HAL open science

Un cadre formel pour la généralisation multi-échelles de l'occupation du sol au sein du ScaleMaster2.0

Jean-François Girres, Guillaume Touya

▶ **To cite this version:**

Jean-François Girres, Guillaume Touya. Un cadre formel pour la généralisation multi-échelles de l'occupation du sol au sein du ScaleMaster2.0. Cartes & géomatique, 2015, 226, pp.61-70. hal-02274451

HAL Id: hal-02274451

https://hal.science/hal-02274451v1

Submitted on 29 Aug 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UN CADRE FORMEL POUR LA GÉNÉRALISATION MULTI-ÉCHELLES DE L'OCCUPATION DU SOL AU SEIN DU SCALEMASTER 2.0

par Jean-François Girres

UMR GRED – Université Paul Valéry Montpellier 3
Route de Mende 34099 Montpellier Cedex 5
jean-francois.girres@univ-montp3.fr

et Guillaume Touya

Institut national de l'information géographique et forestière – Laboratoire COGIT
73 avenue de Paris 94165 Saint-Mandé
guillaume.touya@ign.fr

Cet article présente un cadre général permettant de formaliser les règles de généralisation de couvertures d'occupation du sol au sein du ScaleMaster 2.0, un système automatique de généralisation multi-échelles, développé afin de faciliter des transitions fines (et ainsi créer un continuum cartographique) entre les différents niveaux de détail d'une base de données multi-représentations. Cet article décrit la méthode de simplification de l'occupation du sol proposée, la stratégie retenue afin de procéder à la généralisation sur de grandes zones, ainsi que la formalisation de ces règles de généralisation multi-échelles au sein du ScaleMaster 2.0. Enfin, une expérimentation est réalisée sur deux jeux de données pour illustrer cette proposition : une couverture d'occupation du sol dans la région de Dakar (Sénégal) et une carte des fonds sédimentaires au large des côtes de Bretagne (France).

Introduction

Les bases de données multi-représentations (MRDB) permettent de représenter les mêmes entités du monde réel dans différentes bases de données cartographiques ayant leur propre niveau de détail. Ceci permet notamment de naviguer d'une échelle à une autre à l'aide de géo-portails multi-échelles. Pour faciliter la création de transitions fines (c'est à dire créer un *continuum* cartographique) entre ces représentations, la généralisation cartographique permet de dériver des représentations intermédiaires, en se basant sur la base de données la plus détaillée (fig. 1). Dans ce contexte, le *ScaleMaster 2.0* (Touya et Girres, 2013) a été développé comme un système de généralisation multi-échelles, permettant la dérivation de niveaux de détail intermédiaires, en formalisant des règles de généralisation à partir d'une base de données multi-représentations.

Le *ScaleMaster 2.0* est un système automatique de généralisation, développé comme une extension du modèle *ScaleMaster*, proposé initialement par Brewer et Buttenfield (2007). Le *ScaleMaster 2.0* est implémenté à partir de la bibliothèque CartAGen (Renard et al., 2010), une plate-forme Java développée depuis 2009 par l'équipe de généralisation du laboratoire COGIT. Le paramétrage du *ScaleMaster 2.0* est réalisé à l'aide de trois interfaces XML associées au cœur Java du système : les fichiers *ScaleMaster.xml* (pour formaliser les règles de généralisation), *Parameters.xml* (pour spécifier la base de données en entrée et l'échelle des résultats en sortie) et *Symbology.xml*.

Depuis le début du développement du *ScaleMaster 2.0*, un certain nombre de contributions dans le domaine de la généralisation cartographique ont été proposées et formalisées dans ce cadre, comme par exemple la généralisation de thèmes originaux extraits d'OpenStreetMap (Touya et Girres, 2014), ou encore des méthodes, appelées "multi-représentations conscientes" (*"mr-aware"*), permettant de dériver des représentations à des échelles intermédiaires tout en préservant la cohérence entre niveaux de détail (Girres et Touya, 2014). Malgré tout, la question de la généralisation des couvertures d'occupation du sol (ou plus généralement des données catégorielles) au sein du *ScaleMaster 2.0* n'a pas encore été étudiée pour le moment.

Ainsi, cet article présente en section 2 les différentes stratégies proposées afin de procéder à la généralisation de l'occupation du sol. La section 3 présente le cadre formel proposé pour généraliser l'occupation du sol au sein du *ScaleMaster 2.0*. Enfin, une expérimentation est décrite en section 4, avant de conclure et d'évoquer les perspectives de ce travail.

Stratégies de généralisation de l'occupation du sol

Les couvertures d'occupation du sol, comme toutes les données catégorielles (cartes géologiques ou pédologiques par exemple) constituent une partition du monde réel, où chaque classe d'occupation du sol est affectée à chaque élément de la partition. L'occupation du sol est généralement représentée dans les bases de données géographiques sous forme d'une couverture unique composée de différentes classes d'occupation du sol. Mais dans certains cas, l'occupation du sol peut être représentée comme l'union de différentes couches, chacune d'entre elles constituant une classe d'occupation du sol.

