

Science-Metrix

La biophotonique

Décembre 2002



Étude de positionnement du Québec
dans le domaine de la **biophotonique**

Préparé pour
Québec biophotonique

Science-Metrix

La biophotonique

Étude de positionnement du Québec
dans le domaine de la **biophotonique**



Préparé pour

Québec biophotonique

Sommaire

Ce rapport dresse un portrait global de la biophotonique et présente une étude du positionnement du Canada et du Québec dans ce domaine. Les données utilisées dans ce rapport proviennent de sources d'information multiples (articles scientifiques, livres, contenu disponible sur Internet et banques de données sur le financement de la recherche, sur les publications scientifiques et sur les brevets).

Les principaux constats de l'étude sont les suivants :

- La biophotonique semble être destinée à devenir un des fers de lance de la technologie en science de la santé et dans les autres sciences de la vie en favorisant l'essor d'approches plus précises, plus rapides et plus efficaces tout en étant moins dispendieuses et moins effractives. Elle pourrait être un élément pour rencontrer l'accroissement des besoins en santé malgré une volonté politique de rationaliser les dépenses à ce chapitre.
- La croissance ultrarapide qu'a connue la photonique dans les années 1990 est sans doute l'un des catalyseurs du développement de la biophotonique. Le Canada possède d'ailleurs une part non négligeable de ce marché avec des ventes prévues d'environ 12 milliards de dollars en 2003, soit approximativement 5% du marché mondial. Cela représente plus du double de la part canadienne du produit national brut à l'échelle du monde et environ dix fois sa part de la population mondiale.
- Au Canada, le niveau de financement lié à la recherche en photonique et en biophotonique est très bas. En effet, le CRSNG consacre 1,2% de son budget à la photonique et moins de 0,05% à la biophotonique alors que les IRSC consacrent environ 3% de leur financement à la recherche utilisant des techniques associées à la biophotonique.
- Le Québec obtient un financement canadien en santé et en optique-photonique proportionnel à sa population. Il reçoit une part importante du financement des IRSC en biophotonique mais une faible part de celui du CRSNG.
- 8 637 articles scientifiques apparaissant dans le *Science Citation Index* sont associés au champ de la biophotonique entre 1997 et 2001. 78% de ces articles sont issus des sciences de la vie dont 50% en médecine clinique, 25% en recherche biomédicale et 3% en biologie. La chimie en comprend 10% et la physique 7,5%. La microscopie, l'ophtalmologie, la dermatologie, la chirurgie et la biophysique sont les spécialités scientifiques les plus actives en biophotonique.

- À l'échelle internationale:
 - 35,1% des articles de biophotonique proviennent des États-Unis qui sont de loin les meneurs devant l'Allemagne (14,1%), le Japon (9,6%) et le Royaume-Uni (9,1%). Le Canada occupe le sixième rang avec 4,4% des articles.
 - La Suisse a la plus grande production per capita. Elle est suivie de la Suède, de l'Autriche et des Pays-Bas.
 - L'Autriche est le pays qui se spécialise le plus en biophotonique, suivie de la Suisse, de l'Allemagne et de la Russie.
 - En termes d'impact escompté des articles, selon le nombre de citations reçues, seuls les États-Unis sont au-dessus de la moyenne alors que le Canada, les Pays-Bas et le Royaume-Uni publient dans des revues de qualité égale à la moyenne.
 - Considérant l'ensemble de ces critères, le Canada se positionne au cinquième rang de la recherche en biophotonique. Les États-Unis sont premiers, suivis de près de l'Allemagne, des Pays-Bas et du Royaume-Uni.
- À l'échelle internationale, 14 des 25 institutions les plus actives sont américaines et cinq sont allemandes. L'Université de Toronto se situe au 14^e rang et est la seule institution canadienne parmi les 25 organismes les plus actifs en biophotonique à l'échelle internationale.
- À l'échelle canadienne:
 - L'Ontario domine la scène avec 42% des publications canadiennes. Il est suivi de loin du Québec (19,1%) et de la Colombie-Britannique (17,8%).
 - En termes d'articles per capita, le Manitoba devance les autres provinces canadiennes avec 27 articles par million d'habitants alors que la Colombie-Britannique en compte 17, l'Ontario 14 et le Québec n'en produit que 10.
 - Le Manitoba est la province la plus spécialisée en biophotonique suivi de la Colombie-Britannique. Le Québec ne se spécialise pas en biophotonique produisant 20% moins d'articles dans ce domaine que sa part dans l'ensemble canadien des publications scientifiques.
 - En termes d'impact escompté, le Québec et l'Ontario sont quelque peu sous la moyenne canadienne.

- La Colombie-Britannique est première au rang global, suivie de près du Manitoba. Le Québec, quant à lui, est dernier parmi les cinq provinces canadiennes ayant le nombre de publications le plus élevé.
- À l'échelle des villes canadiennes et sur l'ensemble des indicateurs, bien que Toronto ait le plus grand nombre de publications, Vancouver et Winnipeg affichent les meilleures performances. Au Québec, Montréal se classe plutôt mal malgré une troisième place au niveau du nombre de publications. De son côté, Sherbrooke, malgré un nombre moins important de publications (8^e place parmi les villes canadiennes), montre de très bons résultats, notamment par rapport à sa population et à sa part de publication habituelle.
- La *University of Toronto*, avec 57 articles, est l'institution canadienne publiant le plus en biophotonique, suivie de la *University of British-Columbia* (40), de *McMaster University* (35) et de *QLT Phototherapeutics* (30). Cette dernière est d'ailleurs la seule entreprise à se classer parmi le top 50 des institutions canadiennes et le top 200 mondial.
- 1 701 brevets dans la banque de données de la *United States Patent and Trademark Office* sont reliés à la biophotonique. Les États-Unis en possèdent plus de 75%, ce qui considérablement plus que leur proportion habituelle de l'ensemble des brevets. Le Japon, avec 160 brevets en biophotonique, obtient une proportion deux fois moindre des brevets en biophotonique que sa part de l'ensemble des brevets américains. Israël, avec 55 brevets, a une part 8 fois plus grande en biophotonique que pour l'ensemble des brevets. Finalement, le Canada est au cinquième rang avec 33 brevets. Soulignons pour terminer que la première institution canadienne est au 114^e rang du classement mondial.

Table des matières

Sommaire.....	i
Table des matières.....	iv
Introduction.....	1
Méthodes.....	2
Statistiques provenant d'internet	2
Statistiques scientométriques.....	2
Statistiques technométriques.....	5
Remarques	6
1 La biophotonique et ses applications	7
1.1 Les applications thérapeutiques de la biophotonique.....	8
1.2 Les applications diagnostiques de la biophotonique	9
1.3 L'application de la biophotonique à l'analyse.....	10
1.4 L'avenir de la biophotonique.....	10
2 Les champs constitutifs de la biophotonique	12
2.1 Les sciences de la vie	12
2.2 L'optique-photonique.....	15
3 La recherche en biophotonique	19
3.1 Marché de la biophotonique	19
3.2 Le financement de la recherche au Canada.....	19
3.3 Scientométrie	21
3.4 Technométrie	31
Conclusion	34

Introduction

Bien que la biophotonique soit un champ en émergence, on ne pourrait qualifier ses pratiques et ses techniques d'entièrement nouvelles (voir la première partie du rapport). Pourtant, il y a bien des facteurs nouveaux qui justifient l'émergence de ce néologisme. Tel que l'affirme le Conseil de recherche en sciences naturelles et génie, « [l]a biophotonique se situe à la croisée de deux grands domaines, ceux de la photonique et des sciences de la vie, entre lesquels il n'y avait guère eu d'interaction systématique »¹. Comme tout champ émergent, la biophotonique est intrinsèquement multidisciplinaire. Elle requiert la collaboration de physiciens, de chimistes, d'ingénieurs, de biologistes, de biotechnologues et de cliniciens. Ici, la biophotonique est définie comme *l'étude ou l'utilisation à des fins de thérapie, de diagnostic ou d'analyse, de l'interaction de la lumière avec le vivant*.

Ce rapport dresse un portrait global de la biophotonique en plus de comprendre une étude du positionnement du Canada et du Québec dans ce domaine en émergence. Les données proviennent de sources d'information multiples (articles scientifiques, livres, contenu disponible sur Internet et banques de données sur le financement de la recherche, sur les publications scientifiques et sur les brevets). L'étude utilise des indicateurs scientométriques et technométriques qui servent à positionner les pays, provinces, villes et institutions les uns par rapport aux autres en se servant de méthodes communes à tous.

Ce document est divisé en trois parties. La première décrit certaines des applications de la biophotonique et leurs avantages relativement aux solutions existantes, particulièrement dans le domaine biomédical. La seconde partie présente des données sur les domaines constitutifs de la biophotonique, soit l'optique-photonique et les sciences de la vie (santé humaine, agriculture, biotechnologie). La troisième partie présente une évaluation quantitative de la recherche en biophotonique en s'attardant plus spécifiquement aux cas du Canada et du Québec.

¹ www.nserc.ca/programs/real2000/submissions/gsc29_f.htm

Méthodes

Statistiques provenant d'internet

Certaines données présentées dans ce rapport proviennent d'informations disponibles sur Internet. Dans certains cas, ces données étaient déjà colligées et nous avons pris soin de vérifier les sources et de les citer. Dans d'autres cas, certaines transformations ont été effectuées à partir des sources primaires et une description de la méthode utilisée est insérée directement dans le rapport.

Statistiques scientométriques

Une partie de l'étude mesure l'activité scientifique en biophotonique à l'aide de mots-clés. Ces mots-clés ont servi à sélectionner des articles pertinents à partir de la banque de données *Science Citation Index* (SCI) produite par l'*Institute for Scientific Information* (ISI). Cette banque de données répertorie les informations bibliographiques de quelques 3 700 revues parmi les plus citées dans le domaine des sciences naturelles, du génie, de la recherche biomédicale et de la médecine clinique. Cette banque de données sert d'étalon dans la très grande majorité des études et des statistiques produites en bibliométrie depuis plus de vingt ans. Le corpus produit à partir du SCI a ensuite permis de dénombrer les articles associés à chacun des niveaux d'analyse, en occurrence, pays, provinces, villes, institutions.

Définition des mots-clés

Puisque la biophotonique est un domaine émergent, il n'existe pas encore de corpus de revues dans lequel se concentre l'essentiel de la production scientifique, tel qu'il en existerait par exemple pour la biologie. Par conséquent, la méthode privilégiée utilise des mots-clés dans les titres afin de sélectionner les articles pertinents. Comme peu de termes sont spécifiques à la biophotonique, il a été nécessaire de recourir à des cooccurrences de mots d'optique-photonique et des mots des sciences de la vie (tels que les termes «laser» et «tissue»). Cette méthode reflète l'aspect interdisciplinaire de la recherche en biophotonique. Des tests pilotes ont démontré qu'elle permet de constituer un corpus d'articles spécifiques à ce domaine.

