

CRONOS 2 : UN LOGICIEL DE SIMULATION NEUTRONIQUE DES CŒURS DE RÉACTEURS

INTRODUCTION

La simulation numérique est un outil de plus en plus indispensable pour progresser dans le domaine de l'industrie et de la recherche. Cette simulation est dans certains cas incontournable, en particulier pour les études d'accident où une expérimentation n'est pas envisageable. Le domaine de la neutronique des cœurs de réacteurs nucléaires n'échappe pas à cette considération et utilise de longue date la simulation numérique notamment pour les études de conception, la gestion du combustible, les études d'accidents. Le logiciel CRONOS2, élément du système SAPHYR (figure 1), fournit tous les moyens nécessaires pour permettre ces études. Son domaine d'application s'étend des calculs ultra rapides comme ceux nécessaires pour les simulateurs d'entraînement, jusqu'aux calculs de référence à plus de 100 millions d'inconnues indispensables

pour comprendre et expliquer un comportement physique complexe, en passant par les calculs de routine pour l'exploitation des centrales. CRONOS2 est utilisé actuellement par le CEA pour fournir des calculs de référence sur les REP, dans la chaîne de calcul industrielle de la PNM (Propulsion Navale Militaire), et pour soutenir les études d'innovation et d'expertise du CEA concernant toutes les filières. Il est également utilisé pour effectuer des études à la demande d'organismes extérieurs (EDF, FRAMATOME, IPSN, COGEMA, TECHNICATOME). Ses potentialités de traitement variées et sa souplesse d'utilisation en font un système unique.

CONTEXTE

L'objectif de la neutronique du cœur des réacteurs est de prédire les phénomènes qui résultent de l'évolution de la population des neutrons dans les milieux fissiles et non

J.J. Lautard,
C. Magnaud, F. Moreau,
A.M. Baudron
(DTM/SERMA)

SORTIES GRAPHIQUES
CRONOS2 POUR
UN CŒUR REP 900 :

- PARTIE THERMIQUE
DU FLUX
- PUISSANCE RADIALE
- GÉOMÉTRIE CELLULE
PAR CELLULE

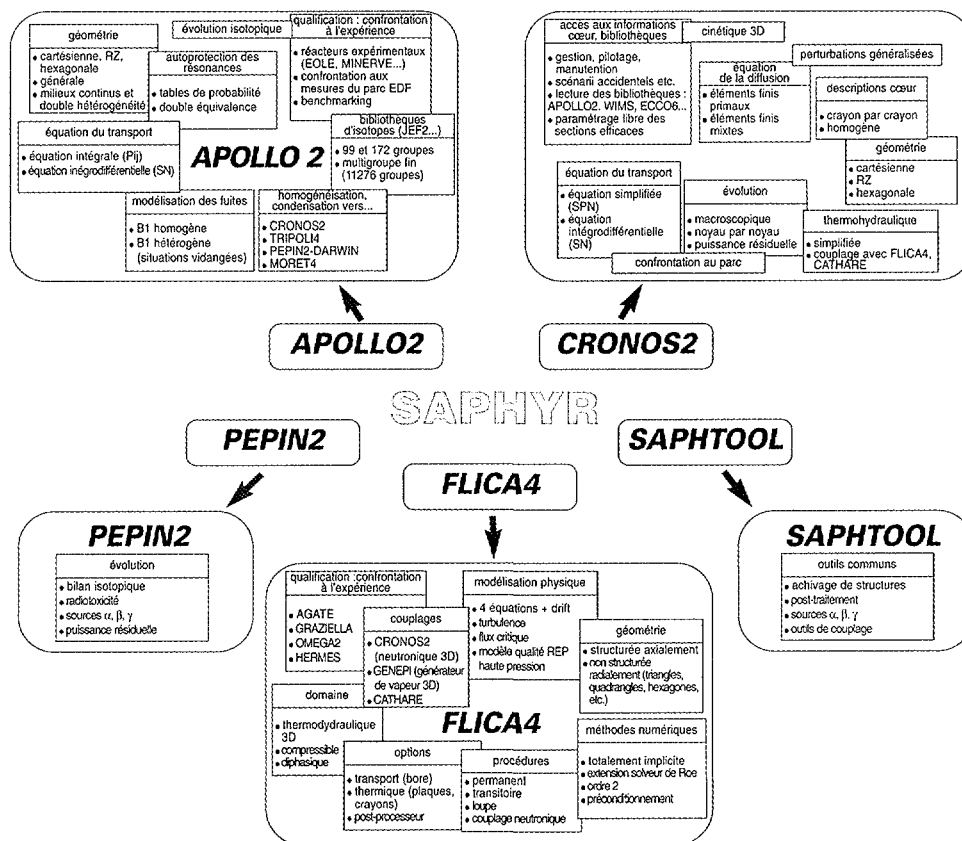


Figure 1 : Le système SAPHYR

fissiles du cœur. On peut ainsi déterminer la densité de puissance dégagée par les phénomènes de fission, de capture neutronique et de décroissance radioactive. La neutronique repose sur des équations bien connues, l'équation de Boltzmann pour le transport des particules et l'équation de Bateman pour l'évolution du combustible. Ces équations modélisent parfaitement les phénomènes physiques et peuvent être théoriquement résolues exactement. Cependant, du fait de l'extrême hétérogénéité du cœur du réacteur, de la grande complexité de la variation énergétique des sections efficaces et de la grande interdépendance des phénomènes neutroniques et thermohydrauliques, les moyens de calcul actuels ne permettent pas d'obtenir la solution par une méthode directe. On a donc recours aujourd'hui à une méthode multi-échelle (figure 2) utilisant trois étapes :

