

# Gestion des connaissances imprécises pour évaluer la généralisation cartographique

## Management of knowledge imprecision to assess cartographic generalization

Sylvain Bard<sup>1,2</sup>    Bernadette Bouchon-Meunier<sup>2</sup>    Anne Ruas<sup>1</sup>    Marcin Detyniecki<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut Géographique National - Laboratoire COGIT, prénom.nom@ign.fr  
IGN – COGIT, 2-4 av. Pasteur – 94165 St-Mandé Cedex – France

<sup>2</sup>Laboratoire d'Informatique de Paris 6, prénom.nom@lip6.fr  
LIP6 – Pôle IA, 8 rue du Capitaine Scott – 75015 Paris – France

sylvain.bard@ign.fr

### Résumé :

La généralisation cartographique consiste à fabriquer une carte à partir de données plus détaillées. L'utilisation de données numériques a permis une automatisation de ce processus. L'évaluation du résultat produit est une étape nécessaire pour vérifier et améliorer le résultat de généralisation. La difficulté de cette évaluation est liée aux connaissances imparfaites et peu formalisées des cartographes. Dans cet article nous montrons que les imperfections des connaissances nécessaires à l'évaluation sont des imprécisions et nous proposons une méthodologie d'évaluation basée sur la gestion de ces imprécisions.

### Mots clef :

Evaluation, généralisation cartographique, imprécisions des connaissances.

### Abstract:

The cartographic generalization consists in making a map from more detailed data. The automation of generalization process has been possible by the use of digital data. The assessment of the quality of the result is an important and necessary step to check and improve the generalization. The imperfect knowledge of the cartographer and his lack of formalization are the main difficulties. This paper identifies the imprecision of knowledge and proposes a methodology of assessment based on the management of these imprecisions.

### Keywords:

Assessment, cartographic generalization, knowledge imprecision

## 1 Introduction

Une carte constitue une représentation de la réalité selon une symbolisation, c'est-à-dire

qu'elle constitue une image de la réalité telle que nous la percevons. L'être humain utilise différentes échelles pour décrire le monde qui l'entoure. En cartographie, la généralisation désigne le processus qui permet de fabriquer une carte à plus petite échelle à partir de données (carte ou base de données) plus précises et plus détaillées. L'objectif est donc de représenter la même réalité géographique mais sur une surface plus petite et de façon plus synthétique.



Figure 1. Extrait de carte au 1:25.000



Figure 2. Réduction et généralisation au 1:100.000

Les extraits de cartes des figures 1 et 2 illustrent ce processus. On dispose d'une carte initiale au 1:25.000 et l'on souhaite en dériver

une carte au 1:100.000 pour une utilisation cartographique qui ne nécessite pas un tel niveau de détail. Le but est de représenter sur une surface seize fois plus petite cette même zone géographique. Une simple réduction photographique ne suffit pas car l'information devient totalement illisible. Il ne s'agit pas seulement de simplifier l'information initiale mais d'éliminer également les détails peu significatifs et de ne sélectionner que l'information importante en fonction des objectifs d'utilisation de la carte.

La généralisation modifie les données initiales au moyen d'opérations telles que l'élimination, le déplacement ou l'agrégation d'objets géographiques (rues, bâtiments). Par conséquent, les données dérivées par généralisation ne sont pas exemptes d'erreurs. L'influence de ces erreurs dans l'utilisation des données peut être dommageable. Par exemple, un manque de précision dans le positionnement d'une voie de communication traversant un fleuve induit une mauvaise estimation de la longueur d'un trajet et du temps de parcours dans un calcul d'itinéraire.

Traditionnellement, la généralisation était effectuée manuellement et le contrôle de la qualité des cartes produites était uniquement visuel, c'est-à-dire laissé à la libre appréciation du cartographe. Aujourd'hui, l'utilisation des données numériques permet l'automatisation de ce processus et un contrôle qualité plus rigoureux est envisageable. L'évaluation de la qualité de la généralisation a pour but de : (1) détecter les erreurs pour les corriger, (2) évaluer le degré d'acceptabilité du résultat, c'est-à-dire évaluer si les données généralisées reflètent toujours la réalité et (3) évaluer si les données conservées répondent aux objectifs, c'est-à-dire satisfont les besoins de l'utilisateur.

