

LA RECHERCHE EN SYSTÈMES D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE, EN GESTION ET DIFFUSION DES DONNÉES, ET EN NOUVELLES TECHNOLOGIES GÉOSPATIALES

RESEARCH IN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS, DATA MANAGEMENT AND DISSEMINATION, AND NEW GEOSPATIAL TECHNOLOGIES

Y. Bédard, E. Bernier, T. Badard, N. Chrisman, S. Roche, G. Edwards, M.A. Mostafavi, J. Pouliot,
M. Gervais, F. Hubert, S. Larrivée, M-J. Proulx, S. Rivest, M. Nadeau, É. Dubé
Département des sciences géomatiques, Université Laval, Québec

J. Brodeur, Ressources naturelles Canada, Centre d'information topographique, Sherbrooke

R. Devillers, Département de géographie, Memorial University of Newfoundland, St-John's

Le Département des sciences géomatiques de l'Université Laval célèbre son 100^e anniversaire. Durant ce siècle, il est devenu un chef de file dans son domaine, et ceci plus particulièrement au cours des 20 dernières années. Plusieurs facteurs ont contribué à ce succès tels que la mise en place du premier B.Sc. en géomatique au monde, l'arrivée d'une nouvelle génération de professeurs fortement impliqués en recherche, la création du Centre de recherche en géomatique (CRG) et celle du réseau de centres d'excellence GEOIDE. L'équipe SIG du Département a joué un rôle prépondérant pour établir ce leadership, particulièrement par un enseignement solide, un réseau de collaborateurs de fort calibre, un dossier de plusieurs millions de dollars en projets et en chaires de recherche et par de nombreuses contributions scientifiques (ex. articles, conférences, transferts technologiques, innovations industrielles). L'objectif du présent article est de résumer ces activités. Ainsi, après l'introduction et un survol historique, nous présentons une synthèse de la situation actuelle. Puis, afin de donner un aperçu de la diversité des projets en cours, nous couvrons un échantillon de projets selon quatre thèmes : l'ingénierie des systèmes, les nouvelles technologies, l'usage responsable et les innovations transdisciplinaires. Finalement, plusieurs références sont fournies afin d'illustrer davantage ces projets.

Laval University's Department of Geomatics Sciences is celebrating its 100th anniversary. During this century, it has become a leader in its field, and more specifically in the last 20 years. Many factors contributed to this success, such as the first B.Sc. in Geomatics in the world, the arrival of a new generation of professors highly involved in research, and the creation of the Centre for Research in Geomatics (CRG) and the GEOIDE network of excellence. Leading the way, Laval's GIS team has played a key role in establishing this leadership through strong education and collaborations, multi-million-dollar R&D projects and chairs, and numerous scientific contributions (e.g. journal papers, conferences, technology transfers, and industrial innovations). The goal of this paper is to summarize these activities. After the introduction and a brief history, we present an overview of today's situation. Then, in order to give a taste of the diversity of current research projects, we cover project samples according to four themes: systems engineering, new technologies, usage concerns, and transdisciplinary innovations. Several references provide more information on these projects.

1. Introduction

Au cours de ses 100 années d'existence, le Département des sciences géomatiques de l'Université Laval a réussi à se positionner comme un chef de file en géomatique, et plus particulièrement dans les domaines reliés aux systèmes d'information géographique (SIG), à la gestion et à la diffusion des données géospatiales et au développement de nouvelles technologies géospatiales. En plus d'une productivité scientifique comptant des centaines d'articles et conférences internationales, le Département a su constamment adapter son offre de formation aux trois cycles universitaires en fonction de l'évolution rapide du secteur. Parmi ses spécialités reconnues, notons la vision multidisciplinaire apportée par une importante équipe de 9 professeurs-chercheurs impliqués en SIG, ainsi qu'une forte utilisation des méthodes du génie logiciel et des normes utilisées en technologies de l'information. L'équipe SIG a également su accompagner le tout de formations continues offertes à plus de 1500 professionnels sur 3 continents, tant sur les méthodes de développement d'applications SIG que sur les normes ISO19100 et OGC ou sur la géomatique décisionnelle. L'équipe SIG du Département peut également affirmer avoir réalisé des transferts technologiques et méthodologiques vers une cinquantaine d'organisations gouvernementales et privées en plus d'avoir formé une dizaine de professeurs universitaires œuvrant tant au Canada qu'à l'étranger. Le présent article vise donc à souligner cette contribution à l'occasion du centenaire du Département mais surtout à présenter les orientations actuelles de recherche. Ainsi, l'article débute par un bref historique de l'évolution du domaine des SIG au Département, incluant la gestion et la diffusion des données géospatiales, l'évaluation de leur qualité et le développement de nouvelles technologies géospatiales. Cet aperçu historique est suivi par la présentation d'un échantillon de projets de recherche effectués actuellement par les professeurs-chercheurs du Département impliqués dans ce domaine. Le tout se termine par un résumé des autres réalisations et un survol rapide des perspectives d'avenir.

Le domaine de la géomatique...est directement influencé par les progrès informatiques et en technologies de l'information.

2. Historique

Le domaine de la géomatique, et entre autres le secteur SIG, est directement influencé par les progrès informatiques et en technologies de l'information. C'est en effet l'intégration de l'informatique dans les technologies d'acquisition, de traitement et de diffusion des données géographiques qui est

1. Introduction

In its 100-year history, Laval University's Department of Geomatics Sciences has reached a leading position in geomatics, especially in Geographic Information Systems (GIS), geospatial data management and dissemination, and in the development of new geospatial technologies. In addition to scientific productivity that includes hundreds of papers and international conferences, the Department has adapted its B.Sc., M.Sc. and Ph.D. curricula to synchronize with the geomatics sector's rapid evolution.

Amongst its renowned characteristics, we find the multi-disciplinary vision of an important team of nine professor-researchers involved in GIS, as well as strong utilisation of software engineering methods and standards from information technologies (IT). In parallel, the GIS team has also provided continuing education for more than 1500 professionals from three continents on various subjects, such as GIS development methods, ISO1900 standards and OGC specifications, and on merging GIS with Business Intelligence. This team has also realized several technology and methodology transfers towards more than 50 governmental and private organizations, and has trained 10 academic professors working in Canada or foreign countries.

Taking the opportunity stemming from the 100th anniversary of the Department, this paper highlights the GIS team's contributions and today's research orientations. It begins with the evolution of the GIS activities in the Department, including spatial data management and dissemination, quality evaluation and development of new geospatial technologies. Next, this paper presents samples of current professorial research projects. Last, there is a summary of other accomplishments and a brief overview of future perspectives.

2. History

The geomatics domain, especially the GIS field, is directly influenced by advances in computer sciences and information technologies. Indeed, the penetration of digital technologies in spatial data acquisition, processing and dissemination practices and tools, has modified conventional surveying and

venu modifier les pratiques cartographiques traditionnelles. Déjà à la fin des années 1970 et au début des années 1980, sous l'influence des professeurs Michel Mainville (cartographe) et Paul-André Gagnon (photogrammètre, concepteur du logiciel DVP distribué partout dans le monde), le Département était activement impliqué dans l'informatisation des processus cartographiques. Ces deux professeurs développèrent des logiciels tant pour la numérisation et l'édition des cartes traditionnelles que pour la numérisation des modèles photogrammétriques et insérèrent les résultats dans leurs enseignements. Au milieu des années 1980, le renouvellement important du corps professoral accompagnant la mise sur pied du premier baccalauréat en géomatique au monde (1986), amena un vent de nouveauté dans les recherches effectuées dans ce domaine. Les SIG étaient devenus partie intégrante de la formation offerte par le Département dès la deuxième année du nouveau programme et furent offerts dès 1987. Comme la cartographie fondamentale et la cartographie numérique étaient déjà enseignées dans d'autres cours, l'enseignement en SIG pouvait donc se concentrer sur l'analyse spatiale alors qu'un autre cours était dédié aux bases de données spatiales et aux méthodes de génie logiciel pour la conception de systèmes d'information. Cette organisation de l'enseignement, également intégrée aux programmes gradués, permit d'offrir une formation plus riche que ce qui était communément offert dans les universités et a servi à attirer plusieurs partenaires industriels et gouvernementaux vers la recherche en ce domaine à l'Université Laval.

