

---

# Modélisation conceptuelle d'objets géographiques imprécis et multiples : une approche basée F-Perceptory

Besma KHALFI<sup>1,2</sup>, Cyril DE RUNZ<sup>3,2</sup>, Sami FAIZ<sup>1</sup>, Herman AKDAG<sup>2</sup>

1. LTSIRS, Université de Tunis el Manar  
BP 37, LE BELVEDERE 1002 TUNIS  
sami.fai@insat.rnu.tn; khalfi.besma@hotmail.com;

2. LIASD, Université Paris8  
2 rue de la liberté 93526 Saint-Denis cedex, France  
derunz@ai.univ-paris8.fr ; akdag@ai.univ-paris8.fr

3. CReSTIC, Université de Reims Champagne-Ardenne  
IUT de Reims, Chemin des Rouliers, CS30012 51687 REIMS CEDEX 2  
cyril.de-runz@univ-reims.fr

---

*RESUME.* Dans le monde réel, les données sont imparfaites et de diverses façons telles que l'imprécision, l'incertitude, l'ambiguïté et l'incomplétude. Pour les données géographiques, l'aspect flou se manifeste principalement dans le temps, l'espace et la fonction des objets et est dû à un manque de précision. F-Perceptory (Zoghalmi, 2013) est une récente approche de modélisation objet des données géographiques imprécises avec UML. Cependant, cette approche ne gère pas la modélisation des entités géographiques floues multiples (composites) qui présentent des entités dont la forme est un ensemble de géométries primitives similaires ou différentes. Dans cet article, nous proposons d'améliorer F-Perceptory par la modélisation pictographique des entités composites et leur transformation en UML.

*ABSTRACT.* In the real world, data is imperfect and in various ways such as imprecision, vagueness, uncertainty, ambiguity and incompleteness. For geographic data, the fuzzy aspect is mainly manifested in time, space and the function of objects and is due to a lack of precision. F-Perceptory (Zoghalmi, 2013) is a recent object modeling approach for imprecise geographic data with UML. However, this approach does not manage fuzzy multiple geographic entities (composites) which present entities whose shape is a set of similar or different primitives geometries. In this paper, we propose to improve F-Perceptory by the pictographic modeling of composite entities and its transformation to the UML.

*MOTS-CLES :* Multiplicité, modélisation des données géographiques floues, UML, F-Perceptory.  
*Keywords:* Multiplicity, fuzzy geographic data modeling, UML, F-Perceptory.

## 1. Introduction

Les objets manipulés par un système d'information géographique (SIG) possèdent une information géographique qui décrit ses composantes spatiales et temporelles dont leur stockage doit faire appel à des structures de données adaptées. Plusieurs méthodes ont cherché à modéliser l'information spatiotemporelle dans les SIG telles que PERCEPTORY (Bédard, 1999), POLLEN (Gayte, et al., 1997), MADS (Parent, et al., 1997), etc.

Ces approches permettent de modéliser et de concevoir des SIG à l'aide de représentations normées de la donnée spatiale, qu'elle soit vectorielle ou matricielle. Seuls ces représentations normées sont une abstraction importante de la réalité et ne tiennent pas compte de l'imprécision par exemple des données (limites mal définies des enveloppes spatiales par exemple). Aussi, considérer l'information géographique dans sa nature complexe (spatiale, temporelle, imparfaite, multiple, etc.) conduit à adapter les méthodes classiques de représentation, de stockage et de traitement ainsi qu'une prise en compte spécifique au sein des modèles utilisant ces données. En général, si la classe d'objets qui représente la donnée imparfaite est bien définie, alors cette dernière est sujette à l'incertitude, par contre, si la classe d'objets est mal définie, la donnée est soumise à une imprécision, ambiguïté ou/et incomplétude (Fisher, 1999).

Notre étude porte sur la nature imprécise des données géographiques qui peut se manifester notamment dans l'espace, le temps et la fonction des objets et est due à une limite dans la capacité à être précis dans l'acquisition des données. L'imprécision est usuellement représentée à l'aide d'ensemble flou (Bouchon-Meunier, 1995). Ainsi, afin de pouvoir prendre en considération cet aspect, il est nécessaire de permettre la modélisation des structures de données floues dans les SIG.

Dans ce cadre, (Ma, 2005) a proposé l'approche objet Fuzzy-UML pour modéliser les informations floues et ainsi prendre en considération l'imprécision dès la conception des systèmes d'information. Ce modèle a été étendu dans (Ma & Yan, 2007) pour intégrer une représentation graphique des extensions floues pour la plupart des concepts UML. Cependant, le modèle ne reste adapté qu'aux données géographiques. Une réflexion sur la modélisation des données spatiotemporelles imprécises est menée récemment dans (Zoghliami, 2013) proposant l'approche F-Perceptory qui mobilise deux méthodes : Perceptory qui est fondé sur UML permettant la modélisation des SIG et FuzzyUML pour la modélisation des aspects flous.

