

Caloporteur sodium : retour d'expérience de l'exploitation des RNR-Na

Projet SEPTEN Génération IV Jean-François SAUVAGE



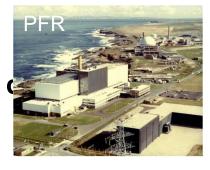
Retour d'expérience des RNR-Na

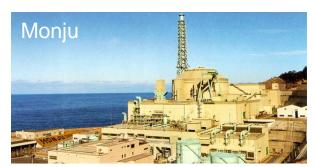






Les incidents survenus lors d l'exploitation des RNR-Na





Sodium, matériaux, manutentions, inspection en service et réparations, démonstration de la sûreté





Les enseignements pour le futur



Retour d'expérience des RNR-Na

1945 – Enrico FERMI:

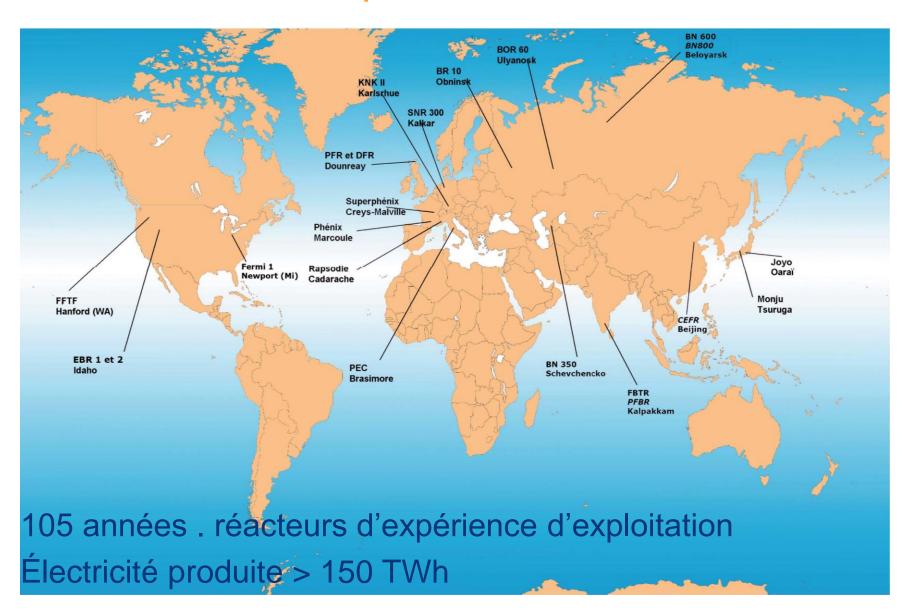
"The first country to develop a fast breeder reactor will have a commercial advantage for the exploitation of nuclear energy."

1956 – Hyman RICKOVER:

"Sodium-cooled fast reactors are expensive to build, complex to operate, susceptible to prolonged shutdown as a result of even minor malfunctions, and difficult and time-consuming to repair."



Retour d'expérience des RNR-Na





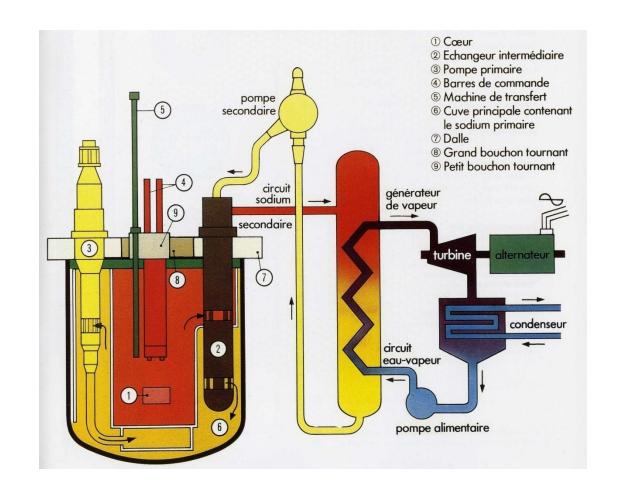
1. Les incidents survenus lors de l'exploitation des RNR-Na

Retour d'expérience de l'exploitation des RNR-Na



Les incidents survenus sur les RNR-Na

- La nature et le nombre des incidents ne diffèrent pas de ceux des autres filières de réacteurs
- Pas d'accident nucléaire (hormis une fusion partielle du cœur de Fermi 1 en 1966)
- Intérêt d'étudier les principaux incidents qui ont un rapport avec le sodium





Les principaux incidents RNR-Na (1/5)

