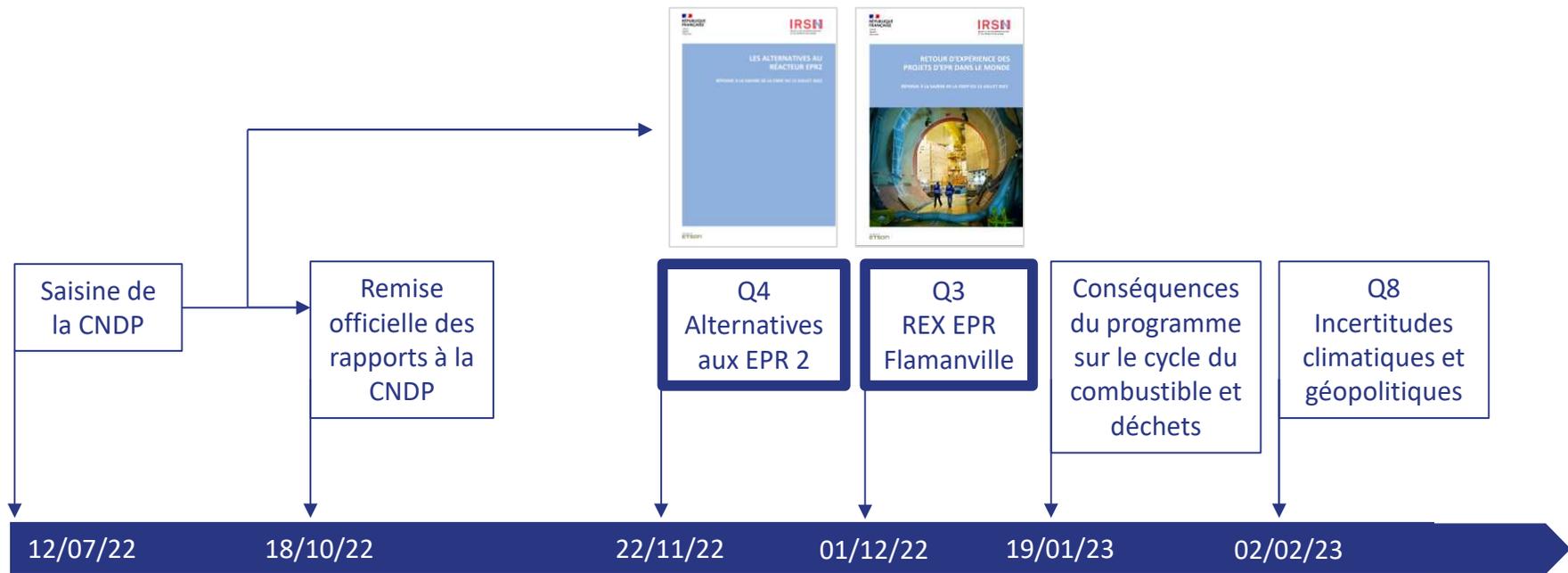


# RAPPORTS ÉTABLIS PAR L'IRSN À LA DEMANDE DE LA CNDP POUR LE DÉBAT PUBLIC « NOUVEAUX RÉACTEURS ET PROJET PENLY »

Réunion du HCTISN du 18 décembre 2022





## Retour d'expérience, sous l'angle de la sûreté, des projets d'EPR dans le monde Que s'est-il passé à Flamanville et quels enseignements en a-t-on tirés ?



