

# Codes et normes de conception et de construction

par **Pierre BOIRON**

Ingénieur de l'École Nationale Supérieure des Arts et Métiers  
Ancien Secrétaire Général de l'Association Française pour les règles de conception  
et de construction des Chaudières ÉlectroNucléaires (AFCEN)

<b>1. Origine</b> .....	B 3 220 - 2
<b>2. AFCEN</b> .....	— 3
<b>3. Matériaux mécaniques</b> .....	— 4
3.1 RCC-M .....	— 4
3.2 RSEM .....	— 5
3.3 RCC-MR .....	— 5
<b>4. Autres systèmes et équipements</b> .....	— 5
4.1 RCC-E.....	— 5
4.2 RCC-C .....	— 6
4.3 RCC-G .....	— 6
4.4 RCC-P et I .....	— 6
4.5 Codes de construction de l'AFCEC.....	— 6
<b>5. Conclusions</b> .....	— 7
<b>Références bibliographiques</b> .....	— 8

**L**a réalisation d'une centrale nucléaire ne met en œuvre que peu de techniques véritablement spécifiques, mais requiert de nombreux intervenants dans des métiers et des branches industrielles très divers. D'eux tous, elle réclame une profonde compréhension et un strict respect des objectifs de qualité à atteindre, rendant nécessaire une référence commune pour les exprimer.

Bien qu'imparfaits, les premiers recueils de **Règles de Conception et de Construction des îlots nucléaires (RCC)** parus à partir de 1981 devaient répondre à cette attente, car ils furent d'emblée adoptés par l'industrie, alors qu'elle était au plus fort de sa production d'équipements nucléaires et que tout changement dans ses méthodes ne pouvait que la gêner.

Actuellement, ces règles de l'industrie française se sont enrichies d'une expérience considérable, atteignant la notoriété mondiale à l'image des réalisations qui s'y réfèrent.

Le présent article a pour objet de les présenter. Dans une première partie sont rappelées les motivations d'origine. Sont ensuite exposées leur constitution, les dispositions opérationnelles et d'organisation prises pour en assurer la gestion, l'usage et le développement, puis leur application, notamment à l'exportation. Enfin, face aux grands défis de notre temps, ces codes et normes constituent-ils un point fort pour notre industrie et comment préparer l'avenir ? Telles sont les questions que nous abordons en conclusion.

Le lecteur se reporterà utilement à l'article **Réglementation de la sûreté nucléaire** [B 3 815] dans le présent traité.

## 1. Origine

Après les expériences, faites dans un cadre franco-belge, de la réalisation de la petite centrale de Chooz et l'engagement de Tihange-1, EDF choisissait en décembre 1970, pour réaliser la centrale de Fessenheim, la filière à eau ordinaire avec le réacteur à eau sous pression (REP) proposé par Framatom, alors licencié du constructeur américain Westinghouse. EDF confirmait cette orientation, d'abord pour Bugey, puis définitivement lors de l'engagement des tranches 900 MW suivantes.

La réalisation sous licence impliquait la référence à des règles, codes et normes américains, ce qui, dans le contexte réglementaire et industriel français, n'allait pas sans soulever des difficultés.

Le développement de l'industrie nucléaire aux États-Unis s'accompagnait, en effet, d'un gigantesque effort réglementaire en direction de la sûreté nucléaire, venant compléter un tissu déjà très riche et particulièrement vivant de codes de construction et de *standards* (normes) issus des milieux industriels. Pour l'essentiel, le *Code of Federal Regulations, title 10, part 50* (10 CFR 50) édité par l'*US Nuclear Regulatory Commission* (USNCR) regroupe les textes de base de cette réglementation laquelle, loin de réduire l'usage et la portée des codes et normes, confère valeur réglementaire aux plus importants d'entre eux pour la sûreté des installations [8] [9]. Ainsi, ces codes et normes, témoins du progrès technique, ont poursuivi leur progression, notamment l'un des plus prestigieux d'entre eux, le code ASME que publie l'*American Society of Mechanical Engineers*, association d'ingénieurs intervenant dans une démarche volontariste dans le but de promouvoir des règles sûres de conception et de construction.

Un tel ensemble devait être transposé en le dégageant, notamment, des procédures d'application américaines, complexes et éloignées des nôtres.

Sans sous-estimer l'intérêt de la matière de base que constituaient tous ces textes, les autorités françaises responsables de la sûreté des installations nucléaires exigèrent la démonstration du bien-fondé des dispositions constructives proposées et, parallèlement, édictèrent un corps de réglementation (article *Réglementation de la sûreté nucléaire* [B 3 815] dans le présent traité). L'arrêté du 26 février 1974 vint notamment fixer des critères et procédures dans un domaine important : celui du circuit primaire principal des chaudières nucléaires à eau. La mise en application de cet arrêté clarifia le contexte réglementaire, mais demanda à l'industrie un effort important.

Dans d'autres domaines, la réglementation technique, devenue trop détaillée, allait au-delà de la fixation des nécessaires garde-fous, ce qui pouvait alors interdire ou freiner l'introduction de nouvelles pratiques : c'est ainsi que l'arrêté du 24 mars 1978 réglementant l'emploi du soudage dans la réalisation des appareils à pression, en fixant des règles précises de fabrication et de contrôle, codifiait une bonne pratique, mais en excluait d'autres, même éprouvées.

