

Ecole Publique d'Ingénieurs en 3 ans

Stage de deuxième année

ETUDE BABCOCK & WILCOX SUR DRAGON

30 Août 2019

2018/2019

Elève **Maxime GOULU**,
Année Universitaire 2018/2019
Électronique Physique Appliqué

Génie Nucléaire

Tuteur entreprise : **Alain HEBERT**
Tuteur ENSICAEN : **Benoît GUILLON**



**POLYTECHNIQUE
MONTREAL**

UNIVERSITÉ
D'INGÉNIERIE

Sommaire

Remerciements	i
1. Présentation du stage	1
1.1. Présentation de l'École Polytechnique de Montréal	1
1.2. Contexte	1
1.3. Compétence Acquise	2
2. Travail effectué et Résultats	3
2.1. Code Dragon	3
2.1.1. Présentation	3
2.1.2. Présentation de module	3
2.1.3. Données intéressantes	5
2.1.4. Création du code	6
2.1.5. Récupération des données	6
2.2. Résultats obtenus	7
3. Conclusion	11
3.1. Suite du stage	11
3.2. Travail restant à réaliser	11
4. Glossaire	12
A. Ensemble des résultats	13

Table des figures

1.1. Exemples de chargements étudiés	2
2.1. Début du module GEO	4
2.2. Définition des cellules	4
2.3. Exemples de tableau de résultats	7
2.4. Comparaison du Flux dans le Cas 4	8
2.5. Comparaison du Taux de Capture dans le Cas 4	8
2.6. Comparaison du Taux de Fission dans le Cas 4	9

Liste des tableaux

2.1. 30 Groupe d'énergie	5
2.2. Keff	10
2.3. Comparaison des coeurs 16 et 17 avec MCNP	10

Remerciements

En premier lieu je tiens à remercier M. Alain Hébert, professeur de l'École Polytechnique de Montréal et mon maître de stage, pour les connaissances et l'aide qu'il m'a fournis tout au long de mon stage. Je tiens également à remercier M. Richard Chambon pour son aide dans la compréhension détaillée du sujet. Je souhaite également remercier Redouane Idhime avec qui j'ai travaillé sur ce stage.

1. Présentation du stage

1.1. Présentation de l'École Polytechnique de Montréal

Fondée en 1873, Polytechnique Montréal, université d'ingénierie, est l'un des plus importants établissements d'enseignement et de recherche en génie au Canada et demeure le premier au Québec quant à l'ampleur de son activité de recherche.

Polytechnique dispense son enseignement dans plusieurs spécialités de l'ingénierie et réalise près du quart de la recherche universitaire dans ces domaines au Québec. Ses quelques 60 unités de recherche et son corps professoral formé d'experts reconnus à travers le monde, lui permettent de poursuivre des activités de recherche parmi les plus intenses au Canada.

Polytechnique Montréal est un pôle scientifique et technologique de calibre international. Elle compte plus de 200 ententes avec des établissements à travers le monde et plus d'un quart de ses étudiants provient de l'étranger.

1.2. Contexte

Ce stage fait suite à une demande de la société CGN¹ souhaitant comparer leur code de calcul avec le code Dragon développé à l'École Polytechnique de Montréal. Pour ce faire, ils nous ont fourni une liste d'études à faire. Nous nous sommes concentrés sur l'étude Babcock & Wilcox cœur numéro 11.

Ce cœur est un carré de 93 cellules (152,15 cm) de côté. Au centre de ce cœur on trouve un carré de 45 cellules variant avec les différents chargements entouré par de l'eau. Les différents chargements proposent des configurations variées : il débute avec un cœur rempli de combustible et évolue avec l'ajout de trous d'eau, de barres de Pyrex, de Victor ou d' AlO_3 . Cela permet de vérifier que le code donne de bons résultats dans différentes conditions et de s'assurer qu'il fonctionnera même dans des cas exotiques.

1. China General Nuclear Power Corporation

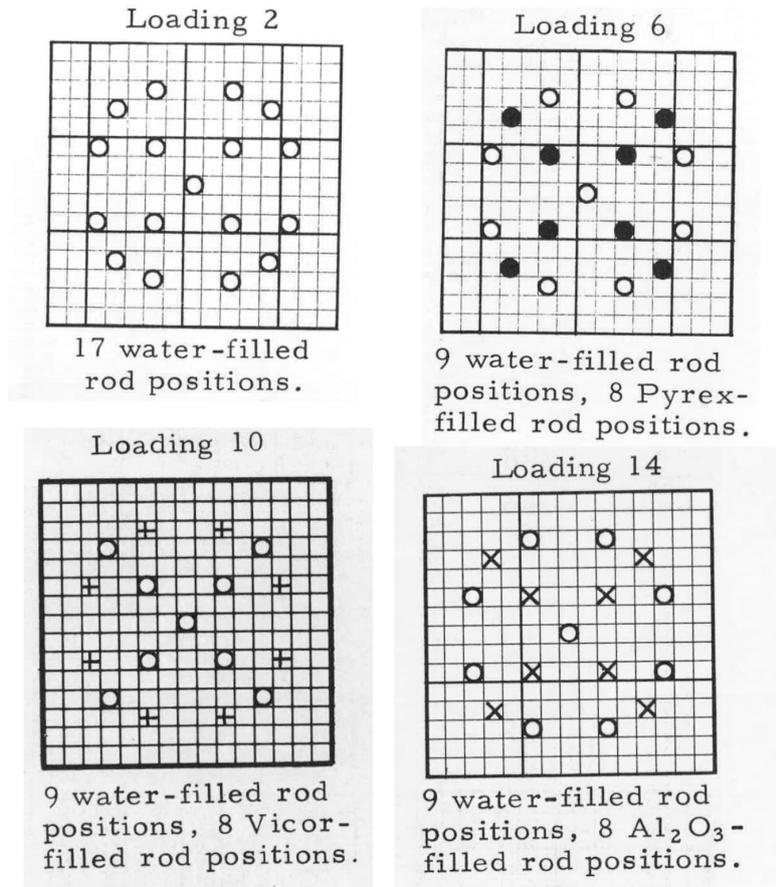


FIGURE 1.1. – Exemples de chargements étudiés

1.3. Compétence Acquisse

Durant ce stage, j'ai appris à travailler en autonomie au sein d'une petite équipe. J'ai également appris à utiliser le code Dragon et à traiter les données ainsi qu'à utiliser LaTeX avec lequel j'ai rédigé ce rapport.

2. Travail effectué et Résultats

2.1. Code Dragon

2.1.1. Présentation

Dragon est un code de calcul de réseaux déterministe. Il est construit autour de modules prenant des structures de données en entrées pour effectuer des calculs et modifications sur ces structures. Avec ses différents modules on peut calculer de nombreuses données comme le flux ou des sections efficaces. Pour ce faire, nous effectuons d'abord un calcul de suivi sur la géométrie pour connaître les trajectoires des neutrons. Ensuite nous allons récupérer les sections efficaces pour les éléments qui nous intéressent, calculons les sections efficaces auto-protégées et définissons les mixtures. Nous pouvons alors effectuer un calcul de flux avec tous les résultats obtenus précédemment. Enfin on homogénéise les résultats dans de petites zones et dans un petit nombre de groupes d'énergie (3 ou 30).

Le code Dragon requière plusieurs fichiers d'entrées pour fonctionner correctement : un fichier `.access` qui permet de charger les bibliothèques à utiliser par le code, un fichier `.save` pour sauvegarder certains fichiers créés durant l'exécution du code (le code supprimant tous les fichiers temporaires à la fin de son exécution), et un fichier `.x2m` gérant l'appel des modules du code. Nous avons également utilisé des fichiers `.c2m` permettant de séparer les différentes phases de l'exécution du code dans le but de simplifier la lecture et la correction du code.

2.1.2. Présentation de module

Parmi les nombreux modules présents dans Dragon, certains sont assez simples dans leur fonction mais d'autres, plus essentiels, sont moins intuitifs dans leur fonctionnement.

Le module GEO permet de définir la géométrie du cœur avec un système de cellules pouvant prendre différentes formes et une définition du cœur à partir de ces cellules.

```

GEOM := GEO: :: CAR2D 47 47
EDIT 0
X- SYME X+ ALBE 1
Y- SYME Y+ ALBE 1
CELL
F F F F F F F F F F F F F F F F F F F F F F F C C C C C C C C C C C C C C C C
F F F F F F F F F F F F F F F F F F F F F F F C C C C C W W W W W W W
F F F F F F F F F F F F F F F F F F F F F F F C C C C C C C C C C C C C C C C
F F F F F F F F F F F F F F F F F F F F F F F C C C C C W W W W W W W

```

FIGURE 2.1. – Début du module GEO

```

! Fuel Cell (inner core)
::: F := GEO: CARCEL 5
    MESHX 0.0 <<side>>
    MESHY 0.0 <<side>>
    RADIUS 0.0 <<Rcomb1>> <<Rcomb2>> <<Rcomb3>> <<Rcomb4>> <<rclad>>
    MIX 1 2 3 4 5 6
;
! Fuel Cell (outer core)
::: C := GEO: F
;
! Water (inside real tank size)
::: W := GEO: CAR2D 1 1
    MESHX 0.0 <<side>>
    MESHY 0.0 <<side>>
    MIX 6
;
! Water (outside real tank size)
::: X := GEO: W
    MIX <<mixX>>
;

```

FIGURE 2.2. – Définition des cellules

On retrouve ici deux géométries principales CAR2D et CARCEL. CAR2D représente une cellule cartésienne ici les trous d'eau. CARCEL représente lui une géométrie plus complexe mais très présente dans les réacteurs nucléaires : une cellule cartésienne munie d'un cylindre à son centre. Ce cylindre peut avoir plusieurs épaisseurs et ainsi représenter un barreau de combustible dans une gaine ou une barre de contrôle entourée par de l'eau.

Pour le calcul des trajectoires, plusieurs modules sont disponibles. Nous utilisons le module SYBILT¹ pour effectuer le suivi pour l'autoprotection et le module SALT¹ pour le suivi isotrope.

Le module LIB est utilisé pour adapter différents formats de librairie et créer des mélanges pour le carburant, l'eau borée et les différentes barres de poison.

Pour le calcul de l'auto-protection on utilise le module USS¹ pour modifier la librairie pour prendre en compte l'auto-protection dans le calcul du flux.

Pour calculer le flux on utilise le module FLU qui utilise la méthode des probabilités de collision.

On utilise le module EDI pour pouvoir condenser les résultats sur certaines zones du cœur ainsi que sur certains groupes d'énergies.

1. Voir Glossaire page 12

2.1.3. Données intéressantes

Parmi les nombreuses données que le code Dragon va pouvoir nous fournir nous allons nous intéresser à certaines en particulier : tout d'abord le Keff qui nous permettra d'avoir une première idée de la véracité de nos résultats. Ensuite nous étudierons les valeurs de flux, de taux de capture et de taux de fission à 30 groupes pour vérifier plus en détail nos résultats.

TABLE 2.1. – 30 Groupe d'énergie

N°Groupe	Borne supérieur (eV)
Groupe 1	2,00E+07
Groupe 2	6,50E+06
Groupe 3	4,00E+06
Groupe 4	2,50E+06
Groupe 5	1,40E+06
Groupe 6	8,00E+05
Groupe 7	4,00E+05
Groupe 8	2,00E+05
Groupe 9	1,00E+05
Groupe 10	4,64E+04
Groupe 11	2,15E+04
Groupe 12	1,00E+04
Groupe 13	4,64E+03
Groupe 14	2,15E+03
Groupe 15	1,00E+03
Groupe 16	4,64E+02
Groupe 17	2,15E+02
Groupe 18	1,00E+02
Groupe 19	4,64E+01
Groupe 20	2,15E+01
Groupe 21	1,00E+01
Groupe 22	4,64E+00
Groupe 23	2,15E+00
Groupe 24	1,00E+00
Groupe 25	4,64E-01
Groupe 26	2,15E-01
Groupe 27	1,00E-01
Groupe 28	4,64E-02
Groupe 29	2,15E-02
Groupe 30	1,00E-02

2.1.4. Création du code

Nous avons d'abord dû nous familiariser avec le code Dragon et avons suivi trois présentations sur celui-ci. Nous avons ensuite dû créer les jeux de données pour simuler les différentes configurations de notre cœur. Pour cela nous sommes repartis des travaux de Richard Chambon qui avait déjà travaillé sur cette étude mais sur un autre cœur pour l'entreprise SPIC². Nous avons modifié les géométries, les mixtures, les bibliothèques et les modules de suivi, d'autoprotection et de calcul du flux pour s'adapter à notre cas.

2.1.5. Récupération des données

Après avoir fait tourner le code Dragon, nous récupérons un fichier .result et un fichier objet contenant de nombreuses données au format texte. Nous devons alors traiter ces données afin de pouvoir les comparer avec celles du document LEU-COMP-THERM-008 (ICSBEP³). La quantité de données à traiter étant très importante (17 cœurs, 30 groupes d'énergies et 1128 (ou 2209) zones) il a fallu automatiser le traitement des données. Pour se faire nous avons utilisé une combinaison d'AutoHotkey et d'un tableur pour récupérer des grands tableaux réguliers et les traiter rapidement.

