Un Modèle Multidimensionnel pour l'Analyse en Ligne des Champs Continus

Sandro Bimonte*, Myoung-Ah Kang**

*Cemagref, UR TSCF, 24 Avenue des Landais, 63172 AUBIERE, France
sandro.bimonte@cemagref.fr
LIMOS-UMR CNRS 6158, ISIMA, Université Blaise Pascal, 24 Avenue des Landais, 63172 AUBIERE, France
kang@isima.fr

Résumé. L'intégration des données spatiales dans les modèles multidimensionnels conduit au concept d'OLAP Spatial (SOLAP). Les modèles SOLAP existants exploitent les données spatiales vectorielles. Peu de travaux intègrent les données spatiales continues (champs continus) en dimension et en mesure. Dans ce papier, nous proposons un modèle multidimensionnel qui utilise les champs continus comme mesures et dimensions indépendamment de leur implantation dans les SGBDs Spatiaux.

1 Introduction et motivations

L'information spatiale est représentée selon deux modèles : *discrète* (vecteur) et *continu* (Tomlin, 1990). Le second modèle représente l'espace comme un champ continu pour représenter les phénomènes naturels et environnementaux continus. Les champs continus doivent être discrétisés pour être représentés dans les SGBDs Spatiaux. Ces représentations peuvent être regroupées en deux catégories: les *incomplètes* et les *complètes*. Les représentations incomplètes stockent seulement certains points échantillons, et elles ont besoin de fonctions supplémentaires pour calculer les valeurs sur les points non échantillonnés. Les représentations complètes associent des valeurs à tous les points de l'espace concerné (grille où raster). Le terme Map Algebra a été introduit dans (Tomlin, 1990) pour décrire les opérateurs sur les données raster. Les opérateurs de Map Algebra sont classés selon le nombre de grilles et de cellules concernées (Figure 1). Les *opérateurs locaux* calculent la valeur de chaque cellule de la grille résultante en prenant les valeurs sur les cellules, des grilles d'entrée, sur cette même localisation. Les *opérateurs focaux* calculent la nouvelle valeur de chaque cellule à l'aide des valeurs de cellules voisines de la grille d'entrée. Les *opérateurs zonaux* calculent les nouvelles valeurs en fonction des valeurs de la grille d'entrée qui sont associées à la zone d'une autre grille, appelée couche de zone. Enfin, les *opérateurs globaux* utilisent toutes les cellules de la grille d'entrée. Une extension de Map Algebra (Cubic Map Algebra) à la dimension temporelle est présentée dans (Mennis et al., 2005). Les auteurs ont redéfini des opérateurs de Map Algebra sur un cube de cellules dont les coordonnées sont en trois dimensions. Ensuite, les opérateurs sont modifiés comme illustré sur la Figure 1. Dans (Câmara et al., 1994) les auteurs ont défini un modèle algébrique pour les données champs continus indépendamment de leur représentation. (Gutierrez et Baumann, 2007) ont formellement décrit les opérateurs de Map Algebra pour la manipulation des images.

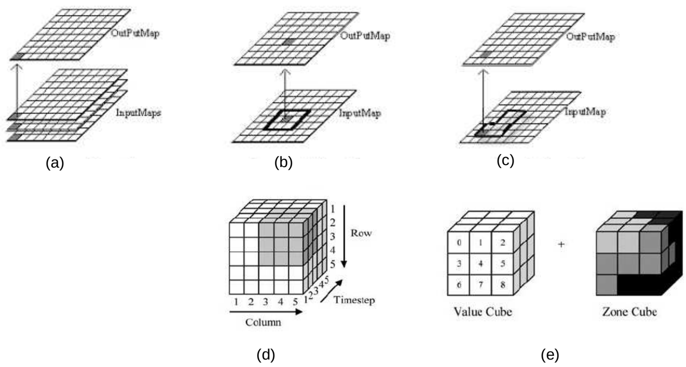


FIG. 1 – *Map Algebra: a) local, b) focal, c) zonal (Tomlin, 1990), Cubic Map Algebra : d) focal, e) zonal (Mennis et al., 2005).*

La Map Algebra a également été définie sur les autres formes de représentation des champs continus comme Voronoi (Ledoux et Gold, 2006), qui sont plus adaptées à certaines applications. En effet, comme surligné dans (Kemp, 1993) *la Map Algebra nous oblige à organiser la réalité dans une structure particulière (le raster) plutôt que de permettre à la réalité de nous suggérer une structure plus appropriée pour l'analyse*.

