté

- Démonstration de sûreté basée uniquement sur des **systèmes passifs**
 - 72 heures d'autonomie sans action opérateur



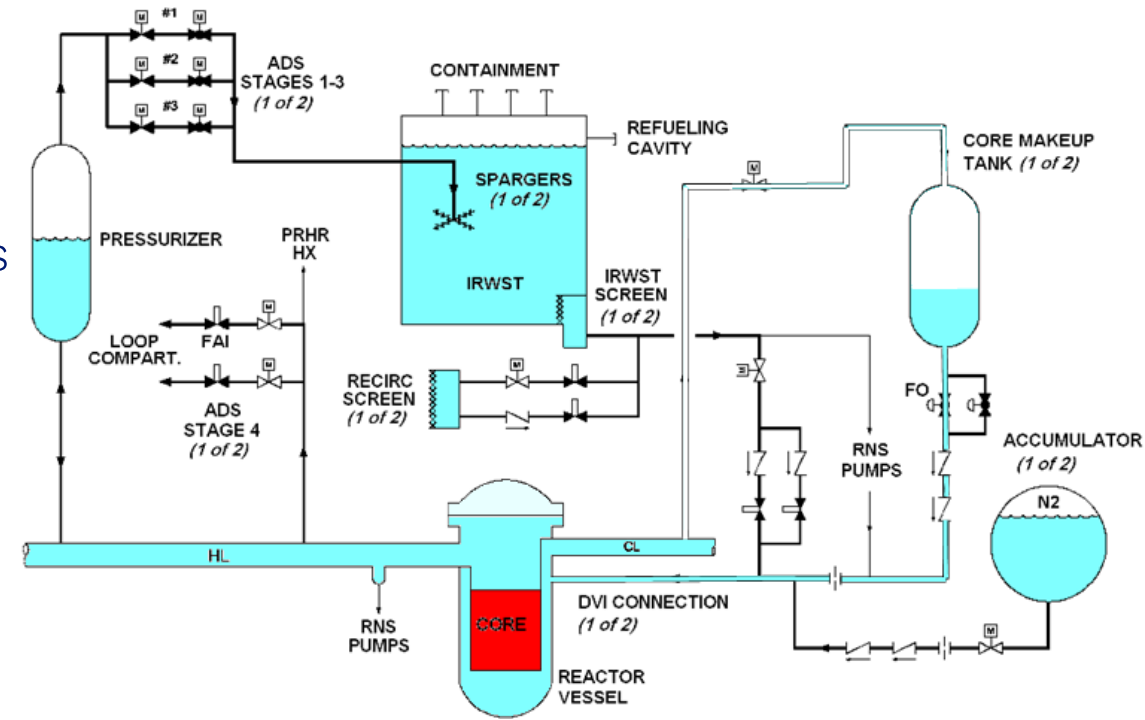
AP1000 – La sûreté

- Démonstration de sûreté basée uniquement sur des **systèmes passifs**
 - 72 heures d'autonomie sans action opérateur



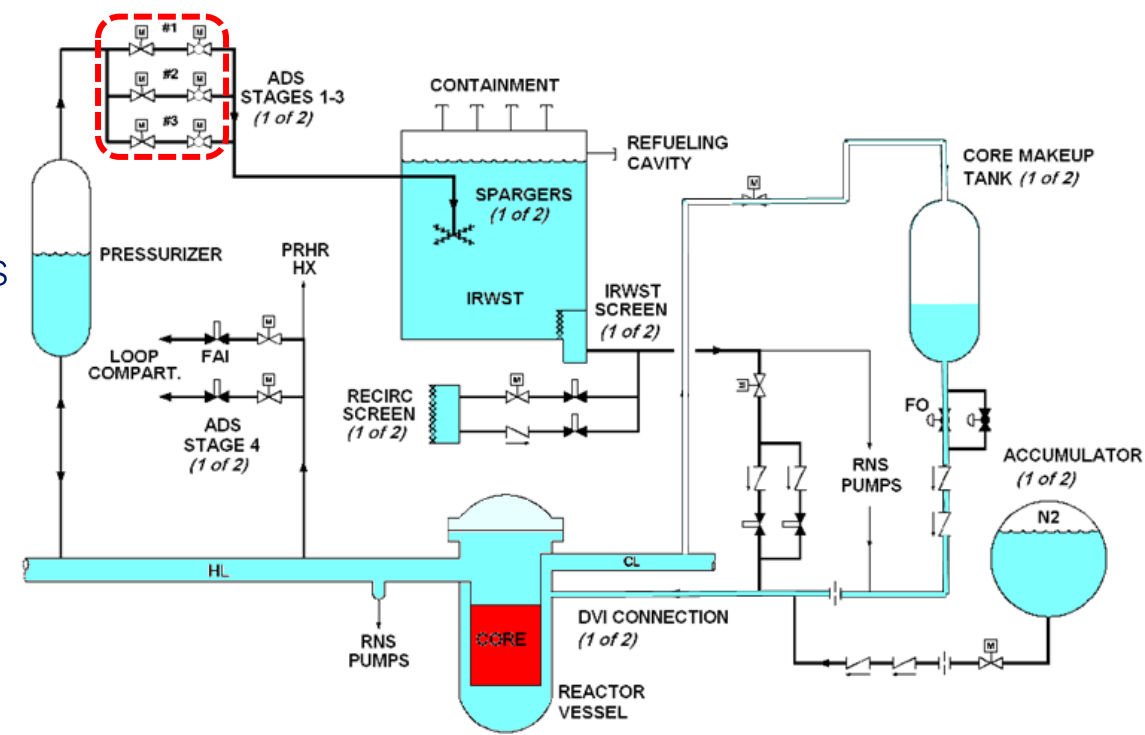
AP1000 – La sûreté

- Démonstration de sûreté basée uniquement sur des **systèmes passifs**
 - 72 heures d'autonomie sans action opérateur



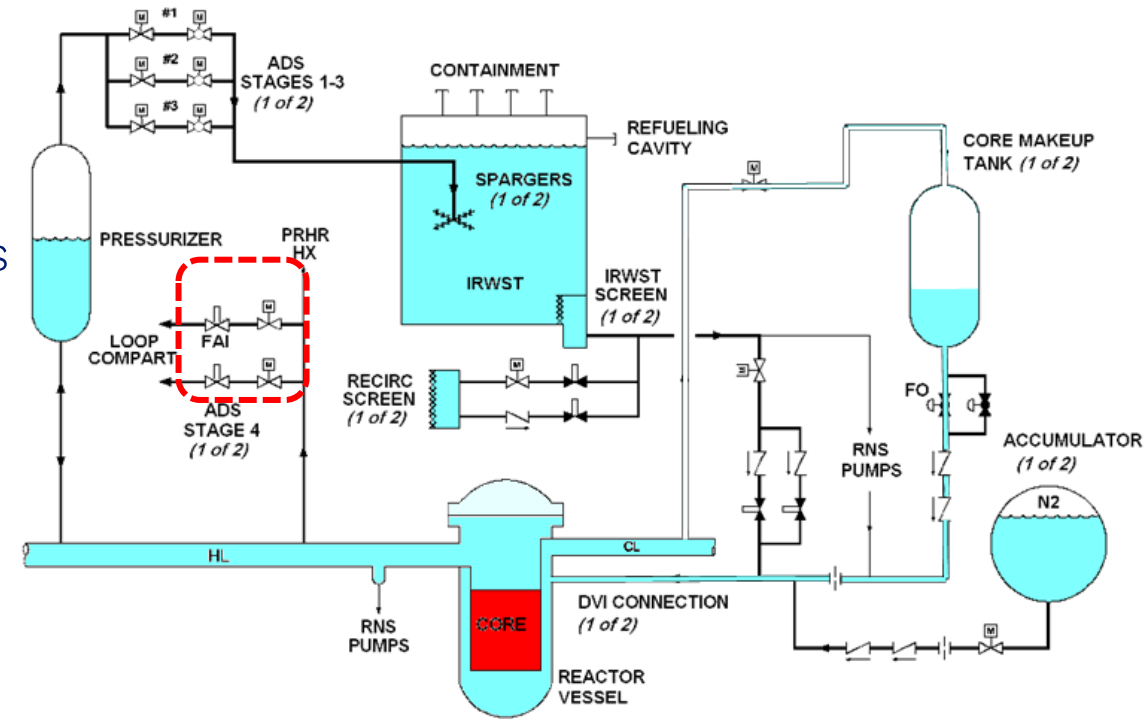
AP1000 – La sûreté

- Démonstration de sûreté basée uniquement sur des **systèmes passifs**
 - 72 heures d'autonomie sans action opérateur



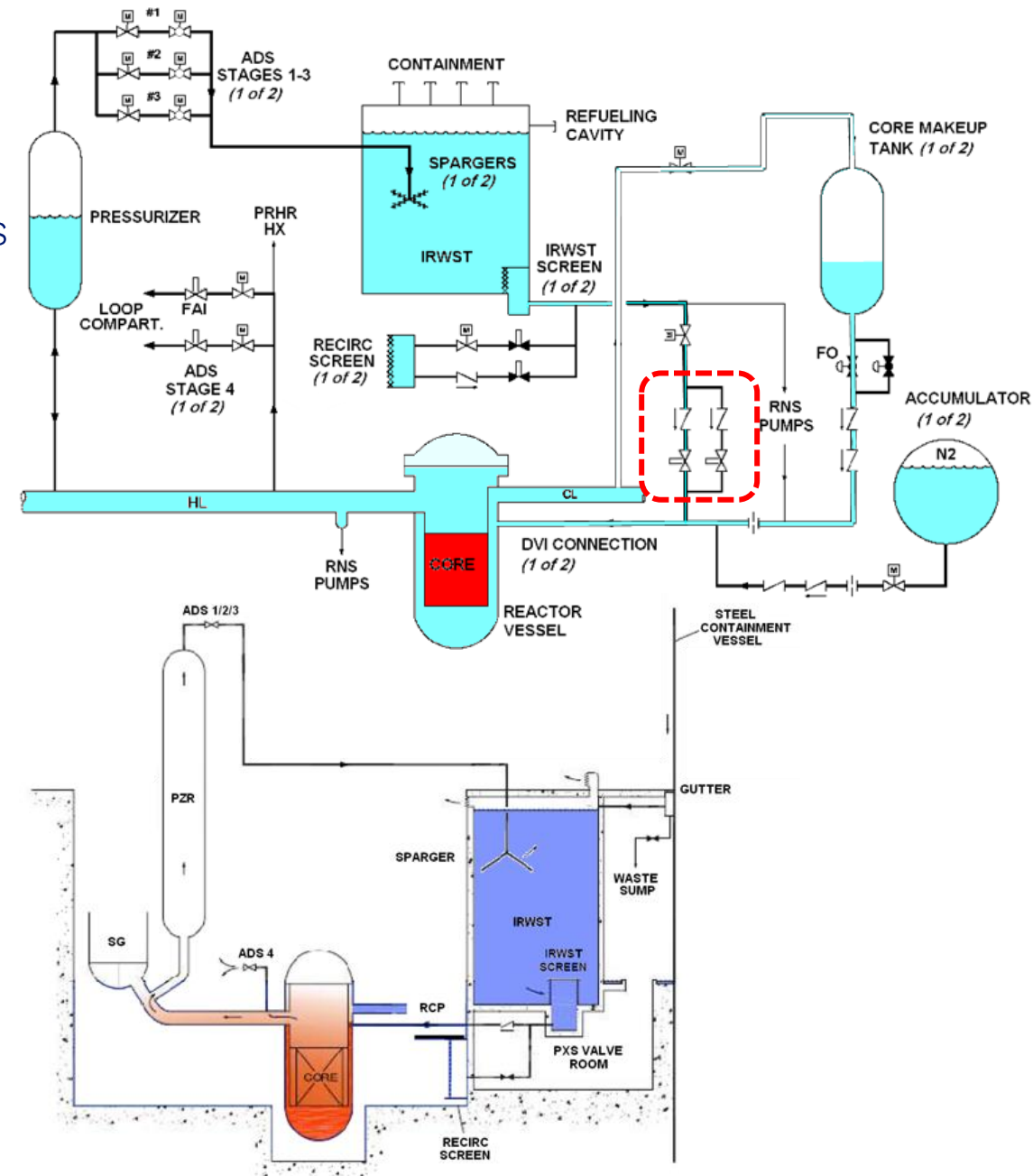
AP1000 – La sûreté

- Démonstration de sûreté basée uniquement sur des **systèmes passifs**
 - 72 heures d'autonomie sans action opérateur



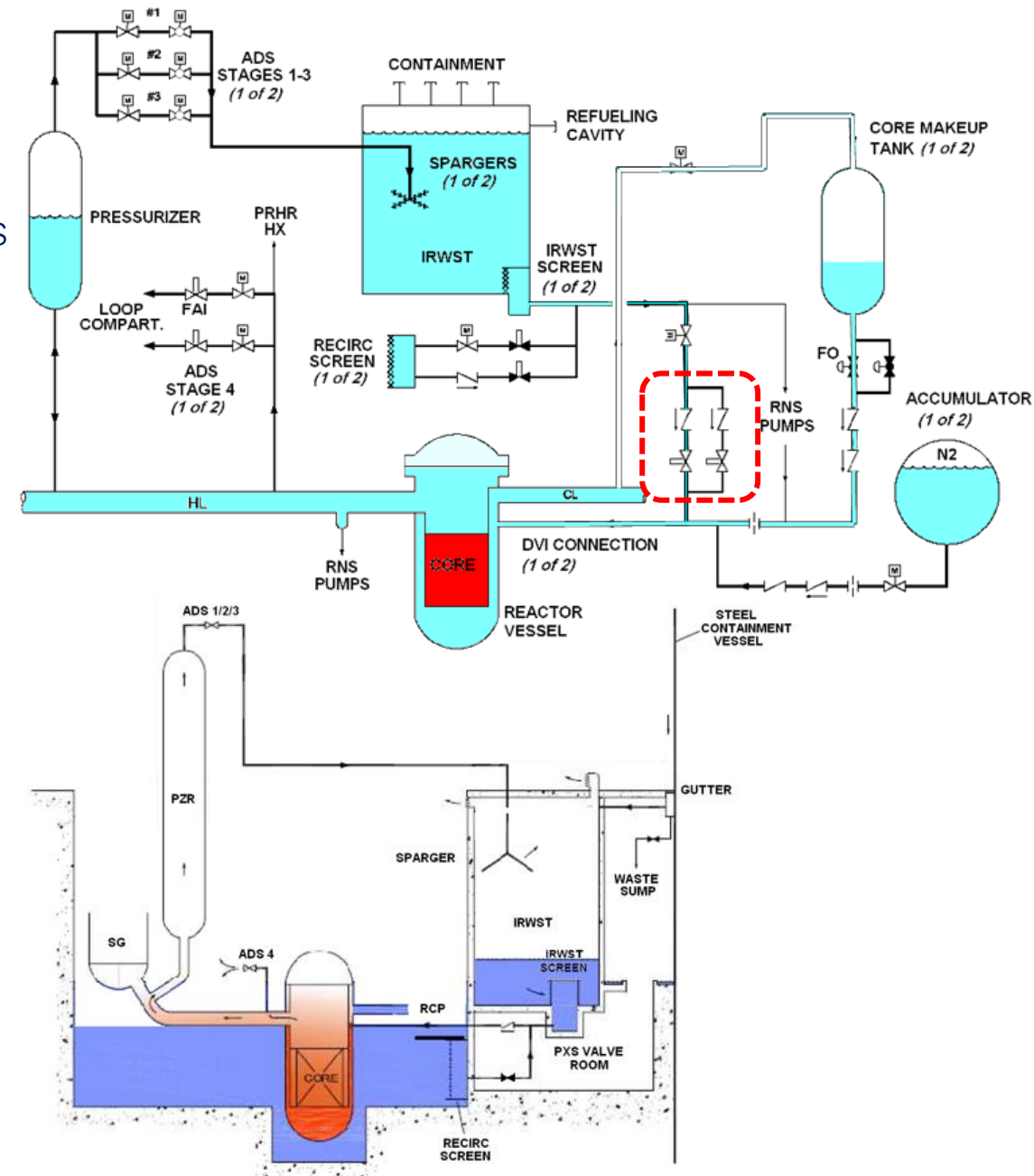
AP1000 – La sûreté

- Démonstration de sûreté basée uniquement sur des **systèmes passifs**
 - 72 heures d'autonomie sans action opérateur



AP1000 – La sûreté

- Démonstration de sûreté basée uniquement sur des **systèmes passifs**
 - 72 heures d'autonomie sans action opérateur



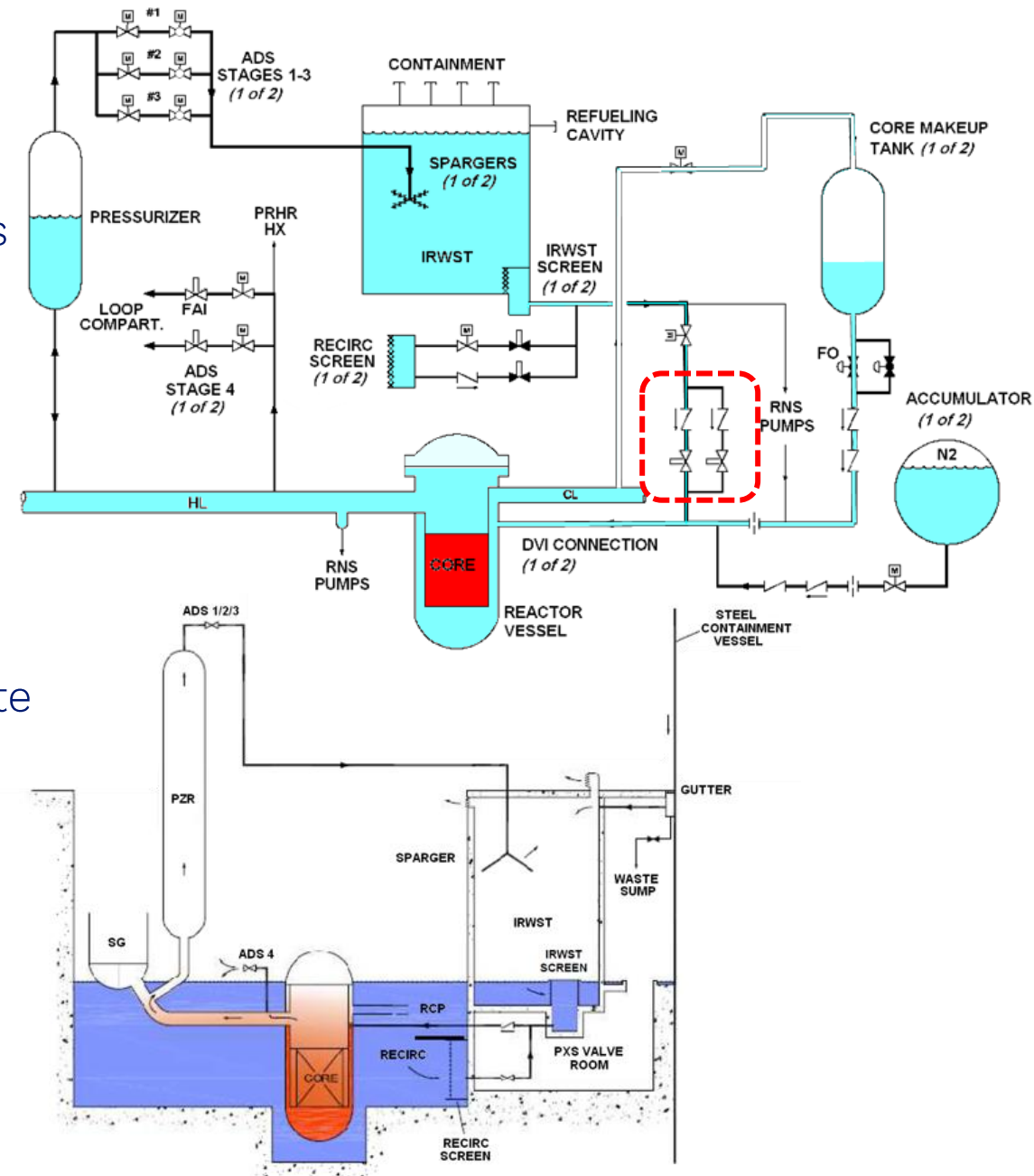
AP1000 – La sûreté

- Démonstration de sûreté basée uniquement sur des **systèmes passifs**

- 72 heures d'autonomie sans action opérateur

- **Des systèmes actifs** (non classé) pour éviter le déroulement de la séquence passive complète et la perte de l'investissement !

