

MADS

OU L'INFORMATION SPATIO-TEMPORELLE À PORTÉE DE SES UTILISATEURS

Christine PARENT

HEC-INFORGE

Université de Lausanne, Suisse

Esteban ZIMÁNYI

Université Libre de Bruxelles

Pier DONINI

Corinne PLAZANET

Stefano SPACCAPIETRA

Christelle VANGENOT

LBD DI

Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse

Résumé

Malgré les bienfaits reconnus de l'approche conceptuelle pour la modélisation d'applications, les modèles conceptuels spatio-temporels existants ne satisfont pas les besoins des concepteurs. Dans cet article nous présentons brièvement le modèle MADS selon trois axes : concepts structurels, concepts spatiaux, concepts temporels. L'orthogonalité des concepts permet d'obtenir un modèle à la fois simple (puisque ces concepts sont indépendants) et puissant (puisque les concepts peuvent être combinés librement). Le modèle a été implanté et des traductions existent vers d'autres modèles opérationnels.

Abstract

Despite the well-established benefits of conceptual modeling for application design current spatio-temporal conceptual models do not cope satisfactorily with designers' requirements. In this paper we describe the MADS model along the structural, spatial and temporal dimensions. As the modeling concepts are orthogonal, the proposed model achieves both simplicity (as concepts are independent from each other) and expressive power (as concepts may be freely associated). The model has been implemented and can be translated to operational models of existing products.

Mots-Clés

Conception de bases de données, modélisation conceptuelle, modèles de données, base de données spatiales, bases de données temporelles, système d'information

Key words

Database design, conceptued modeling, data models, spatial databases, temporal databases, information systems

1. Introduction

Les concepteurs de bases de données classiques connaissent bien l'intérêt de passer par une étape de modélisation conceptuelle, centrée sur les caractéristiques intrinsèques des données de l'application, avant d'aborder la modélisation logique conduisant à une mise en œuvre sur un logiciel de type relationnel ou orienté objets. Les modèles de type entité-association [2], ou objet-association [6]), sont les plus connus et

pratiqués au niveau conceptuel. Le premier avantage de ces modèles est d'être à la portée des utilisateurs. Ceux-ci peuvent ainsi exprimer précisément leur connaissance des données applicatives et participer activement à l'élaboration du schéma conceptuel. De plus, le résultat obtenu reste valable en cas d'évolution technologique (seule la traduction du schéma conceptuel en schéma logique est affectée). Au rythme actuel d'évolution, notamment pour les outils de type système d'information géographique, ceci est un facteur clé de flexibilité et de réduction des coûts. Enfin, la modélisation conceptuelle, par sa lisibilité, facilite les échanges d'informations entre partenaires d'organismes différents. A l'époque où l'accès via l'Internet à des sources d'informations extérieures devient courant, la capacité à comprendre la sémantique des informations obtenues est déterminante pour leur utilisation correcte.

Malheureusement, les utilisateurs de bases de données spatiales ou temporelles ne disposent que de modèles conceptuels classiques qui ignorent les concepts spatio-temporels, ou de modèles logiques de système d'information géographique qui sont le reflet des techniques d'implantation interne. Ce constat nous a conduit à développer un nouveau modèle conceptuel, bien adapté à l'information spatio-temporelle

L'élaboration de ce modèle conceptuel, MADS (Modélisation d'Applications à Données Spatio-temporelles) a été guidée par les objectifs suivants :

- l'orthogonalité des dimensions structurelle, spatiale et temporelle,
- une mise en évidence des aspects semblables des concepts spatiaux et temporels,
- une définition formelle des concepts,
- la possibilité de décrire de manière explicite des relations spatiales, temporelles et dynamiques entre les entités,
- la possibilité de décrire des champs spatiaux continus,
- la provision de types spatiaux génériques au delà des types de base,
- et enfin des notations visuelles intuitives.

