ÉVOLUTION DES REPRÉSENTATIONS ET DES PROCÉDÉS DE PRODUCTION CARTOGRAPHIQUES

Les leçons de la carte topographique IGN

par Pascal Guislain
GeoConcept,
52, avenue Aristide Briant 92220 Bagneux
pascal.guislain@geoconcept.com

et François Lecordix
Institut géographique national,
73, avenue de Paris 94160, Saint-Mandé
francois.lecordix@ign.fr

En se basant sur des évolutions fonctionnelles de Publisher*, une extension de rendu cartographique pour le SIG GeoConcept, évolutions dont le but était de permettre la production de la carte topographique à grande échelle de l'IGN (Institut géographique national), cet article étudie et met en perspective les avancées récentes dans le domaine des représentations cartographiques et des procédés de production de cartes basés sur les SIG. Le projet de l'IGN avait deux facettes : d'une part, créer un jeu de données cartographiques et géographiques à l'échelle nationale, stocké dans une base de données à partir de laquelle extraire et produire la carte topographique à deux échelles (au 1 : 25 000 et 1 : 50 000) ; d'autre part, concevoir et réaliser un mécanisme de saisie et de mise à jour « en continu » pour la constitution et la maintenance de cette base de données référentielle à partir de laquelle les cartes topographiques sont non seulement produites mais également mises à jour. Étant donné la complexité de la légende de la carte topographique, une des demandes essentielles était de proposer un paradigme approprié pour la définition et l'organisation de la « symbologie ». Ce document décrit les principes sur lesquels se fondent les symboles éditables en lien avec la base de données, les « styles » cartographiques avancés et l'organisation des règles de représentation au sein d'une charte graphique numérique ; principes qui permettent au cartographe d'obtenir avec un SIG une qualité graphique qui jusqu'alors était l'apanage des logiciels d'illustration ou de retouche d'image. En se basant sur le modèle de la carte topographique, ce document décrit également une organisation hiérarchique des éléments de la charte graphique et les gains résultant en termes de gestion du modèle cartographique. Une typologie des symboles, assortie d'exemples, est proposée. Elle se base sur la complexité du processus de dessin : transformations géométriques pour le rendu et le stockage des géométries « de dessin », agencement de textes et d'icônes multiples dans des symboles complexes, symboles statiques par opposition aux symboles dynamiques basés sur l'interaction de plusieurs objets géographiques. Les différentes techniques utilisées pour créer ces symboles dans* Publisher *ou des logiciels similaires sont ensuite décrites et analysées. Enfin ce document montre que l'architecture existante des SIG pour le dessin des symboles, basée sur une boucle de dessin récursive n'est pas sans limites. Il tente alors de démontrer comment le rendu des symboles complexes pourrait être conçu comme un ensemble de fonctions discrètes, spécialisées et relativement simples, appliquées itérativement sur des objets de la carte dans un traitement par lot ou de manière individuelle. En d'autres termes, comment un traitement basé sur des agents génériques peut être mis à profit pour créer et dessiner des symboles cartographiques avancés.*

1. Données cartographiques et gestion des symboles dans les SIG

1.1 Aléas de la représentation cartographique dans les cartes numériques

Nous pouvons définir la carte comme la synthèse de deux éléments : d'un part, les données géographiques, et, de l'autre, la représentation cartographique de ces données. Un océan, par exemple, est défini dans nos données par la géométrie de son trait de côte mais la couleur montrée sur la carte ou le texte qui lui est associé n'a pas de réalité physique. Elle est simplement issue de conventions cartographiques vieilles de plusieurs siècles. Il n'y a pas si longtemps qu'ont disparu les sirènes et les monstres marins en marge de nos cartes.

Autrefois, quand les cartes étaient dessinées à la main, le cartographe appliquait un modèle de représentation cartographique en même temps qu'il relevait les contours du paysage. Aujourd'hui encore nous éprouvons des difficultés pour reproduire cette démarche avec des outils numériques. Buckley, Frye, et Buttenfield (2005) ont clairement établi la distinction entre ce qu'ils nomment « la réalité géographique » et sa représentation cartographique. Ils ont également démontré comment les SIG [systèmes d'information géographique] se sont en premier lieu focalisés sur la première au détriment de la seconde : « Du fait de l'essor des SIG, les données ont commencé à être produites d'une manière très différente. Au fil du temps, il est devenu plus important de digitaliser les éléments du paysage comme des représentations géographiques **exactes** […] et les utilisateurs de SIG sont peu enclins à déplacer, généraliser ou modifier ces données à des fins de rendu cartographique car ces abstractions compromettraient l'utilisation des données pour l'inventaire et l'analyse géographique. Pour beaucoup d'utilisateurs de GIS, les données sont à peu de choses près la réalité géographique. Cependant pour les cartographes, elles sont des représentations de la réalité qui nécessitent un niveau d'abstraction supplémentaire afin d'être adaptées à la réalisation de carte ».

Tiraillés entre les besoins des nombreux utilisateurs de SIG d'une part, et, de l'autre, les attentes d'une minorité de cartographes, il n'est pas surprenant que les SIG n'aient pas été initialement conçus pour gérer des données cartographiques et représenter les éléments géographiques avec la profusion de détails et les options graphiques que permettent la production manuelle ou les logiciels d'illustration.

1.2 Réduire l'écart avec *Illustrator* et autres challenges

Les éditeurs de SIG sont de plus en plus conscients de la nécessité d'améliorer leurs produits dans le but de produire des cartes de qualité. Dans notre jargon cela s'appelle « réduire l'écart avec *Illustrator* ». En d'autres termes, fournir des options graphiques suffisamment avancées et des fonctions de publication qui épargneront à l'utilisateur le souci d'exporter la carte dans *Adobe Illustrator* ou un logiciel équivalent pour finir son travail et ajouter des effets graphiques supplémentaires. De ce fait, les SIG évoluent constamment pour tenir compte des exigences de l'impression ainsi que de la publication sur Internet. La gestion des couleurs et la séparation quadrichromique ne sont apparues que récemment de même que l'export en EPS ou PDF. Les tons directs, par exemple, sont encore l'exception et nous les avons implémentés dans *Publisher* pour l'IGN il y a seulement deux ans.

Mais réduire l'écart est une nécessité puisque *Illustrator* n'est pas capable de manipuler aisément les volumes de données que nous traitons. Un autre inconvénient majeur est évidemment que le travail effectué en dehors du SIG ne peut pas être réintégré dans la base de données et sera à refaire quand les données seront mises à jour. De ce fait, utiliser *Illustrator*, *Photoshop* ou n'importe quel logiciel externe dans lesquels les données sont dupliquées peut être une solution commode si vous traitez un petit territoire et un nombre limité de cartes. Mais c'est totalement ingérable si vous traitez, par exemple, une carte topographique de la France à grande échelle.

La prochaine étape est probablement de « réduire l'écart avec *Photoshop* », ce qui revient à gérer un rendu quasi photographique des effets d'ombrage et des textures complexes. Un exemple frappant de photo-réalisme appliqué à la cartographie est le travail de Tom Paterson du NPS [National Parc Service - Service de parcs nationaux des États-Unis]. La figure 1 montre l'évolution des cartes du NPS sur plus de deux décennies et les publications de Paterson offrent une profusion d'informations sur le sujet.

