

COLLECTION
**GÉNIE
ATOMIQUE**

Exploitation des cœurs REP



Nordine KERKAR et Philippe PAULIN

instn

INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES
ET TECHNIQUES NUCLÉAIRES

Extrait de la publication


EDP
SCIENCES

Exploitation des cœurs REP

GÉNIE ATOMIQUE

Exploitation des cœurs REP

Nordine Kerkar et Philippe Paulin



17, avenue du Hoggar
Parc d'activités de Courtabœuf, BP 112
91944 Les Ulis Cedex A, France

Imprimé en France

ISBN : 978-2-86883-976-3

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

© EDP Sciences 2008

Introduction à la collection « Génie Atomique »

Au sein du Commissariat à l'énergie atomique (CEA), l'Institut national des sciences et techniques nucléaires (INSTN) est un établissement d'enseignement supérieur sous la tutelle du ministère de l'Éducation nationale et du ministère de l'Industrie. La mission de l'INSTN est de contribuer à la diffusion des savoir-faire du CEA au travers d'enseignements spécialisés et de formations continues, tant à l'échelon national, qu'aux plans européen et international.

Cette mission reste centrée sur le nucléaire, avec notamment l'organisation d'une formation d'ingénieur en « Génie Atomique ». Fort de l'intérêt que porte le CEA au développement de ses collaborations avec les universités et les écoles d'ingénieurs, l'INSTN a développé des liens avec des établissements d'enseignement supérieur aboutissant à l'organisation, en co-habilitation, de plus d'une vingtaine de Masters. À ces formations s'ajoutent les enseignements des disciplines de santé : les spécialisations en médecine nucléaire et en radiopharmacie ainsi qu'une formation destinée aux physiciens d'hôpitaux.

La formation continue constitue un autre volet important des activités de l'INSTN, lequel s'appuie aussi sur les compétences développées au sein du CEA et chez ses partenaires industriels.

Dispensé dès 1954 au CEA Saclay où ont été bâties les premières piles expérimentales, la formation en « Génie Atomique » (GA) l'est également depuis 1976 à Cadarache où a été développée la filière des réacteurs à neutrons rapides. Depuis 1958 le GA est enseigné à l'École des applications militaires de l'énergie atomique (EAMEA) sous la responsabilité de l'INSTN.

Depuis sa création, l'INSTN a diplômé plus de 4 000 ingénieurs que l'on retrouve aujourd'hui dans les grands groupes ou organismes du secteur nucléaire français : CEA, EDF, AREVA, Marine nationale. De très nombreux étudiants étrangers provenant de différents pays ont également suivi cette formation.

Cette spécialisation s'adresse à deux catégories d'étudiants : civils et militaires. Les étudiants civils occuperont des postes d'ingénieurs d'études ou d'exploitation dans les réacteurs nucléaires, électrogènes ou de recherches, ainsi que dans les installations du cycle du combustible. Ils pourront évoluer vers des postes d'experts dans l'analyse du risque nucléaire et de l'évaluation de son impact environnemental. La formation de certains officiers des sous-marins et porte-avions nucléaires français est dispensée par l'EAMEA.

Le corps enseignant est formé par des chercheurs du CEA, des experts de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), des ingénieurs de l'industrie (EDF, AREVA. . .) Les principales matières sont : la physique nucléaire et la neutronique, la thermohydrau-

lique, les matériaux nucléaires, la mécanique, la protection radiologique, l'instrumentation nucléaire, le fonctionnement et la sûreté des réacteurs à eau sous pression (REP), les filières et le cycle du combustible nucléaire. Ces enseignements dispensés sur une durée de six mois sont suivis d'un projet de fin d'étude, véritable prolongement de la formation réalisé à partir d'un cas industriel concret, se déroulent dans les centres de recherches du CEA, des groupes industriels (EDF, AREVA) ou à l'étranger (États-Unis, Canada, Royaume-Uni. . .) La spécificité de cette formation repose sur la large place consacrée aux enseignements pratiques réalisés sur les installations du CEA (réacteur ISIS, simulateurs de REP : SIREP et SIPACT, laboratoires de radiochimie, etc.)