Dans un processus de généralisation de l'occupation du sol, chaque classe peut être traitée différemment, en fonction de l'échelle de sortie désirée, du contexte géographique des données, ou encore du point de vue de la carte (par exemple des cartes touristiques ou militaires). Ainsi, dans un contexte donné, un petit polygone peut être élargi s'il représente une zone urbaine isolée, alors qu'il sera supprimé s'il représente une parcelle agricole. La généralisation de l'occupation du sol suppose donc des règles spécifiques pour chaque classe, en fonction du contexte géographique des objets et des objectifs de la carte en sortie.

Plusieurs modèles de généralisation de l'occupation du sol ont été proposés dans la littérature. On peut notamment différencier :

- les modèles guidés par la géométrie, où par exemple les petits polygones sont agrégés avec les plus gros, ou alors les polygones fins sont élargis (von Oosterom, 1995).
- les modèles guidés par le schéma de données, où deux classes d'objets sont fusionnées dans une même classe à plus petite échelle, comme proposé par Le Men (1996), Yaolin et al. (2003) ou Revell (2007).
- les modèles guidés par les fonctionnalités, où de nouveaux concepts sont créés par agrégation (Ruas et Lagrange, 1995). Par exemple, un aéroport est l'agrégation de plusieurs bâtiments et de surfaces diverses.
- les approches mixtes, où le modèle est guidé par la géométrie, le schéma de données et les fonctionnalités (Galanda et Weibel, 2002 ; Haunert et Wolff, 2010).

Pour formaliser le processus de généralisation de l'occupation du sol au sein du *ScaleMaster 2.0*, nous proposons de suivre une approche mixte. En effet, dans le contexte des bases de données multi-représentations, le schéma de données d'une couverture d'occupation du sol peut être modifié entre deux représentations ayant chacune leur propre niveau de détail. Dans le même temps, la géométrie des polygones est généralement simplifiée (par agrégation ou en utilisant des algorithmes de simplification) ou encore convertie vers d'autres géométries (par exemple les surfaces en eau deviennent des cours d'eau linéaires en dessous d'un certain seuil). La section suivante permet de présenter comment la généralisation de l'occupation du sol est opérée à travers cette approche mixte au sein du *ScaleMaster 2.0*.

Généralisation de l'occupation du sol avec le ScaleMaster 2.0

Cette section présente le cadre général proposé pour la généralisation multi-échelles de l'occupation du sol au sein du *ScaleMaster 2.0*. La méthode développée pour opérer la généralisation des couvertures d'occupation du sol y est tout d'abord présentée, suivie de celle proposée pour opérer la généralisation sur de grandes zones. Enfin, la formalisation de ces méthodes au sein du *ScaleMaster 2.0* y est décrite.

Méthodes de généralisation des couvertures d'occupation du sol

Cette section présente la méthode proposée pour simplifier une couverture d'occupation du sol à une échelle donnée. Comme exposé précédemment, nous considérons que chaque classe d'occupation du sol nécessite une surface minimale afin d'être conservée. Ensuite, différentes méthodes sont proposées afin d'éliminer les trous (correspondant aux polygones éliminés) s'ils sont localisés à l'intérieur d'un polygone, à la frontière de polygones, ou en bordure de la carte. Finalement, une simplification de contours est appliquée en utilisant l'algorithme de filtrage de Douglas et Peucker (1973).

La méthode débute en traitant chaque classe d'occupation du sol séparément. Ainsi, après une fusion optionnelle des classes d'occupation du sol (dans le cas d'un processus guidé par le schéma de données) et d'une union préliminaire des polygones voisins, les petits polygones entièrement localisés dans la couverture sont éliminés en fonction du seuil de surface minimale paramétré (fig. 3). Les petits polygones localisés en bordure de la couverture sont conservés, étant donné qu'ils peuvent potentiellement faire partie d'un polygone plus grand dans la couverture voisine (cf. section suivante).

Dans un second temps, la méthode fusionne toutes les classes d'occupation du sol en une couverture globale (convertie en carte topologique), et procède à la distribution des trous (correspondant aux petits polygones éliminés) en fonction de leurs caractéristiques

