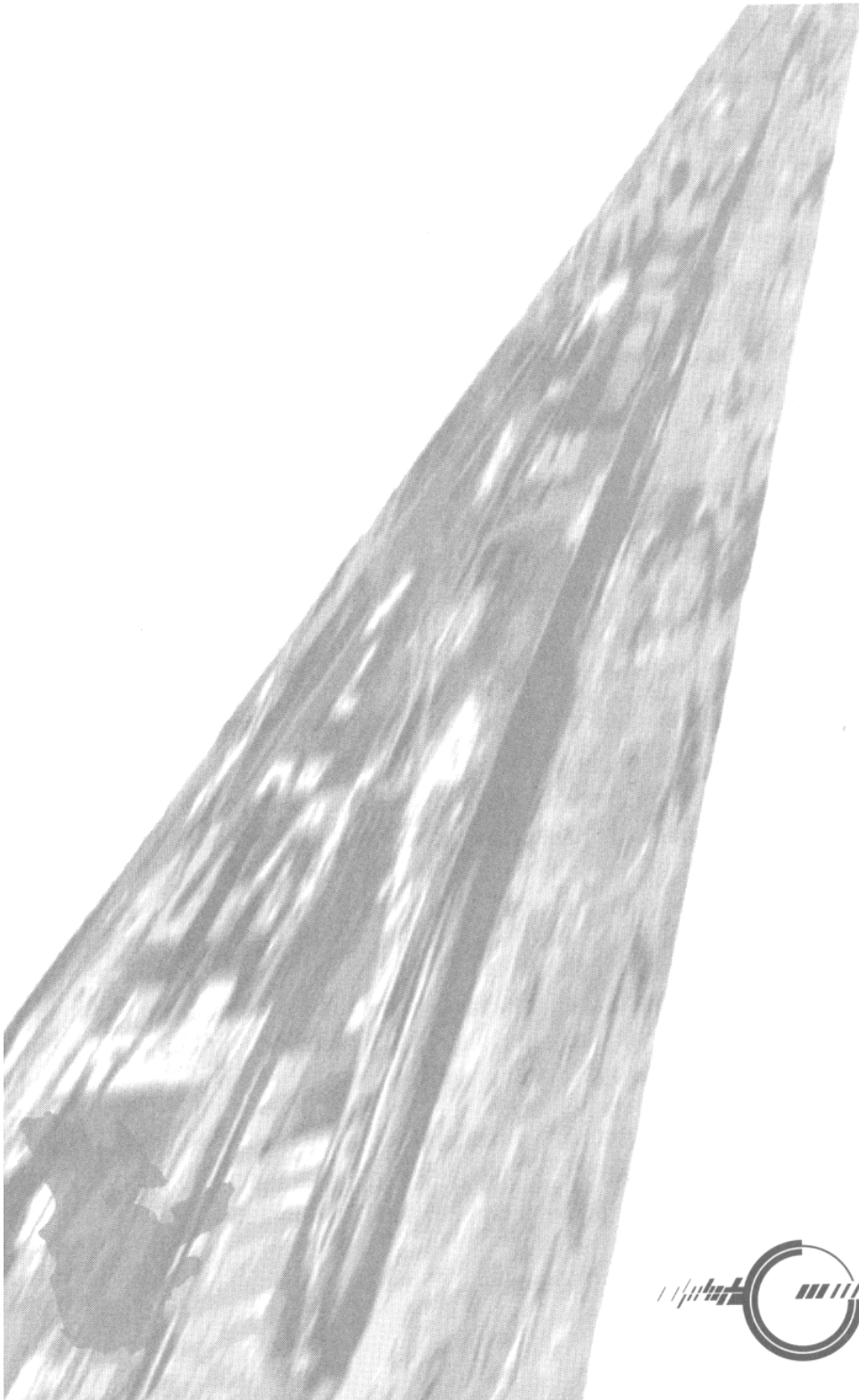


La route de l'innovation The Road to Innovation



LA GESTION DU TEMPS AVEC LES SYSTÈMES DE GESTION DE DONNÉES LOCALISÉES: ÉTAT ACTUEL ET AVENUES FUTURES

Yvan Bédard
Yves van Chestein
Département des sciences géomatiques et
Centre de recherche en géomatique
Université Laval
Québec (Québec), Canada

APERÇUS BIOGRAPHIQUES

M. Bédard détient un baccalauréat et une maîtrise en géodésie de l'Université Laval ainsi qu'un doctorat en génie civil de l'Université du Maine à Orono. Professeur à l'université Laval depuis 1986, il a été le directeur-fondateur du Centre de recherche en géomatique (1991-1995), dont il est toujours membre, et il occupe le poste de directeur scientifique du Centre de développement de la géomatique depuis sa création. Auteur de plusieurs publications aux niveaux national et international, membre de différentes organisations, M. Bédard a participé à des projets tant gouvernementaux que privés, au Québec et à l'étranger. Oeuvrant en géomatique depuis plus de quinze ans, ses intérêts de recherche incluent la mise en place des bases de données spatio-temporelles, l'adaptation des ateliers de génie logiciel pour la géomatique ainsi que le développement de méthodes de géomatisation des organisations.