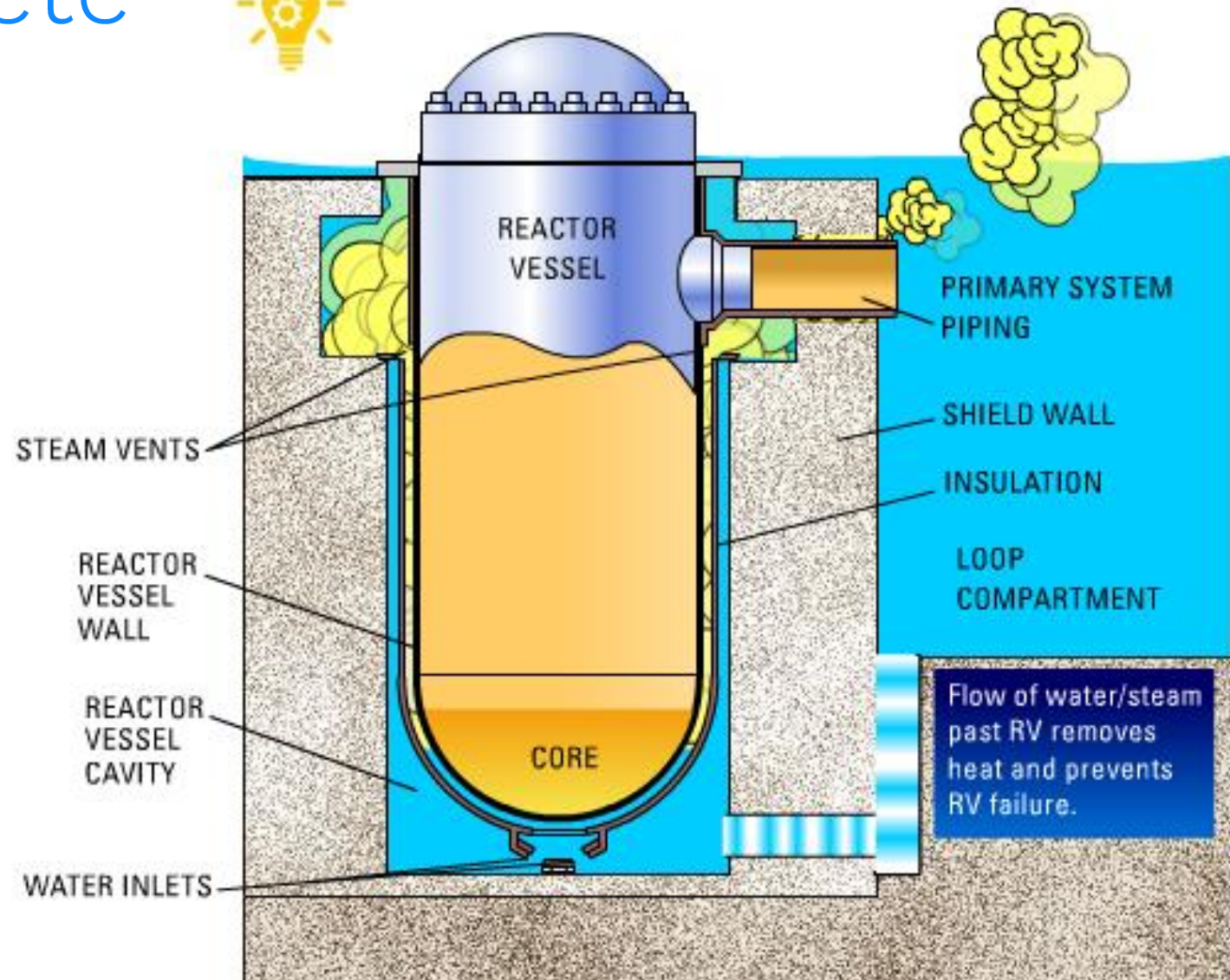
- RRA
- RCV
- Startup Feedwater System



AP1000 – La sûreté

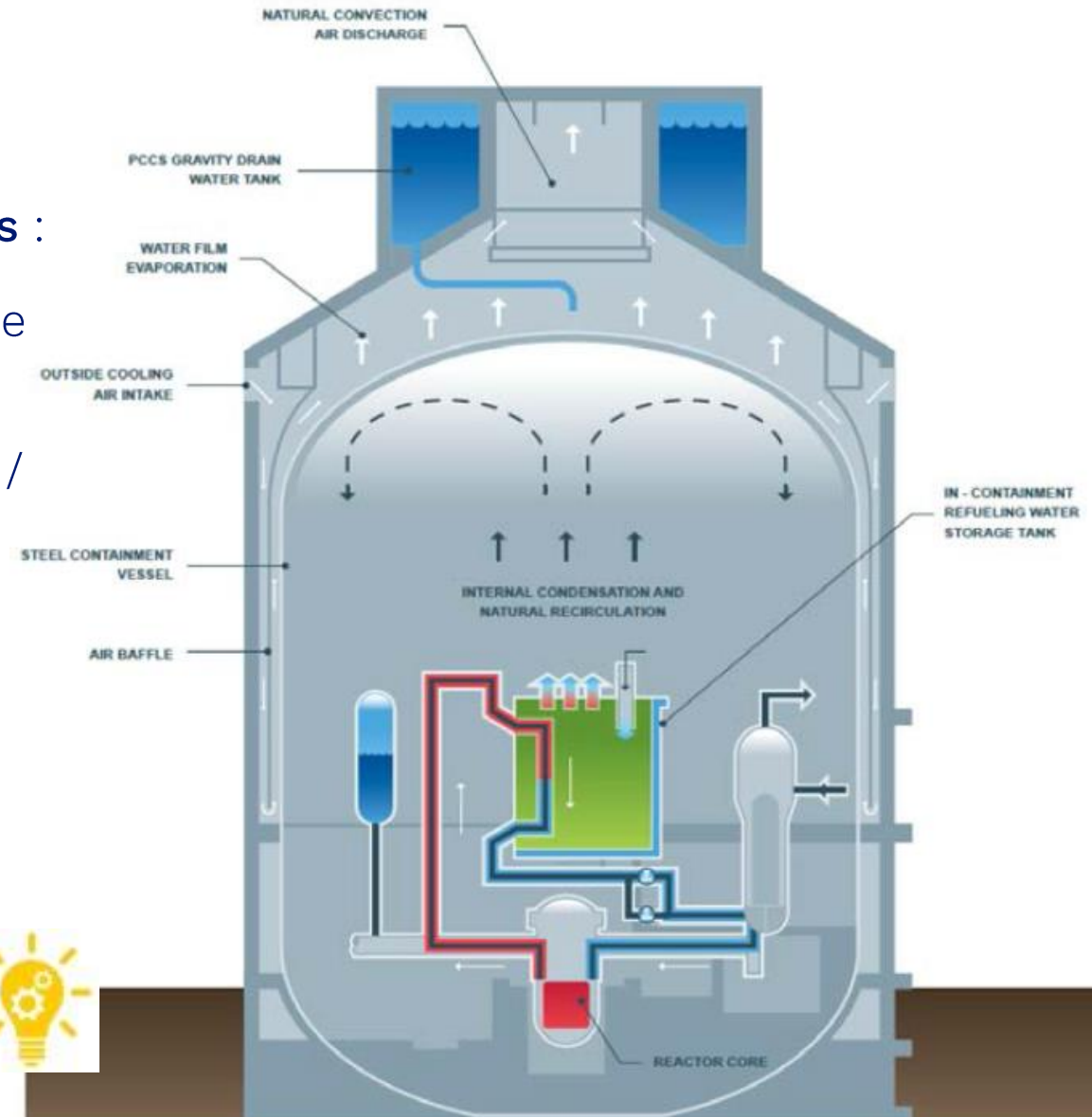


- Pour **l'accident grave** :
 - Rétention du corium en cuve
 - Approche probabiliste



AP1000 – La sûreté

- Pour la **protection contre les agressions externes** :
 - Bâtiment de protection autour de l'enceinte de confinement métallique.
 - Utilisation d'une structure « sandwich » (acier / béton / acier) d'une épaisseur totale relativement faible (91 cm)



AP1000 – La Construction

- Utilisation intensive de la construction modulaire

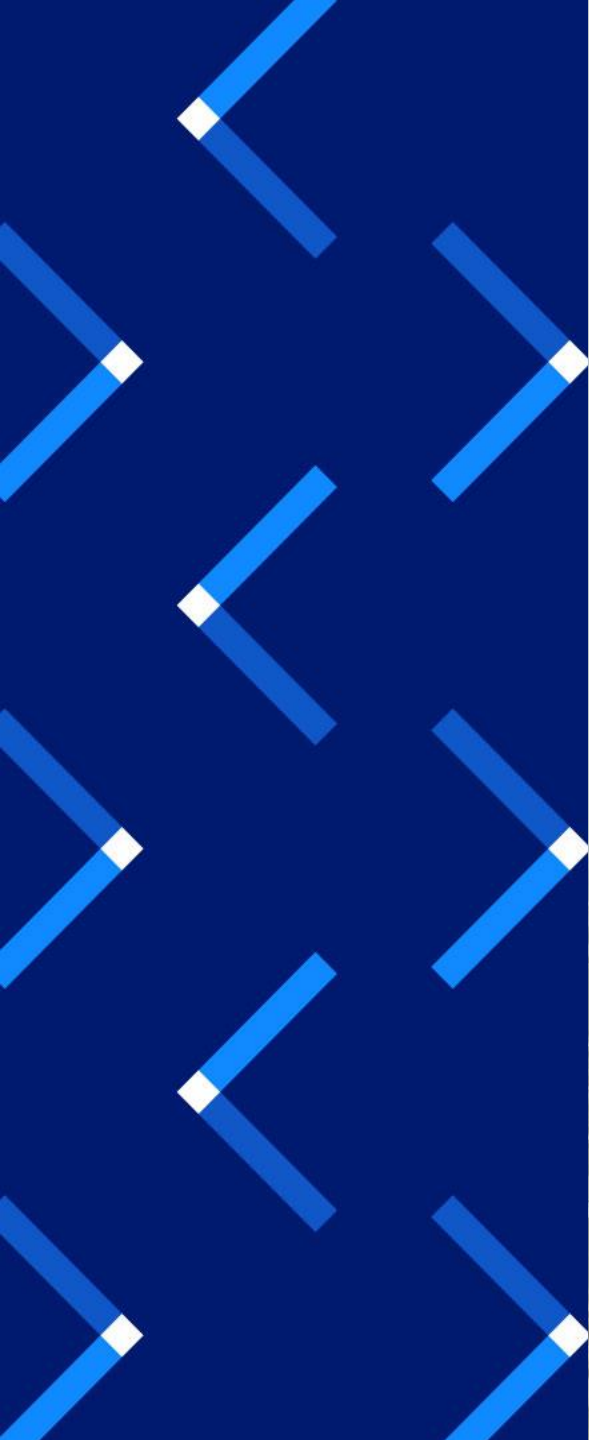


framatome



AP1000 – Le bilan

- USA : construction de 4 unités lancée en 2013
 - Vogtle 3&4 → En exploitation commerciale (31 juillet 2023 / 29 avril 2024)
 - V.C. Summer 2&3 → construction arrêtée en 2017 pour raisons économiques
- Chine (CAP1000)
 - 4 réacteurs en exploitation commerciale (Sanmen 1&2 et Haiyang 1&2) - mises en service en 2018/2019
 - **9 unités supplémentaires en construction** (CAP1000).
 - **5 unités supplémentaires déjà approuvées** (CAP1000).
- Pologne
 - Sélectionné pour la première centrale Polonaise
- Prospects
 - Ukraine, Inde, Bulgarie, Slovaquie, Pays-Bas, Suède, Finlande, Slovénie



VVER Gen-III (VVER-1000 / VVER-1200 / VVER-TOI)

Ceinture et bretelles !

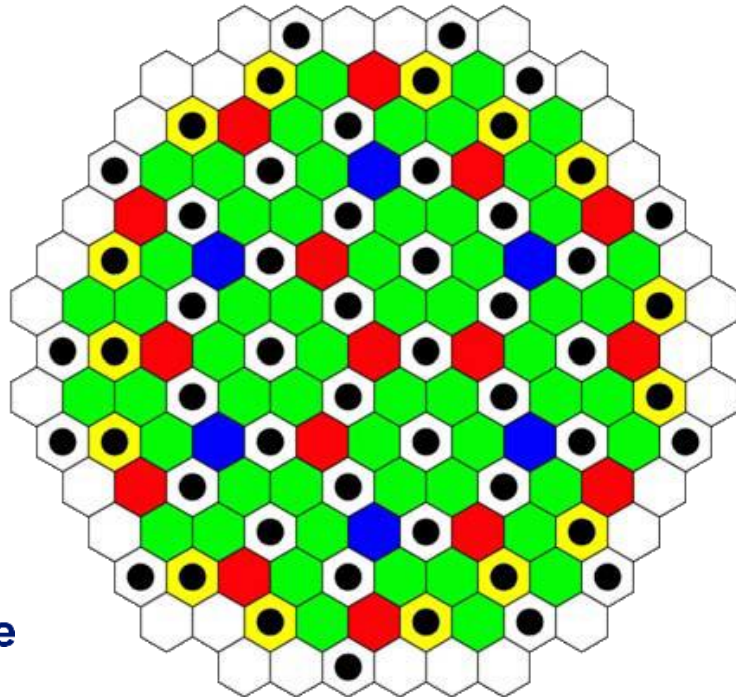


VVER Gen-III – Quelques caractéristiques

- Développés **après Tchernobyl** avec un objectif essentiel
 - Augmenter significativement le niveau de sûreté des VVER
→ se mettre au niveau des standards occidentaux !
- Gamme de **puissance** : **Moyenne** → de 1000 MWe (AES-91 / AES-92) à 1300 MWe (VVER-TOI)
- Bénéficie largement de la **coopération internationale** mise en place après Tchernobyl
 - Systèmes de sûreté actifs redondants + Double enceinte de confinement (~ EPR)
 - Backup passif (Coopération avec Siemens)
- Compétition entre 2 bureaux d'études
 - Moscou : AES-92 → AES-2006/V392M → VVER-TOI
 - St Pétersbourg : AES-91 → AES-2006/V491

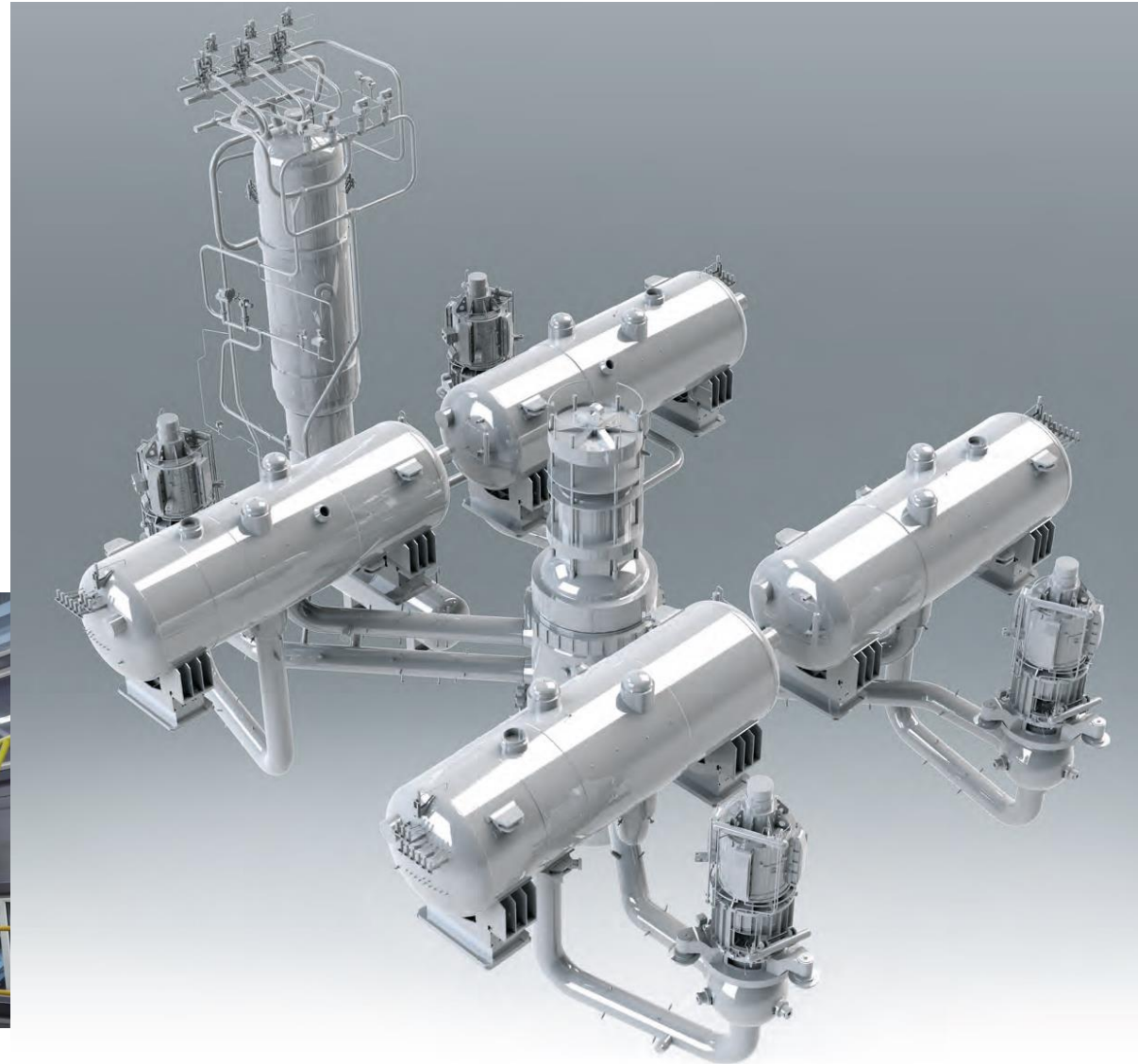
VVER Gen-III – la chaudière

- **Cœur** : 161 assemblages hexagonaux dans un cœur à pas triangulaire
 - Puissance : 3000 à 3300 MWth
 - 121 grappes (AES-2006)
 - 89 grappes (VVER-TOI)



VVER Gen-III – la chaudière

- **Circuit primaire** typique VVER
 - 4 boucles avec BC et BF sur 2 niveaux
 - GV horizontaux