2. State Power Investment Corporation

3. International Criticality Safety Benchmark Evaluation Project

1108	3.45827E-07	1.79322E-01	2.57540E+00	2.17435E-03	0.00000E+00	0.00000E+00	7.61361E-02	1.01012E-01
1109	3.12013E-07	1.78877E-01	2.57893E+00	2.18616E-03	0.00000E+00	0.00000E+00	7.62308E-02	1.00460E-01
1110	2.90626E-07	1.78442E-01	2.59239E+00	2.19763E-03	0.00000E+00	0.00000E+00	7.63231E-02	9.99211E-02
1111	2.52680E-07	1.77905E-01	2.58665E+00	2.21203E-03	0.00000E+00	0.00000E+00	7.64374E-02	9.92555E-02
1112	2.09894E-07	1.77474E-01	2.59010E+00	2.22153E-03	0.00000E+00	0.00000E+00	7.65256E-02	9.87265E-02
1113	1.72529E-07	1.76647E-01	2.59666E+00	2.24389E-03	0.00000E+00	0.00000E+00	7.67014E-02	9.77023E-02
1114	2.82723E-07	1.78401E-01	2.58271E+00	2.19874E-03	0.00000E+00	0.00000E+00	7.63318E-02	9.98700E-02
1115	2.55111E-07	1.77564E-01	2.58627E+00	2.21048E-03	0.00000E+00	0.00000E+00	7.64266E-02	9.93165E-02
1116	2.90709E-07	1.77408E-01	2.59068E+00	2.22504E-03	0.00000E+00	0.00000E+00	7.65427E-02	9.88399E-02
1117	2.09533E-07	1.76890E-01	2.59480E+00	2.23852E-03	0.00000E+00	0.00000E+00	7.66595E-02	9.79875E-02
1118	1.66869E-07	1.76086E-01	2.60110E+00	2.25993E-03	0.00000E+00	0.00000E+00	7.68233E-02	9.70023E-02
1119	2.31223E-07	1.77481E-01	2.59002E+00	2.22278E-03	0.00000E+00	0.00000E+00	7.65266E-02	9.87319E-02
1120	2.09388E-07	1.76948E-01	2.59426E+00	2.23680E-03	0.00000E+00	0.00000E+00	7.66396E-02	9.80717E-02
1121	1.86869E-07	1.76308E-01	2.59934E+00	2.25379E-03	0.00000E+00	0.00000E+00	7.67757E-02	9.72784E-02
1122	1.57719E-07	1.75517E-01	2.60561E+00	2.27545E-03	0.00000E+00	0.00000E+00	7.69449E-02	9.62968E-02
1123	1.97498E-07	1.76495E-01	2.59932E+00	2.25019E-03	0.00000E+00	0.00000E+00	7.67481E-02	9.74370E-02
1124	1.71559E-07	1.75745E-01	2.60378E+00	2.26846E-03	0.00000E+00	0.00000E+00	7.69542E-02	9.65860E-02
1125	1.46334E-07	1.74909E-01	2.61044E+00	2.29151E-03	0.00000E+00	0.00000E+00	7.70739E-02	9.56440E-02
1126	1.58133E-07	1.75068E-01	2.60919E+00	2.28640E-03	0.00000E+00	0.00000E+00	7.70387E-02	9.57427E-02
1127	1.38907E-07	1.74166E-01	2.61634E+00	2.31149E-03	0.00000E+00	0.00000E+00	7.72324E-02	9.46217E-02
1128	1.22044E-07	1.73228E-01	2.62377E+00	2.33789E-03	0.00000E+00	0.00000E+00	7.74343E-02	9.34657E-02
FLUX DISADVANTAGE FACTOR = 1.75009E+00								
G R O U P : 3								
REGION	AVERAGE	NTOTO	DIFFUSION	ABSORPTION	NUSIGF	FISSION	SCATTERING	X-S
	FLUX	X-S	COEFFICIENT	X-S	X-S	SPECTRUM	WITHIN GROUP	OUT OF GROUP
1	3.06601E-04	2.06119E-01	2.30482E+00	4.23112E-03	1.08577E-02	1.78255E-01	9.30699E-02	1.08829E-01
2	3.06369E-04	2.06132E-01	2.30482E+00	4.23308E-03	1.08623E-02	1.78255E-01	9.30812E-02	1.08818E-01
3	3.05765E-04	2.06104E-01	2.30482E+00	4.22517E-03	1.08419E-02	1.78255E-01	9.30386E-02	1.08841E-01
4	3.04552E-04	2.06115E-01	2.30482E+00	4.22724E-03	1.08473E-02	1.78255E-01	9.30459E-02	1.08842E-01
5	3.03005E-04	2.06105E-01	2.30482E+00	4.22528E-03	1.08422E-02	1.78255E-01	9.30392E-02	1.08840E-01
6	3.00753E-04	2.06126E-01	2.30482E+00	4.23152E-03	1.08583E-02	1.78255E-01	9.30732E-02	1.08821E-01
7	2.99293E-04	2.06116E-01	2.30482E+00	4.22959E-03	1.08510E-02	1.78255E-01	9.30579E-02	1.08829E-01
8	2.95188E-04	2.06122E-01	2.30482E+00	4.22999E-03	1.08544E-02	1.78255E-01	9.30630E-02	1.08829E-01
9	2.91760E-04	2.06133E-01	2.30482E+00	4.23263E-03	1.08612E-02	1.78255E-01	9.30765E-02	1.08824E-01
10	2.87941E-04	2.06134E-01	2.30482E+00	4.23328E-03	1.08628E-02	1.78254E-01	9.30813E-02	1.08819E-01
11	2.83608E-04	2.06109E-01	2.30482E+00	4.22573E-03	1.08438E-02	1.78255E-01	9.30384E-02	1.08845E-01
12	2.78966E-04	2.06096E-01	2.30482E+00	4.22188E-03	1.08334E-02	1.78255E-01	9.30177E-02	1.08856E-01
13	2.73799E-04	2.06111E-01	2.30482E+00	4.22700E-03	1.08466E-02	1.78255E-01	9.30476E-02	1.08836E-01
14	2.68298E-04	2.06118E-01	2.30482E+00	4.22977E-03	1.08539E-02	1.78255E-01	9.30676E-02	1.08819E-01
15	2.62405E-04	2.06128E-01	2.30482E+00	4.23384E-03	1.08642E-02	1.78255E-01	9.30917E-02	1.08802E-01
16	2.56144E-04	2.06114E-01	2.30482E+00	4.22876E-03	1.08512E-02	1.78255E-01	9.30612E-02	1.08824E-01
17	2.49490E-04	2.06126E-01	2.30482E+00	4.23099E-03	1.08567E-02	1.78255E-01	9.30664E-02	1.08829E-01
18	2.42549E-04	2.06116E-01	2.30482E+00	4.22801E-03	1.08492E-02	1.78255E-01	9.30509E-02	1.08837E-01
19	2.35250E-04	2.06116E-01	2.30482E+00	4.22854E-03	1.08506E-02	1.78255E-01	9.30555E-02	1.08832E-01
20	2.27656E-04	2.06110E-01	2.30482E+00	4.22475E-03	1.08408E-02	1.78255E-01	9.30271E-02	1.08856E-01
21	2.19793E-04	2.06119E-01	2.30482E+00	4.22907E-03	1.08520E-02	1.78255E-01	9.30566E-02	1.08834E-01
22	2.11726E-04	2.06123E-01	2.30482E+00	4.23187E-03	1.08592E-02	1.78255E-01	9.30783E-02	1.08813E-01
23	2.03323E-04	2.06129E-01	2.30482E+00	4.23375E-03	1.08640E-02	1.78255E-01	9.30896E-02	1.08806E-01
24	1.94826E-04	2.06127E-01	2.30482E+00	4.23102E-03	1.08570E-02	1.78255E-01	9.30666E-02	1.08829E-01
25	1.86146E-04	2.06111E-01	2.30482E+00	4.22695E-03	1.08462E-02	1.78255E-01	9.30430E-02	1.08841E-01
26	1.77260E-04	2.06110E-01	2.30482E+00	4.22350E-03	1.08393E-02	1.78255E-01	9.30211E-02	1.08856E-01
27	1.68184E-04	2.06108E-01	2.30482E+00	4.22716E-03	1.08470E-02	1.78255E-01	9.30466E-02	1.08834E-01
28	1.58938E-04	2.06121E-01	2.30482E+00	4.23002E-03	1.08544E-02	1.78254E-01	9.30579E-02	1.08834E-01
29	1.49552E-04	2.06117E-01	2.30482E+00	4.23036E-03	1.08553E-02	1.78255E-01	9.30675E-02	1.08819E-01
30	1.40254E-04	2.06111E-01	2.30482E+00	4.22762E-03	1.08482E-02	1.78255E-01	9.30443E-02	1.08839E-01
31	1.30769E-04	2.06122E-01	2.30483E+00	4.23375E-03	1.08639E-02	1.78255E-01	9.30848E-02	1.08804E-01
32	1.21245E-04	2.06120E-01	2.30483E+00	4.23079E-03	1.08563E-02	1.78254E-01	9.30599E-02	1.08829E-01
33	1.11889E-04	2.06115E-01	2.30483E+00	4.22973E-03	1.08536E-02	1.78254E-01	9.30459E-02	1.08839E-01
34	1.02579E-04	2.06077E-01	2.30484E+00	4.21966E-03	1.08275E-02	1.78254E-01	9.29827E-02	1.08875E-01
35	9.28371E-05	2.06097E-01	2.30483E+00	4.22012E-03	1.08288E-02	1.78254E-01	9.29810E-02	1.08896E-01
36	8.28735E-05	2.06127E-01	2.30484E+00	4.23391E-03	1.08643E-02	1.78254E-01	9.30630E-02	1.08831E-01
37	7.46274E-05	2.06108E-01	2.30485E+00	4.22859E-03	1.08505E-02	1.78254E-01	9.30133E-02	1.08866E-01
38	6.56992E-05	2.06109E-01	2.30486E+00	4.23928E-03	1.08778E-02	1.78253E-01	9.30970E-02	1.08772E-01

FIGURE 2.3. – Exemples de tableau de résultats

2.2. Résultats obtenus

Avec ces codes nous avons pu récupérer de nombreuses données comme le flux, les taux de capture et de fission etc. et les comparer avec des résultats obtenus avec des codes Monte-Carlo (MCNP et KENO) issus du document LEU-COMP-THERM-008. Cela nous permet de valider la véracité de nos résultats malgré une différence normale, les codes Monte-Carlo utilisant une autre méthode de calcul que le code Dragon déterministe.

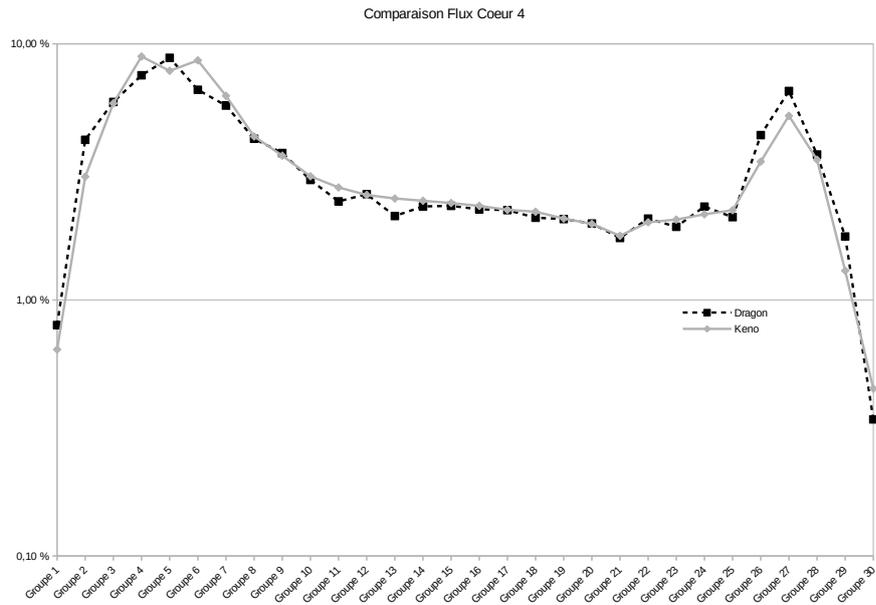


FIGURE 2.4. – Comparaison du Flux dans le Cas 4

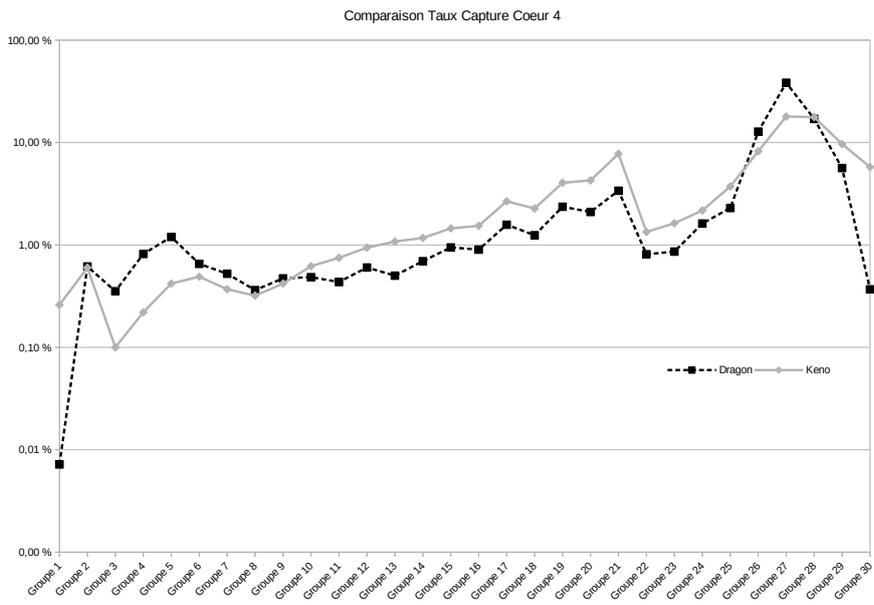


FIGURE 2.5. – Comparaison du Taux de Capture dans le Cas 4

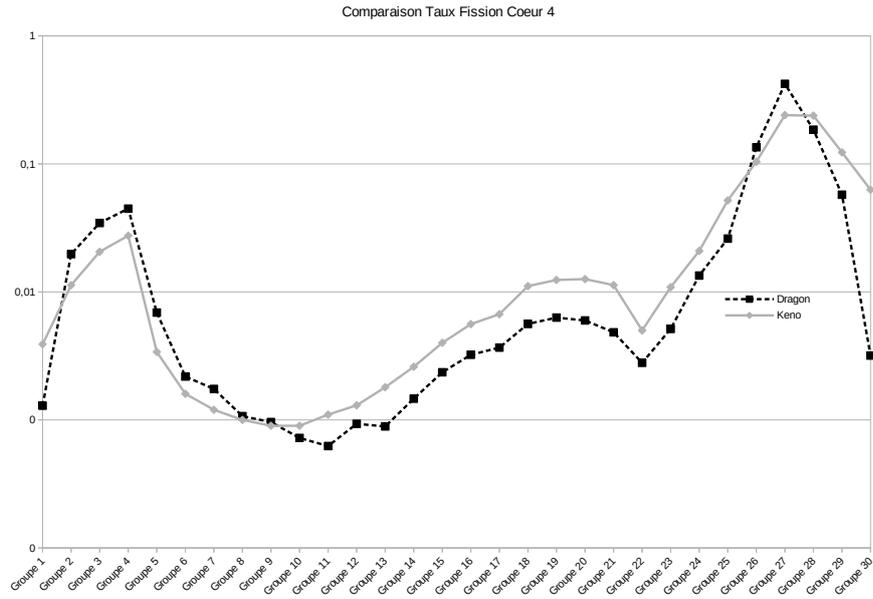


FIGURE 2.6. – Comparaison du Taux de Fission dans le Cas 4

On peut voir que nos résultats ont la même forme que les résultats obtenus avec Keno. Le flux est très similaire et les taux de capture et de fission sont légèrement plus faibles dans les domaines "thermique" et "rapide" et plus haut dans le domaine "épithermique".

TABLE 2.2. – Keff

Coeur	K_eff Keno	k_eff Dragon	Ecart pcm
1	0,9933	0,9941478	-85
2	0,9938	0,9971622	-336
3	0,9943	0,9976301	-333
4	0,9939	0,994104	-20
5	0,9934	0,9936607	-26
6	0,994	0,991577	242
7	0,9933	0,9907871	251
8	0,9926	0,9869664	563
9	0,983	0,9871496	-415
10	0,9936	0,9953881	-179
11	0,9942	0,9961604	-196
12	0,9938	0,9968297	-303
13	0,9938	0,9968184	-302
14	0,9935	0,9962459	-275
15	0,9935	0,9961179	-262
16	0,9933	1,001211	-791
17	0,9924	1,003855	-1145

Quand on s'intéresse au Keff, des écarts d'environ 300-400 pcm avec ceux d'un code Monte-Carlo peuvent être jugés insignifiants. A l'examen des Keff obtenues, on constate des légères différences pour les cœurs 8 et 9 et très élevé pour les cœurs 16 et 17. Pour ces derniers, le problème semble venir de la géométrie en ligne des trous d'eau. Mais l'origine de ce problème nous est inconnue. Pour les cœurs 6 à 9, l'écart est significatif sans être vraiment inquiétant.