Une étude de cooccurrence a été effectuée sur les titres de la conférence BIOS, un symposium annuel organisé par SPIE - *The International Society for Optical Engineering* (www.spie.org). Ce symposium est un des événements majeurs dans le domaine de la biophotonique. Plus de 5 000 titres de conférence ont été analysés pour la période 1997-2002. Les cooccurrences les plus fréquentes ont été conservées. Des paires de mots élaborées en conjuguant les mots les plus pertinents de l'optique-photonique et des sciences de la vie à partir de la banque de données Medline produite par la *National Library of Medicine* (www.nlm.nih.gov) ont complété la liste de cooccurrences initiale.

Ces cooccurrences ont ensuite été validées par un expert biophysicien, Louis Lafleur Ph. D. Une définition opérationnelle du champ a servi de guide tout au long de ce travail. La définition de la biophotonique retenue par l'expert est la suivante :

La création, la mise au point ou la validation de nouveaux outils, instruments, réactifs ou méthodologies basés sur l'interaction de photons non-ionisants avec la matière afin de développer des techniques ou des instruments pour la recherche, le diagnostic, le traitement et le suivi de pathologies chez les êtres vivants.

Cet exercice a permis de conserver les paires de mots sélectionnant des articles pertinents et d'éliminer les autres. Dans certains cas, les paires ont été précisées en excluant des mots afin d'éviter de sélectionner des articles hors du champ. Par exemple, les requêtes formées avec le mot laser ont été restreintes en excluant les mots relatifs à la technique du MALDI (*Matrix Assisted Laser Desorption Ionization*), celle-ci étant considérée par l'expert comme une technique non spécifique.

Production des statistiques scientométriques

Une fois l'ensemble de mots-clés déterminé, il a été converti en une requête en langage SQL (*Structured Query Language*) afin de construire le jeu d'articles de la biophotonique à partir de la banque de données SCI.

Au total, 8 637 articles (*article, note, review*) ont été sélectionnés à l'aide de cette procédure pour la période 1997-2001. Pour chacun de ces articles, un ensemble de données bibliographiques est disponible, notamment l'adresse et le nom de tous les auteurs. Un travail d'organisation de l'information a été effectué pour chaque adresse. D'abord, les différentes composantes de l'adresse ont été isolées afin d'identifier le pays, la province (dans le cas des adresses canadiennes), la ville et le nom de l'institution. Ensuite, un travail d'harmonisation a été effectué dans le but d'obtenir une seule appellation pour une même entité. En effet, le nom des institutions peut être écrit de nombreuses façons dans la banque de données. Par exemple, l'*University of British-Columbia* se retrouve sous plusieurs formes (i.e. UBC, UNIV-BRIT-COLUMB, UNIVERSITY-OF-BC) et est harmonisée sous la forme UNIV-BRITISH-COLUMBIA.

Enfin, les dénombrements ont été effectués en comptant, pour chaque entité, le nombre de publications distinctes retrouvées dans le sous-ensemble de la biophotonique. Par exemple, pour l'article suivant :

Granville DJ, Carthy CM, Jiang HJ, Shore GC, McManus BM, Hunt DWC. Rapid cytochrome c release, activation of caspases 3, 6, 7 and 8 followed by Bap31 cleavage in HeLa cells treated with photodynamic therapy. FEBS LETTERS. 437 (1-2): 5-10 OCT 16 1998.

Addresses:

QLT PhotoTherapeut Inc, Vancouver, BC V5Z 4H5, Canada

Univ British Columbia, St Pauls Hosp, Dept Pathol & Lab Med, Vancouver, BC V6Z 1Y6, Canada

McGill Univ, Dept Biochem, Montreal, PQ H3G 1Y6, Canada

- Cet article serait compté une fois pour le Canada dans un tableau comparatif des pays.
- Il serait compté une fois pour la Colombie-Britannique et une fois pour le Québec dans un tableau comparatif des provinces.
- Enfin, il serait compté une fois pour *QLT PhotoTherapeut Inc.*, une fois pour *Univ British Columbia* et une fois pour *McGill Univ* dans un tableau comparatif des institutions.

Ainsi, il ne faut pas s'étonner si l'addition des données dans un tableau désagrégé (pour les provinces par exemple) ne coïncide pas avec le chiffre apparaissant dans un tableau comprenant des données plus agrégées. Ceci n'est pas une erreur de calcul, mais plutôt une caractéristique structurelle liée à la collaboration scientifique.

Indice de spécialisation

L'indice de spécialisation (IS) sert à identifier dans quelle mesure la part des intrants ou des extrants d'un groupe dans un domaine donné se compare à celle d'un ensemble de référence dans ce même domaine. Par exemple, il pourrait s'agir de la part des publications du Canada en biophotonique relativement à celle du monde entier ou encore la part des investissements en biophotonique au Québec relativement à la part de ces investissements au Canada.

$$IS = \frac{(X_S/X_T)}{(N_S/N_T)}$$

X_S = la somme pour le sous-ensemble X dans la spécialité S;

X_T = la somme pour le sous-ensemble X dans toutes les spécialités confondues;

N_S = la somme pour le regroupement de tous les sous-ensembles dans la spécialité S;

N_T = la somme pour le regroupement de tous les sous-ensembles dans toutes les spécialités confondues.

Mesure de l'impact

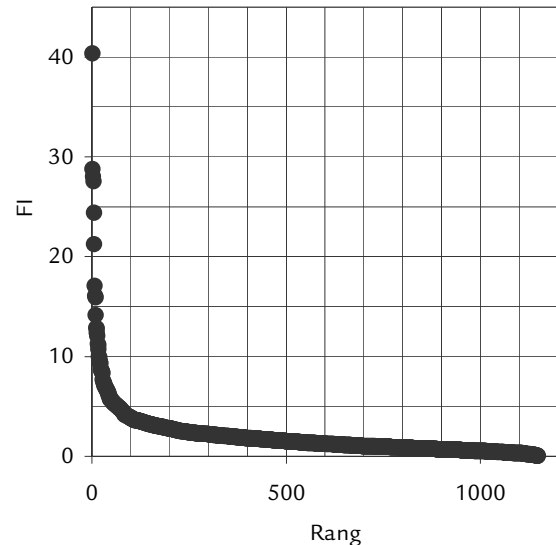
Le facteur d'impact (FI) est un indicateur calculé à chaque année par l'ISI. En scientométrie, il fournit une appréciation de l'impact escompté des articles sur la communauté scientifique en comptant les citations qu'ils reçoivent. L'exemple suivant montre comment ISI calcule le FI d'une revue pour, par exemple, l'année 1992:

Citations en 1992 aux articles publiés en 1990-91

Nombre d'articles publiés en 1990-91

En attribuant à chaque article le facteur d'impact de la revue dans lequel il est publié, on peut calculer le facteur d'impact moyen d'un pays, d'une province, d'une institution ou de tout autre ensemble pertinent. Toutefois, il faut noter que bien que les revues contenues dans le SCI soient réputées comme étant les plus fréquemment citées, il existe une très grande variabilité de la fréquence de citation des revues. Par exemple, le Graphique 1 présente le FI des revues qui ont publié des articles de biophotonique entre 1997 et 2000. Si on compare le FI de la revue la plus citée (40,4) avec celui de la moins citée (0,03), on obtient un rapport de près de 1 500. De fait, on observe des différences considérables quant au nombre de citations aux articles dans les différentes disciplines scientifiques. Ainsi, afin de résoudre ce problème, une des solutions consiste à relativiser le FI des articles par rapport à celui de leur spécialité scientifique. En attribuant à chaque article publié par un ensemble donné (pays, provinces, etc.) le FI de sa revue relativisé avec la moyenne des FI des articles de sa spécialité, on obtient le facteur d'impact relatif moyen (FIRM) du dit ensemble.

Graphique 1 - Distribution des facteurs d'impact des revues qui ont publié des articles de biophotonique (1997-2000)



Le FIRM se calcule tel que suit:

$$\text{FIRM} = \sum \frac{\text{FI}_x / \text{FIM}_s}{N}$$

FI_x = le facteur d'impact de l'article X (défini par le facteur d'impact de la revue dans lequel il est publié);

FIM_s = la moyenne des facteurs d'impact des articles de la spécialité de l'article X (définis par les facteurs d'impact des revues dans lesquelles ils sont publiés);

N = le nombre d'articles de l'ensemble pour lequel on mesure le FIRM.

Statistiques technométriques

Cette partie de l'étude fournit un portrait de la propriété intellectuelle tiré de la banque de données du *United States Patent and Trademark Office* (USPTO). Cette banque de données est la plus couramment utilisée dans les études de technométrie. Contrairement aux autres sources du même genre, elle contient un grand nombre de brevets provenant de pratiquement tous les pays du monde. Bien qu'il y ait un biais certain en faveur des États-Unis, il reste que cet outil est un des

meilleurs pour évaluer technologique. Les brevets du domaine de la biophotonique ont été sélectionnés à l'aide des classes pertinentes du système de classification du USPTO (<http://www.uspto.gov/go/classification/index.htm>).

Définition des classes de brevet

La totalité des classes de brevets (*Current US Classification*) a été examinée afin d'identifier celles qui réfèrent directement et strictement à la biophotonique. Au total, 73 sous-classes ont été conservées. Cette approche a été privilégiée car elle permet d'obtenir un bon équilibre entre exhaustivité et pertinence. En effet, des tests ont démontré que l'utilisation des mots-clés dans les titres est une méthode trop restrictive tandis que l'utilisation de ceux-ci dans les résumés ou dans l'ensemble des textes des brevets est beaucoup trop large.

Production des statistiques technométriques

Les données statistiques ont été produites en effectuant des décomptes dans le sous-ensemble de brevets en biophotonique au niveau des titulaires des brevets octroyés, c'est-à-dire le détenteur des droits de propriété intellectuelle.

Remarques

Aucune méthode ne permet d'identifier 100% des articles ou des brevets dans un champ d'activité donné. Tout d'abord, il y a constamment des divergences entre experts en ce qui a trait à la définition d'un champ. Deux experts ne s'entendent donc presque jamais sur les mots-clés à retenir pour représenter un champ. De plus, il est très difficile, d'une part, d'obtenir l'ensemble des mots qui sont utilisés dans un champ donné, et, d'autre part, de prévoir tous les contextes possibles de l'utilisation d'un mot. Ainsi, la construction d'un jeu de données sur un champ scientifique comprendra toujours une marge d'erreurs car il ne sélectionnera pratiquement jamais l'ensemble de la «population» au sens statistique et qu'il y aura toujours des articles qui seront inclus par «accident».

Les choix méthodologiques posés dans cette étude ont pour effet de minimiser les articles et les brevets erronément inclus (articles ou brevets hors du champ de la biophotonique). Cette décision a pour effet d'augmenter le nombre d'items ignorés dans les statistiques. Toutefois, il est important de mentionner que ce qui est présenté dans cette étude, ce sont des indicateurs. En soi, les statistiques ont une valeur comparative et non absolue, c'est-à-dire qu'elles permettent d'indiquer quel est le niveau d'activité dans une entité donnée comparativement à d'autres entités (pays, provinces, villes, institutions).