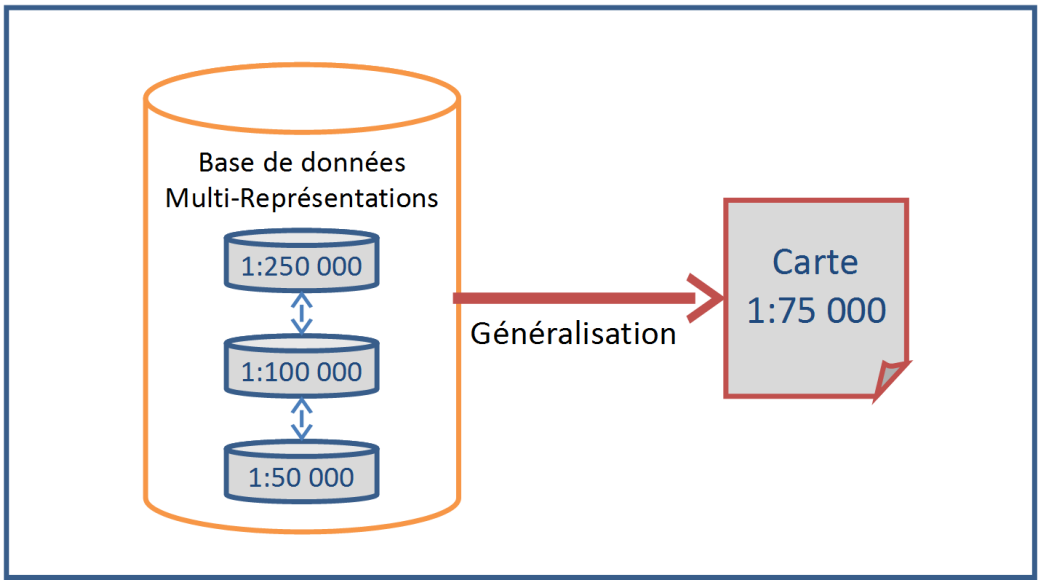

Figure 1 : Une échelle intermédiaire (1:75 000) dérivée par généralisation automatique à partir d'une plus grande échelle (1:50 000) dans une base de données multi-représentations

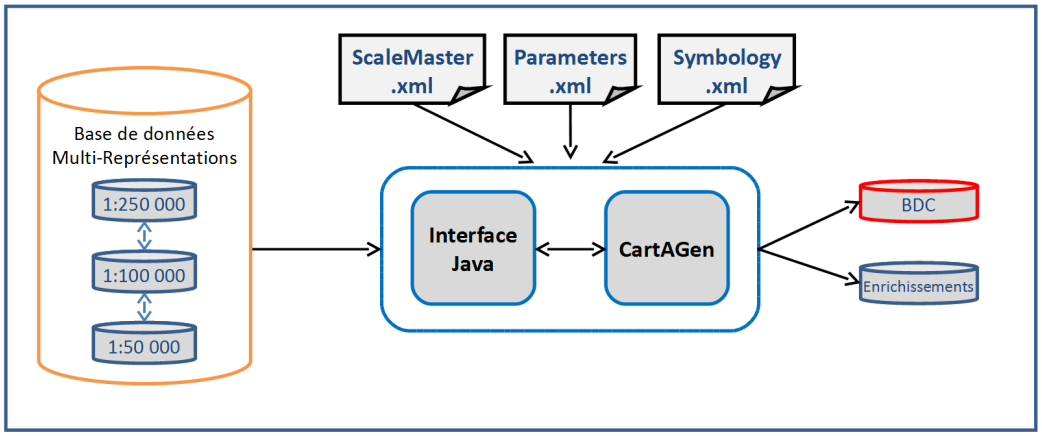

Figure 2 : Implémentation du ScaleMaster 2.0 à partir de la bibliothèque CartAGen

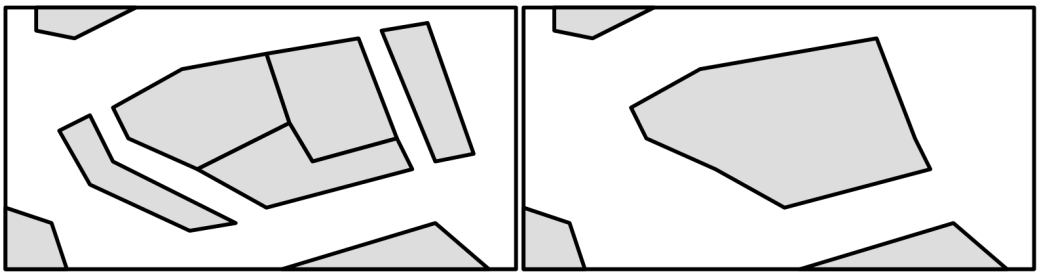

Figure 3 : Première étape de la méthode de généralisation : union des polygones voisins dans la même classe d'occupation du sol, et élimination des petits polygones en fonction de leur taille et leur localisation.

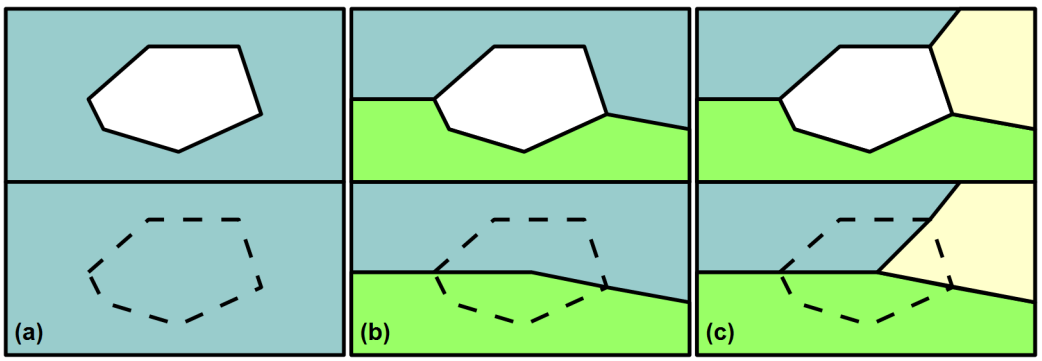

Figure 4 : Deuxième étape de la méthode de généralisation : trois stratégies différentes pour éliminer les trous dans la couverture en fonction des classes d'occupation du sol voisines.

