



HAL
open science

CollaGen Collaboration entre des processus de généralisation cartographique

Guillaume Touya

► **To cite this version:**

Guillaume Touya. CollaGen Collaboration entre des processus de généralisation cartographique. Cartes & géomatique, 2012, 211, pp.33-46. hal-02297739

HAL Id: hal-02297739

<https://hal.science/hal-02297739v1>

Submitted on 26 Sep 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.

CollaGen

Collaboration entre des processus de généralisation cartographique

Par Guillaume Touya

Institut Géographique National – Laboratoire COGIT
73 avenue de Paris, 94165 Saint-Mandé Cedex France
Courriel: prénom.nom@ign.fr

La généralisation cartographique a pour objectif de simplifier l'information géographique d'une base de données pour produire une carte lisible à plus petite échelle. Depuis une vingtaine d'années, la recherche en généralisation a permis le développement de nombreux processus automatique de généralisation cartographique, chacun étant plus ou moins spécialisé pour un problème particulier : un type de paysage comme les zones urbaines, un thème de données comme l'occupation du sol, un conflit cartographique comme la superposition de symboles linéaires ou un mélange des trois. Cet article propose un modèle, CollaGen, pour réaliser une généralisation collaborative, c'est-à-dire une collaboration entre plusieurs processus automatiques pour traiter tous les problèmes posés par une carte à généraliser. CollaGen permet de découper les données en espaces géographiques et de déterminer le meilleur processus pour la généralisation de chacun des espaces. L'application des processus sur les espaces est orchestrée automatiquement. L'interopérabilité entre les processus est gérée grâce à des contraintes formelles et les effets de bord sont corrigés après chaque généralisation d'un espace. Des résultats du prototype de CollaGen sont présentés et discutés.

1. Contexte et objectifs

La généralisation cartographique a pour objectif de simplifier l'information géographique pour produire des cartes lisibles à des échelles réduites. L'automatisation de la généralisation cartographique permettrait de faciliter et d'accélérer la production de cartes en séries (comme celles de l'IGN) mais cela permettrait aussi de réaliser des cartes "à la carte" de meilleure qualité. Durant les vingt dernières années, la recherche en généralisation a travaillé sur le développement de nombreux et différents processus de généralisation automatiques. (Barrault *et al*, 2001; Harrie et Sarjakoski, 2002; Duchêne, 2004; Bader *et al*, 2005; Haunert, 2007) sont un petit échantillon des processus de généralisation cartographiques existants.

Si de nombreux processus différents ont été développés ces dernières années, cela est dû à l'impossibilité de résoudre complètement la généralisation d'une carte avec un seul de ces processus. En effet, chacun des processus n'est complètement adapté qu'à une partie plus ou moins restreinte du problème de la généralisation. Certains processus sont bien adaptés à des paysages spécifiques: AGENT (Ruas, 1999; Barrault *et al*, 2001) a été conçu pour la généralisation urbaine alors que GAEL (Gaffuri, 2007) peut être spécialisé pour gérer les paysages montagneux. De plus, certains ne sont pertinents que pour la généralisation d'un thème de données spécifique: (Haunert, 2007) est dédié à la généralisation de la couche d'occupation du sol par exemple. En outre, certains ne sont adaptés qu'à la résolution d'une petite partie des conflits de lisibilité causés par le changement d'échelle: par exemple, le processus par recuit simulé de (Ware *et al*, 2003) est dédié à la résolution de conflits de proximité entre objets cartographiques. Enfin, certains sont des mélanges de ces trois cas: le processus « Elastic Beams » (Bader *et al*, 2005) est pertinent pour résoudre les conflits de superposition entre routes (*thème et conflit*).

Que ce soit la production de cartes en série ou la conception de cartes « à la carte », il est nécessaire de pouvoir généraliser différents types de paysages, de thèmes et de résoudre différents types de

conflits, ce qui n'est pas possible en n'utilisant qu'un seul des processus existant. Au lieu de développer un nouveau processus automatique capable de gérer cette diversité de problèmes, ce qui nous paraît peu réalisable, l'objectif de notre travail de recherche est de tirer parti des processus existants en les utilisant conjointement. Nous proposons un nouveau cadre de travail, la *Généralisation collaborative* (GC), permettant à des processus de collaborer pour généraliser correctement une carte complète.

La deuxième partie de cet article décrit l'approche GC et le modèle CollaGen que nous avons développé en suivant cette approche. La troisième partie présente des résultats de cartes généralisées automatiquement à l'aide d'un prototype de CollaGen. La quatrième partie conclut l'article et présente des perspectives.

2. Approche et méthodologie

2.1. Généralisation collaborative

La recherche en généralisation cartographique a d'abord tenté de répondre aux questions "pourquoi, quand et comment généraliser?" (McMaster et Shea, 1988; Brassel et Weibel, 1988). En s'inspirant de (Regnauld, 2007) et (Duchêne et Gaffuri, 2008), l'approche GC vise à répondre à la question pourquoi, quand et comment appliquer quel processus automatique? Dans cette approche, les processus de généralisation sont appliqués sur des parties des données pour lesquelles ils sont supposés être efficaces alors que des effets de bord sont éventuellement gérés au voisinage de la partie généralisée (Figure 1).

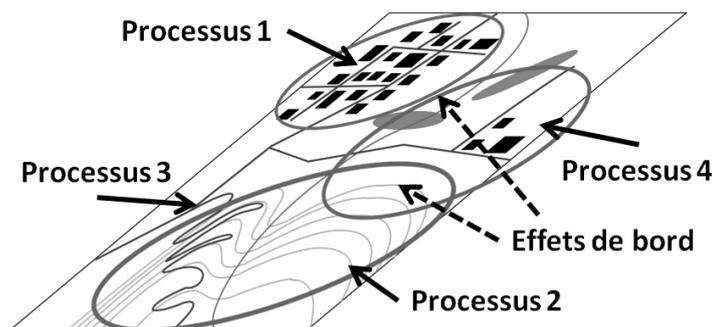


Figure 1 : principes de la collaboration entre processus. Le processus 1 est utilisé sur la zone urbaine, le processus 2 sur la zone rurale, et le processus 3 sur la zone de montagne et enfin le processus 4 sur le réseau routier. Des effets de bord sont corrigés au voisinage (tirets) des zones généralisées.

2.2. Vue d'ensemble des composants de la généralisation collaborative

Généraliser une carte en suivant l'approche GC entraîne des problèmes spécifiques comme l'interopérabilité des processus, l'homogénéité de traitement sur toute la carte ou les effets de bord (Touya, 2008). L'analyse fonctionnelle de cette approche montre six composants principaux et trois groupes de ressources (Figure 2). Le composant de *découpage* construit les *espaces géographiques* sur lesquels sont appliqués les *processus disponibles*. Le composant de *traduction* détermine les paramètres des processus. Le *registre* choisit le processus le plus adapté pour généraliser un espace donné. Le composant d'*observation* fournit des mécanismes d'évaluation en ligne du système. Les *effets de bord* sont gérés par le composant éponyme. Enfin, le composant d'*orchestration* permet de choisir à tout moment le prochain espace à généraliser.

