
Approche Guidée par les Structures Hiérarchiques Spatiales pour la Généralisation à la Volée dans SOLAP

Ziouel Tahar* — Khalissa Derbal** — Kamel Boukhalfa**

(*) *École Nationale Supérieure d'Informatique, Algérie.*

Email : *t_ziouel@esi.dz*

(**) *Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Algérie*

Email : *{kderbal,kboukhalfa}@usthb.dz*

RÉSUMÉ. La généralisation à la volée désigne l'utilisation de techniques de généralisation automatique en temps réel. Les données générées sont temporaires et exclusivement destinées à la visualisation et non pas au stockage ou à d'autres fins. Ceci, rend ce processus bien adapté aux contextes hautement interactifs tels que la cartographie en ligne et le SOLAP. BLG tree et GAP tree sont des structures hiérarchiques spatiales largement utilisées en généralisation cartographique et plus particulièrement dans le contexte du webmapping. Cependant, ces structures s'avèrent insuffisantes dans le contexte des applications SOLAP. Dans cet article, nous proposons une approche de généralisation à la volée qui intègre l'aspect décisionnel interprété par la mesure. De nouvelles structures adaptées au contexte SOLAP sont définies: SOLAP BLG tree et SOLAP GAP tree. Le processus mis en œuvre implémente certains opérateurs de généralisation notamment la simplification et la fusion. Nos expérimentations ont été effectuées sur un jeu de données vecteurs lié au phénomène du risque routier.

ABSTRACT. On-the-fly map generalization refers to the use of automated generalization techniques in real time. The data generated is temporary and intended solely for viewing and not for storage or other purposes. This makes the process well suited for highly interactive contexts such as online mapping and SOLAP. BLG tree and GAP tree are spatial hierarchical structures widely used in cartographic generalization and particularly in the context of web mapping. However, these structures are insufficient in the context of SOLAP applications. In this paper, we propose an on-the-fly map generalization approach that integrates decisional aspect interpreted by the measure. New structures adapted to the SOLAP context are defined and now called SOLAP BLG tree and SOLAP GAP tree. The process implements generalization operators such as simplification and fusion. Our experiments were performed on a set of data vectors related to the phenomenon of road risk.

MOTS-CLÉS : Généralisation à la volée, SOLAP, Structures hiérarchiques spatiales.

KEYWORDS: On-the-fly map generalization, SOLAP, Hierarchical spatial structures.

1. Introduction

L'informatique décisionnelle permet l'exploitation des données d'une organisation afin de faciliter la prise de décision. Elle a connu, et continue de connaître encore aujourd'hui, un essor important.

Les Systèmes d'Information (SI) classiques avaient pour simple vocation la production de données. Les entrepôts de données constituent une solution adéquate pour construire un système d'aide à la décision pour ces SI. Les analystes et décideurs de l'entreprise, peuvent ainsi, analyser interactivement et itérativement les données multidimensionnelles à un niveau détaillé ou agrégé grâce aux outils de traitement analytique en ligne, OLAP [CHA 97, KIM 02, THO 02].

Néanmoins, ces données peuvent avoir une vision géographique or, les systèmes OLAP n'offrent aucun outil permettant la gestion des données spatiales. C'est pourquoi une nouvelle technologie a émergé, issue à la fois de la technologie SIG (Système d'Informations Géographiques) et de l'OLAP, soit l'OLAP Spatial (SOLAP) [RIV 05, MAL 08].

Le SOLAP a été défini comme une plateforme visuelle conçue spécialement pour supporter une analyse spatio-temporelle rapide et efficace à travers une approche multidimensionnelle qui comprend des niveaux d'agrégation cartographiques, graphiques et tabulaires [BÉD 97]. Le SOLAP enrichit les capacités d'analyse des systèmes OLAP classiques, entre autres, la visualisation des mesures sur une carte permet de comprendre la distribution géographique d'un phénomène, de mettre en relation les différents phénomènes spatiaux par rapport aux axes d'analyse alphanumériques et de comparer ces phénomènes à diverses granularités géographiques. De plus, la composante cartographique dans l'OLAP représente une interface vers l'entrepôt de données spatiales (EDS). En d'autres termes, l'utilisateur peut accéder aux opérations de navigation multidimensionnelle à travers la simple interaction avec la composante cartographique. Dans ce contexte, l'analyse des données spatiales multidimensionnelles nécessite souvent le passage par différents niveaux de détails, ce qui permet d'étudier l'évolution d'un phénomène (fait) et permettre ainsi, une prise de décision efficace. Le processus de généralisation s'avère donc bien adapté à ce contexte aux besoins des décideurs [BIM 12]. Or, ce dernier adresse uniquement l'aspect cartographique, au détriment de l'aspect décisionnel essentiel dans toute analyse multidimensionnelle.

Largement abordé en cartographie, la généralisation à la volée consiste à générer des données temporaires à différents niveaux de détail à partir du niveau le plus détaillé. Ces données sont exclusivement destinées à la visualisation et non pas au stockage ou à d'autres fins [WEI 08], ce qui la rend bien adaptée au contexte SOLAP. Différentes approches de généralisation à la volée ont été développées [BER 12] notamment celles basées sur la manipulation des structures hiérarchiques [OOS 11, OOS 14]. À notre connaissance aucun travail n'a pris en considération l'aspect décisionnel (la mesure) dans le processus de généralisation à la volée.

