

Besoins futurs en imagerie médicale dans les soins de santé

**Rapport du Groupe de travail 1
Carte routière technologique de l'imagerie
médicale**

le 1^{er} mai 2000

Cette publication est également offerte par voie électronique en formats HTML et PDF sur le Web à : <http://strategis.ic.gc.ca/imagemed>.

Pour obtenir des renseignements supplémentaires sur la carte routière technologique de l'imagerie médicale, s'adresser à :

Diane Law
Animatrice du projet
Direction générale des sciences de la vie
Industrie Canada
235, rue Queen
Ottawa, Ontario, K1A 0H5

Téléphone : (613) 954-2779
Télécopieur : (613) 952-5822
Courriel : law.diane@ic.gc.ca

© Comité directeur de la carte routière technologique de l'imagerie médicale, 2000

Publié et distribué par Industrie Canada pour le comité directeur de la carte routière technologique de l'imagerie médicale. Les opinions qui sont exprimées dans ce document sont celles des auteurs et non nécessairement celles du Gouvernement du Canada.

N.B. Dans cette publication, la forme masculine désigne tant les femmes que les hommes.

Also available in English under the title *Future Needs For Medical Imaging in Health Care*. An electronic version of the English document can be found at: <http://strategis.ic.gc.ca/medimage>

N° de catalogue : C21-30/1-2000F
ISBN : 0-662-84776-8

AVANT-PROPOS

Ce rapport du groupe de travail sur les « Besoins futurs en imagerie médicale dans les soins de santé » est le premier d'une série de cinq qui, une fois terminés, formeront la Carte routière technologique de l'imagerie médicale. Cette carte routière se veut un outil de prévision technologique créé par les entreprises, les chercheurs et les cliniciens canadiens dans le but d'améliorer les soins aux patients et la compétitivité à l'échelle mondiale du secteur canadien de l'imagerie médicale. La Carte routière renforcera ainsi la mise au point, la diffusion et l'adaptation de la technologie et facilitera la prise de décision dans les secteurs public et privé quant à l'investissement, la mise au point de produit, la formation et les politiques.

Le comité directeur de la carte routière technologique de l'imagerie médicale fournit l'orientation et l'encadrement pour l'ensemble du projet. Le comité est composé de 14 personnes (voir l'Annexe A pour la liste des membres) provenant d'entreprises, de chercheurs, de cliniciens et du gouvernement qui sont impliquées dans le secteur canadien de l'imagerie médicale. Industrie Canada agit comme catalyseur et facilitateur du processus de l'élaboration de la Carte routière. Soixante-quinze personnes représentant plus de 50 organismes participent au projet, créant ainsi des occasions d'alliance et de partage d'information.

Outre ce rapport, les principales réalisations de ce groupe sont :

- La publication de *L'imagerie médicale : document de travail*;
- L'élaboration de la vision, de l'objectif et du but du projet;
- La création d'un site Web pour les membres afin de faciliter la communication;
- L'établissement et répartition des tâches entre les cinq groupes de travail :
 - GT1 - Besoins futurs en imagerie médicale
 - GT2 - Génération et capture d'image
 - GT3 - Transmission et connectivité
 - GT4 - Analyse and visualisation d'images
 - GT5 - Technologies émergentes; et
- L'identification par les groupes de travail des problèmes à régler et des technologies marquantes qui seront examinées dans la Carte routière.

Le projet devrait prendre fin en automne 2000. Pour des renseignements plus récents, visitez le site Web public à <http://strategis.ic.gc.ca/imagemed>.

RÉSUMÉ DE LA DIRECTION

Introduction

Le présent rapport du groupe de travail « Besoins futurs en imagerie médicale dans les soins de santé » traite des facteurs déterminants qui influenceront sur l'utilisation de l'imagerie ainsi que sur la recherche dans ce domaine pour les cinq à dix prochaines années. Implicitement, ce rapport traite également des contraintes actuelles de l'imagerie diagnostique et présente les débouchés du point de vue de l'industrie. Bien que cette analyse utilise des données canadiennes, elle tient compte de la nature de plus en plus mondiale de la radiologie et des domaines connexes (imagerie), tant du point de vue clinique qu'industriel.

Contexte : Les techniques radiologiques. Il y a un peu plus de 100 ans, Röntgen découvrait les rayons X. Dans les années qui ont suivi, la radiologie a intégré l'utilisation de nombreux autres types de rayonnement électromagnétique (ultrasons, rayonnement gamma, champs magnétiques et rayonnements radioélectriques, etc.) afin de créer des images de plus en plus précises du corps et de ses maladies à des fins diagnostiques *in vivo*. Les différents types d'énergie utilisés et les différentes spécialités (radiologie, médecine nucléaire, physique médicale, pharmacie nucléaire, science de l'information, etc.) ont entraîné la création de services hospitaliers et de départements universitaires appelés « imagerie diagnostique », « radiologie » ou « techniques radiologiques ».

L'effet des changements démographiques sur l'imagerie médicale

Les personnes âgées sont les plus importants consommateurs de soins de santé et d'imagerie médicale. Étant donné que 80 % des maladies surviennent dans les derniers 20 % de la vie, l'effet des projections démographiques est une énorme augmentation de la demande en soins de santé et en ressources, dont l'imagerie médicale. Les 9,8 millions de Canadiens de la génération des « baby-boomers », qui ont commencé à atteindre la cinquantaine en 1997, ne feront qu'empirer la situation.

L'effet des changements médicaux sur l'imagerie médicale

La réforme des soins de santé s'est fait attendre et, dans la dernière décennie, s'est faite au détriment des investissements dans l'infrastructure, et ce, sans vraiment renouveler les méthodes de comptabilité et d'analyse obsolètes. Aux É.-U., moins de 3 % des coûts en soins de santé sont attribuables à la radiologie. Cependant, en raison des exigences fiscales, tous les paliers de gouvernement ont tenté d'économiser en réduisant les dépenses en capital destinés à l'immobilier, à la science de l'information et à la technologie. Ces mesures ne faisaient preuve d'aucune vision à long terme. L'industrie en général sait depuis longtemps qu'il s'agit d'investissements stratégiques clés pour une entreprise qui veut demeurer concurrentielle. Malheureusement, c'est une leçon qui n'est pas souvent incorporée dans la mise au point de politiques de soins de santé.

Dans la perspective actuelle, les coupures dans les postes de formation d'il y a cinq ans manquaient de vision à long terme maintenant que les **pénuries en ressources humaines** et la dégradation de l'infrastructure technologique rendent difficile le recrutement et la conservation du personnel.

La médecine évolue elle aussi, entrant à grands pas dans une ère de **médecine moléculaire** et de génomique où les mécanismes des maladies sont analysés en tant que troubles intéressant les gènes et les molécules plutôt que les cellules ou les organes et les résultats finaux. Au cours des prochaines décennies, l'application de ces technologies dans la médecine entraînera une augmentation de la demande en imagerie médicale fonctionnelle.

Le **mouvement de la médecine fondée sur l'expérience clinique** laisse entrevoir une rationalisation de l'utilisation de l'imagerie médicale dans l'exercice de la médecine; si elle n'est pas utilisée efficacement, elle pourrait entraver la mise au point et l'introduction de nouvelles technologies.

L'effet des changements technologiques sur l'imagerie médicale

Les techniques d'imagerie, ou techniques radiologiques, ne comprennent plus seulement les méthodes diagnostiques, mais également les traitements faisant appel aux méthodes de guidage par l'image. De plus en plus, elles ne dépendent plus seulement de la technologie de diagnostic, mais également de la science de l'information, de la réseautique, des techniques de distribution et d'archivage des images, de la mise au point d'agents de contraste, de l'instrumentation et des traitements faisant appel à l'énergie physique aussi différents que les ultrasons haute fréquence, le rayonnement radioélectrique, etc. Non seulement ces technologies constituent-elles des débouchés pour l'industrie canadienne, mais leur application représente une direction stratégique par laquelle, en partie du moins, d'excellents soins de santé peuvent être offerts aux Canadiens malgré la diminution importante des ressources que laisse entrevoir l'avenir rapproché.

Entre-temps, des approches nouvelles, plus interventionnistes, face à des maladies comme les accidents vasculaires cérébraux augmenteront également la demande. Parallèlement, les innovations technologiques créent leurs propres demandes en matière d'utilisation de techniques de diagnostic et d'intervention (non disponibles jusqu'à présent) afin de dépister et de traiter les maladies.

Conclusions et recommandations

La technologie de l'imagerie médicale a un potentiel énorme pour ce qui est de contribuer à l'amélioration des soins de santé dans ce nouveau siècle et pourra également, très certainement, contribuer à alléger certaines contraintes financières auxquelles font face les soins de santé. En

même temps, il existe des problèmes de taille en matière d'intégration de l'imagerie et d'autres techniques dans le système de soins de santé actuel qui doivent être résolus.

