

**Internationale Fachmesse
für die kerntechnische
Industrie**

nuclex 72
CH-4021 Basel/Schweiz
Telephon 061-32 38 50
Telex 62 685 fairs basel

**Foire internationale
des industries
nucléaires**

**International
Nuclear
Industries Fair**

16-21 October 1972
Basel/Switzerland



Copyright by Nuclex

Séance Technique No. 1/2

Performances de la Centrale Nucléaire des Ardennes

L. Bertron

**Société d'Energie Nucléaire Franco Belge
des Ardennes SENA**

PERFORMANCES DE LA CENTRALE NUCLEAIRE DES ARDENNES

Monsieur Lucien BERTRON
Directeur de la Centrale Nucléaire des Ardennes

L'auteur indique quelles ont été les performances de la Centrale Nucléaire des Ardennes après la remise en service des installations suite à l'incident réacteur et quelles sont les perspectives d'avenir de cette centrale.

Author reports the performances of the "Centrale Nucléaire des Ardennes" during power operation following plant shutdown due to reactor failure and what is the future of this power station.

Der Verfasser gibt einen Überblick über die Betriebszustände nach der Wiederaufnahme des Leistungsbetriebes nach den Reparaturen am Reaktordruckgefäß sowie über die Zukunftsaussichten des Werkes.

I - SITE ET ORIGINE

Implantée en bordure de la Meuse, à 10 km au sud de Givet, la Centrale Nucléaire des Ardennes appartient à la Société d'Energie Nucléaire Franco-Belge des Ardennes (SENA) constituée par Electricité de France et la Société Belge Centre et Sud.

La construction et la mise en service de la Centrale ont été confiées au Groupement Nucléaire AFW sauf pour le Génie Civil qui a fait l'objet d'un marché distinct confié à un Groupement d'Entreprises spécialisées.

II - PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DE LA CENTRALE

Les principales caractéristiques de la Centrale sont données dans le tableau n°1.

III - HISTORIQUE DE LA CENTRALE

Les dates les plus marquantes de l'histoire de la Centrale sont rappelées dans le tableau n°2.

./.

Au cours de la période comprise entre le 1er couplage de l'alternateur sur le réseau et l'incident réacteur, l'exploitation de la Centrale s'est faite dans des conditions tout à fait normales, compte tenu du caractère prototype de cette installation. Un certain nombre d'incidents que nous pouvons considérer comme mineurs se sont produits sur différents matériels : turbine, surchauffeurs, pompes alimentaires, pompes primaires. Aucun de ces incidents n'a été à l'origine d'une indisponibilité importante.

Tous ces défauts ont pu être éliminés par quelques modifications ou mises au point, réalisées selon des procédures connues.

IV - INCIDENT REACTEUR - EPILOGUE

Un incident affectant les structures internes du réacteur a été la cause d'un arrêt de l'installation du 30 janvier 1968 au 18 mars 1970.

Cet incident ayant déjà fait l'objet de certains écrits et exposés, il n'y a pas lieu d'y revenir si ce n'est pour dresser le bilan des contrôles qui ont été effectués sur l'ensemble des structures internes à l'occasion de l'arrêt de l'été 1971 pour rechargement, soit après 10 000 H. de fonctionnement à pleine puissance.

Les contrôles effectués ont été les suivants :

- examens visuels à la lunette ou au boroscope :
 - des 80 vis de virole et de leur système de freinage.
 - des vis de remplacement des tirants et des vis de fixation des tubes guides de barres de contrôle et de leur système de freinage
 - des vis de l'enveloppe du cœur et support secondaire
 - du croisillon
 - de la plaque coulée inférieure et des parties constitutives du dash-pot inférieur.
- contrôle du couple de serrage à l'occasion de leur retrait :
 - de 2 vis d'assemblage des viroles du cœur
 - d'une vis de remplacement des tirants
 - d'une vis de fixation supérieure des tubes guides
- contrôle dimensionnel et superficiel des vis enlevées
- contrôle mécanique et métallurgique d'une des vis en Inconel X750.

./.