La modélisation F-Perceptory attache généralement à l'objet géographique deux types d'informations : d'un côté, l'information graphique (stéréotype) qui donne bien une idée globale sur l'objet spatial et qui est utile pour illustrer sa forme et sa composition. D'un autre côté, l'information textuelle (attributs) permet de mieux décrire les détails de cet objet (propriétés, sémantique). La combinaison des deux modes est indispensable pour parvenir à une bonne compréhension et offrir une richesse d'expression nécessaire pour les données spatiales.

Par contre, F-Perceptory ne permet pas de considérer jusqu'à présent toutes les possibilités d'expression concernant les formes d'objets (objet à agrégation de géométries similaires floues, objet à agrégation de géométries multiples floues, géométrie facultative floue et objet à géométrie alternative floue) et n'a traité que les géométries simples définies par un seul stéréotype. Cette capacité d'expression limitée présente une première limite de F-Perceptory que nous proposons de lever dans ce papier.

Nous présentons dans cet article un travail étendant l'approche F-Perceptory dans le but d'offrir un outil de modélisation des données spatiotemporelles floues et multiples. Nous introduisons dans un premier temps l'amélioration de l'approche pour la modélisation des objets géographiques flous et multiples. La définition de la transformation de ces objets à partir de F-Perceptory vers UML est ainsi évoquée.

Le document est organisé comme suit : la section 2 présente le contexte de notre problématique de recherche. La définition de F-Perceptory et la discussion de ses limites seront présentées dans la troisième section. La quatrième section dévoile les améliorations faites sur l'approche F-Perceptory. La dernière section sera consacrée à la conclusion et aux perspectives.

## 2. Contexte

Un système d'information, quelle que soit sa cible, est un modèle informatique du monde réel et donc une abstraction de celui-ci. Le point le plus critique est porté sur la précision et la pertinence de la représentation. En effet, nos connaissances et notre perception du monde réel sont le plus souvent subjectives. Notre objectif est de permettre la définition de systèmes d'information qui accepte des informations imprécises.

### 2.1 Représentation des données floues

L'imperfection a fait l'objet de nombreux travaux dans le domaine de l'intelligence artificielle [(Zadeh, 1965) ; (Bouchon-Meunier, 1995) ; (Masson, 2005)]. En général, la notion d'imperfection fait appel à trois concepts : l'imprécision, l'incertitude et l'incomplétude. L'imprécision est due à une difficulté dans l'énoncé de la connaissance d'une façon précise en utilisant à titre d'exemples les termes « à peu près » ou « environ ». L'incertitude est liée à la validité d'une connaissance. Le doute sur cette validité peut être de plusieurs origines : fiabilité de la source ou erreurs. Quant à l'incomplétude, il s'agit d'une absence d'informations ou une information partielle.

La recherche dans le domaine de l'imperfection admet que l'incertitude peut être résolue par des modèles statistiques et probabilistes (Parsons & Hunter, 1998) tandis que d'autres aspects des imperfections telles que les informations manquantes, l'imprécision et l'utilisation du langage naturel ne peuvent pas être résolus par le processus probabiliste [(Altman, 1994) ; (Smets, 1997) and (Fishe, et al., 2007)].

Pour l'imprécision, différents modèles spatiaux existent, à l'instar des ensembles spatiaux approximatifs (Clementini & Felice, 2001) et du modèle Egg-Yolk (Cohn & Gotts, 1996). Cependant, ces modèles ne permettent pas de nuancer l'adhésion ou pas du concept dans la zone d'incertitude. Ainsi, la théorie des ensembles flous est considérée comme un moyen très approprié de représenter et de modéliser l'imprécision et de nuancer l'appartenance au concept. Un certain nombre de travaux ont montré l'intérêt de la théorie des ensembles flous pour la représentation et l'analyse de l'information spatiale imprécise à l'instar de (Dilo, et al., 2007).

Selon (Zadeh, 1965), soit  $U$  un univers de discours et  $A$  un ensemble flou et  $\mu_A$  une fonction d'appartenance. La fonction d'appartenance est définie pour  $A$  comme suit:  $\mu_A: U \rightarrow [0, 1]$ .  $\mu_A(x)$  pour chaque  $x \in U$  désigne le degré d'appartenance de  $x$  à l'ensemble flou  $A$ .  $A$  est dit normalisé si et seulement si la valeur maximale de  $\mu_A$  vaut 1. Une  $\alpha$ -coupe  $A_\alpha$  d'un ensemble flou  $A$  est l'ensemble des éléments de  $U$  pour lesquels la valeur de la fonction d'appartenance  $\mu_A$  de  $A$  est supérieure à  $\alpha$ .  $A$  est connexe si et seulement si pour tout  $\alpha$  ( $0 \leq \alpha \leq 1$ )  $A_\alpha$  est connexe ; c'est-à-dire que pour toute paire d'éléments appartenant à  $A_\alpha$  il existe un chemin les reliant inclus dans  $A_\alpha$ .