Dans cet article, nous proposons une approche de généralisation à la volée adaptée au SOLAP. Elle consiste en une prise en compte simultanée de l'aspect décisionnel et l'aspect cartographique en intégrant la mesure du fait lors de la généralisation.

Le présent papier est organisé en plusieurs sections. Dans la section 2 nous présentons quelques travaux liés à la problématique abordée. La section 3 est organisée en plusieurs sous-sections, elle présente une description détaillée de l'approche proposée. Les différentes étapes de nos expérimentations ainsi les résultats obtenus sont présentés dans la section 4. Enfin nous terminons cet article par une conclusion et quelques perspectives.

2. Travaux connexes

De nombreux travaux ont abordés la généralisation depuis plus de trois décennies [SAR 07, GAF 08, STA 14]. La généralisation à la volée qui consiste à générer des cartes à différents niveaux de détails destinées exclusivement à la visualisation et non pas au stockage, a émergé avec le développement de la cartographie en ligne.

Selon [WEI 08], l'approche de généralisation à la volée suit deux voies, la première exploite des algorithmes de généralisation rapides qui permettent une génération grossière des niveaux de détail en temps réel, et la deuxième utilise des structures de données spatiales hiérarchiques.

Les algorithmes rapides de généralisation s'appuient sur des algorithmes et heuristiques simples mais efficaces. La préférence est pour les opérateurs de généralisation peu sophistiqués tels que la sélection et la simplification [BER 12]. Les travaux qui ont eu le plus d'impact dans cette approche sont ceux de [LEH 05, FOE 10] réalisés dans le cadre du projet européen GiMoDig [GIM 01]. L'objectif de ce projet est de développer et tester des méthodes pour délivrer des données spatiales aux utilisateurs mobiles par des moyens d'intégration et de généralisation en temps réel.

Vu que la généralisation engendre une hiérarchie de niveaux de détails, il est donc naturel d'exploiter des structures hiérarchiques tels que les arbres pour le stockage de la géométrie (point, ligne, polygone) relative à un objet dans le niveau de détail le plus élevé. Cette structure est enrichie d'informations supplémentaires qui reflètent l'importance du niveau de la hiérarchie, à partir de laquelle, des niveaux de détails sollicités peuvent être générés. Le processus de généralisation à la volée est ainsi accéléré grâce à l'accès rapide aux structures élaborées.

Pour chaque type de donnée spatiale, il existe une structure hiérarchique adéquate qui permet la généralisation interactive et rapide des objets géographiques. Le BLG tree (Binary Line Generalization tree) a été proposé pour la simplification des objets linéaires [VAN 91], il utilise une variante de l'algorithme de Douglas-Peucker [DOU 73]; au lieu de supprimer les sommets les moins importants, il les stockent dans la structure. Le GAP tree (Generalized Area Partitionning) a été proposé pour la sélection et la fusion des polygones [VAN 05, OOS 11, OOS 14]. Les Quadrees ont

été proposées pour la sélection, la simplification, l'agrégation et le déplacement des objets de type points [BER 12, BER 13].

Par ailleurs, et à notre connaissance, il n'existe pas de travaux qui ont abordé l'intégration de la généralisation dans le contexte SOLAP. Néanmoins certains travaux se sont intéressés à l'aspect spatial [BÉD 97, BIM 12].

Dans cet article, nous proposons d'intégrer un processus de généralisation à la volée dans le SOLAP, afin de s'adapter au niveau de détail répondant au besoin exprimé par le décideur. L'approche que nous proposons se base sur les structures BLG tree et GAP tree dédiées à la généralisation cartographique. Cependant, ces structures ne peuvent servir efficacement dans un processus de prise de décision, car elles ne considèrent pas l'information décisionnelle intrinsèque aux SOLAP. Pour mieux appréhender ce problème, nous proposons l'exemple illustré par la figure 1. La carte analysée comporte six objets, à chacun d'entre eux est associée une mesure. Par exemple, à l'objet *A* est associée la mesure 20, à l'objet *B*, la mesure 10, à l'objet *C*, la mesure 30, etc. Ce dernier possède la plus grande mesure parmi les objets présents au niveau le plus détaillé (voire figure 1.a). Lors de la réduction d'échelle, le processus de généralisation classique est déclenché. En prenant en considération seulement l'aspect topographique, l'objet *C* n'est plus visible (voire figure 1.b) malgré sa pertinence décisionnelle (plus grande mesure) vis-à-vis de l'objectif de l'analyse effectuée par le décideur.

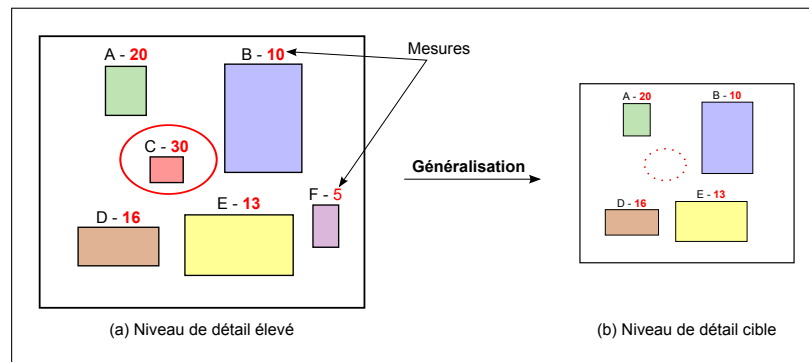


Figure 1. Exemple de résultat de généralisation classique

Pour remédier à cette limite, nous intégrons la mesure dans les structures BLG tree et GAP tree, que nous appelons, SOLAP BLG tree et SOLAP GAP tree. Ces structures sont utilisés dans notre approche de généralisation à la volée que nous présentons dans la section suivante.