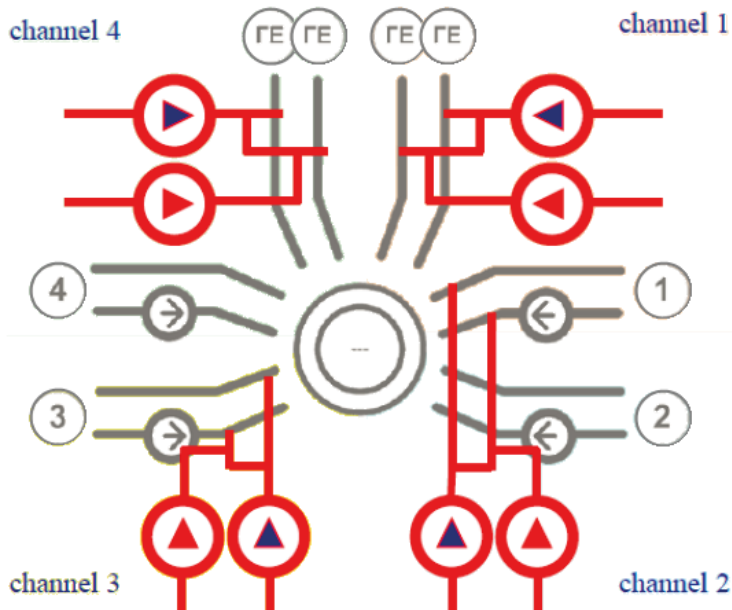


VVER Gen-III – La sûreté



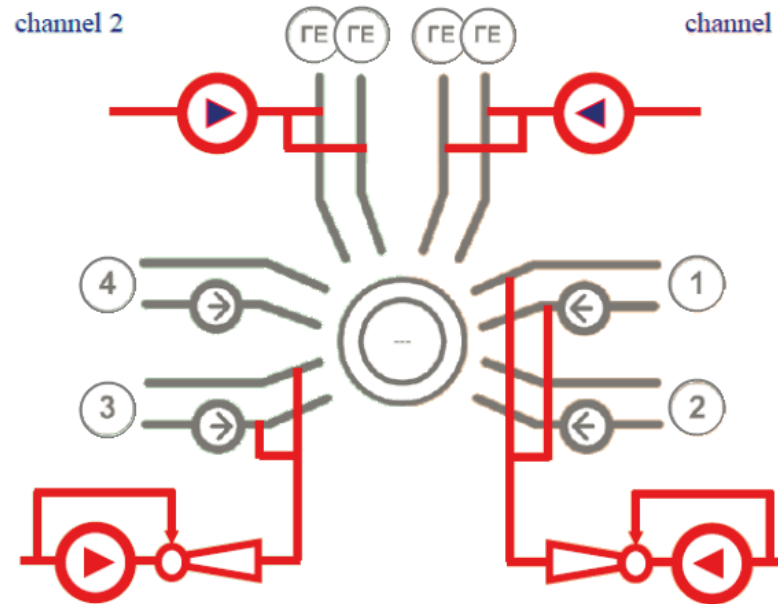
- Des **systèmes de sauvegardes actifs** redondants

4 trains indépendants (4x100)



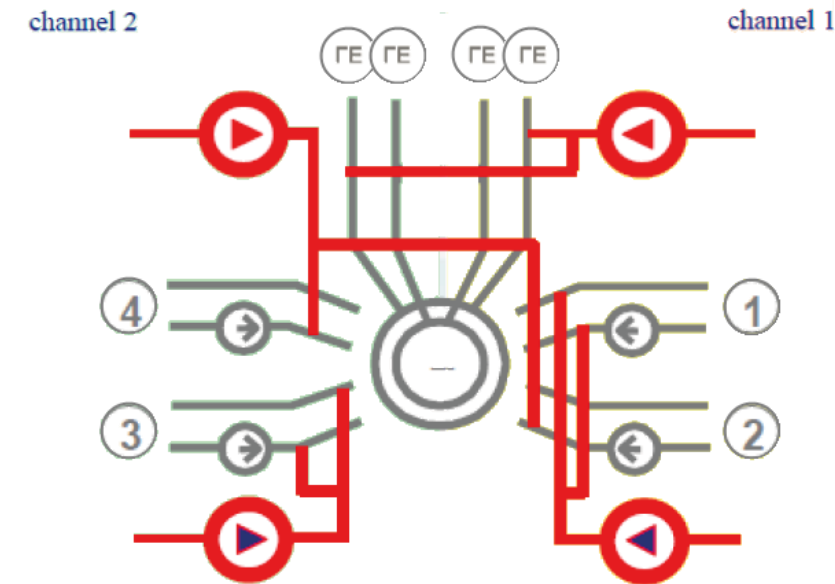
VVER-1200 S^t Pétersbourg

2 trains indépendants avec
redondance interne (2x(2x100))



VVER-1200 Moscou

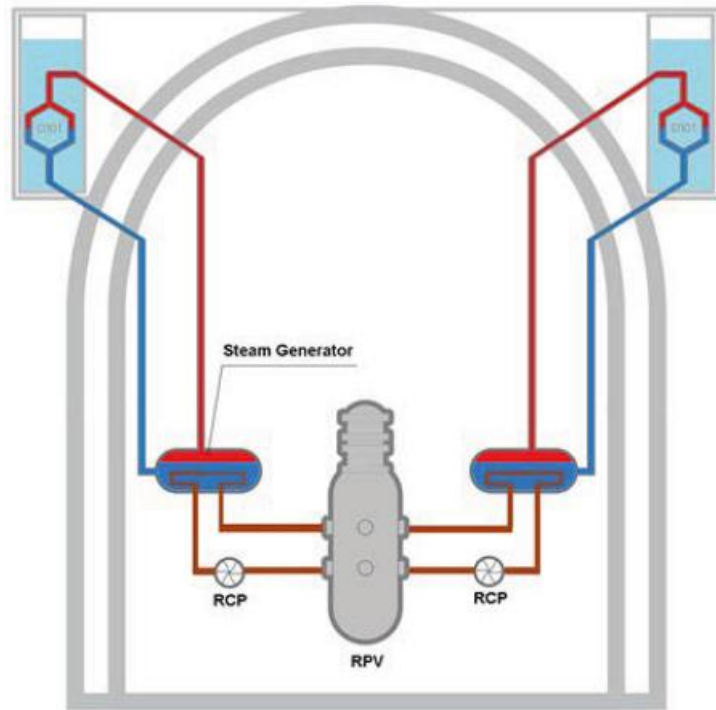
2 trains indépendants (2x100)



VVER-TOI Moscou

VVER Gen-III – La sûreté

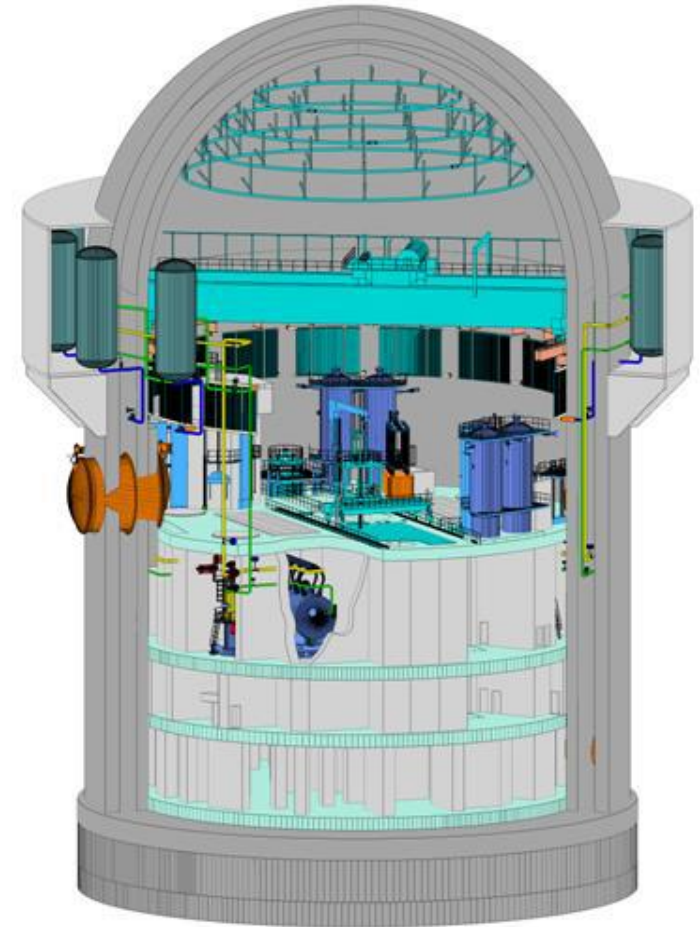
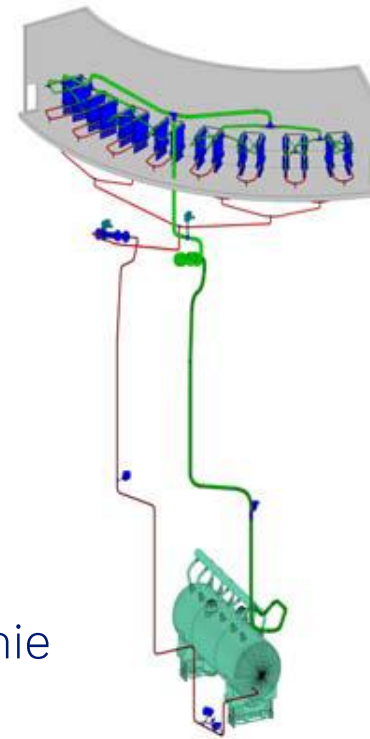
- Des **systèmes de sauvegardes passifs** en backup
 - Evacuation de la puissance résiduelle



VVER-1200 S^t Pétersbourg

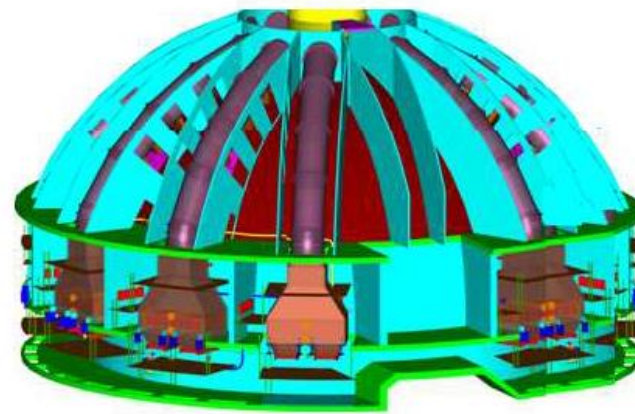
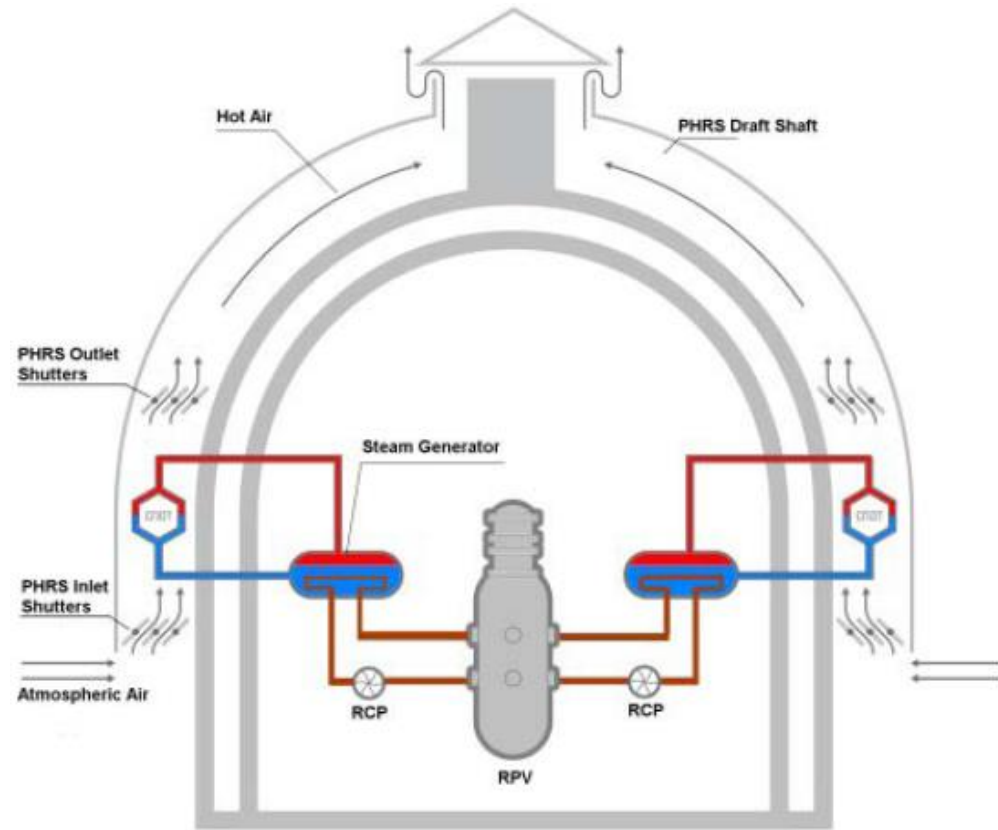


- 2160 m³ eau
- 24h d'autonomie



VVER Gen-III – La sûreté

- Des **systèmes de sauvegardes passifs** en backup
 - Evacuation de la puissance résiduelle

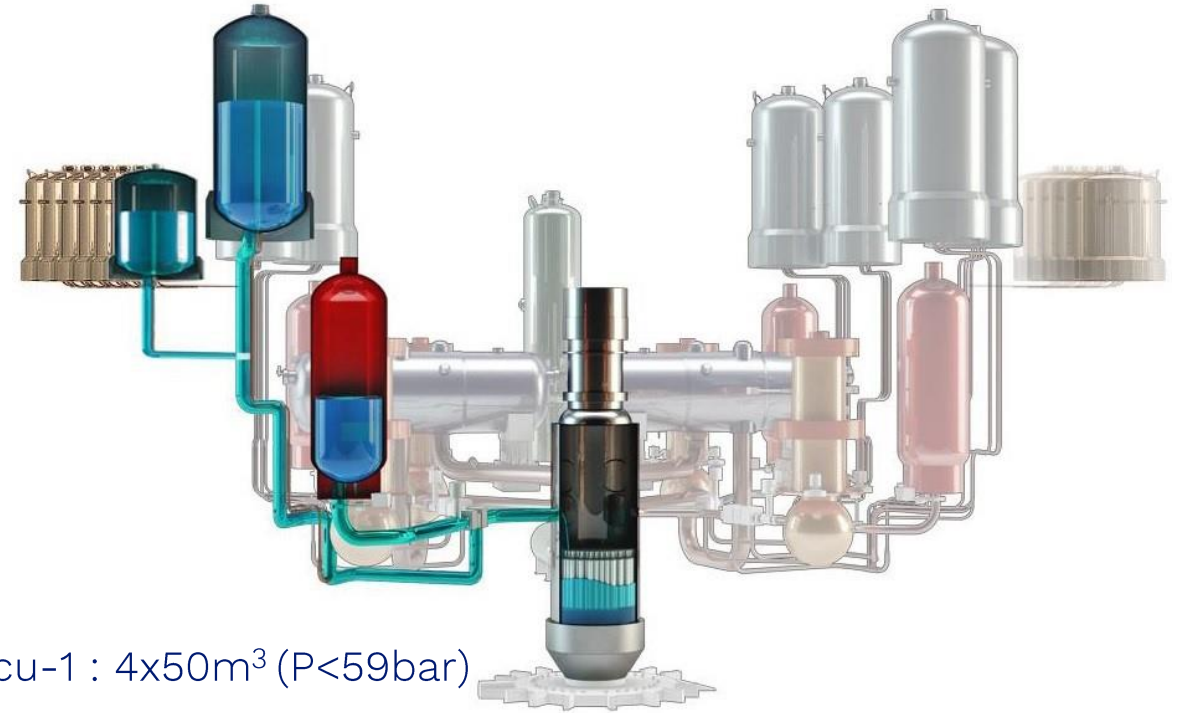


VVER-1200 / VVER-TOI Moscou



VVER Gen-III – La sûreté

- Des **systèmes de sauvegardes passifs** en backup
 - Injection passive



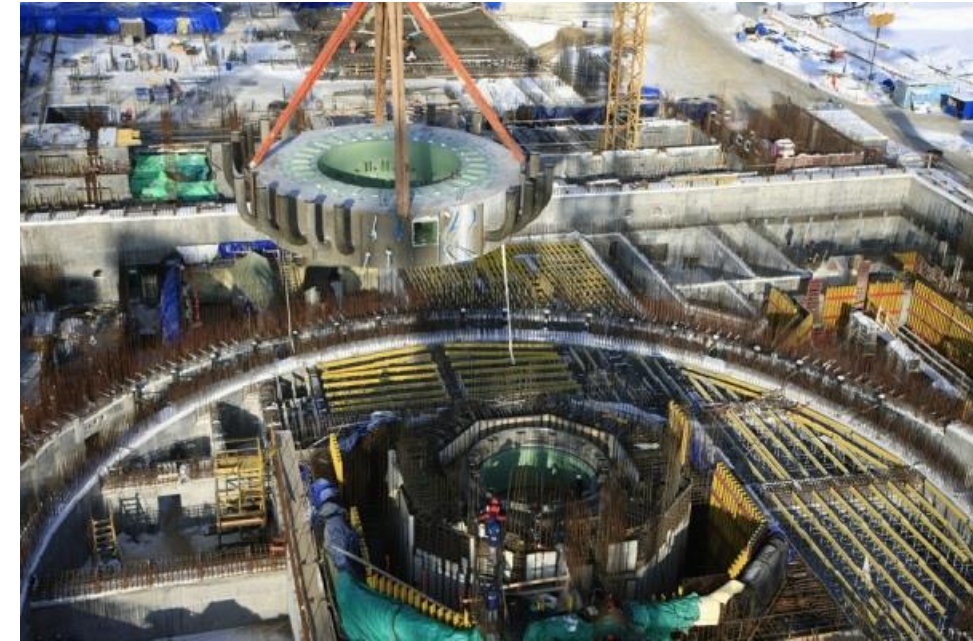
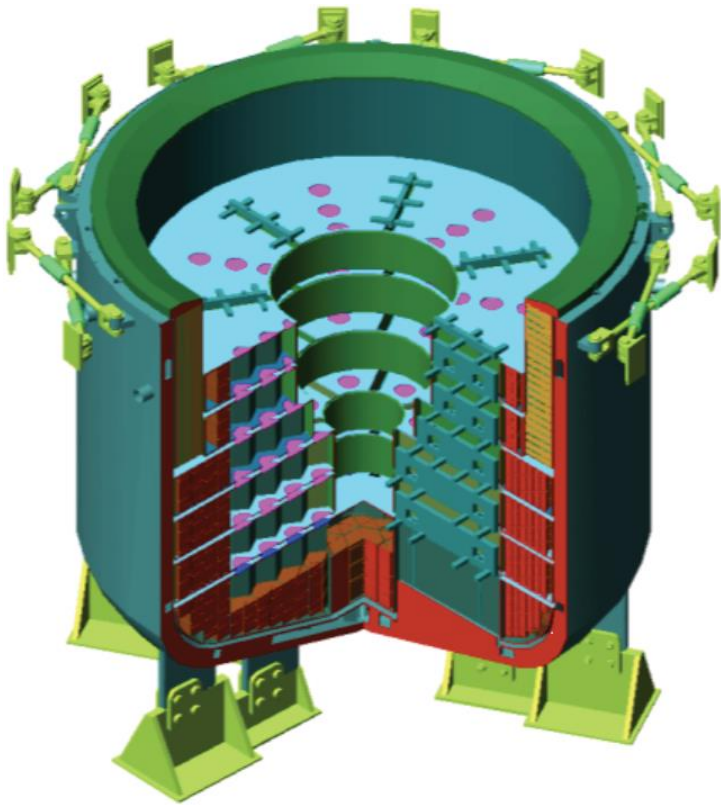
- Accu-1 : $4 \times 50 \text{m}^3$ ($P < 59 \text{bar}$)
- Accu-2 : $8 \times 120 \text{m}^3$ ($P < 15 \text{bar}$)
- Accu-1 : $12 \times 60 \text{m}^3$