Aujourd'hui, en pleine maturité de l'industrie nucléaire, le diplôme d'ingénieur en « Génie Atomique » reste sans équivalent dans le système éducatif français et affirme sa vocation : former des ingénieurs qui auront une vision globale et approfondie des sciences et techniques mises en œuvre dans chaque phase de la vie des installations nucléaires, depuis leur conception et leur construction jusqu'à leur exploitation puis leur démantèlement.

L'INSTN s'est engagé à publier l'ensemble des supports de cours dans une collection d'ouvrages destinés à devenir des outils de travail pour les étudiants en formation et à faire connaître le contenu de cet enseignement dans les établissements d'enseignement supérieur, français et européens. Édités par EDP Sciences, acteur particulièrement actif et compétent dans la diffusion du savoir scientifique, ces ouvrages sont également destinés à dépasser le cadre de l'enseignement pour constituer des outils indispensables aux ingénieurs et techniciens du secteur industriel.

Joseph Safieh
Responsable général
du cours de Génie Atomique

À Myriam, mon cœur.
N. KERKAR

Aux pionniers de l'énergie nucléaire.
Ph. PAULIN

Table des matières

Avant-propos	xiii
--------------------	------

Chapitre 1 : Gestion du combustible

1.1. Gestion du combustible	1
1.1.1. Fractionnement du cœur	2
1.1.2. Enrichissement	3
1.1.3. Relation entre fractionnement, enrichissement et longueur de cycle	3
1.1.4. Nature et importance des poisons consommables	6
1.1.5. Un levier d'optimisation potentiel : La variabilité	8
1.1.6. Optimisation du plan de rechargement	9
1.2. Influence de la gestion du combustible sur les coûts	9
1.3. Conclusion	11
Références	12

Chapitre 2 : Historique des gestions du combustible

2.1. Historique et caractéristiques des principales gestions	13
2.1.1. L'édification du parc nucléaire français	13
2.1.2. Modes de rechargement adoptés des années 1980 à 1990	15
2.1.3. Fin 1990 : Évolution des données économiques	18
2.1.4. 1990-2000 : Engagement vers l'allongement des campagnes.....	19
2.1.5. 2000 : Ouverture du marché français à la concurrence	27
2.2. Optimisation globale du système	30
2.3. Conclusion	32
Références	32

Chapitre 3 : Optimisation des plans de chargement des cœurs

3.1. Plan de chargement et étude de recharge	33
3.2. Les contraintes.....	34
3.2.1. Impact du modèle de gestion.....	35
3.2.2. Respect de la physique du cœur.....	37
3.2.3. Limites sur les paramètres clés de sûreté	39

3.2.4.	Limites technologiques du combustible	44
3.2.5.	Limites de la fluence cuve.....	46
3.3.	Réalisation d'une recherche de plan de chargement	47
3.3.1.	Données d'entrées	47
3.3.2.	La recherche de plan.....	48
3.4.	Les souplesses dans la recherche de plan.....	49
3.4.1.	Notification	49
3.4.2.	Placement des arrêts	50
3.4.3.	Recyclage du plutonium	50
3.4.4.	Programmes expérimentaux	51
3.5.	Traitement des aléas	51
3.5.1.	Détection des aléas	51
3.5.2.	Remplacement des assemblages non rechargeables.....	52
3.5.3.	Recherche de nouveaux plans de chargement	53
3.6.	Automatisation de la recherche de plan	53
3.7.	Situation actuelle du parc	54
3.8.	Conclusion	56
	Références	56

Chapitre 4 : Spécifications techniques d'exploitation

4.1.	Rapport de sûreté et règles générales d'exploitation.....	58
4.2.	Historique de la genèse des ste	59
4.3.	Rôle des ste	59
4.4.	Présentation des ste	60
4.4.1.	Présentation générale	60
4.4.2.	Conduite à tenir en cas de non conformité	65
4.5.	Les ste vis-à-vis de la première barrière	67
4.5.1.	Protection de la première barrière vis-à-vis du risque de fusion et de l'ipg	67
4.5.2.	Surveillance de l'intégrité de la gaine	72
4.6.	Conclusion	74
	Références	75