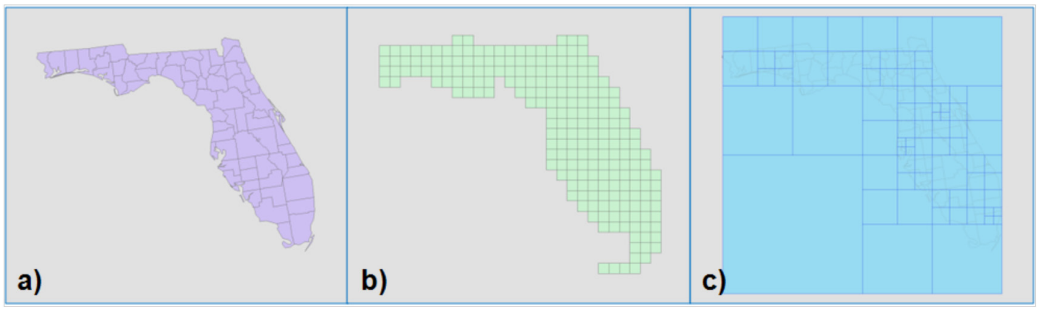

Figure 5 :

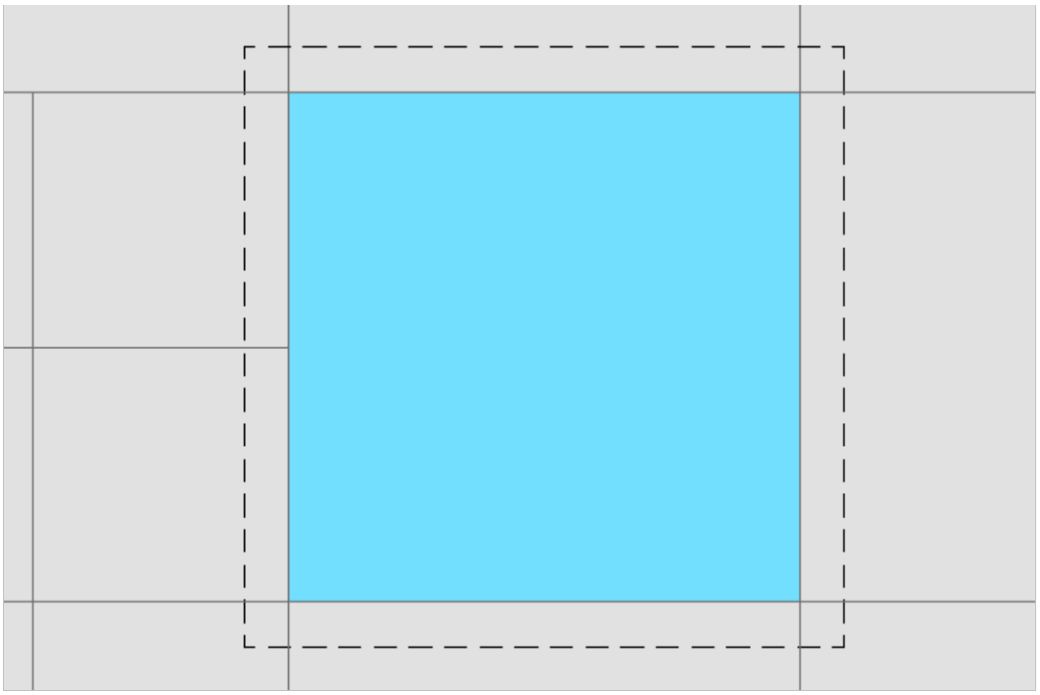

Figure 6 : Extension de la surface de partitionnement, d'après Briat et al (2011).

(fig. 4). Si jamais la couverture d'occupation du sol se matérialise sous forme d'une couverture incomplète, une classe vide est temporairement créée. Ainsi, trois catégories de trous sont ensuite différenciées et traitées spécifiquement:

- les trous localisés entièrement dans un polygone sont bouchés et affectés à la classe d'occupation du sol du polygone qui les entoure (a).
- les trous localisés à la bordure entre deux polygones de classes différentes sont divisés en deux parties (en utilisant le squelette du polygone) et chaque partie est affectée à la classe d'occupation du sol voisine (b).
- les trous localisés à la frontière avec plus de deux polygones sont divisés selon le nombre de polygones voisins (en utilisant une partition calculée par le biais d'une triangulation autour du centroïde de polygone), et chaque portion est affectée à la classe voisine partageant la plus longue frontière commune (c).

Une fois que l'ensemble des trous sont éliminés de la couverture d'occupation du sol, un algorithme de simplification de contours est appliqué pour finaliser le processus de généralisation. Pour l'instant, l'algorithme de filtrage de Douglas et Peucker (1973) est utilisé.