Tous les examens réalisés permettent de conclure au parfait état de l'ensemble des structures internes du réacteur et confirment la validité des dispositions qui ont été prises pour la réparation du réacteur. Cette opinion s'est confirmée par les quelques examens qui ont été faits à l'occasion du rechargement de 1972.

V - FONCTIONNEMENT DE LA CENTRALE DEPUIS SA REMISE EN SERVICE

5.1. Statistiques de fonctionnement

La Centrale a été remise en service normal le 18 mars 1970.

Depuis lors, elle fonctionne d'une façon très satisfaisante comme en témoignent les statistiques figurant au tableau n°3.

Ce tableau suscite les commentaires suivants :

- 1° - Dès la remise en service de l'installation, la disponibilité est devenue excellente.
- 2° - Le nombre d'arrêts du réacteur est resté élevé durant les années 70-71. Par contre, la fiabilité de l'installation s'est notablement améliorée au cours du premier semestre de 1972.

5.2. Principales causes d'indisponibilités

Mise à part un incident sur le transformateur principal, dû à la foudre, qui a immobilisé l'installation du 8 juin au 23 juillet 1970 aucun matériel n'a été à l'origine d'une indisponibilité de longue durée.

5.3. Analyse des causes de perturbation de la production

Par perturbation, on entend un arrêt de l'installation consécutif au fonctionnement intempestif d'une sécurité interne à la Centrale ou nécessité par une intervention sur un matériel indispensable à la réalisation de la pleine charge.

Le tableau n°4 donne le nombre d'arrêts de l'installation et la cause de ces arrêts.

En exceptant les arrêts dus à des défauts de matériel dont la réparation a pu nécessiter une immobilisation de l'installation de plusieurs jours, la Centrale a été recouplée au réseau après un délai moyen de 3H10 en 1970 et 2H00 en 1971.

Les incidents de matériel ayant entraîné ou nécessité un arrêt ont tous affecté des matériels du circuit secondaire. L'indisponibilité

./.

consécutives à chacun de ces incidents a été inférieure à 1 %.

Le tableau n°4 suscite les commentaires suivants :

- le nombre des incidents de matériel reste relativement constant d'une année à l'autre.
- les défauts dus aux automates dans leur ensemble, qui ont été longtemps la principale cause de déclenchement intempestif, ont considérablement décru entre 71 et 72.

Certaines améliorations apportées à ces circuits au cours de l'arrêt pour rechargement de 1971 en sont à l'origine.

- le nombre de déclenchements par erreur humaine demeure constant bien que la formation du personnel aille en s'améliorant

5.4. Réduction des causes de déclenchement par amélioration de la fiabilité des automates

Les automates ayant été durant un certain temps la principale cause de déclenchements intempestifs, un effort important a été fait pour améliorer leur fiabilité.

Cette amélioration a été en grande partie obtenue à la suite des réalisations suivantes :

- amélioration du câblage de certains circuits pour réduire leur sensibilité aux parasites:
 - en opérant une meilleure séparation des câbles par catégorie de signal
 - par une mise à la terre plus directe des masses mécaniques et de certains communs électroniques
- amélioration de l'instrumentation nucléaire

A l'origine, 2 des 4 chambres longues étaient utilisées pour les gammes intermédiaires de puissance.

Aux très faibles puissances, les signaux de ces chambres, très perturbés, étaient à l'origine de très nombreuses chutes de barres.

Il a été mis en évidence que ce fonctionnement erratique était dû à des vibrations mécaniques de la chambre. Toutes les tentatives pour amortir ces vibrations ayant échoué, 2 chambres courtes compensées ont été mises en place et sont utilisées pour la gamme intermédiaire, les chambres longues étant exclusivement réservées aux gammes de puissance. ./.

Depuis cette modification, aucun fonctionnement intempestif des sécurités lié au mesure de puissance neutronique n'a été observé

- amélioration de la protection de marge faible de pression

Le système prévu à l'origine comprenait 2 chaînes de calcul de la marge faible de pression à partir de la température moyenne et du ΔT les plus élevés des 4 boucles. Cette disposition a été la cause d'un nombre de SCRAM important, le moindre parasite ou la défaillance d'un élément suffisant à faire fonctionner la protection.

