

**Titre:** Utilisation de la simulation pour améliorer les horaires des médecins et des équipements dans un département de Radio-Oncologie  
Title: et des équipements dans un département de Radio-Oncologie

**Auteur:** Mehdi Taobane  
Author:

**Date:** 2012

**Type:** Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

**Référence:** Taobane, M. (2012). Utilisation de la simulation pour améliorer les horaires des médecins et des équipements dans un département de Radio-Oncologie  
Citation: [Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie.  
<https://publications.polymtl.ca/928/>

## Document en libre accès dans PolyPublie Open Access document in PolyPublie

**URL de PolyPublie:** <https://publications.polymtl.ca/928/>  
PolyPublie URL:

**Directeurs de recherche:** Louis-Martin Rousseau, & Pierre Baptiste  
Advisors:

**Programme:** Génie industriel  
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

UTILISATION DE LA SIMULATION POUR AMÉLIORER LES HORAIRES DES  
MÉDECINS ET DES ÉQUIPEMENTS DANS UN DÉPARTEMENT DE RADIO-  
ONCOLOGIE

MEHDI TAOBANE

DÉPARTEMENT DE MATÉMATIQUES ET DE GÉNIE INDUSTRIEL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION  
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES  
(GÉNIE INDUSTRIEL)

AOÛT 2012

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé:

UTILISATION DE LA SIMULATION POUR AMÉLIORER LES HORAIRES DES  
MÉDECINS ET DES ÉQUIPEMENTS DANS UN DÉPARTEMENT DE RADIO-  
ONCOLOGIE

Présenté par : TAOBANE Mehdi

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

M. FRAYRET Jean-Marc, Ph. D., président

M. ROUSSEAU Louis-Martin, Ph. D., directeur de recherche

M. BAPTISTE Pierre, ing., Doct., codirecteur de recherche

Mme LAHRICHI Nadia, Ph. D, membre

## DÉDICACE

*Je dédicace ce mémoire à tous les ingénieurs engagés*

*Envers un meilleur système de santé*

*Et à rendre ce monde meilleur*

## **REMERCIEMENTS**

En préambule à ce mémoire, je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à son élaboration ainsi qu'à ma réussite au cours de cette formidable année qui clôture mon parcours académique.

Je tiens à remercier Monsieur Louis-Martin Rousseau, en tant que Directeur de recherche, pour son encadrement et sa disponibilité tout au long du travail de recherche ainsi qu'au cours de la rédaction de ce mémoire.

Mes remerciements s'adressent également à mon co-directeur Monsieur Pierre Baptiste pour son support et multiples partages d'expériences afin de parfaire mon approche dans la simulation.

J'exprime ma gratitude au Docteur Marie-Andrée Fortin et son équipe qui ont grandement contribué à l'aboutissement de ce travail de recherche en me permettant de collaborer à leur projet d'unité de recherche traité dans ce mémoire.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers Monsieur Alexandre Ouellet, consultant en simulation, pour avoir partagé son expertise et prêté main forte en validant certains aspects du modèle.

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à tous mes proches et amis, qui m'ont toujours soutenu et encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à tous et à toutes.

## RÉSUMÉ

En 2000, le cancer est devenu la première cause de mortalité au Québec. Depuis, le nombre de mortalités liées au cancer ne cesse de croître. À ce facteur s'ajoute le vieillissement de la population, la pénurie des spécialistes et les coûts croissants des opérations, représentant des défis de taille pour les départements de radio-oncologie.

Ces derniers, malgré ces différents facteurs, ont l'obligation d'offrir un service de qualité à la population. À ce titre, la radiothérapie est de plus en plus utilisée comme traitement contre le cancer. Cependant, la réussite de ce type de traitement dépend du délai d'attente des patients avant de recevoir leur traitement, délai encadré par le ministère de la santé et des services sociaux, et de la capacité à réaliser des sessions de traitements aux patients sans interruptions. Ce dernier point est un enjeu majeur pour les départements de radiothérapie qui y parviennent difficilement. Une des causes de cette difficulté réside dans la gestion des priorités des patients. Les départements traitent principalement des patients palliatifs et des patients curatifs. Les patients palliatifs, prioritaires, ont un délai court pour recevoir les sessions de traitement. Ceci conduit souvent à des bouleversements importants dans la planification des traitements engendrant même des reports de début de traitement pour des patients curatifs et énormément d'activités à non-valeur ajoutées sans compter les frustrations au sein des équipes.

Cette présente recherche s'applique à résoudre les problèmes d'organisation des départements de radio-oncologie afin d'optimiser le nombre de patients traités et maximiser l'utilisation des ressources humaines et matérielles tout en fournissant un haut niveau de service dans le respect des différentes normes. L'analyse touche aux différents aspects du processus de traitement des patients atteints de cancer, à commencer par une rencontre avec le radio-oncologue, spécialisé selon le type de cancer, pour déterminer la pertinence de suivre un traitement de radiothérapie. Si le traitement est approuvé, les étapes qui suivent sont la localisation de la zone à traiter à l'aide d'un CT-Scan, la planification du traitement par l'unité de dosimétrie et les vérifications du traitement par une simulation.

La complexité de ce processus pousse à l'utilisation d'outil avancé tel que la simulation à évènement discret. Le modèle développé dans cette recherche a permis de tester divers scénarios « What-if » afin d'étudier les façons de réduire au maximum le délai entre l'approbation du médecin lors de la consultation et le premier traitement du patient. Plusieurs défis ont été

rencontrés durant le développement du modèle. Ce dernier est basé sur le fonctionnement futur d'un département de radio-oncologie situé à Laval mais qui n'était pas encore fonctionnel. La stratégie de collecte de données a permis de pallier à ce problème grâce à des rencontres avec divers spécialistes du milieu et des analyses de données en provenance d'autres hôpitaux. D'un point de vue technique, les frontières larges du modèle pour représenter toute la chaîne des opérations, soit depuis la consultation jusqu'au dernier traitement, ont poussé à développer une réflexion importante sur les stratégies de modélisation. Au final, le modèle inclut 4 accélérateurs linéaires et plus de 30 professionnels de la santé ayant divers spécialités. Or la clé du succès dans la gestion des opérations est la coordination entre ces différents professionnels. Ces derniers ont le choix de réaliser à un moment donné différentes tâches. Au niveau du simulateur, les prises de décisions ont été modélisées sous forme d'arbre de décision permettant de prioriser les différentes tâches selon plusieurs conditions en utilisant l'approche « agent-based model ».

Le modèle offre trois applications majeures. D'abord, une analyse des flux de patients qui, pour le département de radio-oncologie en question, a permis de cibler avec précision le goulot dans le processus, comme par exemple le manque de dosimétristes, et d'amener des solutions viables. Des résultats sur le respect de la norme provinciale et de la grille de classification des types de cancer ont permis à l'administration d'ajuster leur stratégie de gestion et ceci avant l'ouverture du département. Une autre application de ce modèle consiste en la standardisation des tâches des médecins qui a également été testée pour le département étudié. Le principal bénéfice de cette standardisation est de pouvoir préparer un patient en 5 jours versus 20 jours. Finalement, pour que les traitements palliatifs n'interfèrent pas sur les traitements curatifs, le modèle a permis d'analyser la faisabilité de réservé des plages des accélérateurs linéaires exclusivement aux traitements palliatifs.

Il est à souligner qu'une validation des résultats obtenus par la simulation a été effectuée après l'ouverture du département. Cette validation a permis de constater la robustesse du modèle. La principale faiblesse réside dans le nombre de plages à réservé pour les patients palliatifs. Le modèle a sous-évalué ce nombre mais la taille de l'échantillon reste encore faible pour conclure.

Enfin, des recommandations génériques sont proposées pour l'ensemble des départements de radio-oncologie sur le calcul de capacité des accélérateurs en prenant en compte la variabilité des

traitements, sur la gestion des ressources humaines en considérant leur productivité et sur la politiques des rendez-vous pour les CT-Scan et sur les accélérateurs linéaires.

La première recommandation est la détermination du nombre de patients pouvant être traité annuellement. L'approche actuelle est une moyenne du nombre de traitements pour les patients curatifs et les patients palliatifs conduisant à une surestimation de la capacité des accélérateurs. L'approche proposée considère la variabilité du nombre de traitements donnant un portrait plus juste de la capacité des accélérateurs linéaires.

La deuxième recommandation est la gestion des rendez-vous pour les patients curatifs. L'approche actuelle est de réserver la première plage disponible aux patients. Cette approche pose des problèmes sur la priorisation au sein des patients curatifs. Deux solutions sont proposées mais non testées. La première est de systématiquement retarder le rendez-vous des patients curatifs moins prioritaires pour assigner des plages libres aux patients plus prioritaires et la deuxième solution est de développer un modèle de recherche opérationnelle.

La troisième recommandation est de réserver au moins 3 plages par accélérateur linéaire pour les patients palliatifs pour une proportion de 27% de patients palliatifs demandant un traitement de radiothérapie.

La quatrième recommandation est la standardisation des tâches des médecins en développant un calendrier hebdomadaire pour 7 médecins. Ceci permettrait de préparer un patient en 5 jours.

La cinquième recommandation est le balancement des ressources pour 4 accélérateurs linéaires. Différents scénarios ont permis de déterminer le nombre idéal de ressources pour les différentes tâches.

Au final, le modèle ainsi développé peut servir d'outil stratégique de planification pour les administrations, afin d'analyser par exemple l'impact des différentes arrivées de patients à partir des données collectées, ce qui permettra de prendre rapidement des décisions stratégiques sans requis d'investissements pour la mise en place de tests pilotes.

## ABSTRACT

In 2000, cancer became the leading cause of death in Quebec and the number of cancer-related deaths has since been increasing. In addition to this fact, the aging of the Canadian population, the shortage of specialists and the increase of costs of operation represent significant challenges for radio-oncology treatment centers throughout the country.

The latter, despite these factors, have an obligation to provide quality service to the public. As such, radiation therapy is increasingly used as a form of treatment against cancer. However, the success of this type of treatment depends on the delay before patients start receiving their treatment, delay regulated by the Ministry of Health and Human Services. The success of the radiotherapy session depends also on the ability to conduct sessions with patients without treatment interruptions which is a major issue for radio-oncology departments who deal with the complex issue of patient prioritization. Two main types of patients are treated in a radio-oncology department: palliative and curative patients. For palliative patients, who have to be treated in priority, the delay before receiving treatment has to be short as prescribed by the Minsitry of Health and Human Service. This constraint often leads to major upheavals in treatment planning generating postponements of curative treatment start for some patients in addition to creating a significant amount of non value-added activities within the process as well as frustration within the team.

The present research aims to solve organizational challenges that radio-oncology departments are facing in order to maximize the number of patients and the use of human and material resources while providing a high level of service in respect to governmental standards. An analysis is also made of the various key processes relating to the treatment of cancer patients, beginning with a start-off consultation with the specialized radiation oncologist to determine which treatment is best suited for the patient. If treatment is approved, the following step is the localization of the affected area by CT-Scan, followed by the planning of the treatment by the dosimetry unit and finally a validation of the success of the treatment.

The complexity of this process leads to the use of advanced tools such as discrete event simulation. The model developed in this research was used to test various "what-if" scenarios in order to study ways to minimize the waiting period between the moment the physician approves the radiotherapy treatment during the start-off consultation and the moment the patient actually

receives his first treatment. Several challenges were encountered during the development of this model. Indeed, this model is based on the future running of a radio-oncology department located in Laval which was not yet functional at the time it was developed. The data collection strategy has made it possible to overcome this problem through validation meetings with various specialists in the field and analysis of records coming from established hospitals. From a technical standpoint, the broad boundaries of the model to represent the entire chain of operations led to an important reflection on modeling strategies. Ultimately, the model includes four linear accelerators and more than 30 health professionals with various specialties. The key to success in operations management is the coordination between the different professionals who have to attend to multiple tasks. In the simulator, the decisions have been modeled as a decision tree to prioritize tasks according to several conditions using the approach “agent-based model.”

The model has three major applications. First, flow analysis of patients which, for the department of radio-oncology in question, allowed precise targeting of bottlenecks in the process, such as the lack of dosimetrists, and proposal of viable solutions. Results on the compliance with regulations have allowed the administration to adjust their management strategy before the opening of this department. Another application of this model is the standardization of physicians’ tasks which was also tested for the department studied. The main benefit of this standardization has been the reduction of patient waiting time from 20 to 5 days in the preparation process. Finally, to make sure that palliative treatments do not interfere with curative treatments, the model was used to analyze the feasibility of dedicating slots in the use of the linear accelerators for palliative treatments only.

It is noteworthy that a validation of the results of the simulation was performed after the creation of the department. This validation showed the robustness of the model, the main weakness, however, lying in the number of slots to be reserved for palliative patients. The model underestimated the count but the sample size remains too small to conclude.

Finally, general recommendations are offered for radio-oncology departments when determining the capacity of accelerators and managing their resources.

The first one concerns the estimation of the number of patients being treated annually. The current approach is based on an average number of treatments for curative and palliative patients leading in some cases to an overestimation of the ability of accelerators. The proposed approach

considers the variability in the number of treatments giving a more accurate picture of the capacity of linear accelerators.

The second recommendation is in regards to managing appointments for patients curative. The current approach is to reserve the first track available to patients. This approach generates conflicts in the prioritization among curative patients. Two solutions have been put forward and have yet to be tested. The first is to systematically delay the appointment of curative patients, with a lower priority, to be able to assign empty slots to higher priority cases. The second solution is to develop an operational research model to improve management of appointments.

The third recommendation is to book at least three slots per linear accelerator for palliative patients. The fourth recommendation concerns the standardization of physicians' tasks by developing a weekly schedule for seven doctors. This standardization of tasks would make it possible to prepare a patient in five days.

The fifth recommendation is in regards to number of resources needed to operate four linear accelerators. Various scenarios were used to determine the ideal number of resources to assume the different tasks.

In conclusion, the model developed can serve as a strategic tool for administrators in order to analyze the impact of patient flow from data collected, which will make it possible to make strategic decisions faster and avoid the cost of investing in pilot tests.

## TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE.....	iii
REMERCIEMENTS .....	iv
RÉSUMÉ .....	v
ABSTRACT .....	viii
TABLE DES MATIÈRES .....	xi
LISTE DES TABLEAUX.....	xiv
LISTE DES FIGURES .....	xvi
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS .....	xix
LISTE DES ANNEXES .....	xx
CHAPITRE 1 INTRODUCTION .....	1
1.1    Portrait de la radio-oncologie au Québec .....	1
1.1.1    Augmentation du nombre de Cancer.....	1
1.1.2    Pénurie des ressources.....	4
1.1.3    La norme provinciale et la grille de classification .....	5
1.1.4    Problématiques .....	8
1.1.5    Objectifs de la recherche .....	9
1.2    Méthodologie .....	10
1.3    Revue de littérature sur la simulation à évènement discret en radiothérapie .....	11
CHAPITRE 2 MODÉLISATION DU DÉPARTEMENT DE RADIO-ONCOLOGIE .....	15
2.1    Description des opérations encadrées par la norme .....	15
2.2    Modélisation du département de radio-oncologie de Laval .....	16
2.2.1    Frontière du modèle .....	17
2.2.2    Politique de gestion des rendez-vous modélisée .....	18

2.2.3	Quelques définitions sur la modélisation .....	18
2.2.4	Approche pour la création des plages horaires.....	18
2.3	Modélisation des ressources humaines .....	20
2.3.1	Les médecins .....	20
2.3.2	Les spécialistes.....	26
2.4	Modélisation des opérations.....	28
2.4.1	Affectation des patients aux médecins pour la consultation .....	28
2.4.2	Attribution des rendez-vous pour les CT-Scans.....	30
2.4.3	Réalisation du scanner par les CT-Scan .....	34
2.4.4	Préparation du traitement au niveau de la dosimétrie .....	35
2.4.5	Finalisation du dossier patient.....	37
2.4.6	Attribution des rendez-vous pour les accélérateurs linéaires .....	37
<b>CHAPITRE 3 COLLECTE DE DONNÉES SUR LES FLUX DE PATIENTS .....</b>		40
3.1	Modélisation de l'arrivée des patients.....	40
3.1.1	Collecte de données de l'hôpital Notre-Dame .....	40
3.1.2	Choix de la loi de distribution de l'arrivée des patients.....	42
3.1.3	Choix de la loi de distribution du nombre de traitements .....	44
3.1.4	Analyse de sensibilité sur le nombre de traitements et sur la proportion des patients curatifs et palliatifs .....	45
3.1.5	Révision du paramètre de la loi de distribution d'arrivée des patients .....	47
<b>CHAPITRE 4 RÉSULTATS .....</b>		48
4.1	Analyse du nombre de ressources et de plages palliatives.....	48
4.2	Analyse des délais d'attente .....	51
4.3	Analyse du calendrier des médecins .....	59

CHAPITRE 5 COMPARAISON AVEC LA CLINIQUE ET RECOMMANDATION GÉNÉRIQUE .....	61
5.1    Organisation du département .....	61
5.2    Validation des hypothèses sur les patients .....	62
5.3    Analyse des flux des patients .....	67
5.3.1    Utilisation des équipements .....	68
5.3.2    Analyse de l'impact de la réservation des plages palliatives .....	70
5.4    Validation des calendriers des médecins .....	71
5.5    Recommandations génériques .....	72
CONCLUSION .....	74
RÉFÉRENCE .....	77
BIBLIOGRAPHIE .....	81
ANNEXES .....	84

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1: Synthèse des coûts économiques du cancer au Québec en 2008 .....	3
Tableau 1.2: Répartition des types de traitement dans l'échantillon.....	4
Tableau 1.3: Répartition prévue des accélérateurs linéaires au Québec de 2006 à 2016.....	5
Tableau 1.4: Délai maximum entre l'acceptation du patient et son premier traitement .....	6
Tableau 1.5: Temps d'attente médian entre la consultation et le traitement au Canada .....	7
Tableau 2.1: Exemple du lien entre l'horloge d'Arena continue et un calendrier discret.....	19
Tableau 2.2: Activités des médecins .....	20
Tableau 2.3: Synthèses des calendriers des médecins modélisés.....	22
Tableau 2.4: Priorisation des tâches selon l'activité .....	23
Tableau 2.5: Domaine de définition de la première dimension de la variable indiquant au médecin l'activité à accomplir .....	24
Tableau 2.6: Domaine de définition de la deuxième dimension de la variable indiquant au médecin l'activité à accomplir .....	24
Tableau 2.7: Domaine de définition de la troisième dimension de la variable indiquant la journée actuelle .....	25
Tableau 2.8: Codage des activités du médecin A à l'aide de la variable indiquant au médecin l'activité à accomplir .....	25
Tableau 2.9: Type de spécialistes modélisés.....	28
Tableau 2.10: Matrice des possibilités d'affectation des patients aux médecins .....	29
Tableau 2.11: Quotas du nombre de consultations par jour par médecin .....	29
Tableau 2.12: Journées possible du CT-Scan selon le médecin pour les patients curatifs .....	31
Tableau 2.13: Journées possible du CT-Scan selon le médecin pour les patients palliatifs .....	32
Tableau 2.14: Domaine de définition des plages des CT-Scans .....	33
Tableau 2.15: Probabilité du type de dosimétrie selon le type de cancer .....	35

Tableau 2.16: Probabilité d'échec suite à la vérification d'un collègue dosimétriste .....	36
Tableau 2.17: Probabilité d'échec suite à la vérification du médecin.....	36
Tableau 2.18: Domaine de définition des plages des accélérateurs linéaires.....	38
Tableau 3.1 : Proportion de demandes de consultation de patients curatifs et de patients palliatifs .....	40
Tableau 3.2 : Proportion des types de cancer dans l'hôpital Notre Dame en 2009 .....	41
Tableau 3.3: Répartition des types de cancer dans le modèle .....	44
Tableau 3.4: Nombre de traitements et leur probabilité par type de cancer.....	45
Tableau 4.1: Impact de l'augmentation de dosimétristes sur le nombre de patients traités .....	49
Tableau 4.2 : Nombre de traitements selon le type de cancer.....	53
Tableau 4.3 : Pourcentage du respect de la grille de classification selon le type de cancer .....	54
Tableau 4.4 : Répartition des délais en jour pour la dosimétrie .....	57
Tableau 4.5 : Choix de la séance pour faire la dosimétrie .....	60
Tableau 5.1 : Répartition des ressources humaines.....	61
Tableau 5.2 : Capacité des équipements .....	62
Tableau 5.3 : Nombre de consultations curatifs et palliatifs par mois .....	62
Tableau 5.4 : Test d'hypothèse sur l'utilisation de la loi de Poisson .....	64
Tableau 5.5 : Comparaison des nombres de traitements en moyenne .....	66
Tableau 5.6 : Répartition des consultations curatives et palliatives par médecin .....	72

## LISTE DES FIGURES

Figure 1-1: Évolution en pourcentage de la répartition des décès selon les principales causes, au Québec, 1985 à 2006 .....	2
Figure 1-2: Répartition des principaux cancers selon le groupe d'âge et le sexe, Québec, 2006 ...	3
Figure 1-3: Objectif du modèle .....	9
Figure 1-4: La méthodologie de la recherche.....	11
Figure 2-1: Les quatre principales phases de traitement dans le département .....	15
Figure 2-2: Frontière du modèle.....	17
Figure 2-3: Files d'attentes générées par les activités des médecins .....	21
Figure 2-4 : La logique pour l'activité Planification implantée dans le modèle .....	23
Figure 2-5: Logique pour représenter les plages des CT-Scans dans le modèle.....	34
Figure 2-6: Logique pour représenter les plages des accélérateurs linéaires dans le modèle .....	38
Figure 3-1 : Nombre de demandes de consultation par mois pour l'hôpital Notre Dame en 2009	41
Figure 3-2:Résultat de Input Analyzer sur la distribution de la demande de consultation .....	42
Figure 3-3: Résultats du test d'hypothèse pour valider le choix de la loi de Poisson.....	42
Figure 3-4: Logique d'affectation des attributs aux patients dans le modèle.....	45
Figure 3-5:Nombre de patients traités selon la proportion du nombre de patients palliatifs .....	46
Figure 3-6: Nombre de patients arrivés par jour avec la loi exponentielle .....	47
Figure 4-1: Répartition cumulée des délais en jours entre la consultation et le traitement pour les patients curatifs dans le scénario idéal .....	49
Figure 4-2: Répartition cumulée des délais en jours entre la consultation et le traitement pour les patients palliatifs dans le scénario idéal .....	49
Figure 4-3: Comparaison du scénario recommandé et scénario optimal sur les délais d'attentes des patients curatifs .....	50

Figure 4-4: Comparaison du scénario recommandé et scénario optimal sur les délais d'attentes des patients palliatifs .....	50
Figure 4-5: Variation du nombre de plages réservées aux patients palliatifs.....	51
Figure 4-6: Distribution moyenne des types de cancer .....	52
Figure 4-7: Évolution de l'utilisation des accélérateurs linéaires pendant la période de réchauffement.....	53
Figure 4-8: Répartition des délais en jour entre la consultation et le premier jour de traitement selon les priorités des patients .....	54
Figure 4-9: Répartition des délais en jour entre l'arrivée du patient et la consultation selon le type de patient .....	55
Figure 4-10: Répartition des délais en jour entre la consultation et le scanner selon le type de patient .....	55
Figure 4-11 : Nombre de plages des CT-Scans utilisées par jour en moyenne.....	56
Figure 4-12 : Nombre de validations de la dosimétrie par jour par les médecins en moyenne ....	57
Figure 4-13 : Nombre de dossiers traités par les dosimétristes en moyenne .....	57
Figure 4-14 : Nombre de dossiers traités par le physicien en moyenne .....	57
Figure 4-15: Délais en jour entre la consultation et le dossier du patient prêt .....	58
Figure 4-16: Répartition des délais en jour entre le dossier du patient prêt et le premier jour de traitement selon les priorités .....	58
Figure 5-1: Distribution totale des patients palliatifs et curatifs pour la période analysée .....	63
Figure 5-2: Distribution du nombre de patients .....	63
Figure 5-3: Comparaison de la distribution des données avec la distribution de Poisson .....	64
Figure 5-4: Distribution des types de cancer des patients ayant reçu au moins un traitement.....	65
Figure 5-5: Distribution des types de cancer des patients traités dans le simulateur .....	65
Figure 5-6: Répartition des délais en jours entre la consultation et le premier jour de traitement selon les priorités des patients .....	67

Figure 5-7: Répartition des délais en jour entre la consultation et le CT-SCAN selon les priorités des patients .....	67
Figure 5-8: Répartition des délais en jour entre le CT-Scan et le 1 <sup>er</sup> traitement selon les priorités des patients .....	68
Figure 5-9 : Nombre de plages des CT-Scan 1 utilisées par jour en moyenne .....	69
Figure 5-10 : Évolution des plages utilisées par accélérateur linéaire .....	69
Figure 5-11 : Distribution du nombre de plages journalières utilisées pour les patients curatifs ..	70
Figure 5-12 : Distribution du nombre de plages journalières utilisées pour les patients palliatifs	71

## **LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS**

MSSSQ	ministère de la santé et des services sociaux
CT-Scan	tomographie axiale calculée par ordinateur
IMRT	intensity-modulated radiation therapy
CSSL	Centre de Santé et Services Sociaux de Laval
UM	Unités moniteur
CICL	Centre Intégré de Cancérologie

## **LISTE DES ANNEXES**

Annexe 1 – grille de classification du département de radio-oncologie .....	84
Annexe 2 – calendriers détaillés des médecins .....	85
Annexe 3 – emplois de temps des spécialistes.....	87
Annexe 4 –résultats de l’analyse de sensibilité des traitements.....	89
Annexe 5 – délai d’attente curatif .....	90
Annexe 6 – délai d’attente palliatif .....	93
Annexe 7 – pourcentage des quotas non utilisés de consultation en moyenne .....	94
Annexe 8 – distribution des consultations curatives par médecin .....	95
Annexe 9 – distribution des consultations palliatives par médecin .....	98
Annexe 10 – distribution des contours curatifs par médecin .....	101
Annexe 11 – distribution des validations de la dosimétrie pour les patients curatifs .....	104
Annexe 12 – distribution des validations du champ palliatif par médecin .....	107
Annexe 13 – distribution du nombre de traitements par type de cancer durant la période analysée du département .....	110

## CHAPITRE 1 INTRODUCTION

Les administrations des départements de radio-oncologie sont confrontées à diverses problématiques dans la conception et le pilotage des processus de traitements des patients par radiothérapie externe. Ce type de soins est de plus en plus employé et il est impératif que les départements se dotent d'un processus efficace et performant pour traiter le plus rapidement possible les patients. En effet, les délais d'attente peuvent se traduire par une dégradation de l'état du patient et diminuant ainsi les succès du traitement [13].

Dans ce chapitre en guise d'introduction, un portrait sera brossé des besoins organisationnels pour ce type de département ainsi que des défis auxquels ils font face. Par la suite, les objectifs de ce travail de recherche et la méthodologie sont présentés.

### 1.1 Portrait de la radio-oncologie au Québec

Cette section vise à établir le cadre de référence de cette recherche. Dans la première sous-section, diverses statistiques sont présentées afin de souligner la croissance du cancer au Québec.

Dans la deuxième sous-section, les capacités que possède le Québec pour traiter les différents types de cancer sont exposées. La dernière sous-section reflète la norme provinciale régissant les centres de radio-oncologie au Québec.

#### 1.1.1 Augmentation du nombre de Cancer

En 2000, le cancer est devenu la première cause de mortalité au Québec, surpassant les maladies cardiovasculaires tel qu'illustré par la figure suivante. Depuis, le nombre de mortalités liées au cancer ne cesse de croître.

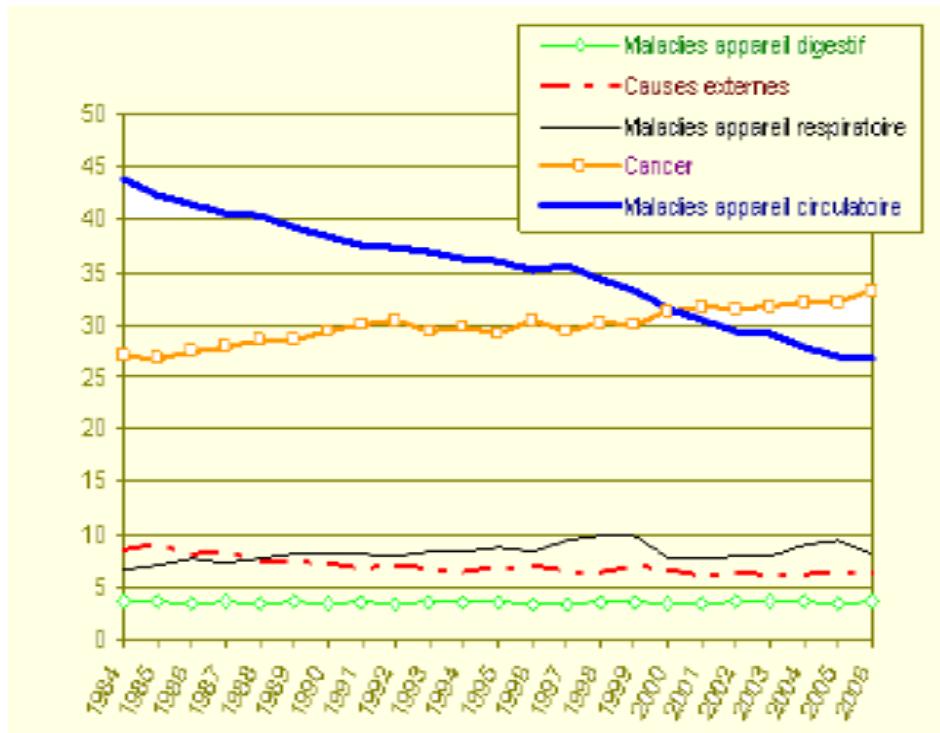


Figure 1-1: Évolution en pourcentage de la répartition des décès selon les principales causes, au Québec, 1985 à 2006 [1]

Pour l'année 2006, le pourcentage de décès liés au cancer a été de 35% pour un total de 18 077 décès [1]. Pour l'année 2011, le rapport des Statistiques canadiennes sur le cancer 2011 [2], fait état de 46 500 nouveaux cas de cancer en excluant ceux de la peau et de 20 100 décès. Entre l'année 2006 et l'année 2011, le pourcentage de décès a ainsi augmenté de 2,2%. Cette étude souligne, de plus, que 88% des nouveaux cas de cancer sont diagnostiqués chez les patients de 50 ans et plus, suggérant qu'une forte corrélation existe entre l'âge et la probabilité d'apparition de cancer [2]. D'ailleurs dans « le portrait du cancer au Québec en 2006 » [1], le constat est similaire, établissant même un lien direct entre le vieillissement de la population et l'augmentation du nombre de cas de cancer. En effet, entre 1984 et 2006, le Québec a connu un vieillissement de sa population. La figure suivante présente la répartition du nombre de cancer en fonction de l'âge.

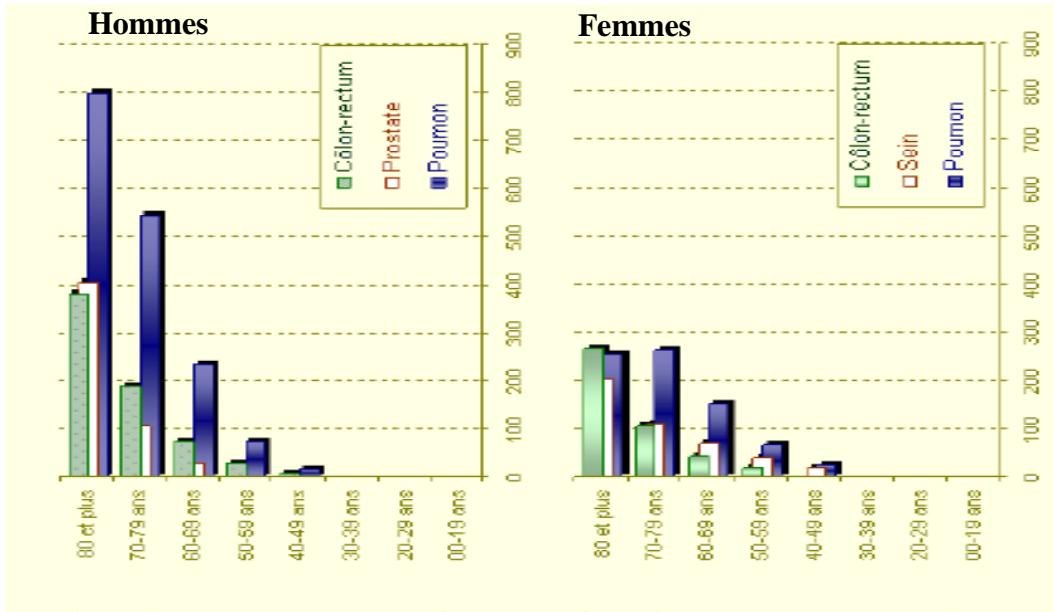


Figure 1-2: Répartition des principaux cancers selon le groupe d'âge et le sexe, Québec, 2006 [1]

En 2006, la proportion de personnes âgées (50 ans et plus) se situait à 14% de la population totale. Les prévisions estiment que cette tranche représentera en 2026 près de 24% de la population totale. Ce qui pousserait à croire que le nombre de nouveaux cancers détectés annuellement ira également en augmentant dans les prochaines années au Québec.

Une approche économique pour représenter l'impact du cancer est explorée à travers l'étude [3]. L'objectif est de pouvoir chiffrer le coût du cancer dans la société Québécoise pour l'année 2008. La synthèse des résultats est retranscrite dans le tableau suivant.

Tableau 1.1: Synthèse des coûts économiques du cancer au Québec en 2008

Type de coûts	En million de \$	%	%
coûts financiers pour le système de santé	454.3	42.9	13.1
coûts liés à la perte de production	72.2	6.8	2.1
coûts liés à la baisse du taux d'emploi	258.9	24.5	7.4
dépenses supplémentaires des familles	95.8	9	2.8
coûts supportés par les aidants naturels	177.7	16.8	5.1
<b>Sous-total</b>	<b>1058.9</b>	<b>100</b>	<b>30.4</b>
Les coûts liés au décès prématurés	2421.3		69.6
<b>Grand Total</b>	<b>3480.2</b>		<b>100</b>

Cette analyse démontre que les soins liés au cancer sont très onéreux pour le système de santé québécois, représentant à eux seuls soit près de 450 millions dollars pour un impact total se chiffrant à un milliard de dollars en 2008.

Cette étude illustre bien le besoin, voire la nécessité de centrer les efforts sur l'amélioration de la performance opérationnelle au sein des institutions de santé afin d'aboutir à un meilleur contrôle des coûts tout en garantissant les meilleurs soins aux patients.

Il existe différents types de traitements contre le cancer. Le sondage suivant [4] présente pour un échantillon de 31160 patients ayant reçu un traitement entre le 1<sup>er</sup> octobre 2004 et le 30 septembre 2006, le type de traitement utilisé.

Tableau 1.2: Répartition des types de traitement dans l'échantillon

Type de traitement	Nombre de personnes	%
Chirurgie seulement	13458	43.2
Radiothérapie seulement	3366	10.8
Chimiothérapie seulement	1844	5.9
Chirurgie et radiothérapie	4989	16
Chirurgie et chimiothérapie	2974	9.5
Radiothérapie et chimiothérapie	1274	4.1
Chirurgie, radiothérapie et chimiothérapie	3255	10.5
Total	31160	100

Près de la moitié des patients sondés ont eu recours à la radiothérapie seule ou combinée. Il serait possible d'avancer ici que, la radiothérapie étant un traitement de référence, faciliter son accès et réduire les délais d'analyse et de traitement qui y sont liés aura un impact significatif positif sur les patients et le système de santé en général.

### 1.1.2 Pénurie des ressources

D'après le journal Le Devoir [9], une pénurie de technologues en radiologie risque de se produire prochainement au Québec. Selon la présidente de l'Ordre des technologues en radiologie du Québec, des retraites massives sont prévues dans les prochaines années et les nouveaux gradués en technique de radiologie sont de plus en plus nombreux à s'exiler dans les provinces voisines qui leur offrent des conditions de travail plus avantageuses.

En 1997, suite à un surplus de médecins radio-oncologues au Canada et face à une faible demande comme le souligne l'article [10], la décision fut prise par le gouvernement de l'époque de réduire le nombre de postes de résidence pour cette spécialité. Cette décision eut un lourd

impact puisque nous assistons présentement à un début de pénurie d'experts en techniques de radiothérapie au Québec.

D'un autre côté, au niveau des besoins en équipement de radiothérapie, en 2011 environ 60 accélérateurs requis pour ce type de traitement étaient recensés au Québec et l'objectif pour les prochaines années étant d'augmenter ce nombre à 68 dans les régions de Laval et de Montréal. Le tableau suivant provenant de l'article [11] montre une projection du nombre d'accélérateurs linéaires dans la province du Québec d'ici 2016.