Venant accompagner la mise en place du nouveau baccalauréat de géomatique, une importante subvention d'équipement permit d'ouvrir le Laboratoire de systèmes d'information à référence spatiale (SIRS) avec les plus récentes technologies de l'époque (5 puissantes stations de travail UNIX Interpro avec les logiciels TIGRIS d'Intergraph et Informix RDBMS). Le directeur de ce laboratoire, le professeur Yvan Bédard, négocia alors une importante subvention de recherche avec Intergraph, partenariat qui continua pendant plusieurs années pour près d'un million de dollars. Ce laboratoire fait aujourd'hui partie du Centre de recherche en géomatique (CRG). Il compte 6 professionnels en plus d'une trentaine d'étudiants gradués et post-doctorants en SIG. Il constitue l'un des plus grands parcs technologiques universitaires dans le monde de la géomatique, particulièrement en géomatique décisionnelle. Ainsi, il dispose de plusieurs bases de données et cubes de données spatiales (transport, foresterie, santé publique, énergie, évaluation foncière, socio-démographie, etc.) ainsi que de nombreuses technologies (ESRI,

mapping practices. By the end of 1970s, mainly due to the influence of two professors, Michel Mainville (cartography) and Paul-André Gagnon (photogrammetrist, designer of the DVP software distributed worldwide), the Department was actively involved in computerizing cartographic processes. These two professors developed, respectively, software tools for the digitizing and editing of both conventional 2D maps and 3D photogrammetric models, and integrated their results in teaching activities.

In the mid-1980s, the renewal of several professorial positions and creation of the first undergraduate program in geomatics in the world (1986) brought a new level of dynamism to research activities. GIS rapidly became an integral part of the training. Given that fundamental and digital cartography were already the subjects of existing courses, GIS courses emphasized spatial analysis, spatial databases and software engineering methods for the design of information systems. The breadth and depth of such courses, and of the graduate programs, provided a richer offering than was typically available at other universities. It has also been a factor in Université Laval's ability to attract several industrial and governmental partners to its research domain.

A major equipment grant supported the new geomatics undergraduate program by providing the materiel needed to create the Spatially-Referenced Information System Laboratory, equipped with leading-edge technologies of the time (5 UNIX Interpro workstations equipped with software such as Intergraph TIGRIS and Informix RDBMS). Professor Yvan Bédard, director of this new lab, negotiated an important research grant worth about \$1 million with Intergraph, in a partnership that continued for several years.

This lab is part of the Centre for Research in Geomatics (CRG), housing six research assistants and more than 30 graduate students and postdoctoral fellows in GIS. It is considered to be one of the largest academic research labs worldwide in the field, especially as regards the integration of GIS technologies with Business Intelligence technologies. It also includes several spatial databases and datacubes (transport, forestry, public health, energy, property assessment, socio-demography, etc.), as well as various technologies (ESRI, Intergraph, MapInfo, JMap, Autocad, MicroStation, FME, Oracle, SQL Server, Cognos, Syntell, JMap SOLAP, Proclarity, DVP, M3Cat and several open-source solutions such as PostGIS).

Another important grant obtained in 1989 allowed the creation of an NSERC Industrial Research Chair in geomatics applied to forestry. It brought three new professors in GIS and remote sensing (Christopher Gold, Geoffrey Edwards and

*...the
renewal of
several
professorial
positions
and creation
of the first
undergraduate
program
in geomatics
in the world
(1986)
brought a
new level of
dynamism
to research
activities.*

Intergraph, MapInfo, JMap, Autocad, MicroStation, FME, Oracle, SQL Server, Cognos, Syntell, JMap SOLAP, Proclarity, DVP, M3Cat et plusieurs solutions *open-source* comme PostGIS).

Une autre subvention importante, obtenue en 1989, permit la création d'une chaire de recherche industrielle CRSNG en géomatique appliquée à la foresterie. Celle-ci amena trois nouveaux professeurs en SIG et télédétection (Christopher Gold, Geoffrey Edwards et Kim Lowell) et aida aux travaux de plusieurs étudiants en géomatique et en foresterie sur une période de 10 ans. Cette chaire, née d'une initiative conjointe des Départements de géomatique (Pierre Gagnon, Yvan Bédard) et de Foresterie (Louis Bélanger), permit de rassembler plusieurs membres de l'Association des industries forestières du Québec relativement à ces nouvelles technologies. Elle fut l'incubateur de plusieurs travaux et a grandement contribué à la mise sur pied du CRG, créé cette même année.

Par la suite, sous l'impulsion de la mise en place du Réseau canadien de centres d'excellence GEOIDE (1998) grâce à l'initiative du CRG et grâce aux nombreux projets de recherche effectués en partenariat avec l'industrie et les gouvernements, la recherche en SIG a pris une seconde vitesse à la fin des années 1990. Il en a résulté, entre autres, la diffusion dans une quarantaine de pays du logiciel Perceptory (version UML d'ORION, voir <http://sirs.scg.ulaval.ca/perceptory>) et la commercialisation de la technologie JMap SOLAP (<http://www.kheops-tech.com>), deux premières mondiales issues des travaux de l'auteur principal du présent article et de son équipe. Ces succès permirent de mettre sur pied en 2004, sous sa direction, une nouvelle chaire industrielle de recherche CRSNG en bases de données géospatiales décisionnelles. Cette chaire, de 5 ans et 4 millions de dollars, a permis de consolider le leadership de l'Université Laval dans le mariage des technologies géospatiales avec l'informatique décisionnelle (connue sous le nom de *Business Intelligence*).

Ces succès ont été accompagnés récemment par un important renouvellement du corps professoral, encore plus important que celui survenu au milieu des années 1980. Ainsi, le Département a pu recruter de nouveaux professeurs pouvant amener toute l'équipe vers de nouveaux défis tels que la mobilité, le temps réel, la réalité augmentée, les services Web géospatiaux basés sur les normes (série des ISO19100, OGC, W3C, etc.) et sur les solutions en logiciel libre (*open-source*), l'interopérabilité des systèmes ainsi que les aspects sociaux et légaux des applications géospatiales. Un de ces nouveaux professeurs, Nicholas Chrisman, occupe d'ailleurs la direction scientifique du Réseau canadien de centres

Kim Lowell), and, for 10 years, supported the research of several students in geomatics and forestry. This chair, which came from a joint initiative between the Departments of Geomatics sciences (Pierre Gagnon, Yvan Bédard) and Forestry (Louis Bélanger), also brought together several members of the Association des Industries Forestières du Québec. It led to several projects and strongly contributed to the creation of the CRG, also in 1989.

Research in GIS gathered speed at the end of 1990s, following the creation of the Canadian Networks of Centres of Excellence GEOIDE (1998) under the initiative of the CRG, and supported by an increase in the number of research projects conducted in partnership with industries and governments. This resulted in the spread of the Perceptory software (UML version of ORION, see <http://sirs.scg.ulaval.ca/perceptory>) to some 40 countries, and to the commercialization of the JMAP SOLAP technology (<http://www.kheops-tech.com>)—two world premieres that stemmed from the work of the principal author of this paper and his team. These successes enabled the creation in 2004 of a new NSERC Industrial Research Chair in geospatial databases for decision support, held by Yvan Bédard. This five-year, \$4 million Chair has consolidated the leading position of Université Laval regarding the combination of geospatial technologies with business intelligence (BI) concepts.

These successes have been recently followed by an important renewal of faculty members—even more important than the one in the mid-1980s. Indeed, the Department hired new professors with the necessary background to bring the team towards new challenges such as mobility, real-time, augmented-reality, spatial web services based on standards (ISO19100 series, OGC and W3C specifications, etc.), and on open-source solutions, systems interoperability and, finally, about the social and legal issues characterizing geospatial applications. One of these new professors, Nicholas Chrisman, is also the scientific director of the Canadian Networks of Centres of Excellence GEOIDE (this position being previously occupied by another member of the GIS team, Geoffrey Edwards). Finally, a major field of investigation recently put forward calls for the expertise of several professors to cover the role of geomatics professionals regarding the analysis of geospatial data quality during the design of GIS applications; the reduction of risks associated with potential misuses of geospatial data; the dissemination of geospatial data that respects citizens' rights; and the mechanisms to facilitate the adoption of results by the users.

Une autre subvention importante ...permet la création d'une chaire de recherche industrielle CRSNG en géomatique appliquée à la foresterie.

d'excellence en géomatique, c.-à-d. GEOIDE (alors qu'un autre membre de l'équipe SIG, Geoffrey Edwards, occupait ce poste précédemment). Finalement, un créneau récemment mis de l'avant rassemble plusieurs expertises pour couvrir le rôle du professionnel en géomatique, notamment en ce qui concerne la qualité des données géospaciales pour les applications SIG, la prévention des risques de mauvais usages, la diffusion respectueuse des droits de chacun et les mécanismes d'appropriation des résultats par les utilisateurs.

3. Recherches actuelles

La formation dispensée par le Département est largement alimentée par les activités de recherche de ses membres. Ceux-ci sont très actifs et plusieurs jouissent d'une reconnaissance internationale. Ils collaborent entre eux, avec des collègues provenant des quatre coins de la planète et avec plusieurs ministères et entreprises privées pour réaliser des projets d'envergure, plusieurs menant à des retombées importantes et concrètes pour la société. Les paragraphes qui suivent présentent un échantillon des recherches effectuées par les membres du Département contribuant directement dans les domaines des SIG, de la diffusion et de la gestion de l'information géospatiale, ainsi que des nouvelles technologies géospaciales (les autres domaines étant couverts par d'autres articles dans le présent numéro). Ces exemples ont été choisis pour représenter la diversité des recherches effectuées, elles peuvent être regroupées sous 4 thèmes : 1- ingénierie des systèmes, 2- nouvelles technologies, 3- utilisations responsables et 4- innovations transdisciplinaires.

