

## Chapitre 8

# La métastructure VUEL et la gestion des représentations multiples

### 8.1. Introduction

La capacité de décrire une même réalité selon différents points de vue et à des niveaux d'abstraction différents est reconnue depuis de nombreuses années comme une nécessité dans le domaine des bases de données spatiales. Avec l'émergence des nouveaux outils d'analyse spatiale permettant d'appuyer la prise de décision stratégique, ce besoin s'accroît rapidement. Les outils SOLAP<sup>1</sup> (*Spatial On-Line Analytical Processing*) font partie de cette catégorie et permettent à un utilisateur de naviguer rapidement et aisément au sein de données spatiales selon différents thèmes d'analyse et différents niveaux d'abstraction [HAN 98] [MAR 01] [RIV 01]. De tels systèmes, généralement clients d'un entrepôt de données spatiales [INM 96] [POE 97], doivent offrir la possibilité de représenter géométriquement et graphiquement un même élément, en plus de pouvoir lui associer différentes sémantiques. À cette fin, de nouvelles structures permettant non seulement la gestion de ces représentations multiples mais également une navigation interactive simple et rapide parmi celles-ci doivent être développées afin de répondre plus efficacement aux besoins des utilisateurs.

Ce chapitre propose une nouvelle structure, ou plus précisément une métastructure, capable de supporter les représentations multiples autant d'un point de vue géométrique que graphique et sémantique et de faciliter la navigation entre celles-ci. Cette gestion s'effectue aussi bien au niveau des classes d'objets qu'au niveau des occurrences elles-mêmes rendant ainsi possible la navigation entre les différentes géométries d'un seul objet, d'un groupe d'objets ou encore d'une classe d'objets entière. Cette nouvelle structure est basée sur le concept de VUEL (*View*

---

Chapitre rédigé par Yvan BEDARD, Eveline BERNIER et Rodolphe DEVILLERS

<sup>1</sup> Le lecteur est invité à consulter le chapitre intitulé *La généralisation à la volée pour le Web* de ce même livre pour plus de détails.

## 2 La métastructure VUEL et la gestion des représentations multiples

*Element*) tel qu'introduit par [BÉD 00]. Un vuel représente la composante élémentaire d'une vue de base de données de la même manière qu'un pixel (*Picture Element*) représente la composante élémentaire d'une image numérique [voir ABI 91, CLA 95 et GAR 02 pour une définition de "vue"]. Dans un premier temps, nous introduisons le concept de vuel ainsi que les notions fondamentales de multiplicité afin d'étendre la notion de représentation multiple au-delà de la simple géométrie. Par la suite, le métamodèle conceptuel du vuel décrivant le cadre de gestion des représentations multiples est présenté et son implantation dans un contexte SOLAP [BER 02] fait l'objet de la dernière partie de ce chapitre.

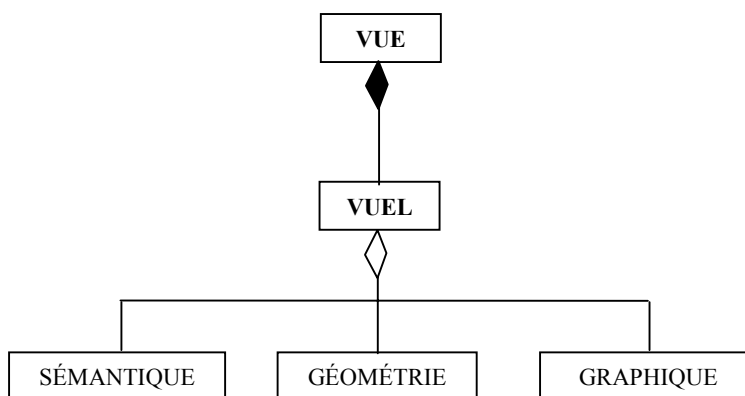
### 8.2. Les concepts théoriques à la base du VUEL

Afin de mieux cerner la richesse du concept de vuel, il semble adéquat de préciser la notion de représentation multiple afin de l'étendre aux notions sémantiques et graphiques et ainsi mettre en place un référentiel commun.

Si nous revenons à l'essence même du terme *représentation*, l'action de *représenter* signifie « rendre à nouveau perceptible par l'un des cinq sens » [MAR 99]. Étant donné que seuls la géométrie et les variables visuelles (forme, taille, valeur, orientation, couleur et texture) peuvent être perçues par les sens, ces dernières sont donc les seuls éléments pouvant servir à la représentation. La notion de représentation multiple s'applique ainsi essentiellement aux caractéristiques visuelles des objets, la sémantique étant par conséquent exclue de la définition de la représentation multiple. Pour cette raison, nous parlerons donc en terme de « multiplicité ». Selon [MAR 99], il existe trois grandes catégories de multiplicité soit, la multiplicité géométrique, la multiplicité graphique et la multiplicité sémantique. La première réfère à la présence d'un même objet sous différentes formes géométriques. Ces géométries peuvent différer en fonction de l'échelle (comme c'est le cas pour les bases de données multiéchelles) ou tout simplement en fonction des besoins des utilisateurs (normes de saisie, normes de représentation, etc.). La multiplicité sémantique apparaît lorsqu'un même élément géographique est défini différemment, que ce soit au niveau de sa classe d'objets, de ses attributs ou encore de ses domaines de valeurs. Par exemple, pour une application supportant différents niveaux d'abstraction, il peut être intéressant de définir un même objet selon plus ou moins de détail (ex. le même objet peut être associé au concept de MAISON à grande échelle et à celui de CONSTRUCTION à plus petite échelle). De plus, selon les normes d'appellation en vigueur pour chaque organisme, un même objet peut être défini différemment pour une même échelle (multiplicité sémantique unischelle). Il pourrait même s'agir des appellations francophone et anglophone d'un objet (ex. MAISON et HOUSE) pour une application multilingue.