M. Yves van Chestein détient un baccalauréat ès arts de l'université de Montréal ainsi que des baccalauréats en foresterie et en géodésie et une maîtrise en géodésie de l'Université Laval. Sa carrière l'a amené à oeuvrer dans le domaine du soutien technique chez Keuffel + Esser, en mesures de déformation de structures pour une firme d'ingénieurs, en gestion de systèmes au Service de la cartographie du Québec et plus récemment, en consultation en géomatique. Il a d'ailleurs participé à l'élaboration et à l'implantation de nombreux SIRS dans le milieu municipal. Le corps professoral de l'université Laval l'a accueilli en septembre 1994, où il enseigne maintenant principalement en SIRS, en plus de participer à des activités de recherche dans le domaine, une des raisons qui ont motivé sa venue dans le monde de l'enseignement a été de faire le lien entre la théorie et la pratique.

RÉSUMÉ

Plusieurs décisions concernant la gestion du territoire reposent sur une comparaison de ce même territoire à des époques différentes. Conséquemment, les bases de données à référence spatiale doivent également inclure des données relatives au temps. Cependant, les systèmes de gestion de données localisées actuels (SGDL ou logiciels SIG) ont été conçus en vue d'une représentation et d'une analyse statiques du territoire. Le présent article introduit les principaux besoins en termes de gestion temporelle des objets géographiques. Il décrit aussi les possibilités et limitations des SGDL actuels et propose des orientations futures possibles. Enfin, l'article se termine sur quelques recommandations destinées à ceux qui désirent planter de telles bases de données.

ABSTRACT

These days, many decisions surrounding land management are based upon comparisons of the state of a given territory at different time periods. Consequently, geographically referenced databases must also include temporal data. However, present day GIS's have been developed towards static representation and analysis of the territory. This paper presents the primary requirements in terms of temporal management of geographic objects. It also describes the potential and limitations of current GIS's and suggests feasible avenues of future development. This paper concludes with recommendations for those who wish to implement such databases.

INTRODUCTION

Partout, nous voyons des organisations mettre en place des bases de données à référence spatiale pour la gestion urbaine, l'aménagement forestier, la protection de l'environnement, etc. Or, une part importante des décisions prises par ces organisations repose sur une comparaison de l'état d'un même territoire à des époques différentes, autant prévues que passées. Par exemple, on veut connaître l'état d'un territoire à une période antérieure, visualiser l'évolution d'un phénomène géographique, planifier la mise en valeur d'un site, simuler différents scénarios d'intervention pour en analyser les impacts, etc. Très tôt, il devient évident que les bases de données à référence spatiale doivent également inclure des données relatives au temps (Bédard, 1993).

Cependant, les logiciels SIG actuels ont été conçus pour une représentation et une analyse statiques du territoire. Ainsi, ils gèrent efficacement la position et la forme des objets géographiques, mais aucune fonction n'est explicitement offerte pour la gestion temporelle de ces objets. L'objectif du présent article est d'introduire les principaux besoins en terme de gestion temporelle des objets géographiques et de présenter les possibilités et limitations des SGDL actuels ainsi que les orientations futures possibles.

Nous débutons par une explication des notions fondamentales d'existence, de présence, de fonction et d'évolution, pour ensuite présenter les caractéristiques des SGDL commerciaux actuels en fonction de ces notions. Par la suite, nous analysons les possibilités d'implanter ces notions dans les SGDL, tant au niveau de la structure de données que des méthodes d'archivage et de tenue à jour des données. Puis, nous analysons les possibilités et les difficultés d'interroger et d'analyser les bases de données spatio-temporelles. Enfin, nous discutons des solutions d'avenir. Tout au long de cet article, différents exemples seront utilisés pour illustrer les notions avancées. Enfin, nous concluons avec quelques recommandations permettant de mieux évaluer les attentes relatives à de telles bases de données et les possibilités réelles de les implanter.