Dans la dimension structurelle, MADS permet la modélisation des données classiques en offrant un ensemble de concepts bien connus : type d'objet, attribut, méthode, type d'association, lien de généralisation, lien d'agrégation, ainsi qu'un ensemble de contraintes d'intégrité associées. Les objets et les associations peuvent avoir une structure complexe grâce aux attributs complexes (composés d'autres attributs) et multivalués (prenant plusieurs valeurs). Les types d'objet peuvent être organisés dans des hiérarchies de généralisation (classes/sous-classes) ou d'agrégation. Le type d'association permet la modélisation explicite des liens n-aires entre objets. Les types d'association et d'agrégation, peuvent avoir des attributs et des méthodes, tout comme les types d'objet. Pour plus de détails sur la partie structurelle du modèle, le lecteur est invité à se reporter à [8].

Suivant le principe d'orthogonalité, la spatialité et/ou la temporalité peuvent être associées aux types d'objet, aux liens d'association et d'agrégation, ainsi qu'aux attributs. Le modèle offre également la possibilité de représenter des champs continus dans l'espace grâce au concept d'attribut variable. Au point de vue ergonomique, la spatialité et la temporalité sont visualisées dans les diagrammes par des pictogrammes, ce qui en permet une appréhension visuelle immédiate et non ambiguë. Ces aspects ergonomiques sont essentiels pour le développement d'outils CASE d'édition visuelle d'un schéma spatio-temporel ou de formulation visuelle interactive de requêtes d'interrogation et de mise à jour.

Nous décrivons les caractéristiques spatiales et temporelles du modèle MADS puis les types de liens offerts par le modèle, enfin, les avantages du modèle et les outils développés et en cours pour faire de MADS une méthode de conception d'applications géographiques et temporelles.

2. Modélisation des caractéristiques spatiales

Les systèmes d'information géographique offrent deux manières de décrire les relations entre les objets et l'espace : le point de vue discret, où la base de données contient des objets qui peuvent être localisés dans l'espace, et le point de vue continu, où la base de données contient des régions de l'espace sur lesquelles des

variables sont définies comme des champs continus de valeurs. Le modèle MADS adopte le point de vue discret, car il est plus fréquent chez nos utilisateurs (gestionnaires du territoire, des eaux, des routes...). Néanmoins, MADS fournit également des concepts pour pouvoir exprimer une vue continue. Pour des raisons pragmatiques, le modèle est actuellement limité à la représentation de données à une ou deux dimensions.

MADS fournit un ensemble de types abstraits spatiaux [7], organisés en une hiérarchie de généralisation (fig. 1). A chaque type spatial est associé un ensemble de méthodes permettant de définir et manipuler les instances de ce type. La hiérarchie peut être étendue, selon les besoins de l'application.

