GÉNÉRALISATION AUTOMATIQUE AVEC DES AGENTS COMMUNICANTS

Par Cécile DUCHÊNE
Institut Géographique National, COGIT Lamboratory, 2-4 av. Pasteur, 94165 Saint-Mandé CEDEX, France
Tel : (33) 1 43 98 85 45/Fax : (33) 1 43 98 81 71 - cecile.duchene@ign.fr

Résumé

Le travail présenté ici concerne la généralisation automatique de bases de données topographiques, en vue de produire des cartes topographiques. Nous utilisons une approche orientée agent : les objets géographiques (routes, rivières, bâtiments, etc.) sont modélisés comme des agents autonomes, comme dans le travail du projet européen AGENT (4). Pour traiter les zones rurales, notre approche consiste à laisser ces agents interagir pour que chacun d'eux modifie sa position et sa géométrie, ou bien s'élimine, de telle manière que l'ensemble soit conforme aux spécifications de généralisation. Pour cela, nos agents sont dotés de capacités de perception de leur environnement spatial, ainsi que de capacités de communication avec les autres agents. Cette approche a été implémentée et testée sur des données géographiques réelles. Quelques résultats encourageants sont présentés et analysés dans cet article.

Mots-clés: *Généralisation automatique, systèmes multi-agents, déplacements.*

1 INTRODUCTION

Dans cet article, nous présentons un système dédié à la généralisation cartographique automatique de données topographiques, basé sur une approche multi-agents. Nous nous positionnons dans une approche générale de la généralisation qui est localisée et pas à pas, comme dans (1, 2, 3). Plus précisément, notre travail se situe dans la continuité du projet européen AGENT (4), qui s'est terminé en décembre 2000. Nos recherches ont pour but de dépasser certaines limites du prototype fourni par le projet AGENT, en proposant une méthode supplémentaire de résolution. Nous travaillons sur des données topographiques issues de la base de données BDTopo®, base de données de résolution métrique de l'Institut Géographique National français.

Ce papier est structuré comme suit. La partie 2 présente brièvement l'approche du projet européen AGENT, sur laquelle repose notre travail, ainsi que les objectifs de notre travail. La partie 3 décrit notre approche et le système conçu. La partie 4 présente et évalue les résultats produits actuellement par notre système. Enfin, la partie 5 dresse des perspectives pour la suite de ce travail.

2 CONTEXTE ET OBJECTIFS

2.1 L'approche AGENT

Les concepts d'agent et de système multi-agents (5) appartiennent au domaine de l'Intelligence Artificielle. Un agent peut être vu comme un objet 'intelligent', qui a un but et agit de manière autonome pour atteindre ce but. Dans l'approche du projet européen AGENT, chaque objet géographique de la base de données est modélisé comme un agent : routes, bâtiments, etc. Le but de chaque agent est de satisfaire un ensemble de contraintes qui traduisent les spécifications de la généralisation. Certaines contraintes portent sur un seul agent : un bâtiment doit être suffisamment gros, le symbole d'une route ne doit pas être empâté, etc. D'autres contraintes impliquent plusieurs agents : les symboles ne doivent pas se superposer, les positions relatives doivent être préservées, etc. Pour traiter ces contraintes, l'approche du projet AGENT utilise un modèle multi-niveaux pyramidal d'agents. Les agents simples (e.g. un bâtiment) sont appelés agents micro. Au-dessus de ces agents micro, sont construits des agents meso qui correspondent à des groupes d'objets géographiques spatialement organisés : un ensemble de bâtiments alignés, un îlot urbain (ensemble de bâtiments entourés par des rues), une ville, etc (Figure 1). Les agents micro réalisent leur généralisation individuelle sans tenir compte de leur environnement spatial. Ils s'appliquent des algorithmes de généralisation, comme la dilatation ou la simplification, pour satisfaire leurs contraintes internes. Les contraintes qui impliquent plusieurs agents sont définies et traitées au niveau des agents meso, par exemple un agent îlot urbain est responsable du traitement des conflits de superposition entre ses routes et bâtiments.

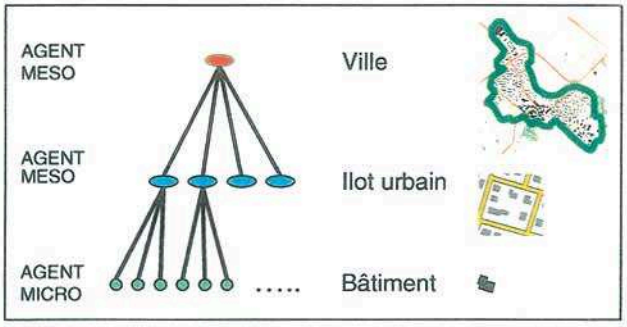

Figure 1. La structure pyramidale d'agents utilisée par le projet européen AGENT - d'après (6)

Cette approche a donné de bons résultats pour la généralisation cartographique des espaces urbains. L'organisation pyramidale d'agents convient bien aux espaces urbains, parce que l'espace urbain est naturellement structuré de manière pyramidale, les bâtiments, les îlots urbains et les villes formant des niveaux emboîtés. Le succès de cette approche est également dû au fait que les recherches précédentes en généralisation automatique ont fourni des algorithmes pertinents pour la généralisation d'un îlot urbain (7).

