

ÉCOLE PUBLIQUE D'INGÉNIEURS EN 3 ANS

RAPPORT DE STAGE

# CONCEPTION DE SCHÉMAS DE CALCUL POUR UN RÉACTEUR À EAU PRESSURISÉE

MAI-JUILLET 2017

Marie DECROOCQ

Deuxième année en Electronique  
et Physique Appliquée,  
Majeure Nucléaire

[marie.decroocq@ecole.ensicaen.fr](mailto:marie.decroocq@ecole.ensicaen.fr)

Tuteur école : Gilles BAN

Tuteur externe : Alain HÉBERT



**POLYTECHNIQUE  
MONTREAL**

LE GÉNIE  
EN PREMIÈRE CLASSE



# 1 Remerciements

Je remercie tout d'abord Alain Hébert pour l'opportunité qu'il m'a offerte en acceptant d'être mon tuteur ainsi que pour le soutien qu'il m'a apporté durant toute la durée de mon stage. Je remercie de plus Gilles Ban pour m'avoir rendu visite à Montréal, ainsi que pour son écoute et ses conseils.

Je dois aussi mes remerciements à Atyab Calloo et Clément Liegeard pour leur soutien sans faille et leur aide au quotidien.

Je remercie Arthur pour sa relecture attentive et ses propositions. Enfin, je remercie Camille, Noémie, Martin et tous les autres qui ont su faire de ce séjour une expérience inoubliable.

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Remerciements</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Polytechnique Montréal</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Introduction</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Éléments de théorie et positionnement de la contribution</b>	<b>4</b>
4.1	Définition du $k_{\text{eff}}$	4
4.2	Équation de Bateman	5
4.3	Evolution	5
4.4	Macro-évolution	6
4.5	Micro-évolution	6
4.6	Effets d'histoire	6
4.7	Positionnement du stage	8
<b>5</b>	<b>Opérations menées</b>	<b>8</b>
5.1	Variations de la densité de caloporteur	9
5.1.1	Influence du mot-clef ADD	11
5.1.2	Influence du nombre d'isotopes	11
5.1.3	Influence de l'interpolation	12
5.1.4	Influence du mot-clef PURE	13
5.1.5	Influence de la fonction d'oubli	14
5.2	Variation de la présence de poison	15
5.2.1	Influence du nombre d'isotopes	17
5.2.2	Influence de l'interpolation	19
5.2.3	Influence du mot-clef PURE	20
5.2.4	Influence de la fonction d'oubli	22
<b>6</b>	<b>Conclusion</b>	<b>24</b>
<b>7</b>	<b>Annexes</b>	<b>25</b>
7.1	Variations de la densité de caloporteur	25
7.1.1	Résultats	25
7.1.2	Influence du nombre d'isotopes	33
7.2	Variations de la quantité de poison dans le combustible	40
7.2.1	Résultats	40
7.2.2	Influence du nombre d'isotopes	50
7.2.3	Influence de l'interpolation	58
7.2.4	Influence du mot-clef PURE	65
7.2.5	Influence de la fonction d'oubli	72
<b>8</b>	<b>Résumé</b>	<b>81</b>

## 2 Polytechnique Montréal

Fondée en 1873, l'École Polytechnique de Montréal est un établissement d'enseignement supérieur d'ingénierie affilié à l'Université de Montréal. Près de 7500 étudiants y sont répartis dans six départements : génie physique, mécanique, électrique, informatique, chimique, civil et mathématique. Avec ses 80 millions de dollars canadiens (54 millions d'euros) de budget de recherche et ses 40 laboratoires, l'école représente l'une des plus importantes institutions de recherche en génie au Canada.

Ce stage s'est déroulé sous la tutelle d'un professeur de génie mécanique, affilié à l'Institut de Génie Nucléaire (IGN). Créé en 1970, l'IGN gère les programmes de maîtrise en génie énergétique et de doctorat en génie nucléaire à l'école Polytechnique de Montréal, ainsi que des activités de recherche en physique des réacteurs à fission, en thermohydraulique des réacteurs et applications des rayonnements. C'est au sein de cet institut qu'on a développé les codes de calcul de neutronique DONJON et DRAGON, disponibles gratuitement, en open source, et aujourd'hui utilisés partout dans le monde.

## 3 Introduction

Le réseau électrique français repose à plus de 70% sur la production d'énergie nucléaire grâce à un parc de 58 réacteurs de différents niveaux de puissance répartis sur l'ensemble du territoire.

La présence de cette filière sur le sol français requiert l'expertise d'un organisme tel que l'IRSN (Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire) pour ses activités de recherche et comme appui technique aux autorités dans le cadre de la sûreté et de la radioprotection.

Pour modéliser un réacteur, il faut pouvoir calculer sa puissance, la distribution neutronique, la composition isotopique du milieu et le facteur de multiplication. Ces informations sont obtenues en résolvant les équations de Boltzmann et de Bateman, présentées succinctement dans le paragraphe 4.

Développés à l'École Polytechnique de Montréal et disponibles en open-source, les logiciels DRAGON5 et DONJON5 sont des codes de calculs déterministes permettant respectivement d'effectuer des calculs de réseau ou des calculs de cœur entier.

Les études menées en physique des réacteurs nécessitent des modélisations fiables dont les écarts à la réalité sont quantifiés. C'est pourquoi tous les logiciels de modélisation de réacteurs sont confrontés entre eux pour validation. C'est dans ce contexte que l'IRSN

utilise les logiciels DONJON et DRAGON.

L'effet d'histoire est un phénomène non pris en compte initialement dans DONJON, ce qui a pour conséquence des résultats inexacts dans certaines circonstances.

L'utilisation de la micro-évolution n'étant pas suffisante pour prendre en compte l'effet d'histoire, il a été décidé d'implémenter la solution proposée par le groupe suédois STUD-VISK dans ses logiciels CASMO-5 et SIMULATE-5 dans DONJON5.

L'IRSN attendait donc de ce stage :

- la mise en place d'une solution fonctionnelle permettant la prise en compte de l'effet d'histoire par DONJON5 pour deux variations de paramètres locaux différents, à savoir la variation de densité de fluide caloporteur et la variation de la quantité de poison dans les crayons de l'assemblage de combustible ;
- la vérification de l'influence du nombre d'isotopes pris en compte dans l'évolution. En effet EDF utilise 35 isotopes particularisés alors que l'IRSN en utilise 11.

## 4 Éléments de théorie et positionnement de la contribution

Cette partie présente sommairement les concepts utilisés dans ce document. Pour plus de détails, voir [2].

### 4.1 Définition du $k_{\text{eff}}$

L'équation fondamentale de la neutronique est l'équation de transport de Boltzmann. Il s'agit d'un bilan neutronique dans un hypervolume sur un intervalle de temps. Cette équation n'étant pas le sujet de ce stage, elle ne sera pas explicitée. Il suffit de noter que son expression inclut un terme source dans lequel une valeur propre, appelée  $k$  effectif,  $k_{\text{eff}}$ , est introduite pour assurer la criticité du système. Le  $k_{\text{eff}}$  est défini comme suit :

$$k_{\text{eff}} = \frac{\text{nombre de neutrons à la génération } n+1}{\text{nombre de neutrons à la génération } n} \quad (1)$$

## 4.2 Équation de Bateman

La résolution des équations de Bateman donne la concentration  $N_i$  des isotopes  $i$  que l'on choisit arbitrairement de considérer, appelés isotopes particularisés.

En régime stationnaire, l'équation de Bateman est donnée par (d'après [2]) :

$$\frac{dN_i}{dt} = \sum_j [(\sigma_{j \rightarrow i} + Y_i \sigma_{f,j})\phi + \lambda_{j \rightarrow i}] N_j - (\sigma_{a,i} + \lambda_i) N_i \quad (2)$$

avec :

- $Y_i$  la probabilité que l'isotope  $i$  soit produit par fission ;
- $\sigma_{f,j}$  la section efficace microscopique de fission de l'isotope  $j$  ;
- $\lambda_{j \rightarrow i}$  la constante de décroissance radioactive de l'isotope  $j$  conduisant à la formation de l'isotope  $i$  ;
- $\sigma_{a,i}$  la section efficace microscopique d'absorption de l'isotope  $i$  ;
- $\lambda_i$  la constante de décroissance radioactive de l'isotope  $i$ .
- $N_i$  la concentration de l'isotope  $i$ .

Résoudre l'équation de Bateman permet entre autres de calculer les sections efficaces macroscopiques telles que :

$$\Sigma(E, \vec{r}, t) = N(\vec{r}, t) \sigma(E, \vec{r}, t) \quad (3)$$

Plusieurs paramètres influent sur la résolution de cette équation : ce sont des paramètres locaux, tels que la densité de caloporteur (DCA), la température du combustible et la présence de poison. Par ailleurs, le burnup (en MWj/t) est également un paramètre local qui apparaît dans l'équation de Bateman à travers la variable temps.

## 4.3 Evolution

Le code déterministe DRAGON effectue des calculs d'évolution du combustible nucléaire : il résout l'équation de Bateman avec un flux neutronique issu d'un calcul de réseau et donne ses solutions sous forme d'une grille appelée MULTICOMPO, en fonction de paramètres locaux.

Les informations fournies par la MULTICOMPO sont les sections efficaces macroscopiques des matériaux présents dans le coeur (d'après [2]) :

$$\Sigma_{tot}(E, \vec{r}, t) = \sum_i N_i(\vec{r}, t) \sigma_i(E, \vec{r}, t) + \Sigma_{res} \quad (4)$$

avec :

- $N_i$  la concentration des isotopes particularisés disponibles par interpolation dans la

MULTICOMPO ;

- $\sigma_i$  les sections efficaces microscopiques des isotopes particularisés (tabulées) ;
- $\Sigma_{res}$  la section efficace macroscopique résiduelle de tous les isotopes non particularisés.

Cette MULTICOMPO est utilisée par DONJON pour les calculs de coeur.

Lors d’une évolution, 3 modules de DONJON sont particulièrement utiles (voir [3]) : le module *NCR* : est un interpolateur. Il est très puissant et très flexible car il peut réaliser toutes les combinaisons d’interpolation entre  $\Sigma_{res}$ ,  $N_i$  et  $\sigma_i$ . Le module *TINST* : calcule le burnup du réacteur pour chaque cellule compte tenu du flux dans le réacteur. Enfin, le module *EVO* : permet de résoudre les équations de Bateman. Il s’agit d’un module de DRAGON (voir [4]), utilisé pour réaliser une évolution et contruire une MULTICOMPO, aussi utilisé par DONJON pour réaliser les micro-évolutions.

#### 4.4 Macro-évolution

Si entre chaque point de fonctionnement fourni par la MULTICOMPO il y a interpolation des concentrations isotopiques et des sections efficaces microscopiques et résiduelles, on parle de macro-évolution. Le module *EVO* : n’est donc pas utilisé.

#### 4.5 Micro-évolution

La micro-évolution consiste à interpoler les sections efficaces microscopiques et résiduelle, et à recalculer pour chaque burnup les concentrations isotopiques  $N_i$  en résolvant l’équation de Bateman grâce au module *EVO* : . Cette technique est plus coûteuse en temps, mais aussi plus précise.

#### 4.6 Effets d’histoire

Une MULTICOMPO contient les solutions de l’équation de Bateman pour plusieurs paramètres locaux (figure 1).

Un calcul de burnup est effectué dans le calcul de réseau en définissant tous les paramètres locaux autres que le burnup à leurs conditions nominales (représentées en bleu sur la figure 1). Pour chaque point de combustion, ces paramètres locaux sont perturbés autour de cette valeur (en blanc sur la figure 1) et de nouveaux calculs de réseau sont effectués pour chacune de ces perturbations. Ainsi, en cas de variation de l’un des paramètres locaux, le burnup calculé peut prendre en compte ”le passé” de ce paramètre et ne pas être déterminé comme si le paramètre était resté constant à sa nouvelle valeur depuis le début de l’évolution. En effet, s’il existe deux chemins possibles pour atteindre un burnup selon la matrice présentée en figure 1, les solutions de l’équation

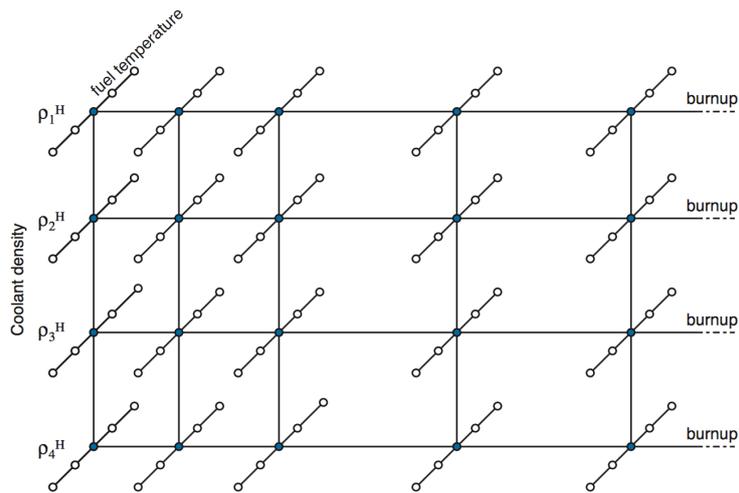


FIGURE 1 – Schéma d'une grille multi-paramétrée pour des effets d'histoire dûs à la densité de caloporteur (d'après [2])

de Boltzmann seront différentes puisque les paramètres locaux influent sur ses solutions. C'est pourquoi l'ajout d'un nouveau paramètre local, le paramètre historique, permet de prendre en compte cette différence entre deux voies possibles pour atteindre un burnup que l'on appelle *effet d'histoire*.

L'exemple ci-dessous illustre l'erreur commise si l'on ne prend pas en compte les effets d'histoire :

En appliquant une variation de type échelon à la densité de caloporteur sans prendre en compte les effets d'histoire (figure 2) on obtient, en traçant le  $k_{\text{eff}}$  en fonction du burnup, la courbe rouge (figure 3). La courbe bleue sert de référence.

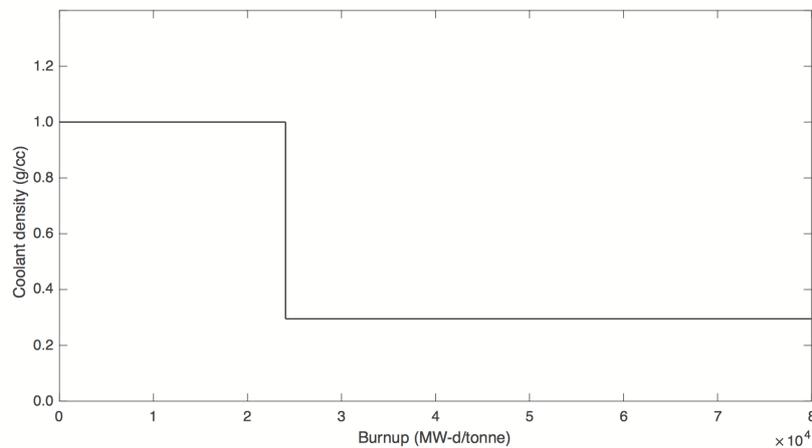


FIGURE 2 – Variation de type échelon de la densité de caloporteur

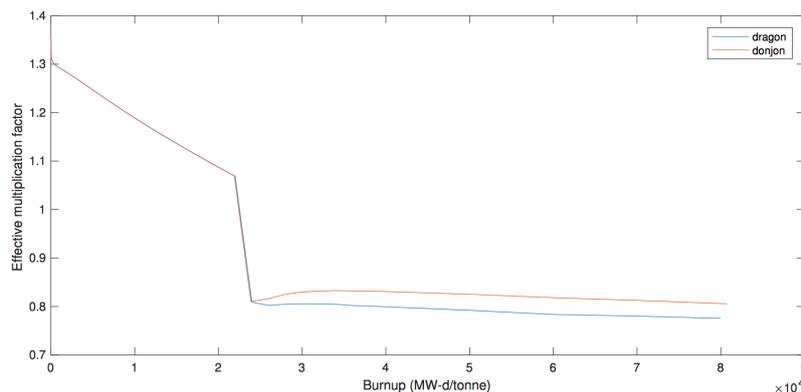


FIGURE 3 – Réponse du logiciel DONJON sans prise en compte des effets d’histoire

## 4.7 Positionnement du stage

La micro-évolution est utilisée depuis longtemps pour prendre en compte les effets d’histoire. Cependant, les résultats fournis par cette technique ne sont pas pleinement satisfaisants. Il existe plusieurs solutions propriétaires implémentées dans des logiciels industriels. L’accès à la majorité de ces solutions est donc confidentiel. Nous considérerons ici celle choisie par le groupe suédois STUDSVIK qui a pris le parti d’ajouter des paramètres locaux supplémentaires (les paramètres locaux historiques) pour prendre en compte les effets d’histoire dans ses logiciels CASMO-5 et SIMULATE-5. Le but de ce stage est donc de mettre en place un modèle similaire à CASMO-5 dans DONJON5.

## 5 Opérations menées

La démarche reste similaire dans la majorité des cas. Il s’agit d’effectuer une variation de paramètres locaux sur DRAGON et sur DONJON, et de tracer le  $k_{\text{eff}}$  en fonction du burnup afin de comparer les résultats fournis par DONJON à ceux de DRAGON, qui servira de référence.

Pour chacun des paramètres locaux étudiés une perturbation de type ”double marche” est appliquée, cette configuration étant la plus problématique. Les burnups sont choisis parmi la liste [ 4000, 8000, 12000, 24000, 36000, 40000, 60000 ] MWj/t car ce sont les burnups accessibles dans la MULTICOMPO sans interpolation. Il y a donc 21 possibilités de combinaisons de burnups pour effectuer une double marche.

Seuls les cas les plus remarquables seront présentés dans le rapport, les autres le seront dans les annexes.

En raison du très grand nombre de courbes, il sera établi un code pour désigner l’espacement des échelons de burnup tel que présenté dans le tableau de la figure 4, avec

N le nombre d'isotopes particularisés considéré.

Premier échelon ( MW j / t )	Deuxième échelon ( MW j / t )	n°	Code
4000	8000	1	1/4-8/N
4000	12000	2	2/4-12/N
4000	24000	3	3/4-24/N
4000	36000	4	4/4-36/N
4000	40000	5	5/4-40/N
4000	60000	6	6/4-60/N
8000	12000	7	7/8-12/N
8000	24000	8	8/8-24/N
8000	36000	9	9/8-36/N
8000	40000	10	10/8-40/N
8000	60000	11	11/8-60/N
12000	24000	12	12/12-24/N
12000	36000	13	13/12-36/N
12000	40000	14	14/12-40/N
12000	60000	15	15/12-60/N
24000	36000	16	16/24-36/N
24000	40000	17	17/24-40/N
24000	60000	18	18/24-60/N
36000	40000	19	19/36-40/N
36000	60000	20	20/36-60/N
40000	60000	21	21/40-60/N

FIGURE 4 – Code de désignation

## 5.1 Variations de la densité de caloporteur

D'après STUDESVIK les effets d'histoire les plus importants sont dûs à la densité du caloporteur (DCA). Les variations de DCA seront appliquées sur un pincell (Figure 5) qui correspond à un barreau de combustible entouré de fluide caloporteur.

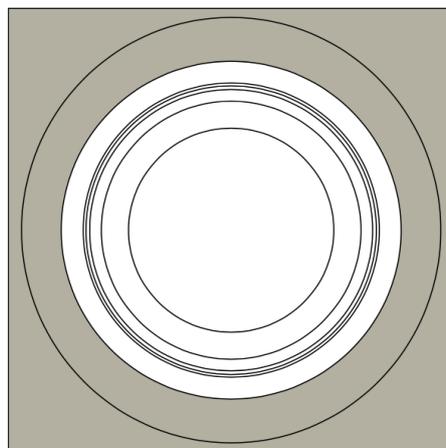


FIGURE 5 – Géométrie d'un pincell

On effectue une double marche de DCA telle que :

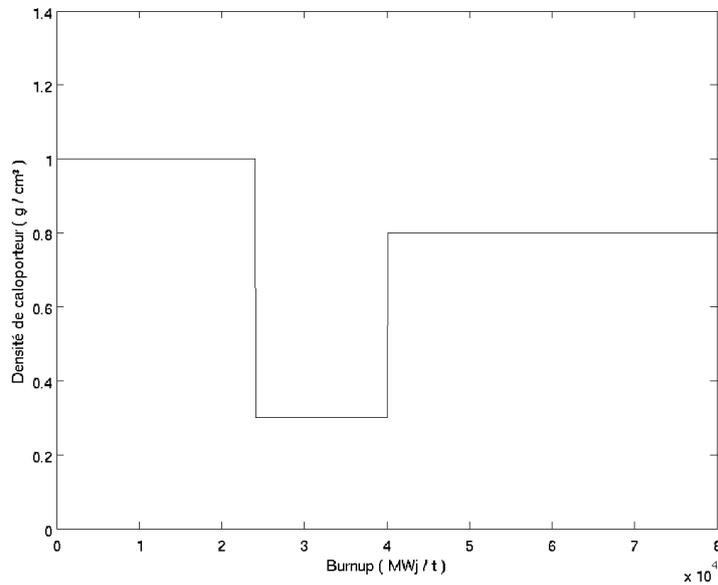


FIGURE 6 – Double step de densité de caloporteur (17/24-40/35)

Voici les résultats fournis pour DONJON et DRAGON (figure 7) :

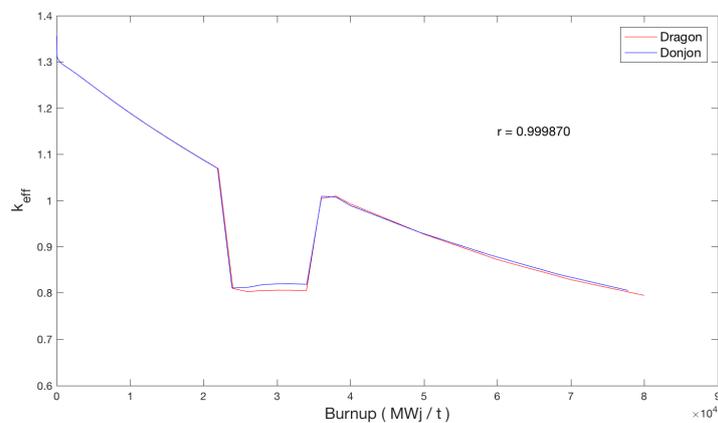


FIGURE 7 – Double step de densité de caloporteur (17/24-40/35)

Les autres calculs effectués sont présents dans les annexes 7.1.1.

Pour prendre en compte les effets d'histoire, un nouveau paramètre local DCAH (le paramètre historique) est ajouté au jeu des paramètres locaux. De plus, pour prendre en compte la variation instantanée de densité de caloporteur, on ajoute le mot-clef PURE du module *NCR* : (voir [3]). Enfin, une correction supplémentaire est apportée pour les burnups suivant la perturbation grâce à la fonction d'oubli dont la formule empirique est :

$$\rho_i^{nxt} = \left(1 - \frac{B}{B_i}\right) \rho + \frac{B}{B_i} \rho_0 \quad (5)$$

avec  $B$  le burnup auquel la densité de caloporteur varie de  $\rho_0$  à  $\rho$  et  $B_i$  le burnup interpolé avec  $B_i > B$  et  $\rho_i^{nxt}$  la densité calculée au burnup  $B_i$ .

Les résultats présentés dans cette section sont des tests pour vérifier la fiabilité de cette méthode en étudiant l'effet du nombre d'isotopes particularisés, l'influence de l'extrapolation, l'effet du mot-clef PURE et celui de la fonction d'oubli. Les coefficients de corrélations ou les erreurs présentés sont le fruit d'une comparaison entre les résultats fournis par DRAGON et les résultats de DONJON concernés par le test.

### 5.1.1 Influence du mot-clef ADD

L'ajout du paramètre historique DCAH via l'utilisation du mot-clef ADD du module RESINI : (voir [3]) est la correction principale apportée au code de base. Un calcul est lancé sans l'ajout de ce mot-clef afin d'en évaluer l'impact. Les résultats obtenus sont visibles sur la figure 8 :

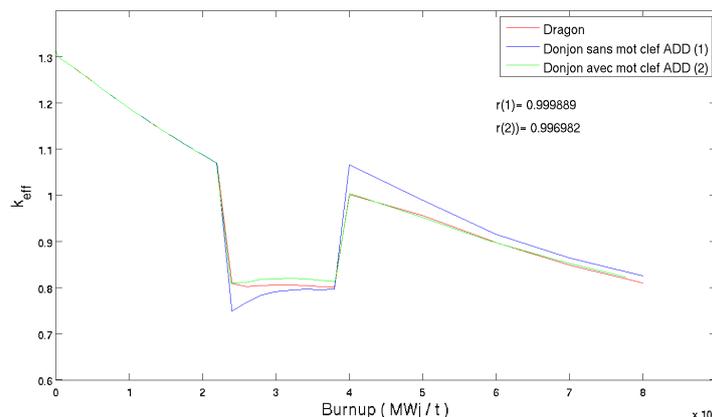


FIGURE 8 – Double step de densité de caloporteur sans le mot-clef ADD (17/24-40/35)

On constate un fort écart entre la courbe 1 résultant du calcul sans le mot-clef ADD (en bleu sur la figure 8) avec des divergences au niveau des discontinuités de densité de caloporteur ainsi qu'une erreur asymptotique inexistante lorsque le mot-clef ADD est utilisé. L'ajout du paramètre historique est donc fondamental dans la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de densité de caloporteur.

### 5.1.2 Influence du nombre d'isotopes

Les calculs précédents sont réalisés avec 35 isotopes :  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{236}\text{U}$ ,  $^{237}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{238}\text{Np}$ ,  $^{239}\text{Np}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$ ,  $^{242}\text{Pu}$ ,  $^{242}\text{Cm}$ ,  $^{243}\text{Cm}$ ,  $^{244}\text{Cm}$ ,  $^{245}\text{Cm}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,

$^{242}\text{Am}$ ,  $^{m 243}\text{Am}$ ,  $^{147}\text{Pm}$ ,  $^{148}\text{Pm}$ ,  $^{148}\text{Pm}$ ,  $^{m 149}\text{Pm}$ ,  $^{147}\text{Sm}$ ,  $^{148}\text{Sm}$ ,  $^{149}\text{Sm}$ ,  $^{150}\text{Sm}$ ,  $^{146}\text{Nd}$ ,  $^{147}\text{Nd}$ ,  $^{148}\text{Nd}$ ,  $^{10}\text{B}$ ,  $^{m 11}\text{B}$ ,  $^{m 135}\text{Xe}$ , et  $^{135}\text{I}$ .

On effectue le calcul avec les 11 isotopes suivants :  $^{10}\text{B}$ ,  $^{m 11}\text{B}$ ,  $^{m 135}\text{Xe}$ ,  $^{135}\text{I}$ ,  $^{147}\text{Nd}$ ,  $^{147}\text{Pm}$ ,  $^{148}\text{Pm}$ ,  $^{148}\text{Pm}$ ,  $^{m 149}\text{Pm}$ ,  $^{149}\text{Sm}$ , et un isotope résiduel symbolisant le reste.

