



**HAL**  
open science

## Construire la légende de la carte à l'aide d'une base de connaissance en cartographie

Catherine Domingues

► **To cite this version:**

Catherine Domingues. Construire la légende de la carte à l'aide d'une base de connaissance en cartographie. 23es journées francophones d'ingénierie des connaissances IC 2012, Jun 2012, PARIS, France. pp.267-282. hal-00714871

**HAL Id: hal-00714871**

**<https://hal.science/hal-00714871v1>**

Submitted on 5 Jul 2012

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Construire la légende de la carte à l'aide d'une base de connaissance en cartographie

Catherine Dominguès

IGN, COGIT, 73 avenue de Paris, 94160 Saint-Mandé, France ; Université Paris-Est  
catherine.domingues@ign.fr

**Résumé :** Toute carte géographique délivre à ses lecteurs un message censé être conforme aux intentions de son auteur. L'objectif de ce papier est de présenter une base de connaissances destinée à aider tout auteur de carte à concevoir une ou plusieurs légendes qui traduisent correctement ses intentions. Cette base est formée d'une ontologie de la cartographie : OntoCarto, d'un ensemble de préférences : OntoCartoP et d'un moteur de raisonnement : Corese. La conception de la légende repose sur la définition de relations visuelles entre objets cartographiques traduisant les relations sémantiques entre objets géographiques. Une légende est alors vue comme une instanciation singulière de l'ontologie, associée à une sélection de préférences, sur lesquelles Corese raisonne. Le raisonnement s'appuie sur la définition de trois hiérarchies d'objets de la réalité géographique, de la légende et de la carte. Concepts et relations correspondantes sont définis. Un prototype est décrit et des extraits des résultats présentés.

**Mots-clés :** Représentation des connaissances, Ontologie, Cartographie.

## 1 Introduction

Selon la définition donnée par l'Association cartographique internationale, citée par (Le Fur, 2007), "*La carte géographique est une image codifiée de la réalité géographique, représentant une sélection d'objets ou de caractéristiques, relevant de l'effort créateur de son auteur par les choix opérés et destinée à être utilisée lorsque les relations spatiales ont une pertinence essentielle*". (Fontanabona, 1999) ajoute le point de vue de l'observateur, le lecteur de la carte, en affirmant : "*... une carte, et plus encore un modèle graphique, ne peuvent être entendus comme l'expression transparente d'un morceau de la réalité : ce sont des discours problématisés de cette réalité, une réalité sémiotisée par le*

*concepteur de la carte, puis par chacun de ses observateurs*". Une carte constitue donc une représentation de la réalité géographique de son auteur, et rend compte de ses intentions (objectif de la carte et message délivré) et de son contexte (données disponibles ; public auquel la carte est destinée avec sa culture et son expérience cartographiques, ses préférences esthétiques ; support de la carte ; échelle ; conditions de production, de diffusion, de lecture ; etc).

De nombreuses données géoréférencées - par exemple celles concernant le littoral français<sup>1</sup> ou la politique environnementale dans le cadre de la directive européenne INSPIRE<sup>2</sup> - sont mises à disposition sur Internet. Des outils de visualisation<sup>3</sup> gratuits, offrent des fonctionnalités plus ou moins sophistiquées pour créer des cartes de toutes pièces ou ajouter des données à des fonds de carte électroniques<sup>4</sup>. Ainsi, l'accessibilité croissante de ces données vectorielles, thématiques et topographiques, et le développement d'outils de représentation gratuits et faciles à utiliser transforment tout utilisateur d'Internet en un auteur potentiel de cartes adaptées à ses intentions.

Dans une vision simplifiée du processus de conception représentée figure 1, la carte peut être vue comme le résultat de l'application d'une légende à des données géoréférencées.

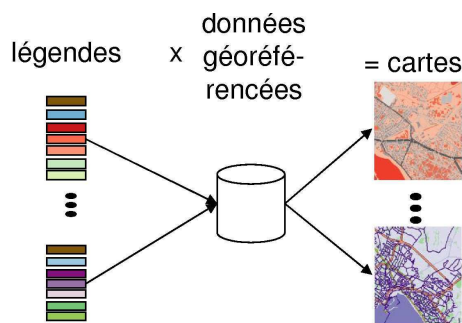


FIGURE 1 – Processus simplifié de conception de cartes.

Cependant, de même qu'un texte est rédigé pour transmettre une information, une carte délivre un message à ses lecteurs. Pour que l'information visuelle portée par la carte soit déchiffrée par les lecteurs conformément aux intentions de l'auteur, celui-ci applique des règles de cartographie et de sémiologie graphique. Cependant, il n'est pas rare que les auteurs néophytes ignorent ces règles, les comprennent superficiellement ou les appliquent mal. Le message cartographique, mal construit, risque alors d'être mal compris par ses lecteurs.

1 <http://www.littoral.ifen.fr/Cartographie.6.0.html>

2 <http://inspire-geoportal.ec.europa.eu/>

3 <http://www.qgis.org/> ;

4 <http://www.sciences-po.fr/cartographie> ; <http://www.monde-diplomatique.fr/cartes> ; <http://ooo.hg.free.fr/>

Dans ce contexte, fournir à un auteur de carte une aide adaptée à ses compétences est un problème important. Cette aide peut concerner différentes étapes de la conception d'une carte : la sélection de données pertinentes par rapport aux intentions de l'auteur ; la généralisation de ces données ; leur symbolisation de manière à ce que le message de la carte soit intelligible pour les lecteurs ; etc. En ce qui concerne la symbolisation, (Forrest, 1999) a défini les caractéristiques d'une aide cartographique efficace sous la forme d'un système expert. Plus récemment, (Smith, 2010) et (Couclelis, 2010) ont proposé de construire des systèmes experts de conception cartographique sur des ontologies de domaine. (Couclelis, 2010) a spécifié les principes de conception d'une ontologie cartographique sur laquelle fonder des outils automatiques d'aide à la création de cartes.