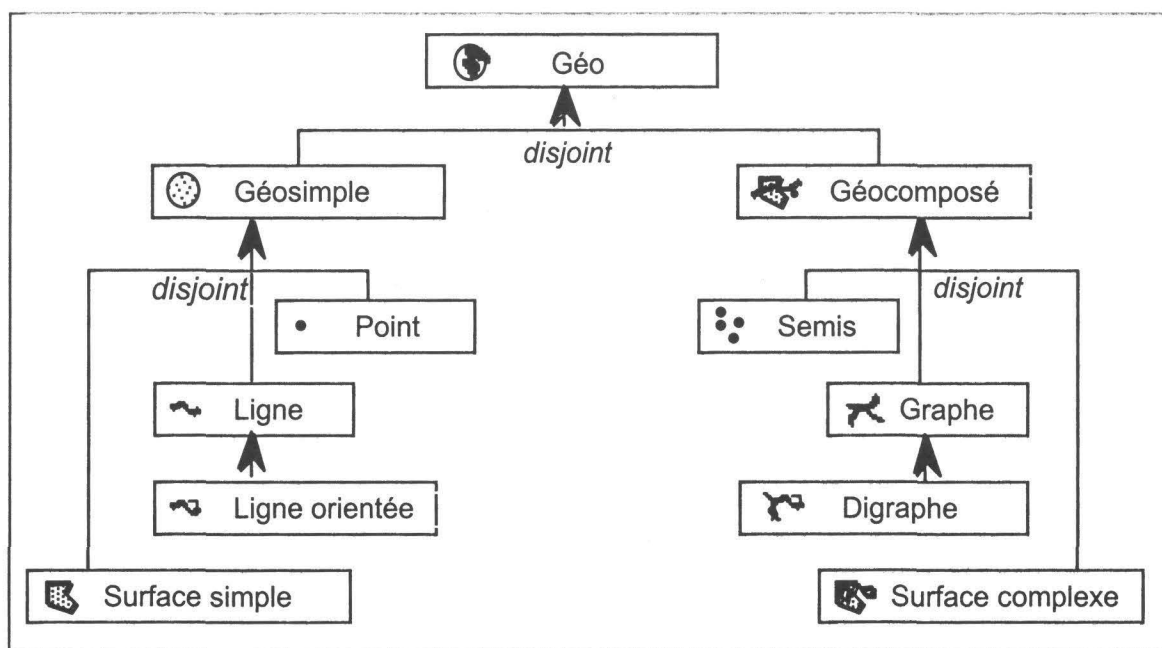


Figure 1 - Hiérarchie des types abstraits spatiaux

Elle comporte des types génériques qui permettent de décrire des types d'entité dont le type géométrique n'est pas connu précisément, par exemple dans le cas où certaines villes sont représentées par des points et d'autres par des surfaces. Le type *géo*, le plus générique, signifie uniquement "ce type est spatial" sans préciser aucunement son emprise. La définition du type précis de chaque occurrence se fera lors de sa création. Le type *géosimple* représente n'importe quel type spatial simple. Le type spatial *géocomposé* permet de décrire toute composition de types spatiaux simples : par exemple, un réseau fluvial défini par un ensemble de rivières (lignes orientées) et de lacs (surfaces). Les sous-types homogènes de *géocomposé* ont été définis :

- le *semis* (ensemble de points), exemple : un ensemble de forages,
- le *graphe* (ensemble de lignes), exemple : une portion de réseau routier,
- le *digraphe* (ensemble de lignes orientées), exemple : une rivière avec ses affluents
- la *surface complexe* (ensemble de surfaces simples), exemple : un archipel.

2.1. Types d'objet et attributs spatiaux

MADS permet au concepteur d'attacher une spatialité aux types d'objets comme aux attributs. Un type d'objet sera caractérisé par une spatialité lorsqu'il représente une classe d'entités dont la référence spatiale est pertinente pour l'application. La spatialité d'un type d'objet est décrite en MADS par un attribut prédéfini, *géométrie*, dont le domaine de valeurs est un type abstrait spatial.

De même, un attribut spatial est un attribut simple, monovalué ou multivalué, dérivé ou non, dont le domaine de valeurs est aussi un type abstrait spatial. Le choix de décrire un élément du monde réel par un objet spatial ou par un attribut spatial dépend de l'application. Par exemple, si l'on doit représenter les rivières (lignes orientées), leurs bassins versants (surfaces) et leurs réservoirs (points), on peut choisir entre trois types d'objets spatiaux, ou un seul (ou deux) avec des attributs spatiaux. La figure 2 donne une solution avec deux types d'objets spatiaux, *Rivière* et *Bassin-Versant*, et un attribut spatial multivalué, *réservoir*, attaché à *Rivière*.