Afin de régler ces problèmes, le groupe de travail sur les « besoins futurs en imagerie dans les soins de santé » propose les recommandations suivantes :

1. **L'industrie canadienne doit être consciente des débouchés possibles en analyse, transmission et stockage d'images médicales. Ces débouchés dépendront de plus en plus de technologies (i.e. compression d'images, technologie de transmission à large bande, etc.) autres que celles qui sont utilisées principalement pour la génération d'images.**
2. **La société et les personnes chargées d'établir les politiques en matière de soins de santé doivent se rendre compte de la nécessité de planifier une augmentation de la capacité d'imagerie dans l'avenir. Il est impératif de compenser pour les années de sous-financement des investissements en capital et des infrastructures des hôpitaux et des cliniques du Canada. Afin de résoudre le problème de pénurie de main-d'œuvre, il est nécessaire d'élaborer des stratégies visant à garder et à rapatrier les radiologistes canadiens.**
3. **Il faut doter le système de soins de santé d'outils budgétaires et de systèmes financiers qui permettront et faciliteront l'intégration des innovations technologiques rentables. Le financement des soins de santé, y compris l'amortissement des coûts d'investissement, doit être stable, prévisible et indépendant des incertitudes politiques.**

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	i
RÉSUMÉ DE LA DIRECTION	ii
Introduction	ii
L'effet des changements démographiques sur l'imagerie médicale	ii
L'effet des changements médicaux sur l'imagerie médicale	ii
L'effet des changements technologiques sur l'imagerie médicale	iii
Conclusions et recommandations	iii
Partie 1 : INTRODUCTION	1
Objectif	1
Membres	1
Contexte : Les techniques radiologiques (imagerie diagnostique)	1
Aperçu	2
Partie 2 : L'EFFET DES CHANGEMENTS DÉMOGRAPHIQUES SUR L'IMAGERIE MÉDICALE	3
Données démographiques sur la population mondiale	3
Tendances démographiques mondiales	3
Causes de décès les plus courantes	3
L'effet sur les méthodes de dépistage et de traitement des causes les plus fréquentes de décès et de maladie	4
Maladies cardiovasculaires	4
Maladies vasculaires cérébrales	4
Tumeurs	5
L'effet des innovations techniques et médicales sur le dépistage et le traitement des principales causes de maladie et de décès	6
Maladies cardiovasculaires	6
Maladies vasculaires cérébrales	6
Tumeurs	7
Partie 3 : L'EFFET DES CHANGEMENTS MÉDICAUX SUR L'IMAGERIE MÉDICALE ..	8
La réforme des soins de santé	8
Amélioration des soins – augmentation des coûts	8
Réduction des réinvestissements	8
Technologie en évolution	9
Le financement vertical (« Silo-Funding ») dans un système utilisant des méthodes comptables archaïques	9
Ressources humaines	10
Médecine et biologie moléculaire	10

Imagerie fonctionnelle	10
Interventions effractives minimales guidées par l'image	11
Imagerie pharmacothérapeutique	11
Le mouvement de la médecine fondée sur l'expérience clinique	11
Partie 4 : LES EFFETS DES CHANGEMENTS TECHNOLOGIQUES SUR L'IMAGERIE	
MÉDICALE	12
Le <i>statu quo</i>	12
Changements technologiques	13
Imagerie et spectroscopie par résonance magnétique	13
Échographie	14
TAO	14
Radiographie – imagerie simple par rayons X	14
Radiographie par ordinateur / radiographie numérique	14
Affichage, transmission et stockage de l'information	14
Diagnostic assisté par ordinateur	14
Médecine nucléaire	15
Techniques d'optique et d'optoélectronique	15
Diagnostic, intervention et traitement effractifs minimaux guidés par l'image	15
Nouveaux signaux	15
Systèmes à modalités multiples	15
Partie 5 : CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	16
ANNEXE A : Le comité directeur de la carte routière technologique de l'imagerie médicale	1
ANNEXE B : Liste des membres du Groupe de travail 1	3
ANNEXE C : Principales causes de décès aux États-Unis en 1997	4
ANNEXE D : Principales causes de décès en É-U par groupe d'âges	5
ANNEXE E : Calcul des investissements nécessaires en équipement de diagnostic de pointe au Canada	7
ANNEXE F : Biens d'équipement dans huit établissements canadiens, année financière 1997 - 1998	8
RÉFÉRENCES	9

Partie 1 : INTRODUCTION

Objectif

L'objectif du groupe de travail « Besoins futurs en imagerie dans les soins de santé » est d'examiner, sur le plan mondial, les avenues des soins de santé, ainsi que de leur prestation, des demandes cliniques, des besoins et des tendances du marché, des changements en matière de prévalence de maladies et de données démographiques dans le but :

- d'examiner le *statu quo*;
- de cibler toute lacune en matière de technologie habilitante;
- d'offrir un contexte aux innovations industrielles;
- d'améliorer la qualité et le caractère opportun des soins aux patients;
- de faciliter la planification pour les autorités des domaines public et privé chargées d'établir des politiques.

Une période de cinq ans, dix ans dans le cas des perspectives à long terme, a été utilisée, bien qu'il soit entendu que toute prévision dépassant cinq ans, dans un domaine en évolution, est, par nature, très spéculative. La technologie actuelle, sa dissémination et sa pénétration ont servi de référence afin d'évaluer les besoins futurs et l'effet de la technologie sur la qualité des soins. Finalement, le groupe de travail s'est intéressé aux besoins en matière de technologie de l'information et des communications relativement aux besoins cliniques.

Membres

Le groupe de travail « Besoins futurs en imagerie dans les soins de santé » est composé de représentants de l'industrie, de médecins, de techniciens et de chercheurs. Voir la liste complète des membres à l'Annexe B.

Contexte : Les techniques radiologiques (imagerie diagnostique)

Observer le corps humain de l'intérieur, pour diagnostiquer les maladies et pour guider les biopsies et autres chirurgies, est devenu l'une des pratiques de base de la médecine au cours des 105 dernières années, depuis que Röntgen a découvert les rayons X^{1, 2}. Par la suite, le terme radiologie a pris une acception plus large, intégrant l'utilisation de nombreux types de rayonnement électromagnétique (ultrasons, rayonnement gamma, champs magnétiques et rayonnement radioélectrique, etc.) afin de créer des images diagnostiques plus précises du corps et des maladies¹. Les différents types d'énergie utilisés et les différentes spécialités (radiologie, médecine nucléaire, physique médicale, pharmacie nucléaire, science de l'information, etc.) ont entraîné la création de services hospitaliers et de départements universitaires appelés « imagerie diagnostique », « radiologie » ou « techniques radiologiques ». Aucune appellation trouvée

jusqu'à présent est totalement satisfaisante en raison des changements phénoménaux survenus, particulièrement au cours des trente ou quarante dernières années.

La puissance des ordinateurs d'aujourd'hui, qui permet d'afficher rapidement des coupes sectionnelles du corps en faisant appel à des technologies comme l'échographie, la tomographie assistée par ordinateur (TAO), la tomographie d'émission monophotonique (TÉM), la tomographie par émission de positron (TÉP) ou l'imagerie par résonance magnétique (IRM), a été essentielle à la croissance des nouvelles technologies. Cependant, aussi essentiel fut le déplacement de l'imagerie des laboratoires au chevet des patients. La radiologie d'il y a quarante ans offrait une quantité limitée d'information diagnostique à un médecin voulant préciser un diagnostic à partir des maladies dont les symptômes correspondaient à ceux que présentait son patient. Au début du XXI^e siècle, l'imagerie n'est pas utilisée seulement pour identifier des lésions, beaucoup mieux qu'avant, mais également pour guider l'aiguille au cours d'une biopsie; non seulement pour repérer un abcès, mais pour en guider le drainage; non seulement pour trouver un vaisseau sanguin obstrué, mais pour guider sa dilatation; etc.

Il est évident que l'imagerie peut remplacer certaines interventions chirurgicales coûteuses (biopsies, drainages, interventions exploratoires) et qu'elle a grandement contribué à diminuer considérablement la durée d'hospitalisation d'un patient alors que les hôpitaux doivent s'ajuster aux réalités financières du nouveau siècle. Dans ce sens, l'imagerie diagnostique est un outil stratégique essentiel aux soins de santé de l'avenir. Les plus récentes technologies (TAO, IRM, TÉP, etc.) produisent des images de nature numérique; d'ailleurs, la radiologie en général délaisse la pellicule en tant que médium. Il en résulte donc une spécialisation intimement liée aux technologies de l'information pour ce qui est du stockage et du transfert des images³. Les débouchés qui découlent de cette association sont pratiquement infinis.

Aperçu

Le présent chapitre est divisé en cinq parties :

1. Introduction
2. L'effet des changements démographiques
3. L'effet des changements médicaux
4. L'effet des changements technologiques
5. Conclusions et recommandations

Ce chapitre contient également de nombreuses annexes et une liste de références.

Partie 2 : L'EFFET DES CHANGEMENTS DÉMOGRAPHIQUES SUR L'IMAGERIE MÉDICALE

Données démographiques sur la population mondiale

Une caractéristique que partagent les sociétés des pays industrialisés en l'an 2000 est le fort pourcentage de personnes âgées. En raison de l'augmentation de l'espérance de vie, cette proportion continue d'augmenter. Afin d'évaluer le rôle futur de l'imagerie médicale dans les soins de santé, il est utile d'examiner la demande en service actuelle comparativement aux données démographiques, puis de la pondérer en fonction des projections des tendances démographiques nationales et mondiales. Les données démographiques de 1999 des Nations Unies indiquent qu'au Japon, en Europe de l'Ouest et au Royaume-Uni, de 20 à 24 % de la population a plus de 60 ans. En Amérique du Nord, en Chine, en Russie et en Australie, le pourcentage de la population de plus de 60 ans oscille entre 10 et 19 %, alors que dans les pays en développement, le pourcentage est évalué entre 0 et 9 %⁴. Un bon nombre de maladies prévalent chez les personnes âgées⁵. Il en résulte que plus d'interventions d'imagerie par personne sont effectuées sur des adultes que sur des enfants et plus sur les adultes plus âgés que sur les plus jeunes. Conséquemment, la demande en imagerie croît au même rythme que la population de personnes âgées.

Tendances démographiques mondiales

Les données démographiques des Nations Unies indiquent qu'en 2050, au Japon, en Europe de l'Ouest et de l'Est, en Russie et en Chine, la proportion de la population de plus de 60 ans dépassera les 30 %. Aux États-Unis et en Australie, elle se situera entre 25 et 29 %, alors qu'en Amérique du Sud, en Inde et au Moyen-Orient, le pourcentage atteindra de 20 à 24 %. Ce pourcentage se situera entre 0 et 19 % dans la plupart des pays d'Afrique⁴.

Il semblerait qu'en général, l'espérance de vie dans l'hémisphère nord augmentera en raison des percées en technologie médicale et dans la lutte contre les maladies. Dans le cas des pays en développement, les antécédents de prévalence des maladies se perpétueront; la répartition de la population y sera classiquement illustrée par une pyramide, alors que dans les pays développés, le graphique ressemblera plutôt à une colonne ou à une ampoule au fur et à mesure que les « baby-boomers » vieilliront. Au Canada, ils sont 9,8 millions, les premiers d'entre eux ayant atteint la cinquantaine en 1997. Cette donnée, ajoutée à la tendance mondiale au vieillissement, taxera de façon significative le système de santé canadien⁶, une partie non négligeable de la demande provenant de l'imagerie diagnostique.