TABLE 2.3. – Comparaison des cœurs 16 et 17 avec MCNP

Coeur	Keff	Keff MCNP	Ecart en pcm
16	1,001	1,0001	90
17	1,0042	0,9972	700

Pour les cœurs 16 et 17, nous avons utilisé d'autres résultats obtenus avec MCNP mais avec une librairie plus ancienne et on remarque que les écarts sont plus faibles. On peut penser que le code KENO serait possiblement la cause de ces écarts mais seule une étude dédiée à la comparaison entre MCNP et Keno avec la même librairie permettrait de voir si les écarts sont toujours aussi importants.

3. Conclusion

3.1. Suite du stage

Avec les résultats de notre étude, l'entreprise CGN pourra comparer ceux qu'elle a obtenus avec son propre code de calculs afin de vérifier si celui-ci donne des résultats satisfaisants avant de l'utiliser pour développer des réacteurs.

3.2. Travail restant à réaliser

L'entreprise CGN avait demandé une liste d'étude à effectuer. Cela laisse donc la possibilité de continuer le travail en ajoutant d'autres résultats afin d'assurer la qualité du code chinois en testant d'autres cœurs avec d'autres caractéristiques.

On peut également penser à faire une étude plus détaillée sur les cœurs 16 et 17 pour trouver l'origine des différences entre les divers codes pour savoir si nos résultats sont satisfaisants.

4. Glossaire

USS (universal self-shielding) : Permet un calcul d'autoprotection basé sur la méthode des sous-groupes.

SYBILT : Module de calcul du suivi utilisé pour calculer les courants d'interfaces dans les blocs hétérogènes.

SALT : Module de calcul du suivi utilisé dans la méthode des probabilités de collision et la méthode des caractéristiques.