### CONTENU DU RAPPORT DE L'IRSN

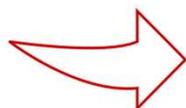
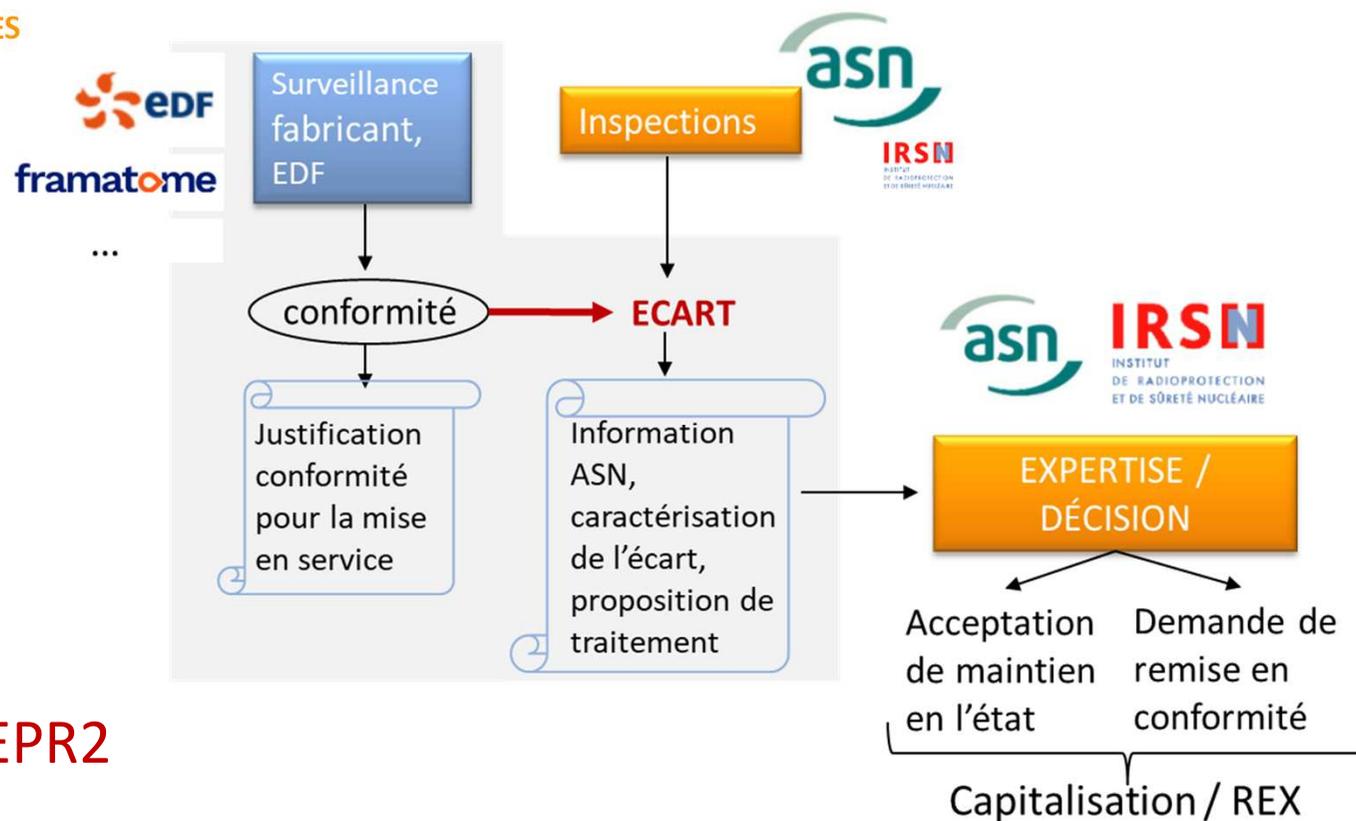
- Rappel des améliorations de sûreté du réacteur EPR™ et du contexte du projet
- Principaux aléas techniques rencontrés par EDF sur le projet de réacteur EPR de Flamanville
  - Génie civil
  - Composants des circuits principaux de refroidissement du réacteur
  - Systèmes de sûreté
  - Retour d'expérience d'exploitation des réacteurs EPR de Taishan (Chine)