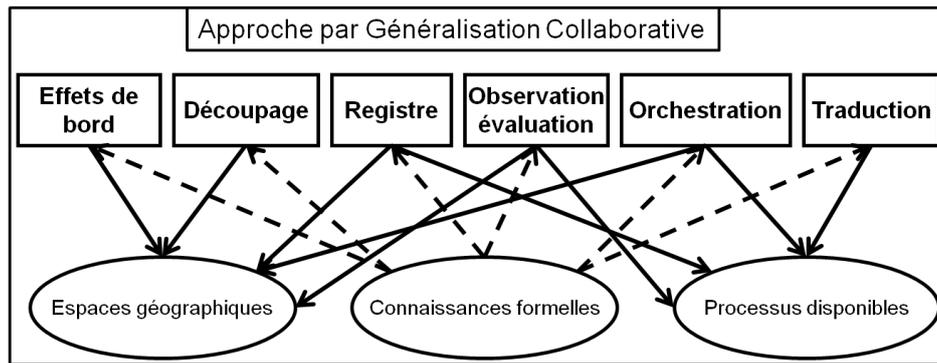


Figure 2 : Les composants (rectangles) et les ressources (ellipses) de l'approche par généralisation collaborative et les actions des composants sur les ressources (flèches). Les flèches-tirets montrent que les connaissances formelles sont utilisées par chacun des composants.

En suivant l'approche GC, nous avons construit le modèle CollaGen (pour Collaborative Generalisation), qui intègre tous les aspects décrits en Figure 2. Les parties suivantes de l'article décrivent comment chaque aspect est géré dans CollaGen.

2.3. Le modèle CollaGen

2.3.1. Des processus de généralisation automatique disponibles

La GC cherche à faire collaborer plusieurs processus pour optimiser la généralisation d'une carte complète. Nous considérons, donc, comme processus disponible, tout processus de généralisation pouvant être exécuté sur des données géographiques depuis la plateforme logicielle sur laquelle est développé CollaGen. Un processus est un programme informatique qui déclenche automatiquement un ou plusieurs opérateurs de généralisation (e.g. simplification, déplacement...) sur des objets géographiques. Par exemple, dans CollaGen, développé sur notre plateforme de recherche (Renard *et al*, 2010), AGENT (Ruas, 1999), CartACom (Duchêne, 2004), GAEL (Gaffuri, 2007), le processus par moindres carrés de (Harrie et Sarjakoski, 2002) ou un processus de sélection des routes sont implémentés et donc disponibles pour la collaboration. Les processus publiés par services web (Regnaud, 2007; Neun *et al*, 2008) pourraient aussi être considérés comme des processus disponibles.

2.3.2. Les espaces géographiques

Nous définissons les espaces géographiques comme des extraits des données pouvant être pertinents pour l'utilisation d'un processus de généralisation (Touya, 2010). L'utilisation d'espaces géographiques dans CollaGen est utile pour optimiser l'utilisation des processus existants mais aussi pour découper les données et ainsi éviter le traitement de jeux de données trop volumineux par les processus. Les espaces géographiques (Figure 3) peuvent être territoriaux (e.g. zone urbaine ou rurale), thématique (e.g. le réseau routier ou la végétation) ou un mélange des deux (par exemple, les routes de montagne).

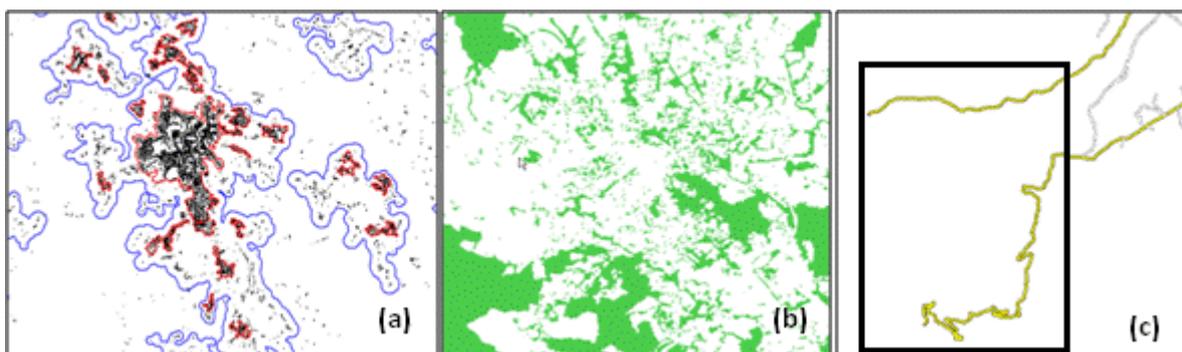


Figure 3 : (a) bâtiments en noir, zones urbaines en rouge et périurbaine en bleu. (b) espace thématique « végétation » sur la même zone. (c) un espace de routes de montagne (dans le rectangle).

On peut noter qu'avec une telle définition, les espaces géographiques ne forment pas une partition mathématique de l'espace et peuvent donc se superposer. Les espaces peuvent aussi être découpés en plusieurs parties plus petites pour éviter qu'ils ne contiennent trop d'objets et minimiser le temps de calcul de chaque généralisation.

De plus, des espaces émergents peuvent être gérés par CollaGen: ce sont des sous-espaces dans lesquels la généralisation ne donne pas de bons résultats. Durant la généralisation d'un espace par un processus, le composant d'observation peut identifier des groupes de conflits (objets non lisibles proches) qui émergent comme des sous-espaces pour être généralisés par un autre processus que celui généralisant l'espace (§2.3.9).

2.3.3. Formalisation des connaissances dans CollaGen

La formalisation des connaissances en généralisation cartographique est nécessaire pour permettre la collaboration des processus. Le concepteur du système (e.g. nous sommes le concepteur de CollaGen) doit fournir une *ontologie de la généralisation* et des *règles d'orchestration*; un fournisseur de processus (celui qui rend un nouveau processus disponible dans le système) doit également fournir une *description des capacités*; l'utilisateur (celui qui généralise ses données avec CollaGen) doit fournir des *contraintes de généralisation* et des *règles opérationnelles* (Figure 4).

- L'ontologie de généralisation sert de support pour partager un vocabulaire commun entre les composants et ressources de CollaGen. L'expression des spécifications de la carte ("les bâtiments < 50 m² doivent être éliminés"), des types de données (la classe "BATIMENT") ou des paramètres des processus ("agent_building" pour le processus AGENT) manipulent le même concept de 'bâtiment' par exemple.
- Les règles d'orchestration sont des directives pour orchestrer les applications de processus sur des espaces géographiques. Comme dans le 'Global Master Plan' de (Ruas et Plazanet, 1996), ces règles permettent de formaliser qu'une 'sélection des routes' devrait être lancée avant la 'généralisation urbaine' par exemple, ou que 'zone urbaine' devraient être généralisées avant les 'zones rurales'.
- Les contraintes de généralisation et les règles opérationnelles formalisent les spécifications de la carte. Le modèle proposé synthétise les recherches passées (Beard, 1991; Stöter *et al*, 2007; Duchêne et Gaffuri, 2008) et permet d'exprimer différentes contraintes comme 'aire des bâtiments > 0.2 mm² carte', 'la densité des îlots urbains devrait être préservée' ou 'les bâtiments très concaves doivent maintenir la concavité initiale avec 10% de marge.
- La description des capacités formalise les capacités d'un processus de généralisation. Comme pour la composition de services web, les capacités sont décrites par des pré et post conditions (Lutz, 2007). Dans CollaGen, les pré-conditions sont les espaces bien traités par un processus et les post-conditions sont les contraintes satisfaites a priori après application du processus.