## 2.2 Modélisations des données floues

L'extension de la modélisation des données pour considérer le caractère imparfait fait l'objet depuis les années 70 de plusieurs approches de recherche. Beaucoup d'efforts ont été faits pour représenter ces données imparfaites et des modèles conceptuels ont été étendus pour les modéliser principalement pour le modèle entité /relation et le modèle objet.

Le modèle Entité/Relation créé par Peter Chen en 1976 a été toujours limité à des informations précises. Il a été étendu par (Zvieli & Chen, 1986) en appliquant la théorie des ensembles flous pour former le modèle EER destiné à la modélisation des applications spécifiques telles que les SIG. Chen et Kerre ont introduit par la suite des extensions floues sur le modèle EER sans représentations graphiques (Chen & Kerre, 1998). La représentation effective est proposée dans (Ma, et al., 2001) pour avoir le modèle FEER.

Concernant la modélisation objet, beaucoup de travaux se sont focalisés sur la gestion de l'imprécision comme avec (Gysegghem & Caluwe, 1999) ; (Bordogna, et al., 2000) ; (Marin, et al., 2002) et (Yazici & George, 1998) jusqu'aux travaux de (Ma, 2005) et (Wang, 2005) qui ont introduit des extensions floues pour la plupart des concepts UML concernant les classes, les attributs, les relations, la généralisation, la dépendance. Le modèle étendu ainsi proposé est le modèle Fuzzy UML (Ma & Yan, 2007).

### 2.3 Modélisation des données géographiques floues

Concernant la modélisation conceptuelle des systèmes d'information géographique tenant compte du caractère imparfait, elle a fait l'objet de plusieurs méthodes et formalismes (Zoghlami, 2013). Ces méthodes proposent des extensions aux modèles conceptuels classiques (graphes conceptuels et UML) et aux modèles spatiotemporels pour gérer la nature imparfaite des données.

CONGOO (Pantazis & Donnay, 1996) est un formalisme de conception des SIG orienté objet. Les auteurs de ce formalisme avaient mené une réflexion sur la description de la typologie de concepts flous mais, ne donnent aucune définition précise (Pantazis & Donnay, 1997). POLLEN (Gayte, et al., 1997) présente un deuxième formalisme de conception objet destiné à l'environnement mais, elle n'intègre pas encore le traitement de l'aspect flou des données géographiques.

Quant à la méthode MADS (Modélisation d'Applications à Dimension Spatiotemporelle), elle adopte une approche basée sur les types abstraits des données pour la modélisation spatiale, temporelle et relations topologiques. (Shu, et al., 2003) propose une extension du formalisme MADS prenant en compte les concepts de spatialité floue et de temporalité floue mais qui n'a pas dépassé le cadre théorique.

(Miralles, 2006) a emprunté l'approche architecture dirigée par les modèles (MDA) et a proposé le profil UML-SIG pour une modélisation géographique en utilisant le langage pictographique. UML-SIG s'inspire de Perceptory à travers l'utilisation de ses pictogrammes. Miralles a mené une réflexion sur les extensions floues mais sa version présente une capacité d'expression limitée de son langage pictographique imposé par la version d'UML utilisée. De plus, son travail n'a pas tenu compte des implications de cet enrichissement sur la base de données ni dans l'exploitation de cette dernière à travers des requêtes floues.

Plus récemment, (Zoghlami, 2013) définit le langage de modélisation F-Perceptory qui marie Fuzzy-UML (Ma & Yan, 2007) et Perceptory pour la construction des systèmes d'information géographiques gérant l'imprécision à l'aide de représentations floues. Perceptory étend UML par la définition d'un ensemble de stéréotypes pour décrire les objets spatiotemporels et cela grâce au langage visuel PVL (plug-in for visual language) (Bédard, 1999). Ces PVL sont des pictogrammes à ajouter dans les graphiques UML (Brodeur, et al., 2000). Concernant Fuzzy-UML, il vient compléter les limites sémantiques d'UML telles que la gestion de l'imperfection. Fuzzy-UML gère les classes floues, les attributs flous et les relations floues mais ne traite pas les contraintes floues. Toutes ces extensions d'UML sont introduites dans (Ma & Yan, 2007).

### 2.4 Outil de modélisation des données géographiques floues

L'implémentation d'une méthode de modélisation des données géographiques au sein d'un AGL et sa divulgation pour le public sont très limitées. Le formalisme

CONGOO, en outre qu'il modélise les entités géographiques dont les limites sont incertaines, il n'a jamais été implémenté. Quand au formalisme MADDS, bien que l'équipe de recherche ait travaillé sur les concepts de spatialité floue et de la temporalité floue, le formalisme reste toujours un prototype de recherche. Perceptory est un outil complet de modélisation des bases de données spatiotemporelles, mais sa limite réside dans le fait que l'accès reste restreint aux professionnels puisqu'il est implémenté sous la plate-forme propriétaire Microsoft Visio. L'équipe de Perceptory a fourni un ensemble des pictogrammes pour un usage public intégré sous ArgoUML et Visual Paradigm for UML. Les deux outils permettent une modélisation basique des données géographiques.