## Rappel sur le traitement des écarts détectés et le partage du REX

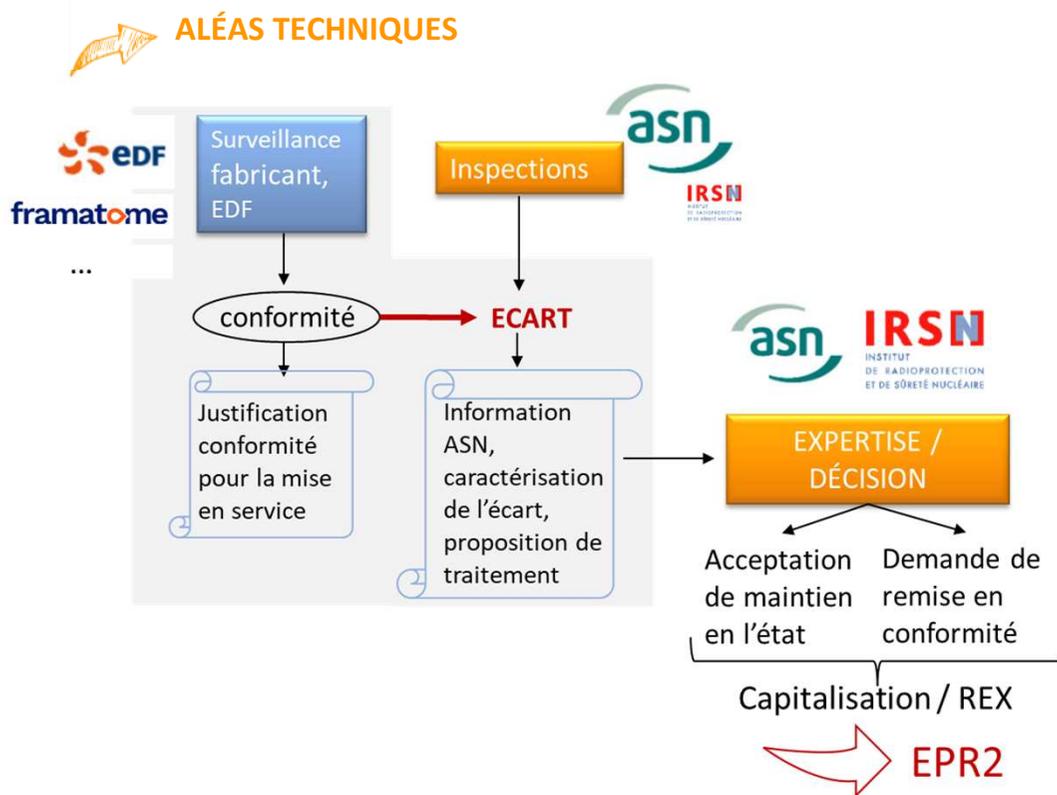


ALÉAS TECHNIQUES

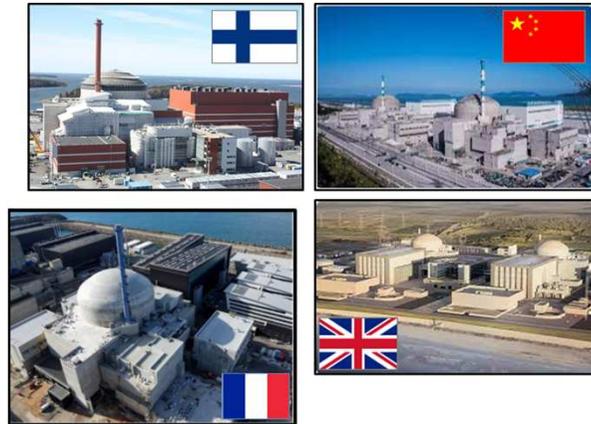


EPR2

## Rappel sur le traitement des écarts détectés et le partage du REX



**PARTAGE DU RETOUR D'EXPÉRIENCE**



**MDEP** *for new reactors*  
MULTINATIONAL DESIGN EVALUATION PROGRAMME

Lieu d'échange entre autorités de sûreté des pays ayant un projet de construction d'un réacteur de type EPR

