



POLYTECHNIQUE
MONTRÉAL

La méthode d'expansion nodale et le code BRISINGR

A. Hébert

2022/04/01

Table des matières

Introduction
Techniques
d'équivalence
Le code BRISINGR
La méthode
d'expansion nodale
en 1D
La méthode
d'expansion nodale
en 3D
Les fuites transverses
quadratiques
Installation
Données d'entrée
Cas
prob5p3_nem.x2m
Cas
iaea3d_full_nem
Cas
SmallCore_BaffRef1
Cas
UOX_5x5_TG6_nem
Ressources

Introduction

Techniques d'équivalence

Le code BRISINGR

La méthode d'expansion nodale en 1D

La méthode d'expansion nodale en 3D

Les fuites transverses quadratiques

Installation

Données d'entrée

Cas prob5p3_nem.x2m

Cas iaea3d_full_nem

Cas SmallCore_BaffRef1

Cas UOX_5x5_TG6_nem

Ressources

Introduction

Introduction

Techniques
d'équivalence

Le code BRISINGR

La méthode
d'expansion nodale
en 1D

La méthode
d'expansion nodale
en 3D

Les fuites transverses
quadratiques

Installation

Données d'entrée

Cas

prob5p3_nem.x2m

Cas

iaea3d_full_nem

Cas

SmallCore_BaffRef1

Cas

UOX_5x5_TG6_nem

Ressources

Deux familles de méthodes numériques permettent de résoudre l'équation de diffusion neutronique sur des coeurs 3D:

1. Méthodes nodales (NEM/ANM)

- Méthodes répandues dans l'industrie pour les calculs de production.
- Intégration de l'équation de diffusion 2D/3D dans les directions transverses pour produire une équation 1D.
- Issues des travaux de Kord Smith (MIT). Deux variantes:
 - ◆ **Méthode analytique nodale (ANM)**: Basée sur une transformation linéaire par noeud. Analytique en 1D.
 - ◆ **Méthode d'expansion nodale (NEM)**: Basée sur la méthode des résidus pondérés.
- La formulation orthodoxe est basée sur trois techniques numériques spécifiques:
 - ◆ Approximation des **fuites transverses quadratiques**
 - ◆ Utilisation des **facteurs de discontinuité**
 - ◆ Stratégie itérative basée sur la **procédure d'ajustement nodale**.
- Plusieurs implémentations orthodoxes:
 - ◆ solveur QPANDA de la plateforme SIMULATE (Studsvik of America)
 - ◆ système PARCS (Perdue University et University of Michigan)
 - ◆ system NELTLE (North Carolina State University et University of Tennessee)
 - ◆ solveur NEMO (G. H. Hobson, Babcock & Wilcox)
 - ◆ solveur SMART de la plateforme SCIENCE (Framatome)
 - ◆ solveur ARTHEMIS de la plateforme ARCADIA (Framatome)
 - ◆ des implémentations existent chez Westinghouse, CGN (code COCO) et SNPTC.

Introduction

Techniques
d'équivalence

Le code BRISINGR

La méthode
d'expansion nodale
en 1D

La méthode
d'expansion nodale
en 3D

Les fuites transverses
quadratiques

Installation

Données d'entrée
Cas

prob5p3_nem.x2m
Cas

iaea3d_full_nem
Cas

SmallCore_BaffRef1
Cas

UOX_5x5_TG6_nem

Ressources

2. Méthodes d'éléments finis

- Méthode d'analyse numérique rigoureuse
- Quelques implémentations efficaces:
 - ◆ **Méthode de collocation nodale**: Basée sur la méthode des résidus pondérés (1987).
 - solveur TRIVAC de la plateforme DONJON (Polytechnique Montréal)
 - solveur de Universitat Politècnica de València
 - ◆ **Méthode de Raviart-Thomas**: Formulation flux-courant (1987)
 - solveur MINOS de la plateforme CRONOS (CEA/SERMA)
 - solveur TRIVAC de la plateforme DONJON (Polytechnique Montréal)
 - solveur COCAGNE de la plateforme ODYSSEE (EDF-R&D/Framatome)
 - solveur MINOS2 de la plateforme APOLLO3 (CEA/SERMA)
- Compatible avec l'itération Krylov de type Arnoldi pour l'itération externe (K_{eff}).
- La discrétisation d'un opérateur auto-adjoint (équation de diffusion mono-cinétique) produit un système matriciel symétrique.

Introduction

Techniques
d'équivalence

Le code BRISINGR

La méthode
d'expansion nodale
en 1D

La méthode
d'expansion nodale
en 3D

Les fuites transverses
quadratiques

Installation

Données d'entrée

Cas

prob5p3_nem.x2m

Cas

iaea3d_full_nem

Cas

SmallCore_BaffRef1

Cas

UOX_5x5_TG6_nem

Ressources

1. La technique SPH

- La technique d'équivalence de **superhomogénéisation** (SPH) est une procédure de correction basée sur des **facteurs d'équivalence**.
- Ces facteurs d'équivalence sont calculés de telle manière qu'un **macro-calcul** effectué sur une macro géométrie et une discrétisation multigroupe grossière (ou structure de **macro-groupes**) avec un opérateur de transport simplifié conduit aux mêmes taux de fuites et de réactions qu'un **calcul de référence** effectué sans homogénéisation et avec une discrétisation multigroupe fine.
- En supposant que $\mathbf{r} \in V_i$, où V_i est un **macro-volume** et g est un **macro-groupe** :

- ◆ Les coefficients de diffusion et les sections efficaces P_0 (y compris la section efficace totale) sont multipliés par le facteur SPH $\mu_{i,g}$:

$$\begin{aligned} \tilde{D}_g(\mathbf{r}) &= \mu_{i,g} D_g(\mathbf{r}), & \tilde{\Sigma}_g(\mathbf{r}) &= \mu_{i,g} \Sigma_g(\mathbf{r}), \\ \text{and } \tilde{\nu}\tilde{\Sigma}_{f,g}(\mathbf{r}) &= \mu_{i,g} \nu\Sigma_{f,g}(\mathbf{r}), \end{aligned} \quad (1)$$

- ◆ les termes de la matrice de diffusion $\Sigma_{s0,g \leftarrow h}(\mathbf{r})$ sont multipliés par $\mu_{i,h}$:

$$\tilde{\Sigma}_{s0,g \leftarrow h}(\mathbf{r}) = \mu_{i,h} \Sigma_{s0,g \leftarrow h}(\mathbf{r}), \quad (2)$$

- ◆ les flux sont divisés par $\mu_{i,g}$:

$$\tilde{\phi}_g(\mathbf{r}) = \frac{\phi_g(\mathbf{r})}{\mu_{i,g}}. \quad (3)$$

Introduction

Techniques
d'équivalence

Le code BRISINGR

La méthode
d'expansion nodale
en 1D

La méthode
d'expansion nodale
en 3D

Les fuites transverses
quadratiques

Installation

Données d'entrée

Cas
prob5p3_nem.x2m

Cas
iaea3d_full_nem

Cas
SmallCore_BaffRef1

Cas
UOX_5x5_TG6_nem

Ressources

1. La technique SPH (suite)

- Les facteurs SPH sont obtenus comme la solution d'un système **non-linéaire** (en utilisant un point fixe ou une approche newtonienne).

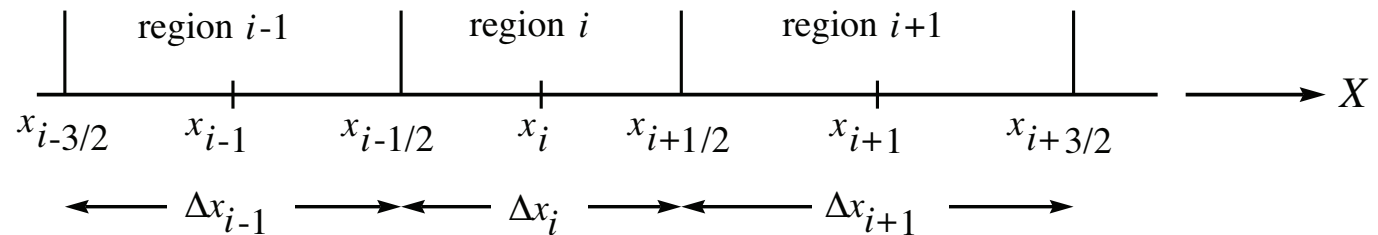
2. La technique des facteurs de discontinuité

- Les sections efficaces ne sont pas modifiées
- Des facteurs de discontinuité de flux sont imposés aux interfaces du maillage :

$$f_{i-1}^+ \phi(x_{i-1/2}^-) = f_i^- \phi(x_{i-1/2}^+) \quad (4)$$

et

$$f_i^+ \phi(x_{i+1/2}^-) = f_{i+1}^- \phi(x_{i+1/2}^+) \quad (5)$$



Le code BRISINGR

Introduction
Techniques
d'équivalence

Le code BRISINGR

La méthode
d'expansion nodale
en 1D

La méthode
d'expansion nodale
en 3D

Les fuites transverses
quadratiques

Installation

Données d'entrée

Cas
prob5p3_nem.x2m

Cas
iaea3d_full_nem

Cas
SmallCore_BaffRef1

Cas
UOX_5x5_TG6_nem

Ressources

Le code BRISINGR est une implémentation de la [méthode d'expansion nodale](#) (NEM) fonctionnant dans l'environnement logiciel de GANLIB5. Il offre ce type de discrétisation dans un environnement permettant les travaux de R&D et la conception de [schémas de calculs](#). Le code BRISINGR a été écrit par Matteo Gamarino dans le cadre d'un projet de Ph. D. financé par Framatome:

Modal methods for rehomogenization of nodal cross sections in nuclear reactor core analysis

Le code BRISINGR est similaire aux solveurs QPANDA, PARCS, NEMO, SMART et ARTHEMIS. L'implémentation réalisée par Matteo Gamarino est basée sur la note théorique de NESTLE:

NESTLE: Few-group neutron diffusion equation solver utilizing the NEM for eigenvalue, adjoint, fixed-source ...