Les entrepôts de données et les systèmes OLAP sont des technologies d'aide à la décision, dont l'objectif est de permettre aux décisionnaires de formuler des requêtes complexes par le biais d'une interface visuelle et interactive (Kimball, 1996). Afin de bénéficier de ces technologies également dans le contexte des données géographiques, certains travaux introduisent le concept de Spatial OLAP (SOLAP), qui intègre les fonctionnalités des systèmes OLAP et des Systèmes d'Information Géographique (SIGs) dans un environnent unique (Bédard et Han, 2009). Le SOLAP étend les concepts principaux OLAP de dimension et mesure en introduisant la composante spatiale (Bédard et Han, 2009). Une *dimension spatiale* présente des niveaux avec des attributs spatiaux. Une *mesure spatiale* est : un ensemble de géométries, ou des valeurs numériques obtenues par une analyse spatiale. Certains modèles multidimensionnels spatiaux, basés sur le modèle vectoriel, ont été proposés pour représenter ces concepts (Bimonte et al., 2010). Par contre, malgré la puissance d'analyse importante des données champs continus, seul quelques travaux s'adressent à ce problème.

(McHugh, 2008) a étendu le concept de dimension spatiale et a défini informellement une *dimension spatiale matrice* où au moins un niveau représente des données raster, et un membre est une cellule du raster. En outre, elle a également introduit la notion de *cube matriciel* où chaque fait est associé à une cellule avec ses valeurs numériques. Ensuite, l'auteur a défini les fonctions d'agrégation avec les opérateurs de Map Algebra. Ce travail préliminaire définit les concepts principaux de l'intégration de champs continus dans l'OLAP. Toutefois, l'auteur limite le type de données aux rasters, et il manque en abstraction des champs continus. Par conséquent, (Vaisman et Zimányi, 2009) ont proposé un modèle conceptuel multidimensionnel pour prendre en compte les champs continus indépendamment de leur implantations. Ils ont défini une *mesure champ continu* comme une valeur qui change dans l'espace et/ou le temps. Le modèle limite les fonctions d'agrégation pour une mesure champ continu aux opérateurs locaux de Map Algebra. Ils ont introduit également une *dimension champ continu* lorsqu'un niveau possède un attribut champ continu. En revanche, dans leur approche les dimensions champs continus ne sont pas liées aux faits. Par conséquent, il n'est pas possible d'avoir des mesures champs continus à différentes granularités, ce qui est nécessaire pour une analyse spatiale (Timpf et Frank, 1994). Enfin, (Ahmed et Miquel, 2005) ont défini le concept de *cube continu* lorsque des dimensions spatiales sont composées de membres spatiaux infinis qui ne sont pas organisés en hiérarchies. Les valeurs de mesures sont donc calculées à l'aide de fonctions d'interpolation car ils utilisent une représentation incomplète pour les membres spatiaux. Malheureusement, ce modèle ne permet pas d'introduire les champs continus comme mesures et dans les hiérarchies.

Le Tableau 1 montre les besoins pour un modèle multidimensionnel formel pour les champs continus et les limites des travaux existants. Par conséquence, nous proposons dans cet article un nouveau modèle OLAP qui prend en compte tous ces besoins.

Besoins	(Ahmed et Miquel, 2005)	(Vaisman et Zimányi, 2009)	(McHugh, 2008)
Mesure des données champs continus	NON	OUI	Partiellement (uniquement pour les données raster)
Hiérarchie sur des données champs continues	NON	NON	Partiellement (uniquement pour les données raster)
Opérateurs de Map Algebra comme fonctions d'agrégation	NON	Partiellement (uniquement les opérateurs locaux)	Partiellement (uniquement pour les données raster)
Indépendance de l'implantation	OUI	OUI	NON

TAB. 1 – *Besoins pour un modèle multidimensionnel pour les champs continus.*

2 Modèle multidimensionnel pour les champs continus

Avant d'introduire le modèle multidimensionnel pour les champs continus, nous présentons une application SOLAP pour surveiller les séismes dans les régions italiennes. Une requête possible est : « Où est-ce qu'il y a eu des tremblements de terre, et quelle est leur intensité par région à différentes échelles (résolutions) ? ». Cette application SOLAP présente une mesure qui est un champ continu représentant les tremblements de terre avec une dimension temporelle et une dimension représentant les modèles de terrain des régions italiennes à différentes échelles.

