POLYTECHNIQUE
MONTRÉAL

Les géométries du calcul de réseau

A. Hébert

2023/05/17

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

Table des matières

Introduction
Modèles géométriques
R&D
Quadratures
Tracking
Conclusion
Ressources

Introduction
Modèles géométriques
R&D
Quadratures
Tracking
Conclusion
Ressources

Introduction

Introduction
Modèles géométriques
R&D
Quadratures
Tracking
Conclusion
Ressources

- Le traitement des géométries est un enjeu majeur en physique des réacteurs nucléaires.
- Nous allons présenter le traitement et l'utilisation des géométries présentes lors du calcul de réseau.
- Trois types de représentation géométriques sont couramment utilisées en France et au Canada
  1. Géométries gigognes (Apollo1/2/3, Dragon1/2/3/4/5, solveurs "coeur")
  2. Géométries surfaciques (Apollo2/3, Dragon5)
  3. Géométries combinatoires (MCNP, Serpent, Tripoli, Moret)

Définitions:

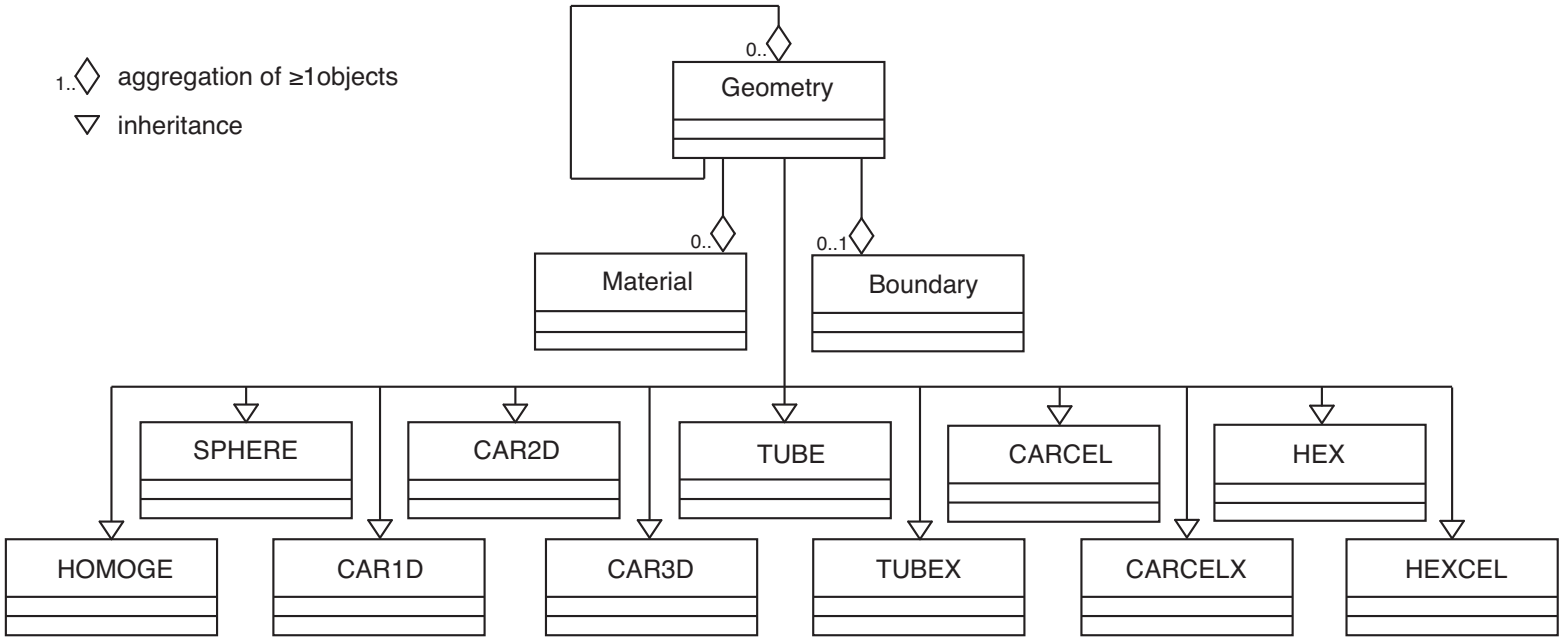
1. Une géométrie native est une géométrie définie avec les mot-clés–valeurs du code de réseau ou du code de coeur.
2. Une géométrie non-native est une géométrie définie avec un outil externe (Silène, Salomon, Charm ou Alamos).

Modèles géométriques

Introduction
Modèles géométriques
R&D
Quadratures
Tracking
Conclusion
Ressources

Géométries gigognes

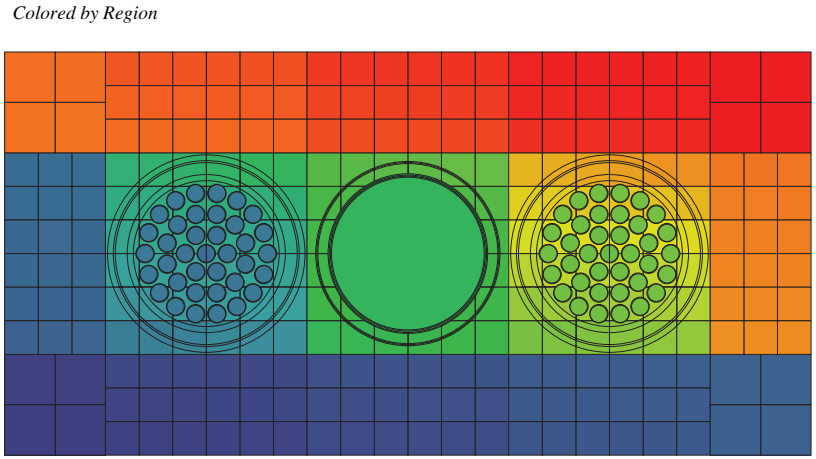
- Introduites par Zarko Stankovsky dans Apollo1 en 1979. Utilisées dans Dragon (voir diagramme UML).
- Idéales pour unifier les modèles géométriques des codes de réseau et de coeur-entier.
- Présentent des limitations pour représenter certains designs (boitiers d'assemblages hexagonaux, géométries RJH, géométries de réflecteur, etc.)
- Adaptées aux calculs 1D, 2D et 3D.
- Géométries potentiellement récursives.
- Géométries natives.