Le laboratoire COGIT de l'IGN travaille à la définition d'aide pour la conception de cartes sur mesure : aide à la restructuration et au prétraitement des données (Bucher & Balley, 2007), à la généralisation automatique des données (Touya & Duchêne, 2011), au choix des couleurs de la symbolisation (Christophe, 2011), à la conception automatique de légendes (Dominguès et al., 2009), à la superposition cohérente de données provenant de sources différentes (Bessadok & Dominguès, 2011).

Le travail présenté ici s'intéresse à l'étape de symbolisation, c'est-à-dire la construction d'une légende qui appliquée aux données sélectionnées produira une carte conforme aux intentions de son auteur. La transmission des intentions de l'auteur s'appuie d'une part sur les règles de sémiologie graphique et de cartographie, d'autre part sur ses préférences esthétiques et symboliques. Les règles mettent en place des relations sémantiques entre objets de la carte ; elles ne peuvent être transgressées sans risque de modifier le message délivré par la carte. Les préférences de l'auteur sont plus ou moins compatibles avec les règles. Dans ce travail, les connaissances nécessaires au choix de la symbolisation s'organisent dans une base de connaissance. Celle-ci est formée d'une ontologie de la cartographie nommée *OntoCarto*, d'un ensemble de préférences codées dans *OntoCartoP* et d'un moteur de raisonnement : *Corese* (Corby et al., 2004). L'objectif est d'utiliser le formalisme de l'ontologie pour coder les règles de sémiologie graphique et de cartographie qui ne peuvent être transgressées, tandis que les préférences de l'auteur sont manipulées par le moteur de raisonnement. Chaque demande de conception d'une légende est alors vue comme une instanciation singulière de l'ontologie, associée à des préférences d'*OntoCartoP*, sur lesquelles *Corese* va raisonner pour construire des légendes qui traduisent la demande exprimée.

Le message délivré par la carte s'appuie sur les relations sémantiques mises en place par l'auteur entre objets de la réalité géographique ; cette articulation est décrite dans la section 2. La construction de légende repose sur différents concepts et outils d'*OntoCarto* qui sont présentés dans la section 3. Les relations sémantiques entre objets de la légende

sont déduites de celles mises en place entre les objets de la réalité géographique ; elles sont exposées en section 4. L'organisation de la base de connaissance est validée par la construction d'un prototype qui est décrit dans la section 5. Dans la section 6, les résultats du prototype sont discutés qui conduisent à des propositions d'amélioration.

## 2 Message de la carte et relations sémantiques

La carte porte les intentions de son auteur et délivre à ses lecteurs un message que l'auteur souhaite conforme à ses intentions. La sémiologie graphique constitue un système dont les règles permettent de traduire sous forme visuelle les intentions de l'auteur.

### 2.1 Intentions de l'auteur de la carte

L'auteur de la carte souhaite représenter des informations localisées dans un espace géographique. Cependant, comme l'écrit (Rekacewicz, 2000) : *"La représentation symbolique exige le sacrifice d'une partie de l'information ... Le créateur de la carte fait un choix théoriquement raisonné des éléments qu'il veut représenter. En présence des données, il doit synthétiser, simplifier, renoncer. Sa carte finale est un document filtré ; il l'a censurée d'éléments parfois importants, mais le plus souvent jugés secondaires ou inutiles ; il l'a simplifiée pour la rendre lisible ; il y a imprimé sa manière de concevoir le monde et sa sensibilité."*

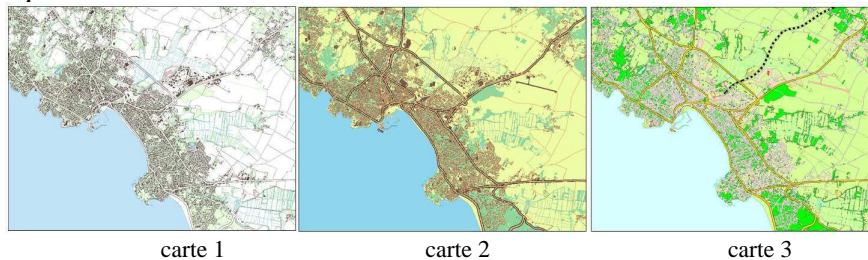


FIGURE 2 – Trois extraits de carte représentant la même zone avec des symbologies transposées des légendes utilisées par différents instituts géographiques nationaux (Jolivet 2009).

La symbolisation des données permet à l'auteur de mettre en valeur certaines informations et d'en reléguer d'autres au second plan. Par exemple, les extraits de cartes présentés dans la figure 2 cartographient les mêmes données. Cependant les symbologies adoptées se distinguent par la structuration des données, les choix des couleurs et de leurs contrastes, l'épaisseur des tracés linéaires, etc. et permettent une mise en valeur différenciée des éléments. Dans la carte 1, la légende met en valeur le bâti ; dans la 2, le fond communal ; dans la troisième, les infrastructures de transport, réseau routier principal et voie ferrée.