LES BESOINS DES UTILISATEURS

Les décisions prises quotidiennement dans les organisations responsables de la gestion du territoire et de ses ressources font généralement appel à la notion de temps en plus de la notion d'espace. L'information temporelle combinée à l'information spatiale aide à connaître et à visualiser l'évolution d'un phénomène géographique, à extrapoler l'état futur d'un lieu, à simuler différents scénarios d'intervention et à analyser les causes ou les impacts des changements (Bédard, 1993). Par exemple, la gestion intégrée des forêts doit tenir compte de ce que la forêt a été pour mieux planifier ce qu'elle sera ; elle doit analyser les opérations forestières antérieures pour définir les meilleurs programmes d'intervention ; elle peut être intéressée à suivre l'évolution de l'utilisation du sol, à retracer l'historique des propriétaires

de lots privés, à suivre l'évolution de zones inondées ou incendiées, à retracer le déplacement d'espèces animales ou d'épidémies d'insectes, à étudier la diffusion d'un produit toxique, etc. En réalité, la prise en compte du temps dans les opérations de gestion du territoire a toujours été omniprésente. Ce n'est que dans nos applications de SGDL que l'on a enlevé ou minimisé cette facette. Ainsi, les applications développées avec les SGDL à ce jour ont très souvent été en deçà des besoins réels. Cette situation fut principalement causée par (1) le défi déjà majeur d'informatiser de façon efficace le volet géométrique des bases de données ; (2) le manque de connaissances théoriques sur la gestion des données spatio-temporelles; (3) l'absence, en conséquence, de logiciels permettant de gérer de façon efficace ce volet temporel. Depuis environ cinq ans, la gestion simultanée du temps et de l'espace fait heureusement partie des considérations exprimées explicitement dans le milieu de la R&D. Il s'agit d'un domaine beaucoup plus complexe qu'il ne le paraît, et seul un fondement théorique solide permettra d'avoir des solutions efficaces. La gestion simultanée du temps et de la référence spatiale est d'ailleurs perçue comme faisant partie intégrante de la prochaine génération des logiciels SIG (ESRI, 1995). Dans la communauté scientifique, ce champ particulier de recherche est dénommé « SIG temporels ». L'état actuel des travaux permet de classer les besoins selon les sections présentées ci-après.

Besoin d'engins spatio-temporels

Les utilisateurs ont besoin de SGDL temporels permettant de gérer la temporalité de façon quasi-transparente, comme cela existe actuellement avec la référence spatiale. Pour y parvenir, les SGDL devraient avoir un engin temporel tout comme ils possèdent déjà un engin graphique. Un tel engin temporel devrait supporter plusieurs composantes :

- a) Primitives temporelles : Un tel engin comprendrait au minimum les primitives temporelles « instant » (temporalité 0-D) et « durée » (temporalité 1-D) au même titre que l'engin graphique possède au minimum ses primitives « point » (géométrie 0-D), « ligne » (géométrie 1-D) et « polygone » (géométrie 2-D). Chaque primitive serait liée à d'autres primitives pour créer la topologie temporelle, tout comme les primitives géométriques sont liées entre elles pour gérer la topologie spatiale. Plusieurs topologies temporelles doivent être supportées, une par propriété temporelle (voir les propriétés présentées en d). Ces topologies temporelles permettraient d'effectuer des analyses temporelles beaucoup plus rapidement que ce ne serait le cas uniquement avec des valeurs T (ex. : date), car les relations de voisinage et de connexion temporelles seraient explicites dans le SGDL. Pour la géométrie, cette utilisation de relations explicites constitue déjà un des principaux avantages des SGDL par rapport aux logiciels de DAO (ex. : Microstation, AutoCAD).
- b) Opérateurs temporels : En plus de primitives spécifiques, l'engin temporel doit fournir les opérateurs permettant d'effectuer facilement les analyses temporelles. Ainsi, tout comme un SGDL permet d'exploiter la référence spatiale à l'aide d'opérateurs métriques (ex. calculs de superficie, de parcours les plus courts, de corridors) et topologiques (ex. adjacent, inclus, intersecte), un SGDL temporel devrait fournir des opérateurs métriques temporels (ex. calculs de durée, d'intervalle, de corridors temporels orientés vers le passé ou l'avenir comme « depuis moins de 2 ans ») et topologiques (ex. précédent, pendant, simultanément). Les opérateurs temporels doivent couvrir l'ensemble des propriétés temporelles présentées en d). Ainsi, avec de tels opérateurs, il serait beaucoup plus simple d'effectuer des requêtes du genre « identifiez les véhicules d'urgence qui se sont retrouvés à moins d'un kilomètre l'un de l'autre pendant plus d'une heure ».