Concernant l'approche MDA sur laquelle est basé le profil SIG-UML, bien qu'elle soit soutenue par l'OMG, elle reste un domaine d'étude d'ingénierie dont l'utilisation et la maîtrise ne sont pas à la portée de tous. De plus, le profil SIG-UML présente des limites dans sa définition : (i) il n'implémente pas tous les concepts SIG, par exemple, la spatialité complexe, et ne définit que les concepts de temporalité primitive ; (ii) il exploite le méta-modèle d'*Objecteering* qui est la version 1.3 du méta-modèle UML, le profil est donc sujet aux contraintes d'unicité de stéréotypes et de position de pictogramme. Ces contraintes limitent, d'une part, sa capacité d'expression et ainsi réduisent la possibilité d'exploiter toute la richesse de PERCEPTORY, ce qui s'est traduit par une redéfinition partielle de son langage pictographique, et, d'autre part, elles ont amené à combiner les propriétés spatiales et temporelles dans un seul stéréotype pour décrire les stéréotypes composites et faire un traitement supplémentaire pour gérer cette complexité.

### 3. F-Perceptory : Définition et limites

#### 3.1 Définition

F-Perceptory (Zoghalmi, 2013) est une approche de modélisation conceptuelle dédiée aux données spatiotemporelles imprécises. Elle est basée, d'un côté, sur le langage des pictogrammes de PERCEPTORY pour la modélisation des données spatiotemporelles et, d'un autre côté, sur les représentations visuelles floues de Fuzzy UML pour supporter les imperfections.

F-Perceptory définit un ensemble de pictogrammes servant à représenter les données spatiales et temporelles imprécises. Les pictogrammes sont les mêmes que ceux qui sont définis par PERCEPTORY, mais avec un contour rectangulaire en lignes interrompues. F-Perceptory met en œuvre les principaux concepts de diagrammes de classes UML (classe, attribut, association, généralisation, contraintes et notes). En fait, l'approche est utilisée pour définir un diagramme de classes flou.

### 3.2 Imprécision spatiale

L'approche se focalise sur trois formes spatiales simples qui sont le « point flou » (dimension 0), la « ligne floue » (dimension 1), et le « polygone flou » (dimension 2). Ces géométries floues sont modélisées par les pictogrammes illustrés par la figure 1. Ces géométries floues présentant les objets spatiaux dont les limites ne sont pas définies correctement.

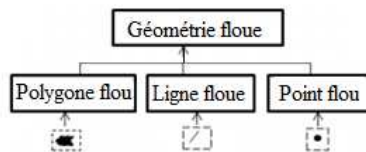


Figure 1 : L'imprécision spatiale avec F-Perceptory

### 3.3 Imprécision temporelle

F-Perceptory définit les objets flous « Date » et « Période » (figure 2). La temporalité « Date floue » est destinée à caractériser les objets dont l'existence est instantanée mais incertaine sur sa date de début ou de fin de l'intervalle temporel. La temporalité « Période floue » décrit les objets à existence durable mais incertaine sur la durée temporelle.

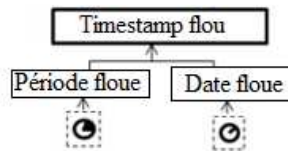


Figure 2 : L'imprécision temporelle avec F-Perceptory

### 3.4 Limites de l'approche F-Perceptory

L'approche F-Perceptory semblait être l'approche de modélisation la plus complète en matière de capacité d'expression vu qu'elle emprunte tout le langage pictographique de PERCEPTORY et se base sur le méta-modèle UML 2.0, ce qui permet de gérer facilement les combinaisons des propriétés spatiales et temporelles des objets et répond ainsi aux complexités effectives des objets spatiotemporels sans faire recours à un traitement spécifique.

F-Perceptory adopte toutes les extensions floues introduites avec Fuzzy UML pour la plupart des concepts UML liés aux classes, attributs, associations, généralisation, dépendance, etc.

Copyright © by the paper's authors. Copying permitted for private and academic purposes. Proceedings of the Spatial Analysis and GEOmatics conference, SAGEO 2015.

Malgré les points forts de cette approche, un premier constat permet de remarquer que F-Perceptory omet la gestion des objets géographiques flous à géométrie complexe (composites), ce qui rend l'approche limitée à des classes floues de géométrie simple (multiplicité égale à (1, 1)). Par conséquent, en considérant des classes floues à géométrie multiple (combinaison de géométries similaires) ou complexe (combinaison de géométries différentes), cela permet de gérer et de représenter une large sélection d'entités géographiques.