3.1 Ingénierie des systèmes

Depuis une vingtaine d'années, des travaux au Département visent à enrichir les concepts de génie logiciel pour rendre plus efficace la conception des bases de données spatiales, des cubes de données spatiales et le développement des applications SIG. Plus particulièrement, les modélisations conceptuelle et physique de données y sont étudiées car elles sont inhérentes à tout développement géomatique qui se veut rigoureux et réutilisable. Ces étapes du cycle de développement sont également essentielles pour assurer une meilleure intégration avec les autres technologies de l'information et mieux rencontrer les besoins des utilisateurs. Depuis les toutes premières publications sur ce sujet [cf. Bédard et Paquette 1989; Bédard, Pageau et Caron 1992] qui introduisirent l'outil ORION,

3. Current Research

The training offered by the Department is largely fed by its members' research activities. They are very active and several are internationally renowned. They collaborate with each other and with colleagues from all over the world, as well as with several ministries and private organisations, to realise large-scale projects that lead to important and concrete benefits for society. The following paragraphs present a sample of the research done by the members of the Department related to the fields of GIS, spatial data management and dissemination, and of new geospatial technologies (the other fields of geomatics are covered by other papers in this special issue of *Geomatica*). These examples have been chosen to represent the diversity of the research that is being done. They may be grouped into four themes: systems engineering, new technologies, usage concerns, and trans-disciplinary innovations.

3.1 Systems Engineering

For about 20 years, certain research projects have been intended to enrich existing software engineering concepts to more efficiently develop GIS applications, spatial databases and datacubes. In particular, conceptual and physical techniques of modelling are studied, as they are inherent to any rigorous and reusable geomatics development. Good modelling ensures better integration with other information technologies and helps to meet users' needs.

Since the very first publications on that subject introduced ORION [Bédard and Paquette 1989; Bédard et al. 1992], the first CASE tool (Computer Aided Software Engineering) in the world developed for GIS, and on today's UML version called Perceptory [Bédard 1999; Bédard et al. 2004], the research has evolved to tackle issues related to spatial datacube modelling [Bédard and Larrivée 2007]; the formal considerations regarding modelling choices that may have an impact on the risk of data misuses [Lévesque et al. 2007]; the adaptation to standards-based distributed web services environments; and the interoperability between systems by taking into account the massive adoption of standards [Brodeur and Badard 2007], and by developing an enriched metamodel (called ISTory) integrating MDA/UML modelling (<http://www.omg.org/mda> and <http://www.uml.org>), formal ontologies and acquisition specifications for cartographic data.

This research also includes issues related to the third dimension (3D), as it poses specific problems. Different propositions are being made for the

*...the
Department
...mem-
bers...col-
laborate...to
realise
large-scale
projects that
lead to
important
and concrete
benefits for
society.*

Cette thématique de recherche couvre également la prise en compte de la troisième dimension...

premier atelier de génie logiciel au monde adapté aux SIG et sa version UML actuelle Perceptory [Bédard 1999; Bédard et al. 2004], la recherche a continué d'évoluer pour porter en 2007 sur : 1- la modélisation des cubes de données spatiales [Bédard et Larrivée 2007], 2- la prise en compte formelle des décisions de conception influençant les risques de mauvais usage des données [Lévesque et al. 2007], 3- l'adaptation aux environnements de services Web normalisés et distribués et 4- l'interopérabilité grâce à l'adoption encore plus importante des normes [Brodeur et Badard 2007] et au développement d'un métamodèle enrichi (appelé ISTory) entre trois approches utilisées en conception de bases de données spatiales soit la modélisation à la MDA/UML (<http://www.omg.org/mda> et <http://www.uml.org>), la création d'ontologies formelles et la description de spécifications d'acquisition de données cartographiques.

Cette thématique de recherche couvre également la prise en compte de la troisième dimension qui pose des problèmes particuliers quant à ce qui peut être fait facilement, difficilement ou pas du tout avec les systèmes. Il en résulte différentes propositions pour la conception et le développement d'applications 3D ou pour la sélection des technologies les plus appropriées [Pouliot et al. 2006; Pouliot et al. 2006; Bédard et Larrivée, 2007]. En particulier, les travaux de l'équipe de Pouliot revisitent les solutions SIG-3D tant commerciales qu'issues de la recherche universitaire, le tout selon deux points de vue : celui des structures 3D de stockage de données géospatiales et celui de son extension et couplage avec un SGBD pour le requêtage et l'échange normalisé (c.-à-d. conforme aux standards de l'ISO et aux spécifications de l'OGC) de données volumiques via Internet [Pouliot et al. 2007]. Les premiers résultats incluent la proposition d'une nouvelle structure selon laquelle l'espace est défini par un assemblage de tétraèdres, contrairement aux triangles retrouvés au niveau des structures 2D. D'autre part, afin de gérer le caractère dynamique propre à plusieurs phénomènes tels que l'écoulement des eaux et la navigation maritime, des travaux sont en cours afin de permettre la simulation de phénomènes dynamiques dans un contexte 3D [Mostafavi et Gold 2004]. Ce dernier propose notamment de récupérer certains concepts issus du domaine de la réalité virtuelle dans le but d'améliorer l'interactivité des SIG [Mostafavi 2006].

3.2 Nouvelles technologies

Au sein du Département, plusieurs professeurs-chercheurs partagent une même vision quant aux

design and development of 3D applications or for the selection of the most appropriate technologies [Pouliot et al. 2006; Pouliot et al. 2006; Bédard and Larrivée 2007]. In particular, the work of Pouliot's team revisits 3D-GIS solutions, both commercial and academic, from two points of view: 3D structures for geospatial data storage; and extension and coupling with DBMS for standardized data query and exchange (i.e. satisfying the ISO standards and OGC specifications) over the Internet [Pouliot et al. 2007]. First results include a proposed new structure where space is defined as a tetrahedron assembly, as opposed to the traditional triangles of 2D structures. In order to efficiently manage the dynamic nature of several phenomena, such as water flows and maritime navigation, today's research attacks the simulation of dynamic phenomena in a 3D context [Mostafavi and Gold 2004]. One proposition involves using concepts from virtual reality to improve GIS interactivity [Mostafavi 2006].

3.2 New Technologies

Several members of the Department share the same vision as for the limited capacities of today's GIS to support the new emergent needs of 3D support, interactivity, dynamic simulation, decision support, interoperability, etc. Accordingly, several professors are working to enrich today's GIS functionalities or to develop new technologies better adapted to such needs. This research is based on a variety of commercial tools and open-source solutions. It also fully exploits web services architectures and international standards, such as those proposed by ISO/TC 211, the OGC and the W3C.

Such projects benefit from the arrival of two new professors, Badard and Hubert, who have developed a leading-edge expertise in that subject and who offer, on demand, a complete continuing education course on ISO 19100 standards and OGC specifications (<http://standards.scg.ulaval.ca>). This training discusses issues related to metadata, cataloguing, data quality evaluation and documentation, encoding, services, web cartography, etc. Their contribution, under the GeoSOA Group (<http://geosoa.scg.ulaval.ca>) led by Professor Badard, allows our recent developments to integrate into the new wave of services, such as WMS (*Web Map Service*), WTS (*Web Terrain Service*), WFS (*Web Feature Service*), and similar [Badard 2006; Badard et al. 2007]. The contribution of Associate Professor Jean Brodeur, a very active member of the ISO/TC 211, is also extremely important for this research, especially regarding geosemantic interoperability [Sboui et al. 2007; Brodeur et al. 2005; Brodeur et al. 2003].

capacités limitées des SIG actuels à soutenir les nouveaux besoins émergents en termes de support 3D, d'interactivité, de simulation dynamique, d'aide à la décision, d'interopérabilité, etc. Plusieurs orientent donc leurs travaux vers l'enrichissement des fonctionnalités actuelles des SIG ou vers le développement de nouvelles technologies mieux adaptées à de tels besoins. Ces travaux utilisent une panoplie de produits commerciaux tout comme les plus récents développements dans le monde des logiciels libres (*open-source*).