- c) Deux temps : Ces engins temporels devraient aussi permettre de gérer ce qui est communément appelé le temps « réel » et le temps « base de données ». Le premier renvoie au moment exact où un événement se produit dans la réalité (ex. : émission d'un permis de construction le mardi 4 avril 1995), alors que le second renvoie au moment où cet événement est enregistré dans la base de données (ex. : les informations relatives aux permis sont mises à jour une fois par semaine et non quotidiennement, soit le vendredi 7 avril 1995 dans le cas précédent). Bien qu'il soit accepté de distinguer ces deux notions, certaines applications les traitent comme un seul et même temps (ex. système cadastral australien, où c'est l'enregistrement informatique des opérations cadastrales qui rendent celles-ci également valides). L'engin temporel doit supporter ces deux temps pour chaque propriété temporelle énumérée ci-après.
- d) Propriétés temporelles : Un engin temporel doit aussi supporter les besoins fondamentaux de gestion temporelle tels qu'ils sont identifiés par Gagnon (1993), soit la gestion de l'existence d'un objet, de ses périodes de présence/absence et d'activation/désactivation, de son évolution descriptive et de son évolution géométrique.

L'existence d'un objet est continue et délimitée par sa naissance et sa mort (ex. existence d'une maison délimitée par sa date de construction et sa date de démolition). La présence nous dit si un objet est physiquement présent ou non sur le territoire cartographié. La présence d'un objet, si elle est gérée, est discontinue, car elle est entrecoupée par des périodes d'absences. Par exemple, la patinoire extérieure du collège Saint-Joseph existe depuis 1945, mais elle est installée du mois de novembre jusqu'au mois d'avril. Ainsi, à l'écran de l'ordinateur, elle apparaîtra seulement en réponse aux requêtes effectuées pour des dates comprises entre novembre et avril. Pendant le temps où elle n'apparaît pas, elle continue tout de même d'exister dans le système (ex. pour la gestion de l'entretien du matériel). De même, un véhicule de pompier dont les déplacements sont suivis à l'écran en temps réel pourra sortir hors du territoire cartographié. Il est alors absent tout en continuant d'exister (donc toujours dans la base de données descriptives mais absent de la carte numérique). Il est nécessaire de savoir quand une entité est présente ou absente du territoire si on veut déterminer à quels moments la primitive géométrique ou le symbole qui la représente doivent apparaître à l'écran (Gagnon, 1993). De plus, la gestion des présences absences évite les renumérisations inutiles du même objet (ex. renumériser la patinoire Saint-Joseph chaque mois de novembre) ; il suffit de gérer correctement l'affichage de l'objet. L'engin temporel doit donc pouvoir gérer une multitude de dates pour cette propriété temporelle, car il s'agit d'un phénomène répétitif habituellement non cyclique.

La fonction permet de savoir à quels moments une entité est active (elle remplit son rôle) et à quels moments elle est inactive (elle ne le remplit pas), ce qui peut influencer notamment la symbologie cartographique utilisée (ex. vert = actif, rouge = inactif). Ainsi, on peut désirer connaître les heures pendant lesquelles un panneau de signalisation d'arrêt scolaire est en fonction, les mois où un lampadaire a été hors d'usage ou encore les journées où un camion de pompier était inutilisable. Également, on peut désirer savoir qu'un panneau d'interdiction de stationnement est en fonction seulement de 9h à 17h du lundi au vendredi, ce qui influe sur le résultat des analyses spatiales visant à déterminer le nombre d'emplacements disponibles aux heures d'ouverture des bars (ce résultat serait différent aux heures régulières d'affaires). Il est à noter, pour des fins de gestion de base de données, que ces panneaux sont présents continuellement sur le territoire et qu'ils existent toujours. Bien sûr, tous les objets n'ont pas nécessairement une fonction à

remplir: c'est le cas notamment d'objets tels que les incendies de forêt. A l'opposé, d'autres peuvent en remplir plusieurs, telle une voiture utilisée comme taxi et comme véhicule de promenade. La référence temporelle de la fonction nous dit donc quand un objet joue un rôle donné, et cela doit être supporté par l'engin temporel.

L'évolution descriptive d'un objet est reflétée par les changements de la valeur d'un ou de plusieurs de ses attributs. Ainsi, dans le temps, les attributs descriptifs (ex. valeur marchande, utilisation, âge) qui décrivent les propriétés non spatiales des objets changent. L'évolution géométrique d'un objet survient à la suite d'un changement de position (ex. véhicule en mouvement), de forme (ex. : agrandissement d'une construction), de taille (ex. : épidémie de tordeuse de bourgeons de l'épinette) ou d'orientation (ex. propagation d'un nuage toxique). Plusieurs évolutions existent durant la vie d'un objet; l'engin temporel doit faciliter la gestion de toutes ces données.

