

Université de Montréal

**La télémédecine en radiothérapie: développement d'un
modèle et analyse des coûts**

par

Benoît Laliberté

Département d'administration de la santé, École de santé publique

Faculté de médecine

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures

en vue de l'obtention du grade de

Maîtrise ès sciences

en Évaluation des technologies de la santé

Août 2011

© Benoît Laliberté, 2011

Université de Montréal
Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé :
La télémédecine en radiothérapie: développement d'un modèle et analyse des coûts

Présenté par :
Benoît Laliberté
A été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Renaldo Battista
président-rapporteur

Mira Johri
directrice de recherche

Jean Lachaine
codirecteur de recherche

Claude Sicotte
membre du jury

Résumé

But : La radiothérapie (RT) est disponible seulement dans les grandes villes au Québec. Les patients atteints de cancer vivant en zone rurale doivent voyager pour obtenir ces soins. Toute proportion gardée, moins de ces patients accèdent à la RT. L'accessibilité serait améliorée en instaurant de petits centres de RT qui dépendraient de la télémédecine (téléRT). Cette étude tente (1) de décrire un modèle (population visée et technologie) réaliste de téléRT; (2) d'en estimer les coûts, comparativement à la situation actuelle où les patients voyagent (itineRT).

Méthode : (1) À l'aide de données probantes, le modèle de téléRT a été développé selon des critères de : faisabilité, sécurité, absence de transfert des patients et minimisation du personnel. (2) Les coûts ont été estimés du point de vue du payeur unique en utilisant une méthode publiée qui tient compte des coûts en capitaux, de la main d'œuvre et des frais généraux.

Résultats : (1) Le modèle de téléRT proposé se limiterait aux traitements palliatifs à 250 patients par année. (2) Les coûts sont de 5918\$/patient (95% I.C. 4985 à 7095\$) pour téléRT comparativement à 4541\$/patient (95%I.C. 4351 à 4739\$) pour itineRT. Les coûts annuels de téléRT sont de 1,48 M\$ (d.s. 0,6 M\$), avec une augmentation des coûts nets de seulement 0,54 M\$ (d.s. 0,26 M\$) comparativement à itineRT. Si on modifiait certaines conditions, le service de téléRT pourrait s'étendre au traitement curatif du cancer de prostate et du sein, à coûts similaires à itineRT.

Conclusion : Ce modèle de téléRT pourrait améliorer l'accessibilité et l'équité aux soins, à des coûts modestes.

Mots-clés: Radiothérapie, Télémédecine, Soins palliatifs, Accessibilité des soins de santé, Établissements de santé, Coûts et Analyse des Coûts

Abstract

Purpose: Radiotherapy (RT) is centralized in urban areas in Quebec. Patients with cancer living in remote areas must travel to receive RT, and the proportion of RT patients is inferior to that of urban patients. Telemedicine could allow a minimally staffed RT unit to operate at reasonable costs in a rural setting. This study aims (1) to outline a feasible structure and target population for a tele-radiotherapy unit (teleRT); and (2) to estimate the costs of teleRT, compared to the current situation based on travel to urban centres (travelRT).

Methods and Materials: (1) We developed an evidence-based teleRT model meeting the criteria of: feasibility & safety, elimination of patient travel, and minimisation of staff migration. (2) Costs were estimated from the public payor perspective using a previously published activity-based costing model for RT. The model included annualized capital costs, labour, and overhead.

Results: (1) In our model, teleRT was restricted to 250 palliative care patients per year. (2) The public payor cost of teleRT was 5918\$/patient (95% C.I. 4985 to 7095\$) as compared to 4541\$/patient (95% C.I. 4351 to 4739\$) for travelRT. Yearly costs of the teleRT unit was 1,48 M\$ (s.d. 0,6 M\$), with a net cost increase to the payor of 0,54 M\$ (s.d. 0,26 M\$) compared to travelRT. Under less stringent conditions, breast and prostate cancer patients could also benefit from teleRT at similar costs to travelRT.

Conclusion: Establishing a teleRT unit to treat a small rural population of palliative care patients results in a modest net increase in cost to the public payor and could lead to increased accessibility and equity.

Key words: Radiotherapy, Telemedecine, Palliative Care, Health Services Accessibility, Health Facilities, Costs and Cost Analysis

Table des matières

Résumé	i
Abstract	ii
Table des matières	iii
Liste de figures	v
Liste des tableaux	vi
Liste des abréviations	vii
Remerciements	viii
Avant-propos	ix
 <u>SECTION 1 :</u>	
1.1 Introduction	2
1.2 Problématique et objectifs	2
1.3 La radiothérapie mise en contexte	7
1.4 Le cheminement du patient en radiothérapie	12
1.5 La télémédecine en radiothérapie : revue de littérature	20
1.6 Questions à l'étude	24
1.7 Méthodologie	26

SECTION 2 : ARTICLE (TELEMEDICINE APPLIED TO RADIOTHERAPY: IS REMOTE SUPERVISION A VIABLE STRATEGY? DESIGN AND COST ANALYSIS FOR A PROPOSED PALLIATIVE TELE-RADIOTHERAPY UNIT IN THE PROVINCE OF QUEBEC, CANADA)

Contribution des auteurs à l'article	34
Abstract	36
2.1 Introduction	38
2.2 Methods and materials	45
2.3 Results	54
2.4 Discussion	66
2.5 Conclusion	76
References	77
Appendix	80

SECTION 3 :

3.1 Discussion : extension du modèle de téléRT au traitement curatif de certains cancers	84
3.2 Conclusion	89
Références	90

Liste des figures

Mémoire

Figure I: Distribution des centres de radiothérapie au Québec. 4

Figure II : Étapes menant au traitement de radiothérapie. 14

Article

Figure I: Steps leading to treatment (RT activities). 41

Liste des tableaux

Mémoire

Tableau 1. Cancer, besoins et accessibilité à la radiothérapie au Québec	11
Tableau 2. Description de la population visée par un service de téléRT étendu	87
Tableau 3. Coût moyen par patient pour les scénarios téléRT étendu et itineRT	88

Article

Table 1. Population and radiotherapy uptake and services per administrative region of Quebec in 2008	40
Table 2. Expected versus optimal uptake of palliative RT per outlying region	55
Table 3. Economic parameters describing travelRT and teleRT centres	59
Table 4. Workload parameters for travelRT and téléRT	60
Table 5. Cost per palliative RT for travelRT and teleRT scenario	61
Table 6. Cost per patient if rural patients are not replaced at urban RT centre	62
Table 7. Total costs to public payor in travelRT and teleRT scenario	63
Table 8. Analysis of key inputs	65
Table 9. Cost per activities for travelRT	80
Table 10. Cost per activities for teleRT	81

Liste des abréviations

AETMIS	Agence d'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé
CARO	Canadian association of radiation oncologists
C.I.	Confidence interval
d.s.	Déviation standard
I.C.	Intervalle de confiance
Linac	Accélérateur linéaire
MSSS	Ministère de la santé et des services sociaux
RT	Radiothérapie/radiotherapy
s.d.	Standard deviation
VC	Vidéoconférence

Remerciements

Je tiens à offrir mes remerciements aux personnes suivantes :

D'abord et avant tout à Mira Johri pour ses conseils, ses suggestions, et sa patience à superviser ce projet. De même, à Jean Lachâîne, qui a pu me rassurer que la démarche économique était sensée.

À Khalil Moqadem et Gilles Pineau, pour m'avoir inclus dans leurs discussions sur la téléradiothérapie, et pour avoir résumé avec brio l'apport éventuel aux patients de cette technologie.

À Pascal Fenoglietto, pour m'avoir tout appris sur la « vraie » simulation virtuelle, et à Anne pour avoir eu la sagesse de le laisser en discourir même pendant l'apéro.

À Wieslaw Wierzbicki, pour ses commentaires réalistes sur le projet.

À Marie-Paule, pour ses judicieux conseils même alors que mes cheveux grisonnent.

Et à Cathy, Luca et Lyvia, mes soleils sans qui rien ne serait possible.

Avant-propos

Au moment où j'écris ces lignes, la copie du résumé de dossier de M.P. repose sur le coin de mon bureau, et je m'appête à la déposer au bac de recyclage. Le médecin de M.P. vient de m'aviser que le patient ne désire aucune intervention. La demande de consultation en radiothérapie est donc annulée.

M.P. est atteint d'un cancer incurable, comme j'en vois environ une centaine par année. Il y a trois semaines, ce patient a dû être hospitalisé pour une arythmie cardiaque, possiblement en lien avec la tumeur pulmonaire qui frôle son péricarde. Son état s'est stabilisé après quelques jours et il a pu retourner parmi les siens. Lors de la visite de suivi avec son oncologue, on lui avait suggéré une évaluation en radiothérapie, un traitement reconnu pour tenter d'améliorer sa qualité de vie. J'ai reçu la demande de consultation le lendemain matin accompagnée d'un résumé de son dossier.

Normalement, j'aurais donné rendez-vous à M.P. dans la même semaine mais, malheureusement, il habite à plus de 500 kilomètres du centre de radiothérapie situé à Montréal, où je travaille. J'ai donc plutôt appelé son oncologue pour m'enquérir de son état afin de m'assurer qu'il pouvait tolérer le voyage. Nous avons convenu qu'il serait prudent que M.P. soit hospitalisé à nouveau pour compléter certains examens et, possiblement, pour organiser un transfert vers Montréal.

La semaine dernière, le patient occupait toujours une civière des urgences de son hôpital référent. Hier, on m'avisait que le patient avait renoncé à venir subir ses traitements à Montréal. Le temps qui lui restait étant compté en semaines, celles-ci étaient mieux passées chez lui.

En eut-il été autrement s'il avait eu accès dans sa région aux soins que son état requérait? Probablement.

Y aurait-il moyen, tout en tenant compte de nos ressources, d'utiliser les nouvelles technologies pour rapprocher des patients si dispersés de leur centre de radiothérapie?

C'est dans ce contexte, vécu trop fréquemment, que j'ai entrepris la réflexion qui a mené à cette étude dans le cadre du programme de maîtrise Ulysse. Il me semblait alors - comme à bien d'autres car l'idée elle-même n'est pas originale - que la radiothérapie était particulièrement sujette à bénéficier des nouvelles technologies liées à la télémédecine. J'ai eu la chance en 2007, lors d'un fellowship au centre régional de lutte contre le cancer de Val d'Aurelle, à Montpellier, France, de rencontrer un physicien particulièrement doué, Pascal Fenoglietto. Il a su me montrer les rouages de la simulation virtuelle, une étape cruciale entre la première évaluation du patient et son traitement. La simulation virtuelle est en soi une technologie simple mais le degré

d'intégration dans le processus qui était atteint à Val d'Aurelle était original et permettait certainement que cette activité soit effectuée par le biais de la télé-médecine.

L'expérience acquise à Val d'Aurelle, et celle de ma pratique quotidienne à Montréal, étaient suffisantes pour me convaincre qu'un centre de télé-radiothérapie pouvait se réaliser de façon sécuritaire. Khalil Moqadem et Gilles Pineau, de l'AETMIS, s'affairaient justement à publier une revue de littérature très complète sur le sujet appuyant sa faisabilité. Ceci donnait une certaine rigueur à l'idée d'une étude visant à décrire un modèle réaliste de téléRT, et à en chiffrer les coûts.

Les résultats de cette étude sont présentés sous forme de mémoire « par article ». J'ai tenté d'être précis et concis, mais le lecteur me pardonnera s'il y a des redondances dues au format. En particulier, j'ai volontairement réduit la section méthodologie de la section 1, en y ajoutant seulement quelques détails pour favoriser la compréhension de l'article. De même, la discussion de la section 3 ne porte que sur la possibilité d'étendre le modèle.

B.L.

radio-oncologue

22 août 2011

Section 1

1.1 Introduction

1.2 Problématique et objectifs

1.3 La radiothérapie mise en contexte

1.4 Le cheminement du patient en radiothérapie

1.5 La télémédecine en radiothérapie : revue de littérature

1.6 Questions à l'étude

1.7 Méthodologie

1.1 Introduction

Chaque année, au Québec, environ 18 000 des 55 000 décès sont attribuables au cancer, soit plus que ceux provenant de maladies cardiaques. Cette situation est encore plus inquiétante lorsqu'on la décrit en termes d'années potentielles de vie perdues, soit environ 130 000 années en 2004(1). Étant donné la population vieillissante, on peut s'attendre à ce que ces chiffres augmentent à l'avenir et que les programmes de lutte contre le cancer demeurent au premier plan des préoccupations du ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS) du Québec. Conformément à la Loi canadienne sur la santé, et dans un souci d'équité sociale, la nécessité d'améliorer l'accessibilité à ces programmes pour les patients vivant en zone rurale demeure une priorité. Ceci est particulièrement criant en ce qui concerne la radiothérapie (RT), présentement disponible seulement dans les grands centres urbains au Québec. L'utilisation de la télémédecine serait une des solutions envisageables afin d'améliorer la répartition de la RT à la population.

1.2 Problématique et objectifs

Les modalités de traitements contre le cancer se présentent sous trois catégories : la chirurgie oncologique, la médication (chimiothérapie, immunothérapie, etc.) et la radiothérapie. Pour traiter un siège de cancer, il est possible d'utiliser chacune de ces procédures de façon isolée ou en les combinant selon des directives bien établies.

Environ 50% des patients atteints de cancer auront éventuellement recours à la RT. Son utilisation a, soit une visée curative (RT curative), soit une visée palliative afin de diminuer la taille, voire le nombre de tumeurs causant de la douleur, ou de diminuer des hémorragies potentiellement létales ou encore faisant entrave au fonctionnement neurologique.

Étant donné des coûts d'investissement élevés et une pénurie de main-d'œuvre spécialisée, les douze centres de RT du Québec, dont les deux plus récents ont été inaugurés en 2011 en banlieue de Montréal, sont confinés aux régions urbaines (Fig. I, page 4). Cette approche « centralisée » à la distribution des centres de radiothérapie n'est pas particulière au Québec; le reste du Canada et d'autres pays peu peuplés, comme l'Australie, procèdent de façon similaire. D'un point de vue sociétal, cette méthode soulève des inquiétudes depuis de nombreuses années quant à la question de l'équité à l'accès aux soins de santé. Il y a 10 ans, une étude ontarienne était arrivée à cette conclusion: « a centralized radiotherapy system does not, at present, provide adequate or equitable access to care »(2). Une publication italienne plus récente note aussi que l'accessibilité est encore un des principaux déterminants de la sous-utilisation de la RT(3). Selon Huang et al., les patients atteints du cancer et habitant dans une région ontarienne dépourvue de centre de RT avaient 24 % moins de chance de recevoir des traitements à visée palliative en fin de vie que leurs homologues citadins(4). Ces patients, qui souffrent habituellement de douleur chronique, peuvent se voir privés d'accès à la RT, étant donné que leur état empêche souvent un transport confortable et sécuritaire vers un centre de RT urbain. De plus, étant donné leur espérance de vie

limitée, nombre de patients renoncent souvent au traitement, car le déplacement les éloigne des êtres qui leur sont chers.

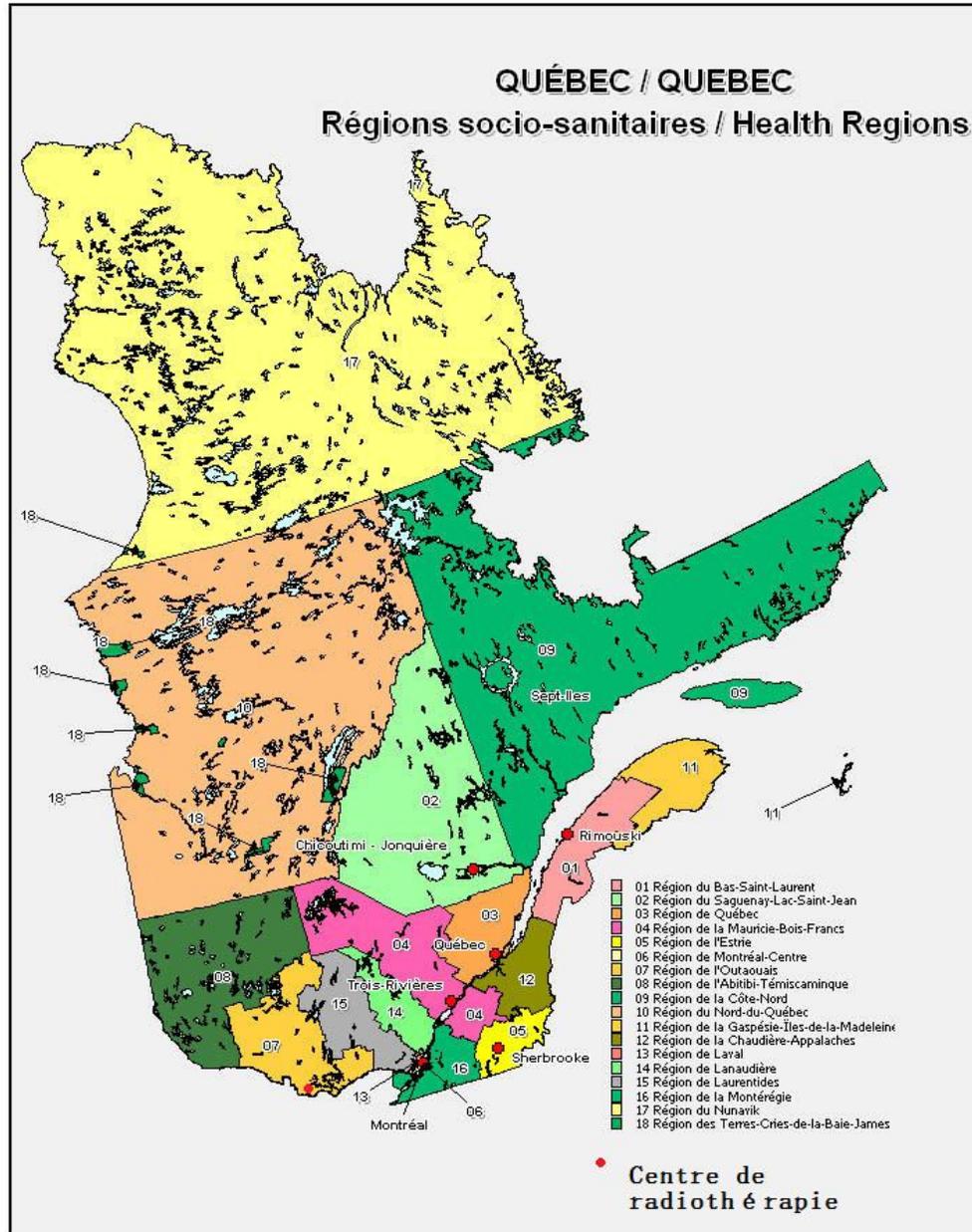


Figure I: Distribution des centres de radiothérapie au Québec.

