



**HAL**  
open science

## Emergence de zones conflits dans deux modèles de généralisation cartographique multi-agents

C Duchêne, Guillaume Touya

► **To cite this version:**

C Duchêne, Guillaume Touya. Emergence de zones conflits dans deux modèles de généralisation cartographique multi-agents. Journées Françaises des Systèmes Multi-Agents, Oct 2010, Mahdia, Tunisie. pp.33-42. hal-02196590

**HAL Id: hal-02196590**

**<https://hal.science/hal-02196590v1>**

Submitted on 29 Jul 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.

# Emergence de zones conflits dans deux modèles de généralisation cartographique multi-agents

C. Duchêne<sup>a</sup>      G. Touya<sup>a</sup>  
Prénom.nom@ign.fr    Prénom.nom@ign.fr

<sup>a</sup>Laboratoire COGIT  
Institut Géographique National  
73 avenue de Paris 94160 Saint-Mandé – France

## Résumé

Nous utilisons une modélisation agent pour résoudre un problème spatialisé complexe apparenté à un problème de satisfaction de contraintes : la généralisation de données géographiques vectorielles (diminution du niveau de détail dans un jeu de données géographiques). Ce problème nécessite de manipuler des agents ayant des niveaux d'abstraction différents, par exemple un bâtiment, un groupe de bâtiments, une ville. Nous proposons deux méthodes permettant de changer dynamiquement le niveau d'abstraction des entités manipulées, par observation au niveau d'abstraction le plus bas des contraintes restant non satisfaites, et création dynamique d'entités intermédiaires représentant des groupes d'agents proches ne parvenant pas à satisfaire leurs contraintes. La première méthode suppose que le système en cours d'exécution est connu et peut être observé de l'intérieur (accès aux messages échangés entre agents, aux actions pouvant encore être essayées), la seconde qu'il est vu comme une boîte noire. Des premiers éléments de comparaison sont ensuite donnés.

**Mots-clés :** résolution de problème spatial, observation, multi-niveau, création dynamique d'entités, généralisation cartographique.

## Abstract

We use an agent modeling to handle a complex spatialised problem close to a constraint satisfaction problem: generalization of vector geographic data (aiming at decreasing the level of detail in a geographic dataset). This problem requires to handle agents at different abstraction levels, e.g. a building, a group of buildings, a city. Two methods are proposed that enable to dynamically change the level of abstraction of handled agents, by observing at lowest abstraction level the unsatisfied constraints, and dynamically creating intermediate entities representing groups of agents that do not manage to satisfy their constraints.

*The first method supposes that the running system is known and can be observed from inside (messages exchanged by agents or remaining actions to try can be checked), the second one supposes that it is seen as a black-box. First elements of comparison are then given.*

**Keywords:** spatial problem resolution, observation, multi-level, dynamic entity creation, cartographic generalisation.

## 1 Introduction

Ce papier présente un travail en cours visant à détecter dynamiquement, au sein d'un système multi-agents dédié à la résolution d'un problème spatialisé, des zones de conflit émergentes, au sein desquelles les agents pourraient bénéficier d'un traitement collectif ad hoc.

Nous nous plaçons dans le cadre applicatif de l'automatisation d'un processus complexe de l'univers de la cartographie : la généralisation cartographique de données géographiques vectorielles. Dans une base de données géographique vectorielle, les entités représentées sont les objets du monde réel (bâtiments, routes, etc.). A chaque objet de la base est associée une géométrie ponctuelle, linéaire ou surfacique. La généralisation cartographique a pour but de diminuer le niveau de détail des données pour les rendre lisibles à une échelle d'affichage donnée (FIG. 1). Elle suppose d'appliquer aux objets des transformations telles qu'élimination de certains objets, agrégation de plusieurs objets en un seul, déplacements, simplification des contours, etc.

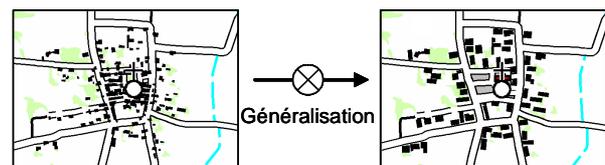


FIG. 1 – La généralisation cartographique  
L'automatisation de ce processus est cruciale

pour permettre la production de cartes et la visualisation de données « à la demande » sur des géoportails par exemple. Plusieurs approches multi-agents ont été proposées pour résoudre le problème spatialisé complexe qu'est l'automatisation de la généralisation cartographique ([2], [24], [16], [3], [11], [20], [17]). Plusieurs niveaux d'agents sont considérés dans ces approches (e.g. points d'un bâtiment, bâtiment, groupe de bâtiments), simultanément ou non selon les approches. En effet, en généralisation, selon le type de données traitées et la partie du processus considérée les raisonnements et les traitements doivent se faire à des niveaux d'analyses différents ([25]). Nous nous intéressons ici à la création dynamique ascendante de groupes d'agents qui gagneraient à être traités comme des tous, par observation de l'évolution du système de généralisation pendant son exécution. Nous avons étudié la création de tels groupes dans le cadre de deux modèles de généralisation, CartACom [11] et CollaGen [28], qui répondent à des hypothèses différentes en ce qui concerne les informations observables pendant l'exécution du système. Ce papier présente les méthodes proposées et une ébauche de comparaison.