Lorsque l'occupation du sol est appliquée sur de grandes zones, la méthode présentée dans cette section peut s'avérer très consommatrice de temps, voire même faire face à des problèmes de limitation de mémoire. Pour éviter ces problèmes, une méthode de partitionnement de la couverture est proposée dans la section suivante.

Partitionnement pour gérer la généralisation sur de grandes zones

Afin de gérer la généralisation de l'occupation du sol sur de grandes zones avec le *ScaleMaster 2.0*, une méthode de partitionnement de la zone d'étude peut être opérée préalablement. Différentes méthodes peuvent être exploitées afin de gérer un partitionnement, mais elles rencontrent toutes des problèmes d'incohérence lors de l'union des partitions.

Le partitionnement peut être réalisé en utilisant différentes méthodes, comme proposé dans des études précédentes (Briat et al., 2011) illustrées en figure 5 : en utilisant une couche de délimitation (a), un carroyage régulier (b) ou bien une structure en *quad-tree* (c).

Mais d'autres méthodes de partitionnement peuvent être utilisées à partir de données externes, ou pas. Par exemple, le modèle *Collagen* (Touya, 2011) propose une méthode de partitionnement en utilisant des délimitations qui ont une signification géographique (zones urbaines ou suburbaines, de montagne, ou rurales...). D'autres méthodes de partitionnement, basées sur le réseau routier (Ruas et Plazanet, 1996) ou sur les réseaux routiers et hydrographiques (Duchêne, 2012) ont également été proposées. Ces exemples montrent qu'aucune méthode ne peut être considérée comme étant plus efficace, étant donné qu'elles dépendent toutes du volume maximum d'objets tolérés en mémoire, ou du temps de calcul accepté pour procéder au traitement de la couverture entière.

La méthode de partitionnement à partir d'un carroyage régulier peut être considérée comme la plus simple à implémenter, mais ceci suppose de définir la taille appropriée des carreaux afin de ne pas excéder le nombre maximal d'objets tolérés en mémoire. La méthode de partitionnement utilisant une structure en *quad-tree* peut s'avérer pertinente dans ce contexte, car elle garantit une quantité tolérée d'objets dans chaque tuile, ainsi qu'un plus petit nombre d'entre elles. Mais cette méthode peut s'avérer plus délicate à mettre en œuvre, notamment en ce qui concerne la cohérence de l'union des classes d'occupation du sol traitées indépendamment dans chaque partition.

En effet, une fois le partitionnement réalisé et le traitement de chaque partition opéré, la question de la cohérence de l'union des classes d'occupation du sol traitées séparément doit être résolue. Pour anticiper ce problème, une extension de chaque partition peut être effectuée, comme proposé par Briat et al. (2011) et illustré en figure 6, afin de générer un double recouvrement des objets localisés en bordure de chaque carreau, et ainsi faciliter leur jointure avec les objets voisins. Mais la question du paramétrage de cette extension doit également être résolue.

Une autre méthode propose d'identifier préalablement les objets localisés en bordure de partition, et de procéder à des méthodes spécifiques *a posteriori* afin de gérer la cohérence entre les objets traités séparément dans chaque partition.

Dans le cadre proposé pour généraliser les couvertures d'occupation du sol avec le *ScaleMaster 2.0*, la méthode de partitionnement basée sur un carroyage régulier a été choisie, du fait de sa facilité d'implémentation. La question de la cohérence de l'union entre classes traitées dans des partitions voisines demeure un problème à résoudre. Ainsi, pour gérer transitoirement ce problème, nous proposons, comme exposé dans la section précédente, de préserver les petits polygones (potentiellement éliminés) localisés en bordure de partition, considérant que ceux-ci peuvent potentiellement faire partie d'une plus grande zone d'occupation du sol, de taille supérieure à la surface minimale de préservation. Cette solution suppose de développer des méthodes *a posteriori* pour gérer le cas de ces polygones voisins, mais celles-ci n'ont pas encore pu être implémentées au sein de cette proposition.

Formalisation au sein du ScaleMaster 2.0

L'algorithme de généralisation de l'occupation du sol et la méthode de partitionnement ont été intégrés dans la librairie CartAGen (Renard et al., 2010), afin d'être utilisés au sein du modèle *ScaleMaster 2.0*. Pour formaliser le paramétrage du modèle, les fichiers d'interface *ScaleMaster.xml* et *Parameters.xml* ont été adaptés afin de gérer les règles spécifiques de généralisation pour chaque classe d'occupation du sol, ainsi que le partitionnement de la couverture.

La méthode proposée formalise donc pour chaque classe d'occupation du sol deux paramètres : une option de fusion avec une autre classe (pour simplifier le schéma de données) et un seuil de surface minimale (afin d'éliminer les petits polygones). Ces paramètres doivent être définis pour chaque gamme d'échelle du fichier *ScaleMaster.xml*, si la généralisation doit être réalisée à différentes échelles. Un seuil supplémentaire pour la simplification de contours doit également être défini pour la totalité de la couverture d'occupation du sol (c'est à dire que les contours de toutes les classes d'occupation du sol sont simplifiés de la même manière).