Et si vous vous demandez comment, avec votre logiciel de cartographie habituel, produire en série et imprimer des cartes de qualité sur papier, le support traditionnel, pensez aux défis auxquels les cartographes font face désormais quand il s'agit de publier leur travail pour ce que Cartwright appelle les « nouveaux médias » : « Les nouveaux médias incluent une gamme de nouvelles plateformes pour le rendu et l'affichage ; parmi celles-ci, le réseau Internet, la télévision numérique interactive, Internet sur votre

mobile, les cartes interactives, et des outils de cartographie évolués reliés à des bases de données - nationales ou globales » (Cartwright, 2002).

Aussi, alors que les SIG peinent à « réduire l'écart avec *Illustrator* », il semble que de nouvelles attentes voient le jour : nous n'avons besoin de rien de moins que de la capacité de traiter automatiquement un large volume de données, à leur appliquer des représentations cartographiques avancées et à produire un résultat pour des médias toujours plus riches de possibilités et en constante évolution.

1.3 Définir et gérer des symboles avancés avec les styles cartographiques

Publisher est une extension dédiée à la cartographie d'édition pour le SIG *GeoConcept*. Pour gérer plus aisément les représentations cartographiques, il introduit la notion de style cartographique. Le nom « style » n'a pas été choisi au hasard. Les styles de *Publisher* sont fonctionnellement équivalents aux styles de Microsoft Word. Exactement comme les styles de Word contiennent toutes les propriétés définissant l'aspect des paragraphes du texte, les styles cartographiques sont une manière simple et efficace de gérer l'ensemble des paramètres d'un symbole cartographique.

Les symboles de *Publisher* s'appuient sur un paradigme simple. Seuls quatre genres différents de styles sont proposés : texte, symbole (symbole ponctuel), ligne et surface, mais leur rendu se base sur un grand nombre de paramètres qui sont très largement inspirés des options disponibles dans *Illustrator*. Ces options sont également très proches de celles décrites dans les « Symbology Encoding Implementation Specifications » (Spécifications d'implémentation pour l'encodage de la symbologie) de l'OGC [Open Geospatial Consortium] et capables de satisfaire la plupart des besoins en matière de représentation de l'utilisateur avancé des SIG.

Le fait de s'inspirer d'*Illustrator* s'est avéré être un atout majeur puisque les utilisateurs d'*Illustrator* et les cartographes – qui sont généralement des utilisateurs avancés des logiciels d'illustration – ne rencontrent guère de difficultés à transposer leur expérience à la gestion des représentations cartographiques dans le SIG. Et il est à noter que ce produit s'adressait non seulement au cartographe « éclairé » mais également aux utilisateurs de solution geomarketing, qui avaient besoin d'un outil simple de visualisation de leurs données (Briat, 1999).

La polyvalence de *Publisher* dans la gestion de la symbologie est l'une de ses fonctionnalités les plus marquantes : un ensemble logique et simple de styles organisés dans les vues sur lesquelles on peut facilement bâtir et contrôler le modèle cartographique. Ce fut clairement un facteur décisif dans le choix de *Publisher* par l'IGN pour son projet de carte topographique.

1.4 Les attributs cartographiques et leur hiérarchie

Avec des logiciels consacrés à la représentation cartographique avancée, nous nous écartons d'un concept traditionnel du symbole en tant que « boîte noire » dans lequel les paramètres : couleur, ligne, largeur, taille du texte, etc. sont définis à un niveau générique seulement - -pour une classe d'objets dans son ensemble, par exemple - et stockés par le système dans un format propriétaire. Un des inconvénients majeurs de cette logique « de boîte noire » est qu'elle interdit ou limite grandement les possibilités d'adapter les représentations pour chaque objet.

L'approche de *Publisher* pour la gestion de la charte graphique numérique[1] [CGN] s'appuie sur la possibilité de définir aisément un lien entre les styles cartographiques et les paramètres des symboles – paramètres que nous désignons sous le terme d'attributs cartographiques - avec une classe, un sous-type ou un sous-ensemble d'objets identifiés par des valeurs discrètes lues dans la base de données. Par conséquent *Publisher* permet de définir de manière flexible et hiérarchique les attributs cartographiques et de gérer efficacement le contenu de la carte en termes d'affichage. Au niveau le plus fin, un mécanisme de surdéfinition (override) permet à l'utilisateur de lier les valeurs des attributs cartographiques directement aux données stockées dans les objets.

1.5 Paramètres en lien avec les données : surdéfinitions et exceptions

Une surdéfinition (override) consiste à pouvoir redéfinir la valeur d'un paramètre cartographique à un niveau hiérarchique différent. Typiquement un style définira la valeur par défaut d'un attribut cartographique à un niveau générique. Cet aspect par défaut peut alors être surdéfini pour un sous-ensemble d'objets correspondant à une classe de représentation. D'autres surdéfinitions peuvent encore être mises en place pour lier cet attribut à une colonne dans la base de données, à partir de laquelle une valeur spécifique pourra être lue pour chaque

1 Nous avons choisi de franciser *Digital Cartographic Model* ou DCM, mot-à-mot, modèle cartographique numérique en charte graphique numérique ou CGN.

objet. En employant la base de données pour stocker des valeurs spécifiques, le mécanisme de surdéfinition offre la possibilité de gérer des exceptions c.-à-d. d'adapter la représentation de chaque objet en changeant simplement les données sur lesquelles cette représentation est basée. Une exception est typiquement créée en éditant les données manuellement ou avec des outils d'édition dédiés agissant sur des attributs cartographiques spécifiques.

Les logiques de surdéfinition et d'exception sont intensivement employées dans *Publisher* qui fait la part belle aux attributs cartographiques stockés dans la base de données pour créer des représentations cartographiques avancées et fournir un environnement d'édition cartographique interactive de qualité. Des mécanismes semblables ont été récemment présentés dans ArcGis (Eicher et Briat, 2005).

2 La chaîne de production de la carte topographique IGN

2.1 Contexte : méthodes de production précédentes

En 2007, l'IGN a publié un appel d'offre pour la mise à niveau de ses outils de production pour les cartes topographiques aux 1 : 25 000 et 1 : 50 000 (fig. 2). Il y avait alors deux chaînes de production différentes. L'une basée sur des modifications manuelles de fichiers raster, l'autre basée sur des données vectorielles au format *GeoConcept* stockées dans des fichiers indépendants pour chaque carte. *DataDraw*, une ancienne version de *Publisher*, a été employé pour gérer la charte graphique numérique et pour fournir des fonctions d'édition cartographique et de publication. Des outils logiciels supplémentaires, développés par l'IGN ou d'autres fournisseurs, étaient - et sont toujours - employés pour la généralisation, le placement des textes, la création des ombrages et la préparation finale de la carte en vue de l'impression.

