

# CONSTRUCTION DES CARTES GÉNÉRALES A PETITE ÉCHELLE A L'AIDE D'UN SYSTEME EXPERT

J.-C. MULLER. *University of Alberta*

## RÉSUMÉ

La compétence cartographique s'acquiert généralement par l'éducation formelle et l'expérience professionnelle. Une telle compétence peut aussi s'acquérir par la lecture des manuels qui offrent un guide général pour la confection des cartes et leur reproduction. Le but de cette recherche est de développer un ensemble de règles dérivées des textes et revues professionnels aussi bien que de l'expérience personnelle, qui puissent répondre à la question suivante : étant donné un ensemble de besoins et de conditions pour la représentation cartographique d'une ou plusieurs variables géographiques, quelles sont les spécifications cartographiques qui aboutiront à une solution graphique optimale. L'ensemble des règles de jugement, une matrice dont les coefficients relient les besoins aux spécifications, constitue la base des connaissances d'un système expert programmé en langage Pascal. Une seconde matrice contient les règles inférées selon le processus d'acquisition des connaissances du système. Les nouvelles règles de jugement se développent par suite d'une série d'exercices cartographiques où les règles préétablies sont testées et modifiées de manière itérative jusqu'à ce que le système expert soit capable d'offrir une solution cartographique satisfaisante. Le système, confronté à l'expertise humaine, permet de résoudre les problèmes cartographiques d'échelle, de projection, d'imposition, de variables visuelles, de couleur et de généralisation pour un domaine de cas théoriquement illimité.

## Introduction

La compétence cartographique s'acquiert normalement à l'aide des textes et par l'expérience. Les manuels professionnels jouent le rôle de guide dans la compilation des données, la confection et la reproduction des cartes. Le but de ce projet est de développer un système expert appliqué à la confection des cartes à petite échelle. Ce système doit permettre à l'utilisateur de détailler le type de carte désiré et d'obtenir les spécifications cartographiques nécessaires pour la confection d'une telle carte. Le problème du langage naturel qui permettrait de traduire les questions d'un utilisateur non-averti en termes techniques compréhensibles par le système n'est pas envisagé. Par exemple, il n'existe pas de mécanisme qui permette de traduire les souhaits généraux d'un utilisateur, tels que « Je désire une carte de l'utilisation du sol le long du couloir Lyon-Marseille ». En terme de conditions cartographiques requises telles que « Les surfaces doivent être présentées correctement, les données cartographiques sont de type catégorique, le but de la carte est analytique, l'échelle adoptée sera 1:200.000 etc. » Notre système, au contraire, se limitera au processus de définition des spécifications cartographiques pour la représentation d'un ou plusieurs phénomènes, étant donné un ensemble d'attributs cartographiques désirables.

Une carte thématique à petite échelle contient deux types de données : 1) les données thématiques et 2) les données de base. Les données thématiques sont déterminées par le propos de la carte, tel que la représenta-

## ABSTRACT - Expert - system - aided design for small - scale general maps.

Cartographic expertise is usually acquired through formal cartographic instruction and professional experience. Such expertise has been summarized in various textbooks which provide guidance in map design, compilation and reproduction. The purpose of this research is to develop a set of rules derived from the available literature as well as from personal experience which could be used to answer the following question : given a particular set of needs and requirements for a cartographic representation of some geographic variable(s), what are the map specifications which would most optimally lead to a cartographic solution. The set of judgement rules, a matrix of coefficients relating needs to specifications, was implemented into an expert system programmed in Pascal. These rules were further modified by entering a series of cartographic exercises into the system, applying the current judgement rules, suggesting a cartographic solution and correcting iteratively the rules until cartographically satisfactory solutions were provided by the system.