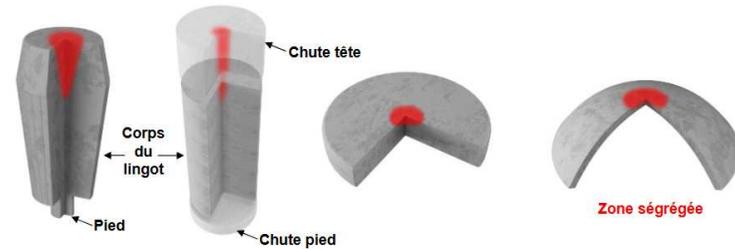
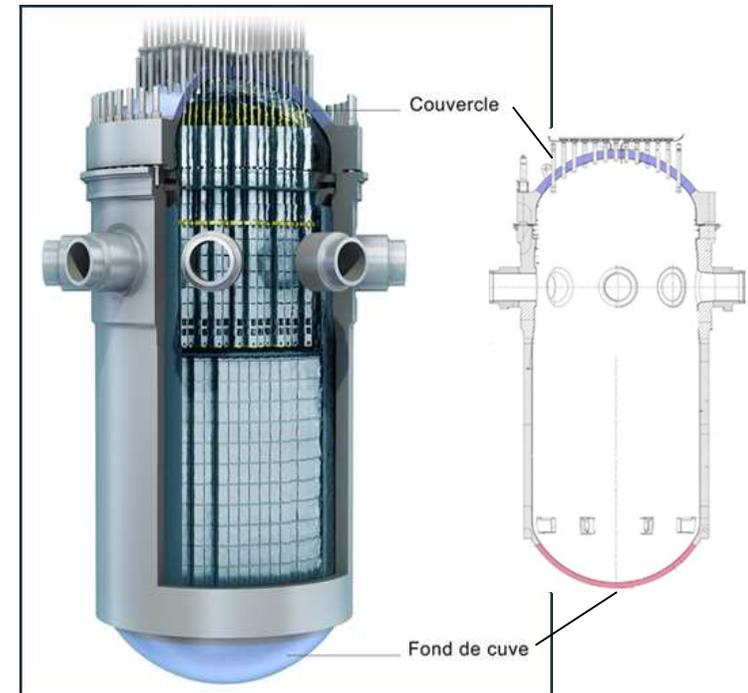


## Calottes de cuve

### EXCÈS LOCAL DE CARBONE DANS L'ACIER DES CALOTTES

- Equipement en « exclusion de rupture » : défaillance non considérée dans la démonstration de sûreté
  - Exigences particulièrement exigeantes pour sa conception, les procédés de fabrication et de contrôle, le suivi en service
- Ségrégation positive résiduelle de carbone due à une évolution du procédé de fabrication
  - Incertitudes sur les propriétés mécaniques de l'acier
- Conclusion de l'expertise :
  - Aptitude au service des calottes de cuve de l'EPR FA3
  - Renforcement des contrôles en service

➔ EPR2

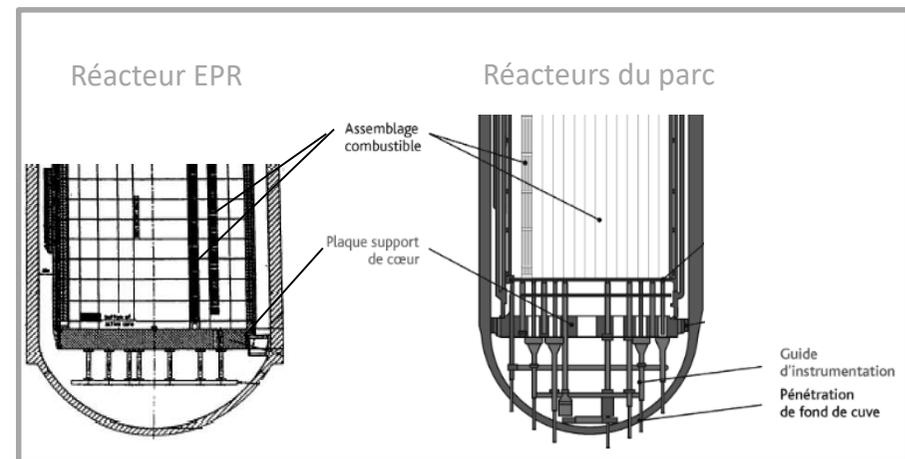




## Fluctuations de puissance – retour d'expérience d'exploitation de Taishan 1

### OSCILLATIONS LATÉRALES DES ASSEMBLAGES COMBUSTIBLES DANS LE CŒUR

- Evolution de conception visant à améliorer la sûreté du réacteur, du fait de la suppression des pénétrations de fond de cuve
- Origine : variations locales des vitesses d'écoulement de l'eau en partie basse du cœur et dans le fond de la cuve
- Conclusion de l'expertise :
  - Nécessité de modifier l'hydraulique du fond de cuve pour limiter les variations de débit en fond de cuve à l'issue des premiers cycles de fonctionnement de l'EPR de Flamanville



➔ EPR2

## Quels enseignements tirés ?



### DES ENSEIGNEMENTS TIRÉS ET D'AUTRES À VENIR, POUR LA MAÎTRISE DES PROJETS D'EPR 2, SUR :

#### ■ L'organisation du projet

- Lien entre études et réalisation
- Implication/accompagnement des prestataires
- ...