1 La biophotonique et ses applications

La biophotonique, définie précédemment comme *l'étude ou l'utilisation à des fins de thérapie, de diagnostic ou d'analyse, de l'interaction de la lumière avec le vivant*, est une pratique vieille de plusieurs milliers d'années. Par exemple, il y a 6 000 ans, les Égyptiens se servaient d'une concoction à base de plantes et de l'exposition aux radiations solaires pour soigner des maladies².

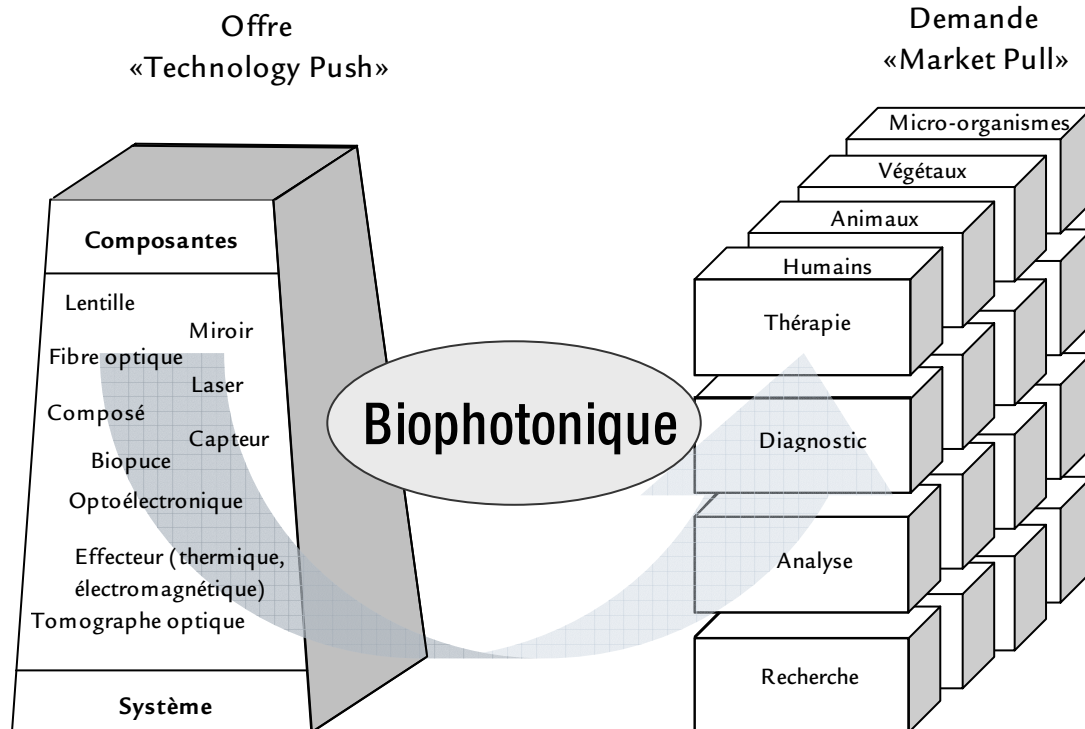
Afin de mieux comprendre ce qu'est la biophotonique telle que pratiquée de nos jours, il y a lieu de distinguer une période « classique », caractérisée par une approche empirique, et une période « moderne », caractérisée par l'utilisation des connaissances contemporaines et des technologies issues de la physique, de la médecine et de la biologie. L'évolution de la biophotonique s'inscrit dans un continuum, mais c'est sans doute le développement du laser en 1960 qui a marqué le début de la période moderne.

Plus particulièrement, l'émergence de la biophotonique moderne résulte de l'interaction de deux forces : 1) une offre scientifique et technologique en croissance; 2) une demande accrue du côté des applications dans les sciences de la vie.

Du côté de l'offre technologique, la biophotonique puise dans les composantes de base de l'optique moderne, comme les lasers et la fibre optique, mais aussi dans les systèmes technologiques plus complexes tels que les systèmes d'imagerie. Ces techniques permettent un nouvel éventail d'interventions dans le domaine biomédical. À des fins d'analyse, on peut diviser ces interventions en quatre principaux axes d'applications : le diagnostic, la thérapie, l'analyse et la recherche. D'ailleurs, la demande n'est pas limitée à la médecine mais s'étend à l'ensemble du domaine du vivant. Elle comprend bien sûr l'agriculture, elle-même préoccupée par les règnes animal et végétal, mais aussi le secteur des biotechnologies qui s'intéresse notamment aux micro-organismes (voir le schéma suivant).

Les applications de la biophotonique dans le domaine médical peuvent être abordées aussi bien en termes d'axes d'application, tels que le diagnostic ou la thérapie, qu'en termes de spécialités traditionnelles de la médecine, telles que la gastro-entérologie ou l'ophtalmologie. Nous les abordons ici sous l'angle des axes d'application en illustrant ceux-ci par des exemples tirés des différentes spécialités médicales.

² Perkins, R. 1987. Lasers in Medicine. in Whinnery, J.R., Ausubel, J.H. et Langford, H.D. *Lasers: Invention to Application*. National Academy of Engineering.



1.1 Les applications thérapeutiques de la biophotonique

L'ophtalmologie a bénéficié de l'une des premières applications modernes de la biophotonique avec la chirurgie au laser. Déjà, en 1954, un chirurgien allemand concentre le rayonnement solaire pour souder l'œil et éviter ainsi le détachement de la rétine, alors une cause fréquente de cécité³. Après son invention en 1960, le laser est rapidement adopté par les ophtalmologistes. Les bases des travaux multidisciplinaires de la biophotonique sont alors jetées : les équipes travaillant simultanément sur l'application du laser à l'ophtalmologie combinaient à la fois des cliniciens et des physiciens⁴.

Dans ce type d'application, le laser présente de nombreux avantages. Une de ses grandes qualités est d'effectuer des coupes très précises. En outre, le laser produit une cautérisation qui favorise une guérison plus rapide. Contrairement au scalpel, le laser ne nécessite pas de contact direct avec l'œil ou les autres organes à opérer, ce qui réduit le risque d'infection. Le risque est encore diminué du

³ Meyer Schwickerath, G. 1967. The history and development of photocoagulation. *American Journal of Ophthalmology*. 63: 1812-1814; Meyer Schwickerath, G. 1973. 25 years of photocoagulation. *Transactions: American Academy of Ophthalmology and Otolaryngology*. 77: OP3-OP5, cité par Spetz, J. 1995. Physicians and Physicists: The Interdisciplinary Introduction of Laser to Medicine in Rosenberg, N, Gelijns, A.C. et Dawkins, H. (Ed). *Sources of Medical Technology: Universities and Industry*. Institute of Medicine. p.46.

⁴ Spetz, J. 1995. *Op.cit.* p.48.

fait que le laser a un effet antibactérien. Ces qualités associées au laser expliquent d'ailleurs pourquoi des chirurgiens de nombreuses spécialités de la médecine ont rapidement emboîté le pas aux ophtalmologistes.

Les dermatologues, qui utilisent la lumière à des fins thérapeutiques depuis fort longtemps, ont également adopté le laser peu de temps après son invention. Une de ses premières applications a été dans le traitement de l'hémangiome. Avant l'utilisation du laser, il était pratiquement impossible de traiter ces tumeurs bénignes. Ceci illustre un autre aspect de la biophotonique : elle rend possibles de nouveaux traitements.

Un autre avantage du laser est qu'il produit une lumière cohérente, c'est à dire, entre autres propriétés, qu'elle a une longueur d'onde précise. Cette caractéristique, très prisée des oncologues, permet de détruire spécifiquement les tissus cancéreux.

En plus de ses propriétés thermiques, le laser est aussi utilisé pour obtenir des effets mécaniques. Par exemple, il est déjà utilisé pour détruire les calculs rénaux, notamment parce que cette solution est moins coûteuse et moins douloureuse que les autres techniques. On envisage également, entre autres, de l'employer de cette manière pour déloger les caillots dans le traitement des thromboses.

La fibre optique, tout comme le laser, est un instrument omniprésent dans la thérapie biophotonique. Elle est couramment utilisée de concert avec le laser, mais aussi, dans l'endochirurgie, de concert avec une source de lumière blanche.

La lumière, sans que sa source soit nécessairement un laser, sert d'activateur de médicaments photosensibles dans la thérapie dite photodynamique. Auparavant, il était très difficile de circonscrire l'espace et la durée d'activité des médicaments avec autant de précision.

1.2 Les applications diagnostiques de la biophotonique

Les applications de la biophotonique au diagnostic comprennent des opérations de mesure, de détection et de visualisation. Toutes ces opérations permettent non seulement d'effectuer un dépistage précoce, mais aussi d'offrir des thérapies plus appropriées.

Les méthodes optiques de mesure sont généralement moins effractives que les méthodes traditionnelles. Par exemple, l'utilisation de l'optique pour mesurer la concentration de glucose sanguin chez les diabétiques est moins effractive, et donc moins déplaisante, ce qui favorise des prises du taux de glucides plus fréquentes. Ce monitoring plus précis permet de régulariser la glycémie et ainsi d'améliorer la santé des utilisateurs. En fait, il est possible de mesurer la concentration d'un très grand nombre de substances de manière non effractive, comme dans le cas de l'oxygène sanguin mesuré à l'aide de l'oxymètre optique.

Les méthodes de détection optiques sont souvent plus sensibles tout en étant moins effractives et moins coûteuses. Par exemple, la spectroscopie des tissus, qui peut être considérée comme une « biopsie » optique, permet de détecter des tumeurs à un stade tellement embryonnaire qu'elles sont imperceptibles à l'aide des autres méthodes.

Jadis, les méthodes d'imagerie utilisant le spectre du visible, telles que la microscopie et l'endoscopie, permettaient uniquement de visualiser des surfaces. Pour regarder sous la surface, on avait recours à d'autres techniques telles que la radiologie, la résonance magnétique nucléaire et l'échographie. Ces dernières possèdent de nombreuses qualités mais aussi des lacunes parfois assez sérieuses. Par exemple, la radiologie a transformé la médecine moderne mais ses radiations ionisantes ont un effet mutagène. Ainsi, la technique dont on se sert pour améliorer la santé peut également entraîner des maladies. Certaines techniques, telle que l'échographie, sont moins dangereuses mais la qualité des images ne permet pas toujours d'effectuer un diagnostic précis. Il y a donc une forte demande pour développer des méthodes soit complémentaires, soit de substitution, afin de diminuer les effets néfastes des unes ou pour augmenter la qualité des images des autres. Cette demande commence à être comblée par des techniques telles que la tomographie optique cohérente, l'imagerie multiphotons et l'imagerie par fluorescence.

1.3 L'application de la biophotonique à l'analyse

L'analyse dans le domaine médical comprend un éventail d'opérations qui bénéficient d'une grande précision et d'une grande rapidité d'exécution. Par exemple, les champs de la génomique, de la protéomique et certaines portions de la bioinformatique se sont développés en grande partie grâce au développement des techniques de séquençage ultrarapide, elles-mêmes tributaires de l'utilisation des techniques optiques.