3. Approche proposée

L'objectif principal de notre approche est de développer un système de généralisation à la volée adaptée aux applications d'aide à la décision SOLAP. Ce système doit

être capable de combiner les aspects décisionnel et cartographique afin de produire des cartes adaptées aux besoins des décideurs. La figure 2 illustre l'architecture globale de notre approche. En effet, l'entrepôt de données spatiales stocke des données de type décisionnel (mesure du fait) et des données de type cartographique. Ces derniers sont représentés dans un seul et unique niveau de détail (le niveau de détail le plus élevé). Lorsque l'utilisateur émet sa requête, le résultat sera initialement extrait des données stockées. Ces derniers ne correspondent pas nécessairement au niveau de détail sollicité par le décideur, un processus de généralisation à la volée s'avère donc nécessaire pour adapter le résultat au besoin exprimé.

Le processus de généralisation que nous proposons est basé sur les structures SOLAP BLG tree et SOLAP GAP tree. Un ensemble de paramètres liés à l'aspect décisionnel est intégré à ces structures notamment, la fonction d'importance, d'agrégation etc. Tous ces concepts seront détaillés dans les sections suivantes.

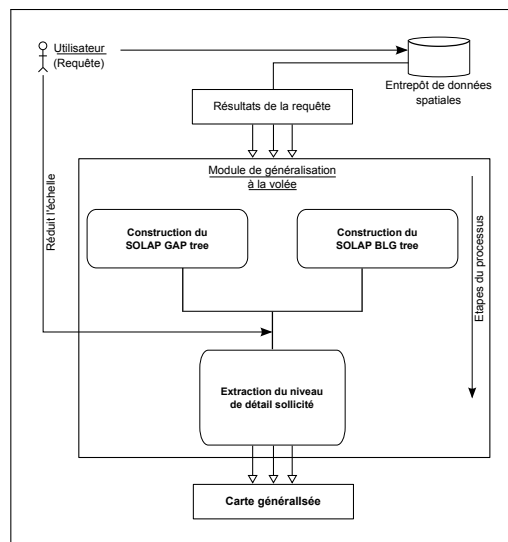


Figure 2. Architecture globale de notre approche

Les structures hiérarchiques spatiales que nous avons proposées servent à stocker les objets géographiques de la zone analysée ainsi que d'autres informations décisionnelles (les mesures). À chaque type d'objet géographique correspond une structure adéquate, le SOLAP BLG tree est proposé pour les objets de type polyligne et le SOLAP GAP tree pour les objets de type polygone. La construction de ces structures se fait selon une suite d'étapes que nous décrivons en détail pour chacune des structures proposées.

3.1. Construction du SOLAP BLG tree

La construction du SOLAP BLG tree s'articule autour de deux étapes principales : (1) l'attribution d'une valeur d'importance à chaque point de la polyligne et (2) création de la hiérarchie en considérant l'importance de chaque point.

En effet, un objet de type polyligne (route, cours d'eau, etc.) est constitué d'un ensemble de points (vertex). Le SOLAP BLG tree stocke ces différents points dans une structure hiérarchique. Chaque nœud de la structure consiste en un point de la polyligne conjointement avec sa valeur d'importance élaborée selon la fonction suivante.

L'importance $I(p)$ pour chaque point p sera calculée en fonction de sa distance $D(p)$ et de sa mesure $M(p)$ comme suit : $I(p) = f(D(p), M(p))$.

Cette fonction peut être décrite par la somme de son importance cartographique (distance) et de son importance décisionnelle (mesure) :

$$I(p) = D(p) + M(p)$$

La distance $D(p)$ est la distance orthogonale entre le segment reliant les deux points d'extrémité et le point p de la polyligne. $M(p)$ représente la mesure au point p .

Un nœud dans la structure est créé pour représenter un point p_i ayant une valeur d'importance $M(p_i)$. Ainsi, la polyligne (p_1, p_n) sera traitée comme suit : Si le nœud racine est représenté par p_k (un point de la polyligne) ayant la plus grande valeur d'importance, la création des autres nœuds se fait selon un processus itératif traitant tous les points des segments $[p_1, p_k]$ et $[p_k, p_n]$. Afin d'illustrer ce processus nous proposons l'exemple suivant relatif au phénomène d'analyse du risque routier ; nous nous intéressons aux nombres d'accidents constatés sur les segments de routes reliant dix communes représentées par les points de c_1 jusqu'à c_{10} (voir figure 3.). Chaque segment est porteur d'une mesure qui représente le nombre d'accidents relevés sur le segment reliant la commune c_i à la commune c_{i+1} .