#### ■ Les choix de conception

- Soupapes de sûreté du circuit primaire
- ...

#### ■ Les procédés de fabrication

- Tuyauteries en exclusion de rupture,
- Cuve
- ...

#### ■ La surveillance

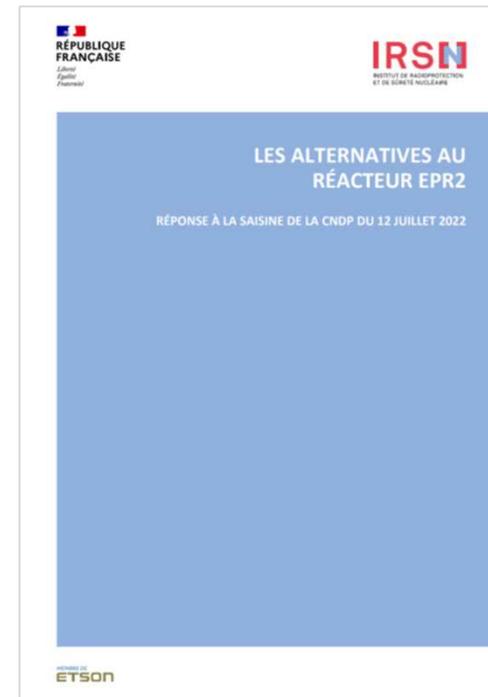
## Les alternatives au réacteur EPR2

Qu'est-ce que l'EPR2 et peut-on faire autrement ?



### CONTENU DU RAPPORT DE L'IRSN

- Les objectifs de conception des réacteurs de génération III
- Les évolutions de l'EPR2 / EPR™
- Panorama des autres réacteurs à sous pression de génération III
- Les systèmes de génération IV
- Les petits réacteurs modulaires



## Comparaison des réacteurs EPR2 et EPR – Expertises réalisées

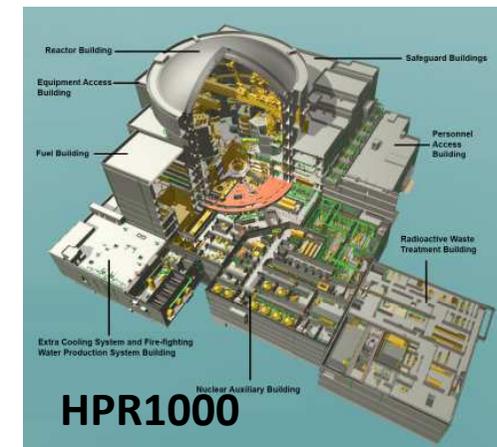
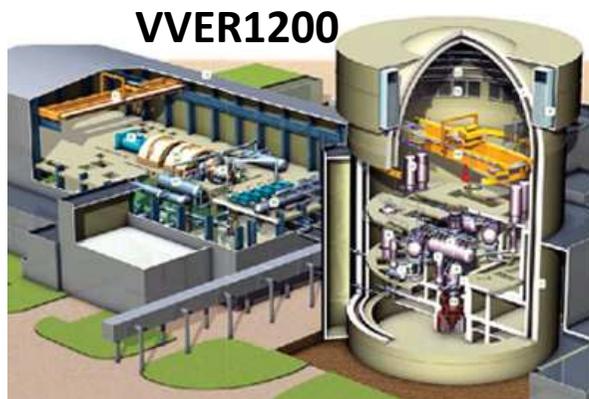
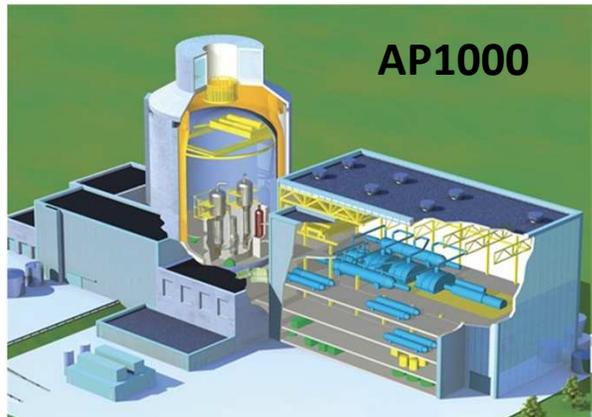
### ■ Expertise par l'IRSN du Dossier d'options de sûreté du réacteur EPR Nouveau Modèle (EPR NM) : Avis IRSN 2018-0013