2.2 Le projet « Nouvelle carte de base »

L'objectif du projet « Nouvelle carte de base » était de créer une carte topographique à l'échelle du pays, basée essentiellement sur la base de données existante BDTopo® de l'IGN de laquelle seraient extraites et mises en forme les planches cartographiques à différentes échelles. Les résultats de ce projet sont présentés par l'IGN à la conférence CIC, Paris, 2011. Une des conditions était également que le système permît de réutiliser facilement le travail déjà effectué en se servant du logiciel précédent, avec des cartes numériques couvrant déjà 20% du territoire français.

2.3 Le projet « de Mise à jour en continu »

Le projet « de Mise à jour en continu » (ou MAJEC) visait à fournir une solution de saisie, d'intégration et de mise à jour de données pour la constitution et la maintenance de la carte de base. Le SIG étant employé pour la saisie et l'édition des objets, l'affichage devait être organisé d'une manière permettant de visualiser la carte en utilisant différentes combinaisons de styles : les « vues ». De cette façon, la carte affichée à l'écran serait aussi proche du produit final que possible, mais d'autres vues devaient pouvoir être appliquées facilement, correspondant à des tâches spécifiques d'analyse et d'édition. Les données collectées dans le SIG sur différents sites de production seraient alors stockées dans une base de données centrale. Un processus de mise à jour dédié ayant pour but d'intégrer « en continu » ces données dans les cartes existantes constituerait l'étape finale.

2.4 Gestion de la CGN de la carte topographique IGN : spécifications

Une exigence majeure pour le nouveau système était qu'il puisse contrôler la CGN en utilisant des « styles cartographiques » qui définiraient tous les paramètres d'un symbole et ses interactions avec les objets qu'ils étaient censés représenter. D'autres spécifications essentielles sont listées ci-dessous :

– Définition des couleurs en CMJN [cyan, magenta, jaune, noir] ou tons directs.

– Édition des styles par une interface utilisateur graphique.

– Description des symboles dans des fichiers XML exportables et importables dans de la carte.

– Déclinaison des styles de représentation à partir d'une liste de valeurs discrètes lues dans la base de données avec l'option d'appliquer une représentation par défaut pour les valeurs non renseignées.

– Affichage basé sur une échelle de référence, et taille des symboles et textes, automatiquement et précisément ajustée pour n'importe quelle échelle.

– Tous les paramètres des styles en tant qu'attributs cartographiques définis par une valeur globale dans la CGN et pouvant être surdéfinis par une valeur de la base de données.

– Archivage des styles dans une « bibliothèque

de styles» à partir de laquelle ils puissent être ajoutés et organisés dans des « vues ».

– De multiples collections de styles, les « vues », pourraient être créées, chacune définissant un affichage différent de la carte. Les styles composant une vue pourraient être groupés hiérarchiquement en utilisant des « dossiers » puisque la CGN d'une carte topographique comprend habituellement au moins une centaine de styles.

2.5 Gestion de la CGN de la carte topographique IGN : description fonctionnelle

2.5.1 Gestion de l'affichage

Afin de gérer la CGN de la carte topographique, GeoConcept a dû effectuer une refonte complète de l'interface utilisateur (IHM) de gestion d'affichage de l'application. La nouvelle IHM (fig. 16) permet au cartographe de créer la CGN en choisissant les styles à partir de la bibliothèque des styles où ils sont affichés dans une arborescence reflétant le modèle de données (onglet de droite) et librement organisés dans l'onglet de gauche, avec la possibilité de les grouper de sorte que des styles apparentés puissent être gérés ensemble en un clic. Le contenu de l'affichage courant peut alors être sauvé dans des vues qui permettent de passer d'une configuration de CGN à une autre en un clic.

L'étape suivante a consisté à montrer que *Publisher* permettrait de convertir efficacement les spécifications de l'IGN (fig. 3, 5 et 7) en une CGN fonctionnelle à partir des jeux de test fournis. Voici quelques extraits des spécifications et les paramètres correspondants des styles avec leur IHM.

2.5.2 Réseau routier

Avec le style ligne (fig. 4), on peut définir en même temps plusieurs symboles de ligne superposés afin de gérer ensemble les différents éléments de la représentation d'une route.

2.5.3 Réseau ferré

Le style symbole (ponctuel) (fig. 6) est employé pour définir le positionnement des symboles ponctuels le long des lignes. La même IHM montrera des options différentes si l'on choisit de montrer des symboles positionnés sur un point ou utilisés pour remplir une surface.

2.5.4 Texte curviligne

De même que les symboles ponctuels, le texte peut être placé automatiquement le long de la géométrie d'un objet linéaire. À droite de la figure 8, on montre, pour le paramètre d'inter-lettre, l'option permettant de choisir une colonne de la base de données pour surdéfinir la valeur par défaut directement dans l'IHM.

3 Symboles complexes

Ce paragraphe explore l'utilisation de représentations cartographiques complexes basées sur des géométries multiples et/ou des transformations géométriques, des exceptions complexes ou l'interaction des multiples objets. Les exemples sont basés sur le projet de l'IGN (par ex. le terrain de football) ou sur d'autres cartes toutes aussi élaborées.

3.1 Transformations géométriques et géométries de dessin

Quand la dimension spatiale a été ajoutée au système d'information, le but était essentiellement de stocker la position ou les contours des éléments du paysage, d'exécuter des calculs géométriques et des projections et de garantir l'exactitude des requêtes spatiales. Les modalités de stockage de la géométrie en usage d'abord dans la DAO [Dessin Assisté par Ordinateur] puis dans le format *coverage*[2] et enfin dans les systèmes actuels ont pour seule préoccupation « la géométrie réelle » et sont tout à fait adaptées à sa gestion. Cependant, des géométries supplémentaires sont nécessaires à la représentation cartographique. Afin de stocker ces géométries cartographiques ou de dessin, les utilisateurs ont tendance à contourner les règles du système. Dans les modèles de DAO, on créait parfois des hachures ou des textes, stockés respectivement comme lignes et polygones par exemple, alors qu'il ne s'agit clairement pas d'objets géographiques.

Pour la carte topographique, *Publisher* implémente une logique de « multi-géométrie » : la capacité de créer des colonnes de géométrie multiples dans une classe d'objets. Des transformations géométriques sont employées pour dériver une géométrie de dessin d'une géométrie « réelle ». Ceci est fait implicitement par la plupart des logiciels, par exemple pour dessiner des hachures dans un polygone. Dans un modèle supportant la multi-géométrie ces transformations peuvent devenir explicites et il est possible d'employer des fonctions géométriques dédiées pour

2 Il s'agit du format historique d'ArcInfo mettant l'accent sur les relations topologiques (NDT)..

transformer la géométrie originale et utiliser la géométrie résultante pour le dessin des objets.

Avec une approche plus traditionnelle, pour programmer un nouveau mode de représentation, il faut dans la boucle de dessin, ajouter des fonctionnalités pour lire et convertir la géométrie originale des objets et générer les instructions graphiques nécessaires au dessin du symbole final. À l'inverse, la multi-géométrie peut être pré-calculée et stockée dans la base de données. Il n'est donc pas nécessaire de la recalculer sans cesse lors de l'affichage. De plus, les styles définissent toute la mécanique nécessaire à la représentation de ces géométries, et le programmeur n'a pas besoin de « réinventer la roue », c.-à-d. d'écrire également du code spécifique pour le dessin.