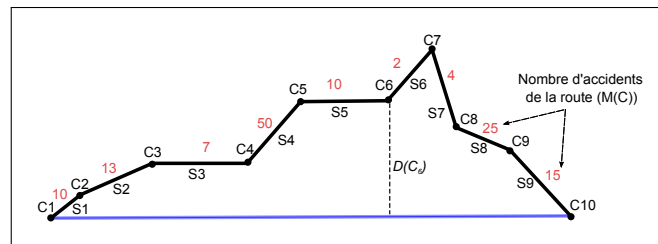


Figure 3. Représentation d'une polyligne (route) dans le contexte SOLAP

Nous soulignons que dans ce cas précis, les mesures sont associées aux segments de routes, or le traitement nécessite leurs transpositions vers les points extrémités constituant ces segments. Pour ce faire nous proposons que la valeur de la mesure du

point p_i soit déterminée par la valeur maximale des mesures des segments auxquels il appartient :

Soit $M(p_i)$ la mesure du point p_i .

$$M(p_i) = \text{Max}(M([p_{i-1}, p_i]), M([p_i, p_{i+1}]))$$

Par ailleurs, les valeurs des mesures et des distances telles que relevées sont hétérogènes. Il existe un écart important entre ces deux paramètres. Une étape de normalisation est donc nécessaire, dans le but de rendre les valeurs comparables les unes aux autres. Pour ce faire nous allons restreindre les valeurs entre 0 et 1. Pour chaque valeur V d'une mesure ou d'une distance, sa valeur normalisée V' est calculée comme suit :

$$V' = \frac{V - V_{\min}}{V_{\max} - V_{\min}}$$

Ainsi, la structure relative à l'exemple de la figure 3 se présente comme illustré dans la figure 4.

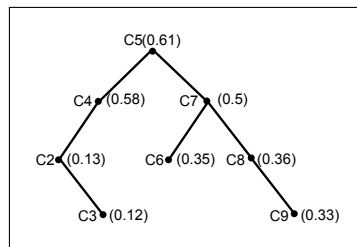


Figure 4. La structure SOLAP BLG tree construite

3.2. Construction du SOLAP GAP tree

De la même manière que le SOLAP BLG tree, la construction du SOLAP GAP tree passe par une suite d'étapes qui commence par le calcul de la valeur d'importance de chaque objet polygonal de la zone traitée.

À chaque polygone a est attribué une valeur d'importance $I(a)$ en fonction de sa surface $S(a)$, du poids de sa classe $P(a)$ déterminé par rapport à l'objectif d'analyse et de la mesure qui lui est associée $M(a)$:

$I(a) = f(S(a), P(a), M(a))$. Cette fonction d'importance, peut être décrite de la manière suivante :

$$I(a) = S(a) * P(a) + M(a)$$

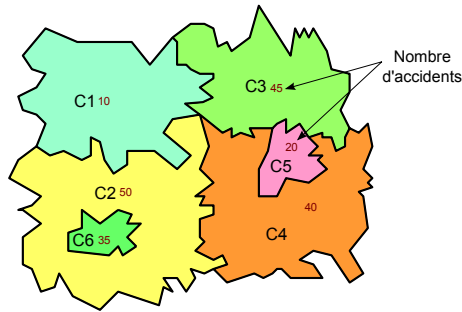


Figure 5. Zone analysée

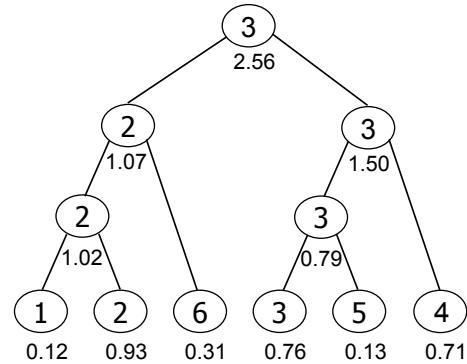


Figure 6. La structure SOLAP GAP tree construite

Ainsi définie, elle est utilisée pour trouver le polygone le moins important a , dans quel cas il sera éliminé et sa surface sera fusionnée avec un objet voisin b . Ce dernier est déterminé selon une fonction de fusion $F(a, b) = f(Bord(a, b), Sim(a, b), M(b))$, tel que :

$$F(a, b) = Bord(a, b) * Sim(a, b) * M(b)$$

Où, $Bord(a, b)$ est la longueur de la bordure commune entre deux polygones a et b . $Sim(a, b)$ est la similarité entre les types des polygones, par exemple (communes rurales, communes citadines). $M(b)$ est la valeur de la mesure d'un polygone voisin de l'élément sélectionné.

Pour illustrer la construction du SOLAP GAP tree, nous utilisons l'exemple de la figure 5 qui décrit le nombre d'accidents pour six communes. Le SOLAP GAP tree construit après normalisation est présenté dans la figure 6.

4. Processus de généralisation proposé

Le processus de généralisation à la volée adapté au contexte SOLAP est guidé par les structures SOLAP BLG tree et SOLAP GAP tree selon la méthodologie décrite ci-dessous.

Une fois ces structures construites, elles sont enregistrées au cours d'une session de travail. Lors de la navigation entre les niveaux de détail, un processus de généralisation à la volée est déclenché. Ce dernier consiste à récupérer uniquement les objets géographiques visibles dans le niveau de détail requis. La sélection de ces objets est effectuée en comparant les valeurs d'importance préalablement stockées avec une valeur seuil. Ce dernier est déterminé en fonction de l'échelle de visualisation et d'autres paramètres cartographiques qui nécessitent l'intervention d'un expert cartographe. Dans

le cadre de ce travail nous nous sommes basés sur des seuils fixés expérimentalement. En effet, le seuil est utilisé pour déterminer la profondeur de parcours des structures et en sélectionner uniquement les nœuds dont la valeur d'importance est supérieure à celui-ci.