Finalement, la multiplicité graphique se rapporte au fait qu'un même objet peut être représenté avec des variables visuelles différentes tout en conservant la même géométrie. Par exemple, une même route peut se caractériser par des propriétés visuelles différentes (poids du trait, couleur, etc.) selon les normes de représentation propres à chaque organisation. Les variables visuelles peuvent également différer selon l'échelle d'affichage donnant ainsi lieu à la multiplicité graphique multiéchelle. Par exemple, à petite échelle, les zones résidentielles peuvent être affichées avec une seule teinte de bleu alors qu'à plus grande échelle, celles-ci peuvent être affichées avec différentes teintes de bleu selon qu'elles appartiennent à la catégorie « résidentiel faible densité », « résidentiel moyenne densité » ou « résidentiel forte densité ».

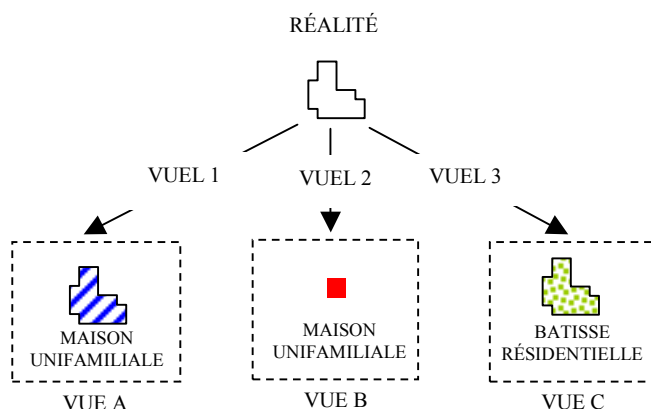
Le concept de vuel, acronyme de *View Element* [BÉD 00], a donc été développé dans le but de gérer tous ces types de multiplicité autant multiéchelle qu'uniéchelle et permettre ainsi le déploiement de systèmes plus flexibles permettant une meilleure adéquation entre les besoins des utilisateurs et les données disponibles. Le développement de ce concept fut inspiré par les applications multidimensionnelles spatiales telles que les outils SOLAP [RIV 01], bien qu'il n'en soit pas restreint pour autant. Un outil SOLAP permet d'explorer et d'analyser rapidement et intuitivement des données spatiales selon différents modes d'affichage (cartographique, tabulaire, ou en diagramme statistique). Dans ce contexte, un vuel représente tout élément pouvant apparaître dans une vue SOLAP quelconque [BÉD 00]. Ainsi, il peut correspondre à différents concepts tels un polygone sur une carte, une cellule d'un tableau, une pointe d'un graphique circulaire statistique; il peut même correspondre à des éléments d'une légende cartographique ou d'un tableau. Une vue est formée d'un ensemble de vuel.



**Figure 8.1** Les composantes du vuel.

#### 4 La métastructure VUEL et la gestion des représentations multiples

Tel que défini par [BÉD 00], un vuel est la combinaison unique entre un élément visible (combinaison de géométrie et de sémiologie graphique) dans une vue et une sémantique particulière (figure 8.1). Le vuel n'est donc pas l'objet sémantique à proprement parler (ex. maison) mais bien ce que l'on voit d'une réalité dans une vue (ex. polygone bleu rayé ayant les attributs d'une maison unifamiliale). Ce même objet sémantique peut être représenté par un point rouge dans une autre vue ou encore, ce même polygone peut devenir vert piqué et représenter une bâtisse résidentielle avec des attributs différents pour une autre vue, et ainsi de suite (figure 8.2). Une même réalité observée peut donc être définie sémantiquement de façons différentes selon l'utilisateur, être représentée géométriquement de façons différentes selon le type de carte ou son échelle, et finalement être représentée graphiquement de façons différentes selon le message cartographique recherché. Une même réalité perçue peut donc donner lieu à plusieurs vols, le tout en fonction de la vue produite à partir de la base de données géospatiales. Naturellement, un vuel peut être un élément d'une vue cartographique représenté géométriquement par des primitives (point, ligne, polygone, ...) qui représentent un objet sémantique ou par un élément d'une légende. Finalement, un vuel peut être un élément d'une image, dans lequel cas il est représenté par un pixel (*picture element*) de l'image.