Le papier est structuré comme suit. La partie 2 présente plus en détail le contexte de ce travail, à savoir une reformulation du problème de la généralisation, le problème du bon espace de travail et deux modèles de généralisation qui nous intéressent plus particulièrement ici, appelés CartACom et CollaGen. La partie 3 décrit la problématique traitée, la création dynamique de groupes « émergents ». Les parties 4 et 5 proposent deux modèles permettant cette création dynamique, respectivement dans le cas des modèles CartACom et CollaGen qui répondent à des hypothèses différentes. La partie 6 discute l'évaluation des approches et discute des éléments de comparaison entre les deux sur la base des expérimentations réalisées, enfin la partie 7 conclut.

## **2 Contexte : des systèmes multi-agents pour la généralisation cartographique**

### **2.1 La généralisation cartographique, un CSP particulier se prêtant bien aux approches multi-agents**

Lorsque l'on fait de la généralisation cartographique, on part d'une base de données géographique (BDG) initiale et on en transforme les

objets pour produire une base de données de niveau de détail moindre, dérivée de la première et appelée base de données cartographique (BDC). Dans la BDC, les objets doivent vérifier certaines contraintes. Ces contraintes peuvent porter sur un objet (taille minimale pour un bâtiment), une relation entre objets (distance minimale entre bâtiment et route en tenant compte de leurs symbolisations), un groupe d'objets (préservation de la distribution spatiale des bâtiments dans un îlot), une population (limitation de la surface totale occupée par les routes) – voir [8] pour une typologie détaillée de ces contraintes. Il est important de noter que ces contraintes sont concurrentes, les contraintes visant à rendre les objets lisibles allant à l'encontre de celles visant à préserver leurs caractéristiques initiales.

On est donc *a priori* en présence d'un problème de satisfaction de contraintes (e.g. [5]), les variables à affecter étant les géométries des objets (ou les coordonnées de leurs points). Toutefois, du fait que la géométrie est transformée par des algorithmes dont on ne contrôle les effets qu'*a posteriori*, que la violation d'une contrainte s'exprime « en intension » à l'aide d'une équation ou d'une formule faisant éventuellement intervenir des algorithmes de caractérisation des données complexes, et enfin qu'on puisse devoir éliminer des objets, ne permet pas d'utiliser pour résoudre ce problème les techniques classiques dédiées aux CSP centralisés ou distribués ([9], p. 48-50).

Plusieurs approches existent pour résoudre ces contraintes, par exemple [27] les exprime sous forme d'équations sur les coordonnées des points constituant les objets et résout le système d'équations résultant (surcontraint) par moindre carrés. Ce type d'approche ne fonctionne que lorsqu'il n'est pas nécessaire de supprimer ou d'agréger entre eux des objets pour gagner de la place. Les approches agent permettent, elles, de prendre en compte ce type de transformations, et de modéliser assez finement sur chaque objet géographique une partie du problème (les contraintes qui le concernent) et une partie de la solution (les algorithmes de transformation possibles). Parmi les approches agent existantes, l'approche de [2], plutôt « réactive », modélise les contraintes par des forces auxquelles les agents (qui correspondent aux points des objets) réagissent en se déplaçant. Les approches [24], [16], [3], [11] et [20], plus « cognitives », fournissent aux agents (qui correspondent aux objets géographiques simples ou à des groupes d'objets) une

modélisation explicite de leurs contraintes et la possibilité de choisir et de s'appliquer séquentiellement différents algorithmes de transformation susceptibles d'améliorer leur degré de violation. [17] mixe les deux approches.

## 2.2 Le choix de l'espace de travail

Si les contraintes régissant la généralisation cartographique concernant différents niveaux d'analyse (cf. paragraphe précédent), elles se résolvent aussi à différents niveaux d'analyse, ce qui explique que les modèles agents existants agentifient tantôt les objets, tantôt des groupes ou des parties d'objets. Il est d'ailleurs à noter que des contraintes peuvent « naturellement » s'exprimer à un certain niveau (la contrainte de distance minimale entre une route et un bâtiment porte sur une relation entre deux objets simples), mais se traiter pour des raisons pratiques à un niveau différent (des algorithmes d'élimination contextuelle de bâtiments et de déplacement de bâtiments qui opèrent sur des groupes de bâtiments), et par ricochet on peut choisir de l'explicitier dans le système au niveau où on la traite.

Suivant la proposition de [25] de focaliser dynamiquement sur le bon espace de travail (objet, groupe ou partie d'objet) en cours de processus, [24] puis [3] distinguent des entités de niveau *micro* (niveau des objets simples), *meso* (niveau des groupes, récursif) et *macro* (niveau des populations), chacun pouvant porter des contraintes et tenter de les résoudre, et les entités *meso* ayant également à charge d'orchestrer le comportement de leurs composants. [16] propose une formalisation de ce type de modèle et des interactions devant exister entre les niveaux (décomposition / recombinaison, mécanismes de négociation au sein d'un niveau). Notons que ces modèles agents multi-niveaux sont très classiques en simulation ([18]). En ce qui concerne la généralisation, [24] et [6] identifient les niveaux *meso* pertinents pour l'espace urbain et proposent des méthodes opérationnelles de création de ces niveaux de manière ascendante (e.g. création d'une enveloppe urbaine à partir des bâtiments) ou descendante (e.g. partitionnement de la ville par les réseaux pour obtenir des îlots). [12] propose un modèle pour la décomposition dynamique récursive d'une route (niveau *micro* qui devient *meso*) en parties (nouveau niveau *micro*) homogènes du point de vue de l'état de leurs contraintes, donc plus faciles à traiter. Enfin, [24] (p. 111) propose théoriquement de considérer comme un type

pertinent d'entités *meso*, « celles qui sont liées à l'existence de conflits complexes à un niveau d'analyse inférieure », sans préciser de méthode permettant de construire de tels groupes. Nous nous attacherons dans la suite de cet article à proposer de telles méthodes dans le cas de deux modèles de généralisation appelés CartACom et CollaGen, que nous présentons brièvement dans les parties 2.3 et 2.4.

