

Enrichissement du OLAP pour l'analyse géographique: exemples de réalisations et différentes possibilités technologiques

Yvan Bédard*, Marie-Josée Proulx**, Sonia Rivest ***

Chaire industrielle CRSNG en bases de données géospatiales décisionnelles
Centre de recherche en géomatique,
0611 Pavillon Casault,
Département des Sciences géomatiques
Faculté de Foresterie et de Géomatique
Université Laval, Québec, Canada,
G1K 7P4

*Yvan.Bedard@scg.ulaval.ca

<http://sirs.scg.ulaval.ca/YvanBedard>

**Marie-Josee.Proulx@scg.ulaval.ca

***Sonia.Rivest@scg.ulaval.ca

Résumé. D'importants efforts sont déployés depuis une quinzaine d'années pour mettre en place des systèmes d'aide à la décision sur le territoire. Ces systèmes reposent toutefois sur les systèmes d'information géographique (SIG) et les approches transactionnelles habituelles (OLTP) pour produire l'information géodécisionnelle, souvent avec des délais inacceptables, voire des coûts prohibitifs au point d'en laisser tomber la production. Par conséquent, les nouvelles applications Spatial OLAP (SOLAP) arrivent à point pour permettre efficacement le déploiement d'applications d'aide à la décision et d'exploration des données géographiques. Cet article vise à faire connaître les besoins et avantages liés aux applications SOLAP, particulièrement à l'exploration cartographique des données. Puisque de telles applications n'ont pratiquement pas été abordées par la communauté informatique, cet article délaisse les aspects scientifiques traditionnels du OLAP déjà bien couverts par cette dernière au profit d'exemples concrets d'applications SOLAP et d'un survol des principaux concepts propres à celles-ci. Notamment, une catégorisation en trois familles de solutions y est proposée, soit OLAP-dominant, SIG-dominant et intégrée. Chaque exemple d'application y est positionné et les avantages d'une technologie SOLAP y sont présentés. Riche de ces expériences, nous terminons avec quelques "difficultés cachées" de la référence spatiale qui font l'objet de nos préoccupations de recherche.

1. Introduction

Partout dans le monde, de nombreuses organisations dépensent des sommes colossales en acquisition de données localisées sur le territoire. La production cartographique, l'établissement de relations avec les bases de données internes à l'organisation et l'analyse spatiale de ces données relèvent du domaine de la géomatique qui représente un marché annuel de plusieurs dizaines de milliards d'euros. Cependant, les données ainsi produites sont surtout de nature opérationnelle et difficiles à exploiter à des fins décisionnelles, fins qui demandent des informations multisources, agrégées, des comparaisons dans l'espace et le temps, des synthèses, des mesures de tendances, des réponses rapides à des requêtes imprévues, etc. D'importants efforts sont déployés depuis une quinzaine d'années pour mettre en place des systèmes d'aide à la décision géospatiale, mais ces systèmes reposent sur les systèmes d'information géographique (SIG) et les approches transactionnelles habituelles (OLTP) pour produire l'information géodécisionnelle, souvent avec des délais inacceptables, voire des coûts prohibitifs au point d'en laisser tomber la production. Cette situation nuit à la prise de décision tactique/stratégique (ex. déploiement des ressources, de nouvelles infrastructures) et devient particulièrement problématique en situation d'urgence où tout retard peut avoir des impacts majeurs. Cette difficulté de produire l'information géospatiale décisionnelle provient de cinq problèmes : (1) des méthodes inadéquates de conception de bases de données géospatiales à fins décisionnelles, (2) la difficulté, voire l'impossibilité d'agréger et synthétiser automatiquement des données cartographiques hétérogènes, (3) la difficulté d'évaluer la qualité de l'information géospatiale agrégée, (4) une sous-exploitation des technologies de l'information et des communications par la communauté géomatique, et (5) un manque de technologies décisionnelles géospatiales efficaces. Le présent article traite de ce dernier point, particulièrement de l'analyse spatiale en ligne (SOLAP).

Il est déjà reconnu que pour soutenir leurs processus décisionnels, les organismes déploient des entrepôts de données et utilisent des outils clients spécifiques afin d'accéder, visualiser et analyser leurs données intégrées. Puisqu'une grande partie de ces données peut avoir une composante spatiale (ex. position GPS, adresse civique, polygone cartographique), de nouveaux outils sont nécessaires pour profiter pleinement de la position et la forme des phénomènes analysés. Il a été démontré [Caron 1998] que les technologies OLAP sans visualisation et navigation cartographiques présentent d'importantes limitations pour l'analyse de phénomènes géographiques et spatio-temporels comme on en rencontre en environnement, foresterie, agriculture, urbanisme, sécurité, transport, etc. Malheureusement, cette solution prévaut encore aujourd'hui malgré que différentes possibilités existent pour développer des applications d'analyse spatiale en ligne (appelées "applications SOLAP").

L'objectif de cet article est de présenter ces différentes possibilités tout en mettant l'accent sur la solution la plus évoluée : la "technologie SOLAP". Ainsi, la prochaine section résume les besoins spécifiques au monde géodécisionnel et présente les opportunités qui conduisent depuis 1997, au développement d'applications SOLAP avec différentes solutions (ex. combinaisons SIG + OLAP, technologie SOLAP). La troisième section définit la technologie SOLAP et présente certains concepts spécifiques aux données spatiales accompagnés d'exemples d'applications. La quatrième section présente les différentes méthodes de développement d'applications SOLAP, incluant l'utilisation de la technologie Spatiale OLAP et chaque exemple d'application y est positionné. Finalement, nous concluons avec des

avenues de recherche importantes pour le développement d'applications SOLAP du point de vue de géomaticiens spécialisés sur la donnée géospatiale.

2. Les besoins spécifiques du géodécisionnel.

Les données emmagasinées dans les entrepôts de données forment la base des analyses et guident l'organisation dans sa prise de décision. Cependant, les données ne sont pas toujours exploitées selon leur plein potentiel et une partie de leur richesse, c'est-à-dire, leur composante spatiale, est souvent inutilisée. "Hidden in most data is a geographical component that can be tied to a place : an address, postal code, global positioning system location, (...) region or country" [ESRI 2000]. En effet, il est estimé qu'environ quatre-vingt pour cent des données stockées dans les bases de données corporatives possèdent une référence spatiale [Franklin 1992], laquelle référence peut inclure, en plus de la position, une forme, une orientation et une taille. La simple visualisation de cette composante spatiale permet de répondre à un premier besoin, soit de mieux comprendre le phénomène en question en voyant sa position dans un cadre de référence géographique, en voyant son étendue sur le territoire, en voyant sa distribution sur le territoire (concentrée, dispersée, par groupes, aléatoire, régulière, etc.). Une telle visualisation permet de découvrir des informations non disponibles dans les outils OLAP traditionnels, soit des modes de distribution géographique du phénomène ne suivant pas les découpages territoriaux prédéfinis comme membres d'une dimension (ex. nom du pays, nom de la région, nom de la ville).

L'utilisation de la composante spatiale permet également de répondre à un deuxième besoin, soit de découvrir des relations spatiales entre différents phénomènes géographiques (ex. corrélation spatiale entre une fréquence d'une maladie X et un taux d'émission d'un polluant Y). Cette découverte peut se faire par visualisation même si une corrélation ne suit pas la hiérarchie de la dimension territoriale telle que définie dans le cube de données (i.e. dont la délimitation géographique est uniquement identifiée par un nom de lieu, comme pays – province - région administrative). Cette découverte peut également se faire par l'ajout de plusieurs découpages territoriaux ou l'ajout de dimensions d'analyse spatiale [Marchand *et al* 2004]. Souvent, l'affichage cartographique révèle des informations (ex. proximité entre deux phénomènes isolés, étendue d'un phénomène, forme d'un phénomène longeant une rive, orientation des phénomènes selon un flanc de montagne) qui n'auraient pas été soupçonnées en faisant appel à d'autres méthodes de représentation telles que les tableaux et les graphiques.