**Figure 8.2** Trois vols servant à définir sémantiquement ou à représenter géométriquement et graphiquement une même réalité.

Le vuel a donc été conçu dès le début pour supporter toutes ces multiplicités sémantiques, géométriques et graphiques typiques des applications SOLAP idéales. En ce sens, le concept de vuel ainsi que son métamodèle, qui sera présenté à la section suivante, représentent le cœur d'un engin de gestion des vues cartographiques et de leurs composantes.

### 8.3. Le métamodèle du concept de VUEL

Dans l'optique d'implanter le concept de vuel, un métamodèle structurant formellement les différentes composantes associées à un vuel a été développé à l'aide de l'outil de modélisation Perceptory [BÉD 99] basé sur le formalisme UML (figure 8.8). Ce métamodèle permet la gestion des trois types de multiplicité discutés précédemment (géométrique, sémantique et graphique) de façon indépendante et explicite. De plus, cette structure n'est pas basée uniquement sur l'aspect multiéchelle mais tient également compte des multiplicités possibles pour une même échelle ou, plus précisément, pour un même niveau de granularité. Enfin, il s'applique à tous les types de vue soit cartographique, tabulaire et en diagramme statistique. Le métamodèle du concept de vuel présente trois volets définissant chacun les composantes d'un vuel.

#### 8.3.1. Les trois volets du métamodèle

##### Volet géométrique

Ce premier volet présente les différentes géométries pouvant être associées à un vuel (figure 8.3). D'une part, ces géométries peuvent provenir d'un élément cartographique (point, ligne, polygone), d'un élément d'une matrice (ex. cellule), d'un élément d'un graphique statistique (ex. pointe de camembert) ou encore d'un élément d'une image (pixel). D'autre part, elles peuvent être associées à des éléments de légendes. Il est à noter que seuls les éléments cartographiques feront l'objet de cette implantation et du présent chapitre.

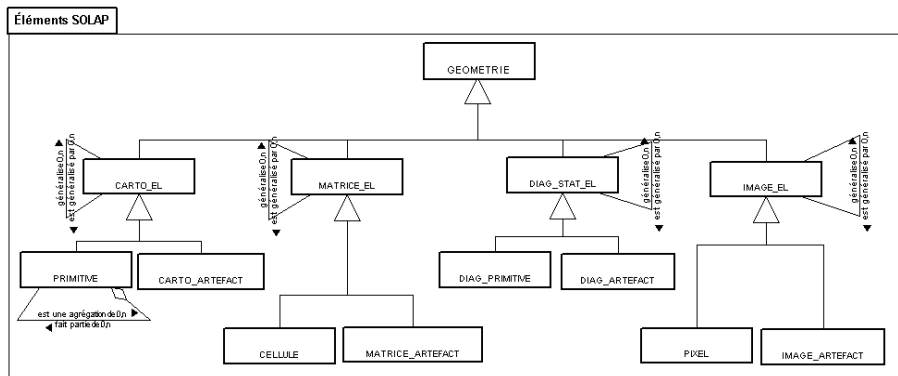


Figure 8.3 Volet géométrique.

**Volet sémantique**

Par ailleurs, la sémantique pouvant être associée à un vuel se compose au minimum d'une classe d'objets. Selon les besoins, certains attributs peuvent être définis pour cette classe et, de manière similaire, certaines valeurs (associées ou non à un domaine) peuvent leur être associées. Dans un contexte de multiplicité sémantique, une même classe d'objets peut être présentée avec certains attributs dans une vue et avec d'autres attributs dans une autre vue, donnant ainsi deux sémantiques différentes pour une même représentation géométrique apparaissant sur une carte. De plus, un même attribut peut utiliser un certain domaine de valeurs dans une vue et un domaine plus général dans une autre vue, donnant ici aussi deux sémantiques différentes pour un même élément géométrique. La classe *sémantique* sert d'intermédiaire entre ces derniers éléments et le vuel, ce qui permet de le définir complètement (figure 8.4). En d'autres termes, le lien entre la sémantique et les attributs a été explicité afin de permettre à un vuel de n'être associé qu'à un sous-ensemble des attributs définis pour une classe d'objets donnée.