Ces travaux exploitent également au maximum les architectures de services Web et l'évolution des normes internationales, dont notamment celles issues de l'ISO/TC 211, l'OGC et le W3C. Conséquemment, ils bénéficient énormément de l'arrivée des nouveaux professeurs Badard et Hubert qui ont développé une expertise de pointe à ce sujet et qui offrent, sur demande, une formation continue complète sur les normes ISO19100 et les spécifications de l'OGC (<http://standards.scg.ulaval.ca>), et ceci tant sur les métadonnées que sur le catalogage, l'évaluation et la documentation de la qualité des données, l'encodage, les services, la cartographie sur le Web, etc. Leur apport, identifié et enrichi par le Groupe GeoSOA (<http://geosoa.scg.ulaval.ca>) dirigé par le professeur Thierry Badard, permet d'intégrer nos développements récents dans la vague des services de type WMS (*Web Map Service*), WTS (*Web Terrain Service*), WFS (*Web Feature Service*), etc. [Badard 2006; Badard et al. 2007]. La contribution du professeur associé Jean Brodeur, à l'emploi de Ressources naturelles Canada et membre très actif du Comité ISO/TC 211, est également très importante pour ces travaux de recherche, particulièrement en ce qui concerne l'interopérabilité géosémantique [Sbouï et al. 2007; Brodeur et al. 2005; Brodeur et al. 2003].

La démocratisation de l'information géographique a également été stimulée par l'arrivée de nouveaux outils de diffusion, particulièrement par les applications de cartographie sur le Web. Comparativement aux outils SIG, ces applications se veulent plus conviviales. Or, une plus grande accessibilité signifie également une plus grande diversité de besoins à satisfaire. Dans ce contexte, la cartographie en ligne sur demande (*On-Demand Web Mapping*) fait l'objet de travaux de recherche, tant pour effectuer de la généralisation cartographique à la volée [Sabo et al. 2005] que pour innover dans la nature des services Web offerts [Dubé et al. 2007; Badard et al. 2006; Guillotte et al. 2006]. L'application UMapIT [Bernier et al. 2007; Hubert et al. 2004] est un exemple à citer car il se base sur des techniques modernes de bases de données à représentation multiple afin d'offrir une

The democratisation of geographic information has also been stimulated by the arrival of new dissemination tools, such as web-mapping applications. Compared to full-fledged GIS tools, such applications are more user-friendly. However, improved accessibility also means a wider diversity of needs to satisfy. In that context, on-demand web mapping is a subject of research. For instance, we aim to integrate on-the-fly cartographic generalization [Sabo et al. 2005] or to provide new spatial web services [Dubé et al. 2007; Badard et al. 2006; Guillotte, et al. 2006]. The UMapIT application [Bernier et al. 2007; Hubert et al. 2004] is a good example, as it is based on modern techniques of multiple representation databases and it offers new, flexible means to personalize maps. It combines international standards (ISO19100, OGC, W3C) with web services and open-source solutions.

In 1996, to enhance geographic knowledge and better support decision-making, innovative research began to combine the cartographic functionalities of GIS with the analytical functionalities of OLAP tools (On-Line Analytical Processing) from the BI domain (Business Intelligence). The latter tools rely on a "datacube" approach that is quite different from the transactional approach underlying GIS applications. The datacube approach facilitates temporal comparisons, aggregated analyses, patterns and trends discovery, etc. This pioneer work led to the development of SOLAP [Spatial OLAP; Bédard et al. 2007; Rivest et al. 2005] technologies, spatial dashboards [Proulx et al. 2006], spatial data warehouses [Bernier and Bédard 2007], geo-decisional web services [Badard et al. 2007; Dubé, et al. 2007], etc. These projects gravitate around the NSERC Industrial Research Chair in geospatial databases for decision-support (<http://mdspatialdb.chair.scg.ulaval.ca>) and the GeoSOA Group (<http://geosoa.scg.ulaval.ca>). This involves about 30 professors and graduate students of the Department, which is the largest academic group in that area. These works are based on past projects, such as the ones funded by the GEOIDE network, or on those that led to the development of the very first commercial SOLAP technology (<http://www.kheops-tech.com/en/jmap/solap.jsp>).

Finally, whether we talk about location-based applications, immersive environments or augmented reality, the preoccupation always remains the same: the individual. This is indeed the central "parameter" to several emerging geomatics applications, often called micro-geomatics. For example, a modern tourist owns a personal digital assistant (PDA) equipped with a GPS connected to a wireless network, allowing him to cartographically visualize tourist attractions located within a given distance. Another example is the soldier using an

Finally... the preoccupation always remains the same: the individual.

...des recherches innovatrices ont été entreprises dès 1996 dans le but de combiner les fonctionnalités cartographiques des outils SIG avec les fonctionnalités analytiques des outils OLAP (On-Line Analytical Processing) tirés du domaine de l'informatique décisionnelle (Business Intelligence). Ces derniers reposent sur une approche dite de « cube de données », totalement différente de l'approche transactionnelle sous-jacente aux SIG, qui facilite les comparaisons temporelles, les analyses synthèses, la découverte de tendances et de corrélations, etc. Ces travaux pionniers ont donné naissance au champ de la géomatique décisionnelle, et plus particulièrement au développement des technologies SOLAP [Spatial OLAP; Bédard et al. 2007; Rivest et al. 2005], de tableaux de bord spatiaux [Proulx et al. 2006], d'entrepôts de données spatiales [Bernier et Bédard 2007], de services Web géo-décisionnels [Badard et al. 2007; Dubé, et al. 2007], etc. Ces travaux gravitent principalement autour de l'actuelle Chaire de recherche industrielle CRSNG en bases de données géospatiales (<http://mdspatialdb.chair.scg.ulaval.ca>) et du Groupe GeoSOA (<http://geosoa.scg.ulaval.ca>), impliquant ainsi une trentaine de professeurs et étudiants diplômés du Département, ce qui en fait le plus grand groupe universitaire à œuvrer dans ce domaine. Ces travaux font suite aux travaux antérieurs, dont des projets financés par le Réseau de centres d'excellence GEOIDE, qui ont conduit au développement de la toute première technologie générique SOLAP commerciale (<http://www.kheops-tech.com/en/jmap/solap.jsp>).

flexibilité de personnalisation et de navigation encore jamais offerte, et ceci, en combinant des normes internationales (ISO19100, OGC, W3C), des services Web et des solutions *open-source*.

Par ailleurs, afin de mieux soutenir la prise de décision et la découverte de connaissances géographiques, des recherches innovatrices ont été entreprises dès 1996 dans le but de combiner les fonctionnalités cartographiques des outils SIG avec les fonctionnalités analytiques des outils OLAP (*On-Line Analytical Processing*) tirés du domaine de l'informatique décisionnelle (*Business Intelligence*). Ces derniers reposent sur une approche dite de « cube de données », totalement différente de l'approche transactionnelle sous-jacente aux SIG, qui facilite les comparaisons temporelles, les analyses synthèses, la découverte de tendances et de corrélations, etc. Ces travaux pionniers ont donné naissance au champ de la géomatique décisionnelle, et plus particulièrement au développement des technologies SOLAP [Spatial OLAP; Bédard et al. 2007; Rivest et al. 2005], de tableaux de bord spatiaux [Proulx et al. 2006], d'entrepôts de données spatiales [Bernier et Bédard 2007], de services Web géo-décisionnels [Badard et al. 2007; Dubé, et al. 2007], etc. Ces travaux gravitent principalement autour de l'actuelle Chaire de recherche industrielle CRSNG en bases de données géospatiales (<http://mdspatialdb.chair.scg.ulaval.ca>) et du Groupe GeoSOA (<http://geosoa.scg.ulaval.ca>), impliquant ainsi une trentaine de professeurs et étudiants diplômés du Département, ce qui en fait le plus grand groupe universitaire à œuvrer dans ce domaine. Ces travaux font suite aux travaux antérieurs, dont des projets financés par le Réseau de centres d'excellence GEOIDE, qui ont conduit au développement de la toute première technologie générique SOLAP commerciale (<http://www.kheops-tech.com/en/jmap/solap.jsp>).

Enfin, que l'on parle d'applications basées sur la localisation, d'environnements immersifs ou de réalité augmentée, l'intérêt est toujours porté sur le même aspect : l'individu. L'individu est en effet le « paramètre » central à plusieurs applications géomatiques émergentes, souvent appelées micro-géomatiques. Par exemple, le touriste des temps modernes dispose d'un assistant personnel (PDA) muni d'un GPS et connecté à un réseau sans fil lui permettant de visualiser de manière cartographique les attractions touristiques situées à moins d'un kilomètre de lui. Le militaire, quant à lui, possède un système de réalité augmentée superposant de l'information virtuelle sous forme d'objets 2D ou 3D, audio ou textuelle à la vision de l'environnement réel, avec lesquelles l'utilisateur peut interagir [Badard 2006; Daniel et Badard 2006; Edward et Bourbeau 2006]. Cette information est généralement ajoutée en temps réel et dépend de la position de l'utilisateur, de son environnement ainsi

augmented-reality system that superimposes virtual information, such as 2D or 3D objects, audio and textual information upon the real environment, and with which he can interact [Badard 2006; Daniel and Badard 2006; Edward and Bourbeau 2006]. This information is typically added in real time and depends on the user's location, its environment and its context of use [Badard 2006]. Such applications need a realistic space representation to help users to better understand their environment—a representation that goes beyond today's GIS capacities.