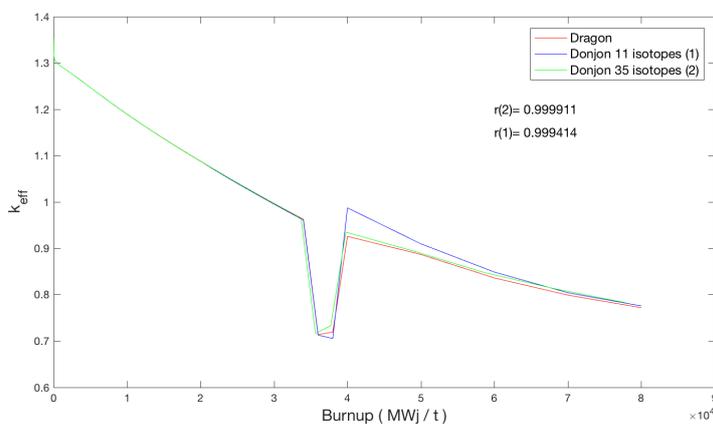


FIGURE 9 – Variation de la quantité d'isotopes particularisés (19/36-40/N)

Les autres calculs effectués sont présents dans les annexes 7.1.2.

Le fort dépassement au niveau du deuxième échelon de DCA incite à conclure que 11 isotopes ne suffisent pas à modéliser correctement une évolution en cas de variation de densité de caloporteur.

### 5.1.3 Influence de l'interpolation

On effectue une marche de densité de caloporteur à des burnups non initialement contenus dans la MULTICOMPO et nécessitant une interpolation. On choisit des variations pour les burnups 22000 et 38000 MWj/t (figure 10). Les résultats obtenus sont présentés sur la figure 11.

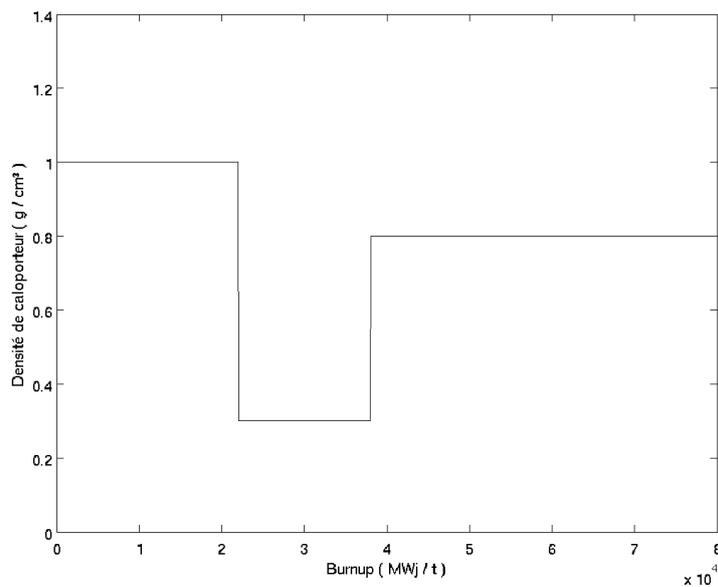


FIGURE 10 – Données d'entrée : double step de densité de caloporteur avec interpolation

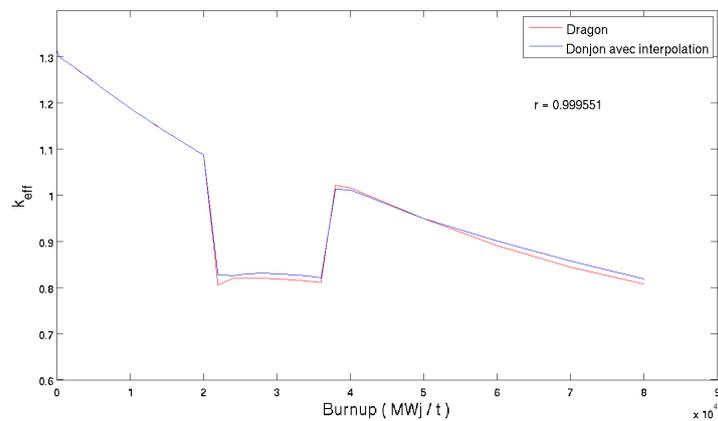


FIGURE 11 – Double step de densité de caloporteur avec interpolation

La courbe DONJON résultant d'un calcul avec interpolation a une allure proche de la courbe issue de DRAGON, et le coefficient de corrélation de 0.999551 montre que l'interpolation est correctement effectuée pour une variation de densité de caloporteur.

#### 5.1.4 Influence du mot-clef PURE

Le mot-clef PURE du module *NCR* : indique que l'interpolation est seulement une combinaison de facteurs d'interpolation. Les spectres de fission ne sont pas renormalisés. En effet, par défaut, les effets non linéaires sont produits par des opérations de renormalisation.

Ce mot-clef permet donc de prendre en compte l'effet de la variation instantanée de densité de caloporteur (voir [3]). Un test est donc effectué sans le mot-clef PURE pour estimer son influence (figure 12).

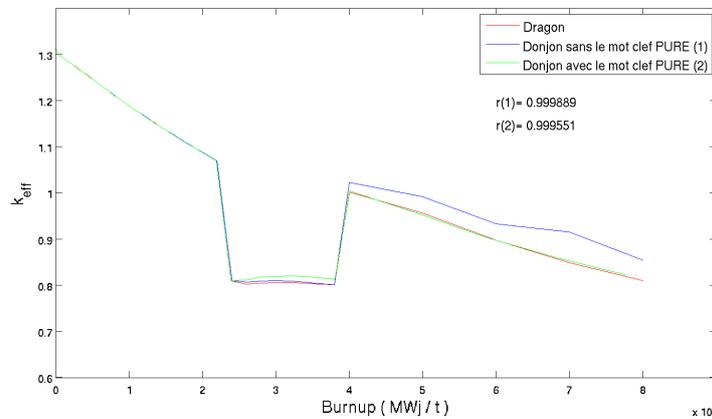


FIGURE 12 – Double step de densité de caloporteur sans le mot-clef PURE (17/24-40/35)

Sans la prise en compte de l'instantanéité de la variation de DCA, on observe une divergence importante du  $k_{\text{eff}}$  après le deuxième échelon : Il en ressort donc que le mot-clef PURE a un très fort impact en cas de variation de densité de caloporteur.

### 5.1.5 Influence de la fonction d'oubli

L'impact de la fonction d'oubli (figure 5) est montré sur la figure 13.

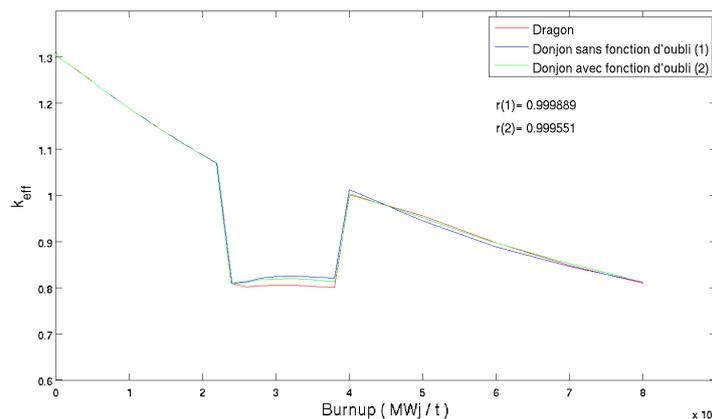


FIGURE 13 – Double step de densité de caloporteur avec et sans la fonction d'oubli (17/24-40/35)

On constate que les courbes avec et sans fonction d'oubli sont très proches, ce qui inciterait à conclure que la fonction d'oubli a peu d'influence sur le  $k_{\text{eff}}$  en cas de variation

de densité de caloporteur. Pourtant, des calculs effectués par ailleurs (figure 14) pour une variation unique de DCA montrent une erreur asymptotique sans fonction d’oubli.

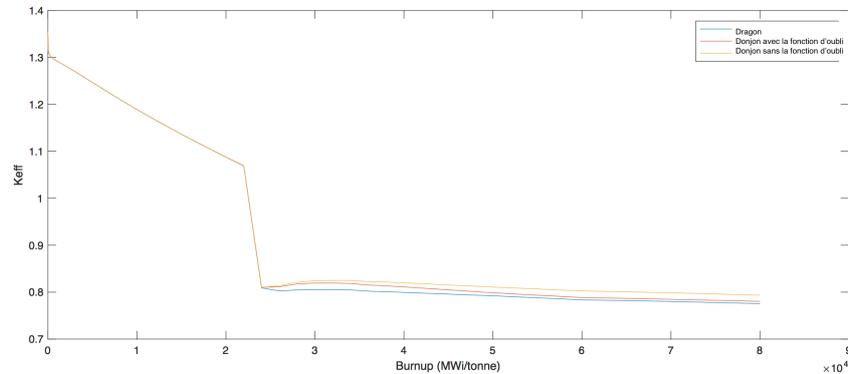


FIGURE 14 – Simple step de densité de caloporteur avec et sans sans la fonction d’oubli

Cette différence entre le cas à une marche et le cas à deux marches peut potentiellement s’expliquer par l’impact de l’effet d’histoire moindre pour une période à une valeur de DCA de 0.3 plus courte dans le cas d’une double marche que dans le cas d’une simple marche, où cette valeur reste constante après la première marche.

Une étude sur l’intérêt de la fonction d’oubli dans le cas de simple marche montante ou descendante à d’autres burnups, ainsi que de plus amples résultats pour une double marche pourraient être utiles pour conclure plus certainement sur l’efficacité de la fonction d’oubli.

## 5.2 Variation de la présence de poison

L’effet de la présence de poison sur la réactivité est un autre type d’effet d’histoire. Pour étudier ces phénomènes, on introduit un paramètre local  $\alpha$  (effet instantané) et  $\alpha^H$  (effets d’histoire) pour représenter l’effet de la présence de poison. Sur un assemblage de 5x5 pincells (Figure 15), on prend  $\alpha = 1$  lorsque le pincell est empoisonné et ne contient pas de combustible, et  $\alpha = 0$  lorsqu’il s’agit d’un pincell normal. Ce modèle s’apparente à la présence ou à l’absence d’une barre de contrôle.

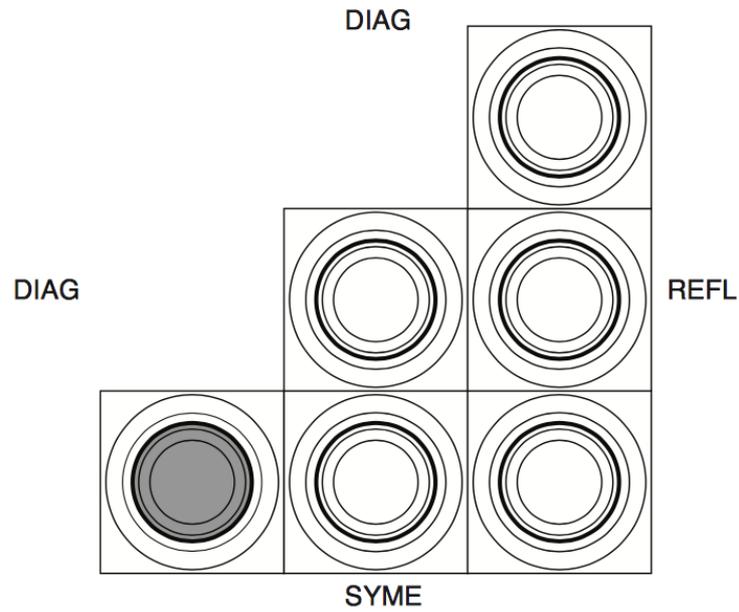


FIGURE 15 – Géométrie de l'assemblage 5x5

Les variations de paramètres locaux seront donc une levée puis une descente de barre dans l'assemblage telles que (figure 16) :

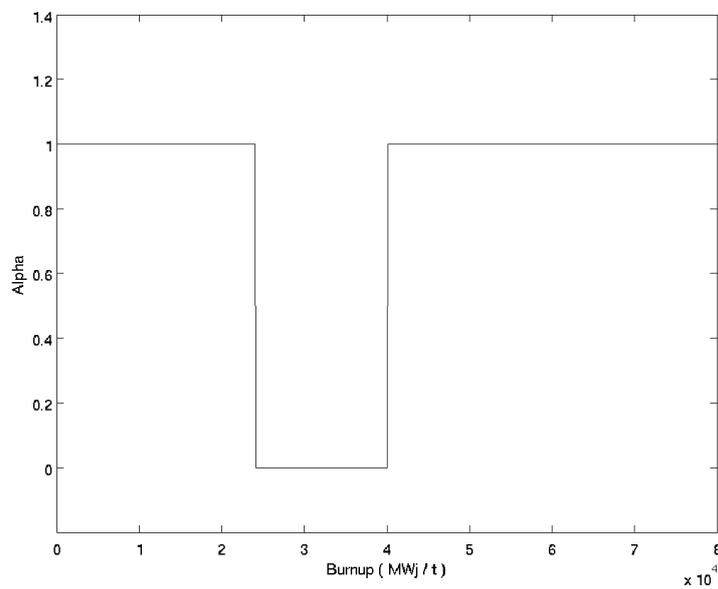


FIGURE 16 – Double variation de quantité de poison alpha

Voici les résultats fournis pour DONJON et DRAGON (figure 84) :

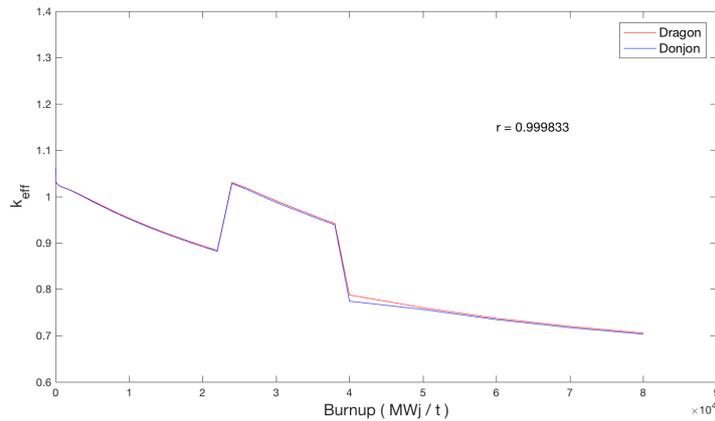


FIGURE 17 – Double variation de quantité de poison pour 35 isotopes (17/24-40/35)

Les autres calculs effectués sont présents dans les annexes 7.2.1.

L'intensité de l'effet d'histoire pour la variation de quantité de poison dans le combustible étant faible, les corrections apportées ont un impact léger. Afin de le quantifier, et de mettre en évidence les cas les plus critiques, il a été choisi de calculer pour les 21 différentes doubles marches présentées en annexe, l'erreur commise sur le  $k_{\text{eff}}$  et le coefficient de corrélation entre les courbes DONJON et DRAGON en choisissant de ne pas appliquer une correction. Ces valeurs sont présentées en fonction du numéro du test reporté dans la figure 4.

Pour ce paramètre local, plus de calculs ont été effectués, et seuls les résultats les plus problématiques sont présentés. Le nombre plus élevé de calculs lancés permet cependant d'observer la répartition de l'erreur commise entre le calcul DRAGON et le calcul DONJON considéré, ainsi que les coefficients de corrélation. Ces courbes, tracées en fonction du numéro du test, permettent ainsi de montrer que les burnups auxquels ont lieu les échelons ainsi que l'écart les séparant ont un impact sur la validité d'une correction.

Les tests non présentés dans le rapport sont présents en annexe 7.2.

### 5.2.1 Influence du nombre d'isotopes

L'influence du nombre d'isotopes est testée en effectuant une évolution avec une variation de quantité de poison avec 11 isotopes particularisés (figure 18) :

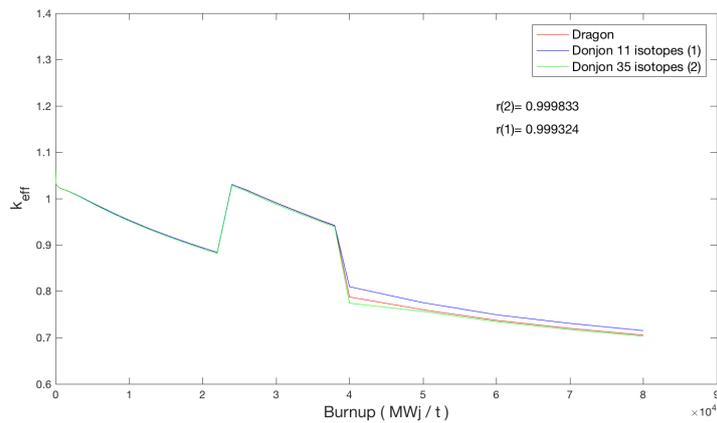


FIGURE 18 – Influence de la variation de la quantité d'isotopes particularisés (17/24-40/N )

Les autres calculs effectués sont présents dans les annexes 7.2.2.

Il apparaît que l'influence du nombre d'isotopes particularisés est moindre pour la quantité de poison que pour la densité de caloporteur. Les résultats, bien que meilleurs avec 35 isotopes, restent satisfaisants avec 11 isotopes malgré une erreur asymptotique. Le choix du nombre d'isotopes particularisés repose donc sur une attente en terme d'efficacité et de précision.

Les courbes suivantes (figures 19 et 20) montrent respectivement l'erreur commise entre la courbe DRAGON et la courbe DONJON avec 11 isotopes particularisés en fonction du numéro du test effectué (cf tableau 4) et le coefficient de corrélation entre la courbe DRAGON et la courbe DONJON avec 11 isotopes particularisés en fonction du numéro du test effectué. Les valeurs moyennes sont présentées sur les figures.

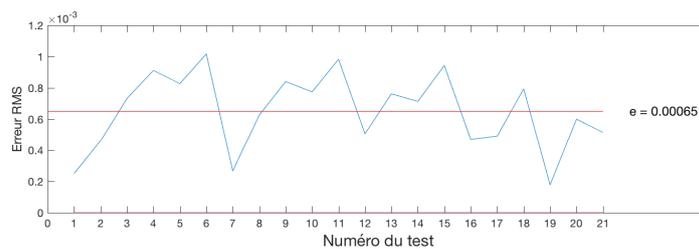


FIGURE 19 – Erreur sur le  $k_{\text{eff}}$  avec 11 isotopes particularisés

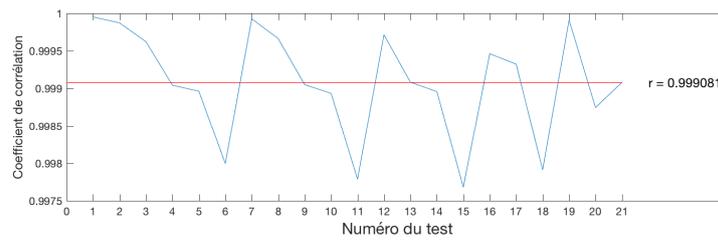


FIGURE 20 – Coefficient de corrélation entre DONJON et DRAGON avec 11 isotopes particularisés

On constate que les résultats sont satisfaisants, car l'erreur reste inférieure à 0.1% et le coefficient de corrélation supérieur à 0.9975.

### 5.2.2 Influence de l'interpolation

On effectue une marche de densité de caloporteur à des burnups non initialement contenus dans la MULTICOMPO et nécessitant une interpolation. On choisit des variations pour les burnups 22000 et 38000 MWj/t (figure 21). Les résultats obtenus sont présentés sur la figure 22.

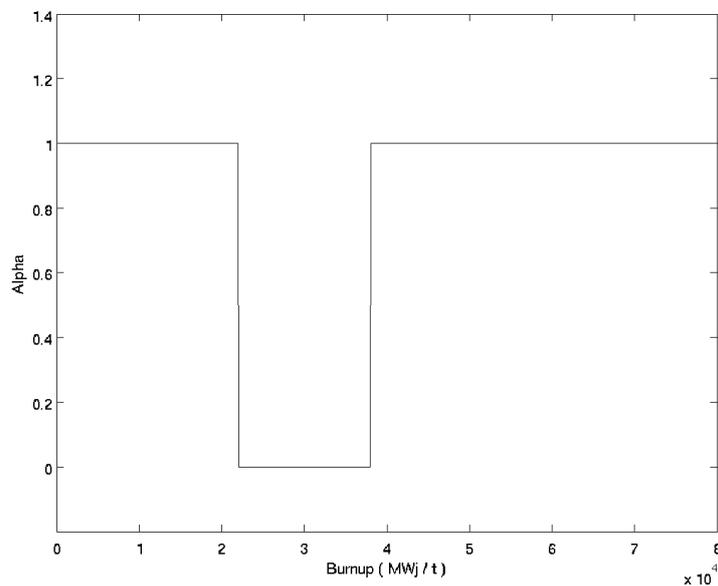


FIGURE 21 – Données d'entrée : double step de densité de caloporteur avec interpolation

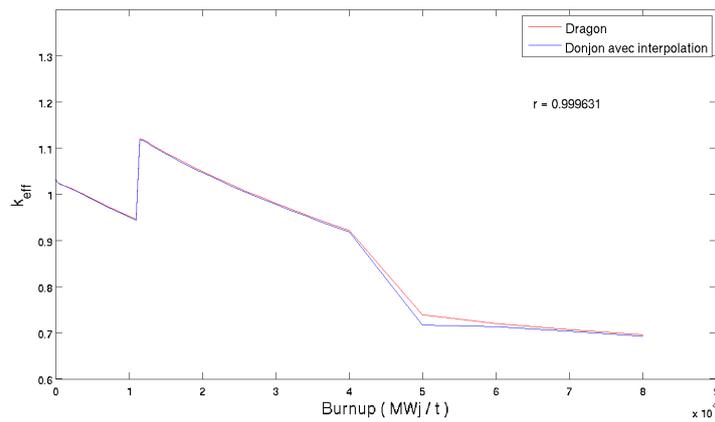


FIGURE 22 – Double step de densité de caloporteur avec interpolation (15/24-40/N)

Les autres calculs effectués sont présents dans les annexes 7.2.3.

Les figures 23 et 24 présentent la répartition des erreurs et des coefficients de corrélation comme précédemment.

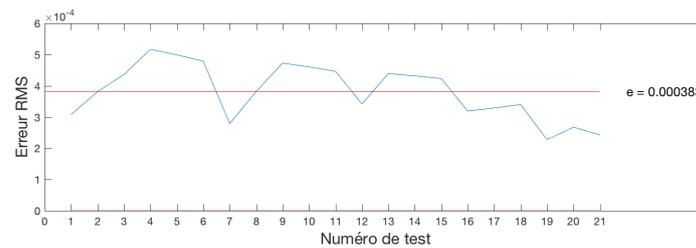


FIGURE 23 – Erreur sur le  $k_{\text{eff}}$  avec interpolation

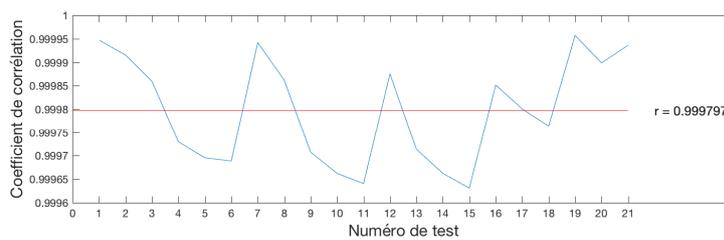


FIGURE 24 – Coefficient de corrélation entre DONJON et DRAGON avec interpolation

L'erreur est encore plus faible que précédemment en restant inférieure à  $6 \cdot 10^{-4}$  et le coefficient de corrélation supérieur à 0.9996. Les résultats sont donc très satisfaisants.

### 5.2.3 Influence du mot-clef PURE

L'influence du mot-clef PURE est testée en figure 25 :

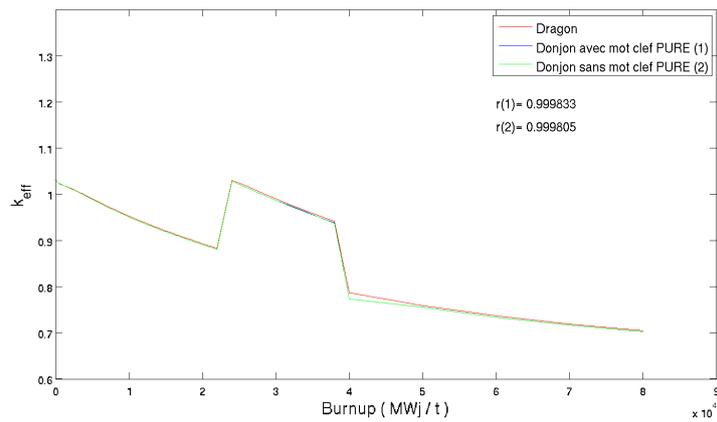


FIGURE 25 – Double step de densité de caloporteur sans le mot-clef PURE (17/24-40/35)

Les autres calculs effectués sont présents dans les annexes 7.2.4.

On constate que les courbes avec et sans mot-clef PURE sont parfaitement superposées. Il en résulte que le mot-clef PURE n'a pas d'influence sur une évolution avec une variation de quantité de poison.

Les figures 26 et 27 présentent la répartition des erreurs et des coefficients de corrélation comme précédemment.

Au vu de la figure 25, ces données reflètent seulement les performances atteignables avec la correction.

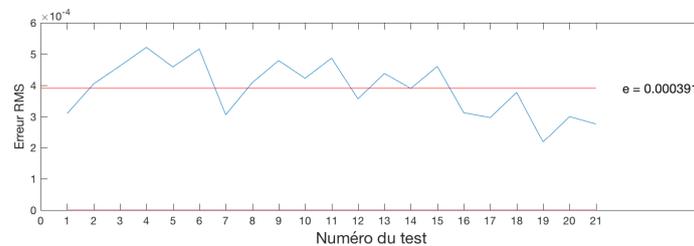


FIGURE 26 – Erreur sur le  $k_{\text{eff}}$  sans le mot-clef PURE

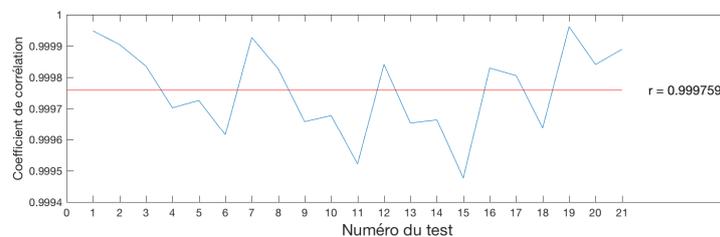


FIGURE 27 – Coefficient de corrélation entre DONJON et DRAGON sans le mot-clef PURE

### 5.2.4 Influence de la fonction d'oubli

L'influence de la fonction d'oubli est testée sur la figure 28 :

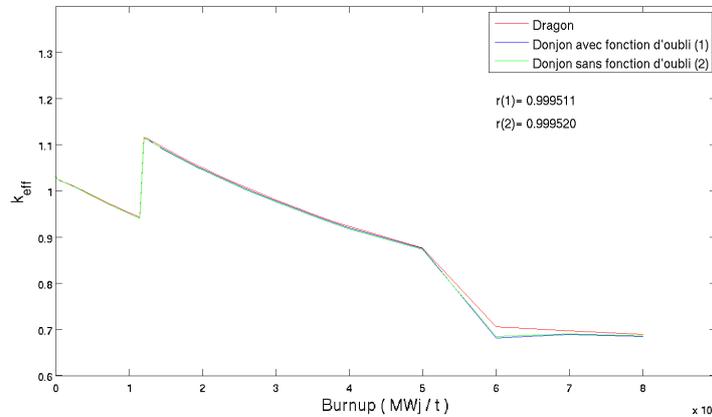


FIGURE 28 – Coefficient de corrélation entre DONJON et DRAGON sans la fonction d'oubli (15/12-60/35)

Les autres calculs effectués sont présents dans les annexes 7.2.5.