Le modèle de distribution centralisée de RT a été mis à l'épreuve d'un point de vue économique dans au moins une étude canadienne. Dans une analyse de minimisation des coûts, Dunscombe et Roberts ont trouvé que, sous des hypothèses raisonnables et sur la base d'une population similaire à celle du Québec, les coûts pour la société (dépenses du système de santé public + dépenses encourues par le patient et ses proches) sont supérieurs dans un modèle centralisé à ceux d'un modèle « complètement décentralisé »(5). Un exemple de ceci serait un important centre de RT urbain et un second en zone rurale, plus modeste mais fonctionnant de façon indépendante. Un autre exemple où les coûts assumés par la société sont moindres serait un modèle « d'extension des services » où le centre de RT urbain fournit des ressources matérielles et humaines, à une petite installation satellite de RT. Le modèle « d'extension des services » examiné implique le déplacement de personnel vers le centre satellite ou des déplacements ponctuels des patients vers le centre urbain, et ne fait pas appel à la télémédecine. Toutefois, toujours selon Dunscombe et Roberts, du point de vue d'un régime de santé à payeur unique, les auteurs estiment que les charges d'exploitation d'un grand centre de traitements qui accueillerait nombre de patients ruraux étaient inférieures à celles associées aux modèles décentralisés ou « d'extension des services ». Ces observations sont demeurées valides même sous l'hypothèse optimiste selon laquelle les petits centres satellites traiteraient au moins 400 patients par année et réduiraient d'autant la charge des plus grands centres, ou bien, alternativement, partageraient certaines de leurs ressources sous le modèle « d'extension des services ». Cette charge supposée de 400 patients de RT par an est supérieure à celle que l'on

retrouve dans plusieurs régions rurales du Québec. Les coûts encourus par le système de santé et associés à l'usage d'un centre-satellite ou décentralisé seraient donc, en toute vraisemblance, encore plus élevés.

Une façon de réconcilier les points de vue du système de santé public et ceux de la société serait de minimiser les coûts d'exploitation des centres satellites. La télémédecine permettrait de sous-traiter plusieurs tâches aux centres urbains et éviterait par surcroît les coûteux et fastidieux déplacements de personnel et de patients. Ce concept de centres de « télérT », évoqué d'ailleurs par Dunscombe, n'a pas été mis en pratique de façon optimale et n'a pas non plus bénéficié d'une analyse approfondie des coûts.

C'est dans cet esprit que la Direction de la lutte contre le cancer avait donné mandat à l'Agence d'évaluation des technologies et modes d'intervention en santé (AETMIS), en 2008, d'explorer les possibilités de la télémédecine en radio-oncologie et d'évaluer les technologies médicales s'y rattachant. Le fruit de cette revue de littérature, publiée par Moqadem et Pineau(6), conclut que, à bien des égards, il y a suffisamment de données pour assurer que la télémédecine est utile pour accomplir plusieurs tâches liées à la RT, mais très peu de publications qui abordent les coûts liés à cette technologie de la santé. Une analyse économique sur le sujet telle que présentée ici paraît donc à point nommé.

Le but de ce document est de fournir d'abord un modèle réaliste, optimisé, économique et sécuritaire d'un centre de téléRT puis, d'utiliser une grille d'analyse économique afin de pouvoir comparer les coûts reliés à deux situations : soit d'une part, un centre rural de téléRT, hypothétique, qui se servirait de la télé-médecine pour traiter une cohorte de patients et soit d'autre part, la situation présente, où cette même cohorte est contrainte de séjourner pendant de longues périodes en milieu urbain, loin de son domicile, afin de recevoir ces traitements.

Il importe de souligner que la définition d'un patient « rural » dans ce document fait référence à un patient qui a accès à certains services hospitaliers dans sa région dans le cadre des soins aux personnes atteintes de cancer, mais qui doit se déplacer vers une autre région, sans possibilité de retour à domicile, le jour-même, pour recevoir la RT. La question plus générale des patients en régions éloignées où l'accès aux soins de santé est limité, voire inexistant, ne sera pas abordée dans ces lignes.

1.3 La radiothérapie mise en contexte

La radiothérapie est un traitement qui utilise des rayonnements ionisants, générés par un accélérateur linéaire (linac) ou provenant d'une source radioactive, sur une région du corps bien délimitée, pour traiter les cancers. Ce type de rayonnement est en général de plus haute énergie que celui utilisé pour l'imagerie du corps humain qui est utilisé en

radiologie diagnostique. Cette plus grande énergie permet au rayonnement thérapeutique de pénétrer plus loin dans le corps humain et d'atteindre une tumeur maligne, contrairement au rayonnement diagnostique qui est facilement absorbé par les os, mais moins par les tissus mous et permet donc les contrastes nécessaires aux images.

Le but de la RT est d'endommager les cellules cancéreuses, dont la capacité de réparation est limitée, pour les détruire. Comme il est impossible d'épargner complètement les tissus sains adjacents à la tumeur, on administre les doses de RT habituellement en plusieurs fractions de façon à permettre aux cellules saines de se réparer entre deux fractions. Quelquefois, la RT est administrée en une seule fraction : dans ce cas, la dose de RT est choisie pour causer un dommage très limité aux tissus sains et un dommage plus grand à la tumeur. Un traitement de RT palliative est habituellement plus bref que celui visant la guérison d'un cancer. Par exemple, il peut arriver qu'une RT pour des métastases osseuses douloureuses ne dure que le temps d'une session de 15 minutes, pour une à cinq journées consécutives, tandis qu'un traitement curatif pour le cancer de la prostate peut durer jusqu'à huit semaines, avec des séances de RT quotidiennes du lundi au vendredi.

La radiothérapie nécessite de la main-d'œuvre, des appareils et de l'équipement dispendieux et hautement spécialisés. Un linac moderne coûte de 2 à 4 millions \$/pièce; idem pour la construction de l'enceinte blindée qui le recevra. On installe normalement les linacs en paires afin de pouvoir continuer la séquence d'administration des doses à un patient en cas de panne de l'un des appareils: cette procédure prévient les

interruptions de la RT, facteur d'échec reconnu des traitements à visée curative. Les linacs sont installés dans des cliniques et des hôpitaux et nécessitent la collaboration d'une équipe composée de radio-oncologues, de physiciens médicaux, d'infirmières-cliniciennes et de technologues en RT. Sommairement, le radio-oncologue est le médecin spécialiste ayant les patients sous sa charge et prescrivant la RT. Le physicien est responsable de la performance et de la précision du linac ainsi que de la sécurité entourant ses opérations. L'infirmière-clinicienne assiste le radio-oncologue dans les soins médicaux aux patients actuels ou lors des suivis. Elle est souvent le premier interlocuteur pour les patients qui ont des inquiétudes ou des questions d'ordre médicales. Les tâches du technologue en RT s'appliquent à plusieurs facettes du traitement, que ce soit le bon positionnement du patient pendant la séance d'irradiation, l'opération du linac, la confection de caches plombés ou l'identification des problèmes potentiels de santé des patients qu'ils traitent. Le Québec souffre présentement d'une pénurie de physiciens, de technologues en RT et d'infirmières-cliniciennes. Par ailleurs, l'absence de radio-oncologues dans les zones rurales est en partie attribuable à leur faible représentation (90 radio-oncologues pour 463 chirurgiens et 226 hémato-oncologues dans la province)(7) et à leurs obligations quotidiennes envers les patients traités dans les centres de RT urbains.

Les coûts reliés à la RT ainsi que la pénurie de personnel ont suscité certaines contraintes économiques ayant mené à un rationnement géographique des services : les 12 centres provinciaux de RT, dont deux ne sont pas encore complètement opérationnels, sont situés dans les villes les plus peuplées. À des fins de comparaison, la

chirurgie et la chimiothérapie sont offertes respectivement dans 90 et 80 hôpitaux sur le territoire provincial, et non exclusivement dans les centres urbains(8).

En conséquence, la majorité des patients ruraux doivent voyager considérablement afin d'obtenir un traitement; de plus, les coûts et le fardeau associés aux déplacements reposent en grande partie sur eux et leurs familles. Le tableau 1 (p. 11) montre le total de patients, par région, ayant été traités au moyen de la RT curative ou palliative en 2008. On peut estimer que près de 4000 patients (régions 8-12, 14, 15, 17 et 18) ont dû se déplacer hors de leur région, avec un taux d'utilisation de la RT de 45 %, comparativement à un taux d'utilisation provincial de 49 %.

Tableau 1. Cancer, besoins et accessibilité à la radiothérapie au Québec.Source : www.ecosante.org

Année 2008	Population	# cas de RT	Linacs	% RT par cancer	Temps de voyagement pour RT
Région			/1 000 000		Aller-simple
00 Province de Québec	7 752 037	20047	6,71	49	< 1 heure
01 Bas-Saint-Laurent	201 128	591	14,92	49	< 1 heure
02 Saguenay- Lac-Saint-Jean	272 419	847	7,34	56	< 1 heure
03 Capitale-Nationale	678 169	1915	13,27	50	< 1 heure
04 Mauricie/ Centre-du-Québec	490 208	1507	8,16	52	< 1 heure
05 Estrie	304 525	855	13,14	51	< 1 heure
06 Montréal	1 892 751	4883	14,26	47	< 1 heure
07 Outaouais	352 717	830	8,51	52	< 1 heure
08 Abitibi-Témiscamingue	144 934	246	-	33	> 3 heures
09 Côte-Nord	95 652	224	-	48	> 3 heures
10 Nord-du-Québec	14 742	20	-	37	> 3 heures
11 Gaspésie	94 612	290	-	49	> 3 heures
12 Chaudière-Appalaches	401 002	970	-	45	1-2 heures
13 Laval	384 351	960	-	48	<1 heure
14 Lanaudière	451 078	1105	-	53	1-2 heures
15 Laurentides	534 947	1223	-	49	1-3 heures
16 Montérégie	1 412 485	3531	-	50	< 1 heure
17 Nunavik	11 344	12	-	63	>3 heures
18 Terres-Cries de la Baie-James	14 973	12	-	40	>3 heures

1.4 Le cheminement du patient en radiothérapie

1.4.1 Le cheminement classique du patient en radiothérapie

Afin de développer un modèle de téléRT, il est important de comprendre le cheminement complet du patient à partir de l'établissement du diagnostic de cancer jusqu'à la radiothérapie adaptée à ses besoins. On pourra ainsi mieux cibler les étapes qui peuvent de façon réaliste être accomplies à l'aide de la télémédecine.

Présentement, la plupart des patients ruraux reçoivent leur diagnostic de cancer à la suite d'une consultation avec un spécialiste local relevant des spécialités de la chirurgie ou de la médecine interne (comme l'urologie, la pneumologie, etc.). La rencontre entre les patients et de tels spécialistes est rendue possible par le biais de programmes de dépistages, ou bien par l'entremise d'une demande de consultation rédigée par le médecin de famille pour des symptômes reliés au cancer. Le diagnostic est alors confirmé par une biopsie et l'étendue de la maladie (stadification du cancer) est vérifiée localement, habituellement par imagerie médicale ou par exploration chirurgicale.

Une fois que la nature et le stade du cancer sont confirmés, le spécialiste détermine le ou les traitements appropriés : chirurgie, chimiothérapie et/ou radiothérapie. Tout dépendant de son expertise, il est possible que le spécialiste puisse

pratiquer la chirurgie lui-même ou donner la chimiothérapie sur place. Par contre, seul le radio-oncologue peut prendre une décision finale en ce qui a trait à la radiothérapie, et ce, après *consultation* avec le patient en centre urbain. C'est d'ailleurs lors de cette consultation que le nombre de séances de RT nécessaires et la dose sont établis, selon des protocoles reconnus. Le but du traitement et les effets secondaires potentiels sont énumérés et le consentement du patient est obtenu. Le patient rencontre ensuite l'infirmière-clinicienne qui lui prodigue les conseils de base concernant le traitement.

Une fois la *consultation* terminée, on doit programmer les différentes étapes qui mèneront au traitement de RT (Fig. II, p. 14). La première, communément appelée *moulage* consiste à adapter ou créer des dispositifs d'immobilisation conformes à l'anatomie de chaque patient afin de le stabiliser durant l'administration de la RT et de s'assurer que le traitement sera aussi précis que possible. On vise des variations de mouvements du patient inférieures à quelques millimètres, à chaque séance. Ensuite, il est courant qu'une *tomodensitométrie de planification* d'une durée de 30 à 60 minutes soit effectuée; finalement, le patient retourne alors à son domicile. Les images générées par la tomodensitométrie sont transmises à un logiciel de contourage à l'aide duquel le radio-oncologue tracera la zone tumorale ciblée ainsi que les organes normaux adjacents qui seront à protéger du rayonnement. Un technologue en RT spécialisé en *dosimétrie* (« dosimétriste ») explore ensuite, à l'aide d'un logiciel de planification, la meilleure orientation et taille des faisceaux de rayonnement pour traiter la tumeur tout en minimisant la dose aux organes sains adjacents, selon les recommandations du radio-oncologue. Il peut s'écouler plusieurs heures ou jours avant qu'un plan convenable soit

général. Cependant, des plans très simples, impliquant habituellement des traitements de RT à visée palliative, peuvent être élaborés en quelques minutes.

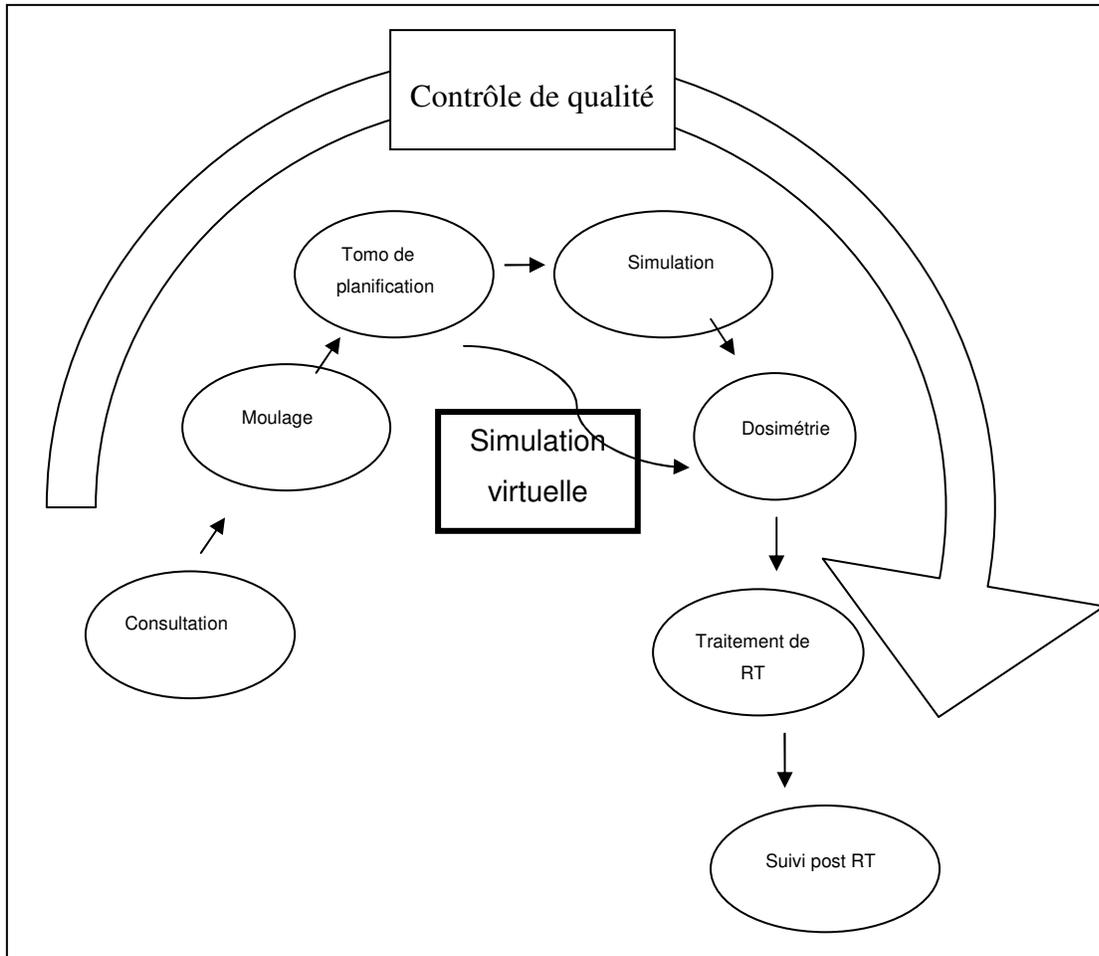


Figure II : Étapes menant au traitement de radiothérapie.

Une fois que le plan de RT est approuvé par le radio-oncologue, on convoque à nouveau le patient pour l'étape de *simulation*, d'une durée variable de 30 à 60 minutes. Les technologues en RT vérifient que le patient est toujours bien immobilisé et que la disposition des faisceaux de RT, qui n'a été établie jusqu'à maintenant que de façon virtuelle par le radio-oncologue, est conforme à ce qui est planifié. La simulation se fait avec des appareils (« simulateurs ») qui sont pratiquement identiques aux linacs, sauf

qu'ils utilisent un rayonnement de plus faible énergie sous forme de fluoroscopie. Ceci offre le double avantage d'un appareil coûtant environ 25 à 35% du prix d'un linac et des images de qualité diagnostique qui permettent de bien s'assurer que les faisceaux irradieront les structures internes du patient tel que planifié. Les technologues en RT marquent ensuite la peau du patient à l'aide d'encre ou de points de tatouages aux endroits d'administration de la RT. Cette information sera utilisée quotidiennement par les technologues en RT des salles de traitements pour vérifier, avant chaque séance, la précision du positionnement. En effet, la majorité des linacs en fonction ne permettent pas l'acquisition d'images de qualité diagnostique et les technologues en RT, avant un traitement, doivent donc se fier le plus possible à la concordance des faisceaux lumineux de guidage du linac avec les marques faites sur la peau du patient.

Parallèlement à toutes les étapes mentionnées, les médecins médicaux et d'autres technologues en RT font les vérifications et le *contrôle de qualité* nécessaires pour que le linac soit programmé convenablement. Aussi, des technologues en RT confectionnent au besoin des caches plombés qui s'attacheront dans la tête du linac pour modifier la forme du faisceau de RT. Cette dernière étape est de moins en moins nécessaire car les linacs modernes sont maintenant équipés de « collimateurs multi-lames », déjà intégrés à la tête de l'appareil, qui peuvent être programmés pour bloquer des portions du faisceau. Ces appareils n'ont que rarement besoin qu'on confectionne des caches plombés pour chaque patient.