3.2 Exemples de symboles cartographiques basés sur des géométries multiples

L'IGN souhaitait pouvoir dessiner des terrains de football (sous la forme d'un polygone avec une ligne médiane un rond central et un contour) (fig. 9). Cela supposait de gérer trois géométries différentes et naturellement on voulait pouvoir les éditer toutes en un clic comme lorsqu'on appliquerait une rotation au terrain dans son ensemble.

3.2.1 Exemples de transformations géométriques

Un exemple typique est celui des espaces aériens sur la carte aéronautique tel que la zone d'accès restreint D131 sur la carte VFR (fig. 10), pour lequel nous utilisons le terme de « beignet » (*donut*=beignet). Une manière commune de représenter cet objet est de dupliquer la géométrie originale, et d'utiliser une transformation géométrique pour créer le trou dans le « beignet ».

3.3 Exceptions complexes

Une exception complexe est une exception qui ne peut pas être gérée uniquement en modifiant les valeurs d'attributs cartographiques simples. Le besoin existe par exemple quand l'utilisateur souhaite modifier une partie d'un symbole que le mécanisme de rendu gère comme un tout et ne peut pas normalement dissocier en des composants plus petits. De tels cas incluent par exemple : ajuster individuellement les tirets dans une ligne pointillée ; éditer un des symboles dans une série de symboles répétés le long d'une ligne, ou utilisés pour remplir une surface. Le problème consiste évidemment à stocker une copie de la représentation et à le faire dans un format qui puisse être librement modifié.

Diverses techniques peuvent être employées pour cela, par exemple :

- Éléments graphiques (ArcGIS).
- Duplication de l'objet dans une autre classe pour des modifications géométriques.
- Stockage en format binaire des primitives de dessin (représentations dans ArcGIS, symboles complexes dans *DataDraw*).
- Conversion et stockage des primitives de dessin dans des classes dédiées d'objets « graphiques ».
- Multi-géométrie (*Publisher*).

Les différentes approches ne sont pas sans défauts : il faut conserver le lien entre l'exception et l'objet original, proposer des interactions simples basées sur des outils standards pour l'édition des exceptions, offrir des fonctions de conversion et réduire au minimum les étapes manuelles.

3.3.1 Exemples d'exceptions symboliques complexes

Afin d'interrompre localement une ligne pointillée ou de modifier individuellement les symboles dans une série de symboles répétés le long d'une ligne, nous avons testé une méthode consistant à convertir les symboles affichés en de nouveaux objets stockés dans des classes dédiées que nous désignons comme des « couches graphiques » (fig. 11).

3.4 Symboles composés et représentations basées sur des objets multiples en interaction

Les symboles composés sont basés sur des données stockées dans un objet unique, mais le résultat est un symbole fait de multiples parties disposées de manière particulière. Ils peuvent par exemple contenir plusieurs éléments textuels et iconiques, ce qui implique que le symbole final soit de taille variable et que son contenu soit le fruit de règles de placement.

Un problème bien plus ardu consiste à créer des symboles cartographiques basés sur plusieurs objets et résultant de leur interaction. Il n'existe actuellement à notre connaissance aucune solution générique pour ce genre de représentations.

3.4.1 Exemples de symboles composés

Exemples de symboles composés : « boite » de moyen radio (*Navaid*) sur la carte aéronautique et indice de bus sur les cartes de transport public (fig. 12).

3.4.2 Symboles basés sur l'interaction de multiples objets

Les représentations des passages supérieurs et des souterrains sont un exemple typique de tels symboles. La complexité se situe autant dans la création d'un rendu graphique approprié que dans l'identification des interactions entre les objets constituant le réseau routier (fig. 13).

4 Systèmes multi-agents pour le rendu cartographique

Pour produire des cartes aussi élaborées que la carte topographique, les cartes des réseaux de transport public ou la carte aéronautique à partir desquels nous avons sélectionné un certain nombre d'exemples, les agences cartographiques se fondent typiquement sur un ensemble de produits différents, de logiciels personnalisés et de scripts qui exigent des investissements significatifs. Les chaînes de production résultantes peuvent prendre des années à être implémentées et leur évolution et leur maintenance sont un souci constant.

Aujourd'hui une chaîne de production de carte typique serait basée sur les outils et les techniques suivants :

- Scripts pour le traitement des données et des géométries ce qui suppose que le cartographe d'aujourd'hui soit un utilisateur avancé du Python, du SQL, du VB ou d'autres langages de script pour exploiter convenablement son SGBDR favori et les logiciels SIG qui lui sont associés.

- Définition des symboles et des règles qui codifient leur association avec les objets dans la carte en d'autres termes, la CGN.

- Processus et fonctions conçus pour la production de symboles complexes ou de symboles « métiers ».

- Déroulements d'opérations (workflows) spécialisés pour la généralisation, l'affichage des textes, le placement des textes et des symboles.

4.1 Limites architecturales

Les symboles complexes, l'affichage des textes, les fonctions de placement et de généralisation semblent avoir été ajoutés après-coup dans la solution SIG typique. Pour cette raison, l'architecture des GIS peut être parfois peu appropriée pour intégrer ces processus dans son exécution. La chaîne de production de carte théorique décrite précédemment s'articulerait autour de plusieurs « boucles » indépendantes. Sur notre « chaîne de montage », les différentes « boucles » ou processus successifs prennent en entrée le résultat de la « boucle » précédente, produisent à leur tour un résultat et le passent au module suivant.

La boucle de dessin (drawing loop*)* du SIG est toujours l'étape finale dans le déroulement des opérations. Cette boucle finale est cruciale parce que c'est celle qui est exécutée le plus souvent. Ce serait donc une bonne chose d'effectuer aussi peu de calculs que possible au moment de dessiner. Malheureusement, dans nos SIG, c'est seulement à ce stade, quand le système affiche les objets, que les informations relatives à l'emprise spatiale d'un symbole ou aux conflits entre les représentations peuvent être obtenues. Avant que le dessin ait lieu, le système est « aveugle ». En conséquence, les programmateurs tendent à multiplier les fonctions exécutées au moment où les objets sont dessinés. Naturellement, ceci compromet les performances et la réactivité du système dans son ensemble.

Les scénarios suivants seraient un vrai casse-tête pour le système :

- Les données sur lesquelles se base une classe d'objets texte sont mises à jour.

- L'utilisateur déplace un objet et s'attend à ce que tous les objets textes impactés se repositionnent dynamiquement.

- L'utilisateur ajoute un objet censé affecter la géométrie de l'espace aérien en forme de « beignet ». Cette représentation purement hypothétique est montrée ci-dessous avec la géométrie modifiée affichée en pointillés (fig. 14).