De la même manière que pour les variations de densité de caloporteur, la fonction d'oubli semble n'avoir que peu d'impact sur la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de quantité de poison dans le combustible dans cette configuration de double variation de présence de poison. Des calculs complémentaires devraient être lancés pour vérifier cette conclusion.

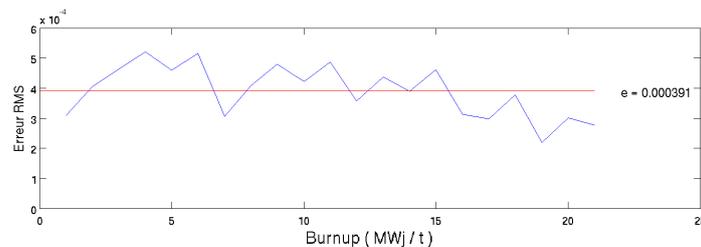


FIGURE 29 – Erreur sur le  $k_{\text{eff}}$  sans la fonction d'oubli

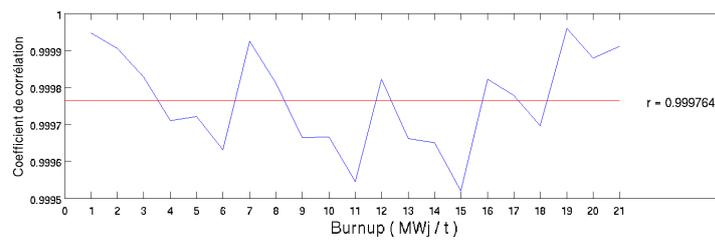


FIGURE 30 – Coefficient de corrélation entre DONJON et DRAGON sans la fonction d'oubli

## 6 Conclusion

Le premier objectif du travail réalisé durant ce stage était d'implémenter une correction au fichier d'entrée du code déterministe DONJON5 afin de prendre en compte l'effet d'histoire sur le  $k_{\text{eff}}$  en cas de variation brutale d'un paramètre local. Les résultats obtenus après des doubles échelons de variation des paramètres locaux ont été comparés aux résultats obtenus sur DRAGON5 après une entrée similaire.

Les paramètres locaux étudiés étaient la densité de caloporteur pour un barreau de combustible, et l'absence ou la présence de barres de contrôle dans un assemblage 5x5 : Les résultats obtenus après la correction mise en place durant le stage sont satisfaisants.

Pour chacun des paramètres locaux, les corrections apportées ont été éprouvées par une série de tests visant à déterminer quel impact chaque partie de la correction globale avait sur le résultat :

- L'ajout du paramètre historique avec l'utilisation du mot-clef ADD est primordial ;
- L'interpolation pour accéder à des burnups non présents dans la MULTICOMPO est correctement effectuée ;
- L'utilisation du mot-clef PURE pour la prise en compte de l'instantanéité de la variation est efficace ;
- L'introduction de la fonction d'oubli a un impact discutable et il serait nécessaire d'effectuer plus de tests pour comprendre comment cette fonction influence les résultats en fonction du nombre de variations de densité de caloporteur effectuées.

De plus, pour la variation de quantité de poison :

- L'interpolation pour accéder à des burnups non présents dans la MULTICOMPO est correctement effectuée ;
- L'utilisation du mot-clef PURE pour la prise en compte de l'instantanéité de la variation semble n'avoir aucun impact ;
- Tout comme pour les variations de densité de caloporteur, l'impact de la fonction d'oubli nécessiterait d'être précisé par de plus amples tests.

Le second objectif était de déterminer si l'utilisation de 11 isotopes particularisés au lieu de 35 dans le calcul d'évolution était suffisant.

Nous avons vu que pour une variation de densité de caloporteur, l'utilisation de 11 isotopes particularisés mène à une résonance du  $k_{\text{eff}}$  mais à une convergence assez rapide ; alors que pour la présence de poison, l'utilisation de 11 isotopes mène à une erreur asymptotique. Les résultats avec 11 isotopes sont donc moins précis que ceux obtenus avec 35 isotopes, mais ils sont aussi plus rapides à calculer. Il conviendra d'estimer la précision souhaitée avant d'utiliser 11 isotopes particularisés au lieu de 35.

## 7 Annexes

### 7.1 Variations de la densité de caloporteur

#### 7.1.1 Résultats

Les résultats obtenus avec la corrections complètes pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de densité de caloporteur DCA sont présentés de la figure 31 à la figure 48.

Pour des problèmes techniques, certaines courbes ne sont pas présentes dans le rapport.

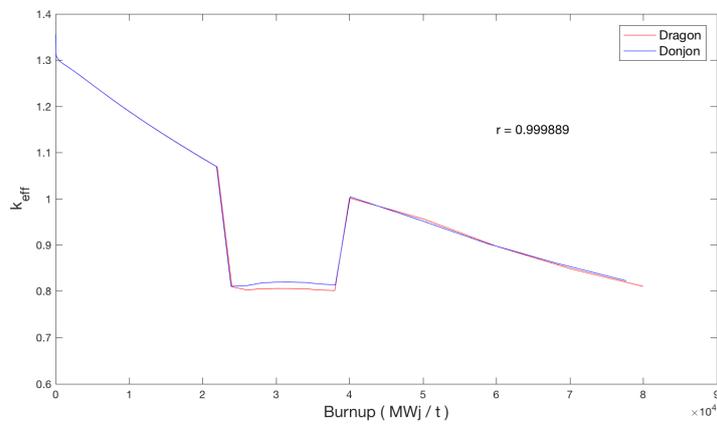


FIGURE 31 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de DCA (1/4-8/35)

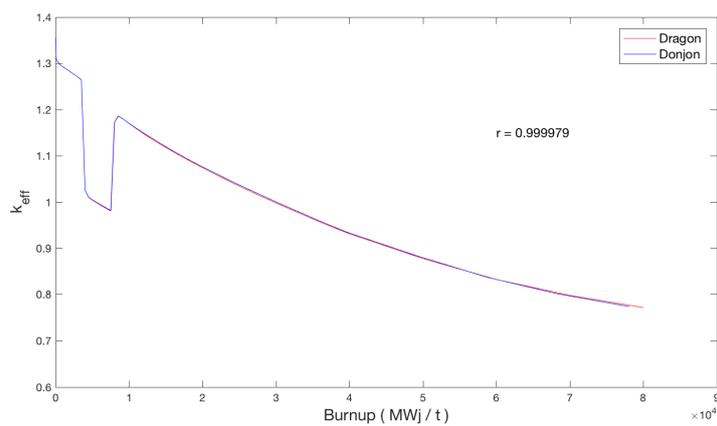


FIGURE 32 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de DCA (2/4-12/35)

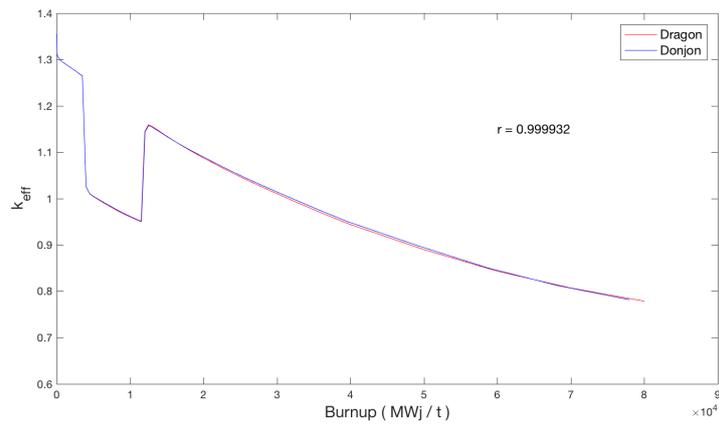


FIGURE 33 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de DCA (3/4-24/35)

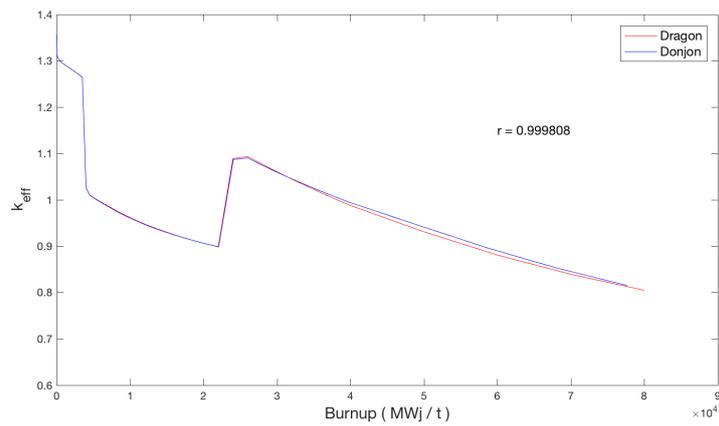


FIGURE 34 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de DCA (4/4-36/35)

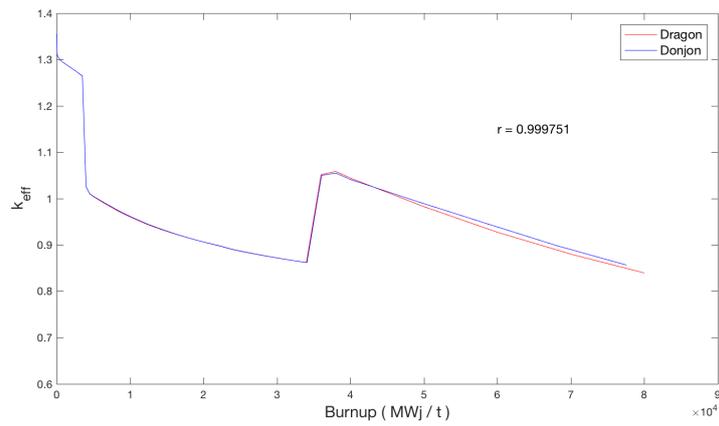


FIGURE 35 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de DCA (5/4-40/35)

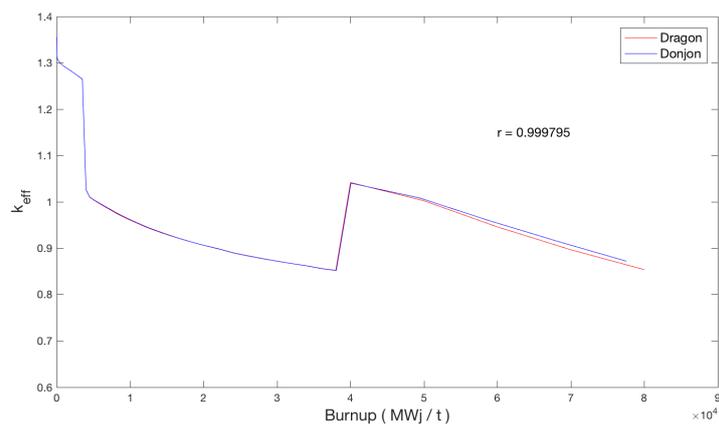


FIGURE 36 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de DCA (6/4-60/35)

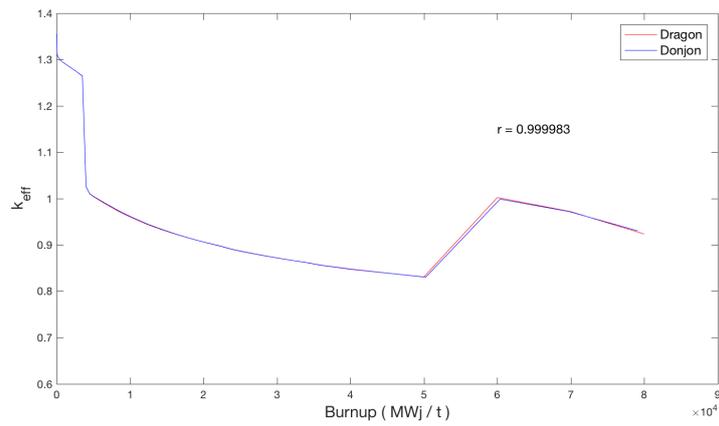


FIGURE 37 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de DCA (7/8-12/35)

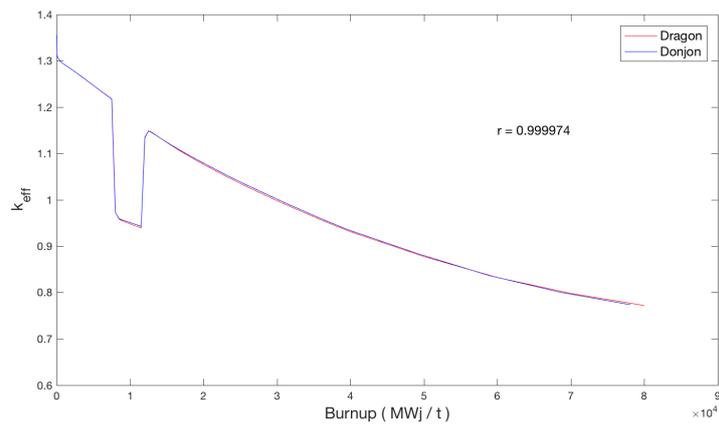


FIGURE 38 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de DCA (8/8-24/35)

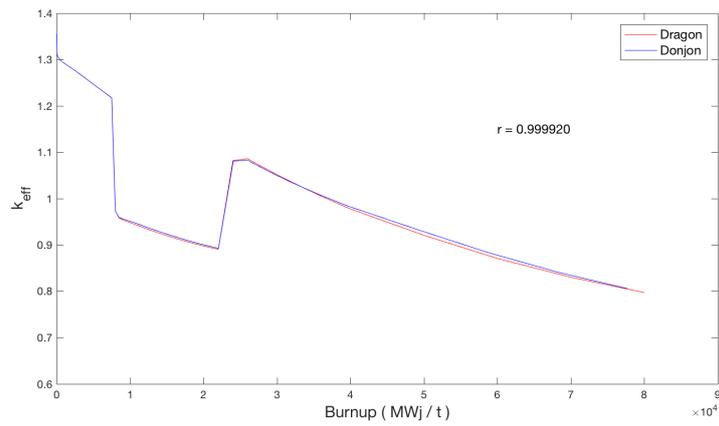


FIGURE 39 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de DCA (9/8-36/35)

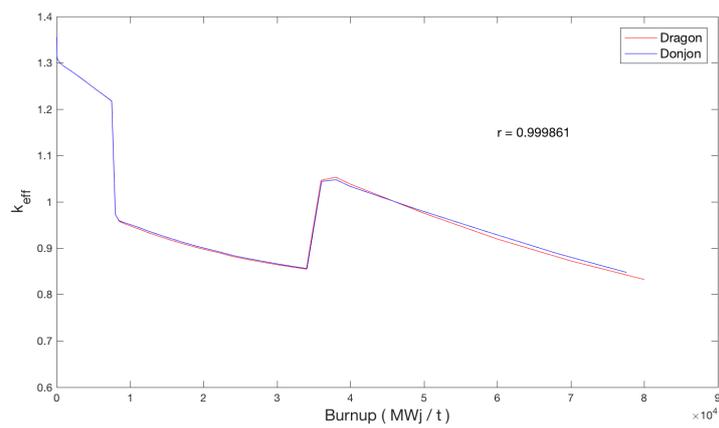


FIGURE 40 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de DCA (10/8-40/35)

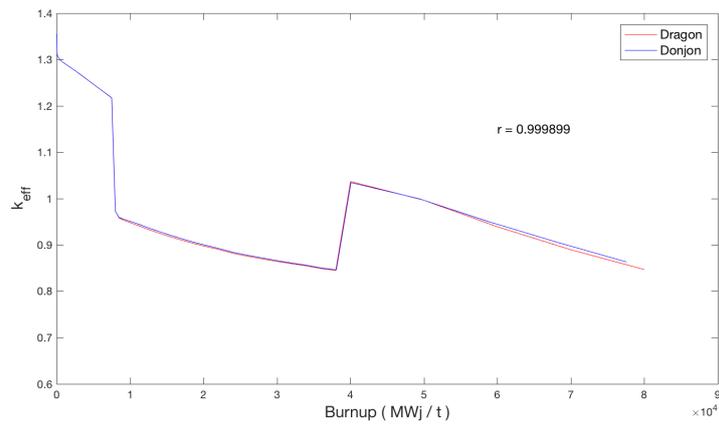


FIGURE 41 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de DCA (11/8-60/35)

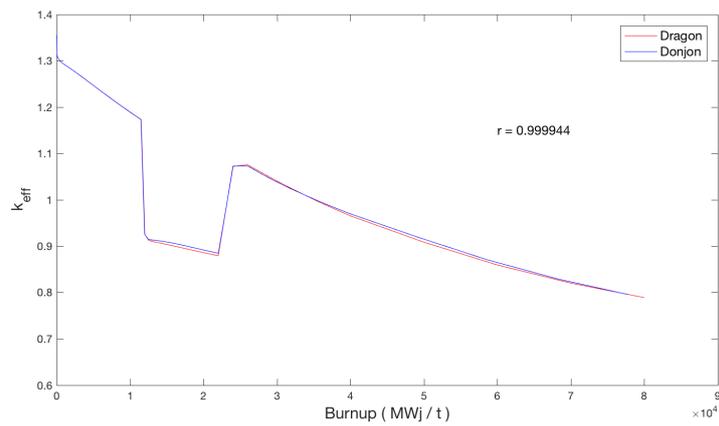


FIGURE 42 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de DCA (13/12-36/35)

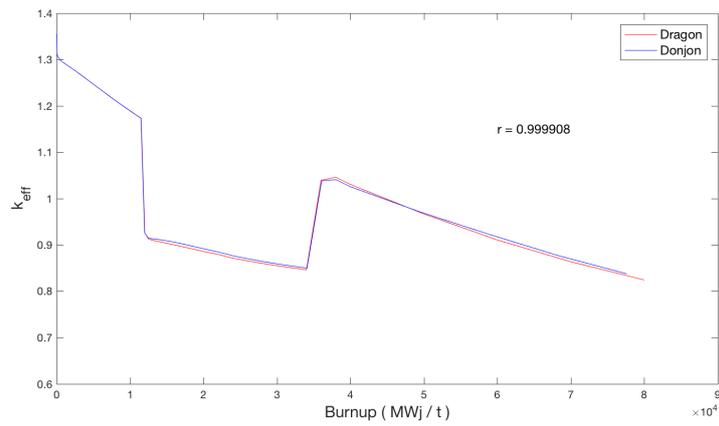


FIGURE 43 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de DCA (14/12-40/35)

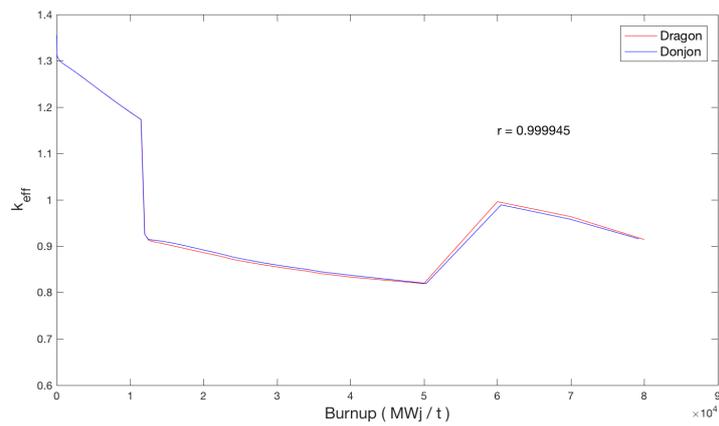


FIGURE 44 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de DCA (16/24-36/35)

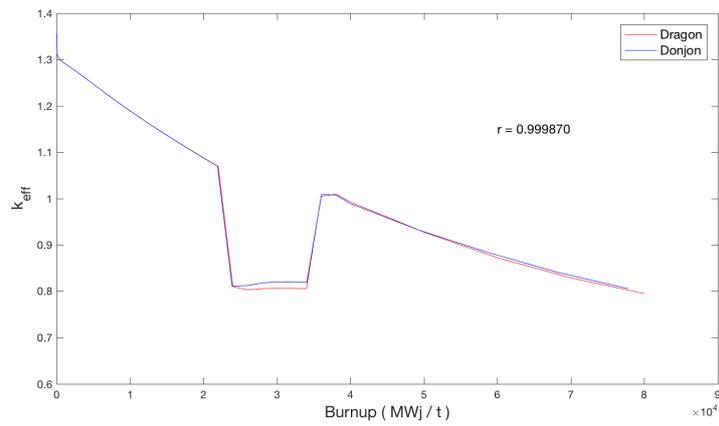


FIGURE 45 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de DCA (17/24-40/35)

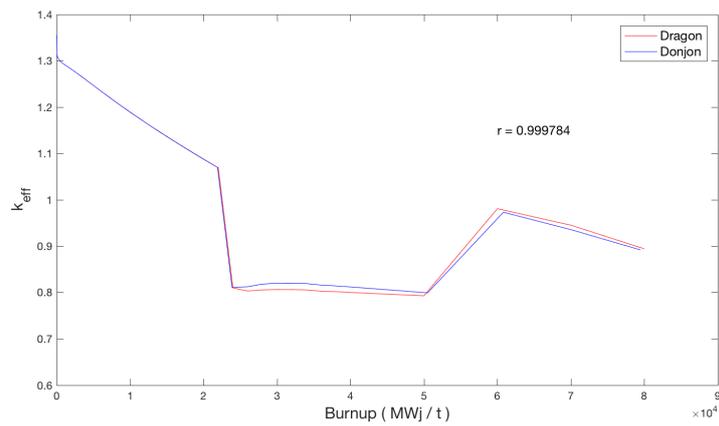


FIGURE 46 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de DCA (18/24-60/35)

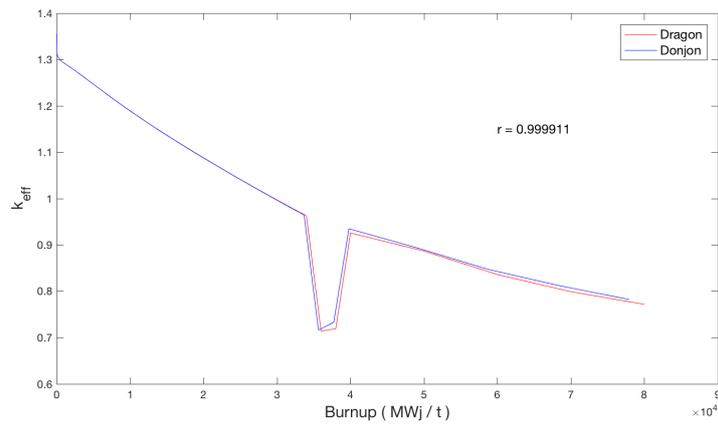


FIGURE 47 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de DCA (19/36-40/35)

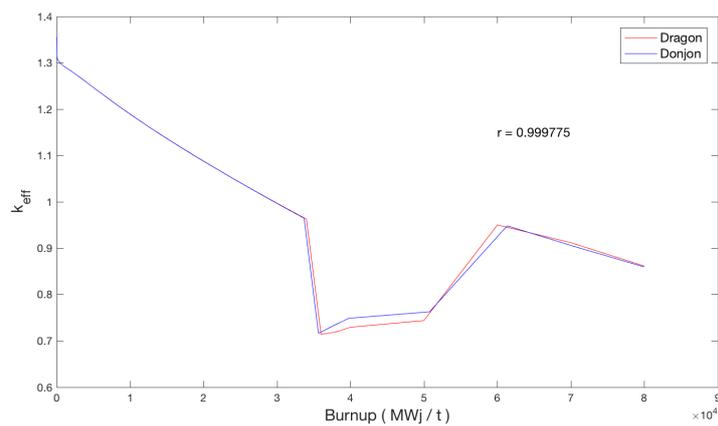


FIGURE 48 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de DCA (20/36-60/35)

### 7.1.2 Influence du nombre d'isotopes

Les résultats obtenus avec 11 isotopes particularisés au lieu de 35 pour une variation de la densité de caloporteur (DCA) sont présentés de la figure 89 à la figure 109.