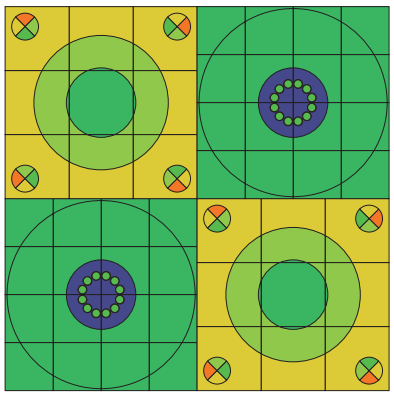


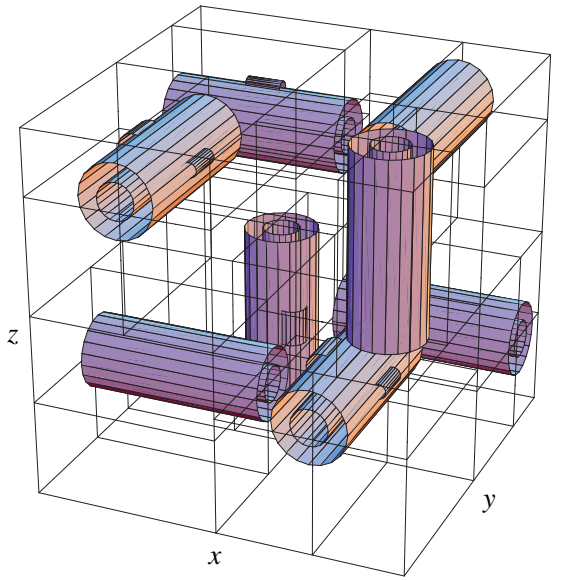
Modèles géométriques

Introduction
Modèles géométriques
R&D
Quadratures
Tracking
Conclusion
Ressources

Exemples de géométries gigognes



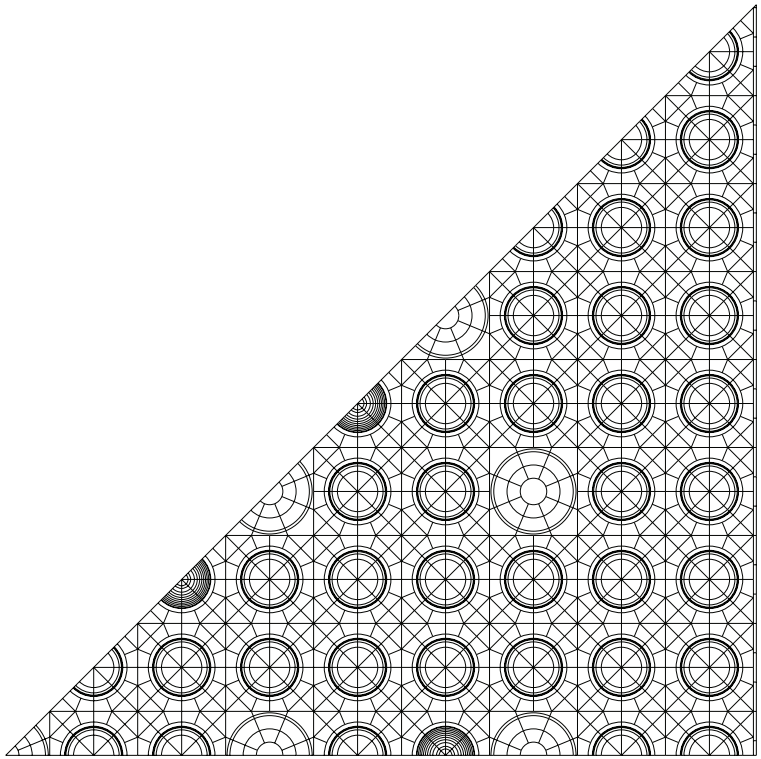


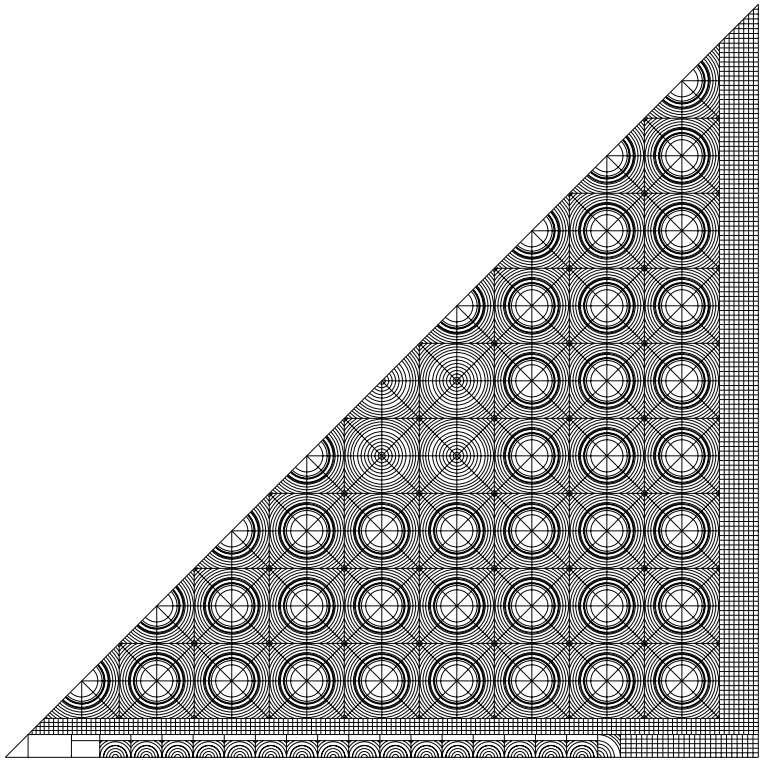


Modèles géométriques

Introduction
Modèles géométriques
R&D
Quadratures
Tracking
Conclusion
Ressources

Exemples de géométries gigognes



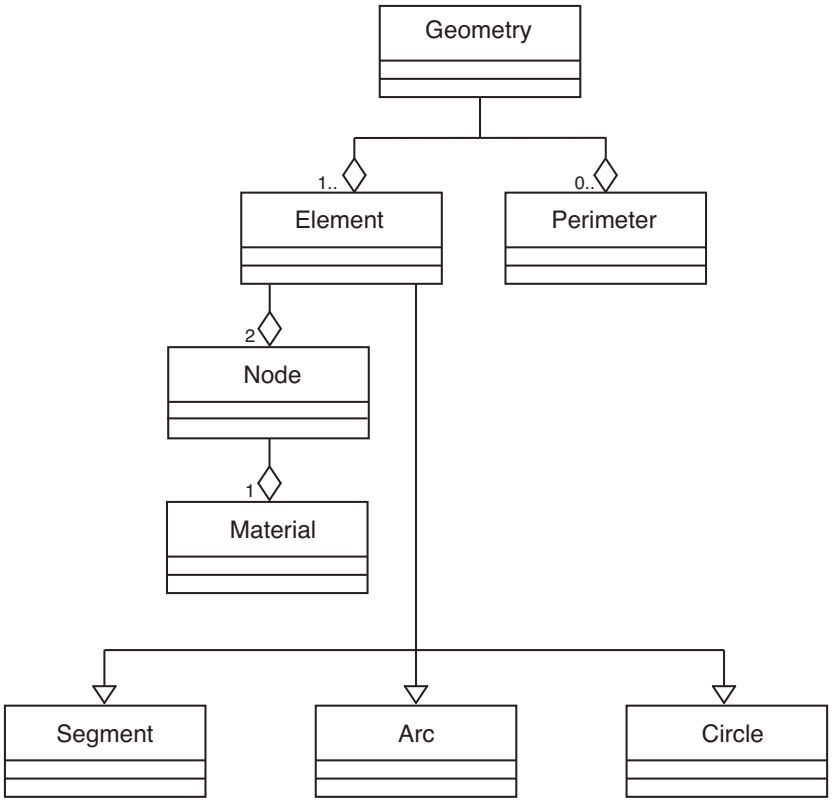


Modèles géométriques

Introduction
Modèles géométriques
R&D
Quadratures
Tracking
Conclusion
Ressources

Géométries surfaciques

- Introduites par Richard Sanchez dans Apollo2 en 1993. Utilisées dans Dragon5 (voir diagramme UML).
- Limitées aux géométries 2D.
- Ne présentent aucune limitation pour aucun design 2D.
- Géométries natives (pour les plus simples) ou non-natives.
- Peuvent être décrites en langage PostScript directement.