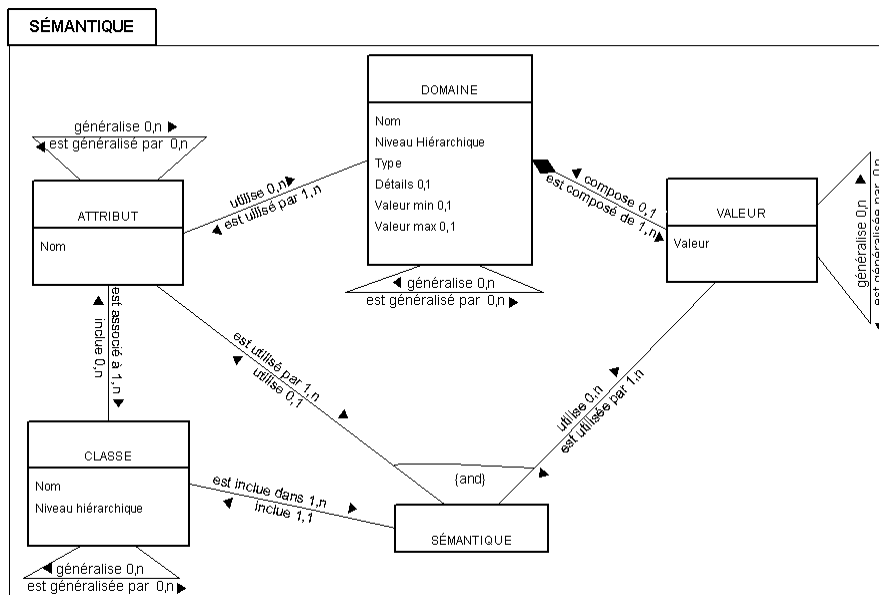
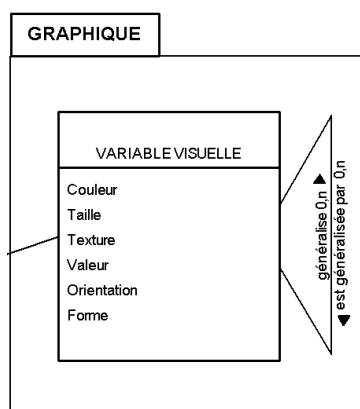


Figure 8.4 Volet sémantique.

Par exemple, pour une vue, la classe maison pourrait être associée à deux attributs (ex. adresse et date de construction) alors que pour une autre vue, cette même classe pourrait être associée à quatre attributs (ex. adresse, date de construction, valeur marchande et nombre d'étages). Pour cette même raison, un lien explicite relie également la sémantique aux valeurs composant un domaine. Par exemple, le domaine de valeurs associé à l'attribut *Classe Fonctionnelle*, servant à la classification des routes du Québec, peut être composé de valeurs générales (autoroute, route) pour une application et de valeurs détaillées (autoroute à deux voies, autoroute à quatre voies, route nationale, route régionale, route locale, etc.) pour une autre. Cette structure permet donc de supporter la multiplicité sémantique à différents niveaux, soit au niveau des domaines de valeurs, soit au niveau des choix d'attributs et de la signification même des classes d'objets (ex. signification spécialisée ou généralisée selon la structure de la base de données).

### *Volet graphique*

Enfin, une sémiologie graphique est également définie pour chaque vuel (figure 8.5). Cette sémiologie est déterminée par les variables visuelles que sont la couleur, la valeur, la texture, l'orientation, la taille et la forme. Ceci permet d'utiliser différentes représentations graphiques dans des vues différentes pour une même géométrie et une même sémantique, donc de supporter la multiplicité graphique, ce qui peut être utile pour faire différentes cartes thématiques ou pour simuler graphiquement une généralisation sémantique en remplaçant deux sémiologies différentes par une même et unique sémiologie.



**Figure 8.5** *Volet graphique.*

### 8.3.2. La gestion des relations de généralisation pour accéder aux multiplicités multiéchelles

Afin de bien supporter l'accès dynamique aux différentes multiplicités d'un même objet, des relations récursives de généralisation sont associées à plusieurs éléments du métamodèle. Par exemple, celle associée à la « Classe » indique qu'une classe d'objets peut être la généralisation (ex. super-classe Bâtiment) d'autres classes (les sous-classes Résidence, Commerce et Industrie). Ceci permet d'exploiter les hiérarchies de classes présentes dans les structures de données en fonction du niveau d'abstraction désiré pour la vue et donc, la gestion de la multiplicité sémantique multiéchelle (ex. maison → bâtiment → construction). De la même manière, des hiérarchies de valeurs (associées à un domaine) en fonction du degré d'abstraction peuvent également être gérées par le biais de la relation récursive de généralisation associée à la classe « Valeur » (ex. résidentiel est une généralisation de "résidentiel faible densité", "résidentiel moyenne densité" et "résidentiel forte densité"). Ainsi, ce qui semble être de la généralisation pour l'utilisateur n'est en fait qu'une exploitation de ces différentes relations récursives, ce qui permet d'obtenir des résultats instantanés contrairement à l'application de véritables algorithmes de généralisation.

Enfin, des opérations de type SOLAP (voir le chapitre intitulé *La généralisation à la volée pour le Web*) sont permises pour toutes les composantes d'un vuel et tirent directement profit des relations de généralisation et des capacités de représentation multiple [BER 02]. Ces opérations permettent de naviguer dans les aspects géométrique, sémantique et graphique pouvant être associés à un objet. Par exemple, un « forage » au niveau de la sémantique engendrera une définition plus détaillée de l'élément. De la même manière, un « remontage » au niveau de la géométrie représentera le même élément mais avec une géométrie plus simplifiée. Ce type d'opération fut également inséré au niveau de la vue, qui représente un agrégat de vuels. Il est donc possible d'effectuer une opération sur l'ensemble des vuels présents dans une vue donnée. Par exemple, un forage spatial au niveau d'une vue provoquera l'affichage d'une nouvelle vue composée des mêmes éléments mais représentés avec une géométrie plus détaillée (lorsque possible). Il est à noter que ces opérations de navigation SOLAP n'apparaissent pas dans le métamodèle du VUEL car elles débordent le cadre du présent article.