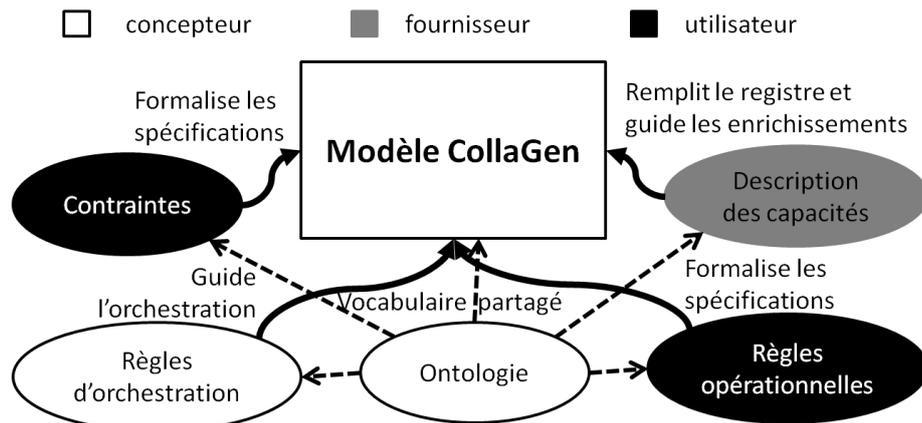


Figure 4 : Diagramme des 5 parties des connaissances formelles et leur utilisation dans CollaGen. Les flèches avec tirets montrent que l'ontologie fournit un vocabulaire partagé à autres types de connaissance.

(Touya *et al*, 2010) décrit chaque partie des connaissances formelles est modélisée dans CollaGen et comment elle peut être saisie par un utilisateur, un fournisseur ou le concepteur.

2.3.4. La chaîne de traitements de CollaGen

CollaGen propose une chaîne de traitement permettant d'enchaîner les actions des composants de la GC (Figure 5).

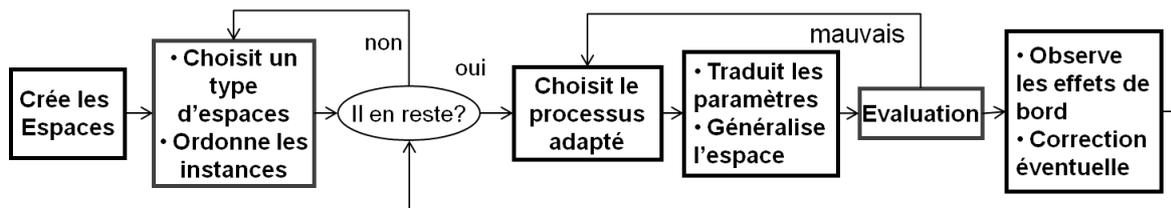


Figure 5 : Vue simplifiée de la séquence d'actions d'une généralisation par CollaGen (le mécanisme d'émergence n'est pas inclus). Chaque rectangle est l'action d'un composant.

Pour un exemple simplifié, imaginons une zone à cartographier qui est découpée (en deux espaces ruraux, un espace urbain et le réseau routier), et trois processus (AGENT, CartACom et Beams). Puis, l'espace urbain est choisi et le registre choisit AGENT. Le processus est paramétré à partir des contraintes et généralisé. La généralisation est bien évaluée et il n'y a pas d'effet de bord. Alors, le prochain type d'espace choisi est l'espace rural et les deux instances sont ordonnées. CartACom est choisi à chaque fois et généralise les deux instances correctement sans effet de bord. Enfin, les Beams généralisent l'espace restant (réseau routier) mais génère des effets de bord par superposition avec les bâtiments. Ces conflits sont donc corrigés par un processus spécifique (Moindres carrés ici) et la chaîne de traitement de CollaGen se termine. Une version implémentée de cet exemple est illustrée par un résultat en Figure 15.

2.3.5. Le composant de découpage

Le composant de découpage est responsable de la création des espaces géographiques qui enrichissent les données initiales (Touya, 2010). Le composant doit, ainsi, être alimenté en algorithmes d'analyse spatiale capables de délimiter automatiquement ces espaces à partir des données initiales. Par exemple, nous avons implémenté des algorithmes pour identifier les espaces urbain, périurbain, rural, littoral ou de montagne, parmi d'autres.

2.3.6. Le composant de traduction

Le composant de traduction fournit trois types de services (Touya *et al*, 2010) pour traduire les entrées et sorties des processus dans le format interopérable choisi : celui-ci est basé sur les contraintes formelles et l'ontologie. Tout d'abord, le traducteur permet l'interopérabilité des processus en faisant des contraintes le format pivot d'entrée et sortie des processus (Figure 6). Une fonction de traduction

est construite pour chacun des processus et transforme les contraintes dans les paramètres spécifiques de chaque processus (e.g. des seuils numériques pour la sélection des cours d'eau, des contraintes dans un formalisme spécifique pour AGENT ou CartACom, des équations sur les coordonnées des objets pour les moindres carrés ou encore, des attributs additionnels pour les Beams).

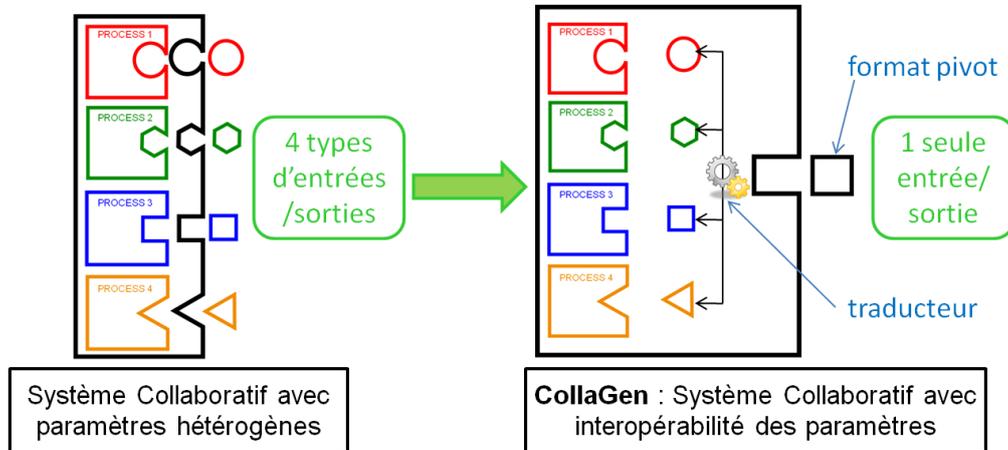


Figure 6 : CollaGen permet l'interopérabilité des processus grâce à un format pivot et un traducteur.

