

1985

—

1994

La RGN, chroniqueuse d'un nucléaire résilient et innovant après Tchernobyl

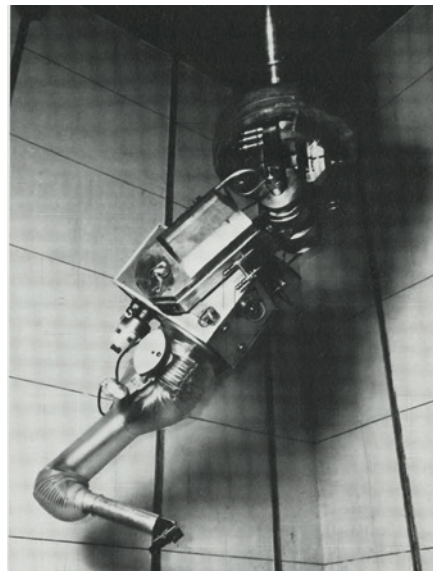
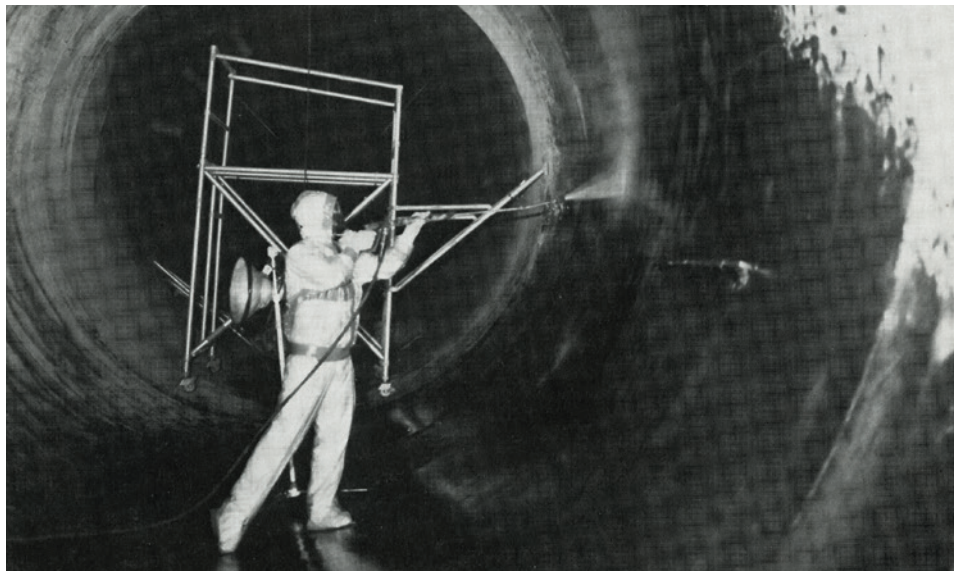
L'accident de Tchernobyl (1986), qui bouleverse la perception mondiale du nucléaire et met la sûreté au cœur des débats, marque de tout son poids la décennie 1985-1994. L'archive de la RGN sur « Les retombées de Tchernobyl et l'action du SCPRI » rappelle quelle fut la réponse française à la catastrophe, marquée par une polémique mémorable autour du « nuage radioactif ».

Alors que plusieurs pays, comme l'Italie, tournent le dos au nucléaire, la France choisit de maintenir son cap. Le démarrage de Superphénix (1987), réacteur à neutrons rapides, incarne cette ambition, malgré les défis techniques rencontrés. La présentation du projet N4 (décrit en 1988) et l'émergence de l'EPR (dont on trouve la première description dans la RGN en 1994), fruit d'une collaboration franco-allemande, montrent surtout une volonté

intacte d'innovation et d'exportation technologiques. Parallèlement, des initiatives comme SEPIA (présentée en 1989), un système d'intelligence artificielle pour la formation des opérateurs EDF, ou la création de Women In Nuclear (1993), sont autant d'initiatives montrant que la filière nucléaire française réfléchit au-delà de la seule production, des réflexions dont la RGN rend compte et met en perspective. Bien que, à l'échelle mondiale, la décennie se caractérise par un ralentissement des nouveaux projets nucléaires, la France poursuit son programme nucléaire malgré les nombreuses alternances politiques quand bien même François Mitterrand, président de la République durant deux septennats, n'en était pas un supporter inconditionnel. ●