Causes de décès les plus courantes

Il existe également des données sur les causes de décès les plus courantes selon le groupe d'âges. Il serait fastidieux de faire un inventaire complet de ces données, mais des tendances sont quand

même évidentes (voir les Annexes C et D pour des renseignements supplémentaires). En 1997, aux États-Unis, les accidents étaient la cause de décès la plus courante chez les groupes d'âges 1 à 4 ans, 5 à 14 ans, 15 à 24 ans et 25 à 44 ans. Chez les 45 à 64 ans, le cancer était au premier rang, alors que chez les 65 ans et plus, il s'agissait des maladies cardiaques. Les maladies cardiaques et certaines tumeurs malignes constituent les cinq principales causes de décès dans la population en général âgée de plus de un an. Les 15 plus importantes causes de décès en 1997 comptaient pour 84,6 % de tous les décès aux États-Unis⁷.

Des données sur les causes de décès les plus courantes peuvent aider les médecins et les fabricants à prendre des décisions stratégiques visant à orienter leurs efforts. Les fabricants se concentreront certainement sur la mise au point d'équipement et d'accessoires permettant aux médecins de diagnostiquer les maladies et d'évaluer leur évolution. Les médecins choisiront de l'équipement et des accessoires qui conviendront le mieux à leur spécialité et au type de patient qui les consulte.

L'effet sur les méthodes de dépistage et de traitement des causes les plus fréquentes de décès et de maladie

En raison du vieillissement de la population dans les quatre à dix prochaines années, la proportion de personnes de 65 ans et plus augmentera significativement, comme il a été expliqué précédemment. Il y aura donc, par le fait même, plus de patients présentant les maladies qui sont les trois causes de décès les plus courantes : maladies cardiovasculaires, accidents vasculaires cérébraux et tumeurs malignes. Il faudra avoir recours à l'imagerie pour dépister la maladie chez ces patients, pour la diagnostiquer, pour en déterminer le stade d'évolution et pour la traiter. Voici une description plus détaillée des techniques d'imagerie utilisées dans le cas des maladies cardiovasculaires et vasculaires cérébrales ainsi que dans le cas des cancers les plus répandus.

Maladies cardiovasculaires : L'un des besoins les plus importants est la détection d'une maladie athéroscléreuse des coronaires sous forme de calcification et de sténose coronaires à l'aide de méthodes non effractives comme la TAO ou l'IRM. Il est aussi important d'étudier l'effet des maladies coronariennes occlusives sur l'irrigation et la fonction cardiaque telles qu'elles sont mesurées par la contractilité et par le flux sanguin, en utilisant toujours des méthodes non effractives comme l'échographie, l'IRM et l'imagerie isotopique (médecine nucléaire)^{8,9}.

Maladies vasculaires cérébrales : Les maladies liées aux vaisseaux sanguins irriguant le cerveau sont associées à un haut taux de morbidité et à des coûts importants pour le système de soins de santé. Des efforts seront faits tant du côté d'une détection précise et non effractive des maladies cérébrales occlusives que d'un traitement efficace et sûr aux premiers stades de la maladie. La détection de maladies occlusives de la carotide et de l'artère vertébrale sera effectuée

à l'aide de méthodes non effractives, comme l'ultrasonographie Doppler et l'angiographie par résonance magnétique. De plus, des méthodes d'imagerie sont nécessaires afin d'évaluer les effets des maladies vasculaires cérébrales occlusives chroniques sur le parenchyme cérébral, comme l'évaluation de l'irrigation du cerveau par IRM fonctionnelle. Les résultats de ces études seront utiles dans la sélection de la meilleure méthode de revascularisation pour traiter la maladie.

Le diagnostic et le traitement des accidents vasculaires cérébraux constituent un autre besoin de plus en plus important. L'accent sera mis sur le dépistage précoce, puis sur un diagnostic et un triage rapide, suivis d'un traitement par agent neuroprotecteur ou thrombolytique. Les principales méthodes d'imagerie dans le cas d'un accident vasculaire cérébral aigu sont la TAO et l'IRM; elles permettent une évaluation morphologique et fonctionnelle du cerveau. La quantification de l'étendue des dommages réversibles et irréversibles au parenchyme cervical, ainsi que l'étude de la morphologie des vaisseaux touchés sont nécessaires. De plus, une analyse biochimique des tissus ischémiés peut être obtenue à l'aide de la spectroscopie par RM. Une fois un diagnostic établi, un traitement par interventions guidées par l'image combinant l'angiographie numérique et la TAO ou l'IRM, ou les deux, est entrepris¹⁰.

Tumeurs : Les tumeurs malignes mortelles les plus courantes sont celles du poumon, du côlon et du rectum, de la prostate et du sein. Les efforts seront concentrés sur l'établissement des personnes à risque, le dépistage et le classement par stade rapides ainsi que la surveillance de la réponse au traitement. Les changements de nature démographique feront en sorte qu'il y aura plus de personnes à risque pour certains types de tumeur maligne, particulièrement le cancer colorectal. L'imagerie joue déjà un rôle important dans le dépistage du cancer du sein. Elle jouera également un rôle essentiel dans le dépistage du cancer colorectal. Une fois qu'un cancer est détecté, l'imagerie sera utilisée pour faire le suivi et la surveillance de la réponse au traitement. De plus, de nouveaux traitements, comme la cryothérapie et diverses formes d'ablation de tissus par la chaleur (laser, rayonnement radioélectrique, ultrasons focalisés) sont en cours de mise au point et feront appel à des techniques d'imagerie afin de les guider avec précision¹¹.

La détermination des stades des cancers se fera au moyen de la TAO, de l'IRM et, de plus en plus, de la tomographie par émission de positron (TÉP). L'étude de la biologie tumorale et de la réponse de la tumeur au traitement dépendra des innovations en radiopharmacie¹² et en IRM fonctionnelle, ou dans les deux domaines¹³.

L'effet des innovations techniques et médicales sur le dépistage et le traitement des principales causes de maladie et de décès

L'effet des innovations médicales et technologiques sur les techniques d'imagerie utilisées pour dépister et traiter les maladies cardiovasculaires et vasculaires cérébrales ainsi que les tumeurs malignes courantes est important. Les percées en médecine exigent maintenant des techniques d'imagerie très précises et, en même temps, non effractives qui fourniront des données qualitatives et quantitatives sur la morphologie et les fonctions. En fait, dans le cas des maladies cardiaques par exemple, il n'est pas rare que les innovations technologiques entraînent des changements dans les protocoles médicaux.

L'un des objectifs de longue date des soins de santé est le dépistage rapide des maladies, au stade où elles peuvent être traitées le plus facilement. Pour ce faire, les tests de dépistage doivent être très précis, peu coûteux et acceptés par les patients¹⁴. Pour le moment, le seul test utilisé couramment dans ce contexte est la mammographie. Les méthodes de reconstruction d'image ont été mises au point afin de pouvoir effectuer des bronchoscopies et des colonoscopies virtuelles; des méthodes semblables pourraient être utilisées dans d'autres parties du corps. De telles méthodes, qui remplacent les examens de contraste et les endoscopies, lesquels exigent la présence constante d'un médecin, pourraient être utilisées dans le cadre de nouvelles mesures de dépistage. De même, des modifications techniques comme le remplacement de la radiographie thoracique par la TAO spiralée, sujettes à une étude de rentabilité, pourraient améliorer le diagnostic rapide du cancer des poumons¹⁵.

Maladies cardiovasculaires : La TAO à capteurs multiples permet maintenant d'obtenir des images à haute résolution et d'effectuer des évaluations rapides de la calcification coronaire. La RM cardiaque a également évolué énormément au cours des dernières années. La recherche se poursuit afin de mettre au point une méthode d'angiographie coronaire par administration d'agent de contraste. En même temps, il est maintenant possible d'effectuer une évaluation morphologique et fonctionnelle du myocarde par IRM, incluant un examen de l'irrigation à l'aide de nouveaux agents de contraste et la détermination de la contractilité régionale et globale ainsi que le débit cardiaque, particulièrement au moyen d'appareils conçus à des fins d'exams cardiaques^{8,9}.

Maladies vasculaires cérébrales : L'IRM crânienne est un exemple de technique d'imagerie qui permet maintenant d'effectuer une évaluation complète du cerveau. Des protocoles d'imagerie des accidents vasculaires cérébraux ont été mis au point. Ceux-ci comprennent des séquences d'impulsions standard afin d'évaluer la morphologie; des séquences d'impulsions de diffusion et de perfusion, afin d'évaluer la pénombre ischémique et l'angiographie par IRM, afin d'évaluer la perméabilité des vaisseaux sanguins. L'ajout de la spectroscopie par résonance magnétique (SRM) permet d'étudier les métabolites du cerveau *in*

vivo. L'imagerie d'un accident cérébral vasculaire par IRM est un exemple de nouvelle méthode d'imagerie à valeur ajoutée qui permet d'obtenir des données quantitatives et qualitatives sur la morphologie et les fonctions. Il s'agit d'une conséquence de l'innovation technologique qui entraîne une amélioration du traitement médical et de son résultat. Il est maintenant possible de détecter avec précision, par IRM, une sténose de la carotide grâce à la mise au point de séquences d'impulsions plus rapides utilisées de concert avec l'injection d'un agent de contraste. Grâce aux séquences d'impulsions standard de diffusion et de perfusion, il est possible d'effectuer une évaluation morphologique et fonctionnelle du cerveau au cours du même examen¹⁰.