## 2.2 Construction d'un système graphique

La définition des relations visuelles entre objets de la carte s'inscrit dans le cadre de la sémiologie graphique. (Saussure, 1916) définit par sémiologie la science sociale qui a pour objet l'étude des signes. Cette théorie du signe ne s'applique pas seulement aux langues mais aussi aux codes visuels, sonores, etc. A ce titre, la sémiologie graphique est une branche de la sémiologie. Dans un système de signes, le sens des unités significantes provient de leur position dans le système ; il n'est pas défini par les caractéristiques propres de l'unité signifiante mais plutôt par l'existence ou l'absence, dans le système considéré, d'autres unités significantes qui lui sont opposables. Le sens d'une unité significative n'est donc perçu par le lecteur que par rapport à une référence qu'il peut ou non partager avec l'auteur ou les autres lecteurs. Ainsi quand (Jolivet, 2009) construit des cartes en transposant les légendes de différents instituts nationaux, ces cartes mettent en valeur les mêmes éléments thématiques que les cartes nationales et en conservent les propriétés visuelles.

Dans le cadre de la sémiologie, (Bertin, 1967) a théorisé une sémiologie graphique dans laquelle les relations qui s'établissent entre les éléments définissent trois niveaux d'organisation qui "*forment le champ des significations universelles, des analogies fondamentales auxquelles peut prétendre la transcription graphique*" :

- le niveau qualitatif qui permet de différencier deux perceptions : association et différence ;
- le niveau de l'ordre qui concerne tous les concepts qui peuvent être ordonnés ;
- le niveau quantitatif qui concerne les informations quantitatives.

La graphique doit alors fournir les moyens de transcrire ces relations sémantiques dans les formes cartographiques : relation d'association (ou son inverse : relation de différence), relation d'ordre et relation de proportionnalité (seulement pour des informations quantitatives). Dans ce but, Bertin propose, outre les deux variables qui permettent de positionner un objet dans le plan, six *variables rétinienne*s (l'usage a consacré le terme *variable visuelle*) : taille, valeur, grain, couleur, orientation et forme. Il définit conjointement leurs niveaux d'organisation : par exemple, la variable visuelle *taille* n'est pas associative, mais elle est sélective, ordonnée et quantitative. En outre, un objet visuel est aussi caractérisé par son implantation : ponctuelle, linéaire ou surfacique. Même si certains aspects ont été contestés puis enrichis par d'autres auteurs (MacEachren, 1952), (Caivano, 1990), (Robinson et al., 1995), les travaux de Bertin ont fondé la science cartographique dans le sens où ils ont engendré un système de traduction visuelle du message censé être délivré par la carte, par exemple : (Cuenin, 1972), (Le Fur, 2007).

Enfin, loin de la "*transparence*" entre *espace cartographique* et *espace terrestre* (Fontanoba, 1999), la carte prend en charge la représentation de formes géographiques. Sous le terme *forme*, (Fontanoba, 1999) distingue trois acceptions qui coexistent dans le processus cartographique : (i) la forme cartographique qui est perçue sur la carte grâce à ses caractéristiques visuelles sélectives ; (ii) celle qui existerait sur l'étendue terrestre et qu'il faudrait représenter ; (iii) celle créée par l'auteur de la carte pour s'inscrire dans sa modélisation du phénomène à représenter.

### **2.3 Des relations sémantiques à la structuration de la légende**

Des travaux ont approfondi les connaissances sur les variables visuelles et la conception de la légende : par exemple (Chesneau, 2006), (Buard & Ruas, 2007) sur la définition de cercles chromatiques et de contrastes de couleur ; (Harrower & Brewer, 2003) pour la construction de gammes colorées ; (Christophe, 2011) pour la définition de symbolisations adaptées. Dans OntoCarto, la construction de la légende est articulée sur la seule mise en place des relations sémantiques entre objets de la réalité géographique transposées entre les objets de la légende. D'après la construction du système graphique par (Bertin, 1967), ces relations sont nécessaires, et suffisantes, à la compréhension du message censé être délivré par la carte à ses lecteurs.

Ces relations, mises en place entre les objets topographiques ou thématiques qui peuplent l'espace géographique défini par l'auteur, doivent ensuite être traduites entre les objets de la carte, seuls accessibles au lecteur. Celui-ci discerne visuellement les objets cartographiques dont la légende conjointement donne les spécifications ; la symbologie adoptée lui permet d'établir les relations sémantiques voulues par l'auteur (Cf. Fig. 3). Le lecteur construit ainsi sa propre interprétation des informations visuelles de la carte.

## **3 Processus de construction de la légende implanté dans la base de connaissance**

Le processus de construction de la légende s'appuie sur la définition de hiérarchies d'objets. La classe *LigneDeLégende* porte les caractéristiques de la symbolisation. Des outils dont le fonctionnement est transcrit dans OntoCarto permettent d'instancier les variables visuelles pertinentes.