1985

EXTRAIT DU TOME N°2, 1985



Vers une nouvelle stratégie de déclasserement des installations nucléaires

Par la rédaction RGN

En 1985, lorsque paraît cet article de la RGN, certaines usines et certains réacteurs de recherche du CEA ont déjà été arrêtés ou sont en cours de déclasserement. Ses auteurs font ainsi un premier bilan sur la préparation et la mise en œuvre du déclasserement d'installations nucléaires en France. Si ces opérations en environnement hostile ont indéniablement contribué à fournir une évaluation précieuse des capacités d'intervention, l'absence de règles générales applicables à chaque type d'installation arrêtée demeure une question préoccupante. Conjuguant expertise et recherche, l'Institut de protection et de sûreté nucléaire

(IPSN) du CEA veut anticiper sur les besoins futurs. Pour coordonner la politique de déclasserement, il propose un programme de R&D structuré avec des activités en interface telles que la gestion des déchets, l'évaluation de risques radioactifs potentiels, la réalisation d'études de financements adaptés... L'institut souligne aussi le rôle clé de l'ingénierie pour développer

L'absence de règles générales applicables à chaque type d'installation arrêtée demeure une question préoccupante

de nouvelles technologies propres au démantèlement et des engins télémanipulables comme le « Piade », un robot mis en service trois ans plus tôt sur l'installation Elan II B à la Hague en 1982. ●



« L'expérience française en matière de déclasserement », A. Crégut et R. Lurie, RGN n° 2, 1985.



» Convention de Vienne sur la protection de la couche d'ozone.

» Signature de l'accord de Schengen par la Belgique, l'Allemagne, la France, le Luxembourg et les Pays-Bas : un marqueur fort de l'intégration européenne concernant, entre autres, la politique énergétique commune.

1986

EXTRAIT DU TOME N°3, 1986

Un nuage et une controverse historique

Par Francis Sorin, fondateur et ex-rédacteur en chef de la RGN

L'accident de Tchernobyl a déclenché en France une controverse emblématique de l'histoire de l'atome civil, révélant un écart profond entre les points de vue. Les acteurs qui s'opposent ne peuvent pas être renvoyés dos à dos : certains fondent leurs propos sur les lois de la physique, tandis que d'autres n'hésitent pas à s'en affranchir au profit

d'un certain militantisme. C'est une des leçons qui ressort des centaines de pages que la RGN a consacrées à cet événement ces 40 dernières années.

En compulsant ces articles, s'affirme la personnalité du professeur Pierre Pellerin, directeur du Service central de protection contre les rayonnements ionisants (SCPRI). Présent dans la revue dès mai 1986, un mois à peine après l'accident, il traque le célèbre

« nuage » radioactif, établissant sa composition, ses dimensions, son parcours. Et conclut que la contamination, bien que mesurable, est trop faible pour représenter un danger sérieux pour la population française. Cette position, apaisante, soulève des protestations virulentes pendant des années. Les opposants au nucléaire tentent de dépeindre Pierre Pellerin en irresponsable, prêt à tout pour défendre le nucléaire. Les opposants à l'atome ont vite constaté que son expertise – reconnue mondialement – gênait la stratégie de diabolisation du nucléaire en France. Malgré des attaques *ad hominem* et même une plainte en justice portée contre lui (qui se soldera par un non-lieu de la cour d'appel en 2011), le crédit de Pellerin auprès des scientifiques reste solide.

Dans cette affaire, la RGN s'est efforcée de rester fidèle à sa triple démarche : information, explication, argumentation. Tous les points de vue y ont été rapportés, jusque et y compris les positionnements quelque peu farfelus annonçant la « fin des temps » suite à quelques becquerels mesurés sur un sanglier du Mercantour ! ●



« Les retombées de Tchernobyl et l'action du SCPRI », P. Pellerin, RGN n°3, 1986.

←

» Accident nucléaire de Tchernobyl, en Ukraine.

» Le baril de pétrole descend sous les 10 dollars.

1987

EXTRAIT DU TOME N°2, 1987

Superphénix, une fiabilité exemplaire

Par **Joël Guidez**, expert international sur les réacteurs rapides, auteur du livre *Les réacteurs rapides : le nucléaire du futur !* (2024)

Ces lignes de 1987 n'ont pas pris une ride ! Pas davantage que la méthodologie qu'il détaille, qui a été retenue par la filière pour tester et mettre en service avec du sodium l'ensemble des composants de Superphénix (pompes primaires et secondaires, échangeurs intermédiaires, échangeurs sodium-air, circuits de purification, etc.). Durant les dix trop courtes années de fonctionnement de Superphénix, ces composants ne présenteront aucune anomalie et démontreront une fiabilité exemplaire.

En particulier, des boucles d'essais en eau ont été construites pour tester ces matériels avant leur passage au sodium, ce qui a permis de montrer que dans le réservoir d'expansion où se trouvait la pompe secondaire, se produisaient des entraînements d'air inadmissibles. Des modifications furent apportées pour résoudre ce problème.