L'importance de l'évaluation de la qualité des données après généralisation est soulignée dans la littérature mais reste peu étudiée [11][12][17]. Cet état de fait n'est pas dû à un manque d'intérêt mais à la complexité du problème à résoudre. Des expériences conduites auprès de cartographes [15] ont

montré que les résultats de généralisation produits pour une même carte initiale étaient tous différents mais tous acceptables. Une généralisation de référence représentant une solution idéale n'existe donc pas. L'écart du résultat de généralisation à une généralisation de référence ne peut être mesuré, ce qui définit la première difficulté de l'évaluation.

En outre, les spécifications de généralisation définissant l'information à conserver après généralisation sont peu formalisées. Les règles sont du type « les bâtiments ne doivent pas être trop déplacés ». Qu'est-ce que *'pas trop'* ? Selon le contexte de généralisation, on tolère qu'un bâtiment soit plus ou moins déplacé (zone peu vs. très dense). Il n'existe donc pas de seuil de déplacement maximum clairement défini, cette appréciation est laissée au savoir-faire du cartographe.

Les connaissances de généralisation ne sont donc pas parfaites et l'objectif de ces travaux est de prendre en compte ces imprécisions afin d'évaluer de manière automatique la qualité du résultat de généralisation. Pour ce faire, nous identifions le type de connaissances imparfaites à traiter dans le cadre de l'évaluation de la qualité de la généralisation (partie 2), puis nous proposons une méthodologie de gestion de ces connaissances imparfaites (partie 3) et présentons enfin les premiers résultats (partie 4).

## 2 Les connaissances imparfaites

Cette partie est consacrée à la présentation des termes utilisés en information géographique pour traiter des connaissances imparfaites afin d'identifier le type d'imperfection lié aux connaissances de généralisation.

### 2.1 Terminologie

Les travaux de recherche en cartographie manipulant des connaissances imparfaites se focalisent surtout sur la définition des limites de zones géographiques mal définies (trait de côte, zone forestière, périmètre de protection d'un captage d'eau, zone de risque

d'avalanche) en proposant l'utilisation de régions floues [1][9][16]. D'autres travaux plus généraux se sont intéressés aux types d'imperfection des connaissances en cartographie [7][18]. Cependant, les terminologies sur les connaissances cartographiques imparfaites ne sont pas suffisantes pour identifier les imperfections des connaissances qui nous intéressent, c'est-à-dire de généralisation.

La communauté de recherche en intelligence artificielle, distingue souvent trois catégories d'imperfection des connaissances : les incertitudes, les imprécisions et les incomplétudes [3]. Une incertitude porte sur la validité des connaissances, par exemple « je crois que la limite de la zone forestière est là ». Une imprécision concerne l'expression d'une connaissance par des termes (environ, autour de). Par exemple, « la surface de la zone forestière est d'environ 8 km<sup>2</sup> ». Enfin, une incomplétude porte sur l'absence de connaissances ou sur une connaissance partielle. Par exemple, la présence d'une zone d'ombre masquant une partie du territoire.

## 2.2 Les imperfections dans les connaissances de généralisation

Les spécifications de généralisation sont peu formalisées et sont décomposées en deux 'familles' : les contraintes dites de généralisation et les contraintes dites de lisibilité. Les contraintes de généralisation traduisent les besoins de l'utilisateur. Les contraintes de lisibilité sont liées à la physiologie de l'œil humain qui contraint la représentation du symbole cartographique à l'échelle de généralisation.

Les contraintes de généralisation s'expriment sous une forme imprécise telle que « la route ne doit pas être trop déplacée » et se présentent par des illustrations montrant des exemples de bonne et de mauvaise généralisation (Figure 3). La difficulté principale consiste à traduire l'imprécision du terme *pas trop* sous la forme d'une valeur numérique compréhensible par un ordinateur. Ici, cela peut être traduit par :

« l'écart de position de la route à la route initiale est d'au plus 50m ».