Le code BRISINGR

Introduction
Techniques
d'équivalence

Le code BRISINGR

La méthode
d'expansion nodale
en 1D
La méthode
d'expansion nodale
en 3D
Les fuites transverses
quadratiques

Installation

Données d'entrée

Cas
prob5p3_nem.x2m

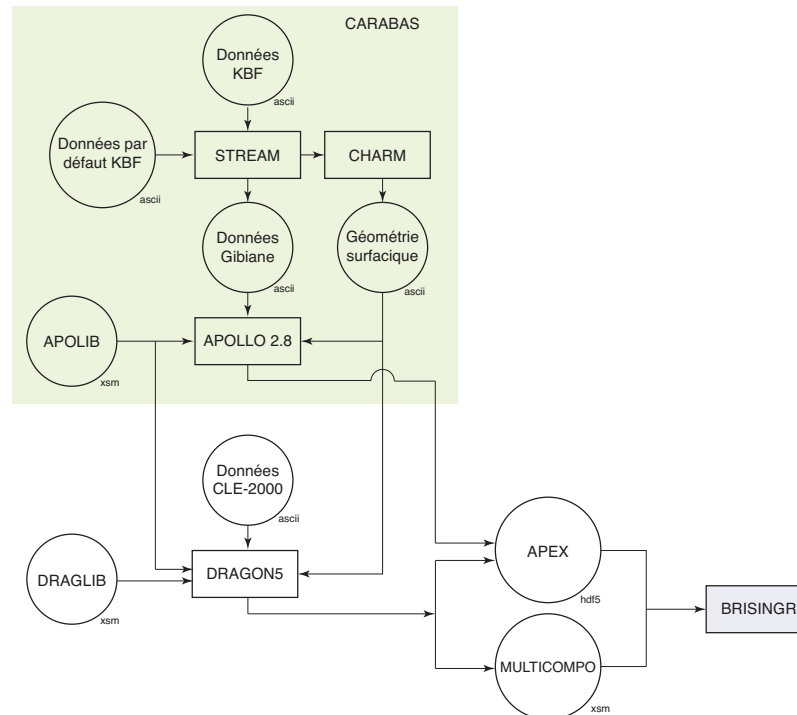
Cas
iaea3d_full_nem

Cas
SmallCore_BaffRef1

Cas
UOX_5x5_TG6_nem

Ressources

- BRISINGR permet une utilisation **Open Source** avec DRAGON5 ou industrielle avec un couplage **CARABAS**, une composante de la nouvelle plateforme **ODYSSEE** (Framatome/EDF).
- BRISINGR est intégré à l'environnement GANLIB5 qui offre un support natif des fichiers **HDF5** et une capacité de scriptage.
- L'utilisation industrielle de BRISINGR intègre trois composantes de CARABAS:
CHARM: Générateur de géométrie surfacique pour APOLLO2
STREAM: Générateur de fichier Gibiane pour APOLLO2 et lancement de **CHARM**
APOLLO 2.8: Code de réseau



La méthode d'expansion nodale en 1D

Introduction
Techniques
d'équivalence
Le code BRISINGR
La méthode
d'expansion nodale
en 1D

La méthode
d'expansion nodale
en 3D
Les fuites transverses
quadratiques
Installation
Données d'entrée
Cas
prob5p3_nem.x2m
Cas
iaea3d_full_nem
Cas
SmallCore_BaffRef1
Cas
UOX_5x5_TG6_nem
Ressources

Nous considérons une géométrie cartésienne 1D constitué de l'assemblage de plusieurs plaques infinies. La configuration hétérogène 1D correspond au cas où le flux neutronique est fonction d'une unique variable spatiale. Dans ce cas, les propriétés nucléaires du réacteur ne sont fonction que de la variable indépendante x . L'introduction d'un terme de fuite transverse $L_g^y(x) + L_g^z(x)$ est nécessaire pour généraliser le NEM aux cas 2D et 3D. L'équation (5.12) de [Applied Reactor Physics](#) se simplifie en

$$\frac{d}{dx} J_g(x) + \Sigma_{r,g}(x) \phi_g(x) + L_g^y(x) + L_g^z(x) = Q_g^\diamond(x) \quad (6)$$

avec le courant défini comme

$$J_g(x) = -D_g(x) \frac{d\phi_g}{dx} \quad (7)$$

et la source définie comme

$$Q_g^\diamond(x) = \sum_{\substack{h=1 \\ h \neq g}}^G \Sigma_{s,g \leftarrow h}(x) \phi_h(x) + \frac{\chi_g(x)}{K_{\text{eff}}} \sum_{h=1}^G \nu \Sigma_{f,h}(x) \phi_h(x). \quad (8)$$

Les conditions aux limites sont soit une condition de flux nul ($\phi_g(x) = 0$) soit une condition d'albédo qui s'écrit

$$\mp D_g(x) \frac{d\phi_g}{dx} + \frac{1}{2} \frac{1 - \beta_g(x)}{1 + \beta_g(x)} \phi_g(x) = 0 \quad (9)$$

où le signe “-” or “+” est utilisé pour une frontière gauche ($x = x_{\frac{1}{2}}$) ou droite ($x = x_{I+\frac{1}{2}}$), respectivement.

La méthode d'expansion nodale en 1D

Chaque plaque est supposée homogène, de sorte que les propriétés nucléaires correspondantes $D_g(x)$, $\Sigma_{r,g}(x)$, $\Sigma_{s,g \leftarrow h}(x)$, $\chi_g(x)$ et $\nu\Sigma_{f,h}(x)$ sont continues par morceaux.

Comme le montre la Fig. 1, le domaine du réacteur est divisé en noeuds I d'indices $1 \leq i \leq I$, de telle sorte que les propriétés nucléaires dans le noeud i soient constantes et égales à $D_{i,g}$, $\Sigma_{r,i,g}$, $\Sigma_{s,i,g \leftarrow h}$, $\chi_{i,g}$ et $\nu\Sigma_{f,i,h}$.

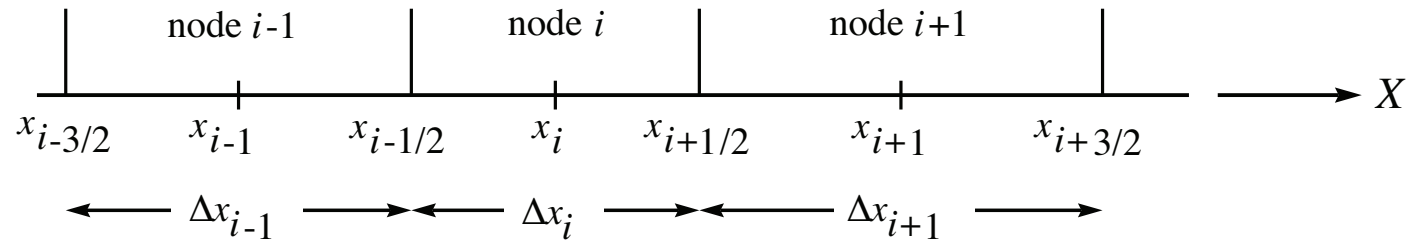


Figure 1: Discrétisation spatiale.

Introduction
Techniques
d'équivalence

Le code BRISINGR
La méthode
d'expansion nodale
en 1D

La méthode
d'expansion nodale
en 3D

Les fuites transverses
quadratiques

Installation

Données d'entrée

Cas

prob5p3_nem.x2m

Cas

iaea3d_full_nem

Cas

SmallCore_BaffRef1

Cas

UOX_5x5_TG6_nem

Ressources

La méthode d'expansion nodale en 1D

Introduction
Techniques
d'équivalence

Le code BRISINGR

La méthode
d'expansion nodale
en 1D

La méthode
d'expansion nodale
en 3D

Les fuites transverses
quadratiques

Installation

Données d'entrée

Cas
prob5p3_nem.x2m

Cas
iaea3d_full_nem

Cas
SmallCore_BaffRef1

Cas
UOX_5x5_TG6_nem

Ressources

La méthode d'expansion nodale est basée sur un développement spatial du flux $\phi_{i,g}(x)$ de la forme

$$\phi_{i,g}(u) = \sum_{\ell=0}^4 a_{\ell,i,g} p_{\ell}(u) \quad (10)$$

où les fonction de base sont définies par

$$\begin{aligned} p_0(u) &= 1 \\ p_1(u) &= u \\ p_2(u) &= 3u^2 - \frac{1}{4} \\ p_3(u) &= \left(u^2 - \frac{1}{4}\right)u \\ p_4(u) &= \left(u^2 - \frac{1}{4}\right)\left(u^2 - \frac{1}{20}\right) \end{aligned} \quad (11)$$

où u est la variable réduite, définie par

$$u = \frac{x}{\Delta x_i} - \frac{1}{2}. \quad (12)$$

La méthode d'expansion nodale en 1D

Introduction
Techniques
d'équivalence

Le code BRISINGR

La méthode
d'expansion nodale
en 1D

La méthode
d'expansion nodale
en 3D

Les fuites transverses
quadratiques

Installation

Données d'entrée
Cas

prob5p3_nem.x2m

Cas

iaea3d_full_nem

Cas

SmallCore_BaffRef1

Cas

UOX_5x5_TG6_nem

Ressources

Il est possible de remplacer les fonctions de base 3 et 4 par des expressions hyperboliques, plus proches d'une solution analytique:

$$p_3(u) = \sinh(\eta u)$$

$$p_4(u) = \cosh(\eta u) - \int_{-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}} du \cosh(\eta u) = \cosh(\eta u) - \frac{2}{\eta} \sinh(\eta/2) \quad (13)$$

où

$$\eta_{i,g} = \Delta x_i \sqrt{\frac{\Sigma_{r,i,g}}{D_{i,g}}} \quad (14)$$

Les fonctions de base avec $\ell > 0$ ont des moyennes nulles. Le coefficient $a_{0,i,g}$ est donc égal au flux moyen $\bar{\phi}_{i,g}$.