Le réacteur indien PFBR, qui avait fait l'impasse sur les essais en eau préalables, s'est trouvé confronté, après l'introduction du sodium dans le circuit secondaire, à des entraînements de gaz importants, ce qui a retardé sa mise en fonctionnement complète.

Tous ces essais de qualification étaient sur le chemin critique de planning de mise en sodium du réacteur qui s'effectuera en août 1984, le réacteur atteignant sa pleine puissance en 1986. Une réussite. ●

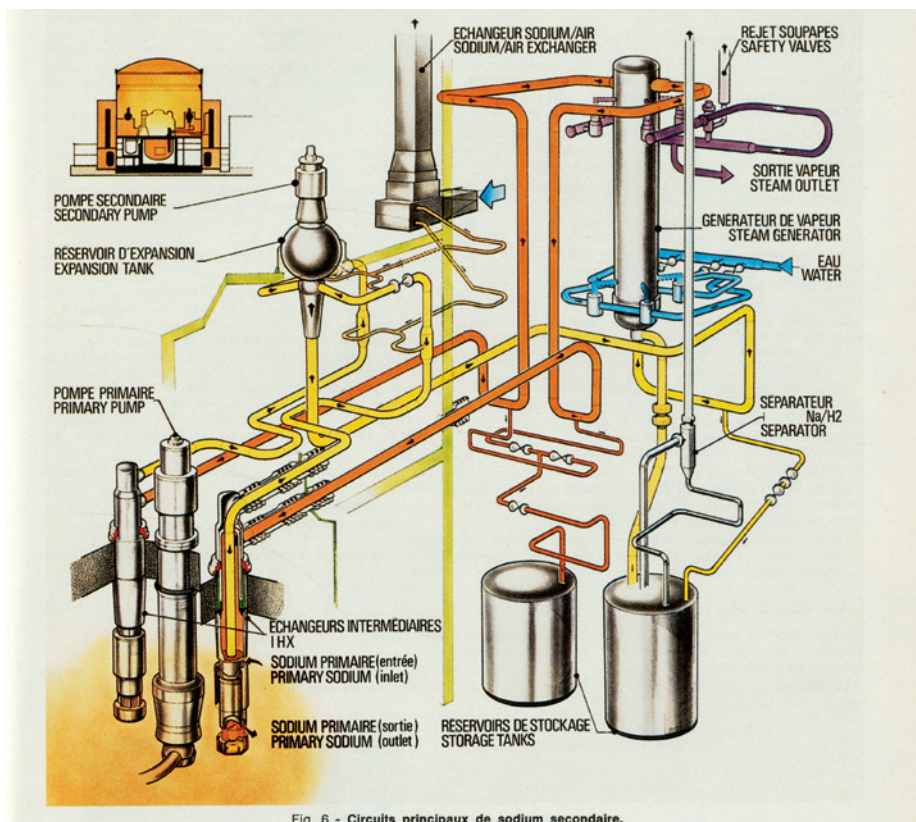


Fig. 6 - Circuits principaux de sodium secondaire.

Durant les dix trop courtes années de fonctionnement de Superphénix, (les composants du réacteurs) ne présenteront aucune anomalie et démontreront une fiabilité exemplaire



« Circuits et composants en sodium », R. Dupraz, G. Panichi, J.-M. Canini, J.-P. Peyrelongue, RGN n°2, 1987.

» La population mondiale compte 5 milliards d'individus.

» Signature du contrat entre EDF et la Chine pour la construction de la centrale de Daya Bay en Chine.

» Signature du protocole de Montréal, visant à réduire puis éliminer les substances réduisant la couche d'ozone.

» Première expérience de fusion avec le mélange deutérium-tritium pour le Joint European Torus situé près d'Oxford, au Royaume-Uni.

1988

EXTRAIT DU TOME N°1, 1988



Quand les N4 incorporaient de l'innovation sur un parc jeune

Par **Sylvain Takenouti**, membre de la Section technique 7 de la Sfen (Technologie et exploitation des réacteurs)

Consulter cette archive de 1984 résonne aujourd'hui au regard des défis et difficultés rencontrées récemment par la filière pour concevoir et construire une tête de série d'un nouveau réacteur. Même si l'environnement général était différent, dans un contexte de queue de programme où l'ensemble de la filière bénéficiait d'une expérience étoffée de la pratique des gestes de conception, de fabrication et de construction, on peut noter des parallèles frappants

avec les expériences plus récentes dans les fondamentaux du projet. Un planning de mise en service volontariste, avec anticipation réussie des pièces à longs délais d'approvisionnement, mais déjà à risque au moment de la parution de l'article ; une volonté d'aligner tous les partenaires, avec des schémas industriels éprouvés, notamment pour la phase du chantier pour les montages électromécaniques ; la volonté de concevoir une nouvelle machine plus optimisée, en tenant compte du retour d'expérience d'exploitation de réacteurs similaires, et en visant la compétitivité économique avec un réacteur encore plus grand

Les difficultés à surmonter sont identifiées (et notamment) l'intégration d'innovations et de modifications de conception en essayant de préserver autant que possible la reconduction des machines du parc existant, très optimisées

pour bénéficier d'économies d'échelle dues à la taille du réacteur.