○ 1^{ère} étape : mise en groupes sur un maillage énergétique donné (une centaine de groupes) des sections efficaces ponctuelles,

○ 2^{ème} étape : un code dit de réseau est utilisé pour résoudre en 2D un petit motif finement discrétisé (tel qu'un assemblage combustible ou une portion d'assemblage) avec recalcul des sections multigroupes pour les isotopes (modélisation du phénomène d'autoprotection). Cette étape est traitée en théorie du transport multigroupe par le code APOLLO2. Les sections efficaces sont ensuite homogénéisées en espace, condensées en énergie et stockées dans une bibliothèque de constantes neutroniques,

○ 3^{ème} étape : les bibliothèques des assemblages combustibles sont utilisées par CRONOS2 pour résoudre le problème sur le cœur entier. La partie hors zone combustible (appelée réflecteur) est modélisée par une méthode d'équivalence; cette méthode générale calcule des sections efficaces équivalentes adaptées au calcul de cœur qui sera effectué. La prise en compte de la thermohydraulique est assurée par FLICA4.

Cette approche en trois étapes est très largement répandue pour les réacteurs de puissance et constitue un schéma de calcul puissant pour l'étude des réacteurs thermiques à eau sous pression ou bouillants, à pas rectangulaire ou hexagonal, pour les réacteurs de type RBMK, pour les réacteurs à neutrons rapides, pour les réacteurs de propulsion navale, pour certains réacteurs expérimentaux et de recherche.

LES CALCULS DE CŒUR REP EN TRANSPORT

Pour les calculs de cœur REP, on utilise usuellement l'équation de la diffusion à deux groupes d'énergie lors de la troisième étape. Cette approximation montre ses limites notamment pour la prédiction de l'efficacité des barres de contrôle. Dans ses travaux de R&D, le CEA a développé une méthode basée sur une forme plus proche de l'équation du transport à savoir l'équation du PN simplifié (SPN). Pour permettre ces calculs, il a été nécessaire de développer une méthode générale d'estimation des constantes de réflecteurs.

Une étude complète de cycle a été effectuée à 8 groupes d'énergie, elle a permis de diviser par deux l'erreur sur l'efficacité des barres. Cette méthode constitue une avancée importante et pourrait supplanter la diffusion.

Grappe	Diffusion 2 groupes	Transport 8 groupes SP3 P1
R	10,04	4,92
G1	6,02	3,97
G2	7,2	5,68
N1	8,14	3,56
N2	2,63	4,74

Efficacité des grappes : écart avec les mesures sans ajustement (%)

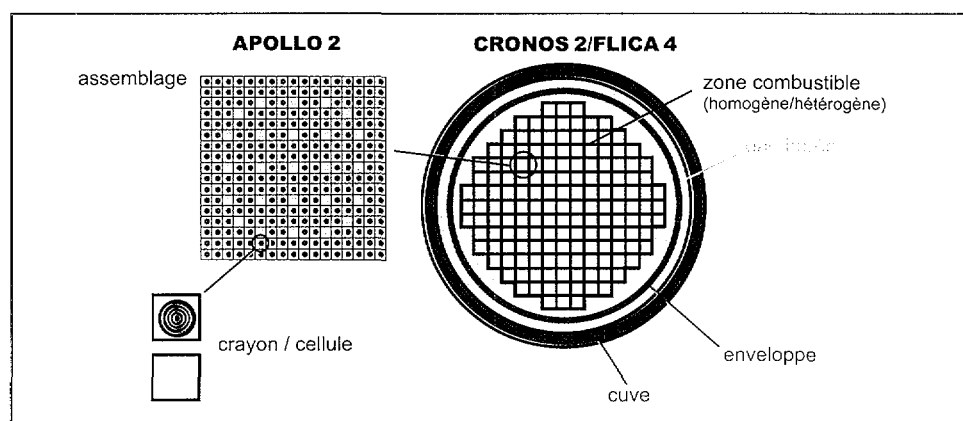
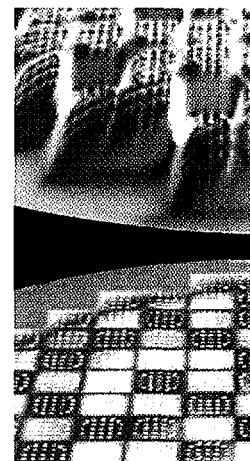


Figure 2 : Les étapes du schéma de calcul REP



Les calculs de transport exact sont également disponibles dans CRONOS2, mais leurs coûts élevés en temps de calcul et en place mémoire les réservent pour l'instant à l'étude des réacteurs expérimentaux et à des calculs de référence. Par exemple, pour les réacteurs de type REP900, cette représentation conduit à des systèmes matriciels de près de 100 millions d'inconnues. Un calcul cellule par cellule d'un quart de cœur de type REP900 à 8 groupes d'énergie comportant environ 35 millions d'inconnues a pu être réalisé en utilisant une place mémoire de 6 gigaoctets et un temps de calcul de 12 heures sur un alpha serveur DEC/4100 600 MHz.