S'appuyant sur ce constat, nous proposons, dans une première étape, de compléter l'approche par le traitement des objets flous à géométrie complexe. Un premier exemple de complexité d'objets géographiques flous est celui des objets flous dont la géométrie est une agrégation de (0, N) ou (1, N) formes similaires. Le deuxième exemple est celui des objets flous dont la géométrie est une agrégation de différentes formes. Un troisième cas traite les objets flous dont la géométrie est alternative.

Une deuxième étape sera consacrée à mettre en place l'ensemble des contraintes appliqué à la modélisation des objets à géométrie complexe et l'ensemble des règles de gestion de la transformation du modèle flou F-Perceptory vers le modèle UML.

#### 4. Gestion des objets géographiques flous complexes

##### 4.1 La modélisation de la géométrie floue

Nous présentons, dans la figure 3, la transformation d'une classe géographique qui a la géométrie polygone flou. Cette transformation peut être généralisée à toutes les autres formes (point flou et ligne flou). D'une façon générale, chaque objet spatial flou est un objet composé de n géométries de type polygone avec différents degrés d'appartenance pour chaque géométrie. Ces géométries correspondent aux  $\alpha$ -coupes sur un ensemble flou de géométrie de type polygone.

Pour faire la correspondance entre F-Perceptory et UML, une classe floue sera traduite par une classe UML présentant l'entité géographique et une autre classe représentant l'ensemble des formes possibles ( $\alpha$ -coupes) de l'entité. Les deux classes seront liées par une relation de composition. La classe polygone flou « *Cs-polygone* » est représentée par une classe UML composée de n objets de la classe « *FormImperfection* ». La classe « *FormImperfection* » est la classe spatiale qui va définir l'ensemble des géométries polygone avec leur degré d'appartenance à l'aide d'un attribut géométrie et d'un attribut degré pour indiquer le degré d'appartenance. Le rôle *géométries* de la relation de composition fournit l'ensemble des géométries qui compose l'objet spatial flou, et le rôle *objectSpatial* se réfère à l'objet auquel correspond l'imprécision géométrique.



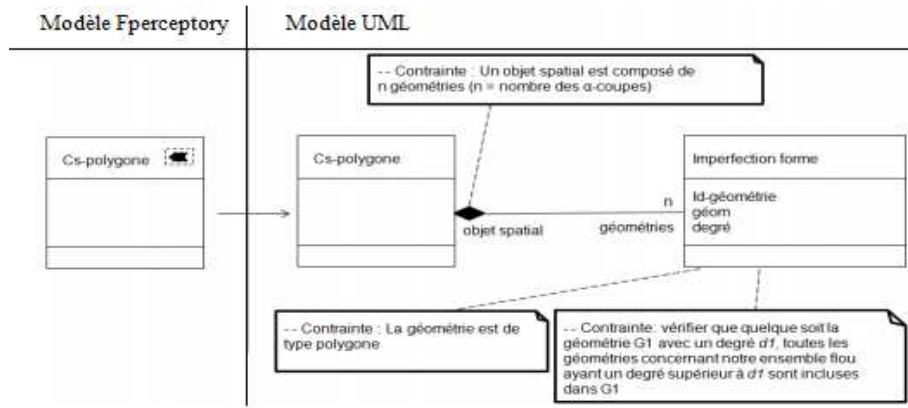


Figure 3. Transformation d'un polygone flou en UML(Zoghلامي, 2013)

Trois principales contraintes sont à respecter dans cette modélisation. La première contrainte correspond à vérifier que les  $\alpha$ -coupes forment un ensemble flou connexe et normalisé, ce qui signifie que: 1) quelle que soit la géométrie  $G1$  avec un degré  $d1$ , toutes les géométries concernant notre ensemble flou ayant un degré supérieur à  $d1$  sont incluses dans  $G1$ ; 2) les formes sont des formes géométriques connexes; 3) le degré maximal est égal à 1. Pour la deuxième contrainte, il s'agit de vérifier que chaque objet spatial de la classe *Cs-polygone* est composé de  $n$  géométries (avec  $n =$  nombre des  $\alpha$ -coupes). La dernière contrainte consiste à vérifier que l'attribut *géom* est de type polygone.

Des procédés similaires sont appliqués pour les autres types de géométries spatiales : point flou et ligne floue. Ils se différencient pour ce qui concerne le type de géométrie de l'objet spatial lorsque le degré d'appartenance est égal à 1. Dans ce cas, pour un point flou (respectivement une ligne floue), le type de géométrie est un point (respectivement une ligne).

#### 4.1 Agrégation de formes similaires

##### 4.2.1 Définition

Il s'agit d'un objet complexe qui est composé de plusieurs formes similaires floues (ayant la même dimension). Le pictogramme (1, N) ou (0, N) est utilisé pour éviter de présenter plusieurs pictogrammes pour la même forme. La figure 4 donne l'exemple de la classe «*ReseauRoutier*». Le réseau routier est composé de (1, n) segments linéaires de type ligne floue. La géométrie facultative reprend les mêmes principes que ceux présentés ici.