Chapitre 5 : Instrumentation pour l'exploitation des cœurs

5.1.	Instrumentation nucléaire	77
5.1.1.	Mesure du flux neutronique et des températures sortie cœur	78
5.1.2.	Mesure du bore.....	89
5.1.3.	Réactimètre	91
5.2.	Instrumentation non nucléaire	92
5.2.1.	Température du réfrigérant primaire.....	93
5.2.2.	Mesure de la puissance thermique	94
5.2.3.	Mesure des pressions primaire et secondaire	94
5.2.4.	Mesure des débits primaire et secondaire	95
5.2.5.	Niveaux d'eau dans le pressuriseur et le générateur de vapeur ...	95
5.2.6.	Mesure de la position des grappes	95

5.3.	Mesures étalons	96
5.4.	Utilisation des mesures pour la surveillance du cœur	97
5.5.	Conclusion	100
	Références	102

Chapitre 6 : Essais de redémarrage

6.1.	Les essais physiques de redémarrage	103
6.1.1.	OBJECTIFS	103
6.1.2.	Notion de critères liés aux essais	105
6.1.3.	Les différents types d'essais	106
6.1.4.	Déroulement des essais physiques	109
6.1.5.	Essais physiques de redémarrage à puissance nulle	109
6.1.6.	Essais physiques de redémarrage en puissance	137
6.1.7.	Retour d'expérience en exploitation	144
6.2.	Conclusion	145
	Références	145

Chapitre 7 : Essai périodiques de cœur

7.1.	Présentation générale des essais périodiques	148
7.2.	Description des essais périodiques liés au cœur	150
7.2.1.	Bilan thermique de la chaudière	150
7.2.2.	Calibrage des chambres externes de mesure du flux	153
7.2.3.	EP-RGL 4 : Calibrage des groupes de compensation de puissance	169
7.3.	Conclusion	173
	Références	173

Chapitre 8 : Système de protection des REP

8.1.	Risques et protections de la première barrière	175
8.1.1.	Risques liés à la première barrière	175
8.1.2.	Protection vis-à-vis des risques liés à la première barrière	184
8.2.	Systèmes de protection des rep du parc edf	186
8.2.1.	Conception du système de protection	187
8.2.2.	Description des chaînes de protection nucléaire	190
8.2.3.	Description des chaînes de protection du palier 1300 MWe	194
8.2.4.	Système de protection des réacteurs N4	206
8.2.5.	Système de protection des réacteurs 900 MWe	213
8.3.	Accident d'éjection de grappe et protections associées	223
8.3.1.	Mouvements incontrôlés de grappe	223
8.3.2.	Éjection d'une grappe de régulation	225
	Références	229

Chapitre 9 : Pilotage des REP

9.1.	Fonctionnement et pilotage du réacteur	231
9.1.1.	Fonctionnement	231
9.1.2.	Effets neutroniques et moyens de contrôle du cœur	239

9.1.3. Les différents modes de pilotage 252
9.1.4. Prolongation de cycle 273
9.2. Conclusion 275
Références 276

Annexe A : Synthèse des différents modes de pilotage

Avant-propos

Ce document s'appuie sur le vécu des activités d'exploitant réalisées à l'Unité nationale de l'ingénierie du parc en exploitation (UNIPE) d'EDF. Il reprend en grande partie les différents supports de cours rédigés pour le module cœur-combustible du Génie Atomique de l'Institut national des sciences et techniques nucléaires (INSTN).

Il a pour objectif de décrire l'exploitation du combustible depuis la définition de la gestion chargée en cœur jusqu'au pilotage du réacteur nucléaire. Il aborde alors successivement la définition des gestions du combustible et leur historique, l'optimisation des plans de chargement des cœurs, les documents prescriptifs comme les Spécifications techniques d'exploitation (STE) et la description de l'instrumentation des cœurs. Ces éléments réunis, la conformité du cœur est vérifiée lors des essais de redémarrage. Les essais en puissance permettent alors de s'assurer des performances du nouveau cœur et de sa capacité à répondre aux besoins du réseau et aux exigences de sûreté. Ces différents essais sont passés en revue de façon détaillée. On décrit ensuite les systèmes de protection des différents paliers du parc nucléaire du Groupe EDF. Enfin, le cœur est apte à l'exploitation et les différents modes de pilotage sont présentés.