**REMERCIEMENTS :** J'exprime ma gratitude à Roderick Johnson et Luca Vanzella pour leur collaboration et inspiration dans cette recherche.

tion des températures au Canada ou l'évolution de la circulation routière en France pendant les dix dernières années. D'autre part, les données de base « constituent la charpente structurale et le contexte spatial des données thématiques », (Fitzsimmons, 1985). Elles permettent l'appréhension de l'information thématique à partir des données de référence telles que les frontières administratives, l'hydrographie, les centres de population, ou l'information périphérique permettant de déchiffrer le contenu thématique (titre, légende, échelle, sources documentaires etc.). La nature et la quantité des données de base qu'il faudra inclure dépendent de contingences - la nature du thème, le niveau de sophistication du public, le style de la publication etc. De nombreux paramètres détermineront le choix et la position d'une ligne frontière ou d'un titre. Par conséquent, la standardisation et la mise en œuvre de règles générales concernant l'utilisation et la cartographie des données de base apparaissent impossibles et même indésirables.

Au contraire, il existe une tradition bien établie concernant la cartographie des données thématiques. La publication récente de nombreux manuels cartographiques démontre une maturité dans les connaissances au point qu'il est maintenant possible de définir un corps de méthodes bien établi pour la représentation graphique efficace des données thématiques. Cependant, il n'existe pas de règle universellement acceptée. Les opinions sur l'efficacité d'une solution graphique peuvent varier d'un auteur à un autre, quoiqu'il existe un certain niveau de congruence sur les solutions à ne pas adopter. Ce mélange de connaissances où l'expérience pro-

fessionnelle, le jugement individuel et un certain degré d'incertitude caractérisent, en se combinant, la réflexion cartographique, est difficile à simuler à l'aide des instruments informatiques traditionnels. Les systèmes experts, par contre, sont particulièrement aptes à représenter une réflexion non-numérique et non-déterministe et peuvent donc être utilisés pour représenter, manipuler et modifier les connaissances cartographiques. Étant donné un ensemble de localisations et d'attributs spatiaux à représenter, ils peuvent aider à identifier les spécificités de la carte qui conduiront à une solution graphique optimale.

## Décisions et processus dans la confection des cartes

Parmi les décisions à prendre et le processus à suivre dans la confection des cartes, on peut distinguer trois étapes : 1) identification d'une solution graphique optimale, 2) traitement des données géographiques, et 3) compilation et dessin.

Le scénario habituellement suivi par le cartographe est de demander à l'utilisateur quels sont ses besoins précis afin d'obtenir l'information nécessaire qui permette de trouver des solutions pertinentes. Par exemple, lors de la première étape, on posera les questions suivantes :

- quelle est la fonction de la carte ?
- quel est le niveau de précision graphique désiré ?
- quel est le type des données (point, ligne, surface) ?
- quel est la mesure des données (nominale, ordinale, rapport) ?
- combien de variables doivent être représentées ?
- quelles sont les dimensions de l'espace à couvrir ? etc.

Pour pouvoir identifier la nature du traitement des données, on aura besoin de savoir :

- si une partition en classes est désirable ;
- si une partition de l'espace est désirable ;
- si une généralisation des localisations est nécessaire ;
- si une généralisation des attributs est nécessaire ;
- quelles priorités donner aux localisations et aux attributs, etc.

Finalement, la compilation et le dessin concernent les données de base qui, comme nous l'avons vu, sont difficiles à formaliser.

Ces questions signalent le départ d'un processus de réalisation cartographique. Les grandes étapes à suivre sont donc :

1. Le cartographe pose des questions à l'utilisateur afin d'inférer ses besoins cartographiques spécifiques.
2. Le cartographe utilise cette information pour déterminer les spécifications cartographiques qui conduiront à une solution graphique optimale.
3. Les spécifications cartographiques sont utilisées pour produire la carte.

Les connaissances utilisées au travers de ces étapes varieront selon les cartographes. Des conceptions graphiques différentes entraîneront des relations différentes entre les besoins de l'utilisateur et les spécifications cartographiques. Un modèle formel de connaissance cartographique contribuerait à standardiser le processus de réalisation des cartes. L'un des buts de cette recherche est d'explorer les moyens de représenter cette connaissance à l'aide d'un système expert.