L'équation (6) peut être écrite en fonction de la variable réduite $-\frac{1}{2} < u < \frac{1}{2}$. Le développement (6) étant une approximation de la solution réelle, son application à l'opérateur de diffusion, conduit à une fonction de u appelée reste ou résidu:

$$R_{i,g}(u) = -\frac{D_{i,g}}{\Delta x_i^2} \frac{d^2}{du^2} \phi_{i,g}(u) + \Sigma_{r,i,g} \phi_{i,g}(u) + L_{i,g}^{yz}(u) - Q_{i,g}^\diamond(u) = 0 \quad (15)$$

où $-\frac{1}{2} < u < \frac{1}{2}$ et où $L_{i,g}^{yz}(u)$ est le terme de fuite transverse, utilisé dans les cas 2D et 3D, supposé parabolique:

$$L_{i,g}^{yz}(u) = \bar{L}_{i,g}^{yz} + \rho_{i,g,1}^{yz} p_1(u) + \rho_{i,g,2}^{yz} p_2(u). \quad (16)$$

La méthode d'expansion nodale en 1D

Introduction
Techniques
d'équivalence

Le code BRISINGR

La méthode
d'expansion nodale
en 1D

La méthode
d'expansion nodale
en 3D

Les fuites transverses
quadratiques

Installation

Données d'entrée

Cas

prob5p3_nem.x2m

Cas

iaea3d_full_nem

Cas

SmallCore_BaffRef1

Cas

UOX_5x5_TG6_nem

Ressources

La procédure des résidus pondérés consiste à écrire

$$\int_{-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}} du p_\ell(u) R_{i,g}(u) = 0 \quad \text{où } \ell = 0, 1, \text{ ou } 2 \text{ et } 1 \leq g \leq G. \quad (17)$$

Nous remplaçons (6) dans (15). Nous multiplions cette expression par $p_0(u)$ à $p_2(u)$ et intégrons sur le noeud i . On obtient un système dont les inconnues sont les coefficients d'expansion nodaux. Les trois premiers moments issus de l'Eq.(17) s'écrivent

$$-\frac{2D_{i,g}}{\Delta x_i^2} \left(3a_{2,i,g} + \frac{a_{4,i,g}}{5} \right) + \Sigma_{r,i,g} a_{0,i,g} + \bar{L}_{i,g}^{yz} = \sum_{\substack{h=1 \\ h \neq g}}^G \Sigma_{s,i,g \leftarrow h} a_{0,i,h} + \frac{\chi_{i,g}}{K_{\text{eff}}} \sum_{h=1}^G v \Sigma_{f,i,h} a_{0,i,h}, \quad (18)$$

$$-\frac{D_{i,g}}{2\Delta x_i^2} a_{3,i,g} + \frac{\Sigma_{r,i,g}}{12} \left(a_{1,i,g} - \frac{a_{3,i,g}}{10} \right) + \frac{\rho_{i,g,1}^{yz}}{12} = \sum_{\substack{h=1 \\ h \neq g}}^G \frac{\Sigma_{s,i,g \leftarrow h}}{12} \left(a_{1,i,h} - \frac{a_{3,i,h}}{10} \right) + \frac{\chi_{i,g}}{K_{\text{eff}}} \sum_{h=1}^G \frac{v \Sigma_{f,i,h}}{12} \left(a_{1,i,h} - \frac{a_{3,i,h}}{10} \right), \quad (19)$$

et

$$-\frac{D_{i,g}}{5\Delta x_i^2} a_{4,i,g} + \frac{\Sigma_{r,i,g}}{20} \left(a_{2,i,g} - \frac{a_{4,i,g}}{35} \right) + \frac{\rho_{i,g,2}^{yz}}{20} = \sum_{\substack{h=1 \\ h \neq g}}^G \frac{\Sigma_{s,i,g \leftarrow h}}{20} \left(a_{2,i,h} - \frac{a_{4,i,h}}{35} \right) + \frac{\chi_{i,g}}{K_{\text{eff}}} \sum_{h=1}^G \frac{v \Sigma_{f,i,h}}{20} \left(a_{2,i,h} - \frac{a_{4,i,h}}{35} \right). \quad (20)$$

La méthode d'expansion nodale en 1D

Introduction
Techniques
d'équivalence

Le code BRISINGR

La méthode
d'expansion nodale
en 1D

La méthode
d'expansion nodale
en 3D

Les fuites transverses
quadratiques

Installation

Données d'entrée

Cas

prob5p3_nem.x2m

Cas

iaea3d_full_nem

Cas

SmallCore_BaffRef1

Cas

UOX_5x5_TG6_nem

Ressources

Les deux équations manquantes sont des conditions de continuité (flux ou courant net) ou des conditions frontières. Dans le cas où le noeud i est interne au domaine, les relations de continuité de flux et de courant à la surface $x_{i+\frac{1}{2}}$ correspondant à une base de développement polynomiale pure sont

$$f_{i,g}^{x+} \left(a_{0,i,g} + \frac{a_{1,i,g}}{2} + \frac{a_{2,i,g}}{2} \right) = f_{i+1,g}^{x-} \left(a_{0,i+1,g} - \frac{a_{1,i+1,g}}{2} + \frac{a_{2,i+1,g}}{2} \right) \quad (21)$$

et

$$\frac{D_{i,g}}{\Delta x_i} \left(a_{1,i,g} + 3a_{2,i,g} + \frac{a_{3,i,g}}{2} + \frac{a_{4,i,g}}{5} \right) = \frac{D_{i+1,g}}{\Delta x_{i+1}} \left(a_{1,i+1,g} - 3a_{2,i+1,g} + \frac{a_{3,i+1,g}}{2} - \frac{a_{4,i+1,g}}{5} \right) \quad (22)$$

où $f_{i,g}^{x+}$ et $f_{i+1,g}^{x-}$ sont les **facteurs de discontinuité** du flux imposés sur la surface $x_{i+\frac{1}{2}}$.

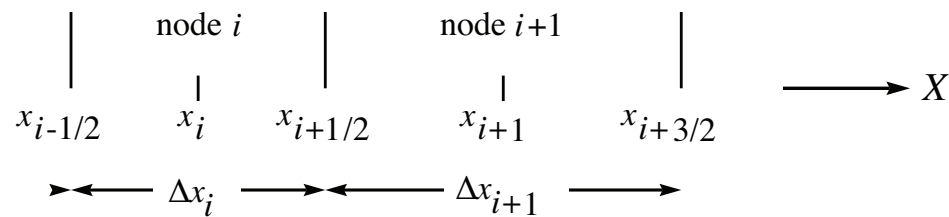


Figure 2: Noeuds i et $i + 1$.

Les autres relations nodales sont données dans la note IGE380:

A. Hébert, The Brisingr theory and user guide, IGE380, 2022.

La méthode d'expansion nodale en 3D

Introduction
Techniques
d'équivalence
Le code BRISINGR
La méthode
d'expansion nodale
en 1D

La méthode
d'expansion nodale
en 3D

Les fuites transverses
quadratiques

Installation

Données d'entrée

Cas

prob5p3_nem.x2m

Cas

iaea3d_full_nem

Cas

SmallCore_BaffRef1

Cas

UOX_5x5_TG6_nem

Ressources

La méthode d'expansion nodale en 2D et 3D est basée sur une formulation **coarse mesh finite difference** (CMFD) de la forme

$$\begin{aligned} & \Delta x_j \Delta x_k \left(J_{i+\frac{1}{2},j,k,g} - J_{i-\frac{1}{2},j,k,g} \right) + \Delta x_i \Delta x_k \left(J_{i,j+\frac{1}{2},k,g} - J_{i,j-\frac{1}{2},k,g} \right) \\ & + \Delta x_i \Delta x_j \left(J_{i,j,k+\frac{1}{2},g} - J_{i,j,k-\frac{1}{2},g} \right) + V_{i,j,k} \Sigma_{r,i,j,k,g} \bar{\phi}_{i,j,k,g} = V_{i,j,k} \bar{Q}_{i,j,k,g}^\diamond \end{aligned} \quad (23)$$

où $V_{i,j,k} = \Delta x_i \Delta x_j \Delta x_k$.

Les courants nets sur les faces des noeuds sont séparés en deux parties représentant la composante classique de différences finies ou **mesh centered finite difference term** (MCFD) et un terme d'écart avec la solution nodale.

Si l'abscisse $x_{i+\frac{1}{2}}$ est située à l'intérieur du domaine, on a

$$J_{i+\frac{1}{2},j,k,g} = -D_{i,j,k,g}^{x+} \left(\bar{\phi}_{i+1,j,k,g} - \bar{\phi}_{i,j,k,g} \right) - \tilde{D}_{i,j,k,g}^{x+} \left(\bar{\phi}_{i+1,j,k,g} + \bar{\phi}_{i,j,k,g} \right) \quad (24)$$

où $\tilde{D}_{i,j,k,g}^{x+}$ est le **coefficient de drift** (non-dimensionnel) qui sera obtenu par la **procédure d'ajustement nodale** et où $D_{i,j,k,g}^{x+}$ est le terme MCFD (non-dimensionnel) qui s'écrit

$$D_{i,j,k,g}^{x+} = \frac{2D_{i,j,k,g} D_{i+1,j,k,g}}{D_{i,j,k,g} \Delta x_{i+1} + D_{i+1,j,k,g} \Delta x_i} \quad (25)$$

La méthode d'expansion nodale en 3D

Introduction
Techniques
d'équivalence

Le code BRISINGR
La méthode
d'expansion nodale
en 1D

La méthode
d'expansion nodale
en 3D

Les fuites transverses
quadratiques

Installation

Données d'entrée

Cas

prob5p3_nem.x2m

Cas

iaea3d_full_nem

Cas

SmallCore_BaffRef1

Cas

UOX_5x5_TG6_nem

Ressources

L'algorithme NEM en 3D est le suivant:

1. Solution des équations CMFD sur l'ensemble du domaine 3D pour obtenir les flux moyens nodaux $\bar{\phi}_{i,j,k,g}$ et les courants d'interface moyens nodaux $J_{i\mp\frac{1}{2},j,k,g}$

$$J_{i,j\mp\frac{1}{2},k,g} \text{ et } J_{i,j,k\mp\frac{1}{2},g}$$

- Il s'agit d'un problème multigroupe aux valeurs propres semblable à celui obtenu avec la méthode **mesh centered finite difference** (MCFD).
- Comme les coefficients de drift changent pendant l'itération, une **accélération de Wielandt** des itérations externes est effectuée.
- Les systèmes linéaires sont résolus par algèbre matriciels creuse, à l'aide du package OpenSource Sigma:

D. Shapero, Sigma GitHub web site.

2. Calcul des fuites transverses quadratiques $\bar{L}_{i,j,k,g}^{xy}$, $\bar{L}_{i,j,k,g}^{xz}$ et $\bar{L}_{i,j,k,g}^{yz}$.
3. Exécution de la **procédure d'ajustement nodale** illustrée à la diapositive suivante.
 - Il s'agit de résoudre une succession de problèmes multigroupes linéaires à **un node** (pour les noeuds aux frontières) ou à **deux nodes** (pour les noeuds internes au domaine) afin obtenir les coefficients d'expansion nodaux $a_{\ell,i,j,k,g}$.
4. Les coefficients $a_{\ell,i,j,k,g}$ sont ensuite utilisés pour réévaluer les flux neutronique discontinus $\phi_{i\pm\frac{1}{2},j,k,g}^{\mp}$, $\phi_{i,j\pm\frac{1}{2},k,g}^{\mp}$ et $\phi_{i,j,k\pm\frac{1}{2},g}^{\mp}$ et les courants nets continus $J_{i\pm\frac{1}{2},j,k,g}$, $J_{i,j\pm\frac{1}{2},k,g}$ et $J_{i,j,k\pm\frac{1}{2},g}$ aux interfaces.
5. Calcul des **coefficient de drift** $\tilde{D}_{i,j,k,g}^{x\mp}$, $\tilde{D}_{i,j,k,g}^{y\mp}$ et $\tilde{D}_{i,j,k,g}^{z\mp}$.

Les fuites transverses quadratiques

Introduction
Techniques
d'équivalence
Le code BRISINGR
La méthode
d'expansion nodale
en 1D
La méthode
d'expansion nodale
en 3D

Les fuites transverses
quadratiques

Installation
Données d'entrée
Cas
prob5p3_nem.x2m
Cas
iaea3d_full_nem
Cas
SmallCore_BaffRef1
Cas
UOX_5x5_TG6_nem
Ressources

La dépendance spatiale des fuite transverse $L_g^y(x)$ et $L_g^z(x)$ est inconnue, leur forme est approchée par un polynôme quadratique similaire à l'Éq. (16).

$$L_{i,g}^{yz}(u) = \bar{L}_{i,g}^{yz} + \rho_{i,g,1}^{yz} p_1(u) + \rho_{i,g,2}^{yz} p_2(u) \quad (26)$$

L'ajustement des coefficients $\rho_{i,g,1}^{yz}$ et $\rho_{i,g,2}^{yz}$ est fait de manière à préserver les fuites moyennes des nœuds $i-1$, i et $i+1$.

Les trois premières fonctions de base $p_\ell(u)$ sont orthogonales sur l'intervalle $-\frac{1}{2} \leq u \leq \frac{1}{2}$, de sorte que les coefficients de fuite quadratiques $\rho_{i,g,1}^{yz}$ et $\rho_{i,g,2}^{yz}$ sont:

$$\begin{aligned} \langle L_{i,g}^{yz}(u) p_1(u) \rangle &= \rho_{i,g,1}^{yz} \langle p_1(u) p_1(u) \rangle = \frac{\rho_{i,g,1}^{yz}}{12} \\ \langle L_{i,g}^{yz}(u) p_2(u) \rangle &= \rho_{i,g,2}^{yz} \langle p_2(u) p_2(u) \rangle = \frac{\rho_{i,g,2}^{yz}}{20}. \end{aligned} \quad (27)$$

Le calcul des moyennes $\langle L_{i,g}^{yz}(u) p_1(u) \rangle$ peut s'effectuer par un logiciel de calcul symbolique tel que Matlab symbolique ou Mathematica.

Les fuites transverses quadratiques

Introduction
Techniques
d'équivalence

Le code BRISINGR
La méthode
d'expansion nodale
en 1D
La méthode
d'expansion nodale
en 3D

Les fuites transverses
quadratiques

Installation

Données d'entrée

Cas
prob5p3_nem.x2m

Cas
iaea3d_full_nem

Cas
SmallCore_BaffRef1

Cas
UOX_5x5_TG6_nem

Ressources

Calcul des moyennes $\langle L_{i,g}^y(u) p_\ell(u) \rangle$

- On obtient d'abord le polynôme quadratique $\mathcal{L}_{i,g}^y(x) = b_0 + b_1 x + b_2 x^2$ pour représenter les fuites transverses en Y . Les coefficients $\rho_{i,g,\ell}^y$ sont obtenus de sorte que les valeurs de fuite $\bar{L}_{i-1,g}^y$, $\bar{L}_{i,g}^y$ et $\bar{L}_{i+1,g}^y$ sont conservés :

$$\begin{aligned} \frac{1}{\Delta x_{i-1}} \int_{x_{i-\frac{3}{2}}}^{x_{i-\frac{1}{2}}} dx L_g^y(x) &= \bar{L}_{i-1,g}^y & \frac{1}{\Delta x_i} \int_{x_{i-\frac{1}{2}}}^{x_{i+\frac{1}{2}}} dx L_g^y(x) &= \bar{L}_{i,g}^y \\ \frac{1}{\Delta x_{i+1}} \int_{x_{i+\frac{1}{2}}}^{x_{i+\frac{3}{2}}} dx L_g^y(x) &= \bar{L}_{i+1,g}^y \end{aligned} \quad (28)$$

où $\bar{L}_{i,g}^y$ est la fuite transverse moyenne nodale récupérée à partir de l'itération d'ajustement nodale précédente.

- Ensuite, un logiciel symbolique peut être utilisé pour calculer

$$\langle L_{i,g}^y(u) p_\ell(u) \rangle = \int_{-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}} du \mathcal{L}_{i,g}^y(\Delta x_i u + \Delta x_i / 2) p_\ell(u) \quad (29)$$

en fonction de $\bar{L}_{i-1,g}^y$, $\bar{L}_{i,g}^y$ et $\bar{L}_{i+1,g}^y$.

- Finalement, on pose

$$\rho_{i,g,1}^y = 12 \langle L_{i,g}^y(u) p_1(u) \rangle \quad \text{et} \quad \rho_{i,g,2}^y = 20 \langle L_{i,g}^y(u) p_2(u) \rangle. \quad (30)$$

Les fuites transverses quadratiques

Introduction
Techniques
d'équivalence

Le code BRISINGR
La méthode
d'expansion nodale
en 1D
La méthode
d'expansion nodale
en 3D

**Les fuites transverses
quadratiques**

Installation
Données d'entrée
Cas
prob5p3_nem.x2m
Cas
iaea3d_full_nem
Cas
SmallCore_BaffRef1
Cas
UOX_5x5_TG6_nem
Ressources

On obtiens

$$\rho_{i,g,1} = \frac{\Delta x_i}{g_i} \left[\left(\bar{L}_{i+1,g} - \bar{L}_{i,g} \right) (\Delta x_i + 2\Delta x_{i-1}) (\Delta x_i + \Delta x_{i-1}) \right. \\ \left. + \left(\bar{L}_{i,g} - \bar{L}_{i-1,g} \right) (\Delta x_i + 2\Delta x_{i+1}) (\Delta x_i + \Delta x_{i+1}) \right] \quad (31)$$

$$\rho_{i,g,2} = \frac{\Delta x_i^2}{g_i} \left[\left(\bar{L}_{i+1,g} - \bar{L}_{i,g} \right) (\Delta x_i + \Delta x_{i-1}) + \left(\bar{L}_{i-1,g} - \bar{L}_{i,g} \right) (\Delta x_i + \Delta x_{i+1}) \right] \quad (32)$$

avec

$$g_i = (\Delta x_i + \Delta x_{i+1}) (\Delta x_i + \Delta x_{i-1}) (\Delta x_{i-1} + \Delta x_i + \Delta x_{i+1}) \quad (33)$$

où $1 < i < I$. Dans le cas particulier où $i = 1$ ou $i = I$, on peut utiliser une approximation de fuite linéaire sur deux nœuds adjacents, ou rester avec une approximation de fuite quadratique, en utilisant les nœuds $1 \leq i \leq 3$ ou $I - 2 \leq i \leq I$.

La méthode d'expansion nodale en 3D

La procédure d'ajustement nodale à l'étape 3 est répétée selon chaque axe du domaine. Ici, on effectue une séquence de calculs de source fixe unidimensionnels à un et deux noeuds selon l'axe X pour obtenir les coefficients d'expansion nodaux $a_{\ell,i,g}$ en fonction des flux moyennés aux noeuds $\bar{\phi}_{i,g}$, sources $\bar{Q}_{i,g}$ et facteurs de discontinuité $f_{i,g}^{\pm}$.