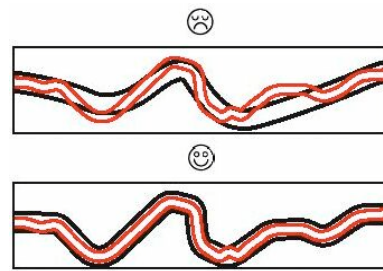


Figure 3. Généralisation cartographique d'une route, d'après [14]

Les contraintes de lisibilité sont constituées des seuils de perception (taille minimale) et de séparation (distance minimale entre deux objets). Ces seuils traduisent la nécessité d'une information claire et lisible après généralisation et dépendent de l'échelle. Des travaux de sémiologie graphique ont permis de déterminer ces différents seuils [2][5][15]. Par exemple, un objet surfacique doit avoir une taille minimale de 0.4mm de côté soit 400m<sup>2</sup> à l'échelle du 1:50.000.

La difficulté lors de l'évaluation de la qualité de la généralisation effectuée provient de la précision de telles valeurs. En effet, l'être humain est physiologiquement incapable de distinguer un bâtiment de taille 380m<sup>2</sup> d'un de 420m<sup>2</sup>. Pourtant, si le seuil est de 400m<sup>2</sup>, dans un cas l'évaluation sera bonne et dans l'autre mauvaise. La taille minimale pour un bâtiment devrait donc être *d'environ* 400m<sup>2</sup> (fig. 4). Cet exemple met en évidence l'imprécision qui existe autour des seuils cartographiques de lisibilité.

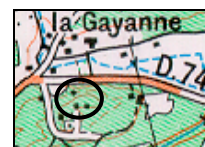


Figure 4. Bâtiments perçus de taille identique au 1:50.000.

D'après la terminologie précédente, les imperfections dans les connaissances de généralisation sont des imprécisions. Le cartographe est capable d'adapter les spécifications de généralisation en fonction du contexte, c'est-à-dire de prendre en compte ces imprécisions dans son raisonnement.

### 3 Gestion des imprécisions

Dans cette section, nous présentons puis formalisons notre méthodologie d'évaluation. Les imprécisions des connaissances sont d'abord gérées sous la forme d'une tolérance dans les fonctions d'évaluation §3.1 puis sous forme de fonctions d'évaluation floues en §3.3.

#### 3.1 Méthodologie d'évaluation

L'évaluation s'appuie sur les données initiales comme données de référence, car ces données sont les plus précises et les plus complètes [11]. La méthode proposée est fondée sur trois étapes : (1) la caractérisation, (2) l'évaluation et (3) l'agrégation.

La caractérisation (Figure 5. a-a') consiste à décrire l'espace géographique à l'état initial et à l'état final (avant et après généralisation). Les objets de l'espace géographique sont décrits à l'aide de propriétés les caractérisant et correspondent à trois niveaux d'analyse spatiale : micro, méso et macro [13]. Le niveau micro correspond à la description d'un objet indépendamment des autres objets (bâtiment, route). Le méso correspond à la description d'un groupe, ce groupe peut être formé d'objets micro (quartier composé d'un groupe de bâtiments) ou d'objets méso (ville regroupe des quartiers). Le niveau macro décrit une population d'objets (ensemble des bâtiments, des routes). Par exemple, un bâtiment est caractérisé par ses propriétés de taille, position, orientation, forme et granularité. A chaque propriété est associée une mesure particulière.

L'évaluation (Figure 5. b) a pour objectif de vérifier si une propriété a évolué 'comme voulu' durant la généralisation. En effet, au cours de la généralisation le cartographe cherche à maintenir certaines propriétés (position, orientation, forme générale), et à en modifier d'autres (amplification de la taille, diminution de la granularité, simplification de la forme). Par conséquent, plusieurs types de fonction d'évaluation sont définis en fonction du type de propriété évalué. Néanmoins, le cartographe n'a qu'une idée très générale de

l'évolution d'une propriété, ce qui explique que les règles de généralisation sont peu formalisées. Nous cherchons donc à définir une valeur 'idéale' pour chaque propriété. Cette valeur théorique est ensuite comparée à la valeur observée après généralisation et interprétée. Cette interprétation permet de définir ce qui est acceptable et non acceptable du point de vue de la généralisation. La zone d'acceptabilité est décrite sous la forme d'une tolérance qui traduit les imprécisions des connaissances de généralisation pour l'évaluation. A la fin de l'étape d'évaluation, la généralisation de chaque objet est qualifiée pour chacune des propriétés qui le décrit. L'évaluation se fait donc (1) au niveau d'un objet, où chacune des propriétés de l'objet est évaluée (taille, position) et (2) au niveau d'une propriété, où la distribution des valeurs de chaque objet pour cette propriété est évaluée (distribution de taille, des densités).