A. Ensemble des résultats

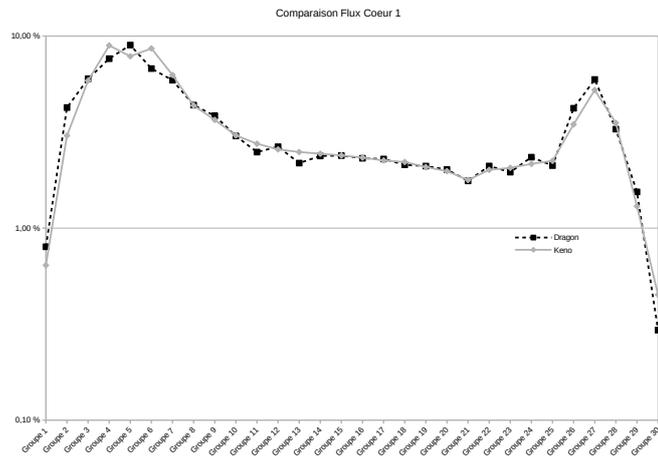


FIGURE A.1. – Comparaison du Flux dans le Cas 1

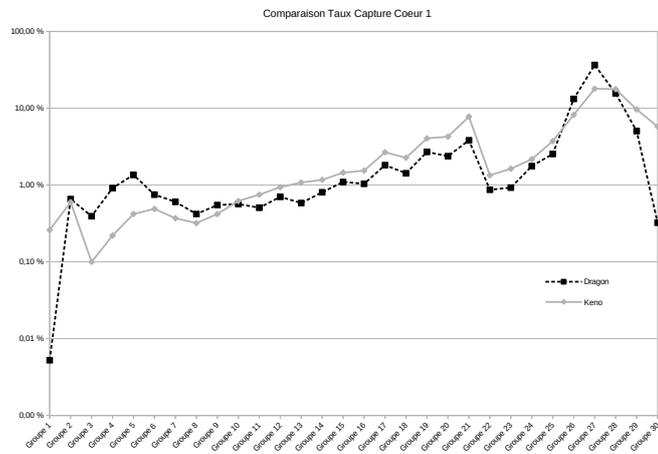


FIGURE A.2. – Comparaison du Taux de Capture dans le Cas 1

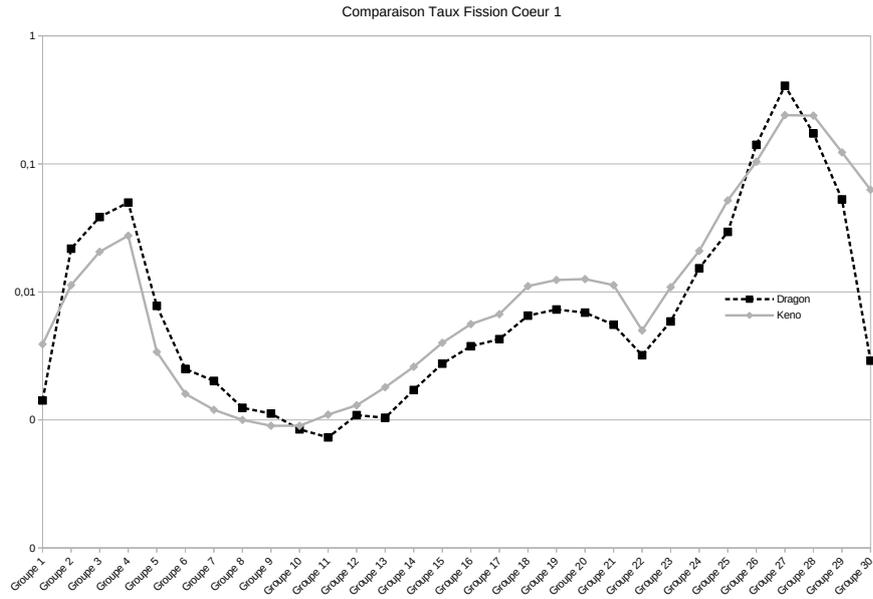


FIGURE A.3. – Comparaison du Taux de Fission dans le Cas 1

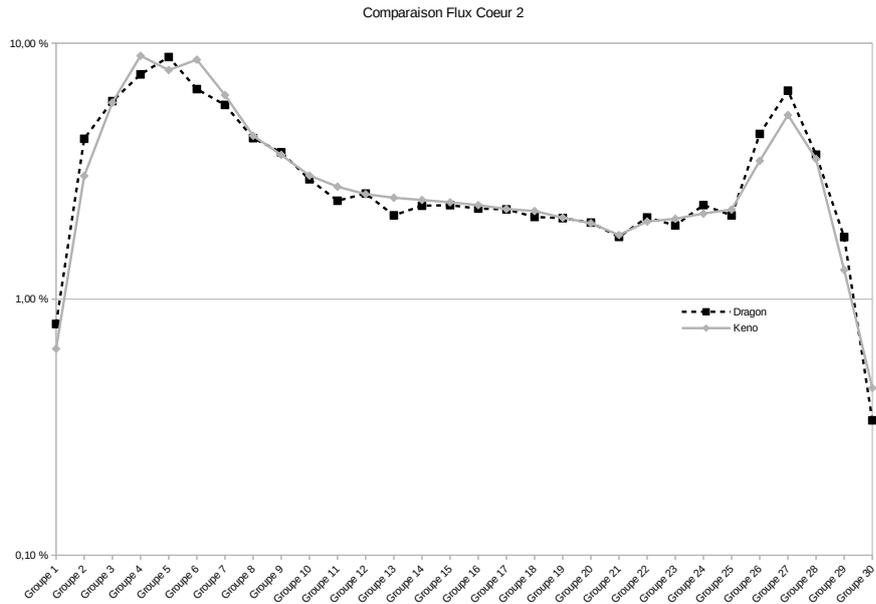


FIGURE A.4. – Comparaison du Flux dans le Cas 2

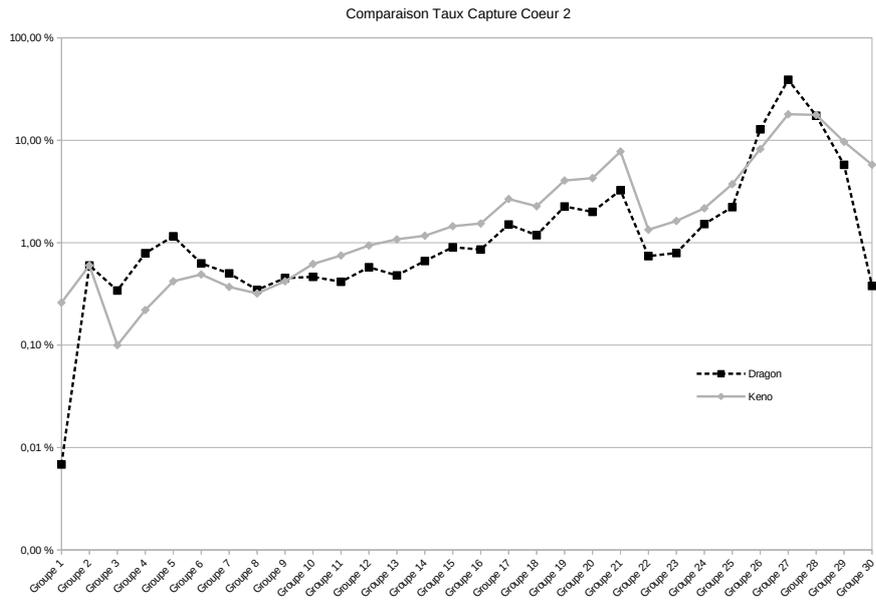


FIGURE A.5. – Comparaison du Taux de Capture dans le Cas 2

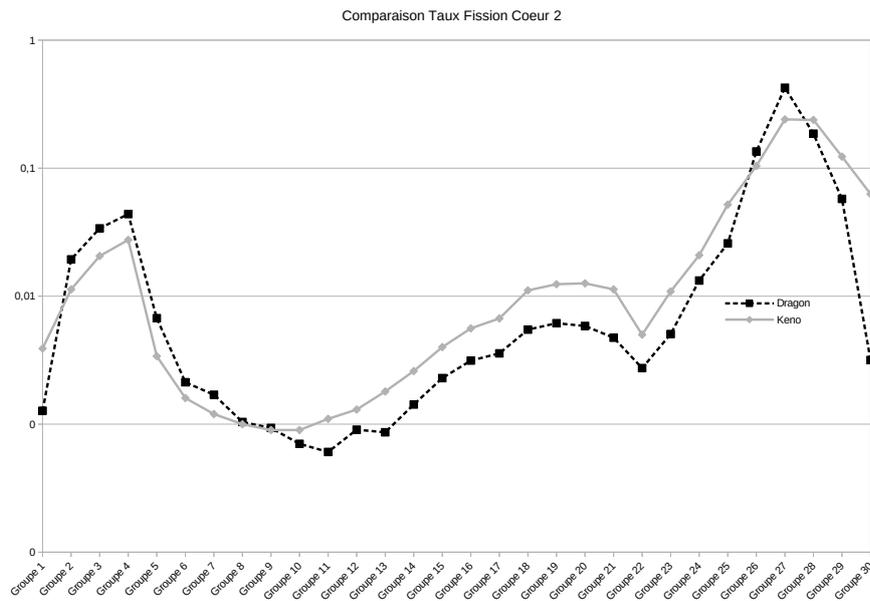


FIGURE A.6. – Comparaison du Taux de Fission dans le Cas 2

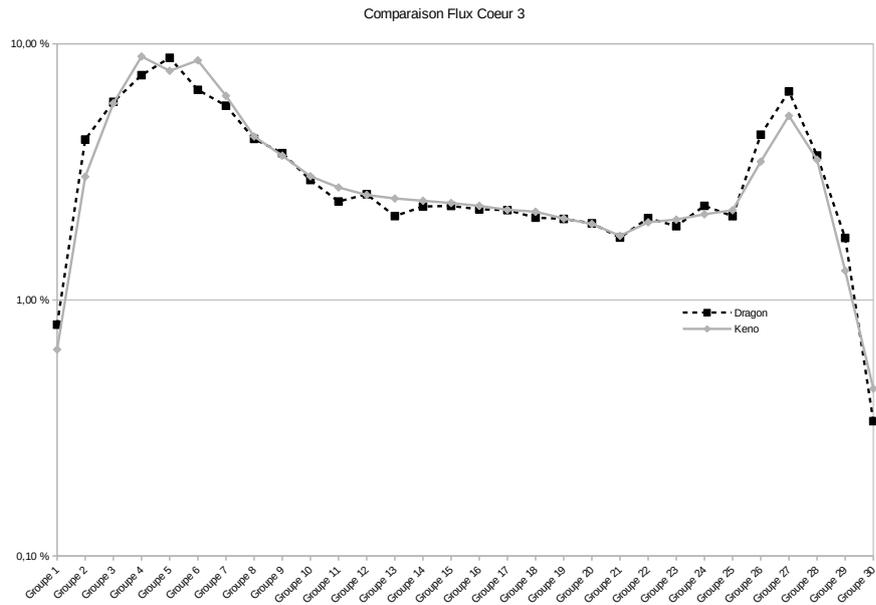


FIGURE A.7. – Comparaison du Flux dans le Cas 3

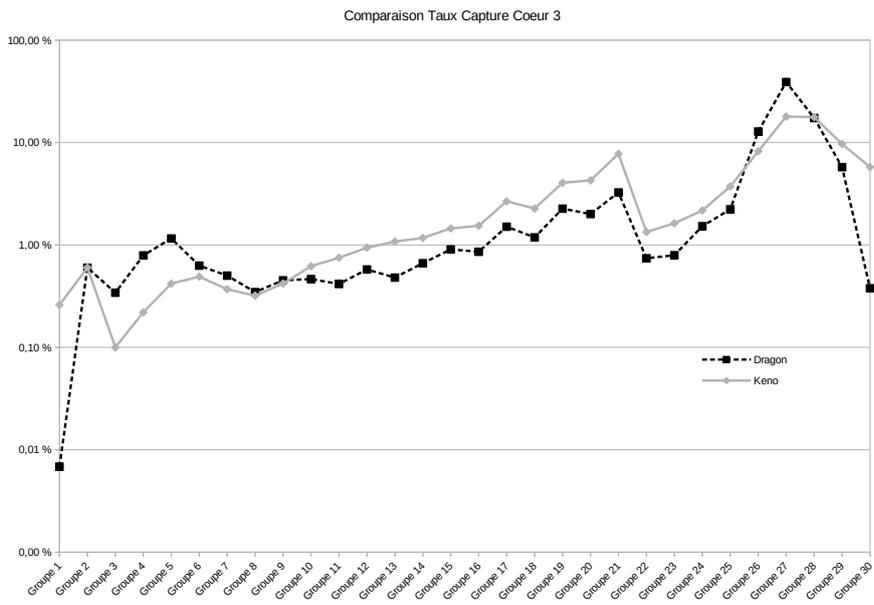


FIGURE A.8. – Comparaison du Taux de Capture dans le Cas 3

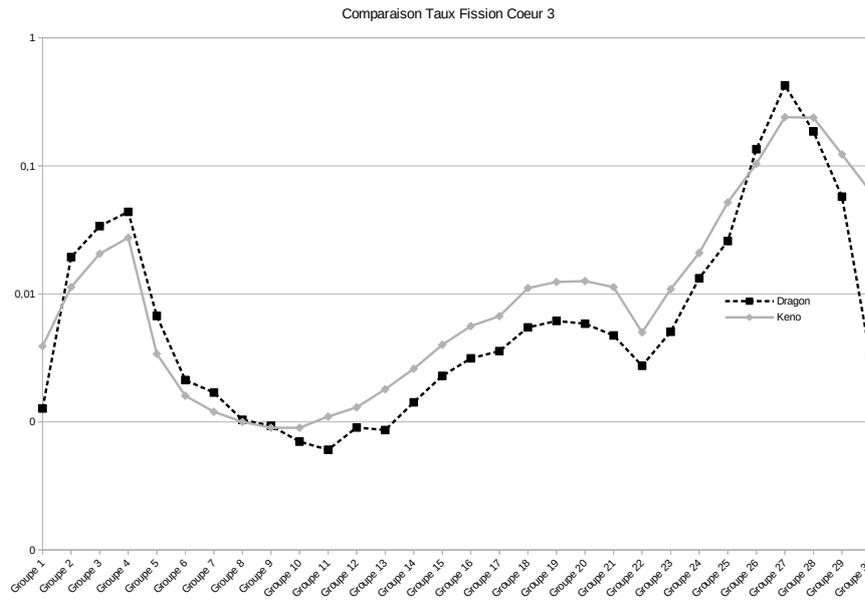


FIGURE A.9. – Comparaison du Taux de Fission dans le Cas 3

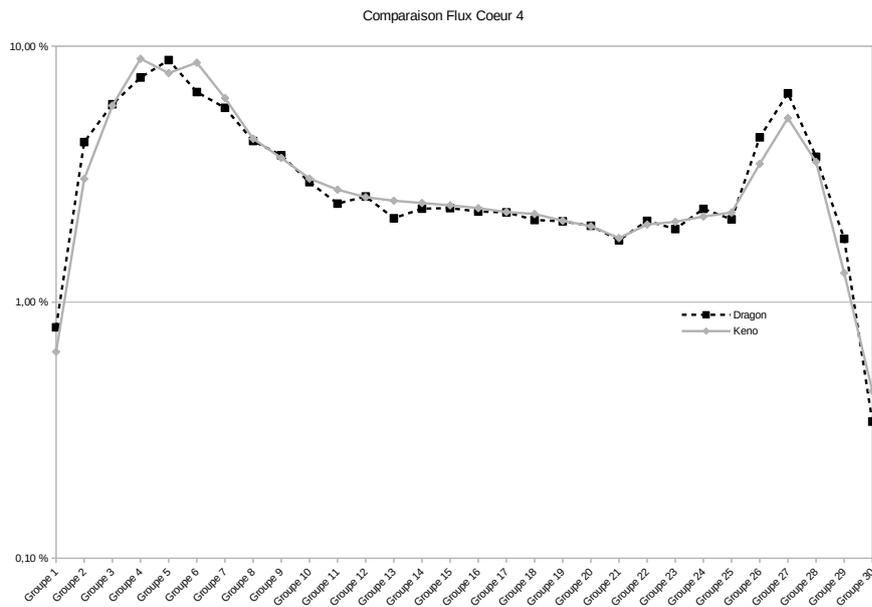


FIGURE A.10. – Comparaison du Flux dans le Cas 4