Chacun des chapitres pourrait faire l'objet d'un livre à part entière. Afin de maintenir un volume acceptable –et l'éveil du lecteur!–, les auteurs se sont limités à un certain nombre d'aspects qu'il leur semble incontournable de maîtriser ou au moins de connaître lorsque l'on souhaite travailler dans le domaine de l'exploitation des cœurs des réacteurs nucléaires. Les experts de chaque domaine regretteront les choix faits dans ce document, mais les auteurs les assument si, au terme de la lecture, le lecteur a compris que ce qui guide l'exploitant dans ces actions quotidiennes est le souci de la disponibilité et l'intransigeance vis-à-vis de la sûreté des installations. Ces deux principes intangibles ne s'excluent pas, bien au contraire, et sont les garants, au même titre que la transparence et le professionnalisme des différents acteurs, de la pérennité de l'industrie nucléaire au service des hommes ainsi que de leurs activités dans le respect de l'environnement.

Les auteurs voudraient remercier Joseph Safieh, Bruno Tarride et Hubert Grard, qui leur ont fait l'honneur de leur témoigner leur confiance en les chargeant de l'enseignement du module cœur-combustible de la formation de Génie Atomique à l'Institut national des sciences et techniques nucléaires de Saclay.

Nous tenons à remercier tout particulièrement Myriam Valade d'EDF pour sa lecture assidue et Jean-Lucien Mourlevat d'AREVA-NP pour son appui dans la sortie de ce document. Nous ne saurions établir la liste exhaustive de tous les ingénieurs de la Branche Combustible de l'Unité nationale de l'ingénierie du parc en exploitation qui nous ont

proposé des corrections et des améliorations. Ceux-ci sauront se reconnaître et accepteront toute notre gratitude. Nous tenons aussi à remercier Dominique Noly et Patrick Sainquin pour les extractions faites à partir de la base de données REX de l'UNIPE. Nous remercions aussi les nombreux élèves ingénieurs du Génie Atomique qui nous ont permis d'améliorer la compréhension du texte par leurs remarques pertinentes.

Lyon, le 13 février 2007

Nordine KERKAR
Philippe PAULIN

Nordine KERKAR

Actuellement responsable du groupe Neutronique et Physique des cœurs du Service d'études du parc thermique et nucléaire à Électricité De France. Après des études doctorales consacrées à l'industrialisation d'une nouvelle méthode 3D temps réel de pilotage des réacteurs nucléaires, menées à AREVA-NP en collaboration avec le Commissariat à l'énergie atomique, il rejoint la Direction recherche et développement du Groupe EDF. Il y conduit des travaux portant sur la modélisation des réflecteurs des cœurs REP et contribue à la mise au point des outils de calculs 3D couplés neutronique-thermohydraulique et aux méthodes de pénalisation associées adaptées aux études d'accidents. Il est l'auteur d'une méthode originale d'équivalence multigroupe-multisolveur adaptée aux techniques modernes de calcul des réacteurs nucléaires et des réacteurs expérimentaux. Il rejoint ensuite l'Unité nationale d'ingénierie du parc en exploitation, où il prend la responsabilité des applications industrielles utilisées pour le suivi, les essais et la protection des cœurs en exploitation. En parallèle, il a donné des cours sur les méthodes d'éléments finis à l'École centrale de Paris et a assuré pendant quatre ans l'enseignement du module cœur-combustible du Génie Atomique à l'Institut national des sciences et techniques nucléaires de Saclay.