Les mesures associées aux différents objets sont soumises à une fonction d'agrégation qui permet de déterminer les mesures des objets résultants. Ceci permet de maintenir l'importance de l'aspect décisionnel dans les différents niveaux de détail sollicités. Cette fonction d'agrégation est élaborée selon le fait analysé. À titre d'exemple pour l'analyse du phénomène du risque routier, la fonction d'agrégation proposée prend la forme d'une sommation, et ce, afin de préserver l'information sur le nombre total d'accidents relatif à l'objet généralisé.

4.1. Agrégation des mesures associées aux polygones

Le calcul des valeurs des mesures, s'effectue selon le type de l'objet traité ; dans le cas d'un objet linéaire, nous proposons la création d'une structure de données tableau, qui contiendra les valeurs des mesures associées aux différents segments constituant la polygone initiale de l'exemple de la figure 3 tel qu'illustré par le tableau 1.

Au cours de la généralisation, la polygone résultante où les segments S_i à S_k peuvent être supprimés et remplacés par un nouveau segment formé par le premier point de S_i et le dernier point de S_k . La nouvelle mesure est calculée à partir des valeurs des mesures associées aux segments S_i à S_k préalablement stockées dans le tableau 1.

Segment	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Mesure	10	13	7	50	10	2	4	25	15

Tableau 1. Exemple de structure de données dédiée au stockage des mesures

4.2. Agrégation des mesures associées aux polygones

Pour les objets de type polygone, les mesures sont stockées dans le SOLAP GAP tree. Ainsi, lors de la généralisation, l'agrégation des polygones entraîne l'agrégation des mesures qui leurs sont associées. La mesure $M(c)$ du nouveau polygone c résultant de l'agrégation des polygones a et b , sera égale à la somme des mesures des polygones a et b : $M(c) = M(a) + M(b)$.

Les exemples illustrés par la figure 7 décrivent quelques résultats de généralisation d'une polygone par le SOLAP BLG tree avec l'utilisation de la valeur seuil. Il faut préciser qu'une manière simple de définir le seuil est de le fixer statiquement par

l'utilisateur. Un seuil réduit implique peu de polygones/segments sont éliminés par contre un seuil plus important engendre l'élimination de plusieurs polygones/segments en même temps. Dans la figure 7.a, l'échelle demandée correspond à un seuil égal à (0.6), il n'y a que la valeur d'importance du point c5 qui soit plus grande que ce seuil. Ce point est sélectionné et affiché sur la carte avec les deux points d'extrémités de la polyligne initiale. Dans la figure 7.b, le seuil est égal à 0.48. Les points c4, c5 et c7 sont sélectionnés et affichés dans cette échelle.

De même, les exemples illustrés par la figure 6 décrivent quelques résultats de généralisation d'une région géographique par le SOLAP GAP tree.

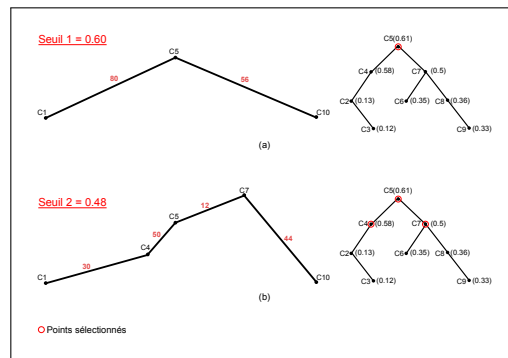


Figure 7. Résultats de la généralisation par le SOLAP BLG tree



Figure 8. Résultats de la généralisation par le SOLAP GAP tree

5. Expérimentation

La validation de notre approche passe par la construction des structures spatiales proposées soient : le SOLAP BLG tree et le SOLAP GAP tree, que nous utilisons dans le processus de généralisation à la volée mis en œuvre. Nous avons opté pour le phénomène du risque routier comme sujet d'analyse, vu son impact socio-économique à l'échelle mondiale. En effet, selon les statistiques de l'organisation mondiale de la Santé [BEN 12], la route provoque chaque année plus de 1,2 million de décès et

entre 20 à 50 millions de blessés. Dans des travaux antérieurs, nous avons abordé ce phénomène en intégrant l'information spatiale [AMI 13, DER 14].

Nos tests sont effectués sur des données spatiales de type vecteur ; le thème linéaire routier et le thème de découpage administratif pour tester respectivement les structures SOLAP BLG tree et SOLAP GAP tree. Pour la réalisation de notre prototype de généralisation, nous avons eu recours à plusieurs ressources logicielles et matérielles : (1) Oracle 11G Entreprise Edition comme SGBD (Système de Gestion de Base de données) via sa composante ORACLE SPATIAL. (2) Oracle MAPVIEWER pour la visualisation de la carte géographique de la zone analysée. (3) Oracle WEBLOGIC SERVER sur lequel sont déployés les composants de MAPVIEWER. (4) L'outil Oracle MAP BUILDER a été utilisé pour charger les données géographiques dans le SGBD et la construction de la carte. (5) L'outil JDeveloper d'Oracle comme éditeur de code.

Nos expérimentations ont été réalisées sur deux jeux de données différents : le premier jeu représente le thème routier de la commune de Dar El Beida à Alger, enrichi des différentes mesures représentant le nombre d'accidents relevés sur les routes considérées (figure 9). Le second jeu représente le découpage administratif de l'Algérie où chaque commune comporte comme mesure le nombre d'accidents survenus.