2.2 Spécificités de l'espace rural et limites de l'approche AGENT

Toutefois, l'organisation pyramidale des agents utilisée dans l'approche du projet AGENT a des limites. En effet, sa mise en œuvre suppose qu'on puisse prévoir tous les types d'agents meso nécessaires, i.e. tous les types de groupes d'objets géographiques qui auront besoin d'être traités ensemble parce qu'ils partagent des contraintes. Cela suppose également de mettre au point, pour chaque type d'agent meso, les mesures permettant d'évaluer ces contraintes, et les algorithmes de généralisation permettant de les traiter. Cela est possible dans les zones urbaines, où la densité est telle qu'il est usuel de considérer essentiellement les objets routes et bâtiments, et de traiter en priorité leurs conflits de superposition. D'où l'efficacité du partitionnement de l'espace en îlots urbains. En revanche, dans les zones rurales, ou plus généralement dans les zones moins denses en bâtiments, les proportions relatives des différents types d'objets géographiques sont plus équilibrées : en plus des routes et des bâtiments, on doit également considérer l'hydrographie, l'occupation du sol, etc. De ce fait, les groupes d'objets susceptibles de devoir interagir pendant la généralisation sont plus variés en termes de types d'objets et de configurations spatiales. De plus, dans le modèle AGENT un agent ne peut faire partie que d'un seul agent meso, autrement dit les agents meso sont disjoints deux à deux. Ce modèle est donc valable seulement pour les espaces qui présentent naturellement une organisation pyramidale, c'est-à-dire où il est possible de distinguer des groupes d'objets disjoints (comme les îlots urbains), tels qu'aucune contrainte ne soit partagée par des objets appartenant à deux groupes différents. Au sein de l'espace rural, où l'on ne distingue pas de manière immédiate de tels groupes d'objets disjoints, la mise en œuvre du modèle pyramidal est problématique (Figure 2).

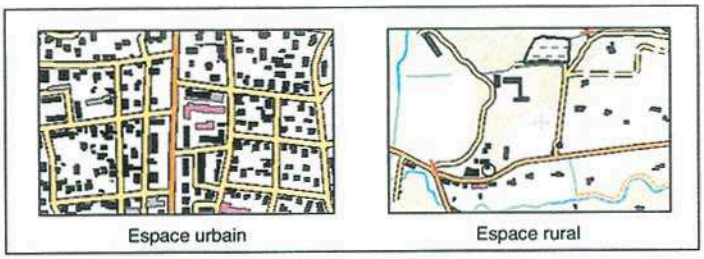

Figure 2. Contrairement à l'espace urbain, l'espace rural ne présente pas naturellement une organisation pyramidale

2.3 Notre objectif: étudier l'utilisation d'interactions bilatérales pour résoudre les contraintes relationnelles

Le but de notre travail est de dépasser les limites du modèle pyramidal, en proposant une autre organisation des agents pour traiter les contraintes relationnelles. Les contraintes relationnelles sont des contraintes qui portent sur une relation entre deux objets géographiques, par exemple la contrainte qui interdit la superposition des symboles. Les relations entre objets géographiques sont inhérentes à toute base de données géographique (e.g. proximité, position relative). A cause de la généralisation, nous devons considérer que certaines de ces relations sont contraintes, d'où l'idée de « contrainte relationnelle ».

Dans notre approche, nous considérons a priori un seul niveau d'agents. Pour traiter une contrainte relationnelle entre deux agents géographiques, nous souhaitons utiliser des interactions bilatérales entre ces agents, de telle sorte qu'ils parviennent à s'appliquer des algorithmes de généralisation pertinents : déplacement, agrégation, élimination, etc. Les contraintes relationnelles seront donc traitées directement par les agents cartographiques qu'elles impliquent, comme les contraintes qui s'appliquent à un seul agent. L'utilisation d'interactions bilatérales devrait rendre la résolution plus adaptative qu'une généralisation orchestrée par des agents meso. Mais cela rend également le processus plus difficile à gérer, parce qu'une contrainte relationnelle se comporte différemment d'une contrainte qui s'applique à un seul agent, et cela à deux niveaux. D'une part, pour résoudre un conflit issu d'une contrainte relationnelle, on peut choisir d'appliquer une transformation à l'un ou l'autre des deux agents (ou aux deux), et ces solutions ne sont pas équivalentes. D'autre part, lorsqu'une action d'un agent géographique crée ou aggrave un conflit relationnel, cela ne dégrade pas seulement l'état de l'agent qui a réalisé l'action, mais aussi l'état de l'autre agent qui partage le conflit. Ainsi, à cause des contraintes relationnelles et par 'transitivité', la modification d'un agent peut avoir des répercussions dans une portion d'espace assez large autour de lui.

Nous ne souhaitons pas remplacer l'approche pyramidale du projet AGENT, mais ajouter une autre approche pour les cas où l'approche pyramidale s'applique mal, à savoir dans l'espace rural et plus généralement dans les espaces hétérogènes en types d'objets géographiques représentés. Dans un premier temps, nous concevons un nouveau système, complètement distinct de celui qui est issu du projet AGENT. Les deux approches seront combinées à moyen terme. Pour mettre au point et tester notre approche, nous travaillons sur la généralisation de zones rurales de la base de données géographique 'BD Topo®' de l'Institut Géographique National français, qui a à peu près le même contenu et la même précision qu'une carte topographique au 1 :15 000. Le but est de produire des bases de données cartographiques pour les moyennes échelles (1:25 000 to 1:50 000).

3 APPROCHE PROPOSÉE

3.1 Principes: les agents peuvent voir et communiquer

Comme dans l'approche du projet AGENT (4), nos agents ont des capacités d'introspection pour évaluer et satisfaire leurs contraintes cartographiques internes. Cela a déjà été développé dans l'approche AGENT, aussi nous nous concentrons ici sur les nouvelles capacités dont nos agents ont besoin pour traiter leurs contraintes relationnelles.