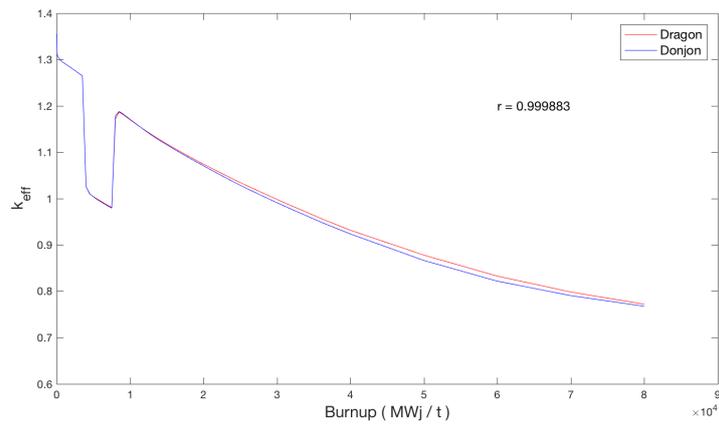


FIGURE 49 – Variation de DCA avec 11 isotopes particularisés (1/4-8/11)

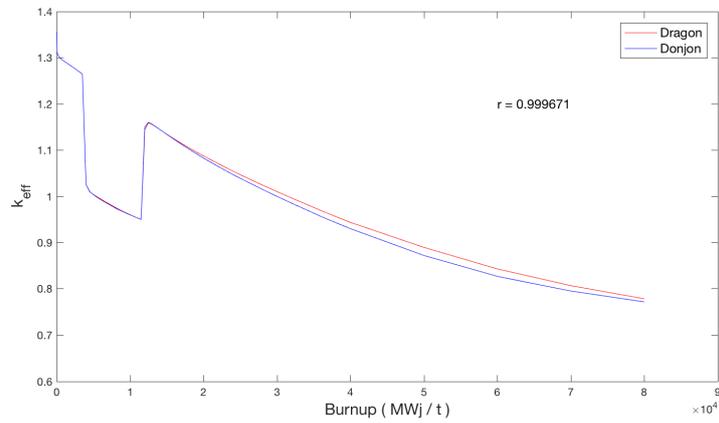


FIGURE 50 – Variation de DCA avec 11 isotopes particularisés (2/4-12/11)

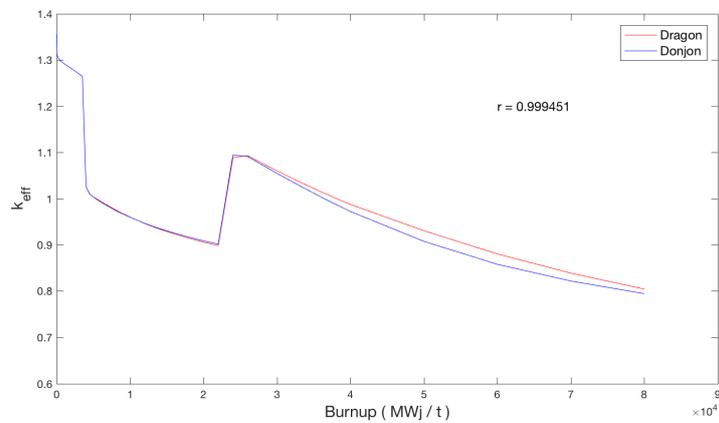


FIGURE 51 – Variation de DCA avec 11 isotopes particularisés (3/4-24/11)

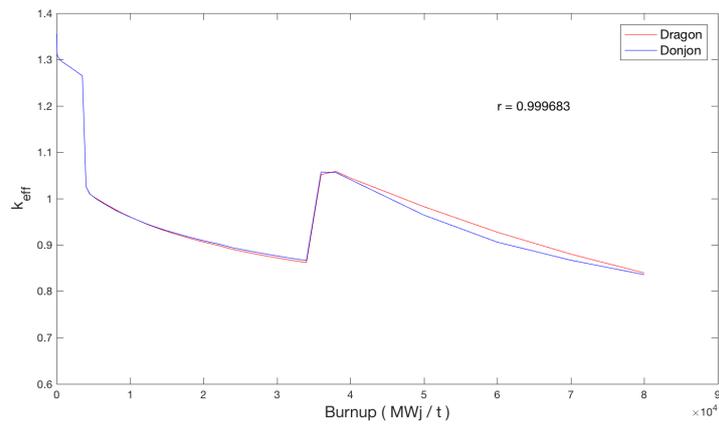


FIGURE 52 – Variation de DCA avec 11 isotopes particularisés (4/4-36/11)

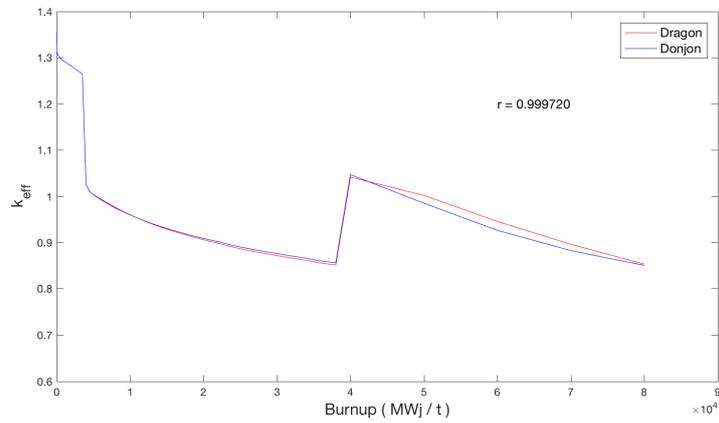


FIGURE 53 – Variation de DCA avec 11 isotopes particularisés (5/4-40/11)

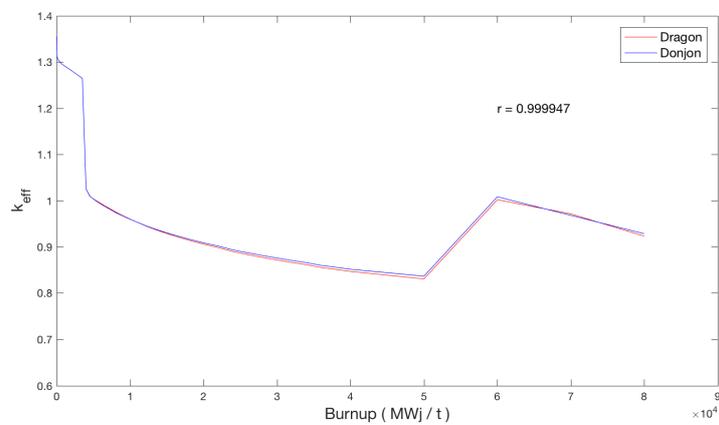


FIGURE 54 – Variation de DCA avec 11 isotopes particularisés (6/4-60/11)

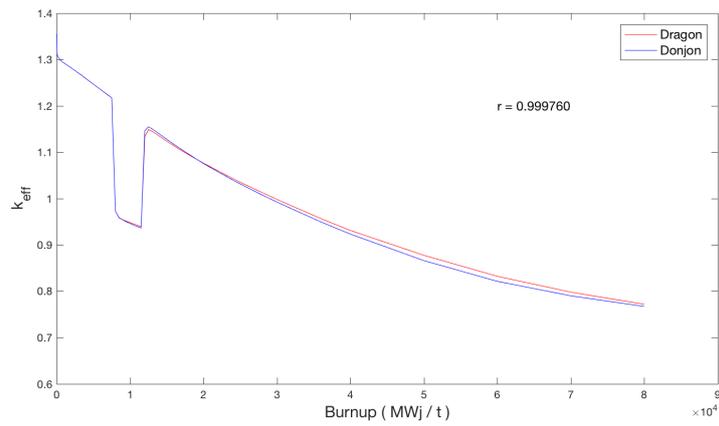


FIGURE 55 – Variation de DCA avec 11 isotopes particularisés (7/8-12/11)

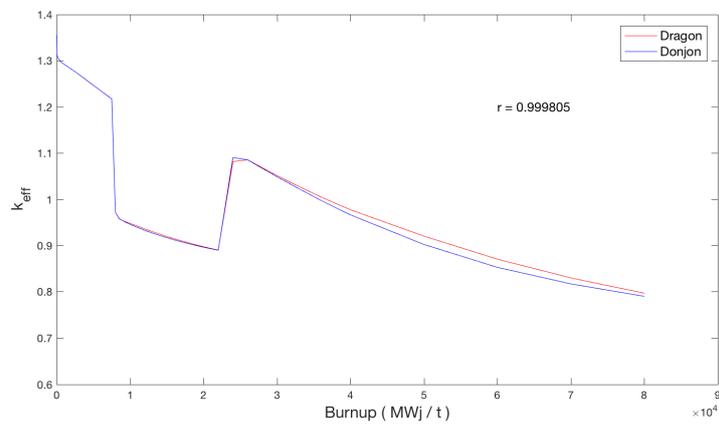


FIGURE 56 – Variation de DCA avec 11 isotopes particularisés (8/8-24/11)

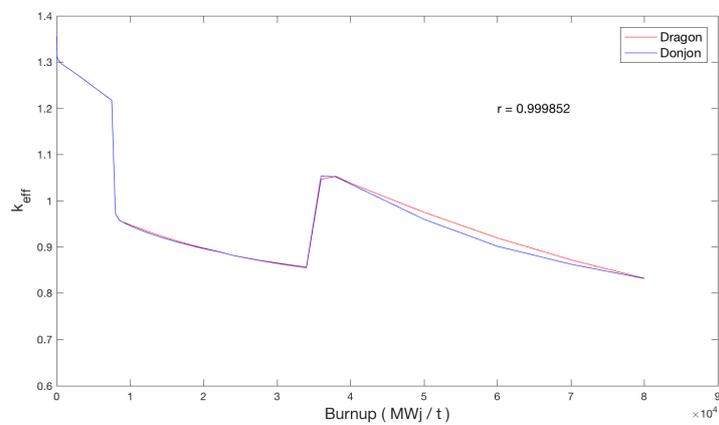


FIGURE 57 – Variation de DCA avec 11 isotopes particularisés (9/8-36/11)

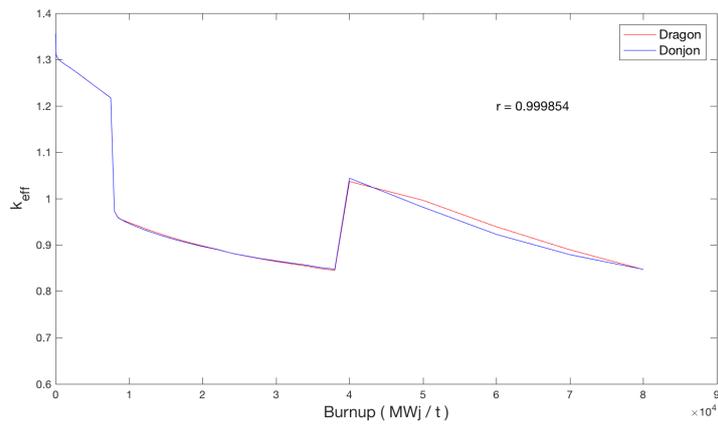


FIGURE 58 – Variation de DCA avec 11 isotopes particularisés (10/8-40/11)

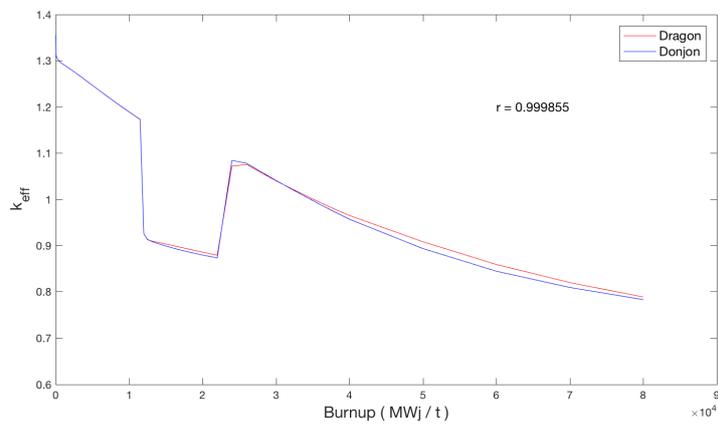


FIGURE 59 – Variation de DCA avec 11 isotopes particularisés (12/12-24/11)

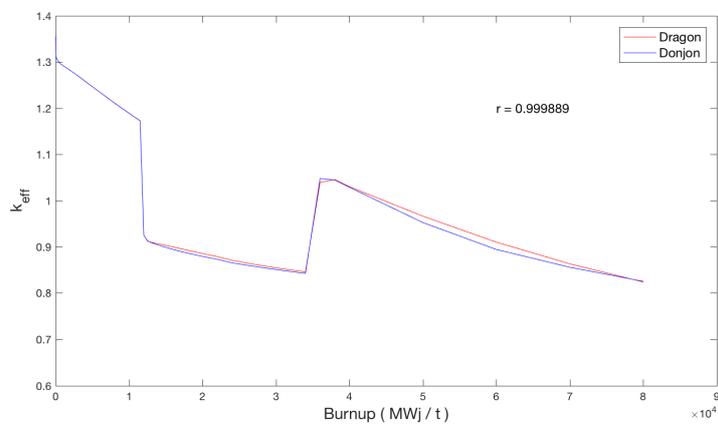


FIGURE 60 – Variation de DCA avec 11 isotopes particularisés (13/12-36/11)

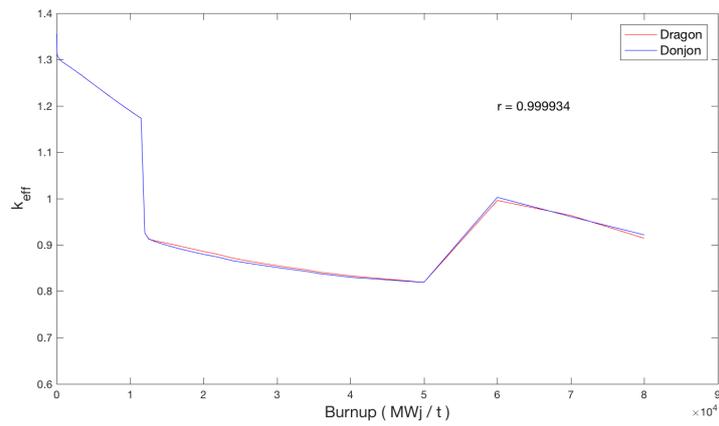


FIGURE 61 – Variation de DCA avec 11 isotopes particularisés (15/12-60/11)

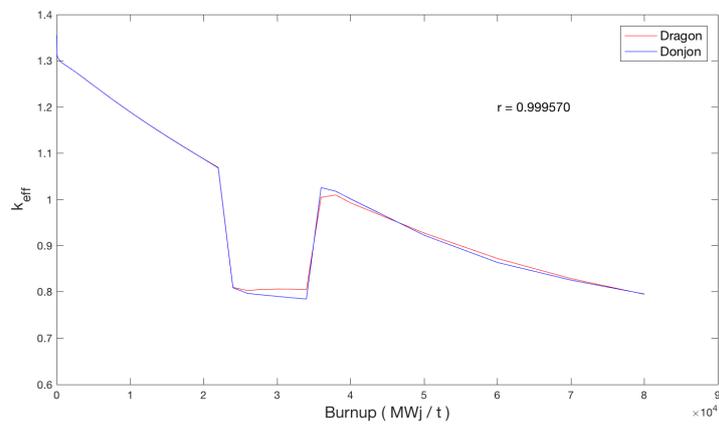


FIGURE 62 – Variation de DCA avec 11 isotopes particularisés (16/24-36/11)

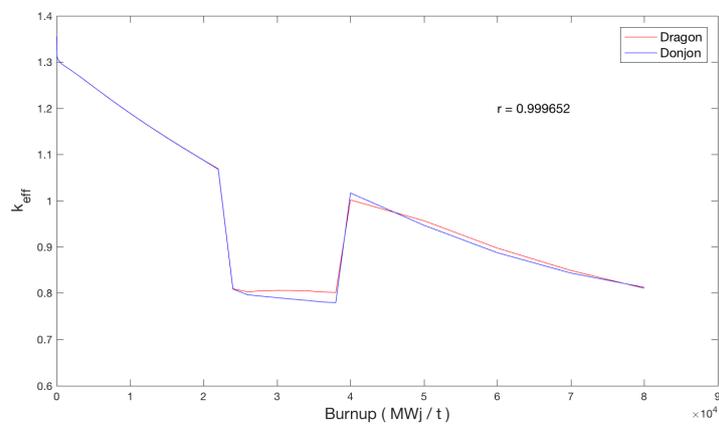


FIGURE 63 – Variation de DCA avec 11 isotopes particularisés (17/24-40/11)

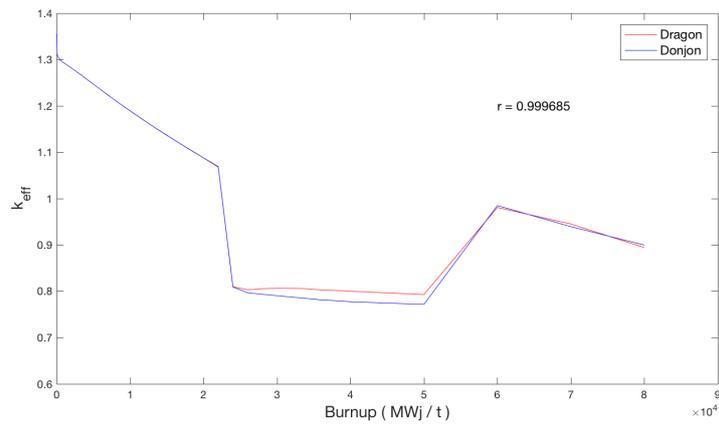


FIGURE 64 – Variation de DCA avec 11 isotopes particularisés (18/24-60/11)

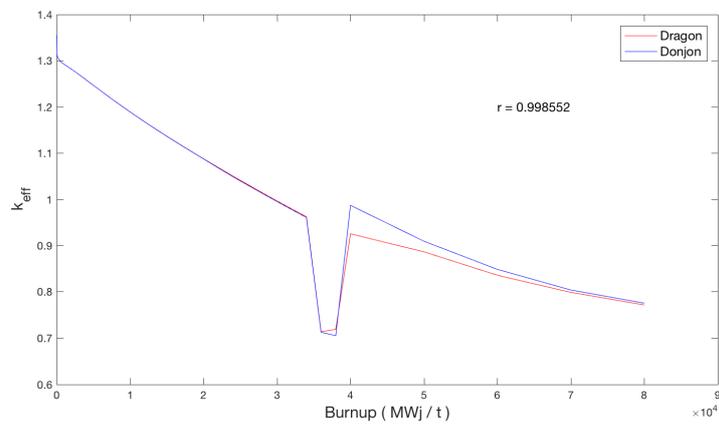


FIGURE 65 – Variation de DCA avec 11 isotopes particularisés (19/36-40/11)

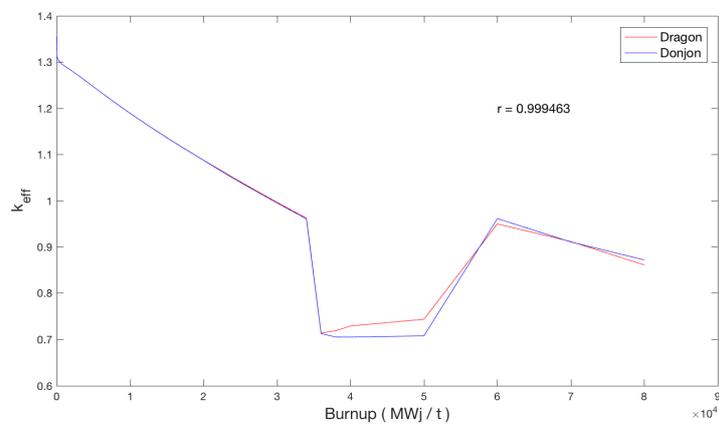


FIGURE 66 – Variation de DCA avec 11 isotopes particularisés (20/36-60/11)

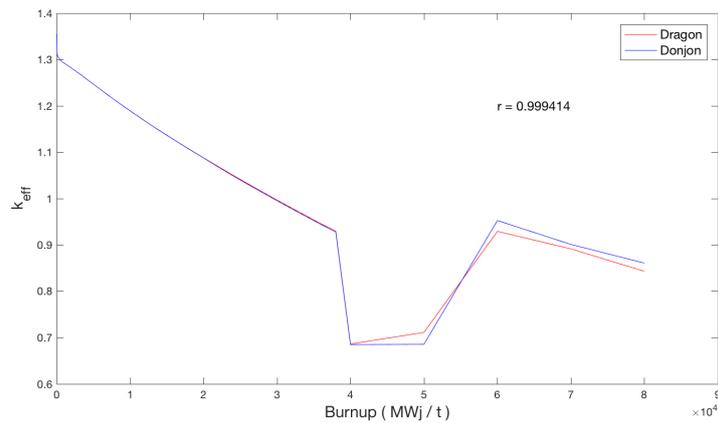


FIGURE 67 – Variation de DCA avec 11 isotopes particularisés (21/40-60/11)

## 7.2 Variations de la quantité de poison dans le combustible

### 7.2.1 Résultats

Les 21 résultats obtenus avec la corrections complètes pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de quantité de poison dans le combustible (ALPHA) sont présentés de la figure 68 à la figure 88.

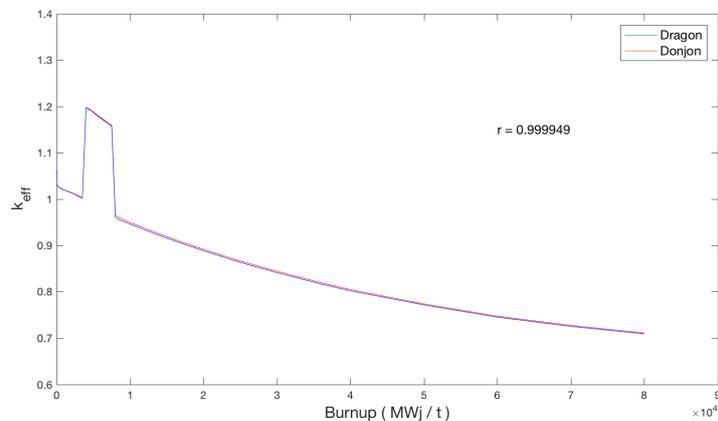


FIGURE 68 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de ALPHA (1/4-8/35)

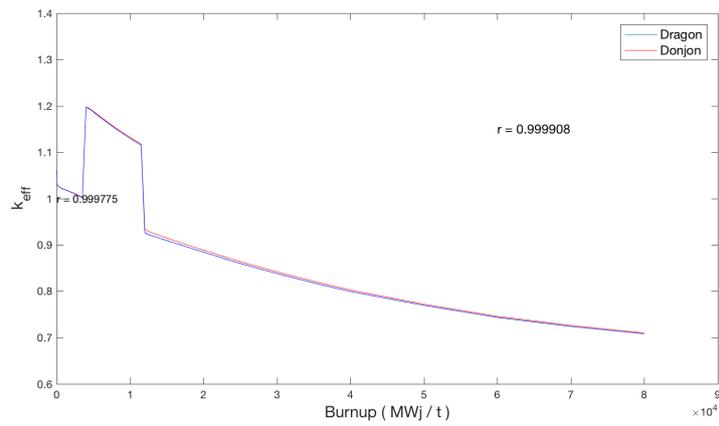


FIGURE 69 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de ALPHA (2/4-12/35)

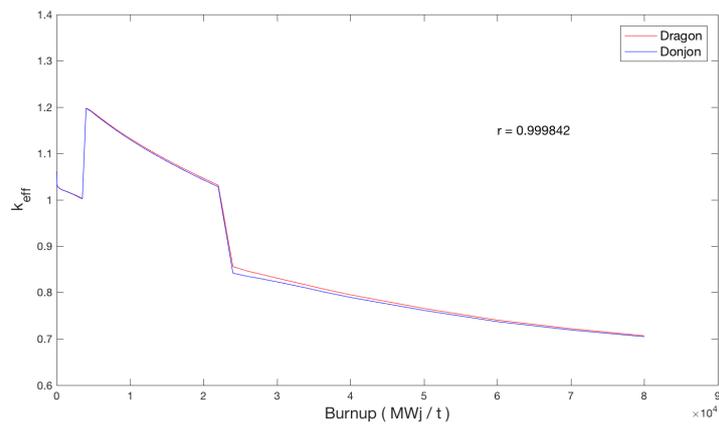


FIGURE 70 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de ALPHA (3/4-24/35)

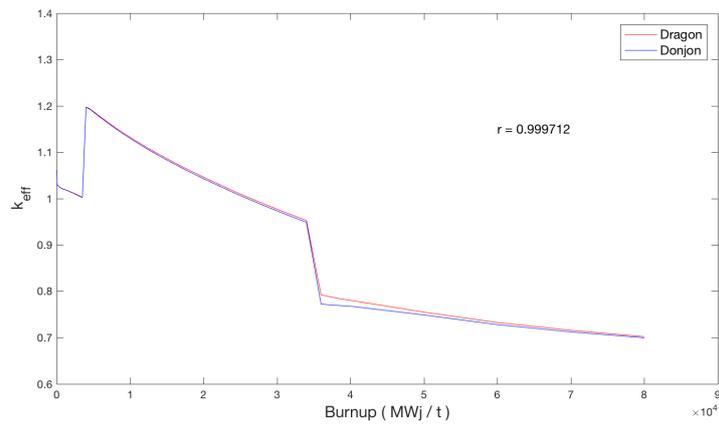


FIGURE 71 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de ALPHA (4/4-36/35)

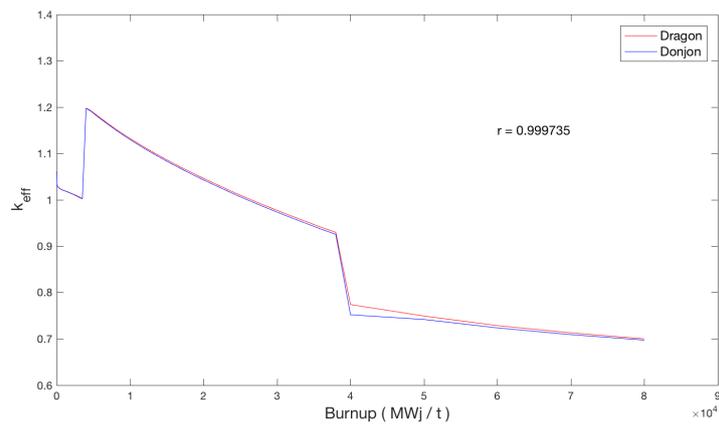


FIGURE 72 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de ALPHA (5/4-40/35)

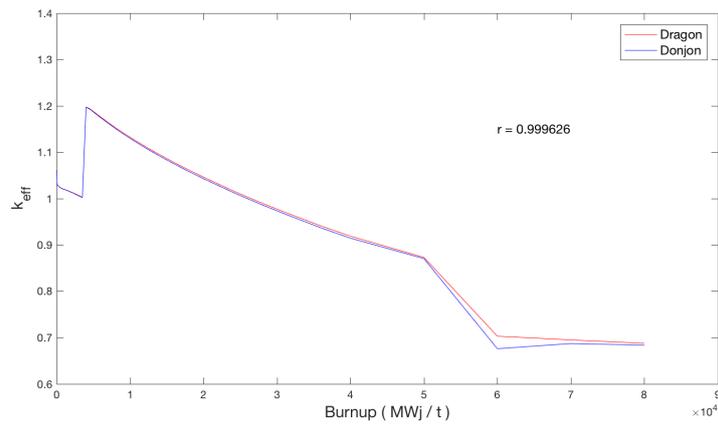


FIGURE 73 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de ALPHA (6/4-60/35)

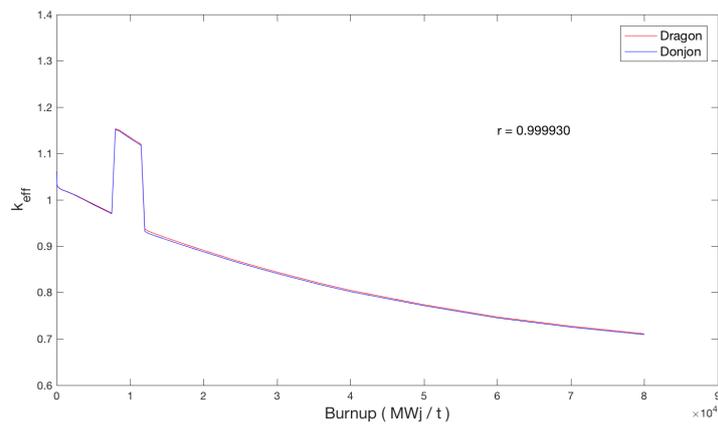


FIGURE 74 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de ALPHA (7/8-12/35)

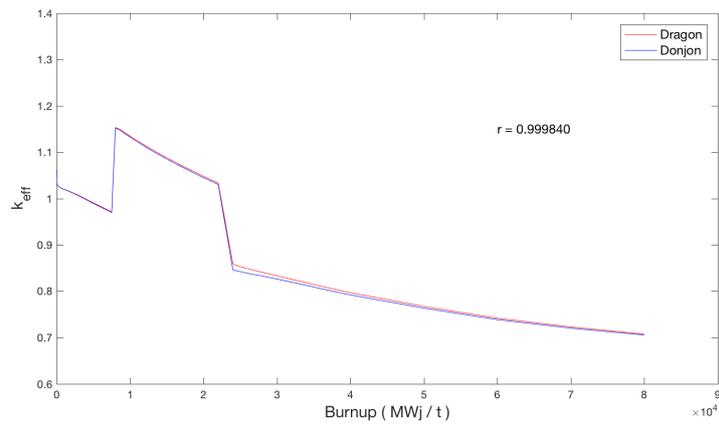


FIGURE 75 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de ALPHA (8/8-24/35)

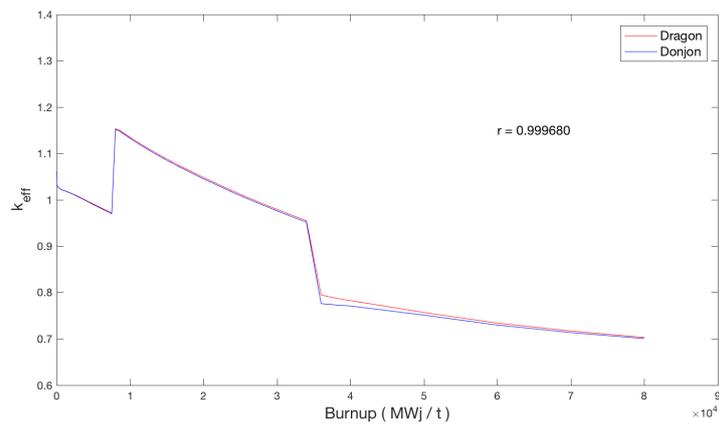


FIGURE 76 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de ALPHA (9/8-36/35)