Au plan contractuel, le lancement de son programme poussa EDF à établir un nombre élevé de *spécifications techniques*. Dans le souci de préserver l'objectif de qualité et en l'absence d'une référence initiale suffisamment admise, ces documents fixaient aux constructeurs des objectifs idéaux, pour une part trop peu accessibles, conduisant à de multiples négociations et mises au point en cours de contrat.

Fort heureusement, la volonté de toutes les parties de tenir les objectifs du programme sans sacrifier la qualité fit naître des solutions pratiques dont le résultat confirme qu'elles constituaient une réponse satisfaisante aux problèmes posés.

Ces questions de procédures et de textes recouvriraient en fait des enjeux importants de positionnement sur le marché, partant du potentiel que constituaient l'expérience professionnelle et la pratique industrielle qui nous étaient propres.

Au début des années 70, l'industrie française, qui, avec l'industrie britannique, avait été le champion de la filière gaz-graphite, avait derrière elle une expérience significative dans la réalisation de centrales nucléaires. Toutefois, l'introduction de la filière REP entraînait une révolution industrielle :

- il s'agissait d'appliquer un savoir-faire étranger ;
- le changement de filière induisait nécessairement une mutation dans l'industrie et la réalisation de certains appareils allait nécessiter une évolution des moyens, voire de nouvelles usines ;
- d'une manière assez évidente, la sûreté de la centrale REP, notamment en ce qui concerne les appareils du circuit primaire, apparaissait directement fonction de la qualité à chaque phase de réalisation.

Ainsi fallut-il, pour l'industrie, vaincre la méfiance de ses partenaires (client, autorités de sûreté, etc.) vis-à-vis de techniques dont elle avait acquis le savoir-faire, mais dont elle dut rechercher les justifications.

Avec la filière REP, il n'était plus question de graphite et de béton précontraint (sauf pour l'enceinte étanche) ; tout était différent et les industries concernées étaient, pour une bonne part, nouvelles. L'accent était mis sur les appareils à pression de taille exceptionnelle constituant le circuit primaire : ces appareils, dont la cuve du réacteur, devaient atteindre une qualité, elle aussi exceptionnelle.

Bien évidemment, tant les exigences de l'Administration que celles du client EDF visaient à atteindre le plus haut niveau de qualité possible. Le constructeur, possesseur d'une pratique américaine qui n'était pas toujours acceptée, devait la réaliser.

Ainsi, la résistance à la corrosion intercristalline sous tension des aciers inoxydables austénitiques fut au cœur du débat :

— la pratique américaine était d'utiliser, pour le revêtement des appareils du circuit primaire, un acier inoxydable austénitique dont la teneur en carbone pouvait aller jusqu'à 0,08 % (l'acier AISI TP 304), justifiant son choix par le fait que l'eau du circuit primaire n'était pas susceptible en fonctionnement, de par sa qualité, de provoquer ce type de corrosion ;

— issue de la pratique de la Marine nationale s'est élaborée en France une doctrine : l'appareil risque de subir des dommages, non seulement lorsqu'il est en service mais aussi en fabrication, transport, stockage, montage, essais ou maintenance car, durant ces diverses phases, on ne peut exclure tout contact avec des polluants ; il y eut donc lieu de retenir un acier présentant des garanties de tenue à la corrosion intercristalline sous tension aussi élevées que possible, d'où la limitation de la teneur en carbone qui fut fixée à 0,03 %.

Dès 1976, l'industrie pouvait espérer que les objectifs du programme électronucléaire seraient atteints. Il convenait de rechercher activement des marchés à l'exportation. Les constructeurs américains étaient toutefois très présents sur ces marchés et la plupart des clients étaient par avance acquis à la technologie et aux codes et normes américains (notamment au code ASME, Annexe 1). Dans sa recherche de marchés, l'industrie française pourrait certes se prévaloir de ses références nationales, mais sa pratique contractuelle et l'ensemble de son dispositif réglementaire ne seraient pas transposables à des contrats passés avec des partenaires étrangers soucieux de cohérence.

Au sein de l'industrie, deux démarches furent confrontées :

- soit adopter, à l'exportation, la pratique contractuelle et les règles, codes et normes américains ;
- soit créer un corps de règles, codes et normes français (RCN) et faire évoluer la pratique contractuelle française afin qu'elle devienne comparable à la pratique internationale.

La première démarche aurait permis à l'industrie française d'appliquer, à l'exportation, les règles techniques de ses concurrents, réputées plus compétitives que les siennes propres, entraînant toutefois les inconvénients suivants :

- les réalisations ainsi proposées pourraient apparaître comme étant différentes et de moindre qualité que les centrales françaises. Or le client étranger demande la justification de la sûreté par

## Annexe 1 – Codes et normes de l’industrie nucléaire américaine

Un ensemble considérable de codes et de normes (*standards*) est utilisé aux États-Unis dans la construction des réacteurs nucléaires. Pour la plupart, ils sont référencés en normes de l’ANSI (*American National Standards Institute*), organisation dont le but est notamment de coordonner les actions de normalisation aux États-Unis. S’agissant des réacteurs nucléaires, les principaux codes à considérer sont le **code ASME** (société américaine des ingénieurs mécaniciens) et le **standard IEEE** (institut des ingénieurs électriciens et électroniciens).

- Le *code ASME* est le code de conception et de construction des équipements mécaniques nucléaires [10]. Il regroupe, dans les sections énumérées ci-après, l’essentiel des règles applicables aux réacteurs à eau bouillante (REB) et à eau sous pression (REP) :

- section II : *materials* (matériaux) ;
- section III : *nuclear components* (équipements nucléaires) ;
- section V : *non destructive examination* (examens non destructifs) ;
- section IX : *welding qualification* (qualifications de soudage) ;
- section XI : *in service inspection* (inspection en service).