## 8.4. L'implantation du métamodèle du VUEL

### 8.4.1. De l'approche transactionnelle à l'approche multidimensionnelle

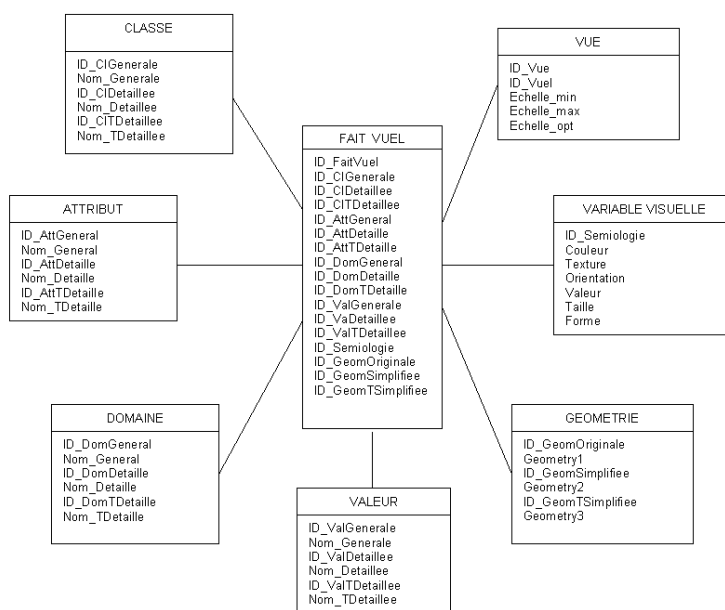
Jusqu'à tout récemment, les données spatiales n'étaient gérées et exploitées que par des outils de type transactionnel. Ces outils, axés sur la mise à jour, la sécurité et l'intégrité des données restreignent significativement l'analyse pouvant être effectuée sur ces données. Leur structure, généralement relationnelle normalisée (i.e. où la duplication des données est à son minimum), requiert un nombre élevé de joints entre les différentes tables, ce qui ralentit considérablement les temps de réponse, complexifie les requêtes et donc, présente une entrave majeure à l'analyse rapide et intuitive des données spatiales. Or, la prise de décision stratégique, souvent effectuée par des dirigeants peu familiers avec ce type de technologie, requiert une grande facilité d'interrogation et des temps de réponse réduits à leur minimum. Face à cette situation, de nouveaux outils de type analytique ont fait leur apparition dans le domaine des bases de données spatiales (ex. entrepôt de données, marché de données, outils SOLAP, forage de données automatique). Ces outils, dédiés à l'analyse des données, reposent généralement sur des structures multidimensionnelles [HAN 98] [THO 99] [RIV 01]. Celles-ci permettent de conserver les données selon les principales thématiques d'une organisation et présentent une performance d'interrogation accrue comparativement aux structures transactionnelles. Ce gain de performance est principalement dû au fait que ces structures sont fortement dénormalisées (introduction de redondance), ce qui engendre une diminution du nombre de tables à joindre et accélère les temps de réponse.

Il est possible de simuler une structure multidimensionnelle dans un SGBD relationnel à l'aide de modèles particuliers qui permettent les jointures entre les données pour répondre aux besoins multidimensionnels (étoile, flocon, mixte, constellation).

### 8.4.2. Le modèle d'implantation du concept de VUEL

Un premier modèle d'implantation relationnel (simulant une structure multidimensionnelle) est présenté à la figure 8.6. Ce modèle en étoile présente une table centrale à laquelle plusieurs autres tables (appelées dimensions) sont connectées. Ces tables, ou dimensions, représentent en général les différentes thématiques d'analyse. En ce qui nous concerne, elles représentent les différentes composantes du vuel soit la sémantique (définie par la classe, l'attribut, le domaine et les valeurs), la géométrie ainsi que la représentation graphique (variable visuelle). La table centrale (appelée *table des faits* dans le vocabulaire multidimensionnel)

contient les identifiants de chaque dimension. En fait, chaque occurrence de cette table représente un vuel puisque celui-ci, de par sa définition, résulte de la combinaison unique d'une sémantique, d'une géométrie ainsi que d'une représentation graphique. Ainsi, la table centrale (*Fait\_Vuel*) contient tous les vuel de la base de données qui peuvent apparaître sur une vue quelconque. Une table *vue* est également présente dans le modèle afin de montrer comment le vuel contribue à la gestion des vues. Cependant, elle ne constitue pas une dimension puisqu'elle ne compose pas un vuel mais représente plutôt un agrégat de vuel.