Nous présentons notre modèle de données champs continus dans la section 2.1. Le modèle multidimensionnel est introduit dans la section 2.2.

2.1 Modèle de champ continu

Un *Objet* représente un objet du monde réel décrit par certains attributs alphanumériques. Il est utilisé dans le modèle pour représenter les membres de niveaux (voir section 2.2).

Un *Objet Géographique* étend un Objet pour représenter l'information géographique selon le modèle vectoriel grâce à un attribut géométrique.

Un champ continu est un objet géographique avec une fonction qui retourne une valeur alphanumérique à chaque point de sa géométrie. Cette définition permet la représentation des champs continus, indépendamment de leur implantation (complet et incomplet).

Définition 1. Objet Champ Continu

Soit $g \subset R^2$ i.e. un sous-ensemble de l'espace Euclidien

Une Structure d'Objet Champ Continu, S_e, est une tuple $\langle geom, champ, a_1, \ldots a_n \rangle$ tel que :

- *$\forall i \in [1,\ldots n]$ a_i est un attribut défini sur un domaine $dom(a_i)$;*
- *le domaine de l'attribut geom est un ensemble des géométries : $dom(geom) \in 2^g$;*
- *le domaine de l'attribut champ est un ensemble de fonctions définies sur m sous-ensembles des points de geom et possédant des valeurs dans le domaine alphanumérique dom_{champ}: $dom(champ) = \{f_1, \ldots f_m\}$;*

Nous notons geom 'support géométrique'

Une instance d'une Structure d'Objet Champ Continu est un tuple $\langle g, f_j, val(a_1),\ldots val(a_n) \rangle$ tel que :

- *$\forall i \in [1,\ldots n]$ $val(a_i) \in dom(a_i)$, $g \in dom(geom)$;*
- *$f_j : g \rightarrow dom_{champ}$ et $f_j \in \{f_1, \ldots f_m\}$;*

Nous notons 'support de l'attribut champ' le domaine input de f_j

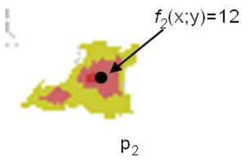
Exemple 1.

La Structure d'Objet Géographique qui représente des régions italiennes est $S_{region} = \langle geom, name \rangle$ où 'geom' est le support géométrique, et 'name' est le nom de la région. Une instance de S_{region} est $t_2 = \langle p_{lo}$, Lombardia$\rangle$ où 'p_{lo}' est la géométrie de la région Lombardia (Figure 2a).

Exemple 2.

La Structure d'Objet Champ Continu représentant les tremblements de terre est $S_{earthq}=\langle$geom, intensité> où 'geom' est le support géométrique, et 'intensité' est un ensemble de fonctions définies sur 'geom' avec valeurs en *R*. L'attribut 'intensité' représente l'intensité du tremblement de terre. Une instance de S_{earthq} est $t_2 = \langle p_2, f_2 \rangle$ où p_2 est la géométrie et f_2 représente l'intensité du tremblement de terre du 11-1999 en Lombardia. La fonction f_2 est définie sur chaque point de p_2 et elle retourne des valeurs en *R*, par exemple $f_2(x,y) = 12$ (Figure 2b).

(a)



(b)

FIG. 2 – *Régions italiennes : Instances de S_{region}, b) Séismes : Une instances de S_{earthq}.*

De la même façon, nous pouvons définir une Structure d'Objet Champ Continu pour représenter les terrains des régions italiennes à des échelles différentes, en ajoutant à S_{region} un attribut de type *champ* qui est une fonction représentant les altitudes.

2.2 Modèle multidimensionnel

(Bimonte et al., 2008) définit une hiérarchie spatiale comme une organisation hiérarchique des objets géographiques vectoriels. Dans cet article, nous étendons cette définition aux champs continus. Formellement, une hiérarchie spatiale organise les objets géographiques selon une structure hiérarchique à l'aide d'un ordre partiel $\leq_h$ où $S_i \leq_h S_j$ signifie que S_i est un niveau plus détaillé que S_j. Une instance d'une hiérarchie est un arbre d'instances d'objets géographiques. Par conséquent, dans cet article, nous étendons une hiérarchie spatiale en définissant aussi un arbre sur les coordonnées géométriques (x;y) des géométries des objets géographiques. De cette façon, une hiérarchie spatiale permet de représenter des hiérarchies spatiales classiques (voir exemple 3) et des hiérarchies où l'aspect continu des champs continus est pris en compte (voir exemple 4).