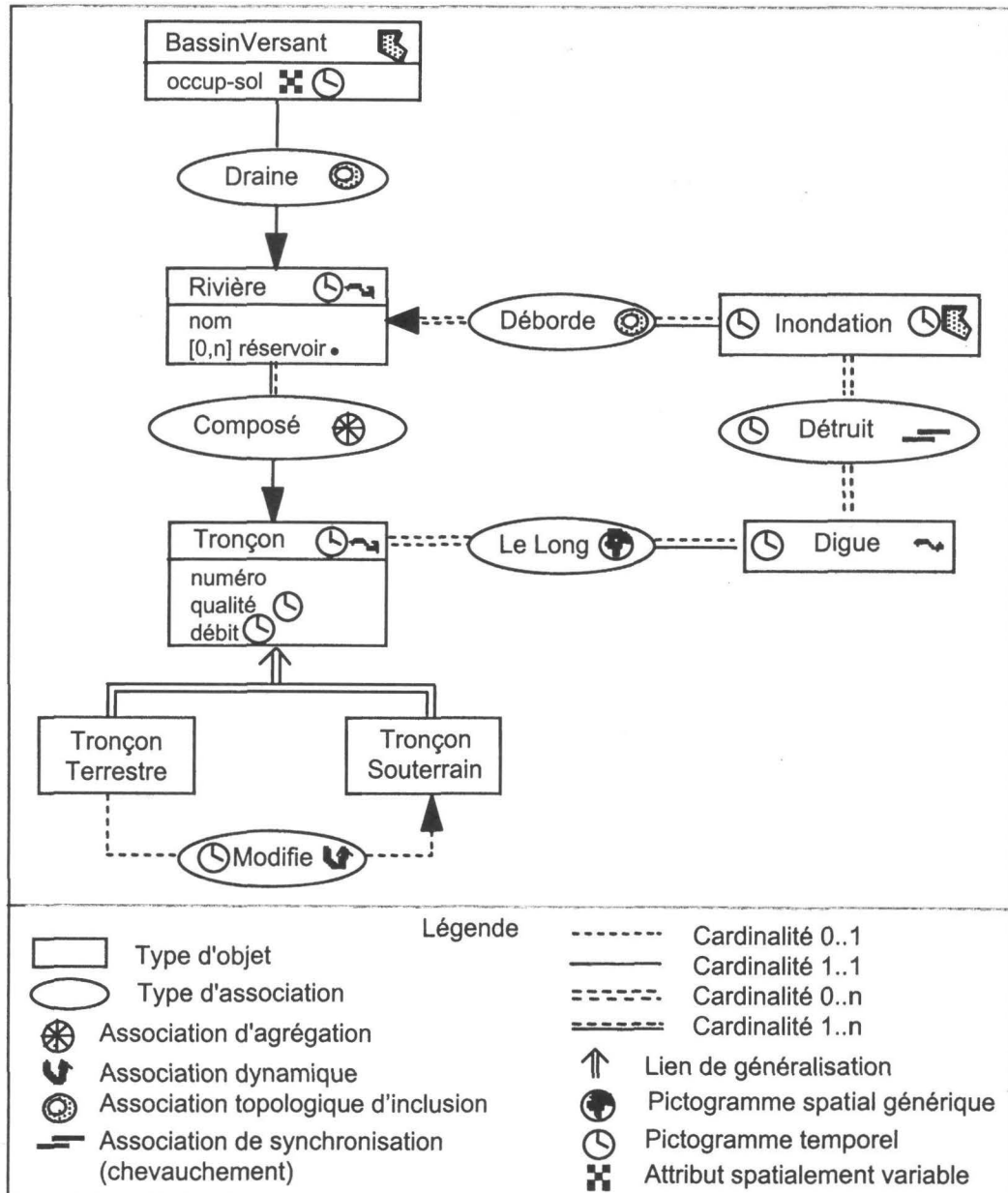


Figure 2 - Schéma MADs partiel pour une application de gestion des eaux

2.2. Types d'association spatiaux

Les besoins de représentation spatiale ne se limitent pas à l'association d'une spatialité aux objets ou attributs. La description des relations spatiales entre objets spatiaux y joue un rôle prépondérant. Ces relations peuvent être de différents types : topologiques, d'orientation, métriques...

Les relations spatiales, pour autant que la spatialité des objets soit définie directement par leurs coordonnées, peuvent être déduites de la spatialité des objets. Ainsi, ces relations existent implicitement et sont accessibles aux utilisateurs via les fonctions du système d'information géographique. Néanmoins il est important de pouvoir décrire les relations spatiales explicitement dans le schéma conceptuel. Cela enrichit le schéma, permet de nommer ces relations et de leur attacher des attributs et des méthodes.

Ainsi dans MADS, un type d'association spatial est un type d'association dont la sémantique est une contrainte d'intégrité spatiale explicitement définie. Figure 2, *Bassin-Versant* et *Rivière* sont reliés par une relation topologique, *Draine*, de type inclusion, qui contraint leurs géométries. MADS offre six types prédéfinis d'associations topologiques (disjonction, adjacence, croisement, recouvrement, inclusion, égalité) et permet au concepteur de définir, à l'aide des méthodes associées aux types abstraits spatiaux, tout autre type de relation spatiale qui est utile pour son application.

2.3. Attributs variables dans l'espace

En MADS, tout attribut, quelles que soient ses caractéristiques, peut être variable dans l'espace : c'est alors une fonction dont le domaine source est une zone de l'espace (une surface ou une ligne) et dont le domaine cible est le domaine de valeurs de l'attribut. Par exemple, figure 2, l'attribut *occup-sol* de *Bassin-Versant* décrit l'occupation du sol des bassins versants. Un pictogramme symbolisant une tessellation régulière signale, dans les diagrammes, les attributs variables dans l'espace.