Ce dispositif a été remplacé au cours de l'arrêt de l'été 1971 par un système à coïncidence en 2/5, les 5 signaux étant :

- 1 signal de pression calculée par boucle (4 boucles)
- 1 signal de détection de déséquilibre entre les pressions aux secondaires des générateurs de vapeur

Après quelques mises au point, ce système s'est avéré très sûr et d'une très grande fiabilité.

VI - PROBLEMES POSES PAR LE PASSAGE DE 825 A 905 MWTH

Le fonctionnement à 905 MWth a fait l'objet d'un avenant au contrat principal signé le 1er avril 1963. Toutes les installations ont donc été prévues pour un tel fonctionnement bien qu'aucune garantie contractuelle ne s'y rattache.

Cette augmentation de puissance a été rendue possible par une meilleure connaissance des phénomènes liés au flux de chaleur critique.

L'examen des résultats des mesures effectuées grâce à l'instrumentation interne du coeur a fait apparaître un gain appréciable sur les pics de flux prévus dans le projet :

- facteur d'aplatissement radial inférieur à 1,6 au lieu de 1,73.
- facteur d'aplatissement axial : 1,3 au lieu de 1,54.

Le coefficient de transfert de chaleur des générateurs de vapeur étant supérieur à celui prévu dans le projet, la pression de vapeur dans le circuit primaire peut être obtenue avec une température moyenne du circuit primaire inférieure de 6° à celle du projet.

Bien que le fonctionnement à 905 MWth ne soit pas conditionné par cet abaissement de la température moyenne, cette disposition a néanmoins été retenue car elle place l'installation dans un état de sûreté compor-

tant une plus grande marge vis-à-vis du flux de chaleur critique.

Le réglage des actions de sécurité a donc été réalisé sur la base d'une température moyenne de 274° C. Dans ces conditions, le rapport entre le flux de chaleur critique et le flux de chaleur au point chaud est de 2 en fonctionnement stable à 905 MW. Il peut être au minimum de 1,87 en régime transitoire et de 1,33 aux conditions limites de surpuissance. (905 x 1,18 Mwth).

Le passage à 905 Mwth s'est effectué le 3 février 1971 sans aucune difficulté. Le résultat des mesures incore s'est avéré en parfaite concordance avec les prévisions des calculs.

VII - PERSPECTIVES D'AVENIR

Les mesures de distribution de puissance effectuées depuis le début du 2^e cycle laissant entrevoir une nouvelle possibilité d'augmentation de puissance, une étude a été entreprise pour définir quelle pourrait être la puissance réalisable par le circuit primaire et celle récupérable par le circuit secondaire.

Les premiers résultats de cette étude sont les suivants :

- augmentation de puissance possible côté primaire : 15 %
- augmentation de puissance possible côté secondaire
immédiatement : 5 %
- augmentation de puissance possible côté secondaire
après modification de certains matériels : 12 %

Il y a lieu de préciser que cette augmentation de puissance est obtenue sans modification des hypothèses et des limites du projet. En particulier, la puissance linéique maximale du projet a pu être conservée en définissant une nouvelle limite d'insertion des barres de régulation à puissance nominale.

Cette augmentation possible de puissance est le résultat d'une réduction des incertitudes de calcul par une meilleure connaissance des distributions de puissance obtenue par les mesures in core.

Cette étude s'est accompagnée :

- d'un réexamen complet du comportement de l'installation en régimes perturbés et sur incidents.

./.

- d'une réactualisation de l'accident de référence basée sur les critères intérimaires de l'USAEC.

Le passage à 950 MWth (+ 5%) pourrait se faire d'ici la fin de l'année, après avoir recueilli l'avis des organismes de sûreté.

Le passage à 1040 MWth (+ 15 %) nécessitant certains travaux sur le circuit secondaire en particulier le remplacement d'un certain nombre de roues sur la turbine, une étude économique est nécessaire pour juger du bien fondé de cette augmentation de puissance. Si, elle ne devait pas être réalisée, une certaine économie de combustible pourrait être obtenue en optimisant le volume du coeur à sa puissance de fonctionnement.