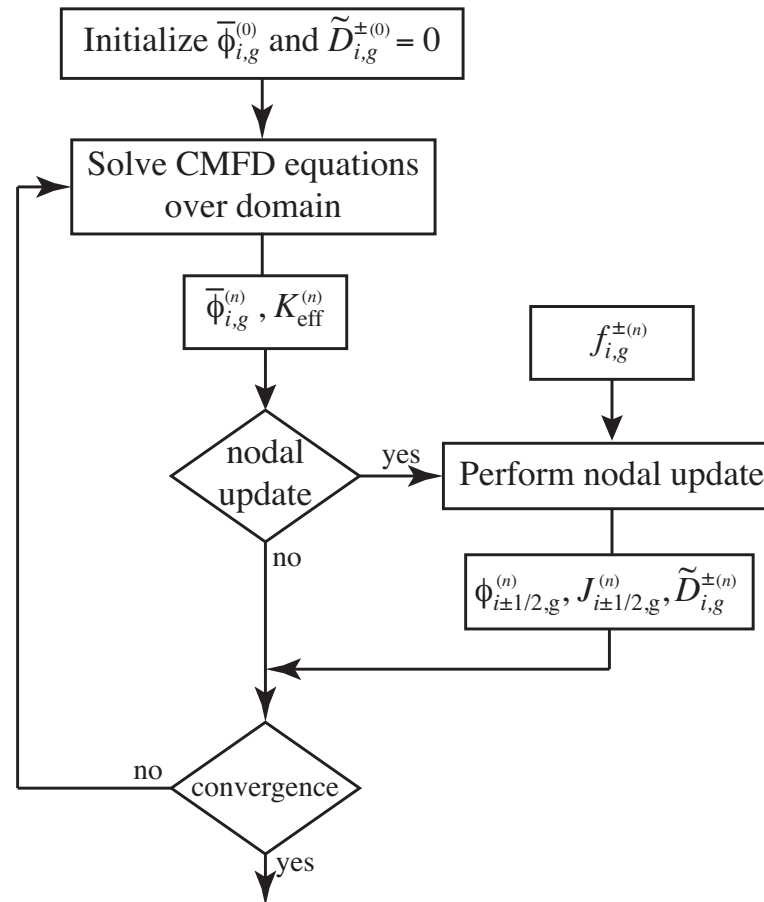


Figure 3: Procédure d'ajustement nodale.

La méthode d'expansion nodale en 3D

- Introduction
- Techniques d'équivalence
- Le code BRISINGR
- La méthode d'expansion nodale en 1D
- La méthode d'expansion nodale en 3D
- Les fuites transverses quadratiques
- Installation
- Données d'entrée
- Cas prob5p3_nem.x2m
- Cas iaea3d_full_nem
- Cas SmallCore_BaffRef1
- Cas UOX_5x5_TG6_nem
- Ressources

Les équations matricielles à deux noeuds sont utilisées pour évaluer le flux et le courant net de neutrons entre deux noeuds internes. Nous présentons d'abord le calcul de $\phi_{i \pm \frac{1}{2}, g}^{\mp}$ et $J_{i \pm \frac{1}{2}, g}$ pour deux noeuds adjacents le long de l'axe des X . L'ordre du système matriciel est égal à $8G$, où G est le nombre de groupes énergétiques. On écrit

$$\begin{bmatrix} \mathbb{A}_{1,1} & \mathbb{O} & \mathbb{O} & \mathbb{O} \\ \mathbb{O} & \mathbb{A}_{2,2} & \mathbb{O} & \mathbb{O} \\ \mathbb{O} & \mathbb{O} & \mathbb{A}_{3,3} & \mathbb{A}_{3,4} \\ \mathbb{A}_{4,1} & \mathbb{A}_{4,2} & \mathbb{A}_{4,3} & \mathbb{A}_{4,4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{a}_{i,g}^{\text{even}} \\ \mathbf{a}_{i+1,g}^{\text{even}} \\ \mathbf{a}_{i,g}^{\text{odd}} \\ \mathbf{a}_{i+1,g}^{\text{odd}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{S}_{i,g}^{\text{even}} \\ \mathbf{S}_{i+1,g}^{\text{even}} \\ \mathbf{S}_{i,i+1,g}^{\text{odd}} \\ \mathbf{S}_{i,i+1,g}^{\text{cont}} \end{bmatrix} \quad (34)$$

où \mathbb{O} sont des matrices nulles de dimension $2G \times 2G$ et où les inconnues sont définies comme $\mathbf{a}_{i,g}^{\text{even}} = \text{col} \{ a_{2,i,g}, a_{4,i,g} \}$ et $\mathbf{a}_{i,g}^{\text{odd}} = \text{col} \{ a_{1,i,g}, a_{3,i,g} \}$. Par exemple, dans le cas d'un développement polynomial pur avec $G = 2$, les composantes de la sous-matrice $\mathbb{A}_{1,1}$ de l'Eq. (34) sont récupérées des Eqs. (18) à (20):

$$\mathbb{A}_{1,1} = \begin{bmatrix} -\frac{6D_{i,1}}{\Delta x_i^2} & -\frac{2D_{i,1}}{5\Delta x_i^2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{6D_{i,2}}{\Delta x_i^2} & -\frac{2D_{i,2}}{5\Delta x_i^2} \\ \frac{A_{i,1}}{20} & -\frac{D_{i,1}}{5\Delta x_i^2} - \frac{A_{i,1}}{700} & -\frac{Q_{i,1 \leftarrow 2}}{20} & \frac{Q_{i,1 \leftarrow 2}}{700} \\ -\frac{Q_{i,2 \leftarrow 1}}{20} & \frac{Q_{i,2 \leftarrow 1}}{700} & \frac{A_{i,2}}{20} & -\frac{D_{i,2}}{5\Delta x_i^2} - \frac{A_{i,2}}{700} \end{bmatrix}. \quad (35)$$

La méthode d'expansion nodale en 3D

La séquence optimale pour résoudre le système linéaire de l'Eq. (34) est

$$\begin{aligned}
 \mathbf{a}_{i,g}^{\text{even}} &= \mathbb{A}_{1,1}^{-1} \mathbf{S}_{i,g}^{\text{even}} \\
 \mathbf{a}_{i+1,g}^{\text{even}} &= \mathbb{A}_{2,2}^{-1} \mathbf{S}_{i+1,g}^{\text{even}} \\
 \begin{bmatrix} \mathbf{a}_{i,g}^{\text{odd}} \\ \mathbf{a}_{i+1,g}^{\text{odd}} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \mathbb{A}_{3,3} & \mathbb{A}_{3,4} \\ \mathbb{A}_{4,3} & \mathbb{A}_{4,4} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \mathbf{S}_{i,i+1,g}^{\text{odd}} \\ \mathbf{S}_{i,i+1,g}^{\text{cont}} - \mathbb{A}_{4,1} \mathbf{a}_{i,g}^{\text{even}} - \mathbb{A}_{4,2} \mathbf{a}_{i+1,g}^{\text{even}} \end{bmatrix}. \quad (36)
 \end{aligned}$$

L'ensemble de la procédure d'ajustement nodale est décrite plus en détail dans la note IGE380.

Introduction
Techniques
d'équivalence

Le code BRISINGR
La méthode
d'expansion nodale
en 1D
La méthode
d'expansion nodale
en 3D

Les fuites transverses
quadratiques

Installation

Données d'entrée

Cas

prob5p3_nem.x2m

Cas

iaea3d_full_nem

Cas

SmallCore_BaffRef1

Cas

UOX_5x5_TG6_nem

Ressources

Introduction
Techniques
d'équivalence

Le code BRISINGR
La méthode
d'expansion nodale
en 1D
La méthode
d'expansion nodale
en 3D
Les fuites transverses
quadratiques

Installation

Données d'entrée
Cas
prob5p3_nem.x2m
Cas
iaea3d_full_nem
Cas
SmallCore_BaffRef1
Cas
UOX_5x5_TG6_nem
Ressources

Définition des variables d'environnement – Modifier le script .profile ou .bashrc

Sur le réseau recherche à Polytechnique Montréal:

```
# Support for HDF5
export HDF5_INC="/usr/local/hdf5/include" # HDF5 include directory
if [ $MachineExtension = "-aix" ]
then
 nbsp; export HDF5_INC="/usr/include" # HDF5 include directory
fi
export HDF5_API="$HDF5_INC/./lib" # HDF5 C API
export LD_LIBRARY_PATH="$LD_LIBRARY_PATH:$HDF5_API"
export FORTRANPATH=/usr/lib/gcc/x86_64-redhat-linux/4.8.5/ # contains libgfortran.so
```

Sur le cluster cronos à EDF/R&D:

```
# Support for HDF5
export HDF5_DIR="/usr/include" # HDF5 include directory
export HDF5_API="$HDF5_INC/./lib" # HDF5 C API
export LD_LIBRARY_PATH="$LD_LIBRARY_PATH:$HDF5_API"
# Support for Python3 API
export FORTRANPATH=/usr/lib/gcc/x86_64-redhat-linux/8/ # contains libgfortran.so
```

Sur le système d'exploitation Scibian 10:

```
# Support for HDF5
export HDF5_INC="/usr/include/hdf5/serial" # HDF5 include directory
export HDF5_API="/usr/lib/x86_64-linux-gnu/hdf5/serial" # HDF5 C API
export LD_LIBRARY_PATH="$LD_LIBRARY_PATH:$HDF5_API"
# Support for Python3 API
export FORTRANPATH=/usr/lib/gcc/x86_64-linux-gnu/8/ # contains libgfortran.so
```

Installation

Introduction
Techniques
d'équivalence

Le code BRISINGR
La méthode
d'expansion nodale
en 1D
La méthode
d'expansion nodale
en 3D
Les fuites transverses
quadratiques

Installation

Données d'entrée
Cas
prob5p3_nem.x2m
Cas
iaea3d_full_nem
Cas
SmallCore_BaffRef1
Cas
UOX_5x5_TG6_nem
Ressources

Installation de BRISINGR

Des makefiles sont disponibles pour faciliter l'installation:

```
tar xvfzp Brisinigr_Version5.0.7_ev2389.tgz
cd Brisinigr_Version5_ev2389
cd Brisinigr
make
```

Exécuter l'ensemble des tests de non-régression

```
cd Brisinigr_Version5_ev2389
cd Brisinigr
make tests
```

Exécuter un fichier de données spécifique

```
cd Brisinigr_Version5_ev2389
cd Brisinigr
./rbrisingr AFA_180_310_type1.x2m
```


- Introduction
- Techniques d'équivalence
- Le code BRISINGR
- La méthode d'expansion nodale en 1D
- La méthode d'expansion nodale en 3D
- Les fuites transverses quadratiques
- Installation**
- Données d'entrée
- Cas prob5p3_nem.x2m
- Cas iaea3d_full_nem
- Cas SmallCore_BaffRefl
- Cas UOX_5x5_TG6_nem
- Ressources