Tumeurs : Le dépistage du cancer des poumons et du cancer colorectal constitue un autre exemple de l'effet potentiel des innovations technologiques et médicales sur les techniques utilisées. Comme il a déjà été mentionné, le dépistage du cancer des poumons, ou de toute autre forme de cancer, requiert un test extrêmement sensible. Un tel test est possible grâce à la TAO à capteurs multiples, qui offre une plus grande sensibilité que la radiographie thoracique pour détecter des nodules aux poumons. Des percées en TAO permettent également d'effectuer des colonoscopies virtuelles, qui constitueraient une autre méthode non effractive de dépistage du cancer colorectal. Sujettes à une démonstration de leur rentabilité, ces méthodes pourraient être couramment utilisées dans l'avenir¹⁶. Au Canada, une utilisation plus courante de la TEP dans la classification par stades des cancers nécessite la mise sur pied d'un réseau national de distribution de [F-18]-fluorodésoxyglucose, comme celui mis en place aux É.-U.

Partie 3 : L'EFFET DES CHANGEMENTS MÉDICAUX SUR L'IMAGERIE MÉDICALE

La médecine, au début du XXI^e siècle, est dans une phase de transition. Il a été dit que les soins aux patients changeront plus au cours des 20 prochaines années qu'au cours des 2 000 dernières¹⁷. Cette perception fait référence aux changements dans la nature de la médecine et de la biologie, mais également au contexte de société dans laquelle la médecine est pratiquée et dans laquelle les soins sont délivrés aux patients.

La réforme des soins de santé

Amélioration des soins – augmentation des coûts : Au cours des dernières années, les innovations médicales ont fait en sorte de modifier de façon importante la progression d'un bon nombre de maladies et leur issue. Le coût des soins a connu une hausse proportionnelle aux innovations, et ce, malgré les stratégies préventives, comme le remplacement des poumons d'acier comme traitement des personnes atteintes de poliomyélite par un vaccin pour prévenir l'apparition de la maladie. Les populations vieillissantes ont augmenté la demande de soins dans un système fonctionnant au-delà de ses capacités afin d'atteindre ses objectifs. Au même moment, nombre de pays, dont le Canada, fonctionnaient avec un budget déficitaire et doivent maintenant revoir leurs priorités sociales et fiscales. Ces nouvelles priorités, par exemple la réduction du déficit et l'augmentation des sommes allouées à l'éducation dans les pays soucieux de demeurer concurrentiels mondialement, ont eu un effet sur les sommes investies dans les soins de santé.

Dans la plupart des pays occidentaux, les ressources en soins de santé font l'objet d'une grande préoccupation. Au Canada, les longues listes d'attente, les salles d'urgence surpeuplées, les installations désuètes, les faibles réinvestissements et les patients qui vont se faire soigner aux É.-U. sont devenus des sujets d'actualité quotidiens¹⁸.

Réduction des réinvestissements : Au Canada, ces contraintes fiscales ont entraîné une réduction du réinvestissement dans le système de soins de santé. Les hôpitaux, particulièrement, ont souffert de ces mesures étant donné que, dans un bon nombre de cas, les installations et l'équipement étaient déjà désuets et inadéquats. C'est pour cette raison que les hôpitaux ont peu investi dans les technologies de l'information de pointe, technologies qui sont de plus en plus essentielles au fur et à mesure que progresse la réforme des soins de santé. Le Canada demeure dans les six premiers pays quant aux dépenses en santé relativement au produit national brut. Pourtant, toutes les mesures existantes indiquent que le pays a le pire dossier en matière d'investissement en technologie, parmi les pays industrialisés et même dans un sens plus large¹⁹.²⁰ Il serait facile de conclure que ce paradoxe est dû, du moins en partie, à une non réalisation de l'augmentation d'efficacité qu'entraînerait l'utilisation appropriée de la technologie.

Technologie en évolution : Parallèlement aux changements inhérents au système de soins de santé, l'émergence de puissants outils diagnostiques (TAO, IRM, TEP, entre autres)

ainsi que d'agents et de techniques thérapeutiques (antibiotiques, antiviraux, psychotropes, chirurgie effractive minimale, entre autres) a été associée à des changements dans la relation médecin-patient. Bien que la médecine, selon nombre de sources, demeure une profession respectée, les patients (maintenant souvent appelés clients) s'attendent à participer plus activement à leur traitement²¹. L'accès public à Internet, avec toutes ses limites en tant que source d'information médicale, confère des pouvoirs auxquels les patients ont accès pour la première fois.

Face à ces puissantes forces sociales, il est maintenant coutume d'imputer les coûts exorbitants des soins de santé à la technologie – ces appareils coûteux et leur utilisation constituent un bouc émissaire évident pour cette escalade des coûts. Les appareils d'imagerie, comme les appareils de TAO et d'IRM, coûtant chacun quelques millions de dollars, sont peut-être les dépenses les plus évidentes. Pourtant, la radiologie compte pour moins de 3 % des coûts de soins de santé aux É-U. Il serait difficile de perpétuer l'argument imputant l'augmentation des coûts à la technologie. Par contre, le concept d'économie des coûts grâce à la technologie, expliqué précédemment, mérite d'être étudié plus en profondeur^{22, 23}.

Le financement vertical (« Silo-Funding ») dans un système utilisant des méthodes comptables archaïques : Le climat fiscal dans lequel la médecine est pratiquée au Canada en l'an 2000 empêche tout changement, toute innovation et l'application de technologies rentables. L'imposition de plafonds de revenu dans une structure établie de spécialités rend l'innovation difficile dans une seule spécialité, même s'il en résulte une économie nette, puisque cette innovation serait peut-être financée au détriment d'une autre spécialité en raison de la rigidité du budget global. Concrètement, il en résulte que les médecins ont été forcés, dans un contexte protectionniste, de refouler les innovations technologiques puisqu'ils devraient en payer la mise en œuvre à partir de leur propre salaire. Si cette situation d'isolement des spécialités persiste, la médecine, et le public, en souffriront, car en mettant en veilleuse l'adoption de techniques innovatrices, on empêche l'instauration de changements rentables.

Juste au moment où les méthodes de radiologie évoluent de façon à contribuer à la résolution des problèmes du nouvel environnement fiscal issu de la réforme du système de santé, l'approche globale de la budgétisation et le financement vertical en minent le progrès. La radiologie interventionnelle, par exemple, a favorisé la création de méthodes qui, jusqu'à présent, exigeaient l'hospitalisation des patients et du temps en salle d'opération et qui, maintenant, peuvent être exécutées au service de radiologie sur des patients en consultation externe. Les économies réalisées, malgré les importants investissements, sont réelles; il est cependant difficile de s'en rendre compte sans une perspective globale. Toute projection de l'avenir de l'imagerie doit supposer que cette tendance se poursuivra. Il est cependant difficile d'innover. Par exemple, d'importantes sommes sont consacrées actuellement au traitement des névroses et des psychoses. Ce type de traitement est pratiquement toujours administré par essais et erreurs. Si les techniques

d'imagerie fonctionnelle atteignent leur plein potentiel et permettent d'établir une classification des maladies psychiatriques de façon à pouvoir associer un traitement à un trouble précis, les économies, sur les plans médical et social, seraient énormes. Comment ce potentiel pourra-t-il être exploité, du moins développé? Les méthodes archaïques de financement des soins de santé et de la technologie médicale doivent être revues afin d'assurer plus de souplesse dans l'avenir.

Ressources humaines

Les incertitudes de la dernière décennie ont entraîné une diminution du nombre de radiologistes de formation (comme dans toutes les autres spécialités médicales). En rétrospective, les coupures dans les postes de formation n'étaient pas à propos. Une récente enquête de l'Association canadienne des radiologistes indique une pénurie nationale croissante de radiologistes. Selon les variables utilisées dans l'analyse de sensibilité, il pourrait manquer jusqu'à 100 radiologistes à l'échelle nationale²⁴. Il est important d'indiquer que ce chiffre n'est pas obtenu en calculant une proportion de radiologistes par habitant, mais plutôt en fonction de la demande des hôpitaux et des collectivités qui cherchent à engager des radiologistes. La situation est empirée par le petit, mais constant, nombre de médecins et de radiologistes qui émigrent. Dans ce contexte, la technologie désuète et insuffisante est un argument de plus en faveur de l'émigration. Les radiologistes canadiens récemment diplômés ont été formés pour travailler sur des appareils de pointe et, souvent, ne peuvent pas trouver de travail convenable dans leur propre pays.

Médecine et biologie moléculaire

Imagerie fonctionnelle : Les premières images de Röntgen (de la main de son épouse) illustraient l'anatomie du squelette humain. À cette époque, ces images étaient remarquables du fait qu'elles révélaient des structures qui n'étaient pas accessibles chez une personne vivante auparavant. Au cours des 100 ans qui ont suivis, les technologies d'imagerie ont permis d'améliorer de façon significative l'étude des structures. Les techniques d'imagerie ont également été utilisées afin d'étudier les fonctions des tissus et des organes, en commençant avec les techniques de médecine nucléaire, dont la tomographie d'émission monophotonique (TÉM) et la tomographie par émission de positrons (TÉP), puis l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) et la spectroscopie par résonance magnétique (SRM). La surveillance *in vivo* des traitements géniques, l'imagerie antisens ainsi que d'autres mesures constituent des arguments en faveur de l'amélioration de l'imagerie fonctionnelle, bien qu'il soit maintenant évident que la TÉP supplante, sur le plan de la rentabilité, les autres techniques d'imagerie, par exemple, dans le cas de la classification par stades de différents cancers²⁵.

Interventions effractives minimales guidées par l'image : Les techniques d'imagerie ont été mises au point parallèlement à l'avènement d'une autre tendance entraînée par la réforme des soins de santé. En raison des pressions exercées sur les hôpitaux afin de réduire la durée de

séjour des patients ainsi que le temps en salle d'opération accordé aux chirurgies exploratoires, l'accent a été mis sur les chirurgies effractives minimales (p. ex., cholécystectomie laparoscopique) et les interventions effractives minimales guidées par l'image, comme les biopsies, les drainages et les angioplasties percutanées. En plus d'être très avantageuses pour le patient, ces interventions sont très rentables^{26,27,28}. Il existe bien d'autres exemples de techniques d'imagerie stratégiques qui permettent de réduire les coûts du système en diminuant la durée de séjour des patients et le temps d'utilisation des salles d'opération conventionnelles.