Philippe PAULIN

Ingénieur à Électricité De France, ancien élève de SUPELEC, il travaille depuis 1981 dans le domaine de l'exploitation des cœurs. Son expérience s'étend aux deux filières RNR en tant qu'ingénieur au Service physique du cœur du CNPE de Creys-Malville et REP comme responsable du service Méthodes de la Branche Combustible de l'Unité nationale d'ingénierie du parc en exploitation. Il est actuellement attaché technique au Groupe exploitation cœur combustible de l'Unité d'ingénierie d'exploitation (UNIE) de la Division production nucléaire (DPN). En parallèle, il a assuré l'enseignement du module cœur-combustible du cours de Génie Atomique à l'Institut national des sciences et techniques nucléaires.

1

Gestion du combustible

Introduction

L'optimisation constante du parc électronucléaire d'Électricité De France nécessite de reconsidérer régulièrement la nature des recharges combustibles introduites dans le cœur des réacteurs nucléaires. Compte tenu des contraintes spécifiques de la chaudière et du combustible, les études de gestion du combustible visent à optimiser la combinaison d'un nombre restreint de paramètres : fractionnement, enrichissement, importance et nature des poisons consommables, plan de rechargement, flexibilité. Ces paramètres influent sur les critères principaux d'exploitation des réacteurs :

- la longueur de cycle,
- la fluence cuve,
- la souplesse d'exploitation,
- le coût du cycle.

1.1. Gestion du combustible

Le cycle du combustible est principalement caractérisé par la nature du combustible neuf chargé en cœur. Les principaux cycles ayant connu une utilisation industrielle ou expérimentale sont le cycle uranium, le plus répandu à travers le monde, le cycle plutonium, utilisé dans les surgénérateurs et les réacteurs ouverts au combustible MOX, et le cycle thorium, utilisé dans le réacteur naval américain de Shippingport. Le cycle est dit fermé lorsque l'on traite le combustible et que l'on réutilise les actinides fissiles. Dans le cas contraire, on dit que le cycle est ouvert.

On parle aussi de cycle, ou de campagne, pour désigner la période de fonctionnement d'un réacteur nucléaire entre deux rechargements successifs. En France, la durée d'une campagne d'un réacteur électrogène varie actuellement entre 12 et 18 mois. On distingue les cycles de transitions –premier, deuxième, voire troisième cycle– des cycles à l'équilibre, où les enrichissements des assemblages combustibles ne varient plus d'un cycle à l'autre.

Pour un cycle donné, la gestion du combustible recouvre donc l'ensemble des paramètres choisis de manière à optimiser le coût global d'utilisation du parc :

- fractionnement du cœur,
- enrichissement,
- importance et nature des poisons consommables,
- optimisation du plan de rechargement,
- flexibilité.

Les deux premiers paramètres sont du premier ordre d'importance dans la gestion du combustible. La flexibilité, paramètre transverse aux gestions, est un levier d'optimisation du réseau de production et du planning de placement des arrêts.

Cette optimisation se fait sous de fortes contraintes technologiques. En effet, le comportement thermomécanique des crayons sous irradiation (corrosion, pression, grandissement, comportement en APRP ou lors de transitoires de type RIA) a un impact sur la gestion en termes de taux de combustion maximal admissible ou de variations locales de puissance.

De plus, le choix des paramètres de la gestion doit satisfaire aux limites de fonctionnement et de sûreté qui impliquent d'un point de vue neutronique :

- un enrichissement maximal limité,
- un aplatissement des distributions radiales de puissance (cf. chapitre 3),
- un coefficient de température modérateur négatif afin de garantir de la stabilité du cœur vis-à-vis des excursions de puissance,
- une concentration en bore limitée au rechargement et en fonctionnement,
- une marge d'antiréactivité minimale (cf. chapitre 3).

1.1.1. Fractionnement du cœur

La présence de la cuve empêche les opérations de déchargement-rechargement du cœur en continu dans les REP. De plus, la durée de ces opérations impose un fractionnement dans le renouvellement du cœur. Ainsi, dans le cas d'un fractionnement par quart de cœur, on décharge le 1/4 des assemblages les plus irradiés pour les remplacer par des assemblages neufs : un assemblage effectue alors quatre cycles d'irradiation avant d'être déchargé définitivement.