Une contrainte relationnelle d'un agent implique toujours l'agent lui-même et un autre agent situé dans son voisinage. Pour évaluer leurs contraintes relationnelles, nos agents ont donc besoin de capacités de perception de leur environnement spatial, ainsi que d'une représentation explicite de cet environnement. Le modèle mis au point pour la représentation de l'environnement est présenté au paragraphe 3.2.

De plus, pour décider comment agir pour résoudre un conflit relationnel, un agent a besoin d'information sur lui-même (son état, ce qu'il peut faire ou non), mais aussi sur l'autre agent impliqué dans le conflit. Dans certains cas, il n'est pas capable de calculer toute cette information par lui-même et a besoin d'en obtenir une partie auprès de l'autre agent. C'est pourquoi nos agents ont besoin de communiquer avec leurs voisins. La Figure 3 illustre cette idée. L'agent route qui est une impasse (jaune) identifie son conflit de superposition de symboles avec l'agent bâtiment (noir). L'agent bâtiment identifie sa proximité avec la route rouge située au-dessous de lui. Pour entreprendre la bonne action (ici, se déformer en se déplaçant vers le haut), l'agent impasse a besoin de savoir que l'agent bâtiment est 'coincé'. Sans cette information, l'impasse attendra que le bâtiment se déplace, conformément à la règle cartographique stipulant qu'il est a priori moins coûteux de déplacer un bâtiment que de déplacer une route. L'information peut être transférée de l'agent bâtiment à l'agent impasse via un dialogue tel qu'une requête de l'agent impasse « Pousse-toi », à laquelle l'agent bâtiment répond par la négative « Non, je ne peux pas ». Nos agents ont donc besoin de mener des conversations – i.e. des « séquences partagées de messages échangés en vue d'accomplir une tâche spécifique » (8).

Figure 3. Pour prendre les bonnes décisions, nos agents ont besoin de communiquer

Le système de communication défini doit permettre à chaque agent de commencer une action, d'interrompre cette action pour envoyer un message à un autre agent, d'interpréter un message reçu, et de reprendre son activité en fonction des messages reçus. Pour cela, nous utilisons des 'scénarios de dialogue' préétablis, qui indiquent comment agir et comment répondre lorsque l'on reçoit un message donné. Le paragraphe 3.3 décrit ce système de communication.

3.2 Représentation de l'environnement spatial

Notre modélisation de l'environnement spatial d'un agent repose sur quatre grands principes :

1 Différents types d'agents géographiques. Nous distinguons quatre catégories d'agents en fonction de la description de leur environnement spatial (Figure 4). Notons que cette classification ne se veut ni exhaustive, ni définitive. Les Petits compacts sont des objets cartographiques de petite taille, comme les bâtiments ou les symboles ponctuels, qui n'absorbent pas les déplacements (ils sont déplacés comme un tout, même s'ils peuvent par ailleurs modifier leur forme pour effectuer leur généralisation interne). Les Linéaires de réseau sont des objets linéaires qui appartiennent à un réseau (routes, voies ferrées, fleuves, etc.). Les Linéaires indépendants sont des objets linéaires qui n'appartiennent pas à un réseau (e.g. haie, talus). Contrairement aux Petits compacts, ils peuvent absorber les déplacements en modifiant leur forme. Enfin, les Surfaces partition sont des objets surfaciques qui forment une partition de l'espace (e.g. occupation du sol).

Figure 4. Différents types d'agents géographiques

2 Considérer la topologie. Pour faciliter la gestion des relations topologiques entre objets, nous créons explicitement les faces topologiques issues d'une division de l'espace par les objets Linéaires de réseau. Les objets ainsi créés s'appellent des Faces réseau.

3 Identifier les voisins, puis les contraintes relationnelles. Nos agents ont besoin de percevoir tous les agents avec lesquels ils partagent une contrainte relationnelle. Par souci de simplicité, nous décidons que tout agent est capable de percevoir la partie de l'espace située à l'intérieur

d'un buffer de distance d autour de lui, la distance d étant choisie suffisamment grande pour contenir tous les agents susceptibles de partager une contrainte relationnelle avec lui (d dépend de la base de données et des spécifications de généralisation, échelle en particulier). Nous appelons ce buffer la Zone Environnement de l'agent (Figure 5). Chaque agent calcule sa Zone Environnement durant la phase d'initialisation, avant le début de la généralisation proprement dite. Puis il détecte ses « voisins » (les agents inclus au moins partiellement dans cette zone), et identifie ses contraintes relationnelles avec chaque voisin. L'existence d'une contrainte relationnelle donnée est recherchée avec un agent donné en fonction de la nature des deux agents et de leur configuration spatiale. Par exemple, une contrainte de non-superposition est systématiquement identifiée pour un Petit Compact, avec un voisin Petit Compact qui appartient à la même Face Réseau. Une contrainte de « parallélisme entre route et bâtiment » est recherchée, pour un bâtiment, uniquement avec la route la plus proche (s'il y en a une dans sa Zone Environnement), et uniquement si la distance à cette route est inférieure à un seuil donné.

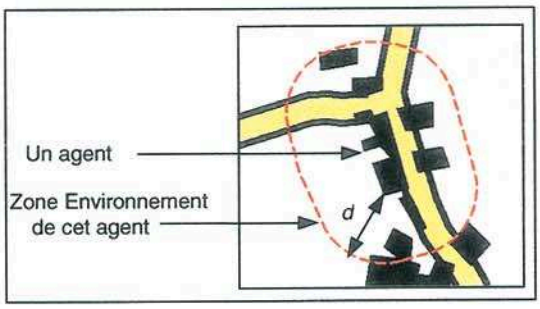

Figure 5. Zone Environnement d'un agent bâtiment.