■ Fuites de sodium

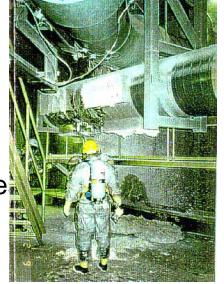
Sur quasiment tous les RNR-Na (32 fuites à Phénix, 5 à Creys-Malville) En moyenne : une fuite par an réacteur en puissance Dernière fuite de sodium déclarée à BN 600 : mai 1994

Petites quantités de sodium, rapidement détectées, pas de feu important Les plus importantes : entre 10² et 10³ kg (KNK II, BN 600)

Causes prépondérantes : conception (sollicitations thermomécaniques) et réalisation (soudures)

■ Feu de sodium

Monju – Décembre 1995 : vidange tardive des tuyauterie détérioration des équipements dans le local, diffusion d'aérosols de sodium par la ventilation





Les principaux incidents RNR-Na (2/5)

■ Réactions sodium – eau

Cinq petites fuites de tubes de générateur de vapeur à Phénix, une douzaine à BN 600, une quarantaine à PFR

Trois réactions sodium – eau violentes (BN 350 : octobre 1973 et février 1975,

PFR: février 1987)



Dans les concepts français : détection précoce et fiable, protection bien échelonnée des petites aux grosses fuites

■ Pollutions du sodium primaire

Superphénix (juin 1990 : entrée d'air dans le circuit d'argon de couverture)

PFR (juin 1991 : déversement d'huile dans le circuit primaire)

→ Délai important de purification (plusieurs mois) SEPTEN / Jean-François SAUVAGE Février 2012



Les principaux incidents RNR-Na (3/5)

■ Fissuration de certains aciers

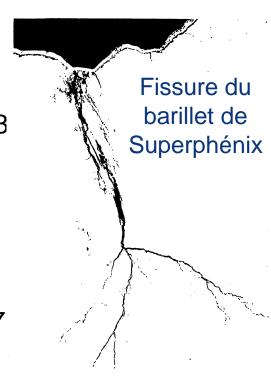
Au contact du sodium et dans certaines conditions : acier 15D3 du « barillet » de Superphénix et sur SNR 3 acier 321 sur Phénix et PFR (circuits intermédiaires)

■ Blocs d'impuretés de sodium formées sous le toit du réacteur

Chute dans le circuit primaire (BN 600 en janvier 1987

- → Perturbations neutroniques et hydrauliques
- Incidents de manutention (rotation du bouchon tournant)

Assemblage combustible (FBTR – mai 1987) Équipement expérimental (Joyo – juin 2007) SEPTEN / Jean-François SAUVAGE Février 2012



Les principaux incidents RNR-Na (4/5)

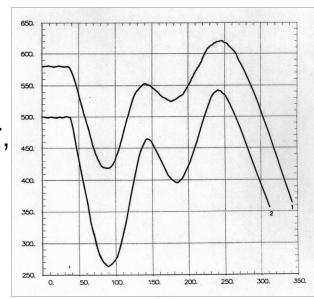
■ Blocages des mécanismes de barres de commande

PFR entre 1985 et 1987, KNK II en décembre 1986, décembre 1988, janvier 1991, Phénix en janvier 1974, mars 1981, février 1985, juillet 1987, octobre 1987)

Dus à des dépôts d'aérosols de sodium plus ou moins oxydés

■ Variations de réactivité

EBR I en novembre 1955, DFR en novembre 1959, EBR II en octobre 1974, Rapsodie en 1978, KNK II en 1978, BN 600 en janvier 1987, Phénix en août 1989, septembre 1989 et septembre 1990, FBTR en novembre 1994 et durant les années suivantes



Origines diverses



Les principaux incidents RNR-Na (5/5)

■ Fusion partielle de deux assemblages

Fermi 1 – octobre 1966 Une plaque métallique s'est détachée de son support et est venue obstruer la circulation du sodium dans plusieurs assemblages

Retour d'expérience : alimentation des assemblages par plusieurs lumières latérales situées dans leurs pieds

NB: Une fusion de la moitié du cœur d'EBR I a également eu lieu en novembre 1955, lors d'un essai d'arrêt des pompes primaires sans chute des barres de commande





2. Sodium, matériaux, manutentions, ISI&R, sûreté

Retour d'expérience de l'exploitation des RNR-Na



Le sodium

Des avantages :

- marge importante à l'ébullition
- grande inertie thermique
- pression atmosphérique
- rendement thermique élevé
- processus RNR-Na simple

■ Des inconvénients :

- réactivité avec l'eau et l'air
- opacité



sur le sodium (Phénix)

■ Des conséquences induites :