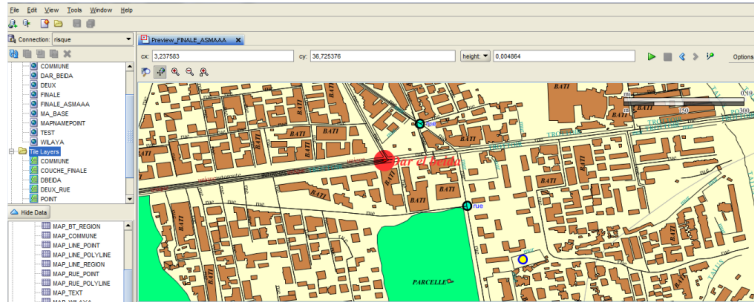


Figure 9. Zone d'étude (commune de Dair El-Beida)

5.1. Test du SOLAP BLG tree

Pour tester le SOLAP BLG tree, nous avons sélectionné une route de la commune de Dar El Beida. Cette route est illustrée en pointillés sur la figure 10. Elle comporte 28 segments chacun de ces segments comportant une mesure. Notre système de généralisation permet de simplifier cette route à des échelles plus réduites, toute en prenant en considération l'aspect décisionnel (les mesures).

La figure 11, illustre une représentation détaillée de la route sélectionnée ; les segments ayant les plus grands nombres d'accidents sont mis en évidence.



Figure 10. Réseau Routier de Dar El Beida et route sélectionnée

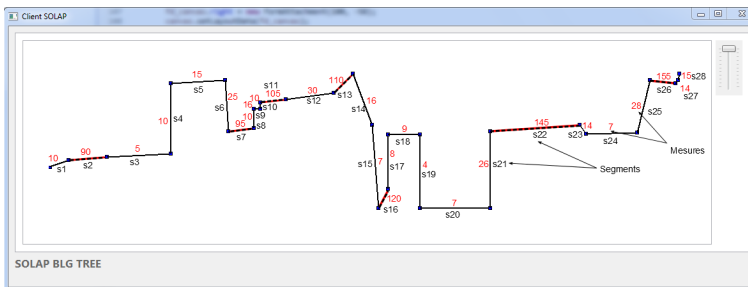


Figure 11. Représentation détaillée de la route sélectionnée

Le SOLAP BLG tree correspondant à la route sélectionnée est illustré par la figure 12. Le nœud racine contenant le point sommet p_{14} a la plus grande valeur d'importance par rapport aux autres points de la route. Les points stockés dans les niveaux hiérarchiques les plus élevés sont les points ayant les valeurs d'importance les plus élevées.

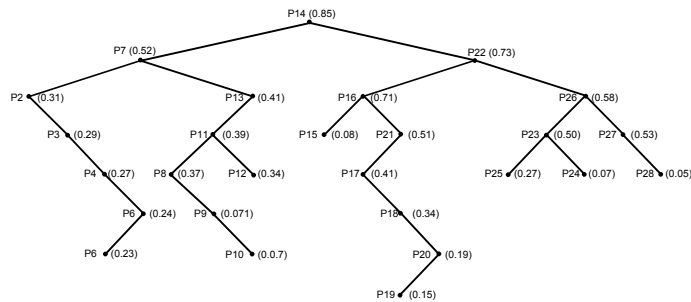


Figure 12. SOLAP BLG tree de la route sélectionnée

Selon l'approche proposée, la généralisation de la route sélectionnée permet de restituer les points des segments de route visible à l'échelle souhaitée. À partir d'une échelle plus détaillée, nous pouvons analyser les résultats obtenus à des échelles dif-

férentes (voir la figure 13). À titre d'exemple à l'échelle 1 :5000 tous les segments pertinents de la route à l'exception du segment S_2 sont présents sur la carte, par contre à l'échelle 1 :10 000, il ne reste que quatre segments pertinents et à l'échelle 1 :50 000 les segments pertinents ne sont plus perceptibles.

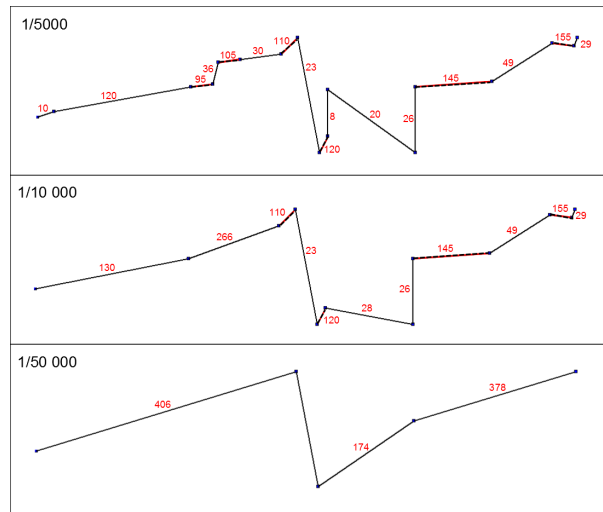


Figure 13. Résultats de la généralisation avec le SOLAP BLG tree

La figure 14, illustre une comparaison entre les résultats de la généralisation avec le SOLAP BLG tree que nous proposons dans le cadre de ce travail et les résultats de la généralisation avec le BLG tree classique. On constate qu'à la même échelle 1 :10 000, des segments de routes pertinents sont visibles dans le cas du SOLAP BLG tree (comme les segments S_{13} , S_{16} , S_{22} et S_{26}), alors qu'ils ne le sont plus dans le cas du BLG tree, et ce, malgré leur pertinence décisionnelle, d'où l'intérêt de la généralisation avec le SOLAP BLG tree dans le contexte SOLAP.