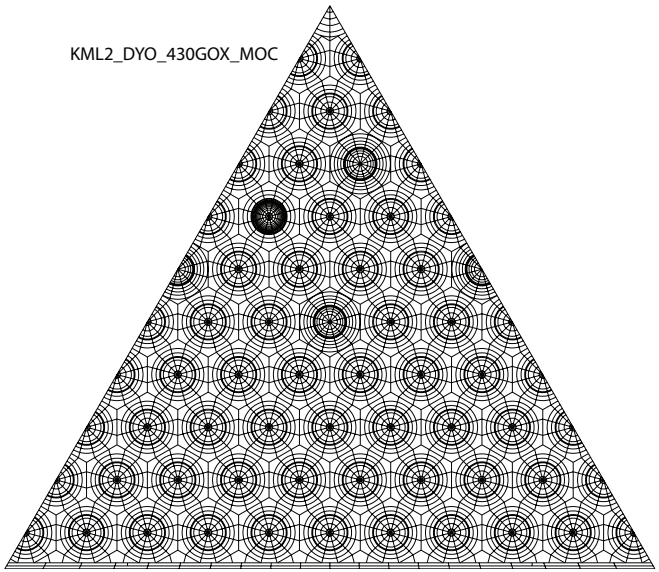


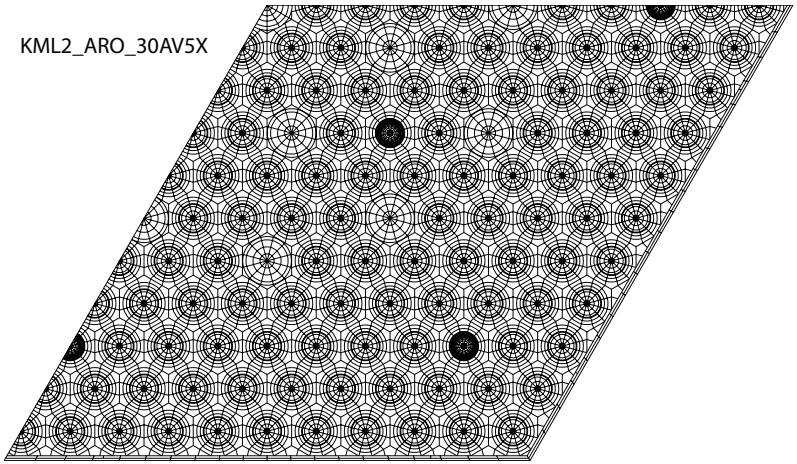
Modèles géométriques

Introduction
Modèles géométriques
R&D
Quadratures
Tracking
Conclusion
Ressources

Éléments surfaciques

Exemples de géométries surfaciques



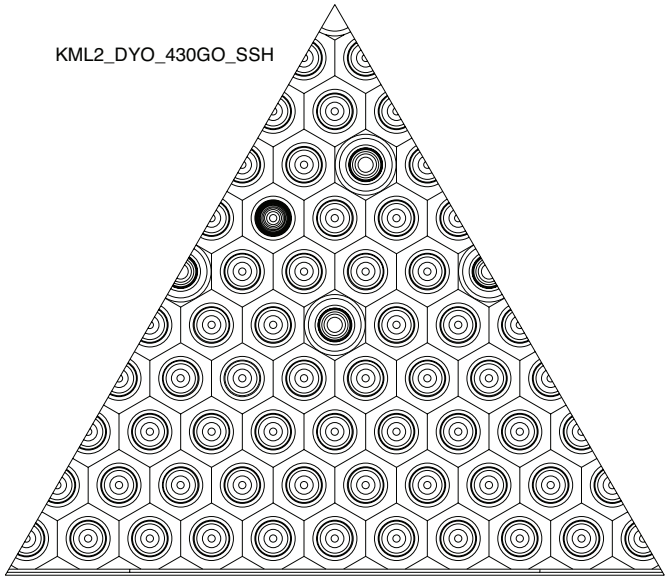


Modèles géométriques

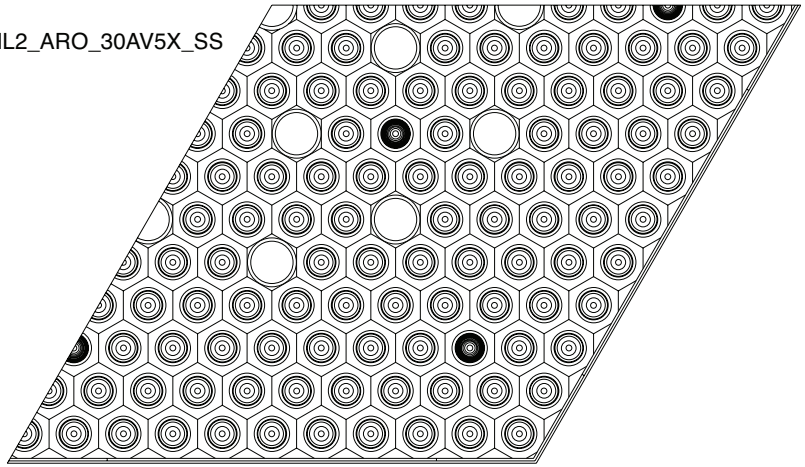
Introduction
Modèles géométriques
R&D
Quadratures
Tracking
Conclusion
Ressources