Imagerie pharmacothérapeutique : Traditionnellement, les nouveaux médicaments sont testés dans le cadre d'études importantes et coûteuses de mesure de résultat. Des méthodes radiologiques d'étude des médicaments *in vivo* sont maintenant examinées. De plus, au fur et à mesure que le prix des médicaments augmente, il y aura une demande de plus en plus forte pour déterminer l'efficacité du médicament aux premiers stades de la maladie. La chimiothérapie contre le cancer, par exemple, est extrêmement coûteuse. Pour l'instant, les techniques de mesure de réponse de la tumeur au traitement sont peu coûteuses, mais très peu sensibles : par exemple, la mesure de la diminution potentielle d'une tumeur à partir d'une radiographie thoracique après huit ou douze semaines de traitement. En matière d'économies globales, il serait plus pratique d'utiliser des tests fonctionnels d'évaluation de la réponse de la tumeur plus sensibles dès les premiers stades de la maladie^{12, 29}.

Le mouvement de la médecine fondée sur l'expérience clinique

Par le passé, la médecine a toujours été enseignée par l'apprentissage. La naissance récente d'un mouvement encensant, de façon éclairée, les méthodes diagnostiques et les traitements a entraîné une remise en question des spécialités redondantes ou non pertinentes. De fait, le besoin d'adopter un mode de pensée critique ne s'est manifesté que récemment parce qu'il y a moins de 100 ans, les médecins avaient encore très peu d'outils efficaces à leur disposition. Bien que l'influence du mouvement de la médecine fondée sur l'expérience clinique ait mené à une réduction de l'utilisation de certaines interventions et à l'élimination d'autres en raison de leur redondance, son effet sur les innovations en radiologie n'est pas entièrement négatif³⁰. L'utilisation de lignes directrices fondées sur l'informatique et la prise de décisions feront appel à la technologie, mais vont rationaliser davantage la pratique de la médecine. De fait, à long terme, les dossiers informatisés contenant des données en ligne sur l'effet d'interventions sur le traitement et les résultats engendreront des applications interactives en temps réel fondées sur l'expérience clinique qui influenceront sur la façon dont les soins médicaux sont délivrés et la médecine est pratiquée³¹.

Partie 4 : LES EFFETS DES CHANGEMENTS TECHNOLOGIQUES SUR L'IMAGERIE MÉDICALE

Le statu quo

Le *statu quo* n'a rien de rassurant^{19, 20, 32}. Le Canada possède 8,1 appareils de TAO par million d'habitants alors que la moyenne de l'Organisation de coopération et de développement économique (OCDE) est de 12,9. Pour atteindre la moyenne de l'OCDE, le Canada doit installer 144 nouveaux appareils de TAO. De plus, le Canada possède 1,7 appareil d'IRM par million d'habitants. Pour atteindre la moyenne de l'OCDE, qui est de 4,3 par million d'habitants, il faudrait installer 75 nouveaux appareils d'IRM à travers le pays. Le Canada possède moins de 3 % de tous les appareils de TEP dans le monde; les É.-U. en possèdent 40 %, l'Europe, 40 % et le bassin du Pacifique, 11 %. En tenant compte de cela, le Canada ne devrait installer que 6 nouveaux appareils de TEP. Cependant, puisque la plupart des appareils canadiens sont de petite taille (capable uniquement de générer des images de la tête) et qu'ils sont utilisés aux seules fins de la recherche, le nombre d'appareils à installer en vue d'une utilisation en clinique est plus près de 12. Une récente étude menée en Ontario, par les partisans de la TEP il est vrai, indique que dans cette province seulement, il faudrait installer de 9 à 12 appareils (voir l'Annexe E pour obtenir de plus amples renseignements).

Le Fraser Institute a analysé le degré de pénétration de la technologie au Canada, comme l'a fait Rankin à propos de l'IRM^{19, 20}. Les deux analyses classent le Canada au dernier rang des pays industrialisés en matière d'adoption de la technologie d'imagerie. De fait, le déficit est si grand que le Canada possède moins d'appareils de diagnostic qu'un bon nombre de pays en développement.

Il faut préciser que ces analyses peuvent être critiquées. Le décompte du nombre d'appareils par habitant n'indique pas la façon dont ces appareils sont utilisés. Cependant, si cette correction était appliquée, la situation du Canada serait encore pire : les appareils d'imagerie, principalement les appareils d'IRM, sont souvent financés par les provinces pour une certaine période de fonctionnement. De plus, en raison de l'absence de scénarios d'offre et de demande, il faut comprendre que, sur le plan mondial, aucune politique publique n'a été élaborée quant au nombre optimal d'appareils d'imagerie de haute technologie par habitant. Néanmoins, on peut tenir pour acquis que, puisque le Canada est dépassé tant par des pays ayant un niveau de développement semblable que par des pays en développement, il est fort peu probable que le nombre optimal ait été atteint.

Une étude³² de l'OCDE menée en 1997 / 1998 auprès d'hôpitaux de soins tertiaires et quaternaires indique que, non seulement le Canada présente des lacunes en matière de haute technologie liée à l'imagerie, mais que les services cliniques hospitaliers ont des appareils tout aussi désuets les uns que les autres. Les risques de déviation systématique des réponses sont faibles puisque toutes les principales régions du Canada (les Maritimes, le Québec, l'Ontario, les Prairies et la côte Ouest) sont représentées. En tout, huit établissements ont été interrogés sur

l'âge moyen de leurs appareils ainsi que leur nombre, le stock de biens d'équipement, le montant du capital réinvesti et le pourcentage de réinvestissement. Au cours de cette année financière, tous les établissements, certains bien plus que d'autres, sont sous la barre du 10 % per annum pour ce qui est du pourcentage de réinvestissement, un seuil qui serait considéré comme prudent dans d'autres industries. De fait, le pourcentage de réinvestissement moyen des huit établissements était de 5 %, dont deux étaient à 0 %; chez les autres, il se situait entre 5 et 9 % (voir l'Annexe F pour obtenir de plus amples renseignements).

Changements technologiques

Voici une liste des changements technologiques les plus susceptibles de survenir au cours des trois à cinq prochaines années. La liste est en partie classée par technique d'imagerie, mais certaines innovations touchent plus d'une modalité. Le cas échéant, les nouvelles technologies sont listées plus d'une fois.

En plus des changements propres aux appareils, certaines tendances générales se dessinent :

- l'intégration d'information et d'images provenant de différentes modalités;
- un plus grand rôle pour le guidage par l'image et la surveillance des techniques interventionnelles;
- l'expansion de l'imagerie au-delà de la représentation anatomique pour inclure de l'information fonctionnelle, physiologique, quantitative et dynamique;
- l'intégration de techniques de la biologie moléculaire, p. ex. : repérage de la distribution de sondes génétiques, distribution ciblée de matériel génétique, etc.;
- l'accent sur une représentation tridimensionnelle ou volumétrique plus rapide;
- une représentation plus détaillée et plus rapide par n'importe quelle technique d'imagerie grâce à des ordinateurs plus puissants;
- l'analyse d'images et l'aide à la décision informatisées.

Imagerie et spectroscopie par résonance magnétique : Mise au point d'une plus grande variété d'équipement et d'une plus grande gamme d'aimants et de systèmes, ce qui génèrera des débouchés dans la conception et la commercialisation d'instruments, d'accessoires et de logiciels de traitement d'images. De nouveaux agents de contraste pour IRM utilisés dans le cas d'évaluations dynamiques et fonctionnelles feront leur apparition; ceux-ci seront de plus en plus souvent utilisés avec des produits issus de la biologie moléculaire. L'IRM jouera un rôle considérable sur le plan clinique dans le cas du guidage et de la surveillance des interventions effractives minimales. Il y aura également des débouchés dans la mise au point et la fabrication d'instruments et d'équipement compatibles avec l'IRM³³.

Échographie : D'importantes innovations sont prévues en échographie à la suite de la mise au point de nouveaux agents de contraste. Des modes de fonctionnement innovateurs et complexes seront mis au point afin d'exploiter ces nouveaux agents de contraste. En général, les instruments seront de plus en plus spécialisés, utilisant des fréquences plus hautes et des transducteurs plus complexes, et de plus en plus petits pour l'imagerie intravasculaire et interstitielle. Les systèmes seront de plus en plus portables³⁴.

TAO : L'accent sera mis sur l'élaboration de techniques d'imagerie plus rapides, créant ainsi un besoin de nouveaux tubes à rayons X, de nouveaux capteurs, de nouvelles méthodes d'affichage de reconstruction d'image, etc. De l'équipement spécialisé, comme une TAO pour l'évaluation des traumatismes, un appareil sur arceau peu coûteux et des appareils mobiles sera mis au point. Les débouchés porteront sur la mise au point d'accessoires et d'instruments, principalement pour les études dynamiques^{35,36}.

Radiographie – imagerie simple par rayons X : Les innovations en technologie numérique toucheront autant les capteurs que les affichages. Les logiciels de traitement d'images auront de plus en plus d'utilisations cliniques. L'accent sera mis sur les systèmes plus petits, mobiles, et de nouveaux tubes à rayons X ainsi que d'autres sources de rayons X seront mis au point.

Radiographie par ordinateur / radiographie numérique : Le tandem pellicule-écran utilisé pour saisir des images radiographiques sera bientôt remplacé par un système de saisie numérique, de cette façon, des images provenant de différentes modalités pourront être intégrées à un dossier de patient électronique. L'introduction de scapteurs numériques jouera un rôle important dans la saisie d'images statiques (radiographie numérique) et d'images dynamiques (fluoroscopie numérique)³⁷.