Ce n'est qu'après la vérification complète de toutes les étapes que le patient peut être amené à la salle de *traitements* et positionné sous le linac pour recevoir la première séance (ou « fraction ») de RT, d'une durée moyenne de 15 minutes. Si plusieurs fractions consécutives sont nécessaires, le patient viendra au traitement quotidiennement (jours ouvrables) mais ne rencontrera habituellement le radio-oncologue qu'une fois par semaine, ou plus souvent selon son état, pour s'assurer de la bonne tolérance au traitement. Les technologues en RT sont appelés à détecter les complications aiguës de leurs patients et à aviser le radio-oncologue. Dans certains grands centres de RT, la visite de suivi hebdomadaire est accomplie par un médecin généraliste pour que le radio-oncologue puisse se concentrer sur l'évaluation de nouveaux patients et sur la planification de traitements. Lorsque le traitement complet de RT est terminé, le radio-oncologue fera habituellement un *suivi* périodique selon un calendrier alterné avec le spécialiste qui lui avait référé le patient en premier lieu. Il est courant que, après un traitement de RT à visée palliative, le radio-oncologue laisse le patient sous la charge complète de son médecin traitant pour lui éviter des déplacements, le pronostic vital étant court.

Les étapes de la *consultation, moulage, tomodynamométrie, simulation, dosimétrie et traitement* (Fig II, p.14) varient d'un patient à l'autre et, dans les centres à haut volume de patients, sont exécutées sur plusieurs jours par différents membres de l'équipe soignante. La réalisation de ces étapes en une seule séquence rapide est possible mais entraîne le plus souvent un gaspillage des ressources à cause d'imprévus. Chaque étape étant subordonnée à la précédente, et l'accès à chacune étant limité, le retard d'un

seul des processus peut entraîner l'annulation de plusieurs rendez-vous techniques qui ne pourront être comblés à courte échéance par d'autres patients. Il en résultera un allongement de la liste d'attente pour tous les patients. De plus, faire toutes ces étapes dans une même journée peut être exténuant pour le patient, et ceci n'est habituellement fait que pour les cas urgents, en omettant habituellement l'étape de tomographie de planification. L'arrangement des faisceaux de RT sera alors habituellement planifié directement en salle de simulation avec des conformations simples.

En général, on peut compter sur des délais entre la consultation médicale et le premier traitement de RT qui sont de l'ordre de 2 à 5 jours pour la RT palliative et jusqu'à 4 semaines pour la RT curative. La différence entre ces échéanciers s'explique par plusieurs facteurs : lors d'un traitement palliatif, le patient éprouve souvent de la douleur et il lui est alors impossible de rester immobile durant de longues périodes. De plus, la dose de radiation de la RT palliative est en général bien moindre que la dose visant la guérison et il existe moins d'inquiétudes concernant le surdosage d'un organe sensible. Il est, alors, contre-productif de s'assurer que le traitement de RT soit aussi précis que pour les cas curatifs. Les traitements palliatifs sont, par conséquent, d'une complexité moindre, ce qui réduit la durée des étapes de la simulation et de la dosimétrie. Finalement, le pronostic vital des patients en soins palliatifs varie de quelques jours à quelques mois et les directives québécoises concernant les temps d'attente, qui sont les plus contrôlés de tous les soins médicaux au Québec par le MSSS, réclament que les centres de RT traitent ces patients dans des délais plus courts.

1.4.2 Le cheminement moderne du patient en radiothérapie

La radiothérapie fait appel à la haute technologie et est un terrain fertile pour les innovations. Deux de celles-ci méritent une attention particulière lorsqu'on s'intéresse à la télé-médecine en radiothérapie.

Durant les dernières années, la technologie de « simulation virtuelle » intégrant des lasers mobiles à l'appareil de tomodensitométrie de planification a été développée. Elle permet d'éliminer complètement l'étape de simulation classique lorsque le radio-oncologue connaît d'avance la conformation optimale des faisceaux pour traiter un patient donné. Les lasers peuvent être dirigés par certains logiciels de planification(9, 10) sur des points précis du corps du patient pour identifier les portes d'entrées de chaque faisceau planifié.

Lorsqu'on procède à une simulation virtuelle, le patient est d'abord installé sur la table de l'appareil de tomodensitométrie. Suite à l'acquisition des images, le radio-oncologue peut, localement ou à distance, alors que le patient attend sur la table, faire le contour de la zone cible sur l'ordinateur et positionner des faisceaux virtuels sur une reconstruction tridimensionnelle du patient, à l'écran. Un calcul de dose est fait en quelques secondes et, si la zone tumorale est bien couverte, le plan est immédiatement approuvé et les technologues en RT peuvent marquer sur la peau du patient les portes d'entrée qu'auront les faisceaux thérapeutiques grâce aux lasers mobiles. On envoie

ensuite directement l'information au linac et, après que les vérifications de base ont été faites, le traitement peut être donné immédiatement en salle de traitement. Pour que la simulation virtuelle puisse mener si rapidement à un traitement, on doit en général se limiter aux cas très simples (palliatifs) ou classiques (irradiation pour le cancer du sein ou de la prostate) car aucune optimisation des faisceaux n'est faite par le dosimétriste. Des cas plus complexes peuvent aussi très bien être simulés virtuellement mais l'intervention de la dosimétrie ajoute alors au délai.

La deuxième innovation importante de la dernière décennie est l'imagerie dite « embarquée ». Contrairement aux anciens linacs qui ne permettaient pas d'obtenir des images radiologiques de qualité, les linacs modernes sont maintenant équipés d'appareils d'imagerie qui permettent de vérifier très précisément que la position du patient est la même que celle qui avait été planifiée virtuellement. De plus en plus fréquemment, le cheminement moderne des patients omet donc l'étape de simulation.

On retient cependant que les dessins faits sur la peau du patient lors de la simulation (virtuelle ou sous fluoroscopie) offrent, malgré l'imagerie « embarquée », une assurance additionnelle au technologue en RT que le *traitement* est bel et bien donné au bon site, et fait partie du processus rigoureux de contrôle de qualité qui rend la RT si sécuritaire. Lorsque l'on combine les technologies de simulation virtuelle et d'imagerie « embarquée », le risque d'erreur est pratiquement éliminé – même si le radio-oncologue n'a jamais été présent physiquement auprès du patient. Le parc d'équipement de linacs au Québec est graduellement rehaussé par des appareils dotés de l'imagerie

« embarquée », alors que la simulation virtuelle, qui a fait ses preuves en Europe depuis plusieurs années, n'en est encore qu'à ses balbutiements ici.

1.5 La télémédecine en radiothérapie : revue de littérature

En 2008, la Direction de la lutte contre le cancer avait donné mandat à l'AETMIS d'analyser la faisabilité de l'application de la télémédecine à la radio-oncologie sur la base d'une revue de la littérature. Cette revue de littérature, publiée en mai 2009 par Moqadem et Pineau(6), avait pour mandat de répondre aux questions suivantes :

- *La télémédecine est-elle applicable à la radio-oncologie et si oui, quelles en seraient les modalités de fonctionnement ?*
- *Dans l'affirmative, quels devraient être les niveaux de sécurité et d'efficacité des applications de la télémédecine à la radio-oncologie ?*
- *Éventuellement, ces applications offriraient-elles un bon rapport coût/efficacité ?*

Pour les besoins concrets de cette étude, on retiendra de leur conclusion:

La littérature scientifique consultée révèle que la télémédecine permet de faire le suivi des patients, des consultations médicales à distance et des séances de formation à distance.

De plus, la planification et la simulation à distance du traitement de radiothérapie sont réalisées concrètement dans plusieurs projets. Des expériences européennes, asiatiques, américaines et australiennes de planification des traitements à distance ont donné de très bons résultats.

(...)

En conclusion, la présente revue de la littérature montre que la principale application de la télémédecine en radio-oncologie est la planification à distance des traitements. Elle peut ainsi contribuer à la création de réseaux entre différents centres et à la décentralisation des services de radiothérapie en mettant à la disposition des unités satellites une expertise qui n'est pas disponible sur place. Toutefois, la réussite d'une telle activité reste conditionnelle à la mise en place de processus rigoureux d'assurance de la qualité.

On reconnaît dans leur analyse qu'il n'existe que très peu de publications scientifiques sur le sujet, et moins d'une vingtaine d'articles sont cités. Seuls quelques-uns de ceux-ci décrivent des expériences sur l'utilisation de la téléRT dans la pratique quotidienne et ce, malgré que la technologie existe et soit considérée comme étant applicable. La plupart des articles s'en tiennent à expliquer la théorie derrière la téléRT.

Si on s'attarde à la littérature touchant aux diverses étapes menant au traitement, on constate que la *téléconsultation* (sous forme de vidéoconférence) a fait l'objet d'une revue par Kitamura et al. en ce qui a trait à son utilisation en oncologie(11). La conclusion des chercheurs était que la littérature sur le sujet n'était pas de grande qualité mais qu'on pouvait raisonnablement conclure que la téléconsultation en oncologie était réalisable. Au Canada, un rapport technologique sur l'évaluation de la vidéoconférence en télésanté(12) a déjà été publié en 2001. On avait alors recensé huit programmes de vidéoconférence dont certains incluaient la téléconsultation entre médecin et patient, avec un niveau de satisfaction généralement élevé. Le rapport mentionnait le peu de données probantes quant aux avantages économiques ou cliniques de la vidéoconférence. Le rapport estimait le coût moyen de l'équipement et des composantes techniques de la vidéoconférence à 100 000\$. Au Québec, la vidéoconférence est

disponible dans la plupart des hôpitaux ayant une affiliation universitaire, et est généralement utilisée pour des consultations entre les professionnels de la santé. Des normes directrices ont été publiées par l'AETMIS(13) pour que la vidéoconférence puisse s'appliquer convenablement entre un médecin et un patient en télépsychiatrie. Cette situation s'apparente à une consultation pour un problème médical requérant la radio-oncologie, si ce n'est de l'examen physique du patient qui peut être effectué par un médecin local pour répondre à des interrogations spécifiques du radio-oncologue. Un projet pilote de télémédecine aux Îles-de-la-Madeleine(14) a d'ailleurs pu démontrer la faisabilité de cette méthode de téléconsultation.

En ce qui concerne la *télésimulation*, on trouve peu de publications. La technique de simulation virtuelle utilisant des lasers mobiles, telle que décrite dans la section précédente, ne requiert cependant pas de contact direct entre le radio-oncologue et le patient. La précision de cette méthode, comparativement à une simulation « classique », a été jugée équivalente pour l'irradiation du cancer de la prostate(15). Une recherche effectuée dans la littérature grise permet d'identifier au moins un exemple concret de télésimulation à Dubbo, en Australie, sous la forme d'un service local fourni par des technologues en RT et radio-oncologues itinérants(16). Par contre, les patients doivent ensuite se déplacer temporairement à Sydney, afin de recevoir les traitements de RT.

La *télédosimétrie* est largement disponible dans des pays comme les États-Unis, entre autre par le biais de compagnies privées qui exécutent exclusivement les calculs de dose pour les centres de RT qui peuvent déléster de cette tâche leurs propres

technologies en RT. On peut citer en exemple les University of Pittsburgh Cancer Institute/University of Pittsburgh Medical Centres qui sont liés à sept centres de RT communautaires situés dans un rayon de 160 km. Les patients qui nécessitent la RT et qui sont évalués dans les centres communautaires y subissent aussi la tomodensitométrie de planification sous la supervision locale d'un radio-oncologue. Les données acquises sont ensuite transmises à une seule compagnie (D3 Oncology Solution) située à Pittsburgh. La dosimétrie est effectuée de façon centralisée puis les paramètres de traitement sont transmis aux sites communautaires, où le traitement est donné. L'efficacité et la sécurité de la centralisation de ce processus de dosimétrie ont été démontrées par Bhatnagar et al. pour des patients subissant une RT pour un cancer du sein(17) et de la prostate (18). Depuis 2007, la même compagnie fournit aussi les services de dosimétrie au Beacon Hospital, qui est situé en périphérie de Dublin, en Irlande.

Le télétraitement, qui utilise un linac contrôlé à distance, était pratique courante dans la communauté rurale de Wisconsin Rapid, au Wisconsin(19). Les patients devaient, par contre, se rendre préalablement au centre urbain de Wausau afin de procéder à la simulation nécessaire. Depuis 2006, le centre de RT a remplacé son linac par un appareil de tomothérapie, fonctionnant selon les principes d'un tomodensitomètre mais avec une capacité de rayonnement thérapeutique. Seule la dosimétrie est maintenant effectuée à distance(20). À noter qu'aucun des centres de RT mentionné ci-dessus n'utilise à la fois la *téléconsultation*, la *télésimulation*, la *télédosimétrie*, et le *télétraitement*.

En ce qui concerne les études économiques sur l'application de la télémédecine en radio-oncologie, une seule publication a été recensée. Norum et al.(21) ont présenté les résultats d'une étude de minimisation des coûts dans une situation où un centre de RT en Norvège, bénéficiant de l'aide de la télémédecine, offrirait des services à une population éloignée devant habituellement être transportée en avion pour recevoir des soins médicaux. À seulement 12 patients traités par année, donc à 12 transports par avion onéreux, on arrivait à équilibrer les coûts de la téléradiothérapie. Il va sans dire que cette situation n'a aucune similarité avec la réalité québécoise ni avec l'étude présentée dans ce mémoire, qui semble être la seule à combiner une analyse de coûts à un modèle réaliste de téléradiothérapie au Québec.

1.6 Questions à l'étude

La télémédecine, telle qu'appliquée à la radiothérapie, est un vaste concept qui peut s'emboîter dans une ou plusieurs des étapes du cheminement du patient : consultation-simulation-dosimétrie-traitement. Le scénario idéal de la téléRT, tant au point de vue humain que monétaire, serait d'éviter les déplacements du patient vers le centre urbain tout au long du processus en utilisant un service de RT local. Ce service serait pourvu du minimum d'équipement et de personnel pour diminuer non seulement les coûts mais aussi la migration du personnel technique, étant donné la pénurie de cette main d'œuvre. La sécurité du patient et la qualité du traitement sont primordiales.

Pour toutes ces considérations, l'étude tentera de répondre aux deux questions suivantes :

Du point de vue du payeur unique (le système de santé québécois, financé par les contribuables) :

- 1) Quel serait un scénario plausible de centre rural de téléRT?
 - a. Quel type d'intervention de RT serait offert?
 - b. Quelle serait la population visée?
 - c. Quelles étapes menant au traitement utiliseraient la télémédecine?
 - d. Quelle main-d'œuvre serait présente sur le site?

- 2) Pour un tel centre de téléRT, quels seraient :
 - a. Les coûts par patient pour offrir la RT localement (scénario téléRT), comparativement à la situation actuelle où les patients décrits en 1b) doivent voyager en centre urbain et y séjourner pour recevoir les mêmes traitements (scénario itineRT)?
 - b. Les coûts annuels pour offrir la RT localement à la population décrite en 1b), ainsi que l'augmentation des coûts nets pour le payeur public, en tenant compte des économies potentielles dues à la diminution de patients à traiter en centre urbain et à l'annulation des remboursements de frais de voyage et d'hébergement?

Le public visé par cette étude est le MSSS et la Direction de la lutte contre le cancer. Le public secondaire comprend : la population générale, particulièrement celle des régions sous-desservies; les fabricants de matériel et de logiciels de radiothérapie; la grande communauté médicale.

Le point de vue du payeur unique, financé par les contribuables, a été favorisé parce que celui-ci est pertinent pour le public visé et parce qu'une analyse des coûts pour la société est sujette à la variabilité, l'interprétation et la critique. De plus, les coûts pour

la société des modèles « centralisés » par rapport à d'autres qui seraient « décentralisés » ont déjà été mesurés de façon crédible au Canada par Dunscombe et Roberts(5) qui ont démontré que, même sans l'apport de la télémédecine, les coûts pour la société du modèle centralisé sont plus élevés, alors que le contraire est vrai si on s'en tient seulement aux coûts assumés par le payeur public.

Pour ce qui est du comparateur itineRT, il est logique de rester le plus près possible de la réalité actuelle du cheminement du patient; cette attitude nous fournira des indications pertinentes pour une prise de décision.

1.7 Méthodologie

La méthodologie complète est détaillée dans l'article à la section 2.2, p.45 et on ne décrira ici que les principes de base.

Brièvement, pour la question (1) définissant un modèle réaliste de téléRT en tenant compte des critères énumérés et de la revue de littérature de Moqadem et Pineau(6), les paramètres du centre de téléRT ont été déterminés par une équipe multidisciplinaire formée d'un radio-oncologue (BL) avec expérience clinique en vidéoconférence, radiothérapie en milieu rural et simulation virtuelle, et d'experts en évaluation des technologies en santé (MJ) et pharmacoeconomie (JL).

Pour répondre à la question (2), la méthode de calcul choisie pour évaluer les coûts liés à la RT dans les scénarios de téléRT et itineRT devait être en mesure de calculer les coûts suivants :

- Coût de RT/patient dans le scénario itineRT, qui inclut les coûts de RT/patient en centre urbain plus les remboursements faits par l'état au patient pour les frais de transport et d'hébergement.
- Le coût de chacune des étapes (Fig.II, p.14) menant au traitement de RT en centre urbain. Ces coûts serviront à estimer ceux des étapes destinées à être effectuées en zone rurale, dans le centre de RT modèle, à l'aide de la télé-médecine. Ces étapes sont identifiées par la réponse à la question (1). Dans le texte qui suit, les étapes sont appelées « activités » dans le sens économique du terme.
- Coût RT/patient dans le scénario téléRT, qui inclut les coûts locaux (ruraux) de RT/patient du centre de téléRT plus les coûts de toutes les activités menant au traitement qui sont réalisées par le biais de la télé-médecine.
- Coûts annuels d'exploitation du scénario itineRT, qui inclut les coûts locaux en centre urbain pour une cohorte de Z patients = X (patients urbains) + Y (patients ruraux) plus les frais de voyage et d'hébergement de Y patients. Le nombre « Y » de patients est déterminé en réponse à la question (1).
- La différence de coûts annuels nets pour le payeur unique entre les deux scénarios téléRT et itineRT. Ceci doit aussi être calculé pour une cohorte fixe annuelle de « Z » patients. Les coûts annuels du scénario de téléRT sont donc la somme des coûts d'opérations locales de téléRT et des coûts des activités faites à l'aide de la télé-médecine pour traiter Y patients ruraux, plus les coûts pour traiter X patients en zone urbaine.