Le choix de l'implémentation de l'attribut variable (grille, isolignes, tessellation de triangles ou de polygones, gradients... [4]) ne relève pas du schéma conceptuel et sera fait ultérieurement lors de la définition du schéma logique en fonction des organisations offertes par le système d'information géographique.

3. Modélisation des caractéristiques temporelles

La connaissance de l'évolution temporelle des données en particulier des données spatiales, est souvent indispensable pour comprendre la dynamique des phénomènes du monde réel. C'est pourquoi le modèle MADS offre un jeu de concepts pour décrire l'historique dans le passé et l'évolution prévue dans le futur des objets, attributs et associations. On ne s'intéresse ici qu'au temps dit de validité, décrivant la période de validité de l'information du point de vue de l'application [3].

3.1. Attributs temporels : variables dans le temps

Un attribut est dit temporel s'il est variable dans le temps. C'est, à l'instar des attributs variables dans l'espace, une fonction du temps vers le domaine de valeurs de l'attribut. Pratiquement les différentes valeurs prises par l'attribut au cours du temps sont conservées, chacune étant associée à un élément temporel qui décrit sa période de validité.

Tout attribut peut être temporel, quelles que soient ses caractéristiques structurelles (simple ou complexe, monovalué ou multivalué) et spatiales (spatial ou non, variable ou non). Un attribut temporel complexe peut avoir des composants temporels. Les cardinalités des attributs temporels sont interprétées comme instantanées, c'est-à-dire qu'elles définissent le nombre possible de valeurs à tout instant.

Par exemple figure 2, les attributs de *Tronçon*, *qualité* et *débit*, sont temporels, comme l'indique le pictogramme symbolisant une montre : ils stockent l'historique des mesures de qualité de l'eau et de débit faites sur ce tronçon de la rivière. De même, l'attribut variable dans l'espace, *occup-sol*, est aussi variable dans

le temps. Les utilisateurs peuvent ainsi interroger l'historique de l'évolution de l'occupation du sol pour tout instant et en tout point des bassins versants. Enfin, les attributs particuliers que sont les géométries des objets spatiaux peuvent aussi être temporels, permettant ainsi de décrire explicitement et de mémoriser les déplacements d'objets ou leurs déformations. C'est le cas, figure 2, des cours des rivières et de leurs tronçons (qui peuvent changer de lit, creuser les berges...) ainsi que de la surface couverte par une inondation.

3.2. Types d'objet et d'association temporels

Associée aux types d'objet, la temporalité concerne l'existence des objets dans leur type, plutôt que leur valeur. Les objets sont créés, puis peuvent être temporairement suspendus, puis être réactivés et finalement être détruits. Par exemple une digue contenant une rivière peut être construite, détruite par une inondation, puis reconstruite... Tout type d'objet temporel possède un attribut temporel particulier, appelé *statut*, qui décrit son cycle de vie, c'est-à-dire la suite des états par lesquels il passe au cours de sa vie : pas encore né, actif, suspendu (la digue est détruite mais on va la reconstruire), mort (la digue est définitivement détruite). Les types d'objets temporels sont identifiés visuellement sur les diagrammes par la présence du même pictogramme temporel que pour les attributs temporels (fig. 2).

Les différents états sont caractérisés par l'usage qu'on peut faire des objets pendant qu'ils sont dans cet état. Pendant qu'un objet est actif, l'objet est pleinement utilisable (lectures, écritures, mises à jour, lier/délier à des associations...). Pendant qu'il est suspendu, il n'est plus modifiable; seules les consultations (et le changement d'état vers actif ou mort) sont possibles. Enfin pendant qu'il est mort ou pas encore né – deux états symétriques – il n'est plus du tout accessible. Pour y accéder, l'utilisateur doit émettre une requête spécifiant un temps de validité de la requête appartenant à une période d'activité de l'objet (voire à une période de suspension dans le cas d'une requête de consultation pure).