## 2.3 Le modèle CartACom

Le modèle de généralisation CartACom ([11], [9]) a été conçu pour traiter, au sein d'une base de données géographiques, les portions d'espace peu denses en objets, dans lesquelles une assez large variété de contraintes relationnelles (i.e. portant sur des relations entre objets) peut être considérée sans que cela aboutisse à un problème irrémédiablement surcontraint. C'est typiquement le cas des zones rurales et des zones périurbaines de densité modérée, pour des données de type topographiques. Ce modèle se focalise sur l'expression et le traitement des contraintes relationnelles entre objets géographiques. Un seul niveau d'objets géographiques y est considéré : le niveau des objets simples ou niveau *micro*. Ce sont ces objets qui constituent les agents du système, ils évoluent dans un environnement : l'espace métrique correspondant à la zone couverte par la carte. Les contraintes relationnelles entre les agents sont modélisées au même niveau que les agents et traitées par les agents qu'elles concernent. Pour traiter améliorer la satisfaction d'une de ses contraintes relationnelle, un agent peut tenter de s'appliquer à lui-même un algorithme de transformation, ou envoyer à l'autre agent concerné un message lui demander de s'appliquer un algorithme de transformation. Le langage de communication est basé sur des actes de langage et des scénarios prédéfinis de dialogue très simples, en particulier celui de demande d'action : un agent envoie une demande d'action, et reçoit en réponse une notification de succès ou d'échec. Les agents sont activés à tour de rôle et tiennent compte au moment de leur activation de l'état courant du système. Les résultats obtenus avec ce modèle ont été jugés bons lorsque la densité d'objets, compte tenu de leur taille minimale qui dépend de l'échelle finale, n'est pas trop élevée. La FIG. 2 montre un résultat sur une telle zone (les agents CartACom savent aussi traiter leurs contraintes internes, de taille minimale par exemple, par branchement au niveau *micro* du

modèle [24], vu comme une boîte noire).



FIG. 2 – Un résultat obtenu avec CartACom

## 2.4 Le modèle CollaGen

Nous avons vu dans les parties précédentes qu'il existe de nombreux processus de généralisation cartographique qu'ils soient basés sur des techniques agents [1], [3], [11], [17] ou non [27]. Seulement, ils ne sont parfaitement adaptés qu'à un type de paysage particulier (comme les zones rurales pour CartACom), à un type particulier de données (e.g. la couche d'occupation du sol [19]) ou encore un type de conflit particulier (e.g. les conflits de proximité pour [27]). Nous proposons donc d'utiliser alternativement les différents processus existants en les appliquant uniquement sur les parties de l'espace sur lesquelles ils sont pleinement efficaces. Nous appelons cette approche la généralisation collaborative car nous faisons collaborer les processus pour atteindre l'objectif commun d'une carte bien généralisée. Selon la définition de [29] (p.588), les processus coopèrent plus qu'ils ne collaborent car les interactions entre eux et les parties de l'espace, passent par un agent intermédiaire. CollaGen est le modèle de généralisation collaborative que nous développons [28].

Dans CollaGen, l'espace de travail ne se situe plus au niveau *micro* ou *meso* mais au niveau d'espaces géographiques qui englobent ces entités, en délimitant l'espace en zones d'application pertinente d'un processus de généralisation. Les zones urbaines, délimitées comme dans [6], les zones rurales, de montagne, le réseau routier ou le réseau hydrographique sont des exemples d'espaces géographiques utilisés dans CollaGen. Les espaces géographiques sont des agents de notre système alors que les entités micro et meso (agents dans CartACom et AGENT) forment

l'environnement. Les agents espaces passent par un agent intermédiaire de type registre des pages jaunes pour choisir le processus à utiliser pour se généraliser parmi ceux enregistrés.

Si les différents processus utilisés ne se paramètrent pas forcément par des contraintes comme CartACom, les contraintes de généralisation sont définies dans CollaGen avec un formalisme générique ([28]) pour guider et contrôler le déroulement du processus collaboratif. Les contraintes formelles sont traduites dans le formalisme de chaque processus puis sont le support de l'évaluation de ces généralisations en continu : il y a dans CollaGen une succession de phases où on lance un processus de généralisation sur un espace, mais entre deux phases, on contrôle l'évolution des contraintes. De plus, l'utilisation des contraintes comme format pivot des paramètres permet l'interopérabilité des processus de généralisation quels qu'ils soient.

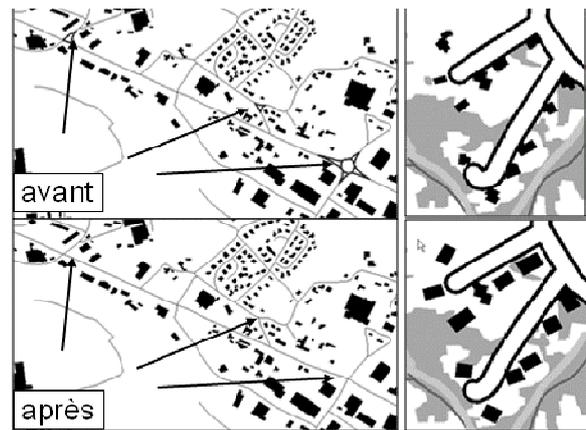


FIG. 3 – A gauche un processus de simplification de carrefours routiers et à droite un processus de généralisation par moindre carrés [27] automatiquement paramétrés et lancés par CollaGen.