Définition 2. Hiérarchie Spatiale

Une Structure de Hiérarchie Spatiale, H_h, est un tuple $\langle \mathcal{L}_h, \llcorner_h, \ulcorner_h, \leq_h \rangle$ tel que :

- *$\mathcal{L}_h, \llcorner_h, \ulcorner_h$, sont des Structures d'Objet Champ Continu ;*
- *$\leq_h$ est un ordre partiel défini sur $\mathcal{L}_h, \llcorner_h, \ulcorner_h$ comme défini dans(Bimonte et al., 2008) ;*

Une instance d'une Structure de Hiérarchie Spatiale est représentée par deux ordres partiaux : $<_h$ et $<_f$ tel que :

- *$<_h$ est défini sur les instances des Objets Champ Continu $\mathcal{L}_h, \llcorner_h, \ulcorner_h$ comme défini dans (Bimonte et al., 2008);*

Nous appelons $<_h$ 'l'ordre des attributs géométriques'

- *$<_f$ est défini sur les supports de l'attribut champ des instances des Objets Champ Continu $\mathcal{L}_h, \llcorner_h, \ulcorner_h$ tel que:*
  - *Si $cood_i <_f cood_j$ alors $S_i \leq_h S_j$, où $cood_i$ appartient au support de l'attribut champ d'une instance de S_i et $cood_j$ appartient au support de l'attribut champ d'une instance de S_j,* ($cood_i$ et $cood_j$ sont des coordonnées géométriques);
  - *$\forall cood_i$ qui n'appartient pas aux supports de l'attribut champ des instances de $\ulcorner_h$, $\exists$ un $cood_j$ qui appartient au support de l'attribut champ d'une instance de S_j tel que $cood_i <_f cood_j$;*
  - *$\forall cood_i$ qui n'appartient pas aux supports de l'attribut champ des instances de $\llcorner_h$, $\exists$ $cood_j$ qui appartient au support de l'attribut champ d'une instance de S_j tel que $cood_j <_f cood_i$;*

Nous appelons $<_f$ 'l'ordre des attributs champs'

L'ensemble de feuilles de l'arbre représenté par $<_h$ avec la racine t_i sont notées 'leafs(H_h, t_i)'. L'ensemble de feuilles de l'arbre représenté par $<_f$ avec la racine $cood_i$ sont notées 'leafsFieldSupport(H_h, $cood_i$)'

Nous présentons deux exemples qui montrent comment, grâce au nouveau concept de hiérarchie spatiale, il est possible de représenter des hiérarchies spatiales vectorielles et des hiérarchies sur les champs continus.

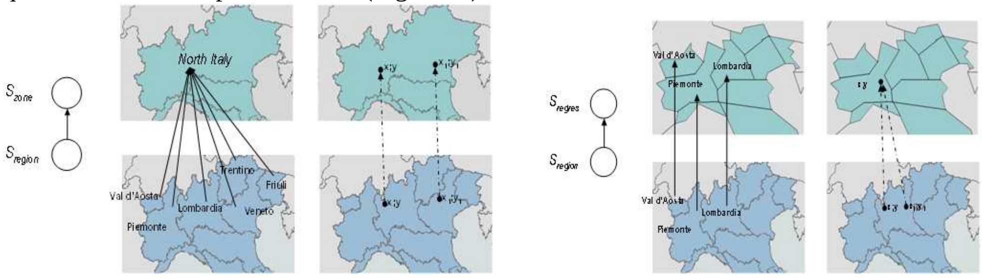
Exemple 3.

La structure de hiérarchie spatiale qui regroupes les régions dans des zones administratives est $H_{location} = \langle \mathcal{L}_{location}, S_{region}, S_{all\_location}, \leq_{location} \rangle$ où $\mathcal{L}_{location} = \{S_{zone}\}$ et ($S_{region} \leq_{location} S_{zone}$). S_{region} et S_{zone} sont les niveaux spatiaux de la hiérarchie spatiale qui représentent les modèles de terrain des régions et des zones (Figure 3a). Un exemple d'instance de $H_{location}$ est indiqué sur la Figure 3b et 3c. Nous pouvons remarquer deux arbres : l'ordre des attributs géométriques représenté par des lignes noires (Figure 3b) et l'ordre des attributs champs représenté par des pointillés (Figure 3c).

