

SIMULATEURS DE CLASSE

DES SIMULATEURS DE RÉACTEURS POUR UNE FORMATION CONVIVIALE

AURORA BADULESCU ET ROBERT LYON

Les outils informatiques deviennent des éléments standard des programmes de formation. Dans l'industrie nucléaire, d'importants progrès ont été faits ces dernières années pour offrir une gamme élargie de services de formation reposant sur l'utilisation de simulateurs de réacteurs nucléaires.

Avec ses programmes, l'AIEA favorise la mise au point de simulateurs de réacteurs nucléaires fonctionnant sur ordinateur personnel et simulant les réponses de plusieurs types de réacteur à des situations d'exploitation et d'accident. Les simulateurs offrent un outil de formation aux professeurs d'université et ingénieurs qui enseignent des matières liées à l'énergie nucléaire; ils sont également fournis directement aux étudiants et ingénieurs débutants ou chevronnés qui souhaitent élargir leurs connaissances. L'Agence organise la fourniture ou la mise au point de tels programmes de simulation et matériels de formation, parraine des cours et ateliers, et diffuse des documents et des programmes informatiques.

Depuis 1997, dix ateliers de l'AIEA ont eu lieu à Vienne (Autriche), en Égypte, en Arabie Saoudite, en République de Corée et en Italie. En tout, une formation a été proposée et des simulateurs distribués à plus de 181 participants de 42 pays.

La formation aux simulateurs a permis aux participants d'apprendre à exploiter correctement les codes de simulation. Des cours de physique et de commande des réacteurs joints à la possibilité de tester la compréhension sur simulateur sont manifestement très efficaces pour maintenir éveillé l'intérêt des participants et leur inculquer les caractéristiques opérationnelles des différents systèmes de réacteur. Ces simulateurs sont ou seront incorporés à des programmes ou cours universitaires nationaux.

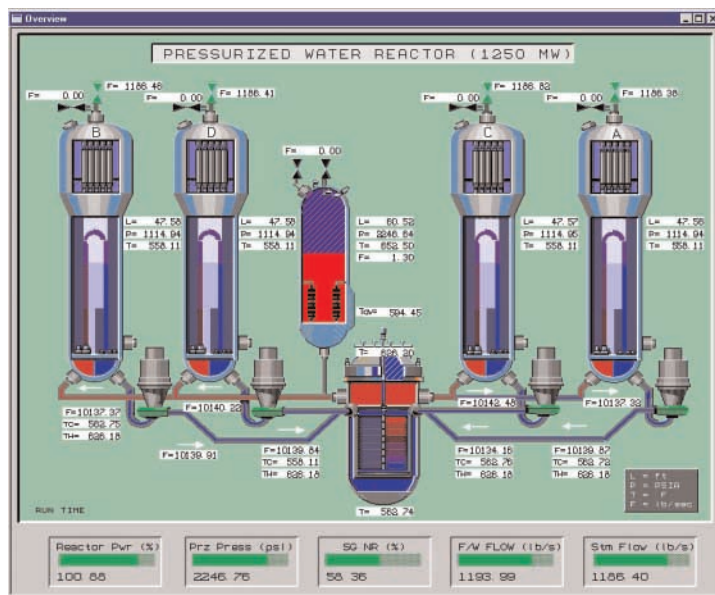
Le présent article décrit les programmes de simulation parrainés par l'AIEA. Il existe quatre programmes différents couvrant différents types de réacteurs : réacteurs à eau sous pression (REP), réacteurs à eau bouillante (REB) et réacteurs à eau lourde (REL). Les programmes se limitent à simuler la réaction caractéristique de certains types de réacteurs de puissance et n'ont pas pour objet d'être utilisés à des fins spécifiques à certaines centrales (conception, évaluation de la sûreté, délivrance d'autorisation ou formation de l'exploitant).

Démonstrateurs CARD (Classroom-Based Advanced Reactor Demonstrators). Il s'agit d'un jeu de simulateurs de centrales nucléaires mis au point par Canadian Aviation Electronics (CAE). Ce jeu comprend des simulateurs de

REP, de REB et de REL et fonctionne sur ordinateur personnel. Les simulateurs reposent sur des principes premiers et utilisent des composantes discrètes. La logique de commande repose sur les diagrammes élémentaires de la centrale et incorpore des modèles dynamiques de ses circuits hydrauliques. Les simulateurs sont étalonnés en fonction de la conception et des caractéristiques de la centrale.