Un type d'objet temporel peut avoir des attributs non-temporels et temporels. Il n'y a pas en MADS de contrainte par défaut entre la durée de validité d'un attribut temporel et le cycle de vie de l'objet auquel il appartient, ni entre celle d'un attribut complexe et celles de ses composants. Cependant, si l'application en a besoin, des contraintes d'intégrité temporelles ad hoc peuvent être spécifiées par le concepteur, telle que la validité d'un composant doit toujours être incluse dans la validité de son composé.

De la même façon, déclarer un type d'association temporel permet de garder trace du cycle de vie de ses instances. Celles-ci peuvent être créées, suspendues, réactivées et détruites. Toujours dans l'optique de ne pas restreindre arbitrairement le pouvoir de modélisation des concepteurs, en MADS un type d'association temporel peut relier des types d'objet temporels ou non-temporels, et vice versa. Comme pour les attributs, les cardinalités reliant les types d'objet à un type d'association temporel sont interprétées comme instantanées, définissant le nombre minimal et maximal d'occurrences de l'association pouvant lier un objet à un instant donné.

3.3. Relations de synchronisation

La modélisation des liens dont la sémantique a une composante temporelle inhérente est importante, en particulier pour des applications liées à la gestion, l'analyse, la compréhension, et la prévision des phénomènes naturels et humains. C'est pourquoi MADS permet de modéliser explicitement les relations de synchronisation qui sont dans le domaine temporel le pendant des associations topologiques spatiales. Associer deux types d'objet par un type d'association de synchronisation revient à spécifier une contrainte d'intégrité temporelle liant les cycles de vie des deux types d'objet. Par exemple dans la figure 2, l'association *Détruit* entre *Inondation* et *Digue*, définie à l'aide de l'opérateur temporel *chevauche*, spécifie qu'une occurrence d'*Inondation* ne peut être liée à une occurrence de *Digue* que si les périodes d'activité des deux occurrences se chevauchent effectivement.

Pour la définition de la sémantique des associations de synchronisation, MADS offre les types prédéfinis correspondant aux opérateurs d'Allen [1]: précède, succède, égale, rencontre, chevauche, pendant, commence, et finit. MADS permet aussi au concepteur de définir une association de synchronisation spécifique à l'aide d'un prédicat temporel quelconque.

La contrainte d'intégrité associée à un type d'association peut être mixte et porter à la fois sur la géométrie des objets (contrainte spatiale) et sur leur temporalité (contrainte temporelle). C'est alors une association spatio-temporelle, comme pourrait l'être l'association *Détruit* définie par la contrainte topologique et temporelle suivante : la ligne représentant la digue doit se trouver dans la zone inondée au moment de la destruction.

4. Autres associations

Une connaissance fine des phénomènes spatio-temporels et dynamiques (décrivant ou régissant l'évolution des objets et des liens) est cruciale pour les applications spatio-temporelles. MADS propose donc des types particuliers d'association permettant de décrire explicitement des situations d'agrégation spatiale ou temporelle ainsi que les liens de filiation entre objets. Ce dernier type de lien, malgré son importance, n'est que rarement présent dans les modèles existants. Comme tout type d'association, ces associations particulières peuvent être nommées, avoir des attributs, et intervenir dans des formules de dérivation et des contraintes d'intégrité.

4.1. Agrégation thématique, spatiale ou temporelle

Le lien d'agrégation, ou de composition d'objets, est très présent dans les applications à données spatio-temporelles. Par exemple, dans la figure 2 les rivières sont représentées comme l'agrégation de leurs tronçons. L'agrégation est une association binaire, orientée et de sémantique particulière. Elle permet d'exprimer le fait que les objets d'un type, dits objets composés, correspondent à l'agrégation d'objets d'un autre type, dits objets composants.

Deux cas particuliers d'agrégation sont l'agrégation spatiale et l'agrégation thématique, qui sont caractérisées chacune par une sémantique particulière, spatiale ou temporelle, et par des interdépendances d'attributs spatiaux ou temporels entre objets composants et composés. Dans une agrégation spatiale, les objets liés sont spatiaux et il est très fréquent – mais pas obligatoire – que la géométrie de l'objet composé soit dérivée ou liée à celle de ses objets composants, comme c'est le cas, figure 2, pour la géométrie des rivières qui est égale à l'union spatiale des géométries de ses tronçons. De même, la valeur de certains attributs, spatiaux ou non, de l'objet composé (parfois de l'objet composant) peut être liée à celle des objets composants (composés). Ces interdépendances sont exprimées soit par des attributs dérivés, soit par des contraintes d'intégrité.