VVER-1200 S^t Pétersbourg

VVER-1200 / VVER-TOI Moscou

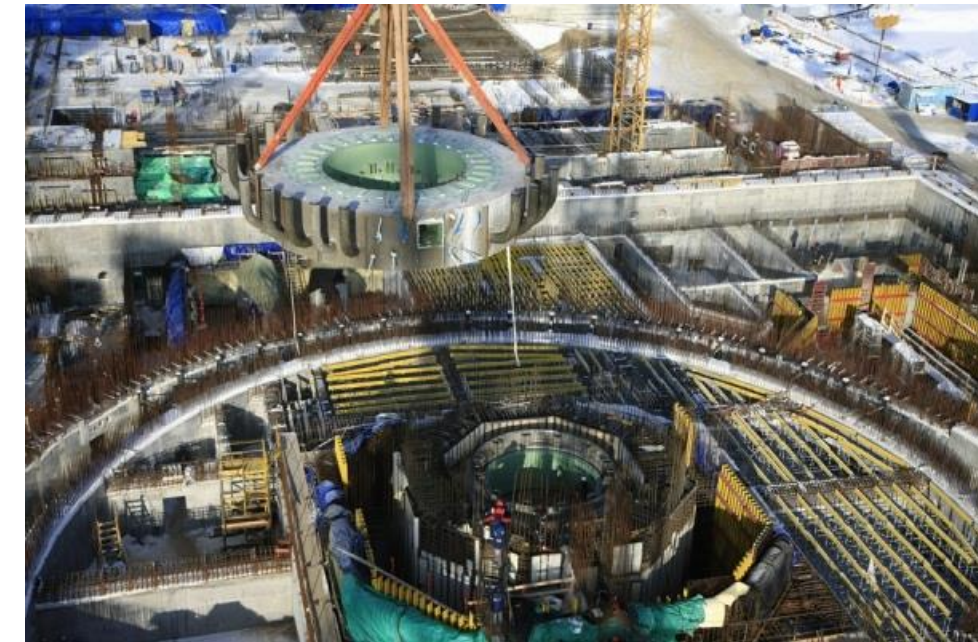
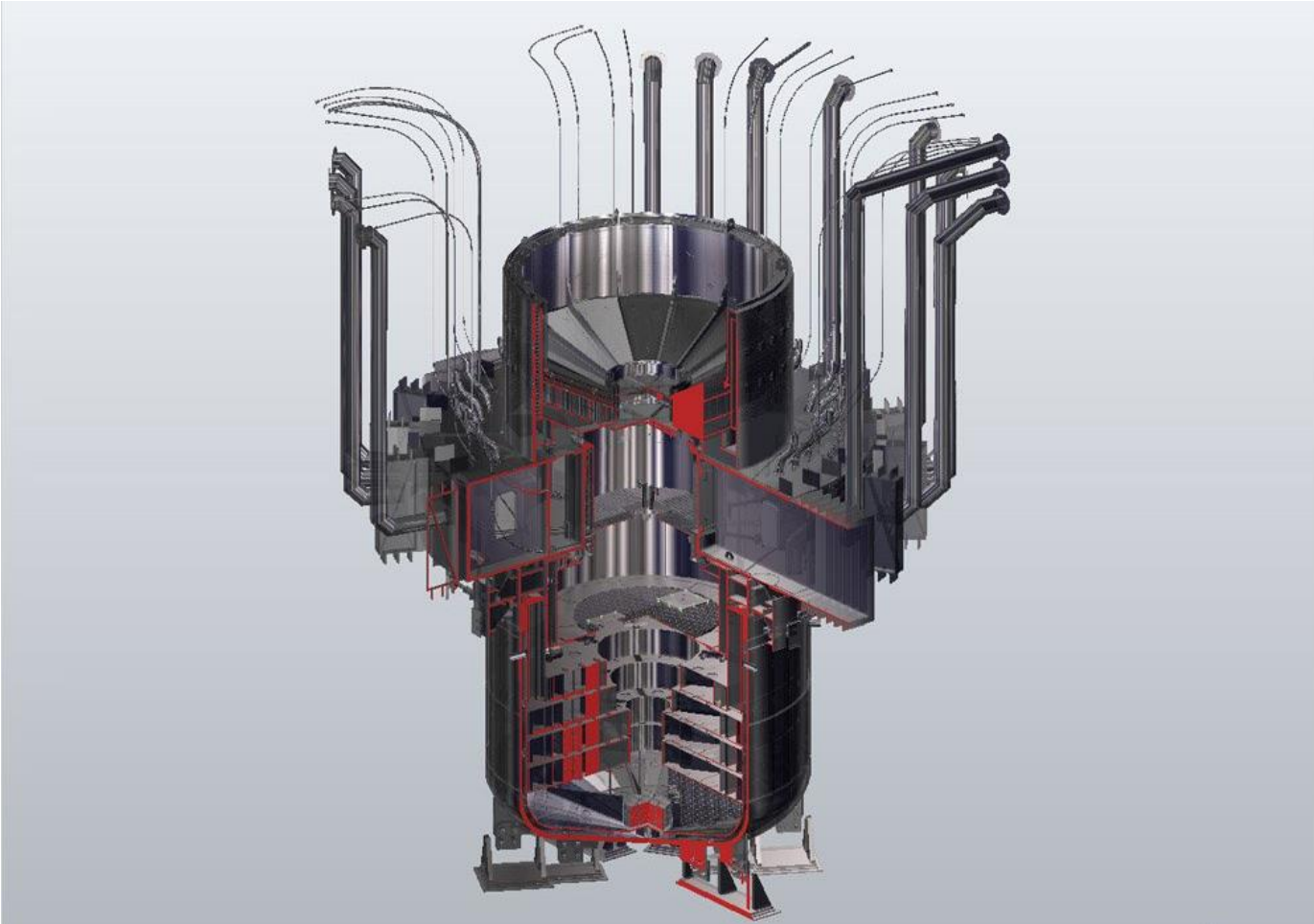
VVER Gen-III – La sûreté

- Pour les **accidents graves** un récupérateur de corium



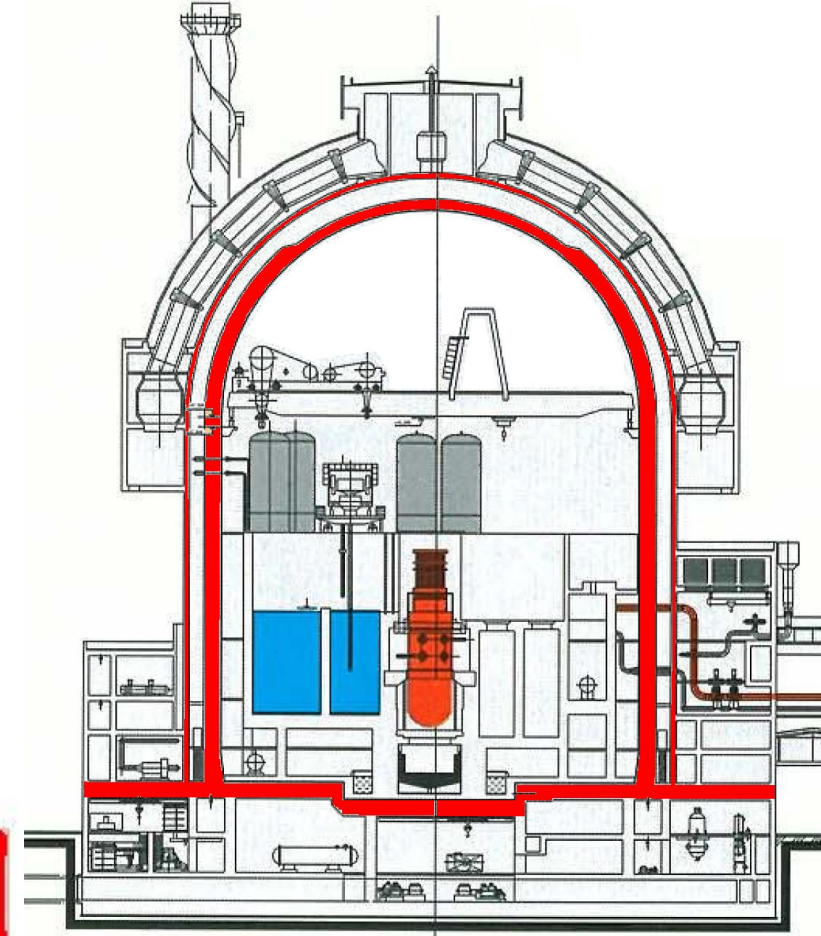
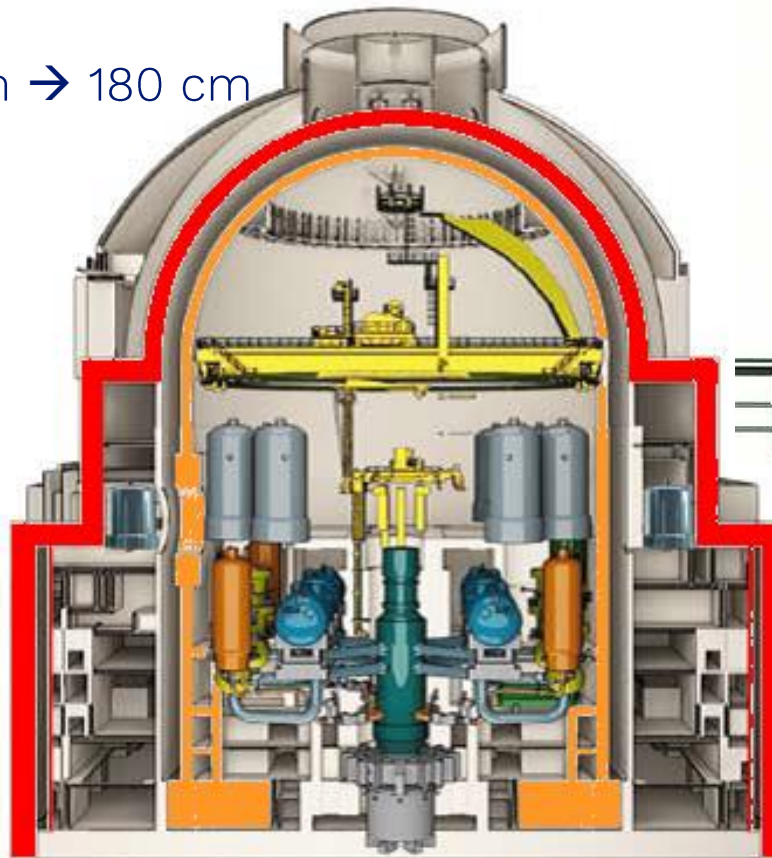
VVER Gen-III – La sûreté

- Pour les **accidents graves** un récupérateur de corium



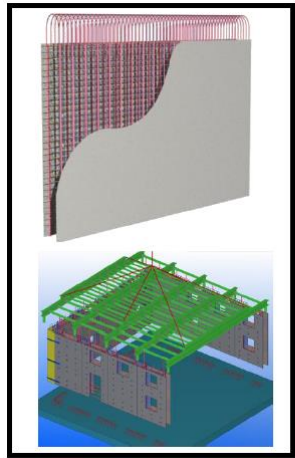
VVER Gen-III – La sûreté

- Pour la protection contre les agressions externes
 - Une double enceinte de type EPR
 - Enceinte externe : 60 cm → 180 cm (150 cm sur VVER-TOI)

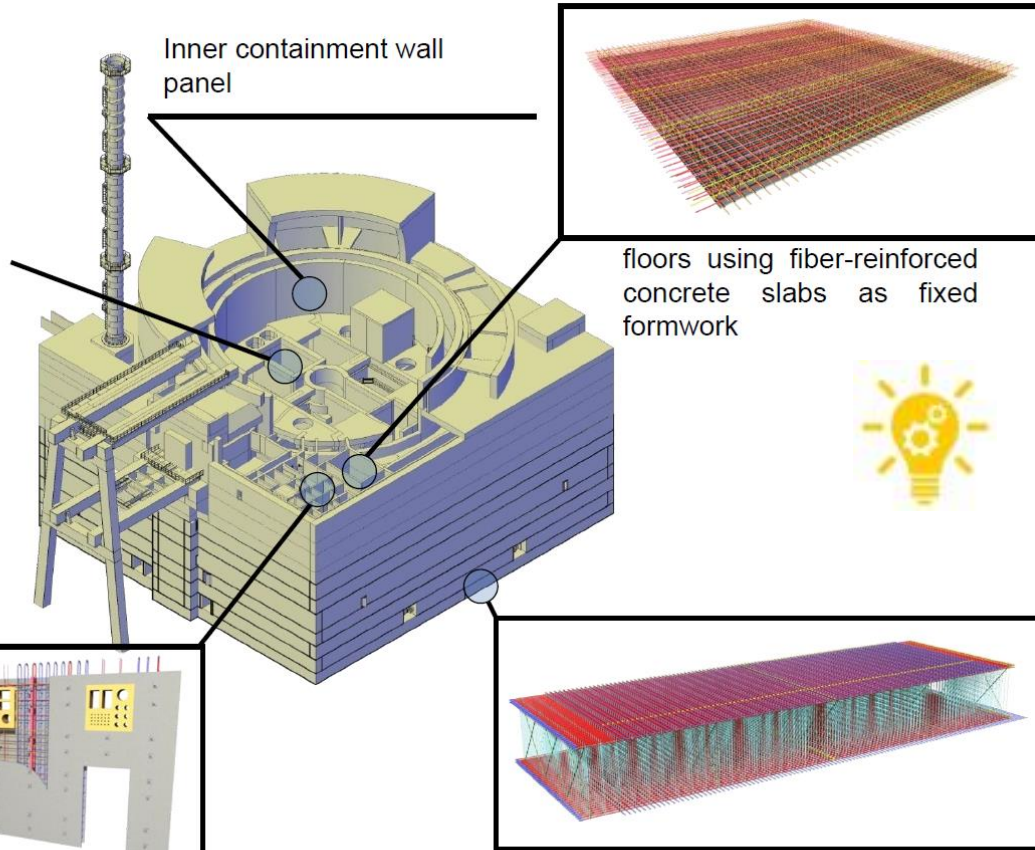


VVER Gen-III – La Construction

- Utilisation croissante de la construction modulaire



Steel plate concrete structures



Wall formwork of fiber-reinforced concrete slabs

foundation slab



VVER Gen-III – Le bilan

- Russie : 4 unités en service (AES-2006) + 4 en construction (2 VVER-TOI + 2 AES-2006/V491)
- Chine : 4 unités en service (VVER-1000) + 4 en construction (AES-2006)
- Inde : 2 unités en service (VVER-1000) + 4 en construction (VVER-1000)
- Bangladesh : 2 unités en construction (AES-2006)
- Turquie : 4 unités en construction (AES-2006)
- Egypte : 4 unités en construction (AES-2006)
- Biélorussie : 1 unité en service
- Prospects : Russie, Egypte, Iran, Bangladesh, Hongrie, Kazakhstan, Afrique du Sud, Biélorussie

HUALONG-One

La copie certifiée ... 100% chinoise !



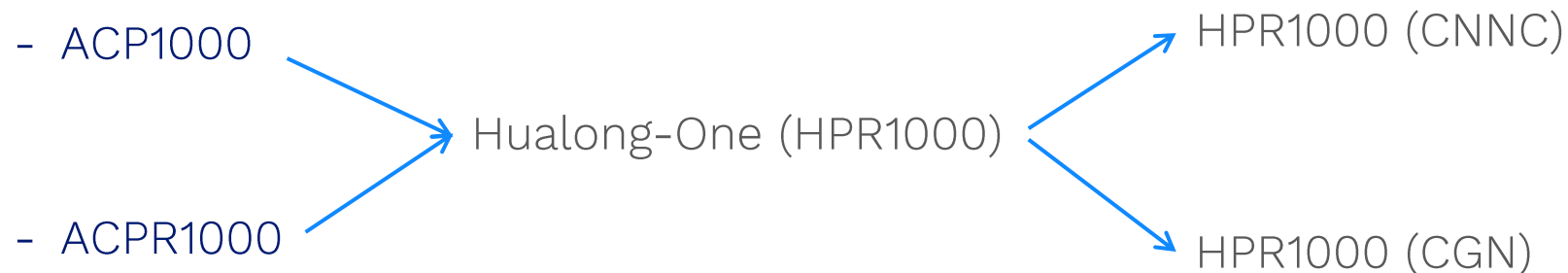
HPR1000 – Contexte

- **Avant Fukushima :**

- Les CPR1000+ (Gen II issus du 900 MW français) sont construits en série
- Des modèles Gen III en développement (ACP1000 (CNNC), ACPR1000 (CGN))
- Modèle Gen-III « **officiel** » → **AP1000** + EPR

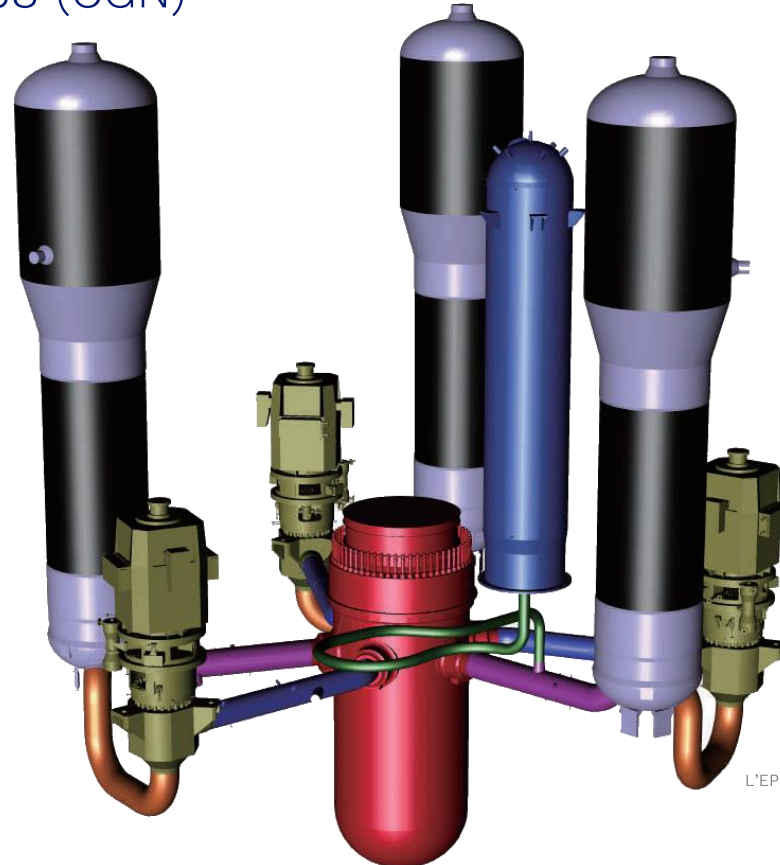
- **Après Fukushima :**

- Arrêt des autorisations de construction pour les Gen II
- → CNNC et CGN poussent leur modèles Gen III



HPR1000 – la chaudière

- **Cœur** : 177 assemblages 17x17 de 12 pieds
 - Puissance : 3050 MWth (CNNC) / 3150 MWth (CGN)
 - Grappes : 61 (CNNC), 68 (CGN)
- **Circuit primaire**
 - type W 3-boucles