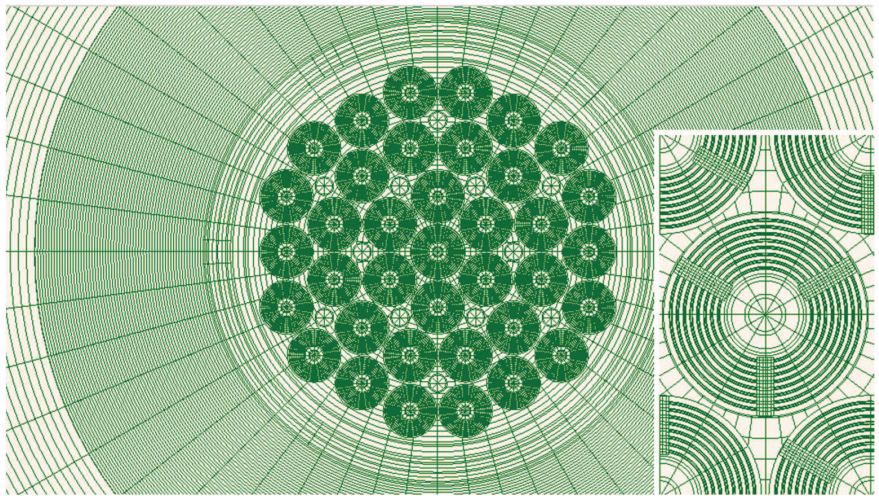
Exemples de géométries surfaciques

KML2_DYO_430GO_SSH



KML2_ARO_30AV5X_SS



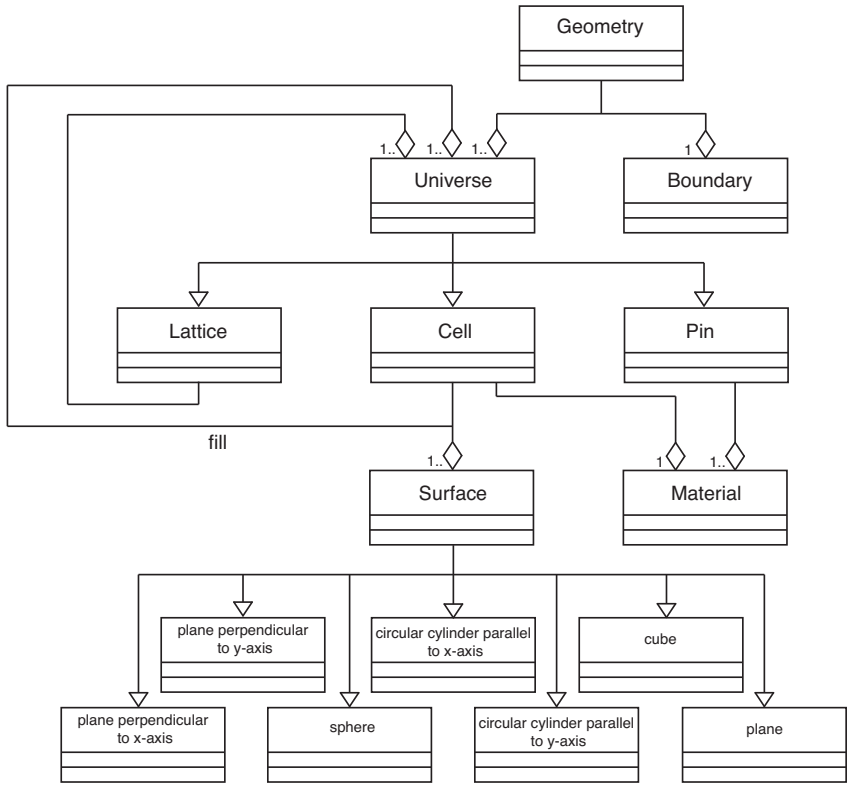


Modèles géométriques

Introduction
Modèles géométriques
R&D
Quadratures
Tracking
Conclusion
Ressources

Géométries combinatoires

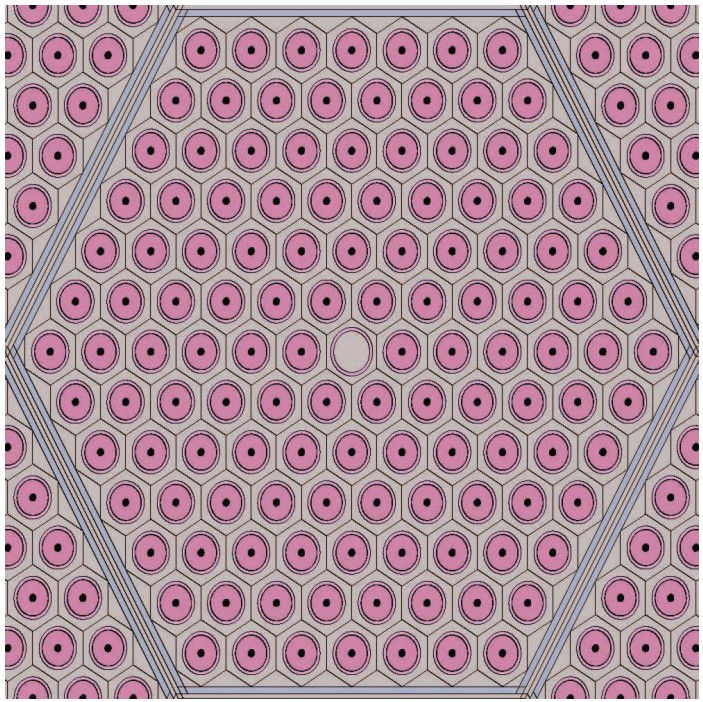
- Principalement utilisées avec les codes Monte-Carlo en 3D.
- La performance de calcul est sensible à la façon dont ces géométries sont décrites.
- Les surfaces peuvent être combinées à l'aide des opérateurs booléens & (intersection), | (union), et ~ (complément). Le code Serpent n'utilise que l'intersection (voir diagramme UML).
  - Un point est à l'intérieur d'une `Cell` si et seulement s'il est à l'intérieur (ou à l'extérieur des `Surface` négatives) de toutes les `Surface` de la liste.

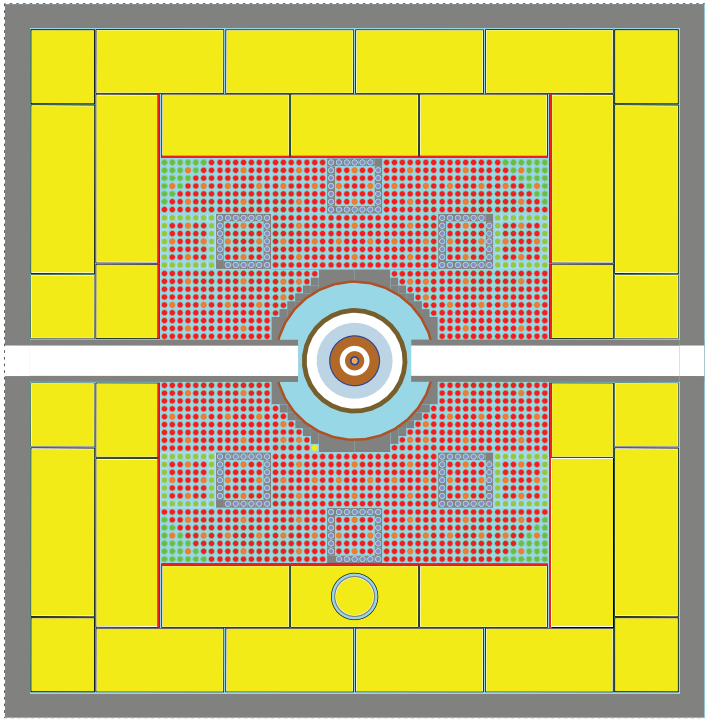


Modèles géométriques

Introduction
Modèles géométriques
R&D
Quadratures
Tracking
Conclusion
Ressources

Exemples de géométries combinatoires



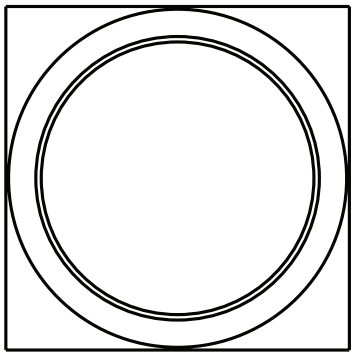


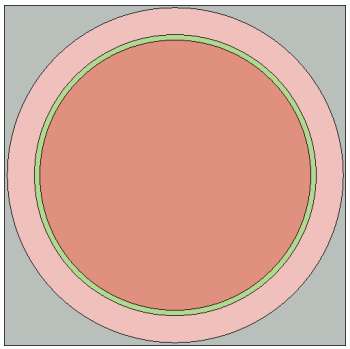
Modèles géométriques

Introduction
Modèles géométriques
R&D
Quadratures
Tracking
Conclusion
Ressources

Exemples de géométries combinatoires

- Peut être obtenue par la conversion d'une géométrie surfacique avec le module `G2MC:` de Dragon5.
  - `Node` ⇒ `Cell` et `Element` ⇒ `Surface`
  - La géométrie combinatoire obtenue est non-récursive.
- Peut être construite en suivant les instructions du guide d'utilisation Serpent ⟹ Le calcul sera plus rapide.



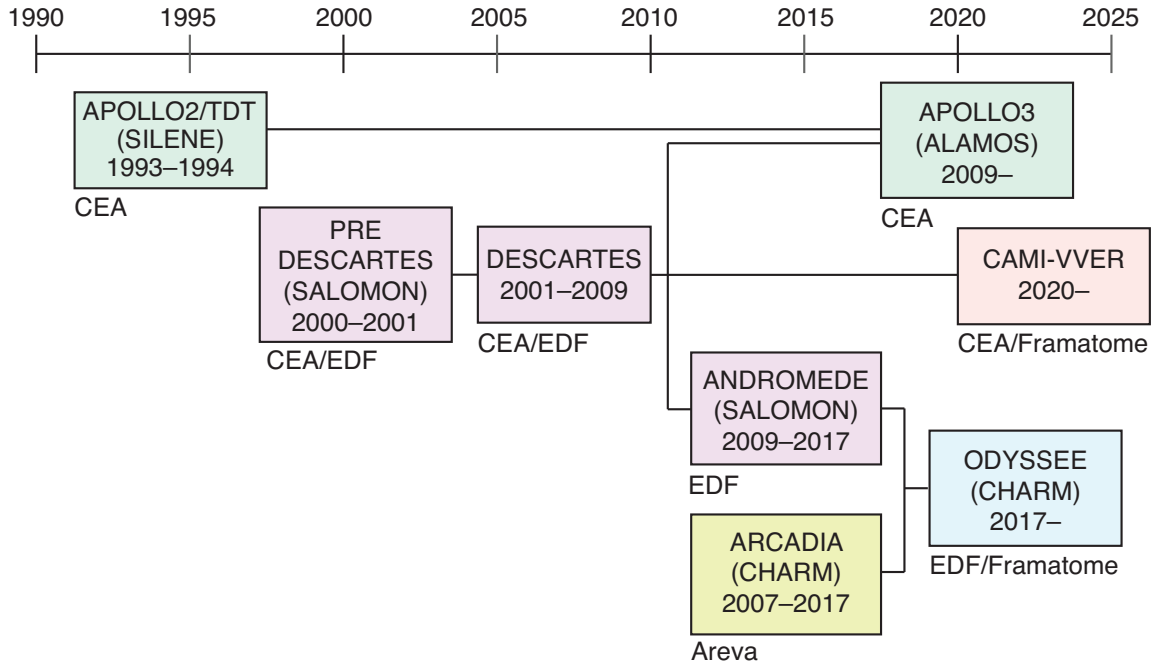


```
% Serpent combinatorial geometry generated by module G2MC:
%   cell cards
cell 1      0  MIX_4          -8           7
cell 2      0  MIX_3           6          -7
cell 3      0  MIX_2           5          -6
cell 4      0  MIX_1          -5
cell 5      0  outside         8

%   surface cards
surf  5     cyl  0.63      0.63      0.50
surf  6     cyl  0.63      0.63      0.52
surf  7     cyl  0.63      0.63      0.62
surf  8     cuboid  0.0   1.26   0.0   1.26  -1.0E+10   1.0E+10


% Serpent combinatorial geometry:
pin 1
MIX_1      0.50
MIX_2      0.52
MIX_3      0.62
MIX_4

surf 10 sqc 0.0 0.0 0.63
cell 1 0  fill 1   -10
cell 2 0  outside   10
```