Un troisième besoin majeur dans un contexte d'analyse spatiale en ligne est celui de pouvoir naviguer dans une carte aussi librement que ce que permet un outil OLAP dans les tableaux et graphiques statistiques. Ainsi, l'utilisateur a besoin de pouvoir regarder les détails d'une région d'intérêt grâce à un forage spatial, comparer ces détails avec ceux d'une autre région qui n'est pas adjacente, découvrir s'il y a des caractéristiques communes entre les distributions spatiales du phénomène dans ces deux régions, remonter à une vision plus globale pour comparer un phénomène local avec un phénomène national, voir l'évolution du phénomène sur le territoire sans être restreint au découpage géographique de la dimensions spatiale utilisée, obtenir des valeurs statistiques spatiales et temporelles sur l'évolution de ce phénomène, etc. Beaucoup de connaissances géographiques peuvent être obtenues par l'utilisation appropriée de la visualisation et de la navigation cartographique à la OLAP, et ceci même pour des références spatiales non prévues dans le cube de données.

L'utilisation de la carte comme médium d'exploration de données permet d'avoir un modèle informatisé se rapprochant davantage de la réalité de l'utilisateur et conséquemment lui demandant un moins grand effort d'abstraction, ce qui accroît son efficacité. L'utilisation de la cartographie impose également une utilisation plus judicieuse, grâce à la sémiologie graphique [Bertin 1977, Tufte 1992], des variables visuelles telles que la couleur, la teinte, le poids des traits et la trame, mettant ainsi en action de façon plus efficace les principales facultés corticales (mot, image, nombre, couleur, conscience spatiale, etc.). Les cartes se prêtent mieux que les tableaux et graphiques statistiques à l'ajout de codes, symboles et couleurs significatifs permettant de mieux supporter l'exploration interactive des données.

La possibilité de naviguer dans la carte permet de chercher des associations, favorisant la découverte de relations spatiales insoupçonnées et potentiellement la construction d'un nouveau cube de données avec un découpage différent du territoire. Une application SOLAP, comparativement à une application OLAP, réveille davantage notre capacité de visualisation exceptionnelle car la capacité de perception et de réflexion du cerveau humain, tout comme sa mémoire, relèvent du domaine de l'image. Plusieurs études, dont principalement celle de Standing [1973], ont démontré que la capacité de rétention de la mémoire est beaucoup plus grande pour les images que pour les mots [Fortin et Rousseau 1989] et que pour les chiffres. Selon [Buzan et Buzan 2003], "les images sont donc souvent plus évocatrices que les mots, plus précises et plus aptes à déclencher un vaste éventail d'associations". L'application de la théorie soutenue par ces deux auteurs et de plusieurs autres recherches sur le cerveau (ex. [Standing 1973]) nous amène à déduire que l'effet stimulant que procurent les cartes incite à une meilleure exploration des données en gardant le cerveau plus alerte, en encourageant un meilleur rythme visuel, en développant davantage la conscience spatiale et en améliorant la vision globale.

Pour obtenir une telle efficacité avec les données géospatiales, plusieurs défis doivent être surmontés et des avenues de recherche importantes doivent être adressées puisque certains aspects demeurent problématiques. Alors que certaines avenues relèvent davantage de l'informatique traditionnelle (ex. indexation et compression des données), d'autres relèvent typiquement de la géomatique (ex. généralisation cartographique, représentation multiple, précision spatiale, sémiologie cartographique, intégration et agrégation spatiale).

De toute évidence, les outils client actuellement utilisés pour exploiter les entrepôts ne sont pas adaptés aux entrepôts de données géospatiales, car ils n'exploitent pas la structure géométrique des données [Han et Kamber 2001]. Certes, ils peuvent être utilisés, mais sans la capacité de manipuler la composante cartographique, ils ne peuvent pas supporter d'analyses ni d'explorations avancées [Rivest *et al* 2003].

De nouveaux outils client sont requis pour exploiter le plein potentiel de cette composante cartographique. Les systèmes d'information géographique (SIG) qui permettent d'assembler, stocker, manipuler et afficher l'information à référence spatiale [Longley *et al* 2001] représentent un premier candidat potentiel. Par contre, malgré ses capacités d'analyse spatiale poussées, il est reconnu que le SIG seul, avec son architecture OLTP limitée, souffre d'un interface de requête complexe et de temps de réponse lents aux requêtes agrégatives, en plus de ne pas offrir les fonctions temporelles et navigationnelles nécessaires pour soutenir l'aide à la décision. Des solutions alternatives doivent être développées [Bédard *et al* 2001]. Dans un premier temps, l'utilisateur doit pouvoir se concentrer sur l'information recherchée (le "quoi") et non pas sur les opérations nécessaires pour y parvenir (le "comment"). Dans un deuxième temps, pour être efficace, le processus de prise de décision doit suivre le flux de pensée de l'utilisateur. Il ne doit pas être interrompu par des manipulations complexes et des

temps de réponse trop longs. Les requêtes spatiales, la navigation, l'affichage des cartes avec niveau de détail et la sémiologie graphique appropriée, ainsi que la synchronisation entre les vues cartographiques, tabulaires et graphiques doivent s'effectuer à l'intérieur de 10 secondes, soit à l'intérieur de la bande cognitive identifiée par [Newell 1990]. Ce haut niveau de convivialité associé à une interactivité très fluide sont nécessaires pour naviguer à la vitesse de la pensée [Vitt *et al* 2002]. Enfin, le tout représente en soi un défi majeur pour les SIG lorsqu'ils sont utilisés seuls. Ainsi, parmi les solutions potentielles, le couplage des technologies spatiales et non-spatiales, comme SIG et OLAP, semble être une bonne option et a été expérimenté par notre équipe depuis 1997. Ce couplage a pavé la voie à l'émergence d'une nouvelle famille d'outils mieux adaptée pour les analyses spatiales et spatiotemporelles, c'est-à-dire les technologies SOLAP. Cette nouvelle famille est conçue dès le départ pour exploiter les entrepôts de données spatiales multiéchelles, l'enrichissement des concepts d'exploration de données en fonction d'une référence spatiale explicite et le paradigme multidimensionnel, ce qui lui procure plusieurs avantages sur les simple couplages SIG-OLAP.

3. Qu'est-ce qu'une technologie SOLAP ?

La technologie SOLAP peut être définie comme "un type de logiciel qui permet la navigation rapide et facile dans les bases de données spatiales et qui offre plusieurs niveaux de granularité d'information, plusieurs thèmes, plusieurs époques et plusieurs modes d'affichage synchronisés ou non : cartes, tableaux et diagrammes " [Bédard 2004]. La technologie SOLAP supporte la structure multidimensionnelle telle qu'utilisée en informatique décisionnelle, ce qui lui confère un immense avantage sur les logiciels de déploiement d'application cartographique sur le Web (ex. ArcIMS, GeoMedia WebMap, MapX), même lorsque ceux-ci offrent des opérations appelées forage (ex. Push'n'See [Korem 2005]), car ces derniers sont basés sur une structure transactionnelle. La technologie SOLAP offre aussi de nouvelles fonctions d'aide à la décision non disponibles dans les SIG traditionnels ni dans les outils OLAP (cf. section 3.2). Malgré une histoire courte, le SOLAP atteint déjà un premier niveau de maturité avec ses propres concepts, technologies et applications.