4 Les contraintes relationnelles contraignent l'espace. Jusqu'à présent, nous avons concentré notre travail sur la représentation des contraintes relationnelles pour les Petits compacts. Pour représenter leurs contraintes relationnelles, nous introduisons le concept de Zone contrainte. L'idée est que la plupart des contraintes relationnelles d'un agent contraignent l'espace autour de lui : il y a certaines zones de l'espace dans lesquelles l'agent ne peut pas se trouver (totalement ou partiellement) sans violer certaines contraintes. Nous appelons ces zones des Zones contraintes. Par exemple, la Figure 6 montre les Zones contraintes d'un agent bâtiment, relatives à deux contraintes relationnelles avec un agent impasse. Si, au cours du processus de généralisation, l'agent bâtiment empiète sur la zone hachurée horizontalement, il viole la contrainte de proximité avec l'agent impasse. S'il empiète sur la zone hachurée verticalement, il viole la contrainte de préservation de la position relative avec l'agent impasse (il est supposé rester au bout de l'impasse). Les Zones contraintes sont intéressantes parce qu'elles permettent de remplacer une relation spatiale théorique, comme « être au bout de l'impasse », par une relation topologique, plus facile à manipuler, comme « être totalement en dehors d'une surface donnée (la Zone contrainte) ».

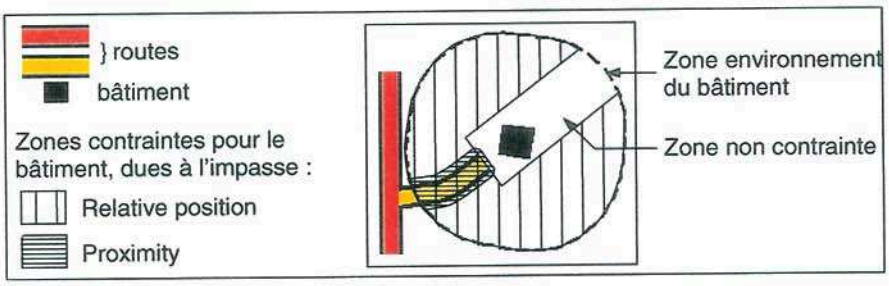

Figure 6. Zones contraintes.

Le calcul de ses Zones contraintes fait partie de l'initialisation de l'agent. L'agent les met ensuite à jour à chaque fois qu'il est activé. Le but des Zones contraintes n'est pas d'interdire systématiquement à l'agent d'empiéter dessus. C'est plutôt un moyen de calculer plus facilement, pour la position actuelle de l'agent ou pour une position future potentielle, quelles contraintes relationnelles cette position respecte ou ne respecte pas. Lorsqu'il cherche à traiter ses conflits relationnels, l'agent se sert de ses Zones contraintes :

- pour choisir une nouvelle position qui minimise les violations de contraintes (i.e. une position qui évite les Zones contraintes autant que possible) : les Zones contraintes permettent donc d'agréger les contraintes,

- pour déterminer immédiatement quelles contraintes relationnelles, avec quels agents, sont violées par la nouvelle position choisie, et pouvoir ainsi envoyer un message aux agents concernés en leur demandant de résoudre le problème.

3.3 Système de communication

Comme nous l'avons dit plus haut, nos agents ont besoin de communiquer en s'envoyant des messages, pour satisfaire au mieux leurs contraintes relationnelles. Dans notre système, nous considérons seulement des conversations impliquant deux agents (i.e. des dialogues). Mais nous autorisons un agent à mener plusieurs dialogues en même temps avec différents agents.

Pour rendre possible la communication entre agents au sein de notre système, nous devons définir la structure des messages échangés, ainsi que des protocoles permettant d'enchaîner les messages pour former des conversations. Pour cela, nous nous basons sur des idées issues de (9, 10), qui présentent des travaux du domaine des systèmes multi-agents.

Ces deux travaux se basent sur la Théorie des Actes de Langage, comme la plupart des travaux sur les langages et protocoles de communication dans le domaine multi-agents. Pour un exposé sur cette théorie, ainsi que sur la manière dont elle peut être mise en œuvre pour définir des langages de communication entre agents, nous renvoyons à (8). L'idée est qu'un énoncé, par exemple « Je te demande de bouger », consiste en un argument (ici le fait de bouger), auquel est appliquée une force illocutoire (ici une demande d'action). Cette force illocutoire est exprimée dans l'énoncé par un verbe appelé le performatif (ici demander). Il existe un petit nombre de performatifs (demander de, demander si, affirmer, nier, refuser, accepter, etc.), qui sont indépendants du domaine sur lequel porte la conversation. Seul l'argument est dépendant de ce domaine. A partir de ces performatifs, on peut définir des protocoles de conversation. Une conversation est définie par une séquence de performatifs, valable quel que soit l'argument. Par exemple, une demande d'action peut être suivie par un refus ou une acceptation, quelle que soit l'action.

Pour permettre à nos agents de mener des dialogues, nous stockons dans notre système des scénarios de conversation préétablis, contenant la séquence de performatifs échangés. Lorsqu'il reçoit un message, un agent se réfère à ces scénarios pour savoir quelles réponses potentielles il peut y apporter. Pour permettre à l'agent de choisir la bonne réponse parmi les réponses possibles en fonction de sa situation, nous stockons avec chaque performatif d'un scénario préétabli :

- le nom de la tâche que doit accomplir l'agent qui reçoit le message,
- la règle qui lui permet de choisir le prochain message à envoyer en fonction du résultat de cette tâche.