Nous proposerons une série de quarante questions classifiées selon neuf catégories qui nous paraissent nécessaires pour la détermination d'une représentation graphique utile. Les spécifications graphiques qui font partie de la solution sont elles-mêmes subdivisées en cinquante éléments classifiés en dix catégories. Le tableau 1 montre les catégories utilisées. On notera que les questions et les solutions correspondantes reflètent un domaine de connaissance cartographique qui reste ouvert. On notera également que les solutions graphiques pour chacune des catégories ne sont pas toujours mutuellement exclusives. Par exemple, les solutions dans les catégories Généralisation, Surface de Projection et Nombre de Cartes sont mutuellement exclusives, alors que les solutions pour la catégorie Variable Visuelle ne le sont pas.

Ces catégories et leurs relations ne constituent qu'une hypothèse de connaissance qui variera selon le jugement et l'expérience du cartographe.

## Les systèmes experts

La configuration habituelle d'un système expert inclut les éléments suivants : 1) une base de connaissances, 2) une méthode de raisonnement et 3) un mécanisme de contrôle. Une base de connaissances peut comporter deux types de connaissances : déclaratif et procédural. La connaissance déclarative inclut des faits, des concepts, et l'information descriptive d'un domaine particulier. On peut comparer ce type au manuel de l'apprenti. La connaissance procédurale constitue le « comment », c'est-à-dire les procédures, les stratégies ou les solutions heuristiques utilisées pour résoudre un problème ou atteindre un but particulier.

La connaissance peut être représentée de différentes manières. Une représentation déclarative structure la connaissance qui peut être inspectée. On peut réaliser cette structure par l'intermédiaire d'un ensemble de règles ou par une division hiérarchique du domaine de connaissances. Une représentation procédurale se caractérise par une suite d'actions qui seront exécutées. Un programme Fortran est un exemple de ce dernier type.

La méthode de raisonnement est le mécanisme utilisé pour agir sur la base de connaissances afin d'aboutir à une solution. On peut utiliser des méthodes telles que « chaînage avant » ou « chaînage arrière ». Une méthode populaire est de coder un ensemble de règles qui définit les relations du domaine. Dans le chaînage avant, les aspects d'un problème particulier peuvent être utilisés pour déclencher des règles qui agiront sur la connaissance ou qui déclencheront d'autres règles. Dans le chaînage arrière, une règle est choisie comme but à établir et devra être satisfaite par l'application spécifique de l'ensemble des règles.

La partie « contrôle » du système administre la base des connaissances et contrôle le comportement du système de raisonnement.

## Configuration du système expert cartographique

Nous proposons une connaissance déclarative hiérarchisée à deux niveaux pour les questions aussi bien que pour les spécifications. Le niveau supérieur organise la

connaissance selon des classes ou des catégories. Le niveau inférieur définit les éléments pertinents ou concepts pour chacune des catégories.

Les questions constituent un ensemble de neuf catégories « entrées » contenant quarante éléments « entrées ». Les spécifications constituent un ensemble de dix catégories « sorties » contenant cinquante éléments « sorties » (Tableau 1). Une valeur variant entre cinq (5) et moins cinq (-5) définit la relation entre les éléments des catégories entrées et sorties. Ceci constitue une matrice  $40 \times 50$  appelée matrice de base des connaissances. Une valeur cinq (5) signifie une relation impérative entre deux éléments entrée et sortie. Une valeur moins cinq (-5) signifie une relation exclusive. Par exemple, les données ponctuelles ne peuvent être représentées par un symbole linéaire. Une valeur zéro constitue une déclaration d'incertitude ou d'ignorance. Une valeur entre 0 et 5 exprime une relation positive, tandis qu'une valeur entre 0 et -5 exprime une absence de relation.

L'architecture du système expert cartographique est basée sur le schéma général proposé par Naylor (1984). Cette architecture est à propos multiple et utilise les relations définies dans la matrice de base des connaissances. On suit le processus suivant : un exemple de carte, exprimé en terme de besoins cartographiques à satisfaire (entrées correspondant aux questions) est soumis au système. Le système tente de répondre à ces besoins en définissant une série de spécifications graphiques apparemment souhaitables, utilisant pour ce faire une stratégie algorithmique. La décision du système est acceptée ou rejetée par l'utilisateur. Si la décision est acceptée, la matrice des règles du système est jugée correcte. Si la décision est rejetée, l'utilisateur suggère une autre décision et le système ajuste les coefficients de la matrice des règles afin d'améliorer sa performance. Nous appellerons ce processus : stratégie d'ajustement des règles.