4.2 Organisation des processus cartographiques complexes

Les processus complexes peuvent être gérés plus facilement sous la forme d'une série d'étapes discrètes et simples et les étapes de ces processus devraient s'exécuter en amont de la boucle de dessin du SIG. Les représentations complexes peuvent être conçues comme le résultat d'une série de modifications des données, de transformations géométriques et d'opérations de dessin organisées d'une manière systémique et tenant compte des interactions entre les objets. Cela peut non seulement améliorer de manière significative les possibilités de dessin du SIG mais également le transformer en un système de rendu dynamique plus facilement capable de réagir aux mises à jour des données et aux actions de l'utilisateur.

Confronté au besoin d'afficher un grand nombre de symboles et d'organiser leur concurrence pour l'espace disponible dans la carte selon des règles de représentation complexes, les SIG se basent de plus en plus sur les capacités des systèmes d'agents pour contrôler les interactions entre des entités multiples et leurs contraintes. Autrement dit pour faire naître l'ordre à partir du chaos. L'approche basée sur les agents a été extensivement décrite et appliquée avec succès dans le domaine de la généralisation. Par exemple : dans le projet AGENT (Lamy, Ruas, Demazeau, Jackson, Mackaness, Weibel, 1999) ou plus récemment avec le projet « *Optimizer,* » un projet de généralisation basé sur la contrainte (Monnot, Hardy et Lee, 2006). Diverses implémentations de programmes de placement de textes peuvent également être considérées comme des systèmes d'agents.

5 Un système multi-agents pour le traitement et le rendu cartographiques

Les systèmes multi-agents (SMA) s'imposent logiquement pour contrôler les représentations cartographiques complexes et particulièrement le dessin de symboles basés sur l'interaction d'objets multiples. L'architecture d'un système d'agents hypothétique (fig. 15) conçu dans ce but se fonderait typiquement sur les éléments suivants :

- Un **système** gérant un ensemble de groupes d'agents, de processus à exécuter et d'actions définissant les fonctions auxquelles les processus peuvent faire appel pour exécuter leurs tâches.

- Un **agent** n'a besoin que d'être une extension des objets stockés dans le GIS. Son but est d'apporter à ces objets la connaissance de leur environnement et, fort de cette connaissance, la possibilité d'exécuter telle ou telle fonction et éventuellement de produire et stocker un résultat.

- Ces capacités ajoutées aux objets sont définies par les **actions**. Une action associe la définition d'une requête permettant à l'objet de connaître son environnement et la manière dont l'objet source et les objets retournés par la requête seront éventuellement affectés. L'action se base sur des librairies de fonctionnalités externes et définit la communication avec ces fonctions.

- La notion de **groupes d'agents** est proposée dans le but de créer des groupes d'objets auxquels un processus peut s'appliquer. Ces groupes d'agents peuvent être ordonnés et organisés hiérarchiquement afin de définir avec précision quelles actions seront appliquées à différents ensembles d'objets et dans quel ordre.

- Le **processus** associe un ensemble d'actions à un ensemble de groupes d'agents. De cette manière, il définit l'exécution ordonnée de multiples actions affectant les agents contenus dans les groupes d'agents.

- Des fonctions d'indexation et de gestion **d'événements** doivent permettre de retrouver et d'exécuter de manière sélective et dynamique les processus appropriés pour les objets édités ou créés par l'utilisateur.

Un tel système n'a besoin que d'une connexion occasionnelle avec le SIG - il pourrait théoriquement être connecté uniquement sur une BD spatiale ou utiliser des fonctions fournies par divers serveurs SIG ou des Web services distants – cela nous laisse présager d'un futur où, au lieu d'instiller dans les SIG des capacités de traitement basés sur des agents par doses homéopathiques, nous pourrions contrôler le SIG à partir d'un SMA totalement autonome consacré au traitement et à la représentation des données cartographiques ainsi qu'à gérer la chaîne de production de la carte.

Avertissement

Le présent article est seulement un document de recherche. Il ne constitue pas une description des capacités fonctionnelles existantes ou un engagement à présenter de nouvelles fonctions dans de futures versions de logiciels existants.

Bibliographie

Briat, 1999, “DataDraw: a modeling platform for cartographic problems on top of a database”, dans *Computational Cartography – Cartography meets Computational Geometry*, p. 10-44.

Buckley, Frye, & Buttenfield, 2005, “An Information Model for Maps: Towards Cartographic Production from GIS Databases”, *Proceedings*, *ICA 2005*.

Cartwright W. E., 2005, “Linking geographical facts with cartographic artifacts”, dans *Cybercartography,* Taylor, D. R. F. (ed.), Elsevier Science Ltd., p. 331 – 338.

Eicher, Briat, 2005, “Supporting Interactive Editing of Cartographic Representations in GIS Software”, *Proceedings ICC*.

Ferber J., 2006, « Introduction aux concepts et méthodologies de conception multi-agents », dans Amblard F. Phan D. éd., *Modélisation et simulation multi-agents pour les Sciences de l’Homme et de la Société : une introduction*, Londres, Hermes-Sciences, 414 p. ISBN : 2-7462-1310-9. chapitre 1, p.11-36, 2006.

FIPA - Foundation for Intelligent Physical Agents, “FIPA Abstract Architecture Specification”, SC00001L, FIPA 2002, www.fipa.org.

Lamy, Ruas, Demazeau, Jackson, Mackaness, Weibel,1999, “The Application of Agents in Automated Map Generalisation*”, Proceedings ICA*.

Maugeais E., Lecordix F., Halbecq X., Braun A., 2011, « Dérivation cartographique multi échelles de la BDTOPO de l’IGN France : mise en oeuvre du processus de production de la nouvelle Carte de Base », *25th ICC, Paris*.

Monnot, Hardy & Lee, 2006, “An optimization approach to constraint-based generalization in a commodity GIS framework”, *Proceedings ICA*.

Monnot, Hardy & Lee, 2007, “Topological constraints, actions and reflexes for generalization by optimization”, *Proceedings ICA*.

Open Geospatial Consortium Inc., 2006, “Symbology Encoding Implementation Specification” - OGC 05-077r4.

Patterson, 2002, “Getting Real: Reflecting on the New Look of National Park Service Maps”, *Proceedings, ICA 2002*.

Wooldridge M. J., Jennings N. R., 1998, “Pitfalls of Agent-Oriented Development”, dans *2nd Int. Conf. on Autonomous Agents (Agents 98)*, Minneapolis, USA. p. 385-391.