Tableau 1.3: Répartition prévue des accélérateurs linéaires au Québec de 2006 à 2016

<b>CSSS ou Hôpital</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
CSSS de Chicoutimi	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3
CSSS de Gatineau	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3
CSSS de Rimouski	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
CHUM	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
CHRTR	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
CHUQ	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
CHUS	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
CUSM	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Hôpital maisonneuve	6	6	6	9	9	9	9	9	9	9	9
Hôpital Général Juif	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
CSSS de Laval						2	4	4	4	6	6
Hôpital Charles leMoigne						2	4	6	6	6	6
Total	49	51	52	56	56	60	64	66	66	68	68

### 1.1.3 La norme provinciale et la grille de classification

Depuis 2004, une nouvelle norme établie par le ministère de la santé et des services sociaux (MSSSQ) stipule que 90% des patients diagnostiqués par un cancer doivent être traités à l'intérieur de quatre semaines [5]. Cette norme s'applique une fois que le patient est accepté dans

un service de radio-oncologie. En d'autres termes, le délai après l'approbation du patient et son premier traitement par un accélérateur linéaire ne doit pas dépasser quatre semaines.

Cependant, cette norme représente à un certain niveau un risque au niveau du traitement rapide et efficace des dossiers patients par des centres de radio-oncologie. Prenons par exemple, un patient d'un service de radio-oncologie qui est prêt à recevoir son traitement après deux semaines suite à son acceptation dans ce service, mais finalement, il reçoit son premier traitement après une attente de deux semaines supplémentaires. Selon la norme de MSSSQ, le service de radio-oncologie respectant le standard, l'attente non requise de deux semaines supplémentaires n'est nullement problématique pour le centre de traitement. Ces cas de délais inutiles étant pourtant fréquents dans ces centres de traitement, ils représentent une bonne portion des déficits dans la gestion des patients traités dans ce mémoire.

En outre, une grille de classification des types de cancer par priorité, publié la même année par le Collège des médecins, offre une référence pour le tri systématique des demandes de consultations en fonction du risque de mortalité et fixe les délais d'attente maximaux médicalement acceptables [6]. Le tableau suivant présente les délais pour chaque priorité établie.

Tableau 1.4: Délai maximum entre l'acceptation du patient et son premier traitement

Priorité	Délai maximum en jours
1	1
2	3
3	14
4	28

Ainsi chaque patient se voit attribuer une priorité. La priorité 1 correspond aux patients urgents. Il s'agit de cas extrêmement rares, qui se chiffre à 2% pour l'hôpital Notre-Dame, et ne sont pas traités dans cette recherche. La priorité 2 correspond aux patients palliatifs. Ces derniers sont dans le stade terminal du cancer et doivent accéder très rapidement aux soins pour soulager les effets du cancer comme la douleur physique. Généralement 5 à 10 traitements leur sont fournis. Ils ont un cancer généralisé appelé métastase. Les priorités 3 et 4 représentent les patients curatifs. La localisation du cancer chez le patient différencie ces deux priorités. Seuls les cancers de la prostate et de la peau sont considérés comme des priorités 4, sinon il s'agit d'une priorité 3. Ces patients reçoivent un plus grand nombre de traitements que les patients palliatifs, soit entre 20 et 35 traitements. Cette grille de classification encadre plus rigoureusement que la norme provinciale les délais de traitement des différents centres de radiothérapie. Si nous reprenons

l'exemple précédent, pour un patient souffrant d'un cancer catégorisé de priorité 3, l'attente des deux semaines supplémentaires serait inacceptable.

Aussi, l'Alliance, regroupement de plusieurs associations dont celle de radio-oncologie [7], a développé un guide afin de gérer les temps d'attente liés à un traitement. Pour le service de radio-oncologie, il fixe comme objectif que le délai entre la demande de consultation et la consultation soit de maximum 10 jours idem pour le délai entre la consultation et le premier traitement. Ainsi, le temps total pour débuter le traitement d'un patient est de maximum 20 jours ouvrables. Le guide présenté par l'Alliance élargit ainsi la régulation liée à la demande de consultation comparativement à la grille de classification du Conseil des médecins.

Le département de radio-oncologie, utilisé pour la modélisation, a élaboré sa propre grille de classification, présentée dans l'annexe 1, en se conformant à celle de la classification par priorité et en considérant de plus un délai de consultation à respecter pour chaque priorité.

Il est difficile de savoir lequel de la norme provinciale, de la grille de classification ou du guide est effectivement respecté. Néanmoins, un sondage national effectué entre le 12 février et le 6 mars 2009 avec pour objectif d'évaluer les temps d'attente pour les soins spécialisés à partir des réponses des médecins spécialistes [8] a permis d'évaluer les temps médians présentés dans le tableau suivant.

Tableau 1.5: Temps d'attente médian entre la consultation et le traitement au Canada

Type de tumeur	Nombre de cas	Temps d'attente entre la consultation et la date d'intervention ou du traitement (en jours)
Curatifs	104	25
SNC	9	14
Sein	10	30
Poumon	15	29
Gastro-intestinal	10	20
Génito-urinaire	42	39
Gynécologie	10	20
Lymphome	8	15
Palliatifs	56	6
Sein	9	2
Poumon	22	7
Gastro-intestinal	8	21
Génito-urinaire	8	3
Lymphome	9	2
<b>Total</b>	<b>160</b>	<b>17</b>

L'échantillon reste faible, mais les résultats poussent à croire que la norme provinciale est celle utilisée comme référence par les différents centres de traitement et non nécessairement la grille de classification par priorité ou le guide de l'alliance.

Ce qu'il faut mentionner en conclusion de cette section, est que le paysage de la radio-oncologie au Québec est inquiétant. L'augmentation des cas de cancer liés au vieillissement de la population, les coûts onéreux liés au traitement des cancers pour le système de santé québécois et la pénurie de technologues en radiothérapie obligent les centres de radio-oncologie d'explorer de nouvelles approches opérationnelles pour garder une haute qualité de leur service dans les délais prescrits.

#### **1.1.4 Problématiques**

Un département de radio-oncologie standard traite à la fois des patients curatifs et des patients palliatifs ayant chacun une priorité différente dans l'accès au service établie par la grille de classification.

Au niveau opérationnel, les patients curatifs sont connus à l'avance. Généralement, leurs demandes de consultation arrivent après une opération chirurgicale planifiée laissant suffisamment de temps au département de radio-oncologie de libérer des ressources pour les traiter. Ces patients reçoivent des traitements journaliers consécutifs dans une plage horaire fixe à raison de cinq traitements par semaine. Pour les patients palliatifs, le délai d'intervention après une consultation est court. Selon la grille de classification de priorité, ce délai est de maximum trois jours. Le problème que connaissent, actuellement, les centres de radio-oncologie est l'impossibilité de déterminer le nombre de patients palliatifs à traiter. Autrement dit, il n'est pas possible de réserver en avance les ressources (humaines et équipements) pour les traiter rapidement. Lorsqu'un cas palliatif se présente dans une journée donnée, les spécialistes se démèlent pour trouver une plage de traitement. Ceci conduit souvent à des bouleversements importants dans la planification des traitements engendrant même des reports de début de traitement pour des patients curatifs. À long terme, ces bouleversements créent des accumulations de dossiers de patients curatifs en attente de commencer leur traitement. Lorsque, à leur tour, leur délai d'attente s'approche de la limite autorisée par la norme provinciale, l'administration cherche par tous les moyens à traiter ces patients, et reporte à nouveau d'autres patients curatifs

qui n'ont pas encore débuté leur traitement. Au final, ces conséquences en chaîne génèrent énormément d'activités à non-valeur ajoutée sans compter les frustrations au sein des équipes.

Cette présente recherche explore diverses méthodes innovatrices dans l'organisation des ressources et la gestion des rendez-vous des patients palliatifs afin de respecter la grille de classification par priorité. En effet, la possibilité d'anticiper l'arrivée des patients palliatifs pour réserver adéquatement le nombre de ressources est abordée tout en préservant les calendriers des traitements des patients curatifs. Dans la prochaine sous-section, les différents axes de ce travail de recherche sont détaillés.

### 1.1.5 Objectifs de la recherche

Suite à l'analyse du paysage de la radio-oncologie et des problématiques, la question soulevée et traitée dans cette recherche est la suivante :

*Comment optimiser l'organisation d'un département de radio-oncologie afin de maximiser le nombre de patients traités tout en fournissant un haut niveau de service dans le respect des différentes normes sans modifier le nombre de ressources matérielles ou humaines qui y sont dédiées ?*

Pour ce faire, un modèle de simulation a été développé afin d'étudier les manières de réduire au maximum le délai  $\Delta$  entre l'approbation du médecin lors de la consultation et le premier traitement du patient, comme illustré dans le schéma suivant :

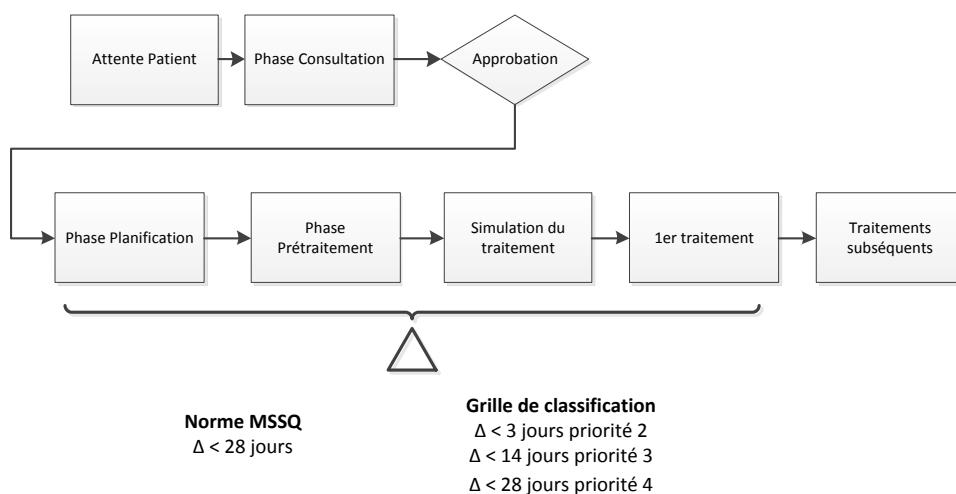


Figure 1-3: Objectif du modèle

Ce modèle offre trois applications majeures ;

- Déterminer la meilleure organisation possible des ressources afin d'éviter des délais importants durant la planification du traitement en se basant sur les goulots d'étranglement dans le flux de patients.
- Étudier la possibilité de standardiser les tâches des médecins. En effet, une hypothèse utilisée pour ce modèle est que les médecins sont souvent sollicités dans diverses tâches et travaillent en silos conduisant une importante perte d'efficacité [14]. L'objectif de cette standardisation étant de pouvoir préparer un patient en 5 jours versus 20 jours en moyenne actuellement.
- Trouver des modes de fonctionnement robustes, qui peuvent limiter l'impact de la variabilité de l'arrivée des patients palliatifs sur la distribution de rendez-vous de patients curatifs en réservant certaines plages de traitement exclusivement pour des patients palliatifs. Le résultat recherché est la diminution voire l'arrêt de reports des traitements de patients curatifs. Il reste à déterminer la faisabilité de cette approche et le nombre de plages à réserver.

## 1.2 Méthodologie

Pour répondre à la question de recherche, les processus d'un département de radio-oncologie standard ont été d'abord analysés. Une fois les opérations cernées, un modèle de simulation a été développé en se basant sur un département particulier de l'hôpital Cité de la santé à Laval. Les données ainsi collectées du département ont servi à alimenter le modèle de simulation. Lors du développement du modèle, le département n'était pas fonctionnel. Ceci a permis d'explorer davantage de solutions avec l'absence de contraintes opérationnelles. Suite à l'élaboration du modèle, différents scénarios « What-if » ont été effectués selon les trois objectifs énoncés. Ensuite, une validation des résultats obtenus par la simulation a été effectuée après l'ouverture du département. Enfin, des recommandations génériques sont proposées pour l'ensemble des départements de radio-oncologie.

Dans la figure suivante, la méthodologie est présentée.

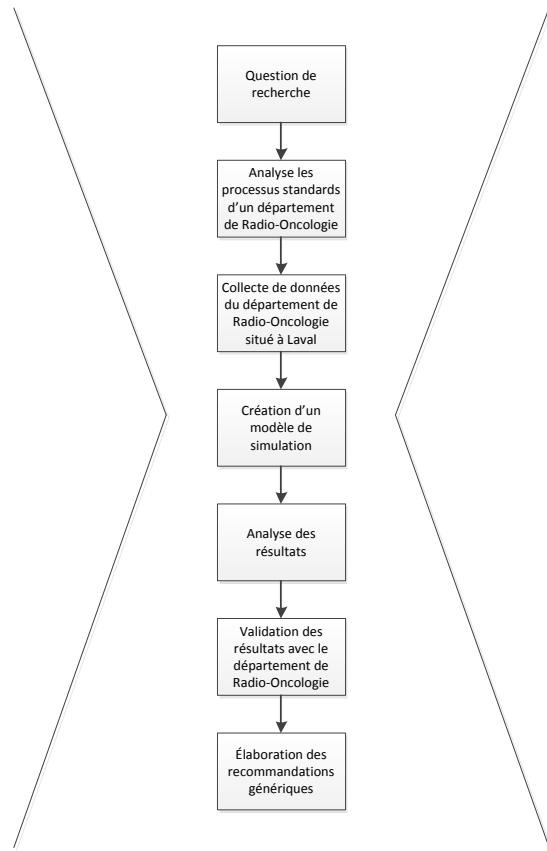


Figure 1-4: La méthodologie de la recherche

### 1.3 Revue de littérature sur la simulation à évènement discret en radiothérapie

Il existe peu de littérature sur la simulation à évènement discret appliquée dans des centres de traitements de cancer. Pourtant ce type de simulation offrirait différents niveaux de solutions comme le démontre le modèle de J.E Everett [23], représentant l'ensemble des hôpitaux du système public réalisant la chirurgie élective. Il peut servir à prendre une décision opérationnelle à l'aide de données collectées en temps réel pour prioriser les patients. À partir de données historiques, le modèle permettrait d'évaluer périodiquement la performance du système, de cibler ses faiblesses et tester les solutions avec un coût moindre que des tests pilotes. Aussi, le modèle

permettrait aux gestionnaires de prendre des décisions stratégiques sur le déploiement des ressources dans l'organisation.

Étant donné la latitude dans la modélisation des processus, il est très important de comprendre l'utilité du modèle face aux besoins des centres de radio-oncologie. Les hypothèses utilisées nécessitent une méthodologie rigoureuse de collecte de données et de validation. Afin de cerner ces méthodes, la prochaine section présente des modèles de simulation à évènement discret sur les centres de cancer qui ont servi à l'élaboration du modèle dans cette recherche.

À travers un modèle de simulation à évènement discret, N. Ogunata [24] cherche à minimiser les retards à cause des prolongements potentiels des traitements en cours. L'approche testée est une réservation de plages supplémentaires lors de la planification des patients aux accélérateurs linéaires. Les frontières du modèle sont centrées sur un des accélérateurs linéaires problématiques d'un hôpital régional. Comme intrant, les patients à l'entrée du modèle suivent une distribution de Poisson. Deux types de patients sont considérés. Les patients palliatifs ont 10 traitements et les patients curatifs ont 30 traitements. Le ratio est 80% de patients curatifs et 20% de patients palliatifs. Afin de déterminer l'impact de cette nouvelle approche, un plan factoriel complet est réalisé avec les deux facteurs suivants, soit le nombre de plages supplémentaires à réserver et le maximum de temps d'attente autorisé avant d'être traité. Un essai était répété 5 fois avec une durée de 20000 jours en considérant une période réchauffement de 1000 jours. Les performances statistiques considérées sont le pourcentage de patients non traités, le délai de traitement et la quantité de patients dans la file d'attente. En conclusion, grâce au modèle développé, l'auteur a identifié différentes situations pour évaluer la pertinence de la réservation de plages supplémentaires.

La recherche de Greg Werker [14], s'est concentrée sur le processus de dosimétrie en amont des accélérateurs linéaires. L'auteur a cherché à démontrer l'utilité d'une simulation à évènement discret pour optimiser ce processus de radiothérapie afin de réduire les délais d'attente. Les frontières du modèle s'étendent du CT-Scan jusqu'à la fin de la préparation des plans de traitement de la dosimétrie incluant la vérification mais n'intègre pas le fonctionnement des accélérateurs linéaires. Les données d'entrée du modèle sont générées par une distribution exponentielle. Cette distribution provient d'une distribution de Poisson en assumant que le processus est un processus de Poisson. Les catégories de plans proviennent de données

historiques de l'agence de cancer de la Colombie Britannique et les données opérationnelles ont été recueillies à travers un sondage. Différentes ressources humaines ont été incluses dans le modèle comme les radiothérapeutes, les oncologues et les physiciens. Pour les radiothérapeutes, le niveau d'expérience est considéré pour pouvoir réaliser la dosimétrie pour certains plans complexes. Par la suite, plusieurs scénarios What-if ont été effectués. Pour chaque scénario, il y a eu 30 réplications de 100 jours avec 5 jours de période de réchauffement. Les scénarios testés sont des analyses de sensibilité sur les temps opératoires, sur les arrivées des demandes de plans et sur la disponibilité des oncologues. À travers ces scénarios, il a été démontré que l'indisponibilité des oncologues est un goulot critique pour les délais de préparation.

Toujours pour l'agence de cancer de la Colombie Britannique, un modèle est développé pour analyser la gestion des salles de consultation [25]. La complexité provient du nombre important de salles et de cliniques impliquées. Le processus modélisé est donc celui de la consultation. Pour générer les patients, les données historiques furent utilisées. Au niveau des temps opérationnels, plusieurs distributions sont employées telles que log normal, triangulaire, Weibull et Gamma. Le constat principal est que la combinaison simultanée de plusieurs stratégies offre des gains plus considérables de tester une solution à la fois. Ainsi, grâce aux modèles, plusieurs recommandations furent effectuées sur la politique des rendez-vous des salles.

Deux modèles de simulation ont été développés pour la chimiothérapie dans le centre de cancer Anderson à Orlando afin de tester plusieurs stratégies [26]. Pour les deux modèles, l'ensemble des opérations de la chimiothérapie a été modélisé de l'arrivée du patient jusqu'au traitement. Les patients ont été catégorisés selon la série d'activité à réaliser. Dans les modèles, leur arrivée est basée sur les données historiques. Pour les temps opératoires, les distributions utilisées sont uniformes et triangulaires. Par contre, pour les délais de traitements, une distribution empirique a été créée à l'aide d'opinion d'expert. Plus de 23 ressources humaines ont été modélisées. Une différence par rapport aux précédents modèles est la simulation à horizon fini d'une seule journée. C'est-à-dire qu'à la fin de la journée, il n'y a plus de patients dans le système. Une journée est répliquée 20 fois et 4 indicateurs de performances sont analysés, soit le délai d'attente pour le traitement, le délai total dans le système, le nombre de salles occupées durant la période achalandée, le nombre de traitements effectués durant la période achalandée. Avec le premier modèle, l'objectif était de tester le rapprochement physique des laboratoires d'analyse au quatrième étage avec le centre de traitement ambulatoire situé au premier étage. L'impact de ce

changement sur le flux de patients fut analysé. Toujours avec le premier modèle, différentes politiques de rendez-vous de patients ont été testées suite au constat de la capacité disponible en matinée. Ceci a permis de proposer une politique permettant d'augmenter le nombre de patients traités par jour en ajustant les horaires de l'équipe. Un deuxième modèle a été développé pour évaluer le transfert des opérations dans un nouveau building. La simulation a permis de démontrer qu'une salle d'attente du nouveau centre n'a pas suffisamment de capacité pour supporter le flux de patients.

Ces modèles illustrent bien la pertinence d'utiliser la simulation à évènement discret. Il n'existe pas une seule façon de modéliser les processus. La simulation à évènement discret reste un art et chaque modèle diffère dans la manière de générer les données d'entrée. Lorsque possible, les données historiques sont préférables, mais pour des organisations qui ne sont pas encore suffisamment informatisées, il est difficile de les obtenir. Dès lors, l'utilisation des lois de distribution constitue une bonne alternative. La loi de Poisson ou la loi Exponentielle sont très utilisées pour générer les données d'entrée des modèles. Par contre, au niveau des temps opératoires, le choix est vaste et le but reste de s'approcher le plus possible des opinions des experts. Le nombre de traitements se génère bien par des distributions empiriques pour considérer d'autres facteurs comme la catégorie de cancer. Souvent, une analyse de sensibilité est effectuée sur les différents types de données afin de cerner l'impact de ces hypothèses sur les résultats. Par la suite, il existe diverses façons de valider les modèles de simulation, soit par une validation croisée, par une validation à l'aide de l'animation ou encore par des comparaisons avec des données réelles. Au niveau des analyses, il est important de ne pas négliger la période de réchauffement. Le nombre de réplications dépend des processus modélisés mais trente réplications est largement suffisant.

Au lieu de cibler une partie du processus, notre objectif est de modéliser tout le flux de patients, de la consultation au dernier traitement pour la radiothérapie. Les frontières de modélisation sont extrêmement larges. Aussi, à travers cette recherche, la standardisation des tâches des médecins est évaluée par la simulation constituant une nouveauté par rapport aux autres modèles.

## CHAPITRE 2 MODÉLISATION DU DÉPARTEMENT DE RADIO-ONCOLOGIE

Ce chapitre porte sur la modélisation d'un département de radio-oncologie. Le logiciel utilisé pour ce faire est *Arena* de Rockwell Automation pour réaliser un modèle de simulation à évènement discret. En premier lieu, les opérations standards d'un département de radio-oncologie sont présentées. Par la suite, l'approche de modélisation, basée sur un département particulier, est abordée et certains principes sont émis. Puis, l'approche, prise pour inclure les médecins et les spécialistes dans le modèle, est explicitée.

### 2.1 Description des opérations encadrées par la norme

Le processus encadré par la norme provinciale débute après l'attribution du rendez-vous de consultation aux patients désireux de se faire traiter par le département. Il s'étend sur quatre phases soient la consultation, la planification, le prétraitement et le traitement, illustrées dans la figure suivante.

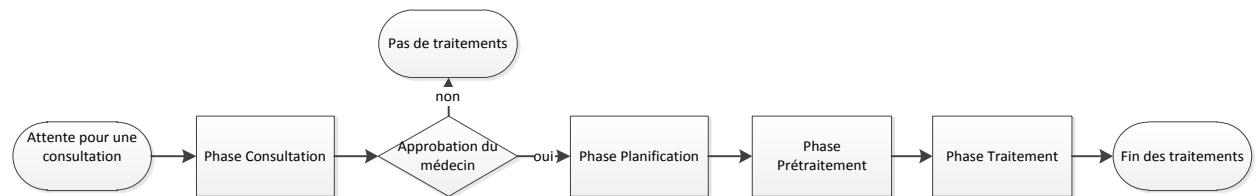


Figure 2-1: Les quatre principales phases de traitement dans le département

Dans la phase de consultation, le patient attend son rendez-vous de consultation. Une fois celle-ci effectuée, le médecin décide de traiter ou non le patient. Dans le cas d'un refus, le patient quitte le service, sinon un plan de traitement initial sera établi par le médecin.

Le département offre deux types de traitements, la radiothérapie externe et la curiethérapie. La curiethérapie cible précisément la zone à traiter en introduisant des sources radioactives scellées proche de la tumeur cancéreuse. La radiothérapie externe utilise des accélérateurs linéaires pour émettre des rayonnements d'électrons pour éliminer les cellules cancéreuses [12]. Les prochaines phases sont détaillées seulement dans le cas des traitements par radiothérapie externe.

Dans la phase de planification, un rendez-vous est donné au patient pour une séance de scanner afin de diagnostiquer avec précision la zone à traiter. Quelques heures avant le rendez-vous, le

patient est dirigé dans une salle de moulage afin de développer un système de contention permettant d'immobiliser la région du corps à scanner. Cette tâche est réalisée par un technologue spécialisé. Le patient est par la suite scanné à l'aide d'une tomographie axiale calculée par ordinateur communément appelé CT-Scan. Les images résultantes sont ensuite analysées par le technologue afin de déterminer les organes et les zones sensibles à la radiation puis sont envoyées au médecin en vue d'ajuster le plan de traitement si nécessaire. À la fin du scanner, le calendrier des traitements est fourni au patient en tenant compte de sa priorité. Ce calendrier indique les jours et la période de la journée où le patient reçoit un traitement. Ce dernier tombe alors en mode d'attente de son premier traitement. Le médecin finalisera, entre-temps, le traitement et transférera les informations à l'unité de dosimétrie pour préparer le traitement qui constituera la phase de Prétraitement.

Ce processus est complexe et nécessite plusieurs validations. Le dosimétriste, dépendamment de la complexité du cancer, choisit de préparer le traitement soit par un IMRT ou par une dosimétrie 3D. Une première validation est ensuite effectuée par un collègue, suivi d'une deuxième cette fois-ci par le médecin. Si ce dernier est insatisfait, le dosimétriste recommence la préparation du traitement. Le dossier est par la suite finalisé par un physicien et le patient est contacté pour confirmer le calendrier.

La phase Traitement coïncide avec l'arrivée du patient pour recevoir ses traitements par un accélérateur linéaire. Le premier traitement est une simulation pour calibrer l'accélérateur linéaire. En effet, des calculs de projection de hautes précisions pour minimiser l'impact des rayonnements sur les tissus sains sont effectués. Au cours des traitements, le médecin rencontre régulièrement le patient pour évaluer son état. Après le dernier traitement, le patient est déchargé.

## 2.2 Modélisation du département de radio-oncologie de Laval

Le modèle est basé sur le fonctionnement du département de radio-oncologie à Laval. Dans la première sous-section, la frontière du modèle sera présentée. Le choix de l'utilisation d'un modèle à événement discret impose des contraintes de modélisations, la plus importante étant l'attribution des rendez-vous, présentée dans la deuxième sous-section. La troisième sous-section présentera quelques définitions de base de la simulation afin de faciliter la compréhension des lecteurs. La dernière sous-section explique l'approche pour créer les plages horaires, nécessaires pour la gestion des rendez-vous des machines et le calendrier des médecins.

## 2.2.1 Frontière du modèle

L'efficacité du département de radio-oncologie est cadrée par la norme provinciale et la grille de classification qui interviennent dans le processus de traitement d'un patient du moment de la consultation du patient jusqu'à l'administration de son premier traitement. Dès lors, ces deux limites constituent la frontière du modèle et les opérations contenues entre ces deux limites ont été modélisées dans le cadre de cette recherche.

Ainsi, le modèle débute par l'attente du patient pour la consultation et s'achève après le traitement final de celui-ci. La prise en compte dans le modèle des traitements successifs du patient, sans se limiter au premier, a pour but d'évaluer différentes stratégies de gestion des plages horaires des accélérateurs linéaires. Toutes les opérations après le dernier traitement sont exclues car elles ne sont pas visées par la norme.

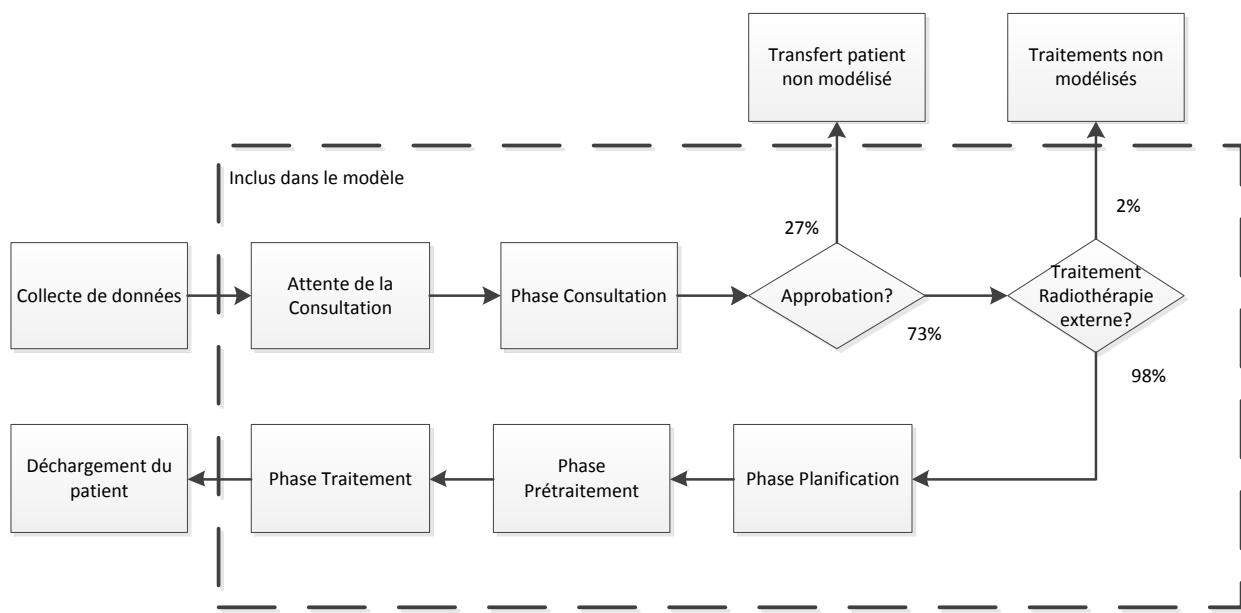


Figure 2-2: Frontière du modèle

Tous les traitements de curiethérapie et de radiothérapie externe combinée avec une chimiothérapie sont exclus car négligeables face aux traitements de la radiothérapie externe suite à une discussion avec l'administration du département. Les pourcentages présentés sur la figure pour l'approbation sont basés sur les données de l'hôpital Notre Dame de l'année 2009. Les pourcentages du traitement par radiothérapie externe sont une estimation réalisée par l'administration.

## **2.2.2 Politique de gestion des rendez-vous modélisée**

Dans un département de radio-oncologie, certains délais d'attente sont dus à la disponibilité des équipements, soit CT-Scan ou accélérateur linéaire. Cette attente découle de la stratégie optée pour distribuer les rendez-vous aux patients. L'optimisation d'horaire des machines fait partie des problèmes de recherche opérationnelle. Cette catégorie de problèmes se résout très bien par des modèles déterministes et d'ailleurs divers algorithmes existent, capable de minimiser l'attente pour un rendez-vous [15] [16] [17]. Ces problèmes sont difficilement résolus par un modèle à évènement discret. Les possibilités d'optimisation d'horaire des CT-Scan et des accélérateurs linéaires sont donc très limitées. Ainsi, pour ce modèle, la stratégie choisie pour distribuer les rendez-vous est la détermination de la première plage disponible satisfaisant toutes les conditions. Cette méthode est généralement celle employée par les commis horaires. Si à travers cette approche des délais importants sont générés, alors un modèle d'optimisation d'horaire doit être développé. L'objectif principal du modèle reste avant tout une analyse globale de la capacité du département.

## **2.2.3 Quelques définitions sur la modélisation**

Le logiciel Arena utilise le langage SIMAN, ayant son propre vocabulaire de modélisation [18]. Pour les prochaines sections, il n'est pas nécessaire de connaître ce langage. Néanmoins, les deux prochaines définitions aident à mieux saisir le principe de modélisation.

Les entités, comme les patients, sont des objets dynamiques dans la simulation. Ils affectent et sont affectés par d'autres entités. Leur circulation à travers le système provoque un changement dans l'état du système.

Pour différencier les entités, des caractéristiques uniques leurs sont données à l'aide d'attributs. Ces derniers correspondent à des valeurs spécifiques à des entités individuelles comme le type de cancer. Toutes les entités ont le même ensemble d'attributs mais avec des valeurs différentes.

## **2.2.4 Approche pour la création des plages horaires**

Les médecins, les CT-Scans et les accélérateurs linéaires sont des ressources dans le modèle. Les ressources sont des objets utilisés pour créer des contraintes au niveau de la circulation des entités dans le système. Les contraintes peuvent être la présence d'un spécialiste pour effectuer une

action ou les plages horaires d'un équipement. La conséquence se traduit généralement par une file d'attente d'entités afin d'utiliser la ressource.

Ces trois ressources disposent chacune d'un calendrier pour fonctionner. Il s'agit d'une décomposition de la journée en différentes plages de même durée. Par exemple, un accélérateur linéaire possède 30 plages d'une durée de 20 min par jour. Pour distinguer les plages, ces dernières sont numérotées de 1 à 30. Une fois qu'on assigne une plage à un patient donné, ce dernier attend son rendez-vous. Pour incrémenter les différentes plages de l'accélérateur linéaire au cours de la journée, une variable discrète est utilisée pour afficher la plage actuelle. Ainsi, le patient ayant son rendez-vous durant cette plage est traité. Au bout de 20 min, la variable discrète s'incrémente pour afficher la prochaine plage. Ce principe est identique pour les CT-Scan. Seuls le nombre de plages et leur durée changent.

Pour les médecins, le but est de développer un calendrier dynamique afin de déterminer la prochaine activité à réaliser. Ces activités sont codées par des valeurs numériques de 1 à 7. Au cours de la journée, une variable discrète indique au médecin l'activité à réaliser. Ainsi, un changement de la valeur de la variable discrète indique un changement d'activité.

Ainsi, les variables discrètes permettent d'afficher les bonnes plages au cours de la simulation. Une logique est développée pour permettre d'incrémenter les variables discrètes en fonction de l'horloge d'Arena qui indique le temps dans la simulation. Le tableau suivant illustre le lien entre l'horloge et une variable discrète avec une période fixe de 45 min.

Tableau 2.1: Exemple du lien entre l'horloge d'Arena continue et un calendrier discret

<b>Horloge d'Arena</b>	<b>Numéro de plages</b>
7:30	1
8:15	2
9:00	3

Cependant, cette approche nécessite de bien choisir la granularité du temps pour construire les périodes. Par exemple, une granularité en minute permet d'apporter une forte flexibilité dans la construction des périodes mais ralentit considérablement le fonctionnement du modèle. Suite à une analyse des calendriers de toutes les ressources, les périodes sont un multiple de 15 minutes sauf pour les accélérateurs linéaires qui sont de 20 min. Le calendrier le plus contraignant est

celui des CT-Scan nécessitant la présence des technologues. Ce niveau de granularité permet de coordonner les emplois du temps des ressources humaines avec les plages horaires des machines. De plus, en établissant une unique échelle de temps pour définir les périodes, le changement des numéros de plages de tous les calendriers est effectué par une seule logique. En effet, au fur à mesure que le temps de la simulation avance dans une journée, des incrémentations des numéros de plages sont effectuées toutes les 15 min. À la fin de la journée, les numéros de plages sont réinitialisés pour la nouvelle journée.

## 2.3 Modélisation des ressources humaines

Les médecins et les spécialistes sont des ressources humaines dans le modèle. Ils sont constamment soumis à des choix impactant directement la productivité du département. Modéliser ce choix est complexe car il dépend de facteurs non observables propres à chaque acteur. Néanmoins, il est possible de représenter dans une certaine mesure ces choix dynamiques, en intégrant des conditions pour commencer des tâches ou encore de les prioriser, présentés dans les prochaines sous-sections.

### 2.3.1 Les médecins

Un des objectifs du modèle est d'évaluer l'impact de la standardisation des calendriers des médecins sur les délais d'attente des patients. Le département de radio-oncologie possède 7 médecins. Le médecin chef a développé pour chaque médecin un calendrier hebdomadaire sur les différentes activités à réaliser, présentées dans le tableau suivant :

Tableau 2.2: Activités des médecins

Activité	Numéro	Code de couleurs
Consultation	1	Blue
Planification	2	Yellow
Dosimétrie	3	Pink
Implication CSSSL	4	Green
Administratif	5	Orange
Fin de journée	6	NA
Relance	7	Blue
Pause	7	NA

La consultation correspond à la première rencontre entre le médecin et le patient afin de déterminer si ce dernier est accepté dans le service.

Au sein de l'activité de planification, le médecin a le choix de réaliser deux tâches. Il peut soit valider l'image du scanner pour le patient palliatif, soit valider la simulation du traitement.

Au sein de l'activité de dosimétrie, le médecin a le choix de réaliser trois tâches. Il peut soit encore valider l'image du scanner pour le patient palliatif, soit valider le contour des images pour les patients curatifs ou soit vérifier la dosimétrie.

Les activités Implication CSSSL et Administratif sont des activités non reliées aux opérations de la radio-oncologie. Durant ces deux activités, les médecins ne traitent aucun patient. Cependant, elles sont représentées pour analyser la charge de travail des médecins. L'activité Implication CSSSL est autorisée à condition que tous les contours d'images soient effectués.