Figure 4. Exemple d'agrégation de formes similaires

4.2.2 Transformation vers UML

Nous proposons ici de transformer la classe «ReseauRoutier». Chaque occurrence de la classe «ReseauRoutier» est l'agrégation de plusieurs objets de type ligne floue. En modélisation UML (figure5), cette agrégation sera traduite par la création de la classe «LigneIntermediaire»présentant pour chaque réseau routier l'ensemble des lignes qui le constituent (contrainte 1). Chaque primitive ligne est floue et samodélisation nécessite alors la définition de la classe «Imperfection».

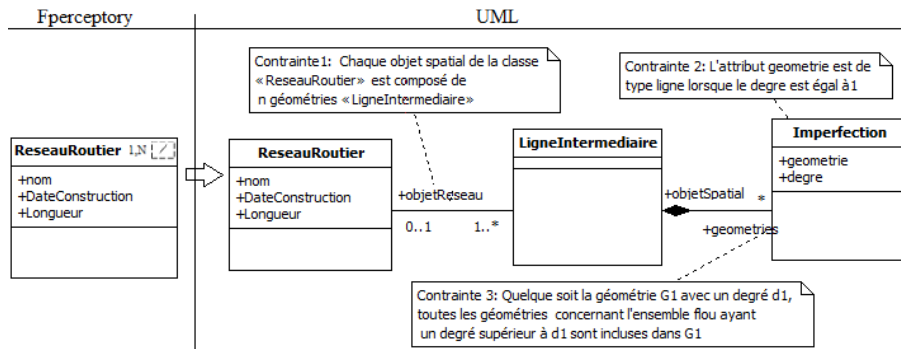


Figure 5. Transformation d'agrégation de formes similaires

Ainsi, la relation d'association entre la classe «ReseauRoutier» et «LigneIntermediaire» traduit la multiplicité (1, N) de lignes pour chaque instance ReseauRoutier. Chaque objet spatial LigneIntermediaire sera composé de n géométries de type ligne avec différents degrés d'appartenance. Ces géométries sont présentées par la classe «Imperfection». Si le degré est égal à 1, la géométrie est nécessairement une ligne (contrainte2). Le même processus est appliqué aux autres types d'entités spatiales multiples : point flou et polygone flou.

## 4.2 Agrégation de formes multiples

### 4.3.1 Définition

L'objet complexe est un agrégat composé de plusieurs formes de géométries différentes. Ce type d'agrégation dispose de la multiplicité par défaut (1, N) qui ne sera pas exprimé. L'exemple de la figure 6 modélise un réseau hydraulique composé de lignes floues présentant les rivières et de polygones flous présentant les lacs. Le réseau est modélisé par les pictogrammes *ligne floue* et *polygone flou*. Nous limitons le nombre de combinaisons de formes à deux pictogrammes.

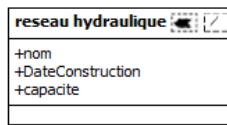


Figure 6. Exemple d'agrégation de formes multiple

### 4.3.2 Transformation vers UML

Nous proposons ici de transformer l'exemple du réseau hydraulique (voir figure 7). Chaque occurrence de «*ReseauHydraulique*» est composée de (1, N) géométries de type polygone flou et (1, N) géométries de type ligne floue (contrainte 1). En modélisation UML, nous définissons la classe «*PolygoneIntermediaire*» pour l'ensemble des objets de type polygone flou et «*LigneIntermediaire*» pour l'ensemble des objets de type ligne floue. Chaque objet de type polygone est flou et chaque objet de type ligne est flou aussi. Nous définissons la classe «*Imperfection*» qui est une classe commune entre toutes les géométries. Les contraintes appliquées sur la classe «*Imperfection*» sont les mêmes, bien que non représentées sur la figure.