Les sections non désignées ne sont pas applicables au nucléaire.

- Le *standard IEEE* (IEEE Standard 323-1974 for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations) est édité par The Institute of Electrical and Electronic Engineers Inc. (institut des ingénieurs électriciens et électroniciens). Il définit notamment les règles, méthodes et critères de qualification des équipements électriques et électroniques importants pour la sûreté (équipements devant rester opérationnels en situation d’accident) [12].

Ces codes ont une valeur de référence pour les compagnies d’assurance et les producteurs d’électricité, propriétaires des centrales nucléaires. Ils sont agréés par les Autorités de sûreté américaines (USNRC) et jouissent d’une grande notoriété internationale.

comparaison à une réalisation prise en référence, ayant reçu sa licence d’exploitation dans le pays du constructeur. Comment donc justifier, sur la base d’une référence française, une réalisation appliquant des règles différentes ?

— tout litige ayant pour objet l’interprétation d’une règle pourrait se trouver porté devant une autorité de son pays d’origine, d’où un risque difficilement appréciable.

Certes, les clients belges avaient pris le code ASME en référence pour leur réalisation des centrales de Doel-3 et Tihange-2, en le complétant par un dossier de prescriptions contraignantes visant un objectif de qualité comparable au nôtre, mais l’application d’un tel ensemble documentaire n’allait pas sans soulever de nombreux problèmes d’interprétation, sources de conflits en puissance.

La *seconde démarche* nécessitait que tous les acteurs français s’impliquent dans une action concertée et d’envergure. Ce fut cette dernière qui fut retenue.

Pour aborder les marchés de l’exportation, il fut ainsi convenu de créer un ensemble de règles, codes et normes très complet qui soit une photographie de la pratique, applicable sans dérogation. Il fut également convenu :

- que ces règles, codes et normes deviendraient la référence pour les contrats de réalisation des centrales électronucléaires françaises ;
- qu’elles feraient l’objet d’un examen par les Autorités françaises de sûreté en vue de la délivrance d’un agrément auquel le constructeur français pourrait faire référence auprès de ses clients étrangers.

Sur cette base, EDF et Framatome, encouragés en cela par les Pouvoirs Publics, s’engagèrent courant 1978 dans une entreprise de codification de la pratique, laquelle prit fin 1980 la forme juridique d’une association *loi de 1901* : l’AFCEN.

## 2. AFCEN

L’AFCEN (*Association Française pour les règles de conception et de construction des Chaudières ÉlectroNucléaires*) (Annexe 2) poursuivit, dès qu’elle fut constituée, les tâches de rédaction et publia les codes de conception et de construction des ouvrages suivants :

- |          |   |
|----------|---|
| RCC-M :  | matériels Mécaniques des îlots nucléaires REP ;                                 |
| RCC-MR : | matériels Mécaniques des îlots nucléaires RNR ;                                 |
| RCC-C :  | assemblages de Combustible des centrales nucléaires REP ;                       |
| RCC-E :  | matériels Électriques des centrales électriques ;                               |
| RCC-G :  | Génie civil des îlots nucléaires REP ;  |
| RSEM :   | Règles de Surveillance en Exploitation des Matériels des îlots nucléaires REP ; |

RCC étant le sigle des Règles de Conception et de Construction.

Ces ouvrages sont diffusés par l’AFNOR [7].

## Annexe 2 – Objet de l’AFCEN

L’Association Française pour les règles de conception et de construction des Chaudières ÉlectroNucléaires (AFCEN) a été constituée en 1980 entre Électricité de France (EDF), Framatome et Novatome.

L’AFCEN a notamment pour objet :

- de rédiger des règles précises et pratiques de conception, de fabrication, d’installation et de mise en service des matériels destinés à des îlots nucléaires de production d’électricité ;
- de modifier ces règles en fonction, notamment, des connaissances acquises, des progrès et de l’évolution de la technologie ;
- de publier les textes correspondant à ces règles ou à leurs modifications ;
- de préparer et présenter, en tant que de besoin, des textes à l’organisme de normalisation (AFNOR) ;
- d’évaluer, à leur demande, l’aptitude des entreprises à respecter les règles qu’elle a publiées.

La rédaction et la tenue à jour sont effectuées par des groupes de rédaction réunissant des experts des constructeurs et de l’exploitant et maître d’ouvrage (EDF), le consensus sur les textes étant requis au sein du groupe. Les projets sont en outre diffusés auprès des autres industries concernées et des experts des Autorités de sûreté pour en recueillir les avis.

Chaque édition des RCC a reçu après examen, et au cas par cas, un agrément des Autorités de sûreté sous la forme d’une Règle Fondamentale de Sûreté (RES) publiée par la Direction Centrale de Sûreté des Installations Nucléaires (DSIN) (article *Réglementation de la sûreté nucléaire* [B 3 815] du présent traité).

L’AFCEN s’est enfin, très tôt, dotée d’un Comité Scientifique réunissant ses membres fondateurs, le Commissariat à l’Énergie Atomique (CEA) et des experts choisis en raison de leur compétence. Ce comité informe l’AFCEN sur les programmes de recherche et développement engagés, en rapport avec les activités de codification des RCC. Il intervient également lors de l’engagement de ces programmes, afin que l’AFCEN puisse disposer des résultats souhaitables à l’accomplissement de sa mission [1].