Par exemple, un agent qui reçoit une demande d'action doit réaliser une analyse de sa capacité à faire cette action. Si l'analyse conclut que l'agent est capable de réaliser l'action, l'agent envoie un message d'acceptation et réalise effectivement l'action. Sinon, il envoie un message de refus.

Ces scénarios de dialogue préétablis sont stockés dans le système sous forme d'automates à états finis (ou graphes de transitions), ce qui est une technique classique des systèmes de communication multi-agents. Lorsque deux agents sont en dialogue, ils jouent deux rôles différents : celui qui envoie le premier message est l'initiateur, l'autre est le répondant. La conversation est vue par chaque interlocuteur comme une suite d'états séparés par des transitions. Une transition a lieu à chaque fois qu'un message est envoyé ou reçu. Un état correspond à l'intervalle de temps entre deux transitions. Pendant cet intervalle, chaque agent peut être soit en train de calculer quelque chose, soit en train d'attendre le prochain message. Un scénario de dialogue est donc représenté par deux automates à états finis jumelés : l'un modélisant la conversation du point de vue de l'initiateur, l'autre du point de vue du répondant. La Figure 7 montre les automates à états finis jumelés pour le scenario de dialogue « Demande d'action ».

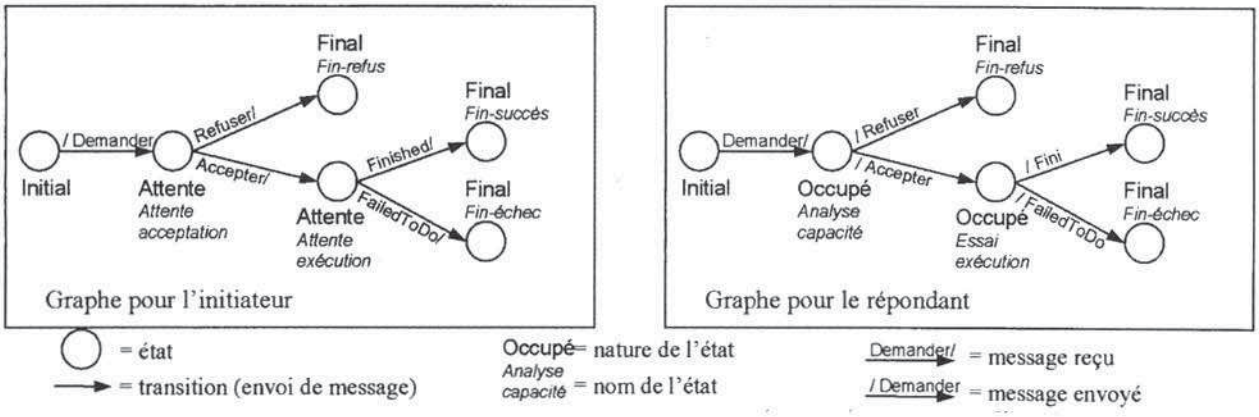

Figure 7. Les scénarios de dialogue préétablis sont stockés sous forme d'automates à états finis jumelés.

4 RÉSULTATS

4.1 Système implémenté

Le système décrit ci-dessus a été implémenté dans le système d'information géographique LAMPS2, commercialisé par la société Laser-Scan Ltd, qui est orienté objet. Nous généralisons des zones rurales de la base de données géographique « BDTopo® » pour produire des cartes topographiques à des échelles allant du 1 :25 000 au 1 :50 000 (l'échelle finale est un paramètre du système).

En l'état actuel des développements, nous travaillons uniquement avec des objets routes et bâtiments pour tester l'approche proposée, même si l'intérêt de cette approche est précisément de permettre l'introduction d'autre types d'objets géographiques. Dans son état actuel, le système a pour but de résoudre les conflits de superposition

de symboles entre routes et bâtiments, et entre les bâtiments entre eux. Les routes sont considérées comme fixes, seuls les bâtiments sont mobiles.

Trois types de contraintes relationnelles sont considérés :

- Contraintes de non superposition entre : 1) symboles de routes et de bâtiments, 2) symboles de bâtiments entre eux.

- Contrainte de proximité: les symboles de routes et de bâtiments, et les symboles de bâtiments entre eux, doivent respecter un seuil de séparabilité donné (0.1mm sur la carte dans notre cas).

- Contrainte de topologie: un bâtiment ne peut pas "sauter par-dessus" une route.

De plus, nous considérons une contrainte interne de précision planimétrique des bâtiments, qui interdit à un bâtiment de s'éloigner trop fortement de sa position d'origine. Un seul scénario de dialogue est utilisé : le scénario de « demande d'action », qui a été évoqué dans la partie précédente (demande suivie d'un refus ou d'une acceptation).

Le comportement standard des agents routes consiste à pousser les agents bâtiments, en leur demandant de s'éloigner. De la même manière, le comportement standard des agents bâtiments consiste à pousser les autres agents bâtiments, en leur demandant de s'éloigner. La priorité est donnée à la résolution des conflits entre routes et bâtiments. Ainsi, un bâtiment préfèrera s'éloigner des routes, même si cela entraîne l'apparition ou l'aggravation d'un conflit avec un autre bâtiment. De même un bâtiment n'acceptera jamais de résoudre un conflit avec un autre bâtiment si cela entraîne l'apparition d'un conflit avec une route.