### **3.1 Les hiérarchies d'objets du modèle**

OntoCarto implémente les trois acceptions de *forme* décrites par (Fontanoba, 1999) à travers la définition de trois hiérarchies d'objets : de la carte, de la réalité géographique et de la légende. Les objets de la

réalité géographique et de la légende sont organisés en quatre niveaux présentées en figure 4. Cette limite, fondée sur une connaissance empirique, se justifie par la complexité de la sémantique et les difficultés de mémorisation qu'impliquerait un nombre plus important de niveaux d'objets<sup>5</sup>. La structuration des données géographiques n'est pas intrinsèque à l'espace géographique cartographié mais dictée par les intentions de l'auteur. La structure des objets de la légende est symétrique à celle des objets de la réalité géographique. Objet cartographique et objet géographique sont associés de manière biunivoque ; en revanche, une ligne de légende peut être associée à plusieurs objets cartographiques qui partagent alors la même symbolisation.

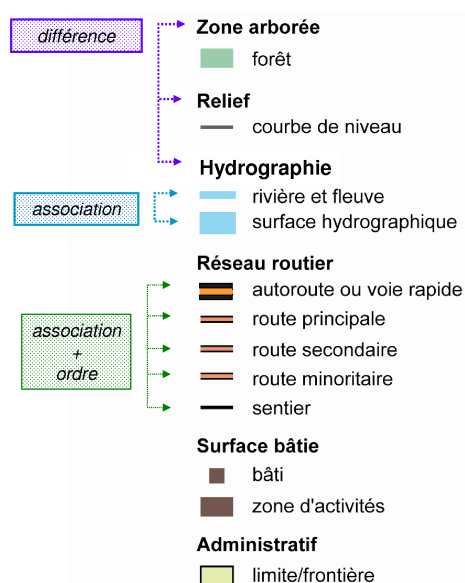


FIGURE 3 – Relations sémantiques entre les objets de la légende de la carte 2 de la figure 2. Les objets : *Zone arborée*, *Relief*, *Hydrographie*, *Réseau routier*, *Surface bâtie* et *Administratif* sont en relation de différence. A l'intérieur du thème *Hydrographie* les lignes *rivière et fleuve* et *surface hydrographique* sont en relation d'association. Les lignes du thème *Réseau routier* sont en relation d'association et ordonnées en 3 niveaux à l'aide de la variable visuelle *taille*.

Par défaut, les objets sont liés par une relation de différence. Par exemple si l'auteur définit plusieurs domaines géographiques sans préciser les relations entre eux, ceux-ci sont par défaut en relation de différence ; de même, si le niveau *domaine géographique* n'est pas utilisé

<sup>5</sup> Un emboîtement de plus de trois niveaux n'a pas été observé ; la légende la plus complexe semble être celle de CORINE Land Cover qui donne une description structurée de l'occupation du sol en Europe en trois niveaux : <http://sia.eionet.europa.eu/CLC2006>. Le quatrième niveau *domaine* est construit dans OntoCarto pour que le niveau 3 *thème* bénéficie d'une relation *EstPartieDe* ; cette relation est nécessaire pour l'homogénéité du raisonnement sur la traduction visuelle des relations sémantiques.



par l'auteur qui définit sa hiérarchie seulement à partir du niveau des thèmes géographiques, ceux-ci, sans indication contraire explicite, sont en relation de différence. Deux composants sont en relation d'association s'ils ont un ancêtre commun, et en relation de différence dans tous les autres cas. Pour que deux objets soient liés par une relation d'ordre, il est nécessaire qu'ils soient composants du même objet de niveau supérieur.

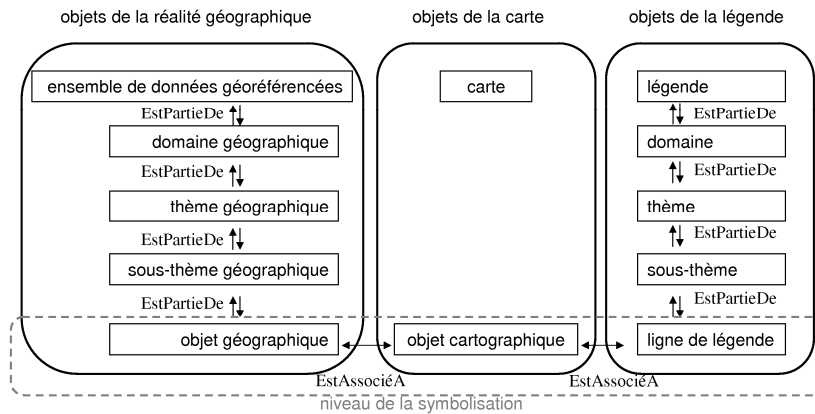


FIGURE 4 – Les hiérarchies d'objets de la réalité géographique, de la carte et de la légende.

Les niveaux supérieurs des hiérarchies géographiques et de la légende permettent de structurer les objets ; la relation d'ordre ne peut concerner que le niveau de la symbolisation (et non les niveaux de structuration), c'est-à-dire les lignes de légende et donc les objets géographiques et cartographiques qui y sont associés.

### 3.2 La classe *LigneDeLégende* dans *OntoCarto*

Définir le symbole d'une ligne de légende signifie instancier l'ensemble des variables visuelles utilisables pour définir le symbole. (Bertin, 1967), (Cuenin, 1972), (Le Fur, 2007) concèdent, malgré ses difficultés d'utilisation, un statut privilégié à la couleur. Par exemple, (Bertin, 1967) remarque qu'elle "*exerce une indéniable attraction psychologique. ... [Elle] retient l'attention, multiplie le nombre de lecteurs, assure une meilleure mémorisation et en définitive augmente la portée du message*". Cependant, le terme *couleur* est trop polysémique pour être utilisé dans l'ontologie (Dominguès et al., 2009) ; les concepts *Teinte* et *Valeur*, sous-classes du concept *Variable visuelle*, lui ont été substitués dans *OntoCarto*. Une couleur est alors vue (Cf. Fig. 6) comme une paire (*teinte, valeur*). Dans la version actuelle de la base de connaissance, les variables visuelles *Teinte* et *Valeur* sont seules manipulées par les règles de cartographie pour définir les symbolisations des lignes de légende. La figure 5 donne un exemple de discrimination de

deux lignes de légende à l'aide de la seule variable visuelle *valeur*, la variable visuelle *teinte* étant identique pour les deux symboles.