### 3. Matériaux mécaniques

Le RCC-M et le RCC-MR réunissent les règles applicables aux matériaux mécaniques de l'ilot nucléaire, respectivement du REP et du RNR. Le RSEM complète le RCC-M pour ce qui concerne la maintenance des îlots nucléaires REP.

Le RCC-M se situe dans une longue tradition de codification des règles techniques. De tous les RCC, il est celui dont le rôle est le plus important dans l'industrie. Aussi lui consacrons-nous les plus longs développements.

Le RCC-MR a le mérite d'être le premier code de construction pour les générateurs. Il marque l'avance française dans la technologie du RNR (Réacteur à Neutrons Rapides).

#### 3.1 RCC-M

La méthodologie et, pour l'essentiel, la pratique de conception des matériaux mécaniques étaient déjà fixées lorsque fut entreprise la première rédaction du RCC-M. Les auteurs du RCC-M n'ont pas voulu innover dans la présentation, ni dans le symbolisme employé vis-à-vis des autres codes de construction, déjà familiers aux ingénieurs. Il en résulte une grande similitude entre le code ASME (Annexe 3) et le RCC-M dans la présentation générale des ouvrages et dans l'énoncé des règles de conception. Toutefois, le RCC-M est loin d'être une simple recopie du code ASME.

Annexe 3 – Tableau comparatif : RCC-M/code ASME

RCC-M	Code ASME
Volume I	Section III
Tome A	S/section NCA
Tome B	S/section NB
Tome C	S/section NC
Tome D	S/section ND
Tome E	pas de correspondance
Tome G	S/section NG
Tome H	S/section NF
Tome Z	Appendices
Volume II	Section II
Volume III	Section V
Volume IV	Section IX
Volume V	Pas de correspondance, certaines règles dans NB, NC ou ND4000
Les sections non désignées ne sont pas applicables au nucléaire.	

Recueil de la pratique française, la spécificité du RCC-M est très marquée :

— par les choix d'une seule filière, celle du REP, et de la standardisation par paliers techniques effectués par EDF ;

— par le choix des consignes données aux rédacteurs (Annexe 4).

Le code ASME visant à s'appliquer aux différents modèles de réacteurs à eau sous pression (REP) et à eau bouillante (REB) reste nécessairement plus ouvert et plus général. Dans leur référence au code ASME, les constructeurs sont ainsi tenus à en compléter les règles et à en lever les options. Ces précisions sont apportées par la spécification d'équipement (*Design Specification*), document devant être approuvé par le client, futur utilisateur, car son objet principal est de préciser les conditions de service de l'appareil, et donc d'assurer l'adéquation de la conception à l'usage prévu.

#### Annexe 4 – Consignes aux rédacteurs des RCC

- Photographier la pratique actuelle.
- Rédiger les règles avec précision afin que les règles ne puissent pas prêter à des interprétations divergentes.
- Veiller à ce que les règles n'appellent pas de dérogation.
- Viser à obtenir la qualité requise au coût minimal.

Pour tenir compte des évolutions de la pratique et afin que les RCC restent applicables sans dérogation, l'AFCEN édite des fiches de modification ou d'interprétation.

Les fiches de modification éditées par l'AFCEN postérieurement à l'édition contractuelle du RCC peuvent être prises en référence dans l'instruction des anomalies si le client l'accepte.

#### Usage du RCC-M

Le volume I constitue le guide méthodologique d'emploi de l'ouvrage ; les autres volumes réunissent les règles et prescriptions techniques applicables.

##### ● Volume I

Dans le premier tome (tome A) sont notamment définis :

- les parties prenantes et leurs responsabilités respectives dans l'usage du RCC-M (maître-d'œuvre, constructeur, fabricant, contrôleur, inspecteur) ;
- les précisions devant figurer dans la spécification d'équipement (notamment, l'indication de l'édition du RCC-M et, le cas échéant, des addenda et fiches de modification applicables) ;
- les actions à entreprendre en cas de non-conformité de la fourniture aux documents applicables ;
- les documents à établir durant les différentes phases de la réalisation pour satisfaire aux prescriptions du RCC-M ;
- les équipements soumis au RCC-M et leur classification au regard de la fonction de sûreté assurée et, le cas échéant, des conditions de service (pression, température, sollicitations cycliques) ;
- les règles d'assurance de la qualité applicables au titre du RCC-M.

Le tome B présente les règles de conception et de construction des équipements mécaniques de la classe I constituant des enceintes sous pression ; il inclut les règles relatives aux matériaux, à la conception, à la fabrication et aux essais associés, aux essais et épreuves : épreuve hydrostatique des enceintes sous pression, etc. Pour la partie conception, le lecteur se reportera utilement à l'article *Bases de calcul des enceintes sous pression* [A 843] du traité Génie mécanique ainsi qu'aux références bibliographiques [2] [6].

Les tomes C et D présentent suivant le même plan les règles applicables aux équipements des classes II et III constituant des enceintes sous pression (appareils autres que ceux du circuit primaire principal).

Le tome E présente les règles qui sont plus spécifiques aux petits équipements.

Le tome G est relatif aux équipements internes du réacteur. Ces règles sont distinctes de celles des appareils de classe I. En effet, les équipements internes, étant situés à l'intérieur de la cuve, ne sont pas sollicités à la pression ; ils sont, par contre, soumis au rayonnement intense du cœur et aux effets thermiques et mécaniques en résultant (chauffage par rayonnement gamma).

Le tome H traite des supports des équipements sous pression soumis au RCC-M.