OUTIL D'EXPÉRIMENTATION NUMÉRIQUE

La souplesse de l'architecture logicielle de CRONOS2 (modularité, langage de commande) et la stabilité de son équipe de développement ont permis une évolution continue du logiciel par intégration de nouvelles méthodes sans perte des précédents acquis. Sa conception sous forme de boîte à outils permet de laisser libre cours à la créativité des utilisateurs ce qui en fait un outil irremplaçable pour la R&D. On peut ainsi échanger simplement des briques élémentaires (un solveur par un autre) tout en conservant un contexte identique (géométrie, sections efficaces, évolution, couplage thermohydraulique). Par exemple, l'utilisation du transport à la place de la diffusion dans les calculs de REP a été possible sans aucune adaptation de l'existant.

La bibliothèque de procédures associée CPROC permet d'habiller la boîte à outils et de réaliser des "outils métiers" adaptés à une utilisation industrielle et facilitant son apprentissage.

FONCTIONNALITÉS

CRONOS2 est caractérisé par une grande richesse de fonctionnalités dont les principales sont résumées sur la figure 3. Il permet une modélisation statique, cinétique ou perturbative des phénomènes physiques avec une large variété de traitements aussi bien au niveau des sections efficaces que des types de géométries. Le code dispose également d'un certain nombre d'outils graphiques pour le pré- et le post-traitement des données. La figure de la page titre est une illustration des sorties graphiques fournies dans le code : de bas en haut sont visualisées une géométrie REP900 cellule par cellule (à chaque couleur correspond un jeu de sections efficaces), une carte de puissance radiale et une vue en perspective de la partie thermique du flux.

Traitement des sections efficaces

À l'issue de plusieurs étapes de modélisation effectuées en amont de CRONOS2, les données neutroniques homogènes multigroupes sont regroupées par isotope dans une bibliothèque de sections efficaces. Ces sections sont paramétrées pour prendre en compte, lors de l'homogénéisation en énergie,

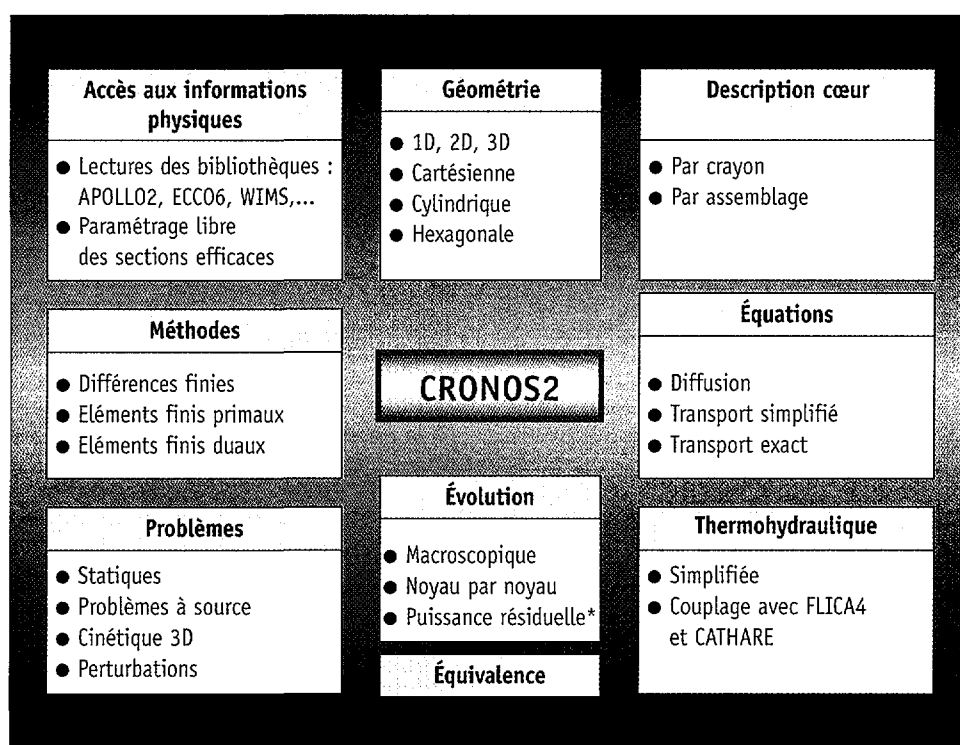


Figure 3 : Fonctionnalités de CRONOS2

la variation du spectre résultant de l'usure du combustible ainsi que les effets de températures. L'utilisateur est entièrement libre de son choix de paramétrage. Cette méthode simple et générale permet de couvrir un vaste domaine d'utilisation.

Le calcul de la section au point de fonctionnement est obtenu par interpolation linéaire entre les points les plus proches de la bibliothèque. Un raffinement de la méthode, mettant à profit le formalisme des éléments finis, consiste à représenter les paramètres par une approximation polynomiale à l'intérieur de chaque maille de calcul.

Les calculs statiques

Les calculs statiques sont utilisés pour étudier le comportement du réacteur en fonctionnement normal et réaliser des études de gestion. Ces calculs sont effectués sur des cœurs homogènes par assemblage ou par cellule. Le calcul cellule par cellule a pour but d'améliorer la connaissance du pic local de puissance en évitant l'utilisation d'une reconstruction de structure fine sur des calculs assemblages.