Déjà les difficultés à surmonter sont identifiées : intégration d'innovations et de modifications de conception en essayant de préserver autant que possible la reconduction des machines du parc existant, très optimisées ; utilisation des moyens modernes d'informatique pour la conception et pour l'exploitation (il est intéressant de noter l'élaboration de stratégies de contournement des difficultés liées à la disponibilité des innovations pour les essais avec des cartes de contrôle commande provisoires) ; utilisation de la simulation comme aide à la conception et volonté de mettre en situation des opérateurs avec cet environnement de conduite dès que possible. ●



« Le point sur le projet N4 », M. Cravero, RGN n°1, 1988.

←

» Le Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat, le Giec, voit le jour sous l'égide de l'ONU.

1989

EXTRAIT DU TOME N°3, 1989

SEPIA : la première vague de l'IA dans le nucléaire

Par **Jean-Bernard Thevenon**,
président de la Section technique 16
de la Sfen (Transformation
numérique)

La première vague de l'IA a rencontré le secteur nucléaire au milieu des années 1980. En 1987, on peut lire pour la première fois dans la RGN, quinze courts articles décrivant des applications d'IA. Puis à nouveau en 1989, 1990, et 1993. Mais il faudra attendre 2017, plus de vingt ans plus tard, pour que la RGN traite à nouveau de l'IA, tandis que la discipline s'était considérablement enrichie. Cette chronologie heurtée illustre l'évolution mouvementée de cette technologie.

Le premier article de 1987 décrit un Système expert (SE) d'aide à la formation des opérateurs dans la gestion de transitoire en situation incidentelle. SEPIA, c'est son nom, est réalisé pour le compte d'EDF par Framentec, une start-up de Framatome dédiée à l'IA. Le programme est un « observateur » des réactions de l'équipe de quart qui exploite les données du simulateur et les activités « Interface homme-

machine ». Ces données permettent à SEPIA de rejouer et de commenter les réactions en fonction de règles acquises auprès d'experts formateurs. Ce système pionnier a permis d'augmenter le nombre de séances de travail tout en garantissant des explications fondées sur l'expertise humaine. À cette époque, une vingtaine de SE sont développés chez EDF, d'autres chez Framentec, SGN, et sans aucun doute dans d'autres entités pour l'exploitation, l'ingénierie ou la robotique. ●

En 1987, on peut lire pour la première fois dans la RGN quinze courts articles décrivant des applications d'IA

Développement de SEPIA

Au niveau de la démarche méthodologique et de la construction de la base de connaissance, SEPIA est un projet revêtant une dimension multi-expertise. D'un côté, nous trouvons l'expertise en physique nucléaire des théoriciens des bureaux d'études du SEPTEN (Service d'Études et Projets Thermiques Et Nucléaires), de l'autre côté, nous trouvons l'expertise pédagogique des centres de formation d'EDF. Ces compétences ont dû être harmonisées puisque non formulées dans la même terminologie. On note, par exemple, que les experts du SEPTEN utilisent des kilogrammes/seconde alors que ceux des centres de formation s'expriment en tonnes/heure. D'autre part, la connaissance de l'expert du SEPTEN est théorique alors que celle de l'instructeur est pédagogique et plus orientée sur la pratique. L'implication des experts d'EDF s'est avérée essentielle : un système comme SEPIA ne se construit pas sur la seule base d'un cahier des

charges. Le rythme de travail a été d'environ de deux séances d'interview par mois avec l'expert, ce qui est le rythme normal d'acquisition de la connaissance.

Une dizaine de personnes ont été impliquées au développement de SEPIA, cinq personnes chez Framentec, cinq à EDF (expert, instructeur, ergonome, graphiste, chef de projet), ceci équivalait à un projet de cinq homme-année.

La base de connaissance de SEPIA comporte environ 2 000 objets dont 1 000 règles. Prévalidé au centre de formation de Bugey sur simulateur de tranche, testé sur le site de production de Tricastin, SEPIA a été intégré à la formation de Bugey, Caen et Paluel en début 1989. Il sera généralisé à tous les sites de production 900 et 1 300 MW, c'est-à-dire à une vingtaine de sites, à court et moyen terme. EDF évalue le coût de la série à 800 KF (SEPIA, simulateur, poste de travail) pour un investissement initial de 10 MF en vue de la réalisation du prototype.