- e) Plusieurs dimensions temporelles : L'existence, la présence et l'activation d'un objet peuvent être instantanées (ponctuelles ou 0-D) ou durables (1-D). Par exemple, un accident d'automobile possède une existence 0-D (instantanée), ce qui ne nécessite qu'une seule date dans la base de données. À l'inverse, un permis de construction existe pour plusieurs semaines, ce qui nécessite alors deux dates dans la base de données (début, fin). On considère instantané ce qui a une durée inférieure ou égale à la résolution de mesure temporelle (ex. la journée). On peut aussi considérer instantané ce qui a une durée supérieure à la résolution de mesure temporelle, mais que l'on choisit néanmoins de gérer de façon ponctuelle (ex. on n'enregistre que la date, l'heure et la minute (résolution) d'appel pour un incendie de maison alors que le feu dure en réalité plusieurs minutes, voire quelques heures). A l'inverse, ce qui dure plusieurs unités de mesure possède une temporalité 1-D. De même, l'évolution descriptive et l'évolution géométrique connaissent des périodes de changements continus (temporalité 0-D des valeurs d'attributs) ou de stabilité (temporalité 1-D des valeurs d'attributs). Pour gérer l'évolution des objets, nous cherchons donc à connaître les instants ou les périodes durant lesquels les données demeurent valides.

Tout comme les propriétés géométriques, les propriétés temporelles peuvent être simples (le cas le plus fréquent), alternatives (une forme ou l'autre pour chaque occurrence d'un objet), complexes (agrégation d'instant et de durées) ou multiples (ex. deux temporalités non déductibles l'une de l'autre) (Larrivée et Bédard, 1995). L'engin temporel doit donc être en mesure de gérer adéquatement les dimensions 0-D et 1-D de la temporalité et ce, pour chaque propriété temporelle énumérée ci avant et pour toute combinaison possible (simple, alternative, complexe, multiple).

- f) Références temporelles multiples : Contrairement au système de référence spatiale, qui est le même pour toute une base de données, les systèmes de référence temporelle peuvent varier pour l'existence, la présence, la fonction, l'évolution descriptive selon chaque attribut et l'évolution géométrique pour chaque type d'objet et entre les types d'objets. Ces référentiels temporels sont constitués d'une unité de mesure (ex. : heure), d'une résolution (ex. 30 minutes), d'une origine (ex. : le début du projet) et d'un format (ex. AA/MM/JJ).

L'engin temporel doit tenir compte de l'étendue temporelle tout comme il tient compte de l'étendue spatiale d'un territoire. Par exemple, on peut conserver les données durant une période de 5 ans depuis une date donnée (ex. : depuis le 90/01/01), à la suite d'un

événement (ex. prescription d'un droit de recours) ou pour un nombre maximal d'existences (ex. les 10 dernières existences). Cette étendue temporelle peut également s'étendre vers l'avenir dans le cas des projets planifiés ou des simulations.

De plus, l'engin temporel doit permettre les temporalités parallèles, tant passées qu'à venir, pour un même objet. Par exemple, on peut simuler quatre scénarios quant à l'état futur (ou passé) d'une forêt.

- g) Gestion des changements de structures de données : Nous savons que les structures de données évoluent à la suite de l'ajout de nouveaux types de données, d'un changement de plate-forme informatique, de l'apparition de traitements lourds, de l'utilisation de nouvelles normes de codification, etc. (ex. : nouvelle classification des sols depuis 1987). Afin d'effectuer des requêtes de façon efficace, l'engin temporel doit fournir les fonctions nécessaires pour rendre transparente la gestion des différentes versions de structures de données et avertir l'utilisateur lorsqu'une requête temporelle ne peut être effectuée au-delà d'une certaine période.

Besoin de procédures conviviales de saisie de données

Considérant l'énorme quantité de dates et de liens topologiques temporels qu'il faut établir dans les bases de données spatio-temporelles, l'utilisateur a besoin d'outils et de procédures de saisie qui soient très conviviaux et les plus automatisés possibles. Aujourd'hui, la simple saisie des dates aux bons endroits sème déjà la confusion chez l'opérateur des bases de données plus simples. De plus, la tenue à jour de ces données doit être la plus simple possible.