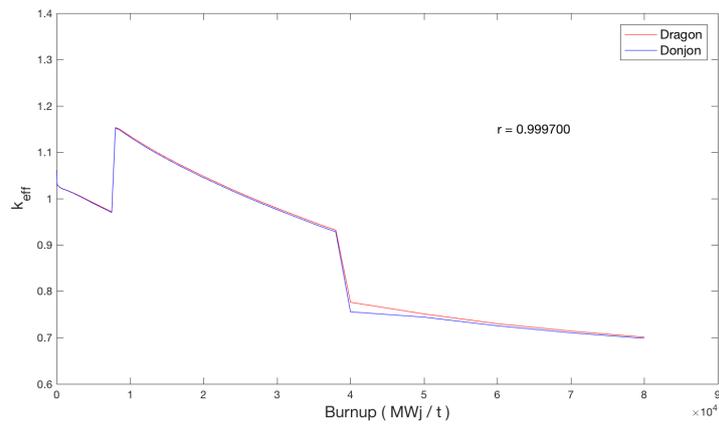


FIGURE 77 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de ALPHA (10/8-40/35)

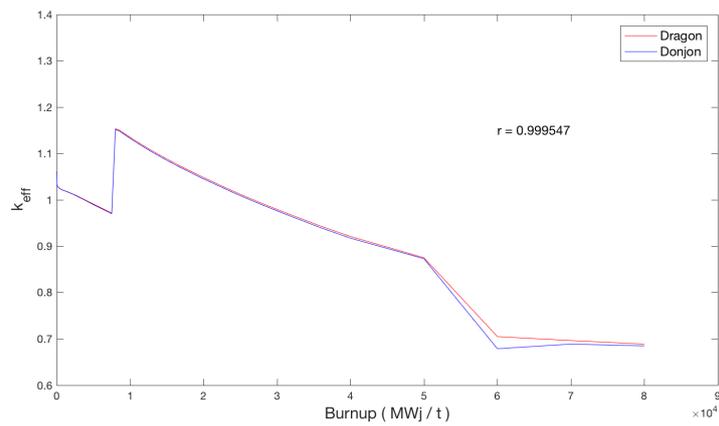


FIGURE 78 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de ALPHA (11/8-60/35)

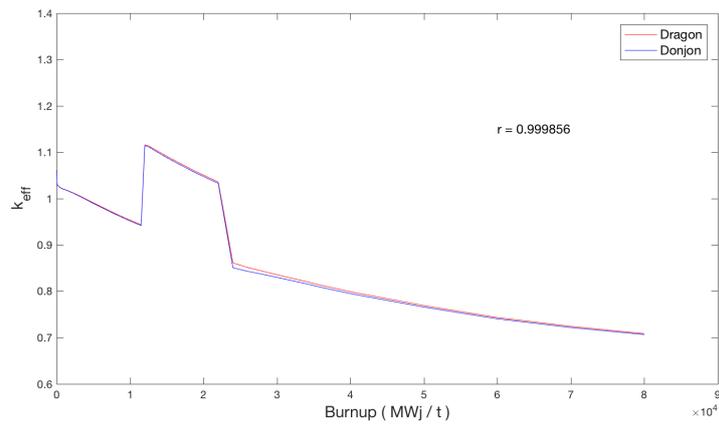


FIGURE 79 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de ALPHA (12/12-24/35)

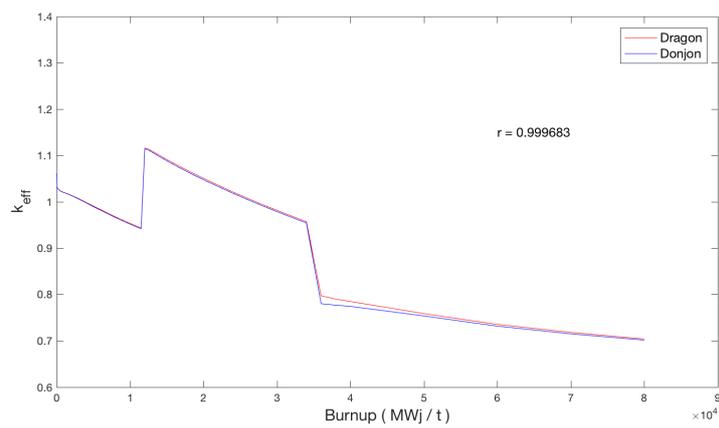


FIGURE 80 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de ALPHA (13/12-36/35)

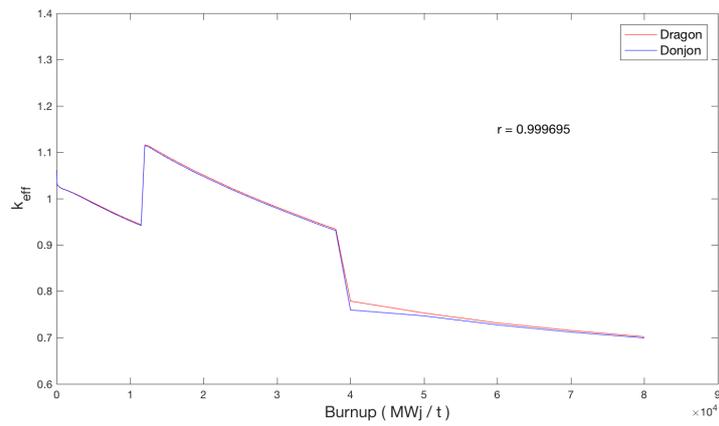


FIGURE 81 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de ALPHA (14/12-40/35)

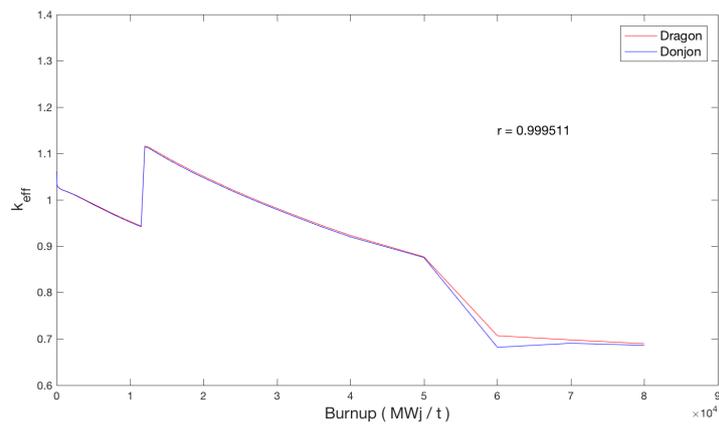


FIGURE 82 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de ALPHA (15/12-60/35)

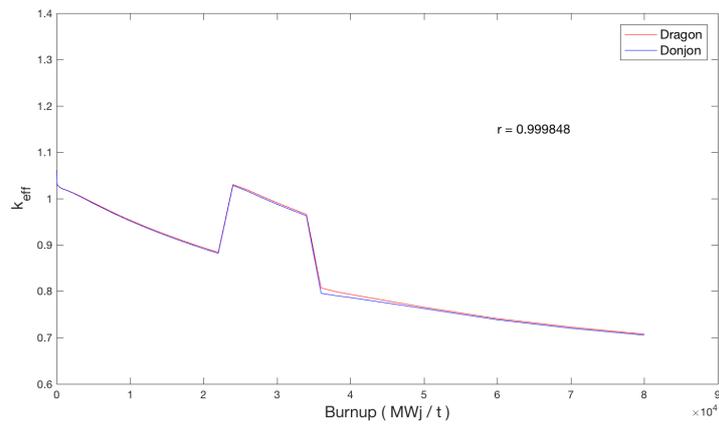


FIGURE 83 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de ALPHA (16/24-36/35)

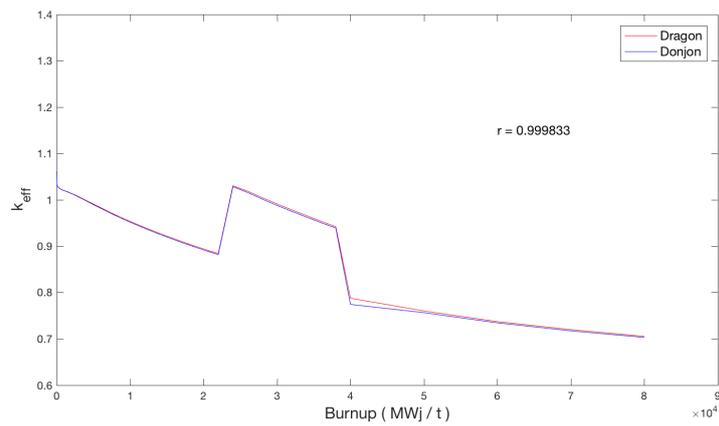


FIGURE 84 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de ALPHA (17/24-40/35)

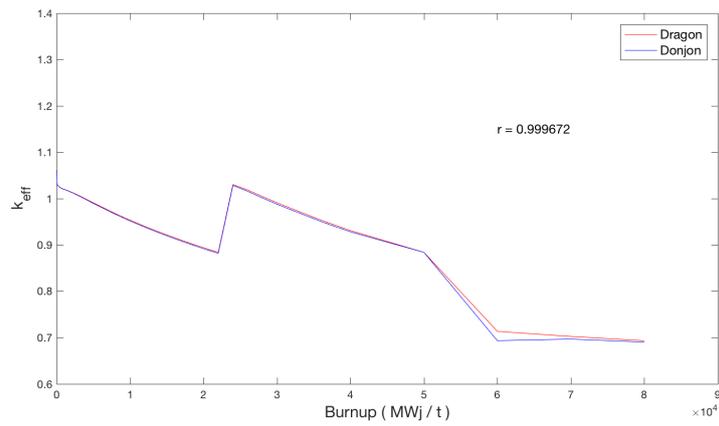


FIGURE 85 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de ALPHA (18/24-60/35)

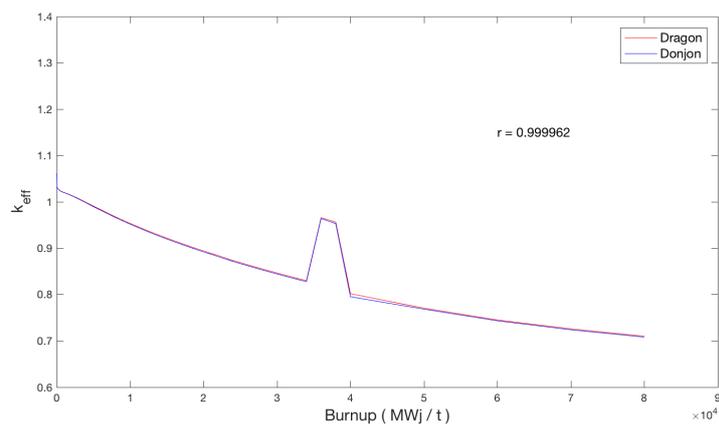


FIGURE 86 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de ALPHA (19/36-40/35)

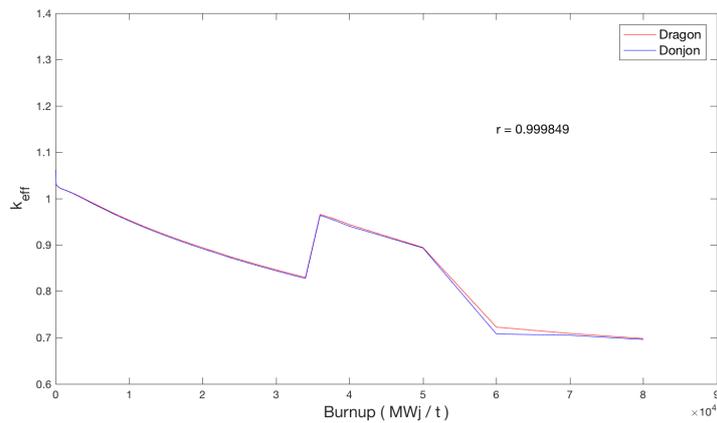


FIGURE 87 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de ALPHA (20/36-60/35)

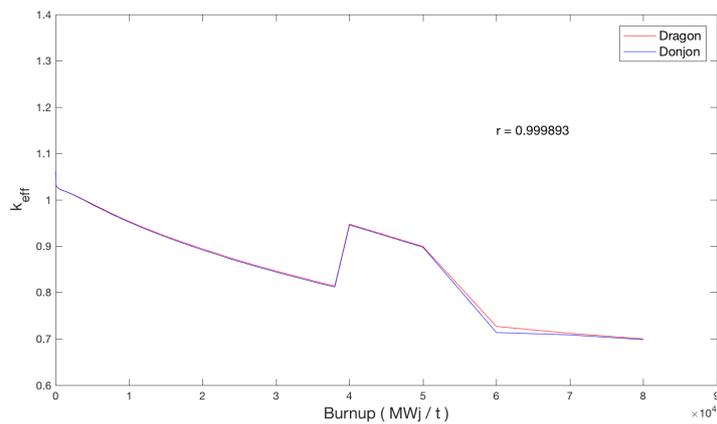


FIGURE 88 – Résultat avec correction pour la prise en compte de l'effet d'histoire pour une variation de ALPHA (21/40-60/35)

### 7.2.2 Influence du nombre d'isotopes

Les résultats obtenus avec 11 isotopes particularisés au lieu de 35 pour une variation de quantité de poison dans le combustible (ALPHA) sont présentés de la figure 89 à la figure 109.

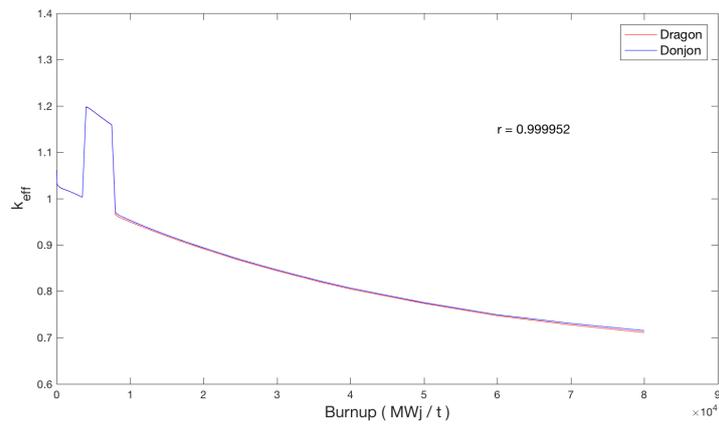


FIGURE 89 – Variation de ALPHA avec 11 isotopes particularisés (1/4-8/35)

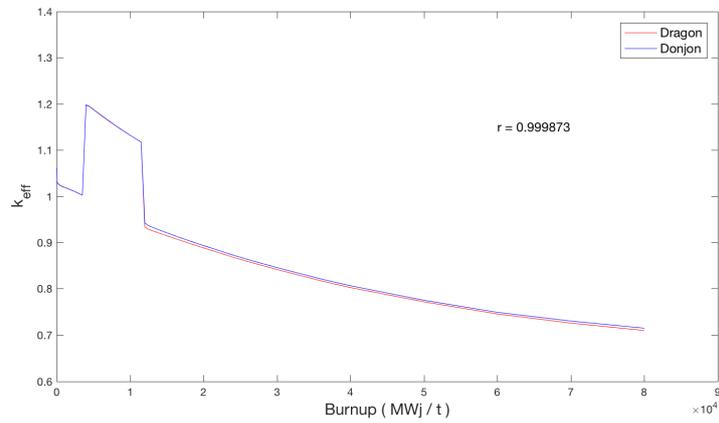


FIGURE 90 – Variation de ALPHA avec 11 isotopes particularisés (2/4-12/35)

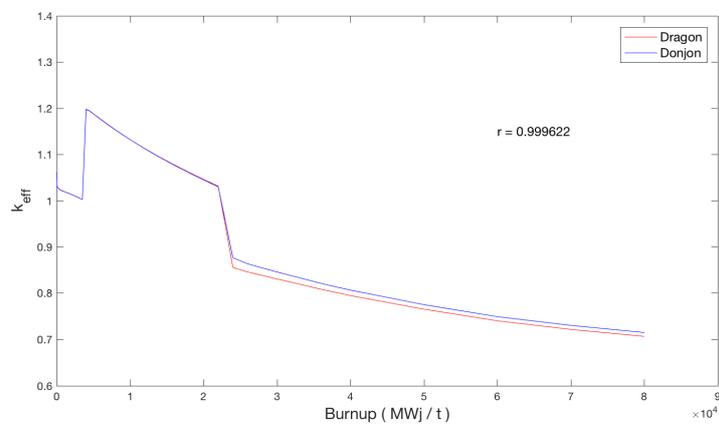


FIGURE 91 – Variation de ALPHA avec 11 isotopes particularisés (3/4-24/35)

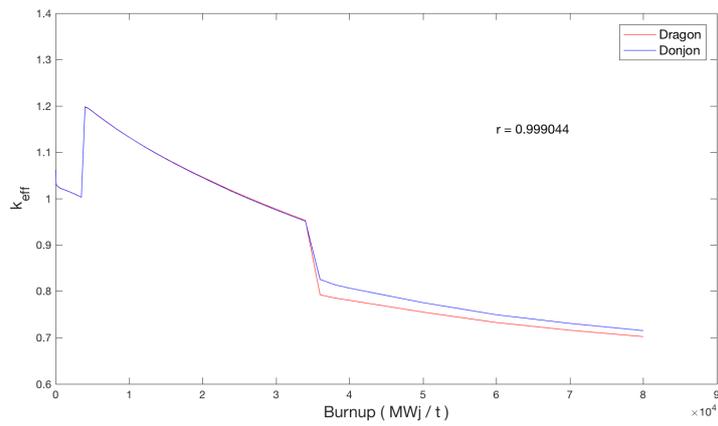


FIGURE 92 – Variation de ALPHA avec 11 isotopes particularisés (4/4-36/35)

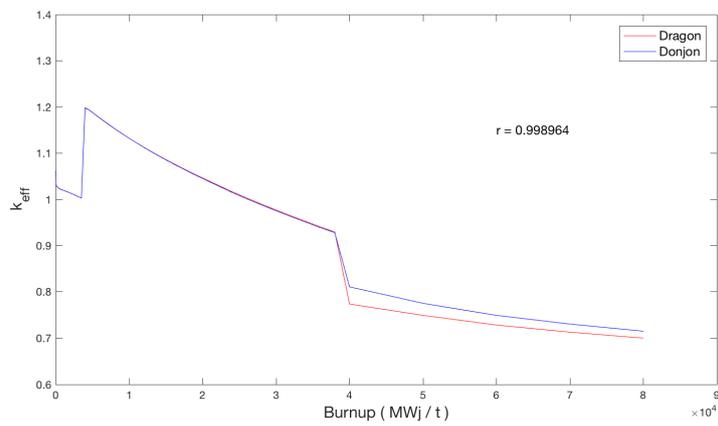


FIGURE 93 – Variation de ALPHA avec 11 isotopes particularisés (5/4-40/35)

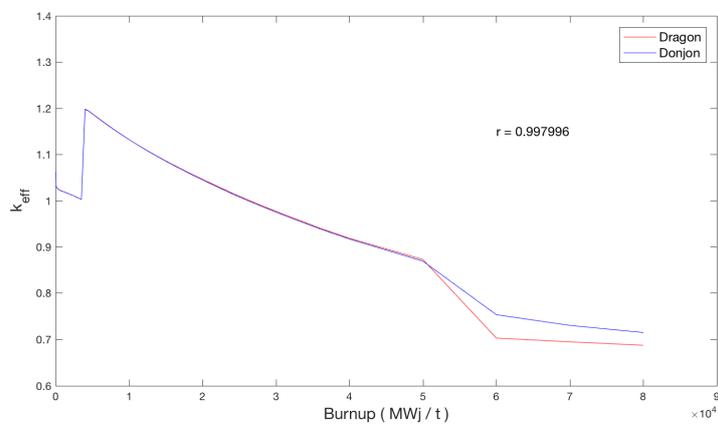


FIGURE 94 – Variation de ALPHA avec 11 isotopes particularisés (6/4-60/35)

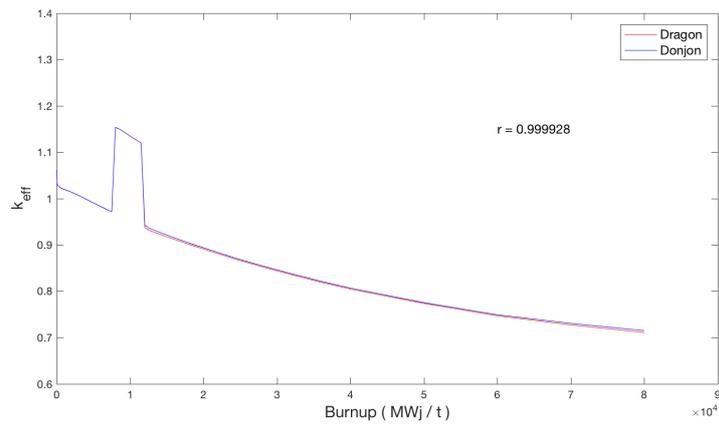


FIGURE 95 – Variation de ALPHA avec 11 isotopes particularisés (7/8-12/35)

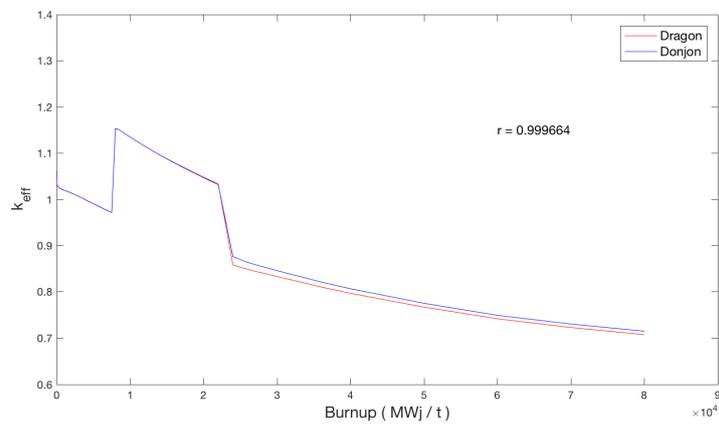


FIGURE 96 – Variation de ALPHA avec 11 isotopes particularisés (8/8-24/35)

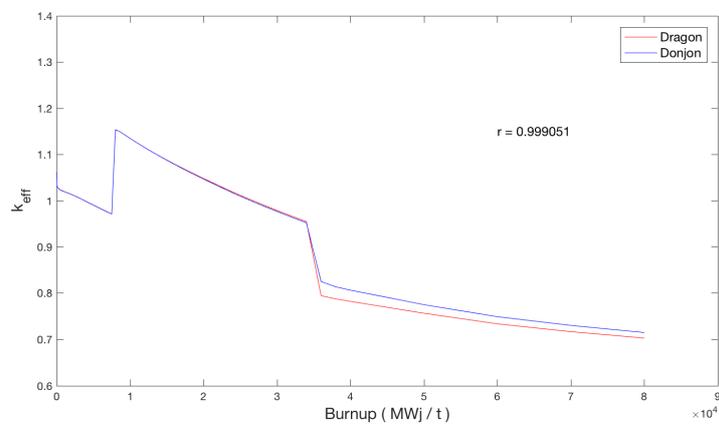


FIGURE 97 – Variation de ALPHA avec 11 isotopes particularisés (9/8-36/35)

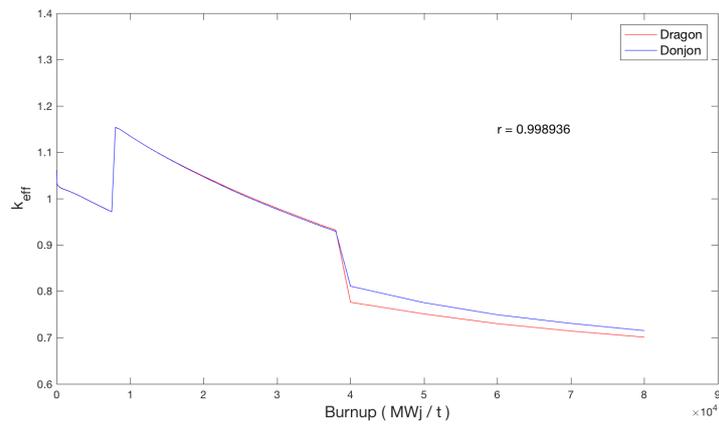


FIGURE 98 – Variation de ALPHA avec 11 isotopes particulierisés (10/8-40/35)

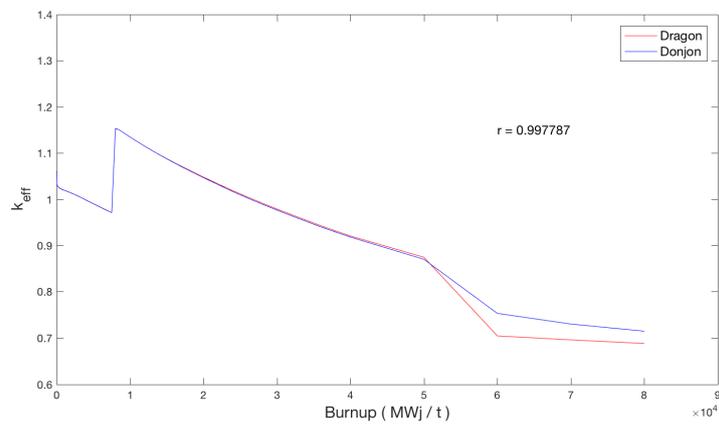


FIGURE 99 – Variation de ALPHA avec 11 isotopes particulierisés (11/8-60/35)

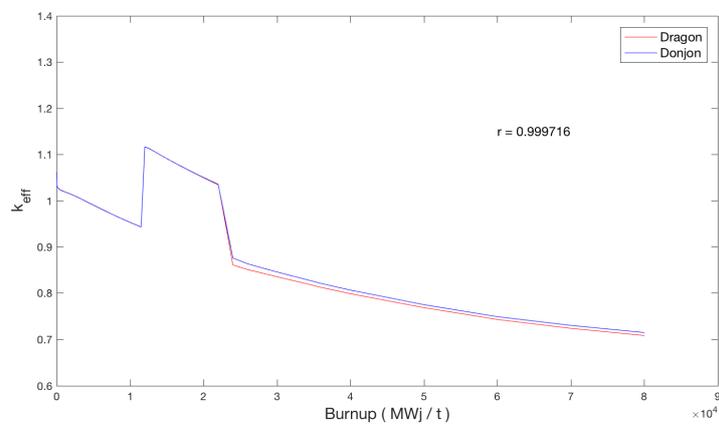


FIGURE 100 – Variation de ALPHA avec 11 isotopes particulierisés (12/12-24/35)