L'agrégation temporelle est caractérisée par le fait que le type d'objet composé est temporel et par sa sémantique : les objets composants représentent soit des instantanés, soit des périodes de la vie de l'objet composé. Cette association est très utile lors de l'intégration à une base de données temporelle d'une autre base de données non-temporelle décrivant les mêmes objets.

4.2. Association de transition

Ce type d'association modélise le changement de classe des objets : on dit qu'un objet subit une transition lorsque l'objet migre de la population d'un type d'objet source vers la population d'un type d'objet cible. Comme l'objet qui subit la transition garde son identité (puisque'il représente la même entité du monde réel), les types d'objet source et cible doivent appartenir à la même hiérarchie de généralisation. C'est le cas sur la figure 2 des objets *Tronçon-Terrestre* qui lors d'un aménagement du territoire sont couverts et deviennent des objets *Tronçon-Souterrain*. S'il est utile pour l'application de mémoriser cette transformation, une relation de transition peut être décrite comme c'est le cas de *Modifie*.

4.3. Association de génération

Ce type d'association modélise les processus qui donnent lieu à l'émergence de nouveaux objets : une instance (ou un ensemble d'instances) d'un type d'objet source génère une instance (ou un ensemble

d'instances) d'un type d'objet cible. Cette association permet de modéliser des relations de causalité et de temporalité liées à l'apparition et à la disparition d'entités dans le monde réel.

Par exemple dans une application cadastrale, une parcelle peut être divisée pour donner naissance à plusieurs parcelles plus petites, ou au contraire, plusieurs parcelles peuvent fusionner pour en créer une plus grande. L'association de génération permet de garder trace de la "généalogie" des parcelles.

5. Conclusion

Le modèle MADS a été validé par plusieurs applications réelles. Ces modélisations ont mis en évidence les qualités principales du modèle : schémas clairs parce que simples et purement conceptuels (non déformés par des contraintes d'implémentation), schémas complets avec l'explicitation des composantes spatiale et temporelle, diagrammes lisibles.

Autour du modèle MADS une méthode de conception d'applications spatio-temporelles est en cours de développement. Un éditeur visuel de schémas MADS a été prototypé. La figure 3 montre une capture d'écran de cet éditeur. Il permet de définir graphiquement un schéma MADS. Un jeu de traducteurs de schémas MADS vers divers systèmes d'information géographique est en cours de développement. Enfin, des travaux de recherche portent notamment sur la multi-représentation spatiale et sur la définition de langages de manipulation conceptuels – dont l'un sera visuel – associés à MADS.