Il existe plusieurs études exposant en détail comment calculer les coûts reliés à la RT et elles ont été examinées en profondeur par Ploquin et Dunscombe(22). Ces auteurs en sont venus à la conclusion que la plupart des modèles publiés de prévision des coûts, pour la RT, convergent. Il est essentiel pour cette étude que le modèle choisi puisse être capable de spécifier les coûts pour chacune des activités. Le modèle retenu est celui de Dunscombe(5, 23-25), qui a aussi le bénéfice d'avoir servi à plusieurs analyses,

certaines examinant des situations spécifiquement canadiennes. Ce modèle fait la liste des éléments qui devraient être considérés pour une méthode des coûts par activité de la RT :

1. Finance : capital (à 5 % d'actualisation), salaires et dépenses de matériel encourues durant le programme de la radiothérapie;
2. Charge de travail : estimations des pourcentages de temps alloués pour chaque procédure par les différents professionnels;
3. Main d'œuvre : le nombre d'employés des différents groupes professionnels à l'intérieur du programme;
4. Exploitation : montants annuels de patients et de procédures, compléments d'équipement et heures d'opération de l'installation.

La première étape de l'analyse économique présentée ici fait donc appel à une estimation des coûts pour un centre de radiothérapie urbain. Les données sont en provenance du département de radio-oncologie de l'Hôpital Maisonneuve-Rosemont (HMR) pour l'année 2008. Ce département avait traité durant cette année 2571 patients à l'aide de cinq linacs, avec une durée quotidienne d'opération de 11,5 heures. Ceci en faisait le troisième centre en importance au Québec en 2008 et près de la moitié des patients traités habitaient en-dehors de la communauté urbaine de Montréal. Le débit de patients et l'expertise de ce centre moderne le rendrait certainement apte à répondre à des demandes extérieures, par le biais de la télémédecine, tant au niveau de l'expertise médicale que du calcul des doses à distance. En l'occurrence, le choix de l'HMR comme centre urbain de référence du scénario itineRT est approprié.

De plus, le département de radio-oncologie de l'HMR subissait en 2008 un élargissement significatif de sa superficie avec l'ajout de quatre salles blindées avec

linacs, un appareil de tomodensitométrie avec lasers mobiles, et l'implantation d'un nouveau système informationnel et de planification. Les coûts de ces acquisitions, ainsi que le budget du département en 2008, ont servi à fournir les estimations des coûts en capital, les dépenses matérielles et les salaires pour le modèle de Dunscombe.

1.7.1 Coût RT/patient du scénario itineRT

La méthode de Dunscombe a été utilisée pour calculer le coût moyen par patient à l'HMR en 2008 d'une *consultation*, d'une séance de *moulage*, d'une séance de *simulation*, du coût de la *dosimétrie*, etc. La somme de ces coûts correspond au coût moyen, tous types de traitements confondus, pour les 2571 patients traités en 2008. En tenant compte spécifiquement du type d'intervention de RT qui serait offerte à un nombre « Y » de patients ruraux dans le cadre du modèle proposé en réponse à la question (1), on peut utiliser la méthode de Dunscombe pour nuancer les estimations de coût moyen de RT pour deux types de patients, par exemple qui auraient reçu des traitements à visée palliative versus à visée curative. Pour ces deux patients, les coûts de *consultation*, *simulation* et *dosimétrie* seraient considérés identiques. Par contre, le coût du *traitement*, qui dépend du nombre total de séances, serait moins élevé pour un traitement court à visée palliative que pour un traitement à visée radicale. Le coût de RT moyen par patient du scénario de référence itineRT en centre urbain tient compte de ceci, et on y ajoute les remboursements pour les frais de déplacement et d'hébergement, qui sont obtenus à partir des taux habituels par km et par nuitée remboursés par le système de santé public(26).

1.7.2 Coût RT/patient du scénario téléRT

Pour établir les coûts par patient dans le scénario téléRT, on utilise les paramètres définis par la réponse à la question (1) qui détaille le type d'intervention de RT offerte, la population visée (cohorte annuelle de « Y » patients), et la technologie et la main d'œuvre qui seraient employées dans le centre rural. On calcule, toujours à l'aide de la méthode de Dunscombe, le coût local moyen par patient de la RT. On ajoute à ces coûts celui des activités spécifiques qui seraient sous-traitées au centre urbain, par exemple le coût moyen de l'activité *dosimétrie*, déterminé en 1.7.1. Il faut remarquer que le coût des activités en centre urbain pourrait être influencé par l'ouverture d'un centre de téléRT, par exemple s'il y entraînait une baisse d'achalandage. En effet, le coût moyen par patient des activités calculé par la méthode de Dunscombe bénéficie d'une économie d'échelle. La conséquence de l'ouverture d'un centre de téléRT sur l'achalandage et son impact sur le coût de la RT en milieu urbain est difficile à estimer, et une hypothèse est nécessaire aux fins de calcul pour le scénario téléRT.

Au Québec, les statistiques les plus récentes disponibles montrent que le nombre de patients distincts ayant bénéficié de la RT entre les années 1999 (16 105 patients) et 2009 (20 002 patients) correspond à une augmentation moyenne annuelle de 2%. Durant la même période, le taux d'utilisation de la RT est demeuré stable (environ 50%), alors que le nombre d'appareil de RT par million d'habitants(1) est passé de 5,74 à 7,17. Ceci reflète, d'une part, la volonté du MSSS de réduire les délais d'attente en RT et, d'autre

part, l'effet de la complexité grandissante de la RT dont bénéficient les patients traités à visée radicale. Cette complexité se traduit par une augmentation des coûts de RT qui n'est pas partagée par les cas simples visés par notre modèle de téléRT. Il a donc été choisi d'étudier les coûts de téléRT selon l'hypothèse vraisemblable que le coût des quelques activités urbaines de RT qui seraient fournies au centre de RT rural à l'aide de la télé-médecine serait inchangé après son ouverture. Ceci nécessite, dans le modèle de Dunscombe, que le nombre de patients traités en centre urbain demeure identique à celui du scénario itineRT. Pour mesurer l'influence de cette hypothèse sur les résultats, il a été prévu *a priori* que le calcul des coûts liés au scénario téléRT serait refait pour la situation inverse, i.e. où le nombre de patients traités en centre urbain s'abaisserait de « Y » patients si un centre de téléRT était implanté. Il faut mentionner cependant que, même si notre hypothèse s'avérait fautive, le Plan clinique de l'HMR déposé en 2010 prévoit une croissance de 65% des mises en traitement en radio-oncologie d'ici 2019. Une baisse d'achalandage qui serait créée par l'ouverture d'un nouveau centre de RT rural devrait donc être de courte durée.

1.7.3 Coût annuel du scénario itineRT

La méthode de Dunscombe permet de calculer les coûts d'exploitation annuels d'un centre de RT. Le coût annuel du scénario itineRT correspond au coût annuel d'exploitation d'un centre urbain de RT basé sur les données de l'HMR en 2008 (2571 patients), auquel on ajoute les remboursements pour les frais de déplacement et d'hébergement d'un nombre « Y » de patients ruraux.

1.7.4 Coût annuel du scénario téléRT

Les coûts d'exploitation annuels d'un centre de téléRT sont calculés pour la cohorte annuelle de « Y » patients. Pour obtenir le coût annuel du scénario de téléRT, on doit y ajouter les coûts d'exploitation d'un centre urbain de RT basé sur les données de l'HMR en 2008. Cependant, si on veut faire une comparaison adéquate avec le coût annuel du scénario itinereRT, le nombre total de patients traités doit être égal dans les deux scénarios : on doit donc ajuster les coûts d'exploitation du centre urbain basés sur un nombre réduit de patients égal à $2571 - \text{« Y »}$ patients par année. Ceci requiert la modification de certaines données dans le modèle de Dunscombe. Pour les fins de la présente analyse, on a fait le choix conservateur de maintenir les coûts en capitaux et les dépenses matérielles du centre urbain identiques, mais de diminuer le nombre de salariés pour qu'il puisse correspondre aux recommandations canadiennes(27).

Étant donné le nombre important de variables (> 80) de la méthode de Dunscombe et leur incertitude respective, une méthode Monte-Carlo a été utilisée pour calculer les résultats principaux ainsi que pour les analyses de sensibilité.

Section 2

Article

2.1 Introduction

2.2 Methods and materials

2.3 Results

2.4 Discussion

2.5 Conclusion

References

Appendix

Contribution des auteurs à l'article

- Benoît Laliberté a eu l'idée de recherche, a établi la méthode, a recueilli les données, a fait les analyses et a rédigé l'article.
- Mira Johri a encadré l'idée de recherche, a validé les concepts économiques et a révisé le manuscrit.
- Jean Lachâgne a encadré l'idée de recherche et a validé les concepts économiques.

TELEMEDICINE APPLIED TO RADIOTHERAPY: IS REMOTE SUPERVISION A VIABLE STRATEGY? DESIGN AND COST ANALYSIS FOR A PROPOSED PALLIATIVE TELE-RADIOTHERAPY UNIT IN THE PROVINCE OF QUEBEC, CANADA

BENOIT LALIBERTE, †M.D., JEAN LACHAINE, ‡PH.D., MIRA JOHRI, §‡PH.D.

MPH

† Département de Radio-Oncologie, Hôpital Maisonneuve-Rosemont, Montréal, Canada.

‡ Faculty of Pharmacy, Université de Montréal

§ Unité de Santé Internationale (USI), Centre de Recherche du Centre Hospitalier de l'Université de Montréal (CR-CHUM), Quebec, Canada

‡ Département d'Administration de la Santé, Faculté de Médecine, Université de Montréal, Quebec, Canada

Running title: Costing model for tele-radiotherapy.

The authors declare that they have no conflict of interest.

ABSTRACT

Purpose: Radiotherapy (RT) is generally centralized in urban areas. Patients with cancer living in remote areas must travel significant distances to receive RT, and treatment uptake is generally inferior to that of urban patients. Telemedicine could improve uptake and equity of access by allowing a minimally staffed RT unit to operate locally with links to an urban centre. This study aims (1) to outline a feasible structure and target population for a tele-radiotherapy unit (teleRT) to deliver local care in a rural area in the province of Quebec, Canada; and (2) to estimate the costs of teleRT, compared to the current standard of care based on travel to urban centres (travelRT).

Methods and Materials: (1) Based on a review of the literature, we developed a proposal for a hypothetical teleRT unit servicing a cohort of rural patients and meeting the following criteria: feasibility & safety, elimination of patient travel, and minimisation of staff migration. (2) Costs were estimated from the public payor perspective using a previously published activity-based costing model for RT. The model included annualized capital costs, labour, and overhead. Costing of the proposed teleRT strategy took into consideration all activities performed locally and costs of outsourced activities. To describe the cost of the travelRT strategy, we estimated the 2008 cost for the cohort of rural patients that received RT in an urban centre, and added travel reimbursements. Sensitivity analyses of key variables and input parameters were computed using Monte Carlo simulation.

Results: 1) The target population for use of teleRT in our model was restricted to palliative care patients. The proposed teleRT unit was a single linear-accelerator unit treating a cohort of 250 palliative care patients per year. The teleRT unit was built as an

addition to an existing rural hospital. Staff consisted of 3 radiation therapists, a part-time technician and a medical physicist. All RT activities except treatment and quality control used telemedicine, in the form of either videoconferencing, virtual simulation, or remote dosimetry. 2) The public payor cost of palliative RT for a rural patient in the teleRT scenario was 5918\$/patient (95% C.I. 4985 to 7095\$) as compared to 4541\$/patient (95% C.I. 4351 to 4739\$) for travelRT. Yearly operational costs of the teleRT unit was 1,48 M\$ (s.d. 0,6 M\$), resulting in a net cost increase to the payor of 0,54 M\$ (s.d. 0,26 M\$) when compared to travelRT, after accounting for the reduction of urban RT operational costs of 0,76 M\$ (s.d. 0,26 M\$) and ending travel costs reimbursements of 0,18 M\$ (s.d. 0,02 M\$). The model was most sensitive to the size of the cohort treated with cost/patient inversely correlated to the number of patients treated.

Conclusion: Establishing a teleRT unit to treat a small rural population of palliative care patients results in a modest net increase in cost to the public payor. The increased availability of RT may lead to increased uptake, greater geographic equity in access to care, and overall benefit in quality-of-life, making the cost acceptable from a societal perspective.

Key Words: Radiotherapy, Telemedicine, Palliative Care, Health Services Accessibility, Health Facilities, Costs and Cost Analysis

2.1 INTRODUCTION

Radiotherapy (RT), either palliative or curative, is part of patient management in approximately 50% of all cancer cases. RT is the precise delivery of ionizing radiation, generated either by radioactive sources (mainly Cobalt) or linear accelerators, commonly termed linacs. Cobalt machines, linacs, and their companion treatment planning devices (CT scans, simulators, treatment planning software, and immobilization/mould facilities) have high initial investments and maintenance costs which need to be offset by a sufficient annual patient volume in order to be cost-effective. They also require highly specialized and often scarce health care professionals, including radiation oncologists, medical physicists, and radiation therapists. This creates economic constraints which often lead to the centralization of RT units in heavily populated areas, resulting in geographical disparities in the use of RT. This is well documented in countries with a dispersed population such as Canada(1) and Australia(2), but also in highly populated ones of Europe and Asia(3, 4).

While it has been argued that de-centralizing RT centres by bringing them to rural communities through small size satellite centres is beneficial from a societal point of view, it is often at greater cost to the public payor (5-7). The satellite units described in published models(8, 9), and in current projects of single-linac facilities(5, 10) in Canada and Australia, are essentially standalone units that rely partially on a parent urban centre to take on more complex cases. The satellite centres are expected to have a

similar ratio of staff-to-linac, and a caseload of 350-400 patients per year, equivalent to that of their urban counterpart. This output is greater than many underserved regions would require, especially if RT was used to treat locally only the simpler cases. For example, the province of Quebec, Canada, has a total of twelve RT centres, two of which opened in 2011 and are not fully operational. The RT centres are all located in the seven heavily populated administrative regions (Table 1, p. 40). Three of Quebec's underserved regions (regions 8,9, and 11) are located more than 3 hours from the nearest RT facility, and had needs for 200 to 300 palliative and curative RT courses in 2008. A satellite, standalone RT unit in these regions may be underutilized. Others, located between 1-3 hours away (in regions 12, 14 and 15), might provide the minimum "recommended" workload for a standalone RT unit(5) but the need for a full staff could be difficult to satisfy or lead to shortage of expertise in existing centres due to staff migration.

A possible solution for improving RT delivery in underserved areas could be to install a minimally staffed RT unit relying heavily on telemedicine. As described by Valiquette and Dunscombe(11), the steps leading to a RT course can be divided in sequential activities, in the economic sense of the term (Fig.I, p.41). Several of these, such as medical assessment, simulation, treatment planning, and continuing care can now safely be performed through telemedicine(12-15), with health care professionals being at a different location than the patient. A tele-radiotherapy centre that would outsource all activities not requiring the presence of the patient to

Table 1. Population and radiotherapy uptake and services per administrative region of Quebec in 2008.

Source: www.ecosante.org

Region	Population	RT cases	Linacs /1 000 000	% RT	Travel time 1-way
00 Province of Quebec	7 752 037	20047	6,71	49	< 1 hour
01 Bas-Saint-Laurent	201 128	591	14,92	49	< 1 hour
02 Saguenay-Lac-Saint-Jean	272 419	847	7,34	56	< 1 hour
03 Capitale-Nationale	678 169	1915	13,27	50	< 1 hour
04 Mauricie/Centre-du-Québec	490 208	1507	8,16	52	< 1 hour
05 Estrie	304 525	855	13,14	51	< 1 hour
06 Montréal	1 892 751	4883	14,26	47	< 1 hour
07 Outaouais	352 717	830	8,51	52	< 1 hour
08 Abitibi-Témiscamingue	144 934	246	-	33	> 3 hours
09 Côte-Nord	95 652	224	-	48	> 3 hours
10 Nord-du-Québec	14 742	20	-	37	> 3 hours
11 Gaspésie	94 612	290	-	49	> 3 hours
12 Chaudière-Appalaches	401 002	970	-	45	1-2 hours
13 Laval	384 351	960	-	48	<1 hour
14 Lanaudière	451 078	1105	-	53	1-2 hours
15 Laurentides	534 947	1223	-	49	1-3 hours
16 Montérégie	1 412 485	3531	-	50	< 1 hour
17 Nunavik	11 344	12	-	63	>3 hours
18 Land of Cree Nation/James Bay	14 973	12	-	40	>3 hours

standalone high volume centres(16, 17) without causing staff migration may be economically viable. It is with this idea in mind that Quebec`s Direction de Lutte Contre le Cancer mandated the Agency for the evaluation of health technology (AETMIS) to evaluate the feasibility of telemedicine in the context of radiotherapy. This resulted in a systematic review by Moqadem and Pineau(18) that narrowed down the relevant

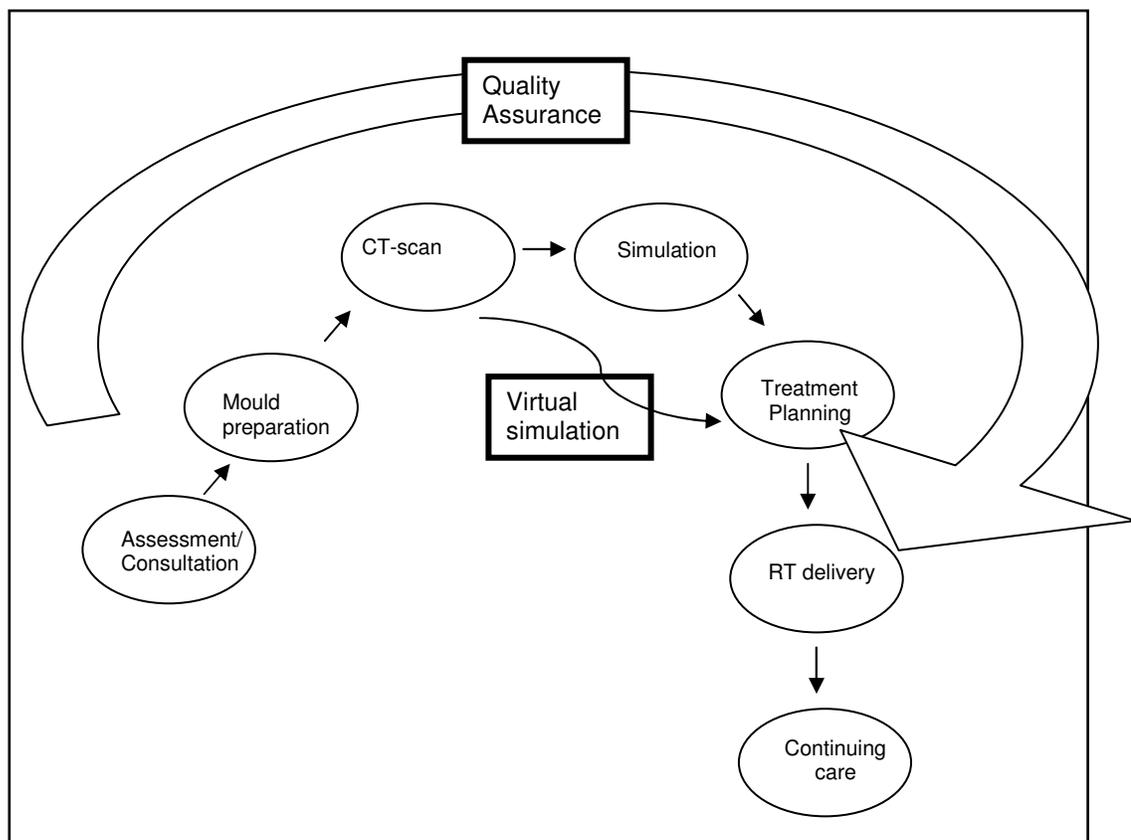


Figure I: Steps leading to treatment (RT activities)

literature to 18 published articles, with only a few of them describing actual treatments that were given using telemedicine. The studies mostly examined situations where only one step of the RT process was done remotely.