Affichage, transmission et stockage de l'information : Lorsque les rayons X simples et la fluoroscopie feront appel à la saisie numérique, les images provenant de toutes les techniques d'imagerie pourront être affichées par ordinateur, transmises instantanément à ceux qui en auront besoin et stockées sur un média numérique. Les progrès constants en réseautique et en technologie informatique permettront aux services d'imagerie d'élaborer de nouveaux modèles organisationnels faisant appel à de vastes réseaux mondiaux ainsi qu'à la décentralisation et à la mondialisation de l'imagerie médicale³⁷.

Diagnostic assisté par ordinateur : Le diagnostic assisté par ordinateur sera l'un des avantages de la migration vers un format entièrement numérique. Des logiciels spécialisés seront mis au point afin d'aider les radiologistes et les autres cliniciens dans l'établissement d'un diagnostic. La possibilité d'amalgamer et d'afficher des images provenant de différentes modalités accélérera cette tendance³¹.

Médecine nucléaire : L'une des technologies clés de la médecine nucléaire demeure la radiopharmaceutique; dans ce domaine, les techniques d'imagerie moléculaire sont appelées à jouer un grand rôle¹². Les innovations en instrumentation continueront à suivre les tendances actuelles : la mise au point de systèmes spécialisés, comme des appareils de TEP peu coûteux et les caméras à rayonnement gamma à haute résolution³⁸.

Techniques d'optique et d'optoélectronique : Les techniques faisant appel à la lumière visible (y compris les spectres ultraviolet et infrarouge) joueront un rôle plus important en imagerie médicale dans l'avenir. Les techniques axées sur la biologie moléculaire permettront de mettre au point des marqueurs précis (p. ex., des protéines fluorescentes) détectables à l'aide de sondes interstitielles afin d'évaluer les fonctions des tissus et les maladies s'attaquant à ceux-ci, et pourraient permettre d'effectuer des biopsies *in vivo*. Des innovations dans les techniques de diaphanoscopie et de tomographie optique assistée par ordinateur sont également à prévoir³⁹.

Diagnostic, intervention et traitement effractifs minimaux guidés par l'image : Les techniques interventionnelles feront de plus en plus appel aux techniques d'imagerie, qui permettront de concevoir de nouvelles techniques interventionnelles et d'améliorer les techniques existantes. Les techniques de chirurgie effractives minimales d'un jour, qui permettent d'éviter l'hospitalisation, ou d'en réduire la durée, utiliseront divers outils d'imagerie et équipement chirurgical spécialisé. Les techniques d'ablation des tumeurs par la chaleur évolueront, et la robotique sera de plus en plus utilisée afin d'établir un pont entre l'imagerie et les techniques interventionnelles. De plus en plus, les sondes interstitielles seront utilisées comme capteurs à des fins de diagnostic et de surveillance ainsi que de guidage et de vérification de la délivrance d'agents de diagnostic et de traitement⁴⁰.

Nouveaux signaux : Il existe encore quelques fenêtres d'observations du corps qui pourraient être exploitées. Les cas les plus évidents sont la tomographie par impédance électrique et la magnétoencéphalographie (MEG), ainsi que l'imagerie optique à haute résolution.

Systèmes à modalités multiples : Des combinaisons de technologies intéressantes seront mises au point. Par exemple, combinées, les technologies de TAO et de TÉM, fonctionnant toutes deux en mode rotatoire, seront beaucoup plus efficaces qu'utilisées séparément. Les techniques d'angiographie par rayons X seront combinées aux techniques d'échographie, de TAO ou d'IRM afin d'offrir une meilleure définition du système vasculaire à des fins de diagnostic, de traitement et d'intervention. La MEG sera plus puissante si elle est combinée à la TEP ou à l'IRMf.

Partie 5 : CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Un certain nombre de facteurs suggérant une augmentation de la demande en techniques d'imagerie ont été décrits dans le présent document. Parmi ceux-ci, on compte la démographie, l'évolution technologique et, bien sûr, les changements dans la nature de la pratique médicale. Les hôpitaux et les cliniques du Canada entrent dans le XXI^e siècle munis d'équipement désuet et insuffisant. Ce handicap, à moins qu'il ne soit corrigé, constitue un déficit caché qui sera transmis aux générations futures.

La technologie d'imagerie médicale a un énorme potentiel de contribution à l'amélioration des soins de santé au cours du siècle qui commence et aura également, très certainement, le potentiel de résoudre certaines contraintes financières auxquelles font face les soins de santé. Malgré cela, d'importantes lacunes d'intégration des technologies d'imagerie et d'autres technologies dans le système de santé pourraient entraver non seulement la prestation des soins, mais également notre capacité en tant que pays de bénéficier des innovations industrielles dans ce domaine.

Pour régler ces problèmes, le groupe de travail sur les « besoins futurs en imagerie dans les soins de santé » propose les recommandations suivantes :

- 1. L'industrie canadienne doit être consciente des débouchés possibles en analyse, transmission et stockage d'images médicales. Ces débouchés dépendront de plus en plus de technologies (i.e. compression d'images, technologie de transmission à large bande, etc.) autres que celles qui sont utilisées principalement pour la génération d'images.**
- 2. La société et les personnes chargées d'établir les politiques en matière de soins de santé doivent se rendre compte de la nécessité de planifier une augmentation de la capacité d'imagerie dans l'avenir. Il est impératif de compenser pour les années de sous-financement des investissements en capital et des infrastructures des hôpitaux et des cliniques du Canada. Afin de résoudre le problème de pénurie de main-d'œuvre, il est nécessaire d'élaborer des stratégies visant à garder et à rapatrier les radiologistes canadiens.**
- 3. Il faut doter le système de soins de santé d'outils budgétaires et de systèmes financiers qui permettront et faciliteront l'intégration des innovations technologiques rentables. Le financement des soins de santé, y compris l'amortissement des coûts d'investissement, doit être stable, prévisible et indépendant des incertitudes politiques.**

Les partisans de la technologie dans les soins de santé risquent de sembler ne pas tenir compte de la nature bienveillante et compatissante de la médecine en tant qu'entreprise essentiellement à caractère humain. La technologie est un aspect nécessaire, mais non suffisant de la pratique médicale; il incombe aux intervenants de tous les niveaux de s'assurer que les appareils contribuent positivement aux soins de santé sans toutefois les déshumaniser. Afin de profiter du

potentiel énorme de la radiologie et des techniques connexes pour contribuer aux soins de santé au XXI^e siècle, il est important de comprendre tant les promesses que les limites de la technologie. Cependant, l'excellence dans les diagnostics et les traitements est, finalement, un facteur important de la prodigation de soins avec compassion.

Le comité directeur de la carte routière de l'imagerie médicale

Président :

D^r Aaron Fenster
Directeur, Laboratoires de recherche sur l'imagerie
The John P. Robarts Research Institute
London, Ontario
Courriel : afenster@irus.rrri.on.ca

Membres :

D^r Michael Barry
Département d'imagerie diagnostique
Installation de l'hôpital régional de Saint John
Saint John, Nouveau-Brunswick
Courriel : drmikebarry@health.nb.ca

M. Fred Doern
nir-vivo inc.
c/o CRNC - Institut du biodiagnostique
Winnipeg, Manitoba
Courriel : doern@nir-vivo.com

D^r Robert Ferguson
Chef, département de radiologie
Kingston General Hospital
Kingston, Ontario
Courriel : fergusor@kgh.kari.net

Mr. Doug Morrison
Gestionnaire supérieur
Deloitte & Touche LLP, Management Solutions
Toronto, Ontario
Email: doug.morrison@bmts.com

D^r Douglas Mowbray
(Association canadienne des radiologistes)
Radiologiste, Divers hôpitaux ruraux
Lucknow, Ontario
Courriel : dmowbray@hurontel.on.ca

M. Bruce Davey
Directeur, Ingénierie
Groupe des produits chirurgicaux
Cedara Software
Mississauga, Ontario
Courriel : bruce.davey@cedara.com

M. Bill Dobson
Conseiller en technologie industrielle
Programme d'aide à la recherche industrielle (PARI)
Toronto, Ontario
Courriel : bill.dobson@nrc.ca

D^r Brian C. Lentle
Professor émérite et ancien directeur
Département de radiologie
Vancouver General Hospital
Vancouver, C.-B.
Courriel : blentle@interchange.ubc.ca

M. Len Grenier
V.P. Engineering & Chief Technology Officer
A.L.I. Technologies Inc.
Richmond, British Columbia
Courriel : len@alitech.com

D^r Louis Renaud
Vice-Président, Recherche et développement
Electromed International Ltd.
Saint-Eustache, Québec
Courriel : louis.renaud@electromed.ca

M. Bill Brodie
(Association canadienne des technologues en
radiologie médicale)
Gestionnaire, Imagerie médicale
Institut et Hôpital Neurologiques de Montréal
Montréal, Québec
Courriel : william.brodie@muhc.mcgill.ca

M. Jim Herrewynen
Gestionnaire en chef
Mitra Imaging Inc.
Waterloo, Ontario
Courriel : Eric@mitra.com

D^r John Rowlands
Professeur, University of Toronto
Département de la biophysique médical
Scientifique supérieur, Sunnybrook &
Women's College Health Sciences Centre
Toronto, Ontario
Courriel : rowlands@srcl.sunnybrook.on.ca

Liste des membres du Groupe de travail 1

Codirecteurs :

D^r Brian C. Lentle
Professeur émérite et ancien directeur
Département de radiologie
Vancouver General Hospital
Vancouver (Colombie-Britannique)
Courriel : blentle@unixg.ubc.ca

D^r Walter Kucharczyk
Professeur et chef
Département de l'imagerie médicale
University of Toronto
Toronto (Ontario)
Courriel : w.kucharczyk@utoronto.ca

D^r Michael Bronskill
Directeur, Recherche en imagerie
Sunnybrook & Women's College Health Sciences
Centre
Toronto (Ontario)
Courriel : michael.bronskill@swchsc.on.ca

Membres :

D^r Patrice Bret
Professeur, University of Toronto
Radiologiste en chef
Département de l'imagerie médicale
Mount Sinai Hospital & University Health Network
Toronto (Ontario)
Courriel : pbret@mtsinai.on.ca