Enfin, le tome Z rassemble les annexes techniques citées en référence pour l'application des règles de conception. En particulier, le tome Z réunit les règles découlant de travaux français de recherche et développement :

- annexe ZD : analyse du comportement à la fatigue de zones présentant des discontinuités géométriques ;
- annexe ZE : analyse des tuyauteries de classe I (tuyauteries du circuit primaire principal) dans des conditions imposant la conformité aux critères de niveau A ;

- annexe ZG : protection contre la rupture brutale ;
- annexe ZH : détermination du facteur d'usage.

#### ● Volume II (matériaux)

Il contient les spécifications de matériaux (pièces et produits) à utiliser pour la fabrication des équipements soumis au RCC-M. Il se divise en deux parties :

- règles générales applicables à l'ensemble des matériaux, pièces et produits ;
- spécification d'achat de pièces ou de produits.

Dans cette seconde partie, l'ensemble des spécifications techniques de référence de pièces constitue une des principales innovations introduites par le RCC-M par rapport à la pratique antérieure. Ces spécifications s'appliquent aux pièces soumises à une qualification. Le RCC-M précise les conditions d'élaboration de ces pièces et les contrôles devant être effectués aux différents stades de leur réalisation. En rendant ainsi complètes ces spécifications (en Annexe 5 plan type), les spécifications dites *complémentaires* dont l'effet principal était d'entraîner des variations souvent infimes, mais multiples, ont pu être supprimées. Ces variations résultaient de la succession des intervenants (sous-traitants) entre le client et le constructeur principal, d'une part, et le faonnier chargé de l'élaboration du produit, d'autre part : chacun complétait la spécification d'origine par ses propres conditions, souvent dictées par le seul souci de se garder une marge de sécurité. On aboutissait ainsi à des spécifications techniques inutilement contraignantes, voire non réalisables, et non uniformes pour un même emploi du fait des prescripteurs.

#### Annexe 5 – Spécification technique de référence plan-type

- Objet.
- Mode d'élaboration.
- Analyse chimique, contrôle de la composition sur lingot et sur pièce.
- Fabrication, y compris forgeage et laminage.
- Propriétés mécaniques.
- Examens de surfaces, défauts acceptables.
- Examen volumique.
- Contrôles dimensionnels.
- Marquage.
- Nettoyage, emballage et transport.
- Rapports d'essais.

#### ● Volume III (méthodes d'examen)

Il traite des méthodes destructives et non destructives d'examen des produits et des pièces constituant les équipements durant leur fabrication : essais mécaniques, physiques, physico-chimiques et chimiques, examens par ultrasons, radiographie, ressauge, magnétoscopie, courants de Foucault (produits tubulaires), autres méthodes (examens visuels, rugosité, étanchéité, etc.), qualification des contrôleurs.

#### ● Volume IV (soudage)

Il est consacré aux procédés de soudage : qualifications des modes opératoires de soudage, des soudeurs et opérateurs, des matériaux d'apport, des ateliers de production, etc.

Par comparaison, la section correspondante du code ASME (section IX) se limite aux qualifications de soudage.

Enfin, le RCC-M comprend les règles applicables aux produits d'apport, aux soudures de production et à leur contrôle.

#### ● Volume V (fabrication)

Il réunit certaines conditions à satisfaire au minimum dans les différentes phases de la fabrication, comme, par exemple, les procédures de marquage, la coupe et la réparation sans soudure, le forgeage et les tolérances dimensionnelles, les traitements de surface, le nettoyage, les jonctions mécaniques, les traitements thermiques.

Le RCC-M fut rendu contractuel, fin 1980, pour la réalisation des tranches d'une puissance électrique de 1 300 MW nouvellement engagées ; il fut également, à partir de cette époque, utilisé comme référence technique pour la fabrication des équipements des tranches de 900 MW non encore achevées [3].

## 3.2 RSEM

Le recueil des *Règles de Surveillance en Exploitation des Matériaux Mécaniques des îlots nucléaires REP* (RSEM) établi par EDF est principalement un outil, pour l'exploitant, d'organisation et d'exécution des opérations de maintenance des appareils à pression et circuits de fluides de l'îlot nucléaire importants pour la sûreté. Il est aussi un document de conception venant compléter le RCC-M, les opérations dont il prévoit l'exécution devant, pour être réalisables, avoir été prévues dès les premiers stades de la conception des systèmes et appareils [4]. Il s'agit, en effet, principalement des règles que le projet devra suivre dans le tracé des pièces constituant les appareils à pression du circuit primaire, afin que ceux-ci demeurent inspectables après la mise en service de la centrale, notamment par ultrasons focalisés.

## 3.3 RCC-MR

Les règles de conception des réacteurs à eau (REP) ne sont guère transposables aux réacteurs refroidis au sodium (RNR) dont le réfrigérant est à haute température (550 °C). Les phénomènes de fluage devenant significatifs, l'analyse élastique se montre insuffisante pour justifier le dimensionnement. Il est alors nécessaire de prendre en compte des dommages différés à long terme tels que l'instabilité élastoplastique ou la déformation excessive.

Les concepteurs de ces réacteurs se sont d'abord fondés sur le projet américain : *code case N-47*, toutefois incomplet et insuffisamment démontré [11].