Encore une fois, le laser occupe une place centrale. Il est très performant, par exemple, pour percer des membranes cellulaires afin d'introduire des gènes. Il permet aussi de stimuler des nerfs pour étudier, entre autres, les mécanismes de la douleur. De plus, il peut servir de pince optique et permettre la manipulation précise d'objets microscopiques.

1.4 L'avenir de la biophotonique

La biophotonique est tributaire du développement de technologies dites « habilitantes », dont les lasers, les fibres optiques, les photodétecteurs, les biopuces optoélectroniques et les systèmes d'imagerie. Des percées scientifiques et technologiques favorisent le développement d'une panoplie d'instruments et de techniques optiques, photoniques et optoélectroniques.

À l'heure actuelle, avec le vieillissement de la population et l'augmentation rapide des coûts des soins de santé, la biophotonique fournit de nombreux moyens de réduire les coûts des services tout en maintenant, voire en augmentant, la qualité des interventions médicales :

- Moins effractive, réduisant ainsi la douleur ainsi que le temps nécessaire à la convalescence.
- Moins toxique, plus facile d'utilisation et offrant souvent une meilleure résolution, la biophotonique permet de mieux utiliser le savoir-faire du personnel spécialisé tels que les radiologistes.
- Plus rapide, plus simple et souvent plus sensible, elle favorise le dépistage précoce des maladies.

Bien que les bases de la biophotonique moderne aient été jetées dans les années 1960, c'est aujourd'hui que la biophotonique connaît une croissance importante à cause de l'explosion de l'industrie de l'optique-photonique et aux nouveaux besoins des sciences de la vie.

Dans un futur immédiat, ses techniques conjuguées aux infrastructures modernes de télécommunication favoriseront l'essor de la télémédecine. On peut aussi imaginer toute une panoplie d'utilisations dans le développement de la bionique. Par exemple, on peut penser à l'utilisation de la fibre optique pour transmettre les signaux à partir des prothèses jusqu'aux centres nerveux. On peut aussi penser à des systèmes de monitoring et de dépistage qui seraient implantés dans le corps humain de façon permanente. L'avenir de la biophotonique semble donc très prometteur.

2 Les champs constitutifs de la biophotonique

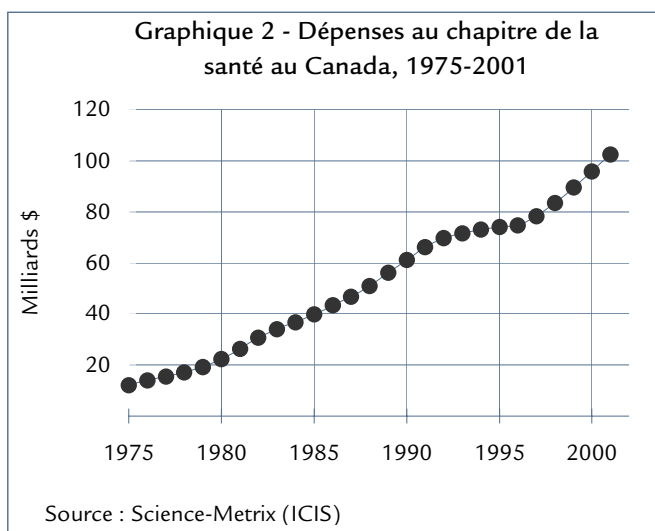
Cette partie de l'étude analyse l'importance des marchés et la distribution des institutions actives dans les industries constitutives de la biophotonique, c'est-à-dire, les sciences de la vie et l'optique-photonique.

2.1 Les sciences de la vie

Les dépenses au chapitre de la santé

Le domaine médical est un des marchés parmi les plus importants, non seulement compte tenu de la valeur des équipements achetés, mais également compte tenu des coûts des services médicaux et paramédicaux. À l'échelle des pays de l'OCDE, les dépenses en soins de santé durant l'année 2000 étaient de l'ordre d'environ 2 400 milliards de dollars (G\$) US⁵.

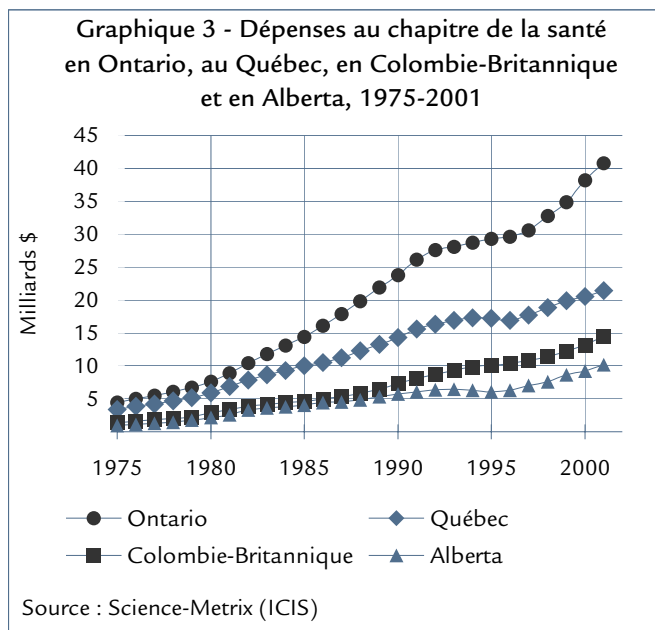
Selon des statistiques de l'Institut canadien d'information sur la santé (ICIS), plus de 100 G\$ CAN furent dépensés au cours de l'année 2001 pour assurer les soins de santé aux Canadiens⁶. Comme le montre le Graphique 2, les dépenses au chapitre de la santé ont connu une croissance importante depuis le milieu des années 1970, passant de 12,2 G\$ CAN en 1975 à 102 G\$ en 2001, soit un accroissement de 840 % sur 27 ans. On peut d'ailleurs constater qu'après la période d'austérité budgétaire du début des années 1990, les dépenses au chapitre de la santé ont recommencé à croître de façon importante dans la seconde moitié de cette décennie.



⁵ Estimé à partir de statistiques de l'OCDE (OCDE, 2002, Eco-Santé) sur les dépenses en soins de santé par habitant durant l'année 2000 calculées à la parité du pouvoir d'achat. Pour obtenir cette estimation, les données sur la population ont été tirées de statistiques du Bureau américain du recensement (<http://www.census.gov>). Les statistiques du Luxembourg et de la Pologne ont été calculées sur la base de l'année 1999 alors que celles de la Suède et de la Turquie tiennent compte de l'année 1998.

⁶ Institut canadien d'information sur la santé, 2002. *Les soins de santé au Canada*. Ottawa. ISBN 1-55392-019-8.

À l'échelle provinciale, les dépenses en santé suivent de près la forme observée à l'échelle du pays (Graphique 3). En particulier l'Ontario, qui domine l'ensemble canadien avec 40 % des dépenses de l'année 2001, a connu le même ralentissement et le même redémarrage que l'ensemble canadien dans les années 1990. Le Québec est deuxième, avec 21 % des dépenses canadiennes, alors que la Colombie-Britannique compte pour 14 % et l'Alberta pour environ 10 %.



Dû au vieillissement de la population, il est certain que les dépenses en santé iront

en augmentant puisqu'une grande part des dépenses est reliée aux soins prodigués aux personnes âgées. De plus, malgré des dépenses importantes au chapitre de la santé, le Canada a beaucoup à faire afin de moderniser ses équipements. En effet, l'Institut Fraser arrive à des constats désolants, classant le Canada au dernier rang des pays industrialisés en ce qui concerne la pénétration des technologies d'imagerie médicale, le reléguant au même plan que plusieurs pays en voie de développement⁷. Une étude de l'OCDE menée en 1997-1998 allait d'ailleurs dans le même sens⁸.

Pourtant, les gouvernements essaient tant bien que mal de rationaliser leurs dépenses et, à ce chapitre, le fardeau incombe souvent au secteur médical à cause de son importance dans le budget des états modernes. Les administrateurs de services de soins de santé auront donc besoin d'outils moins dispendieux et plus efficaces pour arriver à leurs fins d'autant plus que le milieu de la santé semble s'orienter vers une « médecine moléculaire », c'est-à-dire une approche de la maladie à l'échelle du gène et des molécules plutôt qu'à celui des cellules ou des organes. Ce virage bénéficierait à coup sûr du développement de systèmes d'imagerie plus précis et plus rapides d'utilisation. On a qu'à penser aux besoins en séquençage rapide pour le dépistage des maladies héréditaires et à l'amélioration des techniques d'imagerie des biomolécules pour répondre à l'intérêt croissant pour la protéomique.

⁷ Fraser Institute. 1999. *The Availability of Medical Technology in Canada: An International Comparative Study*, Vancouver.

⁸ OCDE. 1998. *OECD Health Data 1998*. Paris.

La recherche dans le domaine de la santé au Canada

Le financement de la recherche dans le domaine de la santé au Canada passe en grande partie par les Instituts de recherche en santé du Canada (IRSC). Mentionnons d'emblée que les sommes gérées par les IRSC sont modiques en regard de l'ensemble des dépenses en santé au Canada. En effet, celles-ci ne représentent que 0,5 % du total des dépenses. L'Ontario est la province qui reçoit les sommes les plus importantes, soit 198 millions de dollars (M\$) pour l'année financière 2002-2003 (Tableau 1)⁹. Le Québec est au second rang, recevant 141 M\$. L'Alberta et la Colombie-Britannique viennent loin derrière avec 60 et 54 M\$ respectivement.

Tableau 1 - Financement IRSC selon la province (2002-2003)

Province	Nombre d'institutions	Financement (\$)
Ontario	63	198,029,766
Québec	68	141,201,339
Alberta	10	59,775,323
Colombie-Britannique	21	54,478,722
Manitoba	7	16,399,824
Nouvelle-Écosse	8	11,087,284
Saskatchewan	3	6,958,496
Terre-Neuve	2	3,352,114
Nouveau-Brunswick	3	204,747
Île-du-Prince-Édouard	1	502,404
<i>Indéterminé</i>	4	27,923,512
Canada	190	519,913,531

Source: Science-Metrix (IRSC - octobre 2002)

D'autre part, le Québec est premier au chapitre du nombre de centres de recherche subventionnés par les IRSC, avec 68 centres, et il est suivi de près par l'Ontario, avec 63 centres. La Colombie-Britannique vient au troisième rang, avec 21 centres, alors que l'Alberta se classe au quatrième rang, avec 10 institutions subventionnées durant les années 2002-2003.

Ces chiffres montrent que le Québec est un acteur important dans le domaine de la santé au Canada. En matière de dépenses pour les soins de santé et de subventions reçues à l'échelle canadienne, il occupe le deuxième rang. En terminant, il faut noter que le financement reçu est proportionnel au bassin de population de chaque province.