M. Joe Sardi
General Electric Medical Systems
Mississauga (Ontario)
Courriel : joe.sardi@med.ge.com

D^r David Fraser
Ancien président, RSNA
Ancien chef, Département de l'imagerie médicale.
QEII Health Sciences Centre
Halifax (Nouvelle-Écosse)
Courriel : fraser@rsna.org

M. Bill Brodie
(Association canadienne des techniciens en radiation
médicale)
Chef, Imagerie médicale
Institut et hôpital neurologiques de Montréal
Montréal (Québec)
Courriel : william.brodie@muhc.mcgill.ca

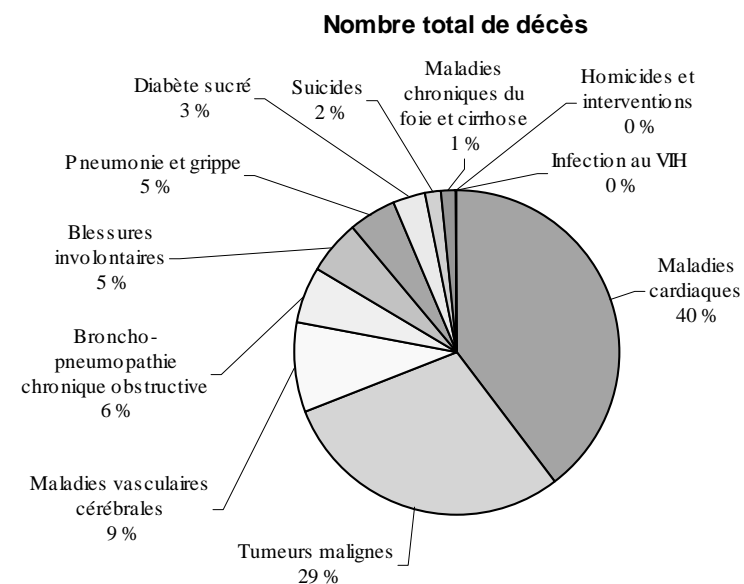
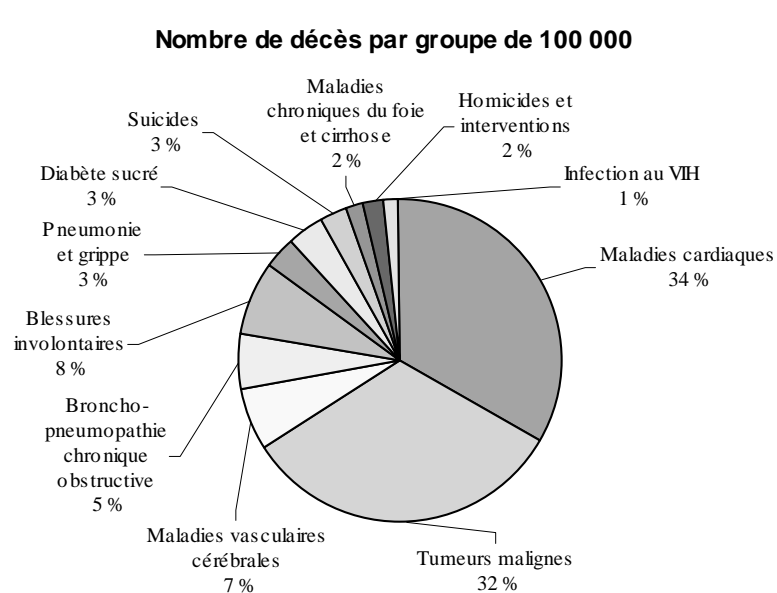
D^r Jill M. Sanders
Présidente
Office canadien de coordination de l'évaluation des
technologies de la santé (OCCETS)
Ottawa (Ontario)
Courriel : jills@ccohta.ca

D^r Pierre Bourgouin
Professeur de radiologie
Université de Montréal
Chef associé, Département de radiologie
Centre médical de l'Université de Montréal
Montréal (Québec)
Courriel : bourgou@attglobal.net

Secrétaire :

Diane Law
Direction générale des sciences de la vie
Industrie Canada
235, rue Queen
Ottawa (Ontario) K1A 0H5
Courriel : law.diane@ic.gc.ca

Principales causes de décès aux États-Unis en 1997



Cause du décès	Tous	Hommes	Femmes	Cause du décès	Tous	Hommes	Femmes
Maladies cardiaques	130,5	173,1	95,4	Maladies cardiaques	727 334	356 958	370 376
Tumeurs malignes	125,6	150,4	107,3	Tumeurs malignes	539 577	281 110	258 467
Blessures involontaires	30,1	42,9	17,8	Maladies vasculaires cérébrales	159 791	62 564	97 227
Maladies vasculaires cérébrales	25,9	27,9	24,2	Bronchopneumopathie chronique obstructive	109 029	55 984	53 045
Bronchopneumopathie chronique obstructive	21,1	26,1	17,7	Blessures involontaires	95 644	61 963	33 681
Diabète sucré	13,5	14,8	12,4	Pneumonie et grippe	86 449	39 284	47 165
Pneumonie et grippe	12,9	16,2	10,5	Diabète sucré	62 636	28 187	34 449
Suicide	10,6	17,4	4,1	Suicide	30 535	24 492	6 043
Homicides et interventions permises par la loi	8,0	12,5	3,3	Maladies chroniques du foie et cirrhose	25 175	16 260	8 915
Maladies chroniques du foie et cirrhose	7,4	10,5	4,5	Homicides et interventions permises par la loi	0	0	0
Infection au VIH	5,8	9,1	2,6	Infection au VIH	0	0	0

Principales causes de décès en É-U par groupe d'âges

<p>Jusqu'à un an</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Anomalie congénitale 2. Trouble dû à une naissance prématurée ou à un poids insuffisant à la naissance 3. Syndrome de la mort subite du nourrisson 4. Syndrome de détresse respiratoire 5. Complication durant la grossesse chez la mère 6. Complication au niveau du placenta, du cordon ombilical ou des membranes 7. Infection propre à la périnatalité 8. Blessure involontaire 9. Hypoxie intra-utérine et asphyxie des nouveaux-nés 10. Pneumonie et grippe
<p>1 à 4 ans</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Blessure involontaire 2. Anomalie congénitale 3. Tumeur maligne 4. Homicide et intervention permise par la loi 5. Maladie cardiaque 6. Pneumonie et grippe 7. Certains troubles survenant pendant la périnatalité 8. Septicémie 9. Tumeur bénigne 10. Maladie vasculaire cérébrale
<p>5 à 14 ans</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Blessure involontaire 2. Tumeur maligne 3. Homicide et intervention permise par la loi 4. Anomalie congénitale 5. Maladie cardiaque 6. Suicide 7. Pneumonie et grippe 8. Bronchopneumopathie chronique obstructive 9. Infection au virus de l'immunodéficience humaine 10. Tumeur bénigne 11. Maladie vasculaire cérébrale
<p>15 à 24 ans</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Blessure involontaire 2. Homicide et intervention permise par la loi 3. Suicide 4. Tumeur maligne 5. Maladie cardiaque 6. Anomalie congénitale 7. Infection au virus de l'immunodéficience humaine 8. Pneumonie et grippe 9. Bronchopneumopathie chronique obstructive 10. Maladie vasculaire cérébrale

25 à 44 ans

1. Blessure involontaire
2. Tumeur maligne
3. Maladie cardiaque
4. Suicide
5. Infection au virus de l'immunodéficience humaine
6. Homicide et intervention permise par la loi
7. Maladie chronique du foie et cirrhose
8. Maladie vasculaire cérébrale
9. Diabète sucré
10. Pneumonie et grippe

45 à 64 ans

1. Tumeur maligne
2. Maladie cardiaque
3. Blessure involontaire
4. Maladie vasculaire cérébrale
5. Bronchopneumopathie chronique obstructive
6. Diabète sucré
7. Maladie chronique du foie et cirrhose
8. Suicide
9. Pneumonie et grippe
10. Infection au virus de l'immunodéficience humaine

65 ans et plus

1. Maladie cardiaque
2. Tumeur maligne
3. Maladie vasculaire cérébrale
4. Bronchopneumopathie chronique obstructive
5. Pneumonie et grippe
6. Diabète sucré
7. Blessure involontaire
8. Maladie d'Alzheimer
9. Néphrite, syndrome néphrotique (ou néphrose)
10. Septicémie

Source: U.S Center for Disease Control

Calcul des investissements nécessaires en équipement de diagnostic de pointe au Canada

ANNEXE E

	TAO	IRM	Litho- tripteur	Équipement de radiothérapie	TÉP	TOTAL
Nombre moyen d'unités par population M pour les pays avec un PIB per capita élevé (Note 1)	15,7	4,7	1,6	7,6		
Nombre additionnel d'unités nécessaires par population M pour que le Canada dépasse la moyenne (Note 2)	7,6	3	1,1	0,8		
Nombre net d'unités nécessaires à ajouter pour que le Canada dépasse la moyenne	232	91	33	24 (Note 3)	10 (Note 4)	
Coût moyen* d'investissement par appareil	1	2,5	1,4	1,8	1,9	
Coût moyen d'implantation par appareil	0,35	2	0,25	0,5	0,5	
Coût total d'investissement et d'implantation nécessaire pour que le Canada dépasse la moyenne	313,2	409,5	54,5	55,2	24	856,4
Facteur de pondération de 85 % (Note 5)						151,1
Coût total d'investissement nécessaire pour que le Canada dépasse la moyenne						1007,5
Coût annuel moyen d'exploitation par unité d'équipement	0,5	1,2	0,24	0,25	0,5	
Coût total moyen d'exploitation nécessaire pour que le Canada dépasse la moyenne	116	109,2	7,9	6	5	244,1

* Tous les coûts et les investissements sont en millions de dollars

Source : Association canadienne des radiologistes

Note 1: Un PIB per capita élevé est défini comme étant = ou > 20 000 \$US de PPA (Pouvoirs de parité d'achat)

Note 2: En 1998, la population du Canada était de 30,6 millions (Statistiques Canada).