Outil de développement

Le choix du générateur de la base de connaissance s'est porté vers S.1. À l'époque (1987) Framentec disposait d'un passé de quatre ans avec S.1, ce qui lui permettait d'affirmer la robustesse du logiciel, écrit en langage C et exécutable sur station de travail UNIX. En fait, la phase du maquettage du projet avait été réalisée avec M.1 sur PC. La maquette permettait de démontrer que le système global était viable. Le portage vers S.1 a permis une meilleure connaissance procédurale. Une base d'une taille de 2 000 objets requiert un outil de génération majeure structurant la connaissance, générant des sous-ensembles des bases de règles, des catégories de règles : S.1 présente ces caractéristiques et a permis de réaliser un logiciel satisfaisant. Un effort ergonomique a été particulièrement mis en œuvre afin d'assurer le succès de SEPIA auprès des opérateurs des sites de production.

Aspect générique d'un tel système

SEPIA est un système d'enseignement développé pour un client spécifique : EDF. On peut naturellement penser qu'un système de même nature pourrait être exporté et mis en service sur les sites des centrales nucléaires d'autres pays. De plus, l'aspect générique de SEPIA pourrait être appliqué aux industries à procédés continus et aux organisations formant leur personnel sur simulateur.



« SEPIA : un système d'enseignement par intelligence artificielle pour les opérateurs EDF. Une première mondiale », R. Dunand, F. Dravers et J. Guillermand, RGN n°3, 1989.

←

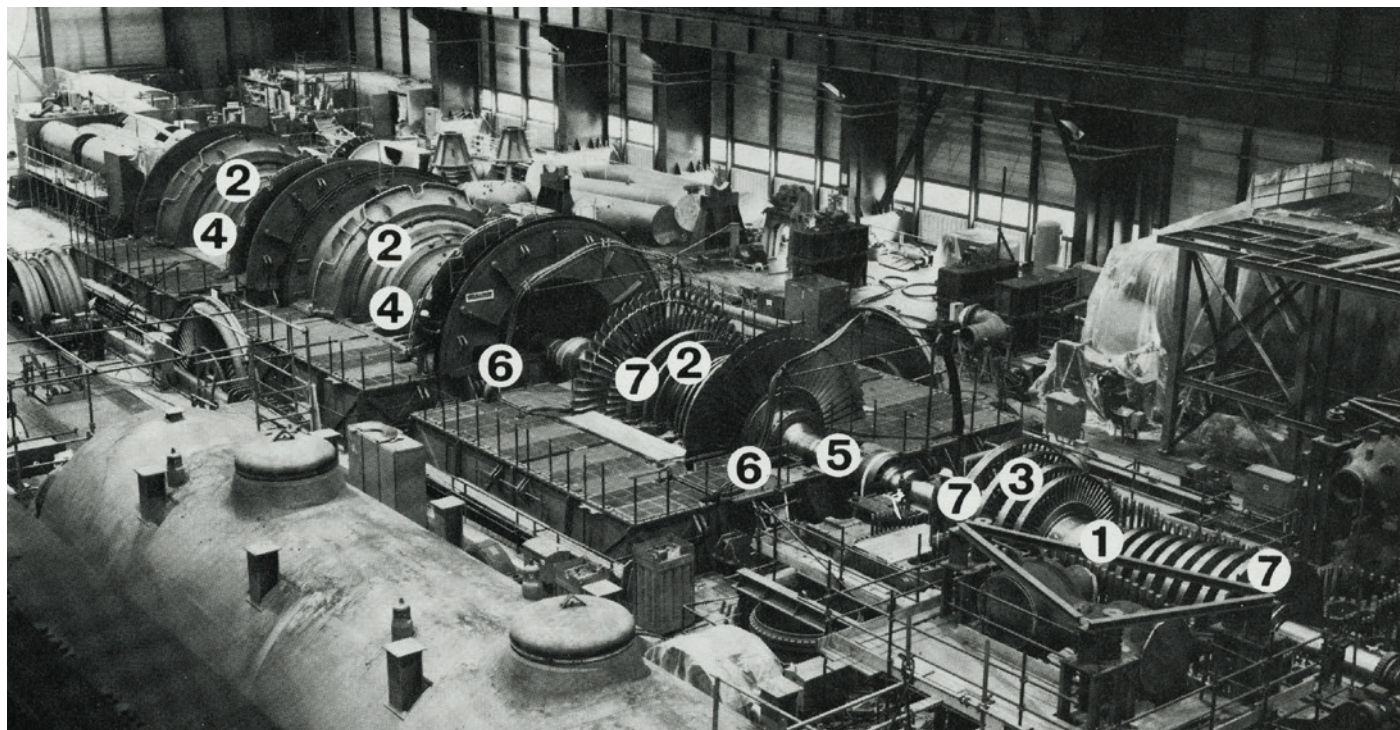
» Naufrage du pétrolier Exxon Valdez au large du Canada. La fuite de ses 300 000 tonnes de pétrole brut provoque une catastrophe écologique au sud de l'Alaska.