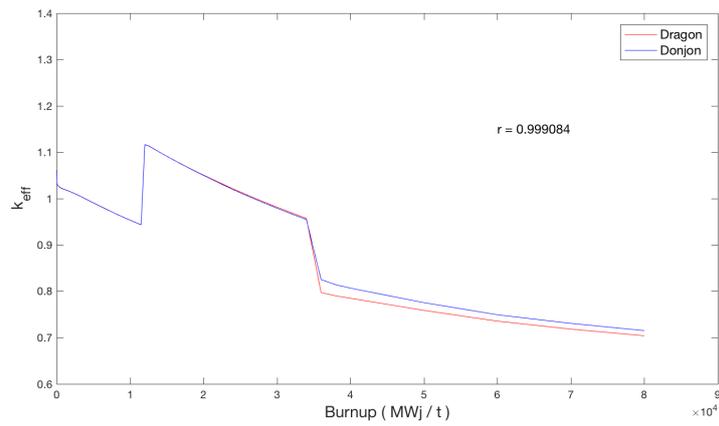


FIGURE 101 – Variation de ALPHA avec 11 isotopes particuliers (13/12-36/35)

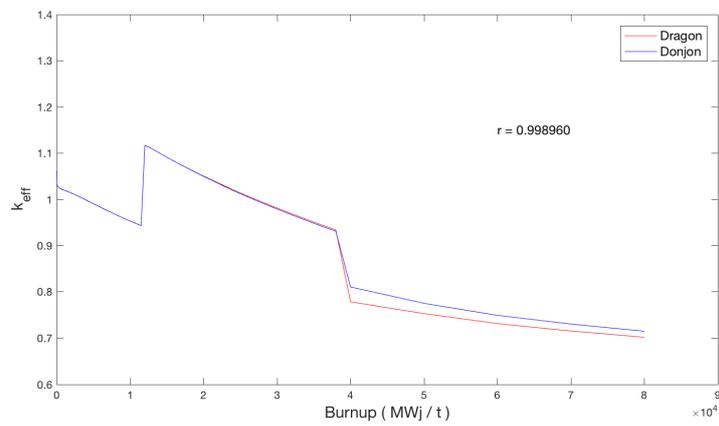


FIGURE 102 – Variation de ALPHA avec 11 isotopes particuliers (14/12-40/35)

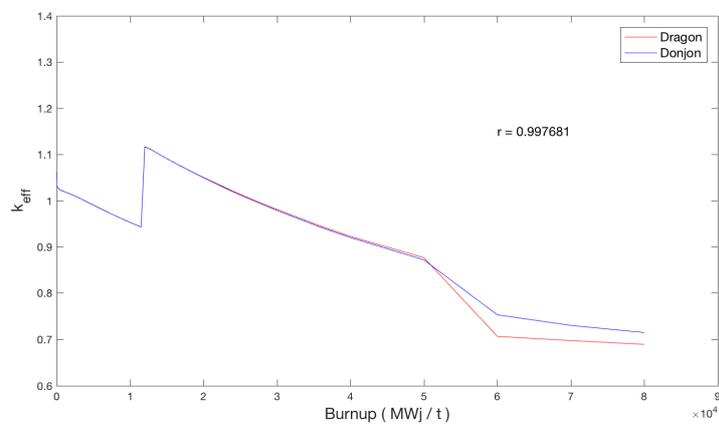


FIGURE 103 – Variation de ALPHA avec 11 isotopes particuliers (15/12-60/35)

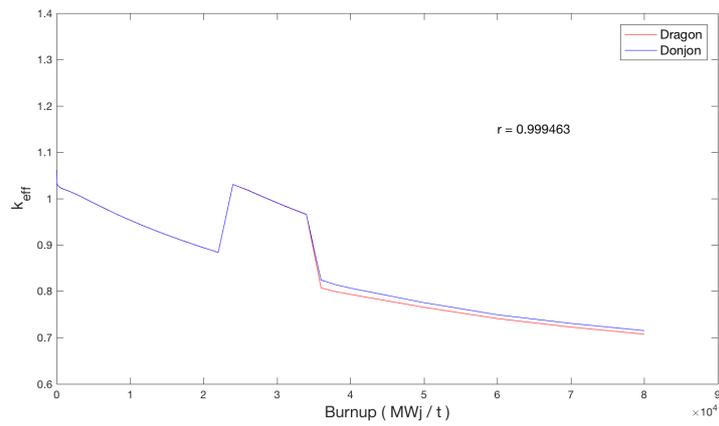


FIGURE 104 – Variation de ALPHA avec 11 isotopes particularisés (16/24-36/35)

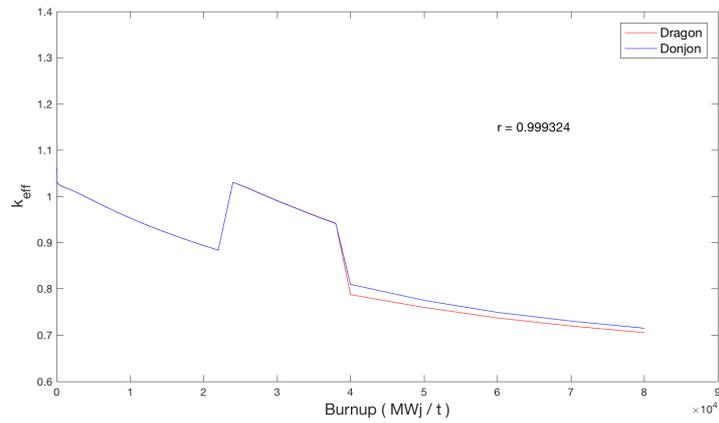


FIGURE 105 – Variation de ALPHA avec 11 isotopes particularisés (17/24-40/35)

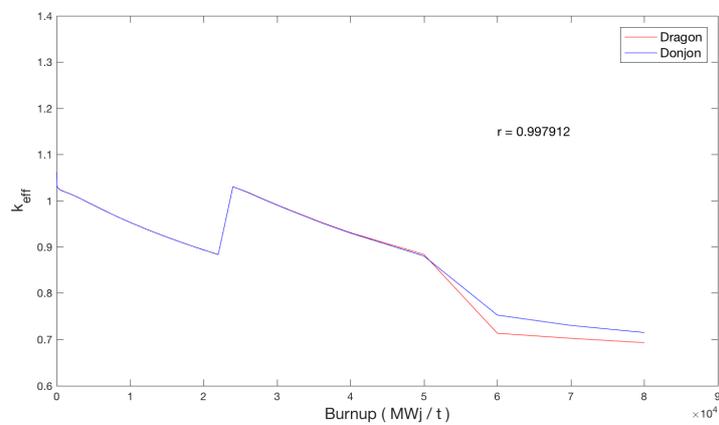


FIGURE 106 – Variation de ALPHA avec 11 isotopes particularisés (18/24-60/35)

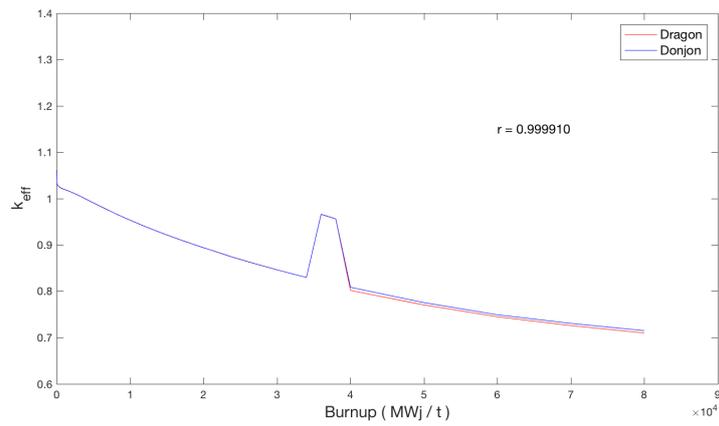


FIGURE 107 – Variation de ALPHA avec 11 isotopes particulierisés (19/36-40/35)

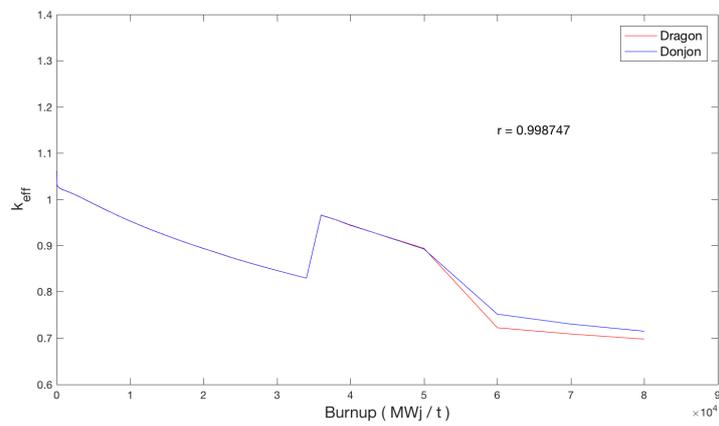


FIGURE 108 – Variation de ALPHA avec 11 isotopes particulierisés (20/36-60/35)

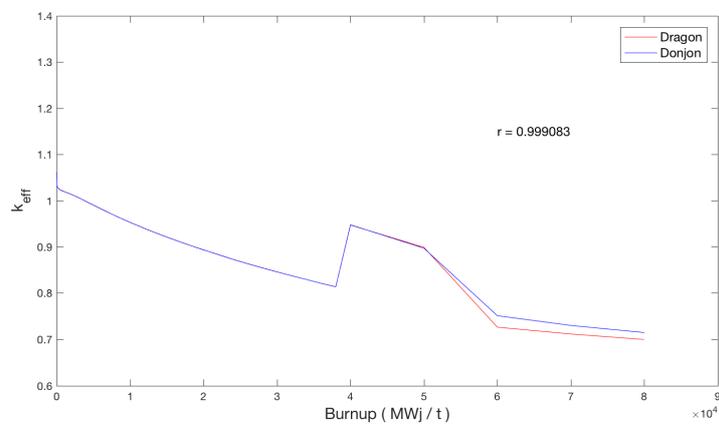


FIGURE 109 – Variation de ALPHA avec 11 isotopes particulierisés (21/40-60/35)

### 7.2.3 Influence de l'interpolation

Les résultats obtenus avec interpolation pour une variation de quantité de poison dans le combustible sont présentés de la figure 110 à la figure 130.

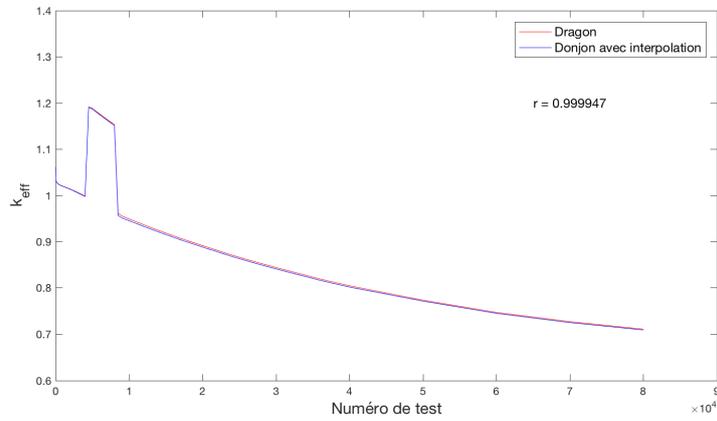


FIGURE 110 – Variation de ALPHA avec interpolation (1/4-8/35)

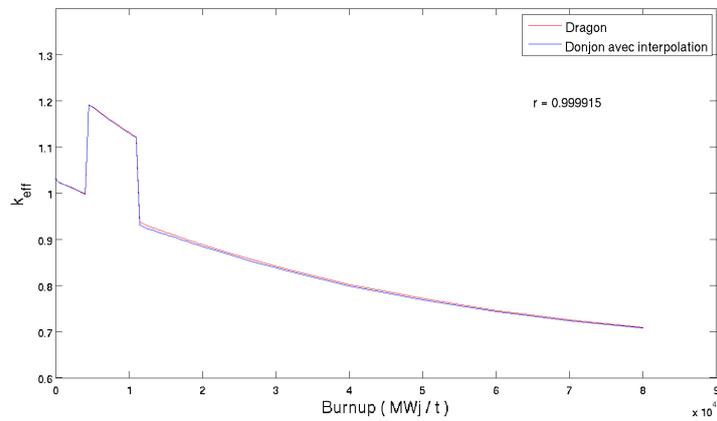


FIGURE 111 – Variation de ALPHA avec interpolation (2/4-12/35)

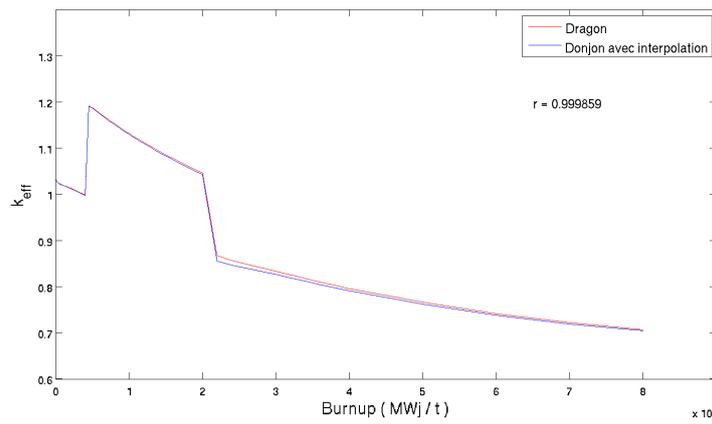


FIGURE 112 – Variation de ALPHA avec interpolation (3/4-24/35)

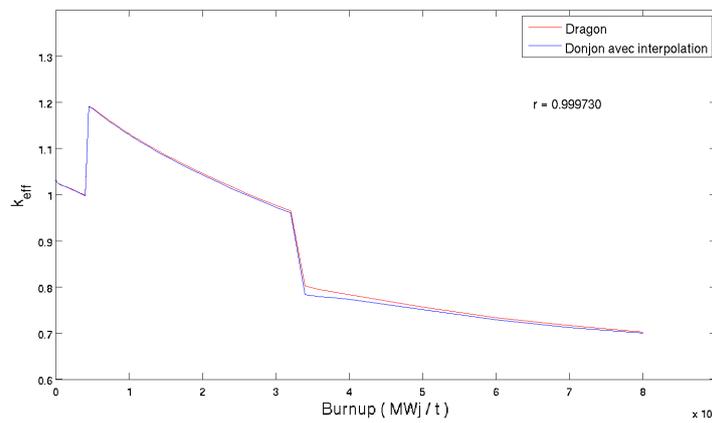


FIGURE 113 – Variation de ALPHA avec interpolation (4/4-36/35)

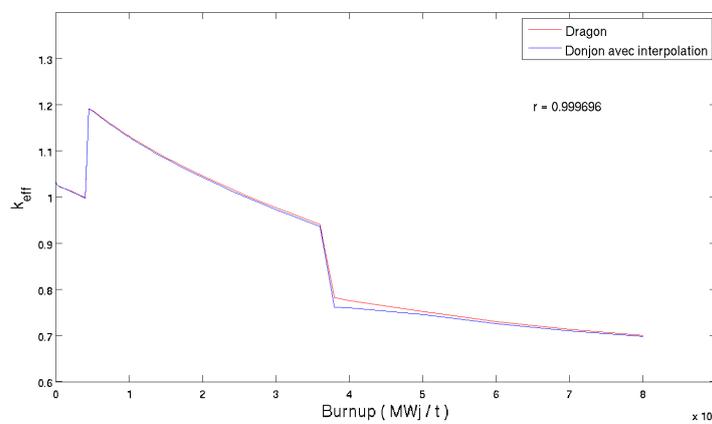


FIGURE 114 – Variation de ALPHA avec interpolation (5/4-40/35)

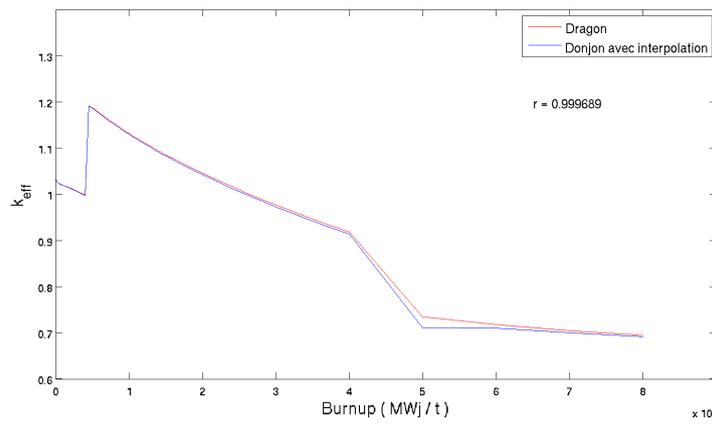


FIGURE 115 – Variation de ALPHA avec interpolation (6/4-60/35)

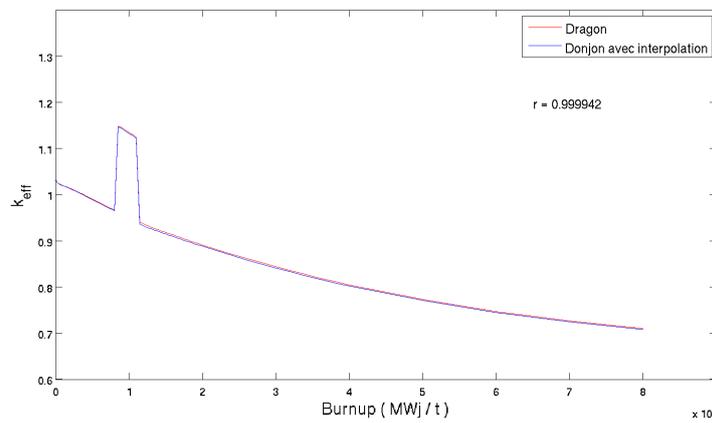


FIGURE 116 – Variation de ALPHA avec interpolation (7/8-12/35)

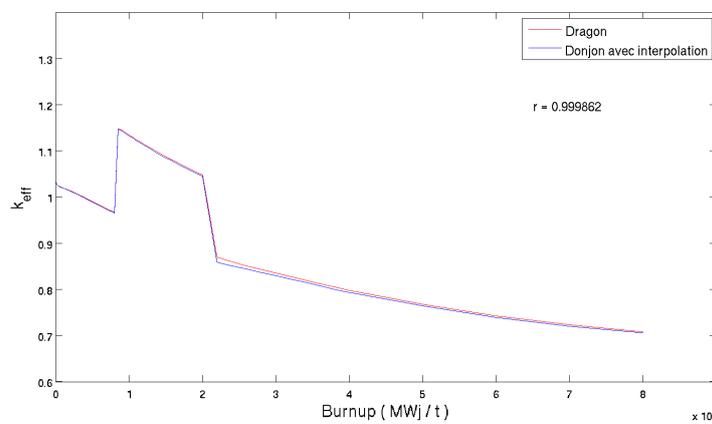


FIGURE 117 – Variation de ALPHA avec interpolation (8/8-24/35)

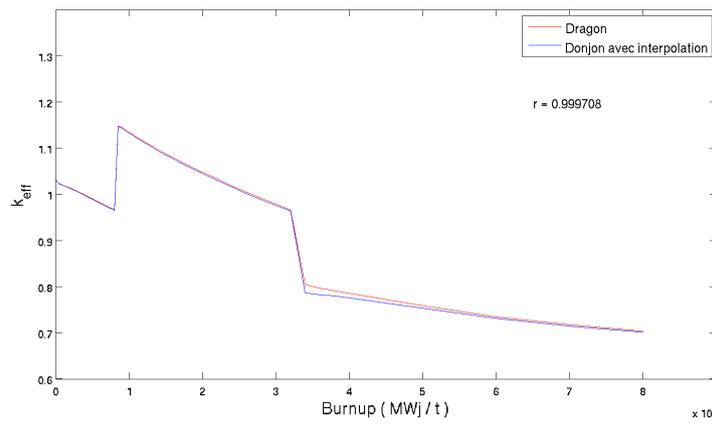


FIGURE 118 – Variation de ALPHA avec interpolation (9/8-36/35)

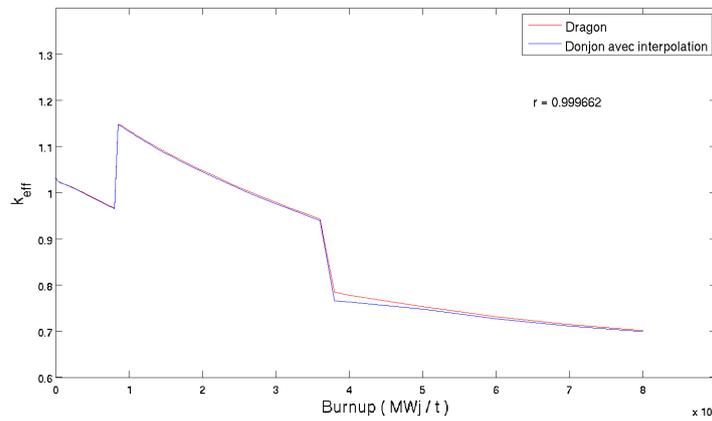


FIGURE 119 – Variation de ALPHA avec interpolation (10/8-40/35)

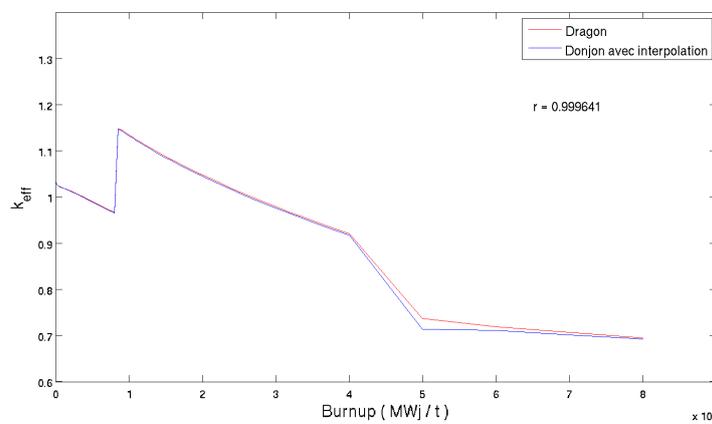


FIGURE 120 – Variation de ALPHA avec interpolation (11/8-60/35)

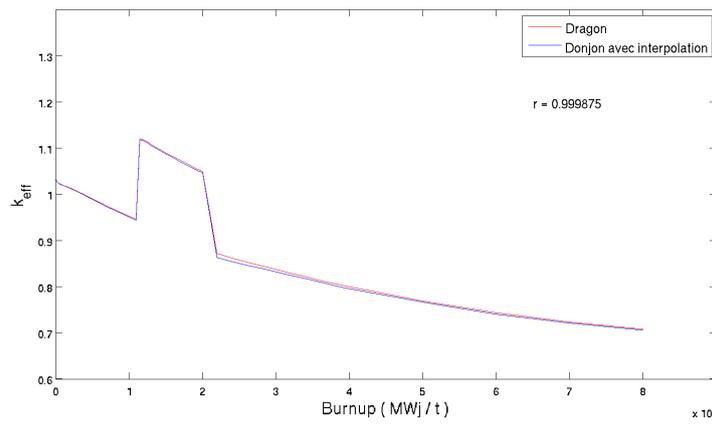


FIGURE 121 – Variation de ALPHA avec interpolation (12/12-24/35)

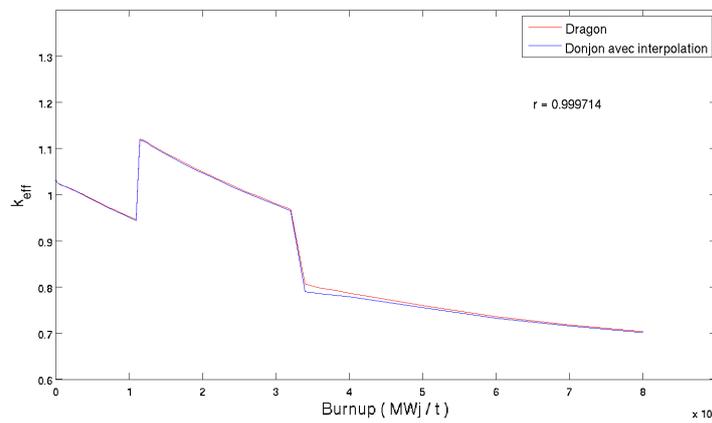


FIGURE 122 – Variation de ALPHA avec interpolation (13/12-36/35)

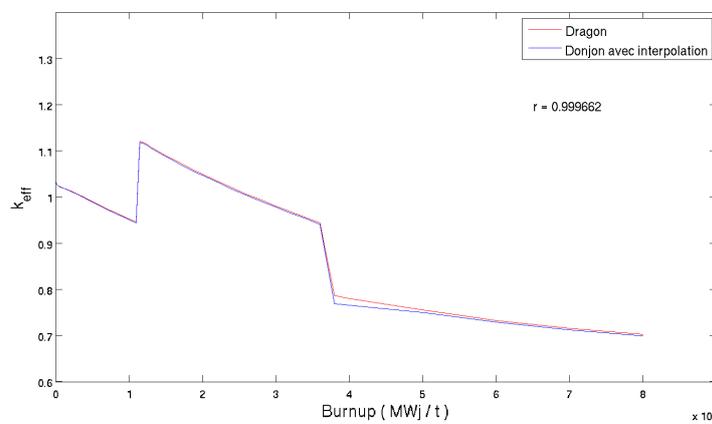


FIGURE 123 – Variation de ALPHA avec interpolation (14/12-40/35)

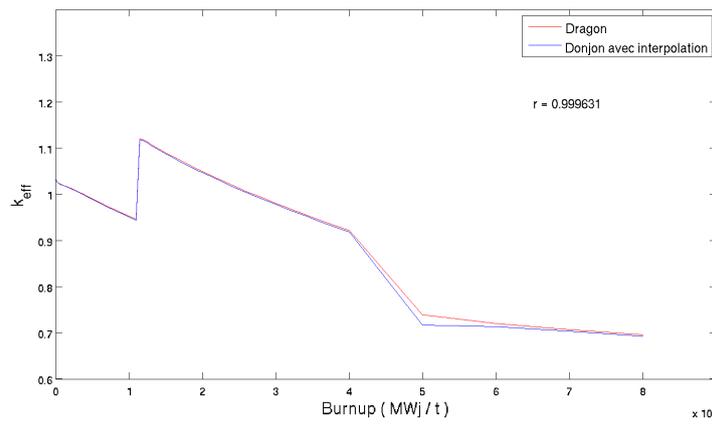


FIGURE 124 – Variation de ALPHA avec interpolation (15/12-60/35)

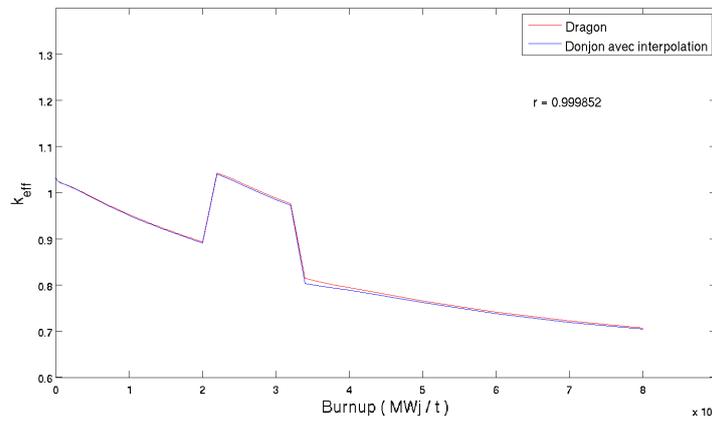


FIGURE 125 – Variation de ALPHA avec interpolation (16/24-36/35)