L'activité Relance correspond à une rencontre de suivi avec un patient ayant débuté son traitement. Cette activité est simplifiée dans le modèle. En effet, la modélisation est complexe car il faut s'assurer que ces rencontres ne coïncident pas avec les traitements du patient. Après une rencontre avec le médecin chef, il a été convenu que ces rencontres ne sont pas critiques et sont représentées comme une pause dans le modèle. Ainsi, durant cette tâche, le médecin ne traite aucun patient. Cette simplification n'a pas d'impact au niveau de l'analyse de la charge de travail du médecin. Aussi, une pause est incluse dans le modèle entre midi et 13hr.

L'activité fin de journée signale que les médecins ont fini leur quart de travail. Pour une journée donnée, le quart débute à 8h30 et se termine à 17h30. Les médecins doivent achever leurs dernières tâches avant de quitter.

La figure suivante présente les différentes files d'attente selon les activités.

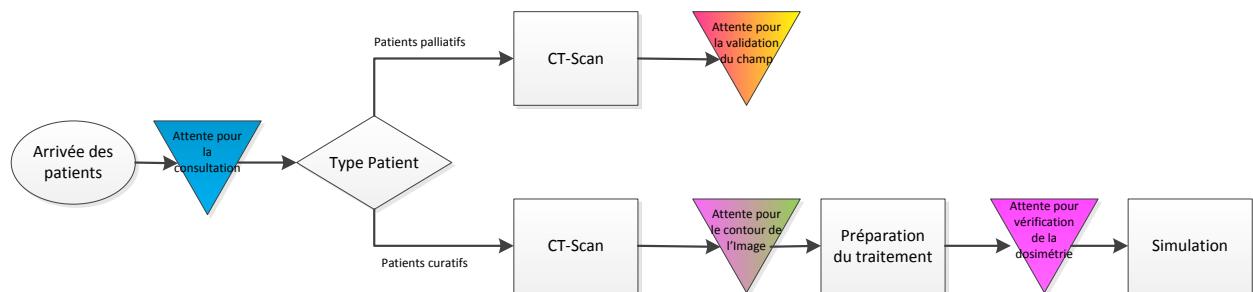


Figure 2-3: Files d'attentes générées par les activités des médecins

La distribution de ces activités par médecin est illustrée dans le tableau suivant sous forme de bloc. Un bloc correspond à une demi-journée et le numéro d'activité est inscrit à l'intérieur. Le détail est présenté dans l'annexe 2.

Tableau 2.3: Synthèses des calendriers des médecins modélisés

	Lundi		Mardi		Mercredi		Jeudi		Vendredi	
	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
Médecin A	1	1	2	2	1	3	1	4	1	3
Médecin B	3	1	2	2	3	1	1	1	3	4
Médecin C	1	3	1	1	2	2	1	3	4	1
Médecin D	4	1	1	3	1	1	2	2	1	3
Médecin E	1	3	1	1	4	3	1	1	2	2
Médecin F	3	4	1	1	3	1	2	2	3	1
Médecin G	2	2	3	4	5	5	3	1	1	1

Les activités suivent une séquence déterminée afin de minimiser l'impact de l'indisponibilité du médecin sur la préparation du traitement. Illustrons ceci par un exemple. Le médecin A réalise une consultation le lundi pour un patient donné dans la plage bleue. Le mardi, le patient effectue le scanner sous réserve de la disponibilité d'un CT-Scan dans la plage jaune. Mercredi, le médecin réalise le contour de l'image dans la plage rose. Le jeudi et vendredi matin, la dosimétrie prépare le traitement. Le vendredi après-midi, le médecin valide le traitement dans la plage rose. Le lundi suivant, le dossier du patient est finalisé. Ainsi, en une semaine, la préparation du traitement est effectuée. Cette séquence est identique mais décalée par médecin pour couvrir toute la semaine. Le but est de pouvoir garantir aux patients qu'à partir de la semaine suivante, il est possible de les traiter. Ce scénario est idéal et repose sur un délai moyen des opérations. Une variabilité importante peut générer des retards. Par exemple, cette séquence est interrompue si le CT-Scan n'a pas de plages disponibles. Le but de simuler ces calendriers est de valider leur robustesse face à la variabilité des opérations.

Étant donnée la diversité des activités, les médecins sont modélisés comme des agents, basé sur l'approche « agent-based model » [19]. Cette approche permet de complexifier les prises de décisions que doit prendre les médecins sur les tâches à effectuer. Au début de la simulation, les médecins sont générés. Par la suite, ils accèdent à une logique de décision pour déterminer la tâche à exécuter selon l'activité. Cependant, pour certaines activités, les médecins ont le choix de

réaliser plusieurs tâches. Dans ce cas, une priorisation des tâches est effectuée en mettant l'emphasis sur les tâches traitant les patients palliatifs.

Tableau 2.4: Priorisation des tâches selon l'activité

Activité	Tâche 1	Tâche 2	Tâche 3
Planification	Validation du champ pour les patients palliatifs	Validation de la simulation (simplifiée dans le modèle)	
Dosimétrie	Validation du champ pour les patients palliatifs	Contour de l'image pour les patients curatifs	Vérification de la dosimétrie
Implication	Contour de l'image pour les patients curatifs	Implication CSSSL	

La présence physique du patient ou la présence de son dossier dans la file d'attente est nécessaire pour réaliser la tâche. Pour une tâche donnée si aucun patient ou son dossier n'est présent dans la file d'attente alors le médecin passe à la tâche suivante. Si pour toutes les tâches d'une activité donnée, aucun patient ou dossier n'est présent, alors le médecin attend un délai de deux minutes puis interroge une nouvelle fois la logique de décision. Ainsi, le choix de la tâche à exécuter par un médecin est dynamique et dépend de la présence physique d'un patient ou de son dossier dans la file d'attente. La figure suivante présente la modélisation des tâches pour l'activité planification.

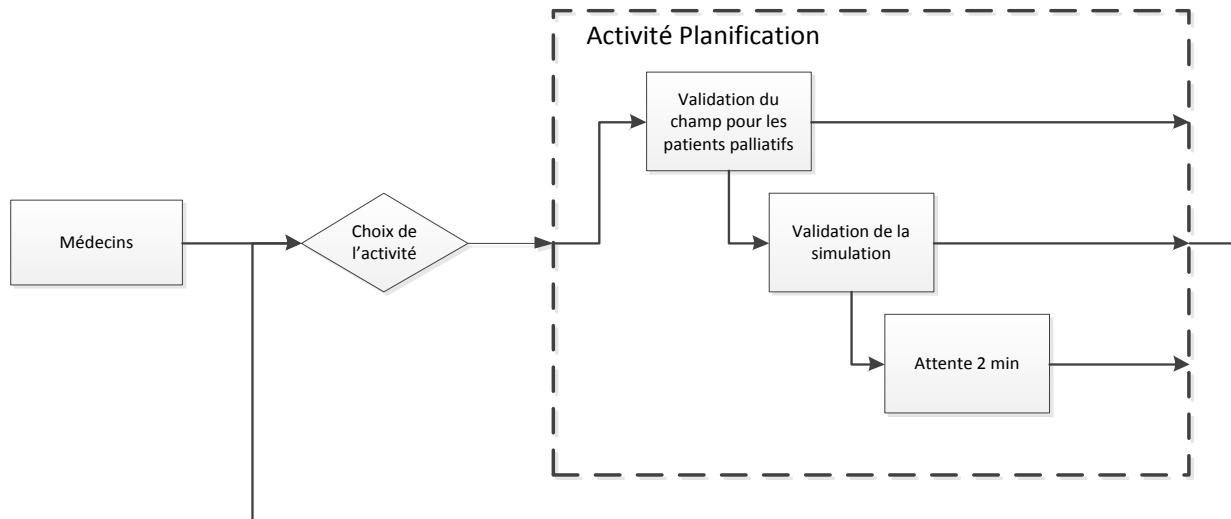


Figure 2-4 : La logique pour l'activité Planification implantée dans le modèle

La logique de décision est représentée par une variable discrète à trois dimensions indiquant au médecin l'activité à accomplir. La première dimension précise le médecin.

Tableau 2.5: Domaine de définition de la première dimension de la variable indiquant au médecin l'activité à accomplir

Médecin	Numéro
Médecin A	1
Médecin B	2
Médecin C	3
Médecin D	4
Médecin E	5
Médecin F	6
Médecin G	7

La deuxième dimension indique le numéro de plage actuelle pour une journée donnée qui est divisée par des périodes fixes de 15 min. Au total, une journée est composée de 40 périodes. Le tableau suivant présente l'ensemble des plages :

Tableau 2.6: Domaine de définition de la deuxième dimension de la variable indiquant au médecin l'activité à accomplir

Plage	Période	Plage	Période	Plage	Période	Plage	Période
7h30-7h45	1	10h00-10h15	11	12h30-12h45	21	15h00-15h15	31
7h45-8h00	2	10h15-10h30	12	12h45-13h00	22	15h15-15h30	32
8h00-8h15	3	10h30-10h45	13	13h00-13h15	23	15h30-15h45	33
8h15-8h30	4	10h45-11h00	14	13h15-13h30	24	15h45-16h00	34
8h30-8h45	5	11h00-11h15	15	13h30-13h45	25	16h00-16h15	35
8h45-9h00	6	11h15-11h30	16	13h45-14h00	26	16h15-16h30	36
9h00-9h15	7	11h30-11h45	17	14h00-14h15	27	16h30-16h45	37
9h15-9h30	8	11h45-12h00	18	14h15-14h30	28	16h45-17h00	38
9h30-9h45	9	12h00-12h15	19	14h30-14h45	29	17h00-17h15	39
9h45-10h00	10	12h15-12h30	20	14h45-15h00	30	17h15-17h30	40

Par, exemple, si dans le modèle, l'horloge de la simulation est 11h07, le numéro de période correspondant est 15.

La troisième dimension précise la journée actuelle de la semaine par un nombre.

Tableau 2.7: Domaine de définition de la troisième dimension de la variable indiquant la journée actuelle

<b>Jour</b>	<b>Numéro de journée</b>
Lundi	1
Mardi	2
Mercredi	3
Jeudi	4
Vendredi	5

Selon les calendriers, une activité est associée pour chaque combinaison de ces trois dimensions. Le tableau suivant illustre le codage de l'activité pour le médecin A. Par exemple, il réalise l'activité consultation (Code 1) de 8h30 à 8h45 le lundi.

Tableau 2.8: Codage des activités du médecin A à l'aide de la variable indiquant au médecin l'activité à accomplir

<b>Plage</b>	<b>Lundi (1)</b>	<b>Mardi (2)</b>	<b>Mercredi (3)</b>	<b>Jeudi (4)</b>	<b>Vendredi (5)</b>
7h30-7h45 (1)	6	6	6	6	6
7h45-8h00 (2)	6	6	6	6	6
8h00-8h15 (3)	6	6	6	6	6
8h15-8h30 (4)	6	6	6	6	6
8h30-8h45 (5)	1	2	1	1	7
8h45-9h00 (6)	1	2	1	1	7
9h00-9h15 (7)	1	2	1	1	7
9h15-9h30 (8)	1	2	1	1	7
9h30-9h45 (9)	1	2	1	1	7
9h45-10h00 (10)	1	2	1	1	7
10h00-10h15 (11)	1	2	1	1	7
10h15-10h30 (12)	1	2	1	1	7
10h30-10h45 (13)	1	2	1	1	7
10h45-11h00 (14)	1	2	1	1	7
11h00-11h15 (15)	1	2	1	1	7
11h15-11h30 (16)	1	2	1	1	7
11h30-11h45 (17)	1	2	1	1	7
11h45-12h00 (18)	1	2	1	1	7
12h00-12h15 (19)	7	7	7	7	7
12h15-12h30 (20)	7	7	7	7	7
12h30-12h45 (21)	7	7	7	7	7
12h45-13h00 (22)	7	7	7	7	7

Ainsi, lorsqu'un médecin arrive au choix de l'activité, cette dernière est déterminée par la valeur contenue dans la variable à trois dimensions.

### **2.3.2 Les spécialistes**

L'objectif recherché n'est pas de modéliser avec exactitude les interactions entre les spécialistes et les patients mais plutôt de déterminer les tâches susceptibles de constituer un goulot si ces dernières ne sont pas réalisées rapidement. Dans le futur département, les spécialistes sont les suivants :

- Technologues
- Physiciens
- Dosimétristes
- Infirmières
- Agent Administratif
- Assistants au soin de santé

Représenter les tâches de tous ces spécialistes risque de complexifier le modèle. Selon l'administration, l'agent administratif et les assistants au soin de santé et les infirmières ont un faible impact sur le processus modélisé et peuvent être exclus du modèle. Pour les spécialistes modélisés, une rencontre s'est déroulée avec les coordonnateurs de chaque spécialité, pour comprendre les tâches importantes pour l'analyse de capacité. Certains spécialistes comme les technologues et les dosimétristes réalisent des tâches identiques compliquant la modélisation. Pour simplifier les conflits de responsabilités, les tâches ont été décomposées de manière à bien séparer l'intervention de chaque spécialité. Une tâche est réalisée seulement par un type de spécialiste. Lorsqu'il n'est pas possible de décomposer une tâche, le spécialiste assigné est celui ayant la plus grande probabilité de l'effectuer. Par exemple, si une tâche est réalisée à 80% du temps par le technologue et 20% du temps par le dosimétriste, la tâche est assignée au technologue.

Pour certains spécialistes, plusieurs tâches sont à compléter et à l'instar des médecins, des règles de priorité sont instaurées. Elles ont été définies conjointement avec les coordonnateurs de chaque spécialité. Si plusieurs tâches ont la même priorité dans le modèle, le spécialiste choisit arbitrairement l'une d'entre elles. En plus des règles de priorité, deux règles sont instaurées pour

la prise des pauses. Si le spécialiste réalise une tâche en présence physique du patient, alors il doit la terminer avant de pouvoir prendre sa pause pour libérer le patient. Si la tâche est une tâche administrative, alors il peut interrompre la tâche et la reprendre après la pause.

Chaque CT-Scan possède son propre groupe composé de deux technologues. Leurs emplois du temps coïncident avec les calendriers des CT-Scans. Le CT-Scan1 fonctionne tous les jours et le CT-Scan2 fonctionne seulement les mardis et jeudis. Ainsi, le groupe technologique du CT-Scan2 travaille seulement ces deux journées.

Avec le modèle, le but est de déterminer le nombre de ressources minimum nécessaire pour garantir un délai d'attente satisfaisant la norme. Pour cela, l'attribution d'un dosimétriste pour préparer le traitement suit une liste qui classe les dosimétristes selon leur disponibilité. Ainsi, le choix passe toujours par le premier dosimétriste de cette liste. Si ce dernier n'est pas disponible, alors, la deuxième personne est sollicitée. Cette approche maximise toujours la charge de travail des dosimétristes en priorité sur la liste. À partir de l'analyse des délais d'attente au niveau de la dosimétrie, le nombre minimum de dosimétristes est déterminé. Il existe deux emplois de temps pour couvrir l'ensemble de la journée suivi chacun par 2 dosimétristes.

Au total, le département possède quatre accélérateurs linéaires. Chaque accélérateur possède un groupe de 4 technologues. En tout temps, 2 technologues parmi les 4 sont en charge d'utiliser la machine pendant que les 2 autres collègues finalisent les dossiers des patients. Dans le modèle, la capacité totale des 4 technologues est soustraite de la charge de travail calculée pour l'utilisation des machines. Ainsi, seulement 2 technologues au lieu de 4 par accélérateur linéaire sont modélisés pour déterminer la charge de travail nécessaire au niveau des tâches connexes.

Le tableau suivant présente les spécialistes dans le modèle :

Tableau 2.9: Type de spécialistes modélisés

Spécialiste	Quantité
Technologue au moulage	1
Technologue pour CT-Scan1	2
Technologue pour CT-Scan2	2
Dosimétristes	4
Physicien	1
Technologue pour accélérateur linéaire 1	2
Technologue pour accélérateur linéaire 2	2
Technologue pour accélérateur linéaire 3	2
Technologue pour accélérateur linéaire 4	2

Les emplois du temps déterminés par les coordonnateurs de chaque spécialité, sont présentés dans l'annexe 3.

## 2.4 Modélisation des opérations

Suite à leur génération, les patients passent à travers différentes files d'attentes pour rencontrer le médecin et les spécialistes. Pour toutes les opérations, leur position dans les files est calculée à partir du délai maximum permis par la grille de classification. Le délai est ajouté au jour d'arrivée du patient pour déterminer la limite à ne pas dépasser. Ainsi, plus le jour limite est proche, plus le patient se positionne au début de la file d'attente. Par cette approche, la grille de classification est prise en considération. Ainsi, deux échéances sont calculées, celle pour avoir une consultation et celle pour avoir le premier traitement.

Les délais des opérations sont déterminés de manière qualitative par des discussions avec les spécialistes. Les distributions choisies pour représenter les opérations sont la distribution constante et la distribution triangulaire avec un minimum, moyenne, et maximum. Ces distributions sont simples à utiliser pour déterminer qualitativement les temps. Les prochaines sous-sections présentent les contraintes considérées dans le modèle dans les différentes opérations.

### 2.4.1 Affectation des patients aux médecins pour la consultation

Chaque médecin est spécialisé et capable de traiter un certain type de cancer. Dès lors, une logique d'affectation des patients aux médecins est intégrée, présentée par le tableau suivant :

Tableau 2.10: Matrice des possibilités d'affectation des patients aux médecins

Type de Cancer	Med A	Med B	Med C	Med D	Med E	Med F	Med G
Digestif			X	X		X	
Peau	X			X			
Urathérial	X	X			X	X	
S.N.C					X		X
Pulmonaire			X	X	X		X
Lymphome	X			X			
ORL	X	X	X				
Sein	X	X	X	X	X		X
Gynécologie		X				X	
Métastase	X	X	X	X	X	X	X

Les croix indiquent les types de cancer que peuvent traiter les médecins.

Une fois généré, les patients attendent de voir un médecin pour la consultation. Lors de l'activité consultation, le médecin sélectionne le premier patient de la file d'attente appartenant à sa spécialité. Tous les médecins sont capables de traiter les patients palliatifs pour limiter leur attente. Une fois, un patient assigné à un médecin, ce dernier est le seul apte à réaliser les autres tâches en lien avec ce patient. Pour cela, un attribut du patient identifie le médecin responsable. Chaque médecin possède un quota par jour pour le nombre de consultations. Les quotas ont été communiqués par le médecin chef.

Tableau 2.11: Quotas du nombre de consultations par jour par médecin

	Activités	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi
Med A	Quotas curatif	3		3		
	Quotas palliatif	1			2	
Med B	Quotas curatif	3		2	1	
	Quotas palliatif				2	
Med C	Quotas curatif		3		1	2
	Quotas palliatif		2		1	
Med D	Quotas curatif	3		1		2
	Quotas palliatif		2	1		
Med E	Quotas curatif	3			3	
	Quotas palliatif		2		1	
Med F	Quotas curatif		3			3
	Quotas palliatif		2			
Med G	Quotas curatif				2	2
	Quotas palliatif				1	1

Une variable à trois dimensions enregistre le quota à respecter par jour. La première dimension permet de différencier le quota pour le patient curatif avec le chiffre 1 et le quota du patient palliatif avec le chiffre 2. La deuxième dimension spécifie le médecin à qui le quota s'applique. La troisième dimension détermine à quelle journée, le quota s'applique. Par exemple, la variable ayant pour triplet (1, 2, 3) signifie le quota des rencontres curatives du médecin B pour le mercredi et a pour valeur 2 basée sur le tableau 2.15. Afin de respecter cette contrainte, les médecins interrogent une logique de décision avant de consulter un nouveau patient. Cette dernière considère 4 situations :

- Situation 1 : Les deux quotas ne sont pas atteints, le médecin choisit le premier patient de la file d'attente selon la matrice d'affectation.
- Situation 2 : Seul le quota des rencontres curatives est atteint, le médecin choisit le premier patient palliatif de la file
- Situation 3 : Seul le quota des rencontres palliatives est atteint, le médecin choisit le premier patient curatif de la file selon la matrice d'affectation
- Situation 4 : Les deux quotas sont atteints, le médecin ne fait plus de consultation.

Un compteur par médecin indique le nombre de consultations effectuées pour la logique de décision. À chaque début de journée, les compteurs sont réinitialisés à 0.

#### **2.4.2 Attribution des rendez-vous pour les CT-Scans**

Après la phase de consultation, les patients reçoivent un rendez-vous pour un scanner. Ce rendez-vous se traduit par une réservation d'une plage d'un CT-Scan. Le département dispose de deux CT-Scans. Le CT-Scan1 possède 10 plages par jour. Le CT-Scan2 est disponible seulement le mardi et le jeudi et possède 6 plages par jour. Les plages assignées aux patients ont un délai supérieur à celles des opérations de scan afin de bien s'assurer que le changement de patient s'effectue correctement car il n'y a pas de tolérance de retard dans le modèle. Un patient qui manque son rendez-vous n'est pas traité. Grâce à la précaution effectuée, cette situation ne se matérialise pas.

L'assignation des plages est différente selon que le patient soit curatif ou palliatif.

Pour assigner une plage au patient curatif, deux conditions doivent être respectées :

- L'assignation peut se faire juste sur le CT-Scan1
- La plage assignée doit coïncider avec l'activité Planification du médecin.

En effet, durant cette activité, le médecin est proche de la salle des scanners et peut superviser la tâche. Cette activité se déroule une journée complète par semaine. Le tableau suivant présente la journée de cette activité pour chaque médecin.

Tableau 2.12: Journées possible du CT-Scan selon le médecin pour les patients curatifs

	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi
Médecin A		X			
Médecin B		X			
Médecin C			X		
Médecin D				X	
Médecin E					X
Médecin F				X	
Médecin G	X				

Ainsi, un patient consulté par le médecin A ne peut réaliser le CT-Scan que les mardis.

Pour assigner une plage au patient palliatif, deux possibilités existent. Si une plage d'un CT-Scan est disponible le jour même de la consultation, alors cette dernière lui est attribuée. Sinon, pour assigner une plage au patient palliatif, deux conditions doivent être respectées :

- L'assignation peut se faire soit avec le CT-Scan1 ou le CT-Scan2. Si deux plages des deux machines sont à la même période, alors le CT-Scan2 est priorisé, étant donné que le patient curatif peut seulement utiliser le CT-Scan1.
- La plage assignée doit coïncider avec l'activité planification ou dosimétrie du médecin.

En effet, placer des rendez-vous seulement durant la plage planification génère des délais d'attente supérieure au délai maximum permis par la grille de classification.

Tableau 2.13: Journées possible du CT-Scan selon le médecin pour les patients palliatifs

	Lundi		Mardi		Mercredi		Jeudi		Vendredi	
	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
Médecin A			X	X		X				X
Médecin B	X		X	X	X				X	
Médecin C		X			X	X		X		
Médecin D				X			X	X		X
Médecin E		X				X			X	X
Médecin F	X				X		X	X	X	
Médecin G	X	X	X				X			

Aussi bien pour les patients curatifs que les patients palliatifs, la logique de rendez-vous implantée cherche à distribuer la première plage disponible en respectant les conditions énoncées précédemment. Pour cela, une première approche explorée est la modélisation de toutes ces plages sous forme de variable binaire. Dans une année, il existe 3224 plages. Si une plage est affectée, alors sa valeur vaut 1, sinon 0. Une logique de recherche parcourt l'ensemble de ces variables et détermine la première variable ayant comme valeur 0. Cette approche fonctionne mais ralentit considérablement le modèle lors de son fonctionnement. Au lieu de raisonner sur l'ensemble de l'année, il est possible de définir l'ensemble des plages sur la semaine. Cette nouvelle définition réduit considérablement le nombre de plages à modéliser. En effet, nous passons de 3224 plages à seulement 62 plages. Définir l'ensemble des plages sur la semaine et non sur la journée prend en compte le fait que le CT-Scan 2 fonctionne seulement deux jours (Mardi et Jeudi) sur les cinq jours.

La deuxième approche est de représenter chaque plage comme une variable à trois dimensions. Pour faciliter la manipulation de ces variables, elles ont été codées comme des entités. La première dimension indique le jour où la plage est disponible.

La deuxième dimension indique le numéro de période associé à la plage. Chaque numéro de plage est défini par une période de temps fixe. Pour le CT-Scan 1, une plage dure 45 min et pour le CT-Scan 2, une plage dure 60 min. Le tableau suivant présente les numéros de plages par CT-Scan. Les plages des deux CT-Scan sont décalées.

Tableau 2.14: Domaine de définition des plages des CT-Scans

<b>Heure</b>	<b>Inter-valle</b>	<b>Numéro plage pour Scan1</b>	<b>Numéro Plage pour Scan2</b>	<b>Heure</b>	<b>Inter-valle</b>	<b>Numéro Plage pour Scan1</b>	<b>Numéro Plage pour Scan2</b>
7:30	0:15	0	0	12:30	0:15	0	0
7:45	0:15	0	0	12:45	0:15	0	0
8:00	0:15	0	0	13:00	0:15	6	0
8:15	0:15	1	0	13:15	0:15		0
8:30	0:15		0	13:30	0:15	7	4
8:45	0:15		0	13:45	0:15		
9:00	0:15	2	1	14:00	0:15		
9:15	0:15			14:15	0:15		
9:30	0:15			14:30	0:15	8	5
9:45	0:15	3	2	14:45	0:15		
10:00	0:15			15:00	0:15		
10:15	0:15			15:15	0:15	9	6
10:30	0:15	4	0	15:30	0:15		
10:45	0:15			15:45	0:15		
11:00	0:15			16:00	0:15	10	0
11:15	0:15	5	3	16:15	0:15		
11:30	0:15			16:30	0:15		
11:45	0:15			16:45	0:15	0	0
12:00	0:15	0	0	17:00	0:15	0	0
12:15	0:15	0		17:15	0:15	0	0

Les CT-scan sont utilisés par les technologues. Ainsi, les périodes indisponibles ayant comme valeur 0 dans le tableau sont causées par l'absence d'un technologue pour manipuler le CT-Scan.

La troisième dimension spécifie le CT-Scan. La valeur 1 correspond au CT-Scan1 et la valeur 2 correspond au CT-Scan2. La combinaison (jour, période, machine) s'assure que chaque plage est unique.

Ainsi, dès l'initialisation de la simulation, ces plages sont générées pour couvrir la première semaine et sont placées dans une file d'attente, ce qui est illustré par le schéma suivant :

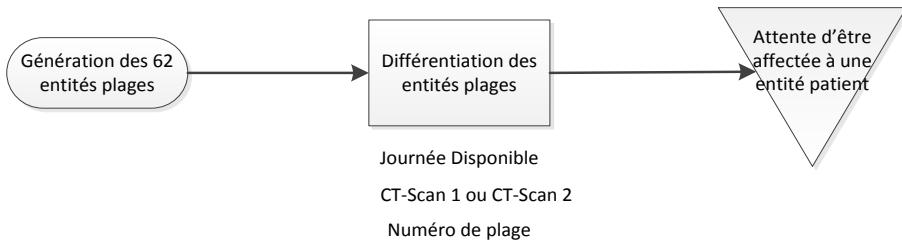


Figure 2-5: Logique pour représenter les plages des CT-Scans dans le modèle

Une logique est développée afin de placer dynamiquement en première position de la file, la première plage disponible. Cette logique assigne à chaque plage une position spécifique dans la file d'attente à l'aide d'une expression qui contient la valeur des trois dimensions :

$$\text{Position dans la file d'attente} = 26 * (\text{Jour}-1) + 2 * (\text{Période}-1) + (2-\text{Machine})$$

Ainsi, cette expression donne une valeur unique de position pour chaque plage dans la file d'attente.

Il existe deux situations où la position de la plage est recalculée, soit elle a été réservée, soit elle est arrivée à échéance. Dans les deux cas, sa prochaine disponibilité est la semaine suivante et sa position dans la file d'attente est recalculée. Cependant, pour garantir aux patients, le temps pour visiter la salle de moulage avant le scan, un délai minimum de 45 min pour le patient curatif et 1hr pour le patient palliatif existe entre le moment de la réservation et la plage réservée. Ce délai considère le développement du système de contention. Ainsi, lorsque ce délai est inférieur à 1hr ou 45 min, alors la disponibilité de la plage est automatiquement remise à la semaine suivante. Cette condition est toujours validée tout au long de la simulation.

En plaçant les plages dans une file d'attente, l'assignation d'un rendez-vous pour un patient donné devient simple. Il suffit de parcourir cette file d'attente et d'assigner la première plage respectant les conditions. Une logique de recherche a été implantée dans cette optique. Une fois, la plage sélectionnée, les informations sont envoyées au patient.

#### 2.4.3 Réalisation du scanner par les CT-Scan

Dans la salle de moulage, un seul technologue est attitré à cette tâche. Pour le CT-Scan, le choix du spécialiste dépend du CT-Scan utilisé. Le technologue réalise le scanner au patient puis réalise le contour de l'image. Dépendamment du type de patient, la suite des opérations diffère.

Pour le patient palliatif, si son scanner est effectué le même jour que la consultation, alors il n'est considéré que pendant la période du scanner, le médecin est disponible pour ajuster le plan de traitement et le technologue prépare le traitement. Par la suite, si un accélérateur linéaire est disponible, alors le patient peut commencer son traitement le même jour de son arrivée.

Si, le jour du scan diffère du jour de consultation pour les patients palliatifs et pour les patients curatifs, le contour de l'image est envoyé au médecin. Ce dernier priorise toujours les cas palliatifs. Pour ces derniers, une fois l'ajustement du traitement réalisé, le dossier est envoyé au technologue pour préparer le traitement. Pour les patients curatifs, le médecin transfère systématiquement le dossier à la dosimétrie. Pour le technologue, l'utilisation du CT-Scan est priorisé par rapport au contour de l'image et la préparation du traitement pour les palliatifs.

#### **2.4.4 Préparation du traitement au niveau de la dosimétrie**

Au niveau de la dosimétrie, la première tâche consiste à préparer le traitement par une dosimétrie 3D ou par une IMRT selon le type de cancer.

Tableau 2.15: Probabilité du type de dosimétrie selon le type de cancer

Type de Cancer	Dosimétrie 3D	IMRT
Digestif	90%	10%
Peau	100%	0%
Urathérial	10%	90%
S.N.C	0%	100%
Pulmonaire	100%	0%
Lymphome	100%	0%
ORL	2%	98%
Sein	100%	0%
Gynécologie	88%	12%
Métastase	100%	0%

Par la suite, le traitement est évalué par un collègue et ensuite par un médecin. Une probabilité d'erreur est assignée selon le type de cancer et le type de dosimétrie utilisé.

Tableau 2.16: Probabilité d'échec suite à la vérification d'un collègue dosimétriste

Type de Cancer	IMRT	Dosimétrie 3D
Digestif	50%	15%
Peau	0%	5%
Urathérial	15%	5%
S.N.C	15%	0%
Pulmonaire	0%	15%
Lymphome	0%	5%
ORL	50%	5%
Sein	0%	20%
Gynécologie	15%	5%
Métastase	0%	20%

Un échec après la vérification par le collègue conduit à un réajustement du traitement par le dosimétriste avant la vérification du médecin.

Tableau 2.17: Probabilité d'échec suite à la vérification du médecin

Type de Cancer	IMRT	Dosimétrie 3D
Digestif	20%	15%
Peau	0%	15%
Urathérial	5%	15%
S.N.C	10%	0%
Pulmonaire	0%	15%
Lymphome	0%	15%
ORL	20%	10%
Sein	0%	5%
Gynécologie	5%	15%
Métastase	0%	5%

S'il y a un échec après la vérification par le médecin, le dosimétriste recommence complètement le traitement. Le traitement est une nouvelle fois validé par un collègue et par le médecin. Par contre, le traitement n'est plus rejeté après la vérification du médecin.

Après l'approbation du médecin, le dosimétriste complète le dossier du patient. Ensuite, un collègue est en charge de vérifier les calculs des UM. Ceci complète les tâches au niveau de la dosimétrie. Pour éviter l'accumulation de dossiers au sein de l'unité, les dosimétristes réalisent en priorité les corrections de traitement et les validations pour leurs collègues avant de traiter un nouveau dossier.

## **2.4.5 Finalisation du dossier patient**

En parallèle avec la vérification des UM, un technologue des accélérateurs linéaires prépare le dossier pour l'utilisation des accélérateurs linéaires. Lorsque le dossier du technologue et le calcul des UM sont réalisés, le dossier est envoyé à un physicien. Ce dernier réalise une dernière vérification et finalise le dossier du patient. Ensuite, les dates de traitement sont données au patient.

## **2.4.6 Attribution des rendez-vous pour les accélérateurs linéaires**

Dans le futur processus, les dates de traitements sont en réalité communiquées aux patients après le scanner. Cependant, à ce stade, les dates possèdent une incertitude élevée car la dosimétrie n'a pas encore été effectuée. Un retard dans cette dernière implique des remaniements conséquents dans les rendez-vous des patients. Ainsi, l'administration souhaite connaître un délai minimum avant d'attribuer les dates de rendez-vous. Pour déterminer ce délai dans le modèle, l'assignation n'est pas effectuée après le scan mais une fois que le dossier du patient est prêt. Il s'agit de la dernière étape avant l'utilisation des accélérateurs linéaires. Cette approche permet d'analyser le temps écoulé entre la fin du scanner et la réservation de l'accélérateur.

Le département possède 4 accélérateurs linéaires. Chaque accélérateur a une capacité de 30 plages par jour. Un rendez-vous de patient se traduit par une réservation d'une de ces plages pendant le traitement du patient.

Un des objectifs du modèle est de déterminer le nombre de plages nécessaires à assigner exclusivement aux patients palliatifs. La logique d'attribution est différente selon que le patient soit curatif ou palliatif. Néanmoins, il faut s'assurer que la somme des plages ne dépasse pas la capacité maximum des accélérateurs linéaires. Au départ, 110 plages sont réservées pour les patients curatifs et 10 plages sont réservées pour les patients palliatifs par jour.

Pour un patient curatif, le modèle réserve une plage spécifique. La durée de réservation dépend du nombre de traitement à recevoir en raison d'un traitement par jour. Les traitements sont successifs et aucune interruption n'est autorisée. Une hypothèse est émise que le patient ne manque aucun traitement. Par exemple, si un patient doit recevoir 20 traitements, alors la plage est réservée pendant 21 jours en incluant aussi la simulation de traitement, considérée comme un jour de traitement. L'approche est similaire à l'assignation des CT-Scans. Chacune des 110

plages est représentée par une variable à trois dimensions codée comme une entité. La première dimension indique le jour où la plage est disponible.

La deuxième dimension indique le numéro de période associé à la plage. Chaque numéro de plage est défini par une période de temps fixe. Le tableau suivant présente les numéros de plage pour un accélérateur linéaire.

Tableau 2.18: Domaine de définition des plages des accélérateurs linéaires

<b>Heure</b>	<b>Intervalle</b>	<b>Plage</b>
7:30	0:20	1
7:50	0:20	2
8:10	0:20	3
8:30	0:20	4
8:50	0:20	5
9:10	0:20	6
9:30	0:20	7
9:50	0:20	8
10:10	0:20	9
10:30	0:20	10
10:50	0:20	11
11:10	0:20	12
11:30	0:20	13
11:50	0:20	14
12:10	0:20	15
12:30	0:20	16
12:50	0:20	17
13:10	0:20	18
13:30	0:20	19
13:50	0:20	20
14:10	0:20	21
14:30	0:20	22
14:50	0:20	23
15:10	0:20	24
15:30	0:20	25
15:50	0:20	26
16:10	0:20	27
16:30	0:20	28
16:50	0:20	29
17:10	0:20	30

La troisième dimension précise spécifie le numéro d'accélérateur linéaire. La valeur 1 correspond à l'accélérateur linéaire 1, la valeur 2 correspond à l'accélérateur linéaire 2, La valeur 3 correspond à l'accélérateur linéaire 3, la valeur 4 correspond à l'accélérateur linéaire 4.

La combinaison (jour, période, machine) s'assure que chaque plage est unique. Toutes ces variables sont générées au début de la simulation et sont classées dans une file d'attente.