Besoin d'interfaces conviviales de création de requêtes et d'extensions SQL

Les travaux de Proulx et collaborateurs (1995) ont démontré que la création de requêtes spatio-temporelles est très complexe et mal maîtrisée par ceux qui exploitent les rares systèmes en place. Non seulement faut-il maîtriser tous les concepts énumérés ci avant, mais les solutions actuelles requièrent la maîtrise du langage d'interrogation fourni par le SGDL (habituellement le langage SQL avec quelques extensions spatiales) ainsi que la maîtrise de la structure de données implantée dans le système. Cette dernière étant toujours complexe dans les bases de données spatio-temporelles, seul un expert chevronné peut utiliser le système et ce, non sans risque. Il existe donc un besoin d'interface d'interrogation beaucoup plus simple.

Besoin de visualisation de cartes dynamiques

Lorsque l'on intègre le temps avec l'espace, on crée un mouvement. Ainsi, l'utilisateur a besoin de fonctions d'animation. Cette animation pourrait être effectuée en temps différé ou en temps réel. Elle permettrait autant d'afficher le mouvement d'un objet simple que l'animation simultanée de plusieurs phénomènes et le changement interactif du point de vue de l'observateur. Au-delà de l'animation traditionnelle, l'utilisateur a besoin de la cartographie thématique dynamique. Ainsi, au cours d'une animation, la symbologie variera en fonction des changements de la nature d'un phénomène ou de ses propriétés descriptives (ex. un peuplement forestier représenté par un polygone qui passe graduellement de vert pâle à vert foncé en vieillissant). Cette fonction enrichira l'information transmise puisque le mouvement ajoute un élément de perception pour l'utilisateur (Bédard, 1993).

Besoin de méthodes formelles d'analyse, de conception et de développement

La technologie peut apporter des solutions, mais la meilleure solution technologique ne pourra être vraiment efficace que si l'on possède une méthode formelle pour analyser les besoins temporels d'une organisation, pour concevoir la base de données et pour implanter le tout en vue d'obtenir un système performant.

POTENTIEL D'UTILISATION DES SGDL ACTUELS POUR GÉRER LE TEMPS

Les nombreux besoins mentionnés plus haut ne sont comblés que très faiblement aujourd'hui. Reprenons ces besoins un à un et analysons l'offre actuellement disponible.

Engins spatio-temporels

Le but ultime d'un SGDL est de fournir de l'information sur le territoire afin de bien orienter la prise de décisions, que celles-ci soient d'ordre stratégique, tactique ou opérationnel. Conséquemment, la comparaison de l'état d'un même territoire à des époques différentes devrait faire partie intégrante des fonctions offertes par un SGDL. Or, ce n'est pas encore le cas ; les SGDL commerciaux actuels, qu'ils fassent appel à une technologie relationnelle ou orientée objet, sont extrêmement limités quant à la gestion du temps. Les logiciels offerts jusqu'à présent ont été conçus avec une vision statique de l'espace et des objets qu'on y trouve (ce qui était tout de même très bien en regard des connaissances des années 1980). Ainsi, les SIG gèrent bien la position et la forme des phénomènes géographiques, mais la notion de temps n'y est pas encore traitée explicitement, sinon de façon parfois très primitive. Conséquemment, la gestion du temps se fait aujourd'hui de façon limitée, en exploitant les structures relationnelles ou orientée objet offertes par ces systèmes selon des approches plutôt artisanales, sans méthode structurée. Il en résulte une grande difficulté d'identification des besoins de gestion spatio-temporelle dans les organisations, une lourdeur de mise en oeuvre des applications et une complexité de traitement de données. L'absence d'engins spatiotemporels oblige donc les concepteurs à compenser les faiblesses inhérentes des SGDL par d'importants efforts de programmation. « Ce n'est qu'après quelques prouesses de structuration de données que l'on peut obtenir une solution à la gestion du temps. Ces solutions sont souvent partielles et toujours complexes. Il en résulte une très grande difficulté, voire même une impossibilité en certains cas, de développer des applications temporelles » (Bédard, 1993).

À cause de l'absence d'engins spatio-temporels, il est donc extrêmement difficile aujourd'hui de concevoir des applications qui puissent répondre aux besoins relatifs aux analyses temporelles, aux propriétés temporelles (existence, présence, fonction, évolutions) et à leurs différentes dimensions possibles, aux évolutions de structure de bases de données, puis aux utilisations de références temporelles multiples, de temps parallèles, réels et base de données. Au mieux peut-on en satisfaire un faible sous-ensemble.

Procédures conviviales de saisie de données

Ce besoin peut aujourd'hui être comblé à partir d'importants efforts de programmation. Cela permet de créer des écrans de saisie qui camouflent la complexité de la structure interne de données. Ces écrans de saisie peuvent également être programmés pour s'assurer que certaines contraintes d'intégrité sont respectées. Cependant, si des engins spatio-temporels

existaient, des composantes standard de saisie pourraient être intégrées facilement dans les masques de saisie, ce qui accélérerait le développement de l'application.