Une technologie SOLAP permet la visualisation cartographique des données, la navigation cartographique dans la carte elle-même ou dans les symboles affichés sur cette carte et ceci selon différents types de forage. Dans une technologie SOLAP la création des cartes résultantes des analyses est dynamique, contrairement à certains logiciels de visualisation OLAP (ex. Visualizer de Cognos) où chacune des opérations de navigation spatiales (ex. forage) doit être prédéfinie dans l'application et associée à une carte. Cette limitation complexifie la mise à jour des données géométriques en répartissant l'information sur plusieurs cartes. De plus, un tel outil SOLAP gère adéquatement les règles de représentation cartographique des résultats des analyses sur les cartes. Par conséquent, l'utilisation d'un tel outil ne nécessite pas le support d'un expert en cartographie même s'il permet à l'utilisateur de créer des centaines de milliers de cartes différentes par quelques clics de souris. Dans la présentation des résultats, la technologie SOLAP utilise les mêmes règles sémiologiques (ex. couleur, trame, contour) pour l'ensemble des affichages, i.e. tableaux, graphiques et cartes. Cela permet d'avoir une synchronisation visuelle entre les différents modes de présentation de l'information et d'avoir un panorama homogène. La sémiologie graphique utilisée pour les différents types d'affichage (i.e. tableaux, graphiques et cartes)

demeure synchronisée lors d'un forage ou lors d'autres opérations, conservant ainsi une continuité perceptuelle nécessaire à la découverte de corrélations.

Enfin, il faut distinguer les applications SOLAP des technologies SOLAP. Une technologie SOLAP est une technologie générique construite spécialement pour offrir des fonctions SOLAP de base ou plus avancées sans nécessiter d'efforts de programmation. Le premier produit commercial SOLAP est le résultat des travaux de notre laboratoire et est commercialisé sous le nom de JMap Spatial OLAP [KHEOPS 2005]. Une application SOLAP est une application métier qui fournit à l'utilisateur un certain nombre de fonctionnalités de type SOLAP et qui peut être construite soit avec la technologie SOLAP, soit avec des combinaisons de technologies non-SOLAP (ex. SIG et OLAP) et du code de programmation maison, ou soit avec d'autres technologies (ex. bibliothèques en Java).

3.1 Applications SOLAP réalisées avec différentes technologies.

Les outils SOLAP peuvent être utilisés pour déployer une multitude d'applications. À travers les différents projets de recherche, notre équipe a développé plusieurs applications dans un but d'expérimentations technologiques diverses et d'identification des lacunes des technologies du marché. Une des premières expériences a été réalisée en foresterie et a fait appel à deux produits fonctionnant en parallèle sans interface commune, soit PowerPlay de Cognos et GeoMedia d'Intergraph. Nous avons également expérimenté l'utilisation d'un logiciel de visualisation scientifique qui semblait offrir les fonctions recherchées, soit AVS (Advanced Visual Systems) [AVS 2005], mais avons abandonné cette piste après plusieurs mois de développement car la gestion des objets géométriques était déficiente lors de son utilisation en 1999 (ex. surfaces avec des trous, surfaces composées de polygones disjoints), le langage de programmation était propriétaire et le résultat devenait trop lourd à maintenir dans notre contexte. Par contre, une autre application fut développée pour aider les gestionnaires à distribuer les budgets de maintenance du réseau routier en se basant sur les périodes budgétaires, les conditions routières, la classification des routes, le flux de circulation, etc. En plus de croiser, visualiser et explorer les informations requises, le cube permet de simuler la dégradation de la chaussée et de calculer les coûts de différents types de maintenance [Rivest *et al* 2001]. La figure 1 présente cette application qui fut développée avec l'outil OLAP ProClarity [ProClarity 2005], SQL-Server Analysis Services de Microsoft et l'API de GeoMedia WebMap avec une interface commune développée en Visual Basic. Une autre application en transport permet d'analyser les données relatives aux différents types d'accidents en fonction de leur position sur le réseau routier et des caractéristiques de celui-ci, le tout en fonction de différentes périodes [cf. Rivest *et al* 2004]. La figure 2 illustre cette application cette fois-ci déployée avec une technologie SOLAP, soit JMap Spatial OLAP [KHEOPS 2005] et Oracle 10g. Contrairement aux autres solutions, celle-ci ne nécessitait pas de développement supplémentaire pour l'interface à l'utilisateur puisque cette technologie SOLAP inclut l'interface. Les détails des différentes méthodes utilisées pour ces applications SOLAP sont donnés à la section 4.

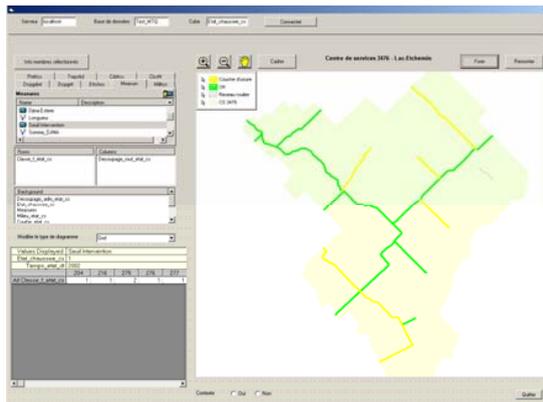


FIG. 1. Une application de gestion du réseau routier (ProClarity et GeoMedia WebMap) : Visualisation de l'état de la chaussée au niveau des segments de route.

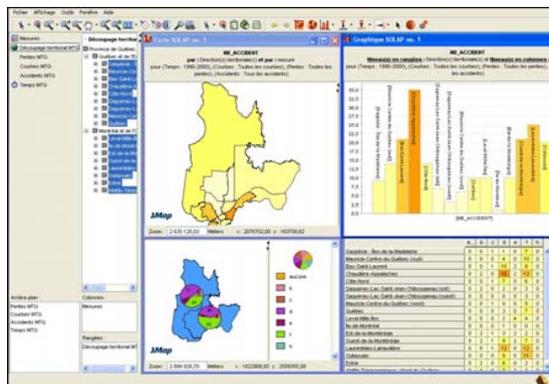


FIG. 2. Une application sur les accidents sur le réseau routier (JMap Spatial OLAP et Oracle 10g) : Visualisation de la fréquence des accidents par découpage territorial (en haut) et selon les types d'accidents (en bas).

Une application en santé environnementale permet d'explorer les relations entre les états de santé et les phénomènes environnementaux, comme l'incidence des maladies respiratoires en fonction de la qualité de l'air pour rapidement valider ou invalider une hypothèse [cf. Bédard 2002]. La figure 3 présente cette application développée par programmation en Visual Basic, MS Access et la librairie du logiciel de visualisation cartographique SoftMap et la même application à la figure 4 développée avec ProClarity, SQL-Server Analysis Services de Microsoft et KMapX [Knosys 2000] et une interface commune développée en VBScript.

Enrichissement du SOLAP pour l'analyse géographique

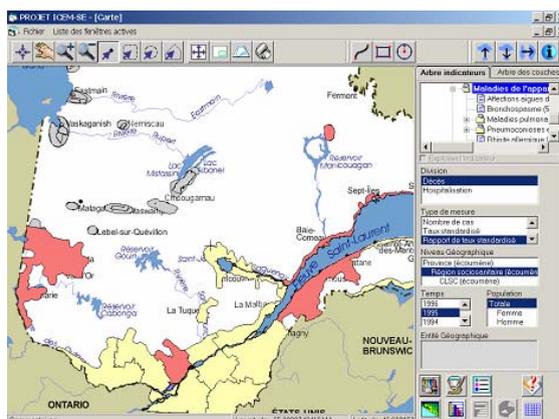


FIG. 3. Une application en santé environnementale (Visual Basic et librairie de SoftMap) : Visualisation des cas de décès de maladies respiratoires.