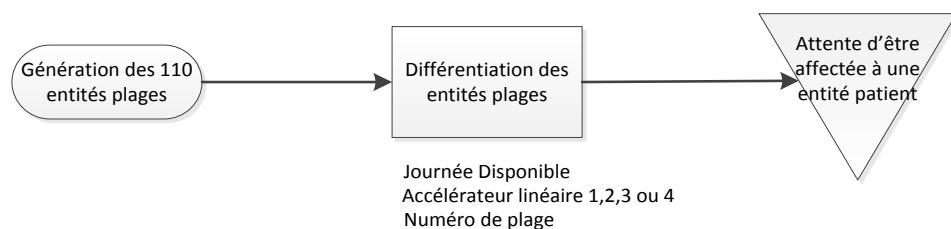


Figure 2-6: Logique pour représenter les plages des accélérateurs linéaires dans le modèle

Similairement pour la file d'attente des plages de CT-Scan, une logique est développée afin de placer dynamiquement en première position de la file, la première plage disponible à l'aide de l'expression contenant la valeur des trois dimensions :

$$\text{Position dans la file d'attente} = 128 * (\text{Jour}-1) + 4 * (\text{Période}-1) + \text{Machine}$$

Lorsqu'une plage est assignée à un patient donné, sa position dans la file d'attente est recalculée en fonction du nombre de traitements du patient. Par contre, si une plage n'est pas assignée avant qu'elle ne débute, alors sa prochaine disponibilité sera le jour suivant et sa position sera redéfinie en conséquence.

Pour le patient palliatif, le traitement n'est pas obligatoirement donné à une période fixe. Cette contrainte a pour effet d'augmenter les délais d'attente. Pour les plages restantes appartenant aux patients palliatifs, il n'est pas nécessaire de les distinguer par des dimensions. Par contre, il faut s'assurer qu'il existe au moins une plage disponible par jour de traitement pour un patient palliatif lorsque ce dernier débute ses traitements. Cependant, la simulation et le premier jour de traitement doivent être dans deux plages successives. Suite à une discussion avec le médecin chef, la simulation est incluse dans le premier traitement pour simplifier le modèle. Dans le modèle, la seule validation effectuée est si une plage est disponible pour un patient palliatif. Dans le cas négatif, le patient se trouve dans une file d'attente jusqu'à la libération d'une plage. Au début de chaque quart, une logique permet de rendre disponibles les plages des patients qui ont fini leur série de traitement.

## **CHAPITRE 3 COLLECTE DE DONNÉES SUR LES FLUX DE PATIENTS**

Suite à l'élaboration du modèle à partir d'un département de radio-oncologie, une analyse de l'arrivée des patients basée principalement sur les données de l'hôpital Notre Dame est présentée.

### **3.1 Modélisation de l'arrivée des patients**

Le modèle débute par l'arrivée des patients pour une séance de consultation. Il est nécessaire de connaître la demande de consultation hebdomadaire pour générer les patients dans la simulation. Pour pallier à ce manque d'information, une analyse de la demande de consultation est effectuée avec les données de l'hôpital de Notre-Dame pour l'année 2009 présentée dans la première sous-section. La deuxième et troisième sous-sections cherchent à représenter les données à travers des lois de distribution connues. Les deux dernières sous-sections valident et ajustent ces distributions.

#### **3.1.1 Collecte de données de l'hôpital Notre-Dame**

Au sein de ces données, trois types de patients sont identifiés, les patients curatifs avec une proportion de 70%, les patients palliatifs avec une proportion de 28% et les patients urgents avec une proportion de 2%. Les patients urgents sont ceux admis pour une séance de traitements en dehors des heures d'ouverture du département. Cette catégorie de patients n'est pas considérée dans le modèle. Le tableau suivant présente la proportion ajustée des patients curatifs et des patients palliatifs sans les patients urgents.

Tableau 3.1 : Proportion de demandes de consultation de patients curatifs et de patients palliatifs

Type de patients	Nombre de cas	Nombre de cas (%)
Patients curatifs	4911	73%
Patients palliatifs	1795	27%
Total	6706	100%

Les patients curatifs souffrent de différents types de cancer qui se différencient par leur localisation. Les patients palliatifs ont un type de cancer généralisé sur tout le corps, appelé métastase. Le tableau suivant détaille la proportion des patients curatifs selon le type de cancer. Les métastases correspondent aux patients palliatifs.

Tableau 3.2 : Proportion des types de cancer dans l'hôpital Notre Dame en 2009

Type de cancer	Nombre de cas	Nombre de cas en (%)
Métastase	1795	27%
Sein	1242	19%
Prostate	810	12%
O.R.L	645	10%
Poumon	629	9%
Digestif	424	6%
S.N.C	413	6%
Gynécologie	327	5%
Lymphome	221	3%
Peau	101	2%
Urinaire	71	1%
Sarcome	28	0%
Total	6706	100%

La figure suivante présente le flux de demandes de consultations journalières agrégées par mois et par type de cancer.

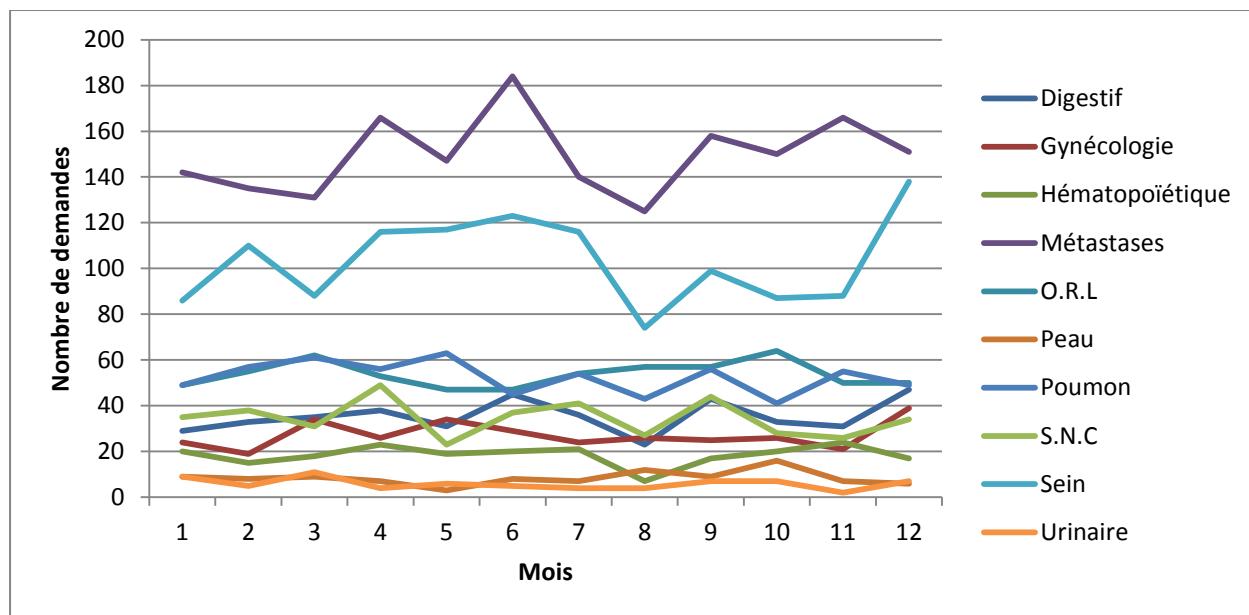


Figure 3-1 : Nombre de demandes de consultation par mois pour l'hôpital Notre Dame en 2009

Les données collectées indiquent le nombre de demandes de consultation par jour selon le type de cancer. En utilisant directement les données, toutes les demandes de consultations sont créées en début de chaque journée. Ceci n'est pas représentatif de la réalité et impacte la logique

d'affectation des patients aux médecins pour la consultation. Le modèle nécessite une création des patients tout au long de la journée.

### 3.1.2 Choix de la loi de distribution de l'arrivée des patients

Pour distribuer l'arrivée des patients au sein de la journée, une loi de distribution des données est déterminée à l'aide du logiciel « input analyzer » [18]. Ce dernier détermine au sein de différentes lois de distributions, celle la plus adaptée pour représenter les données. Le problème rencontré est que pour certains types de cancer, les données sont insuffisantes pour leur associer une loi. Par contre, en réalisant une agrégation de l'ensemble des demandes, il a été possible de déterminer une loi de distribution.

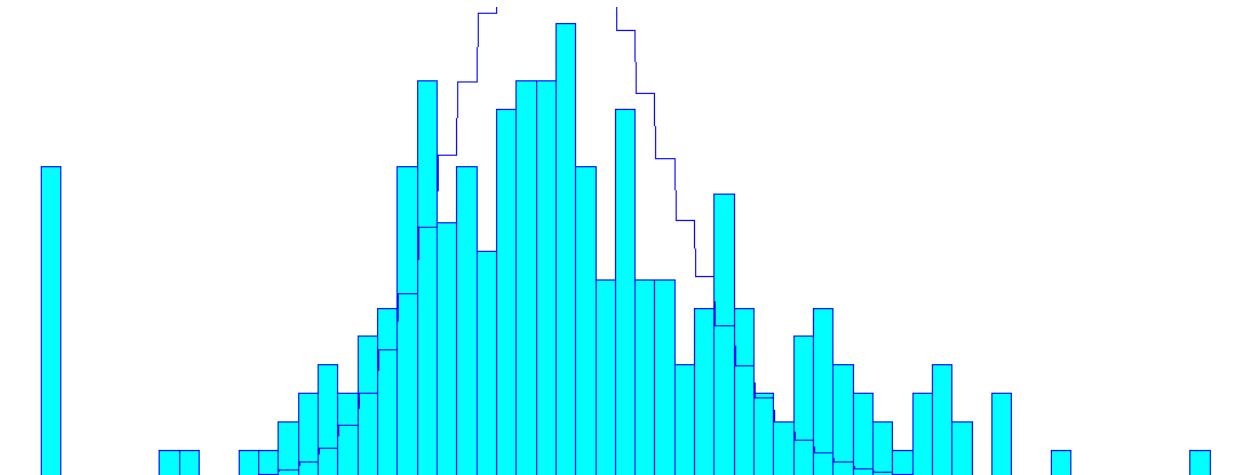


Figure 3-2: Résultat de Input Analyzer sur la distribution de la demande de consultation

La loi de Poisson est considérée comme la plus adaptée pour représenter les données. Un test d'hypothèse est effectué automatiquement par le logiciel pour valider la distribution.

```
Distribution Summary

Distribution: Poisson
Expression: POIS(25.8)
Square Error: 0.012033

Chi Square Test
Number of intervals = 16
Degrees of freedom = 14
Test Statistic = 181
Corresponding p-value < 0.005
```

Figure 3-3: Résultats du test d'hypothèse pour valider le choix de la loi de Poisson

Le P-value du test est inférieur à 5%. Ceci permet de ne pas rejeter l'hypothèse que la loi de Poisson peut être utilisée. Les données suivent une loi de Poisson de paramètre  $\lambda$  égale à 25.8. Cependant, l'hôpital Notre Dame possède douze accélérateurs linéaires, comparativement à quatre dans le nouveau département de radio-oncologie, et peuvent donc traiter plus de patients. Pour ajuster la demande à la capacité du nouveau département, nous posons comme hypothèse qu'une relation linéaire existe entre la demande de consultation et le nombre d'accélérateurs linéaires. En assumant ceci, le paramètre de loi de Poisson, ainsi trouvé, est divisé par trois pour ajuster à la capacité du département. Cette division est possible grâce à la propriété d'additivité de la loi de Poisson [20]. En effet, si  $X$  et  $Y$  sont deux variables aléatoires indépendantes qui suivent des lois de Poisson de paramètres  $\lambda$  et  $\mu$ , alors la somme  $X+Y$  est une variable aléatoire qui suit la loi de Poisson de paramètre  $(\lambda + \mu)$ .

Ainsi, le paramètre  $\lambda$  vaut 8.6 dans le nouveau département. En émettant l'hypothèse que la demande de consultation suit un processus de poisson, il est possible de représenter la même distribution par une loi exponentielle. L'avantage de cette loi est de pouvoir générer les patients de manière continue dans la simulation. Pour cela, les hypothèses suivantes sont émises pour que la demande suive un processus de Poisson [20]:

- Les nombres d'occurrences dans des intervalles de temps disjoints sont indépendants;
- La probabilité d'une occurrence dans un petit intervalle de temps est proportionnelle à la longueur de cet intervalle, le coefficient de proportionnalité étant  $\lambda$ ;
- La probabilité qu'il y ait plus d'une occurrence dans un petit intervalle de temps est négligeable.

Par l'émission de ces hypothèses, la loi de poisson avec un paramètre  $\lambda$  représente le nombre de demandes par jour, alors que la loi exponentielle représente l'intervalle de temps entre deux demandes de consultation et a pour paramètre  $1/\lambda$ . Ainsi, le paramètre de la loi exponentielle correspondant à notre modèle a pour valeur  $1/8.6$ , soit 0.116. Cependant, ce paramètre par jour est modélisé par heure dans le modèle. Une journée est composée de 10hr. Ainsi, le paramètre de la loi exponentielle en heure vaut 1.16 et elle est utilisée pour générer l'arrivée des patients. Cette approche est plus réaliste que celle de générer toutes les demandes de consultation en début de journée.

### 3.1.3 Choix de la loi de distribution du nombre de traitements

La loi exponentielle génère au cours de la journée des nouveaux patients. Cependant, chaque patient se différencie en fonction de son type de cancer constituant une caractéristique du patient. Les patients souffrant d'un cancer au Sarcome ne sont pas représentés du à leur faible apparition et les patients ayant un type de cancer Urinaire et Prostate sont regroupés en une seule catégorie appelé Urathérial car leur traitement est similaire.

Le tableau suivant présente la distribution des types de cancer utilisée dans le modèle :

Tableau 3.3: Répartition des types de cancer dans le modèle

Type de Cancer	Nombre de cas en (%)
Digestif	6%
Peau	2%
Urathérial	13%
S.N.C	6%
Pulmonaire	9%
Lymphome	3%
ORL	10%
Sein	19%
Gynécologie	5%
Métastase	27%

Cette distribution est modélisée par une loi discrète dans le modèle qui associe un type de cancer à chaque patient selon les pourcentages.

Une deuxième caractéristique à considérer dans le modèle est le nombre de traitements qui est tributaire du type de cancer. À travers une rencontre avec le médecin chef, une probabilité du nombre de traitements est déterminée pour chaque type de cancer en incluant aussi la simulation de traitement. Le tableau suivant présente les probabilités en pourcentage.

Tableau 3.4: Nombre de traitements et leur probabilité par type de cancer

Type de cancer	Distribution du nombre de traitements							
	Prob	Nbr Tr	Prob	Nbr Tr	Prob	Nbr Tr	Prob	Nbr Tr
Digestif	100%	29						
Peau	50%	21	50%	31				
Urathérial	6%	21	80%	39	14%	37		
S.N.C	40%	16	45%	31	15%	34		
Pulmonaire	66%	31	44%	16				
Lymphome	100%	16						
ORL	80%	34	20%	31				
Sein	10%	17	40%	21	10%	26	40%	31
Gynécologie	70%	26	30%	29				
Métastase	10%	10	45%	1	45%	5		

Au final, dans le modèle chaque patient, une fois généré, reçoit comme attributs, le type curatif ou palliatif, le type de cancer et le nombre de traitements.

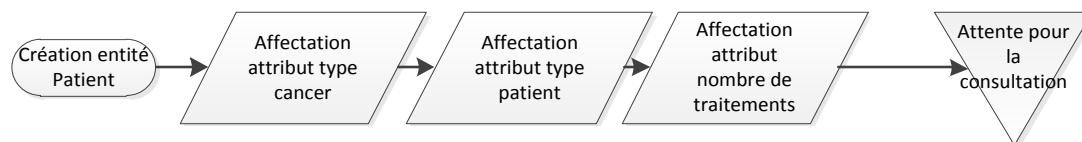


Figure 3-4: Logique d'affectation des attributs aux patients dans le modèle

### 3.1.4 Analyse de sensibilité sur le nombre de traitements et sur la proportion des patients curatifs et palliatifs

Suite aux différentes hypothèses émises sur l'arrivée des patients et du nombre de traitement, une analyse de sensibilité est effectuée pour déterminer l'impact de ces hypothèses sur le nombre de patients pouvant être traités par les accélérateurs linéaires. La capacité théorique maximale en omettant les pannes et les maintenances pour quatre accélérateurs linéaires se chiffre à 29640 traitements par an en incluant la simulation du traitement.

À partir de cette capacité théorique, l'administration se base sur un nombre moyen de 25 traitements pour les patients curatifs et 5 traitements palliatifs pour déterminer le nombre de patients pouvant être traités annuellement. En assumant la proportion de 27% de patients

palliatifs et 73% de patients curatifs, le nombre de patients total traités est de 1512 qui est l'objectif visé du département. En modifiant légèrement ces moyennes à 27 traitements pour les patients curatifs et 4 traitements pour les traitements palliatifs, le nombre de patients total traités est 1425. Une différence de 2 traitements pour les patients curatifs et 1 traitement pour les patients palliatifs ont diminué de 87 le nombre de patients traités. En considérant, cette fois-ci, les probabilités du nombre de traitements par type de cancer du tableau 2.13 au lieu des moyennes, le nombre de patients total traités est 1341. Ceci représente une diminution de 11% comparativement au calcul de l'administration. Ainsi, l'utilisation de la moyenne n'est pas une approche fiable et le nombre de traitements possède un fort impact sur la capacité des accélérateurs linéaires.

Une deuxième analyse de sensibilité sur la proportion de patients curatifs et de patients palliatifs est effectuée. Le graphique suivante présente la variation de la proportion de patients palliatifs de 37% à 17% :

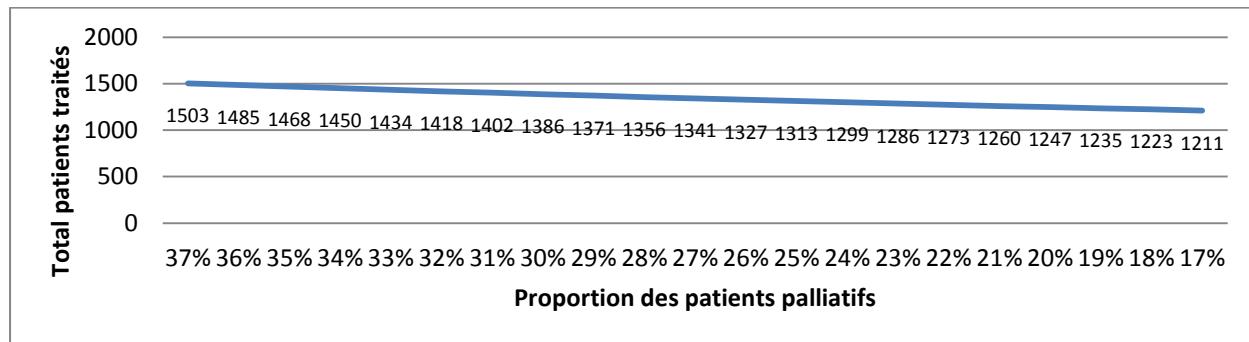


Figure 3-5:Nombre de patients traités selon la proportion du nombre de patients palliatifs

Une diminution de la proportion du nombre de patients palliatifs à 17% diminue le nombre de patients total traités à 1211 patient, soit une diminution de 25%. En effet, ils ont moins de traitements que les patients curatifs.

En conclusion, les hypothèses pour modéliser l'arrivée des patients, à partir des données de l'hôpital Notre-Dame, impactent de manière importante les résultats du modèle. Une étude sur les demandes de consultations doit être réalisée après l'ouverture du département pour ajuster le modèle.

### 3.1.5 Révision du paramètre de la loi de distribution d'arrivée des patients

Suite à des analyses de simulation, la demande modélisée est supérieure à la capacité des accélérateurs linéaires. Ces derniers ont été analysés comme le goulot générant des listes importantes d'attente. Ainsi, un ajustement de la demande de consultation est nécessaire. En d'autres termes, les données de l'hôpital Notre-Dame ont permis de déterminer la loi exponentielle comme distribution mais, le fait de diviser par trois le paramètre ne permet pas d'ajuster à la capacité du département. L'approche utilisée est de mettre une infinité de spécialistes et de déterminer la demande maximum en respectant la grille de classification. Ainsi, le goulot principal est seulement les accélérateurs linéaires. Le paramètre de la distribution exponentielle d'arrivée des patients trouvée est 1.31, signifiant en moyenne un délai entre les arrivées de patients de 1,31hr au lieu de 1,16hr. Ceci donne environ 1300 patients tel que calculé dans la sous-section précédente. La figure suivante présente l'arrivée de patients par jour simulé sur un horizon de 4 ans.

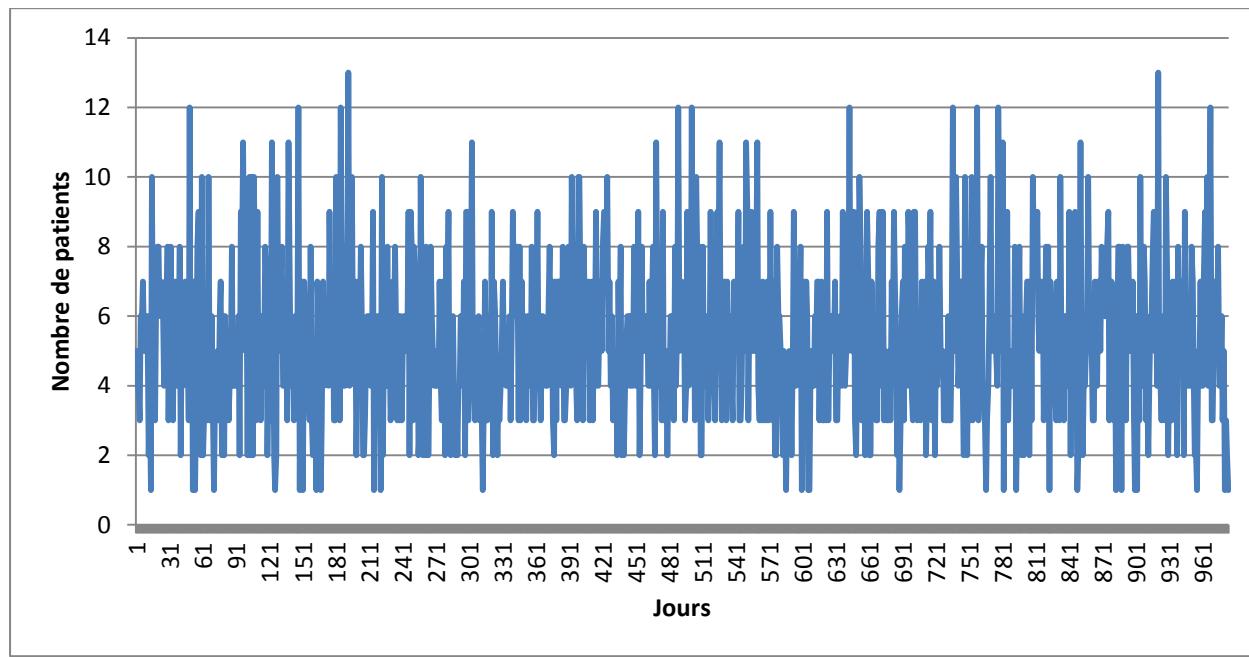


Figure 3-6: Nombre de patients arrivés par jour avec la loi exponentielle

## CHAPITRE 4 RÉSULTATS

Suite à la modélisation du département, des analyses de la capacité sont effectuées afin de maximiser le nombre de patients traités. Cette dernière porte sur une période de quatre années. En effet, après ce délai, un nouvel accélérateur linéaire sera acheté par le département modifiant la capacité du département nécessitant un ajustement du modèle.

Pour rendre les analyses robustes, le nombre de réplications est de 30, ce qui donne environ 30000 journées simulées. Généralement, une période de réchauffement au début de la simulation est nécessaire afin d'atteindre le régime stationnaire. Comme le département de radio-oncologie débute vide à son ouverture, la période de réchauffement n'est pas réalisée. Dans la première sous-section, le nombre de ressources idéales et le nombre de plages palliatives sont déterminés. Ceci impacte directement les délais d'attentes analysés dans la deuxième sous-section. Dans la troisième, l'analyse des calendriers des médecins est effectuée.

### 4.1 Analyse du nombre de ressources et de plages palliatives

L'administration a signalé l'impossibilité d'augmenter le nombre de médecins, de CT-Scans ou d'accélérateurs, l'investissement étant trop grand à court terme. Ainsi, la marge de manœuvre pour déterminer la capacité maximum possible réside dans l'augmentation du nombre de spécialistes. Pour déterminer le nombre idéal de ces ressources, une simulation a été effectuée avec une quantité importante de ces derniers. Ce scénario est idéal car il permet d'éviter que les délais d'attentes ne soient causés par une pénurie de ces spécialistes.

Au total, le nombre de patients traités est 5328 patients sur un horizon de 4 années. Les figures suivantes présentent la répartition du délai entre la consultation et le premier traitement avec le scénario idéal de ressources à savoir une quantité importante de spécialistes.

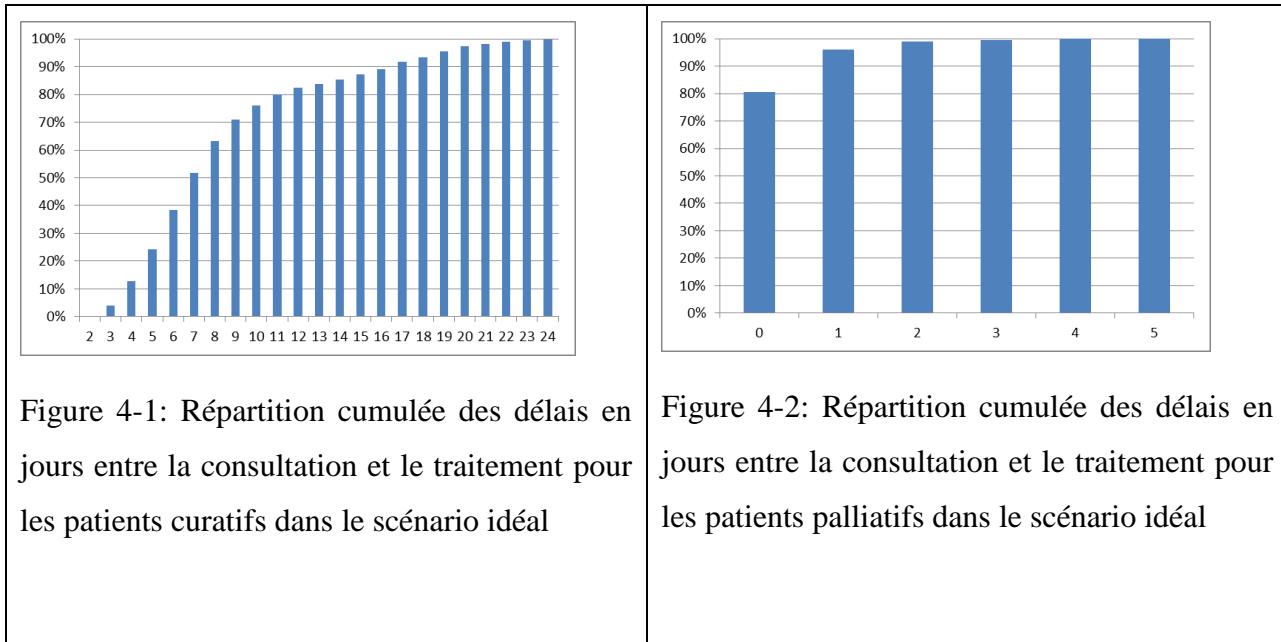


Figure 4-1: Répartition cumulée des délais en jours entre la consultation et le traitement pour les patients curatifs dans le scénario idéal

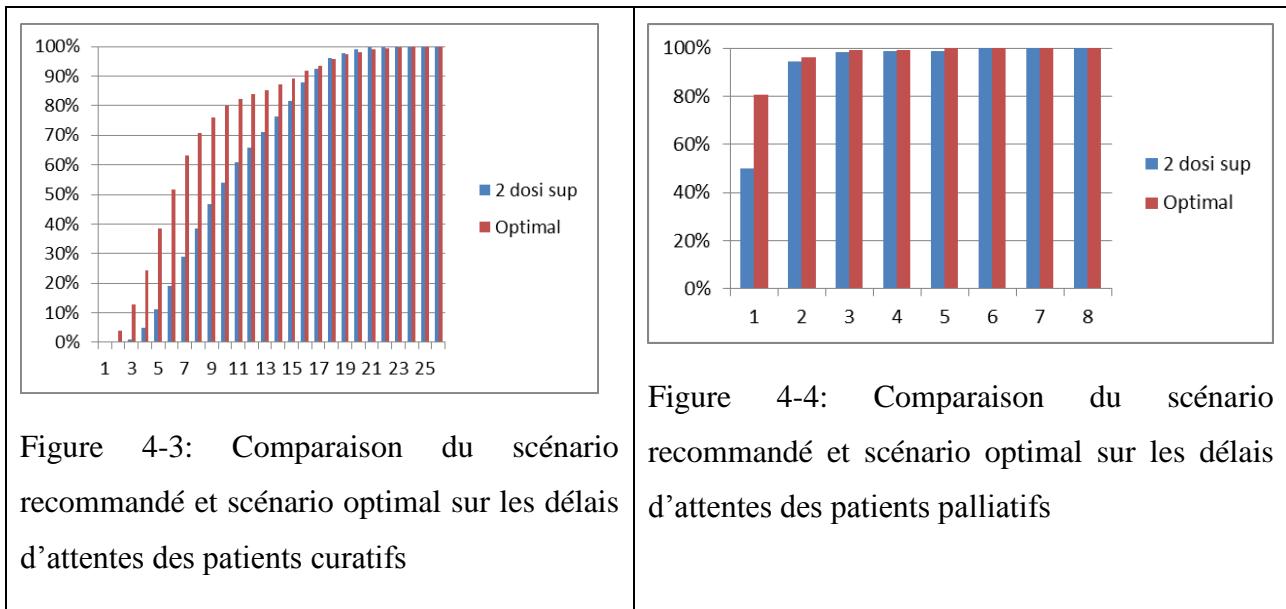
Figure 4-2: Répartition cumulée des délais en jours entre la consultation et le traitement pour les patients palliatifs dans le scénario idéal

À partir du scénario idéal, il est possible de déterminer le potentiel d'amélioration possible avec le scénario normal. Dans ce dernier, le nombre de patient total traité est de 4267. Ainsi, en augmentant le nombre de spécialistes, il est possible d'augmenter de 25% le nombre de patients traités. L'analyse du scénario normal a montré des temps d'attente important au niveau de la dosimétrie constituant un important goulet d'étranglement. Afin de minimiser le nombre de spécialistes à ajouter pour atteindre le modèle idéal, l'effort doit être concentré au niveau du goulot du système [21]. Ainsi, plusieurs scénarios ont été évalués en augmentant progressivement le nombre de dosimétristes. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 4.1: Impact de l'augmentation de dosimétristes sur le nombre de patients traités

Scénarios testés	Nombre de patients traités sur 4 ans
4 dosimétristes (Scénario de base)	4267
+1 dosimétriste	4860
+2 dosimétristes	5238
Scénario idéal	5328

En ajoutant 2 dosimétristes, le nombre de patients traités est proche de l'optimalité. Les figures suivantes comparent plus en détail ce scénario avec celui de l'optimalité.



La distribution des délais d'attente pour les patients palliatifs est très similaire entre les deux scénarios. Pour les patients curatifs, il existe une différence mais cette dernière n'est pas suffisante pour justifier l'ajout d'un troisième dosimétriste. Ainsi, pour les prochaines analyses, le nombre total des dosimétristes est fixé à 6.

Le goulot d'étranglement suivant détecté est le nombre de plages des accélérateurs linéaires. Le ratio fixé est de 110 plages pour les patients curatifs et de 10 plages pour les patients palliatifs. Cependant, il est possible qu'il existe un meilleur ratio permettant d'augmenter le nombre de patients traités. Ainsi, une analyse de sensibilité est réalisée sur ce ratio. Pour évaluer le meilleur ratio, deux indicateurs sont utilisés, soit le nombre de plages non utilisées et le délai d'attente pour obtenir une plage dans le cas des patients palliatifs. Ces deux indicateurs varient de manière opposée. Dans le cas où un nombre excessif de plages est assigné aux patients palliatifs, le délai d'attente sera faible mais des plages seront non utilisées. Autrement dit, il y a une perte de capacité car ces plages auraient pu servir à traiter des patients curatifs. À l'opposé, si un nombre très faible de plages est assigné aux patients palliatifs, alors toutes ces plages seront utilisées mais le délai d'attente pour obtenir une plage sera très important et les délais de la grille de classification ne seront plus respectés. Ainsi, il s'agit à la fois de minimiser le délai d'attente et de minimiser le nombre de plages non utilisées. Plusieurs simulations ont été effectuées en modifiant à chaque fois le nombre de plages attribué aux palliatifs. Pour chaque scénario, ce qui

est évalué en pourcentage est le nombre de plages utilisées en tout temps et le nombre de patients qui n'ont pas attendu pour obtenir une plage. Le graphique suivante résume les résultats.

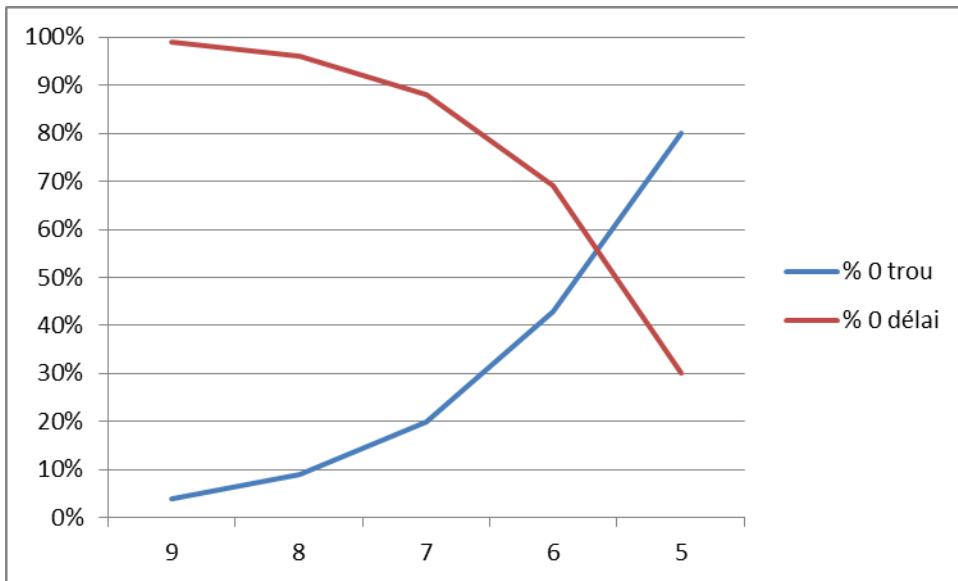


Figure 4-5: Variation du nombre de plages réservées aux patients palliatifs

À travers le graphique, le nombre de plages à attribuer aux patients palliatifs est de 7. En effet, avec 8 plages, seulement 10% des plages sont tout le temps utilisées ce qui laisse présager beaucoup de plages vides. Et avec 6 plages, seulement 55% des patients palliatifs n'ont pas d'attente pour obtenir une plage. Avec 7 plages, 90% des patients palliatifs n'ont pas d'attente et 20% des plages sont tout le temps utilisées. Ceci correspond en moyenne à 2.4 plages par jour non utilisées. Ces plages constituent donc une sécurité et peuvent servir aussi à la maintenance des accélérateurs.

En conclusion, suite à l'analyse de plusieurs simulations, pour maximiser le nombre de patients traités, il faut ajouter 2 dosimétristes et fixer le ratio à 7 plages pour les patients palliatifs. L'analyse des résultats présentée dans la section suivante prend en considération ces changements.

## 4.2 Analyse des délais d'attente

L'objectif du département est de traiter 1512 patients annuellement en considérant en moyenne 25 traitements par patient curatif et 5 traitements par patient palliatif, en raison de 1 traitement par jour. En considérant les variations du nombre de traitements dans l'analyse de sensibilité, le nombre a diminué à 1341 patients. Avec la simulation, le nombre trouvé est de 5357 patients sur

un horizon de 4 années, correspondant à 1339 patients en moyenne, validant l'analyse effectuée. Cependant pour atteindre ce résultat, 2 dosimétristes supplémentaires sont nécessaires pour éviter que la dosimétrie ne soit le goulot d'étranglement. La capacité des accélérateurs linéaires est fortement corrélée aux types de cancer à traiter, étant donné que le nombre de traitements dépend du type de cancer. La figure suivante présente la répartition des types de cancer sur les 30 répliques.