Teleconsultation, using videoconference (VC) between a physician and an oncology patient, was the subject of a review by Kitamura(12). The literature was considered methodologically weak but suggested that teleconsultation was feasible and

effective. In Canada, a technological report assessing VC in telehealth reviewed eight such programs in 2001, some of which included teleconsultation, with a relatively high satisfaction rate among users(19). The report mentioned the paucity of evidence with regards to economic or clinical advantages of videoconferencing. The average cost of equipment and technological components to implement VC was estimated at 100000\$. In Quebec, VC is available in most hospitals with academic affiliation and is often used for consultations between health care providers. Technical standards and clinical guidelines were published by Moqadem et al. as part of an AETMIS study in telepsychiatry(20). Teleconsultation between a physician and a patient in psychiatry is similar to oncology, and requires at least as much subtlety. The same technical standards could apply, and the physical examination of the patient could be carried out by a local physician to answer specific questions. A pilot project of telemedicine in the isolated Îles-de-la-Madeleine, Quebec, was able to demonstrate this successfully(21).

Publications regarding *telesimulation* are scarce, even though virtual simulation often requires little or no physical interaction between the radiation oncologist and patient. Virtual simulation, which allows the radiation oncologist to set the linac isocenter and RT beam arrangements on a three-dimensional rendition of CT-scanned patients, is routinely done in most RT centres. In Dubbo, Australia, where RT is not available, patients can still undergo consultation and virtual simulation locally, but then must travel to Sydney to receive their treatment (22). For telemedicine purposes, virtual simulation can be improved if the CT-scan room is equipped with mobile lasers. In that case, the isocenter and RT beams' projections on the patient's body can often be readily

marked, even for complex cases. This “augmented” virtual simulation process avoids the classical simulation step, which uses either fluoroscopy in a RT simulator, or portal imaging in the linac room, to confirm patient positioning before the first treatment. “Augmented” virtual simulation, performed in this time-efficient manner, has been the sole modality for treatment planning in the Centre Régional de Lutte Contre le Cancer of Val d’Aurelle, in Montpellier, France, for many years. A study by Rades confirmed this method to be equivalent in precision to standard fluoroscopic simulation in prostate cancer(23). This type of virtual simulation could provide safe and efficient telesimulation, requiring only local radiation therapists for patient positioning and markings.

Teledosimetry, such as off-site dose computation or RT beam optimisation, is widely available through private contractors in the United States. As an example, the efficiency and safety of the outsourcing of this procedure has been demonstrated in breast(24) and prostate(25) cancer by Bhatnagar et al. Their studies relied on the experience of the University of Pittsburgh Cancer Institute/University of Pittsburgh Medical Centres which are linked to seven community RT centres in a 160 km radius. Patients are evaluated locally and undergo CT-planning on-site, but dosimetry is done centrally by a private company in Pittsburgh. Since 2007, the same company has been providing remote dosimetry services to the Beacon Hospital RT centre in Dublin, Ireland.

Teletreatment in the case of RT implies that treatment delivery is provided by local radiation therapists without on-site radiation oncologist. Guidelines regarding this situation were published in 2003 by the Canadian Association of Radiation Oncologists(26). The guidelines address key issues regarding prescription and timely access to a local physician. They also specify that the initial consultation for RT should include a physical examination that is done by the radiation oncologist. While this is not essential for many RT cases that rely mostly on patients' symptoms and imaging, it is reasonable to assume that specific ambiguities could be resolved by any on-site physician under the guidance of the radiation oncologist.

This brief review of telemedicine in RT, where none of the published articles studied teleRT centres which used teleconsultation jointly with telesimulation, teledosimetry and teletreatment, leads us to the same conclusion as Moqadem and Pineau(18) : *“tele-radiotherapy” in different forms has been shown to be technically feasible, but the literature scarcely addressed the economic issues surrounding this therapeutic modality”*.

To address this shortcoming, our paper aims to answer the following two questions: 1) What are appropriate working parameters for a teleRT unit? 2) What would be the estimated costs from the public payor perspective of the teleRT scenario? How do these costs compare to the standard i.e. the present situation where the patients travel from their rural setting to an urban facility (travelRT scenario)?

2.2 METHODS AND MATERIALS

2.2.1 Design of the teleRT model

A multidisciplinary team was formed, consisting of a radiation oncologist with clinical experience in virtual RT simulation, teleconferencing, and rural palliative RT (BL), and experts in health technology assessment (MJ) and pharmacoeconomics (JL). The parameters for the design of the teleRT model were guided by the following criteria:

- i. The teleRT model must be technically feasible and safe.
- ii. Patient travel to an urban centre must be eliminated.
- iii. Workforce migration must be minimized.

The parameters for teleRT had to specify:

a) What type of RT intervention would be offered by teleRT?

-Palliative, Curative, or Both?

b) Which rural population would be targeted by teleRT?

-Location, yearly cohort size, and travel distance to the nearest urban RT centre?

c) Which RT activities could be safely outsourced to a remote urban centre, and what technology would be required at the teleRT site?

d) What would be the required staffing at the teleRT site?

-Radiation oncologist, Nurses, Radiation therapists, Technicians, Physicists?

The resulting model for teleRT was discussed with clinicians, radiation therapists, and medical physicists practicing at the Maisonneuve-Rosemont Hospital, a tertiary care facility located in Montreal, Canada. The scientific literature pertaining to telemedicine in radiotherapy was reviewed following the same process as Moqadem and Pineau(18), and successful examples of each type of RT activities that were to be performed through telemedicine were sought.

2.2.2 Cost and cost analysis of travelRT vs. teleRT

The cost analysis required a method that could estimate, from the public payor perspective, the cost per patient and the yearly costs of the travelRT and teleRT scenarios. In stepwise fashion, we aimed to determine:

- Cost of RT/patient for travelRT, which includes the cost of RT/patient treated at a representative urban centre, plus travel and lodging reimbursement by the public payor.
- Cost of each activity leading to treatment (Fig.I, p.41) at the urban centre. These costs are used to estimate, in the teleRT scenario, the cost of outsourcing activities to the urban centre through telemedicine.
- Cost of RT/patient for teleRT, which includes local (rural) RT cost and the cost of all activities outsourced through telemedicine.
- Annual cost of the travelRT scenario for the cohort of Z patients = X (urban patients) + Y (rural patients) treated at the representative urban centre, plus the travel and lodging reimbursement for « Y » patients. The number « Y » of patients is predetermined in 2.2.1.

- The incremental annual cost for the public payor between the teleRT and travel RT scenario. This was calculated in both scenarios for an annual fixed cohort of Z patients. The annual cost of the teleRT scenario is therefore the sum of the costs of the rural teleRT centre to treat « Y » rural patients, plus the cost of all activities outsourced through telemedicine, plus the cost of treating « X » patients at the urban centre.

A systematic review of the methods of costing for RT was published by Ploquin and Dunscombe(27). They identified 11 studies that used various costing models and found that the results of these different approaches seem to converge for a standard case. For the purpose of our study, an “activity-based” method, that assigns to each activity the specific resources it consumes (including its share of overhead costs) in order to calculate its cost component of the total production cost, was the most appropriate. We used the method initially published by Valiquette & Dunscombe(11), and later by Dunscombe et al.(8, 9, 28). The description of the model that follows is adapted from their publications (8, 9, 11, 28).

The model uses a “bottom-up” approach, with four types of inputs, namely: Financial (public payor cost components of operating the RT facility), Staffing, Utilization (number of activities during the study period), and Workload (a 2D matrix expressing the percentage of time spent by each staff for a specific activity, Table 4, p. 60). The model’s output is the total cost of treatment, broken down into the following seven activities: medical assessment, mould/block preparation, CT scanning, treatment planning, simulation, RT delivery, and continuing care.

Financial inputs are divided into six categories: Direct labour, Direct Material, and four types of Overhead (OH) costs including: General Administrative OH, Treatment Machine OH, Office & Fixed OH, and Maintenance/Quality Control OH. Capital costs during the study period are included by converting them to equivalent annual costs (EAC). In this study, EAC are computed using a discount rate of 5% per year, and a useful life of 30 years for the building, 12 years for the machines, and 8 years for computer equipment, in accordance with Quebec Health Ministry guidelines. The method for calculating OH and proportional attribution to each activity is detailed in the original article(11). For RT facilities housed in a hospital, which is the norm in Canada, only the administrative costs specifically devoted to RT are included.

The first step of the economic analysis is to estimate the costs for an urban RT centre. We chose input parameters based on current data from the RT facility at Maisonneuve-Rosemont Hospital (HMR), which is located in Montreal, the largest city in Quebec with an estimated population of two million. HMR houses the third largest RT centre in Quebec which, at the time of the study in 2008, had 5 linacs, 3 conventional simulators, and 1 planning CT-scan. The number of patients treated in 2008 was 2571, which is representative of such facilities in Quebec. Again, in accordance with the average for a Quebec RT facility in 2008, the average length of daily operation was 11.5 hours.

We were able to obtain updated estimates of capital and material costs from 2008 since the RT department at HMR was undergoing a major expansion at the time, almost

doubling in size, with the addition of 4 new bunkers & linacs, a second planning CT-Scan with virtual simulation, offices, patient examination rooms, and a complete overhaul of the informational & treatment planning systems. The 2008 departmental budget was used to estimate salaries and OH.

2.2.2a) Cost/patient for travelRT

The Dunscombe costing method was used to calculate the average cost per patient at HMR in 2008 for the initial assessment/consultation, a mould, a simulation, dosimetry, etc. The sum of these costs corresponds to the average cost per patient for all types of treatments offered at HMR. The Dunscombe method can be used to refine the cost for a specific type of RT that would be offered to the “Y” rural patients. For example, the cost per patient for palliative RT vs. curative RT can be considered identical for the following activities: assessment, simulation, dosimetry. Treatment cost, however, depends on the total number of fractions, which are fewer for palliative than for curative RT. The costing model accounts for this, and travel and lodging reimbursement is then added according to Quebec’s ministry of health policies(29).

2.2.2b) Cost/patient for teleRT

The activity-based costing method was used to compute the local (rural) costs of the teleRT facility based on the parameters we had defined. We added to this the costs of

the activities performed through telemedicine that would be outsourced to the urban facility, obtained in 2.2.2a. These costs could be influenced by the opening of a rural teleRT centre, since they could create a patient drain at the urban facility. The scale of this patient drain, and the subsequent effect on cost, is difficult to estimate. In recent years, RT for curative cases has become increasingly complex and resource intensive. Thus, if the teleRT model were to tackle only simple (e.g. palliative) cases, it is likely that the cost per activity at the urban centre would remain stable despite patient drain. Moreover, strategic planning at HMR estimates that RT demand will increase by 65% in the next 10 years, even when taking into account the opening of two nearby RT centres. We thus made the assumption that the introduction of a new teleRT service in the rural setting would have little long-term impact on the patient caseload at the urban centre. In effect, this represents the situation where the number of rural patients treated at the new teleRT facility would be immediately replaced by equivalent urban patients at the urban RT facility, and the hypothesis maintains the cost per activity stable. This assumption keeps the cost/patient at the urban centre relatively low compared to the costs at the teleRT unit. This hypothesis will be challenged in the sensitivity analysis by recomputing costs based on the opposite assumption i.e. that there would be a net drain of “Y” patients at the urban RT facility if a teleRT centre were to open.

2.2.2c) Annual cost of travelRT scenario

The Dunscombe method readily outputs the annual operational cost for a RT centre. The annual cost of the travelRT scenario is based on inputs of 2571 patients

treated at HMR in the year 2008, to which are added travel and lodging reimbursements for “Y” rural patients.

2.2.2d) Annual cost of teleRT scenario

In order to compare costs with the travelRT scenario from the payor’s perspective, calculations must be done for the same cohort. The annual cost of the teleRT scenario is thus the sum of the cost for “Y” rural patients treated at the teleRT facility (including the costs of all outsourced activities) plus the cost of the remaining patients that would be treated at the urban centre. The urban RT cost for 2571-“Y” patients requires slight adjustments in the Dunscombe model. For this analysis, we made the conservative assumption that capital and material costs would remain the same in the urban centre as in the travelRT scenario, but staff would be decreased to correspond to Canadian recommendations regarding staff-to-patient ratios(30) for 2571-“Y” patients.

Computations were carried out in Microsoft Excel (2000) using Oracle’s Crystal Ball (Fusion Edition Release 11.1.2.1.0) for analyses using 5000 Monte Carlo simulation events for each result shown. Material costs and utilities (> 200 000) inputs were treated as normally distributed variables with a standard deviation (s.d.) equal to 10% of their value. The standard deviation of 10% for material costs is approximately the observed variation in bids from different manufacturers for this type of technology at HMR. The hypothetical number of rural patients that would benefit from the teleRT service was also treated as a normally distributed variable with a standard deviation equal to 10%.

This s.d. is representative of the standard deviation in the number of RT cases in the Montreal region for the past ten years, based on published statistics. We surmise, for modelling purposes, that a similar standard deviation would exist for the number of RT rural cases. The number of patients treated at the urban centre in the travelRT strategy was obtained from the 2008 HMR data. Two databases were used and, after manually checking for small discrepancies, we estimated the data to be accurate within 2%. Workload inputs were also treated as normally distributed variables but with a s.d. equal to their square root (e.g. 25% assumed to have a s.d. = 5%), as discussed in Dunscombe et al(11). Other inputs such as salaries, maintenance, supplies, and discount rates were fixed.

As mentioned earlier, the assumption that the introduction of teleRT had little impact on the cost per patient of activities for the travelRT scenario was tested by recalculating the cost per patient for travelRT and teleRT in the case where the availability of teleRT to rural patients would in fact decrease the number of patients at the urban facility by the same amount. We estimated that this patient shift would not change overhead costs at the urban facility but would decrease the overall wage bill by the ratio of rural/total patients.

There were over 80 different variables and fixed inputs. Dunscombe had already shown that the number of patients treated and the capital costs had the strongest influence on results(9). We thus chose to do univariate sensitivity analysis on these two variables by freezing the following inputs at fixed increments in order to gauge their

effect on the final results: number of rural patients benefitting from teleRT per year, and cost of linac & building, which are the main capital costs, for the teleRT unit. We also wanted the model to be useful in other settings, and since we are aware that salaries vary substantially from country to country, we varied that input at fixed increments as well to estimate its effect on the final results. The useful life of linacs and computers used by Quebec's ministry of health (12 and 8 years, respectively) is also non-standard compared to most publications, and computations were carried out with the more typical lifetime of 10 and 5 years, respectively. Discount rates of 3% and 7% were also used for comparison with the base-case discount rate of 5%.

Sensitivity of the model to Workload variables was tested by varying the two largest workload percentages for all staff to +/- 1 s.d., and renormalizing the total to 1. For example, if Nurses spend 35% (s.d. 6%) of their time in the activity "Assessment", 22% (s.d. 5%) in "RT delivery", 31% (s.d. 6%) in "Continuing Care", 4% (s.d. 2%) in "Simulation", and 8% (s.d. 3%) in "Administrative duties", the Monte Carlo simulation was re-run with the Workload values for Nurses at: 41% for "Assessment" and 25% for "Continuing Care", and then again at 29% for "Assessment" and 37% for "Continuing Care".

2.3 RESULTS

2.3.1 Working parameters of the model for teleRT

2.3.1a) Type of RT intervention offered by teleRT

Since technical feasibility was given a high priority, we chose to restrict teleRT to deliver only palliative RT. Palliative RT is given to patients presenting with advanced cancer with the aim of decreasing pain from bone metastasis, neurological symptoms due to brain metastasis, or bleeding/obstruction due to tumour. It is generally very safe and complications are rare. The course of palliative RT for this analysis was set at five daily fractions, as commonly used for painful bone metastasis, brain metastasis, and obstructive or bleeding tumours(31).

2.3.1b) Rural population targeted by teleRT

The size of the model target population was determined from cancer estimates of underserved regions in the province of Quebec (Table 1, p. 40), and their expected need for palliative RT (Table 2, p. 55). While the proportion of cancer patients requiring palliative RT in Quebec is not readily available, an extensive population study by Huang(31) from neighbouring Ontario, spanning 10 years, found that 26% of patients who had died from cancer had received at least one course of palliative RT in the preceding two years. In areas where patients had close access to palliative RT, the

proportion of patients receiving palliative RT increased to a maximum of 57.8%. Using these figures, we computed the range between the expected (26% of cancer deaths) and the optimal (57.8% of cancer deaths) number of palliative RT cases per year for Quebec's outlying regions located between 1 to 3 hours from the nearest RT facility. The average result was approximately 250 patients per year and this was chosen as the size of the model rural population (Table 2, p.55).

Table 2. Expected versus optimal uptake of palliative RT per outlying region.

Source: www.ecosante.org

Region	Deaths from cancer	Expected palliative RT	"Optimal" palliative RT
08 Abitibi-Témiscamingue	347	87	208
09 Côte-Nord	258	65	155
11 Gaspésie-Iles-de-la-Madeleine	262	66	157
12 Chaudière-Appalaches	918	229	551
14 Lanaudière	1 171	293	703
15 Laurentides	1 371	343	823
Average:		180	433

The distance between the teleRT centre to the standalone facility was assumed to be 3 hours, or 250 km, such that there would be little possibility of returning home on the same day. This distance also represents the minimum required travel for reimbursement in Quebec. Reimbursement was based on Quebec Health Ministry guidelines for 2008, averaging between common situations of one or two trips, five to ten overnight stays, and one family member accompanying the palliative care patient (698\$).

The rural population near the teleRT centre was considered to have local access to a hospital providing cancer care, such as chemotherapy. This situation is standard in Quebec, which has only ten RT centres and 90 radiation oncologists, but over 80 hospitals offering chemotherapy and staffed with 236 hemato-oncologists.