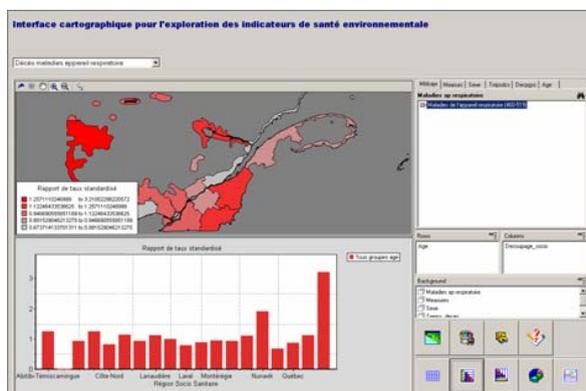


FIG. 4. Une application en santé environnementale (ProClarity et KMapx). Visualisation des cas de décès des maladies respiratoires.

Une application sur la cohorte d'étudiants inscrits ces 15 dernières années à l'Université Laval permet une analyse par programmes d'étude, provenances géographiques, institutions de provenance, etc. afin de mieux planifier les prochains efforts de recrutement [cf. Proulx et Bédard 2004]. Une application relative aux sports de haut niveau permet d'analyser les performances (vitesse, vitesse maximale, durée, constance) atteintes par des athlètes de patinage de vitesse sur différentes sections de la piste et selon différents facteurs techniques (ex. type de départ), mécaniques (ex. type de patin) et météorologiques (ex. vitesse et direction du vent), le tout à partir de mesures prises par système de positionnement satellitaire GPS [cf. Veilleux *et al* 2004]. Les figures 5 et 6 illustrent ces deux applications déployées avec la technologie JMAP Spatial OLAP et Oracle 10g.

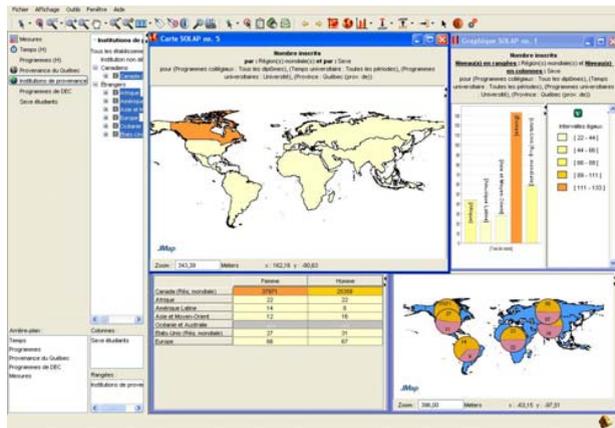


FIG. 5. Une application sur la cohorte d'étudiants (JMap Spatial OLAP) : Visualisation des étudiants par provenance géographique.

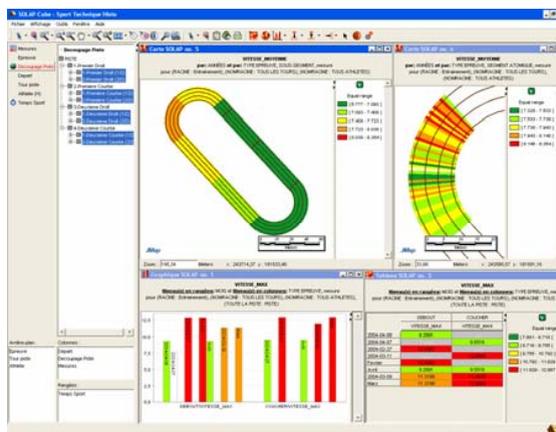


FIG. 6. Une application sur les performances des athlètes de patinage de vitesse (JMap Spatial OLAP) : Visualisation de la vitesse moyenne des patineurs sur la piste (gauche) et par segments de parcours (droite).

Plusieurs autres domaines d'applications ont été explorés par notre équipe, tels que la sécurité publique et le transport maritime. Récemment, des applications en SOLAP 3D sur la gestion des forêts et les fouilles archéologiques mettent à profit l'aspect tridimensionnel de l'espace, c'est-à-dire les volumes. Dans l'application en archéologie, il est possible de naviguer dans les différentes unités stratigraphiques fouillées afin de comparer les lots de fouille entre eux en fonction de leur couleur, de leur granulométrie, de leur consistance, de leur position géographique et stratigraphique et du type d'artefacts (ex. céramique) trouvés dans le lot [Fortin et Bédard 2004]. La figure 7 illustre l'application d'archéologie où les lots sont représentés comme des volumes (i.e. en trois dimensions) [Rageul 2004]. La figure 8

Enrichissement du SOLAP pour l'analyse géographique

présente une application sur la gestion des forêts qui permet de visualiser sur un modèle tridimensionnel, les volumes de bois, les perturbations naturelles, les essences végétales, etc [Brisebois 2004]. Ces deux projets sont basés sur une interface développée en Visual Basic utilisant le SIG ESRI ArcGIS, le client OLAP ProClarity et le serveur OLAP SQL-Server Analysis Services de Microsoft.

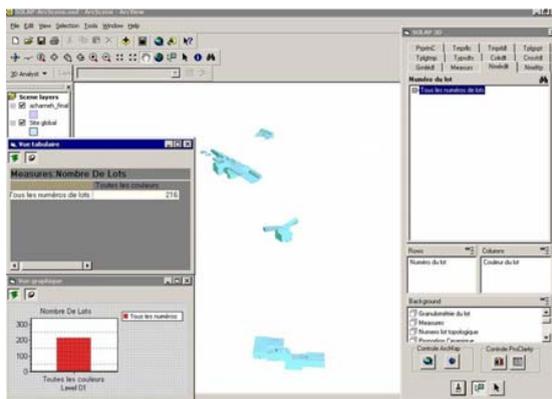


FIG. 7. Une application tridimensionnelle en archéologie (ESRI ArcGIS et ProClarity) : Visualisation des lots fouillés sous la forme de volume.

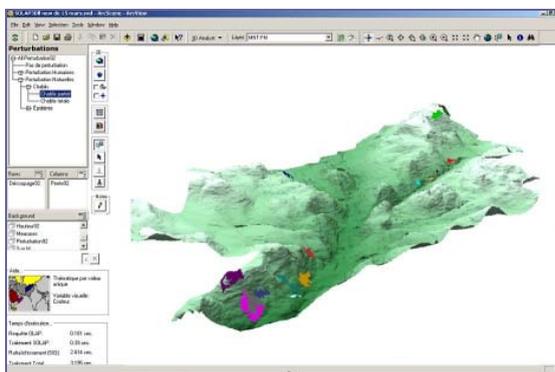


FIG 8. Une application tridimensionnelle pour la gestion des forêts (ESRI ArcGIS et ProClarity) : Visualisation des chablis sur le modèle 3D.

3.2 Vocabulaire du monde SOLAP

Comme c'est le cas pour toute technologie et norme géospatiale moderne, les concepts apportés ici reposent sur les concepts informatiques standards et apportent les extensions nécessaires pour effectuer de nouvelles fonctions ou pour améliorer l'exécution des fonctions existantes. Ainsi, en comparaison au modèle multidimensionnel conventionnel, le modèle

multidimensionnel spatial comprend aussi des faits et des dimensions non-spatiales. Par contre, comme nous le décrivons ci-après, il existe aussi des dimensions spatiales de différents types, des mesures spatiales et des opérations spatiales. Sans aller dans les détails, nous en présentons les principaux concepts dans les sous-sections qui suivent.