- température d'arrêt : 180°C et dispositifs de préchauffage
- moyens de contrôle indirects (température, ultrasons, ...)
- moyens de détection des fuites et des feux de sodium
- moyens de détection et de mitigation des réactions sodium eau
- maîtrise du risque lié à la production d'hydrogène lors des
- « lavages »
- garantie d'absence de soude aqueuse (risque de fissuration)
- risque d'anoxie (azote, argon)



Les matériaux

Bon comportement des matériaux en sodium (aciers 316, 304, alliage 800)

sauf aciers 15D3 (Creys-Malville) et 321 (Phénix)

 Risques de fuite de sodium principalement dus au faïençage thermique (mélanges de flux de sodium de températures différentes), aux dilatations différentielles (conception) à la corrosion caustique (maintenance)

Les caractéristiques du métal de base ne sont pa le seul paramètre : les joints soudés sont les poin sensibles (formage, soudage et installation en conditions industrielles)

 Corrosion sous calorifuge durant une fuite de sodium de très faible débit

Des examens et des prélèvements pour expertise sont prévus lors de la déconstruction des réacteurs Phénix et Superphénix



Les manutentions

- Opacité du sodium (en réacteur ou en stockage externe)
 - → travail « en aveugle », moyens de contrôle des mouvements et de vérification de l'absence d'obstacle (ultrasons)

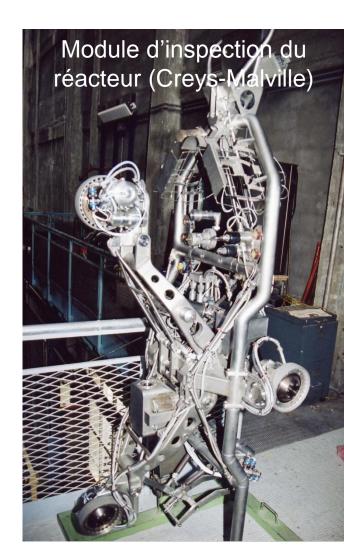


- Élimination des résidus de sodium sur les assemblages avant entreposage sous eau
 - → opérations en cellule (protections biologiques et moyens télé-opérés)
- Retour d'expérience positif à Phénix mais allongement progressif des durées de campagne de renouvellement du cœur (vieillissement des matériels + alourdissement des procédures de suivi des mouvements d'assemblages)
- Fréquence et durée des arrêts pour renouvellement du combustible



L'inspection en service et les réparations

- Inspection visuelle des structures internes supérieures du réacteur, contrôle par ultrasons de la virole conique (Phénix), contrôle des cuves du réacteur et des tubes d'un générateur de vapeur (Creys-Malville)
- Interventions significatives : remplacements et réparations des échangeurs intermédiaires, des modules de générateurs de vapeur, de portions des circuits intermédiaires (Phénix) réparation in situ d'un échangeur intermédiaire (Creys-Malville)
- Dosimétrie des intervenants très faible Phénix: 2,5 h.Sv en 35 ans Creys-Malville: 0,25 h.Sv en 12,5 ans
- Mais délais et coûts importants





16 / 20

La démonstration de la sûreté des RNR-Na

■ Maîtrise de la réactivité

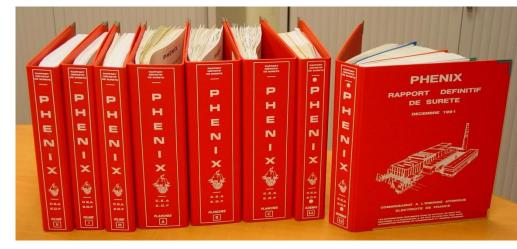
Garantir l'insertion des barres de commande dans le cœur

■ Évacuation de la puissance résiduelle

Fonctionnement en convection naturelle des circuits de sodium

Source froide : atmosphère

■ Confinement



Faible pression de dimensionnement du bâtiment réacteur

Traitement des rejets de sodium non radioactif





3. Les enseignements pour le futur

Retour d'expérience de l'exploitation des RNR-Na



Des enseignements pour le futur

- Choix des matériaux et des procédés industriels de mise en œuvre (soudage) Qualification préalable vis-à-vis du sodium et de ses composés
- Inspection et réparation ou remplacement des structures et composants du réacteur (performance, délais, coûts, qualité)
 A prévoir dès les premières étapes de conception du réacteur, puis établir un ensemble cohérent de surveillance continue, d'inspections périodiques et de contrôles

exceptionnels



- Qualité des fabrications, y compris pour les équipements « annexes »
- Simplification des cinétiques de manutention (assemblages, composants)
- Fréquence et délai de réparation des fuites de sodium





Fin

Qui ne sait pas tirer les leçons de 3000 ans vit seulement au jour le jour.

Goethe