Les coefficients de la matrice des règles représentent l'état des connaissances cartographiques à un moment donné, et peuvent être définis au préalable par le cartographe. La stratégie du système est de combiner ces coefficients arithmétiquement de manière à trouver les solutions graphiques à un problème donné. A chaque problème nouveau le système est soumis à un apprentissage puisque ses décisions seront jugées et éventuellement corrigées. Le système non seulement utilise les règles définies au départ, mais est capable de les modifier et de les améliorer si ses décisions, lors de la résolution de problèmes réels, ne sont pas jugées satisfaisantes.

Notons enfin que le système est capable d'agrandir ou de réduire l'étendue de ses connaissances, proportionnellement au nombre d'entrées et de sorties dans la matrice des règles. Cette qualité permet donc une mise à jour selon les besoins de l'utilisateur et les conditions de production.

## ARCHITECTURE DU SYSTÈME

La représentation des connaissances déclaratives en termes de besoins et de spécifications cartographiques requiert l'architecture suivantes :

### Éléments « Entrées »

- Ils forment l'ensemble des questions à se poser. Cet ensemble constitue un vecteur  $V$  de dimension  $I$ .
- Pour une application le vecteur  $V$  emmagasine un sous-ensemble des 40 éléments à partir des 9 questions

ou catégories d'entrées (Tableau 1). C'est donc un vecteur binaire correspondant à la présence ou l'absence des éléments entrées.

### Éléments « Sorties »

- Ils constituent l'ensemble des solutions possibles. Le système essaie de sélectionner les solutions qui correspondent au mieux aux éléments entrées du vecteur  $V$ .
- Pour une application cet ensemble est une matrice  $Q$  de dimensions  $J, K$ . Pour chaque catégorie sortie  $K$ , il existe un nombre arbitraire d'éléments sorties  $J$ .  $J$  est donc une dimension variable dont la valeur particulière dépend de la valeur de  $K$ . Par exemple, la catégorie sortie « Type de Représentation » ( $K=5$ ) a  $J=18$  éléments, tandis que la catégorie « Aspect de la Projection » ( $K=1$ ) a  $J=5$  éléments (Tableau 1).

### Matrice de Décision

C'est une matrice  $D$  de dimensions  $J, K$  qui résulte du processus de prise de décisions. Un élément  $(j, k)$  représente une valeur de décision pour l'élément sortie  $j$  de la catégorie sortie  $k$ . Comme pour la matrice  $Q$ ,  $J$  est une dimension variable.

### Matrice des Règles

- C'est une matrice  $R$  de dimensions  $I, J, K$ . Le nombre de rangées  $I$  correspond au nombre d'éléments « entrées ». Le nombre de colonnes  $J$  correspond au nombre d'éléments « sorties » dans la catégorie sortie  $K$ . La hauteur  $K$  correspond au nombre de catégories sortie du domaine des solutions.

## PROCESSUS DE PRISE DE DÉCISION

Le processus de prise de décision se base sur le calcul de la matrice de décision  $D$  de la manière suivante : Etant donné un vecteur entrée  $V$ ,

$$D(j, k) = D(j, k) + (V(i) \times R(i, j, k))$$

$$i = 1 \text{ à } I, j = 1 \text{ à } J, k = 1 \text{ à } K.$$

où  $R$  représente la matrice des règles.

Pour chaque catégorie sortie  $k$ , l'élément  $D(j, k)$  qui possède la valeur la plus élevée est sélectionné pour indexer la matrice  $Q$  et devient la décision du système expert. Si plusieurs éléments  $D(j, k)$  de la catégorie  $k$  ont même valeur maximum, ces éléments sont affichés par le système. Si la décision est correcte, les coefficients de la matrice sont corrects pour la combinaison des variables entrées (vecteur  $V$ ) envisagées.

## STRATÉGIE D'AJUSTEMENT DES RÈGLES

Supposons que l'une des décisions soit incorrecte. Supposons également que la sortie correcte soit l'élément  $Q(c, k)$  pour chaque catégorie sortie  $k$ . La matrice des règles est ajustée de la manière suivante :

- On soustrait les valeurs du vecteur  $V$  à chaque règle (colonne dans la matrice  $R$ ) qui aboutit à une valeur égale ou plus élevée que  $D(c, k)$ .
- On additionne les valeurs du vecteur  $V$  à la règle (colonne  $c$ ) de la matrice  $R$ .