2.3.1c) RT activities outsourced through telemedicine & required technology

Medical consultation with the radiation oncologist can be done by teleconferencing with the help of a local physician to aid in answering specific questions regarding the patient's physical examination. Simulation can be carried out remotely with the use of virtual scanning and mobile lasers. Virtual RT fields would be determined by the radiation oncologist on a remote console, as in most modern urban centres. The cost of new installations for video-conferencing was estimated at 100 000\$, based on the Canadian review by Noorani and Picot(19). The cost of virtual simulation add-on technology (mobile lasers plus software) to a CT-Scan was estimated at 150 000\$, which was approximately their purchase cost at HMR.

Treatment planning would be completed remotely by dosimetrists at an urban standalone facility, and then verified remotely by the radiation oncologist at the same facility. TeleRT quality assurance cannot be done remotely and would be ensured by local (rural) medical physicists and radiation therapists as described below. Treatment delivery and follow-up would be done in the rural setting.

The teleRT bunker and virtual simulation room would be built adjoining the existing hospital to share services and limit costs. Treatment delivery at the teleRT site would be carried out with a single 6 MV linear accelerator with multi-leaf collimator, which is adequate for the purpose of palliative care. The cost of the bunker was estimated at 2 M\$, and 2.3 M\$ for the linac, based on acquisition costs for the 2008 expansion at HMR, as described above.

Virtual simulation using a RT dedicated planning CT scan is not justifiable for a caseload of 250 patients per year. Instead, the hospital diagnostic CT scanners could be fitted with mobile lasers and virtual simulation software for joint benefit. Alternatively, if the diagnostic CT scanner needed replacement, the virtual simulation CT scanner could be used as a diagnostic tool. We estimated that 250 RT patients per year would consume less than 10% of the CT scan on-time, and only attributed that portion of the costs to the costing model.

2.3.1d) Required staffing at the teleRT site

Initial assessment and on-treatment care require the assistance of a full time nurse. Virtual simulation with local scanning for planning purposes, patient immobilization, and mobile-laser markings would be performed by two on-site radiation therapists. Treatment delivery also requires a minimum of two on-site radiation therapists. TeleRT quality assurance requires the daily presence of radiation therapists,

regular inspections by a linac technician, and regular pre-determined universal quality assurance verifications by medical physicists already assigned to the local radiology department, feasible with added RT training. Only periodic visits from a specialized medical physicist working at the standalone site would be expected. Follow-up would be ensured by oncology nurses and physicians from the local hospital, as is often the case even in urban settings.

Staffing estimates for the teleRT model are within national guidelines(30), using (250 cases per year x 5 fractions) delivered on 238 work days per year, or 5.25 fractions per day. National guidelines estimate less than 1.5 radiation therapists for linac operations, 0.5 for mould room requirements/activities, and 1.0 for virtual scanner operation, for a total of 3 full-time radiation therapists who can share these tasks. TeleRT patients would benefit from one full-time nurse, a half-time medical physicist, a half-time technician, and less than half-time time orderly, with an average work day of eight hours for each staff member, which is largely sufficient to accommodate week to week variations in caseload.

With respect to security of patients, the above model for teleRT generally conforms to the position statement by the Canadian Association of Radiation Oncologists of 2003 (26). Financial, Staffing, and Utilization inputs for travelRT and teleRT are shown in Table 3 (p. 59). Workload input parameters are shown in Table 4 (p. 60). The latter were

Table 3. Economic parameters describing travelRT and teleRT centres.

EAC=Equivalent annualized costs

Study period 2008	travelRT			teleRT		
Utilization	#			#		
# patients assessed	2 857			278		
# patients receiving RT	2 571			250		
# mould shield or compensator	1 890			250		
# patients simulated	2 571			0		
# patients CT scanned for preparation	1 199			250		
# patients needing planning by dosimetry	1 890			250		
# of RT fractions	38 980			1 250		
total hours of operation of facility	2 852			1 984		
Financial : Staff		cost			cost	
Radiation Oncologist	11,5	2 990 000 \$		0,0	0 \$	
Nurses	6,0	504 620 \$		1,0	84 100 \$	
Radiation therapist	25,0	1 490 130 \$		1,5	89 410 \$	
Simulation therapists	7,0	417 240 \$		0,0	0 \$	
Scan therapists	2,0	119 210 \$		1,0	59 610 \$	
Mould room therapists	4,0	238 420 \$		0,5	29 800 \$	
Dosimetrists	7,0	417 240 \$		0,0	0 \$	
Techs and Machinists	2,0	116 190 \$		0,5	29 050 \$	
Physicists	11,5	1 199 630 \$		0,5	52 160 \$	
Orderly	3,0	126 520 \$		0,5	21 090 \$	
TOTAL treatment personnel	79,0	7 619 190 \$		5,5	365 210 \$	
Secretaries & Clercs	9,0	364 740 \$		0,0	0 \$	
Training		13 270 \$			5 000 \$	
Program administrative OH		1 394 210 \$			91 160 \$	
Financial: Capital & Material			EAC			EAC
Building		15 000 000 \$	975 770 \$		2 000 000 \$	130 100 \$
Linac (s)	5	10 600 000 \$	1 195 950 \$	1	2 300 000 \$	259 500 \$
Treatment accessories		476 000 \$	53 700 \$		95 200 \$	10 740 \$
Simulator (s)	3	2 100 000 \$	202 320 \$	0	0 \$	0 \$
Treatment accessories		60 000 \$	5 780 \$		0 \$	0 \$
Scan (shared in case of teleRT)	1	900 000 \$	101 540 \$	0,1	90 000 \$	10 150 \$
Treatment accessories (includes virtual simulation for teleRT)		20 000 \$	2 260 \$		150 000 \$	16 920 \$
Video conferencing					100 000 \$	15 470 \$
Treatment planning system		1 400 000 \$	216 610 \$			
Information system		1 200 000 \$	185 670 \$		200 000 \$	30 940 \$
QA physics accessories	5	600 000 \$	67 700 \$	1	120 000 \$	13 540 \$
Secretarial supplies		65 000 \$				
Technician supplies		10 000 \$			2 500 \$	
Nursing supplies		28 000 \$			2 800 \$	
Heating & maintenance		200 000 \$			25 000 \$	

only slightly modified from the Dunscombe model(11), with the radiation oncologist spending more time in “Treatment Planning” versus “Simulation”, to reflect our current

reality of better access to three-dimensional conformal radiotherapy. We also added the contribution of orderlies, which cannot be neglected in high-volume centres such as HMR.

Table 4. Workload parameters for travelRT and teleRT.

travelRT	Assessment	Mould Preparation	Simulation	CT scan	Treatment Planning	RT delivery	Continuing Care	Maintenance and Quality Control	Administrative duties	Total
Radiation oncologist	28%	2%	13%	0%	13%	12%	25%	0%	8%	100%
Nurses	35%	0%	4%	0%	0%	22%	31%	0%	8%	100%
Radiation therapist	2%	0%	0%	0%	0%	87%	3%	0%	8%	100%
Simulation therapist	0%	0%	92%	0%	0%	0%	0%	0%	8%	100%
Scan therapist	0%	0%	0%	92%	0%	0%	0%	0%	8%	100%
Mould room therapist	0%	92%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	8%	100%
Dosimetrists	0%	5%	15%	5%	62%	5%	0%	0%	8%	100%
Techs and Machinists	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	92%	8%	100%
Physicists	0%	5%	2%	2%	28%	5%	0%	50%	8%	100%
Orderly	4%	4%	4%	4%	0%	72%	4%	0%	8%	100%
teleRT										
Radiation oncologist	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Nurses	35%	0%	0%	4%	0%	22%	31%	0%	8%	100%
Radiation therapist	2%	0%	0%	0%	0%	87%	3%	0%	8%	100%
Simulation therapist	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Scan therapist	0%	0%	0%	92%	0%	0%	0%	0%	8%	100%
Mould room therapist	0%	92%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	8%	100%
Dosimetrists	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Techs and Machinists	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	92%	8%	100%
Physicists	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	92%	8%	100%
Orderly	10%	10%	0%	10%	0%	52%	10%	0%	8%	100%

2.3.2 Cost and cost analysis of travelRT vs. teleRT

The outputs from the Dunscombe model costs of the travelRT and teleRT units are shown in Table 9 (p.80) and Table 10 (p.57) of the Appendix. Detailed cost of each activity is displayed. All cost results are rounded to the nearest 10\$.

2.3.2a) Cost/patient of travelRT and teleRT

The cost of a course of palliative RT (5 fractions) was 5918\$/patient (95% C.I. 4985 to 7095\$) for teleRT, and the cost of the same course of RT plus travel reimbursement in the travelRT scenario was estimated at 4541\$/patient (95% C.I. 4351 to 4739\$). Breakdown of travel costs and the cost of outsourced activities are summarized in Table 5.

Table 5. Cost per palliative RT for travelRT and teleRT scenario.

s.d. = standard deviation, C.I. = confidence interval

Costs are rounded to nearest 10\$

	travelRT			teleRT		
	mean	s.d.	95% C.I.	mean	s.d.	95% C.I.
	↓ INPUT ASSUMPTIONS ↓					
# of patients	2 571	50	2 470-2 670	250	25	200-300
# of travelling rural patients	250			0		
	↓ OUTPUT ↓					
Local cost/patient palliative RT	3 840 \$	100 \$	3 650-4 040 \$	4 740 \$	530 \$	3 830-5 910 \$
travel reimbursement	698 \$			0 \$		
cost of outsourced activities	0 \$			1 180 \$	80 \$	1 020-1 340 \$
\$/rural patient palliative RT	4 540 \$	100 \$	4 350-4 740 \$	5 920 \$	540 \$	4 990-7 100 \$

The above results were obtained under our basic assumption that the number of patients, and therefore the cost per activities, would remain stable at the urban centre with the introduction of a teleRT unit. To test this, we computed the cost of palliative RT for the extreme scenario where all rural patients are treated at the teleRT centre and the caseload at the urban centre is decreased by 250 patients. This causes a net increase in the cost of outsourced activities of only 2.5%, from 1180\$ to 1210\$, showing that our assumption is correct in the range studied (Table 6, p.62).

Table 6. Cost per patient if rural patients are not replaced at urban RT centre.

	travelRT			teleRT		
	mean	s.d.	95% C.I.	mean	s.d.	95% C.I.
	↓ INPUT ASSUMPTIONS ↓					
# of patients	2,321	50	2,220-2,420	250	25	200-300
# of travelling rural patients	0			0		
	↓ OUTPUT ↓					
local cost/patient palliative RT	3,980 \$	110 \$	3,770-4,200 \$	4,740 \$	530\$	3,850-5,900\$
cost of outsourced activities	0 \$			1,210 \$	90 \$	1,040-1,370 \$
\$/rural patient palliative RT	0 \$			5,950 \$	540 \$	5,040-7,150 \$

M\$=million dollars, C.I.= confidence interval, s.d.= standard deviation

2.3.2b) Annual cost of travelRT and teleRT

Yearly operational costs of the teleRT unit, including the cost of outsourced activities, were estimated at 1,48 M\$ (s.d.=0,6 M\$, 95%C.I.= 1,36 -1,60 M\$). In order to estimate the potential decrease in costs to the public payor at the urban facility, we

computed the yearly operational costs of treating 2571 patients in the travelRT scenario, added travel reimbursement to 250 patients, and subtracted the yearly operational costs of treating only 2321 (2571-250) patients at the urban facility. This would result in potential savings of 760 000\$ (s.d.=260 000\$) at the urban facility, and the introduction of teleRT would thus result in a net increase of 540 000\$ (s.d.=260 000\$) to the public payor (Table 9, p.80).

Table 7. Total costs to public payor in travelRT and teleRT scenario.

	travelRT			teleRT					
	Urban RT centre			Urban RT centre			Rural RT centre		
	mean	s.d.	95% C.I.	mean	s.d.	95% C.I.	mean	s.d.	95% C.I.
	↓ INPUT ASSUMPTIONS ↓								
# patients	2 571	50	2 470-2 670	2 321	50	2 220-2 420	250	25	200-300
# travelling pts	250			0					
	↓ OUTPUT ↓								
local operational cost/year (M\$)	12,88	0,26	12,36 -13,39	12,12	0,26	11,62 -12,63	1,48	0,6	1,36 -1,60
Travel Payments (M\$)	0,18			0					
total yearly cost (M\$)	13,06	0,26	12,53 -13,57	13,60		0,27	13,08 -14,13		

M\$=million dollars, C.I.= confidence interval, s.d.= standard deviation

2.3.2c) *Sensitivity analysis*

Sensitivity analysis of the cost per patient to *a priori* determined key variables and inputs is shown in Table 8 (p.65). Varying the number of rural patients at fixed intervals from 200 to 325 patients per year resulted in halving the standard deviation of the cost/patient in the teleRT scenario. We estimated that 325 rural patients per year would be a maximum that could be reasonably treated at the teleRT facility with the staff estimates we had set.

Sensitivity charts (data not shown) from the Monte Carlo simulation confirmed that the number of rural patients, and the cost of the teleRT linac, contributed significantly to the variance of the cost/patient in the teleRT scenario, in the proportion of 81% and 13.6%, respectively. All other variables contributed to less than 1.6% of the variance. The variance of the cost of outsourced activities depended strongly (55%) on three workload parameters from the radiation oncologist. The same three workload parameters contributed to 20% of the variance of the cost/rural patient in the travelRT scenario, which was however mostly influenced by the number of patients treated at the urban centre. We decided to add a specific sensitivity computation for the workload parameters of radiation oncologists and found that varying those parameters barely changed the absolute cost/patient in either scenario and kept them well within the standard deviation of the original results.

Table 8. Analysis of key inputs.

	travelRT			teleRT		
	mean	s.d.	95% C.I.	mean	s.d.	95% C.I.
base case	4 540 \$	100 \$	4 350-4 740 \$	5 920 \$	540 \$	4 990-7 100 \$
# patients treated at teleRT						
200	4 540 \$	100 \$	4 340-4 740 \$	7 040 \$	260 \$	6 520-7 560 \$
225	"	"	"	6 380 \$	240 \$	5 910-6 840 \$
250	"	"	"	5 870 \$	220 \$	5 440-6 300 \$
275	"	"	"	5 440 \$	200 \$	5 060-5 830 \$
300	"	"	"	5 080 \$	190 \$	4 720-5 450 \$
325	"	"	"	4 790 \$	180 \$	4 450-5 140 \$
teleRT building + linac cost						
building 2M\$, Linac 2M\$	4 540 \$	100 \$	4 350-4 750 \$	5 650 \$	470 \$	4 860-6 670 \$
building 2M\$, Linac 2,3M\$	"	"	"	5 900 \$	500 \$	5 040-7 040 \$
building 2,5M\$, Linac 2,3M\$	"	"	"	6 010 \$	500 \$	5 170-7 140 \$
building 2,5M\$, Linac 2,6M\$	"	"	"	6 270 \$	540 \$	5 370-7 460 \$
building 3M\$, Linac 2,9M\$	"	"	"	6 630 \$	560 \$	5 680-7 880 \$
Useful life of building and technology						
building (20 yrs), technology (10 yrs), computer (5 yrs)	4 690 \$	110 \$	4 490-4 910 \$	6 270 \$	570 \$	5 300-7 530 \$
Discount rate						
3%	4 490 \$	100 \$	4 300-4 690 \$	5 750 \$	530 \$	4 850-6 930 \$
7%	4 600 \$	100 \$	4 400-4 800 \$	6 080 \$	560 \$	5 140-7 300 \$
Annual salaries						
radiation oncologist 260 000\$	4 540 \$	100 \$	4 350-4 740 \$	5 920 \$	540 \$	4 990-7 100 \$
radiation oncologist 290 000\$	4 670 \$	110 \$	4 460-4 880 \$	5 980 \$	540 \$	5 060-7 170 \$
radiation oncologist 320 000\$	4 790 \$	110 \$	4 580-5 010 \$	6 050 \$	550 \$	5 100-7 320 \$
radiation therapist 65 000\$	4 620 \$	100 \$	4 420-4 830 \$	5 980 \$	550 \$	5 060-7 200 \$
radiation therapist 70 000\$	4 690 \$	110 \$	4 480-4 890 \$	6 060 \$	550 \$	5 140-7 300 \$
medical physicist 115 000\$	4 580 \$	100 \$	4 390-4 800 \$	5 950 \$	530 \$	5 060-7 120 \$
medical physicist 125 000\$	4 620 \$	110 \$	4 410-4 830 \$	5 990 \$	540 \$	5 080-7 220 \$
all salaries increased by 10%	4 790 \$	110 \$	4 590-5 010 \$	6 140 \$	550 \$	5 190-7 340 \$
all salaries increased by 20%	5 040 \$	120 \$	4 810-5 270 \$	6 370 \$	570 \$	5 410-7 630 \$
Workload						
ALL highest% - s.d., second highest% + s.d.	4 520 \$	80 \$	4 360-4 690 \$	5 800 \$	530 \$	4 910-6 990 \$
ALL highest% + s.d., second highest% - s.d.	4 550 \$	80 \$	4 390-4 710 \$	6 030 \$	540 \$	5 110-7 220 \$
radonc highest% - s.d., second highest% + s.d.	4 530 \$	80 \$	4 380-4 700 \$	5 970 \$	530 \$	5 060-7 130 \$
radonc highest% + s.d., second highest% - s.d.	4 540 \$	80 \$	4 380-4 710 \$	5 860 \$	540 \$	4 950-7 050 \$

C.I.= confidence interval, s.d.= standard deviation

The values of salaries, cost and life-time of equipment, and discount rate in our model were well known but we chose to show results for different inputs in order to give

more universal estimates, for example in countries where salaries or costs might be higher.

2.4 DISCUSSION

The decentralization of RT services in order to allow better access to outlying populations has been advocated in several economic studies (1-10, 28, 32-34). Despite results showing that decentralized models are economically viable from a societal point of view(8), the added cost to the public payor and lack of specialized human resources in this field continues to serve as a barrier to implementation. As an example, the province of Quebec has planned to open only two new RT centres in the past 10 years, and both of these, due to open shortly, will be built in the greater Montreal region. While this is the most heavily populated area of the province, it is already served by four RT centres. By the end of 2011, the greater Montreal area will house six of the 12 RT centres in the province.

This is in contrast to decentralisation initiatives that have taken place elsewhere, for example in the neighbouring provinces of Ontario and Alberta, and in Australia(5, 33). In the latter, health authorities have studied successful projects of single-machine RT units (SMU) that are fully staffed with radiation oncologists, nurses, medical physicists, and radiation therapists. The SMUs are expected to provide all but the most

complex RT courses in the rural setting, and defer to larger tertiary care urban RT centres only when needed. The SMUs are built to function with a caseload of 400 patients per year, larger than many rural regions of Quebec would need. Given also the scarcity of specialized workforce, we sought an alternative model that would rely heavily on telemedicine. We believe that outsourcing RT activities to urban centres that are already functioning at peak efficiency could drive down the costs of rural RT, limit staff migration and, ultimately, improve equity of access to RT.