Les résultats des travaux français en vue de définir des règles sûres de dimensionnement avaient été regroupés en recommandations dès 1977 par le comité RAMSES (CEA), travail qu'avait poursuivi en 1978 le comité tripartite (CEA, EDF, Novatome). S'y ajoutaient ceux réunis par le groupe de travail Matériaux (EDF et CEA) chargé de coordonner les actions de recherche et développement sur les matériaux du RNR. L'AFCEN reprit les bases ainsi constituées pour établir le recueil des Règles de Conception et de Construction des Matériaux Mécaniques des Réacteurs à neutrons Rapides (RCC-MR), dont la première édition parut en 1985. Son domaine d'utilisation est analogue à celui du RCC-M. Poursuivant actuellement son évolution en support au projet européen EFR (*European Fast Reactor*), le RCC-MR tend à devenir le code de référence européen pour la conception du RNR [5].

## 4. Autres systèmes et équipements

### 4.1 RCC-E

La normalisation française est bien développée en électricité et électronique. L'Union Technique de l'Électricité (UTE) est d'ailleurs un de nos plus importants bureaux de normalisation et les ingénieurs français se sont attachés à maintenir les normes nationales aussi conformes que possible aux recommandations de la Commission Électrotechnique Internationale (CEI) à l'élaboration desquelles ils participent activement.

Les réalisations de centrales nucléaires s'appuient largement sur cette normalisation d'usage général. Toutefois, les exigences de sûreté nucléaire et de disponibilité ont introduit de nouvelles règles techniques spécifiques codifiées par les membres de l'AFCEN dans le RCC-E en liaison avec les fournisseurs concernés.

Le RCE-E constitue donc un complément à la normalisation AFNOR-UTE s'appliquant aux équipements électriques de l'îlot nucléaire.

Les règles techniques qu'il définit portent principalement sur :

— la qualification des matériels faisant l'objet d'un classement de sûreté et des matériels importants pour la disponibilité de la centrale ;

— la conception des ensembles fonctionnels : coordination des caractéristiques électriques des différents matériels, essais périodiques et règles d'interchangeabilité ;

— les règles d'installation : conditions d'environnement et d'alimentation, protection des matériels contre les perturbations électriques, conception des réseaux de mise à la terre ;

— les méthodes de contrôle : application des méthodes courantes, méthodes particulières (déverminage, par exemple) ;

— l'assurance de la qualité des logiciels.

Les règles techniques de qualification de sûreté du RCC-E sont dans cet ensemble les plus spécifiques au caractère nucléaire des installations.

Comparables dans leur effet au corps de règlements et de standards américains [12], elles répondent à la demande internationale, qui réclame la démonstration, avant début de construction, de ce que les équipements électriques essentiels pour la sûreté sont aptes à rester opérationnels dans l'environnement hostile qui résulterait d'un accident hypothétique, tel que la perte de réfrigérant primaire, la rupture d'une canalisation de vapeur ou un séisme.

La qualification s'obtient par analyse, par essai ou par combinaison des deux.

L'essai est requis pour la première qualification d'un matériel ou lorsque l'analyse n'est pas suffisamment démonstrative de l'aptitude au fonctionnement dans des conditions données.

La séquence d'essai soumet le matériel à des sollicitations enveloppes des sollicitations normales et accidentelles qu'il est supposé subir en service et lors de l'accident.

Dans les cas les plus sévères, elle simule successivement (et porte alors en France le sigle VISA) :

- le Vieillissement thermique ou mécanique ;
- l'Irradiation en fonctionnement normal et accidentel ;
- les vibrations mécaniques et le Séisme ;
- l'Accident thermodynamique et chimique ;

la simulation consistant alors à reproduire les conditions thermodynamiques et chimiques auxquelles serait soumis le matériel à l'intérieur de l'enceinte étanche en cas d'accident.

Les différentes séquences de l'essai sont réalisées dans des laboratoires spécialisés qualifiés du CEA, du CETIM, d'EDF, de Framatome, du Laboratoire Central des Industries Électriques (LCIE), du Laboratoire National d'Essais (LNE) et de la Sopemea (Laboratoire d'essais d'environnement).

## 4.2 RCC-C

À la différence des autres RCC, le recueil des *Règles de Conception et de Construction des assemblages de Combustible des REP* (RCC-C) se limite à une présentation de règles générales renvoyant à des spécifications techniques détaillées dont le contenu est fonction du modèle d'assemblage de combustible.

## 4.3 RCC-G

Le recueil des *Règles de Conception et de Construction applicables au Génie civil des centrales nucléaires* (RCC-G) s'applique aux bâtiments et ouvrages classés de sûreté des îlots nucléaires REP.

Pour la conception des ouvrages, il prend en compte les règles de calcul aux états limites (règles BAEL pour le béton armé, règles BPEL pour le béton précontraint), les deux types d'enceintes étanches réalisées en France : enceintes simples avec peau métallique et enceintes à double paroi, ainsi que les architectures à tranches séparées et jumelées.

Il définit les critères de conception (notamment pour les études sismiques) et de réalisation, ainsi que les contrôles et épreuves (méthodes et critères) et, en particulier, l'épreuve d'étanchéité en pression de l'enceinte de confinement.

## 4.4 RCC-P et I

Il s'agit de documents de conception générale importants pour l'exploitant et maître d'ouvrage ainsi que pour les constructeurs principaux. N'étant pas à proprement parler des codes de construction, ils ne sont pas édités par l'AFCEN, mais par EDF.