**Figure 8.6** Modèle d'implantation du vuel de type « étoile ».

Un modèle de type étoile ne permet pas de visualiser les différents niveaux d'abstraction propres à chaque dimension. En fait, tous les niveaux d'une dimension (ex. géométrie) sont emmagasinés au sein de la même table. Par contre, l'utilisation d'un modèle de type flocon permet de décomposer chaque dimension en différents niveaux hiérarchiques, ce qui facilite la navigation interactive dans la base de données et la gestion des représentations multiples (figure 8.7).

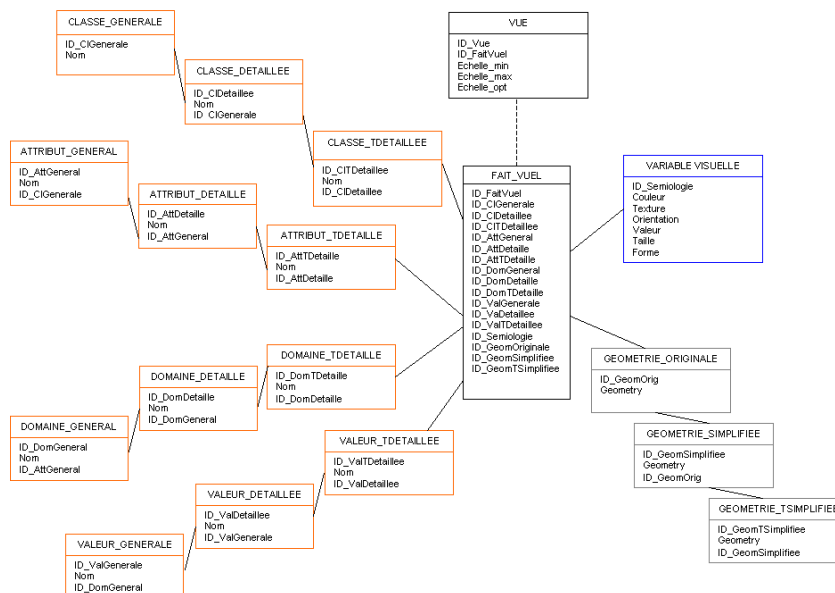


Figure 8.7 Modèle d'implantation du vuel de type « flocon ».

Pour notre implantation, nous avons décidé de limiter ce prototype à trois niveaux hiérarchiques pour des fins purement pragmatiques basées sur notre expérience ainsi que sur le fait que trois niveaux nous apparaissaient suffisant pour tester le concept de vuel. Dans le cadre d'un projet, il faudrait évidemment définir le nombre de niveaux en fonction des besoins des utilisateurs et ceci, pour chaque dimension. Pour les mêmes raisons, nous avons décidé d'implanter seulement la multiplicité graphique uniéchelle.

Habituellement, la table des faits ne contient que les identifiants des tables les plus détaillées, celles-ci faisant l'intermédiaire entre la table des faits et les tables plus générales ou agrégées. Toutefois, afin d'offrir une plus grande flexibilité au niveau des combinaisons possibles, cette table centrale regroupe ici tous les identifiants peu importe leur niveau hiérarchique (tout en conservant explicitement les liens hiérarchiques supportant la navigation entre niveaux d'agrégation d'une dimension). Ainsi, un objet pourra être associé à une classe d'objets générale (ex. bâtiment) sans pour autant être associé à une classe détaillée de même qu'il est possible de n'associer qu'un ensemble d'attributs à une classe donnée. Par ailleurs, il doit être mentionné qu'une vue peut être composée de vuels qui ne partagent pas nécessairement le même niveau de détail. Par exemple, un utilisateur peut forer sur un seul vuel d'une vue engendrant ainsi une représentation plus détaillée uniquement pour ce vuel.

Finalement, d'un modèle conceptuel orienté-objets, nous sommes passés à une implantation relationnelle en suivant les règles usuelles de passage entre ces deux paradigmes [NAI 01], ce qui résulte en une grande quantité d'identifiants dans la structure résultante pour matérialiser les relations 0:N, 1:N et N:N. Cette implantation a permis d'obtenir un système fonctionnel où les représentations multiples sont gérées de façon efficace tant au niveau des occurrences qu'au niveau des classes d'objets, et de plus autant au niveau géométrique qu'aux niveaux sémantique et graphique. La gestion des vues cartographiques, qui sont composées de vuels, devient ainsi explicite et rapide. La navigation à l'intérieur d'une vue donne un résultat instantané (ex. obtenir un bâtiment détaillé là où il y avait un bâtiment symbolisé, obtenir la sémantique précise d'un polygone dont la sémantique présentée est générale).