3.2.1. Dimensions spatiales

Le SOLAP possède des capacités de manipulation de données spatiales qui supportent des dimensions spatiales non-géométriques, géométriques et mixtes en plus des dimensions non-spatiales [Han *et al* 1998; Bédard *et al* 2001]. La dimension spatiale non-géométrique utilise la référence spatiale nominale seulement (ex. les noms des lieux) et aucune représentation cartographique n'est associée aux membres de la dimension. Ce type de dimension spatiale est couramment utilisé dans les outils OLAP conventionnels. Les deux autres types de dimension spatiale incluent des formes géométriques référencées spatialement sur une carte qui permettent aux membres de la dimension d'être visualisés et interrogés d'une manière cartographique. Ces géométries existent pour tous les niveaux de la dimension spatiale géométrique ou pour seulement certains niveaux dans le cas d'une dimension spatiale mixte. La figure 9 présente les trois types de dimensions spatiales.

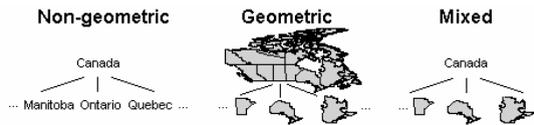


FIG. 9. Les trois types de dimensions spatiales supportées par le SOLAP.

Une autre catégorie de dimension à caractère spatial, plutôt atypique, est parfois créée pour faciliter la navigation dans les cubes à l'aide d'opérateurs topologiques spatiaux (ex. adjacent, inclus, intersecte) ou temporels (ex. précède, en même temps, durant). Nous appelons de telles dimensions les dimensions d'opérateurs topologiques spatiaux, temporels ou spatio-temporels. En faisant correspondre les opérateurs à des membres, il devient facile de préciser avec plus ou moins de détail la relation désirée entre différents phénomènes (ex. inclus -> inclus totalement -> inclus totalement sans partage de frontière). Une telle dimension d'opérateurs a été utilisée avec succès pour l'analyse des déplacements de radios amateurs [Marchand *et al* 2004] et pour notre application en archéologie.

3.2.2. Mesures spatiales

Dans un contexte multidimensionnel spatial, il n'y a pas que les dimensions qui possèdent une composante géométrique, mais aussi les mesures. Par conséquent, en plus des mesures conventionnelles supportées dans les systèmes OLAP, il existe les mesures spatiales [Rivest *et al*, 2001].

Le pointeur spatial est le type de mesure spatiale le plus connu [Han *et al* 1998]. C'est la méthode utilisée par les technologies SIG pour gérer la composante géométrique des objets spatiaux. Il s'agit d'un ensemble de pointeurs (stockés dans le cube de données) vers la géométrie d'un objet spatial stockée dans une autre structure que la structure multidimensionnelle.

Le second type de mesure spatiale est la transposition au monde spatial de la mesure conventionnelle du OLAP. Elle permet de dériver des valeurs à l'aide d'un opérateur métrique ou topologique d'analyse spatiale dont le résultat sera ensuite stocké dans le cube de données (ex. surface d'un objet, distance minimale avec l'objet le plus proche, cumul de longueurs sur un réseau).

Finalement, la dernière mesure spatiale consiste à générer des données géométriques sous la forme d'un ou plusieurs objets spatiaux obtenus par la combinaison de dimensions spatiales géométriques (ou mixtes en utilisant les niveaux où les membres possèdent une géométrie). Il s'agit d'un ensemble de coordonnées obtenu à partir des opérateurs d'analyses spatiales d'un SIG, par exemple les coordonnées d'un point, ligne ou polygone résultant de l'intersection spatiale des membres de plusieurs dimensions. Ainsi en est-il des polygones résultant de l'intersection des polygones délimitant les membres des dimensions spatiales frontières politiques et bassins versants.

3.2.3. Opérateurs spatiaux de navigation

Finalement, les outils SOLAP possèdent des opérateurs de navigation pour explorer via la carte l'ensemble des données spatiales. Les opérateurs spatiaux de navigation proposent différents forages, dont le forage spatial, le remontage spatial et le forage latéral spatial. L'opérateur de forage spatial permet à l'utilisateur de naviguer d'un niveau général à un niveau plus détaillé à l'intérieur d'une dimension spatiale géométrique (ex. cartographier les régions sous-jacentes composant un pays). Une opération de remontage permet la navigation inverse, c'est-à-dire de remonter d'un niveau détaillé des données vers un niveau plus général (ex. cartographier les données nationales sus-jacentes à une région). Finalement, un opérateur de forage latéral permet de visualiser les différents membres du même niveau de détail d'une dimension spatiale (ex. cartographier pour mieux comparer les mesures de la région sud par rapport à celles de la région nord). Ces opérateurs sont utilisés directement sur la carte.

Les opérateurs spatiaux de navigation peuvent s'appliquer sur un objet individuel (ex. visualiser les régions composant l'objet Canada) ou s'appliquer à l'ensemble des objets d'un niveau de détail (ex. visualiser l'ensemble des régions composant le niveau Pays).

4. Approches pour le développement d'applications SOLAP

Cette section décrit, à partir des travaux de Rivest [Rivest 2000], trois familles de solutions technologiques pour le développement et l'implantation d'une application SOLAP, basées sur les technologies utilisées et les fonctionnalités disponibles. Ce regroupement en trois familles origine de la diversité des technologies pouvant être utilisées pour remplir les fonctions descriptives et cartographiques d'une application SOLAP. Les fonctions du volet descriptif peuvent évidemment être supportées par un serveur OLAP conventionnel ou par un SGDB relationnel ou objet-relationnel avec structure en étoile, en flocon ou en constellation. Les avantages d'un serveur OLAP pour le volet descriptif incluent les fonctionnalités d'agrégation de données et les capacités optimisées d'accès aux données, ce qui augmente la rapidité d'analyse pour les grands volumes de données. Les fonctions du volet cartographique peuvent, quant à elles, être supportées par un logiciel de visualisation cartographique, un logiciel de cartographie assistée par ordinateur (CAO) ou un SIG.

Les trois familles de solutions basées sur les technologies et fonctionnalités disponibles sont : (1) les solutions OLAP dominant, (2) les solutions SIG dominant, et (3) les solutions

intégrées ou hybrides qui font appel autant aux fonctions OLAP que SIG [LGS Group 2000]. Au sein de cette classification, c'est l'outil dominant qui offre ou qui fait appel à certaines fonctionnalités minimales de l'autre outil. Parfois, l'outil dominant fournit l'unique interface graphique de l'application SOLAP, parfois l'interface unique peut être développée avec un langage de programmation (ex. Java, VB, C++). Pour les deux premières familles, un groupe de fonctionnalités domine largement l'autre groupe et l'application est développée autour de l'outil dominant. Inversement, dans le cas de la solution intégrée, les fonctionnalités tant OLAP que SIG sont offertes à un niveau supérieur, l'interface graphique principale est unique et construite au-dessus des technologies sous-jacentes (i.e. OLAP et SIG) et l'application SOLAP est développée pour tirer profit de l'intégration des fonctions OLAP et SIG. Dans ce dernier cas, lorsque ces fonctionnalités et l'interface principale forment un produit logiciel autonome (ex. JMap Spatial OLAP [KHEOPS 2005]), nous parlons d'une technologie SOLAP (similairement à la situation relative à la technologie SIG vs le couplage des technologies CAO et SGBD). Les trois familles de solutions répondent à des besoins différents. Dans le premier cas, le volet cartographique n'est qu'accessoire. Dans le deuxième cas, c'est le volet OLAP qui est accessoire. Dans le dernier cas, les deux volets sont jugés importants et leur coordination ou synchronisation est une particularité clé de cette technologie.