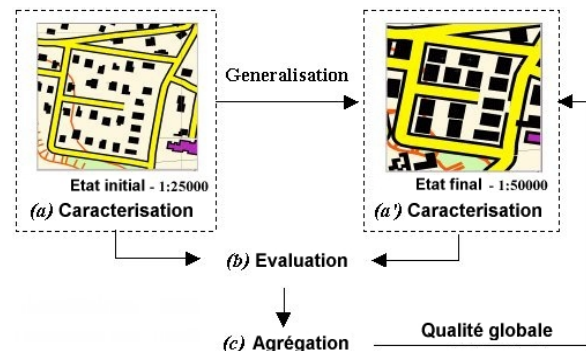


Figure 5. Méthodologie d'évaluation

L'agrégation consiste à agréger toutes ces informations qualité pour obtenir une évaluation globale du résultat de généralisation (Figure 5. c). Cette agrégation se situe au niveau de l'objet, de la propriété et à un niveau global. Pour l'objet, l'agrégation vise à synthétiser l'information qualité obtenue sur les différentes propriétés (taille, position, forme d'un bâtiment). Au niveau d'une propriété, l'agrégation vise à résumer les informations qualités sur les distributions d'objets (la taille, la densité des bâtiments). Enfin l'agrégation globale permet d'avoir une vue d'ensemble de la qualité de la généralisation effectuée à partir des deux agrégations précédentes.

### 3.2 Formalisation

Un objet géographique  $O$  appartient à une classe d'objets  $C$  et est décrit au moyen de propriétés  $P$  qui le caractérisent. Notons :

- $\Omega = \{C_c, 1 \leq c \leq m\}$  l'ensemble des classes d'objets géographiques,
- $\mathcal{O} = \{O_i, 1 \leq i \leq n\}$  l'ensemble des objets géographiques de classe  $c$ ,
- $P^c = \{P_j, 1 \leq j \leq p\}$  est l'ensemble des propriétés décrivant la classe  $c$ ,
- $S = \{I, F\}$  l'état de l'objet géographique,  $I$  à l'état initial (avant généralisation) et  $F$  à l'état final (après généralisation).

Une fonction de caractérisation  $f$  est définie par :

$$f_{P_j}^s : \Theta^c \rightarrow \mathbb{R}^+, \text{ avec } s \in S, 1 \leq j \leq p \quad (1)$$

où  $P_j$  est une propriété décrivant l'objet  $O_i$ , à l'état  $s$ . De la même manière, le vecteur de caractérisation  $Car$  d'une distribution d'objets de classe  $c$  pour la propriété  $P_j$  à l'état  $s$ , est noté :

$$Car^s : P \rightarrow (\mathbb{R}^+)^n$$

$$Car^s(P_j) = \begin{bmatrix} f_{P_j}^s(O_1) \\ \dots \\ f_{P_j}^s(O_n) \end{bmatrix} \quad (2)$$

La fonction  $g_j$  qui définit l'évolution souhaitée d'un objet pour une propriété  $P_j$  au cours de la généralisation, et la fonction  $g'_j$  pour une distribution d'objets, sont notées :

$$g_j : \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^+ \quad (3)$$

$$f_{P_j}^I(O_i) \mapsto g_j(f_{P_j}^I(O_i)) = T_{i,j}$$

$$g'_j : (\mathbb{R}^+)^n \rightarrow \mathbb{R}^+ \quad (4)$$

$$Car^I(P_j) \mapsto g'_j(Car^I(P_j)) = T'_j$$

où  $T_{i,j}$  est la valeur théorique de l'objet  $O_i$  et  $T'_j$  est la distribution théorique pour la propriété  $P_j$  après généralisation.