A recent CFI grant resulted in the creation of a new laboratory called REGARD (Réalité Géospatiale Augmentée en Réseau et en Déplacement), integrated to the CRG. This is one of the first Canadian laboratories for augmented-reality integrated to mobile and real-time geomatics technologies. The innovative research program sustained by this infrastructure aims to improve 3D spatial information modelling, representation and visualization; real-time geospatial information dissemination towards mobile users; interaction between the user and its environment; and to provide the population with better tools to easily access geospatial information [Mostafavi 2007].

3.3 Usage Concerns

The democratization of geographic information, combined with its constantly growing utilisation in every sphere of the society, has many advantages, but it also brings additional preoccupations. Among other things, geospatial data now face higher risks of misuse or misinterpretation, especially when they are used for purposes that are different from those they were created for [Gervais et al. 2007; Devillers et al. 2007]. Typically, the information about data quality, when available, is provided in a format that does not promote its utilisation. Often disseminated through metadata documents that are attached to the dataset, this information can be best understood by specialists [Devillers et al. 2005].

In a decision-support context where the interactive exploration of data is done in a non-restricted way, instantaneously, and without any query language, this problem gets bigger. Several research projects are underway to minimize this risk, for example: integrate a contextual warning system into SOLAP applications [Lévesque et al. 2006]; ensure the integrity of spatial datacubes [Salehi et al. 2007]; measure the quality of spatial datacubes [Bakillah et al. 2007]; or consider the level of fuzziness in the data during data analysis [Bejaoui et al. 2007]. Inversely, combining BI and GIS provides a new technological solution [c.f. MUM system; Devillers et al. 2005 et 2007] to support the quality specialists

que de son contexte d'utilisation [Badard 2006]. De telles applications nécessitent toutefois une représentation très réaliste de l'espace afin d'aider l'utilisateur à mieux comprendre son environnement et vont au-delà des capacités des SIG. L'obtention d'un financement d'infrastructure de la Fondation canadienne pour l'innovation a permis la création d'un laboratoire de Réalité Géospatiale Augmentée en Réseau et en Déplacement (laboratoire REGARD, intégré au CRG), un des tout premiers laboratoires canadiens de réalité augmentée intégrée avec la technologie géomatique mobile et temps réel. Les programmes novateurs de recherche soutenus par cette infrastructure visent à améliorer notamment : 1- la modélisation, la représentation et la visualisation de l'information spatiale en 3D, 2- la diffusion de l'information géospatiale vers des utilisateurs mobiles en temps réel, 3- l'interaction de l'utilisateur avec son environnement et finalement 4- à favoriser un meilleur accès de la population à l'information géospatiale [Mostafavi 2007].

3.3 Utilisations responsables

La démocratisation de l'information géographique et son utilisation sans cesse croissante dans toutes les sphères de la société amènent plusieurs avantages, mais font accroître également certaines préoccupations. Entre autres, les données géospatiales font maintenant face à des risques plus élevés de mauvaises utilisations ou interprétations, particulièrement lors de leur utilisation à des fins pour lesquelles elles n'ont pas été conçues [Gervais et al. 2007; Devillers et al. 2007]. Par ailleurs, l'information sur la qualité des données, lorsque présente, est généralement fournie selon un format qui ne facilite pas sa consultation. Typiquement diffusée au sein de documents de métadonnées accompagnant le jeu de données, elle est surtout compréhensible par les experts du domaine [Devillers et al. 2005].

Dans un contexte de géomatique décisionnelle où l'exploration interactive des données spatiales se fait de façon libre, instantanée et sans langage d'interrogation, ce problème s'accroît davantage. Plusieurs recherches sont actuellement en cours afin de diminuer ce risque : intégrer un système d'avertissements contextuels au sein d'applications SOLAP [Lévesque et al. 2006], assurer l'intégrité des cubes de données spatiales [Salehi et al. 2007], en mesurer automatiquement la qualité [Bakillah et al. 2007] ou considérer le niveau d'incertitude dans l'analyse des données [Bejaoui et al. 2007]. Inversement, la géomatique décisionnelle fournit une solution technologique nouvelle [cf. système MUM; Devillers et al. 2005 et 2007] pour assister

who must express their opinion on the dataset's fitness for use; identify the risks and necessary improvements related to a dataset; audit the production process of a dataset; or who must act as experts in court in lawsuits.

Finally, although the power of geographic information to help explain and support decisions has long been recognized, the concept of Public Participation GIS (PPGIS) is relatively recent and requires further investigation. PPGIS can be defined as a GIS application developed according to a bottom-up approach, partially by (and for) the public (individuals, local groups, etc.), in order to promote participation [Roche 2003]. One of this concept's main objectives is to combine local and technical knowledge to create and use GIS applications that better support the management and decision-making collaborative processes related to land management. The use of the SOLAP technology is also studied to support public audiences more effectively than GIS can do [McHugh et al. 2007]. This concept being relatively new, there is no consensus and PPGIS may refer to several different realities. Consequently, two particular problems arise: the evaluation of PPGIS's roles and impacts on society remains difficult; and knowledge of conceptual and methodological approaches remains incomplete. An observatory of PPGIS experiences is available on the Web (<http://ppgis-obs.scg.ulaval.ca/>).

3.4 Transdisciplinary Innovations

Several research projects are realized with colleagues from different application domains, allowing us to concretely test the generic nature of the developed concepts and technologies. This also allows us to discover new problems and invent new solutions to overcome them. Such collaborations serve both the geomatics and application domains. These collaborations are being made in more traditional domains with epidemiologists and doctors (public health), forest engineers, civil engineers (transport, environment, energy, hydrology), geographers (land planning, public health, energy), geologists, national defence, kinesologists (Olympic sports), computer scientists and many others. Three less traditional examples are presented here to illustrate this diversity: archaeology, health and scenic arts.

Certain geomatics solutions have been used in archeology for a long time (theodolite, electronic total station, GPS, etc.), while GIS has been used in the last few years to support acquisition and data analysis at small or medium map scales (i.e. at the landscape level). However, the use of geomatics

Several research projects are realized with colleagues from different application domains...

...la puissance de l'information géographique pour expliquer et soutenir certaines prises de décision est reconnue depuis longtemps...

le spécialiste de la qualité qui a à émettre son opinion sur l'adéquation d'un jeu de données pour un usage donné, à identifier les risques et les améliorations nécessaires, à effectuer un audit ou à agir comme expert en Cour en cas de poursuite.

Finalement, la puissance de l'information géographique pour expliquer et soutenir certaines prises de décision est reconnue depuis longtemps, mais ce n'est que ces dernières années que le concept de *Public Participation GIS* (PPGIS) a vraiment pris forme. Celui-ci peut se définir comme une application SIG développée selon une approche ascendante, en partie par (et pour) le public (individus, groupes locaux, etc.), dans le but d'en favoriser la participation [Roche 2003]. L'un des principaux objectifs de ce concept est de combiner la connaissance locale et technique pour la production et l'utilisation d'applications SIG, dans le but de soutenir des processus collaboratifs de gestion et de prise de décision liés à la gestion du territoire. L'utilisation de la technologie SOLAP y a d'ailleurs fait l'objet d'études particulières pour mieux soutenir les audiences publiques que ne peuvent le faire les SIG [McHugh et al. 2007]. Le concept étant relativement récent, il ne fait pas nécessairement l'objet de consensus et renvoie à des réalités extrêmement variées. Deux problèmes se posent en particulier : 1- l'évaluation du rôle des PPGIS autant que de leurs incidences sociales reste difficile; 2- la connaissance des approches conceptuelles et méthodologiques des PPGIS demeure lacunaire. Un observatoire des expériences PPGIS accessible via le Web a d'ailleurs été créé (<http://ppgis-obs.scg.ulaval.ca/>).

3.4 Innovations transdisciplinaires

Plusieurs projets de recherche sont réalisés avec des collègues des domaines d'application, ce qui permet de tester concrètement le caractère générique des concepts et technologies développés, ainsi que de découvrir de nouveaux problèmes et inventer de nouvelles solutions à ces problèmes. Une telle collaboration profite autant à la géomatique qu'aux domaines d'applications. Ces collaborations ont lieu dans des domaines plus traditionnels avec des épidémiologistes et des médecins (santé publique), des ingénieurs forestiers, des ingénieurs civils (transport, environnement, énergie, hydrologie), des géographes (aménagement, santé publique, énergie), des géologues, la défense nationale, des kinésiologues (sports olympiques), des informaticiens et plusieurs autres. Trois exemples moins traditionnels sont présentés ci-après pour illustrer cette diversité : archéologie, santé de l'individu (navigation pour des personnes avec un déficit visuel) et arts de la scène.

remains very limited at the larger map scale of site excavation. The Arch-Tablet project enriches the spatial data-acquisition process, especially the sketching process, using a collaborative approach based on a mobile solution embedded on Tablet-PC.