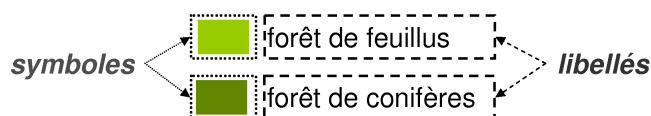


FIGURE 5 – La symbolisation est associée à la ligne de légende. Celle-ci est composée d'un symbole et d'un libellé. Tous les objets cartographiques qui y sont associés sont représentés par le même symbole et décrits par le même libellé ; seules leurs positions (autres variables visuelles) sur la carte diffèrent.

### 3.3 Les couleurs de la légende

L'ensemble des couleurs utilisables pour la conception des légendes est en théorie infini. Cependant, pour faciliter le raisonnement, l'ensemble des paires (teinte, valeur) manipulables par la base de connaissance a été restreint à celles du cercle chromatique défini par (Chesneau, 2006) et représenté en Fig. 6. La modélisation adoptée dans OntoCarto (Dominguès et al., 2009) superpose au cercle chromatique d'autres concepts utilisés dans le processus de conception de légende : *FamilleDeCouleurs*, *Anneau*, *Quartier* et *Secteur* (Cf. Fig. 6).

### 3.4 Les choix de symbolisation dans la légende

Les choix de symbolisation s'effectuent grâce au moteur Corese qui raisonne sur les concepts d'OntoCarto et les préférences d'OntoCartoP ; plus précisément, il s'agit de définir une teinte et une valeur pour chaque ligne de la légende. Dans la base de connaissance, le raisonnement s'appuie sur la structuration des objets de la réalité géographique en *domaine(s)*, *thème(s)*, *sous-thème(s)* et *objet(s) géographique(s)*. La modélisation d'OntoCarto permet à Corese de développer le raisonnement même si un ou plusieurs niveaux manquent dans la hiérarchie : par exemple dans la figure 3, tous les niveaux de la structure ne sont pas utilisés par l'auteur. *Zone arborée*, *Relief*, *Hydrographie*, *Réseau routier*, *Surface bâtie* et *Administratif* étant considérés comme des thèmes ; il n'y a pas de domaine géographique, ni de sous-thèmes, et les objets du type *Ligne-DeLégende* sont directement organisés dans les thèmes correspondants.

## 4 Les relations sémantiques entre objets de la légende

La structuration de la réalité géographique et symétriquement celle de la légende en deux hiérarchies supportent les relations sémantiques entre objets de la réalité géographique et objets de la légende.

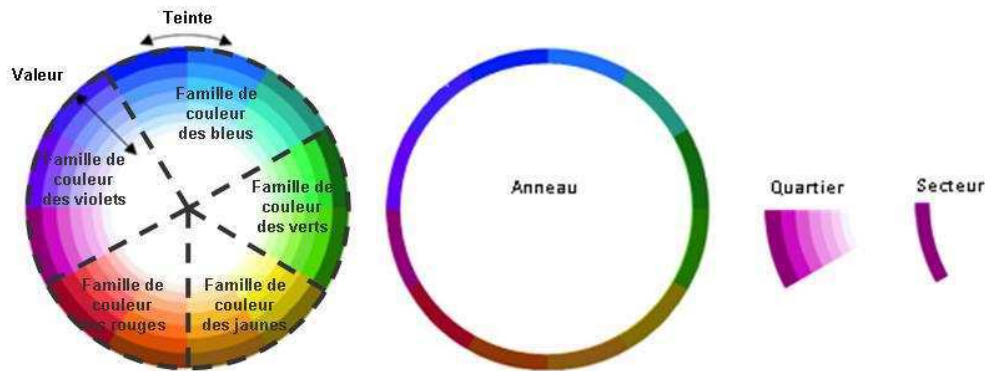


FIGURE 6 - Le cercle chromatique et la représentation graphique des concepts : *Teinte*, *Valeur*, *FamilleDeCouleurs*, *Anneau*, *Quartier* et *Secteur*. Les couleurs, c'est-à-dire les paires (teinte, valeur), sont repérées dans le cercle chromatique par un indice entier de teinte (de 1 à 12) et un indice entier de valeur (de 1 à 7).

#### 4.1 Traduction des relations sémantiques dans OntoCarto et OntoCartoP

Les relations sémantiques qui existent entre objets de la réalité géographique doivent être transposées graphiquement entre objets cartographiques, à l'aide des variables visuelles. Cependant, la représentation cartographique parce qu'elle s'appuie sur des couleurs crée des interactions visuelles (Itten, 1974). Quelles que soient les intentions de l'auteur, ces interactions visuelles fondées sur les contrastes de teintes et de valeurs s'établissent. La symbolisation doit alors figurer uniquement les relations visuelles qui correspondent aux relations que l'auteur veut établir, sans en créer d'autres qui modifieraient ou parasiteraient le message censé être délivré par la carte.