Le traducteur permet également l'annotation sémantique (Lemmens, 2008) des données initiales avec les concepts de l'ontologie correspondant : un appariement est réalisé entre la classe "IGN_BUILDING" et le concept "bâtiment" de l'ontologie par exemple (Touya *et al*, 2010). Enfin, le traducteur permet d'apparier les contraintes formelles choisies par l'utilisateur avec des algorithmes de mesure qui calculent la satisfaction courante de la contrainte pour un objet donné comme dans AGENT (Barrault *et al*, 2001). L'utilisation de ce mécanisme est plus détaillée en §2.3.9.

2.3.7. Le composant registre

Le registre agit comme un service de type pages jaunes, pour choisir le processus pertinent pour la généralisation d'un espace donné à un moment donné. A une requête du type 'Quels sont les meilleurs processus disponibles pour généraliser l'espace rural n°x?', le registre renvoie une liste of de processus applicables ordonnés par pertinence (par exemple, 'CartACom, Moindres carrés, AGENT').

Pour construire cette liste, le registre sélectionne, d'abord, les processus pertinents en fonction des pré-conditions de leur description de capacités : si la pré-condition, une liste de types d'espaces associés à un indice de pertinence (e.g. 'espace urbain à 4/5'), contient le type de l'espace faisant la requête, le processus est sélectionné; cette sélection est pondérée par l'indice de pertinence.

Dans un deuxième temps, les processus sont ordonnés en fonction des post-conditions de la description, c'est-à-dire une liste de contraintes *a priori* satisfaites après généralisation: un ratio est calculé entre les post-conditions et les contraintes effectivement à l'intérieur de l'espace (Figure 7). Le ratio pondère l'indice de pertinence précédent, ordonnant les processus.

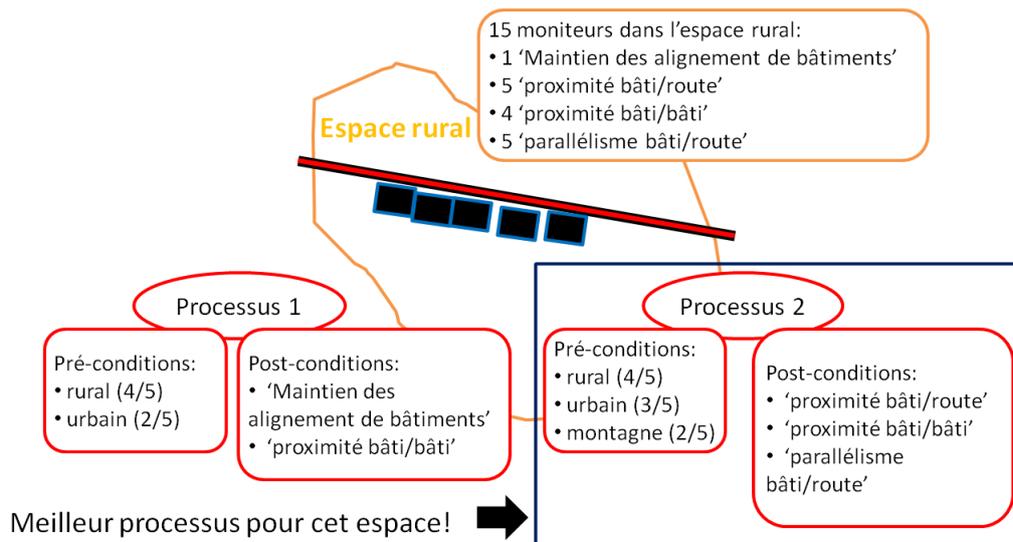


Figure 7 : Illustration de la réponse du registre en fonction des contraintes situées dans un espace: le processus 2 correspond à 14/15 contraintes contre 5/15 pour le processus 1.

2.3.8. Le composant d'orchestration

Le composant d'orchestration orchestre la généralisation des espaces par les processus. Après chaque généralisation d'un espace, le composant décide quoi faire ensuite : il choisit le prochain type d'espace géographique à généraliser et ordonne les instances de ce type d'espace. Comme dans le *Global Master Plan* de (Ruas et Plazanet, 1996) mais basé ici sur des règles, le type d'espace (urbain, rural...) est inféré à partir des règles d'orchestration choisie par l'utilisateur (voir §2.3.3). Des mécanismes d'inférence sont ensuite prévus en cas de connaissances d'orchestration incomplète (par exemple, aucune règle n'indique quel espace généraliser après les espaces ruraux). Une fois le type d'espace choisi, les instances de ce type sont ordonnées par la quantité de contraintes non satisfaites dans l'instance : les espaces contenant le plus de contraintes non satisfaites sont traités d'abord (Figure 8).

Dans CollaGen, nous considérons la généralisation comme une opération en quatre étapes : les changements d'implantation géométrique (e.g. polygone transformé en ligne), la sélection, la généralisation cartographique puis graphique (Harrie et Sarjakoski, 2002). Les processus sont décrits comme contribuant à une ou plusieurs de ces étapes et ne peuvent être employés que dans ces étapes. Les règles permettent au composant d'orchestration d'enchaîner ces étapes et les généralisations dans chacune des étapes.

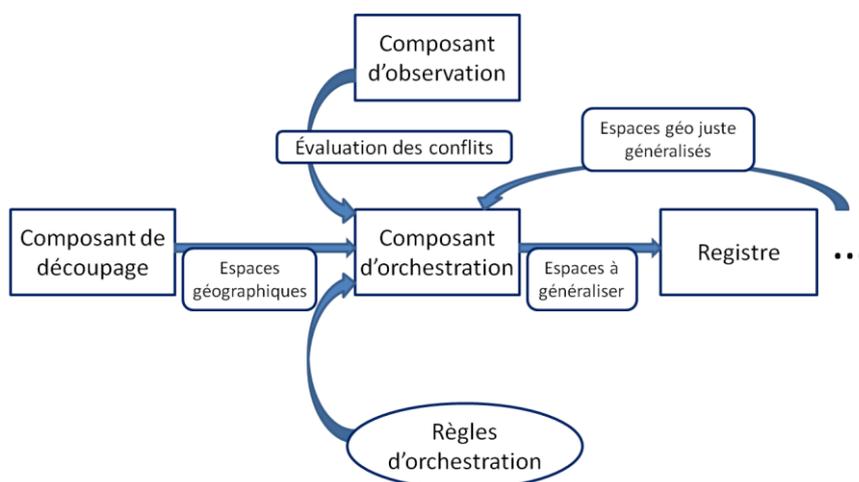


Figure 8 : Interactions du composant d'orchestration avec les autres composants et ressources de CollaGen.

En outre, le composant d'orchestration réalise la gestion des états intermédiaires des données pour permettre des corrections locales et globales (Figure 9). Quand une généralisation est évaluée comme mauvaise, le composant peut l'annuler retourner à l'état précédent. Pour permettre ce mécanisme par essai/erreur, comme dans (Zhou *et al*, 2008), l'état initial stocke les données attributaires et seule la géométrie est stockée pour les états intermédiaires eux-mêmes reliés aux couples (espace/processus) ayant créé l'état.