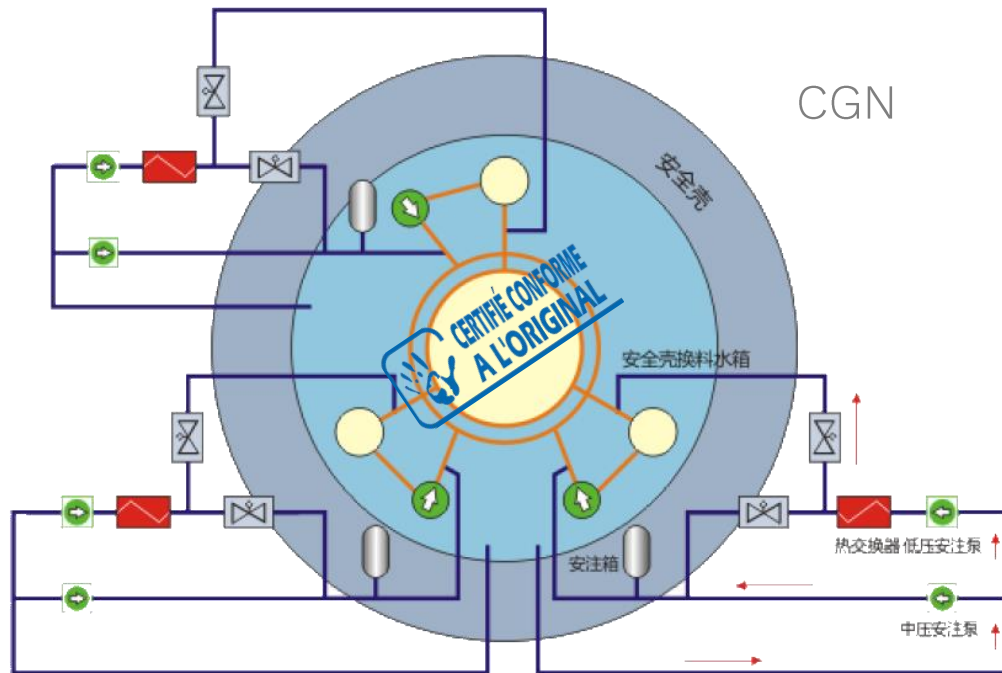
	R	P	N	M	L	K	J	H	G	F	E	D	C	B	A
01								8							
02				16			16		16		16		16		
03			16		16			12		16		16			
04		16		16			16		16		16		16		
05		16		16		16		16		16		16		16	
06			16		16		16		16		16		16		
07		16		16		16		20		16		16		16	
08	8		12		16		20		20		16		12		8
09		16		16		16		20		16		16		16	
10			16		16		16		16		16		16		
11		16		16		16		16		16		16		16	
12			16		16		16		16		16		16		
13				16		16		12		16		16			
14					16		16		16		16				
15								8							



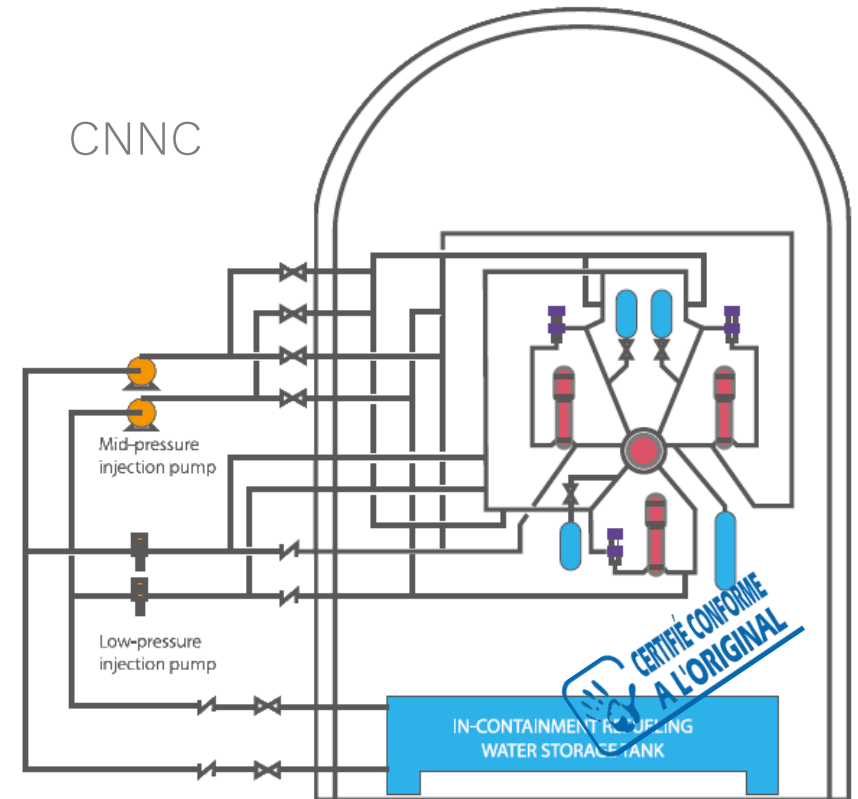
HPR1000 – La sûreté

- Des **systèmes de sauvegardes actifs** redondants

3 trains indépendants (3x100)

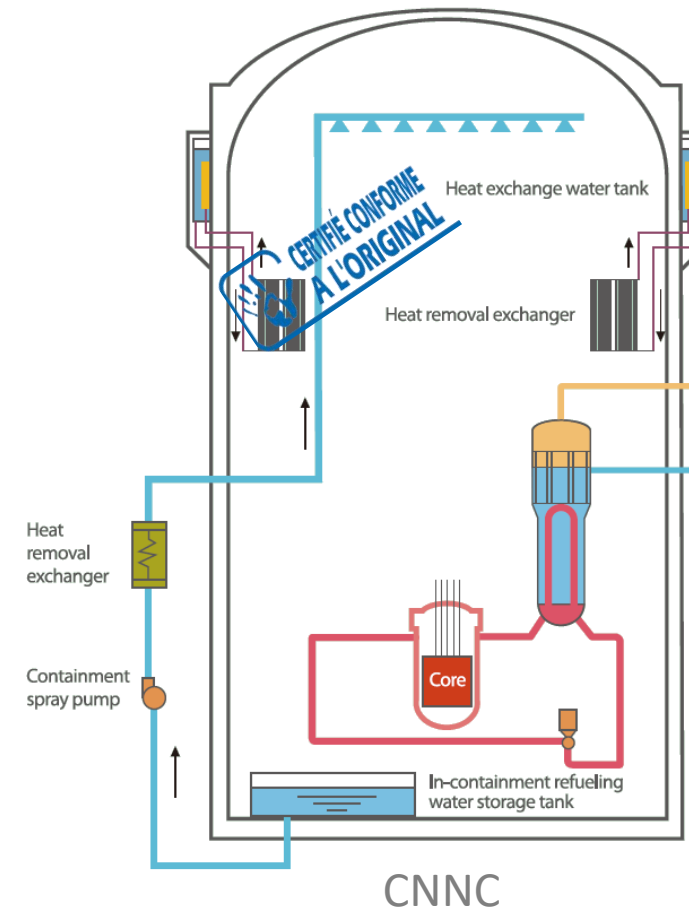
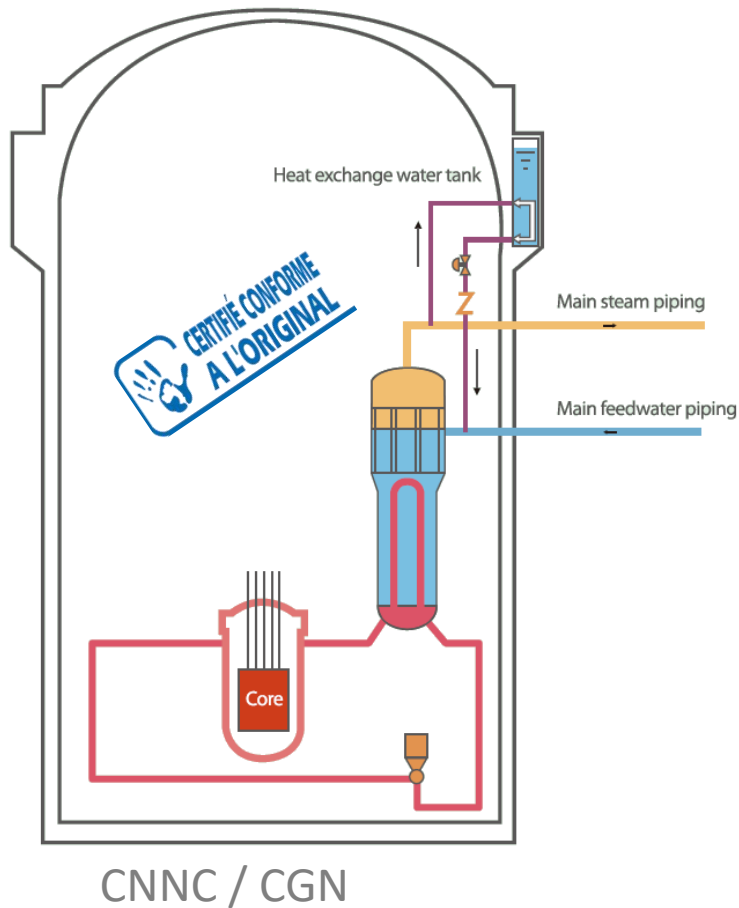


2 trains avec barillet (2x100)



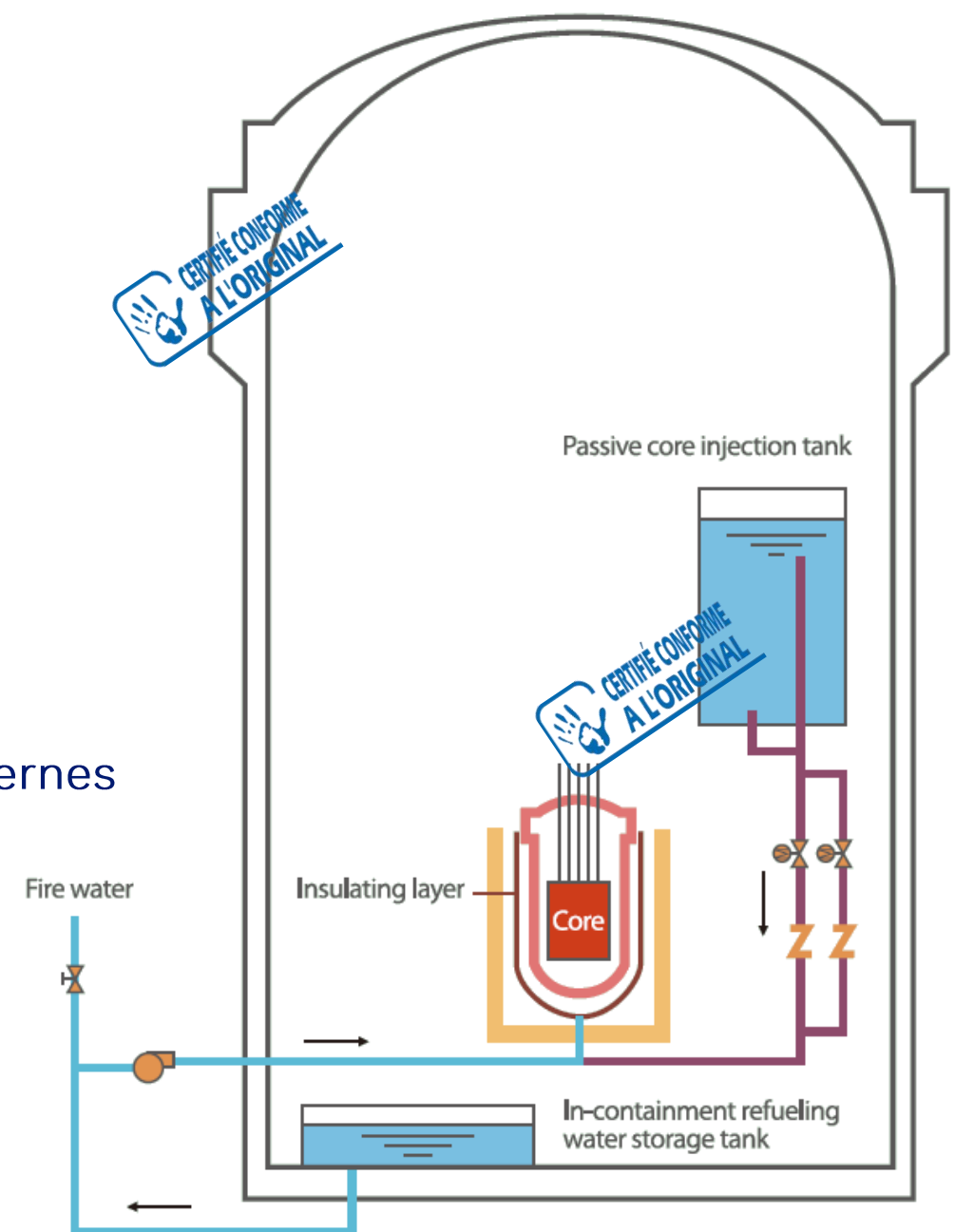
HPR1000 – La sûreté

- Des **systèmes de sauvegardes passifs** en backup



HPR1000 – La sûreté

- Pour les accidents graves
 - un système de rétention du corium en cuve comme sur l'AP1000
- Et pour la protection contre les agressions externes
 - Une double enceinte de type EPR



HPR1000 – Le bilan

- **Chine**

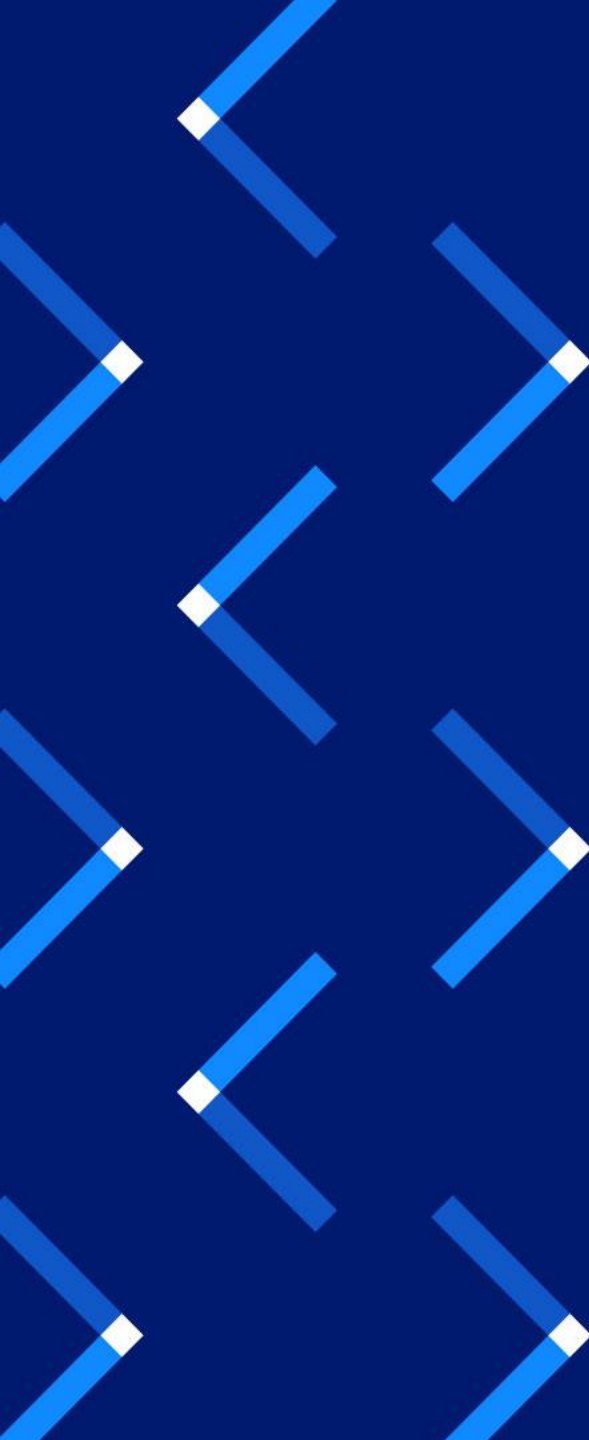
- 5 unités en fonctionnement (Fuqing 5&6, Zhangzhou-1– CNNC, Fangchenggang-3&4 – CGN)
- 14 unités supplémentaires en cours de construction (5 CNNC + 7 CGN + 2 SPIC).
- 19 unités supplémentaires déjà approuvées

- **Pakistan**

- 2 unités en fonctionnement (Karachi – CNNC)
- 1 unité en construction (Chashma-5 – CNNC)

- **Prospects**

- Chine, Pakistan, Argentine,



APR1400

Le modèle d'entrée gamme !

SOLDES

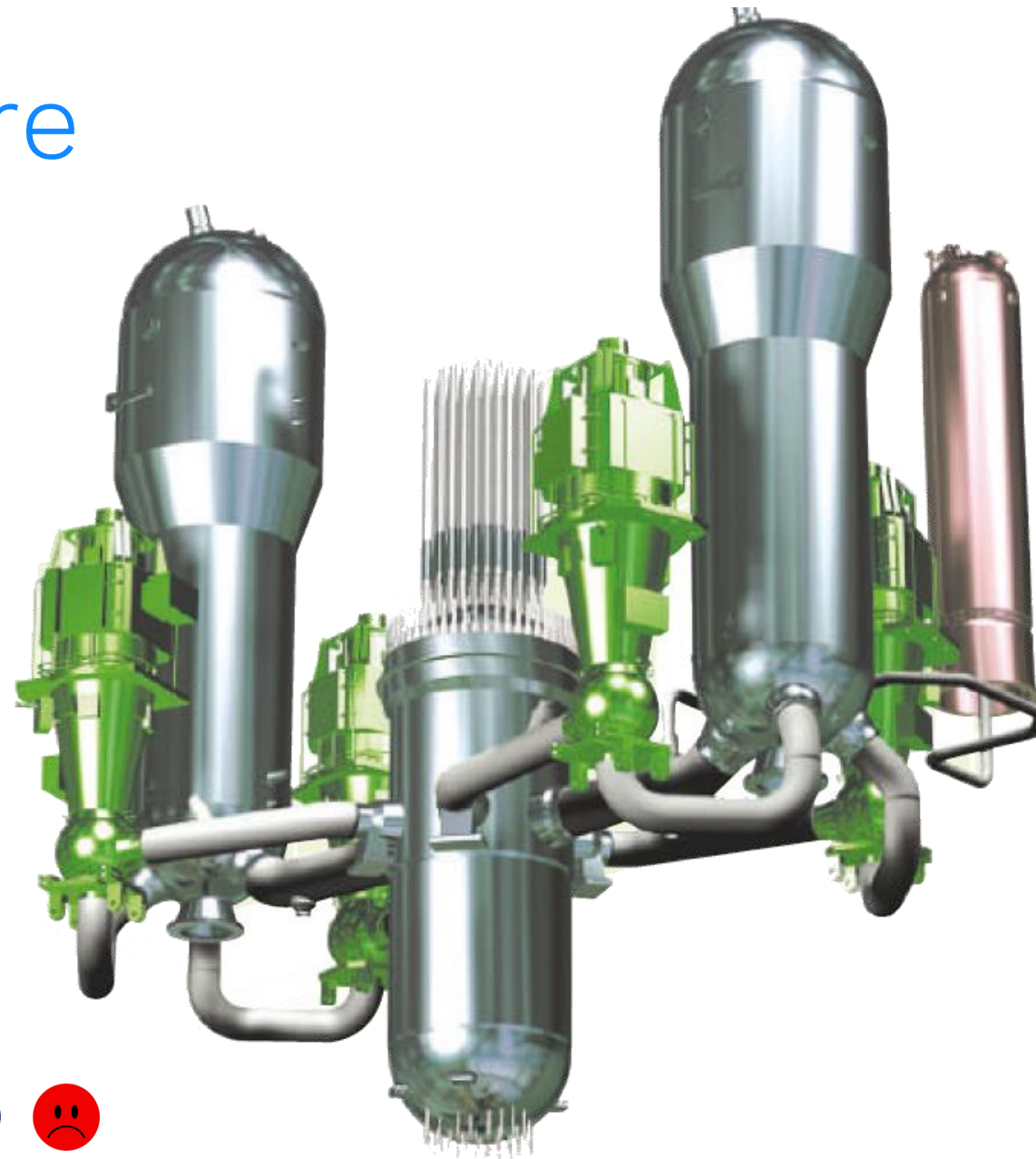


APR1400 – Contexte

- Programme lancé en 1992 pour développer le successeur du standard Coréen Gen II
 - Adaptation du CE80 + de CE
- Gamme de **puissance : Grande** → ~1400 MWe
- Mise sur
 - ↗ de puissance pour baisser les coûts du kW installé
 - Evolution d'un modèle éprouvé