5.2. Test du SOLAP GAP tree

L'implémentation du SOLAP GAP tree nécessite la prise en compte de quelques paramètres tels que la surface des polygones, l'identification des polygones voisins, la longueur de leur bordure commune, etc. Lors de la généralisation, le polygone résultant de l'agrégation de deux polygones voisins est dotée d'une mesure calculée par application de la fonction d'agrégation définie dans la section 3.2 et qui prend la forme d'une sommation dans ce cas d'étude (risque routier). A titre d'exemple, la mesure *nombre d'accidents* associée au polygone c , $M(c)$ résultant de l'agrégation des polygones voisins a et b est : $M(c) = M(a) + M(b)$. C'est ainsi que la pertinence de l'objet du point de vue décisionnel est conservé. La figure 15, illustre notre démarche.

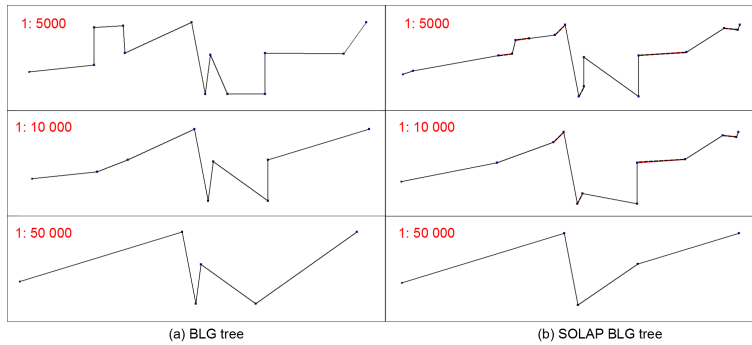


Figure 14. Comparaison des résultats de généralisation avec (a) BLG tree et (b) SOLAP BLG tree

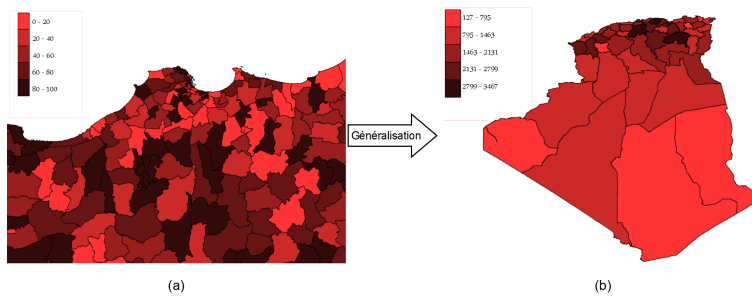


Figure 15. Résultats de la généralisation selon SOLAP GAP Tree

6. Conclusion et perspectives

Le travail présenté dans cet article, consiste en la mise en œuvre d'une approche de généralisation à la volée adapté au contexte SOLAP. La généralisation de l'information géographique, largement abordée dans le domaine cartographique, vise à améliorer la lisibilité du contenu d'une carte lors de la réduction d'échelles. Cet objectif est atteint par l'application d'une série d'opérations de généralisation basées sur des critères géométriques tels que la forme et la taille des objets géographiques. La généralisation à la volée en est une variante, adaptée aux contextes hautement interactifs tels que la cartographie en ligne et les applications SOLAP.

BLG Tree et GAP tree sont des structures hiérarchiques initialement dédiée à la généralisation cartographique à la volée. Les utiliser dans le contexte SOLAP risque de nuire à l'aspect décisionnel. Le processus de généralisation adapté aux SOLAP, que nous proposons intègre le concept mesure, essentielle dans de telles applications. Pour cela, de nouvelles structures basées sur BLG tree et GAP tree sont définis et désormais baptisées SOLAP BLG tree et SOLAP GAP tree.

Pour valider notre approche, nous avons choisi le risque routier comme phénomène à analyser vu son impact socio-économique à l'échelle mondiale. De plus, l'utilisation de la cartographie dans l'analyse de ce phénomène est d'un intérêt majeur pour les décideurs car il est intimement lié à l'information géographique représentée par le tronçon de route et la localité auquel il appartient. Dans nos expérimentations, nous avons montré l'apport des structures proposées dans le contexte SOLAP à travers les différentes fonctions mises en œuvre et dont l'application a permis de conserver la mesure tout en assurant une perceptibilité cartographique.

Comme axes de continuité à ce travail, nous proposons : (1) mener une étude expérimentale massive sur plusieurs jeux de données et différents utilisateurs afin de valider les choix effectués sur l'approche ;(2) adapter les autres opérateurs de généralisation (tel quel le lissage, le déplacement, la typification, l'exagération, etc.) aux applications SOLAP. Cela permet de générer des cartes de meilleure qualité cartographique et faciliter ainsi l'étude et l'analyse de données spatiales ; (3) Adapter le processus généralisation aux EDS en utilisant une autre approche de généralisation à la volée, développée dans le contexte du webmapping et qui se base sur les algorithmes rapides de généralisation et (4) Élaborer une étude comparative entre les approches implémentées selon des critères bien définis afin d'évaluer leurs efficacités par rapport à un contexte d'utilisation donné ;