R&D

Introduction
Modèles géométriques
R&D
Quadratures
Tracking
Conclusion
Ressources

Le développement des géométries surfaciques pour le calcul de réseau est le résultat de décennies de R&D en France.



R&D

Introduction
Modèles géométriques
R&D
Quadratures
Tracking
Conclusion
Ressources

Développement initial 1993–1994

Le développement initial des géométries surfaciques comporte deux composantes:

`SILENE:` Outil graphique de saisie d'une géométrie surfacique non-native. Silène a été programmé par Zarko Stankovsky en langage Java.

> R. Sanchez and Z. Stankovsky, SILENE & TDT: A code for CP calculations in XY geometry, CEA-CONF-11953 (1993).

`TDT:` Outil de génération de trajectoires (tracking) d'une géométrie surfacique dans l'environnement APOLLO2. TDT a été programmé par Richard Sanchez, assisté d'une thésarde au Ph. D. (Naïma Lyoussi-Charrat).

> N. Lyoussi-Charrat, Calcul de transport neutronique dans le code APOLLO2 par la méthode ..., thèse Ph. D. (1994).

- Cette contribution SILENE/TDT est limitée aux géométries non-natives.
- La contribution de Naïma Lyoussi-Charrat sur les probabilités de collision n'a pas été intégrée à APOLLO2. Par contre, la méthode des caractéristiques basée sur TDT a été implémentée.

R&D

Introduction
Modèles géométriques
R&D
Quadratures
Tracking
Conclusion
Ressources

Prototypage Pré-Descartes 2000–2001

- Le projet Pré-Descartes avait pour but de réaliser des prototypes rapides de solutions innovantes et audacieuses en amont du projet Descartes dont le début était fixé à Septembre 2021.
  - Un prototype rapide est une expérimentation informatique menée sur une courte période de temps et basée sur des composantes Open-Source (Salome, Python2, Dragon2).

Les analyses suivantes ont été menées:

1. Conception du prototype `G2S:` pour transformer une géométrie gigogne 2D en géométrie surfacique ou une géométrie surfacique en géométrie combinatoire.
   - ≃ 13,000 lignes de Fortran-90
2. Conception du prototype `SALT:` pour effectuer un tracking 2D sur une géométrie surfacique. Ce tracking est compatible avec la méthode des probabilités de collision (PIJ) et avec la méthode des caractéristiques (MOC).

   X. Warin, Notice théorique de la méthode des caractéristiques 2D et du générateur de trajectoires SALT (2002).

   - ≃ 7,000 lignes de Fortran-90
3. Conception du prototype SALOMON pour générer une géométrie surfacique non-native en utilisant le module GEOM de SALOME.

   Y. Pora, Notice théorique de l'outil de création de géométries surfaciques basé sur SALOME (2001).

   - ≃ 1,900 lignes de Python2

R&D

Introduction
Modèles géométriques
R&D
Quadratures
Tracking
Conclusion
Ressources

Situation actuelle 2017–

1. La nouvelle interface graphique, ALAMOS, spécifiquement développée pour APOLLO3 avec une interface de programmation d'application (API) Python, est le successeur de SILÈNE.

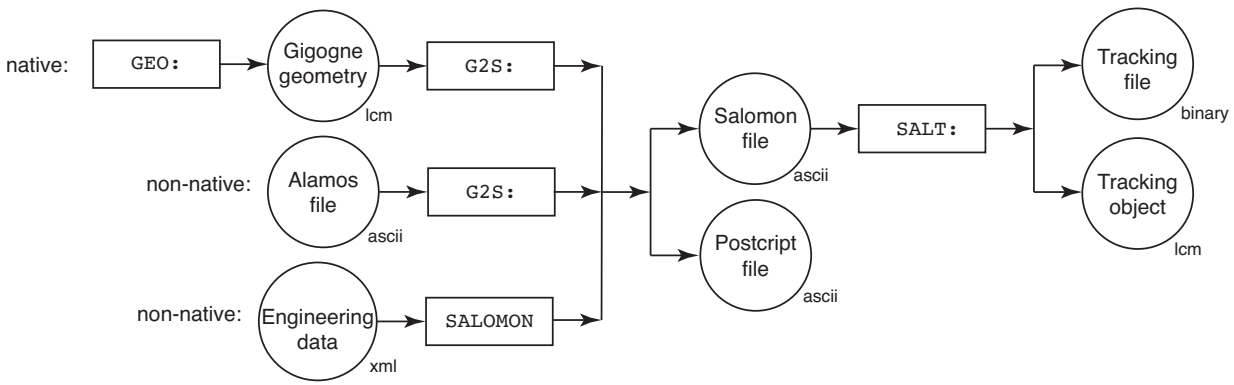
   D. Tomatis et al., Overview of SERMA's Graphical User Interfaces for Lattice Transport Calculations (2022).

2. Le code APOLLO3 permet de traiter les géométries surfaciques natives et non-natives (générées par SILÈNE ou par ALAMOS) avec la méthode des probabilités de collision (PIJ), avec la méthode des caractéristiques (MOC) ou avec la méthode aux ordonnées discrètes (solveur MINARET) si les éléments surfaciques sont des segments de droite.

   J.-F. Vidal et al., New reference Apollo3 calculation scheme for light water reactors, (2020).

3. Le code DRAGON5 permet de traiter les géométries surfaciques natives et non-natives (générées par SALOMON ou par ALAMOS) avec la méthode des probabilités de collision (PIJ) ou avec la méthode des caractéristiques (MOC). De nouvelles symétries ont été ajoutées au module `SALT:` pour pouvoir traiter les assemblages VVER.