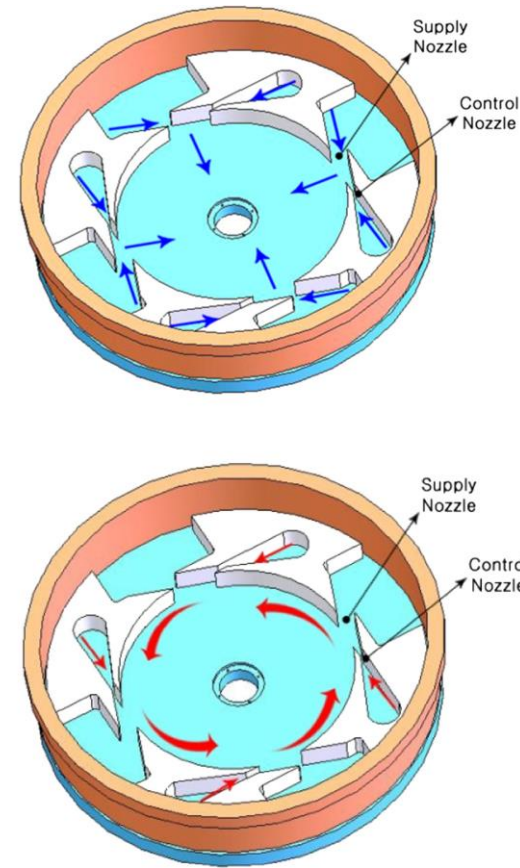
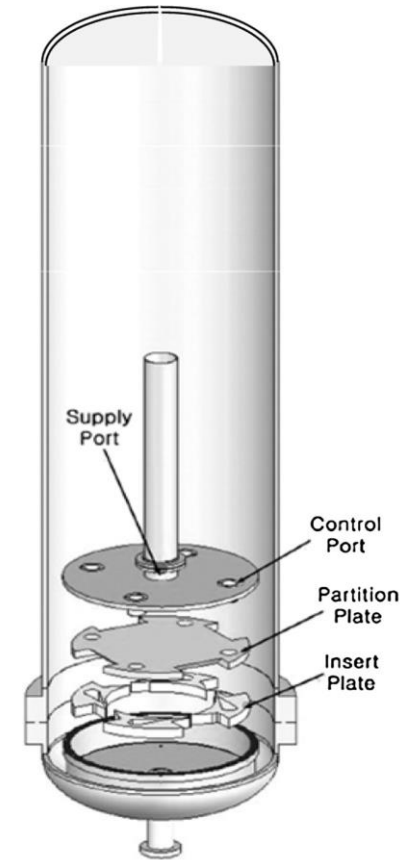
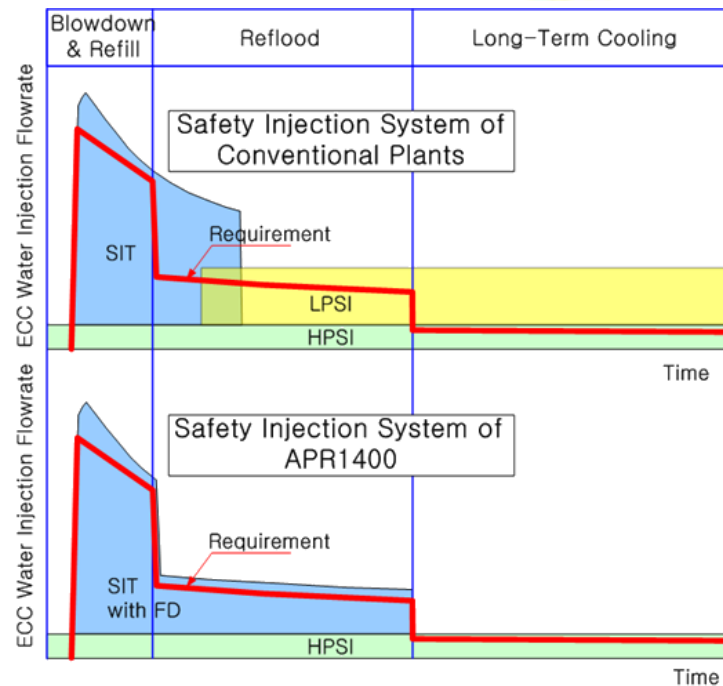
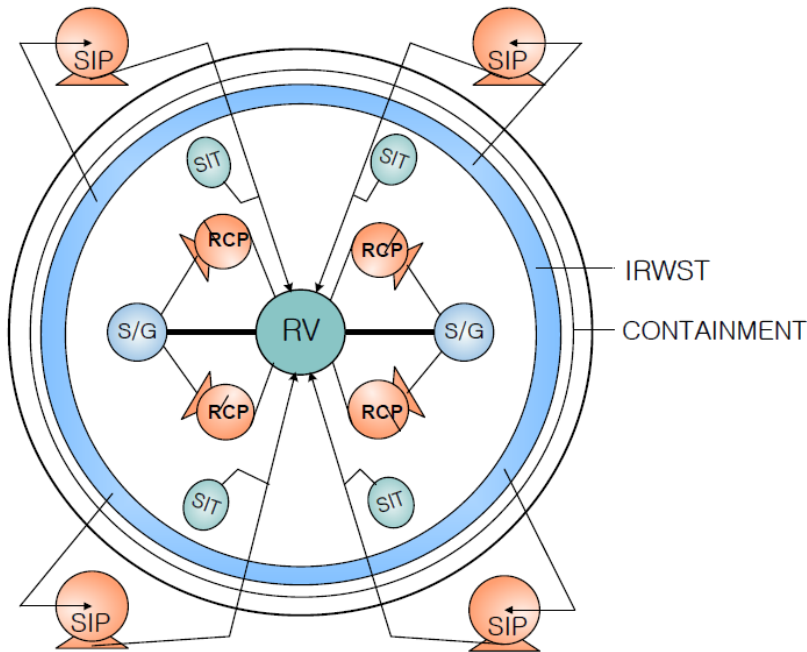
APR1400 – la chaudière

- **Cœur** : 241 assemblages 16x16
 - Puissance : 4000 MWth
 - 93 grappes
- **Circuit primaire de type CE** avec
 - 2 branches chaudes (2 gros GV)
 - 4 branches froides (4 pompes primaires)
 - Pénétrations en fond de cuve (instrumentation) 😞



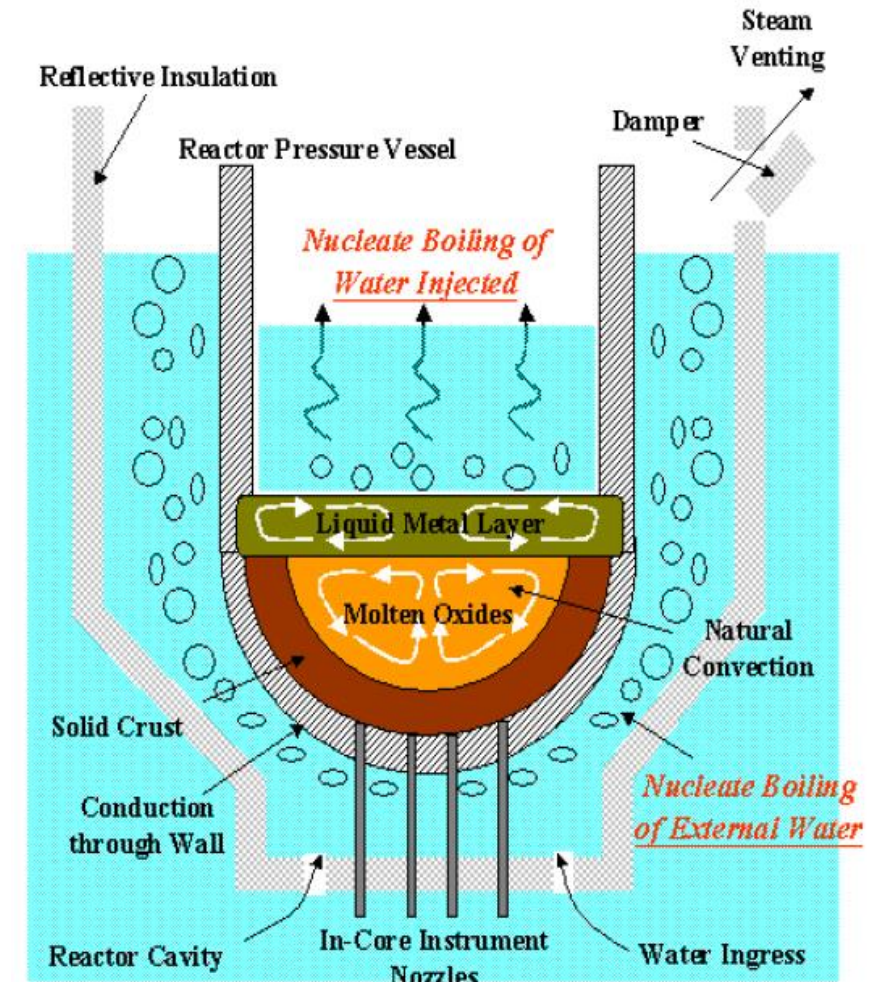
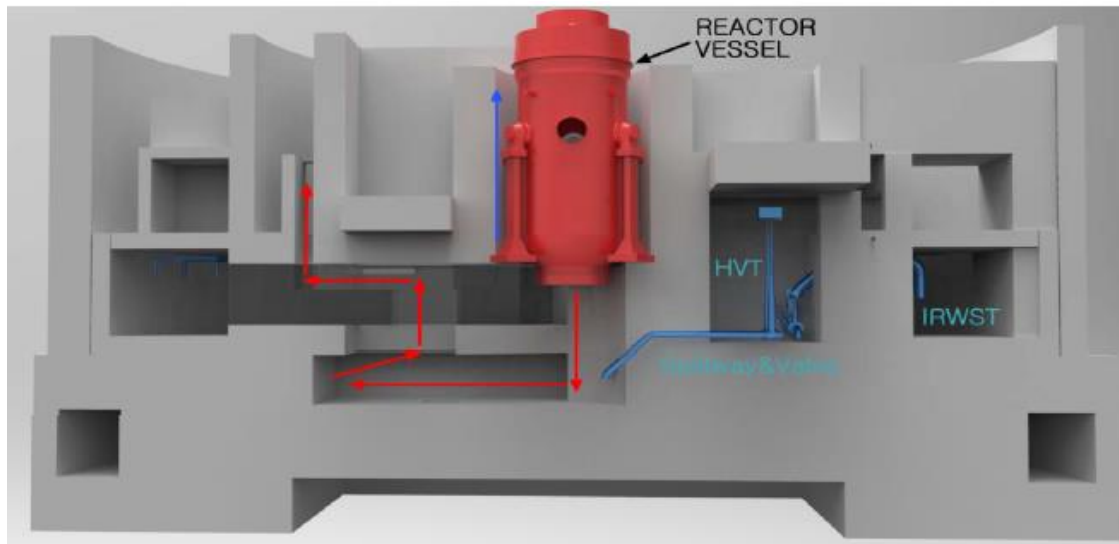
APR1400 – La sûreté

- Des **systèmes de sauvegarde actifs** (4x50%)
 - Mais seulement 2 divisions électriques 😞
 - Des accumulateurs avancés => ~~injection BP~~ 💡



APR1400 – La sûreté

- Pour les accidents graves
 - un système de rétention du corium en cuve
 - Très discutable pour un cœur de 4000 MW 😞
 - + une zone d'étalement optimisée
(⚠️ ≠ récupérateur de corium) 😞



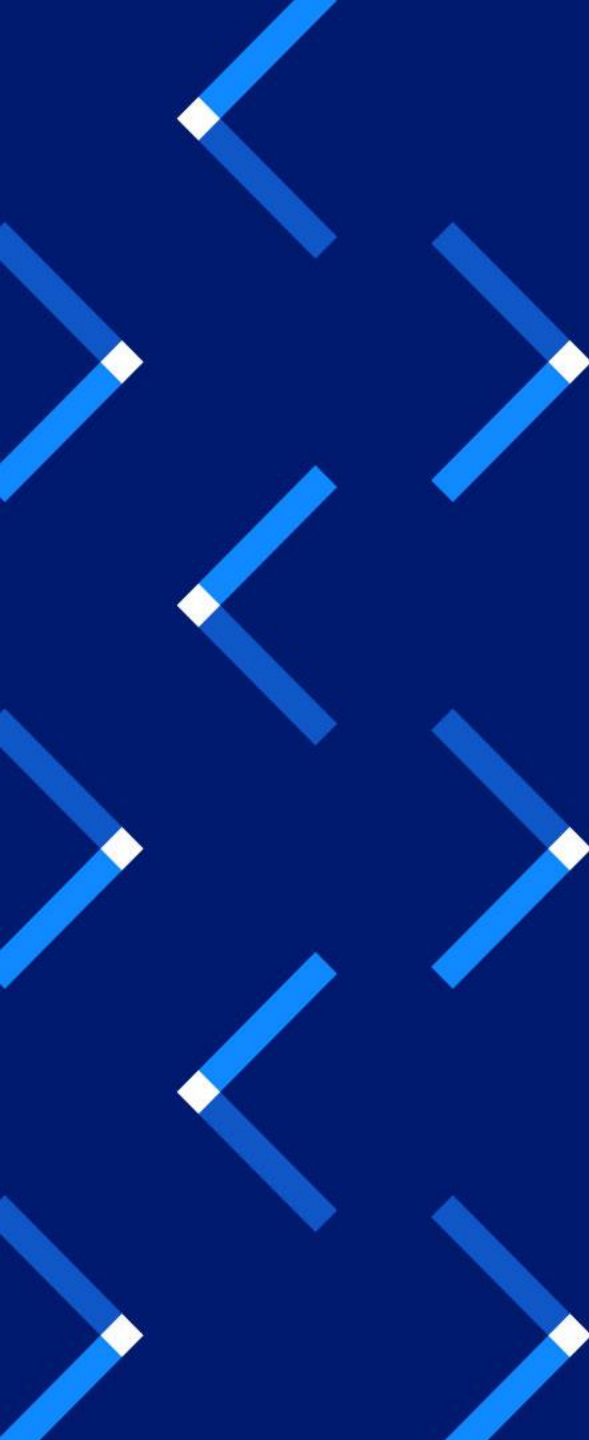
APR1400 – La sûreté

- Et pour la **protection contre les agressions externes**
 - Une simple enceinte de 120 cm d'épaisseur
 - Non dimensionnée pour des agressions extrêmes



APR1400 – Le bilan

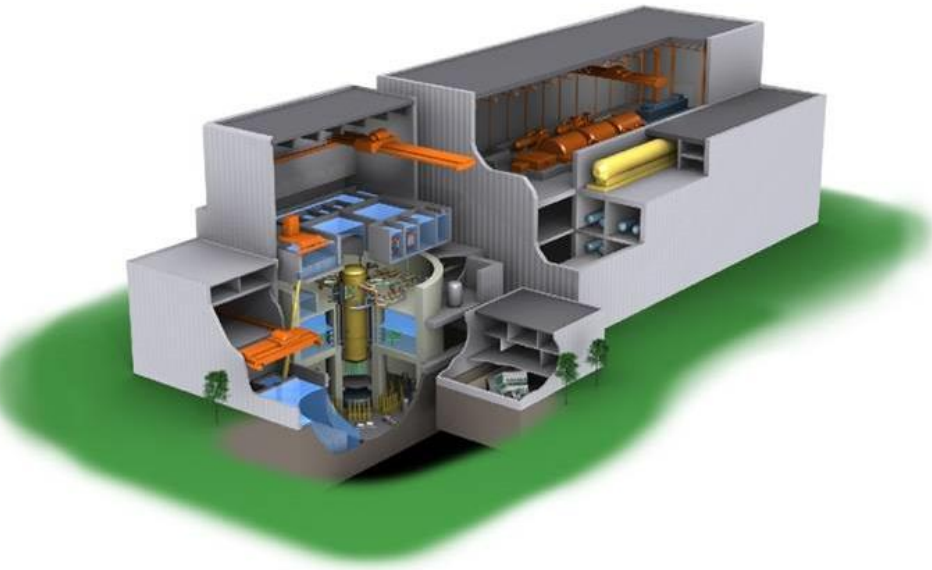
- **Corée**
 - 4 unités en fonctionnement
 - 2 unités supplémentaires planifiées
- **Emirats Arabes Unis**
 - 4 unités en fonctionnement
- **Prospects**
 - Pologne, République Tchèque (APR1000), Inde, Turquie, Pays-Bas, Arabie Saoudite



ET LES AUTRES ?

Les autres

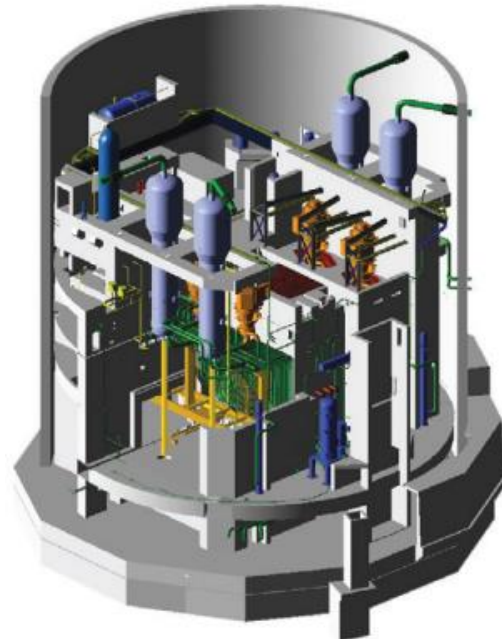
- ESBWR (GE)



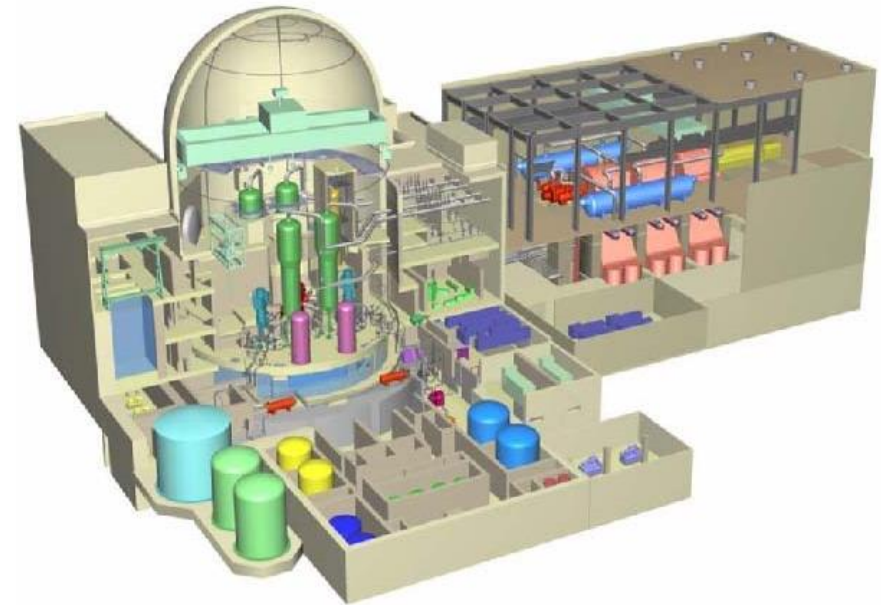
Nos chers disparus!