Les simulateurs CARD utilisent des graphiques couleur pour afficher les données (flux, températures et vides) relatives au cœur et l'état de dispositifs tels que pompes et vannes. Chacun des trois modèles de réacteur est appelé "CARD". Le programme CARD sert de démonstrateur et non de simulateur de formation. Les modèles CARD sont des sous-ensembles de simulateurs avancés de CAE, mais le programme a été réduit aux seuls logiciels nécessaires pour démontrer le comportement général de la centrale du point de vue du système nucléaire d'alimentation en vapeur, toutes les limites du système étant émulées pour simuler la réaction dynamique globale.

Mme Badulescu et M. Lyon travaillent à la Division de l'énergie nucléaire du Département de l'énergie nucléaire de l'AIEA.



Les démonstrateurs utilisent le modèle thermohydraulique de CAE et un modèle de réacteur. Ils consistent en un modèle neutronique et thermohydraulique complet du réacteur et de ses systèmes de refroidissement. Les interfaces avec les systèmes voisins sont émulées pour fournir une information réaliste. Les démonstrateurs utilisent, pour manipuler les entrées,

introduire les dysfonctionnements et afficher le comportement des systèmes, une interface graphique conviviale.

L'affichage graphique du circuit de refroidissement du REP consiste en quatre boucles de transfert thermique raccordées en parallèle à la cuve du réacteur. Chaque boucle contient une pompe primaire et un générateur de vapeur. Le

système comprend un pressuriseur, un réservoir de décharge, des tuyauteries de liaison, des vannes et des instruments de commande (voir photo).

Simulateur de réacteur avancé. Ce simulateur conçu par Microsimulation Technologies (États-Unis) fonctionne sur ordinateur personnel. Il simule un REP, REB ou REL de 600 MWe. Pour les REP, il simule des centrales équipées de générateurs de vapeur verticaux à petits cintres inversés de conception occidentale, des centrales à générateurs de vapeur horizontaux de conception soviétique, et des REP de la prochaine génération dotés de dispositifs de sûreté passive.

Le simulateur fonctionne en temps réel ou accéléré et englobe les systèmes d'alimentation en vapeur, de confinement, de commande et de sûreté. Les dysfonctionnements et paramètres peuvent être sélectionnés pour modéliser des conditions de dimensionnement normales et anormales correspondant à chaque type de réacteur. On peut également simuler des conditions hors dimensionnement.

L'affichage représente le système contrôlable sous forme de petits panneaux, les principaux composants apparaissant sous forme d'icônes : soupapes de décharge à commande assistée et

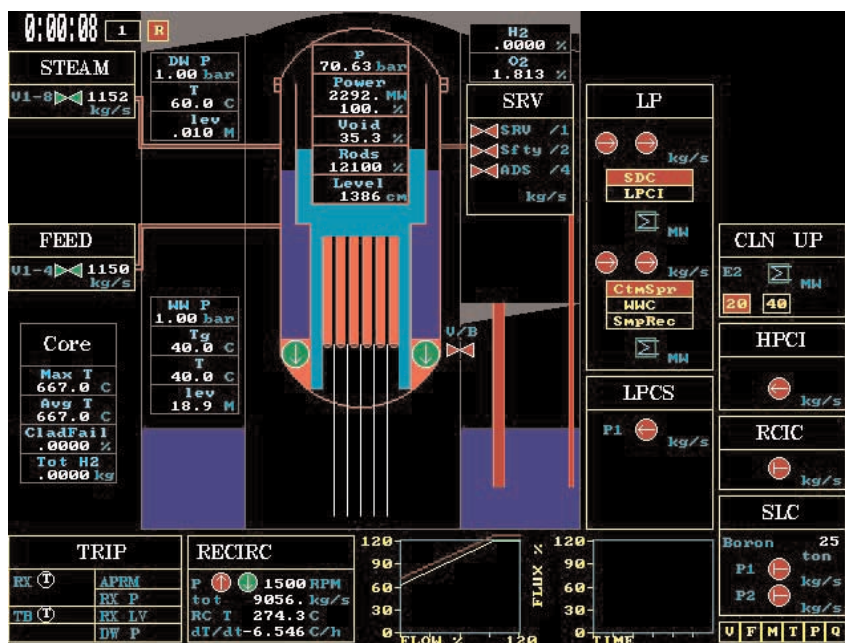
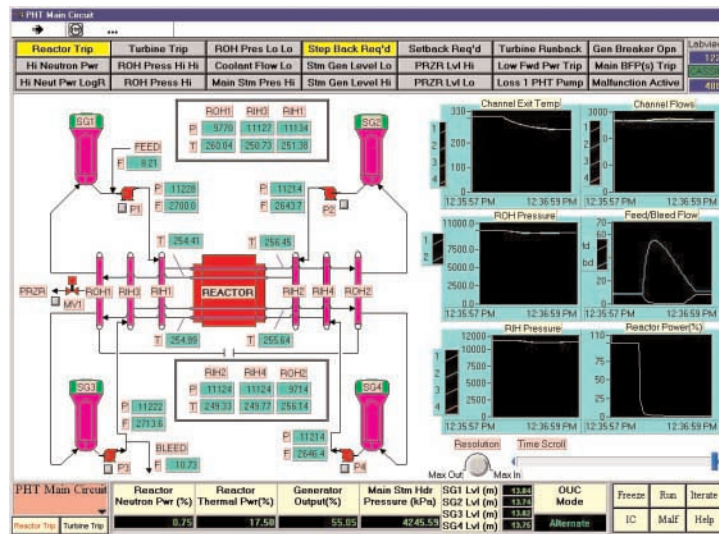