» Campagne internationale pour la sauvegarde de la forêt amazonienne.

» Chute du mur de Berlin, marquant la fin symbolique de la guerre froide et le début d'une nouvelle redistribution des cartes dans le nucléaire civil.

1990

EXTRAIT DU TOME N°4, 1990



Arabelle, destin d'une icône

Par la rédaction de la RGN

En 1990, la turbine Arabelle en était à ses tout premiers pas. Présentée comme une évolution audacieuse, elle était alors en cours de montage à la centrale de Chooz B. Trente-cinq ans plus tard, cette turbine est devenue un monstre sacré de l'ingénierie et un incontournable du nucléaire français et mondial.

Déjà hors norme à sa naissance, Arabelle impressionne : 1550 MW mécaniques, une architecture à action innovante, des modules HP-MP combinés, une réduction de masse et de longueur et un rendement amélioré. L'auteur de l'article souligne la rigueur du design – facilité de montage, rotors

soudés, protections contre l'érosion – et la volonté de tirer le meilleur du retour d'expérience.

D'un point de vue éditorial, ce qui frappe aussi depuis aujourd'hui, c'est la représentation visuelle qui est donnée de la turbine. Ici, il s'agit d'une photo en noir et blanc, un peu lointain et pas très grande. Pourtant, quelques années auparavant seulement, la RGN se contentait de schémas techniques. Trois décennies plus tard, ce sont des reportages en pleine page qui subliment les lignes élancées de cette machine, parfois décrite comme une dentelle de métal. Emmanuel Macron ne s'y est pas trompé : c'est devant une Arabelle, magnifique et

imposante, qu'il prononce en 2022 son discours de Belfort actant la relance du nucléaire. Arabelle est devenue bien plus qu'une turbine : une icône de la renaissance industrielle en France. ●



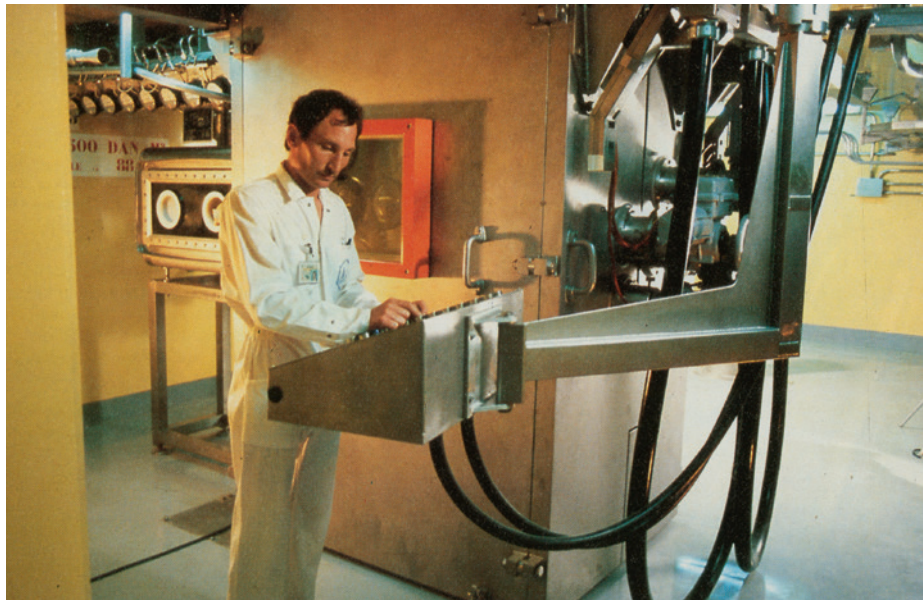
« La turbine Arabelle »,
D. de Vulpillières,
RGN n° 4, 1990.



» Début
de la première
guerre du Golfe.