L'agriculture et la biotechnologie

Il est clair que la recherche permettra de trouver à la biophotonique des applications importantes dans le secteur de l'agriculture et ce, autant pour la santé des animaux que pour celle des végétaux. Ce marché est d'ailleurs d'une très grande importance : à l'échelle des pays de l'OCDE, la valeur ajoutée en agriculture était de l'ordre de 600 G\$ US en 2001. Selon les statistiques de l'OCDE, la

⁹ Les données sources proviennent directement des IRSC et ont été envoyées le 25 septembre 2002. Il est possible que ces données aient changé depuis puisqu'il s'agit de chiffres sur l'année en cours.

valeur ajoutée produite en agriculture au Canada était de l'ordre de 23 G\$. Les techniques de la biophotonique pourraient jouer un rôle important dans l'agriculture en augmentant les rendements des cultures et en rendant les pratiques moins polluantes.

En plus des applications de la biophotonique pour les soins de santé et à la recherche sur les humains, les animaux et les végétaux, ce champ aura sans doute des incidences importantes sur l'étude et la culture des micro-organismes, ce qui se traduira notamment par des effets tangibles dans le développement des biotechnologies. Il s'agit d'une industrie très importante bien qu'elle soit beaucoup plus jeune que les précédentes. À l'échelle internationale, le marché de la biotechnologie est évalué à près de 200 G\$ US¹⁰. Le marché des biotechnologies au Canada varie quant à lui entre 1,3 G\$¹¹ et 13 G\$¹² selon les estimations. Ainsi, le secteur des sciences de la vie représente un marché de plus de 3 000 G\$.

2.2 L'optique-photonique

Le marché de la photonique et de l'optoélectronique est d'une ampleur considérable. Selon le ministère du Commerce américain, ce marché était de l'ordre de 140 G\$ US en 1998, alors qu'il est estimé à environ 230 G\$ pour l'année 2003 et de 470 G\$ pour l'année 2013. Les ventes canadiennes étaient pour leur part de l'ordre de 6 G\$ US en 2000 et sont estimées à environ 12 G\$ pour 2003¹³. La part du Canada dans la photonique à l'échelle internationale (5,2 %) est environ dix fois supérieure à sa proportion de la population mondiale (0,5 %) et plus du double de son pourcentage (2,2 %) du PNB à l'échelle mondiale. Il est donc clair que relativement à sa taille, le Canada occupe une place importante dans ce marché.

Le tableau 2 présente une compilation effectuée à partir d'une banque de données produite par le Consortium canadien pour la photonique (CCP) sur

Tableau 2 - Organismes canadiens de photonique par province (2002)

Province	Nombre
Ontario	138
Québec	41
Colombie-Britannique	38
Alberta	8
Nouvelle-Écosse	3
Nouveau-Brunswick	2
Saskatchewan	2
Manitoba	1
Canada	233

Source: Science-Metrix (CCP)

¹⁰ www.alp.org.au/kn/kn_report_020701.html#8

¹¹ www.hrhc-drhc.gc.ca/common/news/hrib/9660b.shtml

¹² www.sea.agr.ca/info/asia/e3254.htm

¹³ http://ep3.uwaterloo.ca/ep3/ep3what_is.html;
<http://www.tradepoint.org/ts/countries/canada/mrr/mark0024.html>

les organismes oeuvrant en photonique au Canada montre que l'Ontario est largement en tête¹⁴. Le nombre d'organismes au Québec est similaire à la Colombie-Britannique, avec environ 40 organismes dans les deux cas, soit environ le tiers du nombre d'organismes ontariens. Les autres provinces canadiennes ne sont pas vraiment dans la course.

Le Tableau 3 présente un dénombrement des organismes de recherche effectué par Science-Metrix au moyen d'Internet. Dans un premier temps, les expressions « photonics », « photonique », « optics », « optique » et « laser » ont été utilisées en restreignant les résultats au domaine « .ca ». La liste des laboratoires de recherche de chaque université canadienne a ensuite été scrutée afin de compléter ces recherches. Cette compilation suggère que le Québec et l'Ontario mènent la recherche en optique-photonique au Canada.

Un dénombrement des membres de l'Institut canadien pour les innovations en photonique (ICIP)¹⁵, présenté au Tableau 4, suggère que l'Ontario et le Québec dominent la scène canadienne pour ce qui est des chercheurs en photonique de haut calibre, l'Ontario faisant office de figure de proue.

Quant aux octrois du Conseil de recherches en sciences naturelles et génie (CRSNG), ils permettent de constater que le Québec est un meneur dans la recherche en optique-photonique. Tel qu'on peut l'observer au Tableau 5, le Québec mène clairement en physique¹⁶, avec 181 octrois dans le domaine de l'optique-photonique au cours des cinq dernières

Tableau 3 - Centres de recherche en photonique au Canada

Province	Nombre
Québec	14
Ontario	12
Nouvelle-Écosse	3
Alberta	1
Colombie-Britannique	1
Saskatchewan	1
Canada	32

Source: Science-Metrix (Internet)

Tableau 4 - Membres de l'ICIP (2002)

Province	Nombre
Ontario	36
Québec	25
Alberta	6
Nouveau-Brunswick	3
Colombie-Britannique	2
Manitoba	1
Nouvelle-Écosse	1
Canada	74

Source: Science-Metrix (ICIP)

¹⁴ Les données compilées par le CCP ont été harmonisées afin de compter les organismes une seule fois pour chaque province. Seuls les organismes oeuvrant directement en photonique ont été conservés.

¹⁵ Selon son site Internet, l'ICIP est « un réseau pancanadien qui regroupe environ 70 des meilleurs chercheurs canadiens provenant d'environ 25 universités et 12 centres de recherche gouvernementaux », voir <http://www.icip.ulaval.ca/apropos/intro.shtml#1>.

¹⁶ Octrois dont le sujet est soit « Laser », « Optique », « Photonique » ou « Propriétés optiques ».

années, alors que l'Ontario suit avec 154 octrois.

Tableau 5 - Octrois du CRSNG en photonique (1996-97 à 2000-01)

Province	Nombre d'octrois			Montant des octrois (\$)		
	Physique	Génie	Total	Physique	Génie	Total
Québec	181	126	307	5,977,027	4,554,841	10,531,868
Ontario	154	157	311	4,355,297	4,943,324	9,298,621
Colombie-Britannique	52	21	73	2,246,188	920,109	3,166,297
Alberta	24	33	57	930,780	1,202,212	2,132,992
Nouveau-Brunswick	21	8	29	344,965	182,300	527,265
Nouvelle-Écosse	1	11	12	5,220	492,748	497,968
Saskatchewan		10	10		357,244	357,244
Manitoba	8		8	136,997		136,997
<i>Autres</i>	<i>61</i>	<i>49</i>	<i>110</i>	<i>876,896</i>	<i>677,058</i>	<i>1,553,954</i>
Total	502	415	917	14,873,370	13,329,836	28,203,206

Source: Science-Metrix (CRSNG)

Le montant des octrois en physique est aussi substantiellement plus important au Québec, puisqu'il récolte 40 % du financement et l'Ontario moins de 30 %. Néanmoins, l'Ontario mène en ce qui a trait aux octrois en génie¹⁷ avec 157 octrois contre 126 pour le Québec et 5 M\$ de financement contre 4,6 M\$ pour le Québec. Au total, le Québec reçoit environ le même nombre d'octrois que l'Ontario et un financement total légèrement supérieur. Lorsqu'on considère la taille relative de ces deux provinces, on constate que le Québec est vraiment meneur dans ce domaine.

En somme, les données présentées ici montrent que l'Ontario et le Québec dominent la scène de la photonique au Canada. Alors que l'Ontario exerce un leadership clair sur le plan industriel, le Québec occupe une place favorable en ce qui a trait à la recherche.

Au cours des quarante dernières années, la photonique n'a jamais cessé d'évoluer, et les composantes optiques et optoélectroniques sont maintenant utilisées de façon courante aussi bien dans les produits de consommation de masse que dans les secteurs militaire et biomédical. Des facteurs technologiques contribuent cependant à bouleverser cette industrie. Prenons l'exemple de la fibre optique : elle pouvait transmettre les signaux de 700 conversations téléphoniques en 1983. Ce nombre est passé à 625 000 communications en 1996, et les techniques présentement à l'étude

¹⁷ Octrois dont le sujet est « Dispositifs photoniques ».

en laboratoire permettront bientôt de transmettre simultanément 150 millions de conversations¹⁸. À chaque augmentation de capacité correspond une diminution du nombre de composantes nécessaires pour constituer les artères des réseaux de télécommunication (fibres optiques, mais aussi lasers et récepteurs). C'est donc dire que les manufacturiers, déjà secoués par les conditions économiques qui prévalent dans leur créneau traditionnel, seront aussi victimes des progrès technologiques s'ils ne cherchent pas rapidement à se diversifier.

Le secteur biomédical est en cela parfait pour trois raisons. Premièrement, les systèmes médicaux ne peuvent être utilisés de façon simultanée : alors qu'une paire de lasers et une fibre optique remplissent les besoins de plusieurs millions d'utilisateurs dans les télécommunications, ces mêmes instruments ne peuvent être utilisés que par un seul médecin à la fois pour effectuer des traitements médicaux. Cela signifie qu'il est possible de vendre un nombre grandissant d'équipements aux hôpitaux plutôt qu'un nombre décroissant dans les télécommunications. Deuxièmement, le secteur des télécommunications et la biophotonique se rejoignent dans le secteur en émergence que constitue la télémédecine. En effet, ce sont les réseaux de télécommunication modernes qui véhiculeront les signaux issus des techniques d'imagerie de haute résolution pour faciliter l'intervention à distance des médecins. De ce fait, l'expérience des manufacturiers des télécommunications peut être réutilisée en partie. Finalement, la culture des télécommunications rejoint celle de la médecine car, dans ces deux domaines, les équipements doivent être sans faille. Ainsi, l'habitude de rencontrer des cahiers de charges exigeants peut être réutilisée dans la biophotonique.

¹⁸ <http://www.insight-corp.com/photronics.html>

3 La recherche en biophotonique

Cette troisième partie de l'étude vise à positionner le Québec et le Canada dans la recherche en biophotonique en utilisant de multiples indicateurs. Nous donnerons d'abord un aperçu du marché de la biophotonique (Section 3.1) puis du financement de la recherche au Canada (Section 3.2). Ceci sera ensuite suivi d'une analyse de la répartition de la recherche selon les disciplines scientifiques puis de statistiques sur les publications scientifiques dans SCI (Section 3.3) et, enfin, sur les brevets d'invention octroyés aux États-Unis (Section 3.4).

3.1 Marché de la biophotonique

Il est difficile d'estimer précisément l'importance du marché de la biophotonique. D'une part, les frontières de ce domaine sont encore floues et, d'autre part, les domaines d'application, de même que le rythme d'adoption des nouvelles technologies, sont encore inconnus. Selon *Photonic Research Ontario*, le marché mondial de la biophotonique était de l'ordre de 1,3 G\$ en 2000 et sera de 8 G\$ d'ici 2005. Eu égard à l'importance des marchés de la photonique et des sciences de la vie, il semble que cet estimé soit conservateur. Par exemple, l'*University of New York at Buffalo* estime ce marché à 25 G\$ US pour 2001.