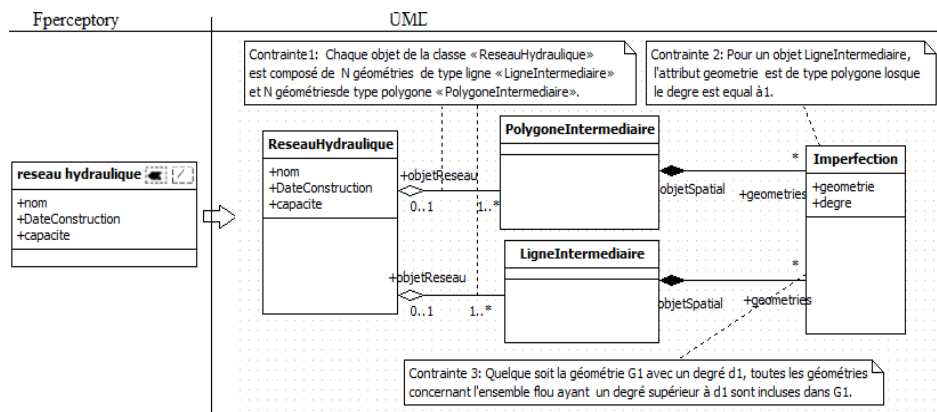


Figure7. Transformation d'agrégation de formes multiple

4.3 La géométrie alternative floue

4.4.1 Définition

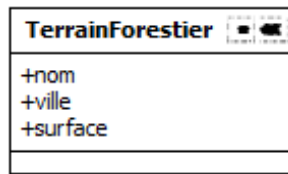


Figure 8.Exemple de géométrie alternative floue

Une géométrie alternative (Bédard, 1999)représente le 'OU' exclusifentre les deux formes possiblesrégie par une contrainte.La géométrie alternative floue est définie lorsque l'objet a une forme géométrique imprécise dans les deux cas. La classe est représentée par la concaténation des pictogrammes possibles (voir figure 8).Par exemple, quand un terrain forestier est représenté, dans le système, soit par un point flou (si la zone est inférieure à 1 hectare) soit par un polygone flou (si sa surface est plus grande que 1 hectare), alors il a les deux pictogrammes correspondants qui sont adjacents sans espace les séparant.

4.4.2 Transformation vers UML

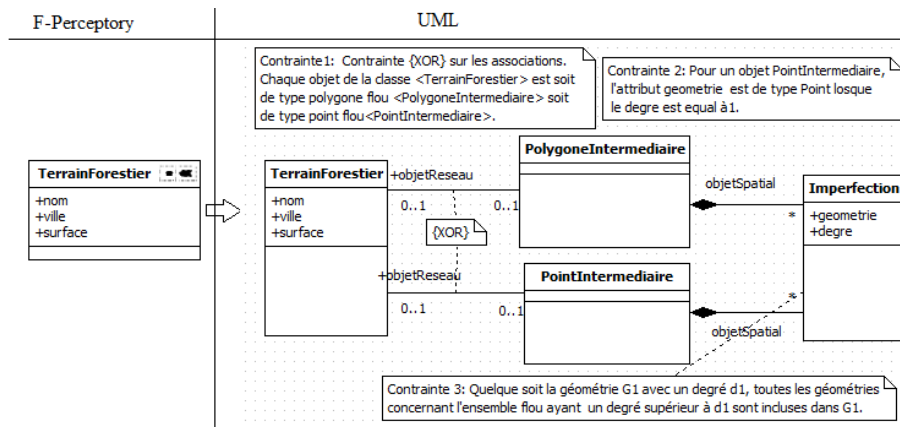


Figure 9. Transformation de la géométrie alternative floue

Nous vous proposons de transformer l'exemple de la classe «*TerrainForestier*» (voir Figure 9). Chaque occurrence du terrain forestier peut être transformée soit en une instance de polygone flou soit en une instance de ligne floue selon certaines conditions. En UML, on définit la contrainte {XOR} pour assurer que chaque occurrence de terrain forestier sera présentée par un seul objet spatial soit par un point flou (la classe «*PointIntermediaire*») soit par un polygone flou (la classe «*PolygoneIntermediaire*») mais pas les deux.

## 5. Conclusion et perspectives

F-Perceptory est une approche de modélisation des données géographiques floues basée essentiellement sur le concept de stéréotype pour pouvoir exprimer la spatialité et la temporalité des entités référencées en langage UML. La nouvelle version, proposée dans cet article, permet à l'utilisateur de présenter un modèle riche et pouvoir le transformer en un modèle UML pour obtenir à la fin le schéma relationnel de création de la base de données. Chaque schéma de transformation présente un patron de conception pour le cas flou étudié. La génération d'un modèle UML à partir d'un modèle F-Perceptory nécessite aussi la définition des contraintes appliquées sur les classes, objets, attributs et relations.

Nous avons implémenté F-Perceptory sous Modelio qui est un AGL très complet, qui fournit un support complet d'UML2.4. Modelio a une API java riche permettant le développement de nouveaux profils et fonctionne indépendamment de la plate-forme Eclipse. Modelio est open source, permet de personnaliser sa boîte à outils pour intégrer le nouveau profil UML, les règles de transformation (développées en java) et les contraintes associées (implémentées en OCL). La mise en œuvre de F-Perceptory sous Modelio a abouti à la définition de nouveaux modules : F-Perceptory, F-PerceptoryToUML et LogicToDB.

Nous prévoyons l'enrichissement de F-Perceptory par la définition de relations floues et leurs correspondances en UML.

## Références

- Altman, D., 1994. Fuzzy set theoretic approaches for handling imprecision. *International Journal of geographical Informations Systems*, 8(3), pp. 271-289.
- Bédard, Y., 1999. Visual modelling of spatial databases : Towards spatial PVL and UML. *Geomatica*, Volume 53, pp. 169-186.
- Bordogna, G., Leporati, A., Lucarella, D. & Pasi, G., 2000. The Fuzzy Object Oriented Database. *Recent Issues on Fuzzy Databases*.
- Bouchon-Meunier, B., 1995. *La logique floue et ses applications*. Paris: Addison-Wesley.
- Brodeur, J., Bédard, Y. & Proulx, M. J., 2000. Modelling Geospatial Application Database. *Proceedings of 8th ACM international symposium on Information and Knowledge*, pp. 39-46.
- Chen, G. & Kerre, E. E., 1998. Extending ER/EER concepts towards fuzzy conceptual data modeling. *Proceedings of IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, Volume 2, pp. 1320-1325.