Les modèles CollaGen et CartACom sont liés car CollaGen peut utiliser CartACom comme une boîte noire permettant une bonne généralisation des zones peu denses en bâtiments. Mais les agents de CollaGen n'ont aucune connaissance des agents CartACom.

Si le modèle CollaGen est encore en cours de conception, quelques premiers résultats peuvent être présentés. La figure 3 montre deux processus très différents dans leur paramétrage lancés grâce aux contraintes dans CollaGen.

## 3 Emergence de zones de conflits

Que les processus de généralisation cartogra-

phique automatiques s'appuient sur un modèle multi-agent comme CartACom ou d'autres modèles utilisés par CollaGen, ils ne produisent jamais un résultat parfaitement généralisé et nous constatons visuellement que des zones de conflits résiduels apparaissent (un conflit est une contrainte non satisfaite). La figure 4 présente ainsi un exemple de généralisation par CartACom avec trois zones de conflits résiduels : des conflits simples entre deux objets (1 et 2), le 2 impliquant potentiellement les deux bâtiments au-dessus pour sa résolution, et un conflit entre quatre bâtiments (3). Notre expérience de la généralisation automatique nous permet d'affirmer qu'il est souvent possible d'obtenir une généralisation satisfaisante d'une telle zone de conflits en appliquant aux objets concernés un traitement de groupe approprié. Nous souhaitons donc détecter automatiquement en cours de processus les groupes d'agents restant en conflit ou ayant participé à la dynamique d'apparition d'un conflit résiduel, pour pouvoir décider le déclenchement d'un traitement collectif correctif.

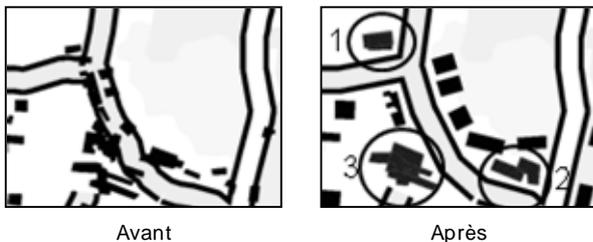


FIG. 4 – Une carte généralisée par CartACom avec trois zones de conflits de superpositions de bâtiments restants (entourés et numérotés) – (d'après [9], p.195)

Nous assimilons le phénomène « zones de conflits » à un phénomène émergent dans notre système multi-agents, même s'il ne s'agit pas d'une organisation qui ajoute de l'intelligence à notre système, comme le supposerait la définition donnée par [9] (p. 14-15). Des travaux de [7], [9], [14], [15], [22], nous retenons que la notion d'émergence est liée :

- à la présence d'au moins deux niveaux d'entités : celui des entités interagissant (causes de l'émergence) et celui du phénomène émergent. Pour nous il s'agit du niveau des objets géographiques et du niveau des groupes nécessitant un traitement collectif,

- à la présence d'un observateur pouvant identifier le phénomène émergent, donc d'un point de vue. Pour nous le point de vue est celui du monitoring d'un processus de généralisation, et pour jouer le rôle d'observateur nous défini-

rons en 4 une entité chargée de détecter les zones de conflits,

- à l'apparition de phénomènes ayant une certaine stabilité dans le temps – la notion d'émergence ne concerne d'ailleurs que les systèmes évoluant dans le temps. Dans notre cas, les différentes étapes et déformations nécessaires à la généralisation finale peuvent être vues comme une évolution du système dans le temps, et les conflits qui nous intéressent sont ceux qui perdurent sans pouvoir être résolus.

Maintenant que nous avons identifié le phénomène « zones de conflits » comme susceptible d'émerger au cours de la résolution multi-agents de notre problème, nous allons intégrer à notre système de résolution une méthode permettant la détection dynamique des instances de ce phénomène, et leur résolution puisqu'il s'agit pour nous d'entités posant problème. Nous instancierons ainsi dynamiquement, quand elles seront observées, des entités de type « groupes d'objets à traiter comme un tout », faisant partie du niveau *meso* défini dans [24] (cf. [24] p.111). Et ce, de la même manière qu'en simulation, [26] instancie dynamiquement des boules d'eau ou [18] des cœurs de tumeurs cancéreuses.

Pour détecter et résoudre dynamiquement les « zones de conflits » apparaissant au sein d'un processus de généralisation, nous définissons une méthode générale en quatre étapes : (1) observation du processus de généralisation et identification des conflits qui perdurent ; (2) constitution de groupes d'objets partageant des conflits ou devant être inclus dans un traitement collectif ; (3) résolution des conflits résiduels par application d'un processus de généralisation adapté sur chaque groupe ; (4) reprise du processus là où il en était quand on l'a interrompu, sans incohérence. Seules les étapes (1) et (2) concernent la détection du phénomène émergent « zones de conflit », et seront traitées dans la suite de l'article.

Les parties 4 et 5 de l'article décrivent de manière plus détaillée comment nous avons spécifié et mis en œuvre ces deux étapes, respectivement dans CartACom et CollaGen.