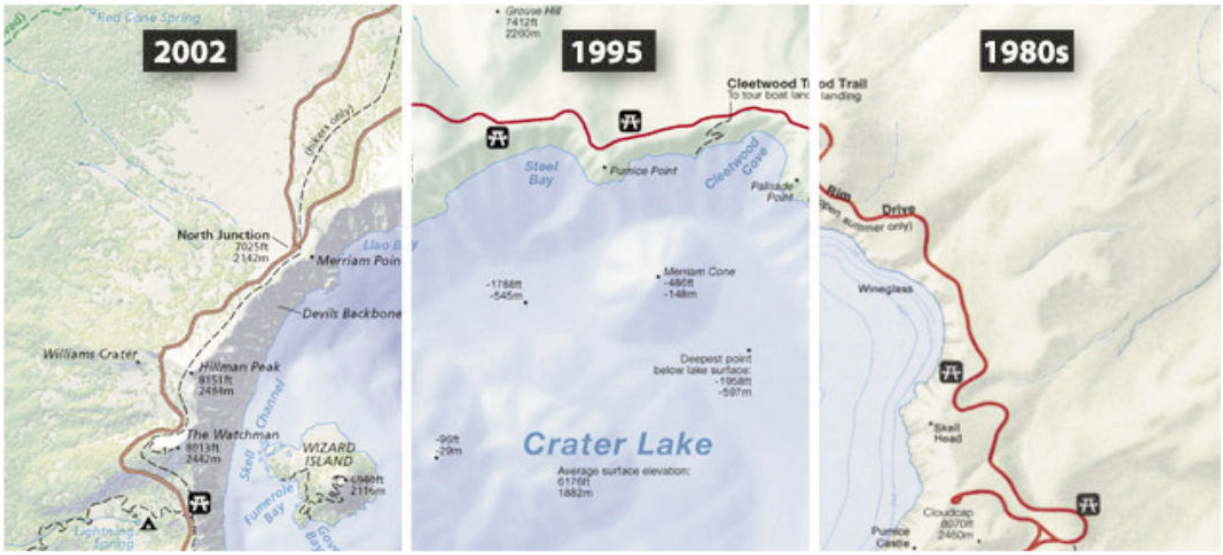

Figure 1 : Évolution de la carte NPS (Paterson 2002)

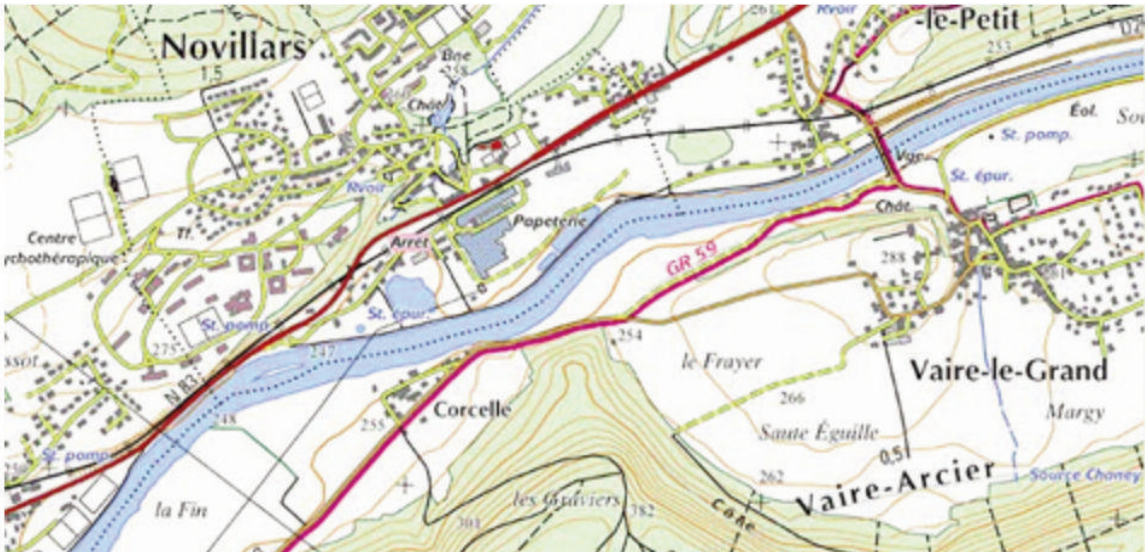

Figure 2 : Extrait de la carte topographique IGN au 1 : 25 000

Valeur possible de Symbolisation	FILET EXTERIEUR	FILET INTERIEUR	FILET CENTRAL
En construction	*Epaisseur* : 0.6 mm *Couleur* : NOIR *Pointillé* : plein 3 mm vide 1.2 mm	*Epaisseur* : 0.4 mm *Couleur* : BLANC *Pointillé* : plein 3 mm vide 1.2 mm	aucun
Non classée	*Epaisseur* : 0.512 mm *Couleur* : NOIR	*Epaisseur* : 0.312 mm *Couleur* : BLANC	aucun
Locale 1	*Epaisseur* : 0.512 mm *Couleur* : NOIR	*Epaisseur* : 0.312 mm *Couleur* : JAUNE	aucun
Locale 2	*Epaisseur* : 0.638 mm *Couleur* : NOIR	*Epaisseur* : 0. 438 mm *Couleur* : JAUNE	aucun
Régionale 1	*Epaisseur* : 0.512 mm *Couleur* : NOIR	*Epaisseur* : 0.312 mm *Couleur* : ORANGE	aucun
Régionale 2	*Epaisseur* : 0.638 mm *Couleur* : NOIR	*Epaisseur* : 0. 438 mm *Couleur* : ORANGE	aucun
Principale 1	*Epaisseur* : 0.512 mm *Couleur* : NOIR	*Epaisseur* : 0.312 mm *Couleur* : ROUGE	aucun
Principale 2	*Epaisseur* : 0.638 mm *Couleur* : NOIR	*Epaisseur* : 0. 438 mm *Couleur* : ROUGE	aucun
Bretelle 2	*Epaisseur* : 0.638 mm *Couleur* : NOIR	*Epaisseur* : 0.438 mm *Couleur* : BLEU	aucun
Autoroute	*Epaisseur* : 1.138 mm *Couleur* : NOIR	*Epaisseur* : 0. 938 mm *Couleur* : BLEU	*Epaisseur* : 0.187 mm *Couleur* : MAGENTA77

Figure 3 : Extrait des spécifications pour la représentation du réseau routier

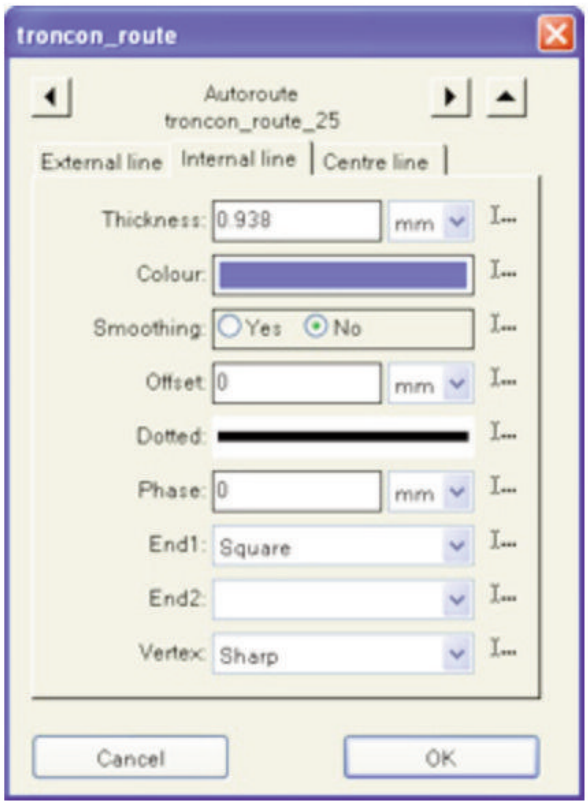

Figure 4 : Interface de définition d'un style ligne

Style linéaire :