Interfaces conviviales de création de requêtes

À cause de l'absence d'engins spatio-temporels, la création de requêtes spatio-temporelles s'avère extrêmement complexe puisqu'il faut tenir compte explicitement dans chaque requête de toutes les dates utilisées pour chaque propriété temporelle des objets et ce, selon toutes leurs dimensions. Il faut également inclure dans chaque requête les lignes de code SQL qui équivaldraient à des opérateurs temporels (ex. durant, après). Les requêtes doivent aussi tenir compte des fichiers historiques, des fichiers actuels et futurs possibles, puis de l'évolution de la structure de données. Bien que les requêtes fréquemment utilisées puissent être programmées, les requêtes ad hoc subiront toujours cette complexité. Les travaux de Proulx et collaborateurs (1995) ont clairement démontré que de telles requêtes ad hoc ne sont envisageables qu'avec une interface spécialisée, camouflant la complexité de la structure de données et utilisant un langage naturel (ex. français). Une telle interface est présentement en développement au Centre de recherche en géomatique de l'Université Laval.

Parmi les solutions que l'on peut espérer trouver à court terme dans les SGDL commerciaux, citons l'introduction des extensions temporelles aux langages SQL (déjà étendus pour la référence spatiale). Cette introduction serait incitée par les travaux de normalisation de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) relativement à TSQL-2 et SQL-MM/Spatial, puis de l'open GIS Foundation.

Visualisation de cartes dynamiques

Différents outils d'animation offrent la possibilité de présenter des cartes dynamiques créées avec les SGDL. Cependant, ces opérations doivent être faites par des logiciels externes et après d'importants efforts. Les SGDL offrent cependant de plus en plus de fonctions d'animation avec diapositives où, si l'on dispose d'un ordinateur suffisamment puissant, on peut présenter des cartes temporelles d'époques successives à une vitesse ne dépassant généralement pas 30 cartes par seconde. Cette solution simule l'animation en affichant rapidement plusieurs cartes différentes, ce qui occupe évidemment beaucoup d'espace disque.

Méthodes formelles d'analyse, de conception et de développement

Les méthodes actuellement utilisées pour l'analyse, la conception et le développement d'applications SGDL ne tiennent pas compte explicitement de la facette temporelle des bases de données à référence spatiale. Il existe cependant la méthode Modul-R (v. 2.01) qui supporte explicitement la conception et le développement de bases de données spatio-temporelles (Bédard et coll., 1995). Cette méthode a été testée dans différents projets et est immédiatement utilisable. Elle repose cependant sur le formalisme individuel, auquel ont été ajoutées des extensions orientées objets, ce qui nécessite de connaître ce formalisme particulier et d'apprendre des extensions maison. La prochaine version de Modul-R (v. 3.0) sera indépendante du formalisme utilisé par le concepteur. Ce sera un environnement de modélisation qui pourra s'ajouter au formalisme déjà utilisé par celui-ci. Les besoins en ce sens seront donc comblés en grande partie; il ne restera qu'à raffiner la méthode d'analyse de besoins.

LES NOUVELLES AVENUES

Étant donné qu'il existe encore plusieurs besoins non résolus et que ceux-ci sont de plus en plus importants, il est fort probable que les fournisseurs de SGDL offriront des solutions spatio-temporelles complètes dans quelques années (probablement pas avant l'an 2000). Parmi les avenues les plus prometteuses, soulignons le développement des engins spatiotemporels. Ce sujet, pour le simple volet temporel, fait l'objet d'un débat dans la communauté scientifique; de tels débats conduisent généralement à l'apparition de nouveaux produits sur le marché. Une fois cette étape franchie, les engins temporels pourront être intégrés à la gestion de la géométrie pour concevoir de vrais engins spatio-temporels, coeur nécessaire des futurs SGDL.

Une deuxième solution a déjà commencé à voir le jour, par exemple chez ESRI et Infomap. Il s'agit d'utiliser avec le SGDL une base de données multidimensionnelle. Cette solution permet de traiter le temps comme une dimension parmi plusieurs, les autres étant la position des objets et leurs attributs. Quoique attrayante à première vue, cette solution n'a pas été vraiment testée; tout comme pour les SGDL actuels, elle deviendra rapidement complexe lorsqu'elle devra tenir compte de tous les besoins énumérés dans le présent article. Néanmoins, cette solution mérite considération.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Les SGDL temporels permettront de gérer et de comparer facilement les états passés d'un territoire avec son état présent et ses états potentiels. Ils permettront également de visualiser dynamiquement l'évolution des phénomènes géographiques. La perspective de SGDL offrant ces possibilités est évidemment très intéressante. Certaines solutions partielles sont déjà disponibles sur le marché. Cependant, le SGDL temporel complet ne sera probablement pas offert avant cinq ans. Il faut continuer la recherche et accélérer le développement. En attendant, toute organisation devant implanter une base de données spatio-temporelle avec la technologie actuelle devrait tenir compte des remarques suivantes