Note 3: En 1997, le Canada avait 47 appareils au cobalt 60, 112 accélérateurs linéaires et 52 appareils de curiethérapie. Les appareils au cobalt 60 sont remplacés graduellement par des accélérateurs linéaires à faible énergie. De plus, le Canada possède relativement peu d'accélérateurs linéaires à haute énergie; les 24 appareils supplémentaires seraient donc des accélérateurs à haute énergie.

Note 4: Des 2 000 appareils de TÉP dans le monde en 1998, l'Europe en possède 40 %; les É.-U., 40 % et le Canada, 3 % (principalement utilisés en recherche). Selon la population et le taux de croissance de l'utilisation de la TÉP, le Canada aurait besoin de 10 autres appareils pour être équivalent à l'Europe.

Note 5: L'équipement technologique de radiologie représente environ 85 % des coûts d'investissement en technologie de radiologie. Ce facteur (1/0,85), ou augmentation de 17,65 %, a donc été appliqué aux coûts d'investissement totaux nécessaires.

Biens d'équipement dans huit établissements canadiens, année financière 1997 - 1998

	ÉTABLISSEMENTS							
	1	2	3	4	5	6	7	8
APPAREIL Âge moyen (nombre)								
TAO*	7 (4)	6 (8)	3 (2)	3 (2)	4 (5)	3 (2)	5 (3)	3 (3)
IRM*	3 (2)	6 (4)	1 (2)	6 (1)	6 (2)	5 (1)	5 (1)	3 (3)
Échographie	7 (7)	3 (39)	6 (16)	6 (10)	5 (19)	6 (7)	11 (13)	9 (16)
Caméras à rayonnement gamma	9 (9)	7 (18)	7 (5)	7 (6)	5 (4)	8 (3)	10 (9)	3 (14)
Appareils d'angiographie	6 (3)	5 (9)	4 (3)	5 (4)	7 (4)	10 (2)	12 (4)	5 (3)
Lithotripteurs	1 (1)	-	-	-	-	-	4 (1)	10 (1)
Appareils de RF	15 (24)	8 (26)	8 (11)	11 (13)	11 (13)	8 (9)	15 (28)	12 (16)
Appareils de fluoroscopie	6 (11)	5 (10)	10 (4)	9 (5)	9 (7)	9 (2)	14 (18)	11 (8)
CAPITAL en millions de \$CAN								
Stocks de biens d'équipement	28	60	23	22	30	15	30	33
Réinvestissement en capital	0	40	12	12	25	8	0	30
Pourcentage de réinvestissement	0 %	7 %	5 %	6 %	8 %	5 %	0 %	9 %

*Âge depuis la dernière mise à jour importante

RÉFÉRENCES:

1. Röntgen WC, « On a new kind of rays » (traduction anglaise), dans *Nature*, vol. 53, 1896, p. 274-276.
2. Eisenberg RL, *Radiology: An Illustrated History*, St Louis, Mosby, 1992.
3. Hangiandreou NJ, Young JWR, Morin RL (éd), *Electronic Radiology Practice - Mechanical and Practical*, Chicago, Radiological Society of North America, 1999.
4. Division des publications des Nations Unis, Département des affaires économiques et sociales, *World Population 1998*, United Nations, 1999.
5. Canadian Institute for Health Information, « Provincial Government Hospital Expenditure by Age and Gender, by Province/Territory and Canada 1997 », dans *National Health Expenditures Data 1997*.
6. Foot, David K, Stoffman, Daniel. *Boom Bust & Echo: How to Profit from the Coming Demographic Shift*. Chapter 9: *The Health Care Crunch*. Macfarlane Walter & Ross, mai 1996.
7. Hoyert DL, Kochanek KD, Murphy SL, « Deaths: Final Data for 1997 », dans *National Vital Statistics Reports*, vol. 47, n° 19, 30 juin 1999, p. 1-105.
8. Rees M, « Cardiac imaging: present status and future trends », dans *Journal of Radiology*, vol. 70, 1997, p. 162-167.
9. Wielopolski PA, va Guens RJ, de Feyter PJ, Oudkerk M, « Coronary arteries », dans *European Radiology*, vol. 201, 1998, p. 798-802.
10. Bogousslavsky J., « On the attack », *Odyssey*, Vol. 3, 1997, p. 2-7.
11. Lewin JS, Connell CF, Duerk JL, Chung Y-C, Clampitt ME, Spisak J, Gazelle GS, Haaga JR, « Interactive MRI-guided radiofrequency interstitial thermal ablation of abdominal tumors: Clinical trial for evaluation of safety and feasibility », dans *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, vol. 8, n° 1, 1998, p. 40-47.
12. Ranney DF, « Biomimetic transport and rational drug delivery », dans *Biochem Pharmacol*, vol. 59, n° 2, 2000, p. 105-114.
13. Maisey MN, Dakin M, «The first five years of a dedicated clinical PET centre », dans *Clinical Positron Imaging*, vol. 1, 1998, p. 59-69.
14. Sackett DL, Haynes RB, Guyatt GH, Tugwell P, *Clinical Epidemiology: A Basic Science for Clinical Medicine*, Boston, Little Brown and Co., 1991, 2nd éd., 168 p.
15. Kaneko M, Eguchi K, Ohmatsu H, Kakinuma R, Naruke T, Suemasu K, Moriyama N, « Peripheral lung cancer: screening and detection with low-dose spiral CT versus

16. Johnson CD, Hara AK, Reeb JE, « Computer tomography colonography: a new method for detecting colorectal neoplasms », dans *Endoscopy*, vol. 29, 1997, p. 454-461.
17. Turnberg L. cité par Smith R, dans *Odyssey*, vol. 3, 1997, p. 16-18.
18. Decter, Michael, « A Plan to End the Hospital Crisis », dans *Maclean's, Roger's Media*, vol. 113, n° 3, 17 janvier 2000, p. 28-29.
19. Harriman D, McArthur W, Zelder M, *The Availability of Medical Technology in Canada: An International Comparative Study*, Vancouver, A Fraser Institute Occasional Paper, 1999.
20. Rankin RN, « Magnetic resonance imaging in Canada: dissemination and funding », dans *Canadian Association of Radiology Journal*, vol. 50, 1999, p. 89-92.
21. Muha L, « Pillars of Strength », dans *Odyssey*, vol. 3, 1997, p. 2-4.
22. Binkhuysen FHB, Puylaert CBAJ, « Influence of CT on radiologic utilization in the Netherlands », dans *Radiology*, vol. 169, 1998, p. 827-829.
23. Rao PM, Rhea JT, Novelline RA, Mostafavi AA, McCabe CJ, « Effect of computed tomography of the appendix on treatment of patients and use of hospital resources » dans *New England Journal of Medicine*, vol. 338, 1998, p. 141-146.
24. Campbell DR, « CAR National Survey: Manpower for Radiology », *Non publié*, 1998.
25. Hoh CK, Glaspy J, Rosen P, et coll. « Whole body FDG-PET imaging for staging of Hodgkin's disease and lymphoma », dans *Journal of Nuclear Medicine*, vol. 38, 1997, p. 343-348.
26. Baccarani U, Terrosu G, Donini A, Risaliti A, Bresadola F, « Future of minimally invasive surgery [letter] », dans *Lancet*, vol. 354, n° 9177, 7 août 1999, p. 513.
27. Rattner DW, « Future directions in innovative minimally invasive surgery », dans *Lancet*, vol. 353, suppl. 1, 1999, p. S112-5.
28. Rattner DW, « Beyond the laparoscope: minimally invasive surgery in the new millennium », dans *Surgery*, vol. 125, n° 1, 1999, p. 19-22.
29. Dewanjee MK, Ghafouripour AK, Kapadvanjwala M, Dewanjee S, Serafini AN, Lopez DM, Sfakianakis GN, « Noninvasive imaging of c-myc oncogene messenger RNA with indium-111-antisense probes in a mammary tumor-bearing mouse model », dans *Journal of Nuclear Medicine*, vol. 35, 1994, p. 1054-1063.
30. Lentle BC, Aldrich JA, « Radiological sciences, past and present », dans *Lancet*, vol. 350, 1997, p. 280-285.

31. Hunt DL, Haynes RB, Hanna SE, Smith K, « Effects of computer-based clinical decision support systems on physician performance and patient outcomes: A systematic Review », *Journal of the American Medical Association*, vol. 280, 1998, p. 1339-1346.
32. *OECD Health Data 1998*, Paris, OECD, 1998.
33. Gould SWT et A. Darzi, « The interventional magnetic resonance unit - the minimal access operating theatre of the future. » *Brit J Radiol*, 70, 1997: S89-S97.
34. Rizzato G, « Ultrasound transducers », dans *European Journal of Radiology*, vol. 27, suppl. 2, 1998, p. S188-95.
35. Butler WE, Piaggio CM, Constantinou C, Niklason L, Gonzalez RG, Cosgrove GR, Zervas NT, « A mobile computed tomographic scanner with intraoperative and intensive care unit applications », dans *Neurosurgery*, vol. 42, 1998, p. 1304-1310.
36. Fox SH, Tannenbaum LN, Ackelsberg S, He HD, Hsieh J, Hu H, « Future directions in CT technology », dans *Neuroimaging Clinics of North America*, vol. 8, n° 3, 1998, p. 497-513.
37. Bick U, Lenzen H, « PACS: the silent revolution », dans *European Radiology*, vol. 9, n° 6, 1999, p. 1152-60.
38. Phelps ME, Coleman RE, « Nuclear medicine in the new millennium », dans *Journal of Nuclear Medicine*, vol. 41, 2000, p. 1-4
39. Alfano RR, Demos SG, Galland P, Gayen SK, Guo Y, Ho PP, Liang X, Liu F, Wang L, Wang QZ, Wang WB, « Time-resolved and nonlinear optical imaging for medical applications », dans *Annals of the New York Academy of Science*, vol. 838, 1998, p. 14-28.
40. Jolesz FA, « Interventional and intraoperative MRI: A general overview of the field », dans *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, vol. 8, n° 1, 1998, p. 3-7.