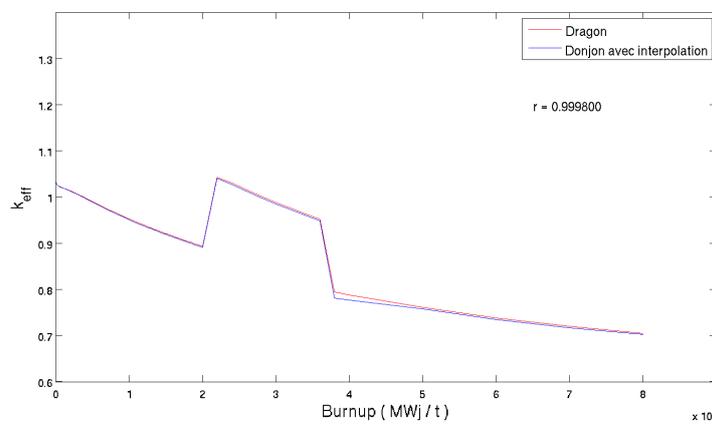


FIGURE 126 – Variation de ALPHA avec interpolation (17/24-40/35)

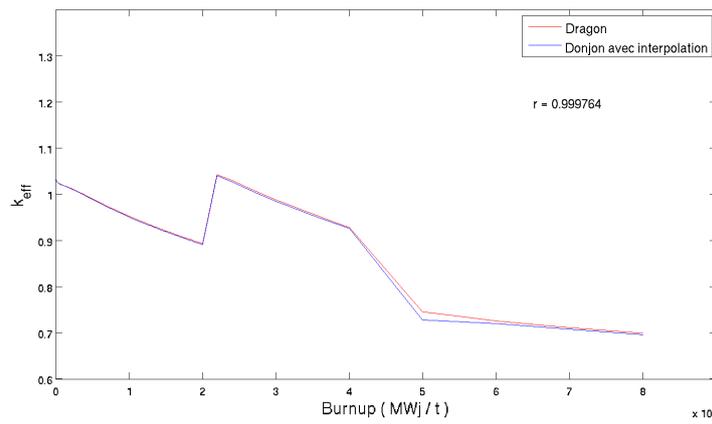


FIGURE 127 – Variation de ALPHA avec interpolation (18/24-60/35)

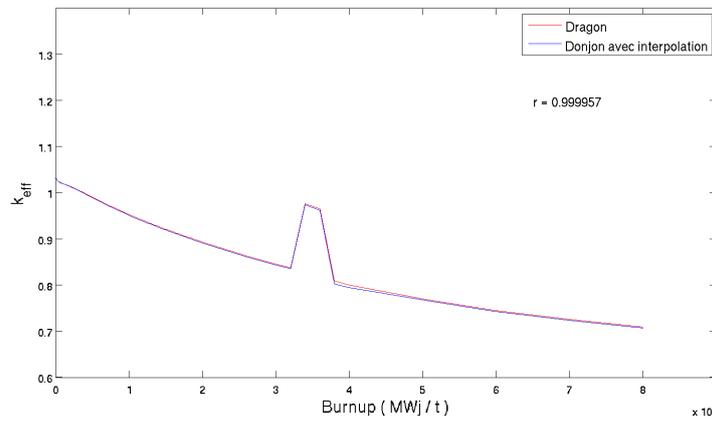


FIGURE 128 – Variation de ALPHA avec interpolation (19/36-40/35)

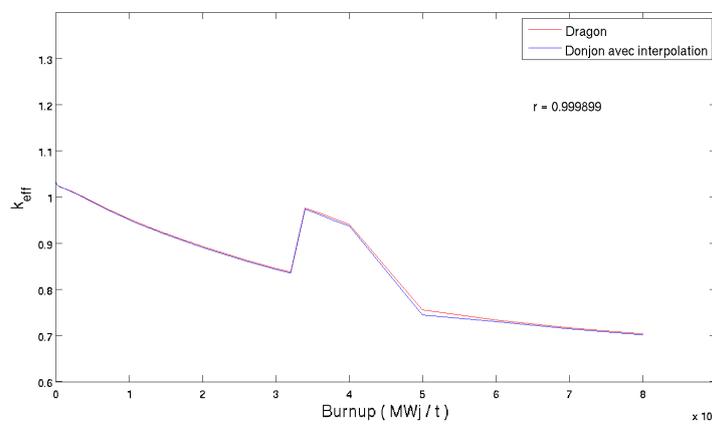


FIGURE 129 – Variation de ALPHA avec interpolation (20/36-60/35)

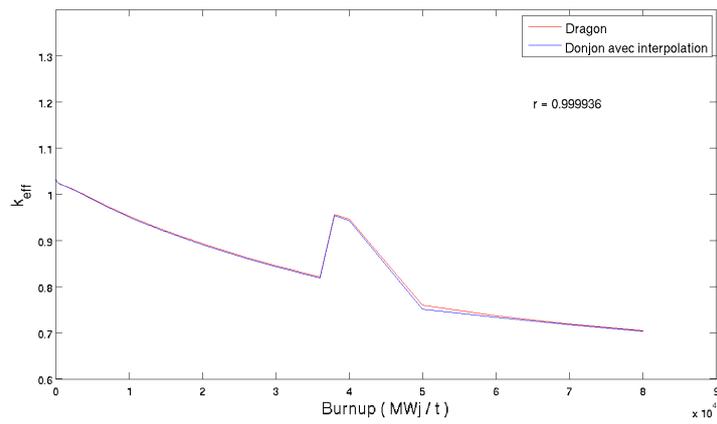


FIGURE 130 – Variation de ALPHA avec interpolation (21/40-60/35)

#### 7.2.4 Influence du mot-clef PURE

Les résultats obtenus sans mot-clef PURE pour une variation de quantité de poison dans le combustible sont présentés de la figure 131 à la figure 151.

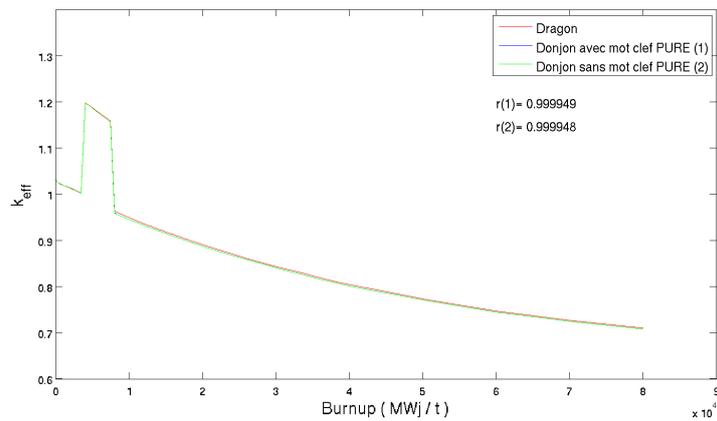


FIGURE 131 – Variation de ALPHA sans le mot-clef PURE (1/4-8/35)

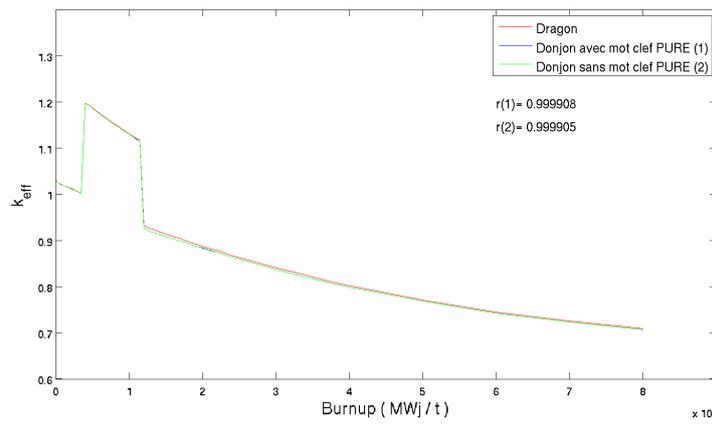


FIGURE 132 – Variation de ALPHA sans le mot-clef PURE (2/4-12/35)

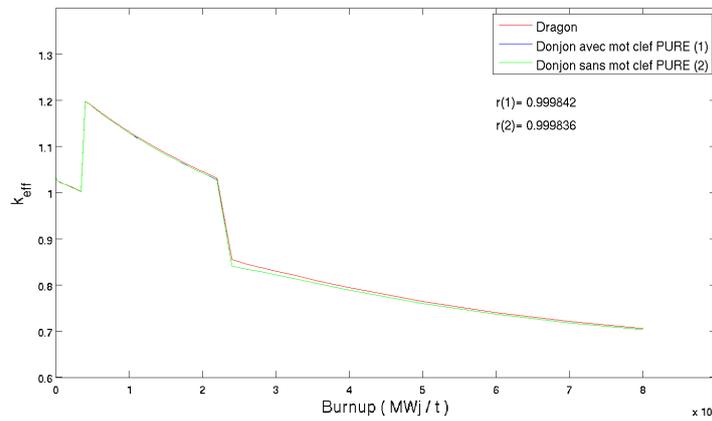


FIGURE 133 – Variation de ALPHA sans le mot-clef PURE (3/4-24/35)

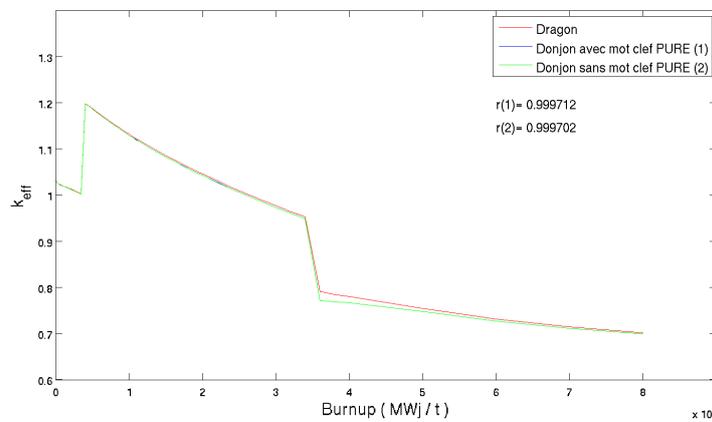


FIGURE 134 – Variation de ALPHA sans le mot-clef PURE (4/4-36/35)

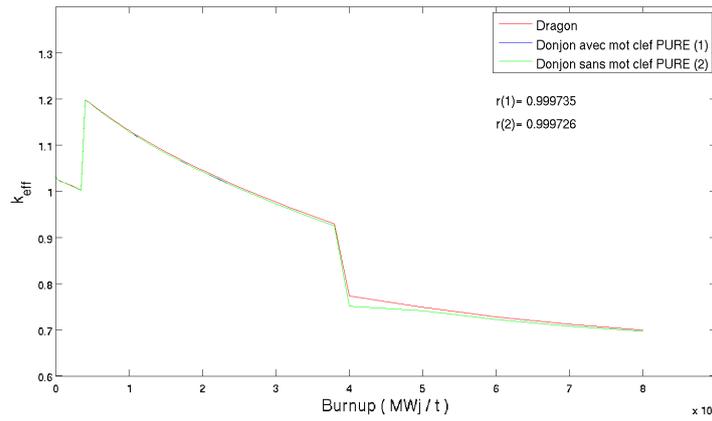


FIGURE 135 – Variation de ALPHA sans le mot-clef PURE (5/4-40/35)

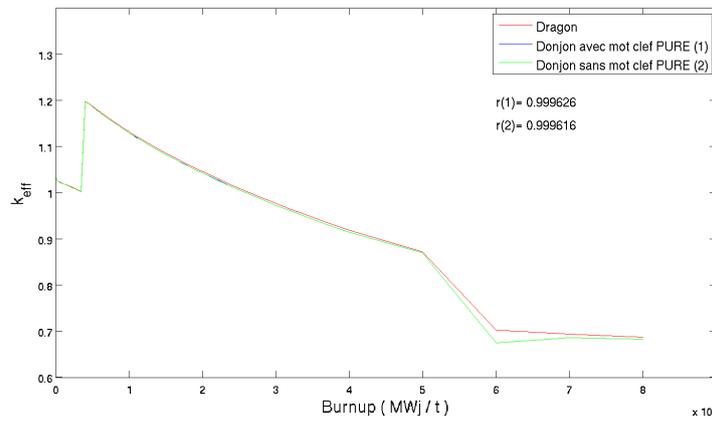


FIGURE 136 – Variation de ALPHA sans le mot-clef PURE (6/4-60/35)

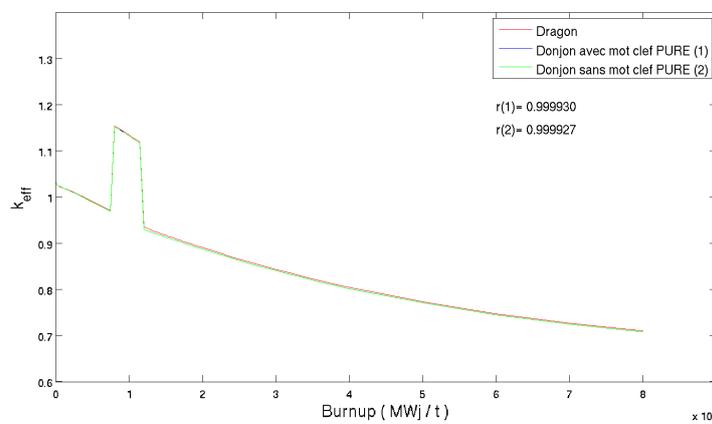


FIGURE 137 – Variation de ALPHA sans le mot-clef PURE (7/8-12/35)

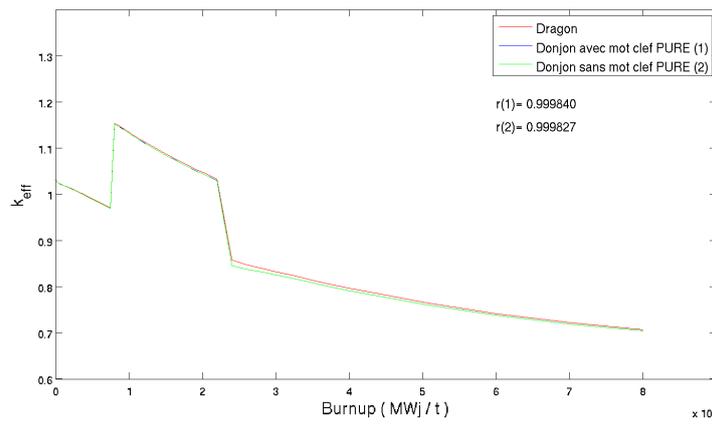


FIGURE 138 – Variation de ALPHA sans le mot-clef PURE (8/8-24/35)

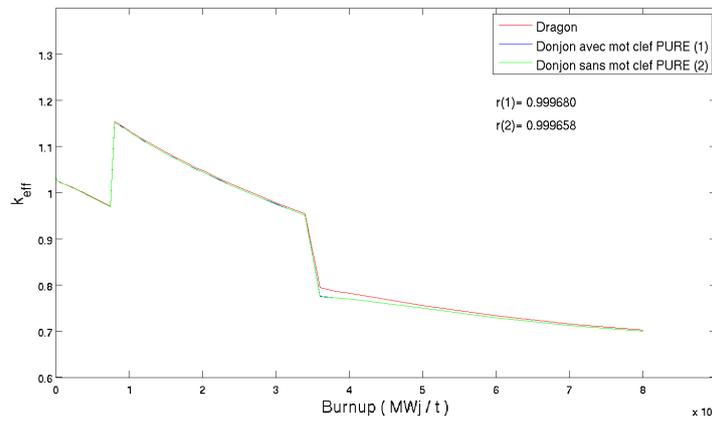


FIGURE 139 – Variation de ALPHA sans le mot-clef PURE (9/8-36/35)

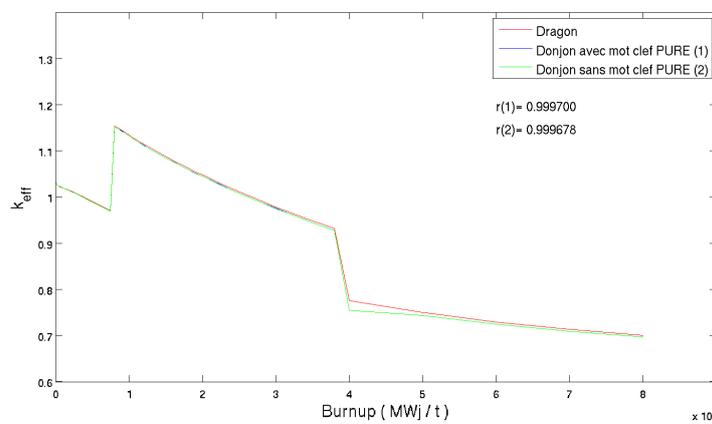


FIGURE 140 – Variation de ALPHA sans le mot-clef PURE (10/8-40/35)

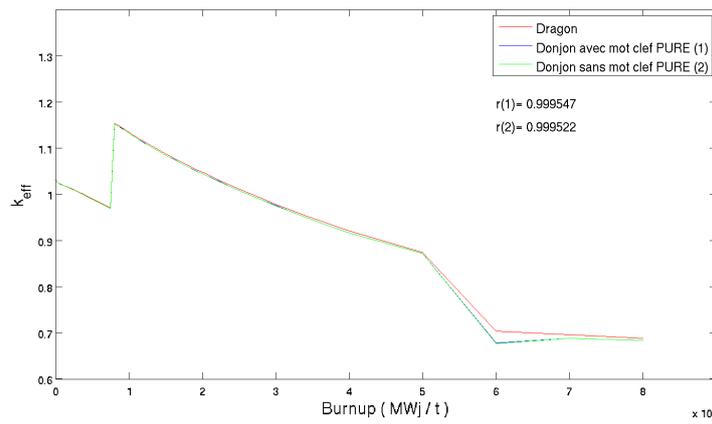


FIGURE 141 – Variation de ALPHA sans le mot-clef PURE (11/8-60/35)

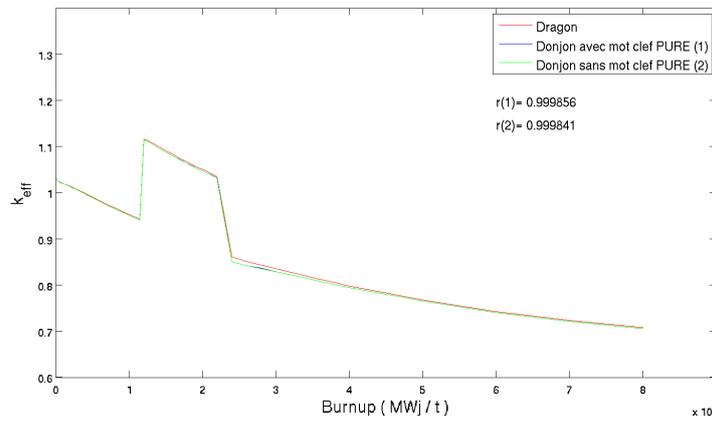


FIGURE 142 – Variation de ALPHA sans le mot-clef PURE (12/12-24/35)

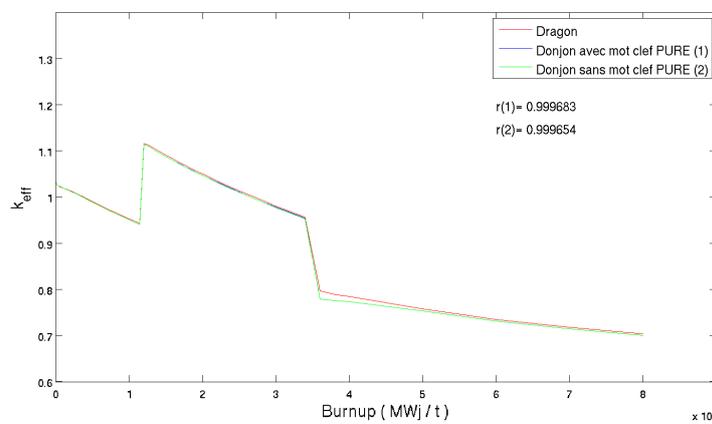


FIGURE 143 – Variation de ALPHA sans le mot-clef PURE (13/12-36/35)

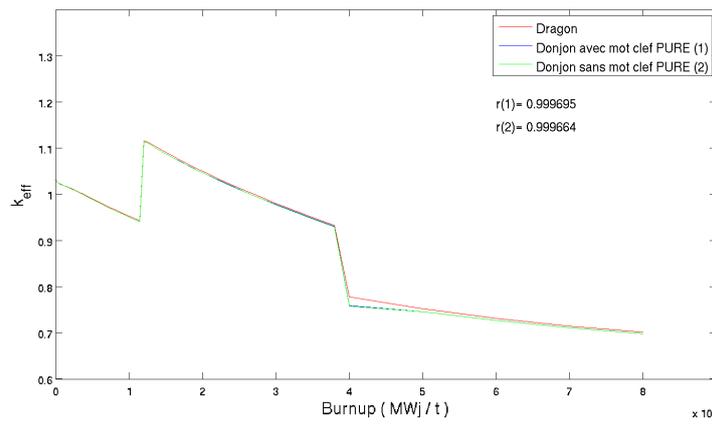


FIGURE 144 – Variation de ALPHA sans le mot-clef PURE (14/12-40/35)

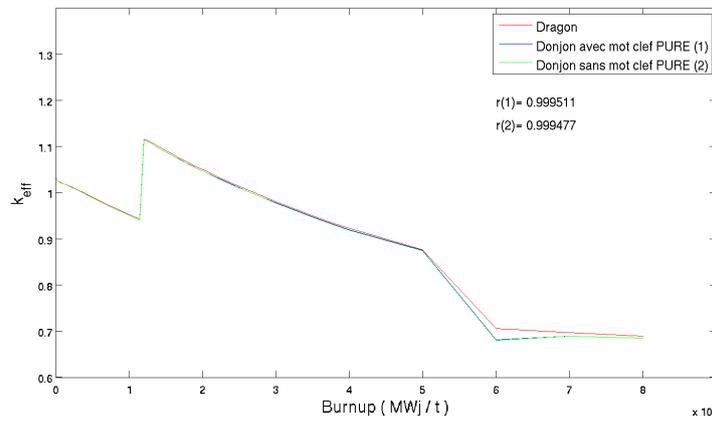


FIGURE 145 – Variation de ALPHA sans le mot-clef PURE (15/12-60/35)

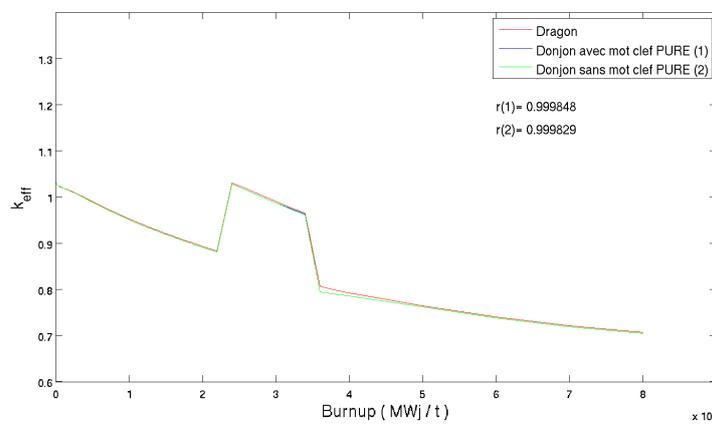


FIGURE 146 – Variation de ALPHA sans le mot-clef PURE (16/24-36/35)

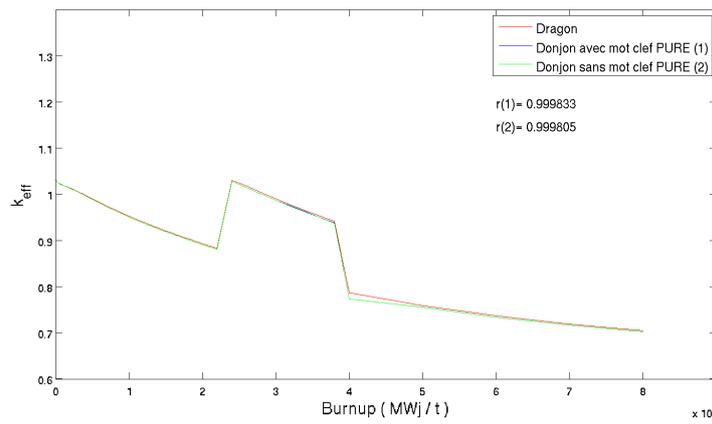


FIGURE 147 – Variation de ALPHA sans le mot-clef PURE (17/24-40/35)

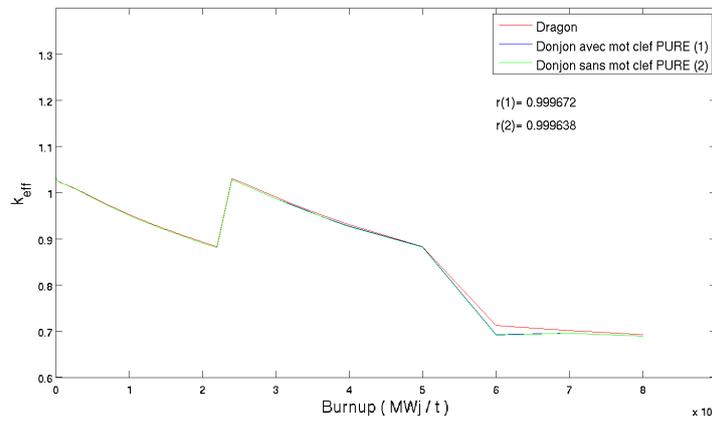


FIGURE 148 – Variation de ALPHA sans le mot-clef PURE (18/24-60/35)

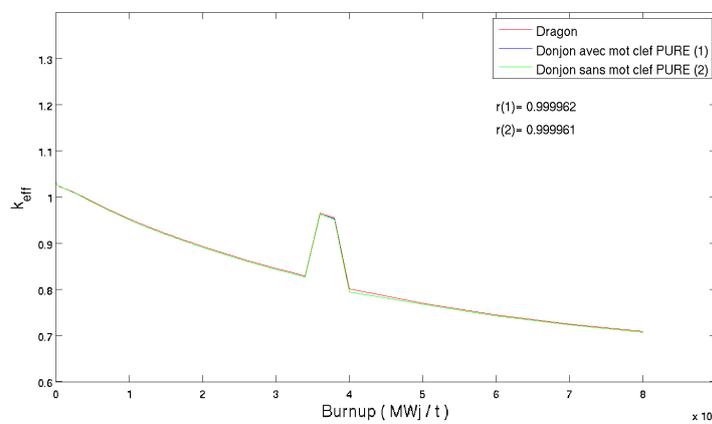


FIGURE 149 – Variation de ALPHA sans le mot-clef PURE (19/36-40/35)

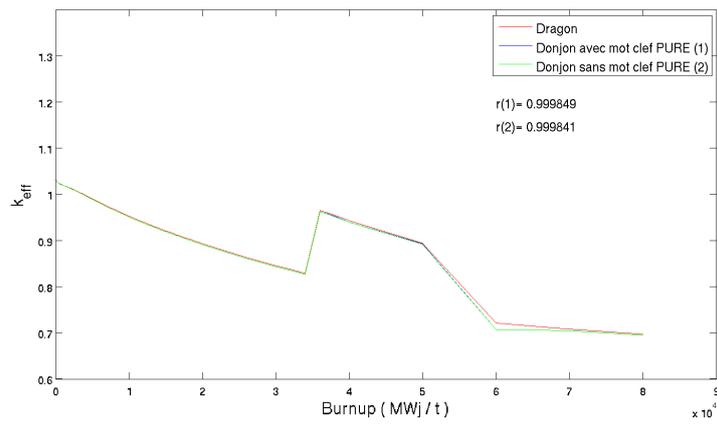


FIGURE 150 – Variation de ALPHA sans le mot-clef PURE (20/36-60/35)

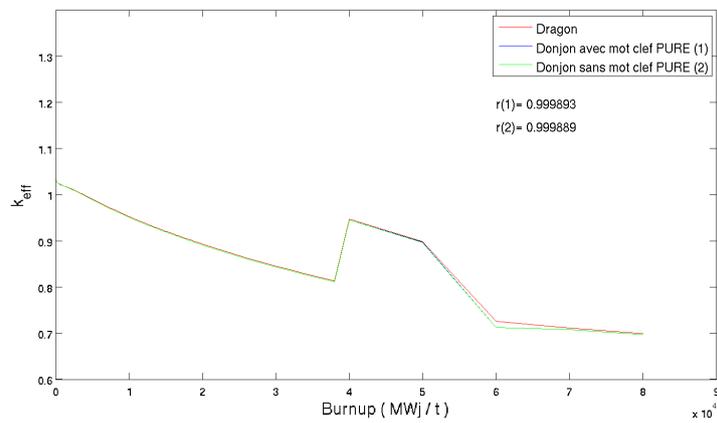


FIGURE 151 – Variation de ALPHA sans le mot-clef PURE (21/40-60/35)

### 7.2.5 Influence de la fonction d'oubli

Les résultats obtenus sans la fonction d'oubli pour une variation de quantité de poison dans le combustible sont présentés de la figure 152 à la figure 172.