4.1 Solutions OLAP dominant

Ce type de solution procure toutes les fonctionnalités d'un outil OLAP, il est donc implicite qu'une telle solution utilise les capacités d'un serveur OLAP. Par contre cette solution n'intègrera qu'un très faible sous-ensemble des fonctions d'un SIG, généralement les fonctions d'affichage, de navigation cartographique (ex. déplacement et changement d'échelle) et de sélection d'éléments géométriques. Les fonctions d'analyse spatiale, de synchronisation cartes-tableaux-graphiques, de modification de cartes, etc. ne sont pas disponibles pour ce type de solution qui peut être qualifiée d'application géospatiale périphérique où la référence spatiale n'est utilisée que comme support à la visualisation d'analyses non-spatiales [Bédard *et al* 1997]. Certaines fonctions minimales de forage spatial peuvent parfois être offertes et permettent alors de développer des applications SOLAP intéressantes.

Des alliances entre compagnies OLAP et SIG font en sorte de faciliter le développement de telles applications. Un premier exemple de partenariat est celui de ProClarity [ProClarity 2005] et MapInfo. ProClarity est un logiciel client OLAP qui permet de manipuler des bases de données multidimensionnelles (cubes) créées à l'aide d'Analysis Services de Microsoft SQL Server. ProClarity permet de visualiser les données descriptives d'un cube sous différentes formes graphiques telles que des tableaux et autres diagrammes. Le plugiciel KMapX, basé sur la technologie MapX de MapInfo, permettait la visualisation et le forage sous forme cartographique des données géométriques associées à une dimension spatiale géométrique du cube. Un fichier de configuration permettait de définir les données spatiales géométriques à coupler à une des dimensions d'un cube. Un partenariat récent entre les compagnies MapInfo et Microstrategy [BL.com 2004] pourrait bien offrir une solution similaire à court terme et, selon les fonctionnalités offertes, devenir une offre de la troisième famille (i.e. intégrée). Un autre produit disponible sur le marché et très représentatif de cette première famille est le logiciel Visualizer de Cognos. Visualizer est un logiciel de visualisation de données pouvant provenir de sources diverses telles qu'un serveur OLAP ou

une base de données relationnelle. Visualizer permet d'afficher les données descriptives d'une base de données multidimensionnelle sous forme de différents types de diagrammes. Le logiciel permet aussi l'affichage cartographique des données spatiales d'une dimension par le biais de la technologie MapX de MapInfo.

Par contre, une faiblesse principale de cette famille de solutions, outre le temps de programmation requis, se situe au niveau du nombre de dimensions spatiales géométriques supportées. En effet, les deux logiciels ne permettent de visualiser qu'une seule dimension spatiale à la fois, ce qui élimine la possibilité d'étudier des corrélations spatiales. De plus, certains outils (ex. Visualizer) ne sont pas flexibles au niveau de la construction du volet de visualisation cartographique car chacune des opérations OLAP spatiales doit être prédéfinie et associée à une nouvelle carte, ce qui complexifie la mise à jour de ces cartes. En fait, il y a autant de cartes différentes que de vues cartographiques possibles, ce qui rend une telle approche utilisable uniquement dans un contexte de mises à jour peu fréquentes et ne nécessitant pas d'interopérabilité.

4.2 Solutions SIG dominant

Un serveur OLAP peut être simulé à l'intérieur d'une base de données relationnelle par le biais de la modélisation en étoile. Lorsque le volume de données à consulter est peu élevé, cette solution peut s'avérer très avantageuse, puisque les calculs d'agrégation peuvent s'effectuer de manière sélective et contrôlée à l'aide de requêtes SQL sur la base de données. Ces requêtes peuvent alors être adaptées en fonction des besoins d'un projet particulier, en évitant par exemple de calculer les agrégations non-significatives ou en permettant de joindre les tables impliquées dans les requêtes de manière plus flexible que ne le permettent habituellement les serveurs OLAP qui utilisent des fonctions d' « inner join ». Par contre cette solution doit inclure, dans la base de données, des éléments permettant de gérer la réalisation d'opérations OLAP telles que le forage et le remontage puisqu'il n'existe pas de serveur OLAP pour gérer ces opérations.

Les solutions SIG dominant offrent toutes les fonctionnalités de l'outil SIG, mais seulement un sous-ensemble des fonctionnalités de l'outil OLAP (ex. limitations dans le pivot des dimensions et le forage cartographique). Cette solution couple une base de données relationnelle simulant un serveur OLAP à un logiciel SIG ou à un outil de visualisation de données spatiales. L'interface graphique à l'utilisateur ainsi que les fonctions de forage tant sémantiques que spatiales doivent alors être programmées. De même en est-il pour les fonctions d'analyse spatiale et temporelle, de la synchronisation cartes-tableaux-graphiques, etc.

4.3 Solutions intégrées

Ce type de solution, intégrant les fonctionnalités d'un outil OLAP et d'un SIG, pourrait être qualifié d'application centrée-géospatiale où la référence spatiale des objets est utilisée constamment dans l'exploration et l'analyse des données, de façon aussi libre qu'avec les dimensions non-spatiales [Bédard *et al.* 1997].

Ce type de solution est utile lorsque l'application doit s'intégrer dans un environnement géomatique à fort flux de données (ex. pour les mises à jour cartographiques, l'interopérabilité) ou nécessite l'utilisation de fonctions spécifiques au SIG, comme par exemple les opérateurs d'analyse spatiaux. Les solutions de cette famille sont réalisables soit

à l'aide des bibliothèques de fonctions de logiciels client OLAP et de logiciels SIG, soit à l'aide de technologies SOLAP. Dans le premier cas, le développement d'une telle solution est possible moyennant beaucoup de programmation ad hoc à l'intérieur d'un cadre applicatif spécifique. Pour ce faire, certaines technologies OLAP, tels que ProClarity de ProClarity et Essbase d'Hyperion rendent disponibles leurs bibliothèques de fonctions et d'objets pour la réalisation d'applications spécifiques à l'aide de langages de programmation courants comme Visual Basic ou C++. Il est alors possible de développer une extension OLAP à intégrer au logiciel SIG comme MapInfo, ArcView d'ESRI et GeoMedia d'Intergraph qui permettent l'utilisation de leurs bibliothèques de fonctions avec les produits MapX, MapObjects et GeoMedia respectivement. De plus, le produit OpenMap qui consiste en un ensemble de composants Java dédiés à la manipulation des données spatiales géométriques [OpenMap 2005], peut aussi être utilisé pour le développement du volet SIG.

Une technologie SOLAP permet quant à elle d'intégrer l'ensemble des fonctionnalités OLAP et SIG, voire de les enrichir. L'interface graphique met à disposition de l'utilisateur des fonctions de forage tant spatial que sémantique, des fonctions d'analyse spatiale, de séries cartographiques temporelles, etc. Les bénéfices de l'utilisation d'un tel outil sont nombreux au niveau de la manipulation et de la mise à jour des données cartographiques car on a ici accès à un SIG. D'un autre côté, le couplage entre le volet géométrique et descriptif des données est déjà programmé, le temps de développement d'une telle application est donc réduit au minimum. Des outils de navigation cartographique permettent de forer dans les cartes d'une manière synchronisée avec les autres types d'affichages (ex. tableaux et diagrammes). Un transfert technologique entre l'Université Laval et la compagnie québécoise KHEOPS Technologie, propriétaire de la solution SIG-Web JMap, a permis de développer la première solution commerciale intégrée de SOLAP (printemps 2005).