Donc, les règles qui éloignent la décision de l'expert de la sortie  $(c, k)$  sont affaiblies (par soustraction), tandis que

la règle qui doit rapprocher cette décision de cette sortie (c,k) est renforcée (par addition).

Etant donné une catégorie sortie k, on peut assimiler les éléments de la matrice des règles aux coefficients de l'équation d'un plan qui sépare les éléments sorties de cette catégorie dans un espace descriptif à l dimensions. En même temps que le mécanisme d'ajustement modifie les coefficients, la possibilité pour le plan de discriminer les sorties correctes est également modifiée. Les ajustements qui permettent de corriger les erreurs pour un type de carte peuvent aussi affaiblir le pouvoir de discrimination du plan lorsqu'il s'agit de sélectionner les sorties correctes pour d'autres types de cartes. C'est pourquoi un processus itératif est nécessaire pour aboutir à l'équation d'une surface (l'ensemble des règles) qui permet de discriminer les sorties correctes pour tous les cas de cartes envisagés. Notons que ce mécanisme suit une méthode heuristique et non un modèle formel. Par conséquent, le système peut ne pas converger vers un ensemble de coefficients stables qui permettent de décider correctement pour tous les types de cartes.

### PARTICULARITÉ DU SYSTÈME

Le système, programmé en langage Pascal, a les particularités suivantes :

1. Mode de Production - Il permet d'utiliser le système sans ajustement des règles. Les variables entrées sont sélectionnées à partir de menus correspondant aux différentes catégories entrées. Zéro, une ou plusieurs entrées peuvent être sélectionnées à partir de l'union de tous les menus. Le système affiche ses décisions pour chaque catégorie sortie.

2. Mode d'Apprentissage Dirigé - Ce mode est similaire au mode de production excepté qu'il permet un ajustement des règles lorsque une décision est incorrecte. L'utilisateur a le choix de retenir l'exemple créé. Les exemples retenus sont emmagasinés dans un fichier appelé base d'exemples.

3. Mode d'Apprentissage Indépendant - Selon ce mode le système distribue de manière aléatoire les exemples emmagasinés dans le fichier base d'exemples et décide les sorties (spécifications cartographiques) à allouer pour chacun des cas. Ces décisions sont comparées aux décisions correctes et les règles sont ajustées si nécessaire. L'utilisateur détermine combien de fois les exemples sont redistribués de manière aléatoire (nombre d'itérations). A la fin de l'exercice le système affiche le nombre d'exemples pour lesquels il est maintenant capable de décider correctement.

4. Entrée des Exemples - Ceci permet l'entrée directe des exemples et leur emmagasinage dans le fichier base d'exemples. Un exemple consiste en une combinaison particulière des variables entrées et des sorties correspondantes qui sont jugées correctes pour chaque catégorie sortie.

5. Fin de Session - A la fin de chaque session, l'utilisateur a le choix de préserver les exemples soumis au système ainsi que la matrice des règles résultant de la session.

6. Mise à Jour - Un programme de mise à jour permet à l'utilisateur de manipuler la matrice des règles. Ceci implique que les étiquettes catégories/éléments et les exemples doivent aussi être modifiés de manière à s'accorder à la matrice des règles. Les fonctions « mise à jour » sont les suivantes :

- manipulation directe des coefficients de la matrice des règles ;
- ré-étiquetage des catégories et des éléments ;
- addition ou soustraction de catégories ou d'éléments ;
- affichage de la matrice des règles, des étiquettes, et des exemples.

### Applications et limites

On a soumis au système expert une série de quarante exercices cartographiques correspondant à des cartes thématiques à petite échelle, échantillonnées à partir d'atlas nationaux et provinciaux. Après un nombre suffisant d'itérations, les décisions du système se sont avérées correctes pour toutes les catégories sorties concernant tous les exemples (40) du fichier base d'exemples.