On peut montrer que la relation entre l'énergie E_n extraite d'un cœur renouvelé par fraction $1/n$ et l'énergie E_1 fournie par un cœur chargé et déchargé en une seule fois s'écrit en première approximation :

$$E_n = \frac{2n}{n+1} E_1 \quad (1.1)$$

On voit que plus n est élevé, plus on tirera d'énergie du combustible à enrichissement égal et donc meilleure sera son utilisation.

Le fractionnement n est aussi lié à la durée du cycle et aux contraintes de conception du cœur. En effet, on peut écrire l'énergie extraite du cœur en fonction du nombre J de jours de fonctionnement au cours du cycle et la puissance spécifique moyenne P :

$$E_n = n \cdot J \cdot P \quad (1.2)$$

En prenant $E_n = 35\,000$ MWj/t (limite technologique liée aux performances initiales du combustible), $P = 40$ W/g (valeur de conception) et $J = 300$ jepp (valeur liée à l'optimisation du réseau), il vient $n \approx 3$. Le rechargement se fera donc par tiers avec une irradiation moyenne de décharge de 33 000 MWj/t.

Dans le parc REP EDF, on utilise couramment les fractionnements par tiers et par quart de cœur (cf. chapitre 2).

1.1.2. Enrichissement

Il est défini, pour les combustibles UO_2 , comme le rapport des masses initiales d'uranium 235 métal et de combustible (^{235}U et ^{238}U).

$$\varepsilon_5 = \frac{\text{Masse } ^{235}U}{\text{Masse } ^{235}U + \text{Masse } ^{238}U} \quad (1.3)$$

Il peut être variable jusqu'à un enrichissement limite de 5 %. L'enrichissement maximal est déterminé par :

- les capacités de l'usine d'enrichissement,
- les contraintes technico-économiques du transport et du stockage des éléments combustibles,
- les capacités de retraitement des assemblages irradiés en raison de leur radiotoxicité.

Le coût des assemblages combustibles augmente bien évidemment en fonction de l'enrichissement du combustible.

1.1.3. Relation entre fractionnement, enrichissement et longueur de cycle

On appelle durée de la campagne combustible l'intervalle de production entre le redémarrage du réacteur après rechargement en combustible neuf et l'arrêt du réacteur pour déchargement du combustible usé. La longueur de campagne est mesurée en jepp (jour équivalent pleine puissance). Elle correspond à une mesure de l'énergie tirée du combustible entre le chargement et le déchargement du cœur.

La longueur naturelle de campagne, L_{NAT} , est définie comme l'irradiation moyenne que peut supporter le cœur (évaluée en MWj/t ou en jepp) jusqu'à l'atteinte d'une concentration en bore nulle (entre 0 et 10 ppm en pratique).

Pour un cœur à l'équilibre, la longueur naturelle de campagne est déterminée essentiellement par la nature de la recharge standard utilisée. On rappelle qu'à l'équilibre, après chaque rechargement au moyen d'une recharge standard, les inventaires du cœur

- le système d'aspersion de l'enceinte (EAS),
- le système de contrôle de la teneur en hydrogène et de surveillance atmosphérique de l'enceinte (ETY),
- le système d'alimentation de secours des générateurs de vapeur (ASG),
- le système de mise en dépression de l'espace entre enceintes (EDE),
- d'autres systèmes ou portions de système qui contribuent à accomplir une fonction de sauvegarde, ou qui servent de support aux systèmes de sauvegarde.

T

Taux de combustion BU (*Burn Up*) : C'est l'énergie extraite du combustible rapportée à la masse initiale de métaux lourds (U + Pu + autres NL) présent dans le cœur exprimée en tonne ; ce taux est exprimé en MWj/t ou en GWj/t.

TBH : Acronyme faisant référence à un état du cœur : Toutes barres hautes (ou Toutes barres extraites). Terme équivalent à TGE (Toutes grappes extraites) chez AREVA.

TBI : Acronyme faisant référence à un état du cœur : Toutes barres insérées. Terme équivalent à TGI (Toutes grappes insérées) chez AREVA.