Les trois familles de solutions exposées dans cette section présentent un parallèle avec l'évolution de l'intégration CAD-SGBD vs SIG qui eut lieu durant la décennie 1985-95 [Bédard 1991]. Nous rencontrons encore aujourd'hui les différents types d'intégration SGBD-CAD et SIG et chaque type d'intégration répond à des besoins et des contextes différents. Enfin, il est possible de grouper différemment les solutions présentées, soit : avec ou sans programmation ad hoc pour le développement de solutions SOLAP. Les principales difficultés liées à la programmation ad hoc découlent de la complexité d'une interface à l'utilisateur qui soit efficace et élégante ainsi que du temps requis pour cette programmation qui doit être adaptée à chaque nouvelle application.

4.4 Positionnement des applications réalisées

Afin d'illustrer l'éventail des applications réalisées dans nos laboratoires, chacune des applications présentées à la section 3.1 sera positionnée dans leur famille de solution respective. Premièrement, l'application de santé environnementale (cf. figures 4) développée avec ProClarity et le plugiciel KMapX, ainsi que l'application sur la gestion du réseau routier (cf. figure 1) développée avec ProClarity et GeoMedia WebMap d'Intergraph font partie de la catégorie des OLAP dominant. Bien qu'intéressantes, ces applications auraient nécessitées beaucoup plus de programmation maison pour atteindre les niveaux de fonctionnalité et de flexibilité offerts par les solutions intégrées.

Ensuite, l'application de santé environnementale (cf. figures 3) développées par programmation Visual Basic à partir du SGBD MS Access et du logiciel de visualisation cartographique SoftMap fait partie de la famille des SIG dominant. Cette application a exigé

davantage d'efforts de programmation que les solutions OLAP dominant précédentes étant donné l'absence de serveur OLAP pour la gestion des données multidimensionnelles.

Les applications tridimensionnelles sur la gestion des forêts et ainsi qu'en archéologie (cf. figures 7 et 8) font partie de la catégorie des SOLAP intégrés, puisqu'un SIG a été utilisé pour la gestion des objets volumétriques qui était l'intérêt principal de l'application. L'outil OLAP ProClarity a été retenu pour la gestion du descriptif. Finalement, les applications des figures 2, 5 et 6 ont nécessité très peu d'effort de développement, puisqu'elles ont été déployées dans une solution SOLAP intégrée toute prête, soit la version précommerciale de l'outil JMAP Spatial OLAP utilisant Oracle Spatial comme base de données. Le tableau 1 permet de positionner graphiquement les différentes applications selon leur catégorie, qu'elle requiert des efforts de programmation ou non (*out-of-the-box*).

	OLAP Dominant	SIG Dominant	SOLAP Intégré
Solution toute prête (out-of-the-box)			2,5,6- JMap Spatial OLAP
Solution nécessitant de programmer	4- ProClarity/ KMapX, 1- ProClarity/ GeoMedia WebMap	3- SoftMap/ Visual Basic	7,8- ArcGIS/ Proclarity

TABLEAU 1. Positionnement des applications (cf. numéro des figures) selon les trois familles de solutions potentielles et leur degré de programmation.

5. Conclusion

L'objectif de cet article était de faire découvrir les différentes possibilités de développement d'applications SOLAP tout en mettant l'accent sur la "technologie SOLAP". Par conséquent, pour bien comprendre les enjeux du développement de telles applications, un résumé des besoins spécifiques du monde géodécisionnel a été présenté ainsi que quelques éléments du vocabulaire SOLAP. Notre objectif n'était pas de décrire le tout d'une façon trop formelle et scientifique, mais plutôt de véhiculer un message sur le fort potentiel du SOLAP jusqu'ici négligé par la communauté informatique. Des exemples concrets d'applications SOLAP développées à notre centre de recherche ont donc été présentés non pas comme catalogue de nos réalisations mais pour mieux illustrer ce potentiel et soutenir le reste de l'article. Trois familles de solutions possibles ont ainsi été décrites pour réaliser de telles applications SOLAP et nous y avons positionné nos applications. Les principales limitations des différentes familles ont été discutées, chaque famille pouvant découler de contextes particuliers.

Le développement d'applications SOLAP requiert encore des efforts de recherche importants puisque certains aspects demeurent problématiques. Plus particulièrement du point de vue géomatique (i.e. des problèmes liés à la donnée géospatiale), notons la quasi-impossibilité de générer automatiquement les niveaux agrégés d'information cartographique pour les cubes à partir des données cartographiques fines (cf. limitations de la généralisation cartographique automatique), la discordance entre l'agrégation cartographique et la généralisation cartographique (nécessaire pour assurer la visibilité de la carte), la très grande

hétérogénéité spatiale des données (ex. les cartes ne se superposent jamais correctement), l'enrichissement nécessaire des méthodes de conception pour prendre en compte la difficulté de production des données géospatiales, la prise en compte des processus complexes de mise à jour cartographique pour le peuplement des cubes de données géospatiales décisionnelles, le contrôle des nombreuses métadonnées géospatiales (plus de 400 dans la norme internationale de métadonnées ISO-19115 [ISO, 2002]), contradiction vs synchronisation entre les règles de sémiologie graphique utilisées en cartographie vs graphiques statistiques, gestion de l'évolution des découpages territoriaux vs évolutions sémantiques vs mesures, et ainsi de suite. C'est au développement de solutions à ce type de problème que nous concentrons nos efforts, en complémentarité avec la communauté informatique pour les aspects fondamentaux OLAP.

6. Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier les organisations suivantes pour le financement de la Chaire industrielle en bases de données géospatiales décisionnelles : Conseil de Recherche en Sciences Naturelles et en Génie du Canada, Recherche et Développement Défense Canada, Hydro-Québec, DVP, Intélec Géomatique, Holonics, KHEOPS Technologies, Syntell, Ressources Naturelles Canada, Transports Québec et l'Université Laval.

7. Références

- [AVS 2005] Data Visualization and Visual Analytics, http://www.avs.com/index_wf.html
- [BI.com 2004] BusinessIntelligence.com, 2004. MapInfo and MicroStrategy Deliver Location-Enabled Business Intelligence, September 2004, <http://www.businessintelligence.com/ex/asp/id.606/xe/binewsdetail.htm>
- [Bédard 1991] Bédard, Y., 1991, Les logiciels SIG : une évolution via l'intégration de données multisources, *Journal de la Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, No. 122, p. 58-63
- [Bédard et al 1997] Y. Bédard, S. Larrivée, M.-J. Proulx, P.-Y. Caron, F. Létourneau, 1997. *Geospatial Data Warehousing : Positionnement technologique et stratégique*, Rapport préparé pour le Centre de recherche de la défense de Valcartier, Université Laval, 79 pp.
- [Bédard et al 2001] Y. Bédard, T. Merrett, J. Han, 2001. Fundamentals of Spatial Data Warehousing for Geographic Knowledge Discovery, *Geographic Data Mining and Knowledge Discovery*, Taylor & Francis, Research Monographs in GIS, Chap. 3, p. 53-73
- [Bédard et al 2002] Y. Bédard, P. Gosselin, S. Rivest, et al, 2002. Integrating GIS Components with Knowledge Discovery Technology for Environmental Health Decision Support, *International Journal of Medical Informatics*, Vol. 70, No. 1, p. 79-94
- [Bédard 2004] Y. Bédard, 2004. Amélioration des capacités décisionnelles des SIG par l'ajout d'un module SOLAP. Université de Provence, Centre de Mathématiques et Informatique, LISIS, Marseille, 8 avril.
- [Bertin 1977] J. Bertin, 1977. La graphique et le traitement graphique de l'information, Flammarion Paris, 273 p.
- [Buzan et Buzan 2003] T. Buzan, B. Buzan, 2003. Mind Map, dessine-moi l'intelligence, 2^e édition. Éditions de l'Organisation, Paris, 325 p.