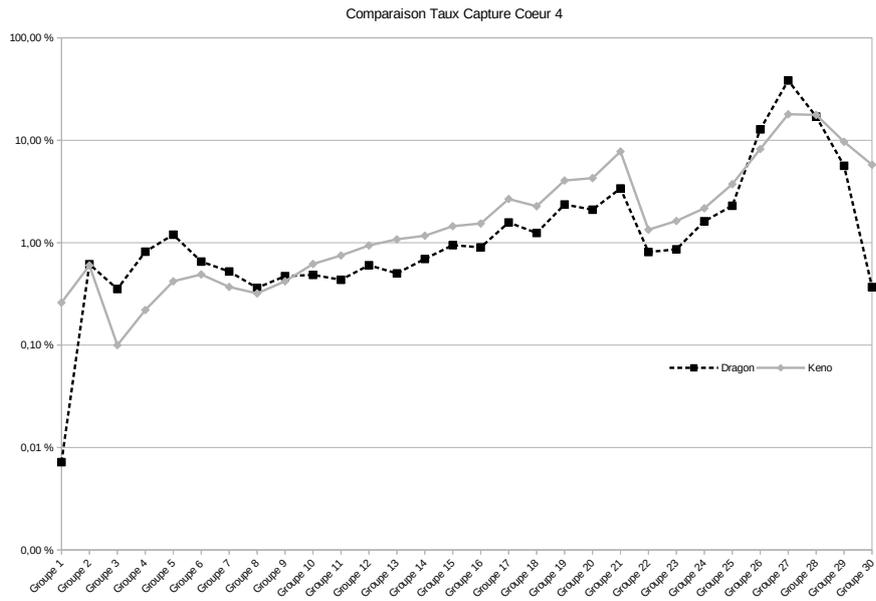


FIGURE A.11. – Comparaison du Taux de Capture dans le Cas 4

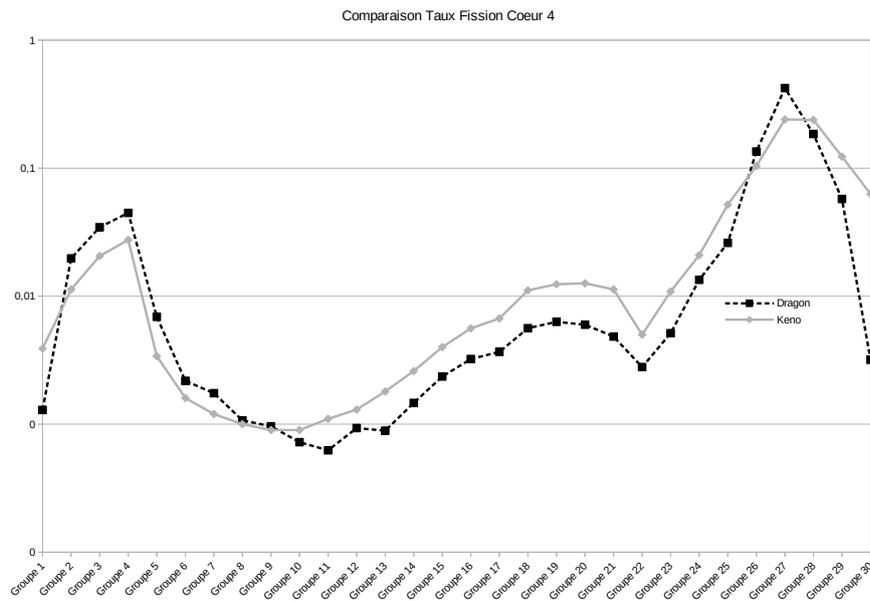


FIGURE A.12. – Comparaison du Taux de Fission dans le Cas 4

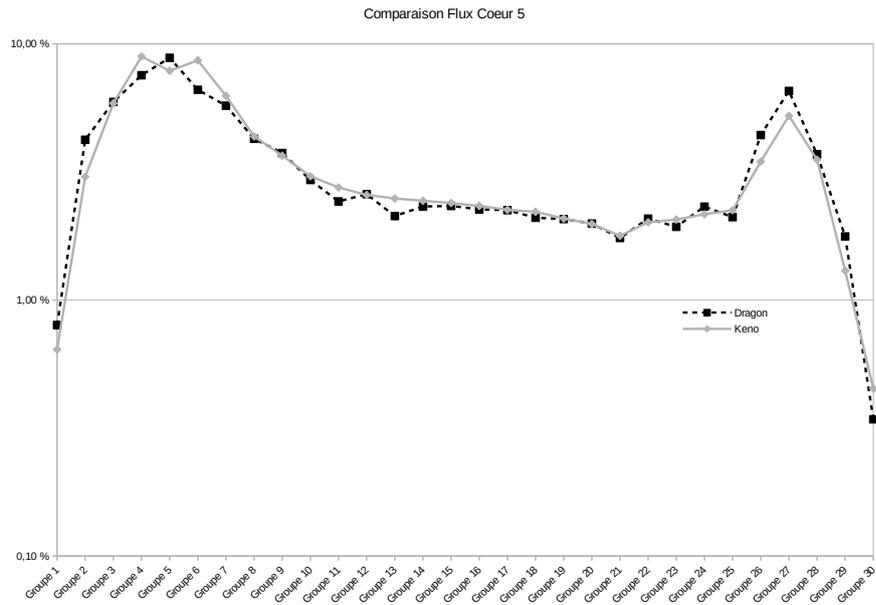


FIGURE A.13. – Comparaison du Flux dans le Cas 5

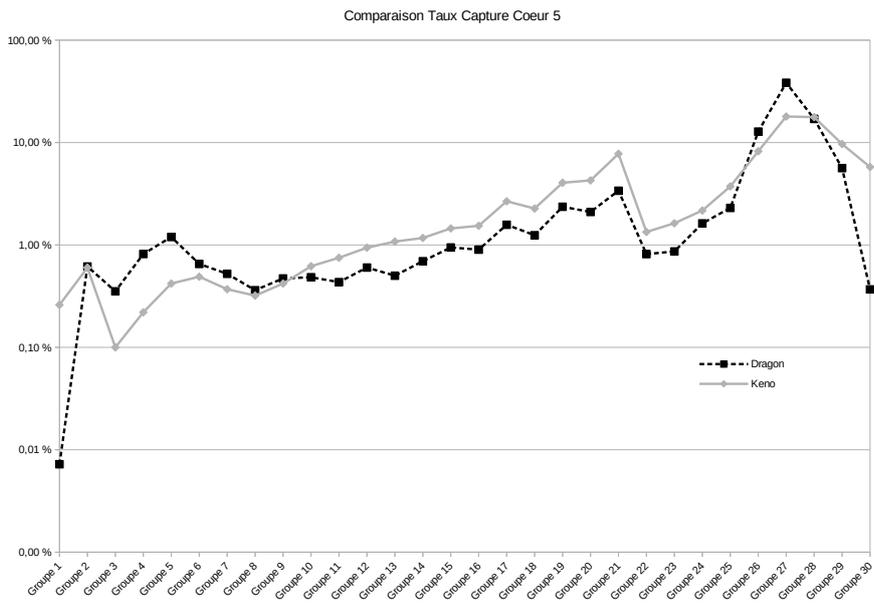


FIGURE A.14. – Comparaison du Taux de Capture dans le Cas 5

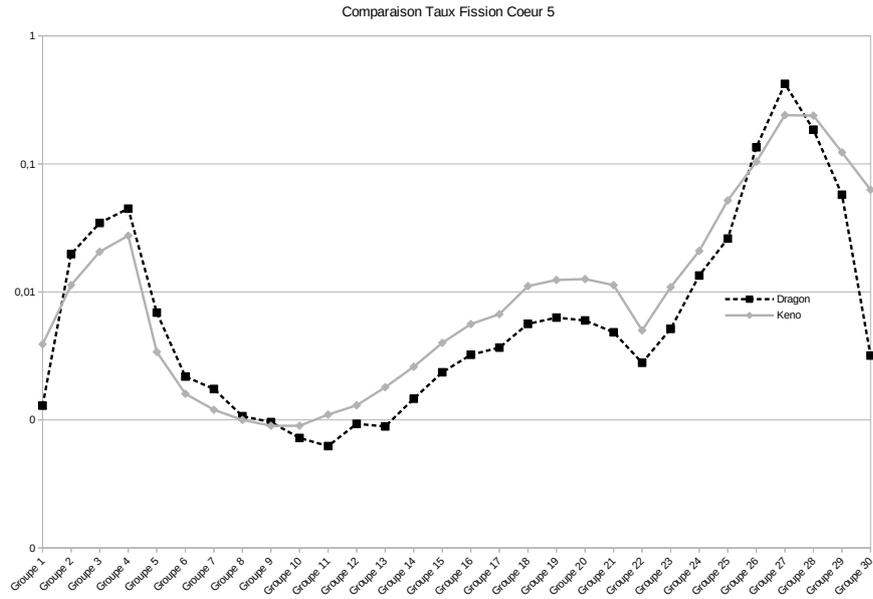


FIGURE A.15. – Comparaison du Taux de Fission dans le Cas 5

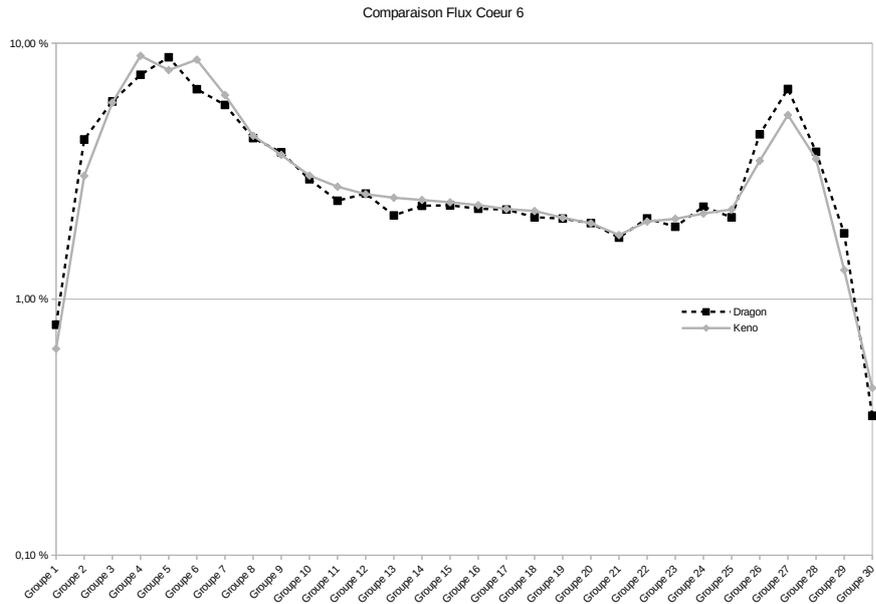


FIGURE A.16. – Comparaison du Flux dans le Cas 6

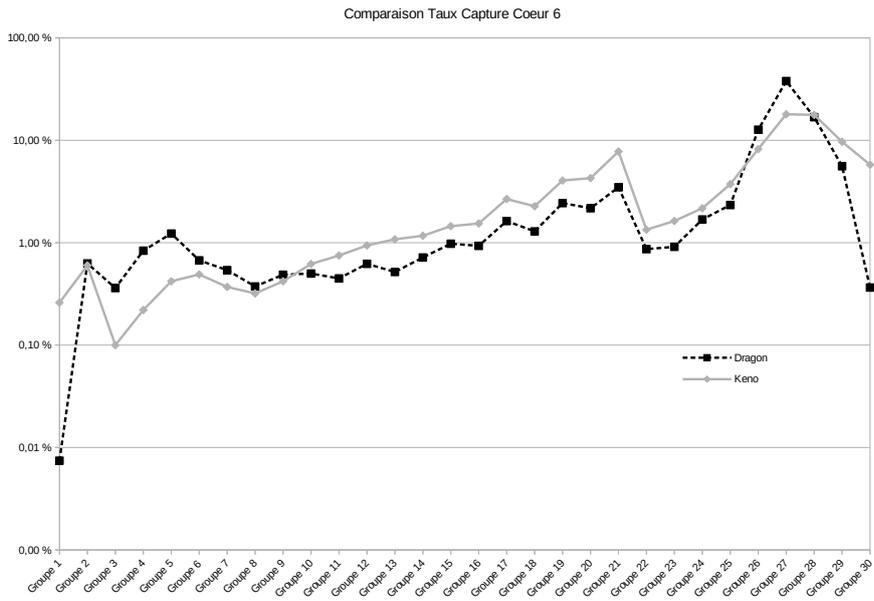


FIGURE A.17. – Comparaison du Taux de Capture dans le Cas 6

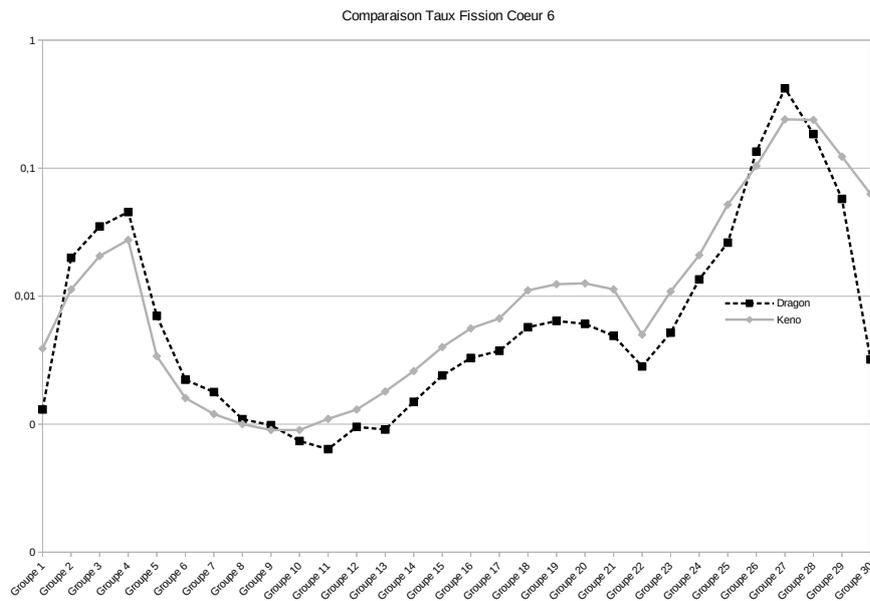


FIGURE A.18. – Comparaison du Taux de Fission dans le Cas 6

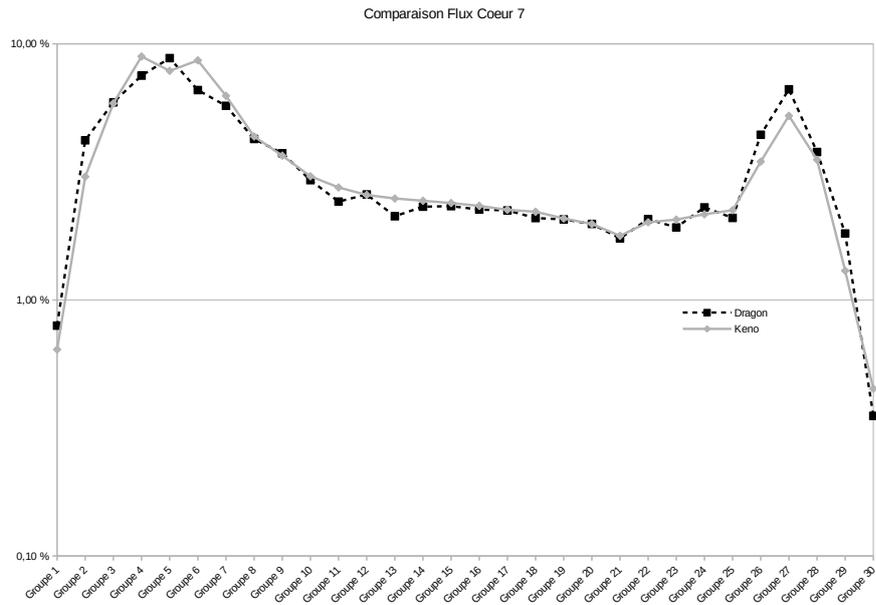


FIGURE A.19. – Comparaison du Flux dans le Cas 7

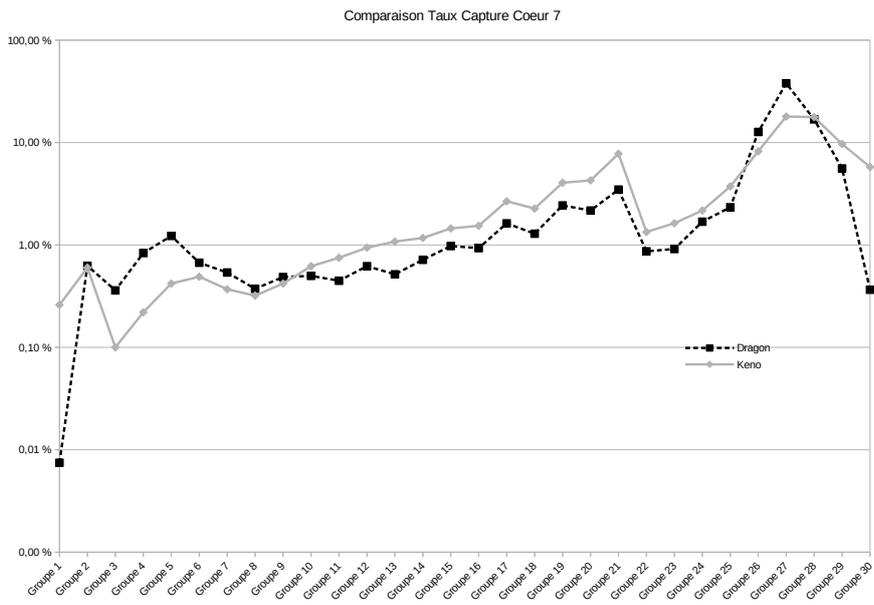


FIGURE A.20. – Comparaison du Taux de Capture dans le Cas 7

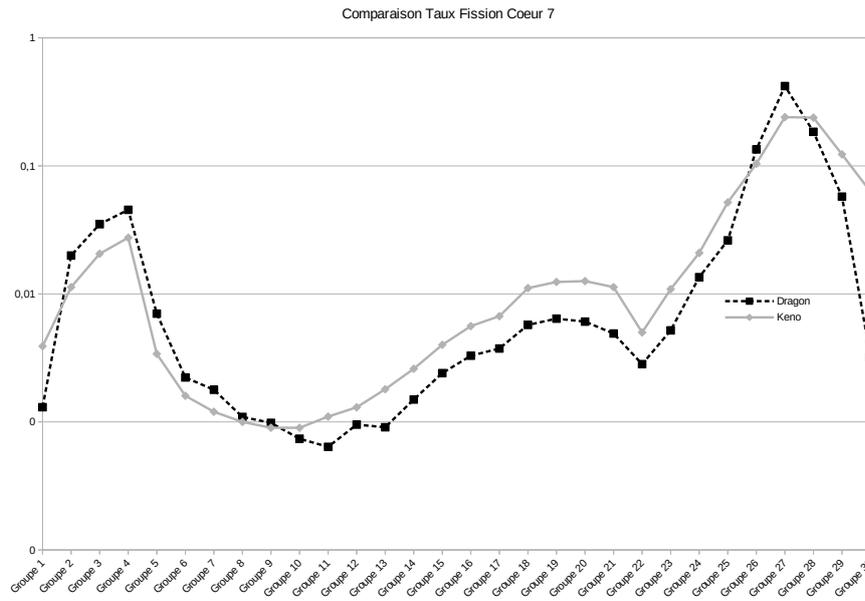