- N'essayez rien de sophistiqué à moins que vous n'en ayez absolument besoin.
- Si vous le faites, utilisez une plate-forme technologique (matériel et logiciel) très performante.
- Si vous le faites, retenez les services d'un spécialiste qui saura vous guider efficacement autant pour l'analyse du problème que pour la mise au point de la solution.
- Si vous le faites, prévoyez beaucoup de programmation pour isoler le plus possible l'utilisateur de la complexité des opérations de saisie et de tenue à jour des données, d'interrogation de la base de données ainsi que d'analyse spatio-temporelle.
- Si vous le faites, attendez-vous à voir votre volume de données augmenter de façon importante.

Enfin, demandez régulièrement à votre fournisseur des solutions pour la gestion temporelle des données. Ce n'est qu'à la suite de pressions des clients que les fournisseurs offriront un jour une solution commerciale aux besoins énumérés brièvement dans cet article.

RÉFÉRENCES

Cet article a été rédigé à partir de matériel utilisé dans les cours « Bases de données spatiotemporelles » (SCG-64967, Y. Bédard et G. Edwards) et « Réalisation d'applications en SIRS » (SCG-64739, Y. van Chestein).

ALLEN, E., G. Edwards et Y. Bédard (1995), « Qualitative Causal Modeling in Temporal GIS COSIT'95 », Autriche, Septembre. Cet article résume les travaux de maîtrise de l'auteur principal.

ARMENAKIS, Costas (1991), Report on the Temporal Dimension of Geographical Data, Rapport interne, Géomatique Canada, 64 p. Ce rapport documente très bien l'implantation du volet temporel dans les bases de données relationnelles.

BEDARD, Y., C. Caron, Z. Maamar, B. Moulin et D. Vallière (1995), « Adapting Data Models for the Design of Spatio-Temporal Databases », Article soumis à *Computer Environment and Urban Systems*, An International journal. Cet article compare les formalismes entité-relation, orienté-objet et Modul-R pour la modélisation des bases de données spatio-temporelles.

BÉDARD, Y. (1993), « La prochaine génération de logiciels SIG : les SIG dynamiques », *Arpenteur-Géomètre*, Revue de l'ordre des arpenteurs-géomètres du Québec, vol.19, n°5, p. 25-26. Cet article est une reproduction de l'original paru dans *InfoSIT* de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne.

BOLDUC, P. et Y. Bédard (1994), DynaSIG. Didacticiel pour l'enseignement de certains concepts fondamentaux sur les bases de données spatio-temporelles (requiert Toolbook 3.0).

CARON, C., Y. Bédard et P. Gagnon (1993), « MODUL-R un formalisme individuel adapté pour les SIRS », *Revue de géomatique*, France, vol. 3, n°3, p. 283-306. Cet article résume la version 1.0 du formalisme Modul-R ainsi que les travaux ayant conduit au mémoire de maîtrise de Claude Caron.

GAGNON, Pierre (1993), « Concepts fondamentaux de la gestion du temps dans les SGDL », Mémoire de maîtrise, Département des sciences géomatiques, Université Laval, 160 p. Ce mémoire présente les principaux concepts fondamentaux présentés dans le présent article.

LANGRAN, Gail (1992), *Time in Geographic Information Systems*, Londres, Taylor & Francis. Ce livre constitue encore aujourd'hui la principale référence scientifique.

LARRIVÉE, S., et Y. Bédard (1995), « Document décrivant le dictionnaire de données pour les bases de données spatio-temporelles (décrites avec le formalisme Modul-R 2.01) partie conceptuelle », Rapport interne faisant partie des notes de cours de premier cycle (GMT-18110), centre de recherche en géomatique, Université Laval, 50 p.

PROULX, M. Y. Bédard et B. Moulin (1995), « Développement d'un nouveau langage d'interrogation de base de données spatio-temporelles », *Géomatique 95*, Association canadienne des sciences géomatiques, Ottawa, 12-15 juin, 16 p. sur CD-ROM. Cet article résume les travaux de maîtrise de l'auteure principale.

Note: Les mémoires de maîtrise, les articles des membres du CRG et le didacticiel DynaSIG sont disponibles au Centre de recherche en géomatique selon une formule d'abonnement (tél. (418) 656-5491).