Exemple 4.

La structure de la hiérarchie représentant le modèle de terrain des régions à différentes résolutions est $H_{regres} = \langle \mathcal{L}_{regres}, S_{region}, S_{all\_regres}, \leq_{regres} \rangle$ où $\mathcal{L}_{regres} = \{S_{regres}\}$ et ($S_{region} \leq_{regres} S_{regres}$)

(Figure 3d). Une instance est présentée dans la Figure 3e et la Figure 3f. Notons qu'une coordonnée à la résolution plus grossière est associée à un ensemble de coordonnées géométriques à la résolution plus détaillée (Figure 3f).



(a) (b) (c) (d) (e) (f)

FIG. 3 – *Régions italiennes : Instances de S_{region}, b) Séismes : Une instances de S_{earthq}. Hiérarchie Spatiale regroupant les régions dans des zones administratives : a) Schéma, b) Relations hiérarchique entre les objets géographiques (ordre des attributs géométriques), c) Relations hiérarchique entre les coordonnées géométriques (ordre des attributs champs). Hiérarchie Spatiale représentant les régions à différentes résolutions : d) Schéma, e) Relations hiérarchique entre les objets géographiques, f) Relations hiérarchique entre les coordonnées géométriques (ordre des attributs champs).*

Nous introduisons maintenant le concept de mesure champ continu, qui représente un champ continu utilisé comme sujet d'analyse.

Nous présentons maintenant la définition de *Cube Champ Continu*. Une structure de cube champ continu représente l'application spatio-multidimensionnelle où un d'objet champ continu est utilisé comme mesure. Il est important de surligner que nous supposons d'avoir une seule dimension continue (hiérarchie spatiale) et mesure continue (mesure champ continu) pour simplifier la formalisation du modèle, mais cela n'implique pas une perte de généralité. De la même façon nous n'introduisons pas de mesures numériques car elle peuvent être représentées simplement avec des attributs numériques, et agrégées en utilisant l'ordre des hiérarchies, et une fonction d'agrégation mathématique comme défini en (Bimonte et al., 2008). Une instance d'une structure de cube champ continu représente la table de faits. Ainsi, un cube champ continu est défini en termes de hiérarchies classiques, d'une hiérarchie spatiale, et d'une mesure champ continu.

Définition 4. Cube Champ Continu

Une Structure de Cube Champ Continu, $MapFC_c$, est un tuple $\langle H_1,\ldots H_n$, GeoObject$\rangle$ tel que

- $\forall i \in [2,\ldots n]$ H_i *est une Structure de Hiérarchie* (Dimensions classiques) *;*
- H_1 *est une Structure de Hiérarchie spatiale* (Dimension spatiale) *;*
- *GeoObject est une Structure Objet Champ Continu* (Mesure continue) *;*

Une instance d'une Structure Cube Champ Continu, $I(MapFC_c)$,est un ensemble de tuples $\{\langle t_1\ldots t_n , t_f\rangle\}$ tel que :

- $\forall i \in [1,\ldots n]$ t_i *est une instance du niveau inférieure de* H_i ($\perp_i$) (Membres des niveaux les plus détaillés) *;*
- t_f *est une instance de GeoObject* (Valeur de la mesure continue) *;*

Exemple 5.

La structure du cube champ continu de notre cas d'étude est $MapFC_{earthq} = \langle H_{regres}, H_{time}, S_{earthq} \rangle$. H_{time} est une dimension temporelle, H_{regres} (hiérarchie spatiale) représente la dimension spatiale qui organise les modèles de terrain des régions à différentes résolutions (Exemple 4), et S_{earthq} est une mesure champ continu (Exemple 1). Elle permet de répondre à la requête précédente « Où est-ce qu'il y a eu des tremblements de terre, et quelle est leur intensité par région à différentes échelles (résolutions) ? » Le Tableau 2 montre une instance de $MapFC_{earthq}$. Sa représentation cartographique est présentée dans la Figure 4.