3.2 Le financement de la recherche au Canada

Au Canada, des statistiques sur les octrois des IRSC et du CRSNG permettent d'identifier le niveau global de financement de la recherche en biophotonique et sa distribution par province.

La distribution du financement à l'échelle des provinces canadiennes a été évaluée en effectuant une recherche dans les titres et les mots-clés des projets financés par les IRSC avec les mots-clés de la photonique retenus pour identifier les articles de biophotonique. Il faut noter que ces montants ne sont pas strictement associés à de la recherche fondamentale mais peuvent aussi être versés à des utilisateurs de techniques novatrices de la biophotonique. Les statistiques présentées reflètent donc autant le soutien direct à la recherche que les effets indirects liés au financement des utilisateurs (demande).

Des 16 335 908 \$ de financement versés par les IRSC que l'on peut associer à la biophotonique pour l'ensemble du Canada (environ 3% du financement total par les IRSC), 36% est alloué à l'Ontario tandis que le Québec en reçoit 29% (Tableau 6). Les autres provinces suivent assez loin derrière, l'Alberta recevant environ 15% des deniers, la Colombie-Britannique 8% et le Manitoba près de 6%.

Cependant, quand on considère la population des provinces, c'est le Manitoba qui est le mieux financé avec 0,90 \$ par habitant, ce qui représente presque le double de la moyenne canadienne

(0,51 \$ par habitant). L'Alberta reçoit aussi un financement *per capita* nettement au-dessus de la moyenne canadienne avec près de 0,74 \$ par habitant alors que le Québec reçoit 0,63 \$ par habitant. Toutes les autres provinces sont au-dessous de la moyenne canadienne et la Colombie-Britannique, malgré qu'elle soit quatrième quant au montant total, obtient seulement 0,32 \$ de financement par habitant.

Lorsque le pourcentage de financement en biophotonique est divisé par celui reçu par chacune des provinces au chapitre de la recherche en santé en général (IS), c'est le Manitoba qui démontre le plus haut taux de financement relatif en biophotonique suivi par la Nouvelle-Écosse, l'Alberta puis le Québec. L'Ontario et la Colombie-Britannique reçoivent une part moins importante en biophotonique que pour la recherche en santé en général.

**Tableau 6 - Distribution du financement IRSC
en biophotonique par province (2002-03)**

Province	Octrois	Montant (\$)	Pourcentage	\$/habitant	IS
Ontario	76	5,908,495	36.1%	0.49	0.9
Québec	61	4,681,180	28.6%	0.63	1.1
Alberta	31	2,313,916	14.1%	0.74	1.2
Colombie-Britannique	18	1,305,988	8.0%	0.32	0.8
Manitoba	13	1,026,479	6.3%	0.89	2.0
Nouvelle-Écosse	4	463,528	2.8%	0.49	1.3
Saskatchewan	4	175,338	1.1%	0.17	0.8
Terre-Neuve	2	50,029	0.3%	0.09	0.5
<i>Indéterminé</i>	7	428,955	2.6%		0.5
Canada	216	16,353,908	100.0%	0.51	1.0

Source: Science-Metrix (IRSC - octobre 2002)

L'analyse des octrois du CRSNG dont le sujet est la photonique (suivant les mêmes catégories que dans la Section 2.2) et dont le domaine d'application est dans les sciences de la vie¹⁹ montre que l'Ontario reçoit le plus d'octrois et la somme la plus importante. L'Ontario est suivi par la Saskatchewan pour ce qui est de l'importance du financement mais cette province n'a reçu du financement que dans le cadre de quatre projets. Le Québec est troisième pour ce qui est du financement, recevant le cinquième du montant octroyé à l'Ontario au cours des cinq dernières années financières. Il faut toutefois être prudent lors de l'interprétation de telles données car les montants en jeu sont réduits et le nombre d'octrois limité. En fait, ces données montrent que la biophotonique reçoit très peu de financement de la part du CRSNG. Seulement 1,2 % des octrois du CRSNG sont dévolus à la photonique, alors qu'un minime 0,04 % des octrois est réservé aux recherches en biophotonique.

Tableau 7 - Octrois du CRSNG en biophotonique (1996-97 à 2000-01)

Province	Nombre	Montant (\$)
Ontario	17	344,368
Saskatchewan	4	235,800
Québec	6	68,066
Alberta	4	67,573
Colombie-Britannique	1	17,400
Nouveau-Brunswick	2	14,072
Manitoba	1	8,317
<i>Autres</i>	6	94,359
Canada	41	849,955

Source: Science-Metrix (CRSNG)

3.3 Scientométrie

Pour la période allant de l'année 1997 à l'année 2001, 8 637 articles ont été retenus comme étant des articles de biophotonique. Les trois quarts de ceux-ci sont publiés dans les revues associées à la médecine clinique (50%) et à la recherche biomédicale (25%). Outre ces disciplines, la chimie (10% des articles), la physique (7,5%) et la biologie (2,9%) représentent les autres domaines d'importance (Tableau 8).

Dans le domaine de la médecine clinique, la spécialité la plus active est l'ophtalmologie: 5% des articles d'ophtalmologie du SCI sont dans le domaine de la biophotonique alors que seulement 0,3% des articles du SCI sont en biophotonique. Les autres spécialités importantes sont la dermatologie, la chirurgie, l'urologie, et l'oto-rhino-laryngologie. Dans le domaine de la recherche biomédicale, les spécialités qui font le plus de biophotonique sont la microscopie, la biophysique et le génie biomédical.

¹⁹ Agriculture et produits alimentaires primaires; Sciences de la vie; Sciences médicales et de la santé; Appareils et instruments médicaux; Produits pharmaceutiques à usage vétérinaire; Produits pharmaceutiques administrables à l'homme; Génie biomédical; Santé publique; Santé publique, éducation et services sociaux.

**Tableau 8 - Articles de biophotonique par discipline et par spécialité
(1997-2001)**

Discipline Spécialité	Articles de biophotonique	Tous les articles de SCI	% en biophotonique
Médecine clinique	4,339	873,443	0.5%
Ophtalmologie	826	16,619	5.0%
Chirurgie	687	38,256	1.8%
Dermatologie et maladies vénériennes	389	18,764	2.1%
Cancer	324	63,401	0.5%
Médecine nucléaire et radiologie	273	36,684	0.7%
Neurologie et neurochirurgie	262	107,453	0.2%
Urologie	185	13,545	1.4%
Médecine générale	182	71,738	0.3%
Système cardio-vasculaire	177	44,044	0.4%
Dentisterie	145	16,952	0.9%
Oto-rhino-laryngologie	144	12,560	1.1%
Gastro-entérologie	126	23,534	0.5%
Pharmacologie	125	78,594	0.2%
Autres	494	331,299	0.1%
Recherche biomédicale	2,030	441,080	0.5%
Biochimie et biologie moléculaire	1,004	162,694	0.6%
Microscopie	181	2,650	6.8%
Génie biomédical	177	18,046	1.0%
Biologie cellul., cytologie et histologie	176	26,548	0.7%
Recherche biomédicale - général	165	58,071	0.3%
Biophysique	101	6,168	1.6%
Autres	226	166,903	0.1%
Chimie	867	361,895	0.2%
Chimie analytique	485	45,104	1.1%
Chimie physique	174	108,256	0.2%
Chimie - général	137	74,325	0.2%
Autres	71	134,210	0.1%
Physique	652	404,988	0.2%
Optique	386	32,118	1.2%
Autres	266	372,870	0.1%
Biologie	249	204,515	0.1%
Agriculture et agro-alimentaire	101	47,225	0.2%
Autres	148	157,290	0.1%
Génie	126	238,205	0.1%
Mathématique	2	58,537	<0,1%
Psychologie	3	14,925	<0,1%
Sciences de la terre	37	149,962	<0,1%
Indéterminée	332	85,451	0.4%
TOTAL	8,637	2,833,001	0.3%

Source: Science-Metrix & OST-CIRST (SCI)

Le Tableau 9 montre que ce sont les pays du G7 qui dominent la scène de la biophotonique. En particulier, les États-Unis dominent largement (35% des articles)²⁰ et le Canada vient au sixième rang avec 4,4% de présence dans les articles. Lorsque la production scientifique est divisée par la population de chaque pays, il ressort que ce sont surtout des pays germanophones et anglophones qui dominent le domaine. La Suisse est le plus important producteur *per capita*, suivi de la Suède, de l'Autriche, des Pays-Bas, de l'Allemagne et du Royaume-Uni. Le Canada, au septième rang, vient tout juste avant les États-Unis qui occupent le huitième rang lorsque sa population est prise en compte.

Tableau 9 - Articles de biophotonique des pays les plus actifs (1997-2001)

Pays	Nombre	% du monde	Nb par million d'habitants	IS	FIRM
États-Unis	3,032	35.1%	11.1	1.1	1.2
Allemagne	1,218	14.1%	14.8	1.5	0.9
Japon	830	9.6%	6.6	0.9	0.9
Royaume-Uni	785	9.1%	13.2	1.0	1.0
France	428	5.0%	7.2	0.7	0.9
Canada	383	4.4%	12.4	1.0	1.0
Italie	336	3.9%	5.8	0.9	0.8
Pays-Bas	316	3.7%	20.0	1.4	1.0
Suisse	266	3.1%	36.7	1.5	0.9
Russie	249	2.9%	1.7	0.8	0.5
Chine	244	2.8%	0.2	0.9	0.6
Suède	192	2.2%	21.6	1.0	0.9
Espagne	188	2.2%	4.7	0.7	0.9
Autriche	164	1.9%	20.2	1.9	0.9
Australie	136	1.6%	7.2	0.6	0.9
Monde	8,637	100%	1.4	1.0	0.9

Source: Science-Metrix & OST-CIRST (SCI)

L'indice de spécialisation, rappelons-le, tient compte du pourcentage de production dans un champ spécifique divisé par le pourcentage de production tous champs confondus. Si un pays produit 2% des articles de biophotonique et 1% des articles scientifiques toutes spécialités confondues, alors son IS sera de 2. Un indice supérieur à 1 montre qu'un pays est spécialisé dans la spécialité considérée alors qu'un indice inférieur montre qu'un pays produit relativement moins

²⁰ Puisque les pays collaborent entre eux dans la production scientifique, les calculs présentés dans ces tableaux peuvent être considérés comme des taux de présence

dans la spécialité que dans tous les champs confondus. Cet indicateur montre que l'Autriche, la Suisse, l'Allemagne et les Pays-Bas sont les plus spécialisés en biophotonique, confirmant que les pays à traditions germaniques occupent une position de meneur dans le champ. Le Canada occupe la septième position en termes de spécialisation de sa production scientifique dans le domaine de la biophotonique.