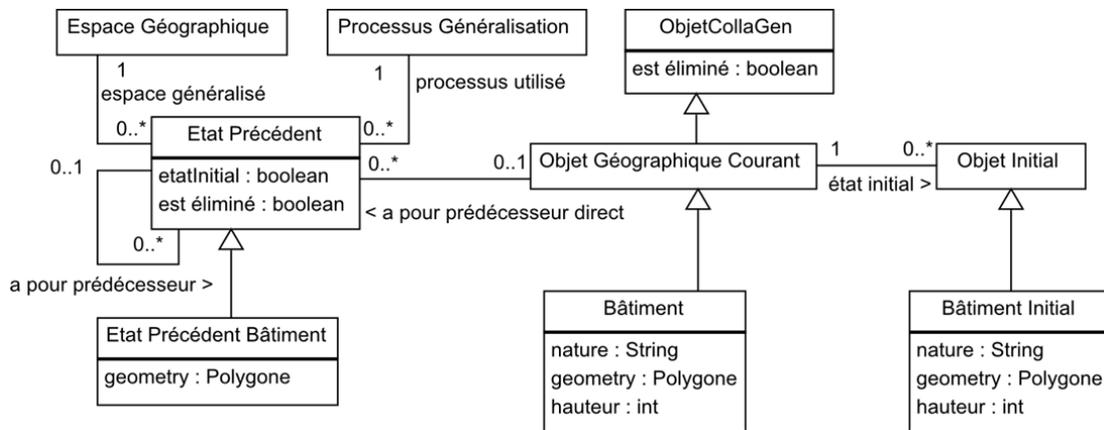


Figure 9 : Diagramme de classe UML du système de gestion des états du composant d'orchestration.

2.3.9. Le composant d'observation et d'évaluation

Généraliser un espace par le processus disponible le plus adapté ne garantit pas un succès total de la généralisation. A l'intérieur d'un espace, des groupes de conflits peuvent émerger durant la généralisation et le composant d'observation permet leur détection en tant que 'zones de conflits' (Duchêne et Touya, 2010). Ainsi, le composant observe les généralisations en ligne et évalue la progression de ces généralisations. Le composant analyse les conflits résiduels, met le processus en pause quand plusieurs conflits résiduels sont voisins, délimite les zones de conflits pour faciliter leur correction, déclenche le composant d'orchestration pour trouver un processus plus adapté localement et une fois les conflits résolus, reprend le processus interrompu là où il en était.

L'évaluation en ligne intégrée au mécanisme d'émergence, de même que l'évaluation globale d'un espace géographique après généralisation, repose sur les contraintes pour garantir une homogénéité d'évaluation pour l'ensemble des processus. Pour permettre la surveillance des contraintes sur chacune des données concernées, des **moniteurs de contrainte (MC)** sont définis sur chaque objet concerné par des contraintes : par exemple, si des contraintes de "granularité" et "taille" sont définies sur les bâtiments, des MCs de granularité et taille sont construit pour chaque bâtiment. Ces MCs sont capables d'établir la satisfaction de la contrainte pour le bâtiment donné.

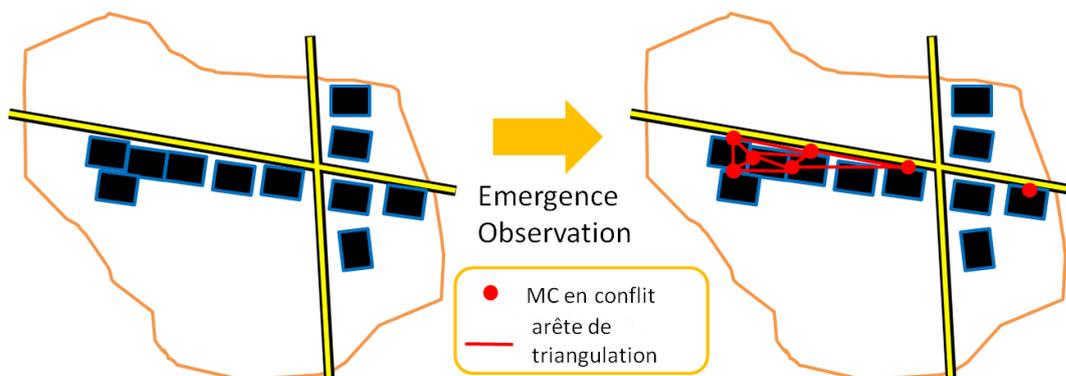


Figure 10 : Les moniteurs de contrainte (MC) en conflits sont groupés localement par triangulation ce qui permet d'observer l'émergence de 'zones de conflits'.

Les MCs possèdent une géométrie (Figure 10) qui permet le regroupement spatial nécessaire au mécanisme d'émergence. Cette géométrie permet aussi de quantifier les MCs à l'intérieur d'un espace pour évaluer globalement sa généralisation à partir de la distribution des satisfactions individuelles.

2.3.10. Le composant de gestion des effets de bord

Avec l'approche GC, généraliser un espace peut causer de nouveaux conflits à l'extérieur de l'espace: par exemple, un bâtiment est déplacé trop près d'un bâtiment juste à l'extérieur (et donc non géré durant la généralisation). Nous appelons ces nouveaux conflits des effets de bord. Afin de détecter et corriger ces effets de bord, nous définissons un voisinage pour chaque espace en fonction des relations topologiques partagées avec les autres espaces (adjacence, superposition) (Touya, 2010).

En reprenant le principe de l'évaluation par les MCs, la gestion des effets de bord est fondée sur des moniteurs de contrainte de cohérence dans chaque voisinage d'espace. Les contraintes de cohérence sont des contraintes d'intégrité qui garantissent la cohérence des données avant et après la généralisation d'un espace. Quatre types de contraintes de cohérence sont identifiés: les contraintes de relation *inter-espace*, les contraintes de relation *non-existante*, les contraintes *d'opération cohérente* et les contraintes *d'harmonie générale*.

Les contraintes de relation *inter-espace* sont des MCs relationnels (portent sur une relation géographique entre deux objets) entre un objet dans l'espace et un objet à l'extérieur de l'espace (Figure 11). La "relation de position relative" de la figure est entre un bâtiment de l'espace rural 1 et un de l'espace rural 2. La "relation d'orientation relative" est une relation inter-espace du point de vue de l'espace réseau routier (le bâtiment est à l'extérieur de l'espace) mais pas du point de vue de l'espace rural 2 car la route est dans cet espace.

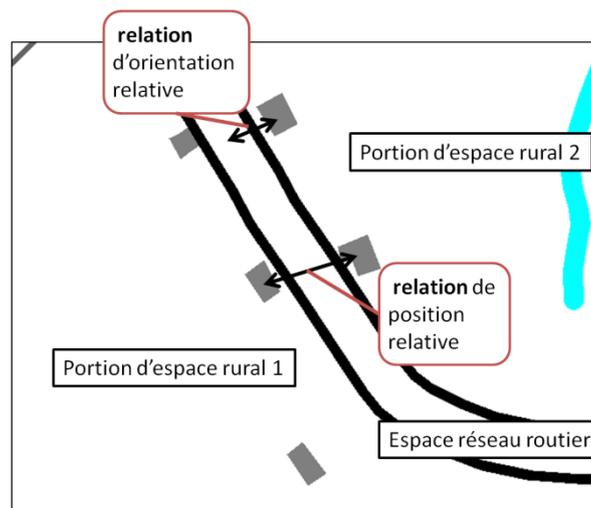


Figure 11 : 2 exemples de relation inter-espace avec deux espaces ruraux séparés par une route : une relation de position relative qui doit être préservé après la généralisation de chaque espace rural et une relation d'orientation relative (partagée entre l'espace rural 2 et le réseau routier) qui doit être préservée après généralisation du réseau routier.