Bibliographie

- [AMI 13] AMIEUR K. D., FRIHI I., BOUKHALFA K., ALIMAZIGHI Z., « De la Conception d'un Entrepôt de Données Spatiales à un Outil Géo-Décisionnel pour une Meilleure Analyse du Risque Routier », , 2013.
- [BÉD 97] BÉDARD Y., « Spatial olap », *Forum annuel sur la RD, Géomatique VI : Un monde accessible*, 1997, p. 13–14.
- [BEN 12] BENCHERIF H., BOUBAKOUR F., BELKACEM N., « Les accidents de la route dans les médias de masse en Algérie. Du traitement de l'information à sa diffusion », *Communication. Information médias théories pratiques*, vol. 30, n° 1, 2012, Editions Nota bene.
- [BER 12] BEREUTER P., WEIBEL R., « Algorithms for On-the-Fly Generalization of Point Data Using Quadrees », *Proceedings AutoCarto 2012*, , 2012.
- [BER 13] BEREUTER P., WEIBEL R., « Real-time generalization of point data in mobile and web mapping using quadrees », *Cartography and Geographic Information Science*, vol. 40, n° 4, 2013, p. 271–281, Taylor & Francis.
- [BIM 12] BIMONTE S., BERTOLOTTI M., GENSEL J., BOUSSAID O., « Spatial olap and map generalization : Model and algebra », *International Journal of Data Warehousing and Mining (IJDWM)*, vol. 8, n° 1, 2012, p. 24–51, IGI Global.
- [CHA 97] CHAUDHURI S., DAYAL U., « An overview of data warehousing and OLAP technology », *ACM Sigmod record*, vol. 26, n° 1, 1997, p. 65–74, ACM.
- [DER 14] DERBAL K., IBTISSEM F., BOUKHALFA K., ALIMAZIGHI Z., « Spatial data warehouse and geospatial decision making tool for efficient road risk analysis », *Information and Communication Technologies for Disaster Management (ICT-DM), 2014 1st International Conference on*, IEEE, 2014, p. 1–7.

- [DOU 73] DOUGLAS D. H., PEUCKER T. K., « Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature », *Cartographica : The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, vol. 10, n° 2, 1973, p. 112–122, UT Press.
- [FOE 10] FOERSTER T., LEHTO L., SARJAKOSKI T., SARJAKOSKI L. T., STOTER J., « Map generalization and schema transformation of geospatial data combined in a Web Service context », *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 34, n° 1, 2010, p. 79–88, Elsevier.
- [GAF 08] GAFFURI J., « Généralisation automatique pour la prise en compte de thèmes champ : le modèle GAEL », PhD thesis, Université Paris-Est, 2008.
- [GIM 01] GiMODIG, « Geospatial Info-Mobility Service by Real-Time Data-Integration and Generalisation », 2001.
- [KIM 02] KIMBALL R., ROSS M. et al., « The data warehouse toolkit : the complete guide to dimensional modelling », *Nachdr.] New York [ua] : Wiley*, , 2002.
- [LEH 05] LEHTO L., SARJAKOSKI L. T., « Real-time generalization of XML-encoded spatial data for the Web and mobile devices », *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 19, n° 8-9, 2005, p. 957–973, Taylor & Francis.
- [MAL 08] MALINOWSKI E., ZIMÁNYI E., *Advanced data warehouse design : from conventional to spatial and temporal applications*, Springer Science & Business Media, 2008.
- [OOS 11] VAN OOSTEROM P., MEIJERS M., « Towards a true vario-scale structure supporting smooth-zoom », *Proceedings of the 14th ICA/ISPRS workshop on generalisation and multiple representation, Paris*, vol. 48, 2011.
- [OOS 14] VAN OOSTEROM P., MEIJERS M., STOTER J., ŠUBA R., « Data Structures for Continuous Generalisation : tGAP and SSC », *Abstracting Geographic Information in a Data Rich World*, p. 83–117, Springer, 2014.
- [RIV 05] RIVEST S., BÉDARD Y., PROULX M.-J., NADEAU M., HUBERT F., PASTOR J., « SOLAP technology : Merging business intelligence with geospatial technology for interactive spatio-temporal exploration and analysis of data », *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, vol. 60, n° 1, 2005, p. 17–33, Elsevier.
- [SAR 07] SARJAKOSKI L., « Conceptual models of generalisation and multiple representation », *Generalisation of geographic information : Cartographic modelling and applications. Amsterdam, The Netherlands : Elsevier*, , 2007.
- [STA 14] STANISLAWSKI L. V., BUTTENFIELD B. P., BEREUTER P., SAVINO S., BREWER C. A., « Generalisation Operators », *Abstracting Geographic Information in a Data Rich World*, p. 157–195, Springer, 2014.
- [THO 02] THOMSEN E., *OLAP solutions : building multidimensional information systems*, John Wiley & Sons, 2002.
- [VAN 91] VAN OOSTEROM P., « The reactive-tree : A storage structure for a seamless, scale-less geographic database », *AUTOCARTO-CONFERENCE*, vol. 6, ASPRS AMERICAN SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND, 1991, p. 393–393.
- [VAN 05] VAN OOSTEROM P., « Variable-scale topological data structures suitable for progressive data transfer : The GAP-face tree and GAP-edge forest », *Cartography and Geographic Information Science*, vol. 32, n° 4, 2005, p. 331–346, Taylor & Francis.
- [WEI 08] WEIBEL R., BURGHARDT D., « Generalization, on-the-Fly », *Encyclopedia of GIS*, p. 339–344, Springer, 2008.