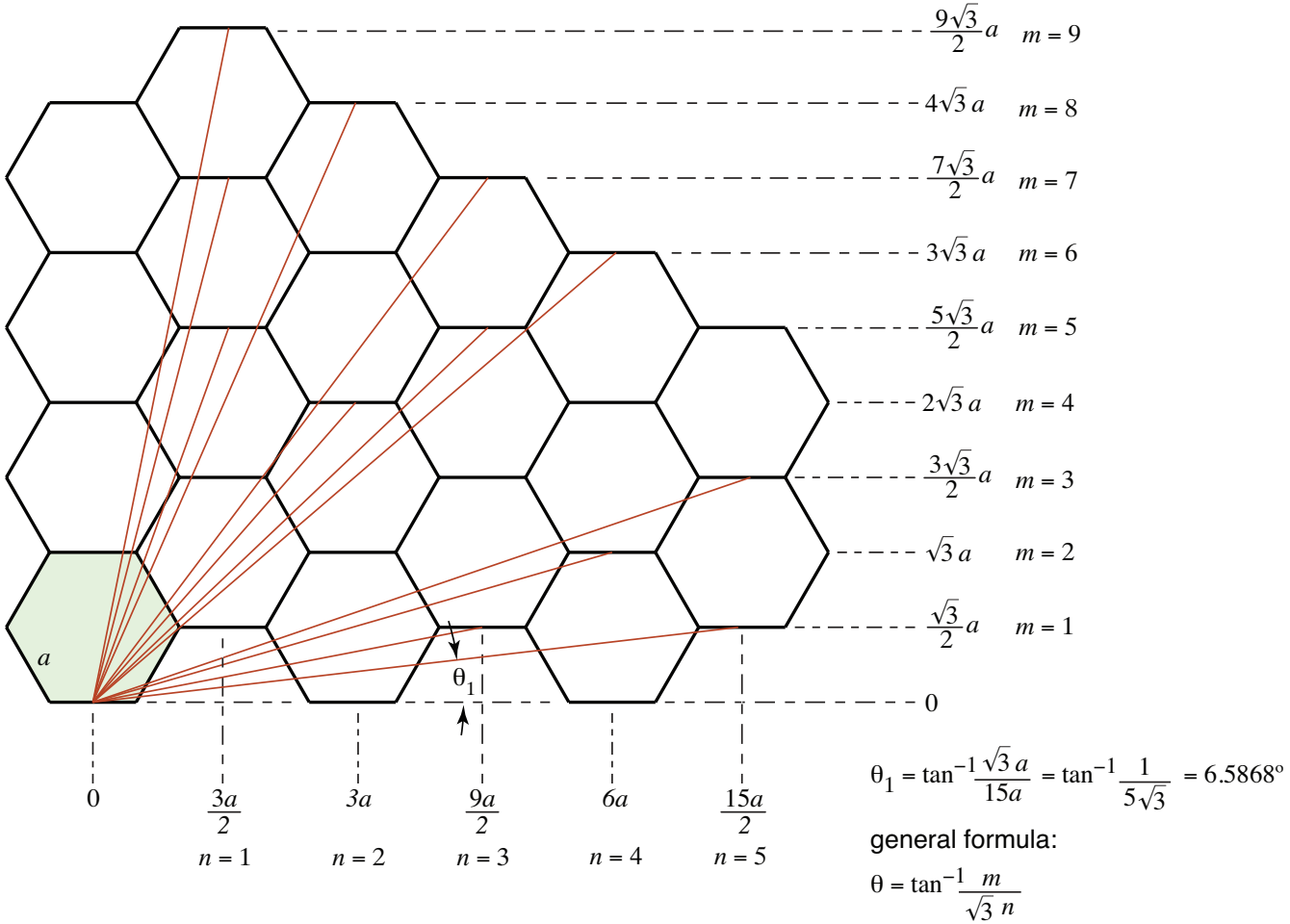
   A. Hébert, DRAGON5 and DONJON5, the contribution of ÉPM to the SALOME platform, (2020).



Quadratures

Introduction
Modèles géométriques
R&D
Quadratures
Tracking
Conclusion
Ressources

- Les quadratures uniformes, utilisées avec le mot clé `TISO`, sont semblables à celles utilisées avec une méthode aux ordonnées discrètes (SN).
- Les quadratures cycliques, utilisées avec le mot clé `TSPC`, sont déterminées de façon à représenter des caractéristiques de longueur infinies.

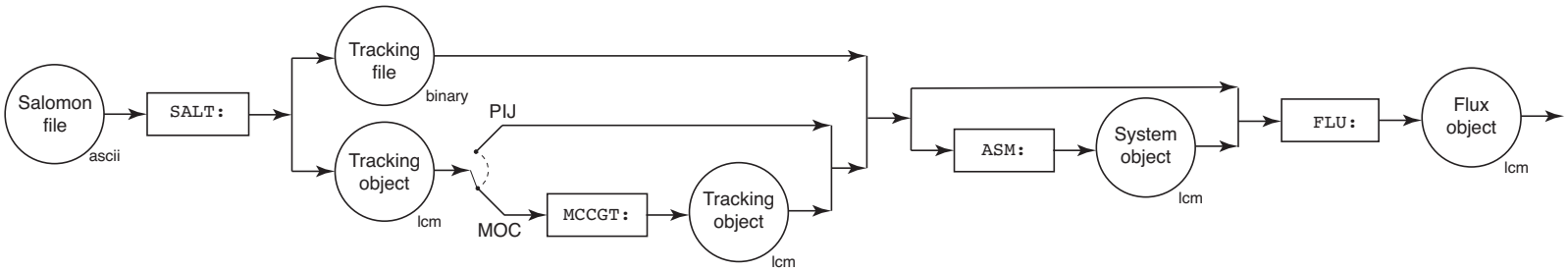


Tracking

Introduction
Modèles géométriques
R&D
Quadratures
Tracking
Conclusion
Ressources

Le calcul de flux neutronique par la méthode des probabilités de collision (PIJ) ou par la méthode des caractéristiques (MOC) est réalisée en plusieurs étapes:

1. Création d'une géométrie surfacique native ou non-native.
2. Tracking de la géométrie surfacique (par exemple, avec le module `SALT:` de Dragon5).
3. Vérification optionnelle du tracking (par exemple, avec le module `TLM:` de Dragon5).
4. Calcul des matrices de probabilités de collision ou calcul de l'information amont pour la méthode des caractéristiques.
5. Calcul d'autoprotection ou calcul de flux neutronique par la méthode des puissances.



Définitions:

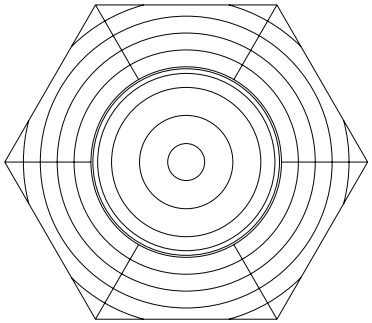
1. Le domaine de calcul est la géométrie surfacique définie à l'étape 1. Les conditions frontières de la classe `Perimeter` permettent de copier cette géométrie par réflexion spéculaire, rotation et/ou translation. L'imposition d'une réflexion isotrope (ou blanche) est possible, à condition que le côté ne coupe pas de crayons circulaires.
2. Une track est la projection d'une caractéristique (3D) sur le domaine de calcul (2D) en prenant soin de satisfaire les conditions frontières. Une track est bidirectionnelle.