1991

EXTRAIT DU TOME N°4, 1991



L'usine de La Hague et l'« Aval du Futur »

Par **Agnès Launay** et **Julie-Fiona Martin**, Orano et **Cécile Evans**, présidente de la Section technique 5 de la Sfen (Cycle du combustible nucléaire)

En 1991, c'est l'heure du premier bilan – un an après sa mise en service – de l'usine UP3 de traitement des combustibles usés d'Orano (alors Cogema), sur le site de La Hague. Construite pour un consortium de clients étrangers – Japon, Pays-Bas, Belgique, Allemagne, Suisse –, cette installation visait à mutualiser leurs besoins domestiques, tout en bénéficiant du savoir-faire de la France. Sur le site de La Hague, UP3 succède à UP2-400 (1966-2004), et précède UP2-800 (1994), ces deux dernières étant toutes deux encore en exploitation.

D'abord réservée au consortium pendant dix ans, UP3 a ensuite accueilli les combustibles de clients français et internationaux. Aujourd'hui, après trente-cinq ans d'exploitation, ces deux usines fonctionnent toujours à pleine capacité, grâce à une adaptation continue aux combustibles modernes.

En cohérence avec la politique de traitement-recyclage des combustibles usés en France jusqu'à la fin du siècle, actée lors des conseils de politique nucléaire de 2024 et 2025, Orano met en œuvre un programme pour en assurer le fonctionnement au-delà de 2040, via une maintenance proactive et une démarche constante d'optimisation. Grâce à l'exploitation de cette usine, la France a pu maintenir et développer un savoir-faire industriel unique, un atout

majeur pour l'ambitieux projet « Aval du Futur », qui prévoit la construction d'une nouvelle usine de traitement des combustibles usés ainsi qu'une nouvelle usine de fabrication de combustibles issus du recyclage. ●



« L'usine UP3 de Cogema La Hague », RGN n°4, 1991.



» Le traité START (Strategic Arms Reduction Treaty) est signé entre les États-Unis et l'Union soviétique. Il vise à réduire le nombre d'ogives nucléaires stratégiques des deux superpuissances.

» Adoption, en France, de la loi Bataille relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs.

« Le Verseau » en avance sur son temps

REVUE GÉNÉRALE NUCLÉAIRE #1 | PRINTEMPS 2025 | 31

1993

EXTRAIT DU TOME N°2, 1993

Women in Nuclear: de l'opinion aux vocations scientifiques

Par **Emmanuelle Galichet**,
présidente de WiN France et
maître de conférences chez Cnam
(Conservatoire national des arts
et métiers)

Vingt-trois ans nous séparent de cet article annonçant la naissance de Women in Nuclear (WiN) créée par France Bres-Tutino, sa première présidente jusqu'en 2006 (ci-contre). Il est particulièrement intéressant de noter que le problème identifié à l'époque n'était pas tant un nombre insuffisant de femmes dans les métiers scientifiques et techniques de l'industrie nucléaire, mais plutôt le fait que l'opinion publique féminine n'adhérait pas à l'énergie nucléaire. C'est d'ailleurs en réalité toujours le cas car nombre de sondages montrent un pourcentage largement inférieur de femmes ayant une image positive de l'énergie nucléaire.

Pourtant, l'ambition de WiN est un peu différente aujourd'hui. Les femmes ne représentent que 24 % des effectifs de la filière nucléaire et restent largement sous-représentées dans les fonctions techniques et de recherche. Ce nombre est même susceptible de chuter drastiquement dans le futur du fait de la réforme du bac de 2019 : moins de 20 % des jeunes filles choisissent des études scientifiques et techniques. D'ailleurs, même l'Académie des sciences



s'est émue de ce sujet et a publié un avis le 18 juin 2024. C'est dire si le problème est partagé ! WiN s'appuie aujourd'hui sur deux constats : les rôles modèles attirent les jeunes vers les sciences, et les filles choisissent majoritairement leur carrière avant

même le bac. La mission principale de WiN, dès lors, est claire : il s'agit d'intervenir dans les collèges et lycées pour parler de physique nucléaire, expliquer son rôle fondamental dans l'univers et ses applications industrielles. ●

WiN s'appuie aujourd'hui sur deux constats : les rôles modèles attirent les jeunes vers les sciences, et les filles choisissent majoritairement leur carrière avant même le bac



« Création de «WiN». Quand le nucléaire se conjugue au féminin... », RGN n°2, 1993.



» L'Assemblée générale des Nations unies adopte la résolution déclarant le 22 mars 1993, première Journée mondiale de l'eau.

» Bill Clinton et son vice-président Al Gore fixent comme objectif aux États-Unis la stabilisation, en l'an 2000, des Gaz à effet de serre à leur niveau de 1990.