Valeur possible de Symbolisation	FILET EXTERIEUR	FILET INTERIEUR	FILET CENTRAL
Voie ferrée élec 1	*Epaisseur* : 0.312 mm *Couleur* : NOIR *Terminaison* : Arrondie *Sommet* : Arrondi	*Epaisseur* : 1.4 mm *Couleur* : NOIR *Pointillé* : plein 0.08 mm vide 6.72 mm *Terminaison* : Carrée *Sommet* : Arrondi	Aucun
Voie ferrée élec 2	*Epaisseur* : 0.312 mm *Couleur* : NOIR *Terminaison* : Arrondie *Sommet* : Arrondi	*Epaisseur* : 1.4 mm *Couleur* : NOIR *Pointillé* : plein 0.08 mm vide 0.32 mm plein 0.08 mm vide 6.72 mm *Terminaison* : Carrée *Sommet* : Pointu	Aucun
Voie de service	*Epaisseur* : 0.1 mm *Couleur* : NOIR *Terminaison* : Arrondie *Sommet* : Arrondi	Aucun	Aucun

Style symbole :

Valeur possible de Symbolisation	SYMBOLE	PLACEMENT LINEAIRE
Voie ferrée élec 1	*Nom* : electrique.eps *Couleur* : NOIR	*Décalage par rapport à la ligne* : 1.3 mm *Répétition le long de la ligne* : oui *Distance de répétition* : 30 mm
Voie ferrée élec 2	*Nom* : electrique.eps *Couleur* : NOIR	*Décalage par rapport à la ligne* : 1.3 mm *Répétition le long de la ligne* : oui *Distance de répétition* : 30 mm
Voie de service	aucun	aucun

Figure 5 : Extrait des spécifications pour la représentation du réseau ferré

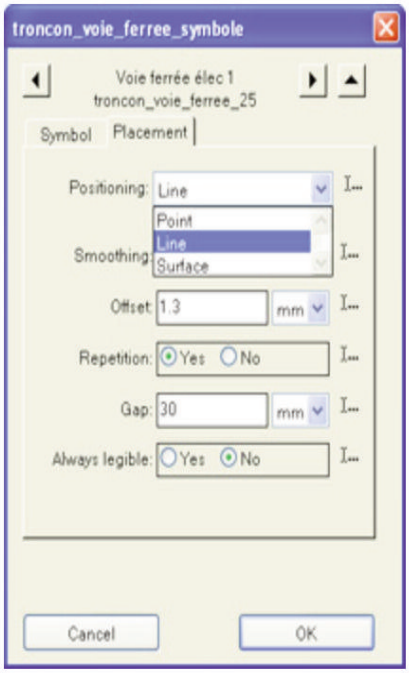

Figure 6 : Interface de définition d'un style symbole (ponctuel)

Valeur possible de Symbolisation	Style	Taille (en mm)	Couleur
454_LIN	Gras Italique	1.88	BLEU
453_LIN	Gras Italique	2.227	BLEU
450_LIN	Gras Italique	3.55	BLEU
NOM_GR	Gras Italique	2.227	MAGENTA

La représentation est définie par un style texte, avec un placement linéaire.
Police : « Optima Bold.
L'écriture est pilotée par la base (champ *Ecriture*)
La justification par rapport à la géométrie support est pilotée par la base (champ *Justif*, réel compris entre 0 et 1 indiquant à quelle proportion de la géométrie support commence l'écriture).
L'inter-lettres vaut **0.4 mm** pour toutes les valeurs de symbolisation.
Halo (ou alourdi ou masque) blanc de 1 mm autour des lettres

Figure 7 : Extrait des spécifications pour la représentation des textes curvilignes