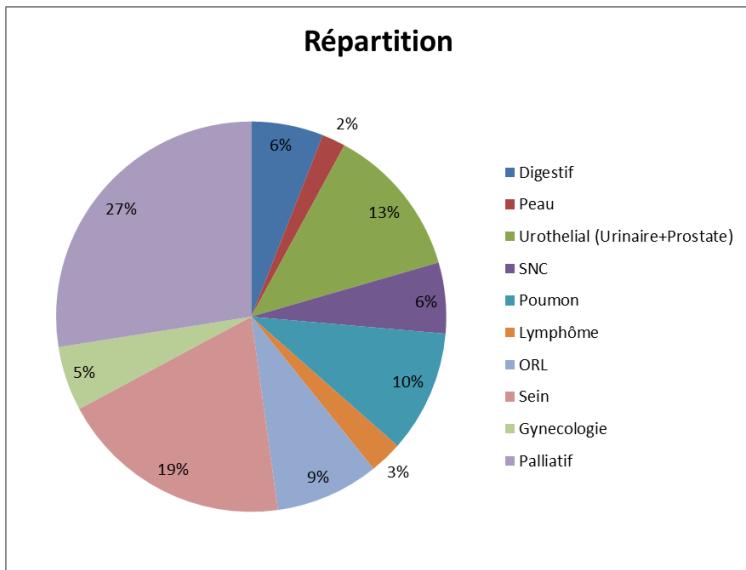


Figure 4-6: Distribution moyenne des types de cancer

La répartition respecte le ratio de 27% de patients palliatifs et 73% de patients curatifs établis par l'analyse des données de Notre-Dame. Selon l'administration, cette répartition est réaliste. Le nombre de traitements total est présenté dans le tableau suivant

Tableau 4.2 : Nombre de traitements selon le type de cancer.

<b>30 réplications</b>		
Type de cancer	Nombre de patients	Nombre de traitements
Digestif	9651	279879
Peau	3293	85493
Urathérial	20780	768398
S.N.C	9642	244572
Pulmonaire	16127	419492
Lymphome	4739	75824
ORL	14357	479564
Sein	30513	764786
Gynécologie	7993	214817
Métastase	43616	162393
Total	160711	3495218
Moyenne des replications	5357	116507
Moyenne par année	1339	29127

En moyenne, il se déroule 29127 traitements annuels sur les 29640 plages. La capacité maximum n'est pas atteinte car la période de réchauffement est considérée. Il faut considérer environ 36 jours pour utiliser pleinement la capacité des accélérateurs linéaires.

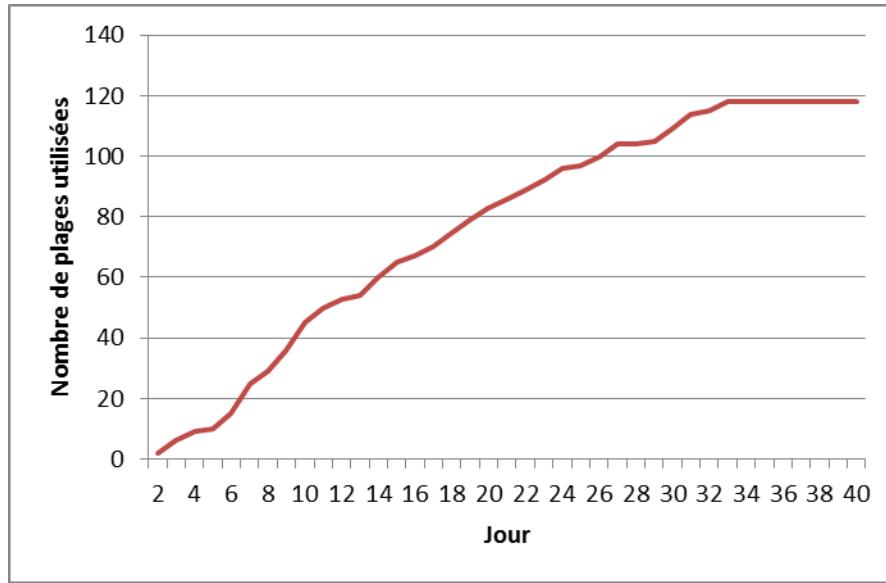


Figure 4-7: Évolution de l'utilisation des accélérateurs linéaires pendant la période de réchauffement

L'objectif principal de l'administration est le respect des délais de la grille de classification.

Tableau 4.3 : Pourcentage du respect de la grille de classification selon le type de cancer

Type Cancer	Délai de la grille de classification	Respect
Digestif	14	72%
Peau	28	94%
Urathérial	28	95%
S.N.C	14	71%
Pulmonaire	14	71%
Lymphome	14	71%
ORL	14	72%
Sein	28	95%
Gynécologie	14	76%
Métastase	3	98%

Plus de 98% des patients palliatifs ont un délai maximal de trois jours et plus de 95% des patients curatifs de priorité 4 respectent la grille de classification. Les patients de priorité 3 respectent seulement 70% des délais de la grille de classification. Dans la prochaine figure, le délai est décomposé par priorité à partir de la consultation jusqu'au premier jour de traitement.

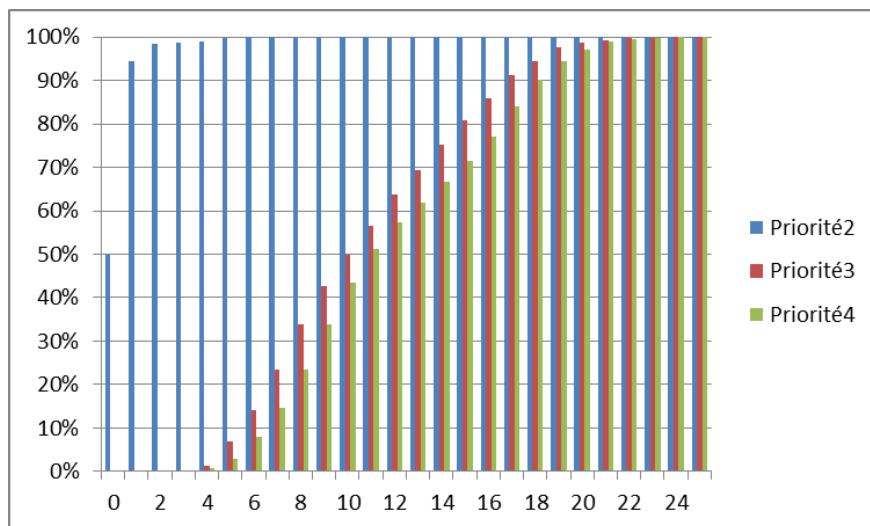


Figure 4-8: Répartition des délais en jour entre la consultation et le premier jour de traitement selon les priorités des patients

La priorisation est mal effectuée entre les patients curatifs de priorité 3 et 4. En effet, comme le montre le graphique, il y a très peu de différence au niveau de la hauteur des barres. Une étude sur les délais d'attentes entre les différentes activités est effectuée pour comprendre les raisons.

L'attente pour une consultation est relativement faible, illustrée par la figure suivante.

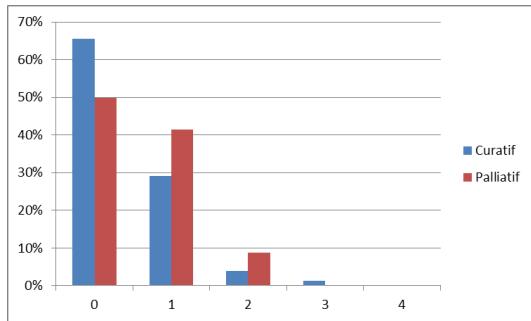


Figure 4-9: Répartition des délais en jour entre l'arrivée du patient et la consultation selon le type de patient

Il y a un maximum d'une journée d'attente pour les deux types de patients. Cependant, le nombre maximal de consultations est rarement atteint. Le pourcentage des quotas non utilisés est présenté dans l'annexe 7. Ainsi, la cause principale des délais d'attente n'est pas à cause d'une insuffisance de temps allouée à l'activité de consultation. Le problème réside dans l'arrivée des patients répartis sur toute la journée et donc certains ratent la disponibilité des médecins. Pour les patients palliatifs, Mardi et Jeudi, le quota du nombre de consultations est important. Suite à une discussion avec l'administration, leur objectif est désormais d'encourager les patients palliatifs à venir les mardis ou jeudis. Durant ces deux journées, le CT-Scan 2 étant disponible cela accélérerait leurs traitements. Au final, aucun goulot n'est détecté pour cette activité.

Après la consultation, le délai d'attente pour le CT-Scan est analysé.

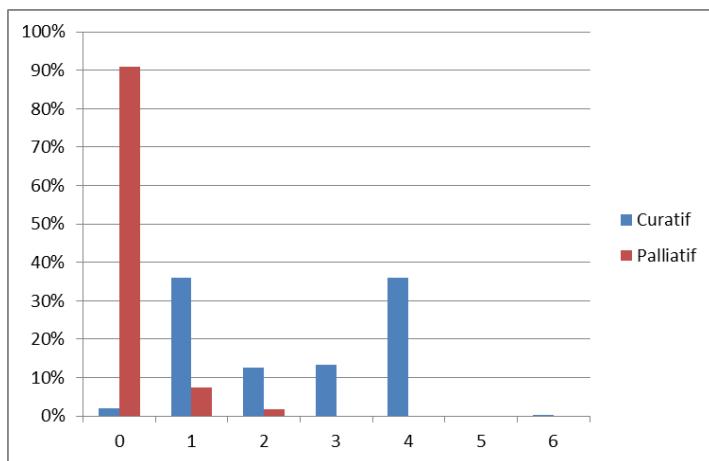


Figure 4-10: Répartition des délais en jour entre la consultation et le scanner selon le type de patient

Plus de 90% des patients palliatifs ont une disponibilité de réaliser un CT-Scan le jour même après la consultation. Pour les patients curatifs, deux groupes se distinguent. Un groupe attend 1 jour avant d'avoir une consultation et un autre groupe attend 4 jours ouvrables. Cependant, en analysant le nombre de patients scannés par jour, la capacité totale des CT-Scan n'est jamais atteinte, comme le démontrent les figures suivantes.

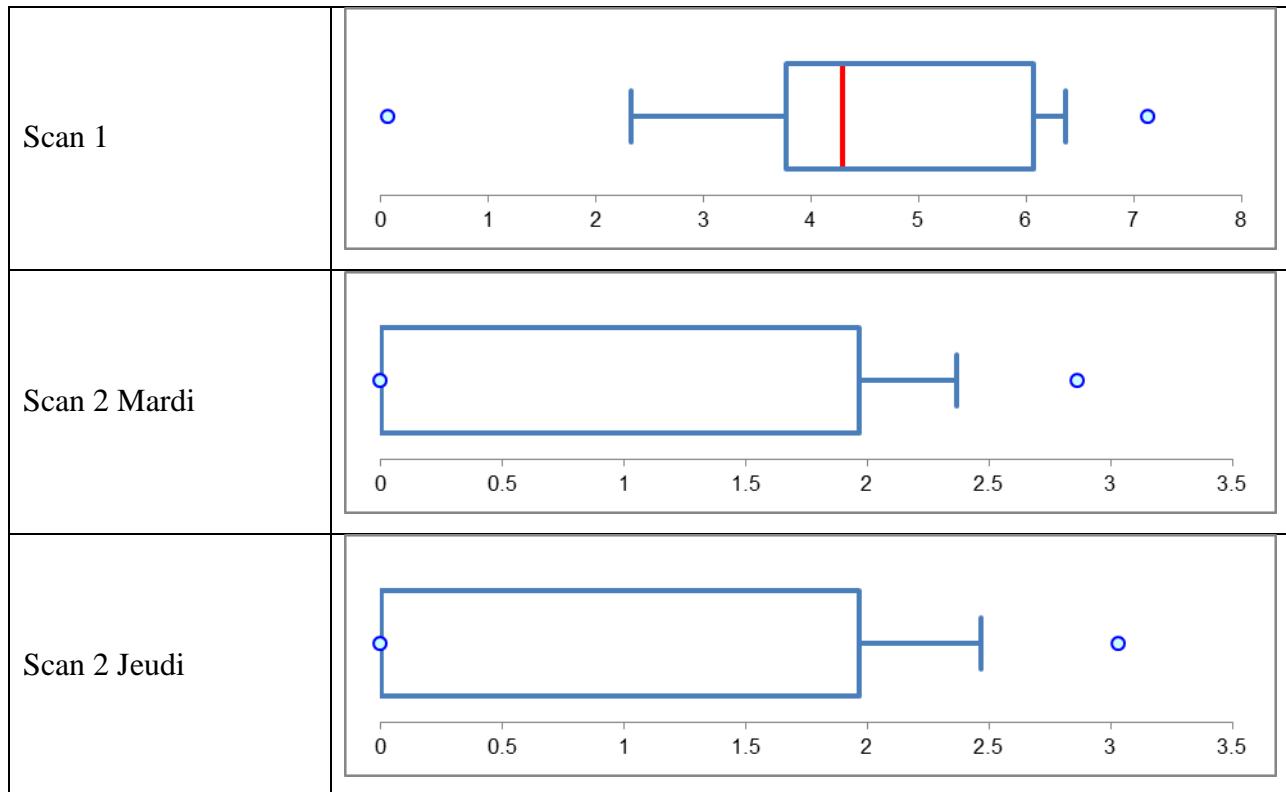


Figure 4-11 : Nombre de plages des CT-Scans utilisées par jour en moyenne

Ainsi, les délais d'attentes ne sont pas générés par un manque de capacité. Le scanner se déroule en même temps que l'activité planification du médecin qui se réalise une fois par semaine. Si cette activité pour un médecin donné est réalisée le lundi mais qu'un patient est consulté le mardi, le rendez-vous pour le CT-Scan est automatiquement pour le lundi prochain générant l'attente des 4 jours.

Une solution est de changer la logique d'attribution du médecin pour la consultation. Désormais, le médecin ne choisit pas le patient à consulter, mais le patient est affecté au médecin capable de le traiter et ayant l'activité de planification la plus proche. Cette approche permet de réduire le délai d'attente de 4 jours mais il est important de ne pas négliger les préférences des patients d'être consultés par un médecin particulier.

Concernant le moulage, la charge de travail du technologue de moulage est calculée à 20% de sa capacité totale. Cette tâche ne constitue donc pas un goulot et le technologue pourrait occuper d'autres tâches.

Au niveau de la dosimétrie, le temps total obtenu pour préparer le traitement est au maximum de 4 jours.

Tableau 4.4 : Répartition des délais en jour pour la dosimétrie

Délai	0	1	2	3	4	5	6	7
Curatif	5%	48%	37%	6%	2%	0%	0%	0%

Ainsi, la coordination entre les médecins et les dosimétristes fonctionne et permet une cadence en moyenne de 3 à 4 traitements pour les 6 dosimétristes comme le suggèrent les figures suivantes.

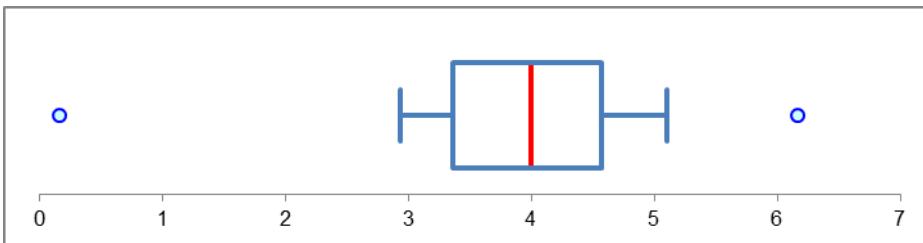


Figure 4-12 : Nombre de validations de la dosimétrie par jour par les médecins en moyenne

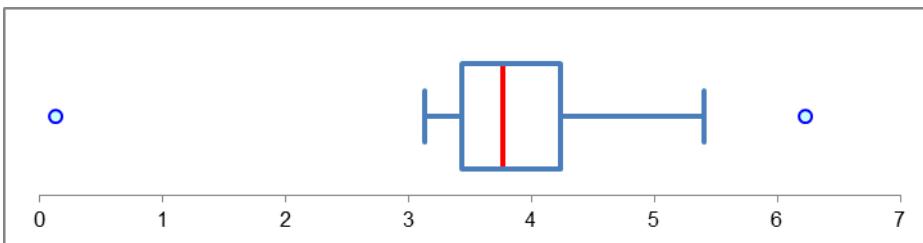


Figure 4-13 : Nombre de dossiers traités par les dosimétristes en moyenne

Pour le physicien, le nombre de dossiers finalisés est entre 5 et 6 par jour.

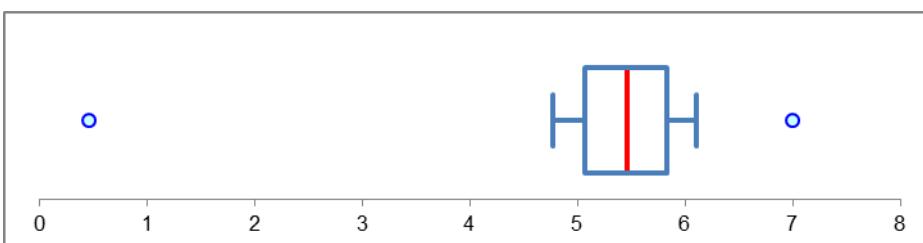


Figure 4-14 : Nombre de dossiers traités par le physicien en moyenne

Cependant, sa charge de travail est à 82% de sa capacité totale. Ceci laisse penser que le physicien pourrait devenir un goulot si le nombre de dossiers à traiter vient à augmenter.

En moyenne il faut 5 jours pour préparer un patient curatif suite à une consultation grâce aux calendriers des médecins. Ceci correspondait à l'objectif de l'administration.

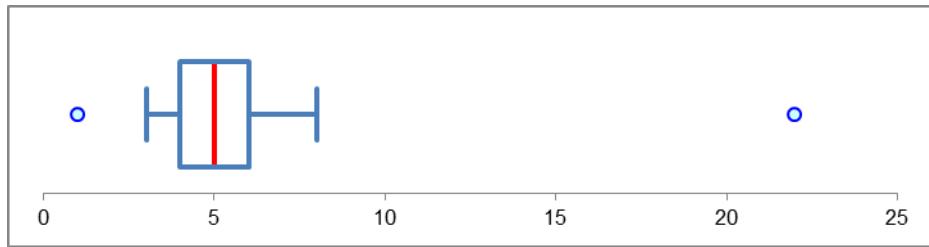


Figure 4-15: Délais en jour entre la consultation et le dossier du patient prêt

Ce délai n'inclut pas celui pour obtenir le premier rendez-vous pour un accélérateur. En d'autres termes, il est considéré dans ce cas que tous les patients sont traités immédiatement après que leur dossier soit prêt.

La figure suivante présente les délais d'attente pour obtenir le premier rendez-vous sur un accélérateur linéaire.

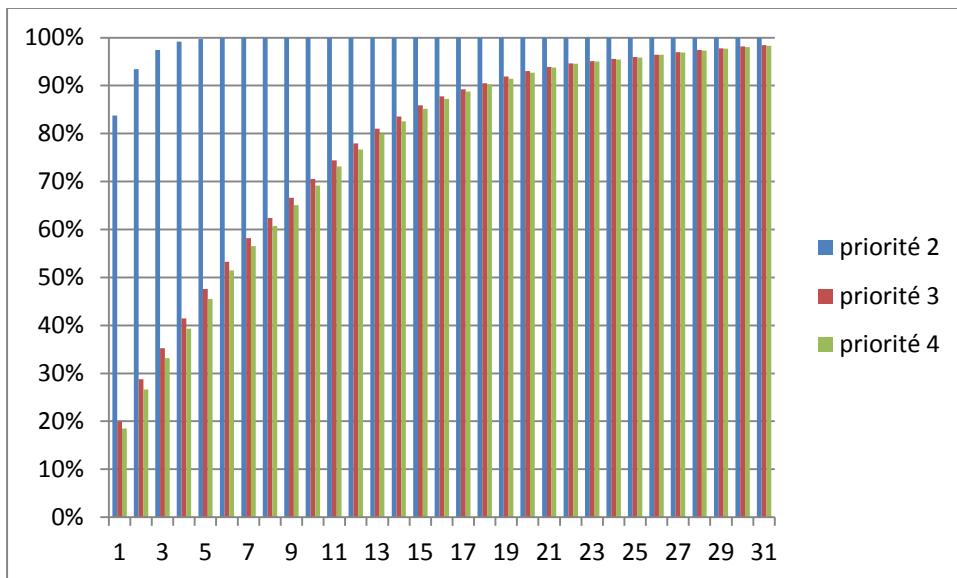


Figure 4-16: Répartition des délais en jour entre le dossier du patient prêt et le premier jour de traitement selon les priorités

Le problème de priorisation se situe au niveau de la distribution des rendez-vous pour les accélérateurs linéaires qui suit la règle du « premier arrivé, premier servi ». Dans la situation où un groupe de patients de priorité 4 se voient attribuer successivement des rendez-vous, les patients de priorité 3 suivants ne trouvent plus de plages et n'ont pas d'autre choix que d'attendre

qu'un patient ait fini son traitement. Cette attente peut durer plusieurs semaines. Pour améliorer la solution, un simple algorithme a été développé pour déterminer s'il est possible d'interchanger des patients de priorité 3 et de priorité 4. Plus de 50% des patients de priorité 3 ne respectant pas la grille de classifications obtiennent un meilleur rendez-vous par ces changements. Ainsi, afin de prioriser les patients de priorité 3, il est important de laisser un délai d'attente minimum pour les patients curatifs de priorité 4.

### **4.3 Analyse du calendrier des médecins**

Les médecins réalisent 5 tâches principales, soit la consultation pour les patients curatifs et les patients palliatifs, le contour de la région à traiter pour les patients curatifs, le contour du champ pour les patients palliatifs et la validation de la dosimétrie pour les patients curatifs.

D'après l'analyse précédente, le goulot principal provient des accélérateurs linéaires et donc les tâches des médecins sont bien balancées. Néanmoins, il est intéressant de déterminer par tâche, le nombre de patients traités par jour. Les annexes 8 à 12 présentent ces distributions du nombre de patients traités par médecin et par tâche. Le calcul effectué est la somme par jour, par tâche et par médecin du nombre de patients traités sur les 30 réplications et par la suite, le résultat est divisé par 30 pour obtenir une moyenne.

Concernant les consultations curatives, elles sont bien balancées entre les médecins. Le maximum de consultation est de 3 par plage de consultations et en moyenne, le médecin réalise 1 consultation.

Pour les consultations palliatives, les distributions diffèrent selon le médecin. Cependant, elles sont assez uniformes entre 0 et 1. Au maximum, le médecin réalise 2 consultations palliatives par plage de consultation.

Pour l'activité de dosimétrie, les médecins sont capables de réaliser 3 tâches différentes, le contour curatif, le contour du champ palliatif et la validation de la dosimétrie.

Pour les contours curatifs, en moyenne, les médecins en réalisent 3 par plage et parfois, ils peuvent réaliser jusqu'à 6 contours. Pour la validation de la dosimétrie, les médecins en moyenne en font 1 par plage mais il arrive qu'un médecin réalise jusqu'à 6 validations de dosimétrie par plage. Pour les contours du champ palliatif, ils en font très peu. La raison est que pour plus de

90% des patients palliatifs, cette tâche se fait en même temps que le CT-Scan, qui devient alors une tâche masquée.

Pour le nombre de validations de la dosimétrie et de contours curatifs par plage, leurs distributions suivent une courbe bimodale. Cette courbe signifie que dépendamment de la plage, une tâche est préférable à une autre. Sachant que le médecin dispose de 2 à 3 plages par semaine pour réaliser ces activités, ceci permet, pour chaque médecin, de déterminer la plage pour faire la validation de dosimétrie et la plage pour faire les contours. Le tableau suivant présente les résultats.

Tableau 4.5 : Choix de la séance pour faire la dosimétrie

<b>Médecin</b>	<b>Contour</b>	<b>Validation</b>
médecin A	Mercredi	Vendredi
médecin B	Mercredi	Vendredi
médecin C	Jeudi	Lundi
médecin D	Vendredi	Mardi
médecin E	Lundi	Mercredi
médecin F	Vendredi	Lundi
médecin G	Mardi	Jeudi

Cette séparation permet d'éviter que le médecin mélange les tâches durant une plage donnée, ce qui est une source d'inefficacité.

En conclusion, les tâches contours curatifs et validation de la dosimétrie sont les plus chargées. En moyenne, pour ces tâches, les médecins traitent 3 dossiers et ceci peut aller jusqu'à 6. Ces tâches appartiennent à l'activité 3 dosimétries. Ainsi, il sera important de bien valider si il y a suffisamment de temps pour cette activité lors de l'ouverture du département. Sinon, pour les autres activités, il y a suffisamment de temps pour les réaliser selon les résultats du simulateur.

## **CHAPITRE 5 COMPARAISON AVEC LA CLINIQUE ET RECOMMANDATION GÉNÉRIQUE**

Suite à l'analyse, une présentation des résultats de simulation a été faite à l'administration. Trois mois après l'ouverture du département, les données ont été collectées afin de réaliser la validation des recommandations. La première section présente l'organisation du département lors de la période analysée, soit entre le 20 février et 31 mai 2012. La deuxième sous-section valide les hypothèses concernant la distribution et le profil des patients. La troisième section analyse les flux de patients et détermine les goulots d'étranglement. La quatrième sous-section analyse les calendriers des médecins. La dernière sous-section correspond aux recommandations génériques pour les départements de radio-oncologie.

### **5.1 Organisation du département**

Le tableau suivant résume l'organisation du département durant la période analysée, soit entre le 20 février 2012 et le 31 mai 2012.

Tableau 5.1 : Répartition des ressources humaines

Type de ressources humaines	Nombre
Médecin	5
Technologue au moulage	1
Technologue CT-Scan 1	2
Technologue CT-Scan 2	2
Dosimétristes	4
Physicien	1
Technologue accélérateur linéaire 1	3
Technologue accélérateur linéaire 2	3

Deux nouveaux médecins seront engagés, un pour la fin de décembre 2012 et un pour l'été 2013. L'organisation des spécialistes est identique au scénario de base de la simulation. Dans nos recommandations, l'ajout de deux dosimétristes est suggéré. Cependant, pendant la période analysée, seulement 2 accélérateurs linéaires ont été utilisés, le volume de traitements à préparer par la dosimétrie était donc moindre que le scénario évalué par le simulateur. Le tableau suivant présente le nombre d'équipements et leur capacité en termes de plages.

Tableau 5.2 : Capacité des équipements

Équipement	Durée Plage (min)	Nombre de plages
CT-Scan 1	45	7
CT-Scan 2	45	7
Accélérateur linéaire 1	20	28
Accélérateur linéaire 2	20	28

Les différences à souligner entre les hypothèses prises pour la simulation et le fonctionnement réel du département de radio-oncologie analysé pour fin de comparaison sont les suivantes : il y a moins de temps alloué sur le terrain pour le CT-Scan2 quand une disponibilité de 60 minutes était prévue dans le simulateur. D'autre part, le CT-Scan 1 possède 7 plages disponibles alors que dans le simulateur, il en était prévu 10. Ces différences sont négligeables si les CT-Scan ne constituent pas de goulot pour les flux. Pour les accélérateurs linéaires, seulement 2 accélérateurs sont fonctionnels comparativement à 4 dans le simulateur. Cette différence est importante et doit être considérée dans la validation.

## 5.2 Validation des hypothèses sur les patients

Pour générer les patients dans le simulateur, des hypothèses ont été posées sur la distribution d'arrivée des patients, sur la distribution du type de cancer et sur le nombre de traitements par type de cancer à l'aide des données collectées par l'hôpital Notre Dame et des rencontres avec les spécialistes. Aussi, une analyse de sensibilité a montré que ces hypothèses ont un impact important sur la capacité des accélérateurs linéaires d'où l'importance de les valider. Le tableau suivant présente le nombre de patients ayant eu une consultation entre le 20 février 2012 et le 31 mai 2012.

Tableau 5.3 : Nombre de consultations curatifs et palliatifs par mois

Mois	curatif	palliatif	Grand Total
Février 2012	41	9	50
Mars 2012	93	30	123
Avril 2012	73	24	97
Mai 2012	68	41	109
Total	275	104	379

La distribution totale entre les curatifs et palliatifs concordent avec notre hypothèse comme le montre la figure suivante :

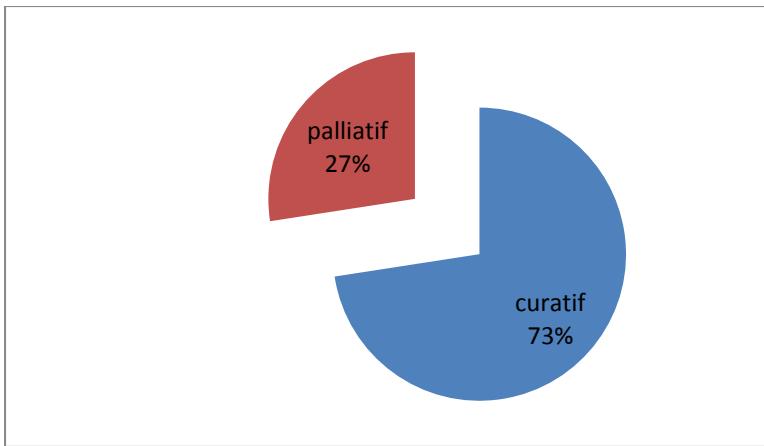


Figure 5-1: Distribution totale des patients palliatifs et curatifs pour la période analysée

La figure suivante présente la distribution journalière du nombre de patients consultés durant la période analysée correspondant à 74 jours.

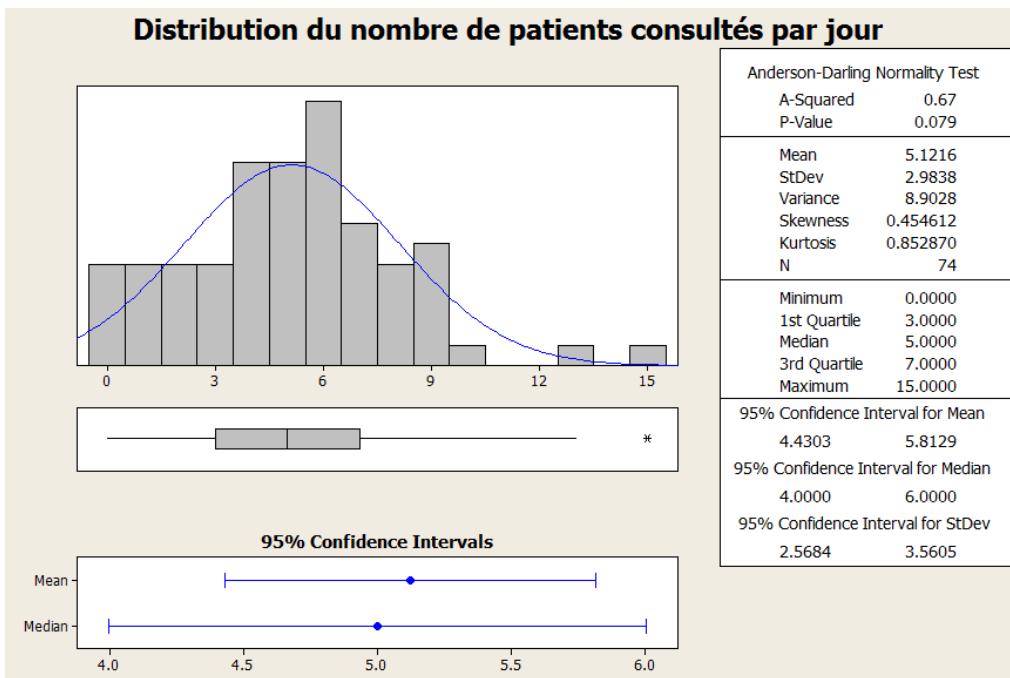


Figure 5-2: Distribution du nombre de patients

En moyenne, 5 patients sont consultés par jour. Le nombre de jours échantillonnes n'est pas suffisant pour pouvoir tirer une distribution d'arrivée de patients. Néanmoins, il est possible de réaliser un test d'hypothèse pour savoir si la distribution de Poisson peut être utilisée. À l'aide du logiciel Minitab, il est possible de réaliser un tel test et le résultat est présenté dans le graphique suivant.

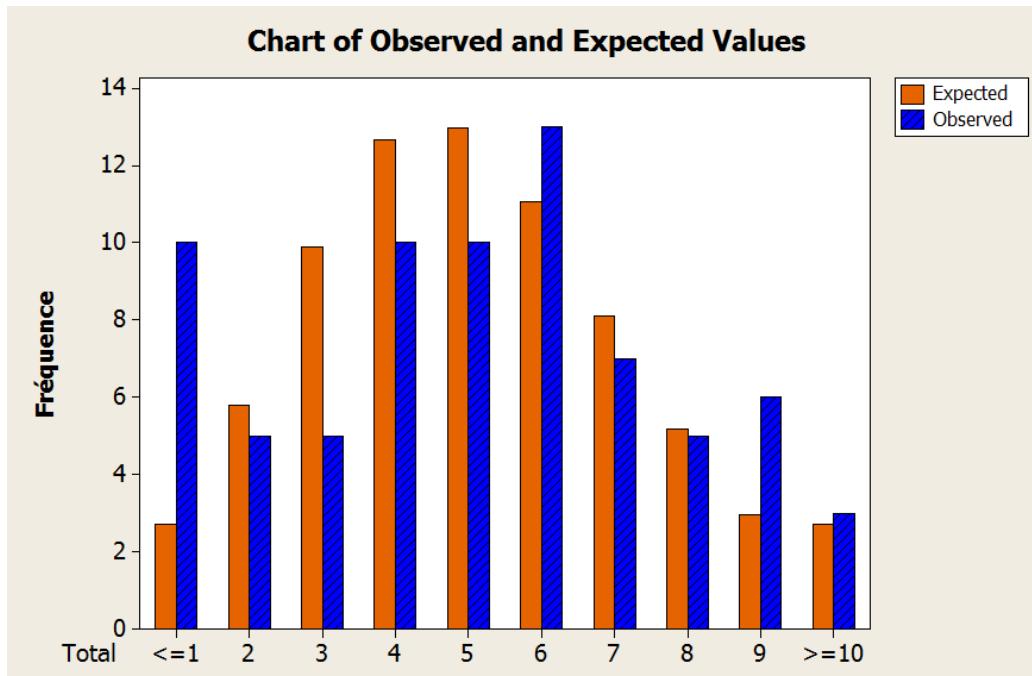


Figure 5-3: Comparaison de la distribution des données avec la distribution de Poisson

Le paramètre  $\lambda$  choisi de la distribution de Poisson est 5.12. Le test d'hypothèse ne rejette pas cette distribution.

Tableau 5.4 : Test d'hypothèse sur l'utilisation de la loi de Poisson

N	N*	DF	Chi-Sq	P-Value
74	0	8	27.1406	0.001

En convertissant, la loi de Poisson en loi exponentielle, de la même manière que pour le simulateur, le paramètre  $\theta$  pour cette dernière est de 1.95hr tandis que le paramètre utilisé pour le simulateur est de 1.31hr. En modifiant ce paramètre dans le simulateur, le nombre de patients à traiter en moyenne est de 913 patients. Pour déterminer si le département avec son organisation actuelle est capable de recevoir un tel volume, la distribution des types de cancer et du nombre de traitement est analysée.

Dans la figure suivante, la distribution des patients ayant reçu au moins un traitement dans le département par type de cancer.

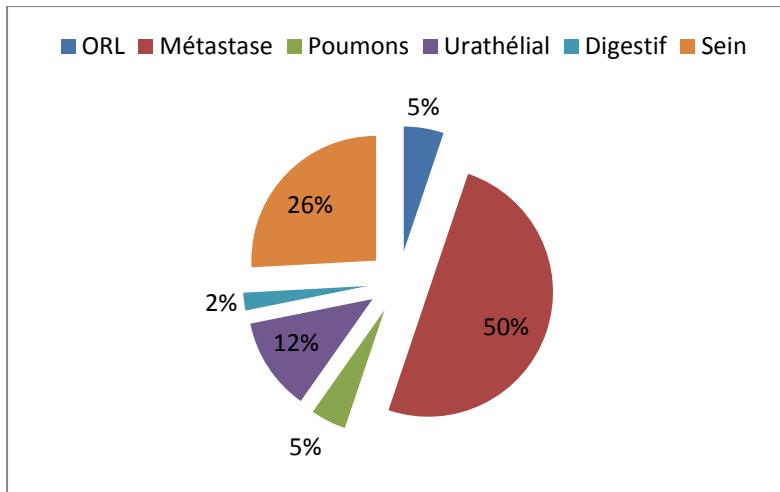


Figure 5-4: Distribution des types de cancer des patients ayant reçu au moins un traitement

L'échantillon total est de 175 patients. La proportion palliative est plus importante que celle de la consultation. En effet, ces derniers ont un accès plus rapide aux traitements par rapport aux patients curatifs d'où l'augmentation de cette proportion. Pour les patients curatifs, 5 types de cancer sont représentés par rapport aux 9 types de cancer dans le simulateur. Les types de cancer Peau, SNC, Lymphome et gynécologie sont pour l'instant absents.