## 4 Mise en oeuvre dans CartACom

### 4.1 Spécificité de CartACom du point de vue de l'émergence de zones de conflit

Dans CartACom, nous avons accès au déroulement du processus de généralisation avec

une forte granularité, les seules étapes dont nous ne contrôlons pas le déroulement étant les algorithmes atomiques de transformation que s'appliquent les agents, et l'étape de satisfaction de leurs contraintes internes. En particulier, nous avons accès à l'évolution de la satisfaction des contraintes relationnelles des agents « en direct » (i.e. à chaque transformation d'un agent), et aux messages échangés par les agents. Plus précisément, il est possible de savoir à tout instant du processus si un agent a des contraintes relationnelles non satisfaites, s'il a encore des actions à essayer, s'il est en attente d'une réponse d'un autre agent ou non, et enfin comme une trace des conversations terminées est conservée, quelles conversations ont eu lieu entre quels agents et quelle en a été la conclusion.

#### 4.2 Méthode d'émergence proposée

Pour rendre possible l'émergence de zones de conflits résiduels dans CartACom, nous introduisons un « superviseur » dont le rôle est : de recenser les conflits résiduels (contraintes relationnelles non satisfaites) entre agents ; de faire émerger, à partir de ces conflits, des groupes d'agents candidats à un traitement collectif extérieur à CartACom (et la nature de ce traitement) ; d'appliquer le traitement identifié et de le valider ; enfin, de s'assurer que les conséquences de ce traitement extérieur (agents modifiés, éliminés) sont bien répercutées dans CartACom pour que le système puisse reprendre son activation dans un état cohérent.

Le recensement des conflits résiduels est fait par les agents eux-mêmes à chaque fois qu'ils arrivent en fin d'activation. Le superviseur possède une liste des conflits résiduels entre agents, de la forme (nature de la contrainte relationnelle, agent1, agent2). Un agent en toute fin d'activation met jour cette ressource du superviseur de la manière suivante. D'une part, il supprime de cette liste toute occurrence correspondant à une de ses contraintes relationnelles qui est maintenant satisfaite. D'autre part, seulement s'il n'est pas en attente d'une réponse de la part d'un autre agent (autrement dit, s'il a déjà « tout essayé » pour résoudre ses contraintes), il ajoute dans cette liste les occurrences correspondant à ses contraintes non satisfaites qui n'y figurent pas déjà.

La détection de groupes d'agents candidats à un traitement de collectif est faite par le superviseur lorsqu'il est activé, ce qui a lieu toutes

les  $n$  activations d'agents,  $n$  étant un paramètre du système. Pour cela, le superviseur dispose, pour chaque traitement collectif disponible, d'une méthode de détection de groupes candidats à ce traitement collectif qui opère à partir de la liste des conflits résiduels, des archives des conversations ayant eu lieu dans le système, et de critères spatiaux. Les étapes d'une telle méthode sont décrites ci-dessous.

**Etape 1.** Un traitement collectif donné est supposé pouvoir résoudre certains types de conflits. Un premier filtrage est donc opéré sur la liste des conflits résiduels, pour ne considérer que ceux-là. Une fois ce filtrage effectué, les agents partageant un conflit sont groupés de proche en proche afin de constituer des groupes connexes. Autrement dit, si A et B d'une part, B et C d'autre part ont un conflit résiduel potentiellement traité par le traitement collectif considéré, une ébauche de groupe contenant A, B et C est constituée. Lors de cette étape, nous ajoutons la notion d'agent « bloquant ». Il s'agit d'un agent qui bloque la progression de la constitution d'un groupe : si un agent B est bloquant, et qu'il partage des conflits avec deux autres agents respectivement A et C, alors contrairement au cas où B n'est pas bloquant, les agents A et B d'une part, B et C d'autre part restent dans des groupes séparés (à moins que A et C partagent aussi un conflit avec un quatrième agent non bloquant). Les critères sur lesquels on décide de rendre un agent bloquant font partie des paramètres du système (cf. 4.3). Les groupes connexes obtenus à l'issue de cette étape ne sont pas nécessairement disjoints entre eux.

**Etape 2.** Un conflit résiduel peut ne concerner apparemment que très peu d'agents, mais résulter en fait d'interactions ayant eu lieu précédemment entre certains de ces agents et d'autres – par exemple, il n'y a pas assez de place pour tous les agents, les agents se repoussent de proche en proche mais le dernier ne trouvent pas de position satisfaisante et reste en conflit avec l'avant-dernier. Lors de cette étape, les groupes issus de l'étape 1 sont étendus aux agents alentours, voire fusionnés entre eux, de la même manière qu'à l'étape 1 quand les agents ont eu au moins une conversation de type « demande d'action », quelle qu'en ait été l'issue. De la même manière des agents bloquants peuvent être définis.

**Etape 3.** Les groupes issus de l'étape 2 peuvent être légèrement étendus ou fusionnés sur des critères spatiaux. Par exemple selon le traitement collectif considéré il peut être judi-

cieux d'ajouter à un groupe des agents qui seraient entourés de toute part par des agents du groupe, ou simplement qui seraient très proches de la frontière du groupe tel que défini à l'étape 2.

Selon le traitement collectif considéré, la méthode de détection de groupes candidats n'effectuera pas nécessairement les trois étapes décrites ici. Elle pourra également vérifier que le groupe constitué à l'issue de ces étapes respecte certains critères, et ne pas le retenir si ce n'est pas le cas.

### 4.3 Premiers résultats

Nous avons testé la méthode proposée en nous limitant à l'observation des contraintes de distance minimale entre bâtiments, et entre bâtiments et routes (en tenant compte de leurs symboles), et à un traitement collectif : un processus issu de [3], paramétré pour le traitement d'un groupe de routes et bâtiments proches, capable d'effectuer des éliminations et des déplacements de bâtiments.