In general, knowing the user's position and adapting the geographic information to that position is one thing, but understanding how the user interacts with this information is another challenge. This is especially important regarding individual health handicaps. In the context of the Canada Research Chair in Cognitive Geomatics, Professor Geoffrey Edwards and his team are developing navigational aids that better incorporate our knowledge of the mental processes used by visually impaired persons to situate themselves within their environment and to mentally order this environment. A new generation of technologies is being developed to assist the visually impaired—technologies which are better adapted to the complex environments and interactions in which the users must operate [Yaagoubi et al. 2006].

Apart from health, research in cognitive geomatics also includes urban planning, forestry management, architecture and...scenic arts! A recent project in this latter domain aims to find a theoretical basis for situating the process of cognitive design in scenic spaces in such a way as to integrate the body, perception and cognition, taking into account spatial knowledge provided via geomatics. This highly multi-disciplinary work involves artists (dancers, singers, stage managers, etc.), as well as a social scientist and museum experts. The implications of this work are developing rapidly. Rehabilitation clinics are finding the use of immersive installations that challenge identity through spatial organization to be an exciting, and potentially highly useful, development. This application domain shows how much geomatics rapidly penetrates unconventional domains.

4. Conclusion

The Department is now 100 years old. Its mission and achievements have evolved in the more global context of the evolution of the academic world. After a rather profession-centric orientation for the first half of its existence, research achievements increased from the 1960s to reach an important level after the major faculty renewal of the mid-1980s. The recent economical and demographic context typical of Canadian universities has been

L'archéologie mobilise la géomatique depuis longtemps (théodolite, station totale, GPS), mais ce n'est que récemment que les SIG s'y sont imposés pour soutenir les phases d'acquisition et d'analyse des données à petite et moyenne échelles (au niveau du paysage). Toutefois, à l'échelle du chantier de fouille, le recours à la géomatique reste très limité. Le projet Arch-Tablet permet d'y améliorer le processus d'acquisition des données géospatiales, et en particulier le processus de réalisation de croquis, selon une approche collaborative avec une solution nomade embarquée sur Tablet-PC.

Par ailleurs, connaître la position de l'utilisateur et adapter l'information géographique en conséquence est une chose, mais comprendre la façon dont l'utilisateur peut interagir avec cette information en est une autre. Dans le cadre de la Chaire du Canada en géomatique cognitive, le professeur Geoffrey Edwards et son équipe visent à développer des outils d'aide à la navigation qui tiennent compte de notre compréhension des processus mentaux de manipulation et d'usage de l'information à caractère spatial. Par exemple, ils visent le déploiement d'une nouvelle génération d'appareils ayant pour but d'aider des personnes ayant un handicap visuel, appareils qui se veulent plus souples et mieux adaptés à la personne et à ses difficultés [Yaagoubi et al. 2006].

Outre la santé, les travaux en géomatique cognitive englobent également la planification urbaine, la gestion forestière, l'architecture et ... les arts de la scène! Un projet récent dans ce dernier domaine d'application a d'ailleurs permis de jeter les bases théoriques afin de situer les processus de design scénique dans l'espace, en intégrant le corps, la perception, la cognition et en ancrant le tout dans la géomatique. Ce travail hautement multidisciplinaire a été développé en lien avec des artistes (danseurs, chanteurs, régisseurs, etc.), mais aussi avec une sociologue et des muséologues. Les retombées de ce travail fort original se multiplient actuellement. Le milieu clinique en réadaptation trouve l'approche extrêmement prometteuse pour aider sa clientèle à mieux comprendre leurs « corps modifiés ». Ce dernier domaine d'application illustre bien à quel point la géomatique pénètre rapidement les domaines non conventionnels.

4. Conclusion

Le Département des sciences géomatiques de l'Université Laval existe depuis 100 ans et sa mis-

leading the Department into a major renewal process of its faculty members. This is having a major impact on research orientations, especially in GIS. Building on two major NSERC Industrial Research Chairs and a Canada Research Chair, important participation with the GEOIDE Network of Centres of Excellence, three CFI equipment grants, and numerous achievements with more than 50 industrial and governmental partners (e.g., Natural Resources Canada, Canada National Defence, Hydro Québec, Transport Québec, Ressources naturelles et faune Québec, Intergraph, Intélec, Kheops, Groupe ALTA), the GIS team members of the Department will continue contributing to the geomatics community, and especially the GIS community, at the national and international levels. It is with great enthusiasm that they embark on this second centenary of the Department.

...the GIS team members of the Department will continue contributing to the geomatics community...

sion et ses réalisations ont évolué au rythme de l'évolution du monde universitaire. D'orientation surtout professionnelle pour la première moitié de son existence, les réalisations en recherche sont apparues plus fréquentes à partir des années 1960 pour vraiment atteindre un niveau important après le renouvellement majeur du corps professoral du milieu des années 1980. Pour des raisons économiques et démographiques comme on en retrouve dans plusieurs universités canadiennes, le Département revit une nouvelle vague de renouvellement du corps professoral, ce qui crée une incidence majeure et importante sur l'orientation de la recherche, notamment en SIG. Forts de deux chaires majeures de recherche industrielle CRSNG ces dernières années et d'une chaire du Canada, d'une participation importante au Réseau canadien de centres d'excellence GEOIDE, de trois subventions de la Fondation canadienne pour l'innovation et de ses nombreuses réalisations avec une cinquantaine de partenaires industriels et gouvernementaux dont plusieurs joueurs-clé du milieu (ex. Ressources naturelles Canada, Défense Canada, Hydro-Québec, Transport Québec, Ressources naturelles et Faune Québec, Intergraph, Intélec, Kheops, Groupe ALTA), les membres de l'équipe SIG du Département contribuent de façon importante à la communauté géomatique, et à celle en SIG en particulier, tant nationale qu'internationale. C'est avec enthousiasme qu'ils abordent ce deuxième centenaire du Département.

Références / References

- Badard, T. 2006. Geospatial Service Oriented Architectures for Mobile Augmented Reality, First International Workshop on Mobile Geospatial Augmented Reality, May 29-30, Alberta, Canada.
- Badard, T., Y. Bédard, F. Hubert, E. Bernier et É. Dubé. 2007. Web Services Oriented Architectures for Mobile SOLAP Applications. *International Journal of Web Engineering and Technology (IJWET)*, in press.
- Bakillah, M., M. Mostafavi, Y. Bédard et J. Brodeur. 2007. An Approach for Measuring Data Quality Based on a Model for Automatic Semantic Mapping. *Proceedings of the 5th International Symposium on Spatial Data Quality*, June 13-15, Enschede, Netherlands.
- Bédard, Y. 1999. Visual Modelling of Spatial Database towards Spatial PVL and UML, *Geomatica*, 53(2), pp. 169-185.
- Bédard, Y. et F. Paquette. 1989. Extending Entity/Relationship Formalism For Spatial Information Systems, *AUTO-CARTO 9*, April 2-7, Baltimore, pp. 818-827.
- Bédard, Y., J. Pageau et C. Caron. 1992. Spatial Data Modeling: The Modul-R Formalism and CASE Technology. ISPRS Symposium, August 1-14, Washington, United-States.
- Bédard, Y., S. Larrivée, M.J. Proulx et M. Nadeau. 2004. Modeling Geospatial Databases with Plug-Ins for Visual Languages: A Pragmatic Approach and the Impacts of 16 Years of Research and Experimentations on Perceptory, S. Wang et al. (Eds.): COMOGIS Workshops ER2004, Shanghai, China, LNCS 3289, pp. 17-30.
- Bédard, Y. et S. Larrivée. 2007. Spatial Database Modeling with Pictogrammic Languages. *Encyclopedia of Geographic Information Science*, Shashi Shekhar and Hui Xiong (eds.), Springer. in press.
- Bédard, Y., S. Rivest et M.-J. Proulx. 2007. Spatial On-Line Analytical Processing (SOLAP): Concepts, Architectures and Solutions from a Geomatics Engineering Perspective, Robert Wrembel et Christian Koncilia (ed(s)), *Data Warehouses and OLAP : Concepts, Architectures and Solutions*, Chap. 13, IRM Press (Idea Group), London, UK, pp. 298-319.
- Bejaoui, L., Y. Bédard, M. Schneider et F. Pinet. 2007. On Increasing Logical Consistency of Databases Storing Vague Spatio-temporal Objects. 5th International Symposium on Spatial Data Quality (ISSDQ 2007), June, 13-15th, Enschede, The Netherlands.
- Bernier, E. et Y. Bédard. 2007. A Data Warehouse Strategy for on-Demand Multiscale Mapping, Mackaness W., A. Ruas, T. Sarjakoski (ed(s)), *Generalisation of Geographic Information: Cartographic Modelling and Applications*, Chap. 9, pp. 177-198.
- Bernier, E., Y. Bédard, T. Badard et F. Hubert. 2007. UMapIT: Merging the datacube paradigm with an occurrence-based approach to support on-demand Web mapping, M. Peterson (ed(s)), *International Perspectives on Maps and the Internet*, Springer Verlag, in press.
- Brodeur, J., Y. Bédard, G. Edwards et B. Moulin. 2003. Revisiting the Concept of Geospatial Data Interoperability within the Scope of Human Communication Processes. *Transactions in GIS*, 7(2), pp. 243-265.
- Brodeur, J., Y. Bédard et B. Moulin. 2005. A geosemantic proximity-based prototype for interoperability of geospatial data. *Computer, Environment and Urban Systems*, 29(6), pp. 669-698.
- Brodeur, J. et T. Badard. 2007. Contribution of ISO191xx Standards to Spatio-temporal Modeling. *Encyclopedia of Geographical Information Science*, Shashi Shekhar and Hui Xiong (eds.), Springer. in press.
- Daniel, S. et T. Badard. 2006. Conception et développement d'une solution de réalité augmentée mobile pour la navigation urbaine. *Géomatique 2006*, 25-26 octobre, Montréal, Canada.
- Devillers, R., Y. Bédard et R. Jeansoulin. 2005. Multidimensional Management of Geospatial Data Quality Information for its Dynamic Use Within Geographical Information Systems, *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (PE&RS)*, 71(2), pp. 205-215.
- Devillers, R., Y. Bédard, R. Jeansoulin et B. Moulin. 2007. Towards Spatial Data Quality Information Analysis Tools for Experts Assessing the Fitness for Use of Spatial Data. *International Journal of Geographical Information Sciences (IJGIS)*, 21(3), pp. 261-282.
- Dubé, É., T. Badard et Y. Bédard. 2007. Service Web de constitution en temps réel de mini-cubes SOLAP pour clients mobiles. Atelier SIG ubiquitaire - SIG mobiles, CQFD-Géo / SAGEO, 18-20 juin, Clermont-Ferrand, France. À paraître dans un numéro spécial de la *Revue internationale de géomatique*, Paris, Hermès.
- Edwards, G. et M.-L. Bourbeau. 2006. Cognitive Design Factors for Mixed Reality Environments, First International Workshop on Mobile Geospatial Augmented Reality, May 29-30, Alberta, Canada.
- Gervais M., Y. Bédard, R. Jeansoulin et B. Cervelle. 2007. Modèle de gestion de l'incertitude de la dimension spatiale des bases de données géographiques : approche juridique. *Revue internationale de géomatique*, 17(1), pp. 33-62.
- Guillotte, K., Y. Bédard et T. Badard. 2006. Développement d'un service Web de transformation des données routières : application à un système géomatique mobile (M2G). *Géomatique 2006*, 25-26 octobre, Montréal, Canada.
- Hashemi, L., M.A. Mostafavi et J. Pouliot. 2007. 3D Dynamic Simulation Within GIS in Support of Disaster Management, dans : Li, J. et al. (eds), *Geomatics Solutions for Disaster Management*, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, Springer.
- Hubert, F., E. Bernier, Y. Bédard et P. Frenette. 2004. Améliorer la cartographie sur demande sur le Web :