- EC6 (SNC-Lavalin)

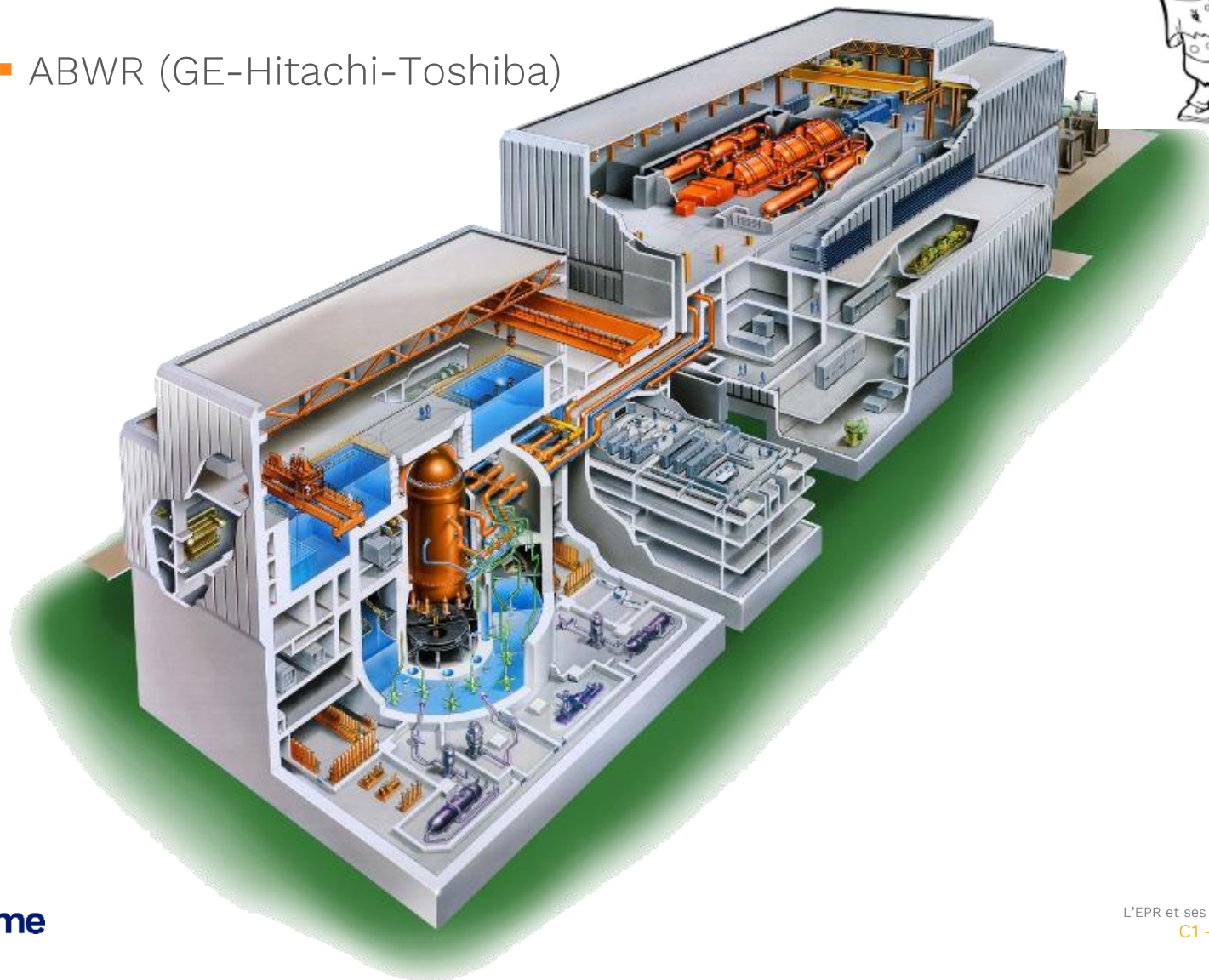


- APWR (MHI)

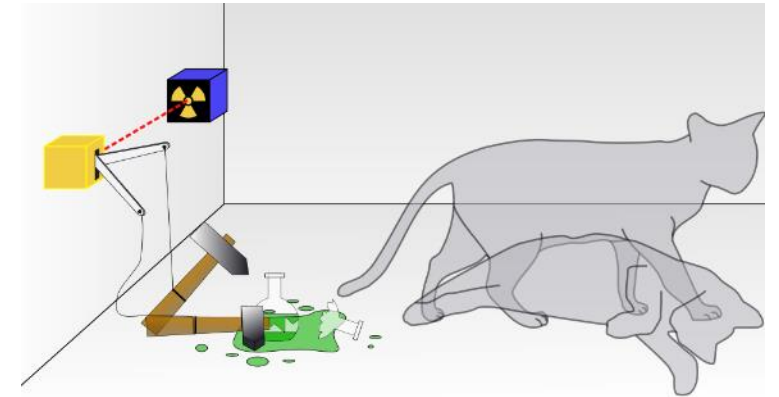


Les autres

- ABWR (GE-Hitachi-Toshiba)



Le Mort-vivant



Les autres

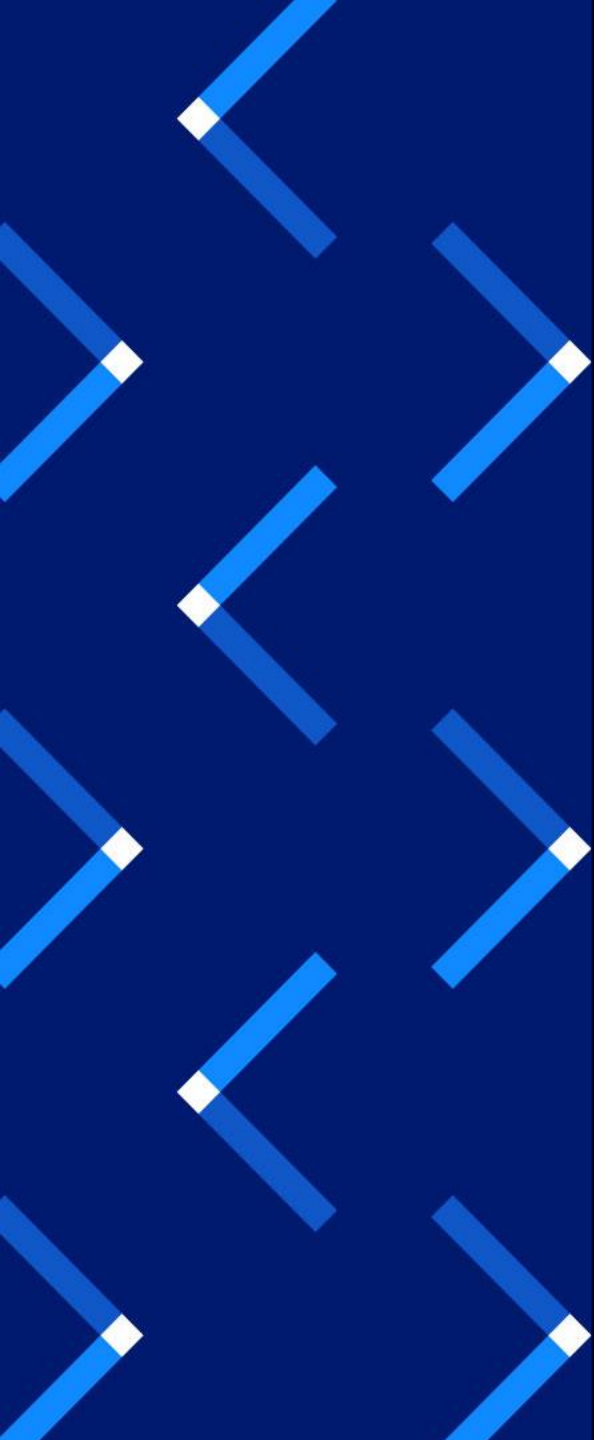
L'arlésienne

Photo Google-Earth

- CAP1400



La première unité aurait été connectée au réseau en novembre 2024

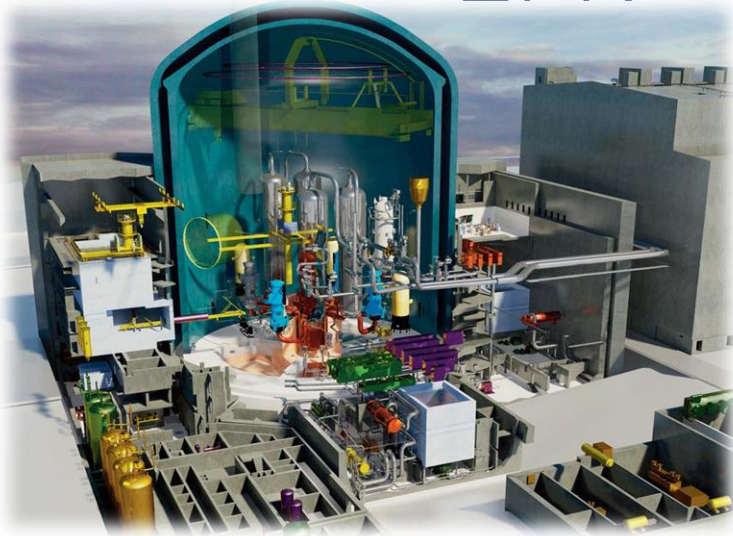


LES TENDANCES

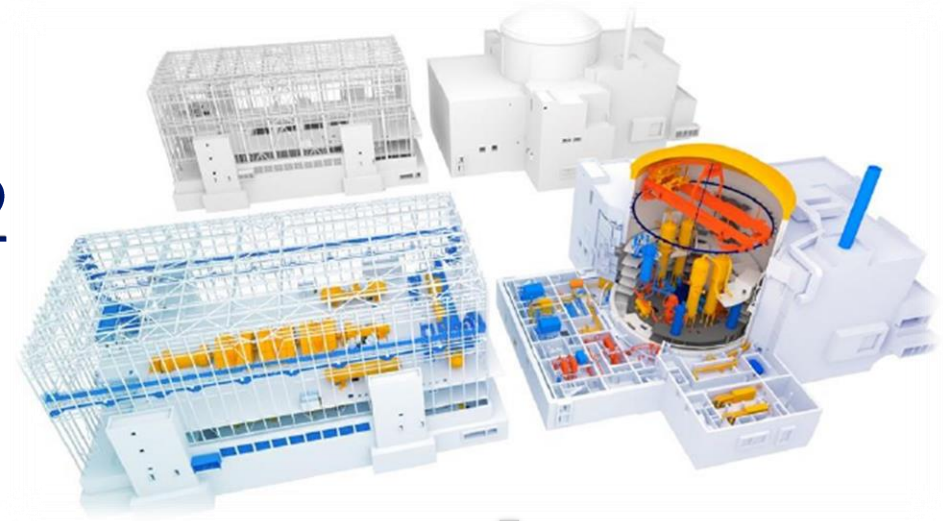
France

La gamme EPR

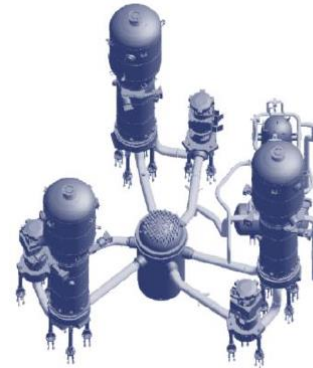
EPR



EPR2



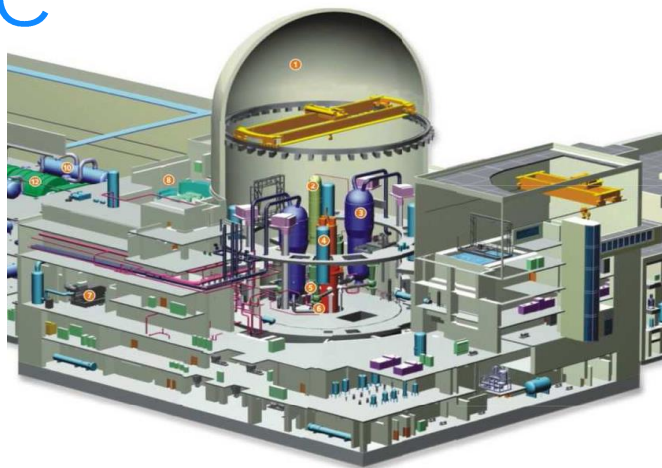
EPR1200



Corée

La gamme APR

APR1400

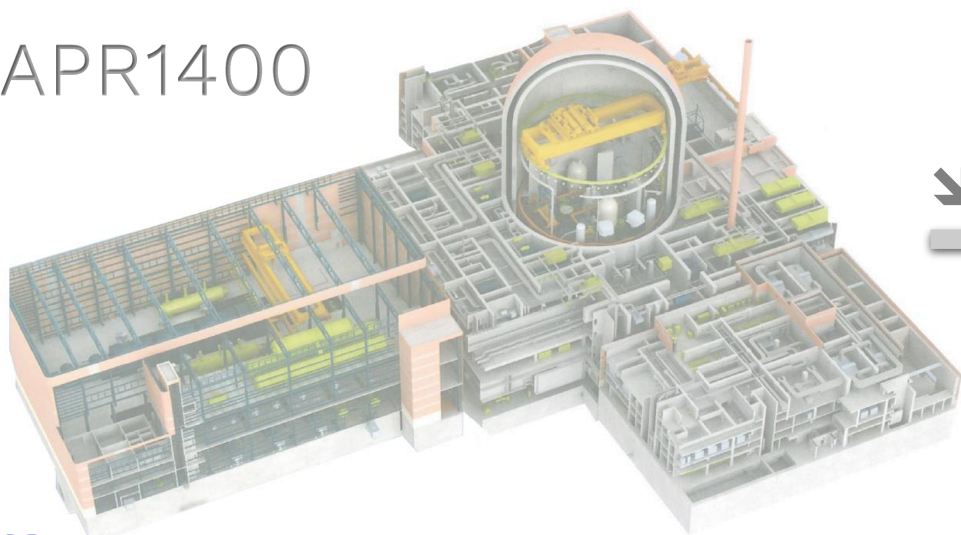


Systèmes passifs

APR+

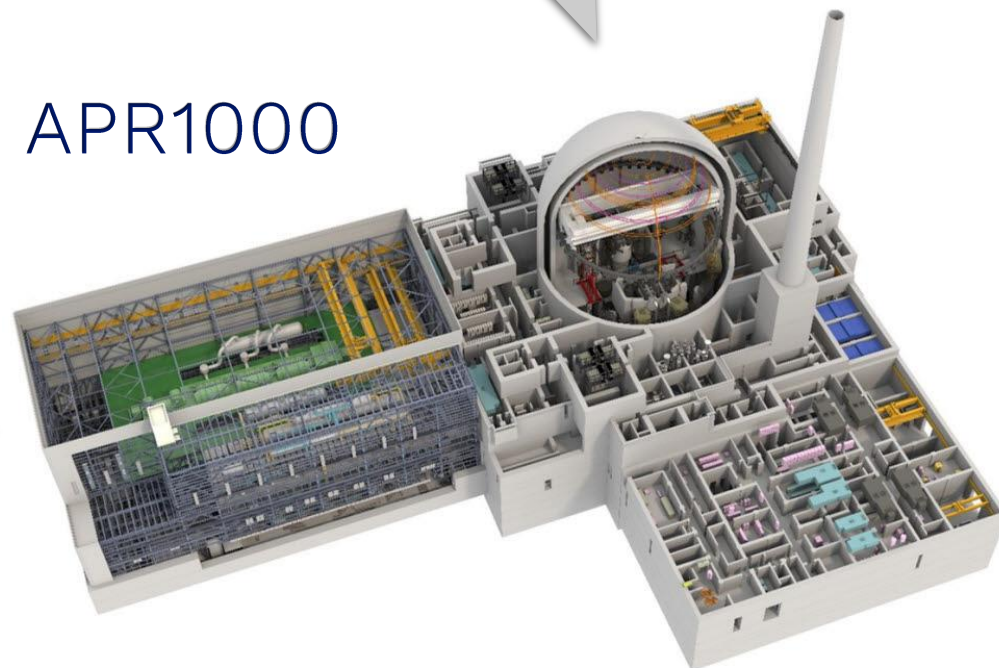
↗ sûreté

EU-APR1400



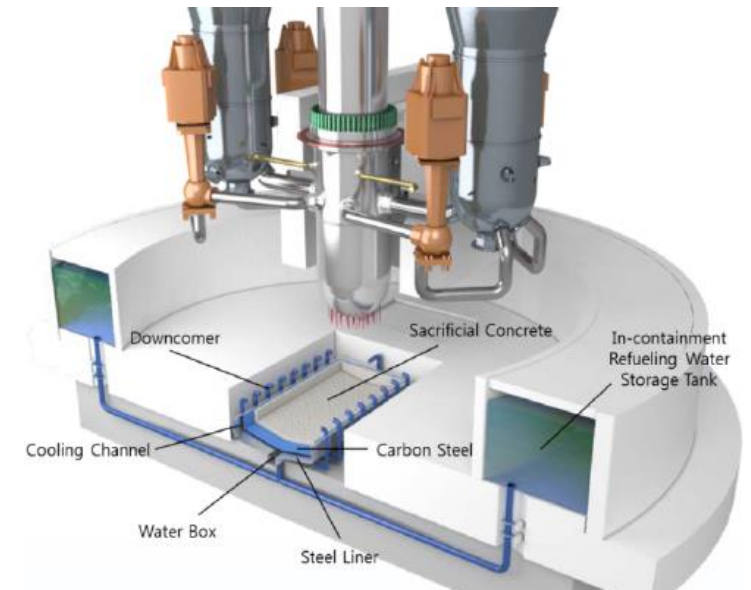
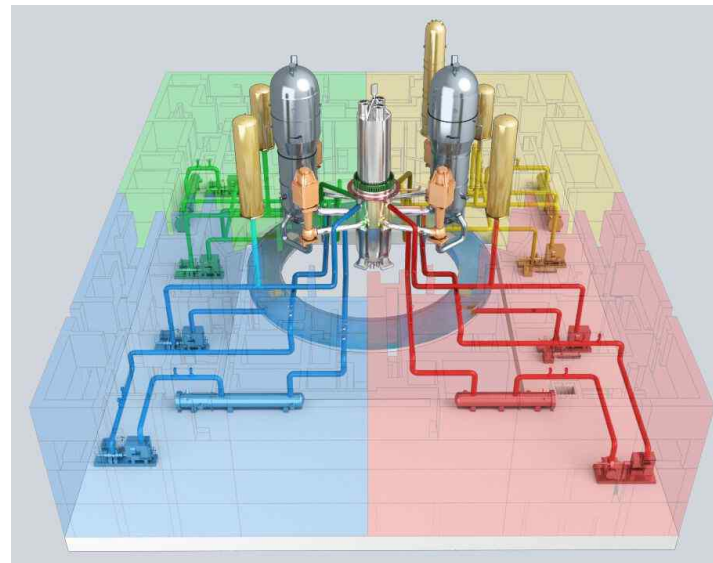
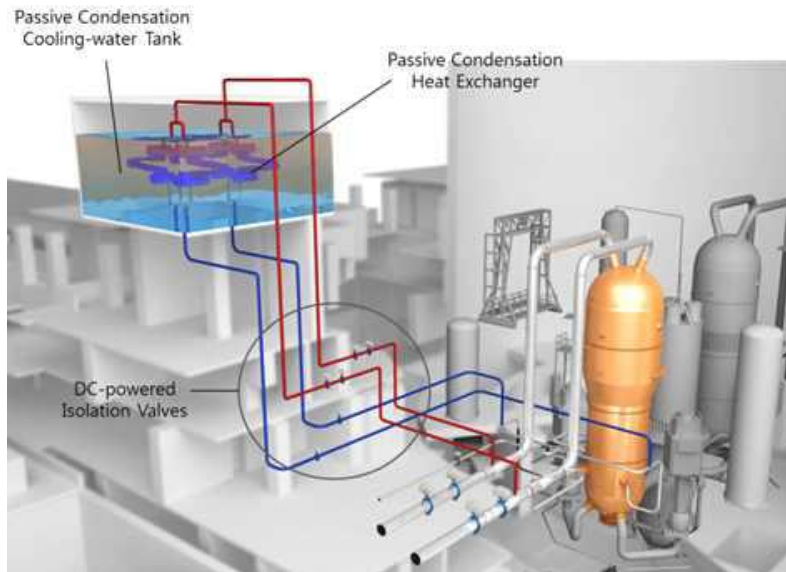
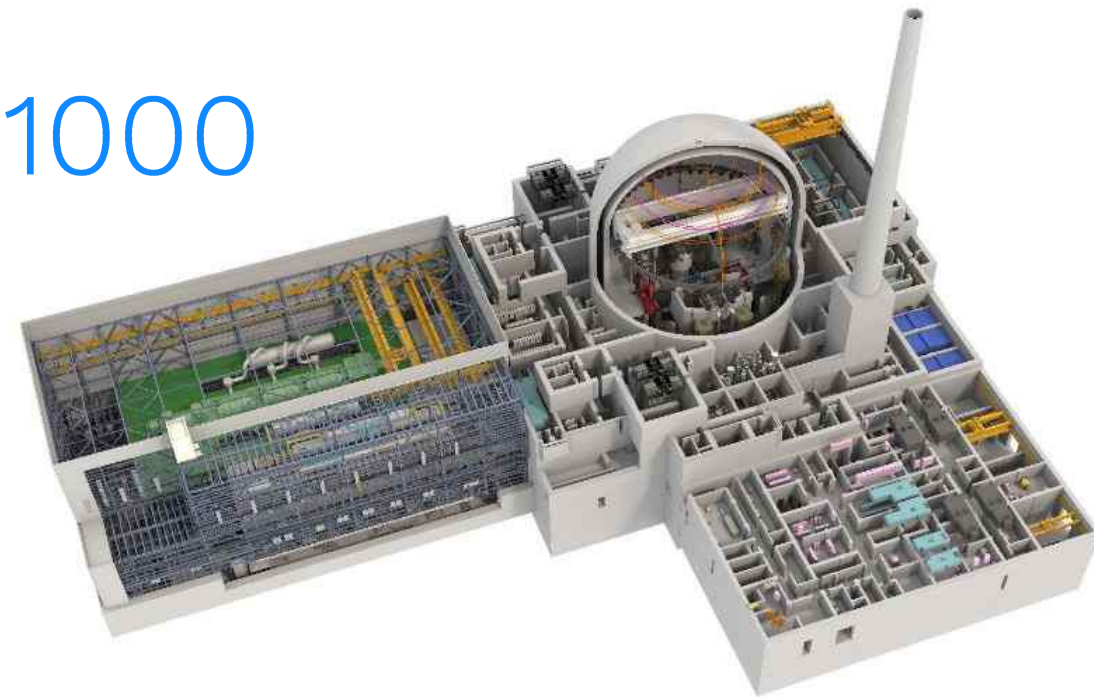
↘ puissance