Voici le scénario typique pour l'un de ces exercices : Supposons que l'utilisateur désire une carte du monde représentant les déclinaisons magnétiques. Cette carte, selon le cartographe, répond aux besoins suivants :

Type Dyna	Type donn	Niv précis	Niv lect	Nb compos	Dimens image	Type mesure	Echel carte	Type fonct
(1)	(10,16)	(20)	(23)	(25)	(29)	(31)	(34)	(38)

(se référer au tableau 1 pour la signification des nombres).

Le système expert détermine les spécifications cartographiques suivantes :

Asp proj	Surf prof	Qual proj	Point vue	Type repre	Nb Chroma	Var visuel	Impos graph	Niv génér
(4)	(2)	(4)	(1)	(13)	(3)	(2)	(3)	(1)

(se référer au tableau 1 pour la signification des nombres)

On a déjà noté que le système peut afficher plus d'un élément pour chacune des catégories sorties si ces éléments se trouvent avoir un score maximum pour leur catégorie qui est identique. Quoique l'apparition de scores identiques soit souhaitable dans les catégories variable visuelle et imposition graphique lorsque la carte représente plusieurs composantes géographiques (telles que la température et l'utilisation du sol), la manière de « raisonner » du système est basée sur une discrimination — au travers de l'ajustement des règles — et non sur l'amalgame des éléments des catégories sorties. Par conséquent, lors des sessions d'apprentissage, le cartographe ne peut fournir qu'une seule réponse correcte pour chaque catégorie. Cette méthode, effective dans le cas de catégories où les éléments s'excluent réciproquement (telle qu'une projection conforme et équivalente), devient hors de propos pour les catégories où les éléments peuvent être combinés (combinaison d'une symbologie ponctuelle et linéaire, par exemple). En conséquence, le système expert n'est capable de résoudre que des exercices cartographiques relativement simples. La possibilité d'amalgamer aussi bien que de discriminer avec des réponses logiques telles que « OU » et « ET » pour certaines des catégories requiert l'utilisation d'une stratégie de raisonnement multiple.

Afin de mieux apprécier l'efficacité du système, on a effectué deux types d'expériences - l'un utilisant la matrice des coefficients reflétant les règles cartographiques établies au préalable par le cartographe, l'autre utilisant une matrice où tous les coefficients sont identiquement égaux à zéro. Dans ce dernier cas le système ignore

toute règle et ne possède aucun pouvoir de discrimination. Les quarante exercices du fichier base d'exercices ont été soumis cumulativement par tranche de dix (c'est-à-dire 10, 20, 30 et 40). On a ensuite observé le nombre d'exercices pour lesquels les réponses (spécifications cartographiques) sont correctes pour toutes les catégories sorties.

Dans le « mode de production », le système n'a pu répondre correctement à aucun des exercices soumis, que ce soit pour les tranches 10, 20, 30 ou 40. Ceci est vrai aussi bien pour la matrice des coefficients zéros que pour la matrice des coefficients déterminés par le cartographe. Ce dernier résultat est surprenant puisque les coefficients de la matrice règles et les combinaisons entrées et sorties des exercices soumis ont été déterminés par le même cartographe. Il démontre la difficulté d'établir à priori des règles cartographiques qui soient congruentes.

Dans le « mode apprentissage indépendant » on a compté le nombre d'itérations nécessaires pour répondre correctement à tous les exercices soumis par tranche de 10, 20, 30 et 40 (Tableau 2). On notera que la connaissance acquise après n itérations pour chacune des tranches n'a pas été emmagasinée ; en d'autres termes le commencement du processus d'itération s'effectue toujours à partir des matrices de règles originales. Comme on pouvait s'y attendre, le nombre d'itérations

nécessaires s'accroît avec le nombre d'exercices soumis. D'autre part, les résultats montrent que le processus d'apprentissage progresse de manière plus rapide lorsqu'on utilise la matrice des règles établie par le cartographe.

Ces tests démontrent deux faits fondamentaux : 1) le système expert est capable « d'apprendre », et 2) l'utilisation de la matrice des coefficients reflétant l'expérience préalable du cartographe améliore la capacité d'apprentissage du système.