Dès son origine, le code CRONOS a résolu l'équation de diffusion et plus récemment l'équation du transport nécessaire pour des situations où la forte anisotropie du flux rend l'approximation de la diffusion insuffisante. Ces équations sont résolues par la méthode des éléments finis (méthode PRIAM). Cette approche permet une très grande souplesse de définition de la géométrie (cartésienne, hexagonale, cylindrique) et des conditions aux limites correspondant

à tous les types de modélisation (réflexions, symétries, périodicités, translations, albedos). Grâce à cette méthode, CRONOS2 a été un des premiers logiciels au monde à permettre une représentation complète du cœur en transport à 3 dimensions. La figure 4 montre les variations du flux neutronique intégré en 8 groupes décroissants en énergie le long d'une traverse du cœur passant par des assemblages MOX. On peut observer les creusements du flux thermique (groupes 6 à 8) dus à ces assemblages ainsi que les petites oscillations provenant de la présence des trous d'eau. La grande variation de la forme du flux en fonction de l'énergie montre l'intérêt d'avoir une discrétisation énergétique fine (donc à augmenter le nombre de groupes).

Pour traiter des géométries à mailles fines (calculs cellule par cellule), un solveur spécialisé (DIFF) a été développé. Il résout l'équation de la diffusion avec l'approximation aux différences finies et une méthode d'accélération de type multigrille.

Parallèlement, des travaux ont été entrepris pour doter CRONOS2 d'une méthode nodale performante (MINOS) pour le traitement de géométries structurées. Elle se démarque des méthodes nodales classiques dans le sens où elle repose sur une base mathématique rigoureuse. Les principaux avantages de cette méthode sont, d'une part que le schéma est conservatif au sens du bilan des neutrons et d'autre part, qu'elle permet de traiter les équations de discontinuités aux interfaces des mailles. L'extension au transport simplifiée (SPN) permet d'effectuer en routine des calculs de transport.

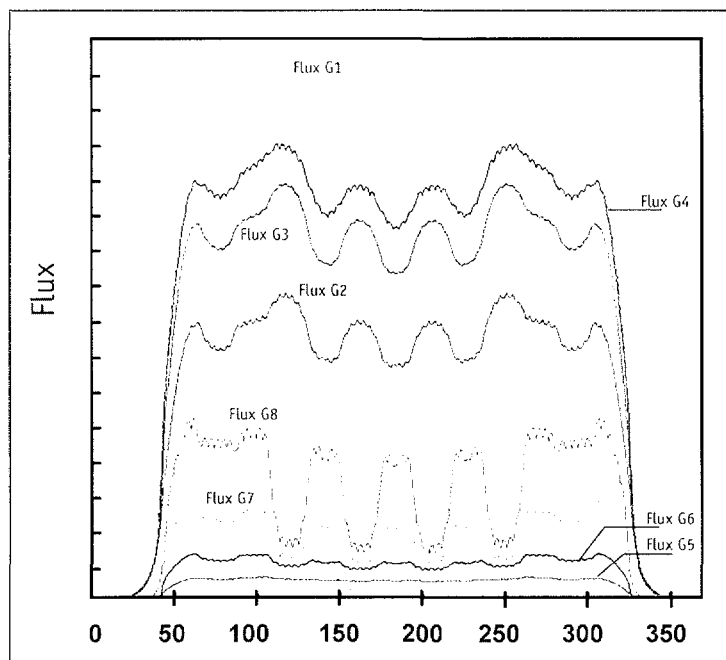


Figure 4 : Traverse radiale de flux en transport crayon par crayon



Il a été possible d'effectuer tout un cycle de calcul REP en transport permettant d'améliorer la connaissance des efficacités des grappes.

Les calculs de cinétique

Les calculs tridimensionnels de cinétique rapide sont nécessaires pour les études de situations accidentelles comme la rupture d'une tuyauterie vapeur ou l'éjection d'une grappe de contrôle.

La résolution des équations de cinétique en diffusion a été introduite de longue date dans le solveur PRIAM (dès 1980).

La prise en compte de la variable temps et des neutrons retardés conduit à des systèmes plus complexes à résoudre. La méthode de résolution est basée sur un schéma à un pas implicite en temps. Les équations pour les neutrons retardés sont intégrées exactement. Récemment la technique de résolution spatiale utilisée pour le solveur MINOS a été adaptée à la cinétique pour améliorer sa rapidité de calcul et permettre à court terme des calculs en transport.

La figure 5 illustre un calcul de transitoire pour un VVER (géométrie hexagonale) lors de l'éjection d'une grappe de contrôle. On présente l'évolution de la nappe de flux thermique au cours du temps. L'éjection commence au temps 0 et s'achève au temps 0,16 seconde alors que le pic survient au temps 0,2 seconde.

Les calculs à source

L'intérêt des calculs à source peut être illustré par exemple pour les études de positionnement des crayons sources très petits par rapport à la taille du réacteur. Les équations à résoudre étant de même nature que celles de la cinétique après discrétisation en temps, il a été possible d'introduire cette nouvelle possibilité dans CRONOS2, tout en bénéficiant des techniques de résolution les plus sophistiquées. La méthode a été étendue au calcul en transport SPN pour prendre en compte des sources anisotropes. Cet apport a permis de progresser notamment dans la détermination des constantes de réflecteurs équivalent.