FIGURE A.21. – Comparaison du Taux de Fission dans le Cas 7

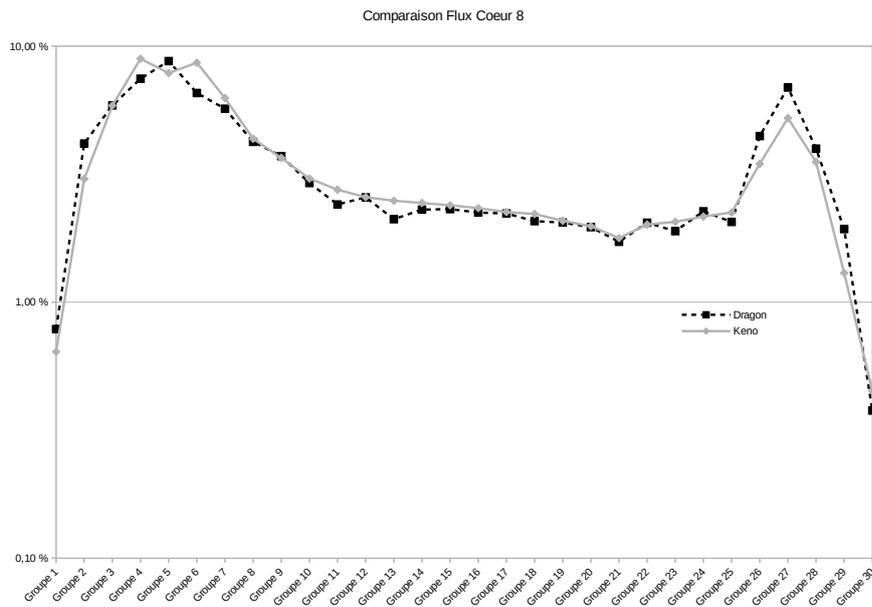


FIGURE A.22. – Comparaison du Flux dans le Cas 8

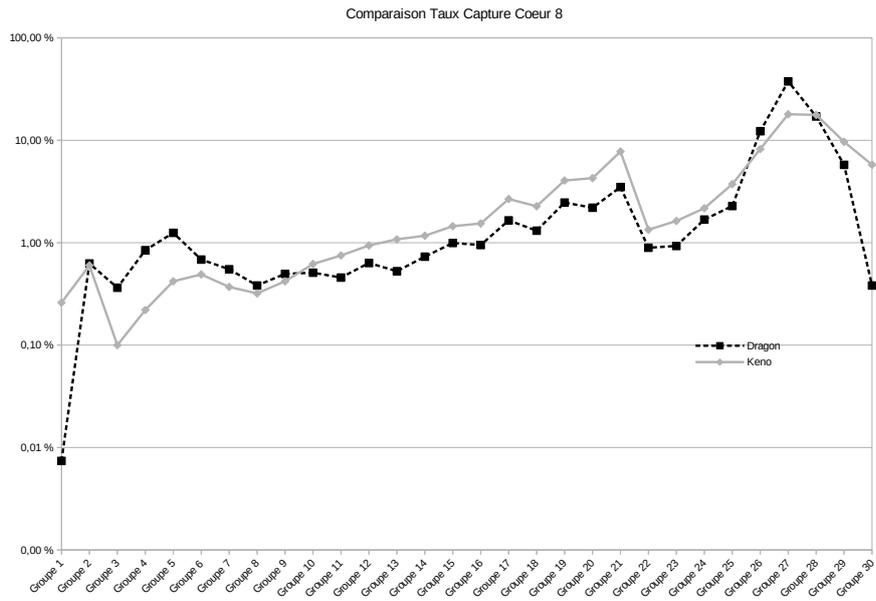


FIGURE A.23. – Comparaison du Taux de Capture dans le Cas 8

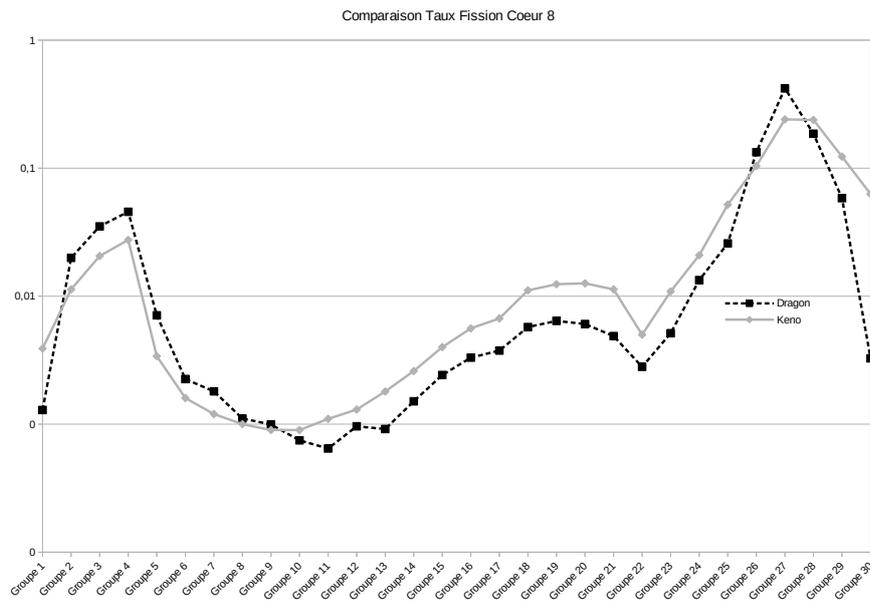


FIGURE A.24. – Comparaison du Taux de Fission dans le Cas 8

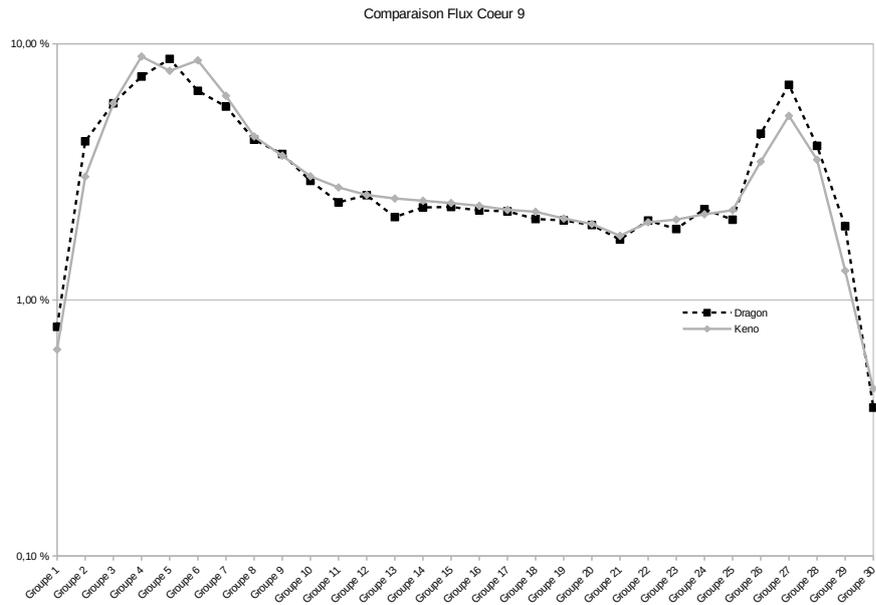


FIGURE A.25. – Comparaison du Flux dans le Cas 9

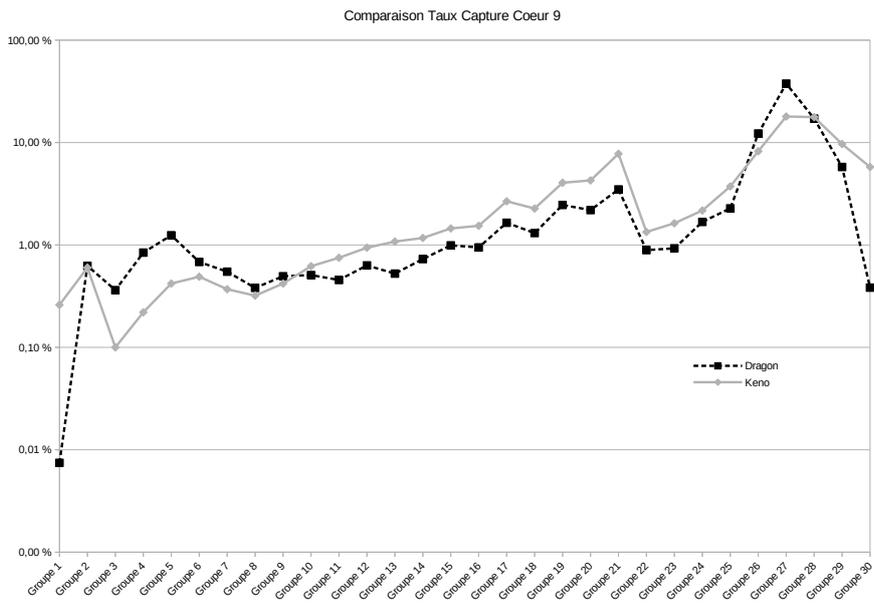


FIGURE A.26. – Comparaison du Taux de Capture dans le Cas 9

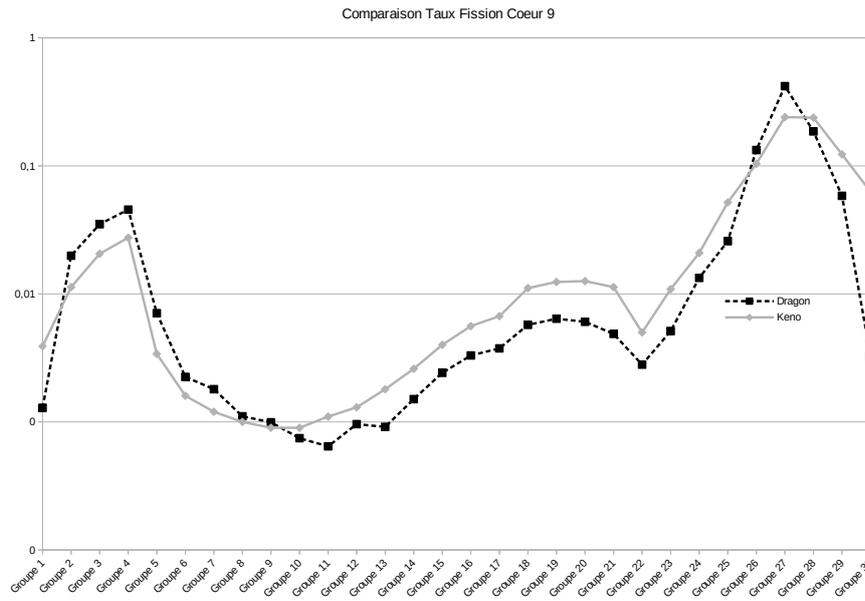


FIGURE A.27. – Comparaison du Taux de Fission dans le Cas 9

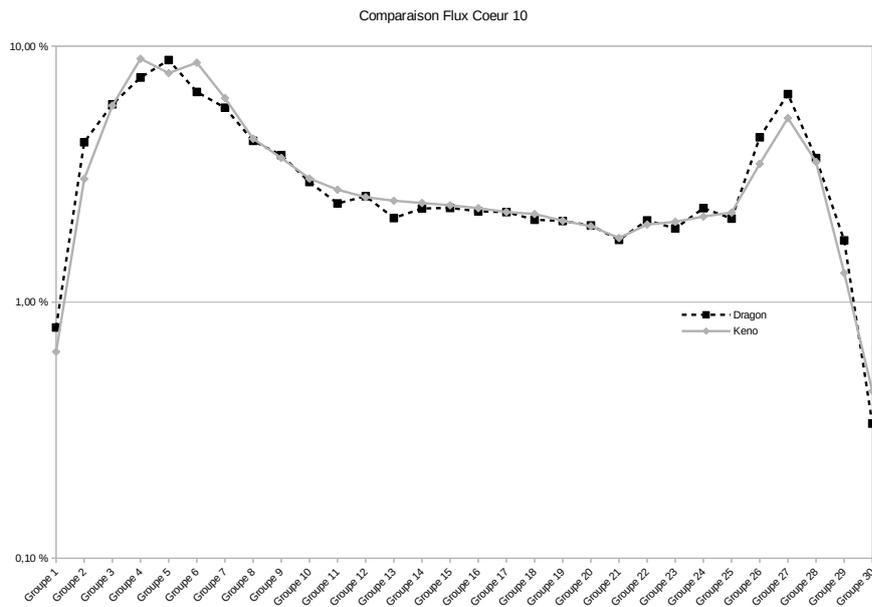


FIGURE A.28. – Comparaison du Flux dans le Cas 10

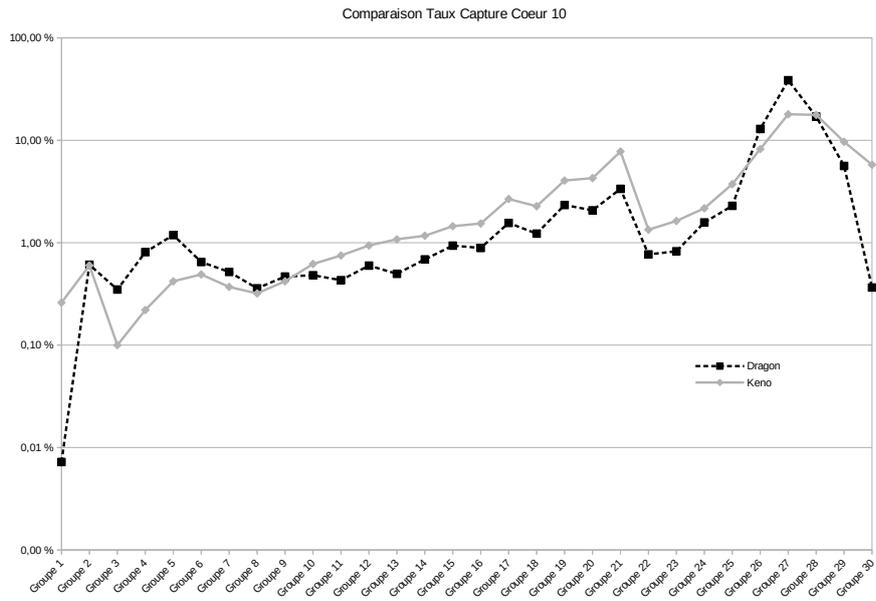


FIGURE A.29. – Comparaison du Taux de Capture dans le Cas 10

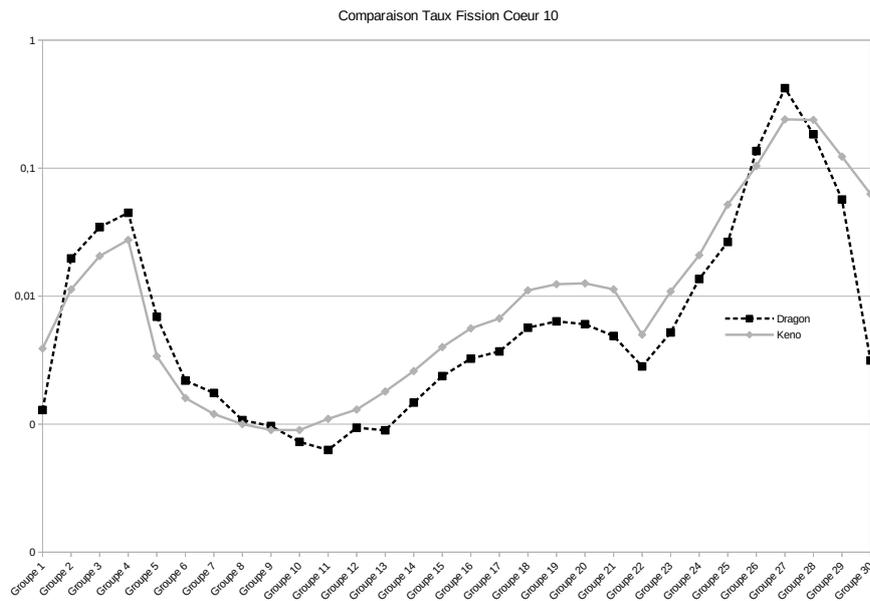


FIGURE A.30. – Comparaison du Taux de Fission dans le Cas 10

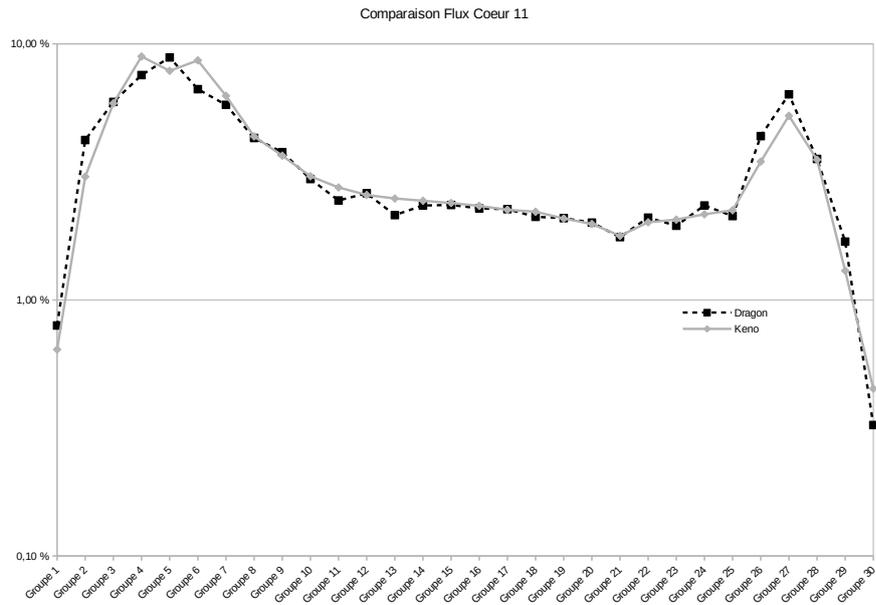