■ **RCC-P** : le recueil des *Règles applicables aux Procédés des centrales nucléaires à eau légère sous pression* (RCC-P) réunit l'ensemble des règles de conception et d'installation des systèmes des centrales électronucléaires françaises. Il réunit les règles importantes pour la sûreté :

- conception d'ensemble, plan-masse, principes de protection contre les agressions externes ;
- conception des systèmes élémentaires de confinement, sauvegarde, etc. ;
- règles d'interface assurant la cohérence entre la chaudière nucléaire et les autres parties de la centrale ;
- études de fonctionnement ;
- protection contre les rayonnements ionisants.

Le RCC-P a été établi conjointement par EDF et Framatome. Il existe en deux versions : tranches 900 MW et tranches 1 300 MW.

■ **RCC-I** : le recueil des *Règles applicables à la protection contre l'Incendie des centrales nucléaires à eau sous pression* (RCC-I) a été préparé par EDF. Il inclut notamment les prescriptions d'installation (secteurs de feu, parois coupe-feu, ventilation, etc.), la définition des matériaux et celle des systèmes et matériels de détection et de protection contre l'incendie.

Ces recueils regroupent un ensemble de règles résultant d'exigences réglementaires telles qu'elles ont été appliquées à chacune des centrales françaises prises en référence à l'exportation. Le client étranger et son Autorité de sûreté ont ainsi un accès aisément aux règles de base en matière de sûreté.

## 4.5 Codes de construction de l'AFCEC

L'AFCEC est une association regroupant EDF, GEC-Alsthom et Stein-Industrie, comparable à l'AFCEN dans ses buts et son organisation.

L'AFCEC édite deux codes de construction distribués par l'AFNOR [7] s'appliquant aux parties conventionnelles des centrales électronucléaires REP :

- le RRC-EV relatif aux circuits eau-vapeur ;
- le RRC-TA relatif au groupe turboalternateur.

## 5. Conclusions

■ Édités en langues française et anglaise, les RCC sont actuellement mondialement connus. Incidemment, ils ont contribué à une meilleure connaissance des normes AFNOR à l'étranger dont beaucoup, maintenant éditées en langue anglaise, y sont référencées.

Les RCC constituent ainsi un puissant vecteur de diffusion de notre technologie nucléaire et la base technique des grands contrats à l'exportation :

- réalisation des îlots nucléaires de la centrale d'Ulchin (2 × 950 MW) en République de Corée ;
- réalisation des îlots nucléaires de la centrale de Daya Bay (2 × 950 MW) en République populaire de Chine.

Le contrat coréen est probablement le plus illustratif de l'usage des RCC à l'exportation : ce contrat stipulait en particulier que près de 40 % de la fabrication devaient être réalisés par l'industrie coréenne sous la responsabilité de Framatome, principalement dans les usines de KHIC (*Korean Heavy Industry Company*) à Changwon. La part réalisée en Corée comprenait ainsi des appareils chaudronnés (dont une partie de la cuve du réacteur, des générateurs de vapeur et du pressuriseur), des équipements de manutention et de stockage, des outillages de l'îlot nucléaire.

Pour mener à bien ces fabrications, une collaboration étroite fut établie entre KHIC et Framatome, notamment dans le cadre d'un accord de transfert de technologie incluant une formation et des échanges d'ingénieurs. Le RCC-M fut un instrument d'enseignement essentiel dans la réussite de cette grande première.

Pour le programme français dont la réalisation se poursuivait, les RCC ont apporté une clarification du dialogue contractuel, une simplification et un allègement de la documentation technique contractuelle.

Le RCC-M, tout particulièrement, fit progresser la gestion de la qualité : il redéfinissait les prérogatives et responsabilités dans les interventions importantes pour la qualité et permettait de bien maîtriser les évolutions techniques, quelle que soit leur origine : évolutions chez le fabricant, modifications du projet ou retour d'expérience, etc.

Tant en France qu'à l'exportation, les RCC constituent la référence technique des contrats passés entre l'exploitant et les constructeurs, ainsi qu'entre ces derniers et leurs nombreux fournisseurs et sous-traitants.

Définissant la bonne pratique conforme à la réglementation, ils jouent un rôle essentiel dans l'application de cette dernière. Pour les réalisations sur le territoire national, l'émission d'une RFS (Règle Fondamentale de Sécurité) constitue un agrément préalable pour une application et à une date donnée, de sorte que la conformité au RCC visé vaut respect de la réglementation correspondante.

Par la clarification que, d'emblée, elle apportait, la mise en œuvre de cette procédure administrative a constitué, en France, une innovation et un grand progrès dans le dialogue entre l'Administration, l'exploitant et les constructeurs. Son intérêt à l'exportation a été encore plus net ; l'Administration française n'a certes pas autorité hors de nos frontières ; toutefois, avant décision de construire une centrale nucléaire de technologie française, le client étranger et ses Autorités de sûreté demandent à connaître sa position sur les règles proposées par le constructeur, par rapport à ses propres exigences sur le territoire français. La RFS constitue alors la forme d'agrément présentée par le constructeur français pour justifier de sa référence

au RCC, laquelle, en l'occurrence, se substitue à la référence à la réglementation française dans ses rapports avec son client étranger.

Les RCC jouent donc pleinement leur rôle de référence technique pour les offres, les réalisations et les examens par les Autorités de sûreté.

■ L'industrie nucléaire devenue majeure se trouve confrontée à une situation nouvelle : son activité se concentre sur l'exploitation, la maintenance et l'amélioration technique des installations existantes : les réalisations nouvelles deviennent rares et les perspectives d'avenir incertaines.