Dans l'optique d'analyser la distribution, la figure suivante présente la distribution des cancer. En retirant ces types de cancer au niveau du simulateur et redéterminant la distribution, ceci donne :

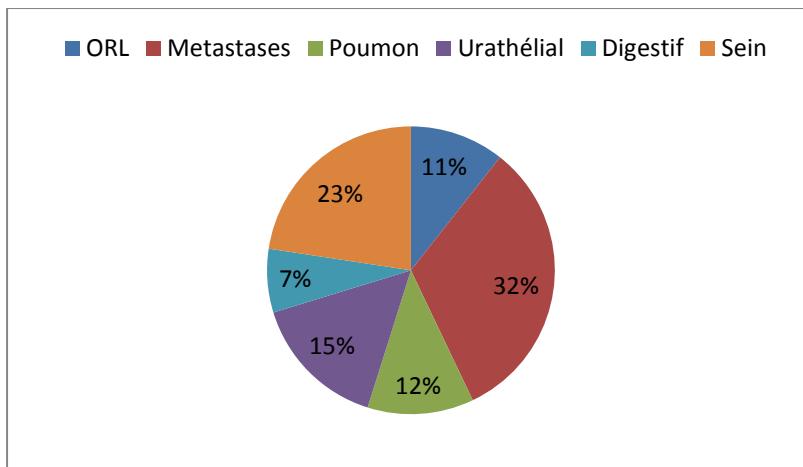


Figure 5-5: Distribution des types de cancer des patients traités dans le simulateur

Les deux répartitions sont proches même si il y a plus de traitements pour le type cancer à l'état métastase. Les tendances sont respectées comme la proportion du sein et urathérial. Donc la modélisation des distributions des types de cancer est valide.

Au niveau de la validation du nombre de traitements, la moyenne des traitements palliatifs est de 5 et la moyenne des traitements curatifs est de 25 pour cet échantillon. Le tableau dans l'annexe 13 présente en détail la répartition du nombre de traitements. En comparant avec notre modélisation, la distribution des traitements pour le cancer digestif est respectée. Pour celle de l'urathérial, poumons, ORL, sein, le nombre de traitements est surestimé. Le nombre de traitements pour les cancers métastases est légèrement sous-estimé.

Le tableau suivant présente la moyenne des traitements par type de cancer :

Tableau 5.5 : Comparaison des nombres de traitements en moyenne

Type Cancer	Simulateur	Réelle
Digestif	29	28
Urathérial	37.64	26.96
Pulmonaire	27.5	23.15
ORL	33.4	23.75
Sein	25.1	20.75
Métastase	3.7	4.82

Ainsi, nos hypothèses relatives aux nombres de traitements est pessimistes. Ceci permet de s'assurer de la robustesse de la capacité des accélérateurs linéaires. En utilisant, le nombre moyen de patients consultés par an (soit 913 patients), la distribution des 5 types de cancers observés et le nombre moyen de traitements de cancer par type de cancer observés, le nombre total de traitements s'élève à 13666 traitements. Avec notre distribution de traitements, le nombre de traitement s'élèverait à 15103 traitements, soit une augmentation de 11%.

La capacité annuelle théorique avec les deux accélérateurs linéaires est de 13832 traitements. Ainsi, si la tendance se maintient au fil des mois, il n'y aura pas suffisamment de capacité au niveau des accélérateurs linéaires. Ces derniers seront le goulot des opérations.

Au niveau de la dosimétrie, la répartition de la dosimétrie 3D et de l'IMRT est identique au simulateur, soit 37% des patients font une dosimétrie 3D et 63% font une IMRT. Pour 4 dosimétristes, environ 2 dossiers de patients sont traités par jour, sachant que 2 de ces 4 dosimétristes sont en apprentissage. Avec le simulateur, nous avons trouvés que 6 dosimétristes réalisent 4 dossiers de patients par jour. Ainsi, nos résultats sont réalistes pour la dosimétrie.

### 5.3 Analyse des flux des patients

Pour l'analyse des flux de patients, l'échantillon reste identique, soit 175 patients. Le délai est très important et nécessite une investigation. Néanmoins, il est possible de voir que les distributions des patients de priorité 3 et 4 sont proches comme le résultat de la simulation.

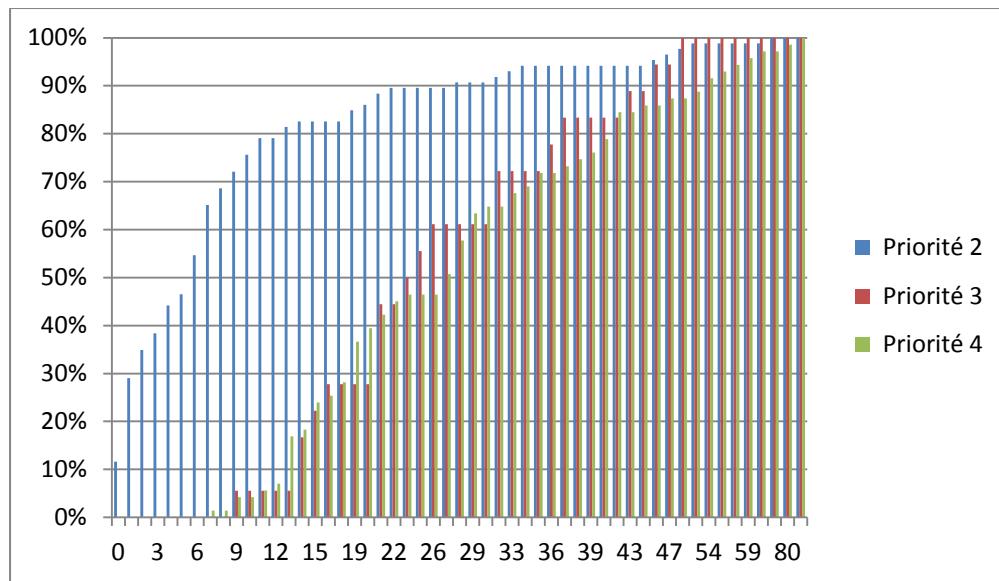


Figure 5-6: Répartition des délais en jours entre la consultation et le premier jour de traitement selon les priorités des patients

Pour les prochains graphiques, nous avons décomposé ce délai entre celui de la consultation et le CT-Scan et entre celui du CT-Scan et le premier jour de traitement

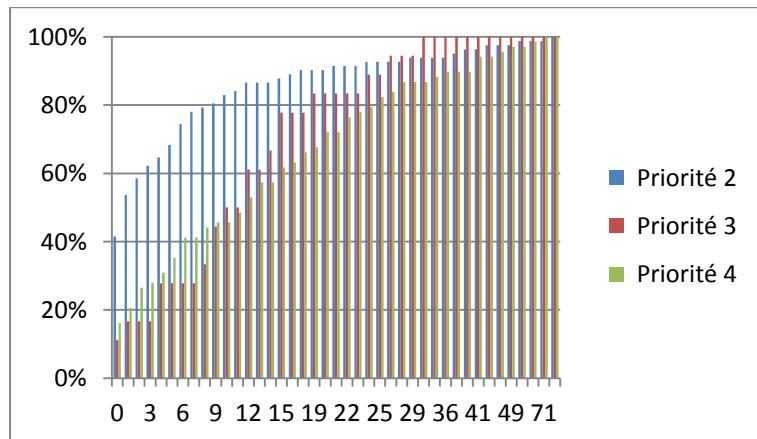


Figure 5-7: Répartition des délais en jour entre la consultation et le CT-SCAN selon les priorités des patients

Une importante variabilité est située entre la consultation et le CT-Scan. En effet, certains patients suite à la consultation doivent faire une chimiothérapie retardant de beaucoup le rendez-vous du CT-Scan. Ce type de situation n'a pas été considéré dans le modèle. Tous les patients, après la consultation, effectuent le CT-Scan sans étape intermédiaire.

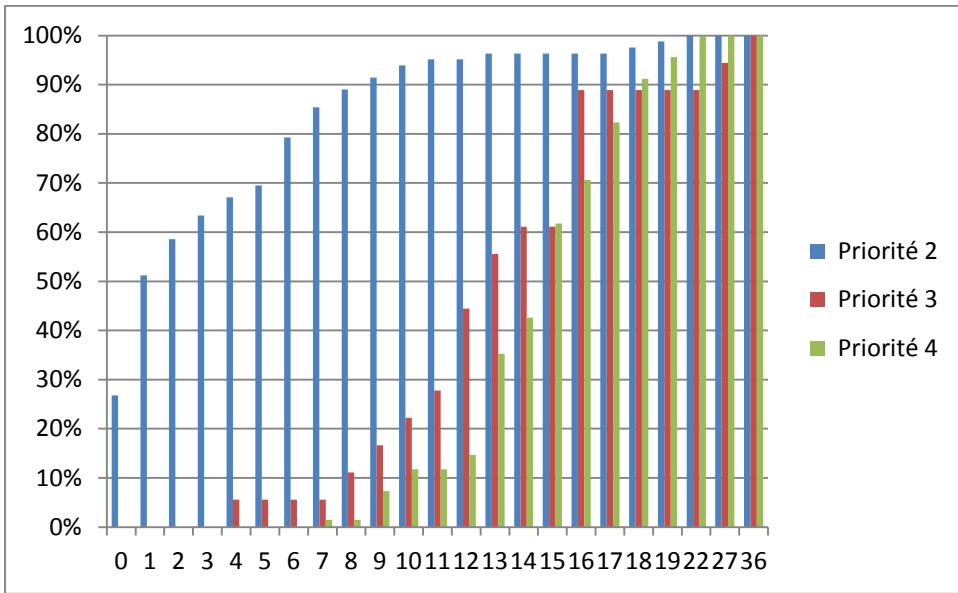


Figure 5-8: Répartition des délais en jour entre le CT-Scan et le 1<sup>er</sup> traitement selon les priorités des patients

Entre le CT-SCAN et le 1<sup>er</sup> jour de traitement, 65% des patients palliatifs ont attendu au maximum 3 jours pour recevoir le 1<sup>er</sup> jour de traitement, 60% des patients curatifs priorité 3 ont attendu un maximum de 14 jours pour leur premier traitement et 90% des patients curatifs priorité 4 ont reçu leur premier traitement avant 28 jours.

L'administration explique que le goulot est situé dans la capacité des deux accélérateurs linéaires.

### 5.3.1 Utilisation des équipements

Dans l'analyse des résultats du simulateur, la capacité des CT-Scans n'a pas été considérée comme critique pour le flux des patients. Dans le graphique suivant, la répartition du nombre de plages utilisé par jour est présentée pour le CT-Scan principal.

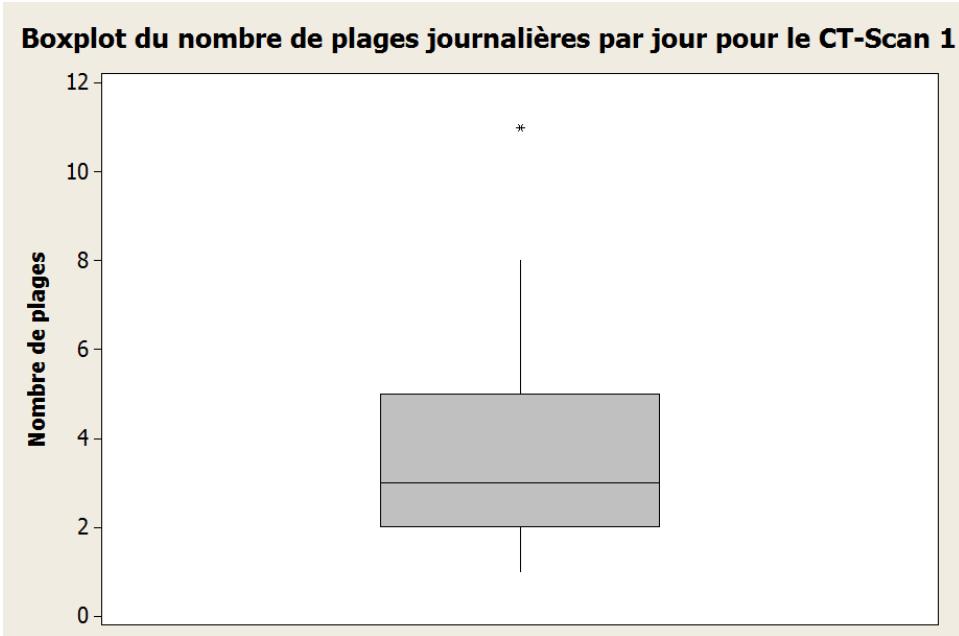


Figure 5-9 : Nombre de plages des CT-Scan 1 utilisées par jour en moyenne

À travers ce graphique, le CT-Scan 1 possède suffisamment de plages pour ne pas constituer un goulot. Il existe seulement une journée exceptionnelle où le nombre de plages est à 11 et le personnel a dû réaliser du temps supplémentaire. Le CT-Scan 2 est rarement utilisé, seulement 9 jours sur les 74 jours analysés. Ceci valide bien nos résultats et l'administration a confirmé que les CT-Scans ne sont pas des goulots.

Concernant les accélérateurs linéaires, le graphique suivant présente l'évolution du nombre de plages utilisées par jour pour les deux accélérateurs linéaires.

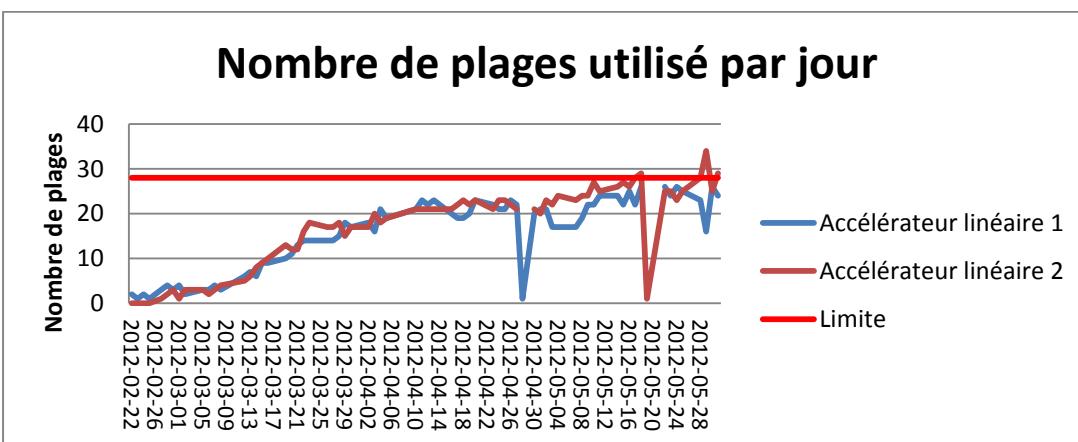


Figure 5-10 : Évolution des plages utilisées par accélérateur linéaire

Il a fallu environ 75 jours au département pour s'approcher de la capacité maximum des accélérateurs linéaires qui deviennent le goulot principal des opérations. Les deux pics correspondent à des données absentes.

### 5.3.2 Analyse de l'impact de la réservation des plages palliatives

Dans nos recommandations, pour 4 accélérateurs linéaires, le nombre de plages à réserver pour les patients palliatifs est de 7. Pour deux accélérateurs, l'administration a choisi de réserver 4 plages. Dans les deux prochains graphiques, il est présenté le nombre de plages utilisées par jour pour les patients curatifs et pour les patients palliatifs.

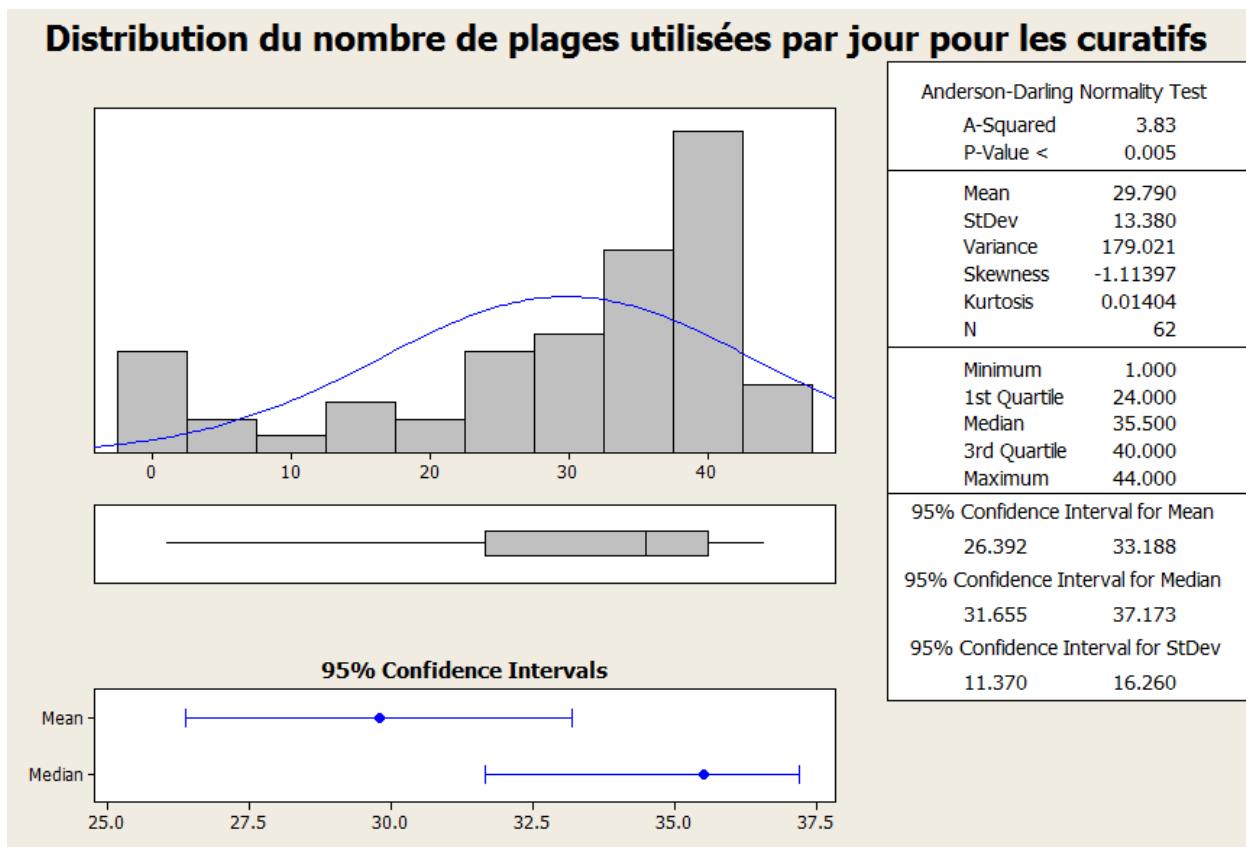


Figure 5-11 : Distribution du nombre de plages journalières utilisées pour les patients curatifs

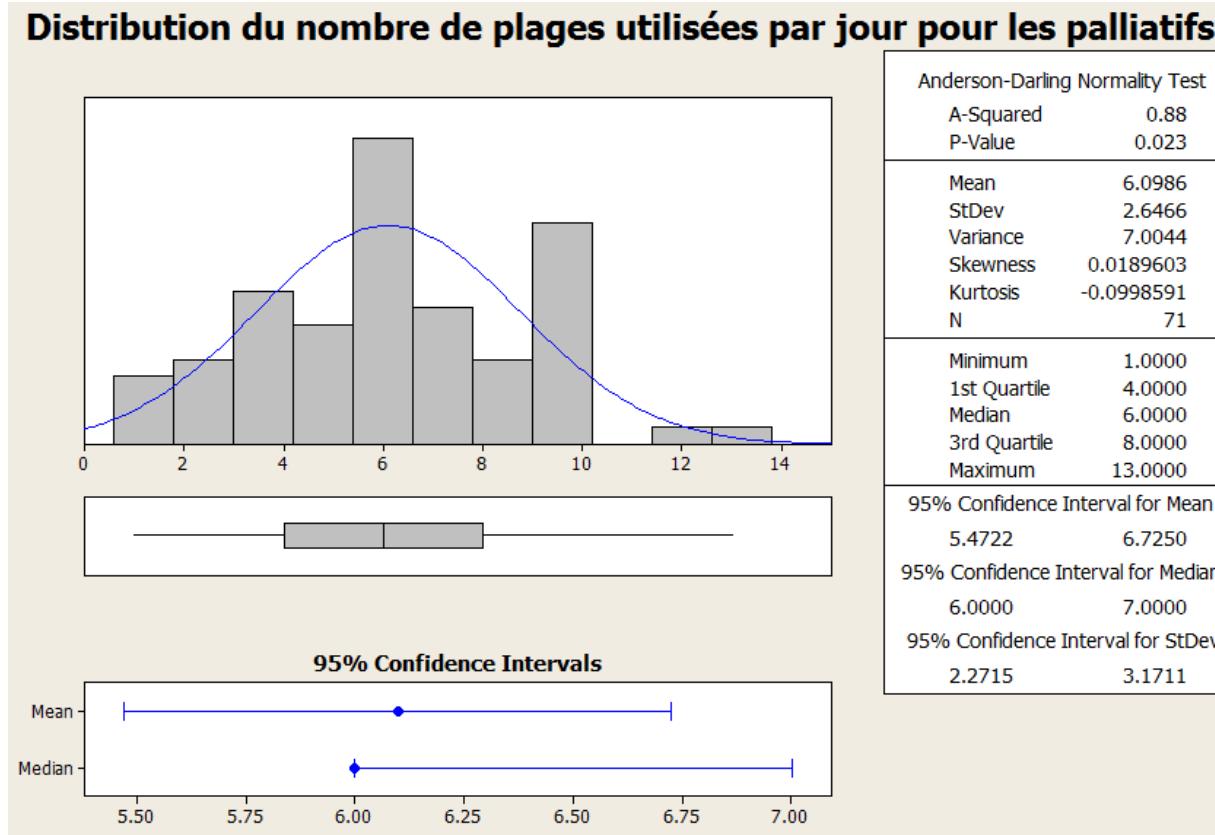


Figure 5-12 : Distribution du nombre de plages journalières utilisées pour les patients palliatifs

En moyenne, le nombre de plages pour les patients palliatifs est de 6. Ceci confirme bien notre hypothèse. Cependant, nous avons émis notre hypothèse pour 4 accélérateurs linéaires. Si l'ajout, par la suite, des deux accélérateurs linéaires augmente le nombre de patients palliatifs à traiter, alors il faudra réviser ce nombre. Pour l'instant, les employés du département réalisent du surtemps pour traiter les patients palliatifs.

## 5.4 Validation des calendriers des médecins

Actuellement, le département fonctionne avec 5 médecins. Les calendriers choisis sont les calendriers des médecins B, C, E, F, G pour couvrir l'ensemble d'une semaine normale de travail. Pour valider le fonctionnement du calendrier, une rencontre s'est déroulée avec l'assistante chef en radio-oncologie. Cette dernière indique que les activités de consultation et de traitements sont suffisantes. Par contre, les délais pour réaliser les contours sont serrés et parfois engendre des retards dans le traitement. Aussi, il n'y a pas suffisamment de plages pour valider la dosimétrie. Malheureusement, le département ne possède pas encore de données pour valider ces

observations. Ainsi, les résultats du simulateur concordent avec la réalité. Les tâches de l'activité dosimétrie sont les plus chargées. Cependant, les médecins sont plus efficaces dans le simulateur que dans la réalité. Nous pouvons donc affirmer que les résultats du simulateur sont optimistes et il est nécessaire d'ajouter des facteurs perturbateurs sur l'activité de dosimétrie pour ajuster l'efficacité des médecins. Dans les figures suivantes, la répartition des consultations curatives et celles palliatives entre les médecins sont présentées.

Tableau 5.6 : Répartition des consultations curatives et palliatives par médecin

	<b>Consultation curative (%)</b>	<b>Consultation palliative (%)</b>
Médecin B	22	27
Médecin C	22	17
Médecin E	22	17
Médecin F	12	27
Médecin G	22	12

La répartition est satisfaisante et l'équité entre les médecins est respectée pour le nombre de consultations curatives.

## 5.5 Recommandations génériques

La validation des résultats du simulateur est concluante. Néanmoins, la taille de l'échantillon utilisée pour la validation est faible (moins de 200 patients).

La distribution des types de patients, la distribution de cancer et la distribution du nombre de traitements sont de bonnes approximations et peuvent être utilisées pour déterminer la capacité des accélérateurs linéaires. En effet, il s'agit du goulot principal des processus, et il faut bien déterminer la politique de réservation de rendez-vous pour ces machines. La politique standard de réserver la première plage disponible ne permet pas de prendre en compte les priorités des patients curatifs. Une solution est de systématiquement bloquer les rendez-vous des patients de priorité 4 durant une période donnée afin de libérer des plages pour les patients plus prioritaires.

Pour la gestion des rendez-vous des patients palliatifs, il faudrait pour 2 accélérateurs linéaires de 30 plages chacun, 6 plages exclusives. Ainsi, il serait raisonnable d'affirmer qu'il est nécessaire d'avoir 3 plages exclusives sur 30, soit 10% de la capacité, par accélérateur linéaire pour un ratio de 27% de patients palliatifs.

Par la suite, le deuxième goulot détecté par la simulation réside dans la dosimétrie. Pour un volume annuel de 1340 patients, 6 dosimétristes sont nécessaires. Ceci correspond à un dosimétriste pour un volume annuel de 223 patients. Ce ratio constitue donc un repère pour bien déterminer la capacité nécessaire pour ce processus. Pour les autres opérations, elles ne sont pas considérées critiques.

Le calendrier des médecins fonctionne et permet de préparer les patients en moyenne 5 jours en améliorant la coordination avec les autres spécialistes. Cependant, l'activité de dosimétrie est l'activité la plus chargée et doit avoir suffisamment de temps pour pouvoir traiter un maximum de 5 patients pour une journée donnée.

## CONCLUSION

À travers cette recherche, des méthodes novatrices ont été explorées afin d'offrir des solutions aux enjeux de gestion de la capacité et priorisation d'un département de radio-oncologie à l'aide de la simulation. En effet, la simulation offre la flexibilité de considérer différentes contraintes opérationnelles telle que la coordination des ressources humaines ou encore les conditions d'attribution de plages horaires et de prendre en compte l'aspect stochastique des processus, ce qui a un impact significatif sur les analyses de capacité tel que vu précédemment. La gestion avait initialement utilisé une moyenne du nombre de traitements requis afin d'évaluer les besoins en équipement, ce qui avait conduit à une surestimation de la capacité des accélérateurs linéaires.

En début d'analyse, afin de prendre en compte l'ensemble des facteurs ayant un impact significatif sur le respect des délais de la grille de classification, les frontières du modèle ont été élargies ce qui impliquait des défis de modélisation. Toute la chaîne des opérations a été représentée, depuis la consultation jusqu'au dernier traitement, et deux heuristiques développées pour prendre en compte la politique de réservation des machines. Ce qui a permis d'adopter une approche innovante pour la représentation des plages horaires par des entités. Cette méthode a considérablement facilité une partie de la modélisation du processus de radio-oncologie où les traitements sont successifs.

Un autre enjeu majeur dans cette recherche a été la validation de la standardisation des tâches des médecins. Ces derniers ont le choix de réaliser plusieurs tâches à la fois. Il n'était donc pas possible de modéliser ces ressources par l'approche traditionnelle. L'approche « agent-based model » a ainsi été explorée pour modéliser les prises de décisions des médecins sur les tâches à effectuer, offrant une plus grande rigueur dans la modélisation.

L'objectif final de tout modèle de simulation à évènement discret est dans la réalisation des scénarios What-If. Ainsi, tout l'art de la simulation est de trouver le juste équilibre entre la représentation des opérations et l'analyse des scénarios What-if. Cet objectif a servi de ligne directrice au développement du modèle afin d'éviter de tomber dans le piège de la surmodélisation comme le dit si bien J James Caro, “The main disadvantage of DES stems directly from its advantages; it facilitates realistic modelling to such an extent that it may promote more in-depth depiction of the problem than is warranted” [22]. Il a été parfois nécessaire de négliger certains aspects du fonctionnement du département afin de ne pas alourdir le modèle et

perdre de vue l'objectif de réaliser des scénarios What-if. Ainsi, des recommandations concrètes afin de pouvoir maximiser le nombre de patients traités ont pu être émises et ceci avant même l'ouverture du département de radio-oncologie, justifiant par là-même l'utilité des modèles de simulation pour la radio-oncologie.

Selon les résultats, l'objectif initial de l'administration du département, d'atteindre les 1500 patients est compromis. À travers des analyses, deux causes principales ont été émises, une pénurie de dosimétristes ainsi qu'une insuffisance de plages au niveau des accélérateurs linéaires. Notre recommandation, au niveau de la dosimétrie, a été l'embauche de deux dosimétristes. Dans notre analyse, nous avons pris en considération, la possibilité d'échec de la préparation des traitements pour s'approcher de la réalité.

Aussi, divers scénarios ont permis de déterminer le ratio afin de minimiser l'impact de la variabilité des patients palliatifs pour la réservation des plages avec des résultats satisfaisants. Pour pousser plus loin la recherche, il serait recommandé d'utiliser la recherche opérationnelle pour développer un modèle capable d'optimiser les rendez-vous des patients.

Par ailleurs, la simulation a permis de valider les calendriers des médecins. Suite à l'analyse, il est possible de constater que l'objectif de préparer le patient en 5 jours est respecté en moyenne. Ainsi, cette recherche prouve que la standardisation des horaires des médecins augmente l'efficacité des opérations et réduit considérablement les délais d'attente.

Cependant, plusieurs hypothèses émises sur l'arrivée des patients dans le modèle ont eu un impact sur les résultats de l'analyse. Les accélérateurs linéaires, par exemple, sont très sensibles en termes de capacité à la répartition des types de cancer. La validation de ces hypothèses est concluante et la distribution des arrivées de patients peut être utilisée pour calculer la capacité des accélérateurs linéaires.

À court terme, le modèle de simulation peut servir d'outil stratégique de planification pour l'administration, afin d'analyser par exemple l'impact des différentes arrivées de patients à partir des données collectées, ce qui permettra de prendre rapidement des décisions stratégiques sans requérir d'investissement pour la mise en place de tests pilotes.

La construction d'un modèle de prédiction pour déterminer les demandes de consultation des patients palliatifs représente un excellent outil à utiliser en complément au modèle de simulation.

Dès lors, l'administration pourra anticiper la demande, ajuster les ressources et la valider avec la simulation.

Le traitement du cancer est un processus standard nécessitant plusieurs opérations communes à tous les établissements de soins de santé. En conséquence, nous sommes confiants que le modèle développé pourra être généralisé à d'autres centres de cancer et contribuera à améliorer le système de santé.

## RÉFÉRENCE

- [1] M. Beaupré, R. Louchini, D. Fortin, M. Godin, "Portrait du cancer au Québec, 2006," La Direction des communications du ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec, Québec, Canada, Rapport Technique ISBN : 978-2-550-60377-1, 2010. [En ligne], Disponible : [www.msss.gouv.qc.ca](http://www.msss.gouv.qc.ca)
- [2] Comité directeur de la Société canadienne du cancer, "Statistiques canadiennes sur le cancer 2011," Société canadienne du cancer, Toronto, Canada, Rapport Technique ISSN 0835-2976, 2011. [En ligne], Disponible : <http://www.cancer.ca/>
- [3] P. Boucher, H. Beauregard, "Le coût économique du cancer au Québec, en 2008," Coalition Priorité Cancer au Québec, Montréal, Canada, Rapport Technique, 2010. [En ligne], Disponible : <http://www.informa.msss.gouv.qc.ca>
- [4] D. Gaëtane, L. Côté, M. Bordeleau, L. Cazale et I. Traoré, "Enquête québécoise sur la qualité des services de lutte contre le cancer 2008 : portrait statistique des personnes ayant reçu un traitement", Institut de la statistique du Québec, Québec, Canada, Rapport Technique ISBN 978-2-550-58440-7, 2010. [En ligne], Disponible : [http://www.stat.gouv.qc.ca/publications/sante/enq\\_cancer.htm](http://www.stat.gouv.qc.ca/publications/sante/enq_cancer.htm)
- [5] Santé et Service Sociaux Québec, " Accès aux services médicaux spécialisés," Santé et Service Sociaux Québec, 2012. [En ligne]. Disponible: <http://wpp01.msss.gouv.qc.ca/appl/g74web/tableaucomparatif.asp>
- [6] Collège des médecins du Québec, "La gestion de l'accès aux services en Radio-Oncologie: pour une approche systématique," Collège des médecins du Québec et Ministère de la Santé et des Services sociaux, Québec, Canada, Énoncé de position ISBN 2-920548-15-8, 2004. [En ligne], Disponible : <http://www.cmq.org/fr/Medias/Profil/Commun/AProposOrdre/Publications/EnoncesGuidesLignes.aspx>

- [7] M. Nassef, L. James Erickson, J. Brophy, "Les temps d'attente au CHUM," Direction de l'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé, CHUM, Québec, Canada, Rapport Technique TAU-DÉTMIS-01, 2007. [En ligne], Disponible : [http://www.chumtl.qc.ca/userfiles/Image/DETMIS/rapport\\_temps-attente.pdf](http://www.chumtl.qc.ca/userfiles/Image/DETMIS/rapport_temps-attente.pdf)
- [8] I. Reid, "Étude nationale 2009 sur le journal des médecins Temps d'attente selon la société nationale de spécialité," l'alliance sur les temps d'attente, Canada, Rapport Technique, 2009. [En ligne], Disponible : [http://www.waittimealliance.ca/June2009/WTA-Physician-Diary-Study-June2009\\_f.pdf](http://www.waittimealliance.ca/June2009/WTA-Physician-Diary-Study-June2009_f.pdf)
- [9] P. Vallée, "Technologues en radiologie - Pénurie prévue dans le système de la santé," Le Devoir.com, 10 octobre 2003. [En ligne]. Disponible: <http://www.ledevoir.com/societe/actualites-en-societe/38058/technologues-en-radiologie-penurie-prevue-dans-le-systeme-de-la-sante>
- [10] P. Sullivan, "For first time, unemployment line awaits group of new Canadian specialists," CMAJ : Canadian Medical Association Journal, vol. 156, pp. 1739-41, 1997. [En ligne]. Disponible: <http://www.ecmaj.ca/content/156/12/1739.full.pdf>
- [11] K. Moqadem, G. Pineau, "Télémedecine et radio-oncologie : état des connaissances," ETMIS, vol. 5, no.5, pp. 1-25, 2009. [En ligne]. Disponible : [http://www.inesss.qc.ca/fileadmin/doc/AETMIS/Rapports/Telesante/ETMIS2009\\_Vol5\\_No5.pdf](http://www.inesss.qc.ca/fileadmin/doc/AETMIS/Rapports/Telesante/ETMIS2009_Vol5_No5.pdf)
- [12] Société Canadienne du Cancer, "Traitement Radiothérapie," Société Canadienne du Cancer, 22 juin 2011. [En ligne]. Disponible: <http://www.cancer.ca/Quebec/About%20cancer/Treatment/Radiation.aspx>
- [13] W. J. Mackillop, "Killing time: The consequences of delays in radiotherapy," *Radiotherapy and Oncology*, vol. 84, pp. 1-4, Jul 2007.
- [14] G. Werker, A. Sauré, J. French, and S. Shechter, "The use of discrete-event simulation modelling to improve radiation therapy planning processes," *Radiotherapy and Oncology*, vol. 92, pp. 76-82, 2009.

- [15] S. N. Ogulata, M. O. Cetik, E. Koyuncu, and M. Koyuncu, "A Simulation Approach for Scheduling Patients in the Department of Radiation Oncology," *Journal of Medical Systems*, vol. 33, pp. 233-239, Jun 2009.
- [16] S. Petrovic, W. Leung, X. Song, and S. Sundar, "Algorithms for radiotherapy treatment booking", in *Proceedings of the 25th Workshop of the UK Planning and Scheduling Special Interest Group (PlanSIG'2006)* , Nottingham, UK, 14-15th December 2006, pp. 105-112.
- [17] D. Conforti, F. Guerriero, and R. Guido, "Optimization models for radiotherapy patient scheduling," *4or-a Quarterly Journal of Operations Research*, vol. 6, pp. 263-278, Sep 2008.
- [18] W. D. Kelton, R.P. Sadowski, N.B. Swets, Simulation with Arena, 5<sup>ème</sup> Édition, New York: The McGraw-Hill Compagnies, 2010.
- [19] E. Bonabeau, "Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems," Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, vol. 99, pp. 7280-7287, May 2002.
- [20] W.W Hines, D.C. Montgomery, D.M. Goldsman et C.M. Borror, "Quelques lois de probabilité discrètes," in Probabilités et statistique pour ingénieur, 4e éd., Montréal, Québec: les éditions de la chenelière inc., 2005, pp. 109-128.
- [21] E. Goldratt et J. Cox, Le but un processus de progrès permanent, Paris: Afnor Editions, 2006.
- [22] J. J. Caro, "Pharmacoeconomic analyses using discrete event simulation," *Pharmacoeconomics*, vol. 23, pp. 323-332, 2005.
- [23] J. E. Everett, "A decision support simulation model for the management of an elective surgery waiting system," *Health Care Management Science*, vol. 5, pp. 89-95, 2002.
- [24] S. N. Ogulata, M. O. Cetik, E. Koyuncu, and M. Koyuncu, "A Simulation Approach for Scheduling Patients in the Department of Radiation Oncology," *Journal of Medical Systems*, vol. 33, pp. 233-239, Jun 2009.