Ensuite, les contraintes de relation *non-existante* vérifient qu'aucune relation inter-espace, n'existant pas initialement, n'a été créée par la généralisation.

Les contraintes *d'opération cohérente* ne concernent que le voisinage correspondant à l'intersection de plusieurs espaces. Si l'espace intersecté a déjà été généralisé, ces contraintes vérifient que la deuxième généralisation des objets dans l'intersection n'est pas incohérente avec la première. Par exemple, si un bâtiment a été déplacé dans un sens, il ne devrait pas être déplacé dans l'autre sens. Ces contraintes fonctionnent en utilisant les états intermédiaires stockés par le composant d'orchestration (voir §2.3.8).

Enfin, si des contraintes de cohérence sont violées après une généralisation, des processus de correction des effets de bord sont déclenchés. Ces processus sont paramétrés par les contraintes de cohérence comme les contraintes paramètrent les processus de généralisation. GAEL (Gaffuri, 2007), les Beams (Bader *et al*, 2005) ou les moindres carrés (Harrie et Sarjakoski, 2002) peuvent être modifiés pour corriger ces effets de bord (Figure 12 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) ainsi que les algorithmes de diffusion de déplacement (Legrand *et al*, 2005). Si aucune solution équilibrée ne peut être obtenue, le composant peut arbitrer en choisissant une solution (avant ou après généralisation) ou relâcher une contrainte moins importante comme le contrôleur de (Ruas, 2000).

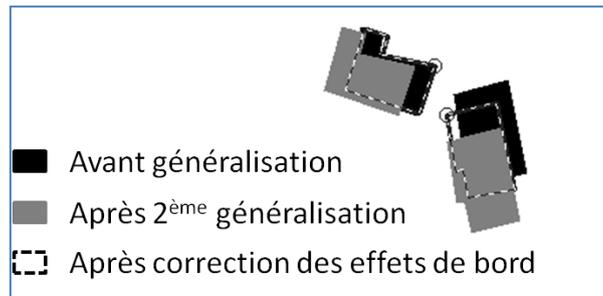


Figure 12 : Exemple de correction d'effet de bord par moindres carrés : une position moyenne entre les deux situations.

3. Résultats

Le modèle CollaGen a été implémenté dans un prototype et des expérimentations ont été réalisées sur des données de l'IGN (1:15000 d'échelle de référence) pour produire des cartes au 1 : 50000 sur une zone étendue contenant différents paysages (côte, ville, campagne, montagne). Un jeu de contraintes, issu de l'expérience de l'IGN en généralisation, est utilisé comme spécification (80 contraintes et règles). Les processus disponibles sont ceux implémentés actuellement sur la plateforme de recherche CartAGen (Renard *et al*, 2010): AGENT, CartACom, GAEL, Moindres carrés, Elastic Beams et des processus de sélection des routes. La Figure 13 montre les étapes de la généralisation d'une zone rurale: l'espace rural est généralisé par CartACom et le réseau routier par les Beams générant un effet de bord.

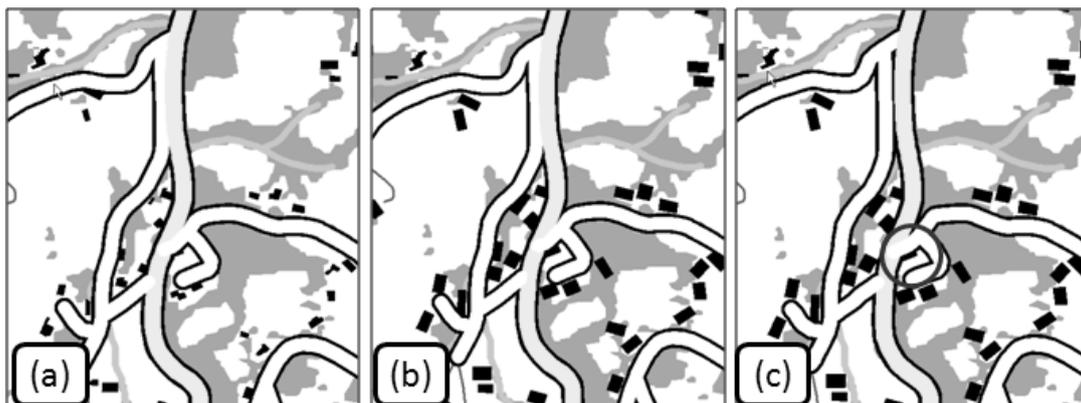


Figure 13 : (a) zone rurale initiale. (b) espace rural généralisé par CartACom. (c) Routes généralisées par les Beams avec un effet de bord sur le bâtiment entouré.

La Figure 14 montre la réponse du registre à la requête d'un espace rural à généraliser : 3 processus ont les bonnes pré-conditions et CartACom est classé premier car ses post-conditions correspondent mieux aux contraintes dans l'espace (un échantillon de 10 contraintes est utilisé ici) *a priori* (97% contre 59 pour Agent et 6% pour les Moindres carrés).

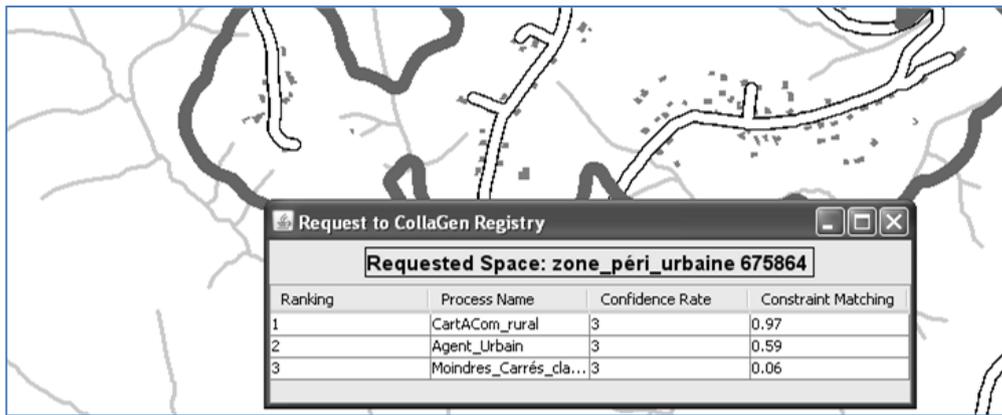


Figure 14 : Réponse du registre de l'espace rural délimité. CartACom est classé 1^{er} car il gère mieux les contraintes de l'espace qu'Agent ou le processus par moindres carrés.

La Figure 15 montre un résultat obtenu par le prototype de CollaGen (sans correction des effets de bord) sur une petite zone avec un espace urbain et plusieurs espaces ruraux.



Figure 15 : (a) données initiales symbolisées pour le 1 : 50000. (b) zone urbaine généralisée par AGENT, puis espaces ruraux généralisés par CartACom et les routes par les Beams (la zone urbaine est délimitée).