Pour traduire les relations sémantiques à l'aide des variables visuelles *Teinte* et *Valeur*, des règles déduites de (Bertin, 1967), (Cuenin, 1972), (Le Fur, 2007) ont été mises en place dans OntoCarto en utilisant le concept de *Contraste* (contraste de teintes et contraste de valeurs) :

- pour montrer une relation d'association entre deux objets cartographiques, il faut que leurs teintes appartiennent à la même famille de couleurs (contraste de teintes faible) ;
- pour montrer une relation de différence entre deux objets cartographiques, il faut que leurs teintes appartiennent à des familles de couleurs différentes (contraste de teintes fort) ;
- pour montrer une relation d'ordre entre deux objets cartographiques, il faut que leurs teintes appartiennent au même quartier et que leurs valeurs soient différentes (contraste de

valeurs). Le sens de variation des valeurs donne le sens de l'ordre entre objets cartographiques.

La figure 7 montre comment est contrôlée dans OntoCarto l'attribution des teintes aux différents niveaux d'objets de la légende. Un domaine est associé à une ou plusieurs familles de couleurs. Un thème est associé à une seule famille de couleurs ; si deux thèmes sont associés (parce que l'auteur de la carte le spécifie ou bien parce que les deux thèmes appartiennent au même domaine), alors ils seront représentés avec des teintes qui appartiennent à la même famille de couleurs. Ainsi la même famille de couleurs peut être associée à des thèmes différents.

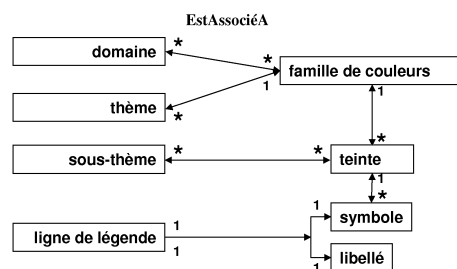


FIGURE 7 - Attribution des teintes entre objets de la légende.

(Bertin, 1967), (Itten, 1974) notent que des couleurs formées de valeurs différentes d'une même teinte créent nécessairement un ordre de ces couleurs, contrairement à des valeurs égales de teintes différentes. Ainsi, pour ne pas créer un ordre entre des objets associés, il est nécessaire que leurs valeurs soient situées sur le même anneau du cercle chromatique (Cf. Fig. 6). Un sous-thème peut donc être associé à plusieurs teintes et une teinte à plusieurs sous-thèmes.

## 4.2 Codage des préférences de l'auteur dans OntoCartoP

L'objectif de l'auteur de la carte est de définir la symbolisation la plus efficace pour traduire ses intentions. En particulier, si les variables visuelles choisies sont la teinte et la valeur, un cartographe professionnel ne va pas parcourir systématiquement le cercle chromatique pour sélectionner teinte et valeur de chaque objet cartographique mais utiliser des connotations classiques (Pastoureau & Simonnet, 2005) ou des associations correspondant à sa propre sensibilité artistique (Couclelis & Gottsegen, 1997). Par exemple :

- préférence P1 : *les objets qui font partie d'un sous-thème, un thème ou un domaine lié à la végétation sont représentés avec une teinte qui appartient à la famille de couleurs des verts ;*

- préférence P2 : *les objets qui font partie d'un sous-thème, un thème ou un domaine lié à l'hydrologie sont représentés avec une teinte qui appartient à la famille de couleurs des bleus.*

Le modèle utilisé par OntoCartoP permet d'exprimer toutes les préférences sous la forme suivante :

*<classe d'objets de la légende> ≡ <instance de variable visuelle>*

## 5 Mise en place du raisonnement - Présentation du prototype

Le schéma de la figure 8 montre l'articulation des trois composants de la base de connaissance. Pour faciliter la saisie des intentions de l'auteur et la visualisation des légendes construites par Corese, une application JAVA a été écrite. Elle permet à l'auteur de saisir la structuration de ses données et ses préférences en termes d'utilisation conventionnelle des couleurs pour certains thèmes. Elle lance Corese puis transforme les graphes produits par Corese en légendes.

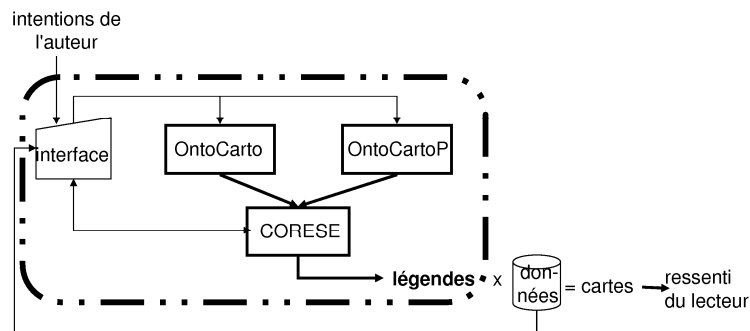


FIGURE 8 - Schéma de fonctionnement de la base de connaissance.