L'écart  $e$  entre les valeur théoriques  $T_{i,j}$ ,  $T'_j$  et les valeurs observées  $f_{P_j}^F$ ,  $Car^F(P_j)$  après généralisation est calculé sous la forme d'une

distance  $dist_j$  pour l'objet et  $dist'_j$  pour la distribution :

$$dist_j(f_{P_j}^F(O_i), T_{i,j}) = e_{i,j} \quad (5)$$

$$dist_j(Car^F(P_j), T'_j) = e'_j \quad (6)$$

L'évaluation consiste alors à interpréter si les écarts  $e_{i,j}$  et  $e'_j$  sont acceptables ou non en fonction des spécifications de généralisation grâce aux fonctions d'évaluation  $h$  et  $h'$ , définies comme suit :

$$I = [0, t]$$

$$h : \mathbb{R} \rightarrow [0,1] \quad (7)$$

$$\text{tel que } \begin{cases} h(e) = 1 \text{ si } e \in I \\ h(e) = 0.75 \text{ si } t < e \leq t + \varepsilon \\ h(e) = 0.25 \text{ si } t + \varepsilon < e \leq t + \delta \\ h(e) = 0 \text{ sinon} \end{cases}$$

$$h' : \mathbb{R} \rightarrow [0,1] \quad (8)$$

$$\text{tel que } \begin{cases} h'(e') = 1 \text{ si } e' \in I \\ h'(e') = 0.75 \text{ si } t < e' \leq t + \varepsilon \\ h'(e') = 0.25 \text{ si } t + \varepsilon < e' \leq t + \delta \\ h'(e') = 0 \text{ sinon} \end{cases}$$

où l'intervalle  $I$  définit la zone d'acceptabilité (tolérance  $t$ ) du résultat de généralisation. Lorsque l'écart  $e$  ou  $e'$  appartient à cet intervalle la généralisation est évaluée comme de bonne qualité sinon selon les valeurs de  $\varepsilon$  et  $\delta$ , elle est progressivement de mauvaise qualité. Quatre niveaux d'appréciation de la qualité sont retenus : bonne, mauvaise, plutôt bonne et plutôt mauvaise. Les deux niveaux intermédiaires fournissent des résultats plus fins qu'un seul niveau dit de qualité moyenne.

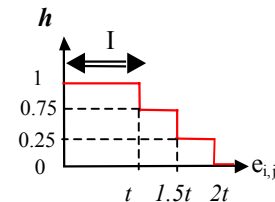


Figure 6. Fonction d'évaluation  $g$

Par exemple, la fonction d'évaluation de la taille d'un bâtiment est construite en fonction du seuil de lisibilité (taille minimale). Les bâtiments en dessous de ce seuil sont grossis jusqu'à ce qu'ils soient lisible (1<sup>er</sup> palier). Afin de conserver les différences dans la répartition des tailles des bâtiments, cette amplification

est propagée sur les bâtiments de taille intermédiaire (2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> palier). La fonction reprend une forme linéaire pour les bâtiments les plus gros qui n'ont pas besoin d'être modifiés (Figure 7). Considérons un bâtiment  $i$  dont la taille initiale  $f_{P_j}^I(O_i)$  est 125m<sup>2</sup> et la taille après généralisation  $f_{P_j}^F(O_i)$  est 430m<sup>2</sup>. La valeur théorique  $T_{i,j}$  renvoyée est de 400m<sup>2</sup>, l'écart  $e$  est donc de 30m<sup>2</sup>. La tolérance est de 50m<sup>2</sup>, la valeur de  $h(e)$  est donc 1 ce qui correspond a une généralisation de bonne qualité.