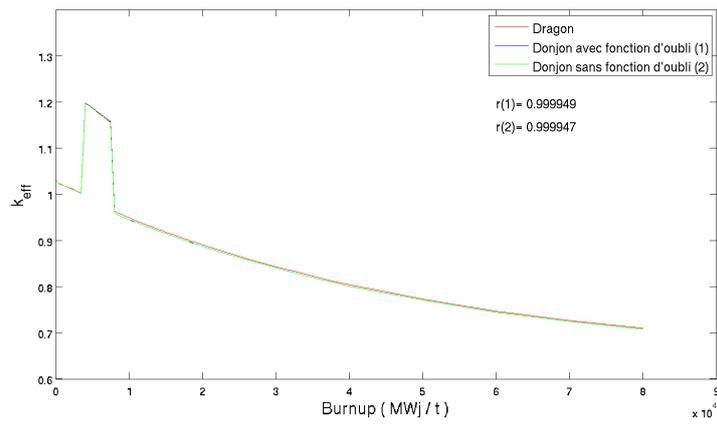


FIGURE 152 – Variation de ALPHA sans la fonction d'oubli (1/4-8/35)

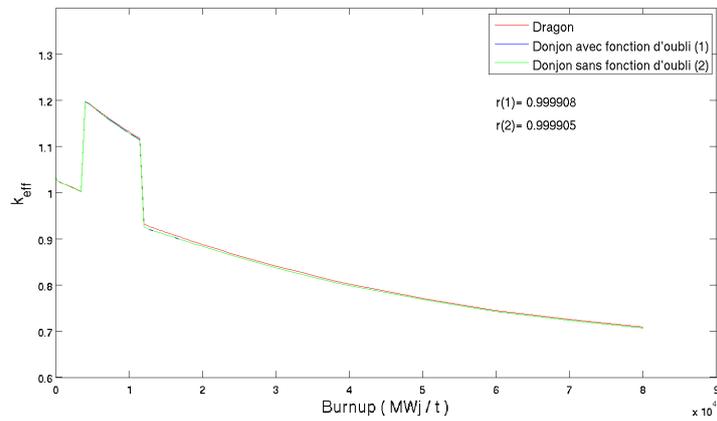


FIGURE 153 – Variation de ALPHA sans la fonction d'oubli (2/4-12/35)

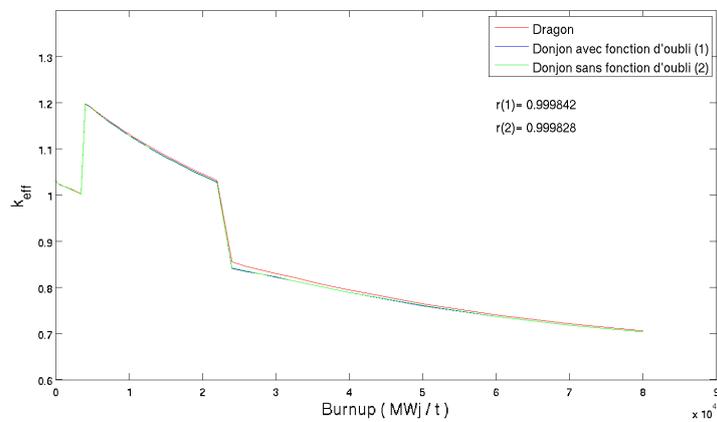


FIGURE 154 – Variation de ALPHA sans la fonction d'oubli (3/4-24/35)

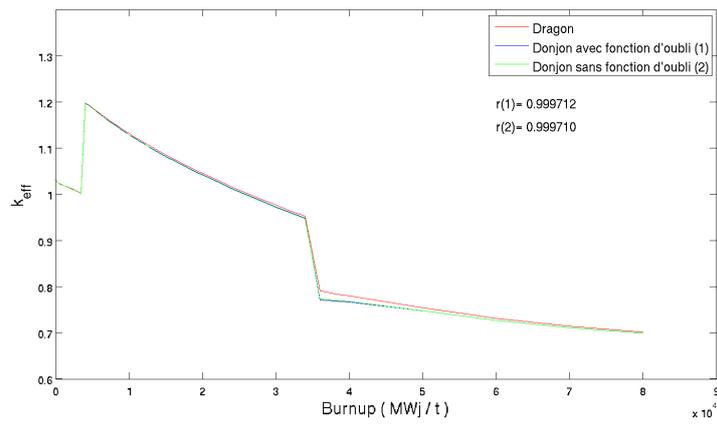


FIGURE 155 – Variation de ALPHA sans la fonction d'oubli (4/4-36/35)

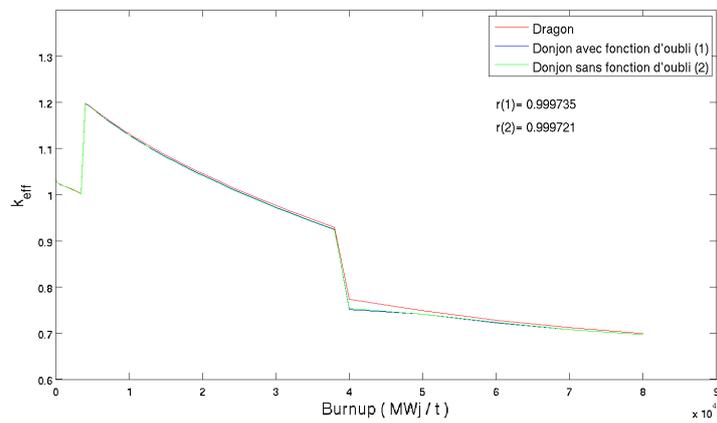


FIGURE 156 – Variation de ALPHA sans la fonction d'oubli (5/4-40/35)

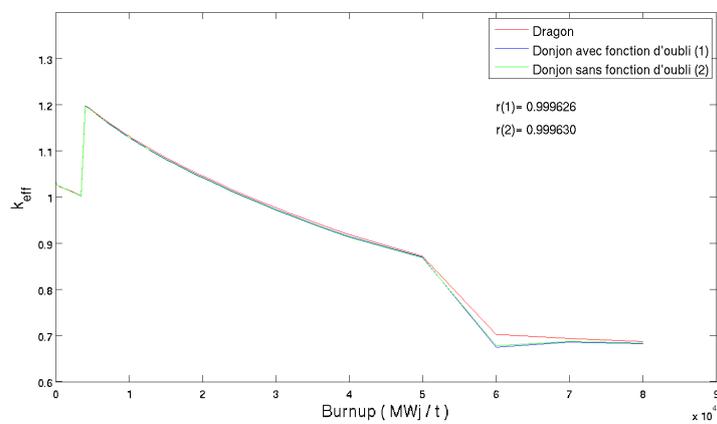


FIGURE 157 – Variation de ALPHA sans la fonction d'oubli (6/4-60/35)

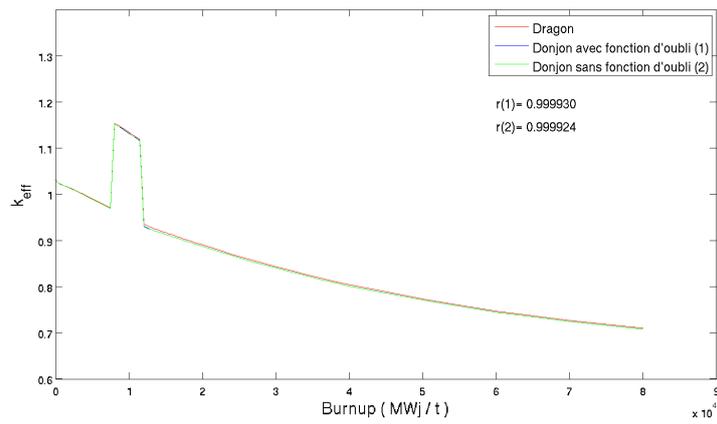


FIGURE 158 – Variation de ALPHA sans la fonction d'oubli (7/8-12/35)

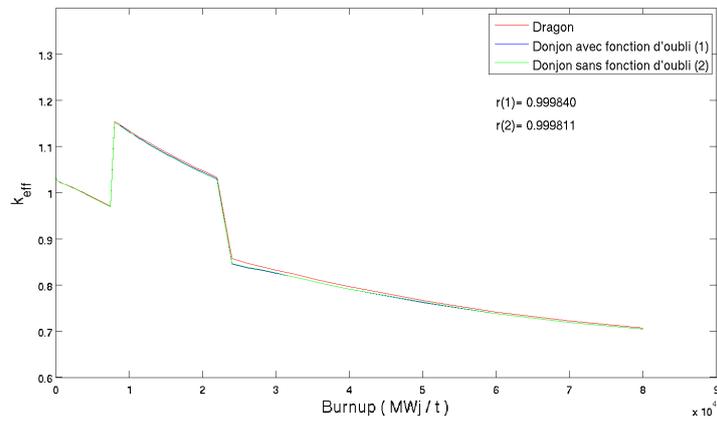


FIGURE 159 – Variation de ALPHA sans la fonction d'oubli (8/8-24/35)

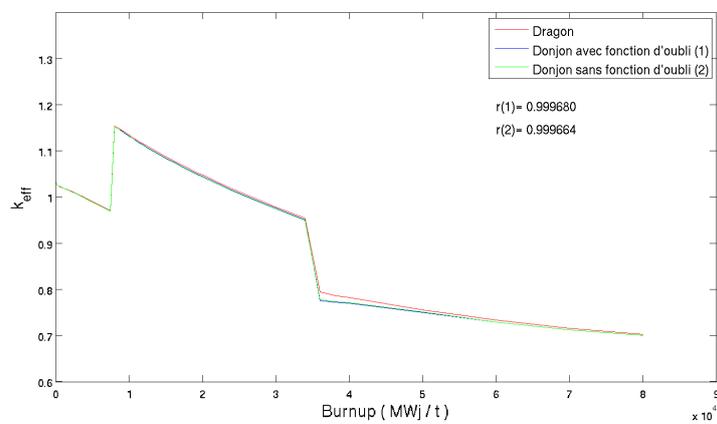


FIGURE 160 – Variation de ALPHA sans la fonction d'oubli (9/8-36/35)

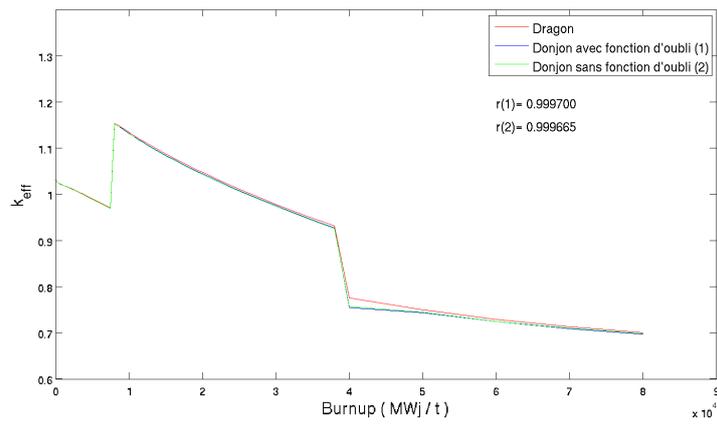


FIGURE 161 – Variation de ALPHA sans la fonction d'oubli (10/8-40/35)

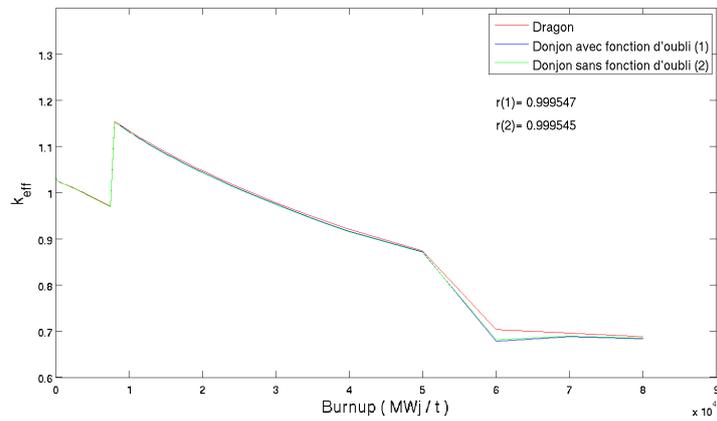


FIGURE 162 – Variation de ALPHA sans la fonction d'oubli (11/8-60/35)

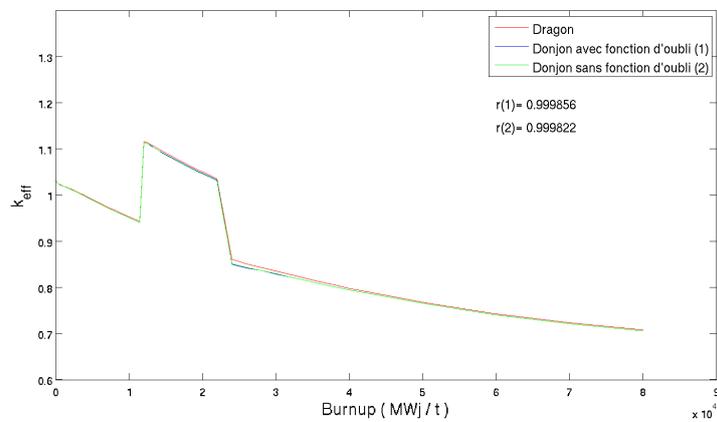


FIGURE 163 – Variation de ALPHA sans la fonction d'oubli (12/12-24/35)

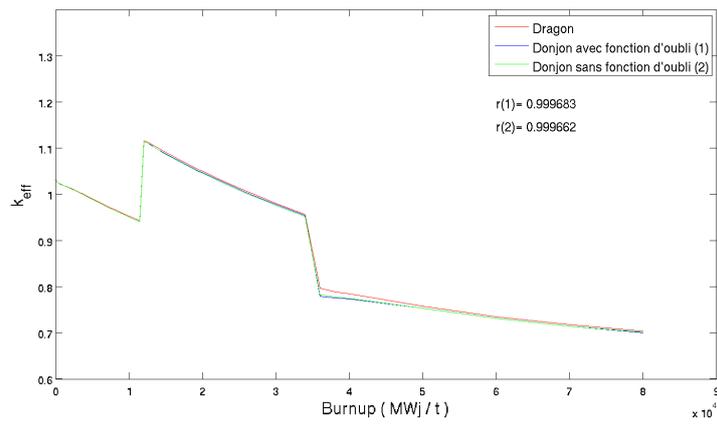


FIGURE 164 – Variation de ALPHA sans la fonction d'oubli (13/12-36/35)

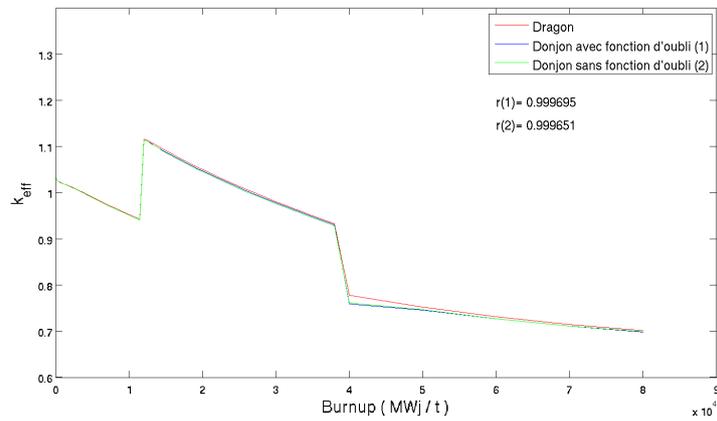


FIGURE 165 – Variation de ALPHA sans la fonction d'oubli (14/12-40/35)

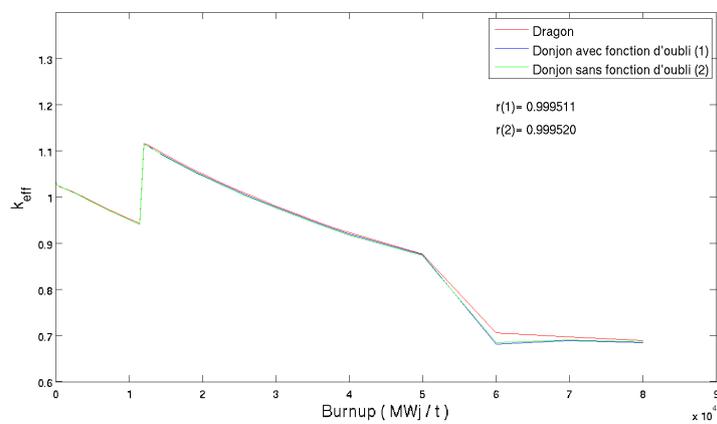


FIGURE 166 – Variation de ALPHA sans la fonction d'oubli (15/12-60/35)

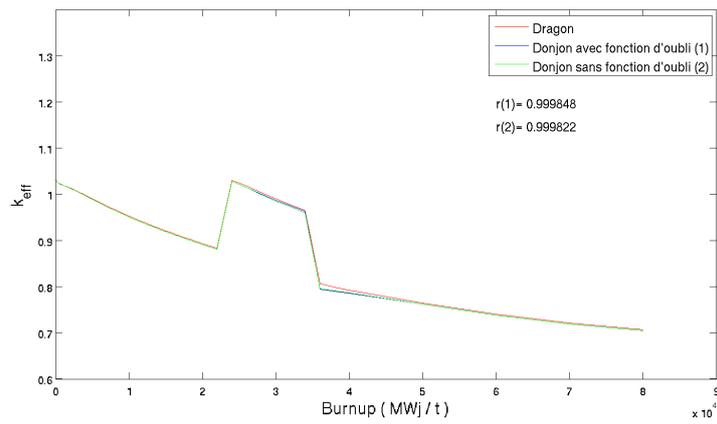


FIGURE 167 – Variation de ALPHA sans la fonction d'oubli (16/24-36/35)

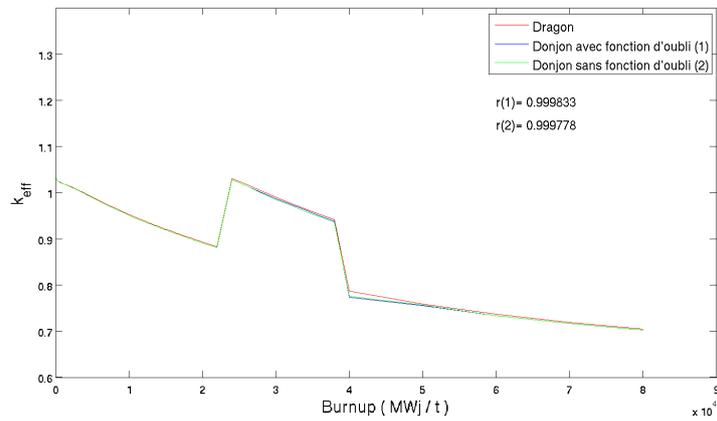


FIGURE 168 – Variation de ALPHA sans la fonction d'oubli (17/24-40/35)

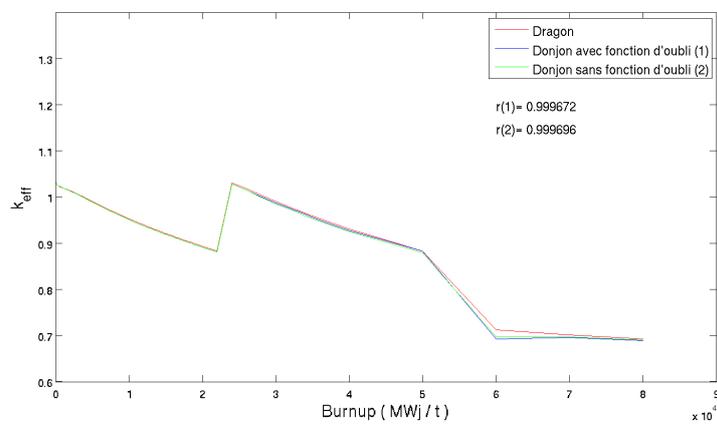


FIGURE 169 – Variation de ALPHA sans la fonction d'oubli (18/24-60/35)

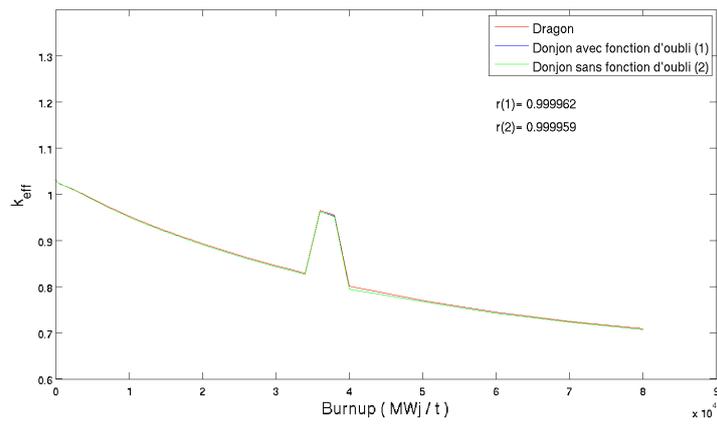


FIGURE 170 – Variation de ALPHA sans la fonction d'oubli (19/36-40/35)

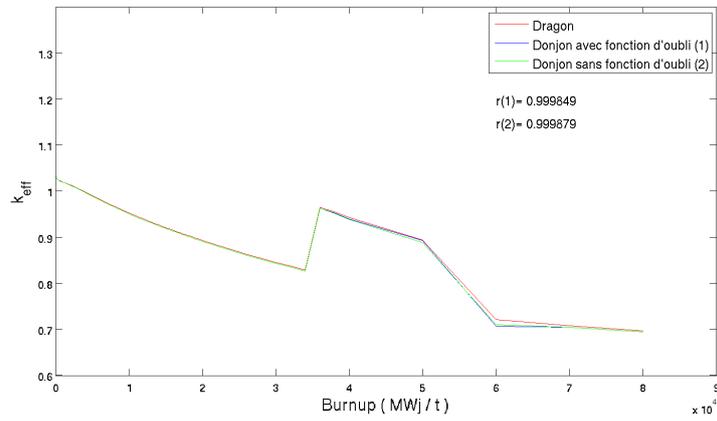


FIGURE 171 – Variation de ALPHA sans la fonction d'oubli (20/36-60/35)

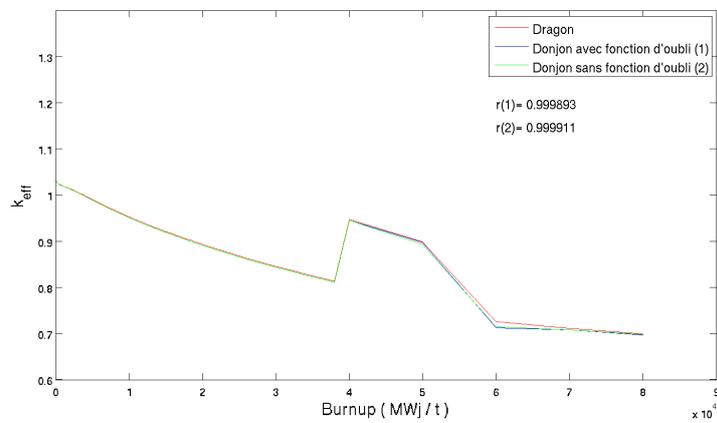


FIGURE 172 – Variation de ALPHA sans la fonction d'oubli (21/40-60/35)

## Références

- [1] A. Greganti. Validation of an isotope evolution model for apollo3 calculations in sfr core, 2017.
- [2] A. Hébert. *Applied reactor physics*. Presses internationales Polytechnique, 2009.
- [3] G. Marleau, A. Hébert, and R. Roy. *A user guide for DONJON Version5*. Institut de génie nucléaire, Département de génie mécanique, École Polytechnique de Montréal, 2017.
- [4] G. Marleau, A. Hébert, and R. Roy. *A user guide for DRAGON Version5*. Institut de génie nucléaire, Département de génie mécanique, École Polytechnique de Montréal, 2017.

## 8 Résumé

Le travail présenté dans ce rapport consiste en la mise en place d'une solution fonctionnelle pour la prise en compte de l'effet d'histoire dans le code de calcul déterministe DONJON5 pour des réacteurs à eau pressurisée. La configuration étudiée est un double échelon de variation d'un paramètre local, pour se placer dans un cas très défavorable. Les paramètres locaux considérés sont la densité de caloporteur pour un barreau de combustible et la présence ou l'absence de barres de contrôle pour un assemblage 5x5.

La correction mise en place s'appuie sur une méthode utilisée par le groupe suédois STUDSVIK dans ses codes CASMO-5 et SIMULATE-5, basée sur l'ajout d'un nouveau paramètre local, le paramètre historique.

Les résultats sont ensuite analysés et chaque partie de la correction est testée individuellement pour en déterminer l'effet.

Commandé par l'IRSN, ce travail cherche aussi à déterminer si lors d'une évolution, l'utilisation de 11 isotopes particularisés au lieu de 35 fournit des résultats satisfaisants.

The work presented in this report consists in setting up a functional solution for the inclusion of the historical effect in the deterministic calculation code DONJON5 for pressurized water reactors. The configuration studied is a double step of variation of a local parameter, in order to place itself in a very unfavorable case. The considered local parameters are the coolant density for one pin cell and the presence or absence of control rods for a 5x5 assembly.

The correction is based on a method used by the Swedish group STUDSVIK in its codes CASMO-5 and SIMULATE-5, based on the addition of a new parameter, the historical parameter.

The results are then analyzed and each part of the correction is tested individually to determine its effect.

Commissioned by IRSN, this work also seeks to determine if an evolution with 11 particularized isotopes instead of 35 provides satisfying results.