- [25] P. Santibanez, V. S. Chow, J. French, M. L. Puterman, and S. Tyldesley, "Reducing patient wait times and improving resource utilization at British Columbia Cancer Agency's ambulatory care unit through simulation," *Health Care Management Science*, vol. 12, pp. 392-407, 2009.
- [26] J. A. Sepulveda, W. J. Thompson, F. F. Baesler, M. I. Alvarez, and L. E. Cahoon Iii, "Use of simulation for process improvement in a cancer treatment center," in proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference, 1999, pp. 1541-1548.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] P. Santibanez, V. S. Chow, J. French, M. L. Puterman, and S. Tyldesley, "Reducing patient wait times and improving resource utilization at British Columbia Cancer Agency's ambulatory care unit through simulation," *Health Care Management Science*, vol. 12, pp. 392-407, Dec 2009.
- [2] S. Groothuis, G. G. van Merode, and A. Hasman, "Simulation as decision tool for capacity planning," *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 66, pp. 139-151, Sep 2001.
- [3] M. Comas, X. Castells, L. Hoffmeister, R. Roman, F. Cots, J. Mar, S. Gutiérrez-Moreno, and M. Espallargues, "Discrete-event simulation applied to analysis of waiting lists. Evaluation of a prioritization system for cataract surgery," *Value in Health*, vol. 11, pp. 1203-1213, 2008.
- [4] J. E. Clague, P. G. Reed, J. Barlow, R. Rada, and R. H. T. Edwards, "Improving outpatient clinic efficiency using computer simulation," *International Journal of Health Care Quality Assurance*, vol. 10, pp. 197-201, 1997.
- [5] Z. Chen, W. King, R. Pearcey, M. Kerba, and W. J. Mackillop, "The relationship between waiting time for radiotherapy and clinical outcomes: A systematic review of the literature," *Radiotherapy and Oncology*, vol. 87, pp. 3-16, Apr 2008.
- [6] F. F. Baesler and J. A. Sepulveda, "Multi-objective simulation optimization for a cancer treatment center," in Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference, pp. 1405-1411.
- [7] H. Beaulieu, J. A. Ferland, B. Gendron, and P. Michelon, "A mathematical programming approach for scheduling physicians in the emergency room," *Health Care Management Science*, vol. 3, pp. 193-200, 2000.
- [8] M. J. Côté, "Patient flow and resource utilization in an outpatient clinic," *Socio-Economic Planning Sciences*, vol. 33, pp. 231-245, 1999.

- [9] M. L. De Grano, D. J. Medeiros, and D. Eitel, "Accommodating individual preferences in nurse scheduling via auctions and optimization," *Health Care Management Science*, vol. 12, pp. 228-242, Sep 2009.
- [10] B. Denton, J. Viapiano, and A. Vogl, "Optimization of surgery sequencing and scheduling decisions under uncertainty," *Health Care Management Science*, vol. 10, pp. 13-24, 2007.
- [11] B. T. Denton, A. J. Miller, H. J. Balasubramanian, and T. R. Huschka, "Optimal Allocation of Surgery Blocks to Operating Rooms Under Uncertainty," *Operations Research*, vol. 58, pp. 802-816, Jul-Aug 2010.
- [12] P. E. Joustra, J. de Wit, V. M. D. Struben, B. J. H. Overbeek, P. Fockens, and S. G. Elkhuizen, "Reducing access times for an endoscopy department by an iterative combination of computer simulation and Linear Programming," *Health Care Management Science*, vol. 13, pp. 17-26, Mar 2010.
- [13] K. J. Klassen and R. Yoogalingam, "Improving Performance in Outpatient Appointment Services with a Simulation Optimization Approach," *Production and Operations Management*, vol. 18, pp. 447-458, Jul-Aug 2009.
- [14] S. Petrovic et P. Leite-Rocha, "*Constructive and GRASP Approaches to Radiotherapy Treatment Scheduling*," in proceeding of the Advances in Electrical and Electronics Engineering - IAENG Special Edition of the World Congress on Engineering and Computer Science, 2008, pp. 192-200.
- [15] S. Petrovic, P. Leite-Rocha, and E. Int Assoc, *Constructive Approaches to Radiotherapy Scheduling*, " in proceeding of the Advances in Electrical and Electronics Engineering - IAENG Special Edition of the World Congress on Engineering and Computer Science, 2008, pp. 722-727.
- [16] C. M. Rutter, A. M. Zaslavsky, and E. J. Feuer, "Dynamic Microsimulation Models for Health Outcomes: A Review," *Medical Decision Making*, vol. 31, pp. 10-18, Jan-Feb 2011.

- [17] W. Tao, E. Marcon, and P. Pomier, "Online scheduling for a hadrontherapy treatment center," in proceeding of the *Control Conference (CCC), 2011 30th Chinese*, 2011, pp. 2201-2205.
- [18] C. W. Wu, K. N. Brown, and J. C. Beck, "Scheduling with uncertain durations: Modeling -robust scheduling with constraints," *Computers & Operations Research*, vol. 36, pp. 2348-2356, 2009.
- [19] T. Kapamara, K. Sheibani, O. C. L. Haas, D. Petrovic, and C. R. Reeves. A review of scheduling problems in radiotherapy. In Proceedings of the 18th international conference on systems engineering, 2005, pp 201–207.
- [20] Y. Jacquemin, E. Marcon, and P. Pommier, "Towards an improved resolution of radiotherapy, scheduling," in Health Care Management (WHCM), 2010 IEEE Workshop on, 2010, pp. 1-6.

## ANNEXE 1 – Grille de classification du département de radio-oncologie

Diagnostic ou situation clinique	Priorité	Délai pour effectuer la consultation	Délai pour traitement suite à la consultation
Compression médullaire	0	Immédiat	1 jour
Compression de la queue de cheval Compression symptomatique d'une racine nerveuse ou d'un plexus Syndrome de la veine cave supérieure Syndrome hémorragique ( vessie, bronche, col utérin, etc.)	1	1 jour	1 jour
Métastases cérébrales Métastases osseuses douloureuses Compression bronchique, viscérale ou vasculaire (excluant SVCS)	2	3 jours	3 jours
Tous les cas avec tumeur en place SAUF les cancers de la prostate et les tumeurs de peau Sein avec chimiothérapie néoadjuvante Radiothérapie préopératoire Maladie de Hodgkin Lymphomes non hodgkiens Tumeurs cérébrales Séminomes Cancer du sein inflammatoire	3	7 jours	14 jours
Cancer de la prostate Cancer de peau Traitements adjutants post-opératoires Prophylaxie crânienne Irradiation splénique Les tumeurs qui nécessitent un traitement systémique (hormonothérapie ou chimiothérapie) avant de débuter leur radiothérapie	4	14 jours	28 jours

## **ANNEXE 2 – Calendriers détaillés des médecins**

Médecins	Activités	Lundi		Mardi		Mercredi		Jeudi		Vendredi	
		AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM
E	P: P: Planification									1	1
	R: Relances			15							
	CSC: Consultation curatif	3						1	2		
	CSP: Consultation palliatif				2			1	0		
	D:Dosimétrie		1				1				
	I: Implication CSSSL					1					
	A:Administratif										
F	P: P: Planification							1	1		
	R: Relances					12					
	CSC: Consultation curatif			1	2						3
	CSP: Consultation palliatif			2							
	D:Dosimétrie	1				1				1	
	I: Implication CSSSL		1				0				
	A:Administratif										
G	P: P: Planification	1	1								
	R: Relances										10
	CSC: Consultation curatif							2	2		
	CSP: Consultation palliatif							1	1		
	D:Dosimétrie		1				1				
	I: Implication CSSSL				1						
	A:Administratif					1	1				

### ANNEXE 3 – Emplois de temps des spécialistes

Heure	Technologue au moulage	Technologue pour CT-Scan1	Technologue pour CT-Scan2	Dosimétristes 1 et 2	Dosimétristes 3 et 4	Technologue pour accélérateur linéaire	Physicien
7:30							
7:30	1	2	0	1	0	2	0
7:45	1	2	0	1	0	2	0
8:00	1	2	0	1	0	2	1
8:15	1	2	0	1	0	2	1
8:30	1	2	1	1	0	2	1
8:45	1	2	1	1	0	2	1
9:00	1	2	2	1	0	2	1
9:15	1	2	2	1	0	2	1
9:30	1	4	2	1	1	4	1
9:45	1	4	2	1	1	4	1
10:00	1	4	2	0	1	2	1
10:15	1	4	2	1	1	2	1
10:30	1	4	2	1	1	4	1
10:45	1	4	2	1	1	4	1
11:00	1	4	2	1	0	4	1
11:15	0	4	2	1	1	4	1
11:30	0	4	2	1	1	4	1
11:45	0	4	2	1	1	4	1
12:00	0	2	2	0	1	2	0
12:15	0	2	0	0	1	2	0
12:30	1	2	0	0	1	2	0
12:45	1	2	0	0	1	2	0

Heure	Technologue au moulage	Technologue pour CT-Scan1	Technologue pour CT-Scan2	Dosimétristes 1 et 2	Dosimétristes 3 et 4	Technologue pour accélérateur linéaire	Physicien
13:00	1	2	0	0	1	2	1
13:15	1	2	0	1	0	2	1
13:30	1	2	2	1	0	2	1
13:45	1	2	2	1	0	2	1
14:00	1	4	2	1	0	2	1
14:15	1	4	2	1	0	2	1
14:30	1	4	2	1	1	4	1
14:45	1	4	2	1	1	4	1
15:00	1	4	2	1	1	3	1
15:15	1	4	2	1	1	3	1
15:30	0	3	2	0	1	2	1
15:45	0	3	2	0	1	2	1
16:00	0	2	2	0	1	2	1
16:15	0	2	2	0	1	2	1
16:30	0	2	1	0	1	2	1
16:45	0	2	1	0	1	2	1
17:00	0	2	0	0	1	2	0
17:15	0	2	0	0	1	2	0
17:30							

## ANNEXE 4 –Résultats de l'analyse de sensibilité des traitements

Scénario 1 : 25 traitements curatifs et 5 traitements palliatifs

Nombre de traitements curatif	25
Nombre de traitements palliatif	5
Répartition palliatif	27%
<b>Total patient par an</b>	<b>1512</b>
<b>Curatif</b>	<b>1104</b>
<b>Palliatif</b>	<b>408</b>
<b>Total plages par an</b>	<b>29640</b>

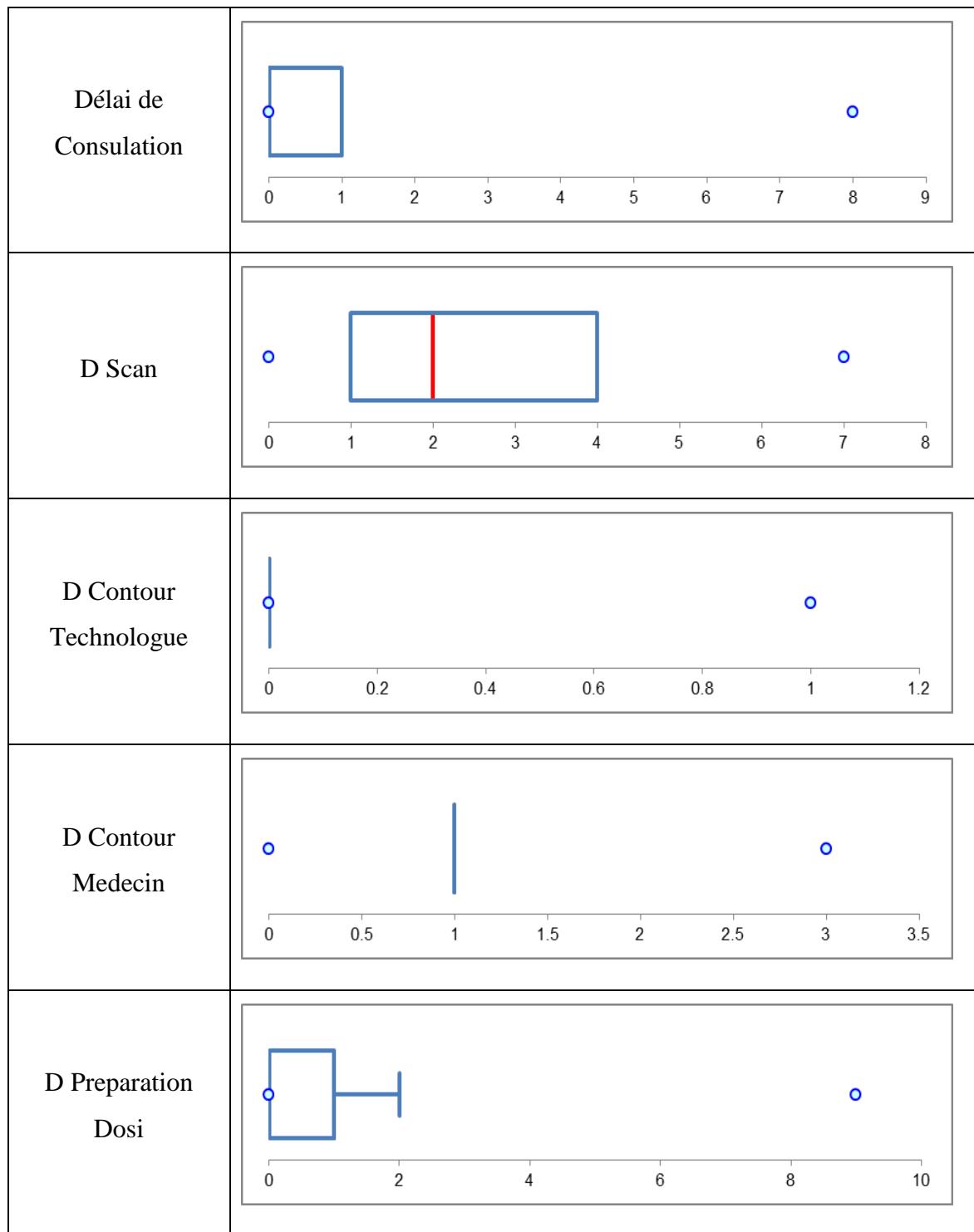
Scénario 2 : 27 traitements curatifs et 4 traitements palliatifs

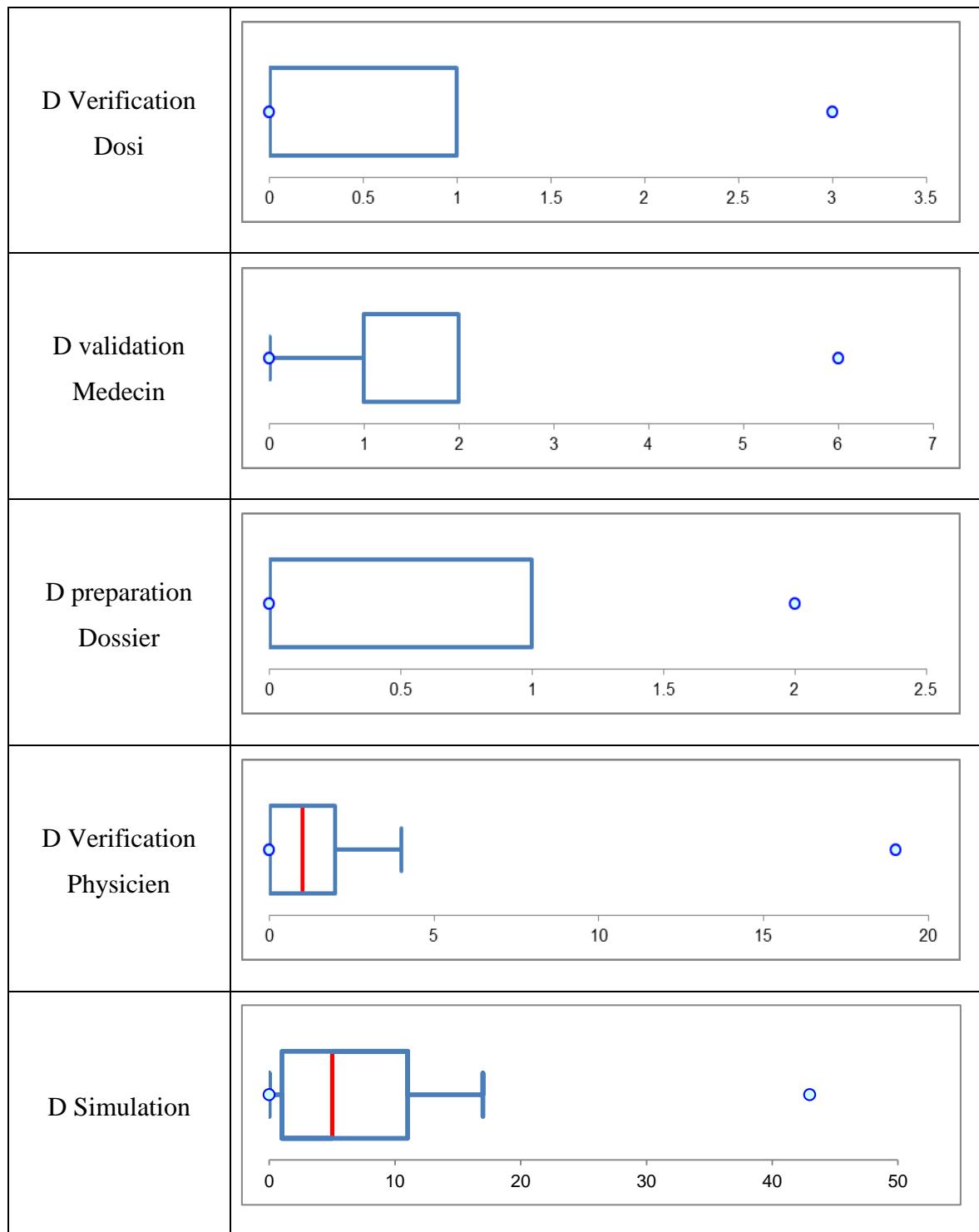
Nombre de traitements curatif	27
Nombre de traitements palliatif	4
Répartition palliatif	27%
<b>Total patient par an</b>	<b>1425</b>
<b>Curatif</b>	<b>1041</b>
<b>Palliatif</b>	<b>384</b>
<b>Total plages par an</b>	<b>29643</b>

Scénario 3 : Selon la distribution de probabilités

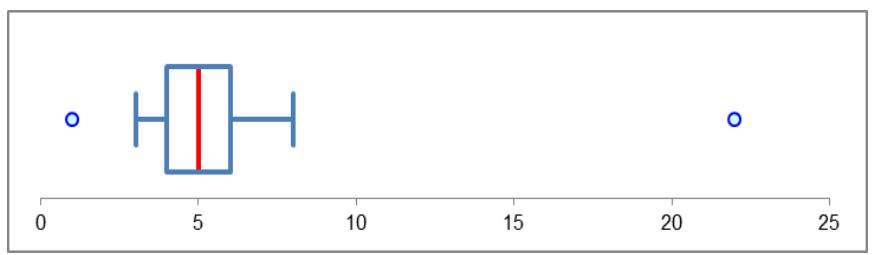
Nombre de traitements curatif	Selon les probabilités
Nombre de traitements palliatif	Selon les probabilités
Répartition palliatif	27%
<b>Total patient traité par an</b>	<b>1341</b>
<b>Curatif</b>	<b>979</b>
<b>Palliatif</b>	<b>362</b>
<b>Total plages par an</b>	<b>29624</b>
<b>Variation par rapport au scénario 1</b>	<b>11.3% = (1512-1341)/1512</b>

## ANNEXE 5 – Délai d'attente curatif

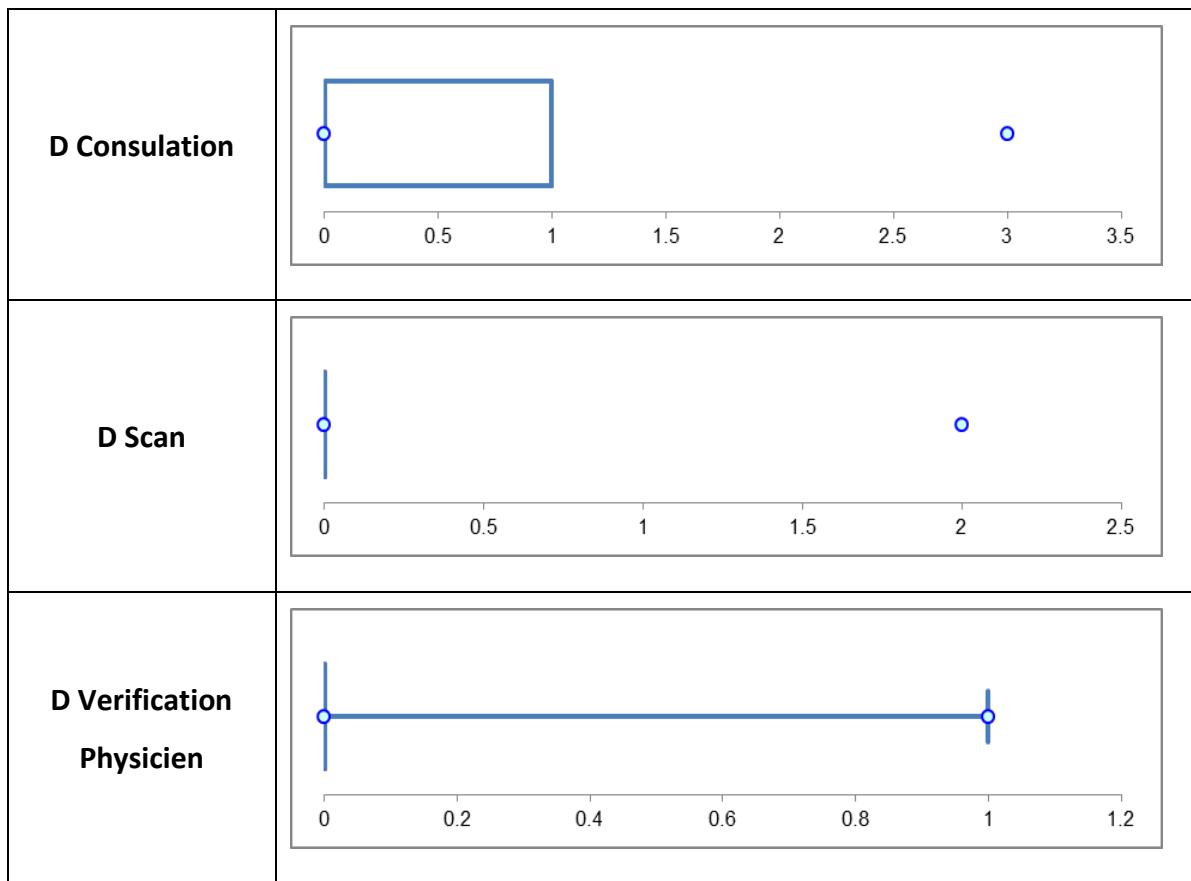




D Simulation –  
Scan  
Si Patient traité  
immédiatement



## ANNEXE 6 – Délai d'attente palliatif

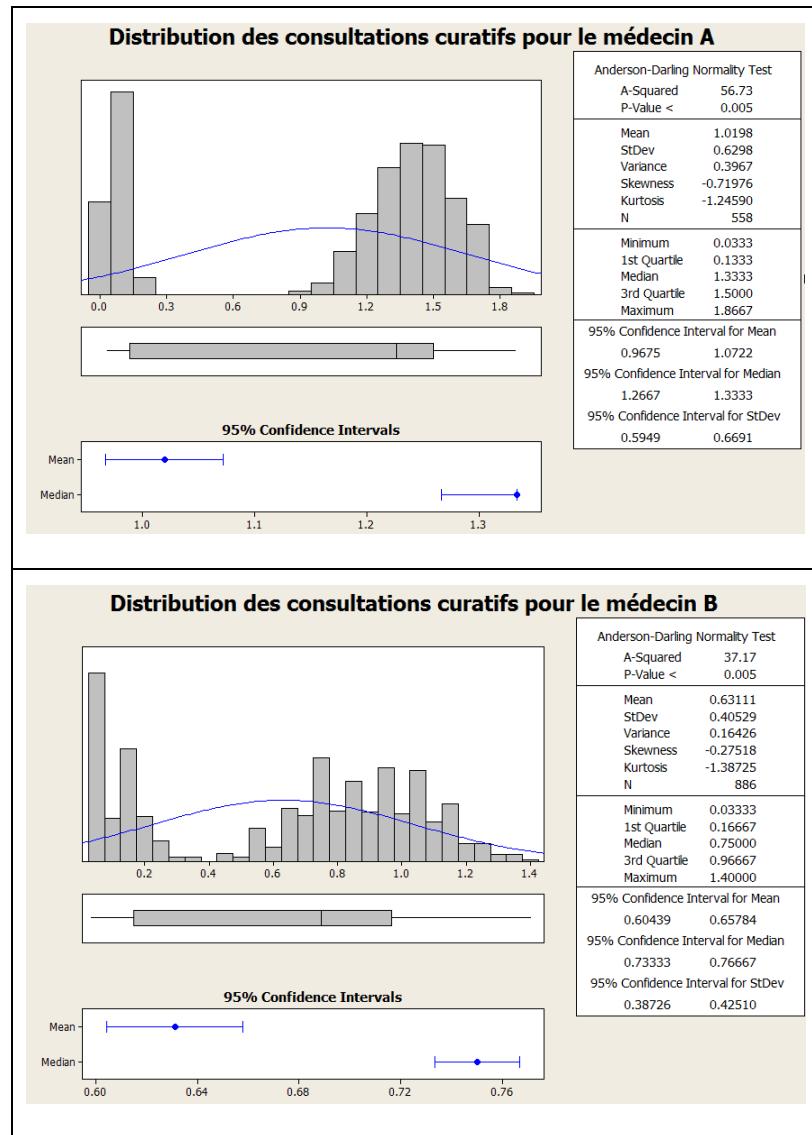


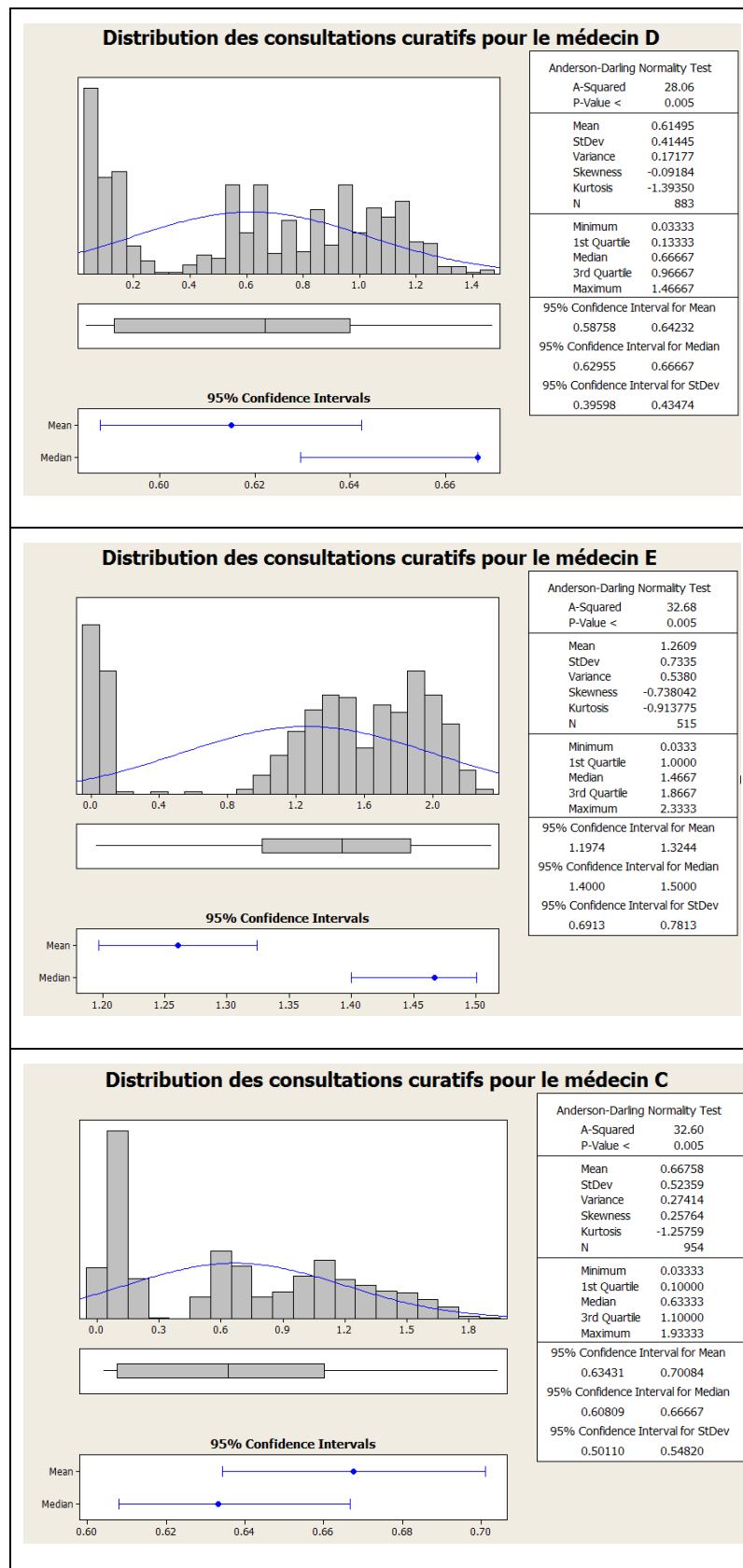
## ANNEXE 7 – Pourcentage des quotas non utilisés de consultation en moyenne

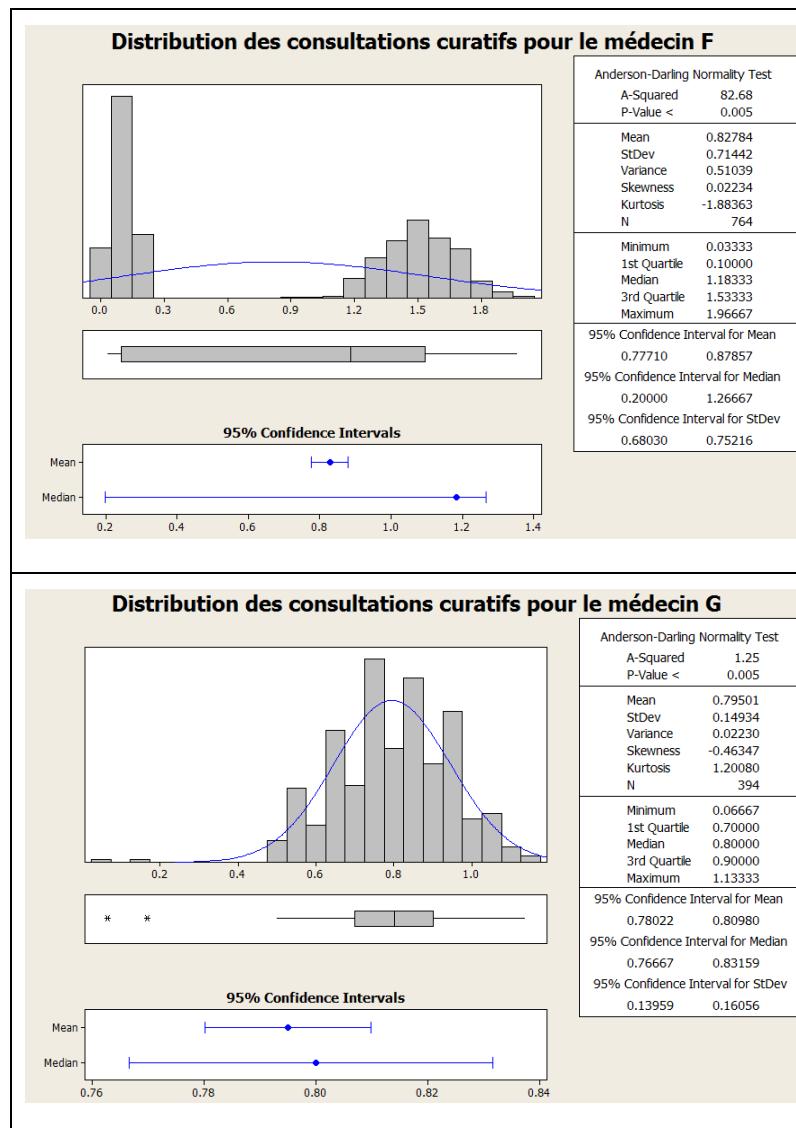
<b>Jour</b>	<b>Medecin</b>	<b>Palliatif</b>	<b>Curatif</b>
Lundi	A	1%	55%
Lundi	B	0%	83%
Lundi	C	0%	0%
Lundi	D	0%	84%
Lundi	E	0%	68%
Lundi	F	0%	0%
Lundi	G	0%	0%
Mardi	A	0%	0%
Mardi	B	0%	1%
Mardi	C	59%	58%
Mardi	D	66%	1%
Mardi	E	84%	0%
Mardi	F	37%	58%
Mardi	G	0%	0%
Mercredi	A	0%	60%
Mercredi	B	0%	36%
Mercredi	C	1%	1%
Mercredi	D	15%	13%
Mercredi	E	1%	0%
Mercredi	F	0%	0%
Mercredi	G	0%	0%

<b>Jour</b>	<b>Medecin</b>	<b>Palliatif</b>	<b>Curatif</b>
Jeudi	A	73%	0%
Jeudi	B	88%	14%
Jeudi	C	51%	10%
Jeudi	D	0%	0%
Jeudi	E	33%	20%
Jeudi	F	0%	0%
Jeudi	G	47%	56%
Vendredi	A	1%	1%
Vendredi	B	0%	1%
Vendredi	C	0%	40%
Vendredi	D	0%	42%
Vendredi	E	0%	1%
Vendredi	F	0%	40%
Vendredi	G	38%	70%

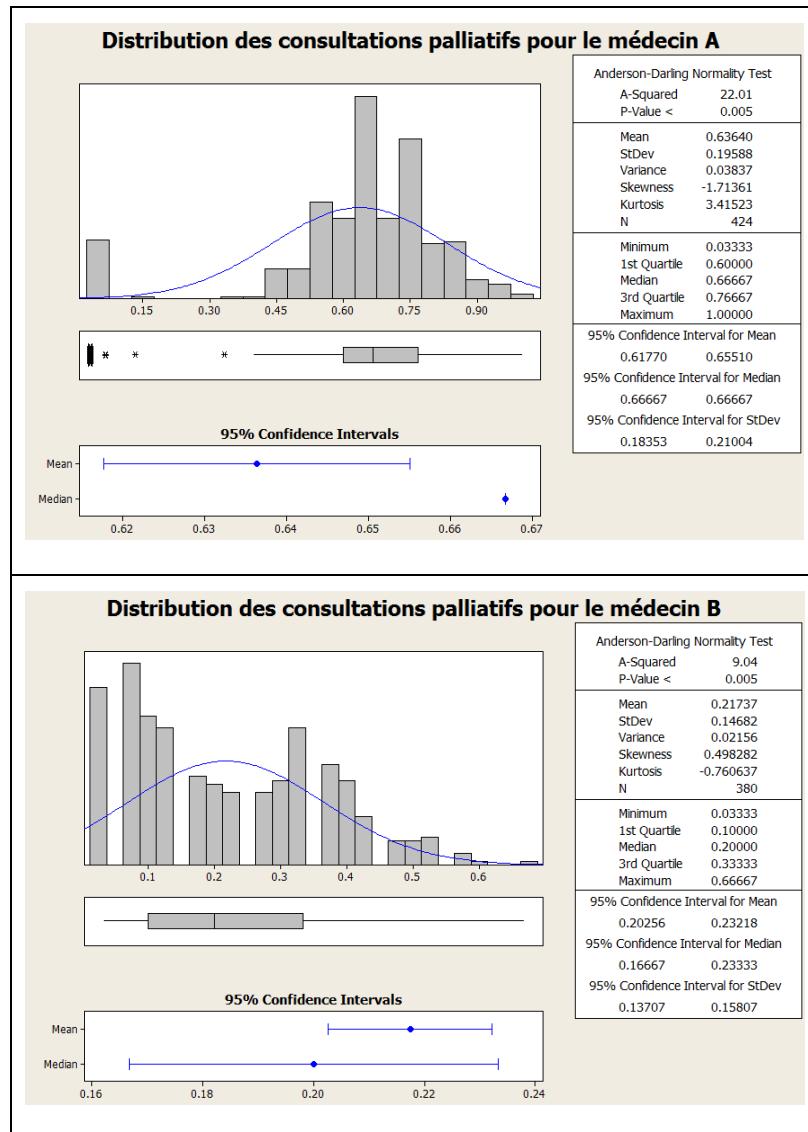
## ANNEXE 8 – Distribution des consultations curatives par médecin