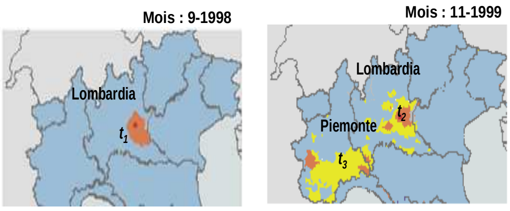


FIG. 4 – *Représentation cartographique de l' instance de $MapFC_{earthq}$.*

Dept	Month	Earthq
Lombardia	9-1998	t_1
Lombardia	11-1999	t_2
Piemonte	11-1999	t_3

TAB. 2 – *Instance de $MapFC_{earthq}$.*

Définition 3. Mesure Champ Continu
Une Mesure Champ Continu est un objet champ continu

Notons qu'une instance d'une mesure continue est toujours topologiquement incluse dans un membre de la dimension continue (par exemple t3 est inclus dans Piemonte).

L'agrégation des mesures continues se fait en deux étapes: *d'abord, nous agrégeons sur les hiérarchies classiques, puis sur la hiérarchie spatiale.*

L'agrégation des objets champ continu est défini par : (i) l'agrégation spatiale des valeurs de l'attribut géométrique *geom* (formellement $O_G : dom(geom) \times \ldots \times dom(geom) \rightarrow 2^g$ *où g est un sous-ensemble de l'espace euclidien* R^2) (ii) l'agrégation des valeurs des attributs alphanumériques $a_1, \ldots a_n$ (formellement $O_A : dom(a_i) \times \ldots \times dom(a_i) \rightarrow dom(a_i)$ (iii) l'agrégation des valeurs de l'attribut champ comme défini dans la suite.

En particulier, pour chaque membre de la dimension spatiale l'agrégation des valeurs des attributs champs sur une hiérarchie classique est définie par une fonction qui prend en entrée un ensemble de fonctions représentant les valeurs de l'attribut champ ($f_1 \ldots f_n$), et elle retourne une nouvelle fonction (f_{1n}). Cette fonction est une opération local de Map Algebra, ou focal ou zonal de Cubic Map Algebra.

Définition 6. Agrégation de l'attribut champ sur les hiérarchies classiques
Soit F un attribut champ, et $f_1 \ldots f_n$ des fonctions du domaine F avec g comme support de l'attribut champ (sans perdre la généralité, nous supposons que les fonctions $f_1 \ldots f_n$ ont le même support de l'attribut champ)*: $f_1 : g \rightarrow dom_F, \ldots f_n : g \rightarrow dom_F$, et $f_1, \ldots f_n \in dom(F)$*
Soit O_A un opérateur alphanumérique

Alors, l'agrégation de F est définie par une fonction O_F qui a comme entrées $f_1 \ldots f_n$, et qui retourne une fonction f_{1n} définie sur g et ayant valeurs en dom_F ($f_{1n} : g \rightarrow dom_F$) ($f_{1n} = O_F(f_1 \ldots f_n)$) tel que :

- Opérateur local de Map Algebra *: $f_{1n}(x; y) = O_A(f_1(x,y), \ldots, f_n(x,y))$ pour chaque point (x,y) de g* (par exemple Figure 1a) *;*
- Opérateur Focal de Cubic Map Algebra *: $f_{1n}(x; y) = O_A(f_1$ (Neighborhood(x,y))…f_n(Neighborhood(x,y))) pour chaque point (x,y) de g où Neighborhood(x,y) est une fonction qui renvoie les points voisins de (x, y)* (par exemple Figure 1d) *;*
- Opérateur Zonal de Cubic Map Algebra *: $f_{1n}(x; y) = O_A$ (f_1(Zone(FieldObjects,(x,y))…f_n(Zone(FieldObjects,(x,y))) pour chaque point (x,y) de g où Zone(FieldObjects, (x,y)) est une fonction qui prend comme entrée un ensemble d'objets champ continu définissant des zones FieldObjects) et un point, et elle renvoie les points voisins de (x, y) qui appartiennent à la zone identifiée par les objets champ continu FieldObjects sur ce point* (par exemple Figure 1e) *;*

Notons que nous utilisons l'opérateur local et Map Algebra et non de Cubic Map Algebra car ce dernier s'applique à deux cubes de rasters (Mennis et al., 2005). Dans la suite nous présentons un exemple d'agrégation de l'attribut champ des tremblements de terre sur la dimension temporelle.

Exemple 6.