Les calculs de perturbations généralisées

Les calculs de perturbations permettent d'obtenir une estimation de la variation de quantités physiques appelées observables (taux de réaction, réactivité, puissance locale, déséquilibre axial de puissance ou axial-offset, ...) par rapport à des paramètres comme la position d'une barre de contrôle ou la concentration en bore soluble. Les estimations sont obtenues de façon extrêmement rapide sans avoir à connaître la variation du flux. Ceci permet notamment l'utilisation de la méthode dans le domaine du pilotage des réacteurs pour lequel une réponse rapide est demandée. La force de la méthode implémentée dans CRONOS2 est, d'une part, qu'elle a été généralisée

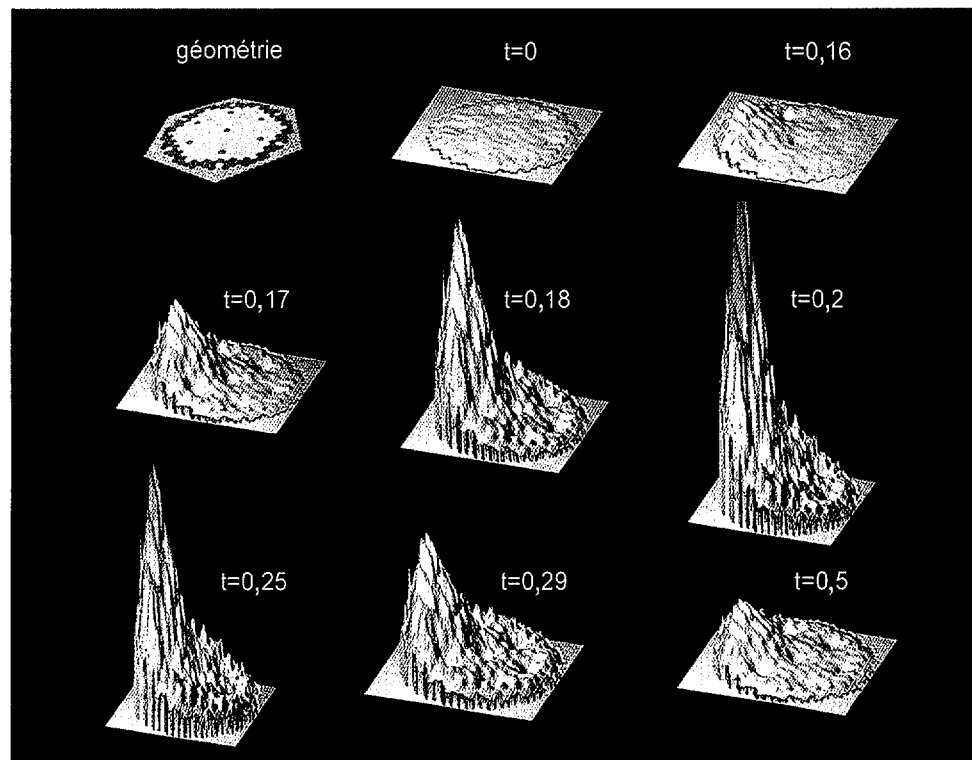


Figure 5 : Nappe de flux thermique en fonction du temps (s) lors de l'éjection d'une grappe dans un réacteur VVER

à un ordre quelconque afin de fournir de meilleures estimations et, d'autre part, que son approche variationnelle permet d'obtenir une approximation constante pour les calculs adjoints, ce qui n'est pas toujours le cas avec les méthodes nodales.

La figure 6 montre la variation de l'axial-offset en fonction de l'insertion des barres de contrôle dans un réacteur REP. Les courbes présentent les résultats obtenus avec différents ordres d'approximation. Ces résultats montrent l'efficacité de la méthode et sa convergence quand on augmente l'ordre d'approximation.

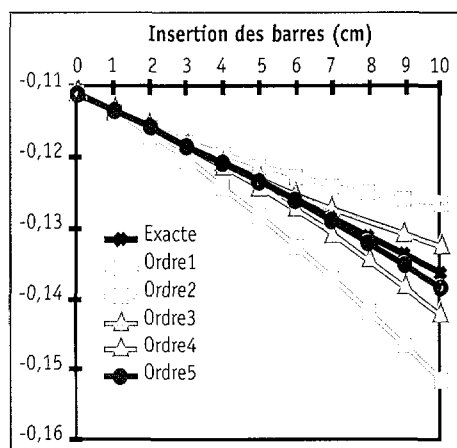


Figure 6 : Axial offset en fonction de l'enfoncement d'une barre

Les contre-réactions, couplage neutronique thermohydraulique

Le calcul précis de la répartition de la population des neutrons et de la densité de puissance à l'intérieur du cœur nécessite la prise en compte de la thermohydraulique du fluide caloporteur et de la thermique du crayon combustible. Ces phénomènes sont calculés par des codes spécifiques associés à chaque discipline et couplés par échange de conditions aux limites.

La thermohydraulique du cœur est traitée par le code FLICA4 couplé à CRONOS2 par l'intermédiaire du logiciel ISAS. Ce couplage permet de contribuer à l'étude des situations accidentelles telles que la rupture d'une tuyauterie vapeur ou l'éjection d'une grappe de contrôle. Pour traiter les situations les plus simples, CRONOS2 possède en outre son propre modèle simplifié de thermohydraulique.