2.4.1 Model for teleRT

This economic analysis tried to build a realistic model for teleRT and estimate its costs. Using the methodology described above, the target population for the model of teleRT was defined as a rural community requiring 250 cases of *palliative* RT per year. The teleRT centre would be equipped with a single linac and a virtual CT planning unit, installed in an existing local hospital. It would be operated by three local radiation therapists, and outsource most of its RT-related activities, apart from actual treatment delivery and quality assurance, through telemedicine to a standalone facility located three hours away. A systematic review by Moqadem and Pineau(18) showed that there were no technical hurdles to safe implementation of teleRT.

We chose to restrict the type of teleRT offered in our model to *palliative* care. Palliative RT usually requires only 1 to 5 daily fractions, and uses simpler delivery

techniques than curative RT. Its efficacy is less affected by treatment interruptions, and it requires less fractions. Since the dose of radiation required is much less than in curative cases, it is generally very safe and complications are rare. With this restricted treatment, teleRT was deemed unambiguously technically feasible.

Conversely, the delivery of *curative* RT has undergone major technical improvements in the past decade which has added a level of complexity that may not be achievable with limited on-site staff. Trying to provide curative RT in the rural setting with limited techniques could lead to the erroneous perception that treatments at the teleRT site are second-rate. Moreover, the standard of care for efficient curative RT requires 15 to 40 uninterrupted daily fractions, except on week-ends, and the treatment can be jeopardized by machine breakdown if the total treatment time (computed in number of days) is unduly increased. Therefore, any economic analysis of teleRT that would involve curative RT would have to take into account the unpredictable costs (both human and monetary) of massive emergency transfer of patients to urban RT centres in case of treatment delays of 2 days or more, unless the teleRT centre was equipped with two linacs. We are aware that comprehensive SMU projects in Ontario and Alberta, due to open in 2011 and beyond, are expected to perform both palliative and curative RT. It remains to be seen how patients will be affected by machine downtime. In the case of the two SMU projects that were implemented in Australia(6) in 2003, they were deemed successful in terms of quality of care. However, the final report of the “National Single Machine Unit Radiotherapy trial”, which was published in 2009 by the Australian health

department noted that downtime in the first two years of operation was much higher than anticipated(35).

The social impact of restricting teleRT to a “palliative only” unit is difficult to estimate. While technical feasibility of the model was crucial, we also took into account the humane perspective that travel burden is especially severe on palliative care patients, who represent 30-40% of all RT courses. Given their short life expectancy, poor general health status and frequent pain symptoms, the discomfort imposed by travel may lead to undertreatment(31) in a setting where travel distances require several hours. This may not be true for travel distances requiring less than an hour(36). Providing a new teleRT service with access only to the most vulnerable patients may be acceptable by the rural community, if proper knowledge transfer is achieved regarding the technical and staffing challenges of curative RT. Also, there are other examples of partial restriction of health services in the rural setting. Basic radiologic imaging and general surgery are offered in many outlying hospitals, but rural patients still have to travel to obtain tertiary care such as magnetic resonance imaging or heart and brain surgery. Moreover, we surmise that the introduction of a teleRT service may lead to a gradual increase in uptake. There is a possibility that a more comprehensive RT facility, perhaps including curative breast and prostate cancer treatments, would eventually sprout from the proposed teleRT model, in a planned, cost-effective manner.

Estimating the potential increase in rural RT uptake is complex. While there is good evidence that more palliative care patients would be treated if RT services were

brought closer to their home(31), the literature results in the setting of curative RT are conflicting. Cultural issues may add confounding factors to the reasons behind decreased uptake for subsets of curative patients (37-40). In Australia, data from the year preceding and following the implementation of the two SMUs showed that RT uptake increased by 12% for the targeted rural patients, compared to only 6% in urban RT centres during the same period(35).

We chose to set the length of a course of palliative RT at five fractions. Single fractionation palliative RT can be used in selected cases of bone tumours and would be less expensive, but it can also lead to an increased incidence of re-treatment(41, 42) several weeks later. The five fractions RT course is clinically favoured for palliative patients having to stay overnight, such as would be the case in the travelRT scenario.

The technology chosen to conduct assessment and planning in our model for the teleRT unit was aimed at reducing specialized staff on site, while maintaining a good standard of care for palliative cases. Medical consultation by teleconferencing has been tested in Quebec and clinical guidelines and technological standards have been proposed by AETMIS(20). A systematic review of video consultation in clinical oncology concluded that it was feasible and effective(12). In our experience, palliative RT is much more amenable to teleconsultation than radical RT. It is actually common for radiation oncologists to review medical file summaries, discuss cases with rural oncologists, and even conduct phone interviews with palliative care patients before giving RT appointments in order to reduce travel burden. This is more difficult in cases of radical

RT since the radiation oncologist is a major participant in the care of the patient, and physical presence with the patient is often determinant in the type of RT planned. While human interaction in the context of palliative RT is certainly important, the fact of the matter is that both the radiation oncologist and patient are aware from the start that the therapeutic relationship will be short-lived. Palliative care patients that are referred to us already benefit from support in their rural setting, and it is common for the radiation oncologist to take on a second stage role even when an empathic relationship is achieved. With regards to virtual simulation and treatment planning, the technology needed to carry it out remotely with the help of scanning, mobile lasers, and internet, is already widely available (13, 14, 43) and need not be discussed further.

The linac was preferred over a cobalt RT unit in our model despite the lower initial acquisition costs of the cobalt unit. There are hidden costs related to cobalt unit compatibility, source replacement, and added security requirements for nuclear devices in the post 9-11 era. Linacs on the other hand can be readily networked with standalone sites since they are used throughout the province, as opposed to Cobalt units which have been mostly recycled. New linacs also benefit from the expertise already in place at standalone facilities, and most radiation therapists currently practicing have trained only on linacs. Modern linacs come equipped with multi-leaf collimators, thus eliminating the labor-intensive and costly step of fabricating personalized blocks. Quality assurance methods are also constantly updated for linacs whereas Cobalt unit manufacturers have not had the same motivation. The higher initial cost of a linac can also be brought down

by joint acquisitions with a standalone facility and Quebec's health ministry encourages this.

Staffing estimates for the teleRT model are in accordance and even supersede national guidelines(30). The average workday of radiation therapists would consist of 1-2 virtual simulations, and an average of (5 x 15 minutes) RT deliveries. We postulate that there would certainly be sufficient radiation therapists in the provincial workforce that would enjoy the challenge, independence, and versatility of the type of work required at a teleRT facility such as we describe.

2.4.2 Cost and cost analysis of travelRT vs. teleRT

To our knowledge, this is the first analysis of RT costs for both a small cohort and for telemedicine. Dunscombe et al. (9) studied RT costs based on the number of patients and the size of the facility. Their analysis used a design of a standalone facility and did not rely on telemedicine. The smallest caseload considered was 400 patients per year, and in that situation the cost of a RT course per patient was increased by approximately 50% compared to a larger centre treating more patients(9). Conversely, Norum et al.(17) published a cost-minimisation study of a teleRT centre that would service remote populations who require air travel for health care. Their cost estimate reached a break-even point at only 12 patients per year, mainly due to the substantial costs of travel. This situation is not applicable to the one in Quebec.

In our study, the economic impact of providing a rural population with palliative RT in the teleRT scenario was estimated at 5918\$ per patient, an increase of approximately 1400\$ or 25%, over the comparator, which included travel reimbursements, at 4541\$ per patient. The results for the hypothetical teleRT centre cannot be externally validated but the costs at the urban centre can be compared to Valiquette and Dunscombe`s original publication(11). Their analysis showed that, for a facility treating 1600 patients per year, the average cost of RT for any patient (palliative or curative) was 3914\$ in 1997, or equivalent to 4970\$ in 2008 after adjusting for inflation. Our cost average per patient at the urban reference RT centre was similar at 5489\$ (s.d. 153\$) (Table 7, p.63).

Other interesting published estimates are the costs per RT course at the two SMU centres in the Australian National SMU project. For mixed cases (palliative and curative) the cost per course of RT was approximately 8500-10 200\$ in 2003-2004, using a 1:0.9 conversion rate between AUS\$ and CDN\$ and accounting for inflation. The costs at urban Australian facilities were in the range of 5 700-8 900\$/course(35). We were initially concerned by the differences in cost estimates between our results for a Canadian centre and those of the Australian report since the two countries share many geographical, population distribution, and health care system features. Even though the standard deviation of our computation was large and could alone explain the observed discrepancies, the strength of the Dunscombe model allowed us to analyze more accurately the source of the discrepancy. We observed that capital costs were similar

between the two countries, but the major difference in cost estimates was from the wage bill contribution to recurring costs. In the Australian analysis, staffing costs accounted for 60% and a staggering 80% of the recurring costs at the SMU and centralized RT centres, respectively. In contrast, salaries in Quebec are more modest, and labour accounted for only 50% of the recurring costs in the urban setting (Table 9, p.80). Interestingly, labour would only account for 25% of the recurring costs at the teleRT facility (Table 10, p.81), if one excludes the indirect sums included in the cost of outsourced activities.

This is encouraging in the context that this economic analysis was undertaken in order to show if telemedicine could indeed cut down costs of RT. We believe our results are in favour of this hypothesis, since the cost increase per patient is only 25% in the single machine teleRT scenario treating 250 patients per year as compared to the cost per patient in an urban RT centre treating 2500 patients per year. In contrast, when Dunscombe analysed costs based on population and size of facility, without using telemedicine, the cost per patient at a single machine facility treating 400 patients per year would have been 6000\$ (equivalent to 7615\$ in 2008), or 50% more expensive than treating them at a larger RT centre treating 1600 patients per year(9).

The yearly operational costs for the rural teleRT centre was 1,48 M\$. Approximately a third of the costs were from the outsourced activities through telemedicine. The net cost increase per year for the public payor was 540 000\$. It remains to be seen if this increased cost is acceptable from a societal point of view. A

cost-utility analysis is outside the scope of this study, and would be complicated by the difficulty in estimating the temporary decrease in quality-of-life when spending a week away from home (in the travelRT scenario) when one only has weeks or months remaining to live.

As expected, the cost per patient in the teleRT scenario was greatly influenced by the number of rural patients treated in a year. At 325 patients per year, the cost of teleRT was only 250\$ more per patient than in the travel RT scenario (Table 8, p.65). Again, if we consider only 5 fractions per patient, this corresponds to an average of treating less than 7 patients per day which could be handled by 3 radiation technologists. It was not logical to increase the number of patients treated to more than 325 since any rural region that has needs for 325 cases of palliative RT per year probably has global needs for RT (curative and palliative) of >800 cases per year, enough to justify a twin linac RT centre, a situation which is not covered by our initial assumptions.

The largest uncertainties in the inputs for the Dunscombe model certainly come from defining the Workload of each member of the RT department. However, even though it might have impacted on the cost of each activity, we showed that it had little effect on the cost per patient at teleRT. This is explained by the fact that the two activities that rely on telemedicine (Assessment and Treatment Planning) are performed jointly by few individuals so there is little added uncertainty in the final output.

2.5 Conclusion

We have proposed a safe, and we believe realistic, model for palliative RT in the rural setting which would make extensive use of telemedicine. Such a model would result in a modest net increase in cost to the public payor. The increased availability of RT may lead to increased uptake, greater geographic equity in access to care, and overall benefit in quality-of-life, making the cost acceptable from a societal perspective.

References

1. Sullivan TJ. Strengthening the quality of cancer services in Ontario: CHA Press; 2003.
2. Denham J. How do we bring an acceptable level of radiotherapy services to a dispersed population? *Australasian Radiology*. 1995;39(2):171-3.
3. Pagano E, Di Cuonzo D, Bona C, Baldi I, Gabriele P, Ricardi U, et al. Accessibility as a major determinant of radiotherapy underutilization: a population based study. *Health Policy*. 2007;80(3):483-91.
4. Williams M, Drinkwater K. Geographical variation in radiotherapy services across the UK in 2007 and the effect of deprivation. *Clinical Oncology*. 2009;21(6):431-40.
5. Dunscombe P, Craighead P. Defining the elements for successful implementation of a small-city radiotherapy department. *Current Oncology*.18(3):e137-e49.
6. Shakespeare T, Turner M, Chapman A. Is rural radiation oncology practice quality as good as the big smoke? Results of the Australian radiotherapy single machine unit trial. *Australasian Radiology*. 2007;51(4):381-5.
7. Taylor MR, Craighead PS, Dunscombe PB. Access to radiation therapy: modeling the geographic distribution of demand. *Current Oncology*. 2005;12(4).
8. Dunscombe P, Roberts G. Radiotherapy Service Delivery Models for a Dispersed Patient Population* 1. *Clinical Oncology*. 2001;13(1):29-37.
9. Dunscombe P, Roberts G, Walker J. The cost of radiotherapy as a function of facility size and hours of operation. *British journal of radiology*. 1999;72(858):598.
10. Chapman A, Shakespeare T, Turner M, editors. Improving access to radiotherapy for regional cancer patients-the National Radiotherapy Single Machine Unit Trial. 2007: CANCER COUNCIL AUSTRALIA.
11. Valiquette L, Dunscombe P, editors. The economic characterization of radiation treatment processes within a cancer care program. 1997: Carleton University, Ottawa, Canada.
12. Kitamura C, Zurawel-Balaura L, Wong R. How effective is video consultation in clinical oncology? A systematic review. *Current Oncology*.17(3):17.
13. Mueller BA, Obcemea C, Lee J, Sim S. Pilot Study of a Radiation Oncology Telemedicine Platform. *Journal of Radiation Oncology Informatics*.2(1):20-30.
14. Suzuki K, Hirasawa Y, Yaegashi Y, Miyamoto H, Shirato H. A web-based remote radiation treatment planning system using the remote desktop function of a computer operating system: a preliminary report. *Journal of telemedicine and telecare*. 2009;15(8):414.
15. Cai W, Walter S, Karangelis G, Sakas G, editors. Collaborative virtual simulation environment for radiotherapy treatment planning. 2000: Wiley Online Library.
16. Datta NR, Rajasekar D. Improvement of radiotherapy facilities in developing countries: a three-tier system with a teleradiotherapy network. *The lancet oncology*. 2004;5(11):695-8.
17. Norum J, Bruland OS, Spanne O, Bergmo T, Green T, Olsen DR, et al. Telemedicine in radiotherapy: a study exploring remote treatment planning, supervision and economics. *Journal of telemedicine and telecare*. 2005;11(5):245.

18. Moqadem K, Pineau G, Québec (Province). Agence d'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé. Télémédecine et radio-oncologie : état des connaissances. Montréal: Agence d'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé; 2009. xii, 25 p. p.
19. Noorani HZ, Picot J. Assessment of videoconferencing in telehealth in Canada: Canadian Coordinating Office for Health Technology Assessment; 2001.
20. Moqadem K, Pineau G, Hamel B, Obadia A, Caron L. Technical Standards and Clinical Guidelines for Telepsychiatry.
21. Gagnon MP, Fortin JP, Cloutier A. La télémédecine au service d'une région: Étude évaluative d'un projet de télé-santé aux Iles-de-la-Madeleine. Ruptures. 2001;8(2):53-70.
22. www.health.gov.au. Establishing radiation oncology services in regional areas: Experiences of the national radiotherapy single machine unit trial and other regional radiation oncology models. .
23. Rades D, Frenzel T, Schwarz R, Walz J, Cremers F, Albers D, et al. High Accuracy of Virtual Simulation with the Laser System Dorado CT4. Strahlentherapie und Onkologie. 2007;183(2):89-93.
24. Bhatnagar AK, Beriwal S, Heron DE, Flickinger JC, Deutsch M, Huq MS, et al. Initial outcomes analysis for large multicenter integrated cancer network implementation of intensity modulated radiation therapy for breast cancer. The breast journal. 2009;15(5):468-74.
25. Bhatnagar A, Heron D, Beriwal S, Flickinger J, Smith R, Deutsch M, et al. 120:: Initial Outcomes Results for Large Multi-Center Integrated Cancer Network for the Treatment of Prostate Cancer With IMRT. International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics. 2006;66(3):S69-S.
26. http://www.caro-acro.ca/About_Us/Governance/Position_Statements/Treating_Patients_without_On-Site_Radiation_Oncologist.htm.
27. Ploquin NP, Dunscombe PB. The cost of radiation therapy. Radiotherapy and Oncology. 2008;86(2):217-23.
28. Dunscombe P, Samant R, Roberts G. A cost-outcome analysis of adjuvant postmastectomy locoregional radiotherapy in premenopausal node-positive breast cancer patients. International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics. 2000;48(4):977-82.
29. <http://www.santesaglac.gouv.qc.ca/web/document/U219/depl%20usagers%20annexe%203%20politique%20juin%202010.pdf>.
30. Podgorsak E. Radiotherapy services in Canada: equipment and staff workloads. Curr Oncol. 1998;5(4):208-15.
31. Huang J, Zhou S, Groome P, Tyldesley S, Zhang-Solomons J, Mackillop W. Factors affecting the use of palliative radiotherapy in Ontario. Journal of Clinical Oncology. 2001;19(1):137.
32. Mackillop W, Groome P, Zhang-Solomons J, Zhou Y, Feldman-Stewart D, Paszat L, et al. Does a centralized radiotherapy system provide adequate access to care? Journal of Clinical Oncology. 1997;15(3):1261.