Tests de non-régression – Brisingr_Version5_ev2389/Brisingr/Makefile

```
#-----  
#  
# Makefile for executing the Brisingr non-regression tests  
# Author : A. Hebert (2018-5-10)  
#  
#-----  
#  
OS = $(shell uname -s | cut -d"_" -f1)  
ifneq (,$(filter $(OS),SunOS AIX))  
    MAKE = gmake  
endif  
all :  
$(MAKE) -C src  
clean :  
$(MAKE) clean -C src  
tests :  
./rbrisingr AFA_180_310_type1.x2m -quiet  
./rbrisingr AFA_180_310_type1_micr.x2m -quiet  
./rbrisingr AFA_180_310_type1_zero.x2m -quiet  
./rbrisingr AFA_180_310_type1_void.x2m -quiet  
./rbrisingr AFA_180_310_type1_void_ANM.x2m -quiet  
./rbrisingr prob5p3_nem.x2m -quiet  
./rbrisingr OpenSmallCore_nem.x2m -quiet  
./rbrisingr iaea3d_full_nem.x2m -quiet  
./rbrisingr Baffle_Refl_Geom.x2m -quiet  
./rbrisingr SmallCore_BaffRefl.x2m -quiet  
./rbrisingr UOX_5x5_TG6_sym8_rt2.x2m -quiet  
./rbrisingr UOX_5x5_TG6_nem.x2m -quiet
```

Introduction
Techniques
d'équivalence

Le code BRISINGR
La méthode
d'expansion nodale
en 1D

La méthode
d'expansion nodale
en 3D

Les fuites transverses
quadratiques

Installation

Données d'entrée

Cas
prob5p3_nem.x2m

Cas
iaea3d_full_nem

Cas
SmallCore_BaffRef1

Cas
UOX_5x5_TG6_nem

Ressources

Table 2: Structure (**BRIF:**)

```
FLUX := BRIF: TRACK MACRO :: (BRIF_data)
```

Table 3: Structure (**BRIF_data**)

```
[ EDIT iprint ]
[ NUPD max_no_nodal_iter ]
[ EXTE [ max_no_outer_iter ] [ outer_tol ] ]
[ INNE [ max_no_inner_iter ] [ inner_tol ] ]
[ GROU [ max_no_group_iter ] [ group_tol ] ]
[ NODA { NEM | ANM | OFF } ]
[ GEOM { colorset | general } ]
[ ADJ ] [ NODF ]
[ CMFD [ { all_groups | one_group } ] [ Wielandt { ON | OFF } ]
      [ Krylov { bicgstab | cg | jacobi | ldu } ] ]
[ VOID { Mark | Marshak } ]
[ LEAK { flat | linear | quadratic } ]
[ FREQ ev_nodal_freq ]
[ BUCK valb2 ]
;
```

Cas prob5p3_nem . x2m

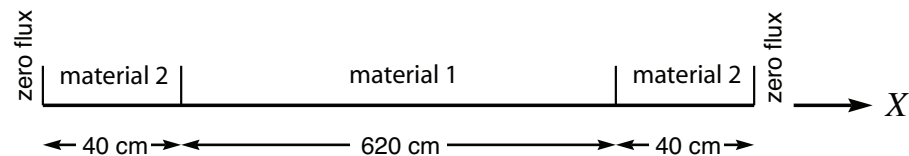
Introduction
Techniques
d'équivalence
Le code BRISINGR
La méthode
d'expansion nodale
en 1D
La méthode
d'expansion nodale
en 3D
Les fuites transverses
quadratiques
Installation
Données d'entrée
Cas
prob5p3_nem . x2m
Cas
iaea3d_full_nem
Cas
SmallCore_BaffRef1
Cas
UOX_5x5_TG6_nem
Ressources

- Exercice 5.3 de [Applied Reactor Physics](#).
- Un réacteur nucléaire d'épaisseur $L = 700$ cm est réfléchi à l'aide de 40 cm de matériau réfléchissant de part et d'autre du coeur, comme illustré sur la figure.
- 2 groupes d'énergie, recherche de K_{eff} critique.
- Condition limite de flux nul.

Table 1: Propriétés nucléaires à deux groupes d'énergie^a

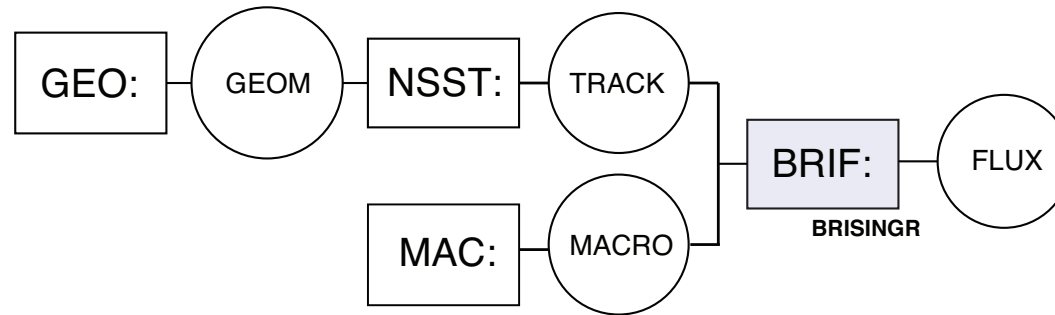
Material	D_1 (cm)	D_2 (cm)	$\Sigma_{r,1}$ (cm^{-1})	$\Sigma_{r,2}$ (cm^{-1})	$\Sigma_{2 \leftarrow 1}$ (cm^{-1})	$\nu \Sigma_{f,2}$ (cm^{-1})
1	1.264	0.9328	8.154×10^{-3}	4.100×10^{-3}	7.368×10^{-3}	4.562×10^{-3}
2	1.310	0.8695	1.018×10^{-2}	2.117×10^{-4}	1.018×10^{-2}	0.0

(a) $\Sigma_{1 \leftarrow 2} = 0$ et $\nu \Sigma_{f,1} = 0$ pour chaque matériel



- Introduction
- Techniques d'équivalence
- Le code BRISINGR
- La méthode d'expansion nodale en 1D
- La méthode d'expansion nodale en 3D
- Les fuites transverses quadratiques
- Installation
- Données d'entrée
- Cas prob5p3_nem.x2m**
- Cas iaea3d_full_nem
- Cas SmallCore_BaffRef1
- Cas UOX_5x5_TG6_nem
- Ressources

Flot de données



Procédure CLE-2000

```

*-----
* TEST CASE prob5p3_nem
*
* REF: A. Hebert, "Applied Reactor Physics", Presses Internationales
*       Polytechnique, Problem 5.3 (2009).
*
*-----
* Define STRUCTURES and MODULES used
*-----
LINKED_LIST GEOM MACRO TRACK FLUX ;
MODULE GEO: MAC: NSST: BRIF: DELETED: ABORT: END: ;
PROCEDURE assertS ;
*-----
* Macroscopic cross sections
*-----
MACRO := MAC: ::
EDIT 2 NGRO 2 NMIX 2 NIFI 1
READ INPUT
MIX 1
  DIFF 1.264E+00 0.9328E+00
  TOTAL 8.154E-03 4.1000E-03
  NUSIGF 0.000E+00 4.5620E-03
  CHI 1.000E+00 0.000E+00
  H-FACTOR 0.000E+00 4.5620E-03
  SCAT 1 1 0.0 2 2 0.0 7.368E-03
MIX 2
  DIFF 1.310E+00 0.8695E+00
  TOTAL 1.018E-02 2.1170E-04
  SCAT 1 1 0.0 2 2 0.0 1.0180E-02
;
  