Enfin, nous ajoutons aux agents bâtiments une méthode issue du système du projet AGENT, également implémenté sous le SIG LAMPS2, pour leur permettre de réaliser leur généralisation individuelle. Ainsi, en plus de leurs contraintes relationnelles, les agents bâtiments tiennent compte de contraintes internes à satisfaire : taille minimum, niveau de détail du contour, etc. Ils satisfont ces contraintes en simplifiant leur contour, en équarrissant leurs angles ou en se dilatant.

4.2 Résultats cartographiques

Les figures 8, 9 et 10 montrent des résultats de généralisation obtenus aux échelles 1:25 000, 1:35 000 et 1:50 000 respectivement. Rappelons que les données origine peuvent être affichées sans généralisation au 1 :15 000. Sur chaque figure, les zones sont dessinées d'une part agrandies, d'autre part à l'échelle réelle d'impression. Trois zones de complexité croissante (densité croissante de bâtiments) sont considérées. Les trois zones ont été généralisées au 1 :25 000 et au 1 :35 000. Au 1 :50 000, seules les zones (a) et (b) ont été généralisées : la zone (c) est trop dense pour être généralisée par le système dans son état actuel.

A l'échelle du 1 :25 000 (Figure 8), tous les conflits de superposition ont été résolus. Cependant, deux petites dégradations des positions relatives des bâtiments peuvent être observées dans la zone la plus dense (c) (ce qui est normal puisqu' aucune contrainte n'a été définie pour gérer cela pour l'instant).

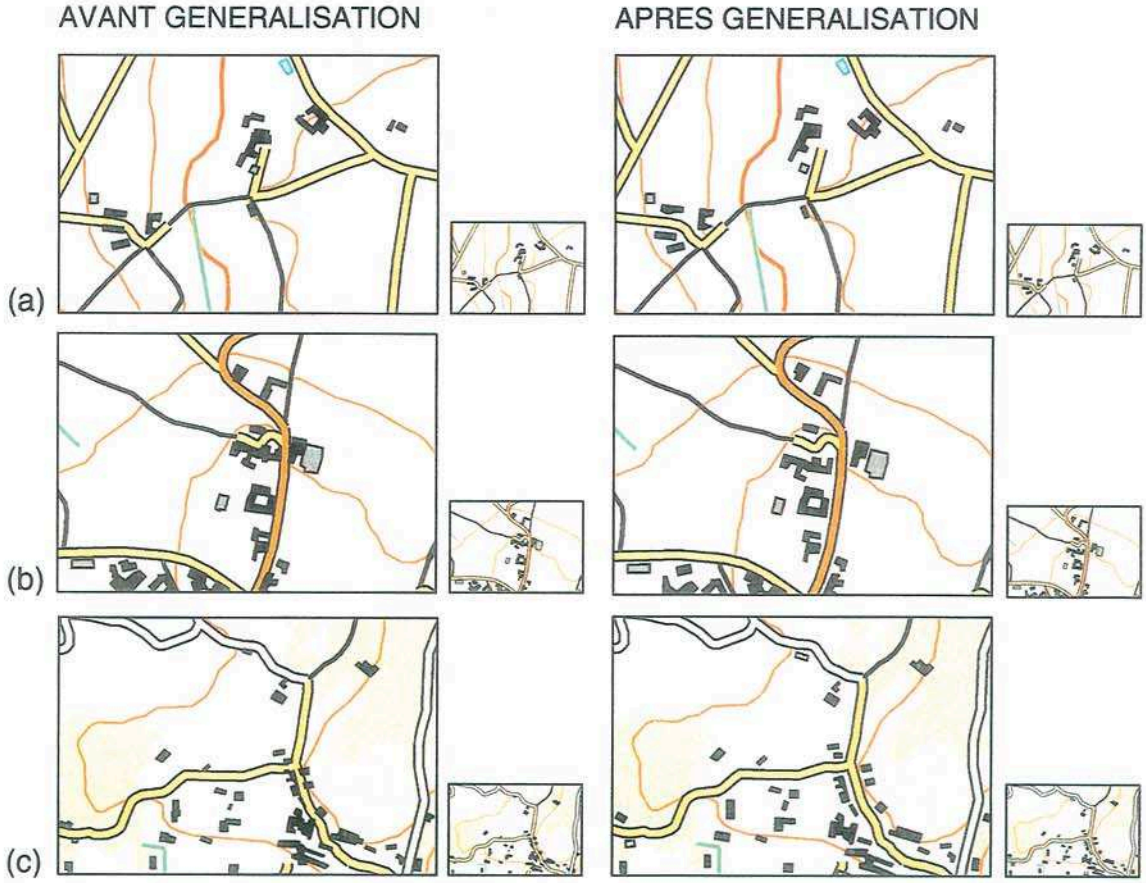

Figure 8. Résultats cartographiques pour une échelle de 1:25 000

A des échelles plus petites, il y a évidemment moins de place pour chaque bâtiment, aussi les situations sont plus contraintes et le système doit trouver d'autres solutions. Au 1 :35 000 (Figure 9), les résultats sur les zones (a) et (b), de faible densité en bâtiments, sont encore corrects. En revanche, les limites du systèmes dans son état actuel apparaissent sur la zone (c), de densité plus forte : tous les conflits de superposition n'ont pu être résolus, et de plus quelques positions relatives sont endommagées. Cela montre qu'il est nécessaire de considérer d'autres contraintes, telles que des contraintes de maintien des positions relatives, ainsi que d'autres opérations de généralisation comme l'élimination d'objets.