Un prototype a été construit et testé sur un cas particulier pour valider cette organisation. L'auteur utilise l'interface de saisie, dont la figure 9 montre une partie. Dans l'exemple, il organise les objets en quatre thèmes : *Bâti*, *Hydrologie*, *Route* et *Végétation*. Par défaut, chacun est en relation de différence avec les trois autres. Sinon, l'auteur peut choisir dans un menu déroulant les objets avec lesquels chaque groupe d'objets de plus haut niveau est en relation d'association. Sur un autre écran, l'auteur indique, le cas échéant, la décomposition en objets de niveau inférieur de chacun des objets de la figure 9. L'objet *Route* est structuré en trois lignes de légendes ordonnées par ordre décroissant ; *Végétation* est structuré en deux lignes non ordonnées. Les autres niveaux, en référence à la hiérarchie de la figure 4, sont absents.

OntoCarto – Relations sémantiques et préférences			
Bâti :	Association : <input type="text"/>	Ordre : <input type="text"/>	Préférence : <input type="text"/>
Hydrologie:	Association : <input type="text"/>	Ordre : <input type="text"/>	Préférence : P2 <input type="text"/>
Route:	Association : <input type="text"/>	Ordre : décroissant <input type="text"/>	Préférence : <input type="text"/>
Végétation:	Association : <input type="text"/>	Ordre : pas d'ordre <input type="text"/>	Préférence : P1 <input type="text"/>
			<input type="button" value="suite"/>

FIGURE 9 - Une partie de l'interface de saisie des intentions de l'auteur de la carte.

En raisonnant sur cet exemple, Corese a construit plus d'un million de légendes différentes dont quelques unes sont affichées dans la figure 10. Le nombre de légendes produites est très élevé parce que Corese explore toutes les possibilités du cercle chromatique pour symboliser les thèmes *Route* et *Bâti* pour lesquels aucune préférence d'utilisation conventionnelle des couleurs n'est activée, c'est-à-dire toutes les familles du cercle chromatique non déjà associées à un autre thème. Par exemple, quand *Route* est associé à la famille des rouges, *Bâti* peut être associé à la famille des violets (Cf. légende 1 Fig. 10) ou à celle des jaunes (Cf. légende 2), les bleus étant réservés au thème *Hydrologie* et les verts à *Végétation* pour tenir compte des préférences exprimées par l'auteur. Pour le thème *Route* les valeurs décroissantes de la teinte (rouge pour les exemples 1 et 2, violet pour les exemples 3 et 4) montrent l'ordre décroissant des routes : *autoroute*, *route principale* puis *route secondaire*. Enfin, les solutions 3 et 4 diffèrent seulement par la valeur de la ligne de légende *route secondaire*.

Thèmes géographiques	Objets géographiques	Légendes			
		1	2	3	4
Bâti :	bâtiment				
Hydrologie :	cours d'eau				
Route :	autoroute				
	route principale				
	route secondaire				
Végétation :	forêt de feuillus				
	forêt de conifères				

FIGURE 10 - Propositions de légendes produites par Corese.

## 6 Discussion

L'objectif de ce travail était d'implémenter les règles de sémiologie graphique à l'aide des seuls concepts et relations d'OntoCarto et de voir chaque nouvelle conception de légende comme une instanciation singulière de l'ontologie. L'intérêt de ce point de vue est de séparer, dans le processus de conception de la légende, les contraintes cartographiques et sémiologiques qui s'imposent à l'auteur, de ses préférences (ou des règles opératoires modifiables qui sont traitées comme des préférences). Le prototype a permis de valider cette hypothèse. Cependant le nombre de solutions produites est très élevé, et cela pour deux raisons principales :

- Corese parcourt systématiquement la totalité du cercle chromatique si aucune contrainte de couleur ou de teinte n'est exprimée. Ce principe de fonctionnement permet de ne pas brider la créativité potentielle de l'application - et augmenter la variété des cartes produites est un des objectifs de l'aide à la conception de cartes sur mesure - mais génère un grand nombre de solutions ;
- par construction, deux légendes sont différentes dès qu'elles diffèrent par une des variables visuelles d'un symbole. Ainsi, les légendes 3 et 4 de la figure 10 diffèrent par les valeurs de l'objet *route secondaire*, pourtant quasi-identiques pour un œil humain.

Si ce fonctionnement est cohérent avec la modélisation choisie, il conduit cependant à des résultats qui ne sont pas directement utilisables par l'auteur de la carte. Deux pistes d'améliorations sont donc envisagées.

La première est fondée sur la mise en place d'une comparaison entre légendes qui permettrait de proposer à l'auteur une "légende représentative" d'un groupe de légendes. La comparaison entre légendes devra être fondée à la fois sur des critères sémantiques (la structuration des objets et leurs relations sémantiques) et des propriétés visuelles (par exemple, les gammes colorées utilisées ou les contrastes de teintes et de valeurs entre groupes d'objets cartographiques). En outre, si l'auteur construit "librement" sa légende, les propriétés visuelles de la carte sont, en grande partie, dues à l'application de la légende à des données que l'auteur ne peut modifier. Il faut donc développer, outre une distance entre légendes, une mesure de distance entre cartes. Cette distance devra tenir compte des relations mises en place par la légende mais aussi des propriétés visuelles de la carte : gammes colorées, quantité de teintes, répartition des zones colorées, teinte dominante, etc.

La deuxième piste d'amélioration concerne l'exploration du cercle chromatique. Plutôt que de construire toutes les solutions possibles pour chaque ligne de légende, il serait préférable de conduire le raisonnement niveau par niveau (domaine, puis thème, puis sous-thème) et de ne

raisonner sur la variable visuelle *Valeur* d'un symbole que lorsque la variable visuelle *Teinte* est validée. Dans l'exemple développé, l'association entre thème et famille de couleurs ou entre thème et teinte serait proposée par l'application et devrait être validée par l'auteur avant de raffiner les solutions acceptées. Pour chaque ligne de légende, la teinte serait déduite de celle du thème et l'association entre ligne de légende et valeur serait produite à l'étape suivante du raisonnement. Corese permet d'implémenter ce type de raisonnement.