Alors que les interrogations sur l'avenir se multiplient : aléas de la prévision économique, besoins futurs des clients, exigences de sûreté, regroupements industriels, mondialisation des échanges, etc., le corps des règles, codes et normes apparaît, avec encore plus d'évidence, comme un pilier essentiel de l'industrie. Il recouvre en effet le savoir-faire, garant de la sûreté des centrales, et réclame tous les soins, comme d'être constamment tenu à jour ; fruit de l'expérience, il sera nécessairement à la base des réalisations futures, que celles-ci reproduisent ou non les conceptions actuelles. Mais surtout, il représente un enjeu, que ce soit dans les alliances ou vis-à-vis de la concurrence :

- dans les alliances, le choix des normes n'est pas neutre : dans son domaine d'application, il détermine une position majeure, sinon dominante ;

- vis-à-vis de la concurrence, gagner le client à ses normes est déjà conquérir un avantage déterminant, souvent même avant que des offres aient été présentées.

Actuellement, pour accroître encore sa présence, l'industrie crée le Bureau de Normalisation Nucléaire (BNEN) dont l'action complète celle de l'AFCEN.

■ Ainsi l'état de son corps de codes et normes est-il bien le reflet de la santé d'une industrie et de sa combativité. Dans un pays comme le nôtre, qui était caractérisé par une méfiance de l'Administration vis-à-vis de tout ce qui pouvait venir de l'industrie et, corrélativement, une abondance de la réglementation technique au détriment d'une normalisation active, l'industrie nucléaire a joué un rôle de révélateur et de précurseur.

Elle a montré que, pour autant que les opérateurs prennent clairement en charge les objectifs de qualité et de sûreté sur leur marché, la réglementation technique pouvait se limiter à fixer les garde-fous garants de la sécurité des tiers. Une telle limitation dans l'intervention de l'Administration ne borne alors aucunement son contrôle, car les codes et normes industriels deviennent aussi son propre référentiel ; de plus, les utilisateurs ne peuvent pas évidemment considérer que les règles qu'ils se sont eux-mêmes fixées pourraient être hors de leur portée.

En outre, de tels codes et normes constituent naturellement le référentiel sans lequel l'application d'un programme d'assurance de la qualité serait illusoire.

L'industrie nucléaire a aussi montré que, en débordant du cadre strict de sa mission, l'Administration favorisait une attitude protectionniste et conservatrice dans l'industrie, pénalisant les opérateurs les plus actifs qui veulent intervenir sur les marchés à l'exportation. Les principes gouvernant l'évolution accomplie sont actuellement bien admis et figurent notamment dans les textes communautaires pour l'ouverture du Marché unique de 1993.

Enfin, l'industrie nucléaire a aussi fait œuvre de précurseur en choisissant la voie difficile qui a consisté à entraîner, dans son action à l'exportation, tous les acteurs de la réalisation du programme français ; grâce à quoi, et parce qu'ils ont répondu à cet appel, elle s'est hissée au premier rang mondial.

## Références bibliographiques

- [1] HOFFMANN (A.). – *Le Comité scientifique consultatif de l'AFCEN*. Journée SFEN - AFCEN : Composants mécaniques nucléaires, codification française et perspectives européennes, Paris, 23 nov. 1989.
- [2] THOMAS (A.) et GRANDEMANGE (J.M.). – *French codes and standards on boiler and pressure technology*. Pressure Vessel Codes and Standards, éd. R.W. NICHOLS, Elsevier Applied Science (1987).
- [3] BOISSONNET (B.) et QUERO (J.R.). – *L'impact des RCC*. Revue Générale Nucléaire, n° 4, juil.-août 1985.
- [4] HUTIN (J.P.) et NOEL (R.). – *La codification pour la surveillance en exploitation : le RSEM*. Journée SFEN - AFCEN : Composants mécaniques nucléaires, codification française et perspectives européennes, Paris, 23 nov. 1989.
- [5] NOEL (H.) et DEBAENE (J.P.). – *Règles de conception et de construction des matériaux mécaniques des îlots nucléaires RNR*. Journée SFEN, 23 nov. 1989.
- [6] ROCHE (R.L.) et FARR (J.R.). – *Design Codes and Structural Mechanics* (Codes de construction et mécanique des structures). Elsevier Applied Science (1989).
- [7] *Ouvrages AFCEN - AFCEC diffusés par l'AFNOR* : RCC-M éd. 1988 ; RCC-MR éd. 1985 et 1<sup>er</sup> modification nov. 1987 ; RCC-C éd. 1984 ; RCC-E éd. 1984 ; RCC-G éd. 1988 ; RRC-EV éd. 1989 ; RRC-TA éd. 1989 ; RSEM éd. 1990.
- [8] *Règlements USNRC (United States Nuclear Regulatory Commission)* : 10 CFR 50, Appendix A & B (Code of Federal Register, Title 10, Part 50), août 1991.
- [9] *Règlements USNRC (United States Nuclear Regulatory Commission)* : Regulatory guides 1.73, janv. 1974 ; 1.89, juin 1984 ; 1.100, août 1987.
- [10] *American Society of Mechanical Engineers*, New York : ASME boiler and pressure vessel code, sections II, III, V, IX, XI, éd. (1989).
- [11] *Code case for nuclear components – Case N-47-29, class 1 components in elevated temperature service*, 3 déc. 1990.
- [12] *The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.* : IEEE standard for qualifying class IE equipment for nuclear power generating stations : IEEE standard 323 (1974) ; IEEE standard 344 (1975) ; IEEE standard 382 (1980) ; IEEE standard 383 (1974).