La Figure 16 illustre l'importance du choix du meilleur processus et du meilleur ordre. Les conflits restant en (2) montrent que les processus choisis ne sont pas aussi bons qu'en (3) et (4). De plus, l'ordre en (4) est meilleur qu'en (3) car il n'a pas généré d'effets de bord. Le composant d'orchestration doit donc faire attention au choix de l'ordre qu'il propose.

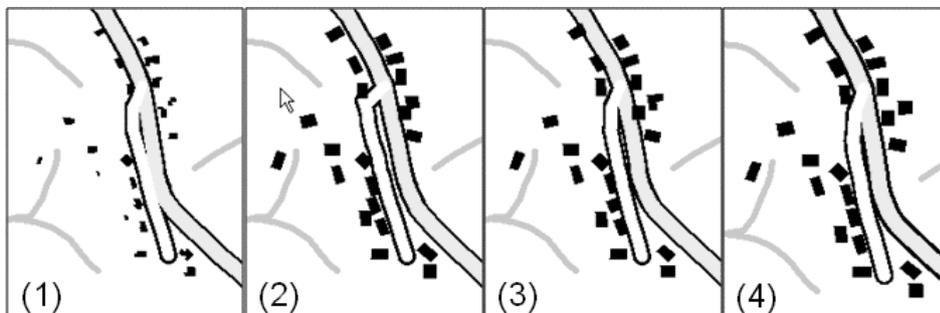


Figure 16 : Illustration de l'importance de l'ordre et du registre: (1) avant généralisation. (2) généralisation par AGENT puis moindres carrés. (3) généralisation par CartACom puis les Beams. (4) généralisation par les Beams puis CartACom.

Enfin, la Figure 17 montre l'observation de zones de conflits émergentes, dans un espace trop dense pour CartACom et la zone de conflit est corrigée par le processus par moindres carrés.

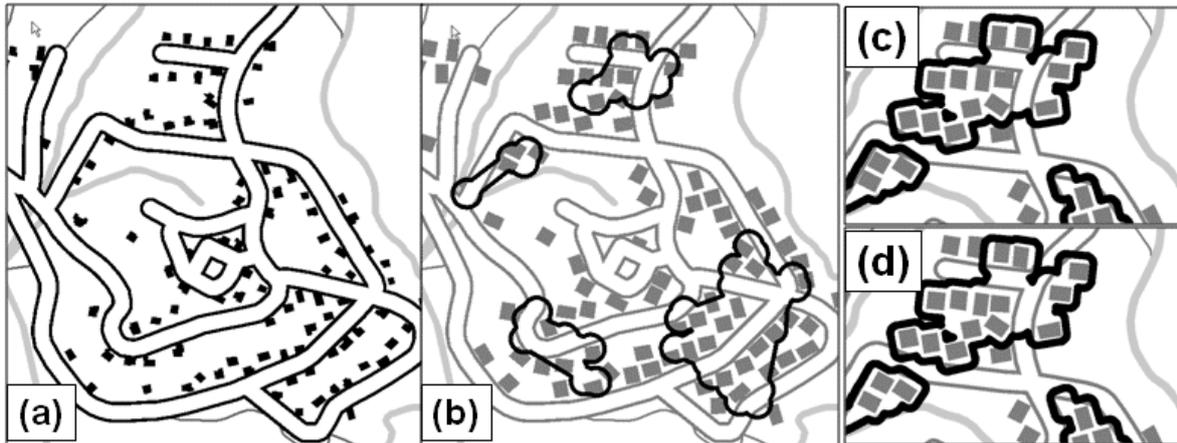


Figure 17 : Emergence de conflits dans une généralisation CartACom. (a) données initiales. (b) zones de conflits émergentes observées durant la généralisation. (c) zoom sur une zone de conflits étendue pour faciliter sa correction. (d) conflits résolus par moindres carrés.

Afin d'évaluer la contribution de CollaGen, nous avons utilisé le prototype pour généraliser les données du projet EuroSDR d'état de l'art en généralisation (Stoter *et al*, 2009) et comparé les résultats aux meilleurs obtenus durant les tests du projet avec les logiciels CPT and Clarity™ (Stoter *et al*, 2009) (Figure 18). Bien que les processus utilisés pourraient chacun être améliorés pour avoir de meilleurs résultats, la comparaison montre les avantages de CollaGen, particulièrement dans la zone périurbaine en bas à gauche, qui nécessite un traitement différent de la zone urbaine centrale.

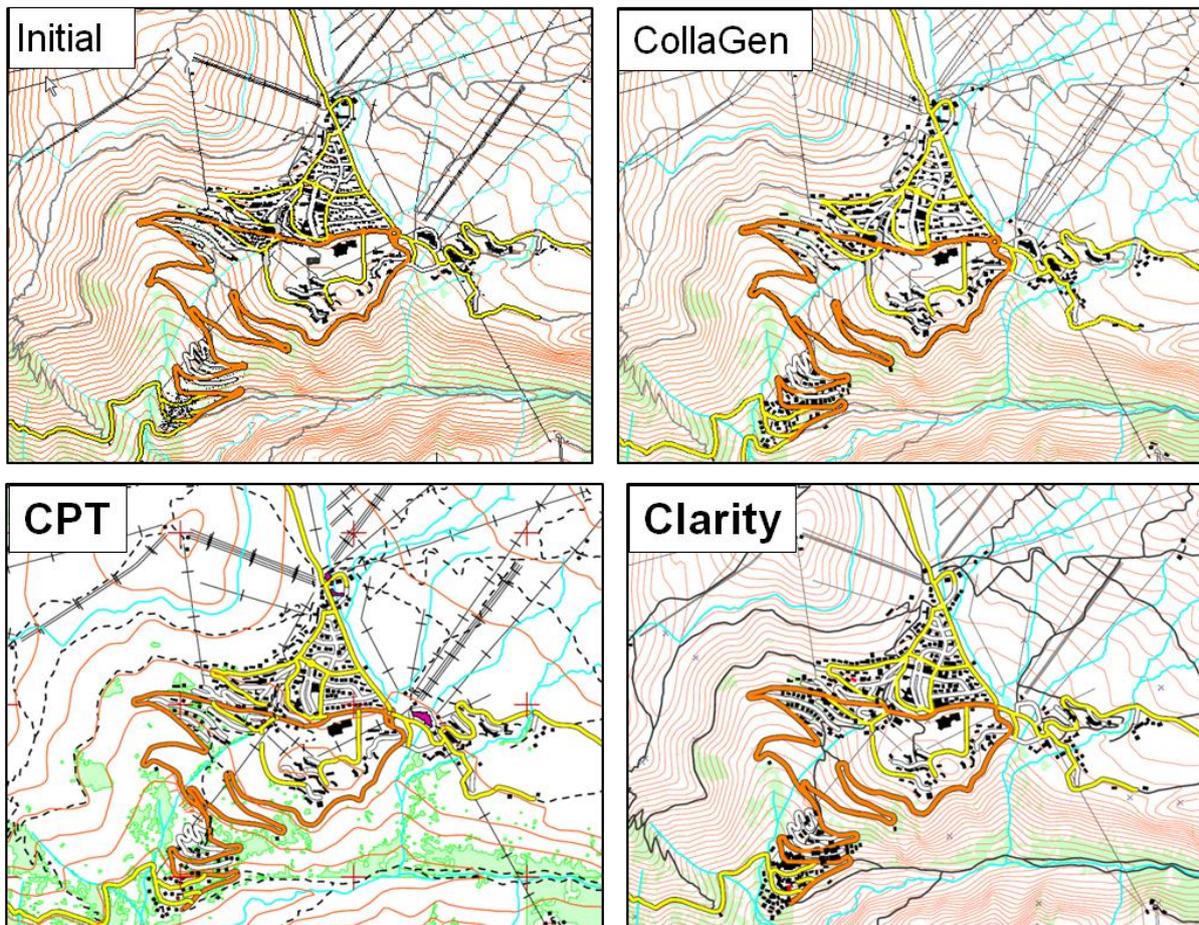


Figure 18 : Données françaises montagneuses issues des tests EuroSDR (Stoter *et al*, 2009) généralisées par CollaGen, comparées aux meilleurs résultats issus des tests.