L'évolution isotopique

CRONOS2 dispose d'une méthode spécifique pour traiter l'évolution des concentrations des isotopes. Selon la forme de la chaîne d'évolution, la résolution est analytique si le système est triangulaire et à pas et degré adaptatif dans le cas général.

Pour les études usuelles, il est possible de remplacer l'évolution fine des isotopes par une évolution paramétrique. Dans cette approche, l'hypothèse retenue est que l'évolution des concentrations dans le contexte de l'assemblage en milieu infini est suffisamment proche de l'évolution du même assemblage dans le contexte du cœur complet. Après avoir réévalué les paramètres d'état, les nouvelles concentrations des isotopes sont calculées par interpolation des concentrations contenues dans la bibliothèque issue du code APOLLO2.

ENVIRONNEMENT INFORMATIQUE

CRONOS2 a été un des précurseurs dans la conception moderne de la programmation de par sa structuration modulaire, sa conception fonctionnelle, et son développement en partie réalisé sous assurance qualité. Il a largement contribué à la définition de nombreux outils généraux de la DRN (ESOPE, GIBIANE, et l'atelier logiciel ACROPOLE).

Le développement du code s'effectue sous le contrôle de l'atelier logiciel ACROPOLE. Cet outil assure la gestion des fichiers source avec résolution des conflits. Il permet également le lancement du code par l'intermédiaire d'une interface graphique. Enfin, la souplesse d'utilisation de l'atelier facilite la qualification du code sur la plupart des plates-formes de travail disponibles au CEA.

Le langage de programmation est basé sur ESOPE/FORTRAN77 qui permet de regrouper les informations en objets. Ces objets sont entièrement paramétrables, c'est-à-dire que tout calcul peut se faire sans aucune limitation du nombre de groupes d'énergie, du nombre de points de calcul et de la représentation isotopique des différents milieux. De plus, ils sont typés et nommés pour pouvoir être manipulés par le langage de commande GIBIANE.

Une documentation détaillée du code (environ 1000 pages) est disponible en format Word et une version HTML est accessible sur le réseau interne du CEA.

APPLICATIONS

Nous citons ci-dessous les principaux domaines dans lesquels CRONOS2 a été utilisé.

Les calculs des cœurs de propulsion navale

Le service de propulsion navale a décidé de renouveler sa chaîne de calcul en adoptant APOLLO2 et CRONOS2 au sein d'un nouveau formulaire de calcul NARVAL mis au point par le CEA. Les calculs CRONOS2 sont effectués sur un cœur complet 3D comportant plusieurs millions de mailles avec plusieurs groupes d'énergie et en utilisant



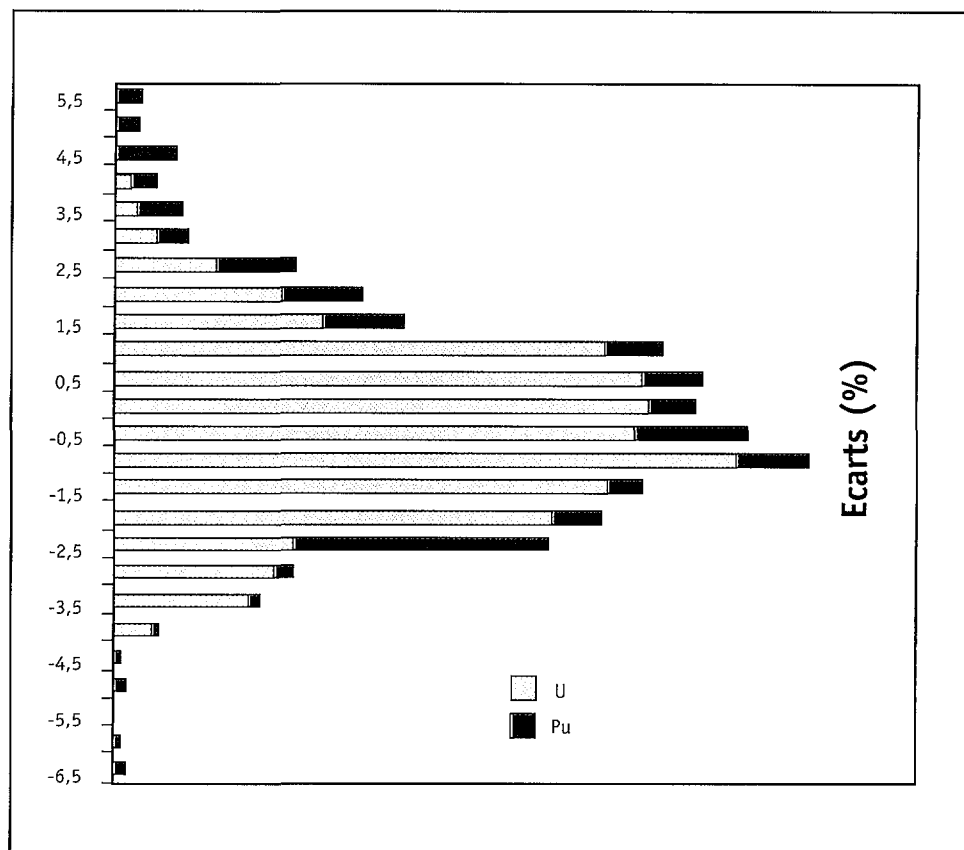


Figure 7 : Statistiques des écarts mesures/calculs sur le cœur St Laurent

une approximation de diffusion en différences finies. Les calculs se font en évolution nécessitant une centaine de pas de calcul.