- Niveau de sûreté de l'EPR NM au moins équivalent à celui de l'EPR FA3.
- Recommandations de l'IRSN essentiellement basées sur le retour d'expérience du projet EPR de Flamanville et demandes d'exploration de choix de conception alternatifs (piscine combustible notamment)
- Augmentation de puissance envisagée pour l'EPR NM considérée comme non souhaitable par l'IRSN

### ■ Plusieurs avis rendus sur le modèle EPR2, sur des sujets structurants pour le projet

- Chute d'avion militaire
- Application d'une démarche d'exclusion de rupture aux tuyauteries principales des systèmes de refroidissement (circuit primaire et tuyauteries vapeur des circuits secondaires)
- Référentiels agressions...

## Les réacteurs à eau sous pression de génération III



## Les réacteurs à eau sous pression de génération III dans le monde

Modèle de réacteur/concepteur	Puissance électrique nette (MW)	Réacteurs en fonctionnement / en construction ou projet
EPR / AREVA (Framatome)	1650	Finlande, France, Chine, Grande-Bretagne
EPR2 / EDF et Framatome	1650	France
AP1000 / Westinghouse (USA)	1130	Chine, États-Unis
APR1400 / KEPCO (Corée du sud)	1450	Corée du sud, Émirats Arabes Unis
HPR1000 / CNNC-CGN (Chine)	1100	Chine, Pakistan
VVER1200 / AEP/Gidropress (Russie)	1200	Russie, Biélorussie, Inde, Égypte, Turquie, Bangladesh, Chine

## Les réacteurs de troisième génération autres que les EPR : différentes majeures de conception

### [ USAGE DE SYSTÈMES ACTIFS/PASSIFS POUR LE REFROIDISSEMENT DU CŒUR ET DE L'ENCEINTE DE CONFINEMENT

Modèle de réacteur/concepteur	Type de systèmes de sureté	Refroidissement du cœur	Refroidissement de l'enceinte
EPR	Actifs	4 trains <b>actifs</b> d'injection de sécurité MP/BP + Accumulateurs	<b>Passif</b> hors situation d'AG <b>Actif</b> en situation d'AG (aspersion dans l'enceinte)
EPR2	Actifs	3 trains <b>actifs</b> d'injection de sécurité MP/BP + Accumulateurs	<b>Passif</b> hors situation d'AG <b>Actif</b> en situation d'AG (aspersion dans l'enceinte)
AP1000	Passifs	1 système <b>passif</b> de refroidissement du cœur	<b>Passif</b> (aspersion hors enceinte)
APR1400	Actifs/passifs	4 trains <b>actifs</b> d'injection de sécurité BP + <b>Accumulateurs optimisés</b>	<b>Actif</b> (aspersion dans l'enceinte)
HPR1000	Actifs/Passifs	3 trains actifs d'injection de sécurité MP/BP + Accumulateurs	<b>Actif</b> (aspersion dans l'enceinte) <b>Passif</b> (échangeurs dans l'enceinte refroidis par air ou eau)
VVER1200	Actifs/Passifs	4 trains <b>actifs</b> d'injection de sécurité MP/BP + 4 trains <b>passifs</b> d'injection	<b>Actif</b> (aspersion dans l'enceinte) <b>Passif</b> (échangeurs dans l'enceinte refroidis par air ou eau)

## Les réacteurs de troisième génération autres que les EPR : différentes majeures de conception

### [ GESTION DES ACCIDENTS DE FUSION DU CŒUR

Deux stratégies :