33. Morgan G, Barton M, Crossing S, Bull C, Penman A. A 'catch up' plan for radiotherapy in New South Wales to 2012. *Journal of Medical Imaging and Radiation Oncology*. 2009;53(4):419-30.
34. Poulsen M, Middleton M, McQuitty S, Ramsay J, Gogna K, Martin J, et al. ORIGINAL ARTICLE: Comparison of a Commonwealth initiated regional radiation oncology facility in Toowoomba with a Queensland Health facility. *Journal of Medical Imaging and Radiation Oncology*. 54(4):368-74.
35. Evaluation of the National Single Machine Radiotherapy Unit Trial (2009) [http://www.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/Content/7C9EDBEFAF2DDB8CCA25765F000F0CEC/\\$File/SMU%20Trial%20Final%20Report.pdf](http://www.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/Content/7C9EDBEFAF2DDB8CCA25765F000F0CEC/$File/SMU%20Trial%20Final%20Report.pdf).
36. Cosford P, Garrett C, Turner K. Travel times and radiotherapy uptake in two English counties. *Public health*. 1997;111(1):47-50.
37. Athas WF, Adams-Cameron M, Hunt WC, Amir-Fazli A, Key CR. Travel distance to radiation therapy and receipt of radiotherapy following breast-conserving surgery. *Journal of the National Cancer Institute*. 2000;92(3):269.
38. Jones A, Haynes R, Sauerzapf V, Crawford S, Zhao H, Forman D. Travel time to hospital and treatment for breast, colon, rectum, lung, ovary and prostate cancer. *European Journal of Cancer*. 2008;44(7):992-9.
39. Nattinger AB, Kneusel RT, Hoffmann RG, Gilligan MA. Relationship of distance from a radiotherapy facility and initial breast cancer treatment. *Journal of the National Cancer Institute*. 2001;93(17):1344.
40. Schroen AT, Brenin DR, Kelly MD, Knaus WA, Slingluff CL. Impact of patient distance to radiation therapy on mastectomy use in early-stage breast cancer patients. *Journal of Clinical Oncology*. 2005;23(28):7074.
41. Chow E, Harris K, Fan G, Tsao M, Sze WM. Palliative radiotherapy trials for bone metastases: a systematic review. *Journal of Clinical Oncology*. 2007;25(11):1423.
42. Fairchild A, Harris K, Barnes E, Wong R, Lutz S, Bezjak A, et al. Palliative thoracic radiotherapy for lung cancer: a systematic review. *Journal of Clinical Oncology*. 2008;26(24):4001.
43. Sakas G, Baltas D, Zamboglou N. Simulation and "Virtual Patient" in Radiotherapy. *it-Information Technology*. 52(5):272-9.

APPENDIX

Table 9. Cost per activity for travelRT.

	Assessment	Mould Preparation	Simulation	CT scan	Treatment Planning	RT delivery	Continuing Care	Total
Labour	1 048 110\$ (137108)	368 257\$ (38 180)	867 639\$ (116 037)	160 709\$ (14 467)	970 301\$ (124 468)	1 932 827\$ (127 291)	955 694\$ (137 077)	6 303 535\$ (113 533)
Material	14 000\$	10 000\$	10 000\$	16 000\$	0\$	10 000\$	14 000\$	74 000\$
Admin. OH	127 525\$ (14 237)	106 522\$ (7 057)	203 678\$ (13 155)	54 662\$ (4 306)	192 567\$ (15 890)	587 651\$ (23 232)	121 218\$ (15 871)	1 393 824\$ (34 312)
TM OH	0\$	0\$	363 627\$ (23 687)	219 222\$ (11 285)	309 570\$ (30 587)	2 489 216\$ (232 668)	0\$	3 381 636\$ (230 356)
Office OH	56 913\$ (4 579)	41 031\$ (3 301)	104 231\$ (8 386)	29 780\$ (2 396)	19 059\$ (1 533)	665 091\$ (53 509)	34 413\$ (2 769)	950 518\$ (76 472)
QC OH	0\$	0\$	84 202\$ (11 952)	36 151\$ (5 123)	55 997\$ (8 131)	606 615\$ (47 786)	0\$	782 964\$ (58 074)
Total	1 246 548\$ (149832)	525 809\$ (43 960)	1 633 377\$ (131 051)	516 524\$ (23 936)	1 547 494\$ (141 880)	6 291 400\$ (291 858)	1 125 325\$ (150532)	12 886 477\$ (264 648)
Utilization	2 855 (56)	1 889 (37)	2 570 (51)	1 198 (24)	1 889 (37)	2 570 (51)	2 570 (51)	
Local\$ /patient	437\$ (53)	278\$ (24)	636\$ (53)	431\$ (22)	820\$ (77)	2 449\$ (123)	438\$ (59)	5 489\$ (153)
					cost/fraction RT =	162\$ (8)	\$ /palliative RT=	3 848\$ (104)
					cost 5 fractions RT =	808\$ (41)	Travel reimbursement=	698\$
							\$ /patient	4 545\$ (104)

Standard deviation in brackets.

APPENDIX

Table 10. Cost per activity for teleRT.

TeleRT	Assessment	Mould Preparation	Simulation	CT scan	Treatment Planning	RT delivery	Continuing Care	Total
Labour	33 359\$ (4 331)	29 508\$ (1 048)	0\$	60 400\$ (2 422)	0\$	106 905\$ (4 906)	31 083\$ (4 537)	261 150\$ (4 054)
Material	1 400\$	3 000\$	0\$	1 000\$	0\$	1 000\$	1 400\$	7 800\$
Admin. OH	9 481\$ (1 306)	11 229\$ (833)	0\$	22 275\$ (1 599)	0\$	39 200\$ (2 828)	9 006\$ (1 399)	91 161\$ (5 741)
TM OH	20 491\$ (2 056)	0\$	0\$	35 692\$ (2 577)	0\$	547 920\$ (48 969)	0\$	604 569\$ (48 849)
Office OH	14 047\$ (1 116)	28 091\$ (2 247)	0\$	1 405\$ (112)	0\$	67 418\$ (5 393)	14 045\$ (1 124)	125 020\$ (9 929)
QC OH	0\$	0\$	0\$	741\$ (106)	0\$	89 974\$ (1 703)	0\$	90 686\$ (1 695)
Total	78 778\$ (6 024)	71 828\$ (2 764)	0\$	121 513\$ (4 334)	0\$	852 417\$ (49 787)	55 534\$ (5 936)	1 180 386\$ (4 331)
Utilization	278 (28)	250 (25)	0	250 (25)	250 (25)	250 (25)	250 (25)	
Local\$/patient	287\$ (37)	290\$ (32)	0\$	491\$ (54)	0\$	3 446\$ (408)	225\$ (33)	4 741\$ (526)
\$ Out-sourcing	357\$ (51)	0\$	0\$	0\$	817\$ (77)	0\$	0\$	1 177\$ (86)
\$/palliative RT	644\$ (63)	290\$ (32)	0\$	491\$ (54)	817\$ (77)	3 446\$ (408)	225\$ (33)	5 918\$ (534)

Standard deviation in brackets,.

Cost of outsourcing "Assessment" adjusted to avoid double-counting.

Section 3

3.1 Discussion : extension du modèle de téléRT au traitement curatif de certains cancers

3.2 Conclusion

Références

3.1 Discussion : extension du modèle de téléRT au traitement curatif de certains cancers

L'article présenté à la section 2 avait pour but de décrire un centre de téléradiothérapie en milieu rural québécois qui ferait un usage judicieux de la télémédecine pour tenter de résoudre le problème lié à la centralisation des services de radiothérapie.

Basé sur des critères très stricts de sécurité pour les patients et de faisabilité, nous avons produit un modèle de centre rural de téléRT qui est volontairement restreint à n'offrir la RT qu'à visée palliative. En effet, étant donné qu'un centre de téléRT qui utiliserait la télémédecine de façon aussi intégrée n'existe pas au Québec, nous avons voulu nous assurer que le modèle offrirait le moins de risque possible. Il faut préciser que la technologie choisie pour équiper le centre de téléRT est tout à fait adéquate et assez complète pour traiter *tous* les cas de cancers, autant curatifs que palliatifs. Seulement, le fait de n'utiliser qu'un seul linac, étant donné la petite taille de la population visée, nous incitait à la prudence. Nous avons voulu produire un modèle qui éviterait toute situation pouvant mettre en péril l'efficacité du traitement à visée curative, par exemple lors d'un bris de linac prolongé. Ce faisant, nous avons dû exclure les patients ruraux atteints de cancers guérissables des bénéfices de la téléRT, et il s'agit de la principale faiblesse du modèle.

Il pourrait être intéressant d'explorer, pour fins de discussion, un scénario de téléRT plus inclusif. On pourrait mettre de côté le principe du « moins de risque possible » et lui substituer celui de « risque aussi bas que raisonnablement possible », tel que communément utilisé dans les processus reliés à l'administration de radiation ionisante. Ce dernier sous-tend que, dans tout projet, des dépenses infinies peuvent être nécessaires pour *minimiser* le risque, et qu'il est souvent plus approprié de *diminuer* les risques jusqu'à ce que les coûts supplémentaires pour les réduire encore davantage deviennent déraisonnables par rapport aux gains.

Ainsi, on pourrait envisager d'étendre l'accès à la téléRT aux patients atteints de cancer du sein et de la prostate si on mettait en place des mesures de transfert en centre urbain en cas de bris de linac de plus de 48 heures. À noter qu'une telle situation, peu fréquente, ne s'est produite qu'une seule fois au département de RT de l'HMR durant les dernières années, malgré que certains linacs aient plus de 15 ans de service. Ceci est dû en partie au fait que certains départements de RT ont sur place un technicien spécialisé en entretien et réparation de linacs. Le risque de bris prolongé au centre rural de téléRT pourrait être diminué en augmentant les procédures de contrôle de qualité et l'entretien préventif, en y employant un physicien médical et un technicien en linac à temps plein, plutôt qu'à temps partiel. On remarquera qu'il y a plusieurs exemples canadiens et australiens de centres de RT fonctionnant avec un seul linac. Le risque de bris de linac a donc déjà été jugé acceptable dans notre société. Cependant, les temps d'arrêt imprévus et leur impact sur les résultats du traitement restent à être documentés de façon prospective.

Les raisons d'inclure les patients atteints de cancer du sein ou de la prostate dans la population ciblée par un service de téléRT étendu sont multiples. Ces traitements de RT sont en général très bien tolérés, et les complications graves sont rares. Aussi, ces patients représentent une proportion importante de toutes les séances de RT au Québec. À l'opposé, la RT curative pour des cancers moins fréquents, comme ceux de la sphère oto-rhino-laryngologique, digestive, gynécologique ou hématopoïétique, est beaucoup plus difficile à tolérer, et la prise en charge des effets secondaires aigus risquent plus fréquemment de nécessiter la présence physique du radio-oncologue. De plus, l'examen clinique du radio-oncologue avant, pendant et après le traitement a une importance cruciale sur la prise en charge de ces patients et peut difficilement être délégué à un médecin périphérique d'une autre spécialité. En ce qui concerne les patients atteints de cancer du poumon, ceux-ci présentent une situation clinique particulière. Même lorsque leur diagnostic est posé et que le bilan complet est fait, c'est l'évaluation en personne par le radio-oncologue qui est le plus souvent déterminante dans la prise de décision du traitement approprié pour chaque cas.

On choisit donc d'étudier une intervention de téléRT à services étendus ciblée sur une population rurale qui nécessiterait 250 traitements de RT par année, répartis en RT palliative, et RT curative du cancer du sein et de la prostate. Pour obtenir une représentation raisonnable de chacun, on peut utiliser les mêmes proportions que celles du département de RT de l'HMR. Pour les années 2009 et 2010, le ratio des cas palliatifs :seins : prostates était approximativement de 3 :3 :1. La population rurale

équivalente qui serait visée par un service de téléRT étendu est détaillée au tableau 2 (p.87). Le nombre de fractions de RT moyen nécessaire au traitement est aussi indiqué.

En tenant compte du fait que le nombre total de fractions par année au centre de téléRT étendu serait de 3992, ou environ 16 séances de RT par jour, on doit augmenter en conséquence le nombre de technologues en RT. Un estimé très conservateur serait de doubler leur nombre à six, par rapport à trois technologues dans le modèle du centre de téléRT décrit à la section 2. Le nombre de préposés aux bénéficiaires, quant à lui, devient un équivalent à temps-plein, tout comme le physicien médical et le technicien en linac pour les raisons mentionnées ci-dessus.

Tableau 2. Description de la population visée par un service de téléRT étendu.

Type de traitement	#de patients	# moyen fractions /patient	#total de fractions RT/an		Remboursement moyen frais transport et hébergement/patient
Palliatif	108	5	540		700\$
Sein	108	16 à 25	2160		1275\$
Prostate	34	33 à 40	1292		1810\$
Total =	250		3992	Moyenne =	1100\$

Comme le fait de modifier les services de RT offerts ne change en rien la technologie utilisée, et puisque qu'on garde fixe le nombre total de patients traités, les autres coûts ne sont pas modifiés, sauf pour les remboursements gouvernementaux pour les frais de voyage et d'hébergement. Le coût par patient du scénario de téléRT étendu est présenté au tableau 3 (p. 88). Le comparateur itineRT a été ajusté pour refléter le coût moyen par patient lorsqu'il s'agit de patients mixtes, palliatifs et curatifs.

Tableau 3. Coût moyen par patient pour les scénarios téléRT étendu et itineRT

	itineRT			téléRT étendue		
	Moyenne	d.s	95% C.I.	moyenne	d.s	95% C.I.
	↓ Hypothèse de base ↓					
# de patients	2,572	50	2,470-2,670	250	25	200-300
# patients qui voyagent	250			0		
	↓ Résultats ↓					
Coût local de la RT	5,480 \$	150 \$	5,190-5,780 \$	5,770 \$	620 \$	4,730-7,160 \$
Remboursements frais	1100 \$			0 \$		
Coûts des activités de télé-médecine	0 \$			1,170 \$	80 \$	1,010-1,340 \$
\$/patient téléRT étendue	6,580 \$	150 \$	6,580-7,280 \$	6,950 \$	630 \$	5,890-8,330 \$

d.s.=déviation standard

On constate que, malgré les marges d'erreur, la différence de coûts entre les deux scénarios s'amenuise. On ne doit cependant pas négliger ici l'investissement du capital humain des technologues en RT et du physicien médical qui, en période de pénurie de personnel spécialisé au Québec, se verraient affectés à des tâches où ils seraient sous-utilisés. Aussi, on n'a pas considéré les coûts engendrés par un bris prolongé de linac

entraînant un transfert massif urgent des patients vers un centre de RT urbain pour poursuivre les traitements.

3.2 CONCLUSION

Cette étude semble démontrer qu'un centre de téléradiothérapie offrant des services de soins palliatifs à une population rurale est réalisable de façon sécuritaire, et à coûts additionnels modestes pour le payeur unique. Sous certaines conditions, les services de RT pourraient être étendus à des fins curatives pour les patients atteints de cancer de la prostate ou du sein, à coût similaire à la situation actuelle où ces patients doivent voyager. Offrir un service de téléRT en zone rurale augmenterait l'accessibilité et l'équité aux soins de santé.

References

1. Source: www.ecosante.fr.
2. Mackillop W, Groome P, Zhang-Solomons J, Zhou Y, Feldman-Stewart D, Paszat L, et al. Does a centralized radiotherapy system provide adequate access to care? *Journal of Clinical Oncology*. 1997;15(3):1261.
3. Pagano E, Di Cuonzo D, Bona C, Baldi I, Gabriele P, Ricardi U, et al. Accessibility as a major determinant of radiotherapy underutilization: a population based study. *Health Policy*. 2007;80(3):483-91.
4. Huang J, Zhou S, Groome P, Tyldesley S, Zhang-Solomons J, Mackillop W. Factors affecting the use of palliative radiotherapy in Ontario. *Journal of Clinical Oncology*. 2001;19(1):137.
5. Dunscombe P, Roberts G. Radiotherapy Service Delivery Models for a Dispersed Patient Population* 1. *Clinical Oncology*. 2001;13(1):29-37.
6. Moqadem K, Pineau G, Québec (Province). Agence d'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé. *Télémedecine et radio-oncologie : état des connaissances*. Montréal: Agence d'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé; 2009. xii, 25 p. p.
7. Source: www.fmsq.org.
8. Source: Ministère de la Santé et des Services Sociaux du Québec.
9. Sakas G, Baltas D, Zamboglou N. Simulation and “Virtual Patient” in Radiotherapy. *it-Information Technology*.52(5):272-9.
10. Ntasis E, Gletsos M, Mouravliansky NA, Zacharaki EI, Vasios CE, Golemati S, et al. Telematics enabled virtual simulation system for radiation treatment planning. *Computers in Biology and Medicine*. 2005;35(9):765-81.
11. Kitamura C, Zurawel–Balaura L, Wong R. How effective is video consultation in clinical oncology? A systematic review. *Current Oncology*.17(3):17.
12. Noorani HZ, Picot J. Évaluation de la vidéoconférence en télésanté au Canada: Office canadien de coordination de l'évaluation des technologies de la santé; 2001.
13. Moqadem K, Pineau G, Hamel B, Obadia A, Caron L. Technical Standards and Clinical Guidelines for Telepsychiatry.
14. Gagnon MP, Fortin JP, Cloutier A. La télémédecine au service d'une région: Étude évaluative d'un projet de télé-santé aux Iles-de-la-Madeleine. *Ruptures*. 2001;8(2):53-70.
15. Rades D, Frenzel T, Schwarz R, Walz J, Cremers F, Albers D, et al. High Accuracy of Virtual Simulation with the Laser System Dorado CT4. *Strahlentherapie und Onkologie*. 2007;183(2):89-93.
16. www.health.gov.au. Establishing radiation oncology services in regional areas: Experiences of the national radiotherapy single machine unit trial and other regional radiation oncology models. .
17. Bhatnagar AK, Beriwal S, Heron DE, Flickinger JC, Deutsch M, Huq MS, et al. Initial outcomes analysis for large multicenter integrated cancer network implementation of intensity modulated radiation therapy for breast cancer. *The breast journal*. 2009;15(5):468-74.
18. Bhatnagar A, Heron D, Beriwal S, Flickinger J, Smith R, Deutsch M, et al. 120:: Initial Outcomes Results for Large Multi-Center Integrated Cancer Network for the

Treatment of Prostate Cancer With IMRT. *International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics*. 2006;66(3):S69-S.

19. Buskerud J, Henrich D.

<http://www.medicaldosimetry.org/meetings/2010presentations/5-Heinrich-no-notes.pdf>

20. Welsh JS. Helical tomotherapy in the community setting: a personal account. *Community Oncol*. 2009;6:463.

21. Norum J, Bruland OS, Spanne O, Bergmo T, Green T, Olsen DR, et al. Telemedicine in radiotherapy: a study exploring remote treatment planning, supervision and economics. *Journal of telemedicine and telecare*. 2005;11(5):245.

22. Ploquin NP, Dunscombe PB. The cost of radiation therapy. *Radiotherapy and Oncology*. 2008;86(2):217-23.

23. Valiquette L, Dunscombe P, editors. The economic characterization of radiation treatment processes within a cancer care program. 1997: Carleton University, Ottawa, Canada.

24. Dunscombe P, Samant R, Roberts G. A cost-outcome analysis of adjuvant postmastectomy locoregional radiotherapy in premenopausal node-positive breast cancer patients. *International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics*. 2000;48(4):977-82.

25. Dunscombe P, Roberts G, Walker J. The cost of radiotherapy as a function of facility size and hours of operation. *British journal of radiology*. 1999;72(858):598.

26.

<http://www.santesaglac.gouv.qc.ca/web/document/U219/depl%20usagers%20anexe%203%20politique%20juin%202010.pdf>.

27. Podgorsak E. Radiotherapy services in Canada: equipment and staff workloads. *Curr Oncol*. 1998;5(4):208-15.