- [Brisebois 2004] *Analyse du potentiel d'extension du concept SOLAP pour l'exploration des données spatiales 3D*, Mémoire de maîtrise, Département des Sciences géomatique, Université Laval.
- [Caron 1998] P.Y. Caron, 1998. *Étude du potentiel de OLAP pour supporter l'analyse spatio-temporelle*. MSc. Dép. Sciences géomatiques, Centre de recherche en géomatique, Université Laval, 129 p.
- [ESRI 2000] ArcView, 2000. GIS Brochure.
<http://www.esri.com/library/whitepapers/avlit.html>.
- [Fortin et Bédard 2004] M. Fortin, Y. Bédard, 2004. Développement d'un système de découverte des connaissances spatio-temporelles issues d'un chantier de fouilles archéologiques, *Colloque Géomatique 2004*, 27-28 octobre, Montréal, Canada
- [Fortin et Rousseau 1989] C. Fortin, R. Rousseau, 1989. Psychologie cognitive : une approche de traitement de l'information. Presses de l'Université du Québec, 434 p.
- [Franklin 1992] C. Franklin, 1992. An Introduction to Geographic Information Systems : Linking Maps to Databases. Database, April, pp. 13-21.
- [Guimond 2004] L.E. Guimond, 2004. *Conception d'un environnement de découverte des besoins pour le développement de solutions SOLAP*, M.Sc.Dép. Sciences géomatiques, Université Laval, 128 p.
- [Han et al 1998] J. Han, N. Stefanovic, K. Koperski, 1998. Selective materialization : An Efficient Method for Spatial Data Cube Construction. *Pacific-Asia Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (PAKDD'98)*, Melbourne, Australia.
- [Han et Kamber 2001] J. Han, M. Kamber, 2001. Data Mining : concepts and Techniques, Morgan Kaufmann Publisher, Inc, 2001.
- [ISO, 2002] International Standard Organization, 2002, Geographic Information, 19115-Metadata, 141 pages.
- [KHEOPS 2005] KHEOPS, 2005. JMAP Spatial OLAP,
<http://www.kheops-tech.com/en/jmap/solap.jsp>
- [Knosys 2000] Knosys, 2000, Geo Spatial Mapping : MapInfo MapX Plug-In for Knosys ProClarity 3.0,
- [Korem 2005] Korem, 2005. Site web Push'n'see, <http://www.pushnsee.com/>
- [LGS Group 2000] LGS Group Inc., 2000. Analysis of Health Surveillance Business Intelligence Tools and Applications, Final Draft, 111 pp.
- [Longley et al 2001] P.A. Longley, M.F. Goodchild, D.J. Maguire, D. Rhind, 2001. Geographic Information Systems and Science. John Wiley & Son, 454 p.
- [Marchand et al 2004] P. Marchand, A. Brisebois, Y. Bédard, G. Edwards, 2004. Implementation and evaluation of a hypercube-based method for spatio-temporal exploration and analysis, *Journal of the International Society of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 59, No. 1-2, p. 6-20
- [Newell 1990] A. Newell, 1990. Unified theories of cognition. Harvard University Press, Cambridge MA, 549 p.
- [OpenMap 2005] OpenMap, 2005. What is ? <http://openmap.bbn.com/whatis.html>
- [Pestana et al 2004] G. Pestana, M. M. da Silva, H. Madeira, 2004. A Prototype Implementation of a Spatial Data Warehouse for Integrating Business, Historical and Spatial Data," *5th Int. Conf. of Intelligent Data Engineering and Automated Learning*.
- [Pestana et al 2005] G. Pestana, M. M. da Silva, Y. Bédard, 2005. Spatial OLAP Modeling : An Overview Base on Spatial Objects Changing over Time, *IEEE 3rd International Conference on Computational Cybernetics*, 13-16 avril, Mauritius

- [ProClarity 2005] ProClarity, 2005. ProClarity Product Information, <http://www.ProClarity.com/>,
- [Proulx et Bédard 2004] M-J Proulx, Y. Bédard, 2004. Le potentiel de l'approche multidimensionnelle pour l'analyse de données géospatiales en comparaison avec l'approche transactionnelle des SIG., *Colloque Géomatique 2004*, 27-28 octobre, Montréal, Canada
- [Rageul 2004] *Développement d'une application d'exploration de données géospatiales comme support à la fouille archéologique*, Rapport de fin d'études, École d'ingénieurs INSA de Strasbourg, France
- [Rivest 2000] S. Rivest, 2000. *Investigation des modes d'intégration physique entre un serveur de base de données multidimensionnelle et un SIG*, M.Sc. Dép. Sciences géomatiques, Université Laval, 84 p.
- [Rivest et al 2001] S. Rivest, Y. Bédard, P. Marchand, 2001. Towards better support for spatial decision-making : defining the characteristics of Spatial On-Line Analytical Processing, *Geomatica*, Vol. 55, No. 4, p. 539-555
- [Rivest et al 2003] S. Rivest, Y. Bédard, M.J. Proulx, M. Nadeau, 2003. SOLAP : a new type of user interface to support spatio-temporal multidimensional data exploration and analysis, *Workshop ISPRS*, Quebec, Canada, October 2-3.
- [Rivest et al 2004] S. Rivest, P. Gignac, J. Charron, Bédard, Y., 2004. Développement d'un système d'exploration spatio-temporelle interactive des données de la Banque d'information corporative du ministère des Transports du Québec. *Colloque Géomatique 2004*, 27-28 octobre, Montréal, Canada
- [Standing 1973] L. Standing 1973. Learning 10000 pictures. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, vol. 25, 207-222.
- [Tufte 1992] E.R. Tufte, 1992. *The Visual Display of Quantitative Information*. Graphics Press, 191 p.
- [Veilleux et al 2004] J-P, Veilleux, Lambert, M., Santerre, R., Bédard Y., 2004. Utilisation du système de positionnement par satellites (GPS) et des outils d'exploration et d'analyse SOLAP pour l'évaluation et le suivi de sportifs de haut niveau, *Colloque Géomatique 2004*, 27-28 octobre, Montréal, Canada
- [Vit et al 2002] E. Vitt, M. Luckevich, S. Misner, 2002, *Business Intelligence, Making Better Decisions Faster*, Microsoft Press, 202 p.

Summary

Important efforts have been made for the last fifteen years to set up geospatial decision support systems. However, these systems are based on geographic information systems (GIS) and usual transactional approaches (OLTP) to produce geodecisional information, often with unacceptable delays and prohibitive costs up to the point of dropping the production. Consequently, the new Spatial OLAP (SOLAP) applications arrive just in time to allow effective implementations of geospatial decision support systems. This article highlights the needs and the advantages related to SOLAP applications, particularly for cartographic data exploration. Given that such applications have almost never been tackled by the computer science community, this paper does not discuss the traditional scientific issues of OLAP applications which

are widely addressed by this community. Instead, it presents concrete SOLAP examples and an overview of the main underlying concepts. A categorization in three families of solutions is proposed: OLAP-dominant, GIS-dominant and integrated solution. Each given example of applications is then positioned in regards to these categories and the advantages to use the integrated solution are addressed. We finally conclude with a brief overview of the typical “hidden difficulties” related to geographic data which are one of our research preoccupations.