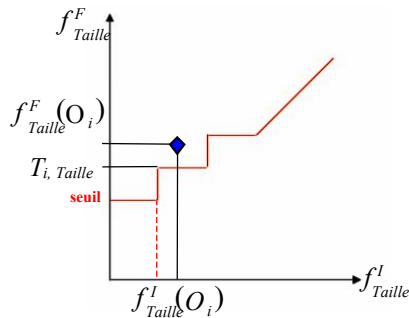


Figure 7. Evolution de la taille d'un bâtiment

Chaque objet  $O_i$  est évalué selon les  $p$  propriétés qui le décrivent. La fonction d'agrégation  $a$  fournit un résultat global  $q_{O_i}$  de l'évaluation de la généralisation d'un objet, tel que :

$$a: IR^p \rightarrow IR$$

$$(h(e_{i,1}), \dots, h(e_{i,p})) \mapsto a(h(e_{i,1}), \dots, h(e_{i,p})) = q_{O_i} \quad (9)$$

La fonction d'agrégation  $a'$  fournit une appréciation de la qualité de la généralisation selon les distributions de valeurs des différentes propriétés d'une classe  $c$ , tel que :

$$a': IR^p \rightarrow IR$$

$$(h'(e'_1), \dots, h'(e'_p)) \mapsto a'(h'(e'_1), \dots, h'(e'_p)) = Q \quad (10)$$

Les opérateurs d'agrégation  $a$  et  $a'$  peuvent être relativement classiques (moyenne, médiane, min et max) ou plus complexes comme dans [6].

### 3.3 Extension à l'évaluation floue

Le §3.1 permet une évaluation de la qualité de la généralisation via la définition d'un intervalle de tolérance. Néanmoins cet intervalle déplace uniquement la limite stricte

d'acceptation. L'extension de cette fonction d'évaluation à une fonction d'évaluation floue paraît naturelle pour gérer les imprécisions dans les connaissances cartographiques de généralisation. Seule est présentée une formalisation de l'évaluation pour un objet, nous n'avons pas encore travaillé sur les distributions et l'agrégation des évaluations floues.

Soit  $E$  l'ensemble des valeurs d'écart  $e$ . On définit un sous-ensemble flou  $A$  d'évaluation des écarts entre la valeur théorique  $T_{i,j}$  et la valeur observée  $f_{P_j}^F$  après généralisation. La fonction d'appartenance trapézoïdale  $I'_A$  (Figure 8) associée à tout élément  $e$  de  $E$ , le degré d'appartenance  $I'_A(e)$  compris entre 0 et 1. Cette fonction est définie comme suit :

$$I'_A \rightarrow [0,1]$$

$$I'_A(e) = \begin{cases} (e-c)/(a-c) & \text{si } c \leq e < a \\ 1 + (b-e)/(d-b) & \text{si } e > b \\ 1 & \text{sinon} \end{cases} \quad (11)$$

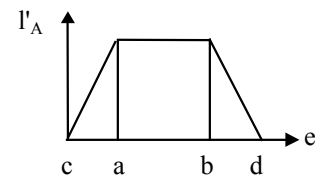


Figure 8. Fonction d'évaluation floue  $I'_A$

Cette formalisation est reprise pour les fonctions d'appartenance décrivant une qualité de généralisation de moins en moins acceptable, c'est-à-dire pour un écart  $e$  de plus en plus important. Ces sous-ensembles sont notés A, B, C et D respectivement pour qualifier une généralisation de bonne, plutôt bonne, plutôt mauvaise et de mauvaise qualité (Figure 9).

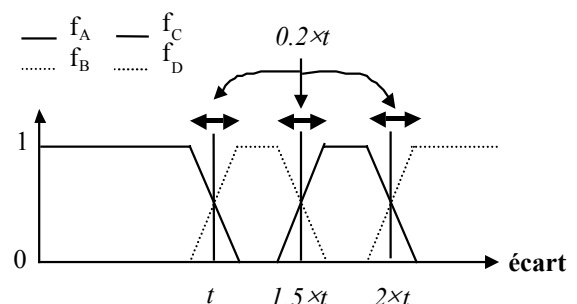


Figure 9. Paramétrisation des fonctions d'évaluation floues (tolerance  $t$ )

La difficulté de cette approche concerne la paramétrisation des fonctions d'évaluation floues. Par hypothèse empirique, la généralisation est considérée comme de bonne qualité lorsque l'écart entre les valeurs théorique et observée est compris dans la zone de tolérance. Cette généralisation devient de mauvaise qualité pour un écart supérieur au double de la tolérance. La limite entre des généralisations de qualité intermédiaire : plutôt bonne ou plutôt mauvaise est fixée à une fois et demi la tolérance. Cette hypothèse a été validée par des tests sur différentes propriétés évaluées. Un paramètre intéressant est la zone de recouvrement des fonctions floues (ici, 20% de la tolérance). Ce paramètre offre une finesse d'évaluation supplémentaire à l'utilisateur.