1994

EXTRAIT DU TOME N°6, 1994

Les premiers plans de l'EPR publiés dans la RGN

Par Sylvain Takenouti, membre de la Section technique 7 de la Sfen (Technologie et exploitation des réacteurs)

Cette archive exceptionnelle recense les grandes options de conception de l'EPR, en revenant sur les fondamentaux du projet. Vu d'aujourd'hui, il est particulièrement intéressant de noter que le besoin croissant en énergie est mentionné mais pas la nécessité de production d'énergie décarbonée, une préoccupation qui n'est pas encore centrale au début des années 1990. L'objectif est de concevoir un produit standard, capable de s'adapter à la plupart des sites potentiels, et licenciable en France comme en Allemagne. Les autorités de sûreté, ainsi que les exploitants nucléaires des deux pays ont en effet été associés dès le début du projet.

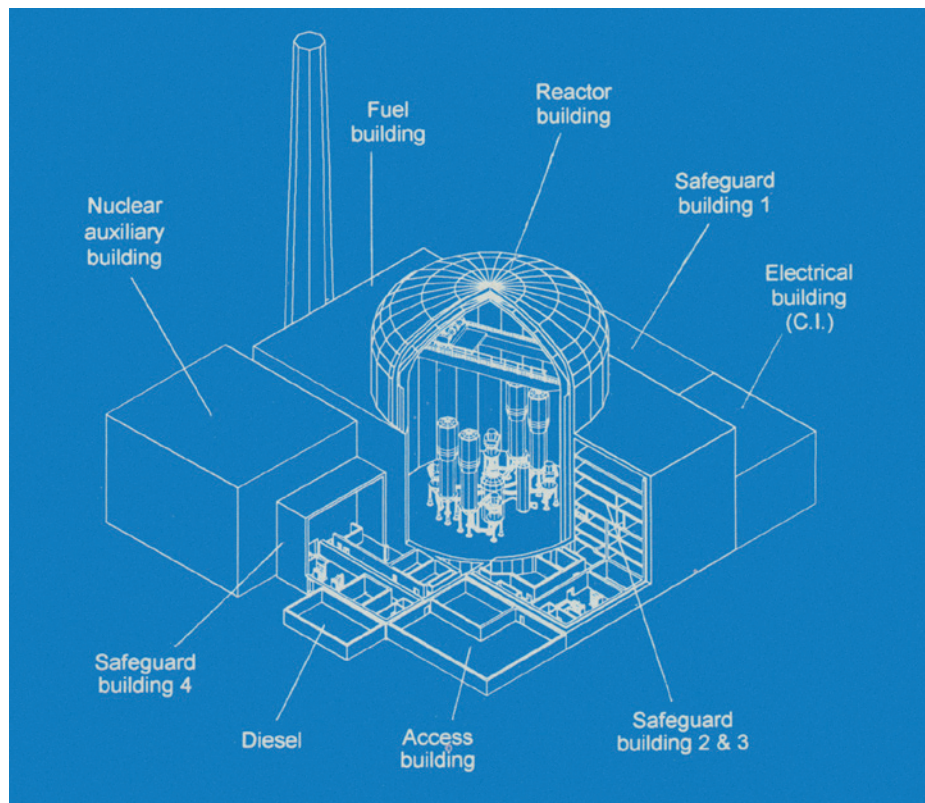
Les fondamentaux des réacteurs de 3^e génération sont aisément décelables : réduction de la probabilité d'accidents graves (avec fusion du cœur, limitation des conséquences des accidents graves, renforcement de la protection contre les agressions internes et externes, coque avion – pensée bien avant les attentats du 11 septembre

2001). Notons également que le recours à des systèmes passifs a été pesé et retenu pour les cas où ils permettent une amélioration notable des fonctions de sûreté, et ce, plus d'une vingtaine d'années avant l'accident de Fukushima.

En ce qui concerne la recherche de compétitivité économique, elle est naturellement centrale et adaptée aux deux pays concepteurs qui ont un nombre limité de sites pour accueillir des nouveaux réacteurs. On retient ainsi un réacteur de grande puissance (alors

affichée à 1500 MW), une durée de vie de soixante ans, une combustion optimisée, un taux de disponibilité possible le plus élevé, une capacité à exploiter en suivi de charge et réglage de fréquence, l'anticipation de la raréfaction ou de prix élevés de l'uranium naturel grâce à un réacteur « MOXable ».

Enfin, les ingénieurs familiers de l'EPR seront saisis par le chemin parcouru depuis les premiers plans du futur EPR publiés dans cet article composés d'une vue en écorché et de coupes de l'îlot nucléaire. ●



« The European Pressurized Water Reactor (EPR): an advanced PWR », B.J. Baumgartl, F. Bouteille, RGN n°6, 1994.

←

» La France signe la Convention internationale sur la sûreté nucléaire le 20 septembre 1994 et l'approuve l'année suivante.