FIGURE A.31. – Comparaison du Flux dans le Cas 11

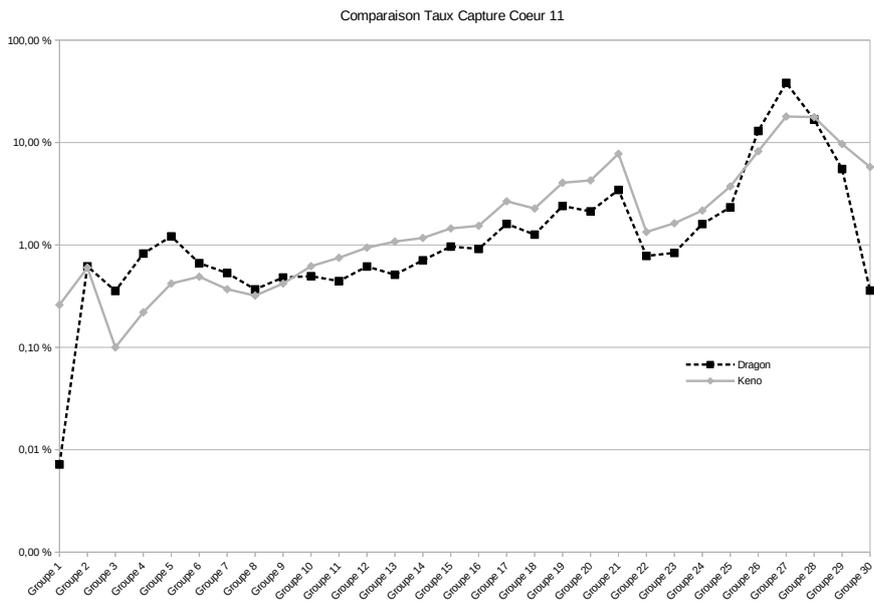


FIGURE A.32. – Comparaison du Taux de Capture dans le Cas 11

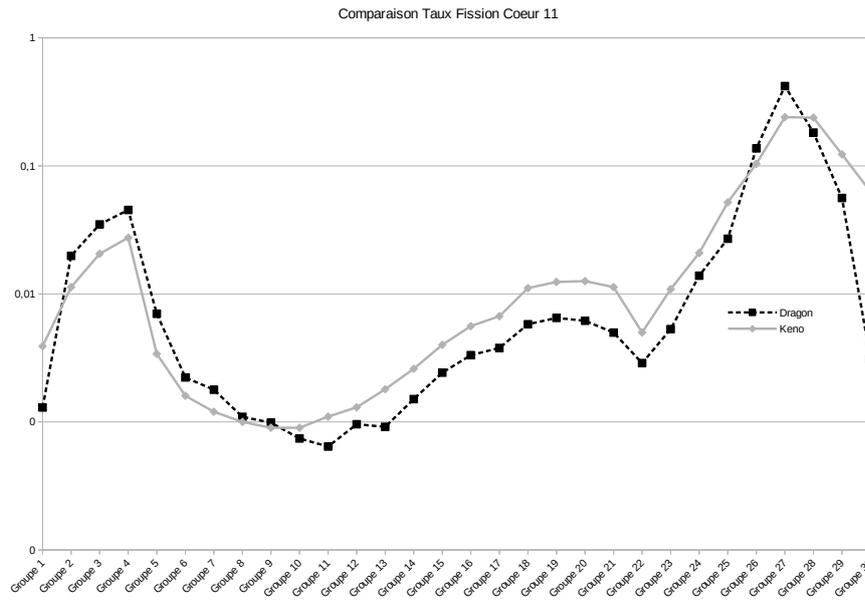


FIGURE A.33. – Comparaison du Taux de Fission dans le Cas 11

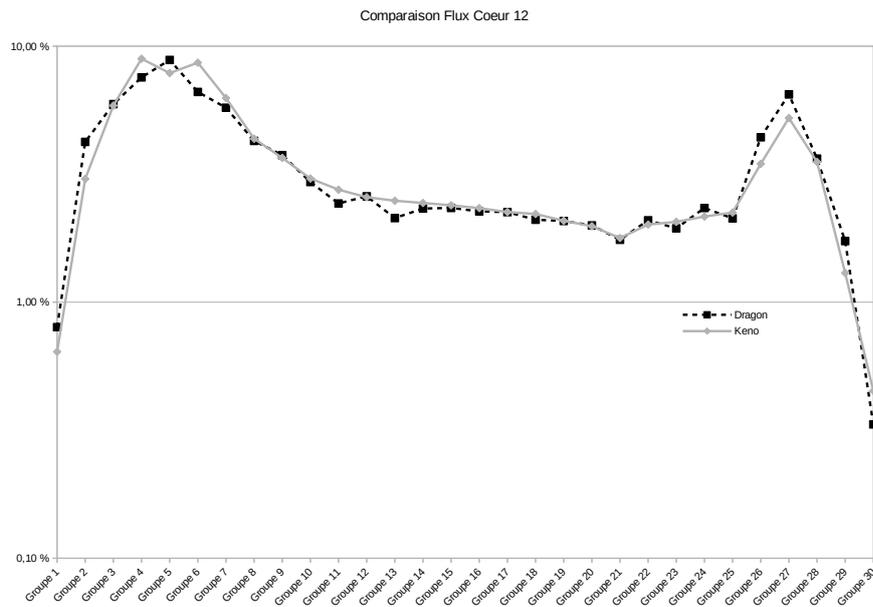


FIGURE A.34. – Comparaison du Flux dans le Cas 12

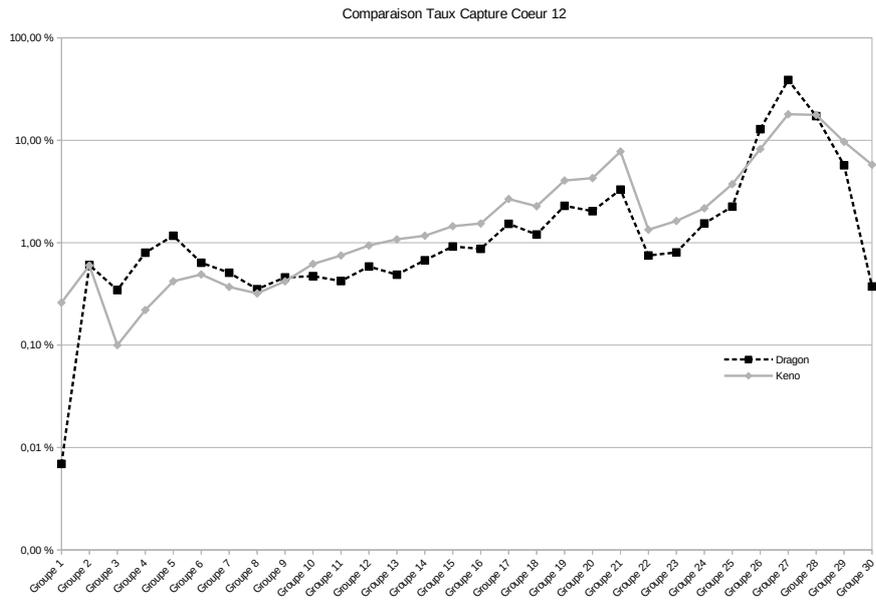


FIGURE A.35. – Comparaison du Taux de Capture dans le Cas 12

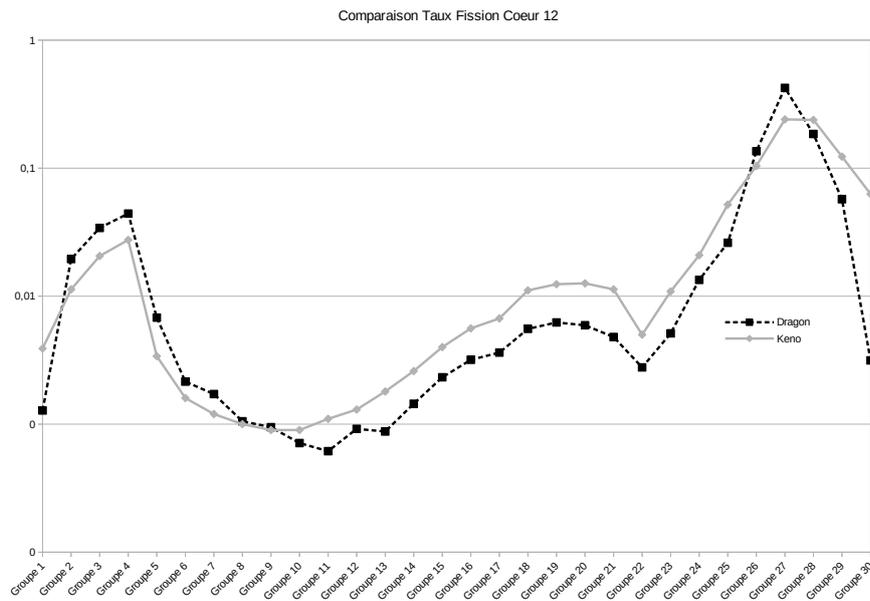


FIGURE A.36. – Comparaison du Taux de Fission dans le Cas 12

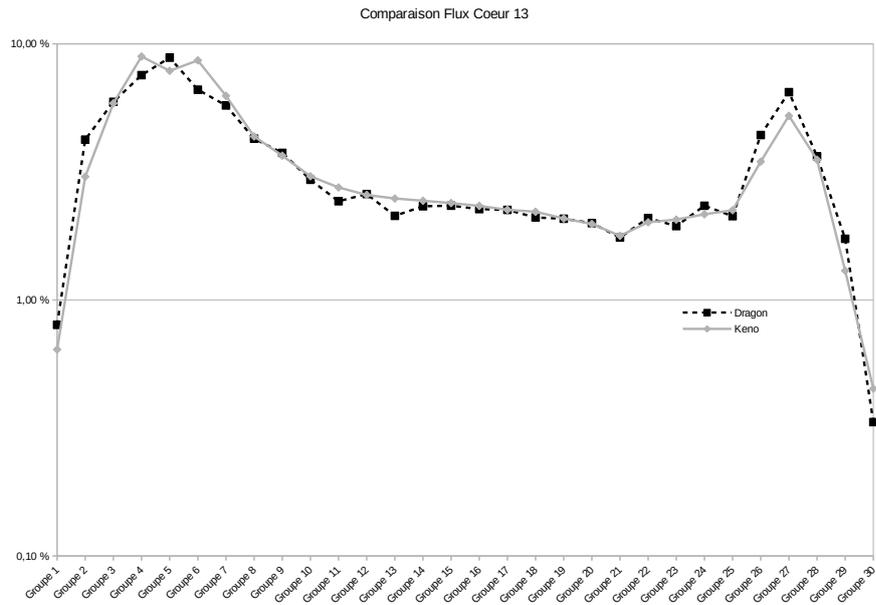


FIGURE A.37. – Comparaison du Flux dans le Cas 13

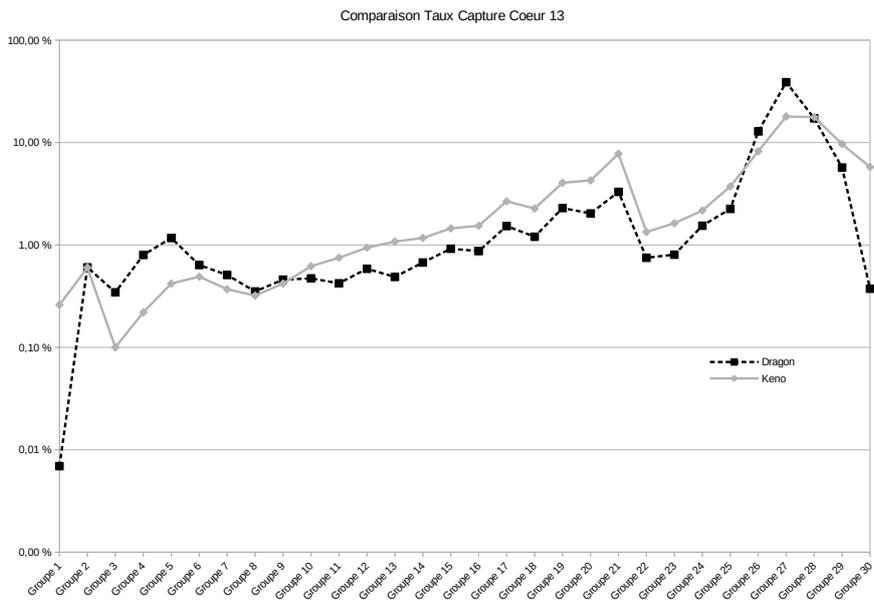


FIGURE A.38. – Comparaison du Taux de Capture dans le Cas 13

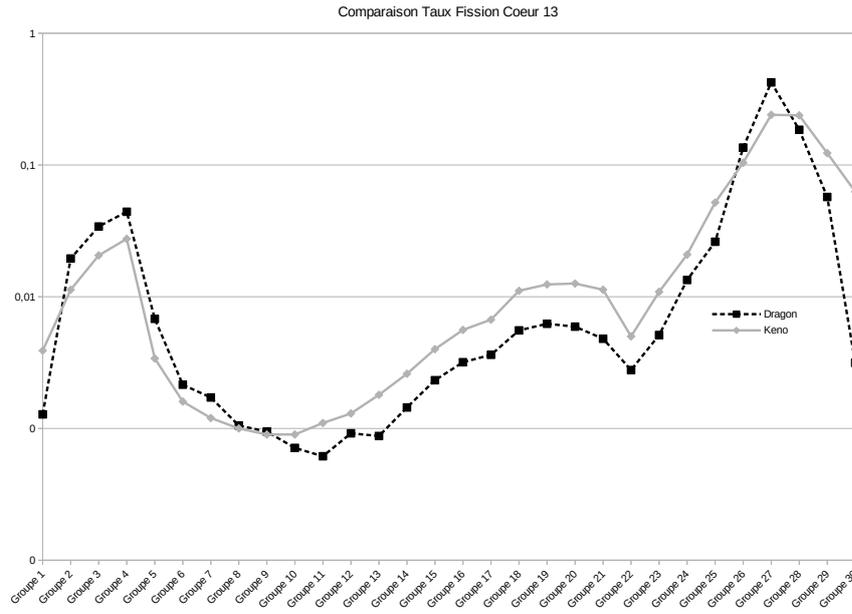


FIGURE A.39. – Comparaison du Taux de Fission dans le Cas 13

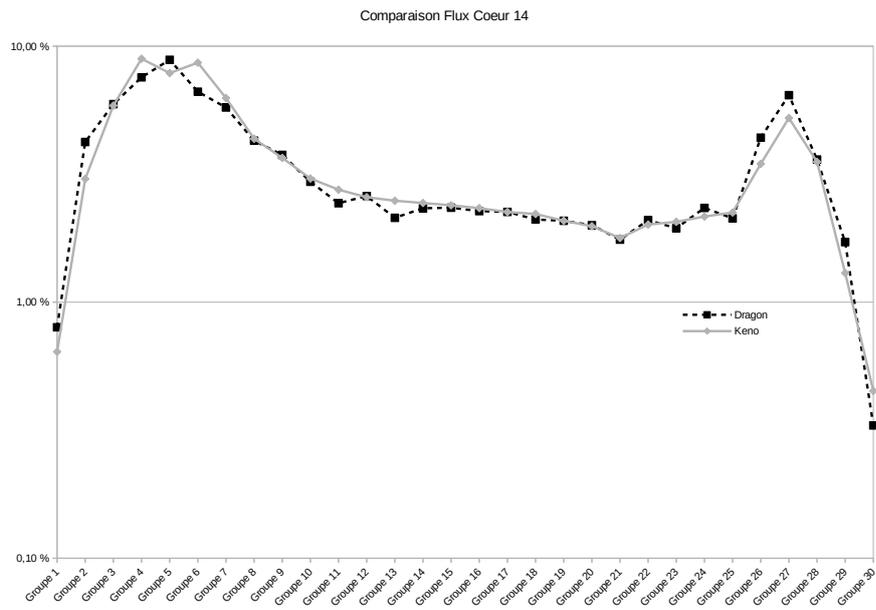


FIGURE A.40. – Comparaison du Flux dans le Cas 14

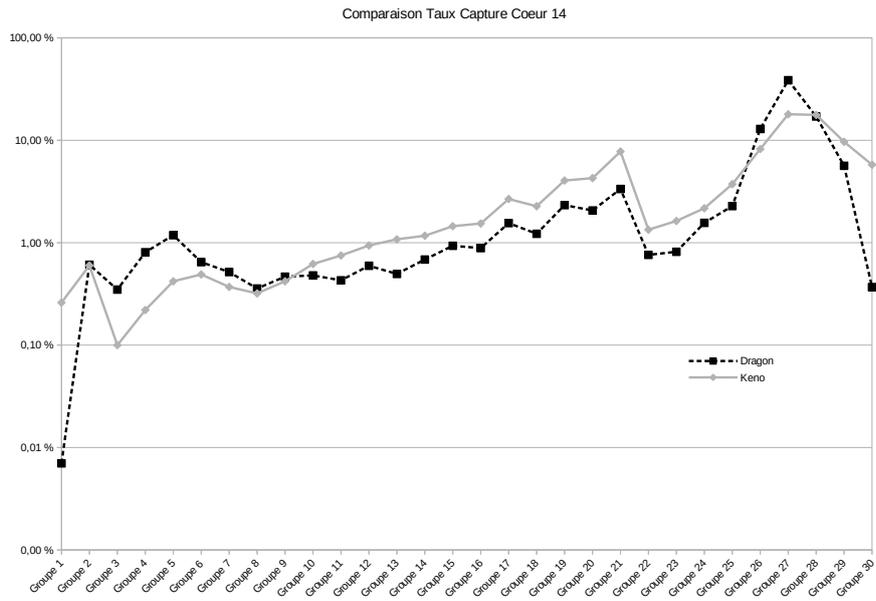


FIGURE A.41. – Comparaison du Taux de Capture dans le Cas 14