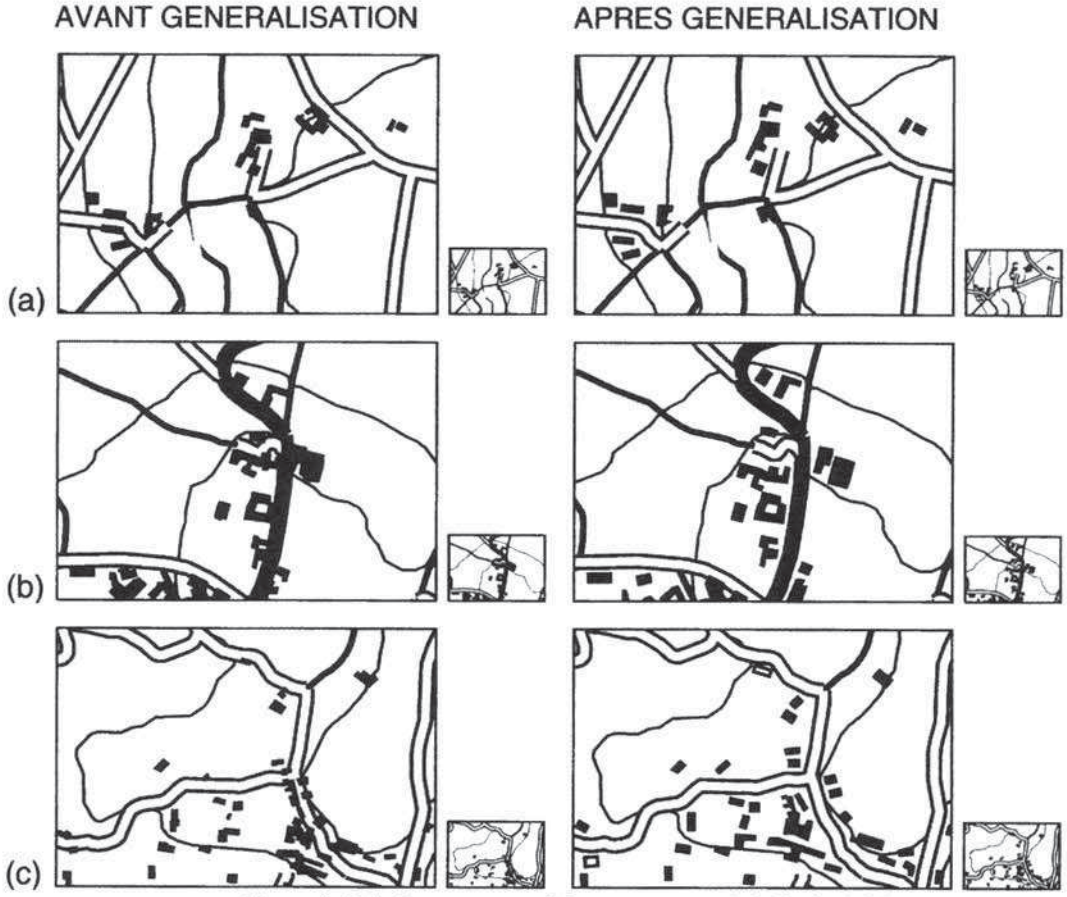

Figure 9. Résultats cartographiques pour une échelle de 1:35 000

Figure 9. Résultats cartographiques pour une échelle de 1:35 000

A l'échelle du 1:50 000 (Figure 10, page suivante), même sur les zones les moins denses en bâtiments quelques dégradations de positions relatives apparaissent, bien que tous les conflits de superposition soient résolus et que les résultats restent acceptables. On peut également noter une erreur sur la généralisation individuelle d'un bâtiment de la zone (b), mais cela ne relève pas du travail présenté ici.

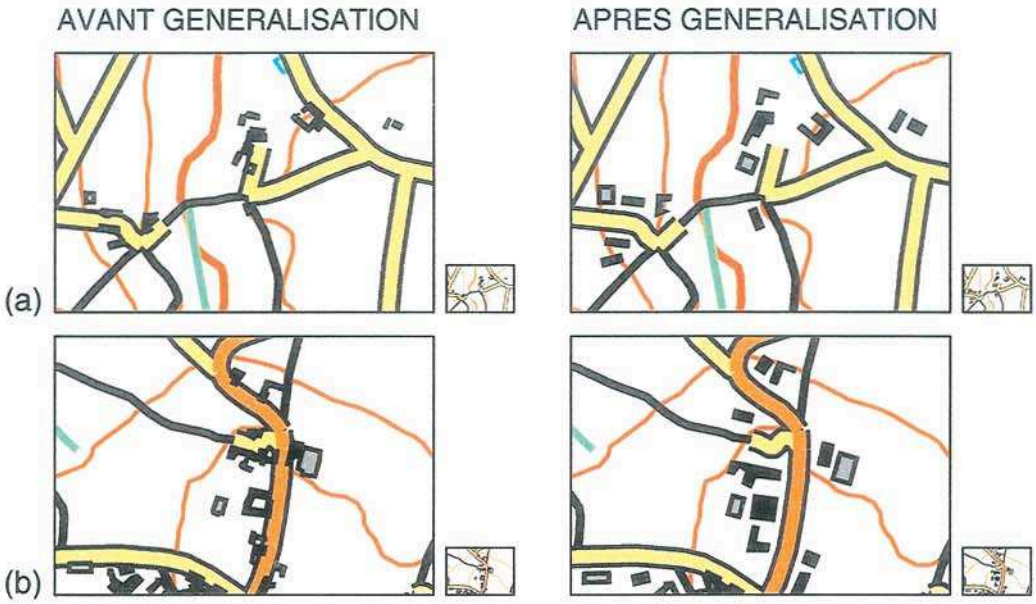

Figure 10. Résultats cartographiques pour une échelle de 1:50 000

5 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'objet de notre travail est de concevoir un système pour la généralisation cartographique automatique, basé sur des interactions bilatérales entre 'agents géographiques'. Le système implémenté montre la faisabilité de l'approche et sa pertinence : le système fonctionne, et fournit déjà des résultats encourageants alors que seules quelques contraintes cartographiques y sont définies. Dans les zones de faible densité en bâtiments, les résultats sont d'ores et déjà corrects. De plus, le modèle est suffisamment flexible pour pouvoir être appliqué à des échelles allant jusqu'au 1:50 000.