En figure 7, deux classes d'occupation du sol sont présentées avec leurs paramètres de simplification à la gamme d'échelles 1:50 000 – 1:150 000. Dans cet exemple, les lacs d'une superficie inférieure à 100 000 m² et les zones urbaines d'une superficie inférieure à 200 000 m² sont éliminés. Le paramètre de simplification de contours est uniquement spécifié pour les lacs, mais est appliqué pour l'ensemble des classes d'occupation du sol.

Pour gérer la généralisation de l'occupation du sol sur de grandes zones, l'option de partitionnement basée sur un carroyage régulier est intégrée au sein du fichier *Parameters.xml*. En figure 8, la généralisation est réalisée à l'échelle 1:100 000, en utilisant un partitionnement de la couverture à l'aide d'un carroyage régulier de 0.2 degrés décimaux de résolution (dans le système de coordonnées géographiques WGS84).

Finalement, d'un point de vue fonctionnel, le processus de généralisation de l'occupation du sol s'opère selon les étapes suivantes : 1. Partitionnement de la couverture d'occupation du sol (si nécessaire), 2. Fusion des classes (si nécessaire), 3. Conversion de la couverture en carte topologique, 4. Élimination des petits polygones, 5. Application de l'algorithme de simplification des contours. La section suivante présente une expérimentation de la méthode proposée.

Expérimentations

La méthode de généralisation de l'occupation du sol ainsi proposée est expérimentée sur deux études de cas : une couverture d'occupation du sol dans la région de Dakar (Sénégal) et une carte des fonds sédimentaires au large des côtes de Bretagne (France).

La première expérimentation est réalisée sur une couverture d'occupation du sol composée de 12 classes dans la région de Dakar, extraite d'un jeu de données ayant une échelle caractéristique de représentation de l'ordre du 1:50 000. Les échelles de sortie sont le 1:100 000 et le 1:200 000, avec une simplification de contours paramétrée respectivement à 20 et 30 mètres en utilisant l'algorithme de filtrage de Douglas et Peucker (1973). Les seuils de surface minimale utilisés pour chaque classe d'occupation du sol sont présentés en table 1.

	Surfaces minimales (en m²)	
	1:100 000	1:200 000
Rivières surfaciques	100 000	200 000
Lacs	100 000	200 000
Zones urbaines	200 000	300 000
Carrières	300 000	400 000
Zones boisées	300 000	400 000
Surfaces en herbe	300 000	400 000
Zones de culture	300 000	400 000
Retenues d'eau	100 000	200 000
Zones de fourrés	300 000	500 000
Marécages	300 000	500 000
Sols nus	300 000	500 000
Mer	300 000	500 000

Table 1 : Surfaces minimales utilisées pour la généralisation de l'occupation du sol dans la région de Dakar.