Les calculs de référence REP

L'étude a porté sur les calculs des activités axiales (taux de fission) du cœur d'un réacteur St Laurent B1. Le cœur de 900 MWe est instrumenté de 50 détecteurs de type chambre à fission positionnés dans le trou d'eau central de l'assemblage (17x17 crayons). Les mesures sont effectuées sur 56 plans répartis sur la hauteur du cœur, ces valeurs sont ensuite intégrées axialement. Les résultats des calculs effectués sans aucun ajustement avec la chaîne SAPHYR sont comparés avec les mesures sur 3 cycles (105,106,107), fournies par EDF. Le calcul CRONOS2 (en diffusion 2 groupes) est effectué en 2 étapes correspondant à la superposition d'un calcul 3D homogène et d'un calcul 2D moyen crayon/crayon. On peut ainsi atteindre la valeur locale de flux au centre des assemblages instrumentés. Pour éliminer la dérive radiale de flux apparaissant en début de cycle, les résultats sont centrés sur un plan moyen. La figure 7 présente les statistiques d'écart sur les activités entre les résultats non ajustés et les mesures. On retrouve une Gaussienne bien centrée et un faible écart type pour les assemblages UOX prouvant la bonne qualité des résultats.

Les réacteurs de recherche

- Le calcul du réacteur ORPHEE. Le code CRONOS1 a été utilisé dans les années 80 pour la conception du réacteur. Actuellement, des calculs CRONOS2 en transport 3D à 12 groupes d'énergie sont effectués dans le cadre de la mise au point d'un nouveau schéma de calcul.

- La phase de conception du futur réacteur Jules Horowitz (RJH). Des calculs en diffusion à 4 groupes d'énergie sont effectués. Quelques cas de référence sont calculés en transport avec une dizaine de groupes.

L'évaluation de filières

- La revue de sûreté des réacteurs à eau bouillante modérés au graphite (RBMK) dans le cadre d'un contrat avec la CEE. Le contrat stipulait que les bibliothèques de sections efficaces devaient être fabriquées à l'aide du code anglais WIMS. A ce titre CRONOS2 a été adapté pour lire ces bibliothèques. Des calculs de cinétique 3D ont été effectués et comparés à ceux obtenus par des codes étrangers. Il a été également utilisé pour modéliser le système de contrôle et sa logique lors d'un transitoire de retrait de barre. Le CEA a été le seul organisme à pouvoir présenter cette modélisation.

○ Des études préliminaires pour la modélisation des réacteurs de type REB avec SAPHYR. Les caractéristiques des calculs sont la forte hétérogénéité du cœur et la présence permanente du fluide en mode diphasique qui nécessite le couplage thermohydraulique avec le code FLICA4.

○ Le programme AIDA-MOX. Au sein de FRAMATOME et en interne CEA, CRONOS2 est utilisé pour les études sur le recyclage du plutonium militaire russe dans les VVER.

La sûreté

○ L'étude d'accidents de réactivité de classe 4 de type rupture de tuyauterie vapeur ou d'éjection de grappes.

○ Le calcul d'un benchmark de cinétique 3D. L'IPSN contribue à ce calcul, initié par la NRC (organisme américain de sûreté), en utilisant la chaîne SAPHYR. Les calculs sont actuellement basés sur une approximation de diffusion cellule par cellule et sont couplés à FLICA4. Il est prévu de poursuivre ces études par des calculs en transport cinétique. Cette nouvelle fonctionnalité est très attendue dans CRONOS2 car il est nécessaire de vérifier si les méthodes de reconstitution de puissance des outils industriels, validées sur des situations de fonctionnement normal, restent valables dans des situations

accidentelles où la variation du niveau de puissance est forte et où les pics de puissance sont très importants. Il n'y a pour le moment aucun logiciel qui puisse servir de référence dans ce domaine.

L'innovation

○ Définition et amélioration du pilotage par les grappes de contrôle. CRONOS2 dispose d'une méthode d'optimisation qui consiste à déterminer la position des grappes de contrôle en vue d'améliorer les performances du réacteur tout en respectant les critères de sûreté. Pour répondre à ces contraintes, une méthode (TOPAZE) a été développée en collaboration avec FRAMATOME. Cette optimisation, dont l'objectif est la minimisation du pic de puissance 2D ou 3D, est réalisée par résolution d'un système linéaire avec contraintes liées aux mouvements des grappes. La fonction coût est linéarisée grâce à l'utilisation de fonctions d'influence calculées par CRONOS. La figure 8 présente la position en fonction du temps, des différents groupes de barres lors d'un cycle entier d'un réacteur 900MWe.

○ L'étude du rapport de modération accrue des REP sans bore soluble.

○ Les études du cycle du combustible, l'incinération des actinides dans les REP.