En termes d'innovations, la représentation de l'environnement d'un agent au moyen de Zones contraintes est un apport précieux pour trouver une position qui satisfasse plusieurs contraintes à la fois. De plus, il est très encourageant de constater que notre système et le système issu du projet AGENT peuvent être utilisés ensemble : cela prouve en effet que les systèmes sont compatibles, et nous permet de réutiliser des travaux issus de recherches antérieures.

Pour améliorer la qualité cartographique des résultats, nous devons à présent considérer davantage de contraintes cartographiques : préservation des positions relatives entre bâtiments, exagération d'orientations relatives (parallélisme, perpendicularité), etc. Certaines de ces nouvelles contraintes, notamment celles qui concernent les orientations, ne peuvent être représentées par des Zones contraintes. Nous travaillons donc actuellement sur une nouvelle représentation des contraintes, basée en partie, mais pas exclusivement, sur le concept de Zones contraintes. Cette nouvelle représentation permet d'introduire de nouvelles contraintes relativement facilement.

Toujours pour améliorer la qualité des résultats, nous devons introduire de nouvelles opérations de généralisation, déjà étudiées mais pas encore présentes dans notre système, comme le déplacement des routes ou l'élimination de bâtiments. Toutefois, en ce qui concerne l'élimination, il s'agit d'une opération délicate, parce que les objets « les plus importants » doivent être conservés. Aussi, permettre aux bâtiments de s'éliminer d'eux-mêmes (de « se suicider », en quelques sortes) doit être envisagé avec énormément de précautions, par exemple en réservant cette possibilité aux bâtiments de petite taille et de catégorie 'quelconque' (par opposition aux bâtiments ayant une fonction particulière). Nous travaillons actuellement sur ce point.

Une étape supplémentaire pour montrer l'intérêt de notre approche est l'introduction d'autres thèmes géographiques que les routes et bâtiments. Nous pensons ajouter des objets des thèmes hydrographie et occupation du sol, qui sont les plus présents avec les routes et bâtiments dans les zones rurales.

Enfin, notre approche, qui consiste à utiliser uniquement des interactions bilatérales, n'est pas adaptée à tous les cas. En effet, elle repose sur une hypothèse forte qui n'est pas toujours vérifiée, à savoir qu'un réseau de conflits bilatéraux au sein d'un ensemble d'objets peut être résolu en ne s'appuyant que sur des interactions bilatérales. Dans certaines situations sur-contraintes, cette approche est insuffisante et il serait nécessaire d'avoir recours à un niveau supérieur (niveau meso) pour mettre en œuvre une résolution de groupe. Aussi, une prochaine étape de notre travail consiste à coupler plus fortement notre système avec le système issu du projet européen AGENT, de manière à utiliser une organisation pyramidale d'agents quand cela est nécessaire, quitte à considérer localement les seuls thèmes qu'on sait traiter avec ce type d'organisation, i.e. les routes et les bâtiments. Pour cela, nous devons être capables de détecter les situations sur-contraintes. Nous pensons faire cela en enregistrant et en analysant les dialogues entre agents.

6 RÉFÉRENCES

1. K. Brassel & R. Weibel, «A review and conceptual framework of automated map generalization», International Journal of Geographic Information Systems, 1988, vol.2, n°3, p.229-244 (1988).

2. R. McMaster & K. Shea, «Cartographic Generalization in a Digital Environment: a Framework for implementation in a GIS», Proceedings of GIS/LIS'88, San Antonio, Texas, USA, p.240-249 (1988).

3. A. Ruas, «Modèle de généralisation de données géographiques à base de contraintes et d'autonomie», Thèse de doctorat, université de Marne-la-Vallée, (1999).

4. M. Barrault, N. Regnauld, 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 Generalization», Proc. of the 20th International Cartographic Conference, vol.3, Beijing, China, p.2110-2116 (2001).

5. G. Weiss, «Multiagent Systems. A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence», The MIT Press (1999).

6. AGENT Consortium 1998, Intermediate presentation to the European Commission (1998).

7. A. Ruas, «Method for buiding displacement in automated map generalisation», International Journal of Geographical Information Science, vol.12, n°8, p.789-803 (1998).

8. Y. Labrou, «Standardizing Agent Communication», In Multi-Agent Systems and Applications, 9th ECCAI Advanced Course, 3rd European Agent Systems Summer School (EASSS'01), Prague, Selected Tutorial Papers. M. Luck, V. Marik, O. Stepankova, R. Trappl, eds. LNAI n°2086, p.75-97 (2001).

9. M. Barbuceanu, M. Fox. «COOL: A Language for Describing Coordination in Multi-Agent Systems», Proc. of ICMAS'95, San Francisco, USA, p.17-24 (1995).

10. J. Ferber. «Les systèmes multi-agents», InterÉditions, Paris (1995). English version: J. Ferber, «Multi-agent systems», Addison-Wesley (1999)