Reprenons le cube champ continu $MapFC_{earthq} = \langle H_{regres}, H_{time}, S_{earthq} \rangle$ de l'Exemple 5. Soit une instance de l'objet champ continu S_{earthq} $t_1 = \langle p_1, f_1 \rangle$ où p_1 est la géométrie et la fonction f_1 représente l'intensité du tremblement de terre en 09-1998 en Lombardie. Donc, la fonction f_1 définit sur chaque point de p_1 une valeur en *R*. Par exemple $f_1(x,y) = 10$ (Figure 5a). Pour agréger l'attribut champ de l'intensité sur la dimension temporelle, nous pouvons par exemple utiliser l'opérateur focal de moyenne (AVG). Par conséquent, le résultat de l'agrégation de f_1 et f_2 sur (x,y) est $f_3(x,y) = (13*4+10+11*4+12)/10 = 11.8$ (Figure 6) en prenant en compte les voisins de (x, y).

Ensuite, puisque les mesures continues peuvent être agrégées aussi sur la dimension spatiale, alors les mesures continues résultantes de l'agrégation sur les hiérarchies classiques sont agrégées sur la hiérarchie spatiale.

Définition 7. Agrégation des mesures continues sur la hiérarchie spatiale

Soient :

$t_1, \ldots, t_n$ les instances des objets champ continu issus de l'agrégation de valeurs de la mesure champ continu sur les hiérarchies classiques

H_h la Hiérarchie Spatiale

O_i un opérateur alphanumérique pour chaque attribut alphanumérique a_i

O_G un opérateur géométrique pour l'attribut géométrique

O_A opérateur alphanumérique

Alors, l'agrégation de $t_1, \ldots, t_n$ retourne une instance d'Objet Champ Continu t_{1n} telle que:

- *$t_{1n}.geom = O_G(t_1.geom, \ldots, t_n.geom)$, $\forall i \in [1,\ldots m]$ $t_{1n}.a_i. = O_i(t_1.a_i, \ldots, t_n.a_i)$;*
- *$t_{1n}.champ(x; y) = O_A(f^1(x^1,y^1), \ldots, f^m(x^m,y^m))$ où $f^1, \ldots, f^m \in t_1.champ, \ldots t_n.champ$ et $(x^1,y^1), \ldots,(x^m,y^m) \in leafs(H_h, t_{1n})$, pour chaque point (x,y) du support de l'attribut champ de t_{1n}*

Puisque la mesure continue S_{earthq} est définie aussi sur une dimension spatiale représentant les modèles de terrain des régions à différentes résolutions, alors une agrégation particulière doit être fournie en tenant compte de la hiérarchie spatiale (H_{regres}) pour permettre la visualisation et le calcule de la mesure champ continu S_{earthq} à différentes résolutions (Exemple 7).

Exemple 7.

Afin de visualiser les mesures à différentes résolutions, nous pouvons par exemple agréger l'attribut intensité, f_1 sur la Hiérarchie Champ Continu H_{regres} en utilisant la moyenne pour simplifier l'exemple (des méthodes plus compliquées peuvent être utilisées). Alors $f_4(x_2;y_2)$ = AVG(leafsFieldSupport(H_{dept}, $(x_2;y_2)$)) = AVG($f_3(x,y)$, $f_3(x_1;y_1)$) = (10+11.7)/2 = 10.85 (Figure 5b).

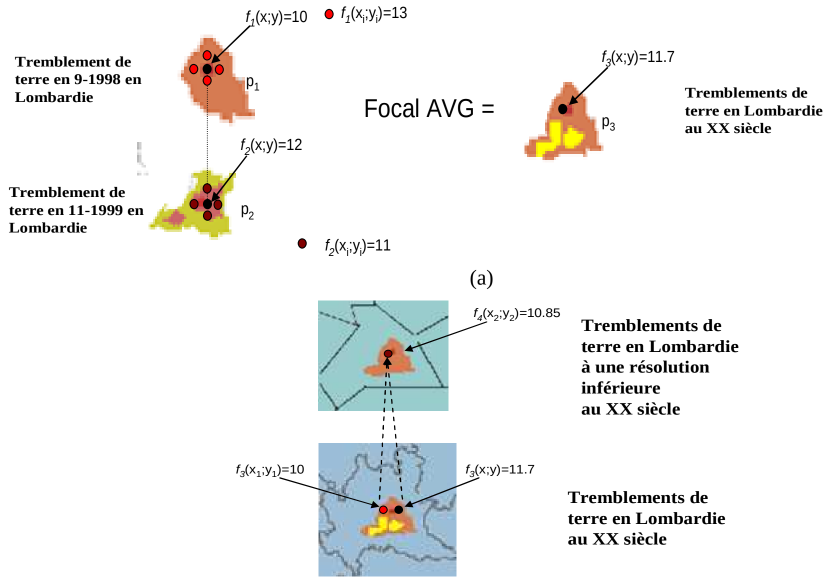


FIG. 5 – *(a) Agrégation de l'attribut champ "intensité" sur la dimension temporelle, (b) Agrégation de l'attribut champ "intensité" sur la hiérarchie spatiale.*