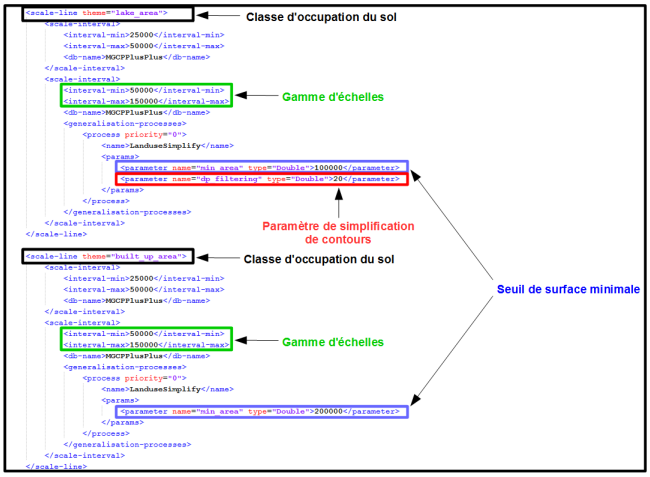

Figure 7 : Formalisation des règles de généralisation pour chaque classe d'occupation du sol au sein du fichier ScaleMaster.xml.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<PEA-REP-generalisation-DV1-parametres>
    <echelles-sortie>
        <echelle>100000</echelle>
    </echelles-sortie>
    <BDs-entree>
        <BD>
            <nom>MGCPPlusPlus</nom>
            <chemin>C:\ScaleMaster\Data\Senegal\MGCP\</chemin>
            <partition-size>0.2</partition-size>
        </BD>
    </BDs-entree>
</PEA-REP-generalisation-DV1-parametres>
```

Échelle en sortie

Résolution du carroyage

Figure 8 : Paramétrage de l'option de partitionnement de la couverture à partir d'un carroyage régulier dans le fichier Parameters.xml.

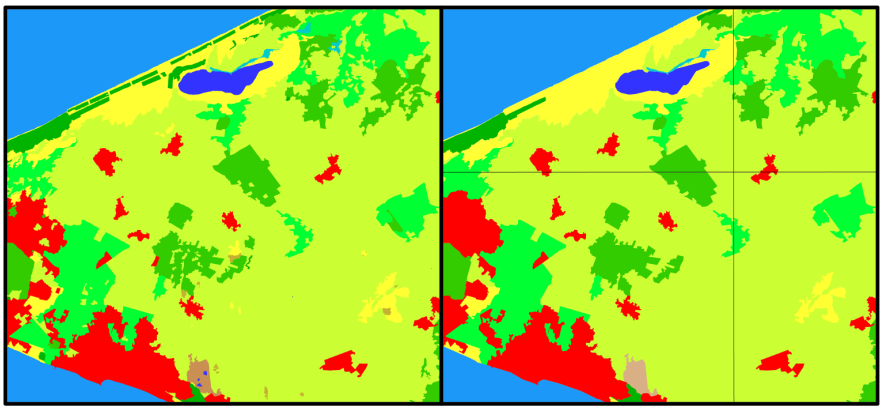

Figure 9 : Le jeu de données original (à gauche) et la couverture d'occupation du sol dérivée à l'échelle 1:100 000 (à droite) dans la région de Dakar (avec les limites de partitions représentées).

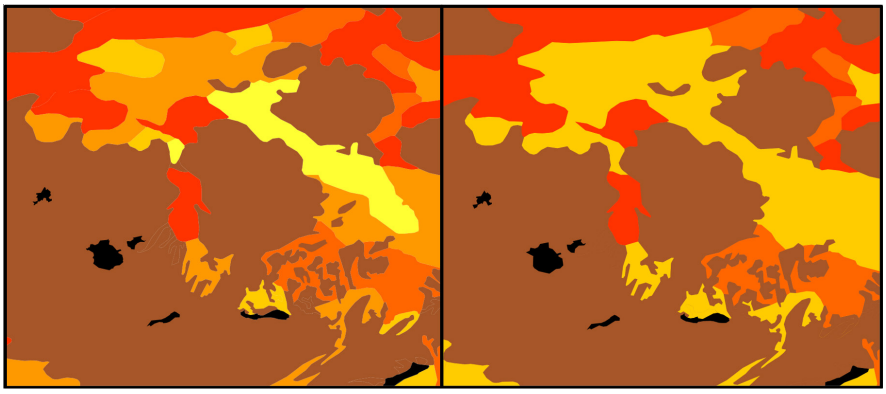

Figure 10 : Résultats de la généralisation des cartes sédimentologiques au large des côtes de Bretagne aux échelles 1:100 000 (à gauche) et 1:200 000 (à droite).

Les résultats de la généralisation de l'occupation du sol à l'échelle 1:100000 sont présentés en figure 9. Ces résultats montrent que la formalisation de seuils appropriés de surface minimale et de simplification de contours permet de produire des résultats intéressants dans le but de générer des *continuums* cartographiques, en plus d'un temps de calcul satisfaisant en utilisant l'option de partitionnement de la couverture. Malgré tout, la définition des paramètres de ces règles de généralisation demeure une tâche délicate, selon le jeu de données traité, son contexte géographique, et le point de vue de la carte.

Pour illustrer le processus de généralisation sur un autre type de données catégorielles, la seconde expérimentation est réalisée sur un jeu de données des fonds sédimentaires au large des côtes de Bretagne (à l'échelle 1:50 000). Les échelles de dérivation en sortie sont le 1:100 000 et le 1:200 000, avec une simplification de contours paramétrée respectivement à 20 et 30 mètres en utilisant l'algorithme de filtrage de Douglas et Peucker (1973). Les seuils de surface minimale et les options de fusion pour chaque classe sédimentologique sont définis dans la table 2.

Les résultats de l'expérimentation sur le jeu de données de fonds sédimentaires au large des côtes de Bretagne sont exposés en figure 10. Nous pouvons observer qu'en utilisant des règles de généralisation appropriées sur les géométries et le schéma de données, combinées avec des symbologies adaptées, des transitions fines peuvent être générées entre des représentations intermédiaires afin de créer des *continuums* cartographiques. Ceci montre qu'un système de généralisation basé sur le *ScaleMaster 2.0* est capable de générer des résultats proches des représentations continues de données catégorielles du *tGAP* (van Oosterom et al, 2014).

Conclusion et perspectives

Cet article a permis de présenter un cadre formel pour gérer la généralisation multi-échelles de l'occupation du sol au sein du modèle *ScaleMaster 2.0*. Ce travail peut être considéré comme une contribution préliminaire dans le but de formaliser des règles de dérivation de données catégorielles à des échelles intermédiaires, et ainsi créer des *continuums* cartographiques. Les deux expérimentations réalisées montrent des résultats encourageants afin de dériver des couvertures d'occupation du sol intermédiaires à partir d'une base de données multi-représentations, avec un temps de calcul acceptable à l'aide de l'option de partitionnement. Malgré tout, de nombreuses améliorations doivent être réalisées, notamment en ce qui concerne la cohérence entre partitions voisines de la couverture d'occupation du sol, à l'aide d'opérations *a posteriori* déjà mentionnées dans cet article, mais qui n'ont pas encore été implémentées au sein du modèle. De plus, l'intégration d'opérations de généralisation supplémentaires (comme par exemple l'amplification de polygones, ou le calcul de squelettes) déjà implémentées au sein du *ScaleMaster 2.0* devrait être ajoutée au processus général de généralisation de l'occupation du sol. Enfin, la préservation de la cohérence avec des niveaux de détail inférieurs, comme proposé dans Girres et Touya (2014), ou avec d'autres thèmes généralisés (comme les réseaux routiers ou hydrographiques par exemple) devrait être étendue aux données catégorielles dans le but de proposer des *continuums* cartographiques cohérents d'occupation du sol.