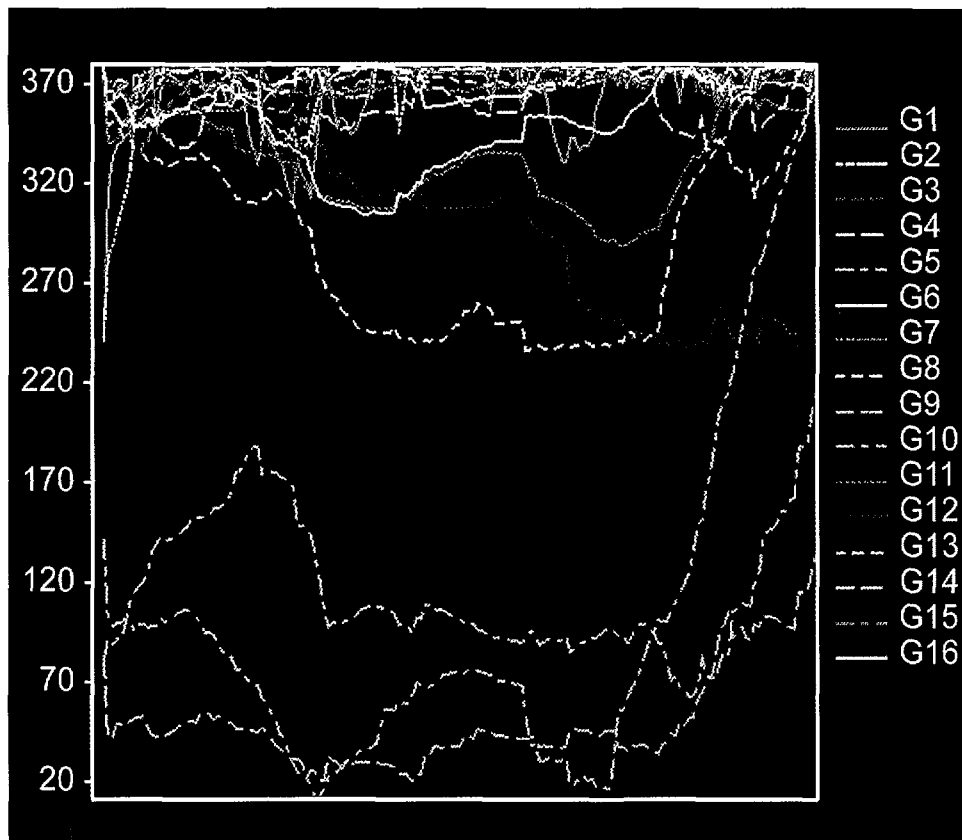


Figure 8 : Position des grappes de contrôle (cm) en fonction du temps (s) sur un cycle de réacteur 900 MWe



○ Les études sur le RMA (Réacteur à Modération Accrue) liées au recyclage du Pu et à l'aval du cycle. Des calculs CRONOS effectués au DRN/DER ont montré que la stabilisation de l'inventaire Pu est possible avec un combustible de type Mix (Plutonium sur support Uranium enrichi).

PERSPECTIVES

Le code CRONOS2 est devenu au cours du temps un outil de référence pour l'étude et la sûreté des réacteurs nucléaires. C'est un outil performant pour le calcul de toutes filières de réacteurs. Il constitue également une aide précieuse pour la compréhension des phénomènes complexes.

Bien que disposant déjà d'un retour d'utilisation important et possédant de très nombreuses fonctionnalités, CRONOS2 et son environnement proche SAPHYR continuent à être développés pour améliorer les performances actuelles ou pour s'enrichir de nouvelles capacités répondant aux besoins toujours renouvelés des utilisateurs en matière de modélisation et de méthodes numériques.

Il est également appelé à servir de référence pour valider les idées de R&D qui conduiront à certaines spécifications de la nouvelle génération d'outils DESCARTES prévue pour remplacer l'actuelle en 2010.

BIBLIOGRAPHIE

The neutron kinetics and thermalhydraulics transient computational module of the NEPTUNE system : CRONOS

KAVENOKY A., LAUTARD J.J.

ANS Topical meeting
Kiamesha Lake, USA
1982

CRONOS, a modular computational system for neutronic core calculations

LAUTARD J.J. et al.

IAEA meeting
Cadarsas, FRANCE
1990

Coarse mesh methods for the transport calculation in the CRONOS reactor code

FEDON-MAGNAUD C., LAUTARD J.J., AKHERRAZ B., WU G.J.

ANS
Portland, USA
1995

Transport calculations with the CRONOS reactor code

FEDON-MAGNAUD C., LAUTARD J.J.

OCDE meeting
Paris, FRANCE
1996

Application of the HGPT methodology of reactor operation problems with a nodal mixed method

BAUDRON A.M., BRUNA A.M., GANDINI A., LAUTARD J.J., MONTI S., PIZZIGATI G.

Ann. Nuclear Energy
Vol. 25, n°17
1998

Les réacteurs de la filière RBMK :

Évaluation des caractéristiques physiques

LENAIN R., ANIEL S., ROHART M., ROYER E., NICOLAS A.

Rapport scientifique annuel DRN 1998
(parution en 1999)

Mixed Dual Methods for Neutronic Reactor Core Calculations in the CRONOS System

LAUTARD J.J., SCHNEIDER D., BAUDRON A.M.

M & C
Madrid, Espagne
Du 27 au 30 septembre 1999

Pin-by-pin Transport Calculation with CRONOS Reactor Code

FEDON-MAGNAUD C.

M & C
Madrid, Espagne
Du 27 au 30 septembre 1999

Méthode de calcul des cœurs des réacteurs à eau bouillante par le système SAPHYR

MARSAULT Ph., NICOLAS A., LENAIN R., RICHEBOIS E., ROYER E., CARUGE D., BLAISE P.

Rapport scientifique annuel DRN
1999