3 Conclusion et travaux futurs

L'intégration des données spatiales dans les modèles multidimensionnels conduit à la notion de SOLAP. Peu de travaux intègrent les données continues en dimensions et en mesures. Dans cet article, nous proposons un modèle multidimensionnel qui intègre les champs continus, avec une représentation formelle indépendante de leur implantation, en dimensions et mesures. Nous travaillons actuellement sur la définition des opérateurs SOLAP (roll-up, drill-down, slice, etc…) qui prennent en compte les deux instances des hiérarchies spatiales, et aussi sur l'implantation du modèle dans une architecture ROLAP qui pose différents problématiques : (1) extension des langages de requêtes du serveur SOLAP, (2) définition d'indexes spatiaux et des techniques de matérialisation de vues pour améliorer les performances, (3) introduction des cartes interactives raster dans les clients SOLAP.

Références

Ahmed, T., Miquel, M. (2005). Multidimensional Structures Dedicated to Continuous Spatiotemporal Phenomena, *22th British National Conference on Databases*, Springer, Berlin-Heidelberg, pp. 29-40.

Bédard, Y., Han, J. (2009). Fundamentals of Spatial Data Warehousing for Geographic Knowledge Discovery, *Geographic Data Mining and Knowledge Discovery*, Taylor & Francis.

Bimonte, S., Gensel, J., Bertolotto, M. (2008). Enriching Spatial OLAP with Map Generalization: a Conceptual Multidimensional Model, *IEEE International Workshop on Spatial and Spatiotemporal Data Mining*, Pisa, Italy, IEEE CS Press, pp 332 - 341.

Bimonte, S., Tchounikine, A., Miquel, M., Pinet, F. (2010). When Spatial Analysis Meets OLAP: Multidimensional Model and Operators. *International Journal of DataWarehousing and Mining* (à paraitre)

Câmara, G., De Freitas, U., Cordeiro, J. (1994). Towards an algebra of geographical fields, *Proceedings of Brazilian Symp. on computer graphics and image processing*, Anais, Curitiba, pp 205–212.

Gutierrez, A., Baumann, P. (2007). Modeling Fundamental Geo-Raster Operations with Array Algebra, *Proceedings of IEEE International Workshop on Spatial and Spatiotemporal Data Mining*, Omaha, USA, pp. 607-612.

Kemp, K. (1993). *Environmental Modeling with GIS: A Strategy for Dealing with Spatial Continuity*. Technical Report 93-3, National Center for Geographic Information and Analysis, University of California, Santa Barbara, USA.

Kimball, R. (1996). The Data Warehouse Toolkit: *Practical Techniques for Building Dimensional Data Warehouses*, John Wiley & Sons.

Ledoux, H., Gold., C.M. (2006). A Voronoi-based Map Algebra, *Proceedings of 12th International Symp. on Spatial Data Handling*, Berlin, Springer, pp. 117-131.

McHugh, R. (2008). *Intégration De La Structure Matricielle Dans Les Cubes Spatiaux*, Université Laval

Mennis, J., Viger, R., Tomlin, C.D. (2005). Cubic Map Algebra functions for spatiotemporal analysis, *Cartography and Geographic Information Systems*, 30, 1, pp.17-30.

Timpf, S., Frank, A. U. (1997). Using hierarchical spatial data structures for hierarchical spatial reasoning. *Proceedings of Spatial Information Theory - A Theoretical Basis for GIS*. Springer- Verlag. Lecture Notes in Computer Science, 1329, pp 69-83.

Tomlin, C.D. (1990). *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ

Vaisman, A., Zimányi, E. (2009). A multidimensional model representing continuous fields in spatial data warehouses. *Proceedings of 17th ACM SIGSPATIAL International Symp. on Advances in Geographic Information Systems*, Seattle, Washington, USA. ACM Press