	Surfaces minimales (en m²)	
	1:100 000	1:200 000
Pierres	100 000	200 000
Galets	200 000	400 000
Galets-Graviers	200 000	Fusion avec Galets
Graviers	200 000	400 000
Sable	200 000	400 000
Sable fin	200 000	Fusion avec Sable
Sable-Graviers	200 000	Fusion avec Sable
Terre ferme	50 000	100 000

Table 2 : Surfaces minimales et fusions de classes utilisées pour la généralisation des cartes sédimentologiques au large des côtes de Bretagne.

Bibliographie

Brewer C.A., Buttenfield B., 2007, « Framing guidelines for Multi-Scale map Design using databases at multiple resolutions », *Cartography and Geographic Information Science*, n°34(1), p.3-15

Briat M.-O., Monnot J.-L., Punt E., 2011, « Scalability of contextual generalization processing using partitioning and parallelization », *Proceedings of the 14th Workshop of the ICA commission on generalization and Multiple Representation*, Paris, France.

Douglas D., Peucker T., 1973, « Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature », *The Canadian Cartographer*, n°10 (2), p.112–122.

Duchêne C., Ruas A., Cambier C., 2012, « The CartACom model: transforming cartographic features into communicating agents for cartographic generalization », *International Journal of Geographical Information Science*, n°26 (9), p. 1533-1562.

Galanda M., Weibel R., 2002, « An agent-based framework for polygonal subdivision generalization », dans Richardson D., van Oosterom P., dir., *Advances in spatial data handling, 10th international symposium on spatial data handling*, Springer , p. 121-136.

Girres J-F., Touya G., 2014, « Cartographic generalization Aware of Multiple Representations », *Proceedings of the 8th International Conference on Geographic Information Science*, Vienna, Austria.

Haunert J.H., Wolff A., 2010, « Area aggregation in map generalization by mixed-integer programming », *International Journal of Geographical Information Science*, n°24(12), p.1871–1897.

Le Men H., 1996, « Généralisation cartographique pour l'occupation du sol : application au passage v1 à v2 pour la BD carto », *Revue Internationale de Géomatique*, n°6(2-3), p.227-248.

Renard J., Gaffuri J., Duchêne C., 2010, « Capitalisation problem in research - example of a new platform for generalization: CartAGen », *Proceedings of the 12th ICA Workshop on generalization and Multiple Representation*, Zürich, Switzerland.

Revell P., 2007, « Automated generalization and representation of ordnance survey polygonal landcover data at 1:10 000 scale », *Proceedings of ICC2007, the International Cartography Association Conference*.

Ruas A., Lagrange J.-P., 1995, « Data and knowledge modelling for generalization », dans Müller J. C., Lagrange J.-P., Weibel R., dir., *GIS and generalization: methodology and practice*, London, Taylor & Francis, p. 73-90.

Ruas A., Plazanet C., 1996, « Strategies for automated map generalization », *Proceedings of the 7th International Symposium on Spatial Data Handling (SDH'96)*, Delft, Netherlands, p. 319-336.

Touya G., Girres J.-F., 2013, « ScaleMaster 2.0: a ScaleMaster Extension to Monitor Automatic Multi-Scales Generalizations », *Cartography and Geographic Information Science*, n°40(3), p. 192–200

Touya G., Girres J.-F., 2014, « ScaleMaster 2.0: Generalising Unusual Map Themes from OpenStreetMap », *Proceedings of 17th ICA Workshop on generalization and Multiple Representation*, Vienna, Austria.

Touya G., 2011, *Le modèle Collagen. Collaboration de processus automatiques pour la généralisation cartographique des paysages hétérogènes*, Thèse de doctorat, Université Paris-Est.

Van Oosterom P., 1995, « The GAP-tree, an approach to 'on the fly' map generalization of an area partitioning », dans Müller J. C., Lagrange J.-P., Weibel R., dir., *GIS and generalization: methodology and practice*, London, Taylor & Francis, p. 120–132.

Van Oosterom P., Meijers M., Stoter J., Šuba R., 2014, « Data structures for continuous generalisation: tGAP and SSC », dans Burghardt D., Duchêne C., Mackaness W., dir., *Abstracting Geographic Information in a Data Rich World*, Springer International Publishing, p. 83-117.

Yaolin L., Molenaar M., Ai T., 2003, « Categorical database generalization aided by data model », In *Proceedings of the 21st International Cartographic Conference : Cartographic Renaissance*, Durban, South Africa, p. 2308-2318.