- l'application UMapIT, *Colloque Géomatique 2004 - Un choix stratégique!*, 27-28 octobre, Montréal, Canada.
- Lévesque, M.-A., Y. Bédard, M. Gervais et R. Devillers. 2007. Towards Managing the Risks of Data Misuse for Spatial Datacubes. International Symposium on Spatial Data Quality. ITC, June 13-14, Enschede, The Netherlands.
- Mc Hugh, R., S. Roche et Y. Bédard. 2007. Vers une solution SOLAP comme outil participatif. Comptes-rendus de la Conférence québéco-française pour le développement de la géomatique- CQFD 2007, 20 juin, Clermont-Ferrand, France.
- Mostafavi, MA. et C.M. Gold. 2004. A global dynamic spatial data structure for marine simulation. *International Journal of Geographical Information Science (IJGIS)*, 18(3), 2004, pp. 211-227.
- Mostafavi, M. A. 2006. Interactive multi-dimensional GIS and Geosimulation, First International Workshop on Mobile Geospatial Augmented Reality, 29-30 May, Alberta, Canada.
- Mostafavi M. A. 2007. Réalité géospatiale augmentée et mobile : une technologie émergente pour supporter des applications en micro-géomatique. GéoCongrès, Québec, octobre.
- Pouliot, J., T. Badard, E. Desgagné et Y. Bédard. 2007. Development of a Web Geological Feature Server (WGFS) for sharing and querying of 3D objects. 2nd International Workshop on 3D Geo-Information: Requirements, Acquisition, Modelling, Analysis, Visualisation, Delft, the Netherlands, December 12-14, 2007. À paraître dans Lecture Notes on Geo-Information, Springer.
- Pouliot, J., B. Lachance et D. Kirkwood. 2006. L'importance de la modélisation géométrique 3D lors de l'élaboration d'un SIG 3D : exemple du développement d'une structure topologique pour une application géologique. *Revue internationale de géomatique : Information géographique tridimensionnelle*, 16(1), pp. 29-49.
- Pouliot, J., E. Desgagné, T. Badard et Y. Bédard. 2006. SIG 3D : où en sommes-nous et quelles sont les avenues de développement? Conférence *Géomatique 2006* de l'Association canadienne des sciences géomatiques, 25-26 octobre, Montréal, Canada.
- Proulx, M.-J., E. Bernier et Y. Bédard. 2006. Exploration d'applications décisionnelles à la Direction des inventaires forestiers : développement d'un tableau de bord et d'une application Spatial OLAP (SOLAP). Rapport de recherche pour la Direction des inventaires forestiers-MRNPF, mars, 69 p.
- Rivest, S., Y. Bédard, M.-J. Proulx, M. Nadeau, F. Hubert et J. Pastor. 2005. SOLAP: Merging Business Intelligence with Geospatial Technology for Interactive Spatio-Temporal Exploration and Analysis of Data. *Journal of International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS)* "Advances in spatio-temporal analysis and representation", 60(1), pp. 17-33.
- Roche S. 2003. Geographic Information and Public Participation: Research Proposal from a French Perspective, *URISA Journal*, vol.15, n° special APA II, pp. 41-48.
- Sabo M.N, A. Cardenas, Y. Bédard et E. Bernier. 2005. Introduction du concept de patron géométrique et application aux bâtiments afin de faciliter leur généralisation cartographique à la volée. *Geomatica*, Journal of the Canadian Institute of Geomatics, 59(3), pp. 295-311.
- Salehi, M., Y. Bédard, M. Mostafavi et J. Brodeur. 2007. From Transactional Spatial Databases Integrity Constraints to Spatial Data Cubes Integrity Constraints. *Proceedings of the 5th International Symposium on Spatial Data Quality*, June 13-15th, Enschede, The Netherlands.
- Sboui, T., Y. Bédard, J. Brodeur et T. Badard. 2007. A Conceptual Framework to Support Semantic Interoperability of Geospatial Datacubes, SeCoGIS 2007, 5-9 November, Auckland, New Zealand (in press in LNCS, Springer).
- Yaagoubi, R., G. Edwards et T. Badard. 2006. Élaborer une approche d'assistance à la navigation à inspiration cognitive pour les personnes souffrantes d'une incapacité visuelle majeure. *Géomatique 2006*, 25-26 octobre, Montréal, Canada.

Auteurs / Authors

Yvan Bédard est professeur en SIG et bases de données géospatiales. Il est membre du CRG où il effectue des travaux en bases de données spatiales, en géomatique décisionnelle (SOLAP) et en qualité des données. Il est titulaire de la Chaire de recherche industrielle CRSNG en bases de données géospatiales décisionnelles.

Yvan Bédard is a professor in GIS and Spatial Databases. He is also a member of the CRG. Dr. Bédard has been focusing on spatial databases, spatial business intelligence (SOLAP) and data quality. He holds an NSERC Industrial Research Chair in Geospatial Database for Decision Support.

Eveline Bernier détient un B.Sc. et une M.Sc. en géomatique de l'Université Laval. Elle travaille à titre de professionnelle de recherche au CRG depuis 2002. Ses principaux intérêts de recherche concernent les bases de données à représentation multiple, la cartographie sur demande, les bases de données multidimensionnelles et le SOLAP.

Eveline Bernier holds a B.Sc. and an M.Sc. in geomatics from Laval University. She has worked as a research assistant at the Centre for Research in Geomatics since 2002. Her main research interests include multiple representation databases, on-demand mapping, multidimensional spatial databases and SOLAP.



Yvan Bédard



Eveline Bernier

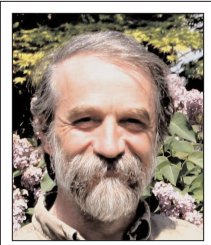
Thierry Badard est professeur au Département des sciences géomatiques. Il est également chercheur régulier du Centre de recherche en géomatique (CRG). Ses intérêts de recherche concernent principalement les applications géomatiques mobiles, les services Web géospatiaux et les LBS (Location Based Services).