4. Conclusion et perspectives

Cet article introduit une nouvelle approche pour réaliser une généralisation cartographique automatique en faisant une utilisation optimisée des recherches passées : la généralisation collaborative. Dans cette approche, le modèle CollaGen permet d'enchaîner des généralisations interopérables d'espaces géographiques avec le processus le plus adapté à chaque fois. Parmi les contributions de CollaGen, nous pouvons citer un modèle formel de contraintes, un registre de généralisation, un mécanisme d'orchestration automatique, une évaluation en ligne de la généralisation et des mécanismes de détection des effets de bord.

Beaucoup de travaux peuvent être fait pour améliorer CollaGen et l'approche de généralisation collaborative. La correction des effets de bord a réellement besoin d'être plus examinée pour savoir comment corriger sans défaire les généralisations précédentes. Des tests en profondeur de CollaGen (avec différentes données et pour différents sauts d'échelle) sont également nécessaires pour mieux identifier les problèmes restants. Enfin, nous souhaitons que le prototype de CollaGen soit capable d'utiliser des processus non présent sur la plateforme mais appelables par services comme dans l'approche proposée par (Regnauld, 2007).

Bibliographie

- Bader M., Barrault M., Weibel R., « Building displacement over a ductile truss », *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 19 (8), 2005, p. 915-936
- Barrault M., Regnaud N., Duchêne C., Haire K., Baeijs C., Hardy P., Mackaness W., Ruas A., Weibel R., « Integrating multi-agent, object oriented and algorithmic techniques for improved automated map generalization », *20th International Cartographic Conference*, Beijing, 2001.
- Beard K., « Constraints on rule formation », dans Buttenfield, B., McMaster, R. (eds.) *Map Generalization*, Longman, 1991, p. 121-135.
- Burghardt D., Schmid S., Stöter J., « Investigations on cartographic constraint formalisation », *10th ICA Workshop on Generalisation and Multiple Representation*, Moscow, 2007.
- Brassel K. E., Weibel R., « A review and conceptual framework of automated map generalization ». *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 2 (3), 1988, p. 229-244.
- Duchêne C., « The cartacom model: a generalisation model for taking relational constraints into account », *7th ICA Workshop on Generalisation and Multiple Representation*, Leicester, UK, 2004.
- Duchêne C., Gaffuri J., « Combining Three Multi-agent Based Generalisation Models: AGENT, CartACom and GAEL », dans Ruas, A., Gold, C. (eds.) *Headway in Spatial Data Handling, 13th International Symposium on Spatial Data Handling*. LNG&C, Springer, 2008, p. 277-296.
- Duchêne C., Touya G., « Emergence de zones de conflits dans deux modèles de généralisation cartographique multi-agents », *Journées Françaises des Systèmes Multi-Agents*, Mahdia, Tunisia, 2010, p. 33-42.
- Gaffuri J., « Field deformation in an agent-based generalisation model: the gael model », dans Probst, F., Kessler, C. (eds.) *GI-days 2007 - young researches forum*. IfGIprints 30, 2007, p. 1-24.
- Harrie L., Sarjakoski T., « Simultaneous Graphic Generalization of Vector Data Sets », *Geoinformatica*, vol.6 (3), 2002, p. 233-261
- Hauert J.-H., « Optimization methods for area aggregation in land cover maps », *23rd International Cartographic Conference*, Moscow, Russia, 2007.
- Legrand C., Duchêne C., Lecordix F., « Propagation of the displacements and deformations during a generalisation process », *Proceedings of International Cartographic Conference*, La Coruna, Spain, 2005.

- Lemmens R., « Lost and found, the importance of modelling map content semantically », dans Peterson, M. (eds), *International Perspectives on Maps and the Internet*, 2008, p. 377-396.
- Lutz M., « Ontology-Based Descriptions for Semantic Discovery and Composition of Geoprocessing Services », *Geoinformatica*, vol.11 (1), 2007, p. 1-36.
- McMaster R. B., Shea K. S., « Cartographic generalization in digital environment: A framework for implementation in a gis », *GIS/LIS'88*, 1988, p. 240-249.
- Neun M., Burghardt D., Weibel R., « Web service approaches for providing enriched data structures to generalisation operators », *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 22 (2), 2008, p. 133-165.
- Regnault N., « Evolving from automating existing map production systems to producing maps on demand automatically », *10th ICA Workshop on Generalisation and Multiple Representation*, 2007.
- Renard J., Gaffuri J., Duchêne C., « Capitalisation problem in research - example of a new platform for generalisation: Cartagen », *13th ICA Workshop on Generalisation and Multiple Representation*, Zurich, 2010.
- Ruas A., « The roles of meso objects for generalisation », dans *Spatial Data Handling*, 2000, p. 3b. 50-63.
- Ruas A., Plazanet C., « Strategies for automated generalization », dans *7th International Symposium on Spatial Data Handling*, Delft, Netherlands, 1996, p. 319-336.
- Stoter J., Burghardt D., Duchêne C., Baella B., Bakker N., Blok C., Pla M., Regnault N., Touya G., Schmid S., « Methodology for evaluating automated map generalization in commercial software », *Computers, Environment and Urban Systems*, vol.33 (5), 2009, p. 311-324.
- Touya G., « First Thoughts for the Orchestration of Generalisation Methods on Heterogeneous Landscapes », *11th ICA Workshop on Generalisation and Multiple Representation*, Montpellier, France, 2008.
- Touya G., « Relevant Space Partitioning for Collaborative Generalisation ». In *12th ICA Workshop on Generalisation and Multiple Representation*, Zurich, 2010.
- Touya G., Duchêne C., Ruas A., « Collaborative Generalisation: Formalisation of Cartographic Knowledge to Orchestrate Different Generalisation Processes », dans Fabrikant, S.I., Reichenbacher, T., van Kreveld, M., Schlieder, C. (eds) *GIScience 2010*, Zürich, LNCS 6292, Springer, 2010, p. 264-278.
- Ware M. J., Jones C. B., Thomas N., « Automated map generalization with multiple operators: a simulated annealing approach », *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 17 (8), 2003, p. 743-769.
- Zhou S., Regnault N., Roensdorf C., « Towards a data model for update propagation in mr-dlm », *11th ICA Workshop on Generalisation and Multiple Representation*. Montpellier, France, 2008.