Copyright © by the paper's authors. Copying permitted for private and academic purposes. Proceedings of the Spatial Analysis and GEOmatics conference, SAGEO 2015.

- Clementini, E. & Felice, P. D., 2001. A spatial model for complex objects with a broad boundary supporting queries on uncertain data. *Data & Knowledge Engineering*, Volume 37, pp. 285-305.
- Cohn, A. G. & Gotts, N. M., 1996. The 'Egg-Yolk' Representation of Regions with Indeterminate Boundaries. Dans: P. A. Frank & A. U. Burrough, éd. *Geographic Objects with Indeterminate Boundaries*. London: Taylor & Francis, pp. 171-187.
- Dilo, A., De By, R. & Stein, A., 2007. A system of types and operators for handling vague spatial objects. *International Journal of Geographical Information Science*, 21(4), p. 397–426.
- Fishe, P., Cheng, T. & Wood, J., 2007. Higher Order Vagueness in Geographical Information: Empirical Geographical Population of Type n Fuzzy Sets. *Journal of Geoinformatica*, 11 (3), pp. 311 - 330.
- Fisher, P. F., 1999. Models of uncertainty in spatial data. *Geographical information systems*, Volume 1, pp. 191-205.
- Gayte, O., Libourel, T., Cheylan, J.-P. & Lardon, S., 1997. *Conception des systemes d'information sur l'environnement*. Paris: Hermès.
- Gyseghem, N. & Caluwe, R., 1999. Imprecision and uncertainty in the UFO database model. *Journal of the American Society for Information Science*, 49(3), p. 236–252.
- Marin, N., Medina, J., Pons, O. & Vila, M., 2002. Object resemblance in a fuzzy object-oriented context. *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, Volume 2, pp. 849 - 854.
- Masson, M.-H., 2005. *Apports de la théorie des possibilités et des fonctions de croyance à l'analyse de données imprécises*. Compiègne: Mémoire d'habilitation à diriger des Recherches, Université de Compiègne.
- Ma, Z., 2005. Fuzzy information modeling with the UML. *Advances in fuzzy object-oriented databases : modeling and applications*, pp. 153-176.
- Ma, Z. & Yan, L., 2007. Fuzzy XML data modeling with the UML and relational data models. *Data & Knowledge Engineering*, Volume 63, pp. 970-994.
- Ma, Z., Zhang, W., Ma, W. & Chen, G., 2001. Conceptual design of fuzzy object-oriented databases utilizing extended entity-relationship model. *International Journal of Intelligent Systems*, Volume 16, pp. 697-711.
- Miralles, A., 2006. *Ingénierie des modèles pour les applications environnementales*, Paris: Thèse de doctorat en informatique, Université de Montpellier 2.
- Pantazis, D. N. & Donnay, J.-P., 1996. *La conception de SIG : méthode et formalisme*. Paris: Hermès.
- Pantazis, D. N. & Donnay, J.-P., 1997. Objets géographiques à limites indéterminés Modélisation et intégration dans un modèle conceptuel de données. 7(2), pp. 159-186.
- Parent, C. et al., 1997. MADS: un modèle conceptuel pour des applications spatio-temporelles. *Revue Internationale de Geomatique*, pp. 317-352.
- Parsons, S. & Hunter, A., 1998. *A Review of Uncertainty Handling Formalisms*. Springer-Verlag éd. s.l.:Applications of Springer Uncertainty Formalisms .
- Shu, H., Spaccapietra, S., Parent, C. & Seda, D., 2003. *Uncertainty of Geographic Information and its Support in MADS*. Hong Kong: 2nd International Symposium on Spatial Data Quality.
- Smets, P., 1997. Imperfect information: Imprecision and uncertainty. *Uncertainty Management in Information Systems*, p. 225–254.
- Wang, L., 2005. *Fuzzy UML*, Karlsruhe: University of Karlsruhe.
- Yazici, A. & George, R., 1998. Fuzzy Database Modeling. *Physica-Verlag*.
- Zadeh, L. A., 1965. Fuzzy sets. *Information and Control*, Vol. 8, pp. 338-353.
- Zoghliami, A., 2013. *Modélisation et conception de système d'informations géographique gérant l'imprécision*, Paris: Thèse de doctorat, Université Paris 8.

Zvieli, A. & Chen, P. P., 1986. Entity-relationship modeling and fuzzy databases. *Proceedings of IEEE International Conference on Data Engineering*, pp. 320-327.