Photo : En haut, affichage du circuit de refroidissement d'un réacteur à eau pressurisée dans le démonstrateur CARD. À gauche, écran (ordinateur personnel) du simulateur de réacteur à eau bouillante.

soupapes de sûreté du pressuriseur et canalisations de vapeur, vanne d'aspersion et éléments chauffants du pressuriseur, vannes d'isolement du circuit principal de vapeur, soupapes de contournement des turbines (décharge de vapeur), vannes d'alimentation et pompes de refroidissement. Leur état, matérialisé par une couleur, peut être modifié par l'opérateur à l'aide de la souris (pousser un bouton, mettre en marche une pompe). On n'utilise le clavier que pour entrer des valeurs de dysfonctionnement, une nouvelle condition de départ ou des échelles d'évolution de données. La position et le mouvement des grappes s'affichent, et les ruptures de canalisations sont indiquées par des aspersion clignotantes avec affichage numérique du débit.

On commence généralement par sélectionner un ensemble de conditions de départ : puissance, débit et âge. Le simulateur affiche ensuite en mode dynamique l'état de la centrale et l'opérateur peut introduire des dysfonctionnements couvrant toutes les catégories (et parfois plus) énoncées dans le rapport d'analyse de sûreté. Il entre la gravité, le retard et la durée de rampe de chaque dysfonctionnement. Il peut déclencher la turbine ou le réacteur et commander les soupapes ou pompes du simulateur, provoquant la marche, l'arrêt ou la défaillance partielle à certaines fractions de capacité. Il peut, par exemple, inhiber l'enclenchement automatique des pompes de refroidissement du cœur et en prendre le



contrôle manuel. Divers dysfonctionnements (perte de réfrigérant primaire, rupture de canalisation de vapeur, perte d'eau d'alimentation, perte de débit) tirés, pour chaque réacteur, du rapport d'analyse de sûreté ont été préparés et peuvent être sélectionnés, assortis d'un degré de gravité (taille de la rupture, par exemple).

L'état des systèmes de protection du réacteur et de démarrage des équipements de sûreté est affiché. Le réacteur s'arrêtera automatiquement en cas de dépassement de l'un quelconque des seuils de protection du réacteur. Le symbole correspondant passera au rouge et toutes les barres de commande seront insérées.

Les variables de sortie peuvent être visualisées sous forme de graphiques de tendance à mesure que la simulation progresse. Ces graphiques peuvent être imprimés à la fin de la simulation. L'opérateur peut choisir de consigner les transitoires calculés dans des fichiers de sortie à des fins d'analyse ultérieure.