- Rétention en cuve
- Récupérateur de corium



Modèle de réacteur/concepteur	Gestion des accidents de fusion du cœur
EPR	Récupérateur de corium
EPR2	Récupérateur de corium
AP1000	Rétention en cuve
APR1400	Rétention en cuve/ Récupérateur de corium
HPR1000	Rétention en cuve
VVER1200	Récupérateur de corium

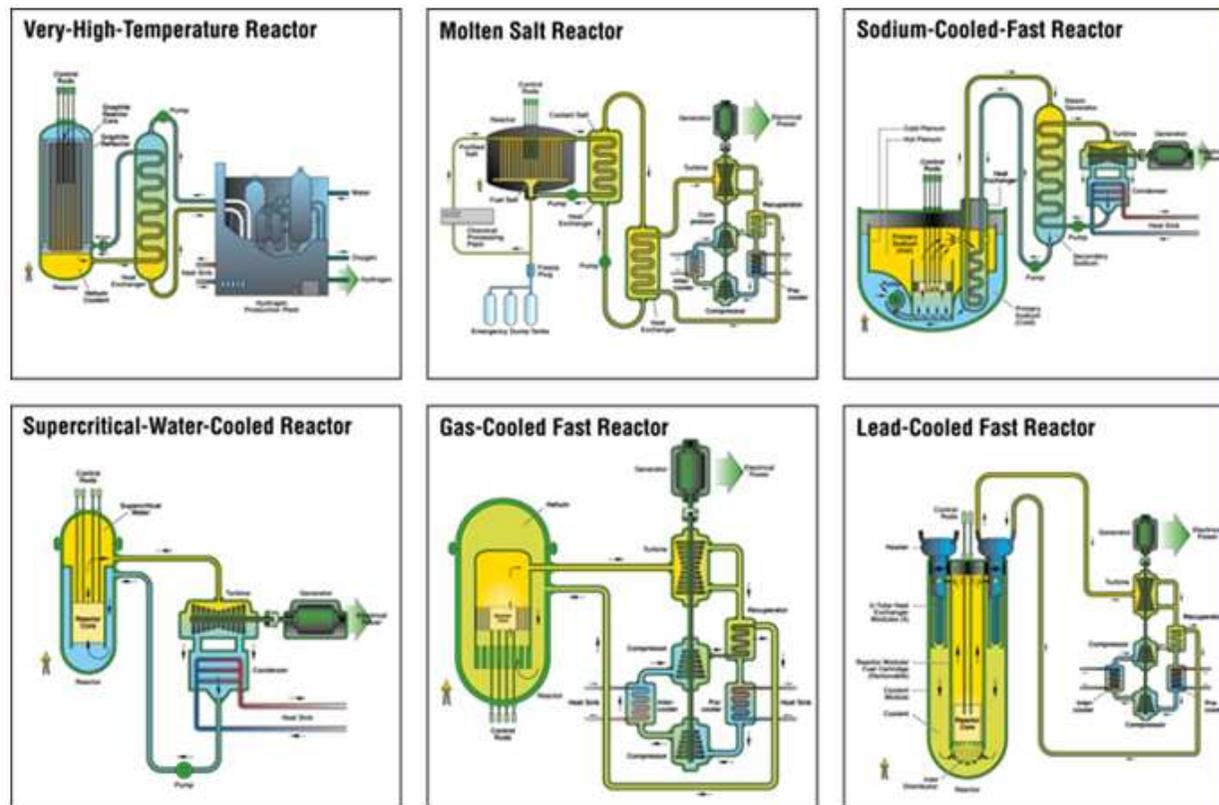
## Les systèmes de génération IV

### [ LES OBJECTIFS DES SYSTÈMES DE QUATRIÈME GÉNÉRATION

- Économie des ressources en uranium naturel
- Amélioration de la sûreté
- Réduction des déchets
- Protection contre les actes de malveillance et le détournement de matières nucléaires

## Les systèmes de génération IV

[ SIX MODÈLES RETENUS  
PAR LE GENERATION IV  
INTERNATIONAL  
FORUM (GIF)