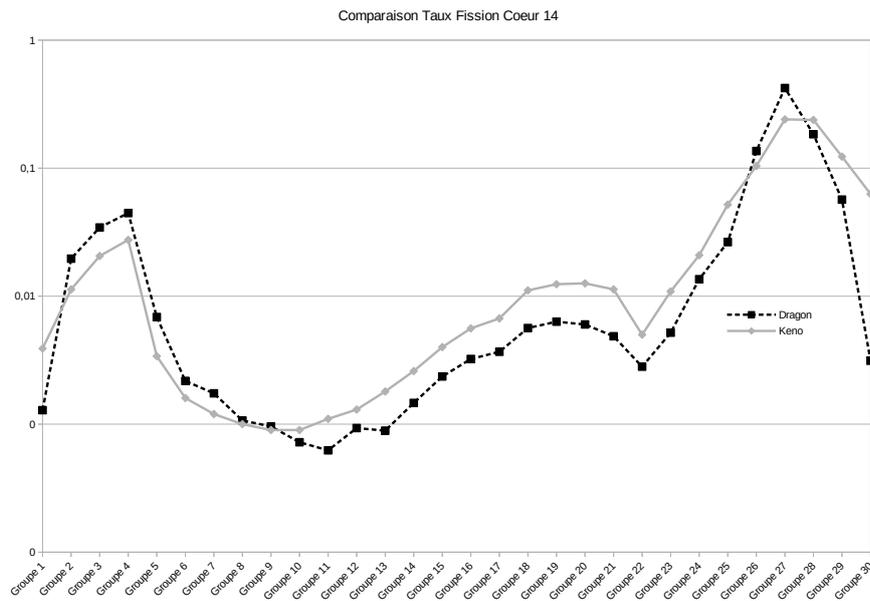


FIGURE A.42. – Comparaison du Taux de Fission dans le Cas 14

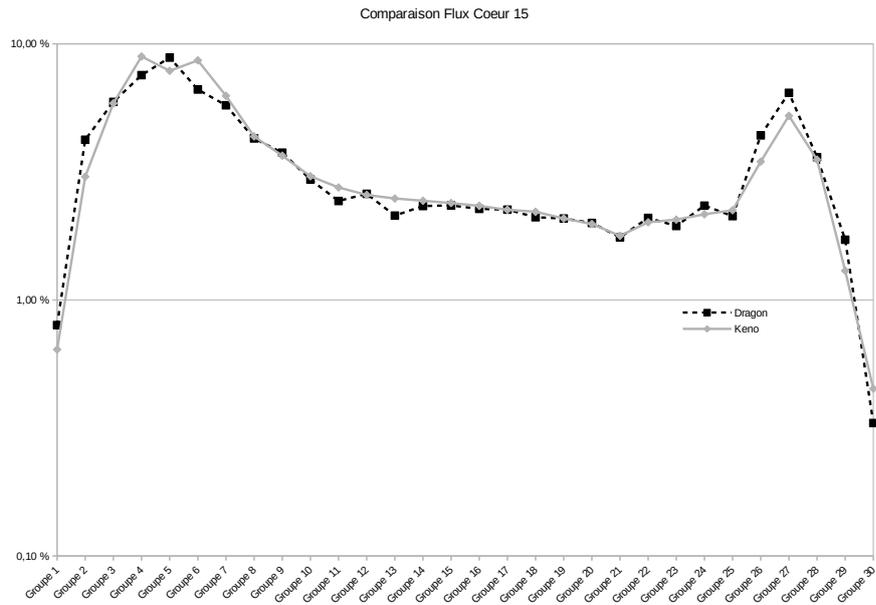


FIGURE A.43. – Comparaison du Flux dans le Cas 15

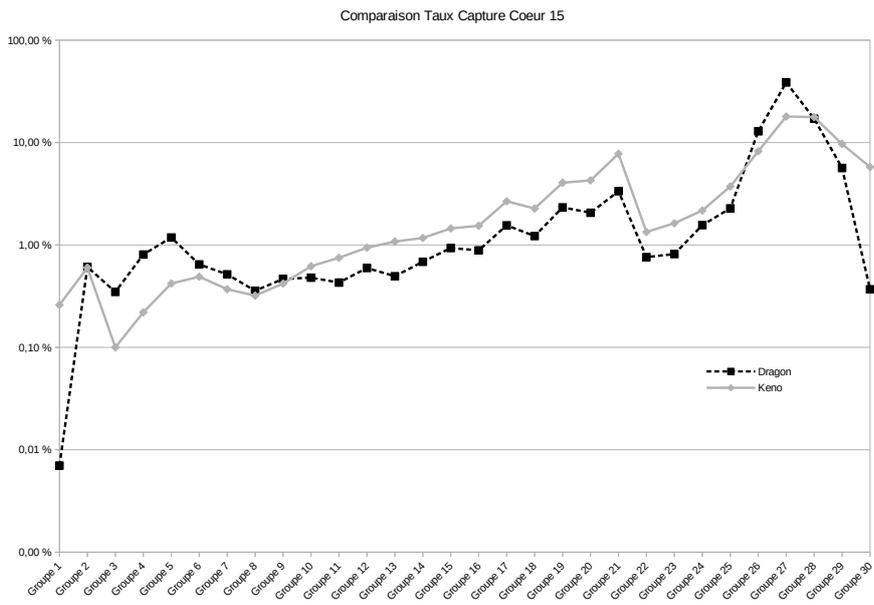


FIGURE A.44. – Comparaison du Taux de Capture dans le Cas 15

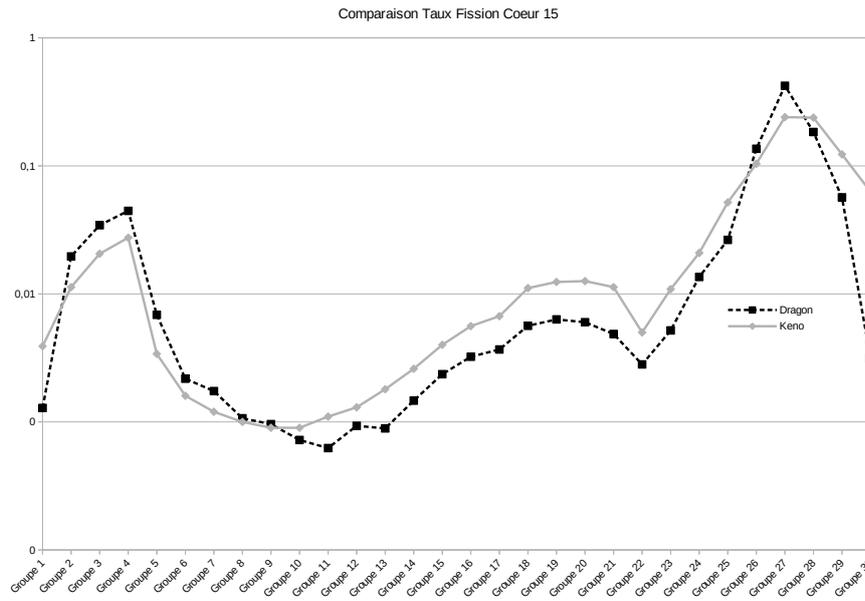


FIGURE A.45. – Comparaison du Taux de Fission dans le Cas 15

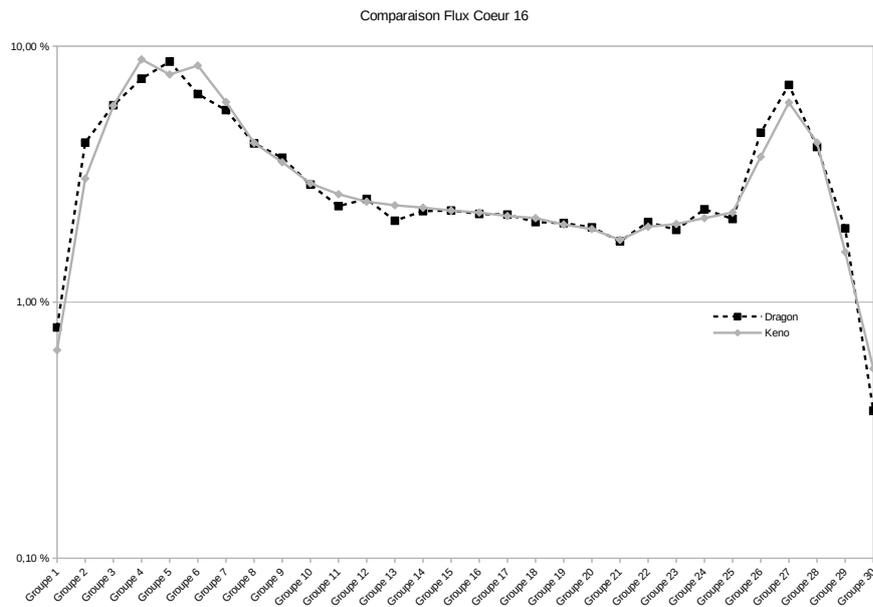


FIGURE A.46. – Comparaison du Flux dans le Cas 16

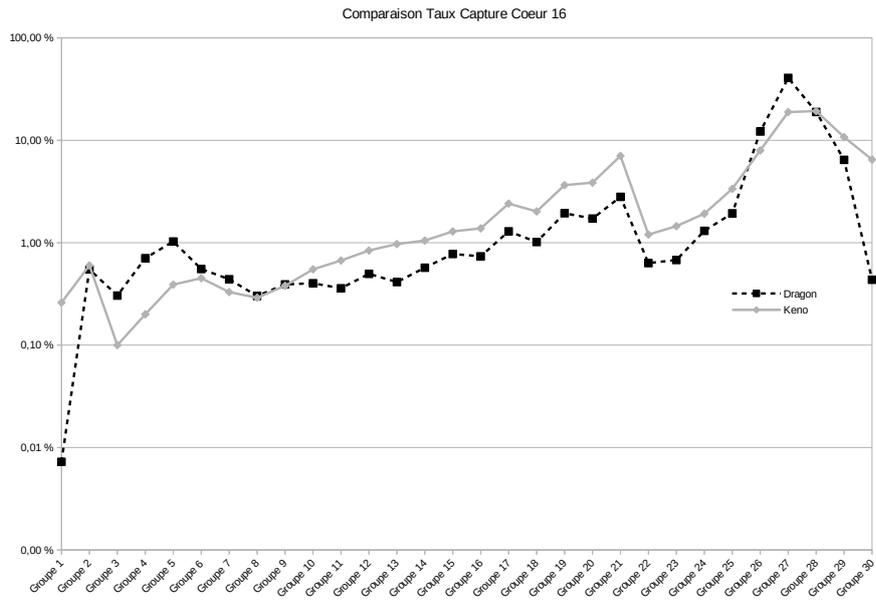


FIGURE A.47. – Comparaison du Taux de Capture dans le Cas 16

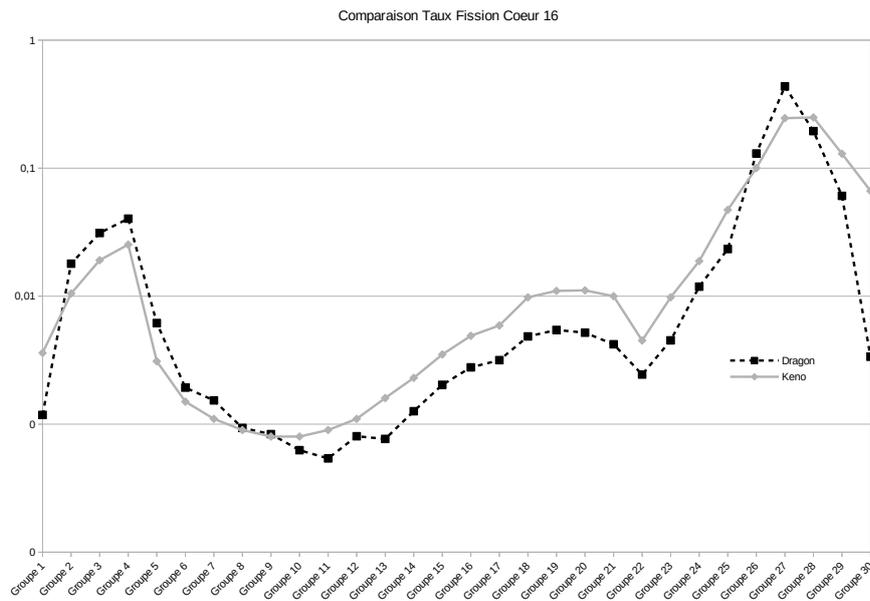


FIGURE A.48. – Comparaison du Taux de Fission dans le Cas 16

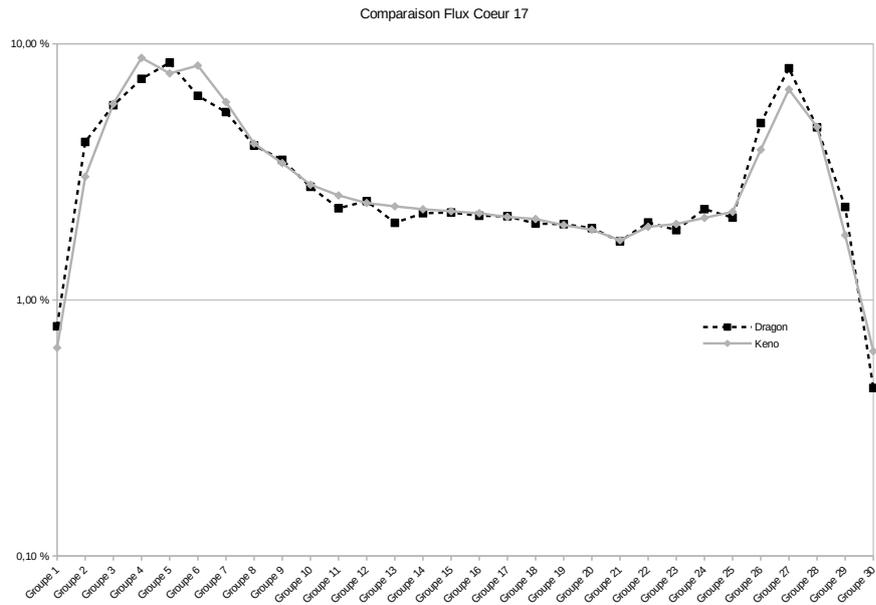


FIGURE A.49. – Comparaison du Flux dans le Cas 17

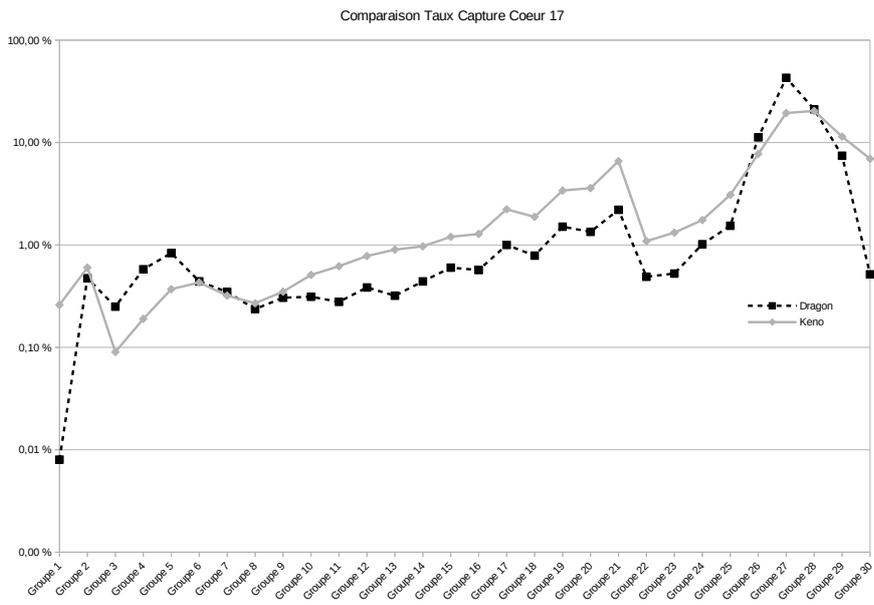


FIGURE A.50. – Comparaison du Taux de Capture dans le Cas 17

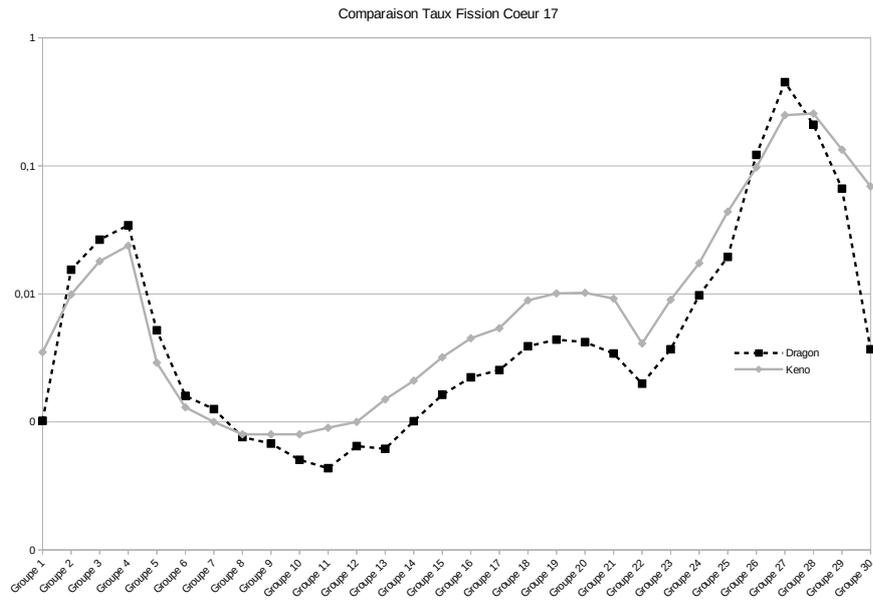


FIGURE A.51. – Comparaison du Taux de Fission dans le Cas 17