TBI-1 : Acronyme faisant référence à un état du cœur : Toutes barres insérées moins la plus pénalisante (configuration conduisant au coefficient modérateur le plus grand en valeur absolue).

Télé réglage : Terme équivalent à réglage secondaire.

Temps de doublement : Temps de doublement de la population neutronique. Donné en seconde. Pour un cœur donné à une irradiation donnée, il existe une équivalence entre réactivité et temps de doublement suivant les tables de Nordheim.

TILT : Déséquilibre azimutal de puissance du cœur. Désigne le déséquilibre interne moyen de puissance par quadrant. Le critère associé fait référence à la valeur maximale positive. S'exprime en %. Utilisé en exploitation sur le palier 900 MWe ainsi que dans les études tout palier.

Tmoy : Température moyenne du fluide primaire effectivement mesurée.

Tref : Température de référence du fluide primaire au niveau de puissance considéré.

TTS : Tranche tête de série.

U

UFPI : Service de la formation professionnelle. Entité d'EDF ayant pour mission la formation. A ce titre, elle assure la formation complète des équipes d'exploitation au sens large (conduite, essais, automaticiens, maintenance).

UNE ou UO₂ : Uranium naturel. Nom des combustibles à base d'uranium naturel enrichi. Ce type de combustible constitue actuellement la majorité du volume chargé sur le parc.

UNIE : Unité nationale de l'ingénierie d'exploitation, service central d'EDF chargé de l'appui aux CNPE dans l'exploitation des cœurs.

URE : Uranium de retraitement équivalent à l' UO_2 d'un certain enrichissement (par exemple, l'URE 4 % est équivalent à l' UO_2 3,7 %).

URT : Uranium de retraitement. Combustible à base d'uranium de retraitement ré-enrichi. Actuellement, ce type de combustible n'est chargé que sur les tranches du CNPE de CRUAS.

US : Unité de surveillance du palier N4. Calcule en temps réel les marges en Plin et REC suivant un algorithme plus fin que celui du SPIN. Elle ne gère pas d'actions de protection comme le SPIN mais des alarmes. Elle a un rôle de surveillance et de prévention.

US3D : Unité de surveillance du palier 1300 MWe. Projet visant à implanter une instrumentation interne permettant un calcul en temps réel des marges en Plin et REC suivant un algorithme 3D plus fin que celui du SPIN et ce pour dégager des marges de fonctionnement. Il ne gère pas d'actions de protection comme le SPIN mais des alarmes.

V

Variabilité : Variation du nombre d'assemblages neufs rechargés par rapport à une recharge standard.

Variation de charge : Variation commandée de la puissance d'une tranche par ajustement de la consigne Pc0. Cela se fait entre autres pour suivre le programme de charge prévisionnelle du RTE.

Verrouillage : Action automatique du système de protection des chaudières (réduction de charge – blocage du mouvement de certains groupes) apparaissent après l'alarme et avant que n'intervienne une action de protection (AAR – déclenchement de l'IS).

W

W3 : Corrélation de thermohydraulique utilisée pour le calcul du REC de l'accident de RTV de classe 4 dans le cadre des études de recharge. Son domaine de validité (pression, température) est plus étendue que la corrélation WRB1 mais elle est toutefois plus ancienne et plus pénalisante.

Westinghouse : Chaudiériste et fabricant de combustible nucléaire d'origine américaine.

WRB1 : Corrélation de thermohydraulique utilisée pour le calcul du REC tant en conception que dans le cadre des études de recharge depuis le passage aux gestions GARANCE et GEMMES.

X

XN : Acronyme faisant référence à un état du cœur à xénon nul.

XS : Acronyme faisant référence à un état du cœur à xénon saturé.

Z

Zéro défaut : Objectif global dans une fourniture de biens ou de services relevant d'une approche d'assurance de la qualité.

Δ

ΔI : Différence axiale de puissance. S'exprime en % PN. Répartition de la puissance entre haut et le bas du cœur du réacteur pondérée de la puissance relative du réacteur.