FIG. 5 – Groupes de conflits résiduels obtenus dans CartACom

A l'étape 1 sont considérées les contraintes de proximité entre bâtiments et aux routes. Les routes sont agents bloquants aux étapes 1 et 2. Enfin, à l'étape 3 tout bâtiment entouré seulement de routes et de bâtiments du groupe est inclus dans le groupe. Par ailleurs, pour être conservé le groupe ne doit pas avoir de bâtiments trop proches de lui (distance  $d$  fixée empiriquement à 0.2mm carte). Si c'était le cas, il y aurait un risque fort que des conversa-

tions n'aient pas encore eu lieu mais doivent avoir lieu entre ces bâtiments et ceux du groupe, autrement dit que le groupe de conflits résiduels doive encore grossir. Nous préférons alors attendre et le traiter dans son ensemble lorsqu'il aura atteint sa taille finale.

La FIG. 5 montre un groupe obtenu par cette méthode. Il correspond au groupe que nous aurions sélectionné interactivement pour le traiter à l'aide de ce traitement. Nous estimons de manière générale que les résultats obtenus sont très encourageants.

## 5 Mise en oeuvre dans CollaGen

### 5.1 Spécificité de l'émergence pour CollaGen

La spécificité principale de l'émergence de zones de conflits résiduels par rapport à la méthode proposée pour CartACom réside dans le non contrôle des processus mis en jeu pour généraliser une partie de l'espace : on ne peut pas s'appuyer sur le déroulement du processus pour déterminer les conflits résiduels et les objets concernés dans la résolution potentielle de ces conflits. Comme indiqué dans la partie 2.4, les agents du système ne sont pas les entités micro ou meso mais des espaces géographiques plus larges qui englobent ces entités. Les processus utilisés pour généraliser les entités micro et meso ne sont pas forcément basés sur des principes agents ni même pas à pas ce qui exclue pour certains l'observation du processus au cours de son déroulement. Ainsi, un processus par optimisation moindre carrés comme [27] se solutionne en une fois et ne peut être observé qu'après le processus pour chercher les groupes de conflits émergents.

Ces hypothèses impliquent des choix de modélisation particuliers à CollaGen. Tout d'abord, les agents de CartACom deviennent ici l'environnement de CollaGen et leur observation ne peut se faire de la même manière. Comme dans [23], l'environnement peut être interrogé à travers des artefacts manipulables par les agents. Ensuite, le champ d'observation devient très large car il n'est pas guidé comme dans CartACom par le déroulement du processus : on doit regarder partout à chaque observation, ne sachant ce qui s'est passé. Il apparaît donc nécessaire, pour ne pas ralentir le processus de généralisation déjà assez long, de n'observer qu'un échantillon restreint de l'environnement comme dans [21]. Le choix de l'échantillon est une capacité de l'agent

espace qui choisit les contraintes à observer en fonction de ses caractéristiques : un agent zone urbaine va par exemple dans chaque îlot choisir une contrainte de proximité (les plus susceptibles d'être en conflit) sur trois.

## 5.2 Méthode d'émergence proposée

Dans CollaGen, nous proposons de considérer les contraintes instanciées sur chaque objet de l'environnement comme les artefacts permettant d'observer les conflits éventuels sur les objets qui se traduisent par des contraintes non satisfaites. Les contraintes sont modélisées de telle manière qu'elles peuvent stocker l'évolution de leur satisfaction au cours du processus collaboratif.

Nous introduisons un agent « observateur » chargé d'observer l'évolution de la satisfaction des contraintes des objets en train d'être généralisés par un processus. L'observation se passe en parallèle de la généralisation. Ayant moins d'attributions que le superviseur de la mise en œuvre CartACom, son nom est différent. L'observateur ne va regarder que les contraintes issues d'un échantillon fourni par l'agent espace qui connaît ses contraintes importantes et potentiellement non satisfaites.

Une contrainte de l'échantillon déclenche une alerte quand son évolution pose problème : sa satisfaction augmente très peu ou diminue beaucoup. La taille de l'échantillon peut varier au cours de l'observation pour permettre l'équivalent d'un zoom sur une zone à risque. Lorsqu'une partie de l'échantillon semble poser problème, l'échantillon est élargi autour de cette partie pour bien s'assurer d'éventuels conflits résiduels. Ce système de zoom permet de ne pas encombrer les processus qui fonctionnent bien tout en détectant les problèmes quand ils apparaissent.

L'observateur possède une méthode pour déterminer si les conflits résiduels qu'il observe atteignent un seuil critique qui nécessite l'arrêt du processus pour leur correction par un autre processus. Les observations étant situées sur la carte (au niveau de l'objet, entre les deux objets ou au milieu du groupe concerné), on calcule une triangulation de Delaunay entre les observations puis on ne garde que les côtés de triangle assez courts (représentant des observations conflictuelles proches), et enfin on regroupe les observations toujours connectées par des côtés de la triangulation. On s'arrête quand on trouve des groupes dont la taille dépasse un seuil.

Enfin, les groupes émergents sont déterminés à partir des groupes obtenus par triangulation en calculant l'enveloppe convexe du groupe et en l'étendant légèrement pour englober des objets voisins non conflictuels mais nécessaires à la résolution globale des conflits. Une méthode alternative est de définir à chaque observation une empreinte arrondie proportionnelle à l'importance de la contrainte et sa violation.

## 5.3 Premiers résultats

Pour tester la méthode proposée dans la partie précédente, nous nous sommes limités aux trois contraintes principales portant sur les bâtiments : leur taille minimale, la distance minimale aux autres bâtiments et la distance minimale avec les symboles de route. Nous avons testé l'observation et l'émergence pour deux processus de généralisation : (1) AGENT [3] sur des villes ; (2) CartACom sur des zones péri-urbaines de densité moyenne, pour lesquelles il est aux limites de ses capacités (donc nécessite potentiellement des reprises).