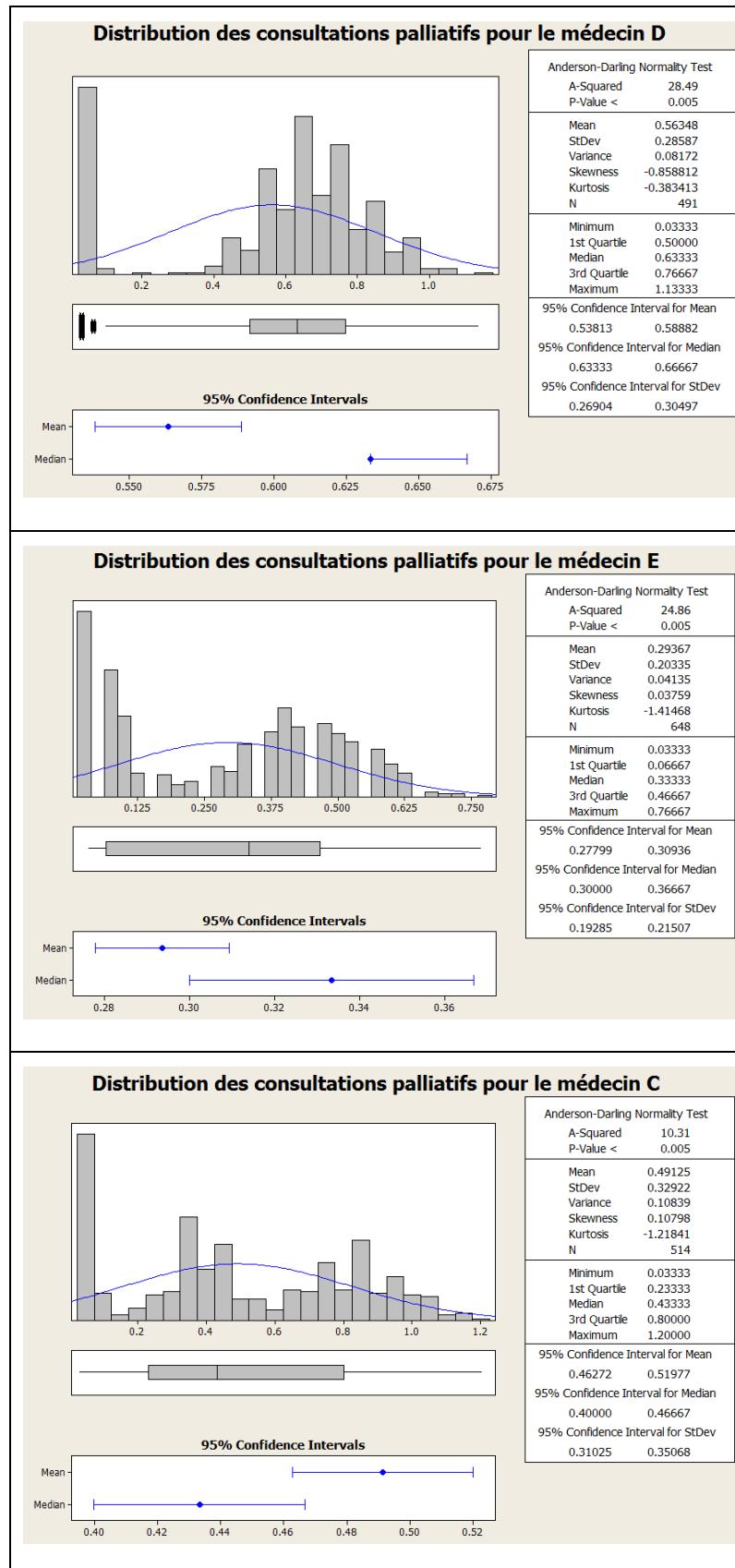


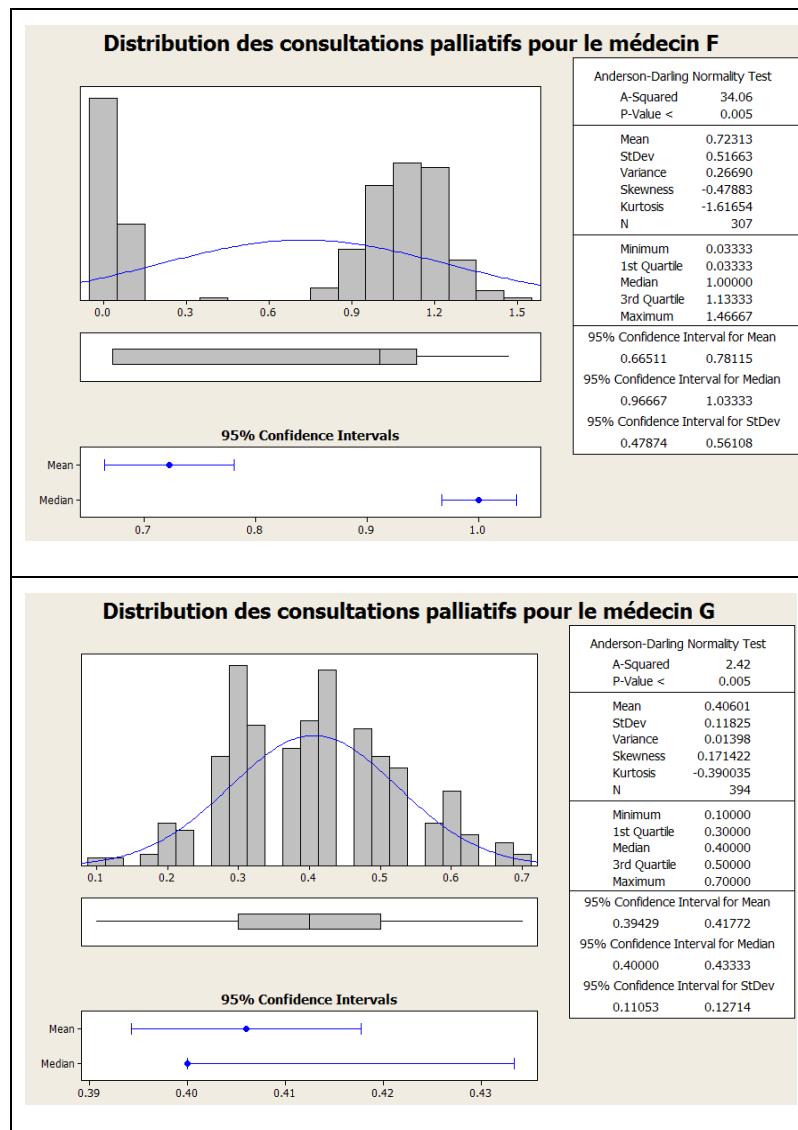




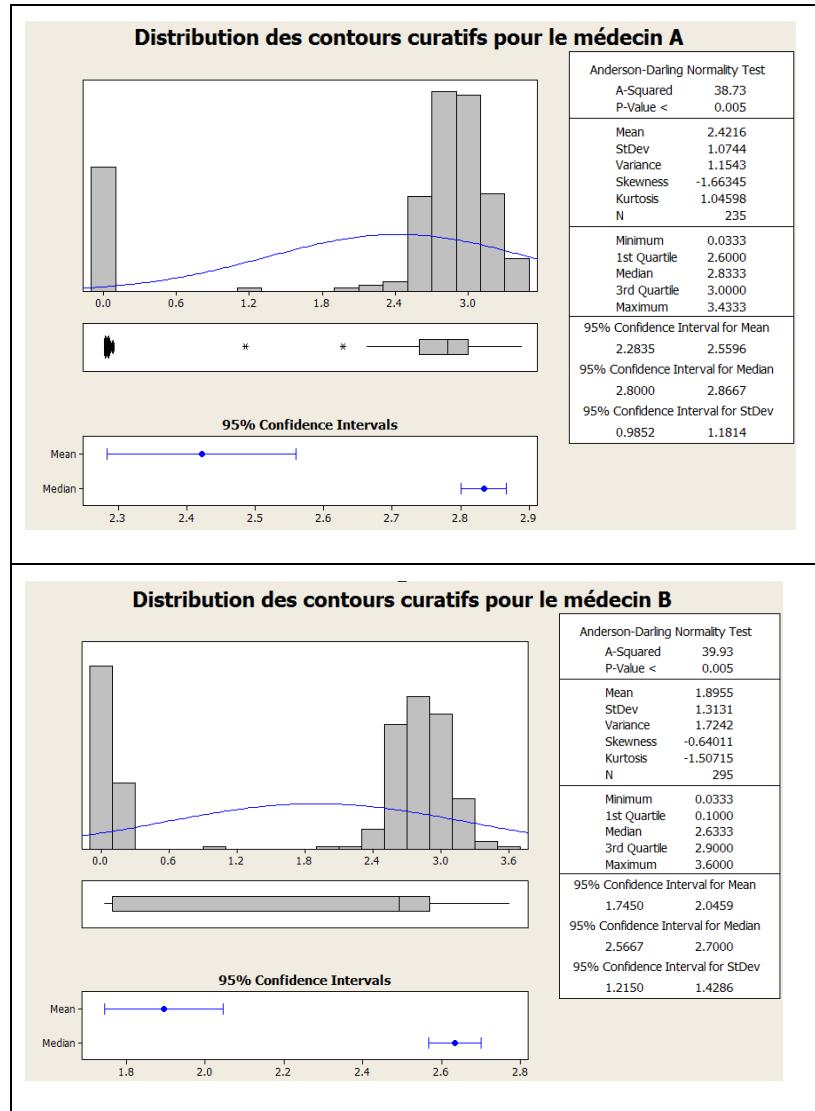
## ANNEXE 9 – Distribution des consultations palliatives par médecin

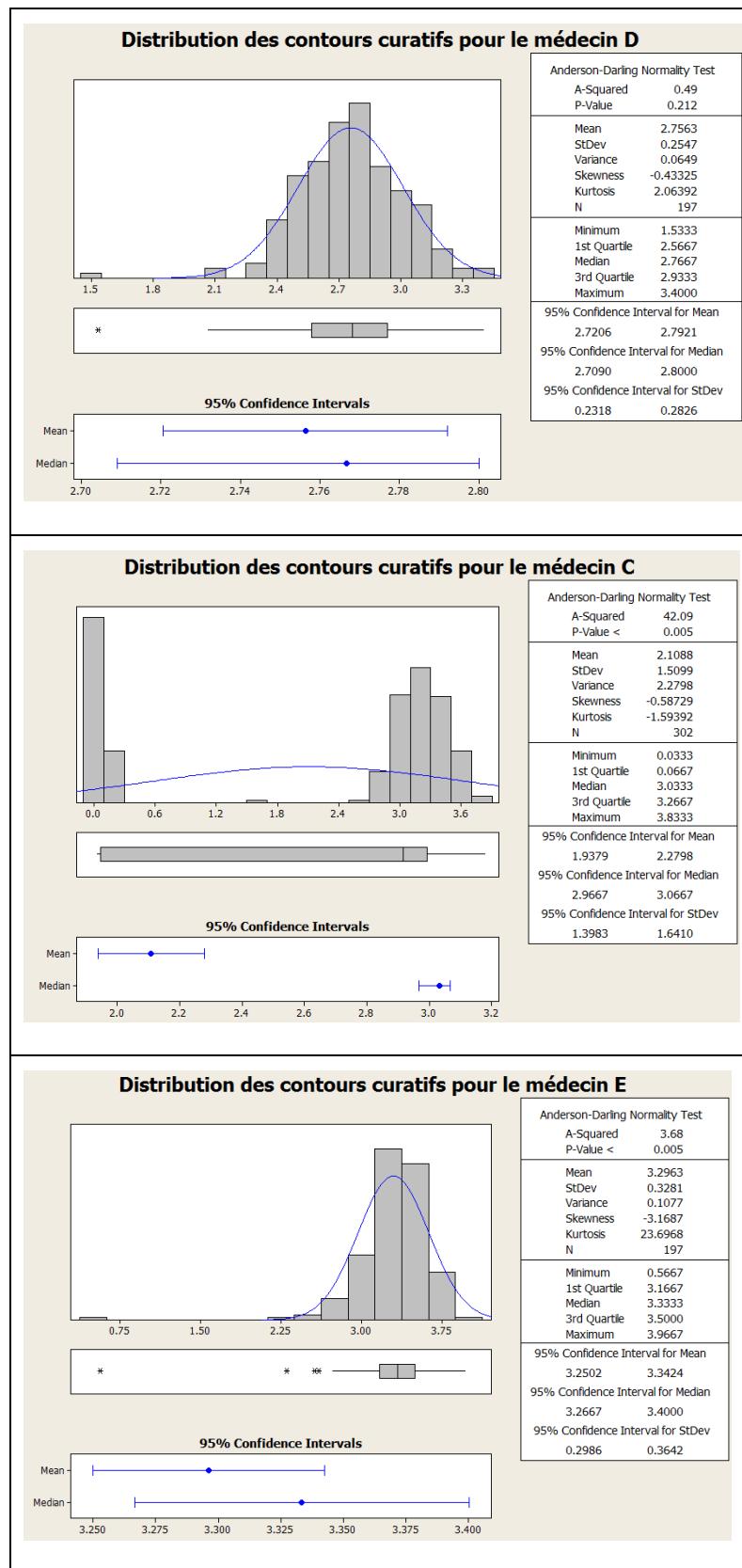


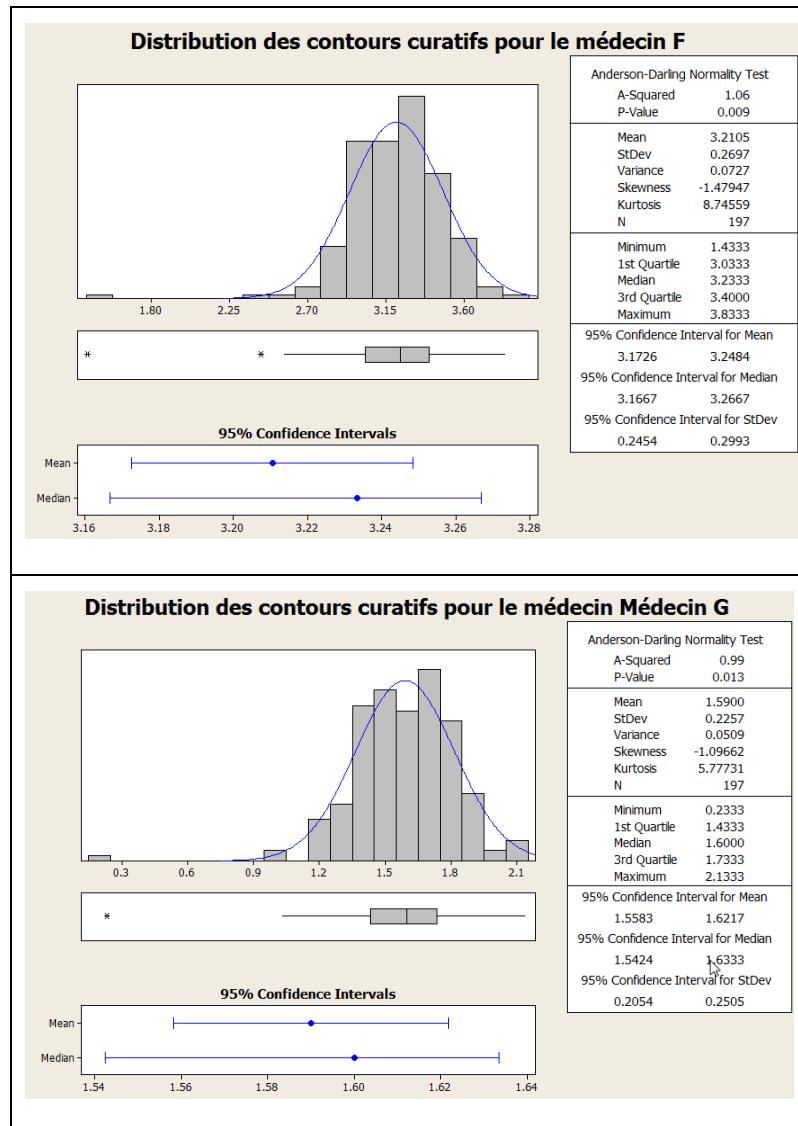




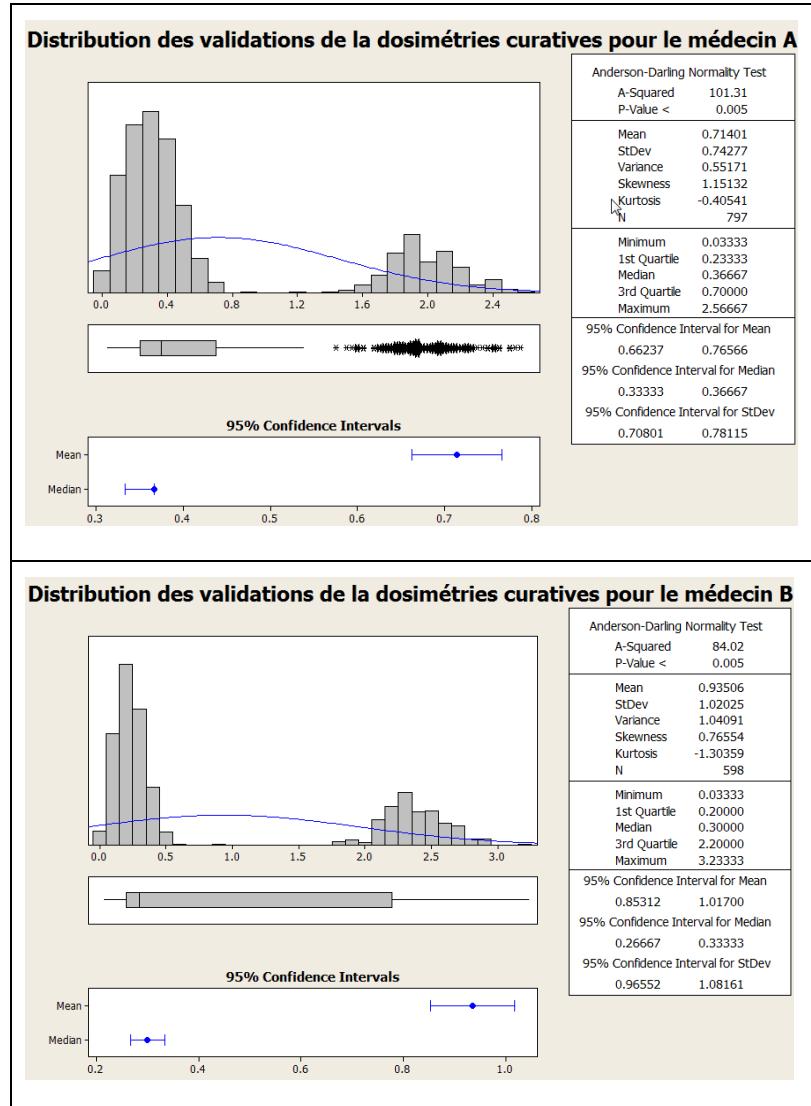
## ANNEXE 10 – Distribution des contours curatifs par médecin



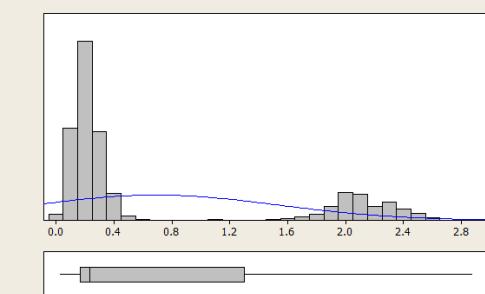




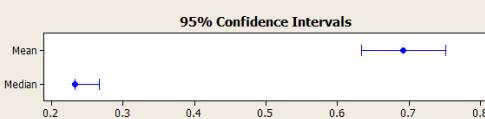
## ANNEXE 11 – Distribution des validations de la dosimétrie pour les patients curatifs



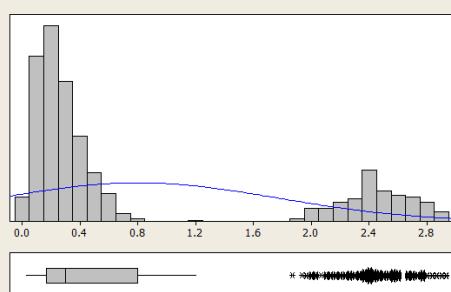
### Distribution des validations de la dosimétries curatives pour le médecin D



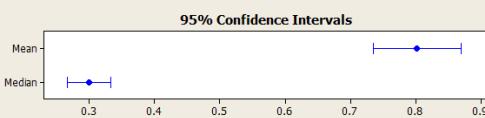
Anderson-Darling Normality Test	
A-Squared	130.43
P-Value <	0.005
Mean	0.69172
StDev	0.84003
Variance	0.70566
Skewness	1.18259
Kurtosis	-0.45861
N	785
Minimum	0.03333
1st Quartile	0.16667
Median	0.23333
3rd Quartile	1.30000
Maximum	2.86667
95% Confidence Interval for Mean	0.63287 - 0.75057
95% Confidence Interval for Median	0.23333 - 0.26667
95% Confidence Interval for StDev	0.80044 - 0.88378



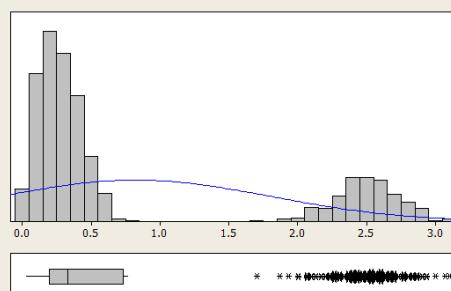
### Distribution des validations de la dosimétries curatives pour le médecin C



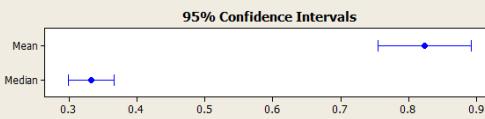
Anderson-Darling Normality Test	
A-Squared	118.69
P-Value <	0.005
Mean	0.80210
StDev	0.95956
Variance	0.92075
Skewness	1.16099
Kurtosis	-0.48569
N	794
Minimum	0.03333
1st Quartile	0.16667
Median	0.30000
3rd Quartile	0.80000
Maximum	2.93333
95% Confidence Interval for Mean	0.73525 - 0.86894
95% Confidence Interval for Median	0.26667 - 0.33333
95% Confidence Interval for StDev	0.91457 - 1.00923

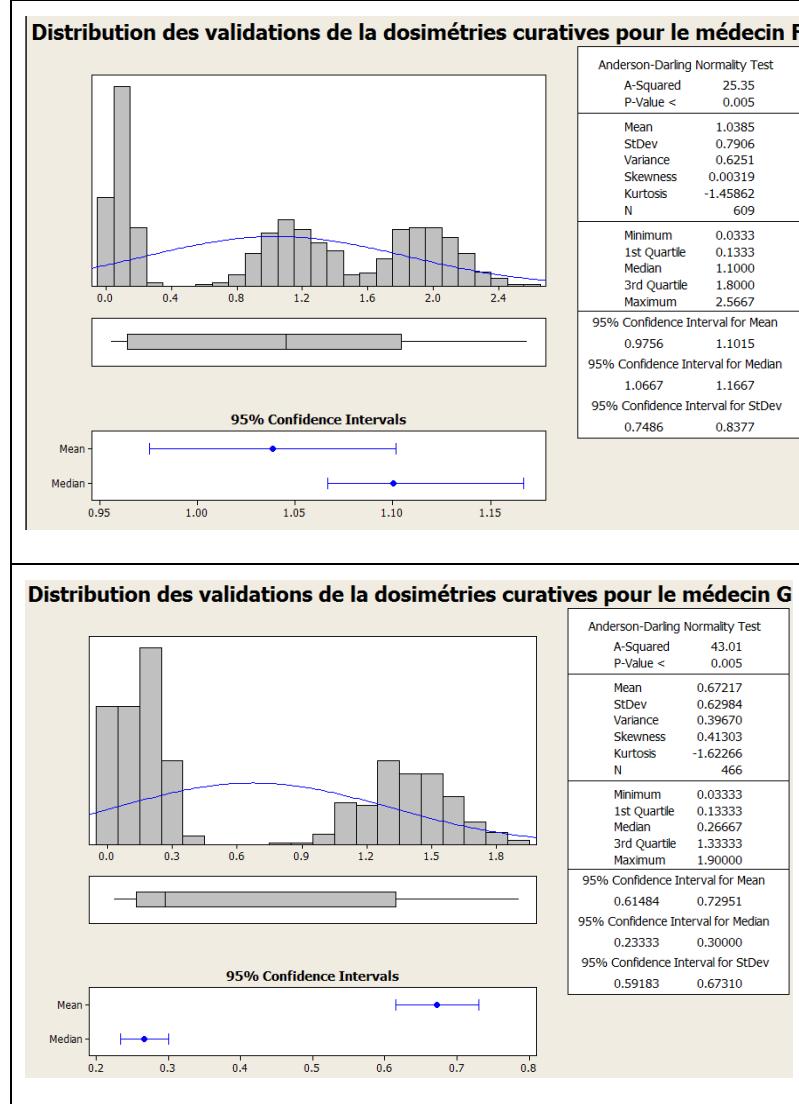


### Distribution des validations de la dosimétries curatives pour le médecin E

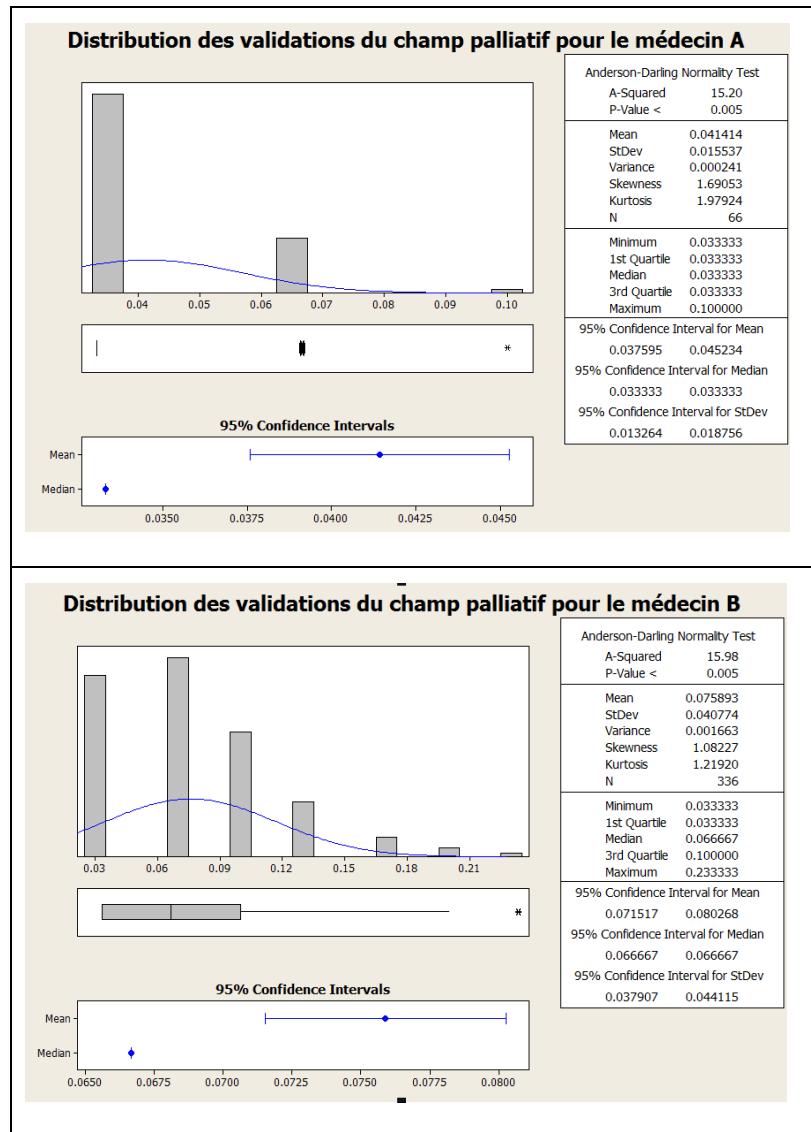


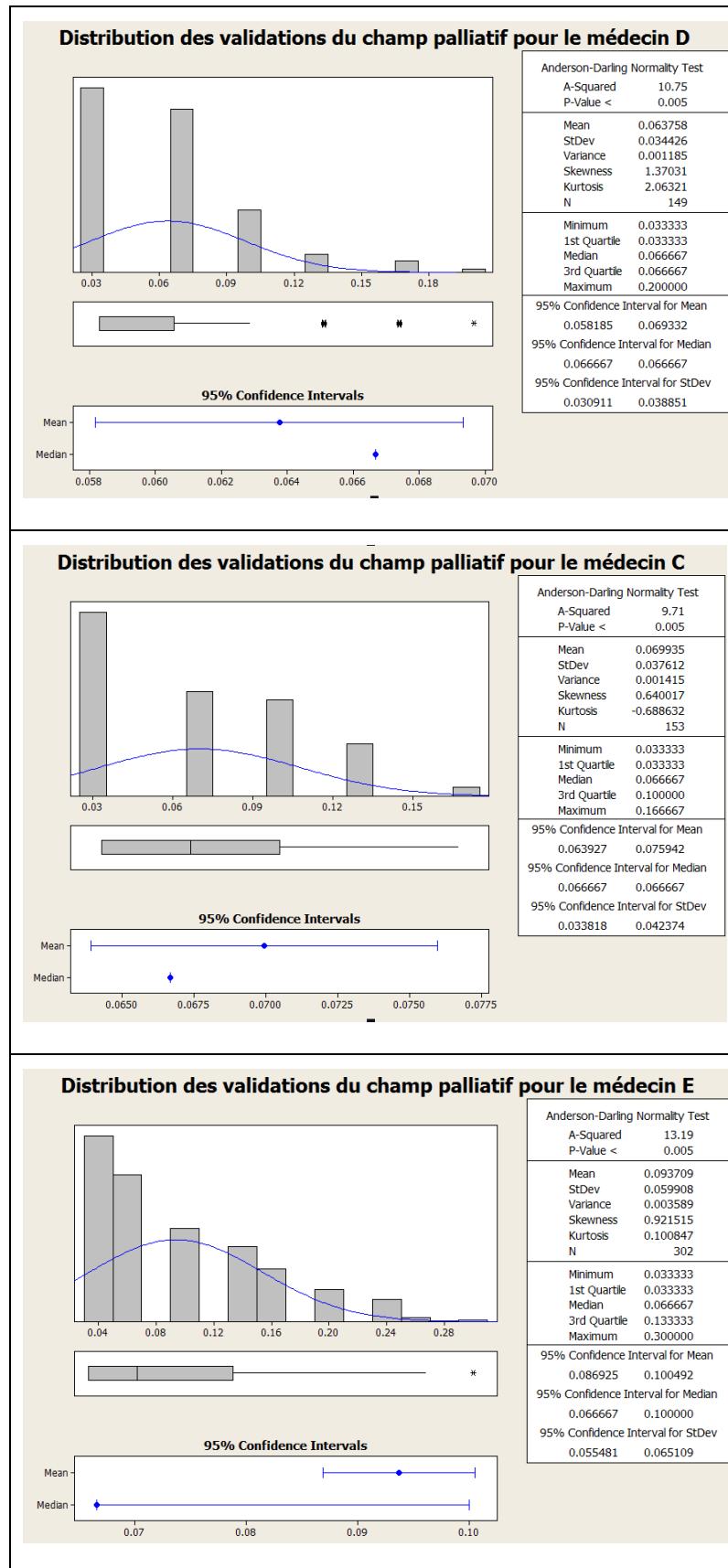
Anderson-Darling Normality Test	
A-Squared	119.33
P-Value <	0.005
Mean	0.82302
StDev	0.97651
Variance	0.95358
Skewness	1.15799
Kurtosis	-0.50256
N	789
Minimum	0.03333
1st Quartile	0.20000
Median	0.33333
3rd Quartile	0.73333
Maximum	3.10000
95% Confidence Interval for Mean	0.75478 - 0.89127
95% Confidence Interval for Median	0.30000 - 0.36667
95% Confidence Interval for StDev	0.93059 - 1.02724

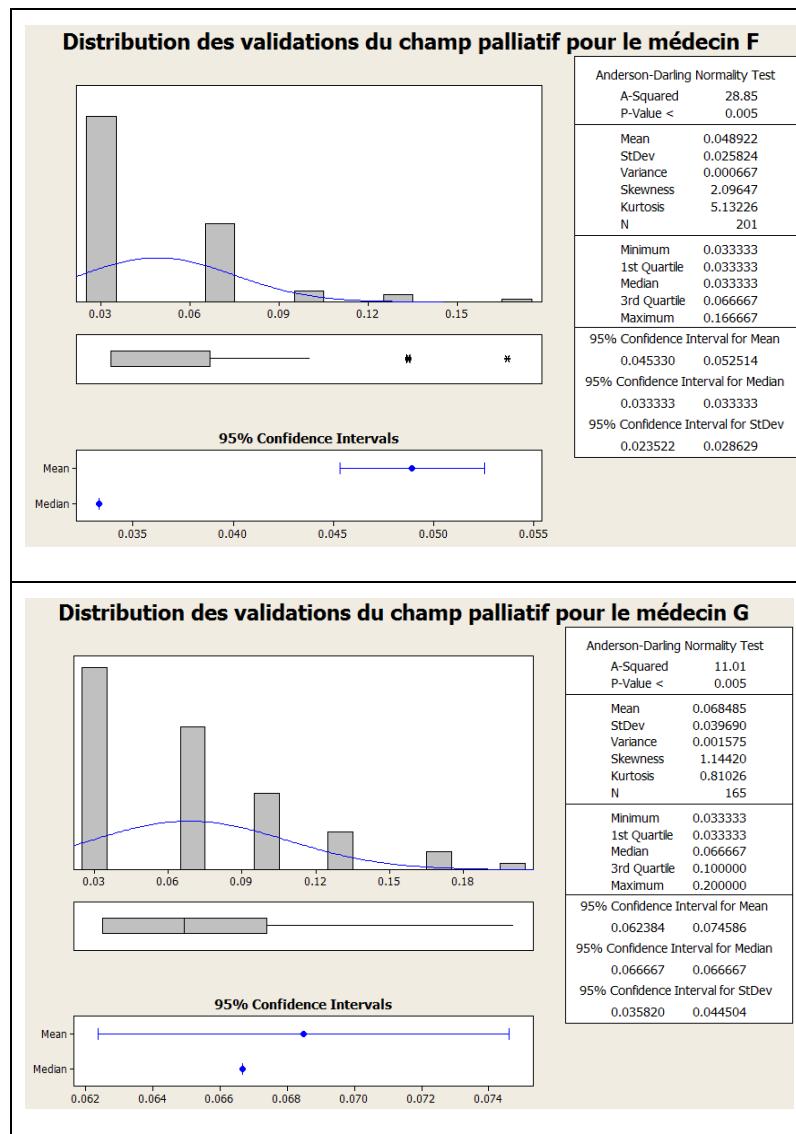




## ANNEXE 12 – Distribution des validations du champ palliatif par médecin







## ANNEXE 13 – Distribution du nombre de traitements par type de cancer durant la période analysée du département

	Métastase	ORL	Poumon	Urathérial	Digestif	Sein
Fréq.	16%	25%	14%	6%	100%	37%
Nbr Tr	1	13	15	9	28	16
Fréq.	9%	13%	29%	11%		2%
Nbr Tr	2	19	17	11		19
Fréq.	6%	13%	14%	6%		12%
Nbr Tr	3	21	22	14		20
Fréq.	9%	13%	29%	6%		10%
Nbr Tr	4	29	30	21		21
Fréq.	41%	25%	14%	6%		7%
Nbr Tr	5	30	31	23		22
Fréq.	1%	13%		6%		2%
Nbr Tr	6	31		25		23
Fréq.	1%			6%		12%
Nbr Tr	8			27		25
Fréq.	2%			6%		15%
Nbr Tr	9			29		29
Fréq.	8%			6%		2%
Nbr Tr	10			30		30
Fréq.	1%			11%		
Nbr Tr	11			32		
Fréq.	1%			11%		
Nbr Tr	12			33		
Fréq.	1%			22%		
Nbr Tr	14			36		
Fréq.	2%					
Nbr Tr	20					