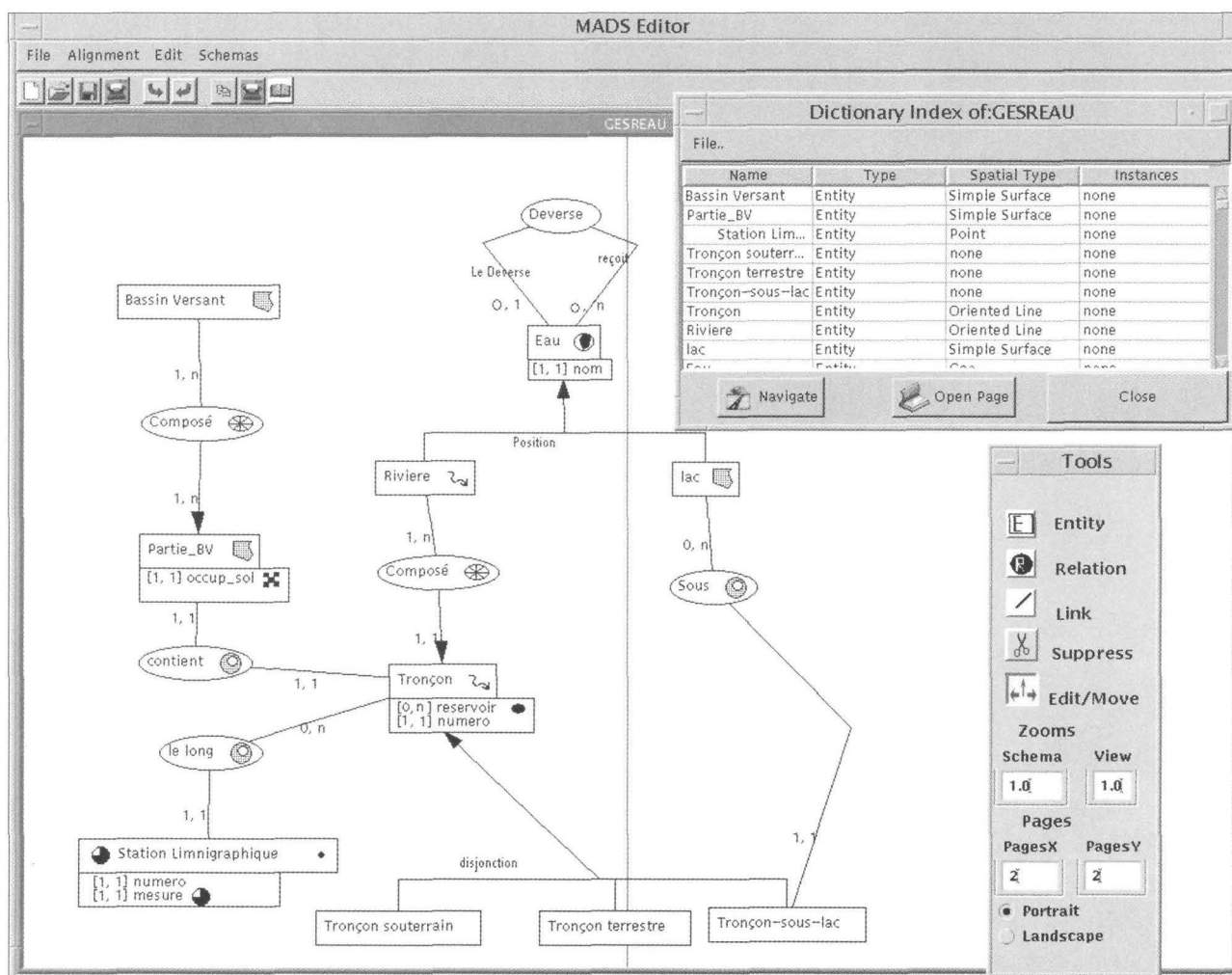


Figure 3 - Capture d'écran de l'éditeur MADS

Références bibliographiques

- [1] ALLEN J., 1983 : Maintaining Knowledge about temporal intervals, *Communications of the ACM*, 26 (11), pp. 832-843
- [2] CHEN P.P., 1976 : The Entity Relationship Model - Towards a Unified View of Data, *ACM Transactions on Database Systems*, 1 (1), pp. 9-36
- [3] JENSEN C.S., CLIFFORD J., ELMASRI R., GADIA S.K., HAYES P., JAJODIA S., 1994 : A Consensus Glossary of Temporal Database Concepts, *SIGMOD Record*, 23 (1), pp. 52-64
- [4] LAURINI R., F. MILLERET-RAFFORT F., 1993 : *Les bases de données en géomatique*, Paris Hermès
- [5] PARENT C., SPACCAPIETRA S., ZIMÁNYI E., DONINI P., PLAZANET C., VANGENOT C., ROGNON N., CRAUSAZ P.A., 1997 : MADS, modèle conceptuel spatio-temporel, *Revue internationale de géomatique*, 7 (3/4) pp 317-352
- [6] RUMBAUGH J., BLAHA M., PREMERLANI W., EDDY F., LORENSEN W., 1991 : *Object oriented modeling and design*, Londres Prentice Hall
- [7] SCHOLL M., VOISARD A., PELOUX J.-P., RAYNAL L., RIGAUX P., 1996 : *SGBD Géographiques - Spécificités*, International Thomson Publishing
- [8] SPACCAPIETRA S. and PARENT C., 1992 : ERC+ : An Object based Entity Relationship Approach, in P. Loucopoulos and R. Zicari (Eds.), *Conceptual modeling, databases, and CASE*, Londres, John Wiley & Sons, pp. 69-86