Comme il a été mentionné, le système ne couvre qu'une partie du processus de réalisation cartographique. Une part importante de l'expertise cartographique — la capacité de traduire les besoins du client en termes cartographiques — n'est pas résolue. Il nous manque la capacité de dialogue, au travers d'un langage naturel, entre le système et le client potentiel. Il nous manque également, en aval, une connection intelligente entre les spécifications cartographiques et les programmes de construction automatique des cartes. Ces deux domaines sont en cours d'exploration.

## REFERENCES

- Fitzimmons Dennis E., 1985, "Base Data on Thematic Maps", *The American Cartographer*, Vol. 12, 57-61.  
 Naylor Chris, 1983, BUILD YOUR OWN EXPERT SYSTEM, Bristol : Arrowsmith Ltd.

TABLEAU 1. CATÉGORIES ENTRÉES ET SORTIES

CATÉGORIES ENTRÉES	CATÉGORIES SORTIES
Dynamique	Aspect de la Projection
1. Mouvement X-Y	1. Oblique
2. Statique X-Y	2. Polaire
3. Série Temporelle	3. Transverse
Type de Données	4. Equatoriale
4. Réseau	Surface de Projection
5. Donnée Volume sur Aire	1. Conique
6. Donnée Volume sur Ligne	2. Cylindrique
7. Donnée Volume sur Point	3. Azimutale
8. Donnée Volume Aréale	Qualité de la Projection
9. Donnée Linéaire	1. Aphylectique
10. Donnée Ponctuelle	2. Equidistante
11. Spatialement discrète	3. Equivalente
12. Non-Reliée aux Aires	4. Conforme
13. Reliée aux Aires	5. Continue
14. Surface Différentielle	6. Interrompue
15. Surface Continue	Point de Vue
16. Donnée Ubiquiste	1. Vertical
Niveau de Précision	2. Oblique
17. Relations Spatiales	Type de Représentation
18. Préservation des Directions	1. Cartogramme des Surfaces
19. Préservation des Longueurs	2. Cartogramme Linéaire
20. Préservation des Positions	3. Diagramme
21. Préservation des Aires	4. Carte de Surfaces en Couleurs
Niveau de Lecture	5. Symbole Proportionnel Simple
22. Supérieur	6. Symbole Proportionnel Composé
23. Intermédiaire	7. Carte en Ligne
24. Élémentaire	

- Nombre de Composantes
25. Une Composante
  26. Deux Composantes
  27. Plus de Deux Composantes

Dimension de l'Image

28. Tri-Dimensionnelle
29. Bi-Dimensionnelle

Type de Métrique

30. Rapport
31. Mesure Absolue
32. Mesure Ordinale
33. Mesure Nominale

Echelle Cartographique

34. Petite Echelle
35. Moyenne Echelle
36. Grande Echelle

Fonction de la Carte

37. Publicitaire
38. Communication
39. Traitement
40. Emmagasinement

8. Carte des Flux
9. Carte en Point
10. Carte Choroplète
11. Surface de Tendence
12. Carte Isoplète
13. Carte Isométrique
14. Stéréogramme
15. Carte Hypsométrique
16. Carte d'Estompage
17. Courbes de Niveau Inclinaées
18. Carte Physiographique

Nombre de Cartes

1. Série de Cartes
2. Une Seule Carte, N Composantes
3. Une Seule Carte, 1 Composante

Chromatique

1. Polychromatique
2. Monochromatique

Variable Visuelle

1. Forme
2. Orientation
3. Texture
4. Couleur
5. Valeur
6. Dimension

Imposition Graphique

1. Symbole Volumique
2. Symbole de Surface
3. Symbole Linéaire
4. Symbole Ponctuel

Niveau de Généralisation

1. Elevé
2. Faible

**TABLEAU 2. VITESSE D'ACQUISITION DES CONNAISSANCES DU SYSTÈME EXPERT**

UTILISANT LA MATRICE DES COEFFICIENTS ZÉRO				
Nombre d'itérations	10 Exemples 8	20 Exemples 10	30 Exemples 17	40 Exemples 24
UTILISANT LA MATRICE DES COEFFICIENTS DÉFINIS PAR LE CARTOGAPHE				
Nombre d'itérations	6	8	13	19