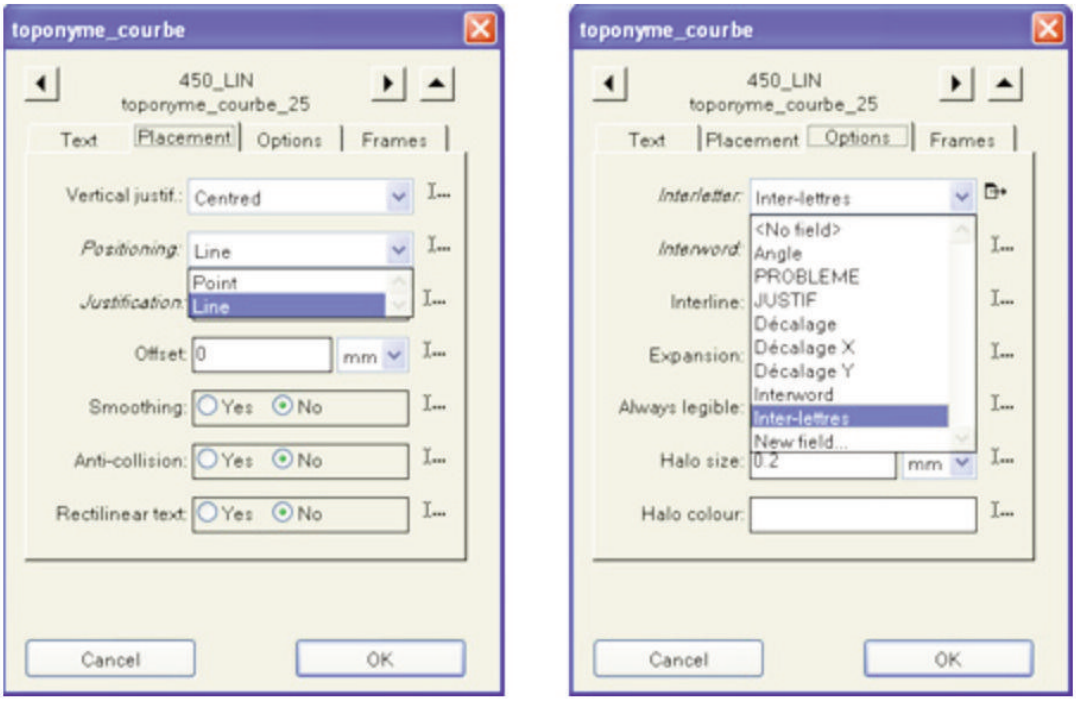

Figure 8 : Interface de définition d'un style texte

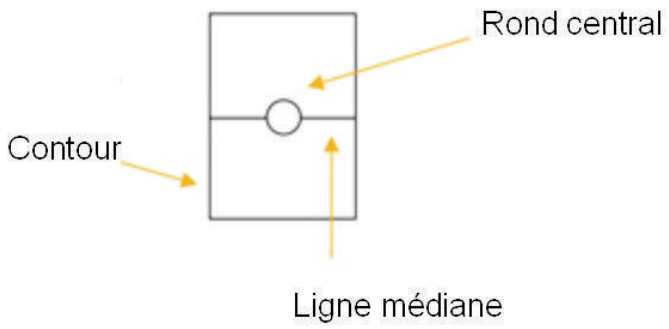

Figure 9 : Éléments du terrain de football

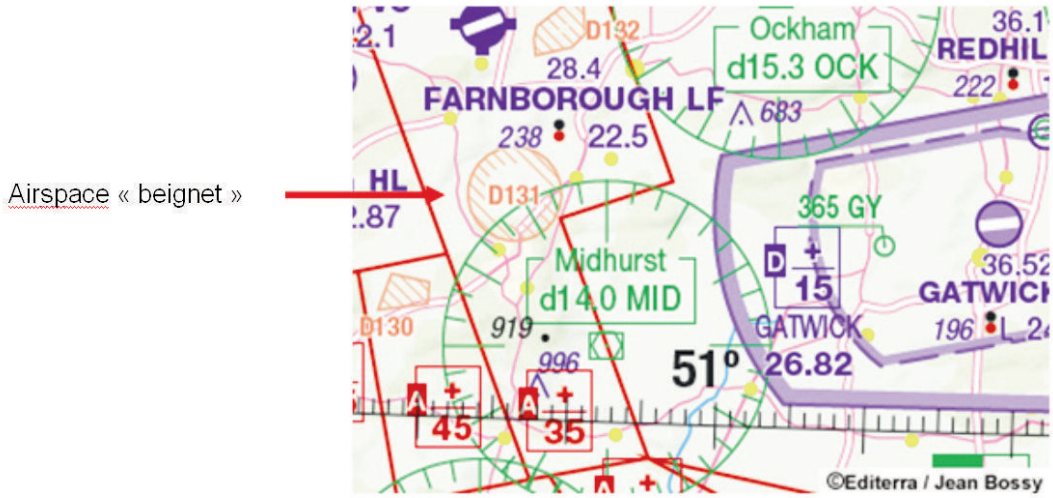

Figure 10 : Espaces aériens

Figure 11 : Altérations locales d'une série de symboles répétés le long d'une ligne

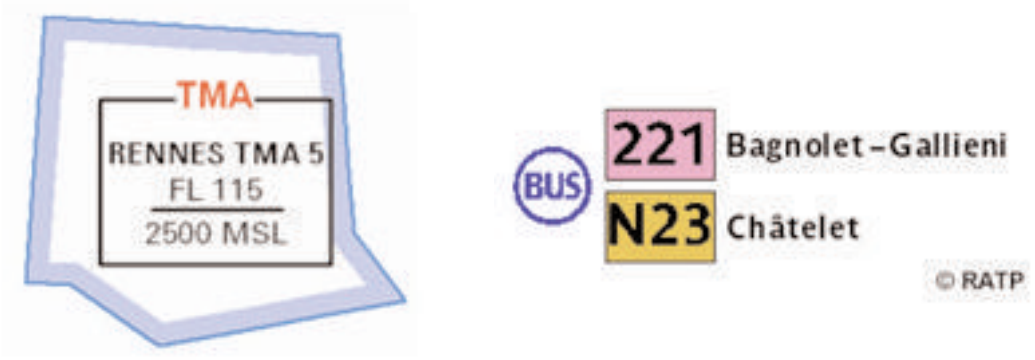

Figure 12 : Symboles composés

Figure 13 : Passages supérieurs et souterrains

Figure 14 : Modification d'un espace aérien

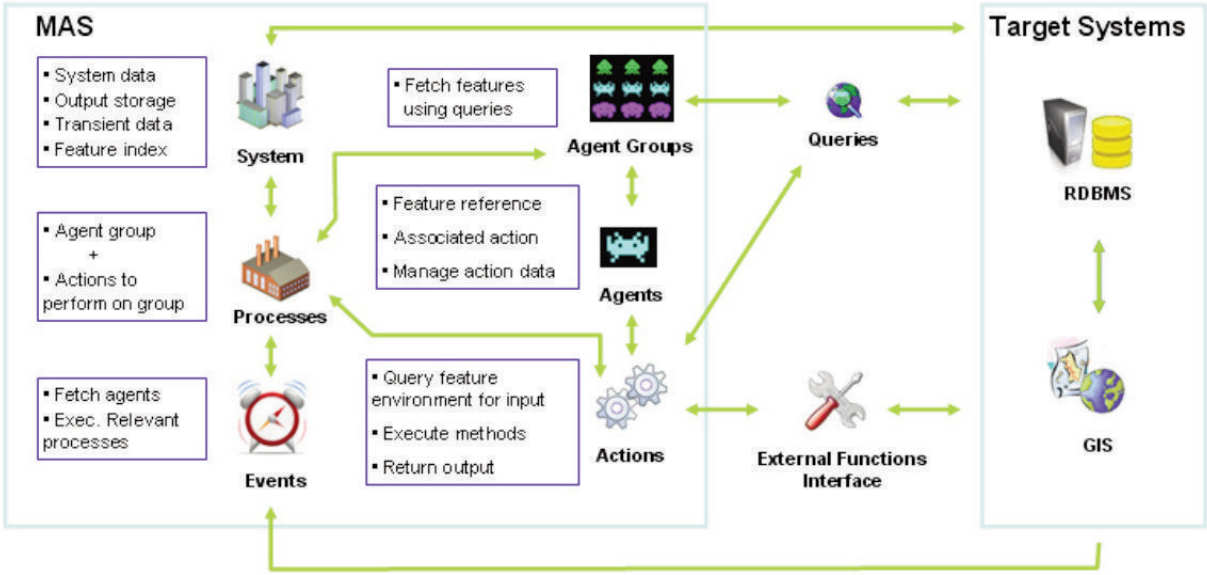

Figure 15 : Architecture théorique d'un SMA générique pour les traitements cartographiques

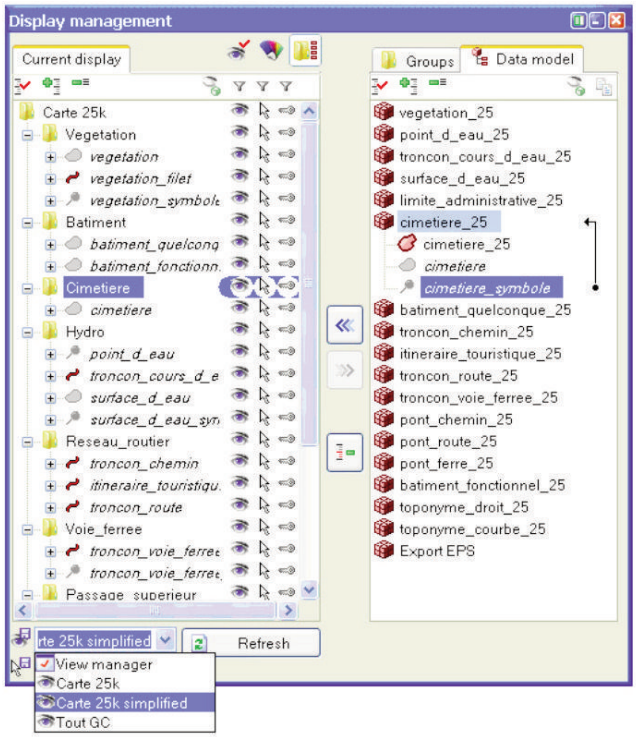

Figure 16 : Fenêtre d'affichage de GeoConcept