Le prochain indicateur utilisé est le facteur d'impact relatif moyen. Le FIRM associe le facteur d'impact d'une revue à chaque article publié et des moyennes normalisées par spécialités sont ensuite calculées. Il s'agit ici d'un indicateur de la qualité de la production scientifique. Ce sont les États-Unis qui publient en moyenne dans les revues les plus citées suivis immédiatement par les Pays-Bas et par le Canada au troisième rang.

Le Tableau 10 présente une analyse multicritère se basant sur les indicateurs présentés dans le tableau précédent. Pour chaque indicateur, le rang 1 est attribué au pays le plus performant. Le rang global tient compte de la moyenne des rangs. Malgré que les États-Unis souffrent en termes d'articles *per capita* et d'indice de spécialisation, ils occupent le premier rang globalement, aidés par leur nombre absolu de publications et leur facteur d'impact élevé. L'Allemagne vient au second rang aidé par son nombre absolu de publications et son indice de spécialisation.

Tableau 10 - Analyse multicritère des articles de biophotonique.
Rang des pays les plus actifs (1997-2001)

Pays	Nombre	<i>Per capita</i>	IS	FIRM	Rang global
États-Unis	1	8	5	1	1
Allemagne	2	5	3	6	2
Pays-Bas	8	4	4	2	3
Royaume-Uni	4	6	8	4	4
Canada	6	7	7	3	5
Suisse	9	1	2	12	6
Suède	12	2	6	5	7
Autriche	14	3	1	7	7
France	5	9	13	8	9
Japon	3	11	10	11	9
Italie	7	12	11	13	11
Australie	15	10	15	9	12
Chine	11	15	9	14	12
Espagne	13	13	14	10	14
Russie	10	14	12	15	15

Source: Science-Metrix & OST-CIRST (SCI)

Le Japon, au troisième rang pour ce qui est du nombre de publications, glisse au 10ième rang lorsqu'on tient compte de l'ensemble des critères. Les Pays-Bas, dont le nombre absolu de publications n'est pas très élevé, se hissent pourtant au troisième rang global, aidés surtout par la qualité de leurs publications (FIRM). Le Canada se situe au cinquième rang global aidé surtout par la qualité de ses publications.

Le Tableau 11 présente un décompte des publications des 25 institutions les plus actives à l'échelle internationale. Ce palmarès est clairement dominé par les États-Unis avec 14 institutions parmi les plus productives. Les Allemands sont au deuxième rang, tout comme ils le sont au chapitre du nombre de publications. Le Canada possède une institution parmi les 25 meneurs : *University of Toronto*.

**Tableau 11 - Articles de biophotonique des 25 institutions
les plus actives à l'échelle internationale (1997-2001)**

Institution	Pays	Nombre
Harvard University	États-Unis	184
University of Texas	États-Unis	152
University of London	Royaume-Uni	139
University of California, Irvine	États-Unis	122
Russian Academy of Sciences	Russie	113
Massachusetts Institute of Technology	États-Unis	94
Ludwig-Maximilians-Universität München	Allemagne	88
Max-Planck-Gesellschaft	Allemagne	80
Case Western Reserve University	États-Unis	75
University of Pennsylvania	États-Unis	72
Massachusetts General Hospital	États-Unis	66
Duke University	États-Unis	64
University of Tokyo	Japon	64
Universität Wien	Autriche	64
Universität Regensburg	Allemagne	62
University of California, San Diego	États-Unis	57
University of Toronto	Canada	57
Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg	Allemagne	56
Freie Universität Berlin	Allemagne	55
Stanford University	États-Unis	52
University of California, Los Angeles	États-Unis	51
Cornell University	États-Unis	50
École polytechnique fédérale de Lausanne	Suisse	50
University of Illinois	États-Unis	49
Johns Hopkins University	États-Unis	47

Source: Science-Metrix & OST-CIRST (SCI)

Lorsqu'on observe le Canada de façon plus désagrégée, on note que l'Ontario domine largement avec 42% des articles (Tableau 12). Le Québec est assez loin derrière l'Ontario avec 19 % des publications et est suivi de très près par la Colombie-Britannique avec 18 %. L'Alberta (11 %) et le Manitoba (8 %) font aussi partie de la course. Les autres provinces ont un nombre de publications négligeable et se partagent environ 5 % des publications canadiennes. Par ailleurs, le Manitoba est la province qui publie le plus grand nombre d'articles *per capita* : environ 27 publications par million d'habitants. Vient ensuite la Colombie-Britannique (17) alors que le Québec est légèrement sous la moyenne canadienne avec environ 10 publications par million d'habitants.

Tableau 12 - Distribution des articles de biophotonique des provinces canadiennes (1997-2001)

Province	Nombre	% du Canada	Nb par million d'habitants	IS	FIRM
Ontario	161	42.0%	14.0	0.9	0.9
Québec	73	19.1%	9.9	0.8	0.9
Colombie-Britannique	68	17.8%	16.9	1.3	1.1
Alberta	42	11.0%	14.2	0.9	1.3
Manitoba	31	8.1%	27.1	2.1	1.0
Nouvelle-Écosse	14	3.7%	14.9	0.9	1.3
Saskatchewan	5	1.3%	4.9	0.3	0.8
Île-du-Prince-Édouard	4	1.0%	29.1	2.5	1.1
Terre-Neuve	2	0.5%	3.7	0.4	0.9
Nouveau-Brunswick	0	0.0%	0.0	0.0	-
Canada	383	100%	12.4	1.0	1.0

Source: Science-Metrix & OST-CIRST (SCI)

L'indice de spécialisation permet de constater que le Manitoba consacre un effort relativement élevé en biophotonique, soit le double de la moyenne canadienne. La Colombie-Britannique se spécialise aussi en biophotonique avec une part d'articles dans ce domaine de 30% supérieure à la moyenne canadienne. L'Ontario, l'Alberta et le Québec sont, quant à eux, sous spécialisés en biophotonique, le Québec étant le moins spécialisé des trois avec un IS de 0,8.

Au plan de l'impact des publications, c'est l'Alberta qui mène avec un FIRM de 1,3. La Colombie-Britannique possède aussi un score supérieur à la moyenne mondiale avec 1,1. Le Québec et l'Ontario ont un impact inférieur (0,9) à la moyenne canadienne.

Le Tableau 13 considère l'ensemble des variables présentées sur les provinces afin d'en dégager un portrait global. L'analyse multicritère montre que malgré que la Colombie-Britannique soit troisième relativement au nombre de publications, elle obtient le premier rang global grâce à son classement de deuxième rang pour tous les autres indicateurs. Le Manitoba aussi se classe bien et

ce, malgré son cinquième rang au plan du nombre des publications. Rappelons qu'il est premier quant aux publications *per capita* et quant à l'IS. Enfin, on peut noter que le Québec est dernier, obtenant la cinquième position pour tous les critères sauf pour le nombre de publications où il est deuxième.

Tableau 13 - Analyse multicritère des articles de biophotonique.
Rang des provinces les plus actives (1997-2001)

Province	Nombre	<i>Per capita</i>	IS	FIRM	Rang global
Colombie-Britannique	3	2	2	2	1
Manitoba	5	1	1	3	2
Alberta	4	3	4	1	3
Ontario	1	4	3	4	3
Québec	2	5	5	5	5

Source: Science-Metrix & OST-CIRST (SCI)

Bien que nous puissions faire des observations intéressantes en étudiant les volumes de publications à l'échelle des villes canadiennes, il faut être prudent dans l'interprétation des résultats car les nombres sont souvent très petits (Tableau 14).

Il n'est pas surprenant de retrouver Toronto au premier rang car c'est la plus grande ville canadienne et on y retrouve l'*University of Toronto*, première quant au volume de publications scientifiques en général, mais aussi première au plan des articles de biophotonique. Vancouver vole la deuxième place à Montréal, et ce malgré que Montréal est deuxième aux plans de la population et des publications scientifiques en général. Ceci se reflète d'ailleurs par un nombre de publication par million d'habitants (31,79) et un IS (1,50) plutôt élevé pour Vancouver et assez bas pour Montréal (12,21 articles par million d'habitants et un IS de 0,60). D'autres villes ont un nombre d'articles par million d'habitants assez élevé, le leader incontestable étant Sherbrooke avec 111,51, suivi d'assez près de Guelph avec 93,74 et ensuite de Kingston avec 81,72 articles par million d'habitants.

Bien que Trois-Rivières possède l'indice de spécialisation le plus élevé, il faut interpréter cette donnée avec circonspection car cette ville n'a publié que 6 articles sur une période de 5 ans. Sherbrooke est deuxième au plan de l'IS et possède un nombre de publications plus significatif avec 17 articles en 5 ans. Winnipeg a un IS de 2,21 et possède un nombre plus élevé de publications (31). Montréal s'en tire beaucoup moins bien avec 40% moins de publications en biophotonique que ce qu'on s'attendrait en se basant sur son nombre de publications en général.

Au plan de l'impact des publications, c'est Halifax qui affiche la meilleure performance avec un FIRM de 1,31. La ville est suivie de près par Calgary (1,28) puis par Edmonton (1,21). Vancouver, avec un nombre relativement important de publications, produit aussi des articles de bonne qualité avec un FIRM de 1,13. Montréal affiche quant à elle un FIRM de 0,75, ce qui est un des moins bons

scores des villes les plus actives. Il faut d'ailleurs noter qu' hormis Sherbrooke, les villes québécoises affichent un FIRM plutôt bas relativement aux autres villes canadiennes.

Tableau 14 - Articles de biophotonique des villes les plus actives (1997-2001)

Ville	Nombre	% du Canada	Nb par million d'habitants	IS	FIRM
Toronto	74	19.3%	15.0	1.0	0.9
Vancouver	64	16.7%	31.8	1.5	1.1
Montréal	42	11.0%	12.2	0.6	0.8
Hamilton	35	9.1%	52.9	1.7	0.9
Winnipeg	31	8.1%	45.6	2.2	1.0
Edmonton	28	7.3%	30.4	1.0	1.2
Halifax	18	4.7%	51.3	1.3	1.3
London	17	4.4%	40.7	1.0	0.9
Ottawa-Hull	17	4.4%	16.0	0.5	0.9
Sherbrooke	17	4.4%	111.5	2.9	1.1
Calgary	13	3.4%	14.2	0.7	1.3
Kingston	12	3.1%	81.7	1.0	0.7
Guelph	11	2.9%	93.7	0.9	0.8
Québec	10	2.6%	14.5	0.5	0.9
Trois-Rivières	6	1.6%	42.3	5.3	0.7
Canada	383	100%	12.4	1.0	1.0

Source: Science-Metrix & OST-CIRST (SCI)

Bien que, dans le Tableau 15, Vancouver apparaisse au premier rang des cinq villes les plus actives au Canada devant Winnipeg, Hamilton et Toronto, ces quatre villes ont des rangs moyens très similaires. Montréal est au dernier rang partout sauf dans le nombre de publications pour lequel elle est troisième.