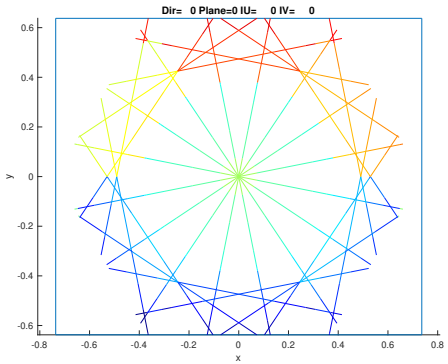
Tracking

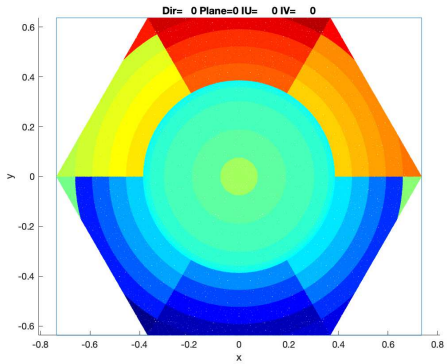
Introduction
Modèles géométriques
R&D
Quadratures
Tracking
Conclusion
Ressources

Le module `SALT:` utilise un index `TYPGEO` afin d'adapter le type de tracking aux besoins de modélisation:

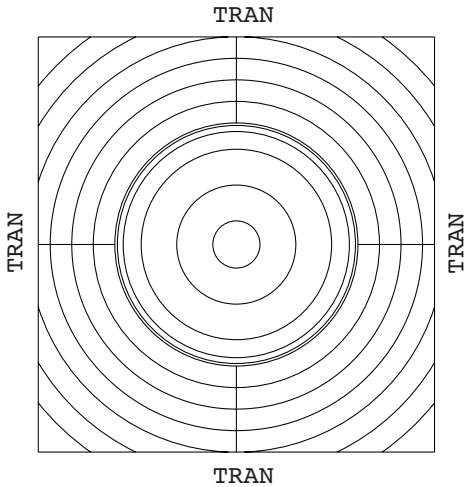
`TYPGEO` = 0**:** Un tracking uniforme est adapté aux conditions frontières `VOID` (vide) ou `ALBE 1.0` (réflexion isotrope ou blanche avec albedo).

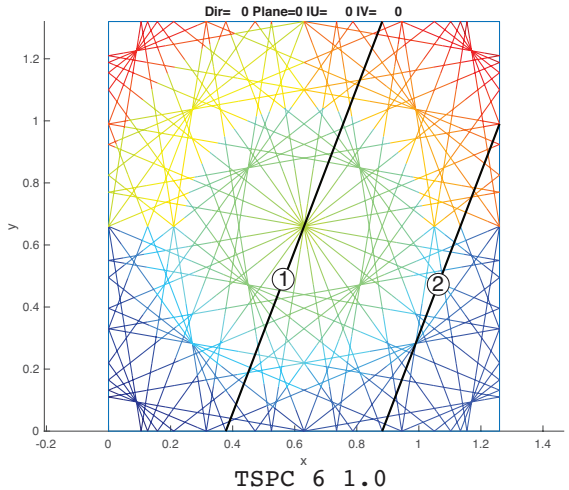






`TYPGEO` = 5**:** (nouveau) Un tracking cyclique est adapté aux conditions frontières `TRAN` (translation) pour une géométrie cartésienne.

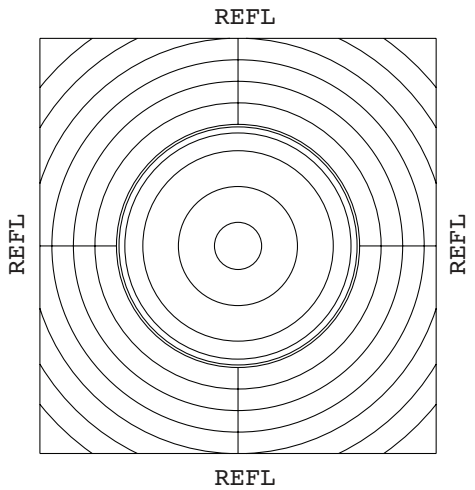


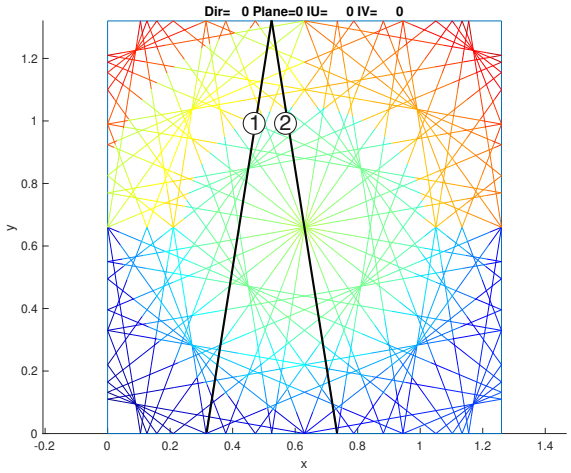


Tracking

Introduction
Modèles géométriques
R&D
Quadratures
Tracking
Conclusion
Ressources

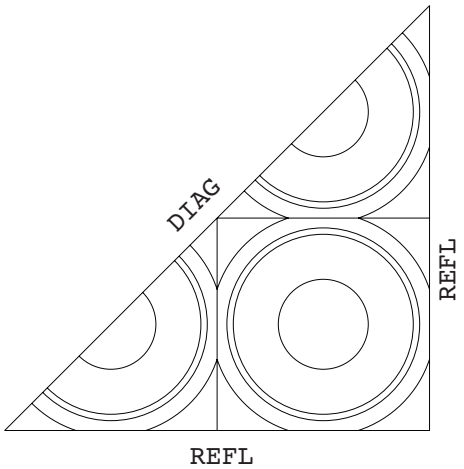
`TYPGEO` = 6**:** Un tracking cyclique est adapté aux conditions frontières `REFL` (reflexion spéculaire) pour une géométrie cartésienne.

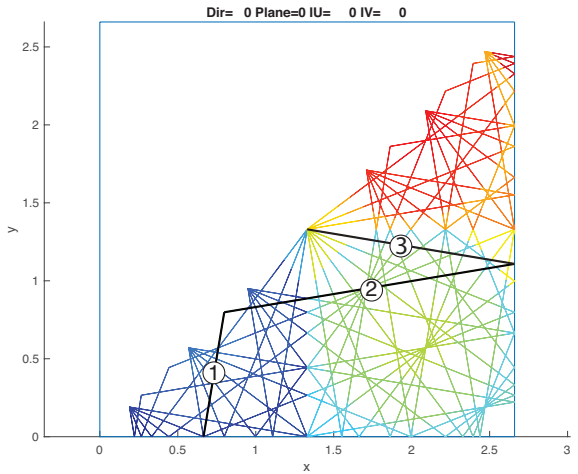




`TSPC 6 1.0`

`TYPGEO` = 7**:** Un tracking cyclique est adapté aux conditions frontières `REFL` (reflexion spéculaire) pour une géométrie cartésienne de huitième d'assemblage.



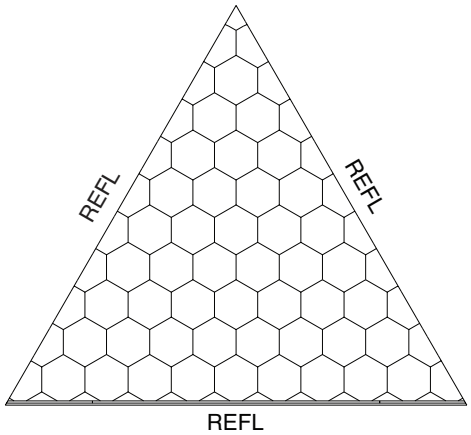


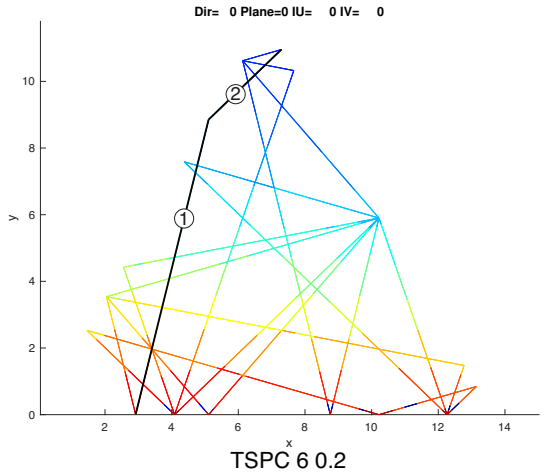
`TSPC 2 0.1`

Tracking

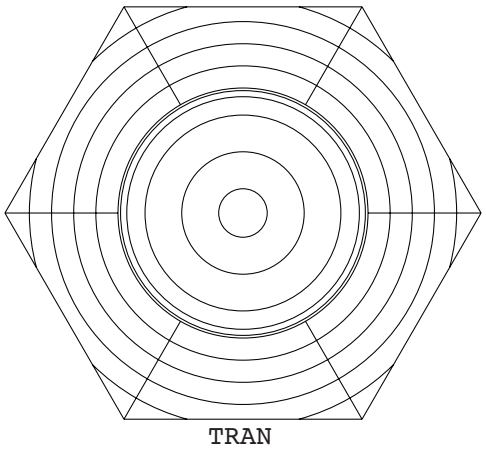
Introduction
Modèles géométriques
R&D
Quadratures
Tracking
Conclusion
Ressources