### 8.5. Conclusion

Ce chapitre présente une approche permettant de gérer les trois types de multiplicité (géométrique, sémantique et graphique) au sein d'une seule base de données et facilite la navigation entre celles-ci. Cette approche est inspirée des structures de données multidimensionnelles avec lesquelles la communauté géomatique n'est pas encore familière. Cependant, de telles structures de données sont à la base des entrepôts de données et des outils OLAP et elles commencent à pénétrer le domaine des données géospatiales. Elles visent à faciliter l'interaction avec les données, particulièrement dans un mode d'exploration interactive ou de découverte des connaissances (*Knowledge Discovery*). Ces structures permettent d'obtenir des résultats inaccessibles aux SIG traditionnels qui reposent sur l'approche transactionnelle. C'est ce contexte multidimensionnel qui nous a amené à reconsidérer la notion même de représentation multiple en l'étendant explicitement aux volets sémantiques et graphiques et à créer le concept de vuel comme élément atomique d'une vue cartographique, statistique ou tabulaire (et dont le pixel est l'équivalent dans l'image). Il est de notre avis que cette nouvelle solution n'est qu'un premier pas vers le développement de systèmes encore plus flexibles pouvant offrir différentes représentations à des niveaux d'abstraction différents et supporter une navigation interactive entre ces niveaux. Déjà, des travaux sont en cours avec des systèmes multidimensionnels et le concept multidimensionnel sera enrichi pour se diriger vers un système de gestion de vues offrant les trois types de multiplicité nécessaires au SOLAP (i.e. géométrique, sémantique, graphique), les trois types d'affichage (i.e. cartographique, statistique et tabulaire) et une navigation interactive tant au niveau des classes d'objets que des occurrences d'objets elles-mêmes, des attributs et des domaines de valeurs.

## 8.6. Bibliographie

- [ABI 91] ABITEBOUL S., BONNER A., «Objects and Views», In *Proc. Intl. Conf. on Management of Data ACM SIGMOD*, pp. 238-247, 1991.
- [BÉD 99] BÉDARD Y., «Visual Modeling of Spatial Databases Towards Spatial Extensions and UML», *Geomatica*, Vol 53, No2, pp. 169-186, 1999.
- [BÉD 00] BÉDARD Y., DEVILLERS R., BERNIER E. & MOULIN B., «Automatic Generalisation or Multiple Representations: Towards a combination of both approaches», *GEOIDE DEC#9 Workshop on feature extraction and cartographic generalization*, Université Laval, Québec, 17 novembre 2000.
- [BÉD 01] BÉDARD Y., MERRETT T. & HAN J., «Fundamentals of Spatial Data Warehousing for Geographic Knowledge Discovery », Chapter of the book *Geographic Data Mining and Knowledge Discovery* edited by H. Miller and J. Han, Research Monographs in GIS series edited by Peter Fisher and Jonathan Raper, Taylor & Francis, 2001.
- [BER 02] BERNIER E., Utilisation de la représentation multiple comme support à la génération de vues de bases de données géospatiales dans un contexte SOLAP , Mémoire de M.Sc, Faculté de foresterie et géomatique, Université Laval, 89 p, 2002.
- [BRU 89] BRUEGGER B.P. & FRANCK A.U., « Hierarchies over Topological Data Structures», in: *International Archives ASPRS/ACSM Annual Convention, AGIS/LIS*, Baltimore, Vol. 4, pp. 137-145, 1989.
- [CLA 95] CLARAMUNT C. & MAINGUENAUD M., « Spatial View: A dynamic and flexible vision of GIS database », *Proceedings of the DEXA International Conference and Workshop on Database and Expert System Applications*, Revell, N. and Min Tjoa, A. eds, Omnipress, London, UK, pp. 483-493, 1995.
- [DEV 97] DEVOGELE T., Processus d'intégration et d'appariement de bases de données géographiques: Application à une base de données routières multi-échelles, Thèse de doctorat de Méthodes Informatiques, Université de Versailles , 207 p, 1997.
- [GAR 02] GARCIA-MOLINA H., ULLMAN J. D., WIDOM J., *Database systems: The complete book*, Prentice Hall, 1119 p, 2002.
- [HAN 98] HAN J., STEFANOVIC N. & KOPERSKI K., «Selective materialization: An Efficient Method for Spatial Data Cube Construction», *Proceedings of the 1998 Pacific-Asia Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (PAKDD'98)*, Melbourne, Australia, pp. 144-158, 1998.
- [INM 96] INMON W.H., *Building the Data Warehouse*, Second Edition, John Wiley & Sons, 410 pp., 1996
- [JON 91] JONES C.B., «Database architecture for multi-scale GIS», *Proceedings Auto-Carto 10*, Baltimore, ACSM/ASPRS, pp. 1-14, 1991.
- [MAR 01] MARCHAND P., BÉDARD Y. ET EDWARDS G., «A hypercube-based method for spatio-temporal exploration and analysis». *GeoInformatica*, soumis mai 2001.