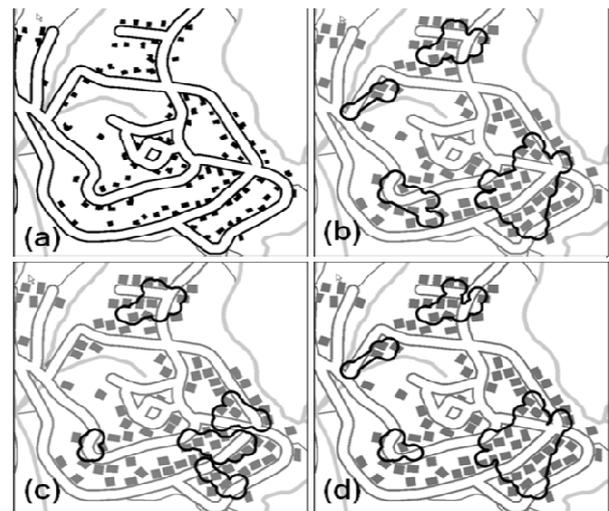


FIG. 6 – Groupes de conflits résiduels issus de CollaGen après généralisation par CartACom : (a) données initiales (b) groupes identifiés après généralisation (c) groupes avec d'autres paramètres d'émergence (d) groupes avec des alertes seulement pour les conflits importants.

Un premier résultat est l'évaluation de la méthode d'échantillonnage des contraintes à observer. En moyenne, sur la généralisation de villes de tailles différentes par AGENT, le temps d'observation est 4 fois plus court que lorsque l'observation est faite sur l'ensemble des contraintes, pour une quantité de groupes créés équivalente et des formes similaires.

La figure 6 montre les groupes créés sur une

zone périurbaine généralisée par CartACom. L'environnement est bien observé par les contraintes instanciées extérieures au processus et la méthode fait bien émerger des groupes en cas de conflits résiduels, ici de proximité aux routes et entre bâtiments. Suivant les paramètres d'émergence (longueur de l'arc de la triangulation, taille minimale d'un groupe) ou d'alerte pour un conflit, on obtient des groupes légèrement différents.

Nous avons également testé la création de la zone émergente finale en étendant les groupes de la figure 6b aux objets alentours pour bien résoudre les conflits. La figure 7 montre ainsi deux méthodes d'extension et la résolution des conflits résiduels par un processus par moindres carrés [27], lancé manuellement.



FIG. 7 – (a) Groupes émergents étendus pour permettre la correction. (b) Zoom sur deux des groupe émergents. (c) Ces groupes corrigés par un autre processus.

## 6 Discussion

Si les premières évaluations présentées dans les résultats sont encourageantes, elles nécessitent des tests plus approfondis.

Dans le cas d'émergence durant une généralisation comme dans CartACom ou pour certains processus dans CollaGen, le critère d'arrêt du processus, pour faire émerger des groupes de conflits, est un point clé de la réussite de notre approche. Il s'agit de trouver un bon équilibre entre arrêter le processus assez tôt ou attendre avant de considérer l'émergence. Arrêter le processus rapidement permet de corriger les conflits qui gênent le bon déroulement du processus, soit parce que celui-ci essaie de les corriger sans espoir, soit parce que leur présence brouille les prises de décisions des autres agents. Mais en arrêtant trop tôt, on s'expose à l'émergence d'un groupe trop petit qui ne permettrait pas de ré-

soudre correctement les conflits.

En terme de comparaison des deux méthodes, celle de CartACom est plus précise dans la délimitation des groupes car le superviseur a accès à plus d'informations que l'observateur de CollaGen. Mais l'avantage de l'observateur de CollaGen est qu'il peut faire émerger des groupes à l'issue de (ou durant) différents processus de généralisation. On peut signaler que la qualité d'émergence de l'observateur est plus sensible à la méthode de création des groupes car celle-ci est toujours moins précise. Des tests plus importants devront donc être réalisés pour valider cette dernière.

## 7 Conclusion

Dans ce papier, nous avons présenté le problème de l'émergence de groupes de conflits résiduels dans le cadre de la généralisation cartographique par un système multi-agent. Des méthodes pour réaliser cette émergence ont été proposées pour deux modèles complémentaires de généralisation cartographique basés sur des agents, CartACom et CollaGen. Les premiers résultats sont encourageants.

La première des perspectives est d'étendre les tests des deux méthodes, notamment pour les tester sur les mêmes données avec un CartACom lancé seul puis dans le cadre de CollaGen, afin de comparer les systèmes d'alertes, les temps d'observation, et la forme des groupes émergents. Il faudra ensuite coupler ces méthodes d'émergence à un système qui détermine automatiquement le traitement approprié pour corriger ces conflits résiduels que ce soit dans CartACom ou CollaGen.

## Références

- [1] C. Baeijs, Quand les Agents Jouent aux Cartes... Systèmes Multi-Agents pour la Généralisation Cartographique, Systèmes multi-agents, Méthodologie, technique et expériences, Actes des 8èmes Journées Francophones sur l'Intelligence Artificielle Distribuée et les Systèmes Multi-Agents, S.Pesty & C.Sayettat-Fau, Hermès, pp.291-296, 2000
- [2] C. Baeijs, Y. Demazeau, L. Alvares, Sigma: Application of multi-agent systems to cartographic generalization, *Proceedings of the 7th European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World (MAAMAW'96)*, Eindhoven, The Netherlands. W. Van de Velde & J.W. Perram, eds, Springer Verlag, LNAI n°1038, pp.163-176
- [3] M. Barrault, N. Regnaud, C. Duchêne, K. Haire, C. Baeijs, Y. Demazeau, P. Hardy, W. Mackaness, A.