## Remerciements

Ce travail a largement bénéficié de l'aide et des conseils d'Olivier Corby de l'Inria Sophia Antipolis-Méditerranée, concepteur de Corese, et de Fayrouz Soualah-Alila de l'Université Paris Dauphine pendant son stage de master ISI. Qu'ils en soient chaleureusement remerciés.

## Références

- BERTIN J. (1967). *Sémiologie graphique: les diagrammes, les réseaux, les cartes*. Réédité en 1973, puis 1998. Paris, Editions de l'EHESS.
- BESSADOK F. & DOMINGUÈS C. (2011). Automatic evaluation and improvement of map readability, In *Proceedings of the 25th International Cartographic Conference*, Paris.
- BUARD E. & RUAS A. (2007). Evaluation of colour contrasts by means of expert knowledge for on-demand mapping. In *Proceedings of the 23rd International Cartographic Conference*, Moscow.
- BUCHER B. & BALLEY S. (2007). A generic preprocessing service for more usable data processing services, In *Proceedings of the 10th International Conference on Geographic Information Science (AGILE'07)*, Aalborg.
- CAIVANO J. L. (1990). Visual texture as a semiotic system, *Semiotica*, 80(3/4), p. 239-252.
- CHESNEAU E. (2006). Propositions méthodologiques pour l'amélioration automatique des contrastes de couleur - Application aux cartes de risque. *Cybergéo*, 360. URL : <http://cybergeo.revues.org/2889>. Consulté le 10 avril 2012.
- CHRISTOPHE S.(2011). Creative colours specification based on knowledge (ColorLegend System), *The Cartographic Journal - ICC Paris 2011 Special Issue*, Vol.48 n°2, p. 138–145.
- CORBY O., DIENG R., FARON-ZUCKER C. (2004). Querying the Semantic Web with Corese Search Engine, Prestigious Applications of Intelligent Systems PAIS, In *Proceedings of the 16<sup>th</sup> ECAI*, Valencia.
- COUCLELIS H. (2010). Ontologies of geographic information, *International Journal of Geographic Information Science*, 24:12, p. 1785-1809.
- COUCLELIS H. & GOTTSEGEN J. (1997). What Maps Mean To People: Denotation, Connotation, and Geographic Visualization in Land-Use Debates, *LNCS* vol. 1329/1997, p. 151-162.



- CUENIN R. (1972). *Cartographie générale - Tome1 - Notions générales et principes d'élaboration*. Paris, Eyrolles.
- DOMINGUES C., CHRISTOPHE S., JOLIVET L. (2009). Connaissances opérationnelles pour la conception automatique de légendes de cartes 20èmes Journées Francophones d'Ingénierie des Connaissances, Hammamet.
- FONTANABONA J. (1999). Mieux comprendre comment un élève donne du sens aux cartes, *Cahiers de géographie du Québec*, vol. 43, n° 120, p. 517-538. URL : <http://id.erudit.org/iderudit/022853ar>. Consulté le 10 avril 2012.
- FORREST D. (1999). Developing Rules for Map Design: A Functional Specification for a Cartographic-Design Expert System, *Cartographica* , 36(3).
- HARROWER M. A. & BREWER A. (2003), ColorBrewer.org: An Online Tool for Selecting Color Schemes for Maps, *The Cartographic Journal*, 40(1), p. 27-37.
- ITTEN J. (1974). *The art of color: the subjective experience and objective rationale of color*. Hoboken NJ, John Wiley and Sons.
- JOLIVET L. (2009). Characterizing maps to improve on-demand cartography - the example of European topographic maps, *17th Conference on GIScience and Research in UK*, Durham.
- LE FUR A. (2007). *Pratiques de la cartographie*. Paris. Armand Colin.
- MACEachREN A. M. (1952). *How maps work: representation, visualization and design*. Rééditions en 1995, puis 2004. New-York, The Guilford Press.
- PASTOUREAU M. & SIMONNET D. (2005). *Le petit livre des couleurs*. Paris, Ed. du Panama.
- REKACEWICZ P. (2000). Regards politiques sur les territoires. *Le monde diplomatique*. URL : <http://www.monde-diplomatique.fr/cartes/presentation>. Consulté le 10 avril 2012.
- ROBINSON A.H., MORRISON J.L., MUEHRCKE P.C., KIMERLING A.J., GUPTILL S.C. (1995). *Elements of cartography*. Hoboken NJ, John Wiley and sons.
- SAUSSURE F. DE. (1916). *Cours de linguistique générale*. Réédition 2002. Paris, Payot.
- SMITH R.A. (2010). Designing a Cartographic Ontology for Use with Expert Systems. In *Proceedings of the 18<sup>th</sup> AutoCarto Conference*. Orlando. URL : <http://www.littoral.ifen.fr/Cartographie.6.0.html>. Consulté le 10 avril 2012.
- TOUYA G. & DUCHÊNE C. (2011). Collagen: collaboration between automatic cartographic generalisation processes, *Advances in Cartography and GIScience Vol.1, LNG&C, Selection from 25th International Cartographic Conference (ICC'11)*, Paris, p. 541-558.