Thierry Badard

Thierry Badard is a professor at the Department of Geomatics Sciences. He is also a full-time researcher of the Centre for Research in Geomatics (CRG). His research interests mainly deal with mobile GIS applications, geospatial web services, and Location Based Services (LBS).

Nicholas Chrisman est professeur au Département des sciences géomatiques à l'Université Laval depuis janvier 2005. Il est aussi directeur scientifique du réseau GEOIDE. Avant cela, il était professeur à l'Université de Washington et à l'Université du Wisconsin à Madison et, en tout premier, chercheur au *Harvard Lab for Computer Graphics*.



Nicholas Chrisman

Nicholas Chrisman has been a professor in the Department of Geomatics Sciences at Laval University since January 2005. He is also the Scientific Director of the GEOIDE Network. Before taking this post, he was a professor at the University of Washington and at the University of Wisconsin-Madison, and in the first instance, a researcher at the Harvard Lab for Computer Graphics.

Stéphane Roche est professeur et directeur du Département des sciences géomatiques. Ses recherches portent sur les enjeux sociaux et économiques des infrastructures géomatiques, sur l'analyse du processus de démocratisation de la géomatique et les questions d'accès et d'usages participatifs de l'information géospatiale.



Stéphane Roche

Stéphane Roche is a professor and the head of the Department of Geomatics Sciences. His research interests deal with the economical and social issues of geomatics infrastructures, analysis of the democratization process of geomatics, and issues of access and participatory uses of geospatial information.

Geoffrey Edwards est professeur titulaire au Département et membre du CRG. Il est titulaire d'une chaire du Canada en géomatique cognitive. Ses intérêts actuels portent sur les relations entre le corps et l'espace pour différents domaines (ex. réalité augmentée, médecine, arts de la scène).



Geoffrey Edwards

Geoffrey Edwards is a full professor in the Department and a member of the CRG. He holds a Canada Chair in Cognitive Geomatics. His research interests are now focusing on the relationships between space and the human body for different fields of application (e.g. augmented reality, medicine, artistic performances).

Mir Abolfazl Mostafavi est professeur au Département des sciences géomatiques et chercheur régulier au Centre de recherche en géomatique (CRG) de l'Université Laval. Il est également officier scientifique de la commission II/IV WG de la Société internationale de photogrammétrie et de télédétection (SIPT). Ses intérêts de recherche portent principalement sur la modélisation et la représentation des données spatiales dans un environnement dynamique et multidimensionnels (DMGIS), la qualité des données géospatiales et la réalité géospatiale augmentée et mobile.



Mir Abolfazl Mostafavi

Mir Abolfazl Mostafavi is a professor at the Department of Geomatics Sciences and member of the Centre for Research in Geomatics at Laval University. He is scientific secretary of the commission II/IV WG of the International Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS). His main research interests are related to dynamic and multidimensional GIS (DMGIS), spatial data quality and mobile geospatial augmented reality.

Jacynthe Pouliot est professeure et directrice des études supérieures au Département des sciences géomatiques de l'Université Laval. Elle détient un Ph.D. en géomatique avec une spécialisation en systèmes d'information géographique et est membre de l'Ordre des arpenteurs-géomètres du Québec depuis 1988. Mme Pouliot est également chercheuse régulière au Centre de recherche en géomatique.



Jacynthe Pouliot

Jacynthe Pouliot is a professor and the director of the graduate programs in

the Department of Geomatics Sciences at Laval University. She has a Ph.D. in Geomatics with a specialization in geographic information systems. Since 1988, she has been a member of the Quebec Land Surveyors Association. Mrs Pouliot is also a member of the Centre for Research in Geomatics.

Marc Gervais est professeur adjoint au Département des sciences géomatiques de l'Université Laval. Ses travaux de recherche portent principalement sur la délimitation de la propriété foncière, l'expertise et le bornage, la qualité de l'information géospatiale ainsi que le droit professionnel.

Marc Gervais is an assistant professor in the Department of Geomatics Sciences at Laval University. His research concerns mainly the establishment of boundaries, proof by expert and demarcation, spatial data quality and professional right.



Marc Gervais

Frédéric Hubert est professeur au Département des sciences géomatiques. Il détient un doctorat en informatique de l'Université de Caen (France) depuis 2003, effectué au laboratoire COGIT de l'IGN-France. Ses intérêts de recherche se concentrent sur l'utilisabilité et l'accessibilité des systèmes géospatiaux, la spécification des besoins utilisateurs, la communication homme-machine et l'intelligence artificielle.

Frédéric Hubert is a professor at the Department of Geomatics Sciences. He received a Ph.D. in computer science from the University of Caen (France) in 2003, completed at COGIT laboratory from IGN-France. His research interests include usability and accessibility of geospatial systems, user-needs specification, man-machine communication and artificial intelligence.



Frédéric Hubert

Suzie Larrivée détient un baccalauréat en géomatique de l'Université Laval et travaille en SIG et en bases de données spatiales depuis 1990 au Département. Elle prépare les laboratoires dans les cours et collabore dans les projets de recherche reliés à ces deux domaines au CRG.

Suzie Larrivée holds a B.Sc. in geomatics from Laval University. Since 1990



Suzie Larrivée

she has worked in GIS and geospatial databases at the Department. She prepares course labs and collaborates in research projects in these two domains in the CRG.

Marie-Josée Proulx oeuvre depuis 1995 dans l'équipe de bases de données spatiales et SIG du CRG. Elle possède un B.Sc. et une M.Sc. en géomatique de l'Université Laval. Ses principaux champs d'intérêts portent sur la modélisation de données, les bases de données multidimensionnelles, les ontologies spatiales et les métadonnées.

Marie-Josée Proulx has worked since 1995 in spatial databases and GIS at the CRG. She holds a B.Sc. and an M.Sc. in geomatics from Laval University. Her main research interests are spatial data modelling, multidimensional databases, spatial ontologies and metadata.



Marie-Josée Proulx

Sonia Rivest possède un B.Sc. et une M.Sc. en géomatique de l'Université Laval. Elle travaille présentement en tant que professionnelle de recherche au CRG. Ses intérêts professionnels incluent les bases de données multidimensionnelles, les entrepôts de données spatiales ainsi que les outils SOLAP.

Sonia Rivest holds a B.Sc. and an M.Sc. in Geomatics from Laval University. She works at the CRG as a research professional within the GIS and spatial databases team. Her professional interests include multidimensional databases, spatial data warehouses and SOLAP.



Sonia Rivest

Martin Nadeau détient un B.Sc. en géomatique ainsi qu'un certificat en informatique de l'Université Laval. Il est actuellement professionnel de recherche au CRG. Ses intérêts incluent la programmation orientée-objet, les métadonnées et répertoires et le SOLAP.

Martin Nadeau holds a B.Sc. in geomatics and a certificate in computer sciences from Laval University. He works at the CRG as a research assistant within the GIS and spatial databases team. His interests include object-oriented programming, metadata, repository and SOLAP.



Martin Nadeau

Étienne Dubé débute sa carrière comme professionnel de recherche au



Étienne Dubé

CRG. Il détient un B.Ing. en génie informatique ainsi qu'une M.Sc. en géomatique. Ses intérêts de recherche portent sur les bases de données multidimensionnelles, les services Web, la mobilité et les normes.

Étienne Dubé is starting his career as a research professional in the CRG. He holds a B.Eng. in computer engineering and an M.Sc. in geomatics. His research interests involve multidimensional databases, web services, mobility and standards.



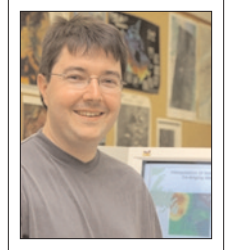
Jean Brodeur

Jean Brodeur est scientifique de recherche en géomatique au Centre d'information topographique du ministère Ressources naturelles Canada. Il est président du Comité consultatif canadien à l'ISO/TC 211 et vice-président du Comité sur la géomatique de l'office des normes générales du Canada sur la normalisation en géomatique. Il est professeur associé au Département et chercheur associé au CRG.

Jean Brodeur is scientific researcher at the Centre for Topographic Information of Natural Resources Canada. He chairs the Canadian Advisory Committee to ISO/TC 211 and vice-chairs the Committee on Geomatics of the Canadian General Standards Board on the standardization on standardization in geomatics. He is adjunct professor and associate researcher at the CRG.

Rodolphe Devillers est professeur au Département de géographie de l'Université Memorial de Terre-Neuve. Il collabore à titre de professeur associé à l'Université Laval et chercheur associé du CRG. Ses travaux portent sur la qualité des données dans les SIG et la géomatique marine.

Rodolphe Devillers is professor in Geography at Memorial University of Newfoundland. He collaborates actively as an adjunct professor at Laval University and an adjunct researcher at the CRG. His fields of research are Spatial Data Quality in GIS and Marine Geomatics. □



Rodolphe Devillers