- Ruas, R. Weibel, Integrating multi-agent, object-oriented, and algorithmic techniques for improved automated map generalisation, *20th International Cartographic Conference*, **Vol. 3**, pp. 2110-2116, 2001
- [4] K. Beard, Constraints on rule formation, *Map Generalization, Longman Pages*, pp. 121-135, 1991
- [5] A. Bellicha, B. Neveu, B. Trousse. et al. (équipe du groupe de recherche CSPFlex du PRC-IA). Autour du problème de satisfaction de contraintes. *Actes des 5èmes journées nationales du PRC-GDR Intelligence Artificielle*, pp. 159-178, 1995.
- [6] A. Boffet, Analyse multiniveau des espaces urbains. *Revue internationale de Géomatique*, vol.12, n°2, 2002, pp.215-223, 2002
- [7] E. Bonabeau, J.-L. Desselles, A. Grumbach, Characterizing emergent phenomena (1) and (2). *Revue Internationale de Systémique*, vol.9, n°3, pp. 327-371, 1995
- [8] D. Burghardt, S. Schmid, J. Stöter. Investigations on cartographic constraint formalisation. *10<sup>th</sup> ICA Workshop on progress in automated map generalisation*, Moscou, 2007
- [9] A. Drogoul, *De la simulation Multi-Agents à la Résolution Collective de Problèmes*. Thèse de doctorat, Université Paris 6, 1993
- [10] C. Duchêne, *Généralisation Cartographique par Agents Communicants: le modèle CartACom*. Thèse de doctorat, Université Paris 6, France, 2004.
- [11] C. Duchêne, C. Cambier, Généralisation cartographique avec des agents qui voient et communiquent, *9èmes Journées Francophones sur les Systèmes Multi-Agents*, Hammamet, Tunisie, pp. 175-188, 2003
- [12] C. Duchêne, M. Barrault, K. Haire, Road Network Generalization: A Multi-Agent System Approach. In *Proceedings of the 20th International Cartographic Conference*, **Vol.3**, p. 2166-2177, 2001
- [13] J. Ferber, E. Jacopin, The Framework of Eco Problem Solving, *Decentralized Artificial Intelligence Vol.2*, North Holland, 1991
- [14] S. Forrest, *Emergent Computation*. The MIT Press, 1991
- [15] M. R. Jean, Emergence et SMA. *5èmes Journées Françaises des Systèmes Multi-Agents*, 1997
- [16] K. Fernandes, M. Occello, « Une approche multi-agents hybride pour la conception de systèmes complexes à raisonnement intégré ». *XII Congrès Francophone de Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle, RFIA'2000*, Paris, 2000
- [17] J. Gaffuri, Système multi-agent pour la déformation en généralisation cartographique. *Journées Francophones sur les Systèmes Multi-Agents, Annecy*, 2006
- [18] J. Gil Quijano, G. Hutzler, T. Louail, De la cellule biologique à la cellule urbaine : retour sur trois expériences de modélisation multi-échelles à base d'agents, *17èmes Journées Françaises des Systèmes Multi-Agents, JFSMA'09*, Cepaduès, 2009
- [19] J.-H. Haunert, Efficient area aggregation by combination of different techniques, *10th ICA Workshop on Generalisation and Multiple Representation*, 2007
- [20] N. Jabeur, B. Boulekrouche, B. Moulin, Using multiagent systems to improve real-time map generation, *Advances in Artificial Intelligence*, pp. 37-48, 2006
- [21] G. Morvan, A. Veremme, D. Dupont, D. Jolly, Démonstration : stratégies d'observation de simulations orientées agent, *17ème Journées Francophones des Systèmes Multi-Agents*, Cepaduès, pp. 233-236, 2009
- [22] J.-P. Müller, Emergence of collective behavior and problem solving, *ESAW 2003, LNAI 3071*, pp. 1-20. 2004
- [23] M. Piunti, A. Ricci, O. Boissier, J. F. Hübner, Manipulation implicite d'une organisation multiagent via l'environnement, *17ème Journées Francophones des Systèmes Multi-Agents*, pp. 69-78, 2009
- [24] A. Ruas, Modèle de généralisation de données géographiques à base de contraintes et d'autonomie. Thèse de doctorat, Université de Marne-la-Vallée, France, 1999.
- [25] A. Ruas, C. Plazanet C., Strategies for Automated Generalization. *Proc. of the 7<sup>th</sup> International Symposium on Spatial Data Handling*, Delft, Pays-Bas, pp.6.1-6.17.
- [26] D. Servat, Modélisation de dynamiques de flux par agents. Application aux processus de ruissellement, infiltration et érosion. Mémoire de thèse, Université Paris 6, 2000
- [27] M. Sester, Optimizing Approaches for Generalization and Data Abstraction, *International Journal of Geographic Information Science*, vol. 19 Nr. 8-9, p. 871-897, 2005
- [28] G. Touya, C. Duchêne, A. Ruas, Collaborative Generalisation: Formalisation of Generalisation Knowledge to Orchestrate Different Cartographic Generalisation Processes, *6th GIScience Conference, Zurich*, 2010
- [29] G. Weiss, Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence, MIT Press, 2000