Tableau 15 - Analyse multicritère des articles de biophotonique.
Rang des villes les plus actives (1997-2001)

Ville	Nombre	<i>Per capita</i>	IS	FIRM	Rang global
Vancouver	2	3	3	1	1
Winnipeg	5	2	1	2	2
Hamilton	4	1	2	4	3
Toronto	1	4	4	3	4
Montréal	3	5	5	5	5

Source: Science-Metrix & OST-CIRST (SCI)

Au plan des institutions (Tableau 16), on peut noter que *QLT* est la seule entreprise se classant parmi les 50 organismes canadiens les plus actifs en biophotonique. Elle est d'ailleurs la seule entreprise canadienne parmi les 200 plus importantes institutions en biophotonique dans le monde. Son indice de spécialisation est très élevé car la majorité de ses publications font partie de la biophotonique. Le *Hamilton Regional Cancer Centre* a aussi un IS élevé, avec près de 15% de ses publications en biophotonique. Parmi les universités, *Sherbrooke* a l'IS le plus élevé avec un pourcentage d'article de biophotonique trois fois plus élevé que sa part des articles canadiens dans SCI. *McGill* affiche l'IS le plus faible avec 0,7, ce qui indique qu'elle publie très peu d'articles de biophotonique relativement à sa part des publications canadiennes en général.

Tableau 16 - Articles de biophotonique des institutions canadiennes les plus actives (1997-2001)

Institution	Ville	Nombre	IS
University of Toronto	Toronto	57	1.0
University of British Columbia	Vancouver	40	1.2
McMaster University	Hamilton	35	1.9
QLT-Phototherapeutics Inc.	Vancouver	30	215.2
NRCC	Total	29	2.4
NRCC	Winnipeg	24	-
NRCC	Ottawa	3	-
NRCC	Montréal	2	-
University of Alberta	Edmonton	28	1.1
McGill University	Montréal	25	0.7
Hamilton Regional Cancer Centre	Hamilton	17	48.1
University of Sherbrooke	Sherbrooke	17	3.1
University of Western Ontario	London	15	0.9
Princess Margaret Hospital	Toronto	14	6.2
British Columbia Cancer Agency	Vancouver	13	-
University of Calgary	Calgary	13	0.9
Dalhousie University	Halifax	12	1.1
University of Manitoba	Winnipeg	12	1.1

Source: Science-Metrix & OST-CIRST (SCI)

3.4 Technométrie

Le nombre de brevets octroyés par le *United States Patent and Trademark Office* (USPTO) est un indicateur généralement accepté pour évaluer l'invention technologique. Il est très utile pour comparer la performance des pays autres que les États-Unis, ces derniers bénéficiant d'un biais évident en leur faveur. La présente section aborde les octrois de brevets à l'échelle internationale et la spécialisation des pays les plus actifs en biophotonique. Un classement des organismes qui possèdent le plus de brevets d'invention est également présenté.

Outre les États-Unis, les trois pays qui obtiennent le plus de brevets en biophotonique sont le Japon, l'Allemagne et Israël (Tableau 17). Le Canada vient au cinquième rang avec 33 brevets (1,9% de la production mondiale), devant la France (15 brevets), le Royaume-Uni (14 brevets) et l'Australie (13 brevets).

L'indice de spécialisation du Canada dans les brevets est comparable à celui du monde (1,0). Israël est de loin le pays le plus spécialisé en biophotonique avec un IS de 8. Les autres pays se situant au-dessus de l'indice du monde sont la Norvège (2,41), l'Australie (1,75), les États-Unis (1,35) et l'Allemagne (1,05).

En plus d'être le pays le plus spécialisé dans le domaine, Israël détient le plus grand nombre de brevets par habitant : 9,6 brevets par million d'habitants. Cette performance représente plus de 2 fois celle des États-Unis, fait surprenant compte tenu que ces derniers possèdent le plus grand nombre de brevets en biophotonique et qu'il y a un biais en leur faveur.

Tableau 17 - Brevets de biophotonique des pays les plus actifs (1997-2001)

Pays	Nombre	% du monde	Nb par million d'habitants	IS
États-Unis	1,294	76.1%	4.7	1.4
Japon	160	9.4%	1.3	0.5
Allemagne	109	6.4%	1.3	1.1
Israël	55	3.2%	9.6	8.0
Canada	33	1.9%	1.1	1.0
France	15	0.9%	0.3	0.4
Royaume-Uni	14	0.8%	0.2	0.4
Australie	13	0.8%	0.7	1.8
Monde	1,701	100%	0.3	1.0

Source: Science-Metrix & OST-CIRST (USPTO)

Du côté des institutions les plus actives (Tableau 18), outre les organismes américains, ce sont les firmes japonaises et israéliennes qui forment le palmarès des institutions ayant dix brevets et plus au cours de la période 1996-1997. Mise à part l'absence d'organismes allemands, ces données suivent celles observées à l'échelle des pays.

Deux entreprises sont responsables de plus de 70% des brevets détenus par Israël, soit *ESC Medical Systems Ltd.* (22 brevets) et *Laser Industries, Ltd.* (17 brevets). Au cours de l'année 2001, *ESC Medical Systems, Ltd.* et l'entreprise américaine *Coherent Medical Group (CMG)* ont uni leurs forces pour former *Lumenis*, une société multinationale se spécialisant dans les traitements médicaux tels que la chirurgie esthétique, l'ophtalmologie, ainsi que les traitements dentaires et vétérinaires. Avec cinq institutions titulaires, le Japon possède un plus grand nombre d'institutions innovatrices en biophotonique qu'Israël où deux entreprises seulement détiennent plus de 70% des brevets octroyés à ce pays. Les cinq entreprises nipponnes les plus actives possèdent plus de 40 % des brevets octroyés par le USPTO entre 1997 et 2001 au Japon (70 brevets).

Tableau 18 - Brevets de biophotonique des principaux titulaires (1997-2001)

Titulaire	Pays	Nb
Nellcor Puritan Bennett, Inc.	États-Unis	39
Eclipse Surgical Technologies, Inc.	États-Unis	37
Nidek Co., Ltd.	Japon	24
Visx, Inc.	États-Unis	23
ESC Medical Systems, Ltd.	Israël	22
The General Hospital Corporation	États-Unis	21
Datex-Ohmeda, Inc.	États-Unis	17
Laser Industries, Ltd.	Israël	17
Light Sciences Limited Partnership	États-Unis	17
Masimo Corporation	États-Unis	17
Fuji Co., Ltd.	Japon	15
Mallinckrodt, Inc.	États-Unis	15
Non-Invasive Technology, Inc.	États-Unis	15
The United States of America	États-Unis	15
PLC Medical Systems, Inc.	États-Unis	14
The Regents of the University of California	États-Unis	14
Cynosure, Inc.	États-Unis	13
Peyman; Gholam A.	États-Unis	13
Coherent, Inc.	États-Unis	11
Hamamatsu Photonics K.K.	Japon	11
Thermolase Corporation	États-Unis	11
Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.	Japon	10
S.L.T. Japan Co., Ltd.	Japon	10

Source: Science-Metrix & OST-CIRST (USPTO)

Aucune institution allemande ne figure parmi les organismes possédant dix brevets et plus. L'Allemagne possède tout de même un nombre non négligeable d'organismes ayant obtenu moins de dix brevets sur la période. Les deux plus importants titulaires allemands sont *Chiron Technolas GmbH* et *Siemens Aktiengesellschaft* avec neuf brevets chacun sur la période de cinq ans.

Au Canada, la distribution des brevets octroyés aux provinces canadiennes ne permet pas de tirer de conclusions définitives puisque le nombre de brevets est très réduit (Tableau 19). Soulignons toutefois que la Colombie-Britannique occupe le premier rang et ce malgré une population près de trois fois inférieure à celle de l'Ontario. L'Ontario vient au second rang et le Québec occupe le troisième. Néanmoins, il n'y a pas de différences significatives quant au nombre de brevets octroyés à ces trois provinces.

Tableau 19 - Brevets de biophotonique par province (1997-2001)

Province	Nombre
Colombie-Britannique	11
Ontario	10
Québec	8
Alberta	2
Manitoba	2
Canada	33

Source: Science-Metrix & OST-CIRST (USPTO)

Conclusion

L'étude quantitative présentée ici nous apprend que le Canada occupe une très bonne position en biophotonique tant au plan scientifique que technologique. Le Canada occupe le cinquième rang mondial lorsqu'on effectue une analyse multicritère au plan scientifique. Il se démarque plus particulièrement par la qualité de sa production scientifique. Le Canada se situe au cinquième rang en termes de brevets octroyés aux États-Unis et sa part des brevets en biophotonique est similaire à sa part tous champs confondus. Il est donc clair que le Canada n'est ni spécialisé ni sous-spécialisé en technologie biophotonique. Toutefois, il faut noter qu'il y a peut-être un déséquilibre entre l'offre et la demande puisque le financement du côté de l'utilisation de techniques de biophotonique est bien plus important que du côté de la recherche pour la recherche en optique-photonique dont le secteur d'application est les sciences de la vie. En fait, alors que les IRSC consacrent environ 3% de leur budget à la recherche utilisant les techniques de biophotonique, le CRSNG ne consacre que 0,04% à la recherche visant à développer de telles techniques.

À l'échelle du Canada, la distribution de l'activité en biophotonique est loin d'être homogène. En particulier, bien que le Québec reçoive une bonne part du financement des IRSC pour des travaux de recherche utilisant des techniques de biophotonique, il ne reçoit pas sa part du maigre financement accordé par le CRSNG à la biophotonique. De plus, sa production scientifique est en deçà de son poids démographique dans le Canada. La biophotonique n'est donc pas un de ses domaines de spécialisation et la qualité de sa production est sous la moyenne canadienne.

Les provinces canadiennes à surveiller quant au développement de la biophotonique sont la Colombie-Britannique, le Manitoba, l'Alberta et l'Ontario alors que le Québec vient au cinquième rang parmi ces provinces les plus actives en fonction d'une analyse multicritère. Ce sont d'ailleurs ces cinq provinces qui possèdent des brevets américains en biophotonique.

Au Québec, la ville de Sherbrooke est celle qui ressort le plus distinctement du peloton alors que Montréal ressort surtout grâce à son poids démographique auquel est nécessairement associé un grand nombre de publications dans pratiquement tous les champs.

Une demande grandissante pour des diagnostics à la fois plus précis et moins onéreux, pour des thérapies moins effractives ainsi que pour des méthodes d'analyse plus fines, milite en faveur du développement de nouvelles technologies. De plus, les coûts du système de santé ont doublé à l'échelle nationale au cours de la dernière décennie et rien ne laisse entrevoir de mécanismes pour freiner cette croissance. Dans ce contexte, la biophotonique sera vraisemblablement amenée à jouer un rôle important tant au chapitre de l'amélioration de la qualité des soins de santé que de la réduction de leurs coûts. Le Canada est très bien positionné pour prendre ce virage technologique mais le Québec doit intervenir rapidement s'il désire occuper une position de meneur dans ce domaine en émergence.