#### 4 Résultats

Cette méthodologie a été implémentée dans le système d'information géographique Lamps2 de LaserScan. Le jeu de données utilisé est un extrait de zone urbaine de la base de données topographiques de l'IGN, BDTopo®. La généralisation est difficile en zone urbaine car les bâtiments sont amplifiés pour être rendus lisibles alors que la surface de représentation diminue. L'espace est donc fortement modifié et l'évaluation rend compte de l'acceptabilité de ces modifications. Les données initiales sont à l'échelle du 1:15.000 et une généralisation automatique au 1:50.000 a été effectuée au moyen du prototype Agent [1] (Figure 10).

L'évaluation porte sur les bâtiments, les routes et les îlots urbains. Seul le critère d'évaluation de la taille des bâtiments est présenté dans cette partie de résultats pour illustrer notre approche. Dans le cas non flou (Figure 11), la majorité des bâtiments est bien généralisée, quatre sont évalués plutôt mal généralisés et cinq mal généralisés. La représentation utilisée pour le cas flou a pour objectif de mettre en évidence les trois zones de recouvrement des fonctions d'évaluation floues (Figure 12). Dans ce cas l'évaluation est plus fine puisqu'une dizaine de bâtiments passent dans les zones de recouvrement des quatre classes d'évaluation (zones cerclées).



Figure 10. Zone urbaine avant (gauche) et après généralisation (droite)

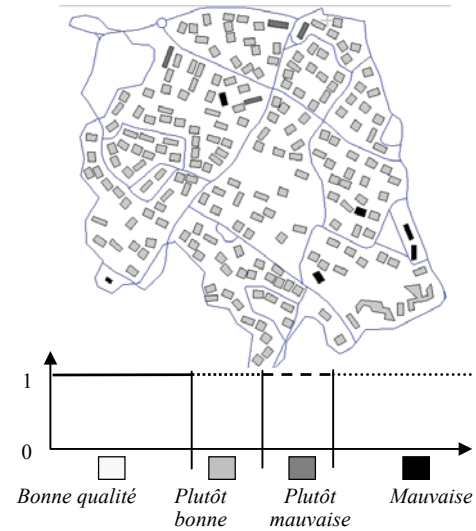


Figure 11. Evaluation de la taille des bâtiments

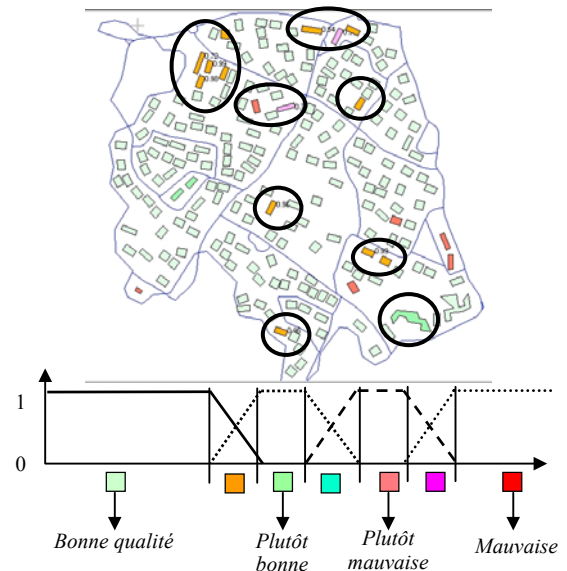


Figure 12. Evaluation floue de la taille

Ce sont surtout des bâtiments considérés comme bien généralisés par la méthode non floue qui sont considérés comme de qualité intermédiaire entre bien et plutôt bien généralisés. Après analyse ces bâtiments sont ceux dont la taille n'a pas été assez amplifiée,

c'est-à-dire que les tailles relatives entre les bâtiments ne sont pas conservées.