APR1000



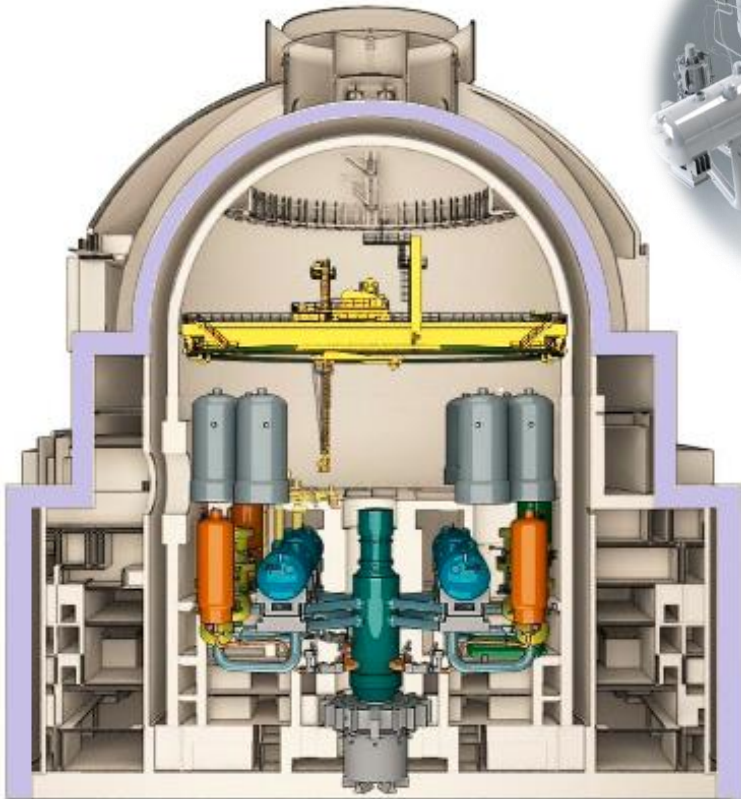
Pour l'export EU – APR1000

- Certification par les EUR



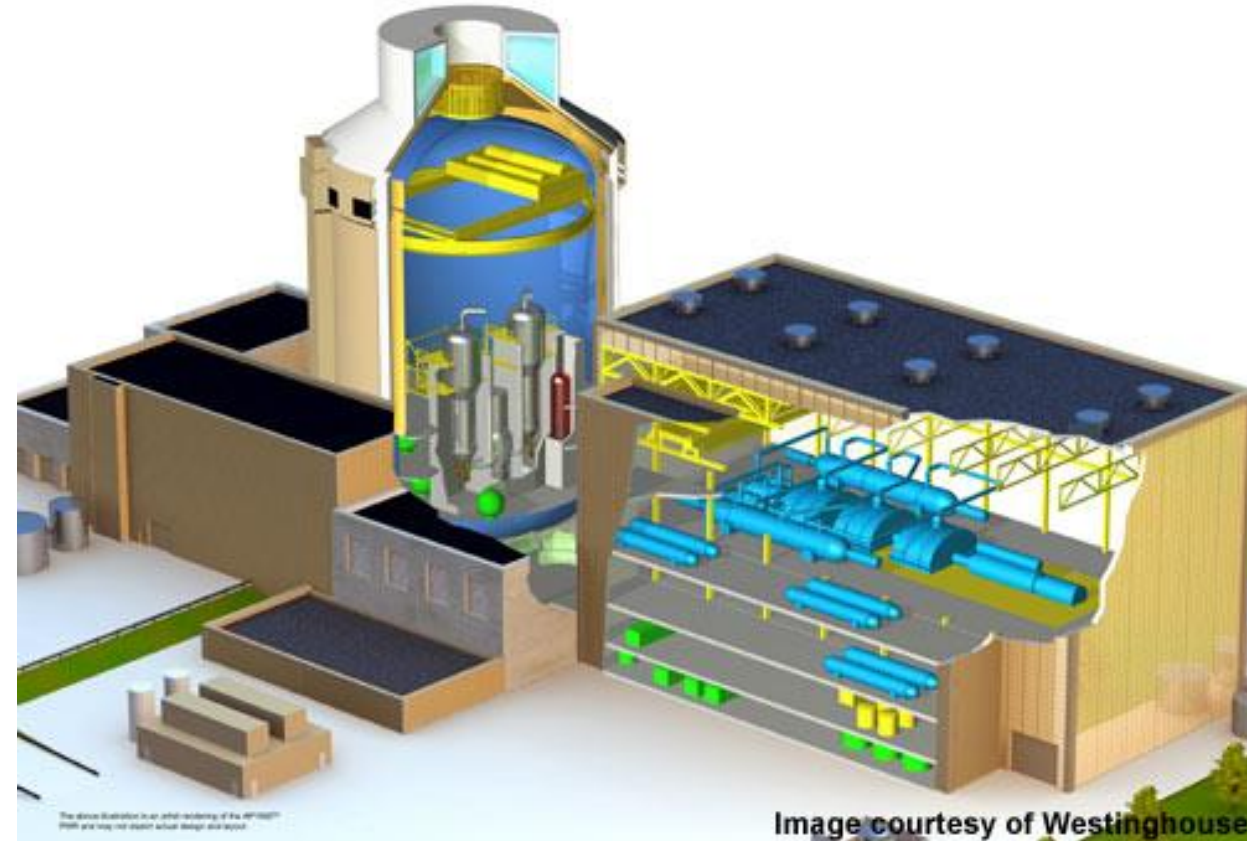
Russie

Le statu quo



? VVER-TOI → VVER-1200 opt ?

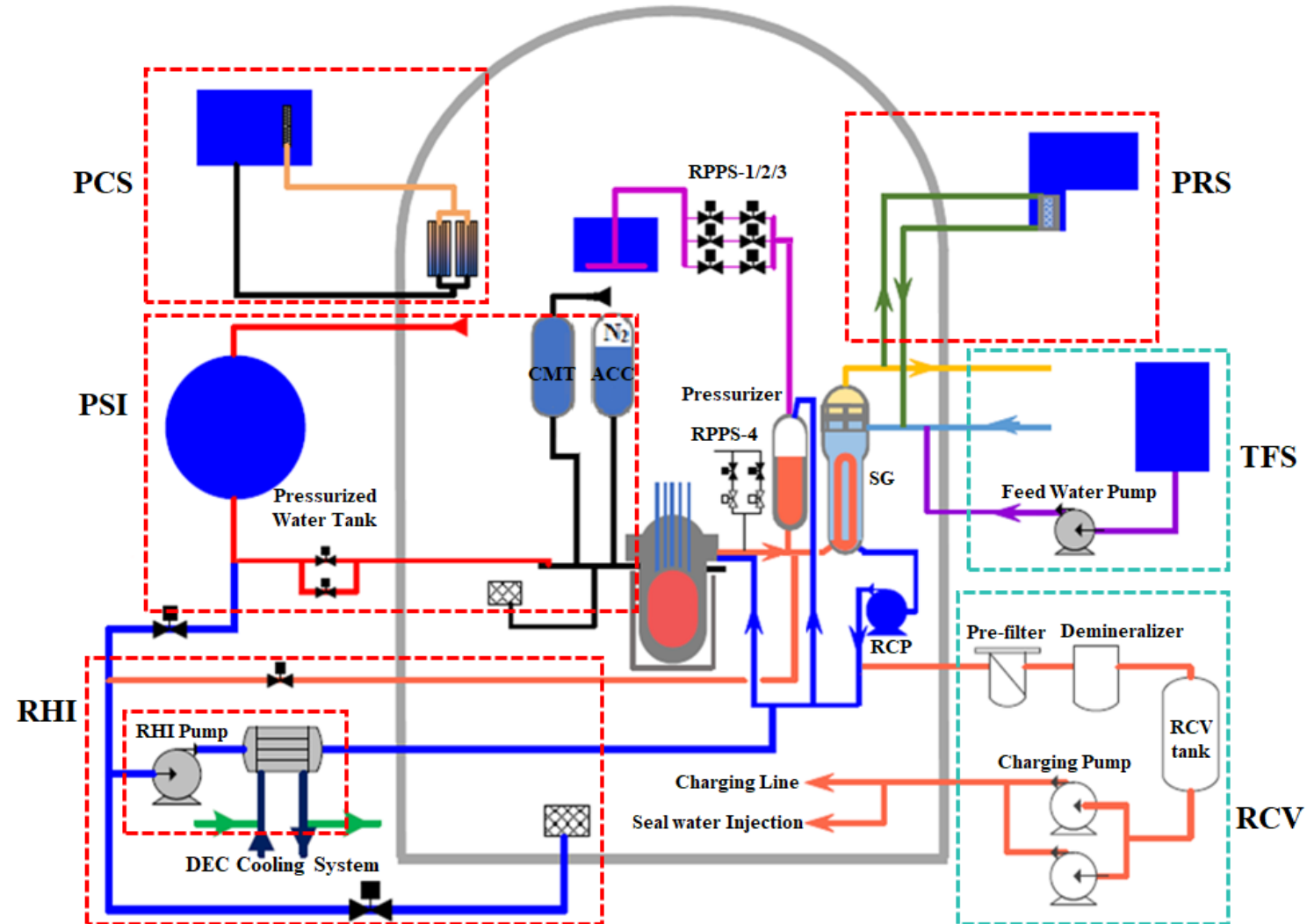
USA (Westinghouse)



Chine – Evolution vers AHPR1000

Objectif **baiss**er les coûts

- Simple enceinte
- Systèmes passifs pour les DBC
- Systèmes actifs non-classés



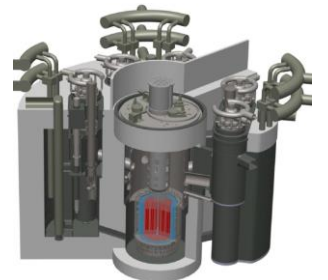
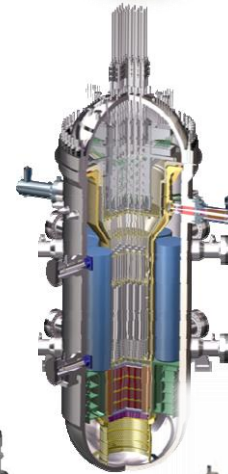
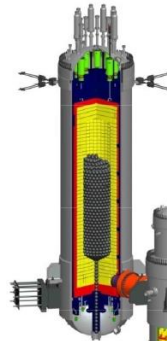
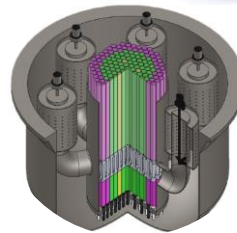
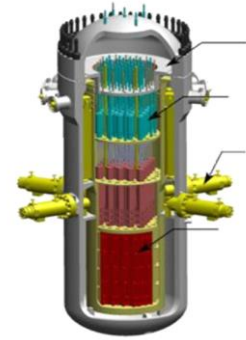
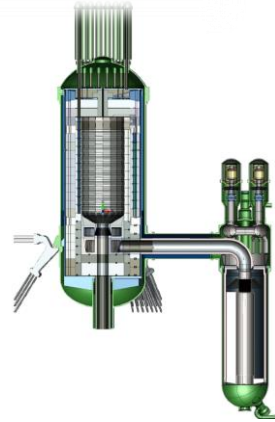
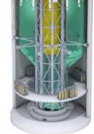
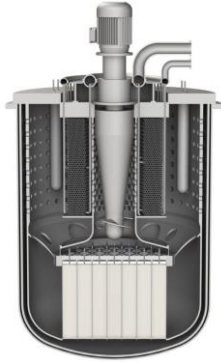
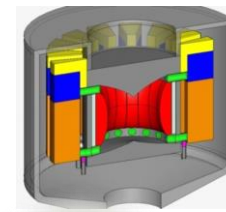
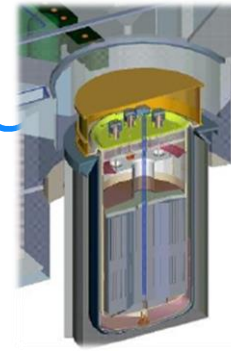
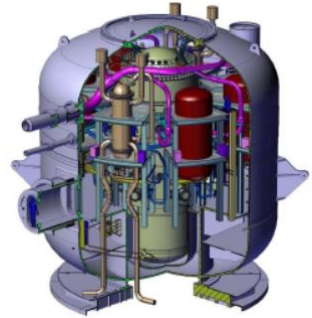
Japon - MHI



Un nouveau modèle : le SRZ-1200



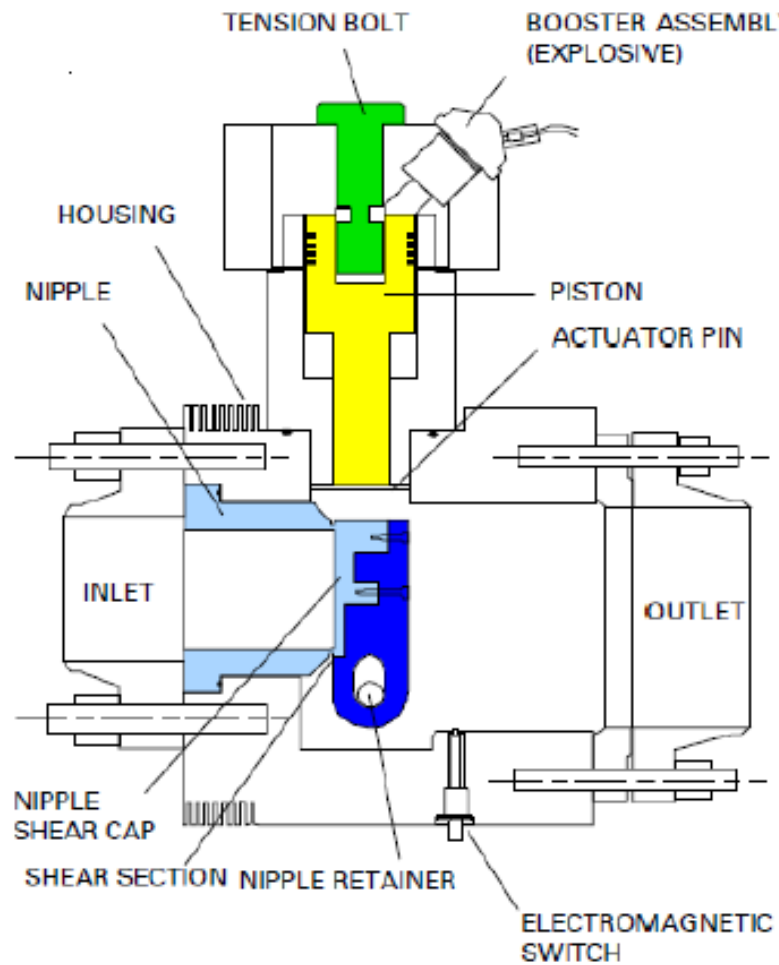
Et ... des SMR partout



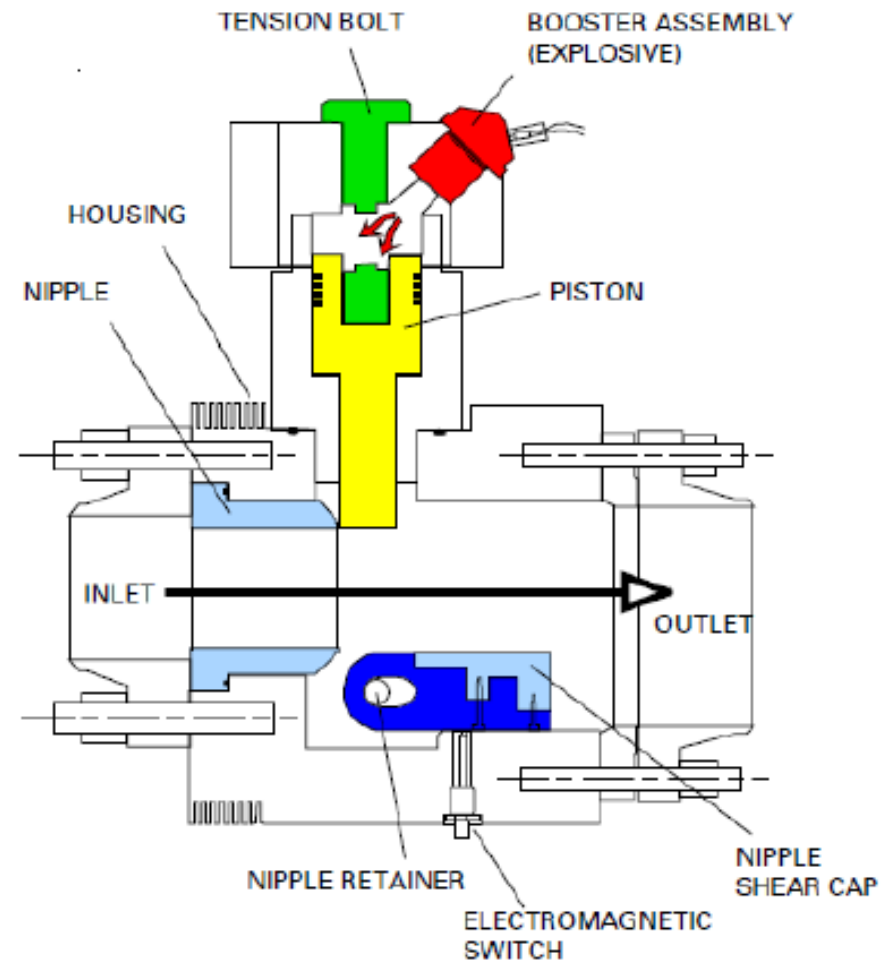
framato

Merci

Vannes explosives (squib valves)



CLOSED



OPEN

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.