VIII - CONCLUSION

Après avoir essuyé quelques maladies de jeunesse et subi la dure épreuve d'un incident l'immobilisant durant deux années, la Centrale Nucléaire des Ardennes est entrée dans une phase de fonctionnement industriel caractérisée par une disponibilité excellente et une fiabilité la plaçant au tout premier rang des Centrales Belges et Françaises.

Il n'y a pas lieu d'être surpris d'un tel comportement. Ces installations, tout au moins celles qui concernent directement la production d'énergie, sont d'une grande simplicité. Elles sont donc aptes à un service industriel continu et sûr.

Il est remarquable de noter que, durant deux années de fonctionnement, aucun arrêt n'a été motivé par les installations du circuit primaire. La fiabilité du circuit secondaire n'est certes pas aussi bonne.

Le manque d'harmonie entre les performances des circuits primaires et secondaires mériterait d'être analysé en détail sur le plan économique. La rentabilité optimale de la centrale passe peut-être par un supplément d'investissement à consentir au niveau des circuits secondaires.

T A B L E A U N° 1

PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DE LA CNA		
TYPE DE REACTEUR		P W R
PUISSANCE THERMIQUE		905 MW
PUISSANCE ELECTRIQUE NETTE		270 MW
COMBUSTIBLE : enrichissement moyen gainage acier inox		4,2 %
PILOTAGE REACTEUR : par barres de contrôle et réglage de la concentration en acide borique dans le primaire		
CIRCUIT PRIMAIRE		
- Pression		140,6 bar
- Température moyenne		274° C
- ΔT à 905 MW		34° C
GENERATEURS DE VAPEUR		
- Nombre		4
- Type : verticaux avec tube en U en acier inox		
POMPE PRIMAIRE à moteur gainé		
- Débit		5240 Kg/s
CIRCUIT SECONDAIRE (caractéristiques à la puissance nominale)		
- Pression sortie GV		33 bars
- Débit vapeur		1442 T/h
- Température		239° C

T A B L E A U N° 2

HISTORIQUE DE LA CNA	
- Création de la Société SENA	20-03-60
- Signature du contrat SENA - AFW	25-09-61
- Signature du contrat SENA - EURATOM	17-10-63
- Première divergence	18-10-66
- Premier couplage du groupe turbo - alternateur sur le réseau	3-04-67
- Premier palier à 825 MWth (puissance contractuelle garantie)	4-09-67
- Incident réacteur	30-01-68
- Remise en service de l'installation	18-03-70
- Signature de la réception provisoire	18-07-70
- Fonctionnement à 905 MWth 270 MWe net	3-02-71
- Signature de la réception définitive	18-07-71

T A B L E A U N° 3

STATISTIQUES DE PRODUCTION			
	1970	1971	1972 (4)
Production GWh	1 233	1 829	1 085
Nombre d'heures de marche	5 471	6 905	3 968
Nombre d'arrêts du réacteur			
- à puissance nulle	21	15	0
- en puissance	25	20	4
Coefficient de disponibilité % (1)	(2) 79	(3) 77,3	98

(1) Coefficient de disponibilité = $100 \frac{\text{énergie produite dans l'année}}{\text{Puissance nominale} \times 8760 \text{ H}}$

(2) Calculé pour la période comprise entre le 18 mars 1970 et le 31 décembre 1971 en se référant à la puissance contractuelle garantie (825 Mwth).

(3) en se référant à la puissance nominale (905 Mwth). Ce coefficient est de 95 % si l'on exclut la période d'arrêt obligatoire pour rechargement du combustible.

(4) Ces valeurs ne prennent en compte que la période allant jusqu'au 17 juin 1972, date à laquelle l'installation a été arrêtée pour rechargement.

T A B L E A U N° 4

STATISTIQUES D'ARRET			
CAUSES DE L'ARRET	1970	1971	1972 (1)
- Incidents de matériel	7	5	3
- Défaut de filerie	2		
- Défaut des dispositifs de protection et de sécurité	10	6	
- Défaut des équipements de régulation et d'automatisme	4	3	
- à la suite d'essais	2	2	
- origine humaine	2	2	1
- origine non précisée	2	1	
TOTAL	29	19	4

(1) Pour la période s'étendant du 1er janvier au 17 juin 72.