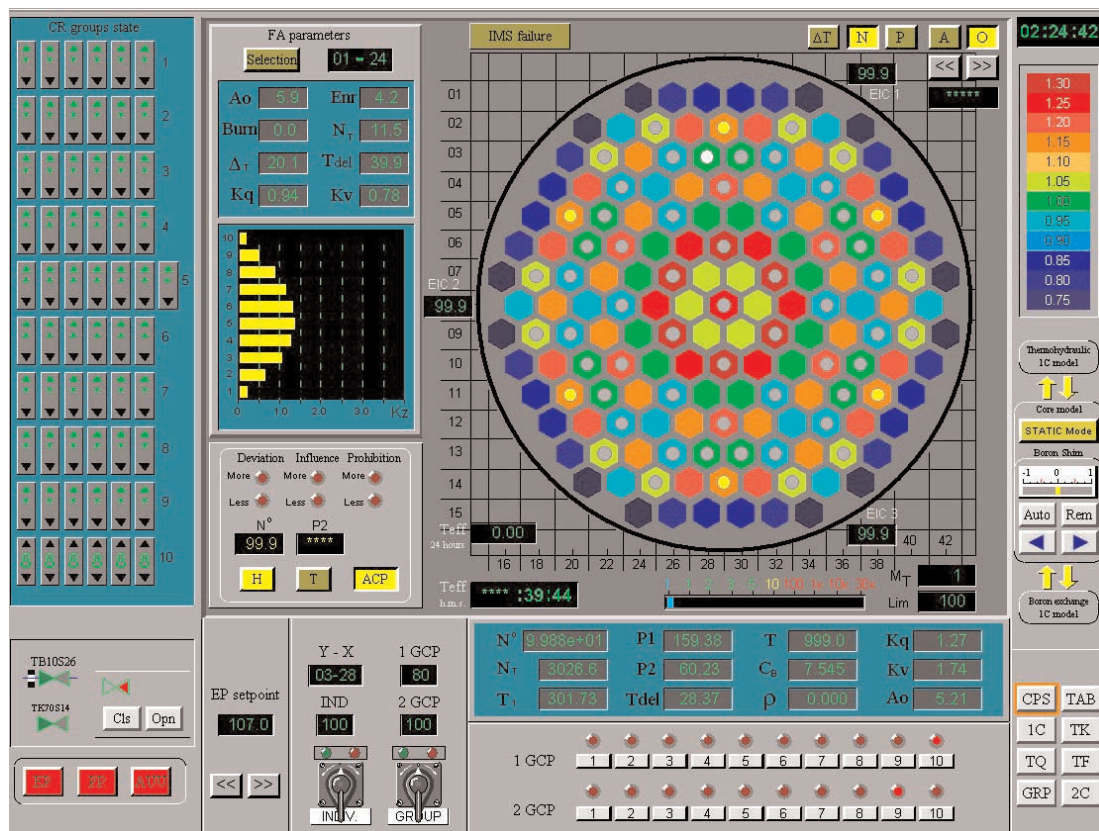
Simulateur de réacteur compact CANDU-9. Ce

simulateur mis au point par Cassiopeia Technologies comprend 16 écrans interactifs montrant les systèmes principaux, secondaires, de commande et de sûreté de la centrale. En haut et au bas de chaque écran figurent 21 alarmes et annonceurs, l'état du simulateur, et les principaux événements et paramètres de la centrale. L'interaction utilisateur/simulateur s'effectue via un ensemble moniteur-souris-affichage. Les instruments et dispositifs de commande (boutons-poussoirs et interrupteurs manuels), représentés de façon stylisée, sont actionnés par l'utilisateur via des menus déroulants et des boîtes de dialogue.

Le simulateur est programmé par objets et réagit aux conditions d'exploitation rencontrées normalement ainsi qu'à de nombreuses situations de dysfonctionnement.

Sur l'affichage d'ensemble de la centrale, la boucle principale de transport thermique et les systèmes de régulation de

Photo : Affichage du simulateur de réacteur compact Candu-9.



pression et de gestion d'inventaire forment une boucle unique. Quatre générateurs de vapeur sont modélisés individuellement. Le contrôle de réactivité dispose d'un écran séparé où figurent les diagrammes de commandes limites et l'état des trois dispositifs de contrôle de réactivité commandés par le système de régulation du réacteur.

Il existe une interaction dynamique entre tous les systèmes simulés, le régulateur de puissance, les annonceurs et la commande informatisée des principales fonctions du système.

Simulateur compact de VVER-1000. Ce simulateur mis au point par le Département des réacteurs de l'Institut de physique appliquée de Moscou propose trois principaux régimes de travail : prépa-

ration (configuration) d'une simulation, mise en œuvre de modèles, et visualisation et analyse des résultats de simulation. Il comprend huit écrans montrant les principaux systèmes et modélise le fonctionnement normal et les situations anormales (réaction des systèmes de sûreté et défaillances d'équipements).

Le simulateur repose sur un logiciel intégré assurant de nombreuses fonctions qui englobent l'élaboration et l'application de complexes de simulation. Il offre les possibilités suivantes : forme ordonnée de stockage et de présentation des fichiers de travail; mise en œuvre aisée d'autres composants; méthode simple de configuration des simulations; et stockage de fichiers de destination.

Le combustible est modélisé en trois dimensions et un modèle thermohydraulique homogène est proposé pour le réfrigérant. Le modèle de cinétique neutronique peut fonctionner 30 000 fois plus vite qu'en temps réel, ce qui est très utile pour étudier la combustion nucléaire et la formation de xénon.

Il est également proposé un modèle de régulateur de bore, qui permet de contrôler manuellement la concentration de bore sur une longue période. Il est en outre possible, dans le simulateur, de déconnecter le système de commande de la centrale et d'opérer en mode manuel.

Une surveillance est prévue pour évaluer les résultats obtenus par le stagiaire sur le simulateur. □

Photo : Affichage du simulateur compact VVER-1000.