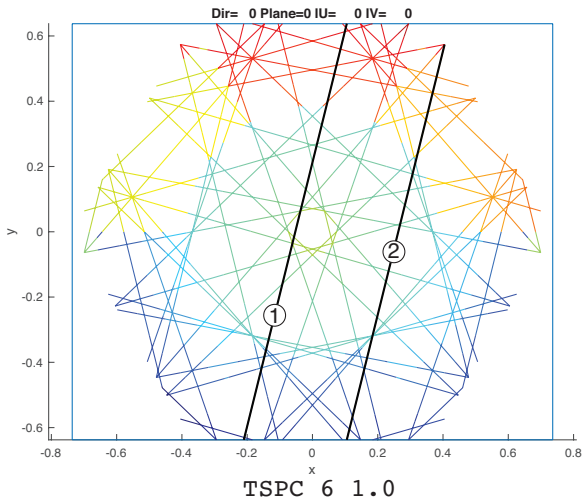
`TYPGEO` = 8**:** Un tracking cyclique est adapté aux conditions frontières `REFL` (reflexion spéculaire) pour une géométrie de triangle isocèle `SA60`.





`TYPGEO` = 9**:** (nouveau) Un tracking cyclique est adapté aux conditions frontières `TRAN` (translation) pour une géométrie hexagonale `COMP` (complète).

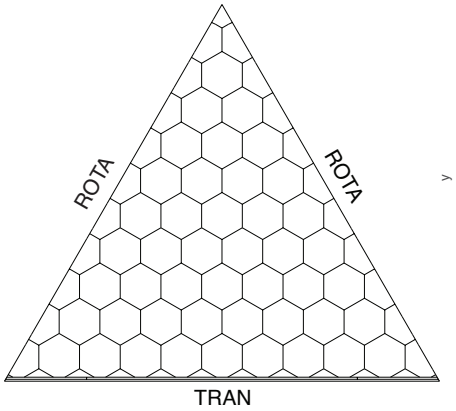


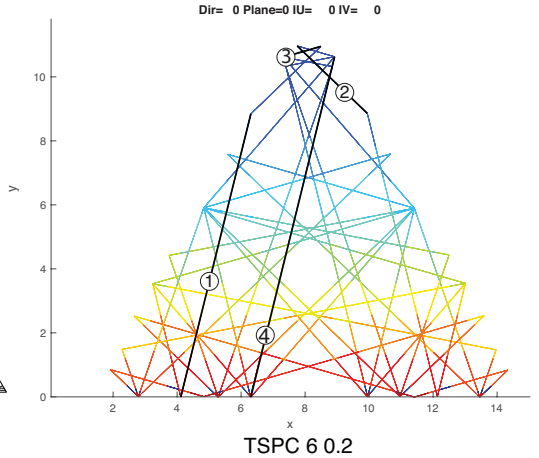


Tracking

Introduction
Modèles géométriques
R&D
Quadratures
Tracking
Conclusion
Ressources

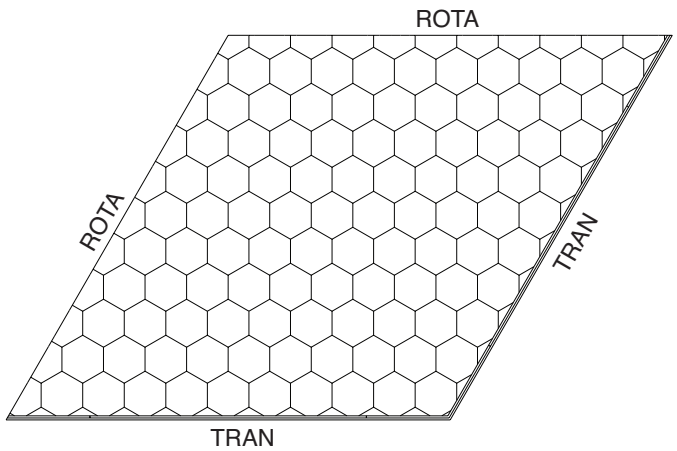
`TYPGEO` = 10: (nouveau) Un tracking cyclique est adapté aux conditions frontières `TRAN` (translation) et `ROTA` (rotation de 60°) pour une géométrie de triangle isocèle `RA60`.

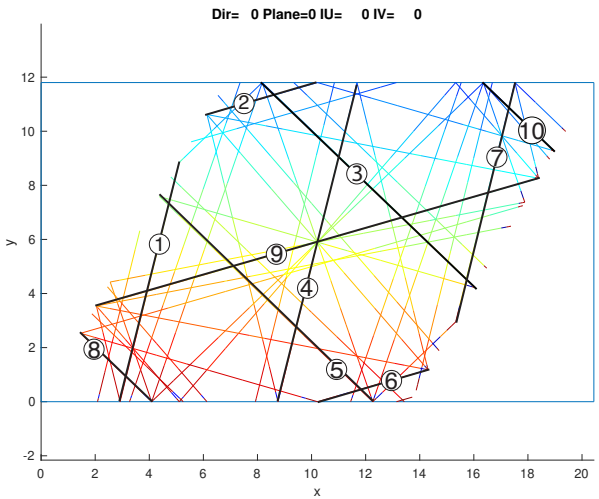




TSPC 6 0.2

`TYPGEO` = 11: (nouveau) Un tracking cyclique est adapté aux conditions frontières `TRAN` (translation) et `ROTA` (rotation de 120°) pour une géométrie trapèze `R120`.





TSPC 6 0.2

Conclusion

Introduction
Modèles géométriques
R&D
Quadratures
Tracking
Conclusion
Ressources

Le code Dragon5 offre la possibilité de traiter les géométries complexes des réacteurs ayant des designs variés (VVER, RJH, SMR, etc.). Il existe un besoin d'une solution Open Source pour pouvoir traiter ces géométries avec des calculs déterministes.

1. L'utilisation de géométries natives est facile, mais présente certaines restrictions pour des designs non-conventionnels.
2. L'utilisation de géométries non-natives est possible, mais Dragon5 n'offre pas d'outil semblable à ALAMOS.

Proposition de développement:

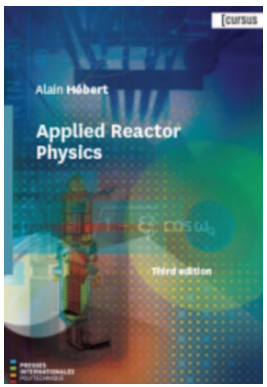
- Programmer un outil semblable à la version pré-Descartes de SALOMON pour pouvoir traiter les géométries de VVER.
- Baser cet outil sur Open CASCADE, afin de simplifier sa configuration. Open CASCADE donne accès à une boîte à outils de modélisation B-Rep (Boundary representation).

Open CASCADE Technology

Ressources

Introduction
Modèles géométriques
R&D
Quadratures
Tracking
Conclusion
Ressources

- Academic:
  Alain Hébert (alain.hebert@polymtl.ca)
- Merlin website:
  DRAGON5/DONJON5: `http://merlin.polymtl.ca`
- Archives website:
  - Accès à l'information sur les développements Dragon5
  - Autres contributions académiques

  `http://merlin.polymtl.ca/archives.htm`
- Textbook:

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