```

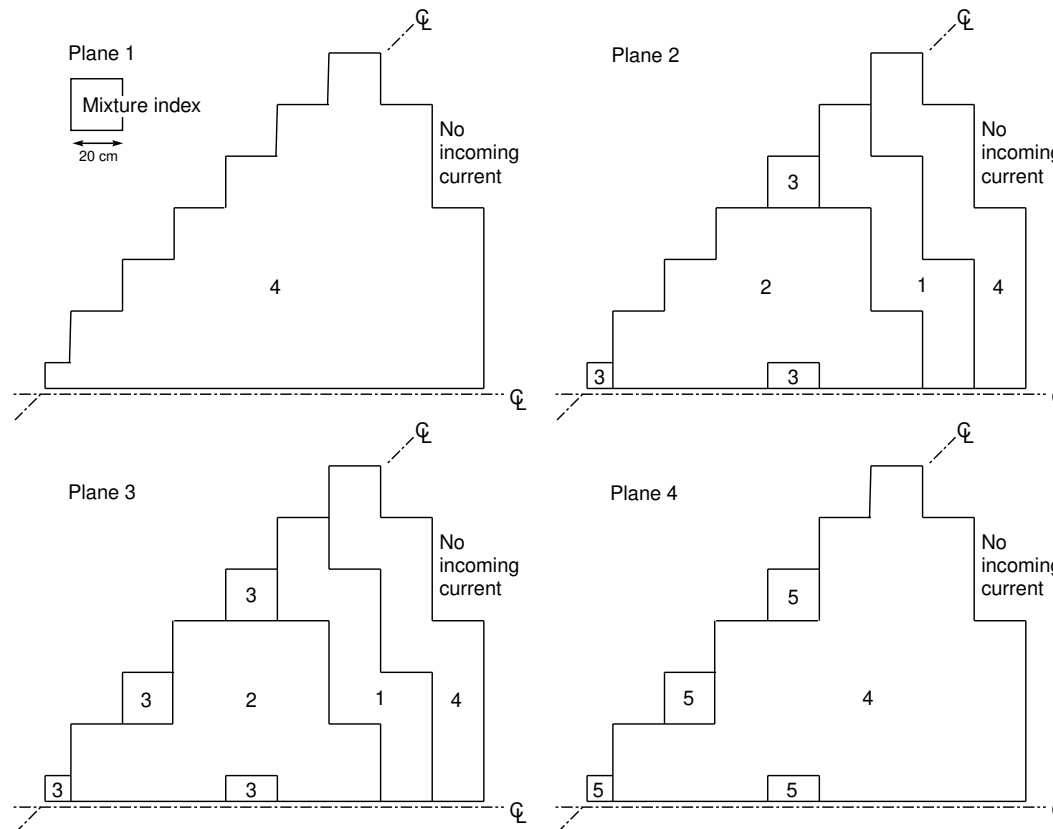
Cas prob5p3_nem.x2m

- Introduction
- Techniques d'équivalence
- Le code BRISINGR
- La méthode d'expansion nodale en 1D
- La méthode d'expansion nodale en 3D
- Les fuites transverses quadratiques
- Installation
- Données d'entrée
- Cas prob5p3_nem.x2m**
- Cas iaea3d_full_nem
- Cas SmallCore_BaffRef1
- Cas UOX_5x5_TG6_nem
- Ressources

```
*-----  
* Steady-state calculations  
*-----  
GEOM := GEO: :: CAR1D 4  
        X- ZERO X+ ZERO  
        MIX 2 1 1 2  
        MESHX 0.0 40.0 350.0 660.0 700.0  
        SPLITX 1 4 4 1  
        ;  
TRACK := NSST: GEOM ::  
        TITLE 'BENCHMARK ENE6103'  
        EDIT 2 MAXR 20 HYPE 2 ;  
FLUX := BRIF: TRACK MACRO ::  
EDIT 2  
NUPD 100          !max no. of nodal updates  
EXTE 1.E-8 300 !max no. of iterations and tolerance for outer iterations for power method  
INNER 1.E-8 300 !max no. of iterations and tolerance for inner iterations for power method  
GROUP 1.E-6 300 !max no. of iterations and tolerance for group iterations for power method  
CMFD all_groups Wielandt ON Krylov bicgstab  
VOID Marshak  
NODA NEM  
;  
assertS FLUX :: K-EFFECTIVE 1 0.9977308 ;  
ECHO "test prob5p3_nem completed" ;  
END: ;
```

Géométrie

- Cotes axiales: 0, 20, 63.33, 106.67, 150, 193.33, 236.67, 280, 320, 360 et 380 cm.
- 2 groupes d'énergie, recherche de K_{eff} critique.



Introduction
Techniques
d'équivalence
Le code BRISINGR
La méthode
d'expansion nodale
en 1D
La méthode
d'expansion nodale
en 3D
Les fuites transverses
quadratiques
Installation
Données d'entrée
Cas
prob5p3_nem.x2m
Cas
iaea3d_full_nem
Cas
SmallCore_BaffRefl
Cas
UOX_5x5_TG6_nem
Ressources

Introduction
Techniques
d'équivalence

Le code BRISINGR
La méthode
d'expansion nodale
en 1D

La méthode
d'expansion nodale
en 3D

Les fuites transverses
quadratiques

Installation

Données d'entrée
Cas

prob5p3_nem.x2m

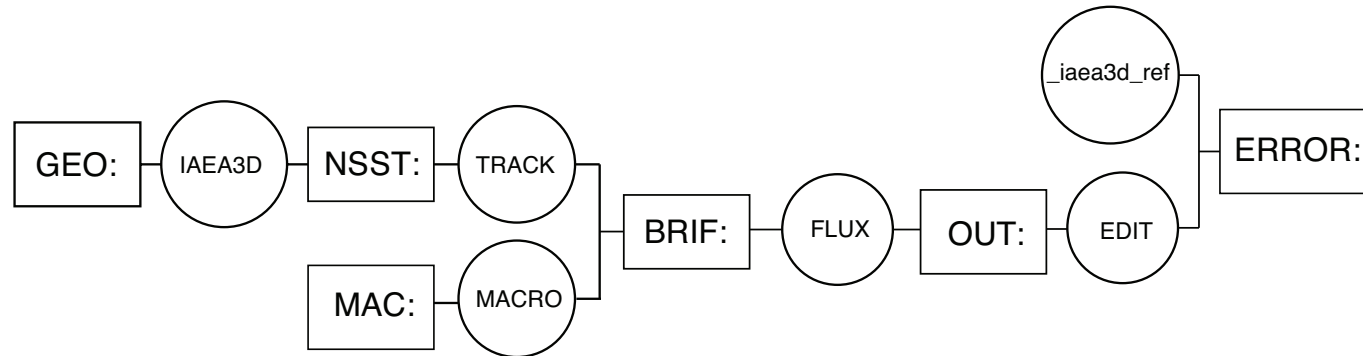
Cas
iaea3d_full_nem

Cas
SmallCore_BaffRef1

Cas
UOX_5x5_TG6_nem

Ressources

Flot de données



Résultats

Table 2: Résultats du benchmark IAEA3D (géométrie dépliée).

Type of method	Transverse leakage	Mesh-splitting	N_{tot}	k_{eff}	Δk_{eff} (pcm)	ϵ_{max} (%)	$\bar{\epsilon}$ (%)	CPU time (s)
Coarse mesh finite differences		No	24681	1.031891	282.1	25.6	9.4	1
		$2 \times 2 \times 2$	195124	1.028992	-7.8	26.4	9.6	11
Nodal expansion method	flat	No	24,681	1.029760	69.0	5.6	0.7	2
	flat	$2 \times 2 \times 2$	195,124	1.029258	18.8	1.6	0.3	15
	quadratic	No	24,681	1.029083	1.3	1.2	0.4	2
	quadratic	$2 \times 2 \times 2$	195,124	1.029085	1.5	0.2	0.1	16
RT2 ^a		No	135,369	1.028974	-9.6	2.1	0.6	4
Gauss-Legendre		$2 \times 2 \times 2$	1,062,036	1.029070		Référence		124

(a) Raviart-Thomas avec un développement tri-cubique du flux en polynômes de Legendre.

Cas SmallCore_BaffRef1

Introduction
Techniques
d'équivalence

Le code BRISINGR
La méthode
d'expansion nodale
en 1D
La méthode
d'expansion nodale
en 3D

Les fuites transverses
quadratiques

Installation

Données d'entrée

Cas
prob5p3_nem.x2m

Cas
iaea3d_full_nem

Cas
SmallCore_BaffRef1

Cas
UOX_5x5_TG6_nem

Ressources

Le cas SmallCore_BaffRef1.x2m est une implémentation (schéma de calcul) de la procédure d'équivalence Baff-Ref1 (ou DF-NEM) basée sur un calcul d'assemblage nourricier CARABAS et sur un calcul de vérification BRISINGR.

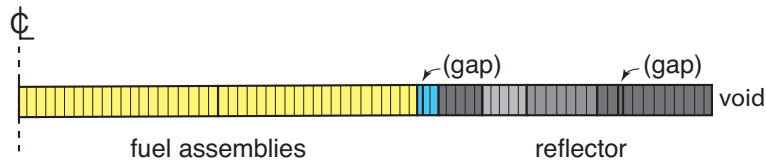


Figure 4: Géométrie S_n

- Le calcul d'assemblage nourricier (281-groupes) est réalisé en amont par CARABAS. Un fichier APEX est fourni en entrée à SmallCore_BaffRef1.x2m.
- Le calcul de référence 1D/281-groupes est réalisé par la méthode S_n .
 - ◆ Recherche de K_{eff} critique à B^2 imposé.
 - ◆ Condensation/homogénéisation des sections efficaces, des coefficients de diffusion et des flux à 2 groupes et deux régions.
 - ◆ Récupération des flux et des courants nets aux interfaces (limites d'assemblage, interface assemblage/réfecteur et limite de macro-domaine).
- La procédure d'équivalence Baff-Ref1 permet d'obtenir des facteurs de discontinuités aux interfaces assemblage/réfecteur et des albédos multigroupes qui permettront de préserver les taux de réactions et le K_{eff} lors du calcul de vérification.
 - ◆ Les facteurs de discontinuités et les albédos multigroupes sont écrits dans l'objet Macr_Ref1.
- Le calcul de vérification est réalisé par BRISINGR.