## 5 Conclusion

Dans cet article nous avons montré que le peu de formalisation des spécifications de généralisation rendait l'évaluation de la qualité de la généralisation difficile. Cette faible formalisation s'explique par des imprécisions dans les connaissances de généralisation. Ces imprécisions se situent au niveau des contraintes de généralisation et des contraintes de lisibilité.

La méthodologie proposée permet d'évaluer différents types d'objets à différents niveaux d'analyse et d'évaluer des distributions d'objets. Le processus d'évaluation se décompose en trois étapes successives : la caractérisation, l'évaluation et l'agrégation. Les imprécisions identifiées ont d'abord été gérées par l'utilisation de fonctions d'évaluation intégrant un paramètre de tolérance. Ces fonctions ont été étendues au cas flou pour une évaluation plus fine de la qualité de la généralisation.

Enfin, nos travaux en cours portent sur l'utilisation des informations qualité provenant des fonctions floues pour l'agrégation. En effet, nous disposons d'évaluations floues c'est-à-dire de plusieurs informations imprécises sur la qualité de la généralisation pour un objet géographique. Il serait donc intéressant d'utiliser des opérateurs d'agrégation adaptés aux informations floues pour obtenir une évaluation 'globale' de la qualité de la généralisation.

## Références

- [1] <http://agent.ign.fr/>
- [2] Bertin J. 1998. Sémiologie graphique, les ré-impressions. EHESS, 1967, 1973.
- [3] Bouchon-Meunier B. 1995. *La logique floue et ses applications*, Addison Wesley, Paris.
- [4] Cheng T, Molenaar M, Lin H. 2001. Formalization and application of fuzzy objects, *International Journal of Geographical Information Science*. Vol. 15, No 1, 27-42.
- [5] Cuenin R. 1972. *Cartographie Générale*, Eyrolles : Paris.
- [6] Detyniecki M. 2001. Mathematical Aggregation Operators and their Applications to Video Querying, Thèse de doctorat en Intelligence Artificielle, Université de Paris 6.
- [7] Duckham M, et al. 2001 A formal approach to imperfection in geographic information. In *Computers, Environment and Urban Systems*, 25, 89-103.
- [8] Ehrliholzer R. 1995 Quality assessment in generalisation integrating quantitative and qualitative methods. In *Proceedings of the 17<sup>th</sup> International Cartographic Conference*. Barcelona, Spain: 2241-2250.
- [9] Fisher P. 2002. Fuzziness in multi-scale fuzzy assignment of duneness, *Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Symposium on Spatial Accuracy Assessment (Accuracy 2002)*, Hunter G.J and Lowell K. (eds.), Melbourne, Australia.
- [10] Harrie L 2001 An Optimisation Approach to Cartographic Generalisation. Ph.D. Thesis, Lund University, Sweden.
- [11] João E M 1998 *Causes and consequences of map generalization*. London, England, Taylor & Francis.
- [12] Müller J.C, et al. 1992 Generalization : state of the art and issues. In Müller J.C, Lagrange J.P and Weibel R (eds) *GIS and Generalization : methodology and practise*. London, England, Taylor & Francis: 3-18.
- [13] Ruas A. 1999. Modèle de généralisation de données géographiques à base de contraintes et d'autonomie, Thèse de Doctorat en Sciences de l'Information Géographique, Université de Marne La Vallée.
- [14] Schweizerische Gesellschaft für Kartographie (SGK). 2002. *Topografische Karten: Kartengrafik und Generalisierung*.
- [15] Spiess E. 1995. The need for generalization in a GIS environment, in *GIS and Generalization : methodology and practise*, Taylor & Francis: London, England: 31-46.
- [16] Wang F, Brent Hall G. 1996. Fuzzy Representation of Geographical Boundaries in GIS. In *International Journal of GIS*, Vol. 10-5, 573-590.
- [17] Weibel R, Dutton G. 1998. Generalizing spatial data and dealing with multiple representations. In Longley, Goodchild, Maguire & Rhind (eds) *Geographical Information Systems*, 2<sup>nd</sup> edition, Vol.1: 125-155.
- [18] Worboys M. 1998. Imprecision in finite resolution spatial data. In *GeoInformatica*, 2, 257-280.