#### 14 La métastructure VUEL et la gestion des représentations multiples

- [MAR 99] MARTEL C., Développement d'un cadre théorique pour la gestion des représentations multiples dans les bases de données spatiales, Mémoire de M.Sc., Faculté de foresterie et de géomatique, Université Laval, 128p., 1999.
- [MIC 00] Microsoft Corporation, Microsoft SQL Server 2000 documentation, 2000.
- [NAI 01] Naiburg E.J., Maksimchuk A., *UML for database design*, Addison-Wesley, 320p. 2001.
- [POE 97] POE V., BROBST S., KLAUER P., *Building a Data Warehouse for Decision Support*, Prentice Hall, 289 pp., 1997
- [RIV 01] RIVEST S., BÉDARD Y. & MARCHAND P., «Towards better support for spatial decision-making: Defining the characteristics of Spatial On-Line Analytical Processing (SOLAP) », *Geomatica, the journal of the Canadian Institute of Geomatics*, Vol. 55, no. 4, pp. 539-555, 2001.
- [THO 99] THOMSEN E., SPOFFORD G., CHASE D., *Microsoft OLAP Solutions*, John Wiley & Sons, 509 p., 1999.
- [TIM 95] TIMPF S. & FRANK A., «A multi-scale data structure for cartographic objects», *Proceedings of ICC'95* (ICA, ed.), Barcelona, Vol.1, pp.1389-1396, 1995.

#### 8.7. Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le réseau de centres d'excellence GEOIDE pour son support financier via le projet de recherche DEC#9.

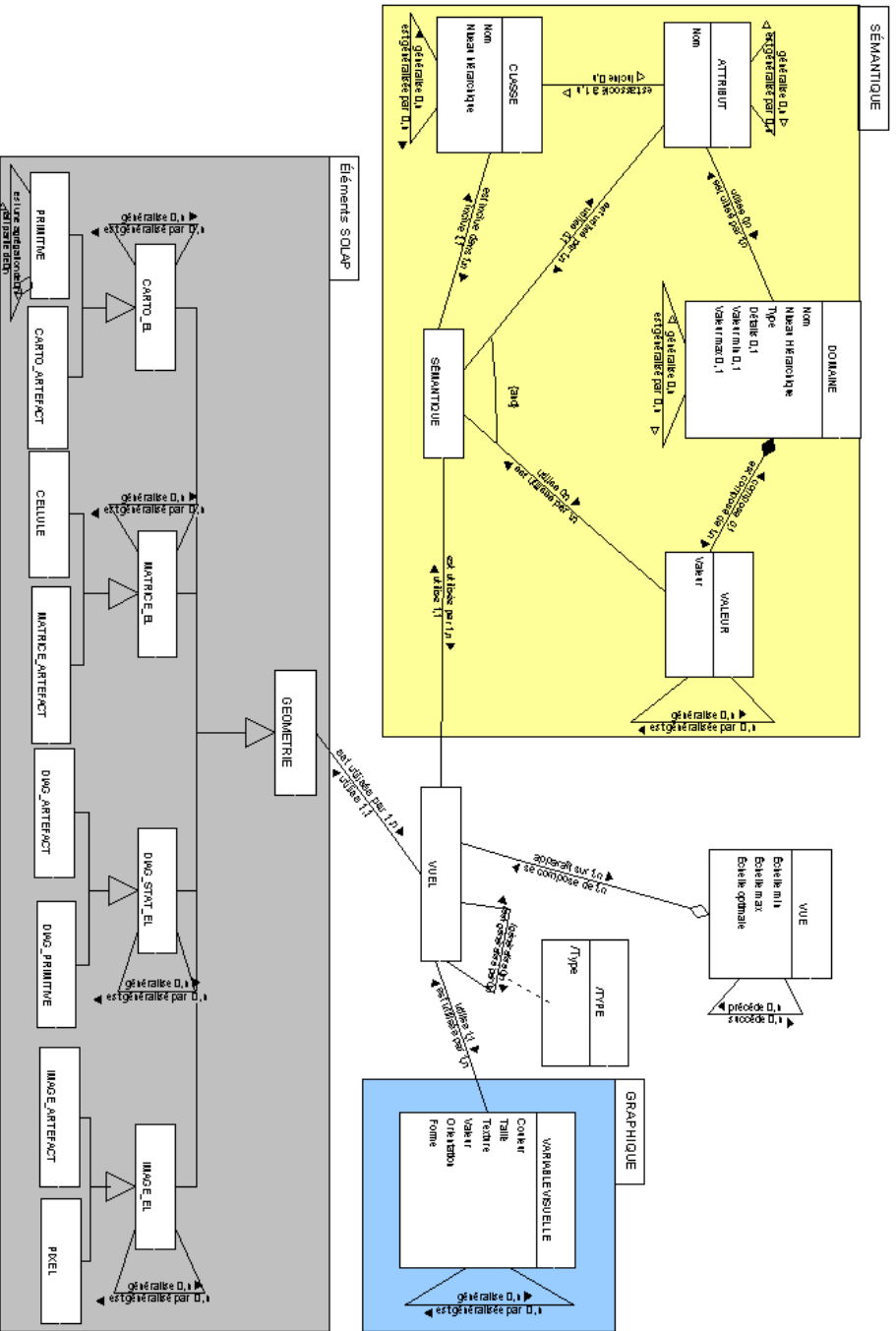


Figure 8.8. Méta-modèle du concept de vue.