Cas SmallCore_BaffRef1

Introduction
Techniques
d'équivalence

Le code BRISINGR
La méthode
d'expansion nodale
en 1D

La méthode
d'expansion nodale
en 3D

Les fuites transverses
quadratiques

Installation

Données d'entrée

Cas

prob5p3_nem.x2m

Cas

iaea3d_full_nem

Cas

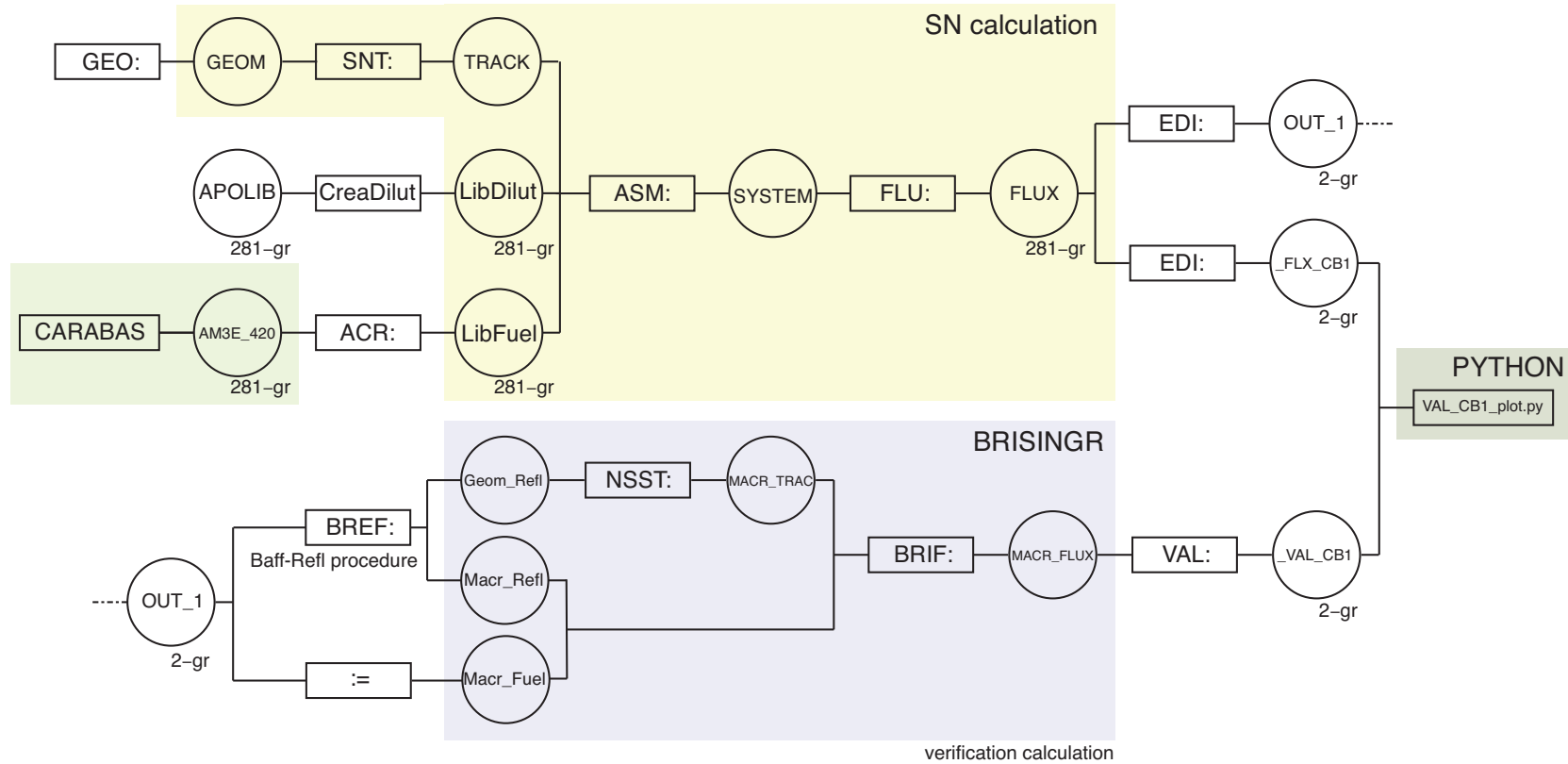
SmallCore_BaffRef1

Cas

VOX_5x5_TG6_nem

Ressources

Flot de données



Résultat du script python VAL_CB1_plot.py

Introduction
Techniques
d'équivalence

Le code BRISINGR
La méthode
d'expansion nodale
en 1D

La méthode
d'expansion nodale
en 3D

Les fuites transverses
quadratiques

Installation

Données d'entrée

Cas
prob5p3_nem.x2m

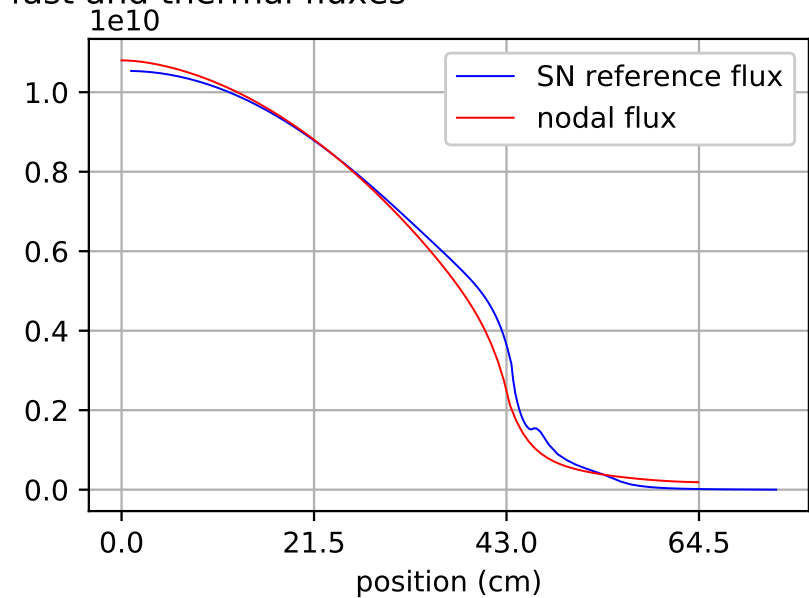
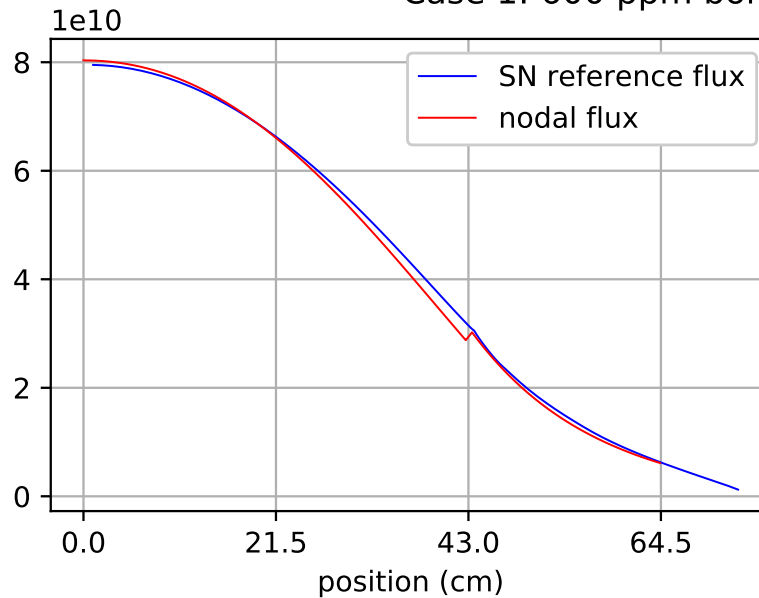
Cas
iaea3d_full_nem

Cas
SmallCore_BaffRef1

Cas
UOX_5x5_TG6_nem

Ressources

Case 1: 600 ppm boron - fast and thermal fluxes



Cas UOX_5x5_TG6_nem

Introduction
Techniques
d'équivalence

Le code BRISINGR
La méthode
d'expansion nodale
en 1D

La méthode
d'expansion nodale
en 3D

Les fuites transverses
quadratiques

Installation

Données d'entrée

Cas
prob5p3_nem.x2m

Cas
iaea3d_full_nem

Cas
SmallCore_BaffRef1

Cas
UOX_5x5_TG6_nem

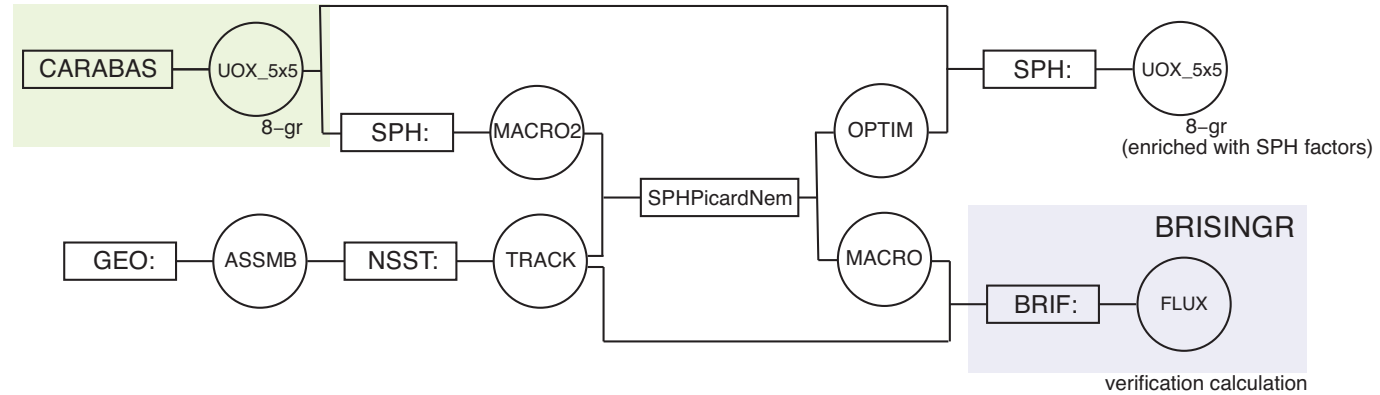
Ressources

Le cas UOX_5x5_TG6_nem est une implémentation (schéma de calcul) de la **procédure d'équivalence SPH CARABAS–BRISINGR** en mode fondamental, suivi d'un **calcul de vérification**.

- Un assemblage 5×5 du benchmark UMZONE est traité en mode fondamental par CARABAS pour produire un fichier APEX nommé UOX_5x5.
- La procédure SPHPi cardNem permet de réaliser une équivalence SPH CARABAS–BRISINGR en mode fondamental. Deux objets sont produits:
OPTIM: Objet contenant les facteurs d'équivalence SPH
MACRO: Macrolib corrigée SPH.
- Les facteurs SPH contenus dans OPTIM: sont **ajoutés** au fichier APEX UOX_5x5.
- Un calcul de vérification est effectué.
- L'ensemble de la prodédure est répété pour les 4 points de calcul du fichier APEX UOX_5x5.

Cas UOX_5x5_TG6_nem

Flot de données



- Introduction
- Techniques d'équivalence
- Le code BRISINGR
- La méthode d'expansion nodale en 1D
- La méthode d'expansion nodale en 3D
- Les fuites transverses quadratiques
- Installation
- Données d'entrée
- Cas
- prob5p3_nem.x2m
- Cas
- iaea3d_full_nem
- Cas
- SmallCore_BaffRefl
- Cas
- UOX_5x5_TG6_nem**
- Ressources

Introduction
Techniques
d'équivalence
Le code BRISINGR
La méthode
d'expansion nodale
en 1D
La méthode
d'expansion nodale
en 3D
Les fuites transverses
quadratiques
Installation
Données d'entrée
Cas
prob5p3_nem.x2m
Cas
iaea3d_full_nem
Cas
SmallCore_BaffRef1
Cas
UOX_5x5_TG6_nem

Ressources

■ Academic:

Alain Hébert (alain.hebert@polymtl.ca)

■ Merlin website:

DRAGON5/DONJON5: <http://merlin.polymtl.ca>

■ Archives website:

- ◆ Accès à l'information sur Brisingr
- ◆ Autres contributions académiques

<http://merlin.polymtl.ca/archives.htm>

■ Textbook:

A. Hébert, Applied Reactor Physics, Third Edition, PIP, 2020.