## Les systèmes de génération IV

### [ CONCLUSION DE L'EXAMEN, PAR L'IRSN, DES SYSTÈMES DE QUATRIÈME GÉNÉRATION\*

- Niveau de maturité des systèmes très variable
- Nécessité de nombreux travaux de R&D, d'ampleur variable selon le système choisi
- Impact fort sur le cycle du combustible
- Difficultés technologiques
  - Choix des matériaux (gainés et cuves) : températures élevées en régime nominal et accidentel & effets corrosifs du caloporteur (LFR, MSR et SCWR)
  - Conception du cœur (SCWR et GFR)
  - Composants impliqués dans les fonctions de sûreté (système de vidange des sels fondus par exemple pour le MSR)

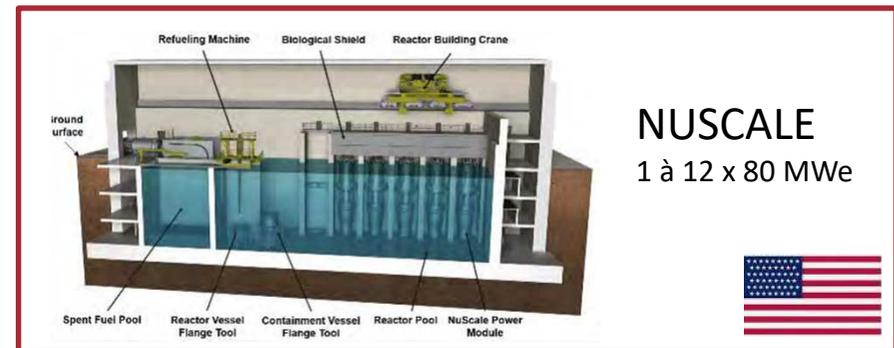
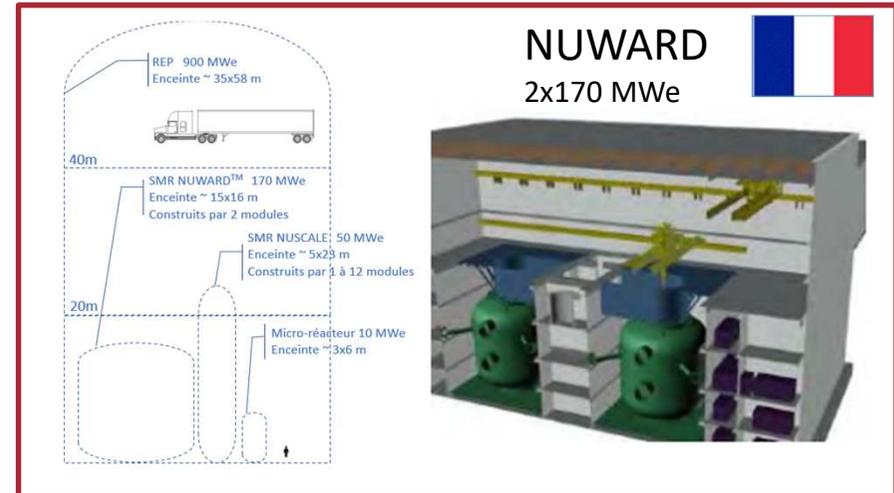


\*[http://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports\\_expertise/Documents/surete/IRSN-Rapport-GenIV\\_04-2015.pdf](http://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/surete/IRSN-Rapport-GenIV_04-2015.pdf)

## Petits réacteurs modulaires ou Small Modular Reactors (SMR)

### [ PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES

- Petite taille : faible espace occupé, possibilité de solutions enterrées ou semi-enterrées
- Puissance : moins de 300 MWe
- Performances accrues en matière de sûreté grâce à des dispositifs de sûreté intrinsèques ou passifs mis en avant par les concepteurs
- Préfabrication en usine : production en série, doit permettre un niveau de qualité supérieur que la construction sur site / gain de temps
- Pour certains concepts, plusieurs réacteurs au sein d'une même installation



[ POUR PLUS D'INFORMATIONS, VOIR LES RAPPORTS IRSN ...

[ SUR LE RETOUR D'EXPÉRIENCE DES PROJETS D'EPR DANS LE MONDE



[ SUR LES ALTERNATIVES AU RÉACTEUR EPR2

